



Programme
d'économie
d'énergie
dans l'industrie
canadienne



PEEIC

Les possibilités d'amélioration du rendement énergétique dans les fonderies canadiennes

Un projet commun de l'Association des fonderies canadiennes, de Ressources naturelles Canada et du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC)



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

Les possibilités d'amélioration du rendement énergétique dans les fonderies canadiennes

Les possibilités d'amélioration du rendement énergétique dans les fonderies canadiennes est un projet commun de l'Association des fonderies canadiennes et de Ressources naturelles Canada exécuté par l'entremise du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC).

Association des fonderies canadiennes
1, rue Nicholas, bureau 1500
Ottawa (Ontario) K1N 7B7
Tél. : (613) 789-4894
Télec. : (613) 789-5957
Courriel : judy@foundryassociation.ca
Site Web : www.foundryassociation.ca

Pour obtenir des exemplaires supplémentaires de cette publication, veuillez écrire à :
Division des programmes du secteur industriel
Office de l'efficacité énergétique
Ressources naturelles Canada
580, rue Booth, 18^e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Tél. : (613) 992-3254
Télec. : (613) 992-3161
Courriel : cipec.peeic@rncan.gc.ca

Supervision : Le Groupe de travail du PEEIC du secteur des fonderies

© Association des fonderies canadiennes, 2003

Tous droits réservés. Toute reproduction, stockage dans un système de récupération ou transmission en totalité ou en partie de cette publication par quelque procédé que ce soit, notamment sous forme électronique et mécanique ou par photocopie ou enregistrement, est interdite sans la permission écrite préalable de l'Association des fonderies canadiennes.

ISBN 0-662-33438-8
N° de cat. : M92-262/2003F

Vous pouvez également consulter ou commander d'autres publications de l'Office de l'efficacité énergétique en ligne. Visitez notre bibliothèque virtuelle Publications Éconergie à oe.e.rncan.gc.ca/infosource. Le site Web de l'Office de l'efficacité énergétique est : oe.e.rncan.gc.ca.



Imprimé sur du papier recyclé



Table des matières

Introduction	1	2.1.3 Influences de la conception	27
Mode d'utilisation du guide	2	2.1.4 Ordonnancement de la production, productivité et contrôle des procédés	29
Remerciements et déni de responsabilité	3	2.1.5 Être centré sur le rendement	30
Profil de l'industrie des fonderies canadiennes	4	2.1.6 Ferraille et recyclage	31
Aspects environnementaux	6	2.1.7 Questions énergétiques et gestion du changement	32
1.0 Établissement d'un programme de gestion de l'énergie	7	2.1.8 Gestion de l'énergie comme matière première	33
1.1 Premières démarches	7	2.1.9 Questions d'entretien	35
1.2 Vérifier l'utilisation de l'énergie dans une fonderie	12	2.1.10 Méthode de la capitalisation du coût entier	35
1.2.1 L'amorce de la vérification	12	2.1.11 Mise en œuvre d'un système de gestion	37
1.2.2 Préparation de la vérification	14	2.2 Gestion des services publics	39
1.2.3 Vérification	15	2.2.1 Gestion de l'électricité	39
1.2.4 Rapport des résultats de vérification	17	2.2.2 Gestion des combustibles	44
1.3 Comprendre les résultats de la vérification	18	2.2.3 Gestion de l'air comprimé	48
1.4 Mise en œuvre du programme de gestion de l'énergie	19	2.2.4 Gestion de l'eau	52
1.5 Participation des employés	23	2.3 Procédés et équipement de fonderie	56
2.0 S'inspirer en vue des possibilités de gestion de l'énergie	25	2.3.1 Matières premières	56
2.1 Pratiques générales de gestion dans une fonderie	25	2.3.2 Procédés et flux des matières	56
2.1.1 Conception du bâtiment et aménagement	25	2.3.3 Fusion	57
2.1.2 Facteurs de transport et de distribution	26	2.3.4 Noyautage	70
		2.3.5 Fabrication de moules	72
		2.3.6 Coulée	74
		2.3.7 Systèmes de sable	77
		2.3.8 Nettoyage et finition	78
		2.3.9 Traitement thermique	79
		2.3.10 Procédés spéciaux	84
		2.3.11 Récupération de la chaleur perdue	84

2.4 Bâtiments de la fonderie	89	4.0 Sources d'aide	115
2.4.1 Chauffage	91	4.1 Administrations publiques	115
2.4.2 Gestion de l'air	93	4.2 Programme fédéral canadien d'assistance à l'emploi « À LA SOURCE/ON-SITE »	119
2.4.3 Isolation	95	4.3 Universités et collègues	120
2.4.4 Éclairage	97	4.4 Services publics	121
3.0 La touche finale – combler les écarts	100	4.5 Associations	122
3.1 Repérage des possibilités de gestion de l'énergie (PGE)	100	4.6 Conseillers	123
3.2 Évaluation et calcul des économies d'énergie, et autres impacts des PGE	102	4.7 Internet	124
3.3 Choix et priorisation des projets de PGE	103	4.8 Autres fonderies	125
3.4 Élaboration et étoffement des programmes de gestion de l'énergie	110	5.0 Appendices	126
3.5 Mettre en œuvre, surveiller le rendement et l'améliorer constamment	112	5.1 Unités d'énergie et facteurs de conversion	126
		5.2 Données repères énergétiques dans les fonderies	129
		5.3 Caractéristiques techniques et énergétiques des fours de fusion électrique	131
		5.4 Calcul de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. .	132
		5.5 Liste des fonderies membres de l'Association des fonderies canadiennes, par type de métal fondu	135
		5.6 Tableaux de l'évaluation du risque	139
		5.7 Série de la gestion de l'énergie Des publications de RNCan	142
		5.8 Sources de référence	143

Introduction

Pour le simple ouvrier de fonderie, le domaine de la consommation d'énergie a été peu étudié et est déroutant. Dans le présent guide, nous souhaitons donner au professionnel de la fonderie un document pratique, concis, systématique afin d'améliorer l'efficacité énergétique dans une fonderie. Le guide porte sur les éléments clés suivants :

- l'exécution de vérifications énergétiques et le repérage des écarts;
- la collecte d'idées sur la conservation de l'énergie;
- le choix et la priorisation des projets;
- l'établissement du plan d'amélioration du rendement énergétique.

« Non seulement les responsables des fonderies doivent-ils comprendre leur mode d'utilisation de l'énergie, mais également de quelle façon les modes de consommation de l'énergie ont un effet sur les coûts. » – L.V. WHITING

Le présent guide est le fruit d'une initiative commune de l'Association des fonderies canadiennes (AFC) et de l'Office de l'efficacité énergétique (OEE) de Ressources naturelles Canada (RNCan), sous les auspices du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC).

L'AFC a été constituée en 1975 par un groupe de propriétaires et de PDG des grandes fonderies du Canada, qui se sont rendu compte qu'il fallait faire front commun pour représenter les intérêts de l'industrie. Aujourd'hui, l'AFC se compose des grands fondeurs de métaux qui exploitent plus de 50 usines au Canada et représentent plus de 2 milliards de dollars (ou 80 p. 100) de la production et du chiffre d'affaires de l'industrie des fonderies canadiennes. Celles-ci emploient directement environ 15 000 personnes, dont près de 10 000 en Ontario.

L'AFC est la porte-parole des fonderies et s'occupe des questions précises qui les touchent, et est la principale intervenante dans les relations avec le gouvernement du Canada. Près d'une décennie après sa formation, l'industrie a fait face à un différend commercial grave avec les États-Unis. Les fonderies des deux côtés de la frontière ont été frappées durement par la récession du début des années 1980. Les fonderies américaines tentaient de restreindre les importations de pièces coulées aux États-Unis, tentative qui aurait été dévastatrice pour les fonderies canadiennes vu que la plupart de ces produits sont exportés au sud de la frontière. Par suite d'un immense effort de lobbying, l'AFC a réussi à bloquer cette tentative de restreindre les exportations canadiennes de pièces de fonte. Dernièrement, des préoccupations environnementales et l'utilisation efficace de l'énergie dans les fonderies ont occupé le devant de la scène.

L'Association participe au PEEIC et s'est engagée à réduire les gaz à effet de serre pour appuyer les objectifs du gouvernement fédéral et les projets à cet effet à l'échelle internationale. L'efficacité énergétique est reconnue comme un moyen

L'AFC a pour mandat de travailler pour le compte de ses membres afin de créer un climat de performance économique solide et uniforme.

de réduire les investissements en approvisionnement d'énergie pour faire économiser de l'argent aux fonderies canadiennes, et améliorer leur compétitivité sur les marchés intérieurs et internationaux.

À l'automne 2000, l'AFC, de concert avec l'OEE de RNCAN, a commandé la création de données énergétiques de base pour l'industrie des fonderies (qui a débouché sur des données repères plus tard), de même que la production du présent guide. Ce dernier donnera aux fonderies canadiennes un outil pratique à utiliser pour mettre en œuvre les nombreuses possibilités d'efficacité énergétique dans leurs activités, possibilités peut-être négligées ou dont on ne faisait peut-être pas de cas jusqu'à présent.

Mode d'utilisation du guide

Le principal but du guide est de proposer au lecteur des idées et des conseils utiles sur la façon d'aborder la question de l'amélioration de l'efficacité énergétique dans ses activités, et ce qu'il faut faire pour y parvenir. Il ne s'agit pas d'un document scientifique ou théorique, ni d'un manuel d'utilisation pour les fonderies. Il faut le voir comme une source d'information pratique qui vous orientera dans la bonne voie afin d'obtenir l'aide nécessaire. Peu importe le type et la taille de votre entreprise et de votre contexte, vous devriez être en mesure de puiser des idées dans le guide afin de mettre en œuvre avec succès des projets de conservation de l'énergie dans votre fonderie.

La gestion énergétique moderne fait intervenir de nombreux systèmes d'utilisation de l'énergie interreliés. Adoptez une approche globale en lisant tout le guide en premier.

Lisez-le au complet en premier, peu importe le type de fonderie où vous travaillez et ce que votre priorité liée à l'énergie pourrait être en ce moment. Vous devriez y trouver des idées que vous pourrez facilement adapter à votre situation. Plus probablement, ces idées pourraient offrir une solution synergétique à un problème précis. Pendant votre lecture, donnez libre cours à votre imagination et à votre esprit d'innovation quant aux idées que vous pourriez appliquer dans votre usine.

« Mettez l'efficacité énergétique en perspective. Si votre budget énergétique est de 1 million de dollars, et que vous pouvez économiser ne serait-ce que 10 p. 100 en adoptant de meilleures pratiques énergétiques, posez-vous la question suivante : Combien devrais-je vendre de pièces de fonte pour gagner 100 000 \$ – net ? » –
TIMOTHY R. EBY

Le guide renferme des sources de référence à jour en ce qui concerne des pratiques démontrées, novatrices, éconergétiques de nombreux pays. Elles ont trait à des procédés précis de fonderie de même qu'à des systèmes courants d'utilisation de l'énergie, comme l'air comprimé et la ventilation. Le caractère distinctif de diverses activités de fonderie a posé un défi spécial à la rédaction du guide. Nous nous sommes efforcés de traiter d'intérêts communs. Nous avons fait appel à diverses sources de renseignements actuels valables du monde entier, notamment à des communications personnelles provenant de fonderies canadiennes et du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) de RNCAN. Les mentions apparaissent à la section Sources de référence à la fin du guide (appendice 5.8).

Remerciements et déni de responsabilité

L'Association des fonderies canadiennes tient à exprimer sa vive reconnaissance à l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada pour l'aide financière accordée dans la réalisation du guide de gestion de l'énergie.

L'AFC et les auteurs remercient les personnes suivantes de RNCAN pour leurs conseils et leur aide dans l'élaboration du guide : Philip B. Jago, Division des programmes industriels, OEE; Laurence V. Whiting, CANMET; Michel Lamanque, pour le compte de la section canadienne du Centre international d'intervention pour l'analyse et la diffusion des technologies énergétiques démontrées (CAD-DET), et Rudy Lubin à la Direction de la technologie de l'énergie.

Les auteurs tiennent également à exprimer leur gratitude à Judy Arbour, directrice de l'AFC, pour son excellente direction de projet et son soutien organisationnel efficace. De plus, nos remerciements vont à Brenda Budarick de l'AFC pour son aide administrative sans faille.

Les conseils d'ordre technique donnés par de nombreux collègues de l'industrie des fonderies canadiennes se sont révélés très utiles. Les auteurs remercient tout particulièrement les experts dont les noms apparaissent ci-dessous, ainsi que leurs collègues qui ont commenté le manuscrit et proposé de précieuses suggestions en vue de l'améliorer :

Wayne Agombar	- Wescast Industries Inc.
Jason Blazer	- Diversa Cast Mfg.
Brian Brinklow	- ESCO Limitée
Mitch Hart	- Grenville Castings Limited
Robert Lelièvre	- Crowe Foundry Limited
Fred McDonald	- Grenville Castings Limited
Adam Promoli	- Crowe Foundry Limited (président du Comité de l'énergie de l'AFC)
Mark Simpson	- Wescast Industries Inc.
Tony Thoma	- Wescast Industries Inc.
Thomas Warren	- Gamma Foundries Limited
Dave White	- ESCO Limitée (ex-président du Comité de l'énergie de l'AFC)
Laurence Whiting	- Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)
Bill Winger	- Canada Alloy Castings, Ltd.

Ni les auteurs du présent guide ni son commanditaire (l'AFC) ne prétendent que les recommandations d'ordre général qui y figurent peuvent être appliquées telles quelles dans une fonderie donnée. Les auteurs et l'AFC ne sauraient être responsables de toute mise en œuvre de mesures en l'absence d'une consultation préalable et d'une évaluation approfondie de l'établissement visé. L'utilisation de dénominations sociales ou commerciales ne vise pas la promotion d'un produit commercial, d'un système, d'un particulier ou d'une entreprise.

Profil de l'industrie des fonderies canadiennes

Les pièces de fonte constituent la première étape dans la chaîne de fabrication à valeur ajoutée et sont utilisées dans la production de la plupart des biens durables. Les activités des fonderies ont toujours été variées et complexes, et le sont devenues encore plus. L'industrie a changé de fond en comble au cours des cinq à dix dernières années. Les fonderies ne produisent plus seulement des pièces de fonte brute. Aujourd'hui, nombre de fonderies modernes conçoivent les pièces, fabriquent l'outillage, coulent les prototypes, moulent le métal, l'usinent, l'assemblent et produisent un composant ou un assemblage prêt à installer dans la chaîne de montage du client. Donc, le secteur des fonderies ne s'occupe plus uniquement des activités de fonderie. Bien des fonderies sont des concepteurs, des fondeurs, des ajusteurs et des monteurs de pièces à valeur ajoutée.

« Aucune société industrielle n'a réussi sans une industrie des fonderies trépidante. »
– MICHAEL PROMOLI

Il existe actuellement environ 200 fonderies au Canada. Les membres de l'AFC se composent de grandes, de moyennes et de petites fonderies. Certaines produisent des pièces adaptées tandis que d'autres se livrent à des activités de base. Les constructeurs et les industries desservis par les fonderies comprennent le secteur automobile, la construction, l'agriculture, la foresterie, les mines, les pâtes et papiers, les machines et l'équipement de l'industrie lourde, l'avionnerie et l'aérospatiale, la plomberie, les tuyaux d'égout, les pièces qui servent à la voirie, la défense, les chemins de fer, l'industrie pétrolière et la pétrochimie, la distribution électrique et une foule de marchés spécialisés.

Dans les fonderies, la matière première est constituée surtout de métal recyclé. Le métal vierge compte pour une très petite partie de formules spécialisées, et est également utilisé dans certaines fonderies d'aluminium et de laiton. On y utilise une vaste gamme de technologies et d'équipements, selon le type de métal façonné, la situation de l'entreprise et l'état de l'usine des différentes compagnies. La grande consommation d'énergie par unité de production de même que le pourcentage du total des coûts d'exploitation en sont le dénominateur commun.

Par son utilisation de la ferraille de recyclage, l'industrie de la fonderie des métaux contribue pour beaucoup à la conservation des ressources naturelles et de l'énergie. Néanmoins, les fonderies canadiennes sont de prodigieuses utilisatrices d'énergie – on estime qu'elles consomment quelque 6 300 TJ (ou 1,75 milliard de kWh) d'énergie tous les ans. Selon le type d'alliage de métal coulé, la technologie utilisée et l'âge de l'usine, la consommation d'énergie (et sa valeur dans le coût total d'exploitation) peut varier énormément. Cela est illustré dans le tableau « Données repères énergétiques dans les fonderies » à l'appendice 5.2 qu'il vaut la peine de consulter.

Veillez noter : Habituellement, la tonne de 2 000 lb (américaine) est utilisée comme unité de mesure dans les fonderies. Pour des motifs de normalisation et afin de faciliter les comparaisons internationales et entre les industries, **le système international SI (métrique) sera utilisé dans le présent guide** (une tonne métrique [t] = 2 204,6226 lb = 1,10233113 tonne [impériale]).

À l'heure actuelle, il semble y avoir un manque de données fiables concernant la production totale et les données repères des fonderies canadiennes; aucun organisme comme tel ne conserverait ces données. L'AFC se penche présentement sur ce problème et envisage que son enquête annuelle sur l'industrie, qui collecte des données précises sur les fonderies, soit incluse dans le programme de Statistique Canada¹. On pourrait produire les données nécessaires en fonction du Code de la classification type des industries (CTI). L'OEE de RNCAN possède également des données liées à l'énergie auxquelles nous pourrions accéder. L'Association compte poursuivre la collecte des données sur la production.

Composition de l'industrie des fonderies

Comme pour la majorité de la production industrielle au Canada, les deux tiers de la production des fonderies s'effectuent en Ontario. La plupart des fonderies de fer canadiennes qui approvisionnent l'industrie de l'automobile sont situées dans cette province. Le métal coulé qui prédomine dans les fonderies est la fonte grise. L'appendice 5.5 énumère les fonderies membres de l'AFC par type de métal fondu.

Tendances dans l'utilisation de l'énergie

Au cours de la dernière décennie, le type d'énergie utilisé a connu une évolution marquée vers l'électricité et le gaz naturel. Pendant que les fondeurs d'aluminium augmentaient l'utilisation du gaz naturel pour la fusion, les producteurs de fer ont adopté davantage les fours électriques à induction. Vers 1980, on comptait 40 cubilots au coke produisant près de 1 million de tonnes de fer (ou 75 p. 100 du total). La capacité de fusion de ces fours est bien des fois supérieure à celle des plus grands fours électriques à induction. La fonction efficacité mise à part, les pressions environnementales et réglementaires, de même que l'équipement antipollution coûteux que les activités des cubilots exigent désormais, ont ramené leur nombre à environ 12 appareils, dont la production est évaluée à 360 000 tonnes aujourd'hui.

La hausse rapide des prix du gaz naturel en 2000 et la déréglementation du marché de l'électricité ont rendu évidente la nécessité de s'attaquer aux questions d'efficacité énergétique. Dans la production de fonte grise, la fusion compte pour 66 p. 100 de la consommation d'énergie. Dans les aciéries, elle est de 50 p. 100 et dans les fonderies de laiton et de bronze, le chiffre s'élève à 38 p. 100. Comme on peut le voir à l'appendice 5.2, en moyenne, le contenu énergétique total d'une tonne de bonnes pièces de fer (expédiable) est de 50 p. 100 et plus. Dans les pièces d'acier, il s'agit de 60 p. 100 et plus, et dans les pièces de laiton et de bronze, de 100 p. 100 de plus que l'énergie requise pour faire fondre une tonne de métal. Ce fait est attribuable à toutes sortes de rendements déficients.

En termes pratiques, cela signifie que pour produire une tonne de bonnes pièces de laiton, il faut faire fondre, mouler et transformer deux tonnes de métal !

¹ Comme le pistage de la consommation de l'énergie dans l'industrie des fonderies au Canada n'est pas systématique, certains des tableaux et des figures utilisés dans le présent guide ne sont qu'indicatifs.

Aspects environnementaux

L'AFC surveille les questions liées à l'environnement. De même, un énorme effort de lobbying a été consenti pour faire en sorte que le sable de fonderie utilisé soit classé comme remblai stabilisé dans les sites d'enfouissement. On peut l'utiliser désormais comme couverture journalière.

Comme participante du secteur de l'industrie au PEEIC, l'AFC s'efforce d'aider le Canada à respecter ses engagements internationaux en matière de changements climatiques.

Deux études indépendantes récentes en sont venues à la conclusion que l'industrie des fonderies canadiennes produit annuellement moins de 1 p. 100 du total des émissions de dioxyde de carbone du Canada – l'un des principaux coupables du réchauffement planétaire. Il ne faut cependant pas prendre ce chiffre à la légère; il représente encore une quantité énorme soit environ 6 millions de tonnes de dioxyde de carbone rejetées chaque année dans l'atmosphère.

L'amélioration de l'efficacité énergétique réduit les émissions de gaz à effet de serre de deux façons :

- Des mesures d'efficacité énergétique pour les systèmes de combustion sur place (p. ex., les fours, les chaudières, les cubilots, les fours de traitement thermique) réduisent les émissions en proportion directe de la quantité de combustibles non brûlés.
- Les réductions de la consommation d'électricité amènent des réductions dans la demande d'électricité et, donc, des réductions des émissions produites par les centrales électriques.

Pour avoir un exemple sur la façon de calculer la quantité de réduction des grandes émissions de gaz à effet de serre qui découlent de vos projets d'efficacité énergétique, consultez l'appendice 5.4 : Calcul des réductions d'émissions de gaz à effet de serre.

Les fonderies doivent également prêter attention à la composition de leurs émissions atmosphériques. Les normes de la qualité de l'air publiées récemment (mars 2001) en Ontario établissent des limites plus strictes à respecter. Les projets conçus pour satisfaire aux normes d'émissions peuvent exiger d'importants capitaux. Un projet né à la suite d'une exigence réglementaire peut être plus facile à justifier s'il est combiné à un projet de gestion de l'énergie qui en réduit la consommation.

Les fonderies peuvent aider le Canada à atteindre son objectif de réduction des gaz à effet de serre, **tout en s'aidant elles-mêmes**, en améliorant l'efficacité énergétique de leurs activités.

Puisque nous envisageons l'environnement dans son sens planétaire, il importe peu que les réductions d'émissions se produisent à la centrale électrique ou à l'endroit où l'on améliore l'efficacité.

1.0

Établissement d'un programme de gestion de l'énergie

1.1 Premières démarches

De plus en plus, les gens dans le monde entier se préoccupent de la santé du milieu dans lequel ils vivent – à preuve, les efforts pour contenir les effets du réchauffement planétaire causés par les gaz à effet de serre. Pour commencer, un programme de gestion de l'énergie offre l'occasion unique de faire appel à la bonne volonté de la plupart des gens afin de susciter des gestes positifs pour l'environnement, tout en poursuivant un objectif d'entreprise qui consiste à réduire la consommation d'énergie. Ces deux objectifs sont interdépendants.

« Nous voulons économiser l'énergie parce que nous savons que cela contribue à atteindre un objectif d'un ordre plus élevé – le milieu dans lequel nous vivons. Nous le faisons parce que c'est la bonne chose à faire ! » – UN EMPLOYÉ MOTIVÉ

Le premier élément déterminant de tout programme de gestion de l'énergie réussi est le sentiment de responsabilité collective pour l'environnement, et les efforts pour le respecter. Cela devrait être le point de ralliement des employés de la fonderie au début du programme !

« Respecter l'environnement rapporte aux entreprises. » – JACK WELCH, ancien PDG, GE

Innovation et améliorations du **rendement**, voilà les mots clés de la lutte pour la survie et la prospérité dans l'industrie mondiale et compétitive des fonderies. Les gestionnaires d'entreprises sous-estiment souvent les possibilités d'économies que l'on peut réaliser en réduisant la consommation d'énergie. Jusqu'à récemment, dans la plupart des industries, les coûts énergétiques étaient considérés simplement comme le prix à payer pour faire des affaires, et on y consacrait peu d'attention. Le degré d'intérêt pour l'utilisation efficace de l'énergie était modéré du fait de la persistance des prix peu élevés du pétrole et du gaz naturel, qui ont été pratiqués jusqu'en 2000. De plus, la fonderie connaissait peu les questions énergétiques qui s'appliquaient à ses activités et à d'autres services publics qu'elle achetait.

« La raison des affaires est de rester en affaires. » – PETER DRUCKER

La forte hausse des prix de l'énergie en 2000, de même que les préoccupations au sujet de la compétitivité des marchés, du contrôle des émissions de gaz à effet de serre, de même que la sécurité des approvisionnements en énergie, ont ajouté une certaine urgence à la nécessité d'examiner l'efficacité de l'utilisation de l'énergie dans les fonderies.

Il y va de l'intérêt stratégique de toute entreprise, à long terme, de contrôler la consommation d'énergie, donc son coût.

Bien sûr, ce fait n'échappera pas au président de toute bonne entreprise. Toutefois, se rendre compte de la nécessité d'améliorer l'efficacité énergétique doit aller au-delà d'une simple reconnaissance, d'une déclaration « inattaquable » – il faut que cela débouche sur des actes. Rien n'attire mieux l'attention que le symbole du dollar – et le comptable de l'usine peut s'avérer un allié inestimable dans le plan de bataille énergétique. Le tableau 1 donne un aperçu de la façon dont cela fonctionne.

TABLEAU 1
Hausse du bénéfice à partir des économies d'énergie

Si le ratio de marge bénéficiaire original est :	et si le pourcentage du coût de l'énergie d'une usine est :					
	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %
	et que les coûts énergétiques sont réduits de 35 %, alors le ratio de marge bénéficiaire augmentera du pourcentage suivant :					
1 %	104 %	139 %	173 %	208 %	242 %	277 %
2 %	51 %	69 %	86 %	103 %	120 %	137 %
5 %	20 %	27 %	33 %	40 %	46 %	53 %
10 %	9 %	13 %	16 %	19 %	22 %	25 %
20 %	4 %	6 %	7 %	8 %	9 %	11 %
30 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %

Adaptation du tableau de V.A. Munroe

Conseil

La vérification énergétique peut servir à améliorer la survie d'une fonderie.

Sur la foi de données sur le coût de base, on peut établir un dossier sur la façon de déterminer l'état actuel de la consommation d'énergie, puis de faire quelque chose à ce sujet. La compilation de données supplémentaires sur les modèles actuels de consommation fait intervenir *une étape clé – la vérification énergétique* (voir ci-dessous). L'argument raisonné et justifié qui en résulte donnera du relief aux questions énergétiques parmi un certain nombre d'autres priorités qui attirent l'attention de la haute direction.

L'hypothèse d'une économie d'énergie de 35 p. 100 dans le tableau 1 est réaliste. Il faut se rappeler que l'expérience à l'échelle mondiale a démontré qu'une simple amélioration dans les pratiques ordinaires d'entretien (p. ex., en se rappelant la connotation énergétique du travail quotidien, comme d'éteindre les appareils non utilisés, etc.) produit habituellement de 10 à 15 p. 100 d'économies ! On peut obtenir également d'autres économies comme l'illustre le tableau 2. Ce tableau est une compilation des résultats provenant de nombreuses vérifications énergétiques dans des fonderies canadiennes, vérifications entreprises au cours des dernières années par CANMET. Il montre l'ampleur des économies d'énergie relevées par une vérification énergétique, que l'on peut réaliser dans une fonderie moyenne.

TABLEAU 2

Sommaire des résultats escomptés selon l'utilisation finale

Équipement / procédé	Consommation totale d'énergie de l'usine, %	Possibilités d'économie par secteur, %	Économies globales dans l'usine, %
Fusion	59	15	9
Ventilateurs et pompes	6	35	2
Éclairage	6	30	2
Moteurs	12	10	1
Compresseurs d'air	5	20	1
Divers	12	10	1
Total	97*	–	16

Tableau de L.V. Whiting

* Effets non comptabilisés

Pour commencer, quelques éléments importants doivent être mis en place :

1. Un engagement ferme de la part de la haute direction;
2. Des objectifs de programme clairement définis;
3. Un organigramme et la définition des responsabilités;
4. Des ressources : les effectifs et les fonds;
5. Des mesures et des méthodes de pistage;
6. Un examen des progrès à intervalles réguliers.

Les points ci-dessus sont beaucoup plus étoffés à la figure 1 et à la section 3.4 – Élaboration et étoffement de programmes de gestion de l'énergie (page 110).

La gestion de l'énergie est une activité permanente dans toute fonderie. Sa réussite dépend d'un effort d'équipe, qui commence par un engagement ferme de la part des cadres supérieurs et de leur équipe de gestion. La démonstration par la direction d'un soutien ferme et visible a une influence sur chaque employé. Tous en tiennent compte et sont portés à suivre l'exemple.

Dès que la décision de gérer l'énergie a été prise, il faut la soutenir par une politique énergétique du conseil d'administration, qui considérera les coûts de l'énergie et des services publics comme étant des coûts directs, de la même façon que les autres coûts d'exploitation, comme ceux de la main-d'œuvre, des matières premières, etc.

Les activités de sensibilisation générale au sujet des questions énergétiques, que ce soit par la communication ou la formation des employés à tous les niveaux pertinents, contribuent à un changement culturel au sein de l'organisation. La formation doit être constante pour faire en sorte que les améliorations du rendement énergétique soient durables.

La gestion de l'énergie dans une fonderie se compose de deux éléments principaux : l'adoption de techniques de gestion et des améliorations apportées aux procédés.

Les bénéfices tirés des projets d'entretien, qui n'exigent aucun capital, sont immédiats et importants.

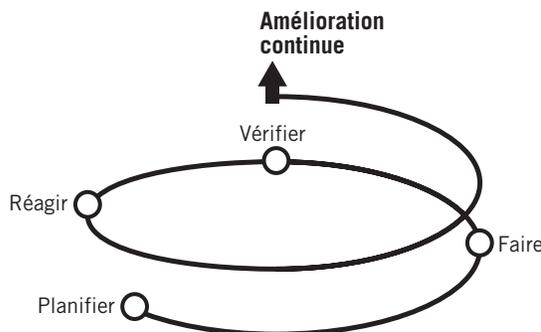
Conseil

Le dollar économisé
influe directement sur
la rentabilité !

Parfois, même quand les possibilités d'économies d'énergie sont grandes, elles ne sont pas exploitées. Les raisons n'en sont que trop familières :

- L'intéressé ne savait pas que des possibilités existaient;
- Il ne savait pas quoi faire;
- La haute direction ne soutenait pas les efforts;
- Les questions énergétiques ne sont pas une priorité;
- Aucun fonds, main-d'œuvre ou temps accordé à cette question;
- Aucune responsabilité définie.

Vu que le premier objectif d'une entreprise, ce sont les économies financières, les gestionnaires doivent comprendre le principe de l'économie réalisable et diriger leurs services comme s'il s'agissait de leur propre entreprise. Ce faisant, l'amélioration de l'efficacité énergétique devrait obtenir l'attention voulue. Cela exige également un peu de formation. Même si les gains financiers possibles à partir des améliorations du rendement énergétique semblent peut-être modestes, comparés à la valeur du chiffre de vente ou au budget général, ils peuvent contribuer de manière importante au bénéfice net de la fonderie.



Un programme de gestion de l'énergie suit les mêmes principes qui s'appliquent à toute entreprise de formation, soit la qualité et les systèmes de gestion environnementale, des principes que Deming a formulés comme étant un cycle en quatre étapes, **Planifier – Faire – Vérifier – Réagir**, PFVR, illustré ci-haut.

Nous verrons le détail de ces quatre étapes clés à la figure 1 à la page suivante.

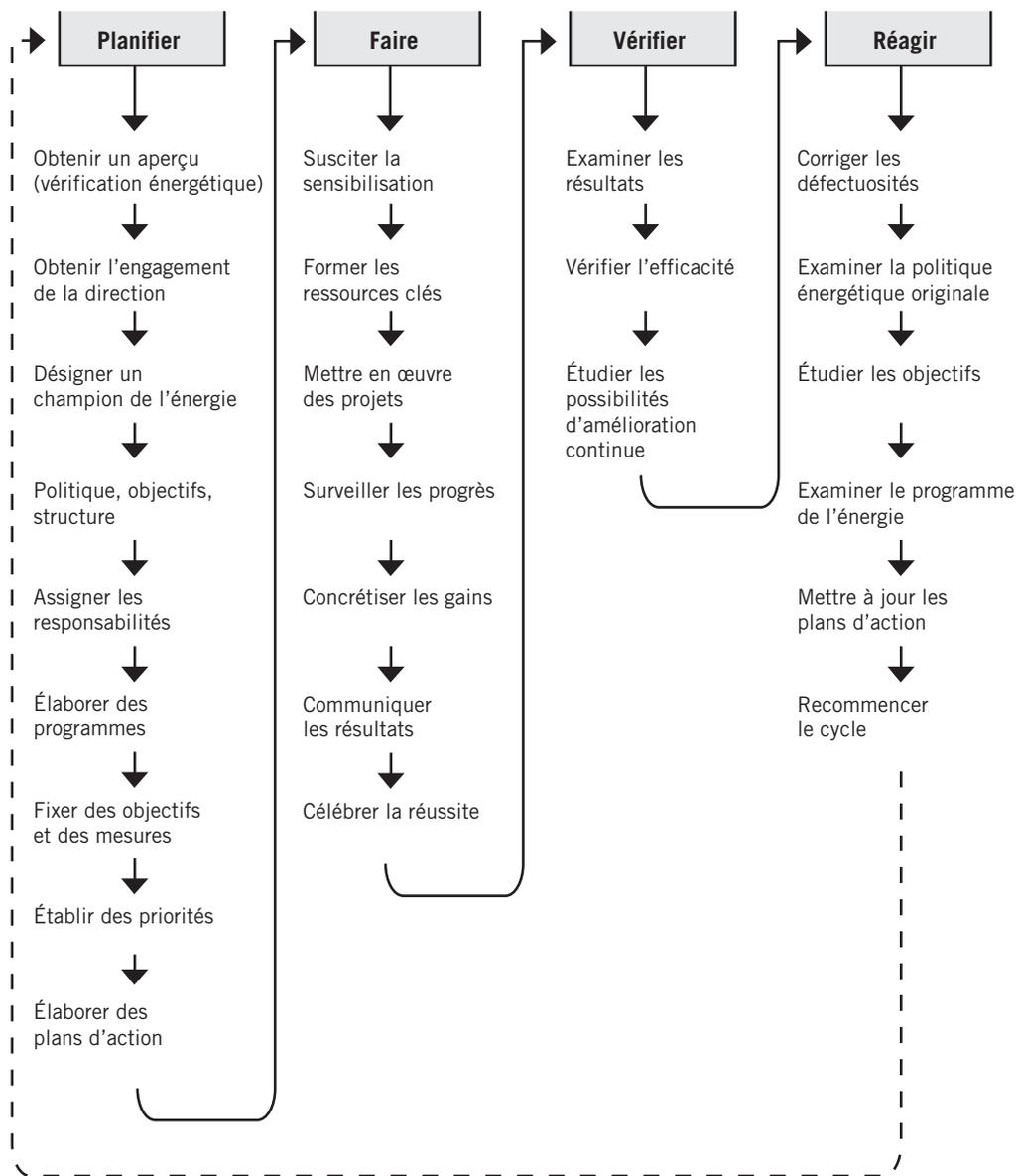
Pour concrétiser des possibilités, la direction de la fonderie doit intégrer avec succès le changement organisationnel et comportemental (culturel), et les nouvelles technologies d'utilisation de l'énergie.

Les efforts consacrés à l'efficacité énergétique doivent avoir un point de convergence précis, et la responsabilité doit être clairement définie.

Les points de la figure 1 sont généraux et donnés à titre d'information exclusivement. Leur application varie selon la taille et la complexité des activités d'une fonderie, et doivent être déterminées par des conditions propres à chaque fonderie, en ce qui concerne le programme d'amélioration du rendement énergétique.

FIGURE 1

Aperçu du plan de gestion de l'énergie



© Lom & Associates Inc., 2000

1.2 Vérifier l'utilisation de l'énergie dans une fonderie

Concentrons-nous sur la vérification énergétique initiale. Elle est une étape clé qui établit la base à partir de laquelle vous mesurerez les améliorations futures du rendement énergétique. D'autres vérifications énergétiques pourront être effectuées plus tard, par exemple pour vérifier les réalisations ou découvrir d'autres possibilités d'économie d'énergie.

Voici une liste des étapes pratiques démontrées en vérification énergétique.

But de la vérification énergétique

Quelle est la raison d'être d'une vérification²? Pourrait-on entreprendre un excellent projet de conservation de l'énergie qui donnerait un bon rendement financier sans une vérification?

Oui, c'est possible. Il est toutefois probable que, sans l'approche systématique d'une vérification, de bonnes possibilités d'économie d'énergie soient perdues. En conséquence, les avantages des synergies des projets demeureraient cachés.

La vérification se compose de quatre stades :

1. L'amorce de la vérification;
2. La préparation de la vérification;
3. La vérification;
4. Le rapport des résultats de la vérification.

1.2.1 L'amorce de la vérification

Définissez le ou les objectifs

La haute direction a pour rôle de définir la portée et les objectifs de la vérification énergétique. Quel résultat veut-on atteindre? Établir une base de la consommation d'énergie précise? La quantification des pertes d'énergie thermique exclusivement? Faudra-t-il établir un bilan de l'énergie électrique, du gaz, de l'eau, de la vapeur et des matériaux? Une indication des possibilités d'amélioration? Tous ces aspects?

Définissez la portée de la vérification

La portée de la vérification est établie par la direction de la fonderie. Cela peut aider à visualiser les limites de la vérification en la représentant comme une « boîte noire » qui contient la zone de la vérification, puis de se concentrer sur les flux d'énergie qui entrent et sortent de la boîte, et d'examiner aussi ce qui leur arrive dans la boîte. La « boîte noire » pourrait être toute la fonderie ou une activité en particulier, par exemple la fusion.

Les autres aspects pratiques d'établissement de la portée de la vérification énergétique comprennent : l'effectif de la fonderie, les capacités et la disponibilité du personnel, les compétences des conseillers externes, les fonds et le temps disponible. Il est essentiel de s'assurer des ressources et de la collaboration du personnel de la fonderie. Ne tentez pas d'élargir la portée de la vérification au-delà

Il est clair alors que l'objectif d'une vérification énergétique consiste à établir et à évaluer la consommation de l'énergie dans une fonderie et parallèlement, de découvrir les possibilités d'économie d'énergie, c'est-à-dire les améliorations du rendement énergétique. Pour que la vérification ait une valeur optimale, il faut qu'elle exprime de façon quantitative :

- l'examen et l'évaluation du rendement énergétique de tous les systèmes, procédés et équipements consommateurs d'énergie (y compris l'alimentation en énergie et l'enveloppe du bâtiment);
- l'indication des pratiques non efficaces de la gestion des procédés, avec un impact négatif sur la consommation d'énergie.

² La norme ISO 14001 définit une vérification comme étant « la vérification systématique, documentée qui consiste à obtenir objectivement et à évaluer les preuves de la vérification, en conformité avec les critères de vérification et suivie par la communication des résultats aux clients ».

de ce qu'il est raisonnable d'accomplir. Si possible, faites un pas à la fois. En essayant de couvrir trop d'installations ou de procédés au moyen d'un nombre limité de ressources, cela nuira à l'efficacité de la vérification et à ses résultats.

Il faut réfléchir très soigneusement aux exigences clés des objectifs et de la portée de la vérification, car elles déterminent l'envergure de celle-ci (c.-à-d. le niveau de détail requis de la ventilation de l'utilisation de l'énergie) et la portée physique de la vérification. Elles déterminent également les exigences concernant la main-d'œuvre et les coûts de l'exécution de la vérification.

Le choix des vérificateurs

La détermination de la portée et des objectifs de la vérification vous donneront une idée de la durée de celle-ci, donc du nombre de personnes dont vous aurez besoin et pendant combien de temps. Dans un milieu plus restreint, tout ce dont vous aurez besoin c'est d'une personne compétente ayant la formation technique convenable et une bonne connaissance d'ensemble des activités de la fonderie, des méthodes de vérification, en particulier en ce qui concerne la vérification énergétique. La personne pour qui l'informatique est familière constitue certes un atout.

Le choix d'un vérificateur est alors d'une importance cruciale. Choisissez des personnes disponibles ayant les compétences requises pour le travail à effectuer. La personne doit être objective, d'une grande intégrité personnelle et ayant un bon jugement – et être perçue comme telle ! De plus, le vérificateur doit être un communicateur efficace et capable de transiger avec les gens facilement. Le vérificateur obtiendra la plupart de ses renseignements lors d'entrevues personnelles et de discussions avec les opérateurs et le personnel de la fonderie. Pour obtenir la collaboration nécessaire, il est essentiel que le vérificateur puisse établir de bons rapports avec les employés.

Existe-t-il à l'interne une personne ayant ces qualités? Par ailleurs, est-il nécessaire d'obtenir l'aide de l'extérieur et d'embaucher un conseiller en énergie expérimenté pour effectuer la vérification ? Souvent, une entreprise tiendra compte du coût comme étant un élément déterminant dans le choix. Examinez les pour et les contre :

- À prime abord, le coût de l'aide apportée par un employé de la fonderie sera énormément moins onéreux que celui d'un conseiller externe. Il se peut que les activités de vérification nuisent à certains des travaux courants du personnel de la fonderie, qui participerait à la vérification.
- La courbe d'apprentissage est inévitable. Des erreurs peuvent être commises. Dans le cas du personnel de la fonderie, la durée globale d'intervention serait beaucoup plus élevée, peut-être deux fois plus que ce que prendrait un conseiller. Le personnel pourrait également faire preuve de préjugés. Les employés pourraient ne pas être conscients de certains aspects de leurs activités. Il se peut qu'ils ne disposent pas d'une expérience plus vaste, ce qui facilite le transfert de connaissances à partir d'autres situations semblables, et qu'un conseiller externe possède probablement.

La portée de la vérification décrit le champ organisationnel et physique, de même que les limites des activités de vérification, ainsi que la manière de les signaler. La vérification portera-t-elle sur toute l'installation ou sur une partie de celle-ci ? Dans le second cas, quels processus seront utilisés ?

Le processus de la vérification et ses résultats doivent être crédibles.

Planifiez et exécutez la vérification énergétique en vue d'établir les pratiques énergétiques non efficaces dans les procédés de la fonderie, de même que les pertes énergétiques dans les flux de « déchets ».

Supposons que vous puissiez collecter des données portant sur la période de production la plus élevée. Il est probable que la fonderie ne fonctionnera pas à ce rythme toute l'année, mais à un certain niveau moyen inférieur à cela. Le taux de production moyen, divisé par la capacité de production maximale, donnera la production nominale du rendement, exprimée en pourcentage. Il est utile de lier la consommation d'énergie à cette base.

En planifiant l'utilisation efficace du temps de vérification, évaluez les données actuelles pour repérer les grands utilisateurs d'énergie et concentrez vos efforts sur eux.

Budget et estimation de la durée de la vérification

Tenez compte de l'ampleur physique de la vérification et examinez les objectifs en essayant d'établir la complexité de la vérification, ainsi que le temps et les ressources nécessaires. Incluez le temps de préparation de la vérification (planification, obtention des outils, collecte des données requises), puis évaluez et analysez les résultats, formulez des recommandations et préparez le rapport de vérification. Évaluez le budget en termes de jours-personnes et semaines-personnes.

1.2.2 Préparation de la vérification

Calendrier de la vérification

Il faut consulter la direction de la fonderie sur cet aspect important. Il est souhaitable que la vérification reflète les conditions d'exploitation optimales, ou près du niveau de capacité de production, de sorte que les données collectées durant la période de vérification révèlent un tableau authentique de l'utilisation de l'efficacité énergétique dans la fonderie, quand elle fonctionne à son maximum. Des niveaux de production inférieurs entraîneront le gaspillage de l'énergie.

Il faut retenir une période de une à trois semaines pendant laquelle la fonderie fonctionne de manière harmonieuse. Cela devrait rapporter de bonnes moyennes de données collectées sur l'énergie, idéalement dénuées de distorsion causée par des conditions anormales d'exploitation dans les divers services de la fonderie.

Souvent, lorsqu'on choisit des périodes de collecte de données plus longues, il se peut que se produisent des anomalies de procédés, des interruptions, etc., ce qui entraînerait des distorsions proportionnellement plus grandes des données, et une consommation d'énergie spécifique plus élevée.

Déterminez la production de référence

Entre autres choses, il est souhaitable d'utiliser les résultats de la vérification pour établir les niveaux de consommation d'énergie, en fonction de la production moyenne. D'habitude, ces données ne sont pas disponibles normalement dans la plupart des fonderies. Cela faciliterait la gestion de l'énergie ultérieurement en ce qui concerne, par exemple, l'établissement d'objectifs de consommation d'énergie, la quantification des économies d'énergie éventuelles, la budgétisation, la planification des dépenses en immobilisations, de même que cela aiderait à établir des coûts actuels réels par unité de production.

Rassemblez les données disponibles

Les statistiques antérieures, comme le coût des combustibles et de l'électricité (annuellement et mensuellement), l'achat de matières premières, les fournitures (sable, agglomérants, grenaille, matières réfractaires, etc.), les données sur l'élimination des déchets (volumes, tonnage, coûts et revenus), les données sur la production (les bonnes pièces, les rebuts, le réusinage, les pertes de matériel) et les données sur la main-d'œuvre devraient être relativement faciles à obtenir dans la plupart des fonderies. Il faut comptabiliser les stocks avant et à la fin de la vérification. Vous aurez besoin de ces renseignements lorsque vous vérifierez ou calculerez le bilan des matières premières et le bilan énergétique.

Obtenez les outils

On convient que les données collectées doivent être les plus précises possible. Les principaux compteurs de conduites de gaz naturel, d'électricité et de conduites principales d'eau sont habituellement entretenus et étalonnés par les services publics respectifs, et sont censés produire des lectures précises. De même, des mesures importantes, par exemple les compteurs de puissance des centres de commande de moteur ou les compteurs d'appel de puissance, sont habituellement précis et peuvent être acceptés comme tels, du moins au début. Par ailleurs, la précision des autres données de la fonderie est habituellement contestable et difficile à évaluer.

L'expérience actuelle montre qu'il existe trop peu de compteurs utilisés ailleurs dans une fonderie canadienne typique. Si d'autres instruments de surveillance et de mesure étaient disponibles, la première chose à faire consisterait à les repérer et à les vérifier. Cet examen fait appel à la vérification : les registres d'étalonnage et d'entretien, de quelle façon leurs spécifications correspondent aux applications, les égalisations de la température et de la pression, de même que leur installation appropriée. Si vous n'avez pas suffisamment de temps pour effectuer toutes ces choses avant la vérification, les anomalies relevées devraient être notées pour la suite à donner.

Il est également utile d'obtenir le schéma de montage, l'organigramme général ainsi que les diagrammes de la distribution de l'électricité, de l'eau et du gaz naturel. On peut se servir d'autres outils pour préparer et analyser les données, comme les calculs à la main utilisés pour de simples contre-vérifications, de même que des tableurs pour l'analyse des données, et des programmes de simulation. Il existe sur le marché des progiciels pour évaluer les données de vérification, effectuer des simulations et trouver des solutions optimales; pour les obtenir, consultez un service public et un certain nombre d'autres sources.

Il faut mesurer l'électricité consommée par les grands appareils. Une fonderie pourrait envisager d'acquérir un analyseur d'énergie pour son programme énergétique continu (complété par un analyseur de phase, nécessaire afin de bien voir le régime sinusoïdal). Cela exigerait un investissement d'environ 4 500 \$. On peut également louer ou emprunter les analyseurs d'un service public d'électricité. Un conseiller pourrait posséder son propre analyseur.

1.2.3 Vérification

Collecte de données

Pendant que vous mesurez et enregistrez les données sur la consommation d'énergie, examinez également les pratiques et les procédures actuelles de la fonderie. Interviewez les ouvriers et les contremaîtres. Observez la façon dont le travail s'effectue. Si cela est nécessaire et faisable, demandez une démonstration. Comparez les données obtenues de diverses sources; vérifiez leur validité. Vous devez obtenir des données objectives et vérifiables.

Juste avant de commencer la vérification énergétique, vérifiez les éléments essentiels. Assurez-vous que les contacts sur les blocs d'alimentation à prises multiples sont serrés; qu'il n'existe pas de point chaud ni de chaleur excessive sur les conducteurs, et qu'ils sont de la bonne longueur, comme le précise le fabricant de l'équipement; que les fours ne fonctionnent pas sur deux phases exclusivement; que les interrupteurs sont dénués de sable; que les inversions de phase ne se produisent pas (incorrectement) sur les moteurs et l'équipement installés; etc.

Centrez la recherche sur les possibilités d'amélioration du rendement énergétique aux endroits où l'énergie est la plus coûteuse – au point d'utilisation finale.

Bilans

Il est utile, dans une vérification énergétique, d'établir le bilan énergétique et le bilan matériel (masse). Ils servent à comptabiliser les intrants et les extrants d'énergie (y compris les flux de déchets), pour un type de bilan donné. Ils servent à contre-vérifier et à concilier les données énergétiques comme l'un des moyens de vérifier la précision des observations de la vérification, et de soutenir ses conclusions. Ils sont utiles pour évaluer l'impact des plans de développement de la fonderie et certains types de projet d'économie d'énergie.

Les bilans comprennent :

- le bilan électrique;
- le bilan du gaz naturel (ou du mazout);
- le bilan de la vapeur et des condensats;
- le bilan hydrique;
- le bilan matériel (des matières premières aux bonnes pièces de fonte);
- le bilan du sable, etc.

On peut entreprendre les bilans pour toute la fonderie ou une partie de celle-ci, en se limitant aux équipements importants touchés (p. ex., le four de fusion, l'utilisation de l'air comprimé, le rendement de la chaudière, etc.). Il est utile de se servir des schémas de procédé d'écoulement et, pour représentation factuelle aussi bien que visuelle, d'inscrire les calculs des flux appropriés sur le schéma d'écoulement.

Aspects touchant la production

S'agissant de vérifier des fours à gaz et à mazout, les vérificateurs peuvent souvent constater qu'il manque de contrôles pour ces types de four. En combustion non maîtrisée, le mélange combustible-air n'est pas optimisé, et le combustible se perd d'une façon ou de l'autre, que le mélange soit trop riche ou trop pauvre. Dans ce dernier cas, les températures du four sont souvent excessives. De plus, il peut y avoir des problèmes métallurgiques liés à la combustion non maîtrisée, comme la présence excessive d'hydrogène dans l'aluminium en fusion.

La vérification peut indiquer plusieurs façons dont l'énergie électrique se perd, ou pourquoi la facture d'électricité consommée est inutilement élevée. Il est possible de relever le manque de surveillance et de commande de la puissance d'appel électrique et du facteur de puissance. Cependant, nous aborderons ces sujets plus bas dans le présent guide.

Le vérificateur doit également prêter attention à l'équipement et à la façon dont il est utilisé pour mieux saisir toutes les pertes énergétiques. Ainsi, évaluez les fours d'attente et de fusion, de même que leurs couvercles; l'état de leur réparation; comment les poches de coulée sont réchauffées; comment le métal en fusion est transporté, manipulé et coulé; ce que sont les gradients de température à chaque stade; etc.

Les structures de la production et les pratiques des procédés ont une énorme influence sur l'efficacité énergétique, et il faudrait les examiner durant la vérification.

De même, une vérification énergétique ferait bien d'examiner le rendement des pièces de fonte et le taux de ferraille (voir le ratio entre les bonnes pièces et le métal coulé à l'appendice 5.2) et de quelle façon la ferraille est utilisée. Il est clair que le rendement des pièces de fonte a une grande influence sur les matériaux et la consommation d'énergie (et surtout, sur les profits de la fonderie).

1.2.4 *Rapport des résultats de vérification*

À la suite de la conclusion de la vérification, on a l'habitude de faire rapport de deux façons :

- Le rapport verbal à la fin de la vérification, qui souligne les observations et les conclusions préliminaires;
- Le rapport écrit peu après, dès que les calculs et les conclusions vérifiés ont été rendus disponibles.

Le rapport de vérification comprend habituellement :

- Des généralités – qui consistent en des descriptions du ou des objectifs et la portée de la vérification; le lieu et la durée; les effectifs et les ressources utilisés; les conditions d'exploitation de la fonderie au moment de la vérification; des observations générales; les difficultés éprouvées pour établir les mesures et les calculs; les observations sur la précision, en particulier quant aux instruments, à leur entretien et à d'autres travaux relevés qui pourraient accroître la précision; les avertissements;
- Le corps principal du rapport comprenant les données d'utilisation de l'énergie, les calculs et les bilans;
- Les conclusions de l'évaluation;
- Les recommandations.

1.3 Comprendre les résultats de la vérification

On compte deux résultats probables de la vérification énergétique :

- L'établissement d'un programme de gestion de l'énergie à l'échelle de la fonderie;
- La priorisation d'un projet d'amélioration du rendement énergétique, indiquée par la vérification, auquel le programme de gestion de l'énergie s'attaquera.

Avec le dépôt du rapport de vérification, une étape clé – la vérification énergétique – vient de se terminer. Le travail diligent et professionnel des vérificateurs énergétiques a produit un rapport dont les résultats reflètent cette tranche particulière de temps où la vérification a été effectuée. Bien qu'il ne soit pas absolu, on peut extrapoler les résultats avec une précision raisonnable au contexte d'exploitation de la fonderie moyenne. L'équipe de direction devrait examiner le rapport de vérification en tenant compte de cela, et décider de la ligne de conduite à adopter.

Les résultats de la vérification énergétique peuvent donner à la fonderie des orientations très concrètes concernant la gestion de l'énergie. Ainsi, une aluminerie pourrait souhaiter changer de sources de combustible pour la fusion, en particulier si un bilan massique a également été effectué. Les pertes de fusion pour l'aluminium, d'habitude 7 p. 100 avec d'anciens fours à gaz, peuvent être ramenées à 0,5 p. 100 dans le cas de la fusion électrique. Pourtant, l'électricité est une source d'énergie plus coûteuse. Néanmoins, si l'on tient compte du coût annuel de l'aluminium perdu (disons 1,60 \$/kg), de même que de l'impact positif de la qualité améliorée des pièces de fonte (c.-à-d. les pertes inférieures pour les rejets et la ferraille, la réduction du réusinage), la période de récupération du passage à l'électricité pourrait se révéler très attrayante.

1.4 Mise en œuvre du programme de gestion de l'énergie

La figure 1 (page 11) illustre le plan général d'un système de gestion de l'énergie. Il représente un scénario idéal, démontré, où les diverses étapes sont envisagées selon un mode rationnel, raisonné et systématique. Essayez d'adopter autant de ces étapes que possible dans votre contexte. Si vous créez un système de gestion de l'énergie réussi, vous serez en mesure de lancer des programmes de gestion de l'énergie fructueux de la même façon.

Engagement de la haute direction

La participation étroite des cadres intermédiaires et supérieurs, de même que leur engagement permanent et visible augmente grandement l'efficacité d'un système de gestion de l'énergie. Dès que sont connus les résultats de la vérification énergétique, le programme de gestion de l'énergie doit prévoir la désignation d'une personne responsable de sa mise en œuvre.

Désignez le champion de l'énergie

Il doit s'agir d'une personne compétente sur le plan technique jouissant du respect et du soutien de la direction et des employés de la fonderie. Le champion doit être une personne d'action – soit un bon organisateur, un animateur chevronné et un communicateur efficace. Le champion fait preuve d'un grand enthousiasme et d'une conviction profonde quant aux avantages du programme d'efficacité énergétique, et il est un propagandiste éloquent de la cause. Pour que le champion ait accès facilement aux cadres supérieurs, il doit s'agir d'une nomination à l'échelon de la direction. La taille de la fonderie détermine si le poste sera à temps partiel ou à temps plein.

Établissez la politique énergétique – suscitez la sensibilisation

Appuyez le lancement du programme de gestion de l'énergie au moyen d'un énoncé de politique ferme provenant du chef de la direction de la fonderie à l'intention des employés. Élaborez la politique énergétique en tenant compte des autres engagements de l'entreprise, des politiques (qualité, production, environnement, etc.) et des objectifs stratégiques.

Peu après, amorcez une campagne de sensibilisation, à l'aide d'un bref exposé, de tableaux, d'affiches, d'envois à la maison, de pièces jointes aux talons de paye, ainsi que d'autres outils de communication convenables, qui expliqueraient les avantages de l'utilisation de l'efficacité énergétique pour toute la fonderie. Tous devraient également connaître les avantages environnementaux plus généraux des améliorations de l'efficacité énergétique – soit de quelle manière la conservation de l'énergie abaissera le niveau des émissions de gaz à effet de serre, et contribuera à lutter contre le réchauffement planétaire.

Décidez des objectifs

Les objectifs de la fonderie doivent être clairement définis, mesurables et atteignables de façon réaliste. Il peut s'agir d'objectifs à court terme ou à long terme. Il faut les communiquer à tous et chacun doit les comprendre.

RNCan publie un excellent document intitulé « Trousse de votre programme de sensibilisation des employés » que vous pouvez obtenir gratuitement à : indust.innov@rncan.gc.ca.

Attribuez les responsabilités

Le champion préside le comité de gestion de l'énergie (CGE) et assume la responsabilité personnelle globale de la mise en œuvre et de la réussite du programme, de même qu'il est comptable de son efficacité. Le CGE comprend des représentants de chaque grand service consommateur d'énergie – de la fusion à la finition et à l'entretien, et des opérateurs de production. Dans les petites fonderies, tout le personnel de direction devrait avoir des tâches visant la réduction de la consommation d'énergie.

Affectez les ressources

L'efficacité d'un programme de gestion de l'énergie dépend du temps et des efforts que peuvent y consacrer les personnes qui sont chargées de sa mise en œuvre. Donc, il est essentiel d'y affecter des fonds appropriés. Sans cela, et si l'on ne désigne pas des gens pour effectuer le travail, peu de choses seront exécutées.

Élaborez des programmes de gestion de l'efficacité énergétique

Déterminez des objectifs et des mesures

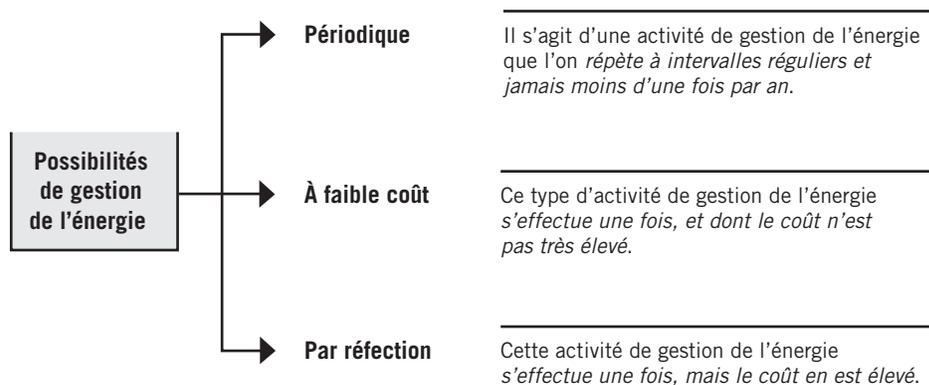
Établissez des priorités

Voir la section 3.0 (page 100), où ces sujets sont traités en contexte.

Élaborez des plans d'action

Le plan d'action est une carte routière, un outil de gestion et de contrôle de projet. Il faut y préciser les responsabilités, les tâches précises, les ressources (fonds, effectifs, formation, etc.) et les échéances des projets particuliers et de leurs stades. Il existe dans le commerce plusieurs progiciels de gestion de projet pour faciliter la création, par exemple de graphiques Gantt dont on se sert pour surveiller et contrôler la réalisation des projets, les coûts, etc.

À l'occasion du choix de projets d'efficacité énergétique pour mise en œuvre, on recherche des **possibilités de gestion de l'énergie (PGE)**. D'habitude, nous pouvons les diviser en trois catégories :



Nous nous servons de cette classification pour décrire les PGE plus loin.

Formez les ressources clés

Il est avantageux de pouvoir organiser la formation en deux stades. Le premier s'adresse à certains employés, à savoir ceux qui participent au programme de gestion de l'énergie et ont une plus grande influence sur la consommation que d'autres. Le second – qui suit en temps opportun – est une stratégie d'intégration de la formation de la gestion de l'énergie dans la grille actuelle de la formation dans l'entreprise, afin de s'assurer que la formation énergétique est couverte régulièrement. Une formation générale d'équipe, par exemple en gestion de conflits et en résolution de problèmes, doit également être offerte aux membres du CGE.

RNCan parraine un certain nombre de cours d'amélioration de l'efficacité énergétique, en collaboration avec des collèges locaux et le CEMET dans tout le Canada. D'autres sources de formation sont accessibles par le biais des entreprises de service public, etc.; voir la section 4, Sources d'aide, plus bas.

Mettez en œuvre des projets

Considérez un projet par rapport à un autre – le fait de les lier contribuera à rendre votre projet cohérent et vous bénéficierez des synergies des autres projets. Il est payant de commencer par des projets de « formation » qui rapportent peut-être des économies modestes, mais rapidement réalisables, en particulier s'il s'agit de projets visant à corriger des sources évidentes de gaspillage révélées par la vérification énergétique initiale. Les premières réussites encouragent l'équipe à s'attaquer à des projets plus importants et à rechercher des économies plus grandes. En acquérant plus de confiance, ils s'attaqueront à des secteurs où la consommation d'énergie est moins évidente, comme les cas où l'utilisation de l'énergie intervient dans les systèmes de chauffage et de ventilation de la fonderie.

Surveillez les progrès

Consolidez les gains – établissez de nouveaux objectifs

Communiquez les résultats

Veillez vous reporter à la section 3.0 (page 100) où ces sujets sont traités en détail.

Célébrez la réussite

Voilà une partie du programme que l'on néglige souvent, mais qui est quand même très importante. Les gens recherchent et valorisent la reconnaissance. On peut se servir d'une foule de moyens pour reconnaître les réalisations et souligner la contribution des équipes (plutôt que de personnes en particulier – ce qui peut semer la discorde !): donnez des t-shirts, des chapeaux thématiques et autres articles, des déjeuners, pique-niques, billets pour assister à des rencontres sportives parrainées par l'entreprise, croisières – il n'y a pas de limite. L'atteinte d'un objectif devrait être fêtée comme un jalon sur la voie de l'amélioration continue de l'efficacité énergétique dans la fonderie.

Examinez les résultats

Pour que la question de la gestion de l'énergie continue de susciter de l'intérêt, il faut soumettre des rapports à intervalles réguliers à l'équipe de gestion. Ces mises à jour devraient être des points permanents à l'ordre du jour des réunions

Conseil

Tirez parti des synergies de divers projets pour en arriver à de plus grandes économies d'énergie.

Célébrer la réussite constitue un outil de motivation qui se traduit également par la fin psychologique d'un projet.

d'analyse de la gestion des opérations, tout comme le sont les questions de qualité, de production, de finances et d'environnement. On y analyse les résultats des projets mis en œuvre, on apporte des rajustements, on solutionne les conflits et les aspects financiers sont pris en compte.

La recherche d'autres possibilités est la base de l'**amélioration continue**, que l'on devrait promouvoir pour le bien de toute organisation.

Vérifiez l'efficacité

Le projet a-t-il répondu aux attentes ? L'amélioration de l'efficacité énergétique mise en œuvre est-elle efficace ? Est-elle entretenue ? Pour appuyer la crédibilité des efforts de gestion de l'énergie, il faut vérifier l'efficacité des mesures adoptées, de sorte que les rajustements puissent être effectués et que les projets futurs puissent être mieux gérés.

Examinez les possibilités d'amélioration futures

Souvent, un projet débouche sur une autre idée. Le programme d'amélioration du rendement énergétique est un effort constant. En définitive, il faut encourager le CGE et tous les employés à examiner et réexaminer d'autres possibilités pour obtenir des gains supplémentaires, de façon continue. Dans certaines entreprises, il s'agit d'un point permanent à l'ordre du jour des réunions du CGE.

Corrigez les anomalies

Les renseignements obtenus par l'observation des données, les commentaires provenant du CGE et d'autres sources, l'examen des résultats et la vérification de l'efficacité du projet peuvent indiquer que des mesures correctives sont nécessaires. Il incombe au champion de la gestion de l'énergie de décider des mesures correctives avec l'équipe du CGE ainsi que les employés du secteur en cause. Cela permet de déterminer la cause principale de l'anomalie et d'amorcer la mesure corrective requise. Les projets d'efficacité énergétique à venir tireront parti de ces leçons.

Rappelez-vous qu'il faut documenter ces mesures, au besoin. Cela devient un historique des faits et constitue un outil d'apprentissage pour éviter des erreurs dans d'autres projets.

Examinez les politiques énergétiques, les objectifs, les programmes d'amélioration du rendement énergétique et les plans d'action

Cette étape assure la pertinence continue et l'actualité de la politique énergétique. Les objectifs la soutiennent. Vu qu'ils évoluent avec le temps, les passer en revue est nécessaire pour faire en sorte que les priorités sont maintenues étant donné le contexte actuel. Un examen annuel ou semestriel est probablement la meilleure fréquence dans cette tâche.

Le programme d'amélioration du rendement énergétique et les plans d'action sont des documents « vivants ». Leur mise à jour et les révisions fréquentes à y apporter sont nécessaires, au fur et à mesure que des projets sont mis en œuvre et que de nouveaux projets sont lancés, et par suite de l'évolution du contexte commercial. C'est le champion de la gestion de l'énergie qui dirige cette activité. Il lui faut obtenir de la rétroaction du CGE, d'autres personnes et par la suite, il cherchera à obtenir l'approbation des mises à jour de la part de l'équipe de direction.

1.5 Participation des employés

Le programme de gestion de l'énergie serait de peu de valeur sans la participation de tous dans la fonderie – des gestionnaires aux balayeurs. Le changement de culture appelle la participation de tous. La participation active de tous les employés aux mesures de conservation de l'énergie et aux améliorations du rendement énergétique sont nécessaires.

La première étape consiste à accroître la sensibilisation à l'énergie. Centrez vos efforts sur l'élimination des pratiques de gaspillage, sur de meilleures habitudes d'entretien, en premier lieu.

- Formez une équipe de volontaires provenant de divers services, et baptisez-les d'un nom accrocheur (p. ex., les Super-économiseurs, les Coupeurs de coûts énergétiques, les Énergiseurs, etc.). Lancez la chose avec panache !
- Montez une campagne de publicité : servez-vous des moyens actuels de communication pour stimuler l'intérêt. Envoyez par la poste des bulletins d'information spéciaux aux employés, utilisez des affiches, des fiches d'information et des cahiers d'efficacité énergétique pour tous les employés – vous pouvez obtenir une foule de ces documents de diverses sources.
- Expliquez les bonnes méthodes d'entretien simples. Pour vous concentrer sur un type d'énergie à la fois, vous pouvez traiter de trois points distincts, soit sur le gaz naturel, l'électricité et l'air comprimé.
- Ne cessez pas d'encourager, de surveiller les progrès et de signaler les améliorations.
- Ne lâchez pas tant que le changement ne sera pas permanent.

Diverses approches peuvent tout aussi bien fonctionner. Une entreprise a décidé qu'il était impraticable de former l'ensemble de ses employés à reconnaître le gaspillage d'énergie et à le réduire. Ainsi, seuls les cadres intermédiaires ont été choisis puisqu'ils étaient en mesure d'avoir de l'influence sur l'utilisation de l'énergie, à la fois directement et en motivant leurs équipes. Un cours de formation a été conçu avec l'aide de l'extérieur (services publics d'électricité, entreprises de gaz, RNCan).

Il comprenait quatre modules de deux heures dispensés pendant des pauses du midi prolongées – un module par semaine, au coût de 150 \$ par personne. Au départ, le cours incitait les participants à effectuer une vérification énergétique de leur maison, puis à tracer des parallèles avec la consommation d'énergie à leur lieu de travail. Ils ont exécuté une vérification énergétique de leurs propres services et ont fait participer d'autres personnes. Cela a donné une réduction de 3 p. 100 du total de la facture d'énergie, et une période de récupération de seulement trois semaines.

Avant la tenue du projet, seuls 10 p. 100 des effectifs adoptaient régulièrement des mesures d'économie d'énergie pratiques. Ce pourcentage est passé à 85 p. 100 après le projet. Les programmes de suggestions peuvent aider également. Il faut cependant qu'ils soient maintenus de façon systématique et constante pour donner des résultats de façon durable. D'après certains, il vaut mieux baser ces programmes sur une approche d'équipe plutôt que de les laisser à l'initiative individuelle. Cela

réduit la possibilité des rivalités personnelles. Une autre solution consiste à voir la question de l'efficacité énergétique dans une fonderie comme une possibilité d'amélioration continue, et de recourir à un certain nombre de techniques démontrées pour y parvenir : par exemple, les cercles de qualité, Kaizen, la Gestion de la qualité totale (GQT), etc. Bien sûr, dès que le système de gestion environnementale ISO 14001 est mis en œuvre, l'amélioration continue est intégrée à cette norme internationale comme une exigence clé dans toute l'organisation. Des programmes d'amélioration du rendement énergétique sont souvent retenus par l'organisation pour atteindre ses objectifs globaux (voir la section 2.1.11, page 37).

La formation continue aide également; ainsi, une fonderie de l'est de l'Ontario investit deux heures de formation par employé par semaine en guise de politique. Une partie de la formation porte également sur des questions d'efficacité énergétique.

2.0

S'inspirer en vue des possibilités de gestion de l'énergie

2.1 Pratiques générales de gestion dans une fonderie

2.1.1 Conception du bâtiment et aménagement

L'occasion de concevoir une fonderie et de préparer un schéma efficace des procédés et de l'équipement se produit rarement. Il s'agit d'un sujet complexe, bien au-delà de la portée du présent guide. Pour essayer de trouver une solution idéale, il faut concilier beaucoup d'exigences souvent conflictuelles. Par exemple, une nouvelle fonderie doit :

- utiliser l'espace disponible dans le bâtiment de façon optimale;
- faciliter le flux naturel du processus, avec un accès facile pour le transport, les opérateurs et l'entretien dans la fonderie;
- offrir un lieu de travail sain et respectueux de l'environnement;
- prévoir la future expansion de la fonderie de sorte qu'elle pourrait fusionner organiquement avec les activités actuelles;
- réduire les distances de transport des matériaux (p. ex., la ferraille, les rendus, le sable, les moules) et convoier les métaux fondus;
- prévoir un entrepôt sec et à température ambiante pour les matières premières, en particulier la ferraille;
- inclure une disposition pour utiliser toutes les occasions importantes de conservation de l'énergie, décrites ailleurs dans le présent guide;
- disposer de systèmes efficaces de ventilation et de dépoussiérage, qui font appel à des sources disponibles locales de chaleur perdue pour le chauffage en hiver.

L'expression « Possibilités de gestion de l'énergie » (PGE) traduit les moyens par lesquels nous pouvons utiliser l'énergie de meilleure façon pour économiser.

Du point de vue de l'énergie, le plus gros problème de planification consiste à alimenter les fours de ferraille et de rendus, et de faire parvenir le métal en fusion à l'écoulement de façon aussi efficace que possible. La planification médiocre de ces deux systèmes de convoyage essentiels peut de fait *doubler les coûts énergétiques* !

On peut procéder à une planification appropriée de l'évacuation localisée de la poussière ou des émissions produites par des appareils, après le stade de la conception du schéma de production plutôt qu'avant. Sinon, cela entraînerait un surdimensionnement des systèmes de ventilation de la fonderie, ce qui gaspillerait l'énergie pour effectuer les changements d'air et réchauffer l'air d'appoint.

La nouvelle fonderie doit tendre vers un niveau de rendement plus élevé que ce qui existe, dans chaque aspect. L'obligation d'améliorer l'efficacité énergétique doit faire partie de la conception et être quantifiée car cela offre une contre-vérification utile. La fonderie actuelle peut comparer la consommation d'énergie spécifique, **X**, en MJ/kg de produit (unité de produit), à la consommation

d'énergie spécifique prévue, **Y**. La valeur prévue serait une estimation serrée à ce stade, étant donné les diverses questions d'élaboration du projet, et serait basée sur les données du fabricant en ce qui concerne certains appareils importants. La valeur **Y** tiendrait compte de toute l'énergie importée dans les activités, de laquelle l'énergie récupérée par les nouvelles caractéristiques de conservation de l'énergie du projet (comme l'eau chaude pour chauffer le bâtiment en général, la vapeur provenant d'une installation de cogénération) a été soustraite. L'efficacité énergétique de la nouvelle fonderie s'exprimerait alors comme suit :

$$E (\%) = [(X - Y) / X] \times 100.$$

Cette approche, pratiquée par certaines grandes entreprises industrielles bien connues fait en sorte que les caractéristiques d'économie d'énergie sont intégrées dans chaque nouveau projet d'immobilisations, qu'il s'agisse de bâtiment, d'une conduite de coulée ou d'acquisitions individuelles d'équipement.

Chaque nouveau projet doit faire face à des compromis entre ce qui est souhaitable et ce qui est possible étant donné les limites du projet, comme le budget, les locaux, etc. L'efficacité énergétique d'un projet est l'un des critères que l'on peut soumettre à ces considérations. L'explication d'une technique simple à employer pour juger des effets qu'ont les compromis sur un projet est décrite à la section 3.3 du présent guide (page 103).

2.1.2 Facteurs de transport et de distribution

Pour décider de l'emplacement d'une nouvelle fonderie, les questions de transport jouent un rôle parmi une foule d'autres considérations, comme la disponibilité des terres, l'absence de contamination des terres précédentes, le contexte local du milieu des affaires, la disponibilité et le coût des services publics, etc. Le coût des transports et sa part dans les frais généraux deviennent de plus en plus importants. Quand on aborde la question des transports, il est souhaitable d'adopter un point de vue plus large concernant les émissions et ce que l'on peut faire pour réduire l'impact de la fonderie sur la production des gaz à effet de serre dans le fonctionnement de l'équipement de transport. En ce qui concerne les transports, voici un certain nombre de points à envisager dans le cas d'une nouvelle fonderie :

- La proximité des gros clients (potentiels), en particulier s'il s'agit de livraisons effectuées juste à temps;
- La proximité des grands concurrents (disponibilité éventuelle d'une main-d'œuvre compétente);
- L'accès facile au transport de surface;
- L'accès facile au chemin de fer (possibilité d'un embranchement de voie ferrée sur place);
- La possibilité d'une utilisation bidirectionnelle de la capacité de chargement (entrée des matières premières, sortie des produits).

Pour ce qui est des fonderies existantes, la question des transports se ramène au fait de s'assurer que les coûts des transports, en \$/km parcouru, et l'entretien du parc (si la fonderie en est propriétaire, exprimée de la même façon) sont réduits. Dans le premier cas, la fonderie doit s'assurer d'éliminer les voyages inutiles. On peut y parvenir en combinant les livraisons, en optimisant les trajets et en s'assurant que la charge utile peut également être garantie dans le voyage du retour.

Il peut valoir la peine de s'enquérir des possibilités de livraison et d'approvisionnement avec d'autres entreprises dans le voisinage, et d'aborder la question avec votre service des transports. Cela inclut également des discussions sur les tarifs des marchandises et les services offerts par la compagnie de chemin de fer locale.

Il faut effectuer l'entretien préventif régulier des camions de la fonderie afin de réduire l'incidence des pannes, d'allonger la vie utile des camions et de réduire les frais d'exploitation (comme la consommation de carburant).

Autres PGE

Périodique

- Entretenez tous les véhicules, y compris les chariots élévateurs à fourche, afin qu'ils soient en bon état.
- Ne tolérez pas le ralenti; coupez le contact si le camion est en attente, durant les déchargements, les pauses, etc.
- Utilisez le camion approprié à la tâche.
- Combinez les livraisons aux ramassages ou aux visites de vente si possible.
- Optimisez les itinéraires de transport et de visites de vente.

2.1.3 Influences de la conception

Idéalement, le processus de conception devrait déboucher sur des moules optimisés, ce qui permet de produire des produits moulés de bonne qualité, aptes à l'utilisation, dans le plus court délai possible, et moyennant un ratio élevé de rendement au plus bas coût possible. Certaines des caractéristiques d'une bonne conception, qui peuvent améliorer le rendement, sont décrites ci-dessous. La conception n'inclut pas seulement la pièce coulée. Elle doit tenir compte également de la technologie employée pour la fabriquer. Dans de tels cas, l'expérience et les pratiques exemplaires décrites dans d'autres sections peuvent s'appliquer.

La dépendance traditionnelle sur l'expérience de la fonderie et l'approche par tâtonnements rendent le développement de nouvelles conceptions de produits moulés dispendieuses et lentes. Essayer de solutionner des défauts imprévus dans les pièces coulées est aléatoire et exige du temps et des efforts. La majorité des défauts sont causés par l'utilisation de distributeurs et de chenaux de coulée mal placés. La technologie du **prototypage rapide** fait appel à la simulation informatique et à la vidéographie par rayonnement pour optimiser leur localisation.

Simulation informatique

Le recours à la simulation informatique (p. ex., avec des logiciels puissants comme Magmasoft[®], Finite Element Solidification Analysis EKK[®], CastView[®], Pro/Engineer[®], Flow-3D[®], Unigraphics[®], SolidEdge[®]) accélère énormément le développement de la conception des produits moulés et comprend un certain nombre d'autres avantages :

- Produit un modèle tridimensionnel de la pièce coulée qui comprend la disposition proposée des distributeurs et des chenaux de coulée;
- Prédit la séquence de refroidissement des diverses sections et de la pièce coulée en entier. Elle peut permettre de visualiser la solidification, et les images peuvent être combinées en séquence pour produire une image de la pièce coulée et du refroidissement;

La simulation informatique réduit les délais d'approvisionnement des échantillons de pièces coulées, réduit le temps de fabrication des moules et les coûts de modification, limite la ferraille causée par la porosité par retrait et, en réduisant le nombre de rejets chez le client, améliore la confiance du client.

- Permet d'apporter toutes les modifications voulues à la conception, et de tenir un registre permanent pour chaque stade et les prédictions résultantes;
- Contribue à moins utiliser de métal (augmentant le rendement de la pièce coulée), en positionnant soigneusement les distributeurs et en utilisant des isolants exothermiques et des refroidisseurs;
- Prédit où les retraits surviendront probablement;
- Permet d'optimiser les rajustements des distributeurs et des chenaux de coulée, avant de procéder au moulage;
- Facilite le dépannage, par la modélisation, afin de repérer la cause des défauts imprévus du moulage.

Tout ce qui précède amène directement des améliorations du rendement énergétique. Le coût initial d'une simulation informatique, y compris le logiciel et la formation, peut coûter au-delà de 100 000 \$ et s'accompagner de frais d'actualisation annuels importants. Toutefois, dans un cas documenté concernant deux fonderies d'outre-mer, le taux d'amélioration du rendement se situait à plus de 20 p. 100, et les périodes de récupération s'échelonnaient de trois à huit mois.

Vidéographie à rayons X

Cette technologie contribue à valider la simulation informatique. Elle permet une approche scientifique face à la conception des moules. Elle permet de voir le flux de métal en fusion à travers des cavités du moule et aide à concevoir les moules de façon optimale.

Filtres

Si l'on conçoit des moules ou des matrices pour des produits moulés non ferreux, il serait bon d'intégrer des filtres en céramique dans le métal en fusion afin d'en tirer de nombreux avantages (voir la section 2.3.6 à la page 74).

Alléger les tubes de refoulement

Envisagez d'adopter la pratique des aciéries qui consiste à isoler les tubes de refoulement pour en réduire le poids. Il est possible de réduire le poids original du sixième et moins.

Alléger les produits moulés

Essayez de savoir si vous pouvez retirer du métal de la pièce coulée demandée par le client sans nuire aux propriétés fonctionnelles requises (comme la force et la durabilité). Si l'on fait exception des aspects pratiques du coût et des profits (davantage de pièces produites par tonne de métal), le procédé économiserait de l'énergie normalement requise.

Moulage par robot

Le procédé de conception qui utilise des robots pour le moulage (si cela est justifié par le type et la taille des activités de la fonderie, de même que pour d'autres tâches) améliore la production, la qualité (c.-à-d. l'uniformité) du produit, de même que l'efficacité énergétique, puisque l'on réduit ainsi la quantité des rejets.

Coulée en mousse perdue

Dans les fonderies où elle est applicable, cette nouvelle technologie a bien des avantages. Elle réduit les coûts et améliore les possibilités de conception. Elle permet de mouler même des pièces très complexes en une seule coulée. On peut

adjoindre davantage de caractéristiques à la pièce coulée. Les pièces produites à l'aide de la coulée en mousse perdue sont très précises et le procédé ne laisse pas d'imperfections notables ou de métal excédentaire que l'on doit ébarber. L'introduction de la coulée en mousse perdue est un changement technologique important, et elle est impressionnante sur le plan économique car elle permet de produire davantage (trois ou quatre fois plus). Les outils de coulée en mousse perdue ont une durée de vie beaucoup plus longue par comparaison aux outils classiques, et on peut réaliser jusqu'à 30 p. 100 d'économies d'énergie.

Recuit dans le moule

Pour certains métaux et conceptions de moule, vous pourriez analyser s'il est faisable de recourir au recuit dans le moule. Cela éliminerait le traitement de la chaleur subséquent et pourrait faire partie d'une conception avisée.

2.1.4 Ordonnancement de la production, productivité et contrôle des procédés

Nous abordons ces sujets dans tout le guide, d'où ces quelques points supplémentaires.

Durant la semaine de travail normale, les arrêts de production le vendredi soir et les démarrages le dimanche à minuit ou le lundi matin causent des pertes d'énergie dans les fours, les fours d'attente, les poches de coulée, etc. Le marché exigeant une production uniforme, et après avoir tenu compte des économies, certaines fonderies ont adopté le *déplacement de l'appel de puissance*. On néglige souvent les avantages de ce type de déplacement en ce qui concerne les économies d'entretien et d'énergie. L'entretien courant de la fonderie s'effectue les mardis, par exemple, et les entrepreneurs effectuent leur travail à des tarifs horaires courants, non à des primes de fin de semaine comme auparavant. De plus, l'appel de puissance de la fonderie s'en trouve réduit durant la semaine, et il est possible d'obtenir des tarifs d'électricité de fin de semaine moins dispendieux.

Dans les fonderies qui font appel à l'électricité pour la fusion, l'*analyse de l'appel de puissance électrique* et les frais connexes peuvent constituer une donnée précieuse pour l'ordonnancement de la production. Les frais d'électricité peuvent être considérés comme un coût fixe tous les mois. En outre, il existe habituellement un modèle prévisible de l'appel de puissance général dans la fonderie. L'appel de puissance du tablier de fusion coïncide souvent avec l'appel de puissance général de la fonderie, et cela entraîne une pénalité de l'appel de puissance de crête qui s'applique pendant tout le mois. En ordonnant la production d'une autre façon, il est possible de déplacer l'appel de puissance pour la fusion à une autre période de la journée, ce qui réduit les frais d'appel de puissance de crête. En fait, cela créerait une zone d'appel de puissance «*grat*is » où le service de fusion pourrait fonctionner sans encourir de pénalité excessive.

Une poussée de productivité signifie une meilleure utilisation de la fonderie et de ses équipements, ainsi que de l'énergie nécessaire. Souvent, l'avantage caché de l'énergie spécifique moindre (et bien sûr des frais de main-d'œuvre pas cachés du tout) est négligé en raison d'une plus haute productivité. Pour illustrer la composition des pertes, citons le transfert du métal en fusion du four au poste de coulée. Il arrive souvent que la distance puisse être un facteur, notamment que la

Connaissez-vous le coût total d'une heure de panne dans votre fonderie ?

Conseil

Envisagez de tenir les employés au courant des indicateurs économiques clés dans la fonderie : la productivité, le rendement, la sécurité, la ferraille, l'atteinte du plan de production (dans des fonderies à programmes de partage des bénéfices : versements mensuels, total accumulé). Tout cela contribuera à motiver les employés et à les intéresser à améliorer les résultats.

La préoccupation principale de tout gestionnaire de l'énergie dans une fonderie est d'améliorer le rendement. Cela réduit automatiquement le gaspillage interne de l'énergie, des matières premières et de la main-d'œuvre, en plus d'engendrer des économies correspondantes.

poche de coulée qui renferme le métal puisse ne pas être bien alignée ou couverte pour limiter les pertes importantes dues à la convection et au rayonnement. Pour faire en sorte que le métal soit coulé à la bonne température, il se peut que le four puisse devoir chauffer le métal à une température beaucoup plus élevée. Non seulement l'énergie est-elle gaspillée dans le four mais son chemisage est exposé à l'usure excessive, de sorte que la productivité en souffre également.

Une fonderie en Ontario a amélioré sa productivité quand elle s'est convertie à la fabrication de cellules précaractérisées. Parmi les autres avantages, citons une meilleure sensibilisation à la qualité, l'amélioration des relations avec la clientèle, la fierté retrouvée et la maîtrise du processus.

Le recours à la robotique pour les opérations répétitives, comme la manipulation des formes et des produits moulés, les opérations de finition, le coupage des vannes et des tubes de refoulement, le retrait de l'éclair, etc., amènent une amélioration de la qualité, qui peut être combinée avec l'inspection automatisée, ce qui permet le suivi des produits. En général, cela améliore la qualité par l'uniformité et la répétabilité des activités. Enfin, cela augmente de beaucoup la productivité par rapport aux méthodes manuelles.

Une meilleure maîtrise des procédés signifie également un meilleur contrôle des coûts qui fait intervenir la surveillance et la comptabilité des coûts énergétiques. Un peu plus loin, nous aborderons la façon d'utiliser l'électricité et les combustibles pour les optimiser à l'aide des contrôles appropriés. Avec comme résultat que les fonds économisés peuvent être orientés vers des améliorations du rendement énergétique.

Une grande fonderie en Ontario constitue une très bonne illustration à cet égard car à des points stratégiques, le coût des ingrédients et d'autres matières par livre utilisés dans la fonderie sont affichés bien à la vue. Le message implicite est : ne gaspillez pas les ressources !

2.1.5 Être centré sur le rendement

Le rendement des produits moulés a un impact énorme sur la rentabilité de la fonderie. Ce rendement doit déjà avoir été pris en compte au stade de la conception. L'importance de l'amélioration du rendement pour réduire la consommation d'énergie est déjà bien illustrée dans les fonderies de fer : le rendement moyen de 50 p. 100 signifie que pour chaque tonne de produit moulé vendable, une autre tonne doit être mise à la ferraille, manipulée, transportée, refondue et remoulée.

Nous mentionnons dans tout le guide des pratiques qui amènent un meilleur rendement. Nous avons insisté sur le fait que le moyen d'améliorer le rendement commence aux stades du moulage et de la conception du processus (sections 2.2.1, 2.3, etc.), et nous avons précisé plusieurs facteurs qui contribuent à améliorer le rendement. L'un de ceux-là, qui a été utilisé dans les aciéries, consiste à réduire le poids du tube de refoulement en l'isolant. Si le tube de refoulement se solidifie beaucoup plus tard que le moulage, il est probablement trop gros; il gaspille de l'énergie par la suite en plus, car il faut couper l'épaisseur excédentaire, et cela entraîne plus de ferraille à manipuler et à refusionner.

Autres PGE

Périodique

- Réexaminez et remettez en question les pratiques actuelles pour justification et PGE.
- Essayez d'optimiser la disposition des modèles dans le moule.
- Essayez de faire entrer un modèle plus petit dans les moules existants.
- Vérifiez le taux de refroidissement des tubes de refoulement avec les thermocouples à immersion, enregistrez les températures à établir, si le taux du tube de refoulement et la solidification des modèles est optimal.

À faible coût

- Envisagez de recourir à l'enrichissement de l'oxygène dans le four de fusion pour augmenter la température du métal et maintenir la composition chimique : le fer froid d'une composition chimique médiocre provoque beaucoup de rejets, ce qui diminue le rendement.

Par réfection; à coût élevé

- Voyez s'il serait avantageux de remplacer votre moulage rigide actuel par un moulage à haute pression de même que l'équipement et les procédés appropriés.
- Comme la porosité et les vides causés par le rétrécissement et les défauts de moulage accroissent le taux des rejets, envisagez une combinaison de dégazage métallique, d'addition de flux et de filtration métallique efficaces pour assurer des pièces moulées sans porosité et sans oxyde.

2.1.6 Ferraille et recyclage

L'élément de coût le plus élevé d'une bonne pièce coulée est le coût de la matière première. Ce qui, en revanche, est influencé par le coût de la ferraille acquise. Ajoutez à cela le coût de l'énergie, l'appel de puissance, les produits consommables et la main-d'œuvre pour en arriver au coût unitaire à la busette de coulée – le coût du métal coulable par kilogramme. La ferraille interne, qui est retournée à la charge, est une matière première précieuse, et on devrait la traiter comme telle. Le coût des rendus internes est souvent considéré comme étant égal au coût à la busette de coulée, moins le crédit accordé aux produits consommables, qui sont eux-mêmes ajoutés au métal coulé précédemment. Cela signifie que le coût métallique est indépendant soit du rendement ou de la proportion des rendus à la charge : la haute valeur des rendus internes est ainsi confirmée.

La ferraille a bien sûr un contenu élevé en termes d'énergie et de main-d'œuvre car elle a déjà franchi tout le processus une fois. De même, elle retranche une partie du rendement. De ces points de vue, la ferraille représente un énorme gaspillage et une perte de vente. À la section 2.1.10 (page 35), nous prétendons que, selon la méthode de la capitalisation du coût entier, le coût de la ferraille dépasse les coûts nominaux à la busette de coulée. Les efforts en vue de limiter la proportion de ferraille à chaque stade du procédé de moulage, et de la convertir en produits vendables, devraient être faits. Lorsqu'on tient des registres simples de l'incidence et de l'emplacement de la ferraille, p. ex. la ferraille des moules et des noyaux, on s'aperçoit tout de suite des points à améliorer.

Le coût des rendus internes est de fait supérieur aux coûts à la busette de coulée du four.

Autres PGE

Périodique

- Empêchez la production de ferraille en maintenant des contrôles appropriés des procédés et corrigez les pratiques d'exploitation (p. ex., les températures et le dégazage du métal en fusion).
- Récupérez tout le métal des rejets, des rognures, des convoyeurs à secousses, etc.
- Réexaminez le coût et les avantages de la vente actuelle de la ferraille interne à des transformateurs externes.

2.1.7 Questions énergétiques et gestion du changement

Il s'agit d'une bonne pratique, quand on change un procédé ou que l'on envisage l'acquisition ou la modification de l'équipement, de songer aux effets possibles que le changement pourrait créer dans les activités. L'expression utilisée normalement pour décrire ce processus est la *gestion du changement*. Souvent, l'analyse du changement n'est pas effectuée, ou elle est exécutée d'une façon non uniforme et non systématique. Les avantages en sont précisément le fait d'éviter des surprises imprévues et désagréables plus tard. Il n'est pas toujours possible de rectifier les désavantages qui en découlent; toutefois, cela exige toujours des dépenses inutiles et supplémentaires d'effort et d'argent.

Le processus de « réflexion » doit avoir déjà commencé au stade conceptuel, par l'auteur de la proposition de changement. On peut se servir de plusieurs critères, comme des critères d'ordre financier, les possibilités de production, la main-d'œuvre, les compétences nécessaires, l'automatisation, l'entretien, les produits consommables, l'environnement et les aspects énergétiques du projet. L'évaluation des critères essentiels devrait suivre le modèle économique des processus compensatoires que nous décrivons à la section 3.3 (page 103).

Au fur et à mesure que le projet est retouché, et soumis pour examen et approbation à la hiérarchie organisationnelle, il faut que les mêmes questions soient posées par tous les participants au processus. Il est fort possible que les analystes apporteront différents points de vue dans l'évaluation, et que certains points négligés attireront l'attention voulue. Le changement proposé doit également être étudié par son interaction avec d'autres éléments des activités. L'un des outils que l'on peut utiliser pour l'examen collectif est la liste de contrôle. Il peut s'agir également d'un formulaire de demande de capitaux (ou un formulaire de demande de changement technique, un formulaire de demande de changement de procédé, etc.). On peut facilement modifier ces formulaires pour inclure tous les critères pertinents du projet, de même qu'un espace prévu pour les signatures des analystes.

Dans les entreprises bien gérées, la gestion du changement est bien implantée et régie par des procédures, afin qu'elle soit suivie de manière uniforme.

Le résultat de la gestion du changement devrait déboucher sur une intégration ordonnée du changement dans des activités d'ensemble améliorées, et l'élimination des effets indésirables possibles.

La responsabilité de la gestion du changement est donc retracée pendant tout le processus d'approbation.

2.1.8 Gestion de l'énergie comme matière première

Le système de gestion général d'une fonderie devrait comporter un élément énergétique. Autrement dit, l'énergie devrait être gérée de manière systématique et uniforme. L'approche disciplinée et structurée fait en sorte que les ressources énergétiques sont fournies et utilisées de manière aussi efficiente que possible. Il s'agit du principe élaboré au Royaume-Uni que l'on appelle la technologie Monitoring and Targeting (M&T) de la gestion de l'énergie. Elle est également applicable à toute autre ressource, comme l'eau ou le cycle produit-processus. C'est l'informatisation qui l'a rendue possible.

Cette technologie précise que l'énergie et les autres services publics sont des coûts directs et contrôlables qui devraient être surveillés et contrôlés comme tout autre segment des activités, tels la main-d'œuvre, les matières premières et la distribution des produits. Elle ne prétend pas attacher une importance plus grande aux coûts énergétiques que cela est justifié par leur proportion des coûts contrôlables. Dans les fonderies cependant, l'énergie est un élément de coût important.

La mise en application de la technologie exige un changement de mentalité : contrôler l'énergie implique de l'imputabilité de la part des personnes chargées des activités. Le processus M&T commence par la division, dans la fonderie, en centres imputables de l'énergie. Les centres de coût doivent correspondre aux centres actuels de comptabilité de gestion (p. ex., la fusion, la finition, etc.). Dans chaque centre, il faut surveiller la consommation d'énergie; même les appareils consommateurs d'énergie importants peuvent être surveillés. Cela dépend de l'installation d'appareils appropriés de surveillance et de mesure, dont les données sont envoyées à un ordinateur central de surveillance.

Les données sont continuellement collectées et analysées. Les superviseurs, les employés d'entretien et les opérateurs ont accès à l'information qui leur permet de peaufiner les activités de la fonderie. Des aberrations comme les pointes de consommation excessive peuvent faire l'objet d'une enquête et être réglées rapidement.

Au départ, le système construit une base de données historiques – en établissant une base par rapport à laquelle les améliorations futures seront reliées. Il est nécessaire que pour chaque élément surveillé (p. ex., le rendement du four) d'élaborer un indice convenable par rapport auquel le rendement sera évalué. Pour chaque indice, il faut calculer une norme de rendement à partir de données historiques. Toutefois, elle doit refléter des facteurs qui peuvent avoir un effet important sur le rendement.

D'habitude, il peut y avoir une absence de données historiques à cause du manque d'instruments. Dans de tels cas, plusieurs mois de collecte de données aideront à établir la norme. Les gestionnaires en cause doivent se mettre d'accord sur les normes qui en découlent. À partir des normes, on peut s'entendre sur des objectifs de consommation d'énergie futurs individuels et progressifs de la part des gestionnaires en cause, objectifs qui seront *perçus* comme réalistes et atteignables. Les objectifs représentent des améliorations dans l'efficacité de l'utilisation de l'énergie. Pour en savoir plus sur l'établissement des objectifs, consultez les sections 3.4 et 3.5 (pages 110 et suivantes).

Dans une entreprise, un projet n'est pas approuvé tant que le proposant n'a pas épuisé toutes les avenues qui prouvent que, dans les spécifications du projet, une meilleure solution – y compris la consommation d'énergie – n'est pas disponible.

Un système de surveillance énergétique permet au programme d'économie d'énergie de la fonderie de cibler des réductions de coûts énergétiques globaux d'année en année.

La technologie M&T permet d'établir des coûts continus, en surveillance en temps réel, et l'optimisation de l'utilisation de l'énergie dans la fonderie.

Si les ressources ne le permettent pas, il s'agit simplement de rassembler des données essentielles à la main, par exemple mensuelles, et commencer à intervenir. En fonction de la solidité de vos résultats, vous serez bientôt en mesure de justifier un meilleur système.

Pour obtenir une bonne participation, il faut que l'établissement des objectifs soit également consensuel.

La technologie M&T a prouvé qu'elle peut faire économiser de l'énergie et de l'argent.

En utilisant ce système, vous serez en mesure :

- de suivre les taux d'utilisation de l'électricité, du gaz naturel ou du mazout, de l'eau et de l'air comprimé d'après toutes les conditions d'exploitation de la fonderie;
- d'obtenir les coûts énergétiques par unité de production (p. ex., une tonne de bonnes pièces coulées) dans chaque service d'exploitation;
- de simuler le changement de procédé – on peut calculer l'impact du coût des changements de procédé;
- d'obtenir de l'information pour déterminer des stratégies efficaces de contrôle de la charge de pointe;
- d'obtenir des renseignements pour peaufiner le contrat de gaz naturel de la fonderie;
- d'analyser le processus de réduction de la consommation d'eau fraîche;
- d'interrelier le système M&T avec un système informatisé de gestion de l'énergie à l'échelle de la fonderie, qui comprend le conditionnement du contrôle des procédés des points de vue surveillance et automatisation;
- de surveiller et dépanner l'utilisation de l'énergie à partir du foyer d'un superviseur.

Le coût d'installation dépend du nombre de compteurs installés, de la couverture désirée et des méthodes d'enregistrement et d'analyse de l'utilisation de l'énergie. L'installation peut se payer d'elle-même par des rendements accrus et des économies en quelques mois.



Les progiciels M&T sont vendus par plusieurs firmes. Également, l'Office de l'efficacité énergétique offre des ateliers sur la gérance énergétique (M&T) ainsi que sur d'autres aspects de la gestion de l'énergie. Vous trouverez de l'information sur ces ateliers à l'adresse suivante : www.oee.rncan.gc.ca/ateliers.

Autres PGE

Périodique

- Sensibilisez les employés aux coûts de l'énergie et des services publics; affichez de l'information qui indique les tendances; démontrez de quelle façon cela influe sur la rentabilité de la fonderie.

À faible coût

- Examinez le nombre d'appareils de surveillance et de mesure. Ajoutez-y les composants les plus importants qui manquent à l'heure actuelle. Améliorez-les graduellement pour préparer une mise en œuvre de la technologie M&T complète.

Par réfection; à coût élevé

- Installez des appareils de surveillance et de mesure sur les flux d'énergie et des services publics dans la fonderie; acquérez le système M&T.
- Intégrez le système M&T au système de gestion de l'énergie de toute la fonderie.

2.1.9 Questions d'entretien

Ne négligeons pas les *avantages énergétiques de l'entretien préventif*.

Les coûts entraînés par l'arrêt de la production, à cause du bris d'équipement, peuvent s'accumuler rapidement :

- Les pénalités imposées par les clients pour les retards dans le cas d'une livraison juste à temps;
- Les coûts supérieurs de main-d'œuvre qui peuvent comprendre des heures supplémentaires pour rattraper le temps perdu;
- Les frais généraux plus élevés;
- Le coût énergétique supplémentaire pour garder la chaîne de montage en attente et retenir le métal en fusion prêt pour le moulage, etc.

Si ce n'est déjà fait, essayez de calculer le coût des divers éléments pendant une heure de panne. Il est probable que son élément énergétique sera énorme. L'entretien préventif planifié peut contribuer à réduire le temps de panne imprévu, et devrait constituer une activité courante. Donc, l'entretien préventif est une partie très importante du programme de conservation d'énergie et des améliorations du rendement énergétique de toute fonderie. Il y a fort à parier que l'investissement en entretien préventif se paiera très rapidement par des économies énergétiques et opérationnelles.

Lorsque vous préparez un calendrier d'entretien préventif, n'oubliez pas d'inclure également les outils manuels (en particulier ceux qui fonctionnent à air comprimé). À part le fait qu'il prolonge la vie utile des outils, cela amène une réduction de l'utilisation de l'air comprimé, donc de l'énergie.

2.1.10 Méthode de la capitalisation du coût entier

Il se peut que le comptable de la fonderie soit le meilleur ami du champion de l'énergie. Il suffit d'expliquer au comptable les concepts sous-jacents aux factures d'énergie (voir les sections 2.2.1 et 2.2.2 aux page 39 et suivantes), et d'illustrer les implications énergétiques de la non-qualité de la production en regard du coût total des opérations. Les coûts fixes et les coûts variables peuvent être également touchés.

Il est possible que les seules connaissances que possède le comptable en matière d'énergie se limitent au paiement des factures – une situation trop fréquente dans les fonderies qui possèdent peu ou pas du tout de compteur et qui manifestent un manque égal d'intérêt pour les améliorations de l'efficacité énergétique. Toutefois, vous pourriez susciter son intérêt professionnel si vous lui montrez les repères énergétiques qui figurent à l'appendice 5.2, concernant les types de métaux coulés de base dans les fonderies canadiennes. La plupart sinon toutes ces mesures sont des coûts contrôlables. Pour élaborer un ensemble d'indicateurs énergétiques clés comme ceux de l'appendice, il faut des contrôles essentiels sur le comptage, la surveillance et les activités. En constatant les possibilités des mesures et l'ampleur des coûts, le comptable appuierait certainement l'initiative d'amélioration énergétique et contribuerait à préparer des justifications de coût pour acquérir des compteurs, et les contrôles que cela nécessiterait. Le reste est le travail du champion de l'énergie.

L'étape la plus importante en gestion et en conservation de l'énergie consiste à mesurer et à comptabiliser la consommation d'énergie.

Le ratio des coûts totaux de l'énergie par rapport au total des coûts de fabrication représente l'**intensité énergétique** des activités dans la fonderie.

Voici certains des indicateurs que la fonderie connaît probablement :

- Coût de l'électricité – total;
 - Frais de consommation (tarifs et frais pour l'heure du jour ou le jour de la semaine);
 - Tarif de l'appel de puissance;
 - Pénalité du facteur de puissance (au besoin);
- Coût du gaz naturel;
- Coût de l'eau (comprend les frais d'égout).

L'intensité énergétique, le coût de l'énergie par tonne de bons produits moulés, l'électricité par heure de travail et d'autres mesures globales semblables peuvent être élaborées à partir de ces données. Il n'est pas toujours possible de dire ce que sont les coûts énergétiques du chauffage et de l'éclairage des bureaux, par rapport à la partie production de la fonderie, ou combien d'énergie utilise un vieux système de sable. Les données de base ne sont pas suffisantes pour un contrôle efficace : il faut savoir *comment, où, quand* et *pourquoi* l'énergie est dépensée, et combien elle coûte. Par exemple, cela pourrait être révélateur de savoir combien d'énergie se gaspille dans une fonderie durant les périodes autres que celles de la production et les fins de semaine! On peut y parvenir en mesurant par division, et à l'aide d'appareils, l'énergie dépensée par les équipements ou les activités clés. On peut ainsi élaborer d'autres indicateurs :

- L'énergie (gaz, mazout ou électricité) et le coût de l'énergie par tonne de métal en fusion;
- Le facteur de charge moyen;
- Le facteur de puissance moyen;
- Le rendement de la conversion thermique des fours;
- L'appel de puissance des fours en pourcentage de la fonderie;
- Les coûts d'électricité des compresseurs, etc.

Toutes ces mesures peuvent servir à élaborer des normes par rapport auxquelles les nouveaux objectifs de consommation (coût) de l'énergie peuvent être déterminés (plus de détails à ce sujet aux sections 3.4 et 3.5 aux page 110 et suivantes). La comptabilité des coûts énergétiques devrait analyser l'impact des pratiques de production sur les coûts généraux, et contribuer à déterminer des solutions optimales. Par exemple, la fusion pendant le jour par rapport à la nuit, ou l'effet des pratiques médiocres comme celles de conserver le métal en fusion dans le four plus longtemps ou à une température au trou de coulée supérieure à ce qui est nécessaire. Pour ce qui est de la ferraille, le coût énergétique sera égal ou légèrement supérieur à celui des bonnes pièces moulées. Le traitement ultérieur de la ferraille, toutefois, double effectivement le contenu énergétique par kilogramme, et provoque d'autres coûts, mentionnés brièvement à la section 2.1.8 (page 33). En comptabilisant le coût entier de ces coûts « cachés », l'étendue réelle de ce gaspillage interne dû à la ferraille deviendra évident et éclipsera le « coût nominal unitaire de la ferraille dans le chenal de coulée ». Par la suite, le soutien de la direction et les approbations de capitaux pourraient être plus faciles à obtenir pour :

- Les changements de procédé et d'équipement;
- Des programmes de réduction de pertes d'énergie et des systèmes de récupération de l'énergie.

Autres PGE

Périodique

- Envisagez d'élaborer des indicateurs de rendement énergétique significatifs particuliers aux besoins de votre fonderie.
- Donnez des séminaires ou des sessions de sensibilisation à tous les opérateurs afin de leur expliquer :
 - les coûts énergétiques et les moyens de les contrôler;
 - l'effet de bonnes opérations d'entretien pour réduire les coûts énergétiques;
 - l'importance des bonnes pratiques opérationnelles;
- Passez en revue régulièrement les indicateurs à l'occasion de réunions de gestion des opérations;
- Tenez les employés informés, communiquez les résultats;
- Servez-vous des résultats des coûts énergétiques pour élaborer et examiner des plans d'entreprise, d'autres plans énergétiques et des projets d'immobilisations;
- Servez-vous des indicateurs de coût énergétique comme outil de gestion pour améliorer le rendement.

La méthode de la capitalisation du coût entier, en contexte énergétique, s'assimile à établir le coût de la non-qualité dans l'utilisation de l'énergie de la fonderie.

2.1.11 Mise en œuvre d'un système de gestion

Souvent, un programme de gestion de l'énergie est une initiative autonome. Elle bénéficierait d'un soutien synergistique d'autres systèmes de gestion d'entreprise, qui partagent des principes communs.

Des systèmes de gestion de la qualité ou de l'environnement, comme ceux basés sur ISO 9000 (SGQ) et ISO 14001 (SGE), introduisent de l'ordre et éliminent le chaos, ce qui peut aider à diminuer le fardeau des problèmes quotidiens. Vu que la consommation d'énergie figure parmi les aspects environnementaux les plus importants dans toute fonderie, cela rend le programme de gestion de l'énergie particulièrement propice à l'intégration avec le SGE. En vertu d'ISO 14001, une fonderie doit gérer ses aspects importants de plusieurs façons. L'un de ceux-ci consiste à établir des objectifs, d'où découlent les programmes de gestion de l'environnement (c.-à-d. des plans d'action). La réduction de la consommation d'énergie est un objectif commun, atteignable par des programmes de gestion de l'environnement (entendre ici, l'énergie). L'insistance d'ISO 14001 sur l'amélioration continue (adoptée également par la nouvelle norme ISO 9000:2000) renforcerait cette intégration. Cela donne au programme de gestion de l'énergie, qui fait maintenant partie d'un effort environnemental global, l'attention régulière nécessaire de même que l'examen par la haute direction.

Les avantages d'un système de gestion réside dans :

- l'approche méthodique;
- l'uniformité;
- l'ordre;
- la documentation.

En moyenne, les économies et les programmes d'amélioration permettent de récupérer les coûts de mise en œuvre d'ISO 14001 en moins d'un an.

Il ne faut pas négliger non plus le fait qu'une vaste majorité des 30 000 entreprises inscrites à ISO 14001 (total mondial au printemps 2001) ont cité comme motif principal de la mise en œuvre du SGE la réduction des coûts internes. Il ne fait pas de doute que GM et Ford avaient cela en tête quand elles ont exigé que leurs fournisseurs soient inscrits à ISO 14001. Les économies internes découlent principalement des programmes de gestion de l'environnement que l'organisation doit mettre en œuvre et qui réduisent le gaspillage.

Au moment d'écrire ces lignes, il est bien connu qu'au moins une fonderie importante au Canada, Wescast Inc., est déjà inscrite à la norme de gestion de l'environnement ISO 14001.

Autres PGE

Périodique

- Toute organisation bénéficie de procédures d'exploitation et de directives de travail à jour – dans le cadre d'un système de gestion – pour assurer l'uniformité et la normalisation des activités. Encore mieux, il est avantageux de transcrire la documentation des procédés sous forme de graphiques.

2.2 Gestion des services publics

2.2.1 Gestion de l'électricité

Les efforts pour économiser l'électricité dans une fonderie pourraient commencer par l'examen du détail de sa facture d'électricité. Souvent, on ne le saisit pas bien et par conséquent, les avantages que procurent les économies disponibles ne sont pas utilisés. Une fonderie peut se servir de ses connaissances de façon rentable pour gérer l'utilisation de l'électricité sur place, et en négociant avec les fournisseurs d'énergie sur le nouveau marché de l'électricité déréglementé au Canada.

La facture d'électricité peut comporter quatre types de frais :

1. **Frais de consommation** – les kWh consommés dans une période donnée, multiplié par le tarif établi, en ¢/kWh. D'autres frais de consommation peuvent s'appliquer dans les cas de temps d'utilisation et pour les tarifs saisonniers. Ces modes de tarification offrent des tarifs plus bas aux consommateurs qui peuvent déplacer les activités à forte intensité des périodes où le service public reçoit une demande de crête pour son énergie. Le service public bénéficie d'un modèle de charge quotidienne plus uniforme, et le client paie moins.

Les moyens d'épargner :

- Réduire la consommation totale d'électricité (en kWh) dans la fonderie;
- Déplacer la consommation d'énergie à un moment où les coûts énergétiques sont moindres.

2. **Frais d'appel de puissance** – le niveau maximal de courant utilisé par la fonderie, en kW ou en kVA, également appelé *appel de puissance de crête*. L'appel de puissance varie durant toute la journée en fonction du fonctionnement des appareils électriques en concurrence. Le service public d'électricité mesure l'appel de puissance à intervalles de 15 minutes, typiquement. L'appel de puissance maximal enregistré au cours du mois définit le tarif de l'appel de puissance (jusqu'à 20 \$ et plus par kW), à appliquer à la facture d'électricité pour tout le mois. Le service public d'électricité finance ainsi son investissement d'approvisionnement du courant requis pour la fonderie. Si cette dernière possède son propre transformateur, elle peut négocier une remise.

Certaines pratiques de tarification ne font pas bien voir les pénalités en cause. Par exemple, si les frais d'appel de puissance combinent l'appel de puissance mensuel avec un pourcentage de l'appel de puissance mensuel maximal au cours des 12 derniers mois, alors la fonderie est pénalisée sans qu'il y ait production (pour les jours de congé ou de peu d'activité).

Les moyens d'économiser :

- Réduisez l'appel de puissance de crête par :
 - le délestage, c.-à-d. en coupant l'alimentation électrique non essentielle;
 - le déplacement de la charge, c.-à-d. le réordonnancement des activités pour que d'autres s'effectuent durant les périodes hors pointe;
 - les améliorations de procédé, qui réduisent les besoins en courant électrique;
 - la négociation, si le service public le permet, pour une période de réglage de l'appel de puissance de 60 minutes, au lieu d'une période de 15 minutes.

Le coût de la fusion électrique est de loin le point d'utilisation finale le plus important à contrôler !

Dans les fonderies, les possibilités d'économiser au moyen du contrôle de l'appel de puissance et du déplacement de la charge sont excellentes !

L'une des principales stratégies d'économie d'électricité consiste à réduire le temps non productif dans le four, en limitant le délai excédentaire de chaque cycle de fusion – ce qui aide à équilibrer la charge.

Pour atteindre un bon appel de puissance, trouvez une charge substantielle que l'on peut mettre hors ligne instantanément sans créer de dérèglement ou de retard intolérable de production.

La pénalité du facteur de puissance passe souvent inaperçue quand l'appel de puissance est facturé en kVA, plutôt que selon le niveau maximal de kW.

- Contrôlez l'appel de puissance par des contrôleurs à cet effet – des dispositifs qui réduisent les pointes éventuelles et font en sorte que les activités de la fonderie ajoutent de la charge aux points faibles. Si vous disposez déjà d'un contrôleur de l'appel de puissance, examinez sa fonction par rapport à une fréquence des crêtes du facteur de charge. On peut également contrôler l'appel de puissance dans les fonderies à fours multiples en échelonnant les activités et en faisant appel à des blocs d'alimentation de nouvelle génération, qui peuvent partager la puissance entre les fours afin de contrôler de manière efficace l'appel de puissance.

3. **Frais de facteur de puissance** – pénalité que la compagnie d'électricité impute aux clients pour la médiocre utilisation du courant fourni; il s'agit d'une mesure d'efficacité. Elle s'exprime par un ratio du courant qui passe à travers un circuit (apparemment fourni, en kVA), par rapport au courant réel utilisé (travail effectué, en kW). Les services publics pénalisent les clients dont le facteur de puissance est inférieur à un niveau précisé, habituellement 90 p. 100. La déréglementation haussera probablement cette pénalité et d'autres.

Parfois, les kVA sont utilisés comme frais de capacité. Il s'agit de frais prévus comme paiement pour les coûts d'approvisionnement du service à l'emplacement, et ils représentent l'appel de puissance maximal du système d'approvisionnement.

Les moyens d'économiser :

On peut améliorer le facteur de puissance par :

- le contrôle des articles qui engendrent des charges inductives, comme les transformateurs, les ballasts d'éclairage, les moteurs à induction électrique (en particulier ceux qui sont sous-chargés), etc.;
- l'installation de condensateurs dans le système électrique. La chose à surveiller est l'harmonie provenant des convertisseurs par courant alternatif des fours électriques qui peuvent déclencher ou détruire la protection.

- 4 **Incitatifs** – p. ex., offrir divers tarifs pour des blocs de consommation basés sur l'appel de puissance (p. ex., 9 ¢/kWh pour les 100 000 premiers kWh x appel de puissance, 6 ¢/kWh pour le bloc suivant, etc.). Cela peut pénaliser les entreprises à un seul quart de travail et celles qui ont un facteur de puissance médiocre. Le facteur de puissance est la consommation mensuelle divisée par le produit de l'appel de puissance maximal et les heures de la période de facturation.

À d'autres périodes, les services publics peuvent offrir de meilleurs tarifs pour les heures hors pointe afin d'amener la fonderie à déplacer la fusion la nuit, par exemple.

Les moyens d'économiser :

- Examinez votre facture d'électricité et essayez de renégocier;
- Examinez les facteurs économiques d'un calendrier de production différent.

La plupart des entreprises industrielles et commerciales sont facturées suivant un calendrier de tarification d'électricité à service général, dans lequel le client est facturé pour l'appel de puissance de crête (kW/kVA) et la consommation d'énergie (kWh). La plupart des structures tarifaires à service général imposent également des pénalités financières aux fonderies dont le facteur de puissance est bas.

Certains services publics offrent désormais à leurs grands clients la *tarification en temps réel*, un programme par lequel, chaque jour, le service public donne au client les tarifs proposés pour chaque heure de la journée suivante.

Une grande fonderie de l'Ontario a adhéré au programme de tarification en temps réel. Tous les après-midi, la fonderie obtient le prix du kWh pour le jour suivant, à partir de minuit. Les opérateurs saisissent le tarif dans le système, puis tiennent compte de la quantité de fer dans les fours d'attente par rapport au calendrier de production pour décider des objectifs d'utilisation d'heure en heure. Puisque le courant est dans ce cas à son tarif le plus dispendieux entre 10-11 h et 19-20 h tous les jours, le calendrier prévoit la fusion en conséquence, par exemple en la déplaçant la nuit avec la réduction correspondante durant le jour.

Il existe des logiciels pour évaluer les coûts énergétiques dans diverses situations afin de vous aider à en arriver à la meilleure utilisation possible, suivant les contraintes opérationnelles imposées par des facteurs comme les exigences des appareils. Pour en savoir plus au sujet des logiciels et des outils d'analyse offerts, consultez votre service public d'électricité (également, voir les GPE ci-dessous).

Songez à vous procurer l'un des programmes de prévision « intelligents » de gestion axée sur la demande (GAD), disponibles sur le marché. La GAD consiste à installer des dispositifs efficaces pour réduire ou gérer la puissance électrique ou la demande de crête. (Note : Les programmes de GAD sont également offerts pour l'utilisation du gaz naturel, par exemple.) Un réseau de compteurs électriques en ligne permet de collecter des données en temps réel des compteurs, et le système de gestion de l'énergie informatisé peut prédire et contrôler l'appel de puissance électrique. Dès que l'appel de puissance s'approche des objectifs prédéfinis, les opérations non essentielles sont coupées et conservées afin de réduire l'appel de puissance de crête.

Pour conserver l'électricité, centrez vos efforts là où existent des possibilités d'économies ! En voici une illustration dans le tableau 3.

La tarification en temps réel permet au client de prévoir ses activités à consommation élevée durant les heures du jour à coût faible pour ainsi épargner grandement.

On estime que les économies de coût potentielles de l'électricité atteintes par le contrôle de l'appel de puissance ou l'ordonnancement sont **quatre fois** supérieures à celles que permet la conservation de l'énergie.

TABLEAU 3**Utilisation de l'électricité dans les fonderies**

Type de fonderie	Fusion		Moteurs		Air comprimé	Éclairage
	Appel de puissance	Consommation	Appel de puissance	Consommation	Appel de puissance et consommation	Consommation
	% kW	% kWh	% kW	% kWh	% des coûts totaux	% kWh
Fer (14 fonderies)	78 (68–89)	66 (54–84)	40	30	15,1 (3–44)	4
Acier (16 fonderies)	68 (59–88)	49 (43–65)	35	47	12 (4–21)	4
Bronze et cuivre (15 fonderies)	59	38	–	57	(8–29) (jusqu'à 70 % des coûts totaux d'alimentation dans les fonderies à fusion au gaz)	5

Tableau composite extrait des travaux de L.V. Whiting, basé sur des enquêtes dans des fonderies canadiennes, 2000

Dans une grande fonderie de l'Ontario, la surveillance des pertes d'énergie électrique fait maintenant partie des activités courantes. Des paramètres comme kW, kvar, kVa, FP (facteur de puissance), MWh, fréquence, écarts d'appel de puissance et distorsion harmonique totale sont surveillés à chaque quart. Le système ECAM[®] utilisé possède une fonction de dépannage.

Moteurs électriques

En général, l'efficacité des vieux moteurs électriques est beaucoup plus basse (tout comme le facteur de puissance) que celle de la nouvelle génération des moteurs à haut rendement (HR). Les moteurs HR ont des rendements supérieurs à 93 p. 100 (par rapport à la puissance du moteur; plus elle est élevée, plus le moteur est efficace). Le remplacement sommaire des vieux moteurs par des modèles HR est souvent difficile à justifier, à moins qu'ils ne fonctionnent près de 24 heures sur 24, et que les économies d'électricité offrent un bon rendement du capital investi. Dès que les moteurs doivent être remplacés ou envoyés au rebobinage, il serait avisé de choisir de nouveaux moteurs de type HR. Produisez une justification de coût basée sur l'écart de coût marginal du moteur, lorsque vient le temps du rebobinage ou du remplacement du vieux moteur. Cela devrait faire partie de votre politique d'acquisition.

Les moteurs surdimensionnés, ou les moteurs au ralenti, gaspillent l'électricité et causent de médiocres facteurs de puissance. Cela est fréquemment le cas des moteurs qui font tourner des malayeurs discontinus de sable, des dépoussiéreurs à sacs filtrants et des compresseurs d'air – habituellement les plus gros dans la fonderie. Ces moteurs, qui sont parmi les plus gros travailleurs, sont particulièrement susceptibles aux grillages par induction électrique ou par l'harmonique de four à arc.

Autres PGE

Périodique

- Faites participer tous les employés – les efforts de conservation d'électricité doivent être répartis largement et obtenir le soutien des opérateurs. Il faudrait procéder à une campagne de sensibilisation dès le début.
- Passez en revue l'ordonnancement des activités de la fonderie à l'égard des facteurs en cause dans le coût de l'électricité qu'elles consomment.
- Fixez une base de consommation électrique durant les fermetures d'usines, le jour de la Fête du travail, le Jour de l'Action de grâces, etc., pour suivre l'utilisation de l'énergie.
- Suivez et décelez les tendances de la consommation d'énergie en fonction des jours de production et des autres jours pour déceler les gaspilleurs d'énergie. Puis, élaborer des procédures et des listes de contrôle de fermeture pour vous assurer que les arrêts d'équipement se produisent.
- Envisagez d'obtenir de l'aide de votre service public local ou de CANMET de RNCAN : ils possèdent des programmes de modélisation informatiques qui indiquent de quelle façon les paramètres de fonctionnement des fours ont une incidence sur les coûts d'exploitation.
- Vérifiez que les moteurs sont bien dimensionnés pour le travail à effectuer.
- Fermez les moteurs et les appareils lorsqu'ils ne sont pas nécessaires.
- Installez des commandes automatiques de fermeture de l'équipement lorsqu'il n'est pas nécessaire.
- Passez en revue les antécédents de grillage des moteurs et cherchez à savoir si les circuits dans la fonderie ont besoin d'être mis à niveau.
- Servez-vous du service public d'électricité comme d'une ressource : il peut vous faire des suggestions quant aux autres solutions de réduction de l'appel de puissance, des points où disposer des compteurs et la façon de mesurer la consommation. Il peut aussi vous prêter un analyseur de charge.
- Entretenez et étalonnez les commandes automatiques sur tous les équipements.
- Prévoyez la mise sous tension des fours à induction électrique en séquence pour éviter de créer inutilement des pointes d'appel de puissance.
- Contrôlez la distorsion harmonique passivement en amont; précisez-le dans les normes d'acquisition des nouveaux équipements.

En sachant comment l'opération de fusion a une influence sur les coûts, les opérateurs de four peuvent réaliser de grosses économies !

À faible coût

- Remplacez, comme le précise la politique d'acquisition, les vieux moteurs électriques usés par des nouveaux moteurs à haut rendement.
- Installez des variateurs de vitesse et des options de mise sous tension sans appel de courant sur les moteurs électriques.
- Envisagez d'installer un logiciel de délestage électrique dans les fours à induction électrique. Le logiciel agit comme un outil de gestion électrique et des procédés. Il surveille l'utilisation du courant instantanément et le rajuste en fonction du niveau maximal de courant utilisable. Il régit la consommation par un cycle de vie du produit. Il peut exprimer l'utilisation réelle et prévue du courant en kWh/t de fer fondu, en kWh/t de produit fini, et également en termes de coûts; p. ex., le logiciel PowerPlusReporter[®]; des programmes de gestion de l'environnement et de l'énergie de la société E2MS Inc.

- Songez à effectuer des inspections thermographiques des fours et des poches de coulée pour repérer les pertes de chaleur, mais également pour détecter les points chauds électriques, p. ex., dans les couplages et les contacts qui indiquent des sources de perte mécanique.

Par réfection; à coût élevé

- Contrôlez l'harmonique des fours qui peut interférer avec les moteurs et causer le grillage de ces derniers.
- Songez à remplacer les condensateurs électriques par des circuits de résonance LRC, dimensionnés pour chaque équipement et chaque charge électrique, afin de contrôler le facteur de puissance pour obtenir des économies améliorées. Dans une fonderie situé en Ontario, les facteurs de puissance près de l'unité, soit de 0,98-0,99, sont courants !
- Avant de mettre en œuvre un système de gestion de l'énergie, choisissez-en un ayant une capacité à la fois d'analyse et de rapport.
- Songez à installer un système de surveillance de l'alimentation électrique, au moyen d'une méthode de surveillance et de repérage, pour gérer la consommation d'électricité dans toute la fonderie.

Un bon tiers des fonderies répertoriées (en l'an 2000) connaissaient des problèmes de qualité de l'alimentation électrique dans les fours à induction et les fours à arc électrique, en particulier lorsqu'on les combine à des systèmes d'approvisionnement électrique plus vieux. L'harmonique produite causait des dommages aux condensateurs installés pour surveiller le facteur de puissance, les fusibles déclenchés, les moteurs grillés et l'équipement surchauffé. Il est essentiel de contrôler l'harmonique.

2.2.2 Gestion des combustibles

Bien que l'industrie du gaz naturel soit compétitive depuis longtemps dans les trois provinces de l'Ouest canadien, les clients de l'Ontario et du Québec devront s'habituer à un marché déréglementé. Sauf pour le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse, où une alliance a été formée pour les droits de distribution du gaz naturel, il existe peu sinon aucun pipeline de gaz dans le reste du Canada. Les prix du gaz naturel ont augmenté nettement en l'an 2000. L'efficacité énergétique et la gestion axée sur la demande (GAD – décrite à la section 2.2.1) représenteront de plus en plus des outils importants pour les fonderies afin de gérer les coûts. Les grands utilisateurs de gaz naturel achètent celui-ci sur le marché au comptant et utilisent des logiciels pour gérer ces achats pour en tirer le maximum d'avantages financiers. Même si les coûts en croissance du gaz constituent un facteur important des budgets énergétiques, certaines grandes entreprises ont réussi à les compenser en installant des cogénérateurs de production combinée électricité- chaleur pour produire leur propre électricité et vendre les surplus éventuels au réseau de distribution. Cette option est examinée avec de plus en plus d'attention maintenant par beaucoup d'entreprises.

Quand vous essayez de réduire la consommation de gaz ou de mazout, **concentrez-vous d'abord sur la mise au point du processus.** Seulement alors, centrez vos efforts sur la récupération de la chaleur perdue à partir des gaz de combustion.

Nombre de fonderies dans des régions du Québec, des provinces de l'Atlantique et du nord-est de l'Ontario dépendent du pétrole pour leurs besoins énergétiques. Remplacer une source d'énergie (pétrole, gaz, électricité) par une autre est toujours dispendieux et difficile à faire dans une fonderie existante. Bien des alumineries, cependant, sont passées du gaz à l'électricité et ont investi les sommes nécessaires (environ 500 000 \$) pour l'achat et l'installation de fours à induction de taille moyenne. Elles ont justifié cela sur la base de la qualité et d'une économie potentielle d'environ 7 p. 100 provenant des pertes de la fusion du gaz. En plus d'un meilleur rendement métallique, la propreté de la fonte s'est améliorée et l'augmentation de l'hydrogène a été réduite.

La combustion du pétrole peut présenter des problèmes particuliers. Il nécessite des systèmes de stockage, qui doivent répondre à des critères rigoureux pour prévenir la contamination environnementale à cause des débordements et des fuites. En hiver, les conduites doivent être chauffées pour empêcher la gélification du pétrole ou le parafinage par précipitation. À cause de ses températures élevées de combustion, le pétrole tend à produire des oxydes d'azote (NO_x). La possibilité d'un contenu élevé en soufre (en particulier dans le pétrole lourd) peut empêcher l'utilisation des économiseurs de gaz de combustion à cause des problèmes de corrosion qui découlent de la condensation et de la formation d'acides provenant des oxydes de soufre (SO_x).

La priorité, s'agissant de réduire la consommation de gaz naturel ou de mazout, est de se concentrer sur le processus de combustion, qui doit être aussi efficace que possible. Voici une liste des points à étudier :

- **Système de livraison de gaz ou de mazout**

Est-il étanche, sans obstructions et fuites ? Les conduites de gaz, dont beaucoup peuvent remonter à des décennies et être enterrées, peuvent être corrodées et fuir. Comment savoir si elles fuient : durant une période sans production, consignez la lecture du compteur de gaz et vérifiez-la après 12 à 24 heures. Le chauffe-eau au gaz n'étant même pas allumé, il ne devrait pas y avoir d'écart. Tenez compte d'une certaine consommation de gaz pour le chauffage des locaux, etc., en estimant la consommation basée sur la plaque signalétique. Sinon, il pourrait y avoir des fuites et il faudrait amorcer des travaux pour en découvrir la source et les régler rapidement (il en va de la sécurité des employés).

Dans les systèmes d'approvisionnement de mazout, assurez-vous de la vérification régulière des filtres et de l'entretien des pompes.

- **Combustion**

Très souvent, les contrôles appropriés ne sont pas effectués pour les fours à mazout et à gaz. Le mauvais contrôle du ratio air-gaz entraîne des pertes d'énergie, des températures excessives fréquentes et des problèmes métallurgiques. Songez à remplacer les brûleurs qui ne sont pas dotés de moyens appropriés pour contrôler correctement le ratio air-combustible. Idéalement, les contrôles du ratio air-combustible devraient tenir compte également de la température de combustion de l'air, qui a des effets sur sa densité (qui dépend de la période de la journée et des saisons), afin d'offrir un régime de combustion exact.

Une analyse mazout-gaz indiquera la bonne composition. Dans le cas du gaz naturel, en conditions d'équilibre, la composition des gaz de combustion devrait indiquer environ 12 p. 100 de CO₂, 20 à 22 p. 100 de vapeur d'eau, le reste étant constitué d'azote. Des pourcentages inférieurs de CO₂ et la présence de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène indiquent une mauvaise combustion (feu réduit) et des pertes d'énergie chimique dans les deux gaz d'échappement. Autrement dit, une partie du gaz a été perdue. D'autre part, dans des conditions d'apport d'air excessif, tout le gaz est brûlé mais l'analyse révélera la présence d'oxygène. Encore là, de l'énergie a été perdue mais cette fois, pour chauffer l'air excédentaire qui passe dans le four.

La question du rajustement des brûleurs est tout aussi grave dans les fours de traitement où l'on peut utiliser plusieurs brûleurs. Là également, l'entretien et les réglages des brûleurs tendent à être négligés. La solution consiste à mettre à niveau votre brûleur en le remplaçant par un type de brûleur écoénergétique doté de bonnes commandes (voir également la section 2.3.3 à la page 57), à effectuer un entretien régulier des brûleurs et à analyser fréquemment les gaz de combustion.

- **Étanchéité à l'air de la chambre du four**

L'entrée d'air dans le four (à traitement thermique) cause d'importantes pertes d'énergie. Tout cet air supplémentaire doit être chauffé pour maintenir la température appropriée de la chambre du four. L'entrée d'air peut produire des points « froids » tout autant que des problèmes de qualité.

- **Déperditions de chaleur –
conductrices, puits de chaleur et rayonnement**

Dans le cas des deux premières, il s'agit d'une question d'isolation appropriée, et d'un chemisage de four ou de poche de coulée dotée du bon type de matériaux réfractaires. Si l'on a utilisé de la brique réfractaire dense pour le chemisage du four, il faut l'installer selon l'épaisseur appropriée pour limiter les pertes de chaleur conductrice. La grande masse de la brique réfractaire, toutefois, agit comme un puits de chaleur. Il ne coûte pas cher de la chauffer et de la conserver à la bonne température. On fait appel à de nouveaux matériaux en fibre céramique à basse densité, souvent combinés à d'autres matériaux réfractaires, pour enlever ces puits de chaleur et offrir une isolation thermique supérieure. Pour en savoir plus à ce sujet, voir les sections 2.3.3 (page 57) et 2.3.9 (page 79).

Les pertes par rayonnement sont graves dans des fours de fusion (p. ex., les fours à arc électrique ou à induction) où elles surviennent par les couvercles ouverts, les ouvertures d'enlèvement de l'écume ou de décrassage, et des poches de coulée à absence de couvercle ou de couvercle inapproprié durant le chauffage, et particulièrement pendant le transfert du métal en fusion (section 2.3.3).

Dans les fonderies, l'utilisation de la *vapeur* se limite habituellement à des fins de chauffage ou de conditionnement. Sauf pour des chaudières à production réduite qui peuvent être chauffées à l'électricité, la plupart des chaudières et des générateurs de chaleur sont alimentés habituellement au gaz ou au mazout. Les mêmes

principes de bonne combustion s'appliquent aux brûleurs de chaudières, comme il en a été question ci-dessus et sous les rubriques de fusion, chauffage et traitement thermique. La production de vapeur exige un système distinct de traitement de l'eau et un dispositif efficace de collecte et de retour pour le condensat. Attention à l'élimination de l'air de la vapeur, de la chaudière et de l'isolant des conduites, de même qu'à l'entretien des purgeurs de vapeur qui sont également des points importants pour rendre le système efficace. Vous trouverez ci-dessous des PGE propres aux chaudières à vapeur.

Autres PGE

Périodique

- Conservez la bonne disposition des brûleurs selon un programme régulier d'entretien.
- Contrôlez la composition des gaz de combustion en vérifiant les niveaux d'oxygène et de CO régulièrement.
- Empêchez l'entrée d'air : maintenez l'« étanchéité à l'air » du four, calfeutrez et scellez les fissures, maintenez les joints sur les couvercles et les ouvertures couvertes.
- Nettoyez et entretenez les surfaces de transfert de chaleur dans une chaudière à vapeur.
- Contrôlez la qualité de l'eau d'alimentation des chaudières et réduisez la purge sous pression.
- Vérifiez l'isolant de la chaudière, les conduites de vapeur et l'isolant des conduites de retour du condensat.
- Entretenez les purgeurs de vapeur afin de réduire la perte de vapeur et de condensat.
- Vous pouvez demander à votre compagnie de gaz naturel qu'elle vous prête des compteurs de gaz supplémentaires afin de voir au comptage divisionnaire de vos gros appareils de combustion à gaz.

À faible coût

- Songez à installer des compteurs de débit de gaz afin de gérer la consommation des gros appareils consommateurs de gaz, comme les fours.
- Surveillez et contrôlez la pression interne dans les fours.
- Envisagez de recourir à la compagnie locale de gaz pour assurer les services d'entretien de vos brûleurs à gaz.
- Votre compagnie locale d'approvisionnement en mazout peut également vous aider à entretenir les brûleurs à mazout, à procéder aux essais de rendement et aux analyses des effluents gazeux.

Par réfection; à coût élevé

- Songez à repositionner les brûleurs mis à niveau dans le four comme l'a fait une fonderie du Québec. Cela améliore la distribution de la chaleur dans le four et permet d'économiser du gaz naturel par la même occasion.

2.2.3 Gestion de l'air comprimé

L'air comprimé est la source d'énergie la plus dispendieuse dans une fonderie. L'industrie des fonderies utilise énormément d'air comprimé à des fins de production. Il s'agit d'une forme d'énergie sécuritaire et commode, que l'on tient souvent pour acquise et que l'on néglige comme option possible d'économies.

L'air comprimé est, à tort, souvent considéré comme « gratuit » par ceux qui l'utilisent du fait que l'air libre utilisé vient de l'atmosphère. Le coût électrique de l'air comprimé peut s'élever jusqu'à 70 p. 100 et plus des coûts d'exploitation annuels de tout un système, tandis que l'entretien et l'amortissement peuvent engouffrer de 15 à 20 p. 100 chacun. Donc, il est clair que l'air comprimé est une technologie où les améliorations du rendement énergétique sont directement liées aux économies financières. En moyenne, les économies proviennent des solutions apportées aux :

- Fuites – 25 p. 100;
- Mauvaises applications – 20 p. 100;
- L'air perdu dans les réseaux d'évacuation – 5 p. 100;
- La demande artificielle – 15 p. 100.

Le reste est constitué de l'utilisation d'air comprimé utile nette, soit seulement 35 p. 100. La répartition des pertes ci-dessus varie selon l'entreprise. Dans certains systèmes, les fuites à elles seules peuvent compter pour 60 p. 100.

On peut calculer les pertes d'air comprimé par les fuites durant une période autre que celle de consommation à l'aide de la formule $V_L = [V_C \times t] / T$, où V_L = le volume de la perte par fuite, V_C = la capacité du compresseur à pleine charge en m³/min, t = le temps en secondes de fonctionnement du compresseur à pleine charge (c.-à-d., le total du temps de mesure à pleine charge) et T = le total mesuré, le temps écoulé.

De façon générale, les fuites ne devraient pas dépasser 5 p. 100.

Votre enquête devrait porter sur les points ci-dessus. Elle doit commencer par un examen rapide et simple du système dont le but est d'optimiser le système actuel, ce qui engendrera des économies d'énergie et d'argent. Il faut à cet égard examiner les améliorations possibles et les options d'économies. Toutefois, pour obtenir de meilleurs résultats, il ne faut pas envisager le système comme étant la somme des composants individuels tels les compresseurs, les séchoirs, les filtres, les refroidisseurs et les dispositifs auxiliaires.

Adoptez une vue d'ensemble et pensez de façon dynamique en termes de pressions par rapport aux volumes, aux taux de changement de la pression, etc., pour optimiser le système. Cette approche débouchera sur une vérification avisée du système d'air comprimé, qui inclura :

- l'analyse de la demande et l'appariement de la capacité à celle-ci;
- le contrôle des pointes de demande;
- la correction des mauvaises applications et du gaspillage dans l'utilisation de l'air comprimé;
- le repérage et la correction des fuites;
- le contrôle et la gestion de tout le système;

Dans des systèmes mal gérés, le coût véritable de l'électricité utilisée pour produire de l'air comprimé peut avoisiner 1 \$/kWh !

Habituellement, un peu plus de 20 p. 100 seulement de l'énergie électrique utilisée pour extraire et comprimer l'air est convertie en énergie mécanique de l'air comprimé.

La demande artificielle correspond à la consommation excédentaire d'air comprimé qui survient lorsqu'on fait fonctionner le système à des pressions supérieures à ce qui est nécessaire.

Des mesures simples et rentables peuvent faire économiser de 30 à 50 p. 100 des coûts de production de l'électricité.

- l'optimisation du programme d'entretien;
- la sensibilisation des utilisateurs afin qu'ils corrigent des pratiques et fassent des économies;
- le contrôle des résultats, du rendement et des coûts du système d'air comprimé.

Voici une brève description des divers problèmes accompagnée d'une liste de PGE, et une indication du fait que vous vous retrouverez probablement dans la catégorie des points *périodiques* faisant intervenir *aucun ou peu de coûts* (\$), un *faible coût* (\$\$) ou des points à capitaux élevés ou de *réfection* (\$\$\$).

Analysez la demande

- Identifiez les utilisateurs importants et analysez leurs besoins concernant la pression de l'air comprimé, le débit volumétrique, la fréquence d'utilisation et la durée. Cela aidera à concevoir des solutions adaptées et à réduire les effets indésirables sur les autres utilisateurs du système (\$).

Contrôlez la demande de pointe

- Fournissez une capacité d'entreposage appropriée de l'air comprimé afin de réduire la fluctuation.
- Envisagez d'installer des réservoirs supplémentaires d'air comprimé (\$).
- Songez à remplacer une partie du réseau de distribution d'air par des conduites à grand diamètre afin de stabiliser l'approvisionnement d'air et de permettre la réduction de la pression d'air (\$-\$-\$-\$).

Corrigez les mauvaises applications

- Remplacez les générateurs de vide utilisant l'air comprimé, les moteurs pneumatiques, le refroidissement par le soufflage d'air comprimé, et le soufflage ouvert par d'autres appareils qui donnent les mêmes résultats mais à des coûts moindres (\$-\$-\$).
- Ne refroidissez pas les pièces coulées chaudes avec de l'air comprimé. Au besoin, installez un souffleur à basse pression pour ce faire.

Éliminez le gaspillage

- Produisez de l'air comprimé à la pression la plus basse possible en fonction de l'activité en cause (\$).
- Ne produisez jamais d'air comprimé à une pression trop élevée pour la réduire ensuite à une pression inférieure (\$).
- N'augmentez pas la pression pour alimenter des outils pneumatiques mal entretenus ou pour compenser des conduites de distribution d'air sousdimensionnées (\$).
- Songez à utiliser des buses de soufflage à haut rendement qui réduisent la consommation d'air d'au moins 50 p. 100 (\$).
- Songez à utiliser un type de buse et une configuration différents lorsque vous éliminez l'eau après le recuit (\$-\$-\$).
- Réduisez les pertes d'air comprimé dans les appareils de mesure et de contrôle qui y font appel : posez des vannes de section (\$\$).
- Songez à un pressostat combiné haute pression-basse pression pour le fonctionnement en dehors des quarts de travail (\$\$).
- Éteignez les compresseurs lorsqu'ils ne sont pas utilisés (\$).

Conseil

Il faut que le programme de réduction des fuites soit permanent pour être efficace !

Éliminez les fuites

- Considérez l'air comprimé comme étant de l'eau et stoppez les fuites immédiatement (\$).
- Utilisez la méthode d'écoute des fuites après les heures normales de travail (\$).
- Investissez dans un appareil d'écoute à ultrasons pour repérer les fuites (Ultraprobe 2000™) (\$).
- Songez à acquérir un testeur de fuites d'air comprimé pour déceler les chutes de pression et pour mesurer la capacité du compresseur (\$\$).
- Envisagez de mettre en œuvre un processus automatique de mesure des fuites, effectué la fin de semaine, au moyen d'un système informatisé de contrôle, de réglementation et de surveillance, et l'installation de suffisamment de vannes de section (\$\$-\$\$\$).

Gérez le système

- Exigez des utilisateurs qu'ils justifient l'utilisation de l'air comprimé (\$).
- Instituez la mesure de sa consommation par les utilisateurs au point terminal (\$).
- Rendez les utilisateurs responsables au plan budgétaire de leur consommation d'air comprimé (\$).
- Envisagez d'installer la « configuration des charges » – un système de gestion de la demande spécialisé pour s'occuper des pointes sans nuire aux niveaux de pression. Il permet d'éviter le démarrage des compresseurs additionnels inutilement, ou de laisser les compresseurs excédentaires fonctionner « juste au cas » (\$\$\$).
- Utilisez le système central de contrôle, de réglementation et de surveillance pour démarrer ou stopper les compresseurs à des heures préétablies durant la semaine. L'un de ces programmes s'appelle XCEED™ Compressed Air Management System de Honeywell (\$\$\$).

Entretenez le système

- La qualité non contrôlée de l'air comprimé peut entraîner des pannes. Mettez en œuvre un programme régulier d'entretien, d'inspection et d'entretien préventif des composants du système. Incluez également les appareils de contrôle et de surveillance dans le programme (\$).

Formez les opérateurs

- Pour réaliser des économies opérationnelles et des améliorations de la qualité, les utilisateurs et les opérateurs doivent comprendre le système et être conscients de ses coûts d'exploitation (\$).
- Déléguiez la responsabilité pour vous assurer que le système d'air comprimé n'ait aucune fuite (\$).
- Exigez des opérateurs qu'ils marquent les fuites aussitôt qu'elles sont découvertes pour que l'entretien s'en charge (\$).

Surveillez le rendement

- Installez à la fois des compteurs d'électricité et de débit d'air (vortex) pour surveiller la consommation d'énergie (\$\$).

- Chaque mois, surveillez :
 - la consommation d'électricité (en kWh) et le nombre total d'heures de main-d'œuvre en production;
 - le rendement des compresseurs (en kWh/m³);
 - la consommation d'air comprimé (en m³) et le nombre total d'heures de main-d'œuvre en production.
- De plus, effectuez l'analyse des coûts financiers des mêmes opérations.

Autres PGE

Périodique

- Entretenez les filtres à air.
- Éliminez les raccords et les conduites redondants comme sources possibles de fuites.
- Enlevez les conduites désuètes de distribution d'air comprimé pour réduire les pertes de pression, les fuites et les coûts d'entretien.
- Lorsque des compresseurs volumétriques à pistons et à vis sont utilisés en parallèle, maintenez toujours les compresseurs à vis à pleine charge. Dès que les charges partielles sont nécessaires, fermez le compresseur à vis et utilisez plutôt le compresseur volumétrique à pistons.
- Évitez d'utiliser l'air comprimé lorsque de l'air soufflé à basse pression fait aussi bien le travail.
- Vérifiez que le système est sec – veillez à ce que les pentes d'écoulement, les points de drainage et les points de branchement (toujours au-dessus) empêchent la corrosion interne des conduites.
- Passez en revue toutes les opérations utilisant de l'air comprimé et élaborer une liste d'autres méthodes.
- Examinez le système d'air comprimé et les utilisations de l'air à tous les ans – élaborer une liste de contrôle pour simplifier la tâche.
- Tenez tous les outils, les raccords et les conduites d'air en bon état.

À faible coût

- Tirez l'air d'admission à la fois pour la compression et le refroidissement du compresseur (s'il est refroidi à l'air) de l'endroit le plus frais à l'extérieur.
- Remplacez les vieux appareils à entraînement pneumatique qui exigent beaucoup d'entretien par des moteurs neufs à haut rendement.
- Quand beaucoup d'utilisateurs demandent de l'air à basse pression, il vaut peut-être la peine d'installer un réseau de distribution distinct.
- Installez un prérefroidisseur pour refroidir l'air d'entrée et retirer la plus grande partie de l'humidité.
- Songez à installer un coupe-air de vidange de la condensation électronique pour vous débarrasser de l'eau dans le récepteur et les conduites. Il ne gaspille pas d'air lorsque l'eau est éjectée, par opposition à la pratique standard qui consiste à ouvrir la soupape d'écoulement du récepteur pour le purger continuellement. Ces appareils sont très fiables. La période de récupération de l'investissement va de 8 à 24 mois.
- Installez un grand réservoir accumulateur d'air comprimé pour réduire le recyclage du compresseur.

Par réfection; à coût élevé

- Installez un régulateur de pression du système pour éliminer la demande artificielle en stabilisant la pression au niveau minimal requis pour la production. Note : d'habitude, on atteint des économies d'énergie de 10 p. 100 (XCEED™ Demand Expander).
- Songez à installer des séchoirs à tambour, où la chaleur produite par le compresseur d'air sert à régénérer continuellement le desséchant du séchoir d'air, et aucun air comprimé n'est consommé.
- Envisagez d'installer un réseau de distribution de conduites en plastique étanche à l'air pour remplacer les vieux tuyaux d'acier, de même que les circuits corrodés et fuyants.
- En ce qui concerne l'utilisation réduite ou occasionnelle d'air comprimé, songez à utiliser un compresseur à moteur à combustion, qui offre un intrant d'énergie moins dispendieux et a un meilleur rendement de charge partielle que les moteurs électriques. Il permet également de récupérer la chaleur de l'évacuation et de l'enveloppe du moteur.
- Vérifiez les dimensions du réseau de distribution d'air pour voir s'il bénéficie d'un ajustement « serré », ce qui évite des pertes excessives de pression.
- Envisagez de remplacer vos séchoirs d'air comprimé par un type de séchoir plus efficace, par exemple un lyophilisateur ou un séchoir à tambour rotatif.
- Songez à doter votre compresseur à vitesse fixe d'un variateur de vitesse. En général, la période de récupération de l'investissement est inférieure à deux ans.
- Réduisez les pertes de ralenti et veillez à produire le moins de pression possible en surveillant constamment la pression au point terminal et en l'alliant au fonctionnement du compresseur.
- Examinez la charge du compresseur et essayez de voir si l'installation de compresseurs à dimensions variables n'équilibrerait pas la charge en lui adjoignant des compresseurs de dimensions convenables face à la demande momentanée.

Complément d'information

Un manuel technique réalisé il y a plusieurs années et qui s'intitule « Réseaux de distribution d'eau et d'air comprimé » (M191-6/12F), est disponible auprès de RNCAN (tél. : 613 996-6220) et demeure un bon outil de référence. Pour obtenir la liste complète des autres manuels de gestion de l'énergie, voir l'appendice 5.7. Le site Web www.knowpressure.org peut également servir de complément d'information.

2.2.4 Gestion de l'eau

Il y a deux aspects à la gestion de l'eau dans une fonderie, soit le volume utilisé et la conservation de la chaleur transportée par l'eau.

Les efforts visant à gérer l'utilisation de l'eau devraient commencer par la préparation d'un bilan hydrique. Les emplacements et les débits de toutes les consommations d'eau dans la fonderie peuvent être mesurés, et en l'absence de compteurs comme c'est souvent le cas dans bien des petites fonderies, il faut s'en remettre à des estimations. La pression de l'eau, le diamètre connu des conduites principales et souvent, un seau de cinq gallons et un chronomètre, peuvent servir

pour se donner une idée raisonnablement précise de la consommation. Il faut aussi mesurer les températures de l'eau. On doit analyser les renseignements pour déceler le gaspillage, l'utilisation improductive et les débits excessifs. Cela devrait permettre de connaître le circuit à utiliser et à quel endroit, si la réutilisation de l'eau est possible et à quelles fins, et à quels endroits il est possible de transférer la chaleur. Avec le lancement réussi d'initiatives de conservation de l'eau, il pourrait être justifiable d'installer davantage de compteurs de débit d'eau ailleurs dans la fonderie.

Avec le temps, les soupapes et les robinets qui fuient, les joints qui ont du jeu et les tuyaux qui coulent peuvent coûter beaucoup d'argent à la fonderie. Il risque d'y avoir plusieurs fuites à un moment donné, et les pertes s'accumulent. Les coûts connexes de l'électricité pour faire fonctionner les pompes, les ventilateurs, les coûts de traitement de l'eau et l'entretien accroissent davantage les pertes financières.

Les coûts annuels de l'eau dans une fonderie sont de beaucoup inférieurs aux coûts de l'énergie, mais la conservation de l'eau est un geste tangible, très visible que chacun peut comprendre et que tout le monde soutiendrait. Il ne fait aucun doute qu'il existe des possibilités de conservation dans toute fonderie. Dans les procédés, l'eau utilisée pour une opération pourrait être ensuite pompée dans des dépoussiéreurs par voie humide ou des meules pour le conditionnement du sable, etc.

Une fonderie peut disposer de plusieurs systèmes d'eau, comme l'eau de refroidissement pour les procédés, l'eau potable, l'eau chaude domestique et l'eau de chaudière. Ces types d'eau ont tous une partie non efficace et à cause du contenu thermique de l'eau, ils ont les mêmes possibilités de gestion de l'énergie. L'eau de refroidissement sert à la récupération des moules de sable, au refroidissement par four à arc électrique ou four à induction, comme support d'extraction de la chaleur dans les gaz de combustion des fours, dans les machines de moules à coquille et de noyaux, dans les systèmes hydrauliques d'unités de moulage, dans le refroidissement permanent des moules, dans les extincteurs et dans les compresseurs d'air, etc. L'eau devrait être recirculée autant de fois que possible pour ces opérations afin d'empêcher le gaspillage mais pour cela, il faut que l'eau elle-même soit refroidie.

Des systèmes ouverts tels les refroidisseurs évaporatifs et les tours de refroidissement sont utilisés habituellement. Ils ont besoin de plus d'énergie pour entraîner les ventilateurs qui déplacent l'air, de même qu'un appoint d'eau pour compenser l'évaporation, l'eau entraînée et les purges nécessaires. Il faut traiter l'eau pour empêcher la formation de tartre et de dépôts ainsi que la corrosion. Les tours de refroidissement refroidissent l'eau de retour jusqu'à un certain niveau, qui est habituellement de 6 °C (10 °F) au-dessus de l'adiabatique du thermomètre mouillé.

Des refroidisseurs mécaniques à circuit fermé utilisent le serpentin de condensation du réfrigérant pour extraire la chaleur. Ils conservent effectivement l'eau, produisent de l'eau très froide et éliminent la nécessité de produits chimiques pour conditionner l'eau, mais ils sont plus dispendieux à installer et à faire fonctionner.

Un filet d'eau de 6,4 mm (1/4 po) en gaspille annuellement 2 200 m³ et ce, pour un coût de 2 100 \$/an (prix de 2000).

Dans une fonderie, ils peuvent par exemple trouver une application dans le refroidissement du serpentín du four à induction, où la prévisibilité de la température de l'eau d'arrivée permet de contrôler étroitement le four.

Le refroidissement des compresseurs d'air nécessite également le contrôle étroit de la température de l'eau. Le sous-refroidissement et le surrefroidissement peuvent causer des dommages mécaniques importants à un compresseur d'air, et il vaut mieux consulter le fabricant des compresseurs à cet effet.

Dans tous les projets faisant intervenir la chaleur de l'eau, il est nécessaire de bien isoler les réservoirs et les conduites. Le potentiel énergétique de l'eau chaude peut servir au chauffage des locaux, en production de vapeur, en mélange d'air d'appoint ainsi qu'aux thermopompes pour la climatisation.

Autres PGE

Périodique

- Examinez les façons dont l'eau est utilisée et réduisez sa consommation le plus possible.
- Entretenez le système; stoppez les fuites rapidement.
- Réduisez le temps de fonctionnement des pompes si possible.
- Incitez tous les employés à adopter de bonnes pratiques d'entretien.
- Ayez des fontaines pour fournir une source d'eau potable; n'utilisez pas les bassins oculaires à cet effet.
- Enlevez les tuyaux stagnants et redondants du réseau de distribution d'eau.

À faible coût

- Vous pouvez réutiliser ou recycler l'eau de refroidissement et l'eau servant dans les procédés de bien des façons. Par exemple, utilisez un joint de pompe à eau pour le transformer en appareil de climatisation. Utilisez l'eau de traitement ou de refroidissement comme support de transfert de chaleur dans votre système de ventilation ou de chauffage. Songez à placer un échangeur de chaleur eau-air dans la fonderie, pour réduire la charge de chauffage en hiver.
- Recueillez l'eau « perdue » non contaminée si le débit de sa production dépasse celui de la réutilisation immédiate, plutôt que de la laisser couler dans l'égout. Installez un réservoir de polyester renforcé de fibre de verre vendu dans le commerce ou un récipient d'occasion pour recueillir et utiliser l'eau plus tard. Faites appel à ces réservoirs pour équilibrer le ratio offre-demande dans vos multiples projets de réutilisation de l'eau.
- Réduisez la perte ou le gain de chaleur dans l'eau en isolant de façon appropriée.

- Posez des réservoirs d'expansion du système d'eau sur des systèmes à circuit fermé et ce, pour deux raisons. Lorsque l'eau est chaude, on empêche le gaspillage par des soupapes de détente. Lorsqu'elle est froide, le volume contracté exigerait normalement de l'eau d'appoint pour que le système demeure rempli.
- Réduisez les pertes par friction et les chutes de pression connexes en profilant et en dimensionnant de façon appropriée les conduites d'eau.
- Passez en revue la dimension et le choix des pompes à eau.
- Posez des régulateurs de débit d'eau pour les usages sanitaires. La fermeture retardée, les robinets à débit chronométré dans les lavabos de même que les pommes de douche à débit réduit en sont de bons exemples.
- Pour les usages sanitaires, installez des chauffe-eau à gaz de type européen qui produisent sur demande (comme l'a fait une fonderie).
- Limitez l'utilisation d'eau d'appoint pour les tâches essentielles, comme le refroidissement des coussinets de ventilateur dans les fours à traitement thermique.

Par réfection; à coût élevé

- Utilisez un système à circuit fermé (à refroidissement « sec ») pour le refroidissement des fours à induction électrique, le refroidissement des matrices solides, etc.
- Mettez en œuvre un système d'eau à réutilisation multiple de l'eau de traitement, selon le principe de la cascade thermique.
- Songez à utiliser des thermopompes pour la mise en application combinée de l'extraction de chaleur et l'apport de refroidissement à l'eau de traitement et à d'autres liquides.
- Envisagez de faire appel à la chaleur perdue pour entraîner l'évaporateur de perte d'eau pour l'élimination des boues.

2.3 Procédés et équipement de fonderie

Il serait utile de répéter quelques rapports de base :

- L'énergie servant à produire une tonne de bonnes pièces coulées équivaut à la consommation d'énergie totale de la fonderie, divisée par le tonnage des pièces moulées expédiées.
- La production des fours équivaut à l'énergie totale divisée par le tonnage fondu.
- Le rendement global est le ratio de l'énergie par rapport au rendement des bonnes pièces coulées et des fours.

Ajouté à l'énergie de fusion, d'autres systèmes qui requièrent beaucoup d'énergie de la fonderie, comme les systèmes à air comprimé et de transport du métal fondu, le sable, les pièces coulées et la ferraille, multiplient le contenu énergétique du produit moulé. Nous examinons ces systèmes brièvement ci-après.

2.3.1 *Matières premières*

Autres PGE

Périodique

- Sensibilisez vos employés aux coûts de production. Sur des écriteaux apposés dans toute la fonderie à des endroits stratégiques, indiquez le coût des matières premières (sable, silicone, mélanges de ferro-alliage, etc.) en \$/kg. Informez vos employés de la quantité consommée et perdue par des pratiques d'entretien médiocres, et à quel coût.
- Ayez en inventaire des stocks appropriés en tenant bien compte des délais de livraison car s'il manque un article, cela aura certainement un résultat sur les pertes d'énergie.
- Tenez à jour les stocks de matières premières.

À faible coût

- Essayez de conserver les matières premières au sec et si possible, « chaudes » à l'intérieur (en particulier la ferraille) pour réduire le gradient de température du réchauffage/séchage ou de la fusion. Gardez fermées les portes de baie de la ferraille.

2.3.2 *Procédés et flux des matières*

Le temps c'est de l'argent. Les pertes de temps causées par une disposition médiocre des appareils, des procédures d'exploitation encombrantes, une structure organisationnelle comprenant trop d'échelons, des retards dans le transport des matières, du métal et des pièces fondues entraînent également des pertes de productivité et des coûts énergétiques supplémentaires. Même dans des fonderies établies et bien gérées, on peut trouver des possibilités de rationaliser et de simplifier les processus, ce qui engendre des économies et des gains de productivité.

Quels sont les outils à utiliser ? L'ouvrier de fonderie chevronné peut savoir d'instinct où existent des goulots d'étranglement dans sa fonderie. Dans d'autres cas, une simple étude des temps et mouvements détectera les carences probables. Avoir l'esprit ouvert et contester les pratiques établies contribuent à la recherche de solutions. Il en va de même pour le traçage d'un simple graphique des procédés. Il suffit de se procurer un crayon et du papier de même qu'à écouter l'opinion des opérateurs et des employés qui s'y connaissent. Il suffit parfois de consulter un organigramme général, et les carences, la redondance, le dédoublement d'effort et le gaspillage deviennent vite apparents. Étudiez chaque activité et étape de procédé du point de vue des relations fournisseur-client. Dans les grandes fonderies, et pour des projets complexes, le recours à un logiciel de simulation des procédés peut servir à trouver des solutions optimales.

Est-il vraiment plus rentable d'accélérer le tempo avec une poche de métal coulé provenant d'un four à arc électrique, plutôt que de la charger en premier pour la chauffe suivante ? Faut-il transporter l'auge de chargement par-dessus le four pour atteindre le suivant ? L'utilisation du système pneumatique de transport du sable de moulage est-il une façon intelligente de le faire, si l'on considère l'entretien énorme que cela exige et les coûts énergétiques élevés ? Pourrait-on optimiser les distances de transport et la synchronisation des séquences ?

Dès qu'il nous vient des idées pour améliorer les procédés, il faut les soumettre à une évaluation critique, qui est décrite aux sections 3.2 à 3.5 (page 102 et suivantes).

Système de transport par monorail

Les fonderies qui transportent la poche de coulée par des portiques ont des choses à apprendre d'une fonderie de galvanisation des Pays-Bas. Pour le transport de grosses pièces à galvaniser à chaud, elles utilisaient un seul portique de cinq tonnes. Cela causait des périodes d'attente considérables (d'où les pertes de chaleur et d'énergie). Un nouveau système par monorail, avec une déviation, et transportant trois portiques a été installé. La nouvelle disposition permet aux produits d'être déplacés de manière indépendante et simultanée, et permet également aux portiques de retourner au début de la ligne pour passer en face des autres. Les économies d'énergie à elles seules ont permis de récupérer l'investissement en trois ans et demi, mais les avantages opérationnels (gains de productivité) ont réduit cette période à 1,7 an.

2.3.3 Fusion

Comme il est indiqué à l'appendice 5.2 portant sur les données repères énergétiques dans les fonderies, la fusion est le principal facteur de coût et le plus grand utilisateur d'énergie. Il importe de quantifier et de comprendre les coûts de la fusion par rapport aux pratiques d'exploitation, à l'équipement et au coût des matières premières. En raison de son importance, il faudrait effectuer le bilan énergétique de chaque four.

Adoptez un point de vue basé sur les procédés, et non sur le service pour examiner les opérations.

Voici les points, en fusion, qui permettent des économies d'énergie :

- Le réchauffage de la charge;
- Le bon choix et les bons ajustements des brûleurs à gaz (à mazout);
- L'isolation et l'entretien des fours;
- La surveillance et le contrôle;
- Le bon choix de la technologie de fusion électrique.

Réchauffage de la charge

Le réchauffage de la charge du four est effectué pour trois raisons :

- La sécurité : pour sécher et dégraisser la charge avant la fusion.
- La capacité de traitement : l'apport d'énergie dans les fours baisse, donc la fusion est plus rapide et la capacité de fusion augmente.
- Le coût : la chaleur provenant des effluents gazeux des fours peut servir à cette fin, ou l'on peut utiliser le gaz naturel au lieu de l'énergie électrique (s'il est encore plus bas).

Dans l'ensemble, le total des coûts énergétiques des opérations de fusion sont réduits. Si les prix du gaz devaient dépasser ceux de l'électricité, la justification qui consisterait à utiliser le réchauffeur devrait être basée sur l'augmentation nette de la production de fusion. En fusion à induction électrique, on peut réduire les frais de la puissance d'appel énormément par le réchauffage.

Le fonctionnement du réchauffeur doit être synchronisé avec le four. Le réchauffage ne devrait pas déboucher sur des pertes d'oxydation (par des températures excessives ou des périodes d'attente de la charge dans le réchauffeur), et les transferts du réchauffeur au four devraient être rapides pour réduire les pertes de chaleur de transfert.

Le réchauffage est habituellement difficile à justifier dans le cas des fours à arc électrique.

Fusion par combustion de mazout

Des progrès techniques importants ont eu lieu en *récupération de chaleur* à partir des gaz de combustion pour le réchauffage de l'air de combustion (habituellement pas plus de 600 °C), progrès faisant intervenir des récupérateurs et des brûleurs en céramique à haute température, le récupérateur devenant partie intégrante du brûleur lui-même. Ces améliorations permettent des économies d'énergie d'environ 30 p. 100 par rapport à la combustion sans réchauffage.

Dernièrement, de la récupération on est passé aux *brûleurs à récupération*, qui fonctionnent habituellement par paires et qui sont alimentés l'un et l'autre pendant quelques minutes seulement. Durant la combustion, les gaz de combustion à haute température sont acheminés dans un lit poreux de matière céramique autour du brûleur, qui n'est pas allumé. Puis le cycle est inversé, le brûleur éteint est allumé et l'air de combustion est extrait de la matière céramique, qui stockait la chaleur dans le cycle précédent. Le réchauffage à quelque 150 °C de la température de la chambre du four est possible, avec des économies qui sont généralement de plus de 50 p. 100 (comparé aux brûleurs à air froid).

De nouveaux brûleurs à récupération qui dégagent peu d'oxydes d'azote en réduisent de beaucoup les niveaux normalement créés par des brûleurs de ce type; l'efficacité énergétique est maintenue.

Le positionnement approprié des brûleurs dans le four peut aussi augmenter l'efficacité énergétique de manière progressive en créant une turbulence élevée des gaz de combustion dans le four, ce qui contribue à transférer la chaleur de même qu'à effectuer une combustion plus complète du combustible.

Après l'accélération jusqu'à la température voulue du métal, on réduit le régime des brûleurs à gaz ou à mazout en limitant le combustible et l'entrée d'air. Cela peut dérégler les brûleurs. Le recours à des microprocesseurs permet d'allumer les brûleurs par impulsion, à un taux fixe élevé, pour en arriver à réduire l'entrée de chaleur de façon mieux contrôlée.

Pour contrer l'effet négatif de l'infiltration d'air dans le four, ou pour augmenter la température du métal fondu plus rapidement, on utilise l'équilibrage de l'oxygène dans les brûleurs.

Comme avec tous les systèmes de combustion, le rendement optimal d'un brûleur dépend du maintien du bon ratio air-combustible, ce qui nécessite une surveillance constante. Si les niveaux d'air excédentaire sont augmentés, la consommation d'énergie spécifique du four monte également. Il existe des analyseurs de gaz de combustion automatiques pour l'oxygène excédentaire.

Pour ce qui est des pertes d'énergie provenant des fours à mazout, la chaleur évacuée dans les gaz de combustion représente la plus grande perte. La récupération de la chaleur devrait alors être une PGE importante.

On peut évaluer les avantages que procurent les améliorations apportées aux fours à mazout à l'aide d'une formule simple :

$$E = R \times S \times N \times F$$

où : **E** = économies d'énergie en \$/an

R = cote des brûleurs (GJ/h)

S = économie d'énergie prévue en pourcentage

N = nombre d'heures opérationnelles/an

F = coûts du combustible (\$/GJ)

Isolation et entretien des fours

Les pertes de chaleur causées par le rayonnement et la convection d'un four (ou d'un séchoir) doivent être réduites.

Les pertes peuvent être élevées si l'enveloppe n'est pas bien entretenue. La perte de chaleur peut se produire à cause des anomalies telles que :

- de l'isolant endommagé ou manquant;
- des portes de four mal ajustées ou gauchies, endommagées et des couvercles d'échantillonnage d'autres ouvertures dans l'enveloppe du four qui permettent à l'air d'entrer pour refroidir la température intérieure du four;
- la transmission de chaleur excessive par la structure du four.

Le fonctionnement intermittent du four augmente les pertes de chaleur structurelles.

Le recours à des matériaux en fibre céramique à faible masse thermique, à faible conductivité thermique et à basse densité comme garniture de face chaude peut réduire la perte de chaleur provenant de la structure du four. La fibre céramique a, bien sûr, le désavantage de faible force mécanique, d'où sa faible durabilité. Pour contrer cela, elle est parfois utilisée en sandwich avec d'autres matériaux réfractaires, comme des briques ou des matières corelables, de la brique isolante ou des panneaux à basse température. Toutefois, la fibre céramique résiste bien aux chocs thermiques, ce qui est beaucoup mieux que bien d'autres types de matériaux réfractaires. Le chemisage peut résister à des cycles très rapides de chauffage et de refroidissement.

Le thermographe est un outil très utile pour découvrir les surfaces qui ont besoin d'un isolant supplémentaire ou pour contrôler les fuites d'air.

Commandes

Le recours à des automates programmables, à des mesures directes de la température du métal fondu (ce qui est plus important que la température de la chambre du four), à des sondes d'oxygène à zircon dans le four, à un garnissage d'oxygène, à des analyseurs de gaz de combustion et à des commandes de registre de gaz de combustion pour maintenir la pression souhaitable dans la chambre du four, et l'informatisation des opérations de fusion, voilà toutes des mesures qui contribuent à réduire la consommation d'énergie.

Fours électriques

En raison de la déréglementation, de l'absence ou du peu de production d'émissions durant la fusion, des aspects métallurgiques et de la possibilité de fournir une densité énergétique élevée, l'électricité est souvent la source d'énergie privilégiée. Le choix du four dépend de l'application et l'acquisition est basée sur les coûts. Par conséquent, une fois installée, la fonderie doit optimiser le rendement électrique du four. Certaines des méthodes sont également décrites à la section 2.2.1 – Gestion de l'électricité (page 39).

L'*arc électrique*, qui utilise le courant continu, atteint des températures élevées et exécute la fusion en peu de temps. Ici, l'usage complémentaire des brûleurs d'oxygène et de gaz combustible dans les fours à arc électrique contribue à des économies d'énergie supplémentaires et considérables. Le meilleur rendement thermique, pour certaines applications de métal en fusion, repose sur la *fusion à résistance électrique*. Elle permet de convertir près de la totalité de l'électricité en chaleur. Les *fours à induction* électrique, qui utilisent le courant alternatif, sont répandus comme fours à haute fréquence ou à canal, avec des rendements qui se situent dans la gamme de 50 à 70 p. 100, et des pertes de chaleur pour l'eau de refroidissement aux environs de 20 à 25 p. 100 de l'intrant total.

Les coûts de l'électricité comprennent le coût de consommation pour la fusion et le temps d'attente pendant la fermeture le soir et la fin de semaine, de même que les coûts de la puissance d'appel. Dès que l'on a analysé et compris ces coûts, il devient facile de savoir comment les contrôler.

Fusion à l'arc électrique

La très efficace pratique de fusion à l'arc électrique est utilisée dans la fusion du fer, de la fonte, du fer ductile et de l'acier, où la consommation d'énergie spécifique d'environ 550 kWh par tonne est considérée comme un bon point de repère. Les fours à arc électrique ont besoin d'une haute tension, ainsi que de compteurs de qualité et de dispositifs de contrôle de l'appel de puissance.

Les PGE dans les fours à arc électrique sont liés :

- à la bonne installation et au bon positionnement de bracelets tiges de mise à la terre au fond du four;
- à l'approvisionnement et à la distribution du courant électrique;
- au contrôle de l'appel de puissance électrique;
- aux pratiques d'exploitation :
 - la vitesse de la chaleur;
 - la régulation des arcs;
 - les retards;
 - les activités de l'opérateur;
 - l'analyse des problèmes.

Le *transfert de chaleur* à l'arc est le plus efficace à pleine puissance pour les longs arcs, afin d'accélérer l'amorçage et la fusion. Cela est facilité par l'asservissement du mouvement des électrodes afin d'optimiser la conversion de l'électricité. Le régulateur qui n'est pas optimisé gaspille l'énergie et allonge la chaleur. L'égalité de l'alimentation électrique peut également nuire à l'efficacité du four et à la durée des électrodes si la compagnie d'électricité devait changer les caractéristiques de l'alimentation. À ce sujet, il vaut la peine de la contacter.

Les *retards* inutiles stoppent l'utilisation des fours et constituent une source importante d'énergie. Le temps d'attente devrait se limiter exclusivement à ce qui est nécessaire (p. ex., pour le nettoyage du four après la coulée). Les pratiques des opérateurs influencent énormément les retards : toutes les tâches préparatoires (p. ex., la préparation de la lance et des électrodes, des produits consommables, le retrait et le vidage de la poche à scories, le nettoyage du trou et de la busette de coulée) doivent être exécutées avant la coulée et le chargement, pendant que la chaleur est à son maximum et que la fusion progresse. De même, la poche de coulée doit être en position, juste à temps, prête pour le piquage. Examinez la possibilité – contrairement à la séquence habituelle – de charger le four en premier, puis de retirer la poche de coulée au moyen du portique pour voir si cela n'améliorerait pas l'utilisation du four et la production. Si cela est possible, effectuez l'entretien du four en soirée ou la nuit.

Le four à arc électrique est une opération très intensive. Il convient de tenir un *registre quotidien* comprenant les données essentielles au sujet de la charge, des caractéristiques de chauffage, des ruptures d'électrodes, etc., et d'analyser à intervalles réguliers ce registre à la recherche d'indices pour adopter des *mesures préventives*.

De nos jours, on installe souvent des *panneaux refroidis à l'eau* dans le plafond de la chambre de combustion et aux endroits où il y a beaucoup d'usure dans les murs latéraux, afin de protéger les matériaux réfractaires. Contrairement aux

prévisions, la consommation d'énergie spécifique n'a pas augmenté de façon notable durant le chauffage (peut-être à cause exclusivement de la circulation d'eau). La durée de vie des matériaux réfractaires a augmenté de plus de la moitié, et on observe de légères réductions de la durée totale du cycle (8 p. 100) et de la durée globale de chauffe. L'eau chaude devrait donner d'autres possibilités d'utilisation de la chaleur perdue.

Fours à induction électrique

L.V. Whiting, de CANMET chez RNCAN, a baptisé la pratique de gaspillage qui consiste à fusionner rapidement à la puissance maximale du terme de « se hâter-attendre », peu importe la demande de métal, afin de provoquer de longs retards en plus de ceux qui font partie normalement du cycle. Cette pratique entraîne les coûts les plus élevés de l'électricité. En revanche, le mode « sans attente » réduit le courant en proportion du taux de fusion moyen, au fur et à mesure que la période de fusion quotidienne augmente. Cela amène des coûts de fusion minimaux. Une étude comparative dans beaucoup de fonderies a indiqué des résultats intéressants pour tout gestionnaire de fonderie. Si l'on excepte d'autres considérations, comme l'ordonnancement de la production, *la consommation d'électricité spécifique – et le coût par tonne – décroît avec :*

- l'abaissement de la puissance de fusion, qui amène une période de fusion plus longue;
- la hausse du taux d'utilisation du four dans une journée;
- l'augmentation de la quantité de charge dans le four (souvent 20 p. 100 de moins que la quantité optimale);
- la réduction des retards supplémentaires (inutile);
- la réduction des périodes d'arrêt;
- l'abaissement de la température du métal fondu;
- l'augmentation de la dimension du trou de coulée;
- l'abaissement du courant d'attente;
- le rendement plus élevé du serpentin à induction;
- le contrôle de la puissance d'appel.

L'abaissement de la puissance de fusion a un autre avantage, soit de réduire l'érosion du chemisage du four, en raison d'un brassage inductif moins vigoureux de la charge, ce qui réduit les opérations d'entretien du chemisage.

Le four à induction à haute fréquence perd de l'énergie de trois façons :

- par rayonnement – les pertes liées à l'ouverture de la porte du four;
- par la conduction – à travers la structure du four;
- par l'écumage des scories et de l'écume.

Le four à induction à haute fréquence fonctionne habituellement en cycle continu par l'eau : une charge de métal fondu est piquée et la charge de masse équivalente est déposée dans le four. La dimension du piquage et de la charge doit être d'un volume suffisant pour maintenir le niveau de métal liquide au-dessus du bord supérieur du serpentin à induction. Cela permet au serpentin d'utiliser toute la puissance. Durant le chargement, le couvercle du four est rabattu et instantanément, il se produit de grandes *pertes de chaleur par rayonnement*.

Ces pertes doivent être compensées par une puissance supplémentaire dans le transformateur du four. À l'aide de l'exemple dans l'encadré, essayez d'évaluer le coût du rabattement du couvercle d'un four pendant une année.

Il importe de passer en revue vos pratiques de chargement et de piquage, afin de réduire le nombre de fois où le couvercle est enlevé durant la fusion, de même que la durée des périodes non couvertes. Ainsi, lors de l'échantillonnage du métal fondu ou de la mesure de sa température, au lieu d'ouvrir le couvercle pour ce faire, pratiquez un trou dans le couvercle (normalement bouchonné) pour l'échantillonner.

On peut réduire les *pertes de conduction* en utilisant correctement les matériaux réfractaires dans le creuset du four (il en est question ailleurs dans le guide) et en maintenant un ajustement serré entre le couvercle et le corps du four. Il est bon de disposer d'un couvercle de réserve bien entretenu pour le changer rapidement si nécessaire.

On peut optimiser *l'enlèvement des scories ou de l'écume* avec un écumeur électrique ou en élargissant la busette du four pour verser les scories dans une poche de transfert pour mieux écrémer. Les mêmes pertes par rayonnement se produisent en outre durant l'écémage des scories par les busettes et les ouvertures d'écémage. Encore là, l'accès au four par ces ouvertures doit être maintenu à un strict minimum. Lorsqu'elles sont fermées, les portes et les busettes devraient être bien étanches.

Les *fours à induction à canal électrique* entraînent d'autres pertes d'énergie : la fusion s'effectue dans le canal du four, et pour que le four fonctionne, il faut laisser un fond de réservoir rempli de métal fondu entre les charges, de même que pendant les périodes autres que celles de production, bien qu'à un réglage de puissance moindre. Cela augmente également les pertes structurelles par convection.

Maintien du métal coulé

La question d'installer ou non un four d'attente doit être soumise à une analyse économique complète de la production et des modèles de consommation de l'électricité et des coûts, pour en établir la faisabilité. La pratique fréquente du stockage de métal en fusion dans des fours d'attente est un moyen d'harmoniser la production, de régler les difficultés d'ordonnancement et de permettre la poursuite des opérations de moulage pendant que le four séquentiel prépare la coulée suivante. Il existe de plus un élément d'évitement des coûts dans de telles décisions – soit la nécessité d'un autre four de fusion, quand on peut reporter l'augmentation de la production.

Le stockage de métal en fusion correspond au stockage d'énergie. Il peut réduire les crêtes de puissance d'appel et le niveau de l'alimentation électrique, et tirer parti des tarifs réduits à certaines heures. Le résultat, du métal liquide disponible pour la production à des coûts énergétiques réduits.

Voici une brève liste d'exemples de mesures éconergétiques adoptées et d'innovations mises en œuvre portant sur les métaux liquides dans diverses fonderies.

Dans le cas d'un four à induction à haute fréquence de taille moyenne utilisé pour fusionner du fer, la perte par radiation est de 10 à 15 kWh par minute quand le couvercle est ouvert.

Matières réfractaires

Isolant en céramique

L'isolant en céramique peut remplacer les briques réfractaires dans certaines applications, soit les couvercles de four, les fours à sole roulante, etc. Il stocke moins de chaleur, perd moins de chaleur et n'a pas autant de chaleur à réchauffer que la brique réfractaire. Cela est utile quand le four est utilisé par intermittence; on peut le fermer entre les charges. En plus de conserver l'énergie pour le chauffage, il aide à réguler les températures internes de façon plus serrée. Dans les installations étudiées, la durée de vie de l'isolant a été de 15 ans et les économies d'électricité étaient de 6 à 26 p. 100.

Poche de coulée et garnissage du four d'attente

Pour l'entretien et le garnissage des poches de coulée, les matières réfractaires utilisées par le passé exigeaient beaucoup de main-d'œuvre et de longues périodes de séchage. De plus, la capacité plutôt médiocre d'isolation des matières nécessitait un chauffage constant et intensif lorsqu'elles n'étaient pas utilisées. Entre autres, une fonderie au Royaume-Uni a adopté une nouvelle matière de garnissage à faible densité, à faible conductivité thermique et ayant des caractéristiques non mouillantes.

On peut commander le garnissage sous des formes ajustées, et l'installation est relativement simple. Les avantages immédiats en sont les économies de main-d'œuvre et de temps, de même que d'énormes économies d'énergie. Par opposition à l'ancienne exigence qui consistait à maintenir allumés les brûleurs de réchauffage des poches de coulée 24 heures sur 24, afin de conserver la bonne température, le nouveau garnissage permet de réchauffer la poche de coulée pendant seulement deux heures et demie au début de la semaine de travail. Par la suite, les excellentes caractéristiques d'isolation de la matière éliminent le réchauffage. De même, on peut abaisser la température du trou de métal en fusion, car les pertes de température de transit ont été énormément réduites (p. ex., en moyenne de 50 °C à 15 °C). D'habitude, le garnissage peut durer de 12 à 18 mois. Dans l'installation mentionnée plus haut, la période de récupération s'est limitée à neuf semaines.

Également, une fonderie dans l'est de l'Ontario a remplacé les briques réfractaires par des panneaux dans son four à noyaux et sa poche de coulée, obtenant ainsi les mêmes résultats d'efficacité énergétique.

Réchauffage

Si la ferraille contient de l'eau lorsqu'on la charge dans le four, alors l'évaporation instantanée de l'eau au contact du métal en fusion peut exploser avec suffisamment de force pour infliger des dommages ou des blessures. La pratique standard consiste à utiliser des réchauffeurs à gaz pour sécher la ferraille, mais la dimension et le type de l'équipement standard ne correspondent pas toujours aux exigences des petites installations. Une fonderie en Ontario a installé un réchauffeur efficace de débris d'acier. Pour contrôler les émissions atmosphériques provenant du réchauffage de la ferraille mouillée et du fer huileux, un dispositif de postcombustion a également été installé. Avec ce dispositif, la fonderie a été en mesure de respecter ou de dépasser les normes d'émission. Même si, avec le dispositif de

postcombustion, l'énergie économisée équivalait à seulement 11 p. 100, la charge réchauffée a réduit le temps de fusion de manière appréciable. Cela a permis d'augmenter la production de 17 p. 100. Ce projet a été subventionné en partie par le programme RDEI (voir la section 4.1 à la page 115). La période de récupération a été inférieure à deux ans.

Brûleurs régénérateurs

Si l'on utilise un brûleur conventionnel à gaz naturel (ou à mazout) dans le four de fusion, beaucoup d'énergie (latente et sous forme sensible) se perd dans le carneau. L'utilisation de l'énergie en partie pour réchauffer l'air de combustion d'arrivée a été testée de plusieurs façons. L'une d'entre elles consiste à utiliser des brûleurs régénérateurs disposés par deux. Ils fonctionnent de manière cyclique : pendant qu'un brûleur s'allume, les gaz d'échappement s'écoulent dans l'autre où leur contenu thermique est stocké dans un matériau convenable à récupération de chaleur. Puis l'allumage est inversé. L'air de combustion froid passe alors à travers ce matériau et est réchauffé, disons, à 850 °C. Une augmentation du rendement de 17 à 20 p. 100 a été observée dans certaines installations. La période de récupération a été inférieure à un an.

Plusieurs variantes de la technologie du brûleur régénérateur ont été développées. Une conception compacte de brûleurs Twinbed^{MD} et du cycle rapide (environ 20 secondes chacun) des brûleurs, disposés par deux, permettent le stockage et la récupération de chaleur à court terme. Avec comme résultat que l'air de combustion était réchauffé de 85 à 95 p. 100 de la température des gaz de combustion, et la consommation de gaz a été limitée à 38 p. 100. Pour une fonderie du nord de l'Ontario, la période de récupération simple (avant la hausse des prix du gaz naturel de 2000) a été de 5,2 ans.

Au Japon, dans le système développé par Tokyo Gas Co., la matière de stockage thermique (boules d'aluminium) a été intégrée à la matière réfractaire. Le fait de conjuguer la technologie de l'injection directe du combustible à un brûleur régénérateur à plein temps a eu plusieurs effets bénéfiques :

- La dimension du brûleur régénérateur à injection directe du combustible à plein temps a été réduite des deux tiers, tout comme la tubulure, ce qui a réduit les coûts d'immobilisations de 20 p. 100;
- Le combustible et l'air de combustion réchauffés sont introduits dans le four en parallèle. Il brûle plutôt lentement, ce qui réduit les niveaux de NO_x énormément, bien en dessous des taux réglementés du Japon. Il ne fait appel à aucune veilleuse;
- Le rendement élevé du transfert de la chaleur des gaz de combustion à l'air de combustion (75 p. 100) réduit la consommation d'énergie de 40 à 50 p. 100;
- La période de récupération a été de deux ans.

Fusion par cubilot

L'enquête britannique de 1989 sur les fonderies à cubilot indique une moyenne de consommation du coke spécifique (CCS) de 158 kg/t liquide de fer. Une fonderie de ce type a abaissé la CCS de ses *cubilot* à vent froid à 113 kg/t, soit une

Les brûleurs régénérateurs ont la plus grande efficacité énergétique dans un four; jusqu'à 85 p. 100 de la chaleur des gaz de combustion peut être récupérée.

économie de 28 p. 100. Elle y est parvenue par l'amélioration de la planification de la production pour réduire les écarts dans la composition, la température et la demande de métal en fusion, l'équilibrage précis du coke et de la charge, ainsi que d'autres améliorations aux procédés.

Une autre fonderie britannique a remplacé ses *cubilots à vent froid* par des *cubilots à vent chaud*, beaucoup plus éconergétiques. Le projet visait également à réduire les émissions de poussière tout en accroissant la capacité de fusion. Le cubilot est doté de quatre cuillères saillantes de refroidissement par eau à gaine spiralée en cuivre (ouvertures dans le garnissage réfractaire du four à travers lequel l'air est poussé). La combustion des gaz de carneau est facilitée par une combinaison d'ajout d'air et d'un dispositif de postcombustion qui s'allume automatiquement si la température tombe en dessous d'un niveau préétabli. Le gaz de combustion réchauffé le vent soufflé de combustion enrichi d'oxygène entre 490 à 500 °C. Les gaz de combustion sont ensuite refroidis à environ 175 °C et par la suite, ils sont filtrés dans des sacs et évacués dans l'atmosphère avec seulement 5 mg/m³ de particules, ou le quart du contenu maximal permissible.

Dans la recherche d'un rendement énergétique plus élevé et de l'abaissement des émissions, on peut convertir des cubilots au coke à la fusion au gaz. Dans un projet de réfection à une fonderie du Royaume-Uni, le cubilot a été doté d'une grille refroidie par eau recouverte de matières réfractaires, qui comprend un lit de sphères réfractaires agissant comme échangeur de chaleur. Les brûleurs en dessous de la grille produisent l'atmosphère de réduction requise et dégagent moins de pertes d'oxydation. Les gaz réchauffent et font fondre le métal qui, à mesure qu'il passe à travers le lit, est surchauffé et collecté dans un puits avant le piquage. Dans le puits, l'injecteur de cémentation maintient le niveau de carbone requis. La période de récupération a été de 1,8 an.

Dans une autre fonderie à cubilot au coke, la technologie du cubilot a été remplacée par un *four à induction à haute fréquence* électromagnétique. Le four de fusion à haute fréquence se compose d'un creuset entouré d'un serpentín chauffé à l'électricité et isolé avec de la matière réfractaire. La charge elle-même agit comme une seule spire secondaire.

L'avantage de l'induction à haute fréquence est qu'on peut fondre le fer par lots et, après avoir atteint la température de moulage voulue, on peut vider complètement le métal du four. On n'a pas à maintenir de « talons » résiduels chauds, comme dans la fusion à canal. Autre avantage, par opposition au four au coke ou à gaz, il n'existe pratiquement pas d'émissions car aucun air de combustion n'est requis. De même, la quantité de poussière produite est limitée. L'avantage de démarrer un four vide permet à la fonderie de tirer parti des tarifs d'électricité moins chers pour procéder à la fusion en soirée.

Une grande fonderie à cubilot du Québec a également remplacé son four à cubilot par deux fours à induction électromagnétique, et a connu des résultats semblables. Elle a doublé son rendement énergétique global à 50 p. 100 d'utilisation, et haussé sa productivité par la même occasion. Comparés au cubilot, les fours à induction ont fait économiser environ 2,5 GJ/t de métal liquide.

Remplacement du four à creuset au coke

En remplaçant son four au coke par un four à oxygène/gaz naturel, une fonderie hollandaise a coupé de moitié son temps de chauffage et de fusion concernant le cuivre et la charge des alliages de cuivre, réduit ses émissions de polluants et augmenté le rendement de la fusion de 15 à 22 p. 100. (*Note : la fusion par oxygène-gaz combustible ne convient pas au laiton en raison des pertes excessives de zinc.*)

L'avantage de l'utilisation de l'oxygène a consisté à réduire les pertes de chaleur par l'élimination du chauffage de la partie d'azote dans l'air. Elle a réalisé d'importantes économies d'énergie. Le brûleur pivotant, inséré par le couvercle d'un nouveau four à tambour, était refroidi à l'eau.

Four de fusion à résistance électrique

Vu que les lots de production élevée ne constituaient pas un facteur, une petite aluminerie en Arizona a remplacé ses fours à réverbère par la fusion à résistance électrique. Les fours fixes pour la fusion et la rétention ont été installés de même que des fours oscillants. La fonderie a ainsi obtenu une plus grande souplesse dans la production (plus de 50 p. 100), plus de facilité dans le fonctionnement, un entretien (moins 20 p. 100) et un temps de panne (moins 10 p. 100) réduits ainsi que des réparations simplifiées, sans compter les 28 p. 100 d'économie par rapport à l'utilisation du gaz. En plus, les épurateurs et les dépoussiéreurs à sacs filtrants n'étaient plus nécessaires. La période de récupération quant aux seules économies d'énergie a été de cinq ans.

Fours à induction

Une fonderie de zinc en Australie a remplacé ses deux fours à creuset au gaz par un four à induction. Les hausses de coût du gaz, des problèmes de qualité dus aux produits d'oxydation et les coûts élevés de l'entretien en ont été les raisons (regarnissage du four à toutes les 150 fusions). Le courant triphasé a été converti au courant à 150 Hz. Elle a réalisé un facteur de puissance amélioré de 0,80 à 0,85. Le passage à la fusion par induction a donné les avantages suivants (assez habituels) :

- une réduction de 20 p. 100 des coûts;
- une production accrue en raison de la réduction de la fréquence de regarnissage du creuset;
- une hausse de la qualité des produits et grâce à un meilleur contrôle de la température, qui réduit énormément l'« écume » (produits d'oxydation) de la fusion;
- la quasi-élimination de la pollution locale et de la poussière ou des émanations;
- moins d'entretien;
- une fusion plus rapide, qui s'est traduite par l'augmentation de la production, ce qui a permis pratiquement de fusionner deux quarts en un;
- aucune nécessité de brasser le métal en fusion de manière mécanique, car le chauffage par induction le fait automatiquement.

La qualité améliorée, la compression des coûts de main-d'œuvre et des coûts de regarnissage, de même qu'un contrôle plus précis de la température se sont traduits par des économies supplémentaires.

Fusion par four à induction pour moulage continu

Une fonderie de cuivre et de laiton aux Pays-Bas cherchait à réduire sa consommation d'énergie et à améliorer son rendement. Sans modifier son procédé de fusion ou de moulage, elle a atteint ses objectifs en insérant un four d'attente bien dimensionné entre les deux. Dans le cas du four d'attente, le métal en fusion était continuellement transféré dans la machine de coulée.

Four à cuve à gaz pour moulage continu

Une fonderie britannique a remplacé ses fours à fusion (semi-rotatifs et oscillants à gaz et à mazout) par un four à arbre à gaz Striko Etamax. Le four est chargé par un arbre vertical dans lequel les gaz de combustion qui s'échappent réchauffent la charge. Le four possède des chambres distinctes de fusion et d'attente, réchauffées par des brûleurs récupérateurs. Les brûleurs, les températures et les ventilateurs commandés par automate programmable dépendent d'un système de chargement automatique intégré, qui pèse la charge. La fonderie a réalisé d'énormes économies d'énergie (la consommation d'énergie spécifique a été de 3,93 GJ/t) et d'autres gains de production (des pertes de fusion réduites, moins de main-d'œuvre), et tout cela en à peine 10 mois.

Autres PGE

Périodique

- Cherchez à restructurer vos tarifs d'électricité auprès de votre service public local.
- Informez-vous des avantages à acheter votre gaz naturel sur le marché immédiat (« spot ») auprès des diverses compagnies de distribution de gaz.
- Mettez en œuvre un programme de vérifications et d'entretien préventif à intervalles réguliers.
- Réglez les brûleurs de façon appropriée et surveillez les niveaux de gaz de combustion et d'oxygène.
- Tenez les surfaces de récupérateur propres.
- Organisez la production de sorte que chaque four fonctionne à son rendement presque maximal.
- Réduisez les délais supplémentaires dans le cycle charge - fusion - scorie - coulée - charge.
- Conservez le métal en fusion en mouvement; faites en sorte que la poche de coulée soit prête avant l'heure de coulée.
- Entretenez l'isolant de l'équipement.
- Dans le cas des fours au gaz naturel, prêtez attention à la composition des effluents gazeux : jusqu'à 30 p. 100 de l'énergie peut se perdre sous forme d'énergie potentielle chimique du fait de la combustion incomplète des hydrocarbures dans l'enveloppe du four. Vérifiez le ratio gaz-air de même que la composition des gaz de combustion à intervalles réguliers.

- Réduisez la température du four (métal en fusion) si possible.
- Songez à consulter le fabricant du four concernant la meilleure façon de mettre à niveau le garnissage du four afin de réduire les pertes conductrices de chaleur.

À faible coût

- Percez un orifice d'échantillonnage à travers le couvercle du four pour en limiter la fréquence d'ouverture (bouchonnez-le s'il n'est pas utilisé).
- Vérifiez s'il y a des écarts non scellés entre le couvercle du four et celui-ci.
- Réduisez la période pendant laquelle le couvercle du four est enlevé.
- Optimisez le parcours du godet de chargement de même que celui de la poche de coulée, en le rendant le plus rapide possible.
- Échantillonnez le métal en fusion au point de coulée si la métallurgie le permet, plutôt que d'ouvrir le couvercle du four.
- Contrôlez le taux d'échappement des gaz de combustion, non en les étranglant du côté de la sortie du ventilateur, mais au moyen d'une commande de vitesse sur le moteur du ventilateur (consistant en un régulateur de fréquence accompagné d'une modulation vectorielle). Vous réduirez ainsi la consommation d'énergie de quelque 35 p. 100 et le ralenti d'environ 37 p. 100.
- Réchauffez l'air de combustion à l'aide de la chaleur provenant de l'évacuation du four.
- Ne surchauffez pas le grand volume de métal en fusion dans le four de fusion principal si votre coulée s'effectue par lots. Surchauffez plutôt, au besoin, dans un four d'attente plus petit juste avant la coulée.
- Envisagez l'application d'une garniture d'oxygène pour mieux contrôler l'air excédentaire.
- Limitez les pertes de chaleur par rayonnement et convection : ajoutez de l'isolant thermique aux pièces du système qui ne sont pas isolées ou qui ne comportent pas suffisamment d'isolant (p. ex., les compartiments du brûleur, les canalisations, les échangeurs de chaleur).
- Mettez à niveau l'équipement de surveillance et de contrôle ou ajoutez-en.
- Relocalisez l'entrée d'air de combustion pour récupérer la chaleur des autres procédés (ou de l'intérieur du bâtiment).
- Remplacez les portes usées, endommagées ou gauchies des fours de même que les couvercles.
- Disposez d'un couvercle de four de réserve en bon état, prêt à un échange rapide, au besoin.

Par réfection; à coût élevé

- Envisagez d'installer un réchauffeur pour réchauffer la charge.
- Songez à utiliser la fusion assistée par oxy-combustible dans les fours à induction pour augmenter la production du four et réduire la puissance d'appel électrique (convient à la plupart des métaux sauf le laiton et le zinc).
- Si cela convient, envisagez l'installation de brûleurs à récupération de chaleur jumelés dans un four à cornue, qui accomplit la récupération de chaleur par l'utilisation d'un lit de coulée compact de matières de stockage de la chaleur dans chaque brûleur, et le cycle rapide des brûleurs. Il est possible de réchauffer l'air de combustion de 85 à 95 p. 100 de la température des gaz de combustion, et ainsi d'obtenir une réduction de l'utilisation du gaz naturel de 40 p. 100.

- Si vous fondez avec du gaz naturel, envisagez l'utilisation des gaz de combustion pour sécher et réchauffer la ferraille avant de charger le four.
- Installez un échangeur de chaleur air-liquide dans les conduits d'évacuation du four pour chauffer les liquides de traitement comme l'eau d'appoint de la chaudière (les grands systèmes peuvent permettre d'utiliser une chaudière à chaleur perdue).
- Installez un épurateur pour récupérer la chaleur tout en retirant les particules et les gaz indésirables.
- Dans le cas des cubilots, envisagez l'installation d'un système de récupération.
- Intégrez et automatisez le contrôle opérationnel pour obtenir le maximum d'efficacité énergétique.
- Optimisez les opérations du four à arc électrique par une analyse continue de l'hydrogène combustible et du monoxyde de carbone d'échappement, en liant cela à la régulation des ratios de brûleur, aux injections d'oxygène et aux ajouts de carbone.
- Dans les fonderies de fer, optimisez l'utilisation du gaz de cokerie, du gaz de haut fourneau et du gaz naturel pour réduire les brûlures en torche et les achats de gaz naturel, en maximisant la possibilité du réseau de distribution, l'automatisation et le contrôle informatique.
- Envisagez d'utiliser le contenu thermique des gaz de combustion pour réchauffer l'air de combustion, et pour tous les autres usages dans la fonderie.
- Pour les grands fours à gaz ou à arc électrique, envisagez d'installer un *système de four expert*. Il s'agit d'un procédé d'optimisation qui utilise l'analyse chimique des gaz d'échappement de façon continue en guise de contrôle de procédé et d'outil d'interprétation métallurgique. Quelques systèmes de ce genre ont déjà été développés au cours des dernières années.
- Mettez à niveau les commandes électriques des fours à induction pour en réduire les pertes de distorsion harmonique.

2.3.4 Noyautage

Voici les éléments qui influent sur le choix de la technologie de noyautage : le type de pièce de fonte, la dimension et la complexité de la pièce coulée, la qualité de fini voulu du moulage, le type d'équipement de production, la productivité requise et la source d'énergie disponible. Les six technologies les plus courantes comptent des avantages et des inconvénients. Du point de vue de l'utilisation de l'énergie, l'unité de production (que l'on considère comme la base de comparaison) permet de classer le procédé de noyautage du premier au dernier comme suit :

- l'huile comme liant du sable. Le procédé nécessite des températures élevées pour la prise, et les noyaux doivent avoir un enduit réfractaire et de la colle;
- le sable vert, s'il est utilisé pour les noyaux, suit de près avec des exigences semblables;
- le four, qui exige également une prise chaude pour la prise en masse du liant, et habituellement l'enduit réfractaire. Il produit des noyaux solides;
- le four froid exige du sable chaud, un mélange de gaz aminé et aucun lavage;
- les non-cuits dépendent de la prise à l'air liant et du catalyseur, de même que du sable athermique contrôlé. Habituellement, l'enduit réfractaire est nécessaire;
- le procédé de coquille : l'enduit n'est pas habituellement requis.

TABLEAU 4**Utilisation relative de l'énergie dans le noyautage**

Type	Huile	Sable vert	Four	Four froid	Non-cuits	Coquille
Énergie relative, %	100	85	75	58	38	35

Un procédé novateur de noyautage a été utilisé dans une fonderie de fer en Ontario, qui utilise des noyaux amovibles faits de composants d'acier articulé.

Vu qu'une fonderie doit être rentable, tout changement à un procédé doit se justifier sur la base d'une évaluation complète des coûts variables et fixes, des besoins en capitaux, d'une récupération appropriée, etc. La proposition doit examiner les effets de la consommation d'énergie de même que la disponibilité future de la source d'énergie retenue.

Autres PGE*Périodique*

- Mettez hors tension l'équipement de chauffage (les étuves à noyau) quand il n'est pas nécessaire.
- Empêchez l'infiltration d'air froid dans le secteur (fenêtres et portes).
- Empêchez le déversement du sable à coquille.
- Surveillez et analysez les défauts des noyaux ou les rejets.
- Essayez de voir si la mise hors tension des machines à fabrication de noyaux qui consomment du gaz ou de l'électricité, à la fin du quart, est plus économique que de réchauffer les caisses à noyaux. Mettez la bonne approche en application. Vous pouvez aussi utiliser des minuteries ou des commandes programmables.
- Entretenez et étalonnez l'équipement de surveillance et de contrôle dans les machines de fabrication de noyaux et les circuits d'alimentation, de même que dans les étuves à noyaux.

À faible coût

- Améliorez l'isolant des étuves.
- Posez des capteurs d'humidité sur les étuves à eau.
- Songez à installer des automates programmables pour les étuves (température, temps, vitesse du convoyeur dans les étuves continues) et pour contrôler la consommation de combustible dans les brûleurs (ratio d'air, étranglement, fermetures).
- Cherchez à savoir si l'insertion de noyaux en acier réutilisable et amovible serait possible dans votre fonderie (comme c'est le cas ailleurs) pour améliorer la productivité et la qualité, et réduire les coûts.

Par réfection; à coût élevé

- Envisagez d'améliorer la cuisson ou le séchage des noyaux par l'application du :
 - séchage par convection;
 - chauffage à l'infrarouge;
 - chauffage par micro-ondes;
 - séchage à air chaud à haute vitesse pour répartir la chaleur rapidement et uniformément dans l'étuve;
 - de l'allumage direct des brûleurs dans l'étuve;
 - séchage continu.
- Songez aux avantages et à la rentabilité de remplacer la technologie de noyautage.
- Envisagez la récupération de chaleur des échappements dans les étuves.

2.3.5 Fabrication de moules

La fabrication de moules peut consommer jusqu'à 20 p. 100 de toute l'énergie d'une fonderie, selon la technologie employée. La fabrication de moules traditionnels par sable vert consiste à recevoir, à transporter, à préparer, à livrer le sable et l'argile au secteur du moulage, à traiter les moules, à les dépoussiérer, à les récupérer et à les régénérer, puis à les retransporter. Cela fait appel à toutes les formes d'énergie dans une fonderie, et tout le système doit être conçu de telle sorte qu'il ne se produise pas de goulots d'étranglement.

Suivant l'application, presque tous les procédés qui sont utilisés dans le noyautage produisent également des moules : le sable huileux, le four, la coquille, les non-cuits, le four froid et le sable vert. Un procédé utilise également rien que du sable sec éparé autour des moulages en mousse perdue (voir ci-dessous). Des principes semblables s'appliquent également dans l'amélioration du rendement énergétique du service du moulage.

Séchage de l'enduit des moules

Pour protéger les moulages et les noyaux sableux des hautes températures du métal en fusion, les fonderies font appel à des enduits réfractaires. Cela réduit la ferraille, comprime les coûts de main-d'œuvre et améliore la productivité. L'enduit se présente sous la forme d'un lavage liquide. Le liquide de préservation peut être basé sur des mélanges à composé d'alcool chloré, qui sèchent rapidement sans chaleur, mais leur toxicité et leur volatilité exigent des contrôles d'émission. Les lavages à base d'eau sont moins dispendieux et non toxiques, mais exigent une longue période de séchage dans les étuves à gaz ou à résistance électrique. Les étuves sont efficaces. Néanmoins, l'application d'un *chauffage à infrarouge* pour enduire les moules, développée en collaboration avec l'Electric Power Research Institute (É.-U.), peut réduire la période de séchage jusqu'à 85 p. 100. L'économie d'énergie découle du caractère contrôlable de l'appareil à infrarouge, qui amène la surface du moule jusqu'à la température voulue, puis s'éteint selon une séquence préétablie. La chaleur se dissipe en moins grande quantité dans les

alentours. L'élément à infrarouge dirige la chaleur de manière plus efficace sur le moule et peut sécher les cavités profondes et les poches du moule, ce qui contribue à améliorer la qualité des moulages. La sous-surface du moule n'est pas touchée. Autre avantage, seulement 25 p. 100 de la superficie occupée par les étuves à résistance est nécessaire. La période de récupération est inférieure à un an.

Mousse perdue

Cette technologie relativement nouvelle (à l'heure actuelle, seulement deux fonderies à mousse perdue sont exploitées au Canada) offre de considérables économies d'énergie (jusqu'à 30 p. 100). Le modèle de mousse peut être d'une conception très complexe. Par exemple, une fonderie a remplacé la nécessité d'assembler 125 pièces grâce à une seule forme en mousse. Le moulage en mousse perdue peut atteindre la précision dimensionnelle du moulage sous haute pression. Elle fait appel à du sable à expansion lente comme support de moulage.

Dans la coulée à mousse perdue, un modèle en mousse usiné est trempé ou aspergé au moyen d'un film céramique mince. Après le passage du modèle par un séchoir, le film offre une protection contre la pénétration du métal en fusion. Le modèle est ensuite déposé dans du sable sec (aucun liant nécessaire!), et il est compacté par les vibrations. Le métal en fusion est coulé dans la mousse par une descente. Il déplace la mousse par la fusion et la sublimation.

Dans des installations surveillées (par l'Université de l'Alabama, en 2000), l'usinage et l'assemblage ont été presque éliminés pour les pièces en mousse perdue. Les taux de production ont augmenté plusieurs fois. La consommation d'énergie a également baissé en réduisant la charge grâce à l'équipement auxiliaire. De plus, le gaspillage du métal a été réduit de façon importante. Une application de pression modérée durant la phase de solidification a réduit la porosité dans une relation d'ordre décimal, augmenté la résistance à la traction de 10 p. 100, et affiché des augmentations de 100 p. 100 dans l'allongement. La vie utile des machines-outils est pratiquement illimitée, tandis que les outils traditionnels doivent être remplacés après 200 000 pièces coulées.

Unique au procédé de mousse perdue, le brûlage des modèles en styromousse au fur et à mesure que le métal est coulé. Cela produit de grandes quantités additionnelles de chaleur récupérable dans les gaz ventilés; on peut y disposer un récupérateur de chaleur pour assurer une meilleure rentabilité.

Même si les coûts d'une machine de moulage en mousse perdue sont le double du coût d'une machine à coulée sous pression, le fort excédent de production et les avantages décrits ci-dessus en font une solution très attrayante sur le plan financier.

Autres PGE

Périodique

- Ne faites pas fonctionner l'équipement s'il n'est pas nécessaire.
- Procédez à l'entretien préventif de tout l'équipement.
- Veillez à l'étalonnage des commandes à intervalles réguliers.
- Surveillez la composition du sable.
- Contrôlez le déversement du sable à coquille (coûts).
- Contrôlez le déversement du sable (éliminez les pertes et le double traitement).

À faible coût

- Songez à installer un analyseur de sable automatique.
- Posez des commandes automatiques pour le maintien de la température du sable.

Par réfection; à coût élevé

- Analysez et optimisez le système : étudiez les modèles de convoyage et de traitement.
- Automatisez et synchronisez les éléments clés de la chaîne de fabrication des moules.

2.3.6 Coulée

Poches de coulée

Le *réchauffage* des poches de coulée consomme énormément de gaz naturel. Nous avons déjà mentionné des façons de réduire la quantité de chaleur nécessaire pour les amener à la température requise, de même que des méthodes pour comprimer les pertes de chaleur des poches de coulée en recourant à de nouveaux types de panneaux ou de plaquettes en fibre céramique à faible conductivité thermique et à faible masse. Les brûleurs de la poche de coulée font rarement l'objet d'une attention appropriée : l'efficacité des brûleurs atteint en moyenne 53 p. 100 dans les fonderies de fer, et elle est encore plus basse dans les aciéries et les fonderies pour métal non ferreux. Avec un équilibre approprié entre l'air et le gaz, le rendement de la combustion est de 62 à 65 p. 100. Si une flamme bleue apparaît (combustion du monoxyde de carbone), c'est que les rendements sont inférieurs à 58 p. 100.

De plus, les *pertes thermiques par échange radiatif* d'une poche de coulée qui retient du métal en fusion sont énormes. Habituellement, la fonderie peut compenser la chaleur perdue par rayonnement en surchauffant le métal dans le four de fusion ou le four d'attente, de sorte que lorsque la poche de coulée est rendue au poste de coulée, le métal est à la bonne température. Il s'agit bien sûr d'une pratique gaspilleuse d'énergie. Le tableau devient très clair lorsqu'on se rend compte de l'effet cumulatif des nombreux transferts de poche de coulée dans une année. D'autres coûts peuvent survenir à cause des refroidissements et des niveaux accrus de ferraille. Le recouvrement de la poche de coulée à l'aide d'un couvercle en fibre céramique légère au cours des transferts permet de faire baisser les températures de piquage du four considérablement (peut-être de 50 °C). Par conséquent, cela réduit l'usure du garnissage de four et améliore sa productivité.

Puisqu'il existe une entrée d'air froid entre la poche de coulée et le couvercle, et qu'aucune chaleur n'est récupérée, l'efficacité énergétique générale du séchage et du réchauffage d'une poche de coulée ne représente que 10 p. 100.

Filtres

Dans les fonderies pour métal non ferreux, on peut réaliser des économies d'énergie et de coûts en utilisant des filtres pour tamiser le métal fondu avant le moulage. Bien des fonderies ne filtrent pas encore, peut-être à cause du fait qu'elles ne connaissent pas les avantages probables sur le plan des coûts.

L'insertion d'un filtre céramique jetable juste avant le moulage peut devenir un moyen rentable d'améliorer la qualité du produit et de réduire les coûts d'exploitation. Des études ont été effectuées dans des alumineries et des fonderies d'alliages à base de cuivre, et elles ont prouvé irréfutablement d'importantes économies de coût en regard des dépenses réduites – en moyenne environ 800 \$ par an par tonne de bonnes pièces coulées. D'autres économies non liées à l'énergie se sont révélées presque aussi élevées.

Le coût de l'ajustement des modèles ou des moulages pour accueillir les filtres est minimal. Voici les avantages du filtrage du métal en fusion avant le moulage :

- Qualité supérieure de moulage (donc satisfaction de la clientèle);
- Taux de ferraille et de rejet réduits;
- Rendements globaux supérieurs;
- Coûts réduits de l'énergie, du métal, du sable et de la main-d'œuvre.

Utilisation des ultrasons

En vue de réduire la porosité des moules et d'améliorer leur qualité, de réduire l'utilisation de l'énergie et d'augmenter les rendements, une fonderie du Royaume-Uni a utilisé les ultrasons. Le procédé est bon marché et simple à installer. Pour transformer l'énergie électrique en énergie acoustique, un convertisseur qui utilise le métal précieux niobium a été retenu. Même si le niobium a une excellente résistance à la corrosion, il absorbe beaucoup d'énergie ultrasonique. Des recherches ont été effectuées pour découvrir une meilleure composition métallique pour l'inducteur d'ultrasons. Néanmoins, l'application pilote réussie a démontré :

- une réduction de 95 p. 100 de la période de dégazage traditionnelle;
- l'amélioration de la nucléation métallique, après solidification, qui donne une structure granuleuse plus fine;
- des propriétés mécaniques améliorées des pièces coulées;
- la possibilité de réduire la température du métal en fusion en augmentant sa fluidité.

Des économies d'énergie ont suivi, tout comme la disponibilité des fours d'attente et l'augmentation du rendement des fours.

On peut également faire appel à la robotique pour les opérations de coulée. L'installation d'un « robot de coulée » permet d'atteindre l'uniformité dans la coulée, est plus rapide et élimine la fatigue de l'opérateur ainsi que les problèmes ergonomiques.

Un couvercle de poche de coulée élimine pratiquement les pertes par rayonnement !

Autres PGE

Périodique

- Avant de réchauffer la poche de coulée, déposez une couverture isolante par-dessus (p. ex., utilisation de la fibre céramique Fiberfrax^{MD}).
- Analysez l'activité de transfert et de coulée du métal en vous préoccupant des retards inutiles qui contribuent à la chaleur perdue.

À faible coût

- Contrôlez le point de rosée de l'air de traitement pour réduire le regazage du métal.
- En moulure sous pression permanente, tenez compte des machines d'alerte concernant les restrictions du canal de refroidissement.
- Dans le cas du réchauffage de la poche de coulée, songez à positionner celle-ci de façon inclinée en face d'un mur de matières réfractaires, à travers lequel le brûleur de réchauffage est inséré dans la poche de coulée. Le petit écart entre la poche et le mur, de même que la réflexion de chaleur provenant du mur dans la poche réduit la consommation de gaz du brûleur. Bien qu'il s'agisse de l'invention d'une fonderie de l'Ontario, les réchauffeurs de poche de coulée à gaz commercial, qui fonctionnent sur le même principe que les boucliers-rélecteurs thermiques, sont disponibles.
- Pour le réchauffage de la poche de coulée, songez à l'utilisation rentable d'un réchauffeur de poche de coulée mécanisé à immersion faisant appel à l'électricité au lieu du gaz. Le réchauffeur module l'admission d'énergie indépendamment de la température atteinte.

Par réfection; à coût élevé

- Optimisez le transfert de métal en fusion du four de fusion ou d'attente vers les postes de coulée pour raccourcir les temps de transfert, ce qui réduit les pertes de chaleur et permet de limiter la température du métal piqué.
- Dans les activités par lots, dès qu'il est nécessaire de surchauffer le métal, appliquez-le à de petites quantités dans le four d'attente, plutôt que dans le grand four de fusion.
- Songez à la possibilité du moulage continu puisque le procédé élimine la majorité du chauffage et du refroidissement et économise l'énergie.
- Dans le cas des moulages permanents, plutôt que de « pousser » le métal ou d'utiliser l'emplissage par gaz, envisagez l'utilisation du vide comme support pour attirer le métal en fusion dans le moulage. Cela a un impact positif sur la qualité, donc sur l'efficacité énergétique.
- Si vous envisagez une mise à niveau importante des activités de moulage pour les moules permanents à basse pression et les métaux applicables, songez à l'automatisation (grâce à un système de commande basé sur un PC) pour surveiller et contrôler les facteurs essentiels, comme le refroidissement de l'eau, la température des moules, le temps et la pression d'emplissage, etc., pour améliorer la qualité, donc l'efficacité énergétique.
- De même, dans de telles situations et pour des métaux applicables, envisagez le moulage par emplissage à basse pression afin d'améliorer le rendement des moules et la qualité, qui ont tous un effet sur l'efficacité énergétique.

2.3.7 Systèmes de sable

Habituellement, le sable est mélangé à de l'huile ou à un liant chimique pour fabriquer des noyaux, qui sont ensuite déposés dans une cavité de moule pour former la surface intérieure du moule. Dès que le moule est fabriqué, les noyaux de sable sont retirés, et le sable, qui contient du liant, est mélangé fréquemment avec le sable du moule. Il faut se débarrasser du sable contaminé. La question des rebuts est très grave, et l'AFC a réussi à aider l'industrie des fonderies à obtenir la permission de jeter le sable dans des sites d'enfouissement, où il est utilisé à chaque jour comme couverture.

Récupération du sable

Comme la récupération du sable devient de plus en plus courante, elle impose une exigence accrue sur le refroidissement approprié du sable chaud. Cela peut s'effectuer dans des refroidisseurs rotatifs, en utilisant l'eau comme support de refroidissement. La température est contrôlée entre ± 2 à 3 °C. Le contrôle étroit de la température est particulièrement important pour le procédé sans séchage, ou pour la fabrication des noyaux ou des moules. Là, une température trop basse retarde la réaction de liaison, et si elle est trop élevée, elle peut durcir dans la boîte et ne pas se démouler.

L'utilisation unique habituelle du sable à noyau et son élimination est dispendieuse. Une grande fonderie au Québec a installé un système de récupération du sable, qui recycle plus de 90 p. 100 du volume de sable « contaminé ». Le liant à sable contaminé est recueilli dans une trémie et descend dans des trous de tarière jusqu'à un four chauffant, puis il entre dans un four à lit fluidisé, maintenu à 677 °C. La chaleur provient de tubes de brûleur immergés. Le sable propre est alors refroidi à la température ambiante dans une chambre de refroidissement à lit fluidisé. C'est un échangeur d'air-eau qui procure le refroidissement. La fonderie prétend que le sable récupéré thermiquement possède de meilleures caractéristiques que le sable neuf. Jusqu'à 100 p. 100 du sable récupéré peut être réutilisé. D'après un communiqué de 1999, le recyclage d'une tonne de sable a utilisé 31 m³ de gaz naturel et 28 kWh d'électricité; le total des économies s'est élevé à environ 90 p. 100 et la période de récupération était juste inférieure à deux ans.

Un système semblable de récupération thermique du sable lié aux furanes, au moulage non cuit et au sable des noyaux a été installé dans une fonderie de l'Ontario, qui peut recycler jusqu'à 98 p. 100 du sable.

En améliorant les contrôles des procédés dans les malayeurs, cela contribue à produire du sable de moulage bien mélangé, uniforme et de bonne qualité. Par la suite, cela produit moins de moules brisés, de trous dans le sable et de réparations aux moules. Cela produit également moins de sable et de ferraille brûlés qui consomment de l'énergie inutilement.

Autres PGE

Périodique

- Limitez vos dépenses d'élimination du sable plutôt que de recourir à des sites d'enfouissement dispendieux, et négociez-en l'élimination avec votre fabricant d'asphalte local.
- Mettez hors tension l'équipement du système de sable lorsqu'il n'est pas utilisé.
- Mettez sous tension et hors tension l'équipement du système de sable en séquence de production, pas toutes en même temps, lorsque des parties de celui-ci ne sont pas encore ou ne sont plus nécessaires.
- Portez une attention appropriée à la classification du sable récupéré afin de maintenir la qualité des moules et des noyaux.

À faible coût

- Pour réduire les défauts des moulages de sable et améliorer la consistance et l'uniformité du sable, songez à utiliser un testeur de sable automatique près des malayeurs pour constater la compactibilité, la force et l'humidité, et afin de commander le fonctionnement des malayeurs et la composition du sable (Hartley^{MD}).

Par réfection; à coût élevé

- Envisagez d'installer un système de récupération thermique (du type Thermfire^{MD} à l'aide de précipitateurs de flux turbulent); seul environ 2 p. 100 du sable d'appoint est nécessaire après la récupération.
- Les malayeurs sont actionnés par certains des moteurs électriques les plus gros et les plus sollicités dans la fonderie. Dans les grandes fonderies, songez à faire produire les malayeurs par étapes – utilisez-en un pour la production continue et l'autre pour couvrir les périodes de pointe. Alternez leur utilisation pour qu'ils s'usent également.
- Songez à remplacer le convoyage pneumatique qui exige beaucoup d'énergie et d'entretien par des transporteurs à courroie ou à godets.

2.3.8 Nettoyage et finition

Quelle que soit la méthode utilisée pour nettoyer les pièces moulées, comme l'abrasion par projection dans le nettoyage par abrasion, les meules, les chalumeaux à arc électrique, etc., il faut en étudier les possibilités d'économie d'énergie de façon générale, selon les pratiques d'exploitation et d'entretien de l'équipement approprié.

Nettoyage électrohydraulique

Le dépoussiérage est une source importante de production de poussière dans une fonderie, et il s'agit d'une activité à forte intensité d'énergie (ou de main-d'œuvre). Le recours au nettoyage électrohydraulique s'attaque à ces deux aspects de façon imaginative. Les pièces moulées sont immergées dans un réservoir d'eau et une décharge à haute tension entre elles et l'électrode immergée produit une onde de choc. Cette dernière démoule le sable de la pièce coulée. Le nettoyage s'effectue en quelques secondes et consomme très peu d'énergie. Il n'y a donc

pas de collecte de poussière et cela réduit la quantité de ventilation de l'air d'ap- point. De plus, les pièces coulées chaudes réchauffent l'eau. Après le traitement, la chaleur dégagée par l'eau peut servir ailleurs dans la fonderie. En outre, la nécessité des opérations de projection peut être réduite, voire éliminée. Par contre, bien sûr, la gestion de l'eau et la récupération du sable mouillé doivent être réglées de façon appropriée.

Décapage par projection mécanique

Le nettoyage des pièces coulées jusqu'à la surface nue du métal, qui convient à un traitement ultérieur, s'effectue normalement par décapage par projection à l'aide d'air comprimé. Accélérer le décapage par air comprimé est inefficace et dispendieux à cause du coût élevé de l'air comprimé. Une fonderie des Pays-Bas utilise la méthode de décapage par projection, où le décapage s'accélère par des roues radiales mécaniques au lieu de l'air comprimé. L'énergie est donc utilisée de façon plus efficace. Les économies d'énergie du nettoyage d'une surface moulée de 120 000 m² se sont élevées à 1 000 000 kWh/an et à 120 000 m³/an de gaz naturel. La période de récupération a été de 2,1 ans.

Périodique

- Effectuez l'entretien préventif de l'équipement et des outils de nettoyage des moulages.

À faible coût

- Pour le découpage, songez à remplacer le chalumeau à air à arc électrique par le chalumeau à gaz.
- Pour le découpage, envisagez de remplacer le gaz MAPP à haute pression par le gaz naturel en vrac à basse pression, ajouté d'oxygène.
- Envisagez l'utilisation de l'ébarbage pour les cycles à production élevée de pièces moulées non ferreuses.
- Pensez à utiliser des cales hydrauliques pour couper les tuyaux de refoulement et les chenaux de coulée.

Par réfection; à coût élevé

- Au lieu du sable ou du décapage par projection pour nettoyer les moules permanents, songez à utiliser des granules de « glace sèche » de dioxyde de carbone (CO₂) solide; la technique fonctionne bien également pour la préparation générale des surfaces à peindre. Bien sûr, il faut s'occuper exclusivement des impuretés décapées, et non du sable ou des granules.

2.3.9 Traitement thermique

Dans le traitement thermique comme le chauffage, le traitement de détente, la trempe ou le recuit à haute température, les pertes d'énergie importantes proviennent :

- des pertes de chaleur à travers la coquille extérieure du four de traitement thermique à cause d'un garnissage réfractaire inapproprié;

- du rendement médiocre des brûleurs (type, ajustement combustible-air);
- de la pression négative du four;
- de l'infiltration d'air;
- de la récupération de chaleur inappropriée provenant des gaz de combustion.

Garnissage du four

De plus en plus, le remplacement de la brique réfractaire par des modules pyrobloc en céramique gagne en popularité pour leurs excellentes propriétés d'isolation, leur faible stockage de chaleur et leur faible niveau de perte thermique, des cycles thermiques rapides et la réduction des exigences d'entretien. Le garnissage en brique réfractaire épaisse gaspille l'énergie à cause de sa grande masse et de la possibilité de provoquer des fissures. Pour illustrer la faible transmission thermique de ces matériaux, les températures de la coquille extérieure de 260 à 320 °C avec le garnissage en brique réfractaire peuvent être ramenées à 40 °C avec le garnissage à isolation céramique modulaire. Les propriétés de la fibre céramique peuvent éliminer la nécessité de conserver le four à feu bas. Cela élimine l'excédent de consommation de combustible, car le four garni à la fibre céramique peut redémarrer rapidement et être amené à la température voulue. De même, les fours garnis en fibre céramique ont moins besoin d'entretien et étouffent le son; leur fonctionnement est donc plus silencieux.

Rendement des brûleurs

L'efficacité énergétique des brûleurs peut être améliorée de bien des façons dont nous avons décrit les caractéristiques à la section 2.3.3 – Fusion (page 57), et selon quelques exemples d'approches différentes que nous indiquons ci-dessous.

Infiltration d'air

L'infiltration de l'air extérieur est un problème important. Il a à voir à la fois avec le maintien d'une pression positive dans le four et le fait de conserver, en bon état, l'isolant et les joints autour de la porte du four. L'usure normale du four crée des fissures autour des portes qui provoquent de grandes pertes d'énergie. En empêchant l'entrée d'air froid, cela maintient l'atmosphère voulue dans le four, améliore l'uniformité de la température en évitant le refroidissement des pièces de la charge, et fait économiser du combustible en n'ayant pas à chauffer l'air infiltré.

Même un four bien conçu peut entraîner une pression négative. Cela est dû au fait que les dimensions des ouvertures de carneau sont conçues pour maintenir la bonne pression quand la charge est pleine. Dans le cas des petites charges qui nécessitent moins de chauffage, le four connaît des pressions négatives.

Une façon de contourner ce problème consiste à contrôler l'ouverture du clapet dans le carneau au moyen d'un multiplicateur de pression situé sur le côté du four près de sa sole. Le clapet du carneau est contrôlé par une commande de modulation et un papillon qui, par la suite, est contrôlé par un pressostat au panneau de commande du four. Le maintien d'une pression positive empêche l'infiltration d'air froid, et fait en sorte que le four fonctionne aussi efficacement que possible.



Les avantages du contrôle de la pression des fours se traduisent par des économies futures permanentes.

Pour illustrer l'étendue de l'infiltration d'air : prenons un four dont la porte mesure 4,9 m x 3,7 m (16 pi x 12 pi) et une largeur d'ouverture d'à peine 3,8 mm (0,15 po), avec un tirage de four de -8 Pa/m ($-0,01 \text{ po WC/pi}$) et une pression négative du four de -30 Pa ($-0,12 \text{ po WC}$). Le taux d'infiltration à travers l'ouverture combinée de $1\,250 \text{ cm}^2$ ($1 \text{ m} \times 12,5 \text{ cm}$ ou 200 po^2) est $2\,400 \text{ m}^3$ ($85\,000 \text{ pi}^3$) par heure !

Infiltration : de l'air chauffé inutilement à un coût approximatif de 25 000 \$/an !

Atmosphères contrôlées

Les atmosphères contrôlées, conçues pour compenser l'effet décarburisant de l'oxygène, coûtent cher à entretenir. La production d'atmosphère protectrice endothermique ou exothermique consomme beaucoup de gaz naturel ou de propane. Nous mentionnons quelques exemples ci-après. L'autre solution consiste à acquérir de l'azote gazeux liquide en vrac. Dans une petite fonderie qui ne peut se permettre de posséder ses propres génératrices, les achats dispendieux d'azote peuvent être gérés étroitement et leur consommation réduite par des mesures appropriées.

Autre solution pour les nouvelles installations de traitement prévues, l'examen des procédés de *traitement thermique sous pression réduite*.

Exemples de traitement thermique

Allumage par impulsion

Une fonderie au Québec traite thermiquement des pièces jusqu'à $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$, et les maintient à cette température pendant plusieurs heures. Dans une réfection d'importance du four de recuit, elle a employé un système d'allumage par impulsion, des fibres en céramique, la pressurisation des fours et des microprocesseurs pour réguler les brûleurs. Chaque brûleur est allumé à une fréquence préétablie et commandé à un seul régime nominal. Il en résulte une haute turbulence dans le four, soit un transfert thermique convectif élevé dans les pièces et un écart de température minimal entre les zones (seulement $4 \text{ }^\circ\text{C}$). La consommation de gaz a chuté de 31 p. 100 (!) par rapport aux niveaux originaux, et les coûts d'investissement de la réfection ont été récupérés en dix mois. Le four de recuit fonctionne de manière fiable et contribue à augmenter le rendement, la productivité et la qualité des produits.

Trempe continue

Une grande entreprise de pièces de fonte au Japon a installé un procédé de trempe continue pour traiter les pièces métalliques dans une atmosphère inerte, exempte d'oxygène. Le procédé exige la production d'azote gazeux. La réaction exothermique se produisait normalement à l'extérieur du four et la chaleur était perdue. Après la réfection, la production d'atmosphère interne s'est effectuée à l'intérieur d'un tube à rayonnement spécial dans le four. La chaleur est saisie et utilisée pour chauffer les pièces métalliques. Le gaz atmosphérique inerte est produit par la combustion d'un mélange de gaz et d'air selon un ratio contrôlé précisément. Le gaz de combustion est purifié, réchauffé dans un échangeur de gaz de combustion puis réintroduit dans le four, sans oxygène. De plus, la chaleur qui

provient du gaz d'échappement du four est récupérée pour réchauffer les produits. En outre, la chaleur provenant de l'huile de trempe est récupérée pour chauffer le liquide de lavage utilisé dans le dispositif de nettoyage intermédiaire. La consommation d'énergie a été comprimée de 55 p. 100. La période de récupération a été inférieure à un an.

Recuit avec une génératrice d'azote à combustible

Une fonderie en Ohio a mis en œuvre une génératrice d'azote à combustible (GAC), avec une variante. Elle produit l'atmosphère inerte requise à la fois pour les applications ferreuses et non ferreuses de recuit en réduisant de moitié le total de l'énergie requise normalement pour produire et séparer l'azote par compression. De plus, elle produit de la vapeur utilisable dans d'autres applications de la fonderie. Le procédé a reçu une récompense spéciale du Département de l'énergie des États-Unis.

Dans le procédé GAC, le gaz naturel et l'air passent par la combustion. Les gaz de combustion sont refroidis pour extraire la majorité de l'humidité. Puis, le gaz est comprimé et passe à travers un convertisseur catalytique qui retire toute trace d'oxygène. En outre, les gaz de NO_x sont réduits de 95 p. 100 à ce stade. Un second convertisseur extrait l'eau résiduelle et le monoxyde de carbone pour produire du dioxyde de carbone, qui est par la suite retiré par un tamis moléculaire. L'atmosphère qui en ressort respecte les critères de qualité requis. En contribuant à atteindre une excellente qualité de surface, cela pourrait éliminer l'étape de nettoyage acide après le recuit.

Il est possible de produire une vaste gamme de compositions atmosphériques pour répondre aux besoins précis d'un procédé; le contenu en hydrogène s'échelonne de 0 à 15 p. 100, celui de l'oxygène se limite à 5 ppm alors que le CO et le CO_2 combinés ne dépassent pas 0,15 p. 100. Les systèmes conventionnels contiennent habituellement plus de 10 000 ppm (soit 1 p. 100) d'oxygène. Les faibles coûts fixes d'exploitation sont le principal avantage de la technologie GAC. La période de récupération a été de 1,6 an.

Autres PGE

Périodique

- Maintenez l'étanchéité des joints et de l'isolant autour des portes de four.
- Veillez à l'étalonnage des instruments de surveillance et de contrôle.
- Veillez aussi au bon ajustement des commandes de brûleur.
- Vérifiez à intervalles réguliers le contenu en oxygène et les gaz de combustion dans les fours.
- Consultez votre fabricant de fours ou de brûleurs sur les meilleures conditions de fonctionnement.
- Vérifiez l'étanchéité des accessoires de carneau dans les étuves pour empêcher l'évacuation de monoxyde de carbone dans l'atmosphère de la fonderie (et par conséquent, l'augmentation des taux de ventilation inutiles).
- Dans des opérations d'atmosphère contrôlée, faites fonctionner les fours selon un débit minimal de l'atmosphère protectrice. Cela est nécessaire du point de vue des coûts (il faut moins produire de gaz atmosphérique) et à cause des pertes de chaleur.

À faible coût

- Songez à remplacer les brûleurs par des brûleurs à haute efficacité.
- Envisagez l'utilisation de brûleurs régénérants dans les fours de traitement thermique.
- Envisagez le repositionnement des brûleurs pour obtenir une turbulence supérieure dans le four afin d'améliorer le transfert de la chaleur et l'uniformité du traitement thermique.
- Ajoutez de l'isolant à la surface extérieure du four.
- Songez à améliorer le joint de porte avec de la fibre céramique et de la maille d'acier inoxydable, dans une disposition des canaux, pour obtenir un joint flexible.
- Installez un régulateur automatique de la pression du four au moyen d'un clapet.
- Remplacez le mode de convoyage des produits à travers l'étuve de traitement afin de faciliter le transfert rapide de la chaleur vers le produit (p. ex., remplacez les wagons par des supports ou des plates-formes thermorésistants ouverts, etc.).
- Réchauffez l'air de combustion à l'aide des sources de chaleur perdue communes dans la fonderie.

Par réfection; à coût élevé

- Envisagez la réfection ou le remplacement du four de traitement thermique s'il fonctionne :
 - sur trois quarts de travail;
 - s'il est conservé à la température de fonctionnement durant la fin de semaine quand il ne produit rien;
 - s'il ne possède pas de commande de l'air excédentaire;
 - si son garnissage en brique réfractaire permet des températures très élevées de la coquille extérieure.
- Songez à remplacer la brique réfractaire dans les fours de traitement thermique par de l'isolant céramique pyrobloc modulaire, qui permet un réchauffement-refroidissement et un rendement du combustible plus rapides.
- Si la commande de production a été réduite, envisagez de redimensionner ou de cloisonner le four.
- Dans une application de traitement thermique continue, songez à utiliser les gaz chauds du vestibule de sortie et acheminez-les au vestibule d'entrée pour réchauffer la charge.
- Dans les fours dormants, extrayez la chaleur de l'atmosphère d'évacuation par un échangeur thermique convenable (p. ex., la roue thermique, les régénérateurs céramiques) pour réchauffer le gaz atmosphérique d'arrivée.
- Dans les fours à traitement continu utilisant du gaz endothermique, envisagez d'utiliser le gaz endothermique de sortie (qui possède environ le cinquième de la valeur de chauffage du gaz naturel) dans des brûleurs à tube par rayonnement pour réchauffer les pièces.
- Songez à récupérer la chaleur de la vapeur produite par les opérations de trempe.

2.3.10 Procédés spéciaux

Galvanisation thermique

Dans ce procédé, les pièces de fer doivent être exemptes de graisse, de saleté, de rouille et de peaux de trempe. Il faut d'abord les dégraisser et les tremper dans un bain de morsure, un bain de fondant et les faire passer par un séchoir. Le bain de morsure est habituellement pollué par les particules de fer qui migrent dans le bain de zinc. Là, des cristaux de fer ou de zinc se déposent sur le produit et au fond du bain. La qualité du produit en souffre et il faut nettoyer souvent le bain de zinc. Cela entraîne des pertes de zinc et de productivité. Une fonderie de galvanisation aux Pays-Bas a installé un équipement de régénération du bain d'écoulement. Dans un réacteur, des produits chimiques sont ajoutés au fluide d'écoulement afin de réagir avec le fer et de le transformer en hydroxyde de fer, qui est filtré. Les fluides propres sont retournés dans le bain. De plus, la production sur place de chlore en vue de l'oxydation du fer a été remplacée par de l'eau oxygénée, H_2O_2 , ce qui a permis en plus d'économiser de l'électricité. La période de récupération a été de deux ans.

Dépôt autocatalytique³ de nickel

Une entreprise américaine a développé le procédé de dépôt autocatalytique de nickel qui se passe de courant électrique. Il fait appel à un procédé régénérateur basé sur une cellule électrochimique à plusieurs compartiments et ce, pour contrôler électroniquement le pH du bain galvanoplastique. De manière sélective, les anions utiles sont renvoyés dans le bain. Le nouveau procédé a également éliminé les dépenses consacrées au traitement et à l'élimination des déchets du bain mort.

2.3.11 Récupération de la chaleur perdue

Un simple examen visuel révèle bien des sources de chaleur perdue : dans l'échappement du four de fusion, le réchauffage de la poche de coulée, la cuisson des noyaux, la coulée, la projection, le refroidissement des produits moulés, le traitement thermique, la trempe, l'évacuation des ventilateurs, etc. Pour utiliser la chaleur perdue de façon rentable à un niveau de température voulu, sa température doit être élevée au moyen d'appareils convenables. Beaucoup de possibilités de récupération thermique dans l'industrie des fonderies ne sont pas encore utilisées. Il s'agit d'un sujet complexe, et il vaut mieux faire appel aux conseils d'un expert compétent. L'instabilité actuelle de notre conjoncture, en particulier concernant la hausse des prix de l'énergie, devrait faire de la récupération de la chaleur perdue un sujet intéressant à examiner. En voici les étapes :

La chaleur perdue est la chaleur qui se dégage d'un procédé à une température supérieure à celle de l'air de la fonderie.

- Effectuez un bilan thermique : comparez la demande de chaleur et l'offre potentielle de chaleur perdue;
- Évaluez le degré de facilité pour accéder à la chaleur perdue, et la distance en cause pour l'amener au point d'utilisation;
- Évaluez le type, le contenu thermique et l'état des sources de chaleur perdue;
- Déterminez le degré de mise à niveau technique requise;

³ Le dépôt autocatalytique est le revêtement d'une couche de métal ou d'un autre produit non métallique dans un bain approprié contenant un agent chimique réducteur. (*McGraw-Hill Dictionary of Science and Technical Terms*, deuxième édition, 1978)

- Dressez une brève liste des options d'appareils ou de procédés;
- Exécutez des évaluations économiques pour choisir la solution optimale.

Voici les principaux composants d'un système de récupération thermique :

- La source de chaleur perdue : les hottes d'évacuation, les conduits de four ou l'eau chaude provenant du refroidissement du four;
- L'échangeur de chaleur; en cas de températures élevées d'évacuation, on peut recourir à une chaudière de chaleur perdue. Note : il faudrait alors utiliser un système d'alimentation d'eau;
- Un système de distribution de la chaleur;
- Un récepteur thermique, si l'on utilise une chaudière de chaleur perdue, une turbine à vapeur accompagnée d'une génératrice (ou d'un compresseur d'air) et d'un condensateur, de l'air de ventilation, de l'air de combustion, un réchauffeur d'étuve de séchage des matières premières, etc.

Les meilleures solutions intègrent le **principe du chauffage en cascade**, où la chaleur perdue est utilisée plusieurs fois à des niveaux inférieurs subséquents.

Une vaste gamme d'appareils de récupération de chaleur est offerte. Les gaz résiduels sont les sources de chaleur perdue ayant les températures les plus élevées, provenant des fours de fusion et de traitement thermique. La chaleur perdue provenant des fours de traitement est la source de température la plus stable, la plus propre, sans particules ou agents de corrosion. Les autres sources de chaleur perdue à température élevée comprennent la coulée et la cuisson des noyaux, mais la nature intermittente de la production de chaleur perdue, ou les circuits relativement restreints sont difficilement rentables.

Voici d'autres sources de chaleur perdue dans une fonderie :

- Les dépoussiéreurs de four;
- Les fours à réverbère;
- L'eau de refroidissement;
- Les tambours de refroidissement du sable;
- La combustion des modèles de moulage (voir mousse perdue, p. 73);
- Les réchauffeurs de four à induction;
- Le four de fusion de cuivre;
- L'eau de traitement;
- Les démarrages et les fermetures de cubilot.

Les possibilités d'utilisation de la chaleur perdue comprennent :

Réchauffement de l'air de combustion

Nous avons déjà démontré la rentabilité de ce procédé. Même après avoir réchauffé l'air de combustion, il peut rester suffisamment d'énergie thermique résiduelle à utiliser de façon économique pour une autre application, p. ex., fournir de la chaleur aux bâtiments ou de la chaleur de traitement à basse température. L'extraction de la chaleur provenant des gaz de combustion du four s'effectue habituellement dans un *récupérateur*. Les nombreux types disponibles sur le marché utilisent des variantes de trois types fondamentaux : l'écoulement à contre-courant, l'écoulement parallèle ou l'écoulement transversal. On peut ainsi récupérer environ 65 p. 100 de la chaleur perdue.

Réchauffement des gaz de traitement

Cela peut s'appliquer aux fours de traitement thermique qui utilisent des atmosphères protectrices de même que pour le four lui-même et ce, afin de réchauffer les gaz de combustion et générer des économies de gaz naturel très intéressantes. Les échangeurs thermiques gaz-gaz de bien des configurations servent à cette fin.

Réchauffement des matières premières et des pièces

Dans le cas des matières premières qui entrent dans le processus, accompagnées possiblement d'eau et d'huiles contaminées, le réchauffement contribue à éliminer l'humidité et les huiles et à augmenter la température des matières premières pour la fusion, ce qui permet d'économiser l'énergie requise pour ce faire.

De même, la charge thermique requise dans le traitement thermique des pièces est réduite par le réchauffage.

N'importe quel fluide chaud dans une fonderie peut servir de source de chaleur en recourant à des échangeurs de chaleur liquide-liquide ou liquide-air.

Envisagez l'utilisation d'échangeurs de chaleur à chemise d'eau provenant de sources telles les fours à arc électrique ou les cubilots. La chaleur récupérée pourrait fournir de l'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux par le biais d'eau chaude circulée dans des radiateurs à serpentin. De plus, dans les cubilots, la récupération de l'eau chaude réduirait la nécessité du refroidissement par évaporation et l'épuration des gaz, ce qui amènerait d'autres économies d'énergie considérables.

La documentation regorge de modèles de réussite faisant intervenir l'utilisation de la chaleur perdue de façon imaginative et novatrice, modèles qui vont des applications de l'eau sanitaire à l'aquaculture.

Voici certaines des utilisations :

- Le chauffage des locaux;
- Le séchage complémentaire des revêtements d'enduit réfractaire;
- Le chauffage d'appoint par ventilation;
- L'eau chaude;
- Le refroidissement des procédés;
- Le refroidissement par absorption dans le cas de la climatisation.

Autres PGE

Périodique

- Repérez et éliminez autant de sources de chaleur perdue que possible.
- Réduisez la température de la chaleur perdue.
- Effectuez de l'entretien préventif à intervalles réguliers dans les systèmes de la fonderie.
- Ayez un programme d'échantillonnage des instruments de surveillance et de mesure.

Un échangeur de chaleur eau-air est 100 fois plus efficace qu'un échangeur air-air.

À faible coût

- Songez en priorité à réinjecter la chaleur récupérée dans l'activité qui l'a produite vu que de tels systèmes utilisent habituellement moins de contrôle et sont moins coûteux à installer.
- Améliorez les contrôles opérationnels.
- Réutilisez l'air chaud d'évacuation pour le réchauffage et le séchage des matières premières.
- Si les compresseurs d'air sont refroidis à l'eau, cherchez des moyens de récupérer la chaleur de l'eau de refroidissement ou de recycler l'eau en l'utilisant ailleurs. À ce sujet, beaucoup d'entreprises signalent des dispositifs de récupération de chaleur réussis et rentables, p. ex., les compresseurs à vis.
- Utilisez la chaleur récupérée des compresseurs d'air pour réchauffer l'air d'appoint de ventilation.
- Utilisez la chaleur récupérée des fours de fusion pour réchauffer l'air de ventilation d'arrivée (ou l'air de combustion, s'il s'agit de fours à gaz naturel).
- Utilisez la chaleur provenant de l'échangeur thermique pour refroidir le four afin de chauffer les bâtiments de la fonderie (installez l'échangeur à l'intérieur).
- Utilisez la chaleur perdue provenant de l'air filtré propre des dépoussiéreurs comme air d'appoint chauffé. Assurez-vous que vous disposez des commandes appropriées pour assurer l'intégrité des filtres et des dépoussiéreurs à sacs filtrants, et que l'air ne comporte aucun composant toxique.
- Si vous disposez d'une source de chaleur perdue de haute qualité (c.-à-d. avec un différentiel de température élevée), et que l'endroit éventuel pour son utilisation soit situé à une certaine distance, songez à transférer la chaleur à un liquide qui pourrait être pompée à destination facilement.
- Songez à stocker la chaleur perdue dans un liquide ou des sels fondus s'il y a un retard avant son utilisation.
- Envisagez d'utiliser la chaleur perdue pour alimenter les dispositifs de conditionnement de l'air.

Par réfection; à coût élevé

- Envisagez l'achat de la nouvelle pompe à chaleur hybride (absorption/compression), développée récemment par l'Institut de technologie de l'énergie de Norvège, pour porter la chaleur perdue de 50 °C à une température de 100 à 115 °C. La pompe à chaleur peut à la fois produire de la chaleur (bien au-delà de 100 °C) et du froid surtout pour les applications de conditionnement de l'air. Il s'agit d'un aspect important pour les systèmes de ventilation d'une fonderie.
- Pour récupérer l'énergie des gaz de combustion à haute température contenant de la poussière et des particules (p. ex., d'un four à cubilot), songez à utiliser une chaudière à tube de gaz perdu ou une chaudière à tubes d'eau pour récupérer la chaleur perdue. C'est une technologie qui a été développée récemment par l'Association norvégienne des utilisateurs et fournisseurs d'énergie.
- Dans les fonderies de galvanisation, songez à récupérer la chaleur perdue à partir des gaz de combustion du bain de zinc en réchauffant la morsure et les bains de dégraissage, de même que le séchoir.

- Toujours dans les fonderies de galvanisation, songez à doter le four à atmosphère réductrice de prétraitement (avec ses sections de réchauffage, d'incandescence et de refroidissement) de brûleurs à gaz à dispositifs intégrés de récupération de chaleur. Les éléments par rayonnement sont équipés d'échangeurs de chaleur dans lesquels l'air de combustion est réchauffé par les propres gaz d'échappement de l'élément.
- Songez à remplacer les tours de refroidissement par un transformateur thermique qui élève la température de la chaleur perdue au niveau requis afin de produire de la vapeur saturée. Au stade suivant, une chaudière existante peut surchauffer la vapeur afin d'empêcher la condensation dans le système de distribution, et augmenter la quantité de vapeur. C'est le cas notamment de l'équipement du fabricant finlandais Rinheat-Ahlstrom.
- Envisagez de convertir la chaleur des gaz de combustion à haute température provenant des fours de fusion et d'attente en vapeur surchauffée pour la production de courant électrique par turbine à vapeur.

Complément d'information : À l'exception d'un certain nombre de monographies courantes, il existe un manuel technique complet intitulé Récupération de la chaleur perdue (M91-6/20F) disponible auprès de RNCan (tél. : 613 947-6814). Il offre un bon aperçu du sujet. D'autres monographies de la Série de la gestion de l'énergie sont énumérées à l'appendice 5.7.

2.4 Bâtiments de la fonderie

Vraisemblablement, l'impact des bâtiments de la fonderie concernant l'utilisation générale de l'énergie a été évalué au cours de la vérification énergétique initiale, et fait partie intégrante du programme de gestion de l'énergie de la fonderie. Il se peut cependant que nous découvriions que d'autres bâtiments soient mal isolés.

Les codes modernes du bâtiment établissent des exigences minimales en matière de conservation de l'énergie dans les bâtiments neufs, qui *s'appliquent intégralement aux réparations, aux rénovations et aux ajouts à de vieux bâtiments*. L'efficacité énergétique doit être conçue en fonction de bonnes pratiques techniques comme celles qui sont décrites par exemple dans le *Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments de 1997*, ou le *Code du bâtiment de 1997 de l'Ontario* (par la suite : le « code ») et la norme de l'ASHRAE/IES 90.1-1999 – « Energy efficient design of new buildings ». Si l'on examine les améliorations de l'efficacité énergétique, ces règlements et bien d'autres de même que les normes qui portent sur la construction et les activités des bâtiments industriels (comme l'isolation, le chauffage et la ventilation) doivent être examinés avec soin pour assurer le respect des exigences touchant la santé, la sécurité et le bien-être au travail.

Ici, nous ne mentionnerons que les points pertinents à l'intégrité de l'enveloppe du bâtiment – *le transfert de chaleur et la protection contre l'humidité*. D'autres questions connexes, comme le chauffage et la ventilation, sont traitées séparément.

Il existe trois moyens principaux de contrôler le transfert de chaleur bidirectionnel (perte ou gain) par l'enveloppe du bâtiment :

- Réduisez le transfert par l'isolation appropriée des murs, de la toiture, des fenêtres et des portes;
- Réduisez-le par l'étanchéisation appropriée, qui empêche l'infiltration d'eau;
- Réduisez le déplacement d'air non contrôlé par les ouvertures normales et les joints défectueux de l'enveloppe.

La réfection de l'*isolation des murs* de l'intérieur pourrait se révéler impraticable dans les vieux bâtiments. La solution pourrait consister à ajouter de l'isolant à l'extérieur du bâtiment et à le recouvrir d'un nouveau bardage d'étanchéisation.

La réfection de l'*isolation de la toiture* peut être souhaitable car la majorité de la chaleur perdue en hiver et du gain calorifique en été se produit par la toiture. Une nouvelle membrane de toit isolé peut être recouverte d'une peinture polymère argent à réflexion de chaleur pour contribuer à réduire la transmission thermique.

Beaucoup de vieilles fonderies sont dotées de *fenêtres* à simple vitrage mal scellées. Si l'on ne peut les remplacer par des fenêtres modernes scellées, des panneaux vitrés en plastique ou en fibre de verre peuvent très bien convenir. Certains panneaux sont fabriqués de double vitrage incassable qui sont plus éconergétiques que les fenêtres à simple vitrage. En Ontario, le double vitrage est la norme minimale. Parmi les autres solutions :

- Choisissez des fenêtres à scellement amélioré qui font face au nord et sont très exposées;

- Le vitrage triple standard : il ajoute une surface d'air supplémentaire (et également du poids), donc plus d'isolation;
- Les revêtements en vitre réduisent l'émissivité de la chaleur et la réflexion;
- Le verre à faible émissivité réduit la chaleur rayonnante par la vitre et permet d'atteindre la même isolation que le triple vitrage sans revêtement;
- Remplissage au gaz – il s'agit d'un vitrage offert sur le marché comprenant des intercalaires remplis à l'argon ou au krypton qui augmentent encore plus l'isolation;
- Le triple vitrage à haut rendement peut utiliser aussi bien la faible émissivité que le remplissage au gaz. La valeur d'isolation est presque cinq fois plus grande que celle d'une fenêtre à simple vitrage.

On peut également tamiser les fenêtres ou leur adjoindre un rideau à l'intérieur, ou des volets à l'extérieur, pour éliminer la chaleur en été et le froid en hiver. Parfois, le panneau à simple vitrage provoque de grandes pertes ou gains de chaleur. On peut envisager de le recouvrir jusqu'au degré voulu avec des panneaux vitrés isolants.

Une fonderie peut installer des *câbles chauffants externes* pour empêcher la formation de glace, par exemple dans les gouttières et les tuyaux de descente des eaux pluviales, sur les toits plats avec des tuyaux de descente chauffants internes, dans les voies d'accès et les entrées. Souvent, le courant reste allumé pendant tout l'hiver. Les commandes manuelles, souvent imprécises, peuvent causer une consommation d'énergie plus grande que nécessaire. La solution efficace pourrait consister à intégrer les commandes de ce système ou d'autres systèmes énergétiques dans le système de gestion de l'énergie du bâtiment central.

Autres PGE

Périodique

- Veillez à l'intégrité des membranes d'étanchéité de toiture par l'inspection et l'entretien réguliers.
- Les joints de porte des quais de chargement doivent être vérifiés à intervalles réguliers; les joints usés ou endommagés laissent de grands écarts entre le quai et la remorque, et il faut les boucher rapidement.
- Examinez toutes les ouvertures (registres, fenêtres et portes extérieures) pour déceler des fissures qui laissent l'air s'échapper et entrer dans le bâtiment.
- Bouchez les fissures au moyen de coupe-bise ou de calfeutrage.
- Tenez les portes fermées; c'est lorsqu'elles sont ouvertes qu'elles perdent le plus de chaleur.

À faible coût

- Les vestibules, les portes tournantes et les dispositifs de fermeture de portes automatiques contribuent tous à réduire les pertes par les portes ouvertes.
- Condamnez toutes les ouvertures et les cuves non utilisées.
- Calfeutrez et bouchez toutes les fissures dans les murs du bâtiment, etc.
- Fixez de meilleurs coupe-bises aux fenêtres et aux portes.
- Éliminez les fenêtres et les pans de verre inutiles.

Par réfection; à coût élevé

- Étanchez les murs extérieurs par du bardage ou un autre traitement qui empêche l'infiltration d'eau.
- Posez des coupe-vapeur appropriés et étanches du côté intérieur (chaud) des murs, des plafonds ou des planchers.
- Songez à investir dans un système de gestion de l'énergie centrale du bâtiment.

2.4.1 Chauffage

En hiver, il se présente assez souvent une situation paradoxale où le chauffage du bâtiment fonctionne au maximum pendant que la porte de chargement du quai de ferraille est laissée grande ouverte. La chaleur perdue dans un bâtiment en hiver doit être compensée par les systèmes de chauffage de celui-ci, ce qui ajoute aux coûts d'exploitation de la fonderie. Habituellement, une fonderie dispose de beaucoup de chaleur excédentaire qui peut être utilisée pour chauffer les locaux. Le défi consiste à savoir l'utiliser intelligemment pour créer un milieu de travail confortable et sans émanations.

Il convient alors de *commencer par l'établissement d'un bilan thermique*, qui décrit les sources de chaleur et les puits de chaleur dans la fonderie de manière quantitative. Il faut inclure le système de ventilation dans l'équation. Vu que ni l'un ni l'autre ne peut être réglé efficacement par l'isolation, centrez vos efforts sur une solution synergistique. Faites appel aux idées énumérées ci-dessous de même qu'à celles qui sont décrites ailleurs dans le guide.

On peut doter les grands murs des bâtiments qui font face au sud ou au sud-ouest d'un type de mur accumulateur de chaleur (le SOLARWALL® développé au Canada) pour atteindre de plus grands niveaux d'efficacité énergétique dans le chauffage des locaux.

Autres PGE

Périodique

Le changement de comportement des employés à l'égard de la gestion de l'énergie peut déboucher sur l'atteinte, à moindre coût, d'économies considérables :

- Fermez les fenêtres, les portes et les portes des quais de réception et d'expédition par temps froid.
- Signalez les températures ambiantes élevées plutôt que d'ouvrir les fenêtres (pour que des rajustements soient apportés).
- Adaptez les travaux d'entretien dans la chaîne de peinture pour raccourcir les périodes d'entretien.
- Affectez quelqu'un (de l'entretien) pour éteindre les machines à la fin de la semaine de travail.
- Fermez les lumières et la climatisation lorsque vous quittez un bureau.
- Enlevez les ampoules superflues.
- N'obstruez pas les registres des radiateurs et les registres de ventilation.
- Vérifiez le bon réglage des commandes des dispositifs d'air d'appoint; abaissez la température si possible.

- Éliminez le chauffage ou le refroidissement de tous les locaux inutilisés.
- Baissez les thermostats au cours des fins de semaine (disons à 15 °C).
- Montez les thermostats un peu en été et abaissez-les d'un cran en hiver, si possible (18 °C semblerait être une température confortable dans une fonderie).
- Réparez les fenêtres, les puits de lumière ouvrants et les portes brisés.
- Faites en sorte que les systèmes de chauffage et de climatisation fonctionnent uniquement lorsqu'ils sont nécessaires.
- En périodes autres que celles de production et pendant les fins de semaine, réduisez autant que possible la quantité d'air frais admise dans la fonderie.
- Éteignez les dispositifs de climatisation dans la cafétéria et dans les bureaux les fins de semaine.

À faible coût

- Dès que l'air chaud des machines de fabrication des noyaux est passé à travers les dépoussiéreurs, recirculez cet air dans le bâtiment pour chauffer (en hiver).
- Positionnez l'échangeur de chaleur pour le refroidissement du four dans la fonderie : il contribuera à la chauffer en hiver. Autre avantage : les inquiétudes quant au gel ou au chargement du système par de l'antigel sont réduites.
- Orientez la chaleur par rayonnement aux postes de travail plutôt que de l'utiliser à des fins générales de chauffage des locaux.
- Posez un système de volets automatisés dans les compresseurs d'air pour conserver la chaleur dans le bâtiment en hiver.
- Posez des rideaux d'air aux quais de chargement.
- Plantez des arbres ou des arbustes à l'extérieur comme brise-vent et pour faire de l'ombre en été.
- Songez à relier les ventilateurs d'évacuation dans les toilettes, la cuisine, etc., à l'interrupteur de lumière ou d'équipement.
- Envisagez d'inverser les ventilateurs d'échappement de la toiture aux endroits où cela est possible (absence relative de poussière) en hiver, pour mélanger l'air intérieur à celui de l'extérieur et donner de la chaleur aux locaux.

Par réfection; à coût élevé

- Utilisez de façon novatrice les technologies de chauffage solaire passif ou actif pour chauffer les locaux ou l'eau sanitaire, en particulier lorsqu'il est combiné à une isolation améliorée, à la conception des fenêtres et à la récupération thermique de l'air ventilé.
- Installez un mur accumulateur de chaleur (SOLARWALL®, Trombe) du côté sud ou sud-ouest pour donner un chauffage efficace.
- Songez à utiliser le refroidissement par évaporation d'eau des toits plats pour réduire les charges de climatisation en été.
- Envisagez d'utiliser des pompes à chaleur (ou thermopompes à eau) pour combiner le chauffage et le refroidissement des installations de la fonderie.

2.4.2 Gestion de l'air

Habituellement, les fonderies éprouvent des problèmes avec la ventilation des zones de travail, car il se produit un déséquilibre entre l'air frais et l'air d'évacuation. Le problème se complique souvent du fait que l'atmosphère est poussiéreuse et contient parfois un niveau élevé de monoxyde de carbone (CO). Voilà pourquoi, dans le passé, la construction des fonderies prévoyait des lanterneaux continus et des cheminées d'échappement de grande dimension. Cela s'effectuait souvent sans beaucoup penser à l'emplacement approprié de ces événements, ou à la distribution de la composition de l'air.

L'évacuation excessive de l'air entraîne une sous-pression élevée dans le bâtiment et des problèmes de courants d'air. Dans les sections de production des fonderies, l'existence d'un trop grand nombre de points d'échappement et l'absence de système d'approvisionnement de l'air peuvent avoir créé cette pression négative. Parallèlement à la production d'un excédent de chauffage (gaspillé par les évacuations), il faut fournir du chauffage supplémentaire par d'autres moyens à l'air d'appoint frais qui pénètre de l'extérieur en hiver. Pour ajouter au gaspillage, l'eau municipale peut être jetée dans les égouts après avoir donné un seul refroidissement.

Voici quelques exemples de la façon dont d'autres fonderies ont composé avec le problème :

Une fonderie a réglé ce problème des exhalants chauds et poussiéreux et ses besoins de ventilation d'une manière combinée : les gaz de combustion ont été acheminés dans un dépoussiéreur/échangeur de chaleur, et l'air d'arrivée a été réchauffé en hiver. Le système d'air de ventilation d'arrivée s'est ajusté aux besoins changeants en régulant la capacité du ventilateur dans la section d'arrivée. Cette opération était régulée par la surveillance de la pression d'air dans le conduit d'air d'arrivée. Le système d'échappement de l'air était doté de points de succion situés dans les secteurs les plus pollués de la fonderie, et dotés de ventilateurs distincts pour chacune des zones. Les ventilateurs d'évacuation possédaient également des régulateurs de vitesse. Tout le système, branché à un système de surveillance central et commandé par un PC, est parvenu à l'équilibre entre les sections d'admission et d'évacuation de tout le système de ventilation. Les coûts énergétiques de la ventilation de la fonderie ont été coupés de moitié et l'air d'arrivée n'était plus pollué par les exhalants poussiéreux comme avant.

Une autre fonderie a opté pour une approche plus simple, mais divisait tout de même l'usine en zones de ventilation distinctes. Seules les sections où avaient lieu des opérations étaient totalement ventilées; d'autres, où il ne se passait rien, étaient dotées de purges partiellement ouvertes pour permettre une ventilation minimale.

Ne nuisez pas à la fonction d'un système de ventilation bien conçu en laissant les portes et les fenêtres ouvertes inutilement – autrement, cela ne fonctionnera jamais !

L'échappement inutile de 10 000 pcm se traduit par environ 1 500 \$/an en coûts de chauffage !

Autres PGE

Périodique

- Tenez les portes et les quais de chargement fermés pour permettre au système de ventilation de fonctionner correctement.
- Éteignez la ventilation ou le chauffage lorsqu'ils ne sont pas nécessaires.
- Fermez le dépoussiérage, la ventilation et l'air d'appoint s'ils ne sont pas nécessaires.
- Affectez quelqu'un (de l'entretien) pour éteindre les ventilateurs, fermer les registres, etc., à la fin de la semaine. Préparez une liste de contrôle afin de ne rien oublier.
- Par ailleurs, chargez quelqu'un de les allumer au début de la semaine de travail.
- Fermez certains des ventilateurs d'échappement non essentiels en hiver (enlevez les fusibles).
- Éliminez les fuites et les points de chute de pression dans les réseaux d'admission et de reprise d'air.
- Nettoyez ou remplacez les filtres d'air sales à intervalles réguliers.
- Examinez votre système actuel; peut-être que le système original de collecte et d'évacuation de poussière a été conçu pour traiter des volumes d'air plus grands que nécessaire pour les opérations ordinaires de la fonderie. Il conviendrait peut-être de mettre les ventilateurs hors circuit, à un coût nul, pour apporter des avantages immédiats quant aux points suivants :
 - un entretien réduit;
 - des coûts énergétiques moindres;
 - moins d'émissions;
 - la réduction du bruit.

Vous pouvez le vérifier facilement en mettant hors tension certains ventilateurs et en surveillant ce qui se produit.

- Prêtez attention à l'entretien de votre système de dépoussiérage et de sacs filtrants; surveillez à la fois son intégrité et sa résistance (son bon fonctionnement) à l'aide d'un manomètre différentiel (pour la colonne d'eau).
- Surveillez les niveaux de monoxyde de carbone (CO) à la tête de la coulée et du dépoussiérage, et dans les coins éloignés de ces secteurs. Cela donnera une indication supplémentaire de l'efficacité de la ventilation.
- Faites en sorte que les moteurs des chariots élévateurs à fourche et d'autres véhicules de la fonderie soient bien au point, afin de réduire le dégagement excessif de CO dans l'atmosphère de la fonderie, ce qui augmente la demande de ventilation.
- Surveillez le « court-circuitage » de l'air d'appoint chauffé directement à un ventilateur d'évacuation avoisinant.
- Vérifiez les températures de l'air intérieur à des points élevés dans le secteur de la toiture de la fonderie pour possiblement récupérer la chaleur des secteurs relativement propres.
- Retardez le début de la ventilation dans la fonderie au commencement des activités jusqu'à ce que la chaleur provenant de la fusion, de la coulée, du dépoussiérage, etc., ait réchauffé l'air intérieur.
- Au besoin, pratiquez de petites ouvertures dans les crans de portes pour permettre le passage des chariots élévateurs à fourche. Servez-vous de rideaux transparents pour empêcher les coups d'air froid continus de l'extérieur.

À faible coût

- Posez des auvents situés stratégiquement au-dessus des secteurs poussiéreux ou chauds. Assurez-vous qu'ils sont assez gros, pour que la chaleur ou la poussière ne s'échappe pas dans l'espace en général.
- Liez les ventilateurs d'évacuation des secteurs poussiéreux, soit le dépoussiérage des moules, à l'activité : allumez-les uniquement durant la période de production de poussière (qui est habituellement intermittente); abaissez le régime des ventilateurs durant les périodes creuses. Autres exemples de cette application de la ventilation modulée : les souffleries ou les postes de brûlage d'oxy, la phase de chargement d'un four à induction, la coulée et le refroidissement des moulures d'embase, etc.
- Récupérez la chaleur qui s'accumule dans les chevrons de la fonderie – abaissez-la en hiver (un filtre si cela est requis) et contrôlez-la de façon thermostatique si les températures extérieures devaient être extrêmement basses.
- Dotez les ventilateurs d'évacuation de régulateurs de vitesse variable pour faire correspondre le taux de ventilation au besoin.
- Voyez si vous pouvez apporter de l'air extérieur directement à une activité en particulier pour conserver l'air d'appoint chauffé de l'usine (p. ex., des classificateurs pneumatiques pour les grenailleuses; les souffleries).
- Posez des rideaux d'air à haute vitesse aux quais de chargement et dans d'autres grandes ouvertures.
- Songez à installer des vestibules à double porte ou des coupe-bise dans les parties nord-ouest des ouvertures.

Par réfection; à coût élevé

- Remplacez le système de ventilation de tout le secteur par des évacuations à capot situées dans chacune des sections qu'il faut ventiler (p. ex., par-dessus les machines de fabrication des noyaux, les fours, les poches et les postes de coulée, en particulier dans les fonderies de métaux non ferreux).
- Une fonderie peut être alimentée en air frais à température constante par l'installation d'un nouveau système de ventilation qui fait appel à une roue thermique. L'air d'évacuation chaud chauffe l'air d'arrivée dans l'échangeur. La température est contrôlée par le nombre de révolutions de l'échangeur (période de récupération dans une fonderie de fer : environ deux ans).

2.4.3 *Isolation*

L'isolation appropriée contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Comment ? Sauf pour l'énergie nucléaire et l'hydroélectricité, l'énergie est produite par la combustion de combustibles fossiles. L'isolation contre la chaleur perdue (four de fusion) réduit la quantité de combustible nécessaire pour produire la chaleur, et donc les émissions. La réduction peut se produire localement ou dans le cas de l'électricité, en amont à la centrale.

Nous isolons les équipements de traitement, les conduits, les tuyaux et les bâtiments pour :

- empêcher les gains et pertes de chaleur;
- maintenir des températures de traitement uniformes;

L'étape clé : déterminez l'épaisseur économique de l'isolant. C'est l'épaisseur qui offre l'isolant le plus efficace au moindre coût.

- prévenir les brûlures et les engelures chez les employés;
- empêcher la condensation de se former sur les surfaces froides de l'équipement;
- maintenir des milieux de travail confortables autour des équipements de traitement chauds ou froids.

L'isolant thermique se détériore avec le temps. La réévaluation de systèmes établis depuis longtemps peut révéler que l'isolant est inapproprié ou endommagé. Dans les grandes fonderies, les fonds investis dans un thermographe infrarouge (caméra vidéo) peuvent être rentabilisés assez rapidement. Par ailleurs, un conseiller en thermographie peut vous aider à découvrir des secteurs qui ont besoin de réparations ou d'isolant additionnel, ou à contrôler les fuites d'air. Les avantages à tirer de la réfection ou de l'augmentation de l'isolation des équipements de traitement et des tuyaux sont clairs, car depuis l'installation et l'isolation initiale de l'équipement dans la plupart des fonderies canadiennes, les prix des combustibles ont monté en flèche.

L'isolation qui repose sur les vides remplis d'air pour fonctionner efficacement doit être maintenue au sec. L'exposition à l'humidité, en particulier dans le cas de la mousse en bourre ou à alvéoles ouverts, provoque le déplacement de l'air isolant par l'entrée d'humidité ou d'eau (p. ex., la vapeur fuyante ou les tuyaux de condensat). Le revêtement efficace de l'isolant est tout aussi important que le choix du type le plus efficace d'isolant et d'installation d'une épaisseur économique. L'imperméabilisation est par conséquent une partie intégrante de tout travail d'isolation. Dans le cas des applications à haute température, choisissez une couverture perméable à la vapeur d'eau qui permettra à l'humidité de s'échapper à l'extérieur.

Retenez les types appropriés de chemisage ou de revêtement accompagnés de joints scellés et, s'il y a possibilité de dommages mécaniques, songez à utiliser de l'isolant plus résilient et doté d'une protection mécanique (barrières, remparts, boucliers, ponts, etc.) pour réduire les risques de dommages.

Basez le choix de l'isolant sur :

- un matériau non halocarboné
- l'ignifugation/la résilience
- le rendement/prix

Un isolant saturé en eau transfère la chaleur de 15 à 20 fois plus vite que lorsqu'il est sec !

Autres PGE

Périodique

- Étudiez les exigences relatives à l'épaisseur économique; songez aux coûts énergétiques à long terme.
- Vérifiez l'état de l'isolant et des revêtements périodiquement.
- Réparez l'isolant, les revêtements et les finis endommagés dès que possible.
- Remplacez l'isolant détrempe car il possède très peu de valeur isolante.
- Repérez la source d'humidité; en particulier, déterminez si les tuyaux ou l'équipement fuient.
- Respectez les exigences de sécurité, par exemple les surfaces chaudes.
- Réparez les joints autour des ouvertures et des couvercles de four, etc.
- Réduisez l'accès au four par les portes, les orifices d'entrée ou les couvercles des fours à un minimum absolu afin de réduire la chaleur perdue par rayonnement.

- Recouvrez les surfaces métalliques exposées, les trous de coulée des fours durant les périodes autres que celles de production par un couvercle en graphite ou en fibre céramique.

À faible coût

- Dotez les étuves longuement exposées de couvercles en fibre céramique amovibles.
- Isolez les tuyaux et les conduits non isolés.
- Isolez l'équipement qui ne l'a pas encore été.
- Augmentez les niveaux actuels d'isolant; ajoutez de l'isolant selon l'épaisseur recommandée.
- Isolez les équipements et les zones de traitement importants qui ne le sont pas.
- Retenez les services d'un conseiller en thermographie pour déceler les endroits qui ont besoin d'isolant supplémentaire ou d'un contrôle des fuites d'air.
- Améliorez l'isolation des bains de zinc dans les fonderies de galvanisation.
- Recouvrez les bains de zinc durant la nuit.

Par réfection; à coût élevé

- Remplacez la brique réfractaire par un isolant pyrobloc céramique dans les poches de coulée et les fours.
- Ajoutez de l'isolant ou du revêtement extérieur aux bâtiments, toits et vides sanitaires de la fonderie.

2.4.4 Éclairage

Améliorer l'efficacité énergétique de l'éclairage constitue l'un des projets à haute visibilité dans toute industrie, car chacun peut en constater les résultats. L'évaluation des systèmes d'éclairage est obligatoire aux termes de la *Loi sur l'efficacité énergétique* de 1996, qui établit des exigences minimales du rendement des lampes et de la qualité de l'éclairage. La vérification énergétique de votre fonderie devrait contribuer à établir le respect de la réglementation. Les services publics d'électricité, les fabricants de produits d'éclairage et les conseillers peuvent également vous aider.

Notre objectif qui consiste à accroître le rendement de l'énergie lumineuse ne saurait diminuer les exigences d'un éclairage approprié des lieux de travail. Une enquête effectuée en l'an 2000 dans les fonderies canadiennes comparait la gamme des niveaux d'éclairage actuels avec les exigences établies par la Société du génie de l'éclairage de l'Amérique du Nord. On a constaté de nettes différences dans les niveaux d'éclairage, différences qui augmentaient avec l'âge du travailleur.

% d'efficacité des lampes :
à incandescence = 100
à fluorescence = 300
à halogénure = 400 - 600
à sodium HP = 450 - 700

TABLEAU 5
Niveaux d'éclairage (en lumens/pi²) dans les fonderies

Secteur	Gamme de niveau typique (moyenne)	Requis pour des travailleurs âgés de		
		moins de 40	40-55	plus de 55
Moulage	3-300 (41)	100	150	200
Coulée	6-450 (63)	50	75	100
Noyautage	5-300 (49)	75	100	150
Meulage	4-180 (56)	100	150	200
Inspection	2-117 (49)	100	150	200

D'après L.V. Whiting; Note : 1 bougie-pied = 1 lumen/pi²

Il vaut la peine d'examiner ce tableau pour plusieurs raisons. Des niveaux d'éclairage appropriés qui correspondent à l'âge des travailleurs comportent bien des avantages concrets et intangibles que l'on néglige souvent :

- Cela améliore le moral et réduit l'absentéisme;
- Cela influence positivement la qualité (les gens travaillent mieux et améliorent la satisfaction de la clientèle);
- Cela permet de mieux contrôler les coûts en réduisant les anomalies et les rejets;
- Cela fournit un meilleur environnement de travail qui peut retarder le départ à la retraite des travailleurs plus chevronnés;
- Cela améliore les registres d'entretien et de sécurité grâce à un lieu de travail plus propre et plus ordonné, ainsi que des coûts d'assurance et un niveau d'accidents moins élevés;
- Cela a une influence positive sur l'image de l'entreprise et l'image de soi des employés.

Pour réduire les coûts de l'éclairage, centrez-vous par conséquent sur les améliorations à apporter à l'entretien et à l'efficacité énergétique des appareils d'éclairage, plutôt que de réduire l'intensité de l'éclairage dans les lieux de travail.

Prêtez attention au choix du bon type d'appareil d'éclairage pour le lieu à éclairer. Positionnez l'appareil d'éclairage en vue de réduire la perte de lumière à cause de l'accumulation de poussière (les fluorescents sont les pires à cet égard), et de sorte qu'il n'y ait aucune obstruction devant l'éclairage.

Au besoin, essayez de tirer parti de la lumière naturelle (puits de lumière, fenêtres). Pensez aussi à des moyens de faciliter le nettoyage des fenêtres ou des puits de lumière.

Autres PGE

Périodique

- Donnez à quelqu'un la responsabilité de fermer les lumières à la fin de la journée de production, et à les allumer avant le début du quart dans chaque service et dans les aires générales.
- Déterminez un calendrier régulier de nettoyage des lampes et des boucliers des appareils légers, en particulier dans les milieux poussiéreux.
- Mettez en œuvre un programme régulier de remplacement des lampes.
- Lorsque vous remplacez des lampes, il est plus économique de toutes les remplacer en même temps.
- Réduisez la puissance ou éteignez les projecteurs et les enseignes extérieures inutiles.
- Réduisez le niveau d'éclairage du parc de stationnement lorsque celui-ci n'est pas utilisé.

À faible coût

- Utilisez des interrupteurs de détection de présence là où c'est faisable, p. ex., dans les bureaux, les entrepôts, etc.
- Songez à des interrupteurs de détection de présence ou à des photocellules pour le contrôle de l'éclairage extérieur.
- Installez une commande d'éclairage automatique par minuterie qui éteindra les lumières à des périodes préétablies (surtout pour les aires locales).
- Prévoyez de l'éclairage direct approprié plutôt que de l'éclairage de l'espace en général.
- Lorsque le milieu le permet, peignez les murs et les plafonds de couleur plus pâle et utilisez la réflexion de la lumière pour améliorer l'éclat du lieu de travail.

Par réfection; à coût élevé

- Remplacez les appareils d'éclairage à faible rendement par des types à haut rendement (p. ex., des lampes au mercure par des lampes au sodium HP).

Conseil

Les lampes s'affaiblissent avec l'âge mais continuent à utiliser la même quantité de courant : remplacez les lampes !

La touche finale – combler les écarts

3.1 Repérage des possibilités de gestion de l'énergie (PGE)

Après quelque temps, un tableau commence à émerger quant à ce que l'on peut faire dans une fonderie pour améliorer la façon dont l'énergie est utilisée. Voici une liste possible des intrants :

- Les résultats initiaux de la vérification énergétique;
- Les résultats des bilans énergétique et des matériaux;
- Un examen de la documentation y compris des sources dans Internet;
- Des renseignements au sujet des idées applicables provenant d'autres fonderies et de fait, d'autres industries;
- Des consultations auprès de CANMET et de l'Office de l'efficacité énergétique de RNCAN;
- Des recommandations de fournisseurs d'équipement;
- Des conseils d'experts;
- Un regard nouveau sur la façon dont la fonderie gère sa production et ses activités.

Cela pourrait déboucher sur une très longue liste de possibilités de gestion de l'énergie (PGE). Les PGE relèvent de toutes ces grandes catégories :

1. **Changements organisationnels** – les changements dans la planification et l'ordonnancement de la production de façon telle que cela permet un nivellement partiel ou général de l'utilisation de l'énergie, d'où sa meilleure utilisation;
2. **Changements de procédés** – les améliorations dans l'équipement des procédés et des changements technologiques qui débouchent sur une consommation d'énergie réduite;
3. **Efficacité énergétique de la fusion et remplacement des combustibles** – l'optimisation de l'efficacité de l'utilisation et du choix de la meilleure source d'énergie (électricité ou gaz naturel);
4. **Gestion de l'énergie électrique** – des mesures qui découlent de la réduction de la consommation d'électricité, y compris la gestion de la puissance d'appel et du facteur de puissance, et la cogénération;
5. **Récupération de la chaleur** – la réutilisation des circuits de chaleur perdue et leur intégration de même que la prévention des pertes de chaleur sous toutes les formes (échangeur thermique, isolant).

L'influence de la première catégorie, les **changements organisationnels**, sur la conservation de l'énergie est souvent cachée. La chose importante est d'essayer d'équilibrer le calendrier, le type et la quantité des commandes de production afin d'atteindre un extrant de production plus stable. Certes, cela peut être difficile à réaliser mais c'est un aspect où les services du marketing et des ventes peuvent aider énormément les employés de production.

La catégorie **changement des procédés** constituera probablement la plus grande catégorie et celle qui exige le plus de capitaux. Les améliorations comprennent des changements à la capacité de production, l'amélioration de la qualité (caractéristiques des produits) et les contrôles des procédés mais, d'habitude, l'efficacité de l'utilisation de l'énergie ne constitue pas le facteur déterminant. Cela peut servir à justifier d'autres projets et activités de réfection (p. ex., les variateurs de vitesse, les moteurs à haut rendement).

La catégorie **efficacité énergétique de la fusion et remplacement des combustibles** touche la réfection des systèmes de brûleur, et la surveillance et le contrôle de la composition des gaz de combustion, de même que le chemisage et l'isolation des fours. Le remplacement des combustibles est un aspect qui dépend de la disponibilité sur le marché des combustibles (p. ex., le gaz naturel au Québec) et les prévisions de coût, ainsi que le type de métal fondu. Cela peut avoir un impact bénéfique à la fois sur la qualité et le coût des pièces moulées (le recours à l'électricité dans une aluminerie).

La catégorie **gestion de l'énergie électrique** peut améliorer les profits de la fonderie de façon considérable en contrôlant l'appel de puissance et le facteur de puissance, de même que par la surveillance et le contrôle complet de la consommation d'énergie électrique en général (voir la section 2.1.8 à la page 33).

La dernière catégorie, soit celle de la **récupération de la chaleur**, comprend des projets que l'on peut mieux apercevoir dans le contexte de toute la fonderie; plusieurs systèmes énergétiques peuvent être en cause, et des synergies sont atteignables.

3.2 Évaluation et calcul des économies d'énergie, et autres impacts des PGE

Il faut maintenant évaluer les économies d'énergie associées aux PGE. Une simple quantification des différences dans les intrants énergétiques entre la situation actuelle et l'état amélioré – exprimée à la fois en kWh et en dollars, annuellement – suffit.

Les renseignements exigent l'inclusion des coûts en capital des modifications ou améliorations, et le calcul du taux de rendement du capital investi (RCI). Il faut également saisir d'autres données (bénéfices/inconvénients) du projet d'amélioration de façon quantitative si possible (p. ex., l'amélioration de la capacité de production de 15 p. 100, la consommation réduite de l'air comprimé de 20 p. 100 ou x \$/an).

Il faut se rappeler que le but de l'évaluation consiste à classer de façon préliminaire les projets pour sélection future. Même en essayant de recourir à des estimations raisonnablement proches, il ne faut pas consacrer trop d'effort à essayer d'atteindre une précision à quatre décimales des résultats à ce stade – la précision des intrants est plus importante.

Pour structurer tous ces renseignements en une longue liste de projets (utilisez les abréviations de classification illustrées ci-dessus), on peut produire un tableau comme l'indique le tableau 6. Les colonnes sont explicites sauf le coût-bénéfice où l'énergie annuelle économisée par dollar d'investissement est énoncée.

TABLEAU 6
Longue liste des projets de PGE

Description du projet PGE	N° de PGE	Type	Capitaux investis en milliers de \$	Économies bénéfiques en GJ/an	Coûts-bénéfices en GJ/an/\$	Années RCI	Autres conséquences du projet
Optimisation du four de recuit	35	PC	50	150 000	3	3,5	Hausse de production de 5 %; réutilisation de la chaleur dans le réchauffage; redimensionnement des conduits
Etc.							

3.3 Choix et priorisation des projets de PGE

À prime abord, les projets qui offrent le rendement le plus élevé du capital investi doivent être retenus pour réalisation. Cela n'est pas aussi simple. D'autres aspects doivent être pris en compte. Le choix et la priorisation des projets sont souvent perçus comme une tâche très difficile. Voici un bref guide qui comprend des **outils démontrés de prise de décision** afin de faciliter suffisamment la tâche pour quiconque. Cela inclut :

- l'évaluation des risques;
- l'évaluation des coûts;
- l'exécution des activités principales en premier;
- l'utilisation de la modélisation économique pour évaluer les options de projet.

Examen initial

Faisabilité technique

La longue liste initiale des projets de PGE doit maintenant être scrutée selon plusieurs points de vue. En plus des idées nettement impraticables que l'on doit écarter immédiatement, il faut en outre éliminer les projets qui ne répondent pas à nos critères (qui relèvent énormément de notre propre conception ou qui sont particuliers à la fonderie). Il faut examiner tous les renseignements disponibles comme :

- les bonnes pratiques techniques;
- l'expérience d'autrui, les témoignages;
- les données transmises par les fournisseurs;
- la documentation;
- les conseillers;
- les incertitudes sur le plan technique;
- les risques pour le rendement.

Synergies possibles

Le projet peut-il s'intégrer de manière avantageuse à d'autres projets pour atteindre des avantages plus grands (p. ex., la réfection de l'eau de refroidissement d'un four à induction, de concert avec un chauffage des locaux et une ventilation améliorés) ?

Si c'est le cas, essayez de quantifier les avantages de l'interaction des projets, et comparez-les aux avantages des projets individuels et dans leur ensemble. Tenez compte de diverses combinaisons de projets avant de porter votre choix sur un groupe optimal à mettre en œuvre conjointement*.

* L'approche décrite ici est tenue pour appropriée car elle est complète. Toutefois, il est reconnu que le manque de ressources nécessaires peut forcer une fonderie à mettre en application un projet sans consacrer le temps et les efforts requis pour le comparer à d'autres. Dès qu'un projet est considéré comme satisfaisant aux exigences des économies d'énergie, et qu'il écarte tous les autres obstacles à l'investissement que nous décrivons ici, il n'existe pas de motif pour le reporter. L'avantage de cette approche improvisée est la mise en œuvre rapide des projets qui commencent à offrir des économies d'énergie permanentes.

Risques

1. Équilibrez les perspectives des points de vue de la sécurité, de l'environnement, du contexte légal et réglementaire, de l'image de l'entreprise et de l'image publique. Quantifiez le risque en recourant à la formule suivante :

$$\mathbf{R} = \mathbf{E} \times \mathbf{L} \times \mathbf{C}$$

où **R** = risque, **E** = exposition, **L** = probabilité et **C** = conséquences (la somme des conséquences individuelles dans les domaines environnemental et légal, sécuritaire, impact sur l'entreprise et image publique/réputation de l'entreprise). À l'aide de critères simples, attribuez une valeur à la mesure du risque dans chacune de ces catégories (p. ex., élevée, moyenne, faible, négligeable).

2. Évaluez s'il existe une possibilité d'exposition au risque à la fois dans la mise en œuvre du projet et dans son abandon.
3. Déterminez le niveau de risque tolérable.
4. Incluez des contre-mesures dans la conception du projet, si possible.

Voir l'appendice 5.6 pour plus de détails.

Plan d'entreprise et priorités

Le plan d'entreprise de la fonderie (habituellement soit à court, à moyen et à long terme) et les objectifs de priorité doivent également être pris en compte.

« Ce qui importe, ce n'est pas de prioriser ce qui figure sur votre calendrier, mais d'ordonner vos priorités ! » – STEVEN COVEY

Appliquez la règle des « choses importantes en premier » : mettez l'accent sur une approche proactive, préventive en regard des questions et des projets, ce qui vous permettra de ne pas vous empêtrer dans la gestion de crise face aux activités. En d'autres termes, posez-vous la question suivante : « S'agit-il de la bonne chose à faire? »

Rentabilité du projet

1. Évaluez le total du coût en capital du projet, dont :
 - le prix, la modification, l'installation et la certification de l'équipement;
 - les locaux de l'installation.
2. Évaluez les économies d'exploitation annuelles cumulatives du projet d'amélioration, dont :
 - l'électricité, l'eau, le gaz naturel, l'air comprimé, les produits consommables;
 - l'entretien, les pièces de rechange, la main-d'œuvre.

De tous ces éléments, pour des projets de conservation de l'énergie, la consommation de l'énergie est le plus important. À noter que l'air comprimé, à cause du coût élevé de l'énergie servant à le produire, est examiné séparément.

3. Calculez la période de récupération simple de l'investissement et exprimez-la en années (en mois, s'il s'agit de moins d'un an).

Calculez-vous le rendement sur le capital investi uniquement comme *période de récupération simple des coûts*? Cela est habituel, mais souvent il vaut *mieux utiliser la valeur actualisée nette, ou le taux de rendement interne*, qui est basé sur les flux monétaires actualisés, prévus. Cela est mieux car vous pouvez inclure l'effet des déductions pour amortissement (DPA). La DPA varie avec le type d'actifs en examen. Par exemple, la DPA sur les machines est de 20 p. 100, et sur les bâtiments, de 5 p. 100. Ces calculs indiquent le taux de rendement de façon plus précise.

Risque

Tous les projets comprennent un certain degré de risque. Les organisations font face à une vaste gamme de risques, par exemple :

- **Financiers** – Comptabilité et vérification, assurabilité, crédit, insolvabilité.
- **Organisationnels** – Image de l'entreprise, relations humaines.
- **Externes** – Marché, changements sociaux, changements climatiques.
- **Réglementaires** – Réglementation, politiques gouvernementales.
- **Légaux** – Lois, délits civils, contrats.
- **Opérationnels** – Production, environnement, santé et sécurité, actifs.

Le **risque d'entreprise** est la menace qu'un événement, une action ou de l'inaction auront un effet négatif sur la capacité de l'organisation à atteindre son objectif d'entreprise et à mettre en œuvre ses stratégies de façon réussie.

La **gestion du risque d'entreprise** est une approche proactive qui aide les propriétaires et les gestionnaires à prévoir le risque et à y réagir de manière efficace. On ne peut pas éliminer tous les risques d'entreprise.

Pour savoir si d'autres efforts doivent être consacrés à la réduction du risque de manière importante, il faut établir un **niveau de tolérance au risque** acceptable.

On peut se renseigner davantage sur l'évaluation du risque d'entreprise en prenant connaissance, par exemple, de la norme CAN/CSA-Q850-F97 : *Gestion du risque : Lignes directrices à l'intention des décideurs*. Pour acheter le guide, allez sur Internet à l'adresse www.csa.ca. Ensuite, cliquez sur Bienvenue > Normes > Qualité/Gestion et production > Boutique en ligne et catalogue > Gestion du risque > Q850 > CAN/CSA-Q850-F97. Les tableaux de l'appendice 5.6, qui vous permettront d'évaluer les divers risques rapidement et simplement, sont basés sur cette norme.

Établissement du coût d'un projet

Il convient de noter qu'à des fins initiales de filtrage, des estimations approximatives du coût en capital d'un projet sont suffisantes en général. Ce qui nous intéresse, c'est l'ordre de grandeur à ce *niveau de préféabilité* sur la base d'un concept préliminaire. Prévoyez des éléments de coût plus importants à examiner dans le projet, comme les coûts en capital de l'équipement, les coûts d'installation

(mécaniques, structuraux, des conduits et du génie civil, de la préparation des lieux, des modifications ou du retrait de l'équipement existant, électriques, etc.). Prévoyez une marge pour les coûts indirects (comme la gestion de la construction, les frais généraux des entrepreneurs, les coûts du propriétaire, les conseillers). Prévoyez une marge de manœuvre généreuse pour les impondérables à ce stade. Nous savons qu'à ce point, la précision prévue peut être décalée de 50 p. 100. Utilisez les résultats du classement initial.

Même s'il est difficile de prédire l'avenir, les projets d'économies d'énergie doivent être évalués dans le contexte des opérations futures de la fonderie; par exemple, les augmentations futures de production, les goulets d'étranglement dans les procédés possibles et les modifications aux procédés prévues.

Au fur et à mesure de la sélection des projets, les premiers choisis peuvent désormais être soumis à une *estimation de faisabilité*, qui fait appel à un établissement des prix plus officiels et ayant fait l'objet d'une meilleure recherche dans le cadre du projet. À ce stade, on peut obtenir des prix des fournisseurs. L'ensemble des éléments de coût du projet, comme ci-dessus, doit être examiné plus en détail.

Dès que nous avons réduit nos choix à une solution en particulier, il faut en arriver à une plus grande précision dans le processus officiel de l'*approbation de projet*. Cela signifie que la conception technique détaillée du projet, y compris les plans, le schéma électrique, le schéma des tuyaux et des conduites, l'émission de demandes officielles pour obtenir des propositions de plusieurs fournisseurs, avec toutes les spécifications de projet, etc., doit se faire. Les relations typiques et les niveaux de précision prévus sont illustrés au tableau 7 ci-dessous.

Même maintenant, notre tâche n'est pas tout à fait terminée. Avant de pouvoir en arriver à un coût plus précis du projet retenu, nous devons *examiner les compromis possibles*. Nous ne vivons pas dans un monde idéal où tout est possible. Nous devons exercer des choix. Il existe beaucoup d'aspects dont chacun s'accompagne d'un coût, et nous devons trouver une solution optimale. Celle-ci doit donc être soumise à l'approbation d'une soumission de projet.

TABLEAU 7
Estimation précise des coûts

Stade du projet	Coûts d'affectation, %	Coûts indirects (en % des coûts d'affectation)	Coûts éventuels en % du total
Étude de préfaisabilité	± 40–70	± 30–50	+ 20
Étude de faisabilité	± 25–30	± 25–35	+ 10–15
Approbation du projet	± 10 ou 0–10	± 20–30	+ 5

Modèle économique des compromis

Si vous avez affaire à un projet complexe comportant de nombreuses variables, vous voudrez peut-être examiner la *modélisation informatique (ou simulation)*. Des réponses rapides à des scénarios multiples en sont les avantages. Les inconvénients comprennent le coût élevé et le niveau de compétence requis pour exécuter un programme de modélisation informatique.

Pour ceux qui ne sont pas portés sur la simulation informatique, un autre outil très *simple de modélisation économique* est celui de Reinertsen & Associates de Redondo Beach en Californie (« *Do your product development math,* » *Machine Design*, mai 1998). Il est basé sur l'établissement de règles de compromis simples en élaboration de projet. Il reconnaît que chaque projet comprend quatre objectifs principaux :

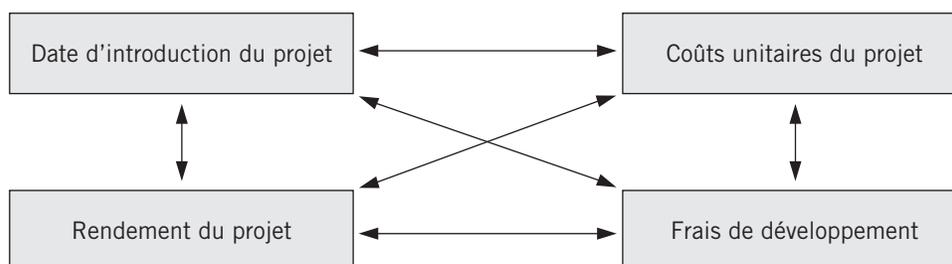
- Le calendrier – la date limite;
- Le coût unitaire du projet;
- Le rendement du projet;
- Les frais de développement.

Les compromis entre eux devraient optimiser la rentabilité d'un projet. Le modèle permet d'adopter les bonnes décisions d'investissement.

La *date limite* est la date où le projet devrait être totalement en application. Les *coûts unitaires du produit* sont les coûts mis en œuvre exprimés sur la base d'une unité du produit, ou d'une tonne de métal coulé, etc. Le *rendement du projet* mesure le flux de revenus pendant toute la durée de vie du projet à partir des économies ou de la productivité accrue que le projet atteindra. Les *frais de développement* constituent le coût unique lié à l'élaboration du projet.

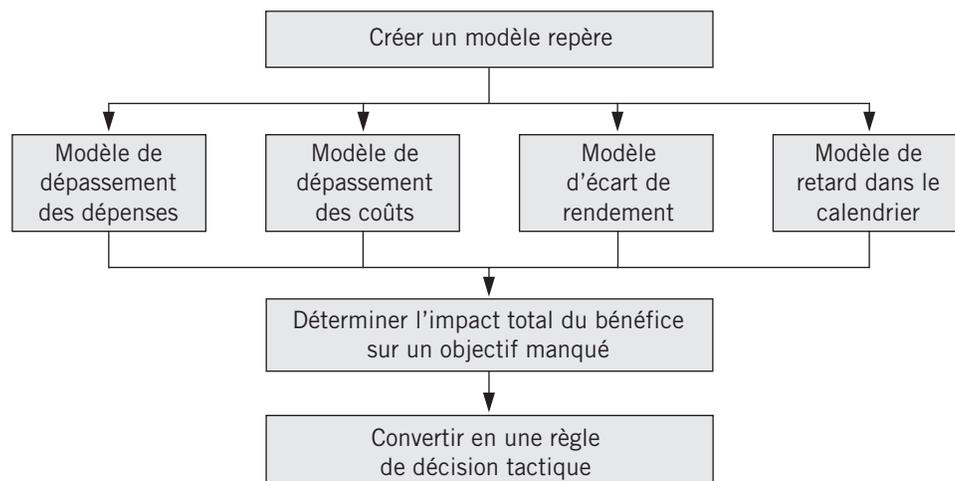
L'étape suivante consiste à attribuer une valeur pécuniaire à un écart de 1 p. 100 à chacun de ces paramètres. Cela dépend de la fonderie et c'est un élément que nous pouvons définir de façon générale très facilement. Nous pouvons modéliser maintenant, par exemple, un dépassement de 50 p. 100 des frais de développement (acquisition et installation de l'équipement), un dépassement de 10 p. 100 des coûts de production, un écart de rendement de 10 p. 100 et un retard de six mois dans la mise en œuvre du projet. En appliquant ces valeurs pécuniaires à chacun des paramètres, nous pouvons constater rapidement l'impact qu'aura chaque changement sur les économies prévues (bénéfices).

Objectifs économiques clés



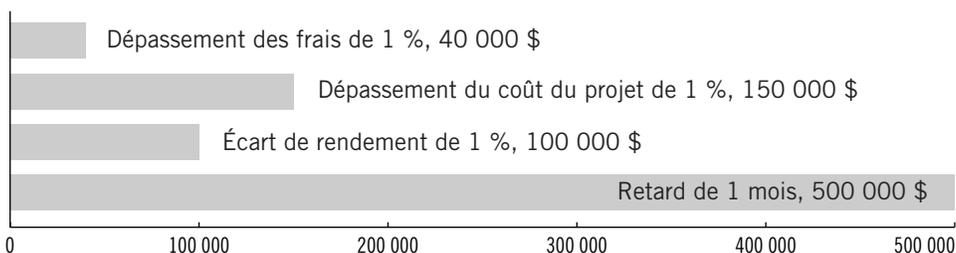
Graphiques de D. Reinertsen, *Machine Design*, mai 1998

Création des règles de compromis



Règles de décision tactiques

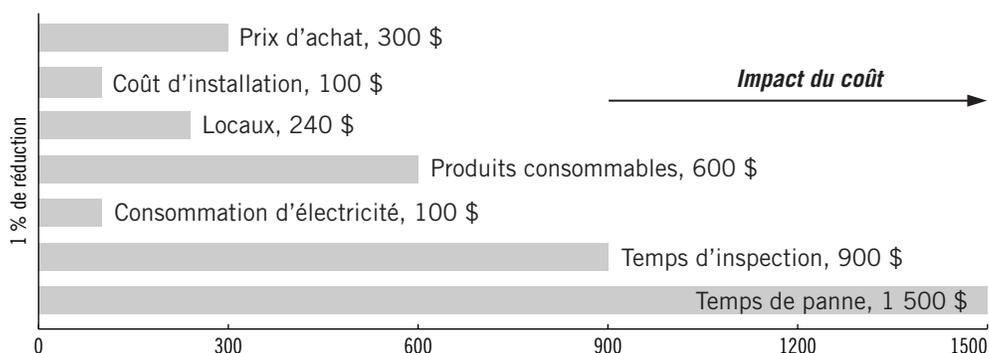
Impact du bénéfice sur le cycle de vie



Une simple analyse de sensibilité a produit ces règles de décision tactiques. Elle quantifie l'effet d'un changement de 1 % dans les dépenses, le coût du projet et l'écart de rendement, de même que l'effet d'un retard d'un mois.

Application des règles de compromis

Impact du bénéfice sur le cycle de vie du coût



Un modèle économique d'application aide à décider des compromis parmi les caractéristiques ou les attributs particuliers du projet. Les divers éléments déterminants sur le plan financier – coût d'installation ou temps de panne – peuvent être quantifiés et évalués, et le coût de propriété total peut s'exprimer en dollars. Cela peut servir à calculer les règles de compromis. Dans ce cas, en réduisant le temps d'inspection, on multiplie l'impact de l'abaissement de la consommation d'électricité par 9.

Graphiques de D. Reinertsen, *Machine Design*, mai 1998

Le modèle économique peut s'appliquer également à un compromis entre des caractéristiques d'un équipement en particulier, comme l'illustre le tableau ci-dessus. Dans ce cas, les coûts totaux de propriété du projet doivent être évalués : coût de l'équipement, installation, mise en service; coût des locaux; électricité, air comprimé, produits consommables; nettoyage, entretien, main-d'œuvre; coût des pannes; pièces de rechange, mauvais produits, coût du temps de panne, temps et volume de production perdus, coût des ventes non réalisées, etc. Exprimés en dollars, les coûts totaux de propriété aident à prendre des décisions quant aux compromis parmi les différents attributs de rendement et d'équipement.

Note importante

Le modèle économique peut également servir, dans une fonderie, à évaluer les caractéristiques de développement des produits et les compromis possibles (c.-à-d. remplacer les termes appropriés, comme date d'introduction sur le marché, produit, etc., par ceux utilisés dans les tableaux ci-dessus qui ont trait aux projets).

Conseils sur la façon d'appliquer l'outil de modélisation économique

- **Ne compliquez pas le modèle financier** – quand les données d'entrée sont imprécises, ne vous tracassez pas au sujet de la précision des coûts unitaires des produits; utilisez le bénéfice cumulatif avant impôt, car c'est un élément qui est bien compris en général. Tout effort supplémentaire doit viser à rendre les données d'entrée aussi précises que possible.
- **Faites participer les bonnes personnes** – des membres de l'équipe peuvent posséder diverses données essentielles nécessaires pour construire le modèle; faites appel au directeur financier pour des motifs à la fois d'ordre analytique et politique.
- **Faites en sorte que les règles de compromis soient visibles** – affichez les chiffres importants (p. ex., ce que vaut une heure de panne, etc.), pour que les gens les voient en permanence et s'en servent couramment. Passez en revue ces chiffres à l'occasion.
- **Servez-vous du modèle économique du projet pour prendre des décisions** – soyez cohérent et utilisez-le de manière systématique.
- **Intégrez les règles de décision tactiques à votre façon de faire** – intégrez les règles de décision à chaque projet (et à tout plan d'entreprise de nouveaux produits, également!). Amorcez chaque projet à l'aide d'un ensemble de règles de décision tactiques bien analysées et calculées précisément.
- **Ne développez pas de projets (produits, etc.) à moins d'être en mesure d'effectuer des calculs mathématiques simples !**

Il faut faire un effort pour provoquer le changement culturel – soit **de se détourner de la prise de décision intuitive et passer à la quantification rationnelle**. Cela en vaut la peine !

3.4 Élaboration et étoffement des programmes de gestion de l'énergie

Un programme de gestion de l'énergie réussi dans une fonderie équivaut à plus que simplement la somme des projets PGE. À l'aide des divers intrants précités, il faut se concentrer sur la préparation :

- d'un plan de projet quinquennal détaillé;
- d'un plan d'économie de l'énergie à moyen terme pour toute la fonderie;
- d'un plan d'économie d'énergie à long terme;
- d'un plan pour améliorer la gestion de l'énergie en général, notamment la mise sur pied d'un système de surveillance de l'énergie.

Le dernier point comprend une campagne de sensibilisation afin d'améliorer les pratiques d'entretien. Il est sûr, comme nous l'avons mentionné, que ces pratiques engendreront des économies d'énergie de 10 à 15 p. 100 rien qu'en éliminant les pratiques de gaspillage, élimination qui ne coûte rien.

Établissement d'objectifs de conservation de l'énergie

Nous présumons ici de la disponibilité des données. La définition d'objectifs fait également appel à l'établissement d'une base de mesure à laquelle on peut relier les améliorations. Souvent cependant, on découvre rapidement qu'il n'existe que des outils de mesure rudimentaires (et donc, des données minimales), en particulier dans les petites fonderies. Il s'agit d'un obstacle mais non d'une impossibilité. On peut tout de même amorcer un programme de gestion de l'énergie. Au fur et à mesure que le programme évoluera et qu'il affichera des résultats, il sera beaucoup plus facile de convaincre la direction d'investir dans l'acquisition d'autres compteurs, jauges, capteurs et contrôleurs. Ces outils permettront de collecter des données au sujet des appareils consommateurs d'énergie principaux.

Il se peut que vous manquiez d'indicateurs de rendement essentiels parce qu'ils n'ont jamais été mesurés. Servez-vous des résultats de la vérification énergétique ou calculez les besoins en énergie pour établir des repères par rapport auxquels vous définirez les objectifs futurs. Mesurez votre rendement actuel par rapport aux normes de l'industrie (dont certaines sont indiquées ailleurs dans le guide).

Dès qu'un objectif a été atteint de façon continue pendant plusieurs semaines, il est temps de l'examiner. Il pourrait devenir la nouvelle norme et un nouvel objectif peut se voir attribuer une valeur progressive. L'établissement d'objectifs contribue à faire participer tout l'effectif à des projets éconergétiques en lui donnant des buts à atteindre.

Ce que vous pouvez mesurer, vous pouvez le contrôler.

Ce que vous pouvez contrôler, vous pouvez l'améliorer.

Le champion de l'énergie de la fonderie doit gérer le plan de gestion de l'énergie comme un programme permanent, et coordonner un certain nombre de projets d'économie d'énergie. Pour cela, tenez compte des interactions (positives ou autres) entre eux; vous ne voudriez pas que la mise en œuvre d'un projet vienne en contradiction avec les économies prévues d'un autre.

Les objectifs doivent être réalistes, mesurables et vérifiables.

Établissement de priorités

L'établissement de priorités fait appel à l'examen des besoins de la fonderie et à certains outils de prise de décision décrits à la section précédente. Il vaut la peine de se rappeler d'un cliché usé mais vrai : il faut savoir marcher avant de pouvoir courir ! Amorcez le programme avec des projets qui donneront des résultats rapidement et plutôt facilement – récoltez les fruits à portée de la main. Cela représentera une grande source de motivation pour les employés de voir qu'ils peuvent réussir des projets. Cela donnera également aux membres de l'équipe de gestion de l'énergie la confiance nécessaire pour démarrer des projets plus complexes et à long terme. Il serait bon d'inclure dans les premiers projets ceux qui corrigeront les sources évidentes de gaspillage relevées dans la première vérification énergétique.

Sans une attention constante, même les projets faciles peuvent échouer et les efforts initiaux gaspillés !

3.5 Mettre en œuvre, surveiller le rendement et l'améliorer constamment

Vous, à titre de champion de l'énergie, souhaitez avoir la mainmise. Pour mettre en œuvre le plan de gestion de l'énergie et les diverses PGE, il faut mettre au point des plans d'action précis.

Plans d'action

Ils vous procureront l'outil de gestion et de contrôle nécessaire pour atteindre vos objectifs de manière efficace et efficiente. Vous y préciserez les détails nécessaires soit qui fera quoi, quand et avec quelles ressources. Il sera nécessaire de faire participer d'autres personnes aux décisions afin d'obtenir leur accord et leur soutien. Vous pouvez utiliser plusieurs logiciels de gestion de projet pour créer la représentation graphique des plans d'action de manière plus facile.

Amorcez tôt le travail

Ne tergiversez pas. Les retards tuent l'enthousiasme. Aussi, commencez avec des projets simples qui donneront un élan et la confiance à l'équipe. Dans la fonderie, donnez du renforcement positif afin d'aider les employés à adopter les nouvelles pratiques d'économie d'énergie.

Encouragez les membres de l'équipe à poursuivre les travaux qui leur ont été confiés et à respecter le calendrier de mise en œuvre. Rencontrez le comité de gestion de l'énergie à l'occasion de réunions brèves à intervalles réguliers, pour passer en revue l'évolution, planifier de nouveaux projets, évaluer les objectifs établis et définir de nouveaux objectifs, au besoin.

Surveillez la consommation

Il importe de suivre les flux énergétiques qui entrent dans la fonderie de même que leur usage. Cela produira des données qui offriront des réponses aux questions suivantes :

- Faisons-nous des progrès ?
- Les données énergétiques sont-elles précises ?
- Pouvons-nous apporter des correctifs rapides aux conditions de traitement qui ont causé une consommation excessive soudaine ?
- Quelles sont les tendances en utilisation de l'énergie ? (Servez-vous de ces données dans la budgétisation.)
- Quelles sont les économies de coût atteintes à partir des données collectées par le système de surveillance de l'énergie, et quel est le rendement du capital investi ?
- Les mesures d'économie d'énergie mises en œuvre correspondent-elles aux prévisions ? On peut repérer les problèmes de rendement du projet et améliorer les techniques d'évaluation des coûts et des avantages des améliorations éconergétiques dans le cadre de futurs projets.
- L'équipement fonctionne-t-il selon les garanties des fournisseurs ?

- Pouvons-nous établir des objectifs futurs de réduction de l'utilisation de l'énergie et surveiller l'évolution en vue de nouveaux objectifs ?
- Y a-t-il des secteurs dans la fonderie où nous aurions besoin d'une vérification énergétique détaillée ?

Le meilleur moyen de surveiller la consommation d'énergie consiste à utiliser des compteurs installés à des points stratégiques afin de mesurer le flux des sources d'énergie, comme l'électricité et l'air comprimé, pour chaque utilisateur principal.

Exprimez le rendement énergétique de façon significative

Exprimez les mesures en unités SI, comme les mégajoules (MJ) ou les gigajoules (GJ). Il faut les privilégier car elles permettent d'établir des comparaisons globales. Ainsi, indiquez la consommation énergétique ou les économies de cette façon :

- Par tonne de bonnes pièces fondues;
- Par tonne de métal en fusion;
- Par dollar d'investissement;
- Par dollar de vente;
- En électricité (gaz, vapeur, air comprimé) économisée; indiquez également son équivalent en dollars;
- En économies de coût d'exploitation annuel;
- En évitement des coûts en capital.

Servez-vous de mesures qui sont pertinentes aux conditions particulières de votre fonderie.

La surveillance du rendement énergétique aide les gestionnaires à repérer les secteurs de gaspillage dans leur service et leur permet de se responsabiliser quant à l'utilisation de l'énergie. Dès que la surveillance indique que la consommation d'énergie baisse au fur et à mesure que des améliorations sont apportées, les intervenants peuvent prêter attention à la section problème suivante.

Souvenez-vous que la gestion de l'énergie est affaire autant de technologie que de personnes.

Consolidez les gains, établissez de nouveaux objectifs

L'attention constante est nécessaire en gestion de l'énergie sinon les gains pourraient disparaître et les efforts s'amenuiser. Pour consolider les nouvelles mesures d'économie d'énergie, prêtez une attention constante à la mise en œuvre du projet jusqu'à ce que la mesure soit devenue une pratique bien intégrée.

Si les pratiques et les procédures ont été changées à cause du projet, prenez le temps de les documenter dans une directive ou une procédure. Cela assurera la future uniformité de la pratique, et servira d'outil de formation et de vérification.

Améliorez continuellement

Réexaminez l'objectif énergétique dès qu'il a été atteint de façon soutenue durant plusieurs mois. Puis, il peut devenir la nouvelle norme et vous pouvez alors établir un nouvel objectif plus exigeant. L'établissement d'objectifs par étapes constitue une façon améliorée d'aider les gestionnaires à considérer l'énergie comme une ressource que l'on doit gérer avec autant d'attention que d'autres intrants, comme la main-d'œuvre et les matières premières.

Communication efficace

La communication entre les membres de l'équipe et les employés de la fonderie en général est essentielle pour soutenir l'intérêt envers le programme de conservation de l'énergie.

Un plan de communication bien exécuté est essentiel pour que tous sentent qu'ils font partie des efforts de gestion de l'énergie. Des rapports à intervalles réguliers produits à l'aide des données de surveillance encouragent les employés car ils leur montrent les progrès accomplis pour atteindre leurs objectifs.

Communiquez l'information bien en vue à l'aide de tableaux d'affichage où tout le monde peut la voir. Il faut désigner quelqu'un pour l'afficher et la mettre à jour à intervalles réguliers. Les vieilles nouvelles ne sont pas intéressantes. La disposition, les couleurs, etc., peuvent être modifiées à l'occasion afin de maintenir l'intérêt visuel envers l'information.

Ne vous en remettez pas à un mode de signalement désincarné des résultats : utilisez un mode de représentation que les gens peuvent comprendre. Ainsi, exprimez les économies en dollars, en dollars par employé ou en dollars par unité de production. Illustrez-les selon un mode cumulatif; montrez comment elles contribuent aux bénéfices généraux de l'entreprise.

Le champion de la gestion de l'énergie doit partager avec les membres du comité de gestion de l'énergie tous les renseignements disponibles au sujet de l'utilisation de l'énergie, et les inviter à se dépasser pour envisager des moyens de conserver l'énergie dans leurs secteurs respectifs. Songez à utiliser des concours d'équipe comme outils.

Il est tout aussi important d'informer la direction de la fonderie au sujet des activités et des progrès accomplis. L'objectif ici est d'obtenir son accord et de rétablir le soutien obtenu des cadres supérieurs pour le système de gestion de l'énergie toutes les fois que vous produisez un rapport.

Faites appel à des représentations visuelles et graphiques simples des résultats – utilisez des tableaux, des diagrammes, des « thermomètres » de réalisations, etc.

Reliez-les aux coûts.

4.0

Sources d'aide

4.1 Administrations publiques

Innovateurs énergétiques industriels (IEI)

Les IEI sont programme volontaire qui vise à soutenir les efforts des entreprises pour améliorer l'efficacité énergétique et réagir aux changements climatiques. RNCan inscrit l'entreprise à titre d'Innovateur énergétique industriel dès que le président ou le PDG de l'entreprise signe une lettre d'engagement afin de mettre en œuvre des mesures d'économie d'énergie dans l'organisation. Dans le cadre de son engagement, chaque entreprise participante élabore et met en œuvre un objectif ou un processus d'établissement d'objectif d'amélioration d'efficacité énergétique de même qu'un plan d'action, désigne un champion de l'efficacité énergétique, et suit et rend compte des résultats de ses activités d'efficacité énergétique tous les ans. En retour, RNCan appuie les Innovateurs énergétiques industriels par le biais d'ateliers de gestion de l'énergie, de séminaires sur des nouvelles technologies et des pratiques d'exploitation, de guides sur l'efficacité énergétique propre à chaque secteur (comme celui-ci), un réseau d'information technique international, une trousse d'outils pour sensibiliser les employés, ainsi que des bulletins d'information sur la gestion de l'énergie.

Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC)

Le PEEIC, qui touche son financement de base et reçoit un soutien administratif de l'OEE de RNCan, offre à l'industrie un mécanisme pour obtenir les types suivants d'aide :

- L'établissement d'objectifs d'amélioration de l'efficacité énergétique pour chaque secteur et ses sous-secteurs;
- La publication de rapports sur les réalisations d'améliorations de l'efficacité énergétique;
- L'encouragement à la mise en œuvre de plans d'action dans chaque sous-secteur;
- La promotion de la synergie entre les secteurs par le biais de groupes de travail sectoriels;
- L'octroi aux gestionnaires de l'énergie d'un moyen par lequel ils peuvent partager leur expertise, et contribuer à l'établissement et à l'atteinte d'objectifs d'efficacité énergétique pour leurs secteurs et leurs entreprises;
- Les données repères par secteur.

Programme des nouvelles techniques (PNT)

Le PNT aide les industries à repérer et à développer des nouvelles techniques éconergétiques ayant de fortes possibilités de réduire la consommation d'énergie, limiter les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la compétitivité

manufacturière et réduire l'impact environnemental des procédés de fabrication. Le PNT appuie des études de secteurs, des évaluations technologiques, des essais pratiques de techniques et des activités de recherche-développement (R-D). Les contributions sont remboursables soit à partir des revenus ou des économies de coût réalisées dans des projets réussis. Le PNT aide également les entreprises à déduire 30 p. 100 de la déduction pour amortissement sur les équipements de conservation de l'énergie et sur des équipements d'énergie renouvelable admissibles.

Programme de recherche et de développement énergétiques dans l'industrie (PRDEI)

Le PRDEI soutient les entreprises canadiennes engagées dans des activités de R-D sur l'efficacité énergétique. Il est centré sur la promotion du développement de produits, de procédés ou de systèmes qui accroîtront l'efficacité de l'utilisation de l'énergie par l'industrie. Le soutien du PRDEI prend généralement la forme de prêts jusqu'à concurrence de 50 p. 100 du coût du projet, remboursables lorsque le produit ou le procédé est lancé sur le marché.

Prix d'efficacité énergétique du Canada

Étant un chef de file mondial en ce qui concerne de nombreux aspects de l'efficacité énergétique, le Canada se doit de souligner ses réussites et les rendre publiques. C'est le but des Prix d'efficacité énergétique du Canada. Les entreprises, les institutions, les gouvernements, les collectivités et les particuliers – y compris les étudiants – peuvent y participer. Vous pouvez même vous proposer comme candidat!

Visitez le site Web suivant pour connaître la nature des prix et la façon de s'y inscrire : http://oee.rncan.gc.ca/prix/page_daccueil.cfm.

Sources d'information

Pour de plus amples renseignements sur les programmes ci-dessus et d'autres programmes, communiquez avec les sources gouvernementales suivantes. Remarque : aucun effort n'a été épargné afin d'obtenir l'information personnelle la plus à jour possible.

Philip B. Jago
Directeur adjoint, Division des programmes industriels
Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne et Programme des Innovateurs énergétiques industriels
Office de l'efficacité énergétique
Ressources naturelles Canada
580, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Tél. : (613) 995-6839
Télec. : (613) 947-4121
Courriel : pjago@rncan.gc.ca

Norm Benoit
Gestionnaire de programme
Programme des nouvelles techniques
Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET)
1, promenade Haanel
Ottawa (Ontario) K1A 1M1
Tél. : (613) 996-6165
Télec. : (613) 995-7868
Courriel : nbenoit@rncan.gc.ca

Rudy Lubin
Équipe nationale du CADDET
CADDET Canada
Ressources naturelles Canada
580, rue Booth, 13^e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Tél. : (613) 996-6220
Téléc. : (613) 947-1016
Courriel : rlubin@rncan.gc.ca

Laurence Whiting
Section des fonderies
CANMET
568, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0G1
Tél. : (613) 992-1598
Téléc. : (613) 992-8735
Courriel : lwhiting@rncan.gc.ca

Richard Fry
Coordonnateur du programme
Secrétariat du PRDEI
Ressources naturelles Canada
1, promenade Haanel
Ottawa (Ontario) K1A 1M1
Tél. : (613) 996-0890
Téléc. : (613) 995-7868
Courriel : rifry@rncan.gc.ca

Alan Bowles
Gestionnaire, Contrats
commerciaux
Laboratoire mobile de fonderie
CANMET
568, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0G1
Tél. : (613) 995-8814
Téléc. : (613) 992-8735
Courriel : abowles@rncan.gc.ca

Denise Mullen-Dalmer
Directrice
Electricity Development Branch
Economic Development Division
Ministry of Employment
and Investment
4-1810, rue Blanshard
Victoria (Colombie-Britannique)
V8W 9N3
Tél. : (250) 952-0264
Téléc. : (250) 952-0258
Courriel : denise.mullendalmer@
gems1.gov.bc.ca

Terry E. Silcox
Conseiller technique
Conservation Manitoba
1395, avenue Ellice, bureau 360
Winnipeg (Manitoba) R3G 3P2
Tél. : (204) 945-2035
Téléc. : (204) 945-0586
Courriel : tsilcox@em.gov.mb.ca

Darwin Curtis
Directeur
Division des minéraux et
de l'énergie
Ministère des Ressources naturelles
et de l'Énergie du
Nouveau-Brunswick
Case postale 6000
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
E3B 5H1
Tél. : (506) 453-3720
Téléc. : (506) 453-3671
Courriel : dcurtis@gov.nb.ca

Brian Maynard
Sous-ministre adjoint
Department of Mines and Energy
Case postale 8700
St. John's (Terre-Neuve-
et-Labrador) A1B 4J6
Tél. : (709) 729-2349
Téléc. : (709) 729-2871
Courriel : bmaynard@dnr.gov.nf.ca

Scott McCoombs
Ingénieur en énergie
Nova Scotia Department of
Natural Resources
Case postale 698
Halifax (Nouvelle-Écosse) B3J 2T9
Tél. : (902) 424-7305
Télec. : (902) 424-7735
Courriel : srmccoombs@gov.ns.ca

John Rinella
Conseiller en matière d'efficacité
Division de l'énergie
Ministère de l'Énergie, des Sciences
et de la Technologie de l'Ontario
880, rue Bay, 3^e étage
Toronto (Ontario) M7A 2C1
Tél. : (416) 325-7064
Télec. : (416) 325-7023
Courriel : rinelljo@est.gov.on.ca

Nick Markettos
Gestionnaire, Sensibilisation et innovation
en matière de sciences et de technologie
Ministère de l'Énergie, des Sciences
et de la Technologie de l'Ontario
56, rue Wellesley Ouest, 11^e étage
Toronto (Ontario) M7A 2E7
Tél. : (416) 314-2527
Télec. : (416) 314-8224
Courriel : marketni@est.gov.on.ca

M. Luc Morin
Ministère des Ressources naturelles
Agence de l'efficacité énergétique
5700, 4^e Avenue Ouest, bureau B-405
Charlesbourg (Québec) G1H 6R1
Tél. : (418) 627-6379, poste 8036
Télec. : (418) 643-5828
Courriel : luc.morin@aee.gouv.qc.ca

Howard Loseth
Energy Conservation Engineer
Energy Development Branch
Saskatchewan Energy and Mines
2101, rue Scarth
Regina (Saskatchewan) S4P 4V4
Tél. : (306) 787-3379
Télec. : (306) 787-2333
Courriel : howard.loseth@sem.gov.sk.ca

Andy Ridge
Senior Analyst, Climate Change Group
Alberta Department of Environment
North Petroleum Plaza, 14^e étage
9945, 108^e Rue
Edmonton (Alberta) T5K 2G6
Tél. : (403) 422-7862
Télec. : (403) 427-2278
Courriel : andy.ridge@gov.ab.ca

Vous pouvez trouver d'autres liens à la
section 4.7 – Internet (page 124).

4.2 Programme fédéral canadien d'assistance à l'emploi « À LA SOURCE/ON-SITE »

Ce programme est mentionné séparément, car il offre de l'aide professionnelle à faible coût aux entreprises qui veulent s'attaquer à des problèmes de procédé, comme les améliorations éconergétiques, mais qui manquent des ressources pour ce faire.

Le programme fédéral canadien À LA SOURCE/ON-SITE, parrainé par l'Association des fabricants et exportateurs canadiens, est un partenariat entre l'industrie et l'État qui :

- permet aux professionnels en chômage de s'enrichir d'une expérience de travail;
- aide les employeurs à relever les défis en matière d'environnement, d'énergie et de gestion de la qualité.

Ce programme offre du travail aux professionnels, mais sans rémunération. Tout en travaillant, ces derniers continuent à percevoir les prestations d'assurance-emploi et ont accès à de la formation et à du soutien technique. Aux termes du programme, qui dure en général six mois, l'employeur peut embaucher la personne mais n'est pas obligé de le faire. Les employeurs qui participent au programme doivent verser la somme de 100 \$ par semaine aux travailleurs afin d'assumer une partie des coûts du programme, pris en charge à la fois par le parrain et par l'assurance-emploi, en vertu de la Section 25 de son Programme de création d'emplois.

Le programme À LA SOURCE/ON-SITE constitue une solution gagnante pour les raisons suivantes :

- Les stagiaires mettent leurs compétences à la disposition de l'employeur et contribuent à la mise en œuvre du projet tout en assimilant de nouvelles connaissances dans le cadre d'un emploi non rémunéré.
- Les employeurs font effectuer du travail à un coût moindre et sans avoir à augmenter leurs effectifs; ils obtiennent des renseignements et des connaissances utiles de la part de professionnels ayant la possibilité d'évaluer sans risque leur travail en prévision d'une embauche éventuelle.

4.3 Universités et collèges

Les établissements d'enseignement postsecondaires suivants offrent des programmes liés aux fonderies :

St. Clair College
2000, rue Talbot Ouest
Windsor (Ontario) N6A 6S4
Pers.-ressource : Jamie Wilson
Tél. : (519) 966-2727, poste 4431
Télec. : (519) 972-2755

Mohawk College
135, avenue Fennell Ouest
Hamilton (Ontario) L8N 3T2
Pers.-ressource : Don Burroughs
Tél. : (905) 575-2140
Télec. : (905) 575-2414

Comprend un Institut des technologies de la fonderie moderne parrainé par l'AFC (8 cours)

Le Modern Foundry Technologies Institute au collège Mohawk est le seul institut canadien parrainé par la U.S. Foundry Education Foundation.

Université de Windsor
Mechanical & Materials Engineering
Light Metals Casting Technology
Windsor (Ontario) N9B 3P4
Tél. : (519) 253-3000, poste 2596
Télec. : (519) 973-7007
Courriel : mech@uwindsor.ca

Procédés avancés de fonderie pour les pièces moulées légères, matériaux de fonderie de nouvelle génération, modélisation de la solidification

Fanshawe College
1460, rue Oxford Est
London (Ontario) N5Y 5R6
Pers.-ressource : Mike Westmorland
Tél. : (519) 452-4525
Télec. : (519) 452-1343

Humber College
205, boulevard Humber College
Etobicoke (Ontario) M9W 5L7
Pers.-ressource : Ken Simon
Tél. : (416) 675-6622, poste 4567
Télec. : (416) 674-7093

Conestoga College
299, promenade Doon Valley
Kitchener (Ontario) N2G 4M4
Pers.-ressource : Hans Zawada
Tél. : (519) 748-5220, poste 414
Télec. : (519) 748-3521

Cambrian College
1440, chemin Barrydowne
Sudbury (Ontario) P3A 3V8
Pers.-ressource : Dave Marks
Tél. : (705) 566-8101
Télec. : (705) 560-9652

Ryerson Polytechnic University
Mechanical Engineering Programs,
Material Science
350, rue Victoria
Toronto (Ontario) M5B 2K3
Tél. : (416) 979-5000
Site Web : www.ryerson.ca

Cégep de Trois-Rivières
Centre intégré de fonderie
et de métallurgie
3500, rue de Courval
Case postale 97
Trois-Rivières (Québec) G9A 5E6
Tél. : (819) 376-1721
Courriel : Webmaster@cegeptr.qc.ca

Contrôle des matériaux, fabrications mécano-soudées, procédés de transformation

4.4 Services publics

Électricité :

Alberta

Lloyd Berschi
EnVest®
Courriel : lqbertsc@
epcor-group.com

Nap Pepin
ATCO Electric
Courriel : nap.pepin@
atcoelectric.com

Colombie-Britannique

Murray Bond
BC Hydro
Courriel : murray.bond@
bchydro.bc.ca

Derek Henriques
BC Hydro – PowerSmart®
Courriel : derek.henriques@
bchydro.bc.ca

Manitoba

Brian Gaber
Winnipeg Hydro
Courriel : bgaber@
city.winnipeg.mb.ca

Gerry Rose
Manitoba Hydro
Courriel : gwrose@hydro.mb.ca

Nouveau-Brunswick

George Dashner
Énergie NB
Courriel : gdashner@nbpower.com

Blair Kennedy
Énergie NB
Courriel : bkennedy@
nbpower.com

Terre-Neuve-et-Labrador

David Woolridge
Newfoundland Power
Courriel : dwoolrid@
newfoundlandpower.com

Nouvelle-Écosse

Ann Hope
Nova Scotia Power Corporation
Courriel : ann.hope@nspower.ns.ca

Ontario

Scott Rouse
Société de production d'électricité
de l'Ontario (OPG)
Courriel : srouse@
ontariopowergeneration.com

Bob McKellar
Ontario Hydro Power
Courriel : bob.mckellar@
ontariohydropower.com

Québec

Ronald Martineau
Hydro-Québec
Courriel : martineau.ronald@
hydro.qc.ca

Nicolas Nadeau
Hydro-Québec
Courriel : nicolas.nadeau@
hydro.qc.ca

Saskatchewan

Randy Graham
SaskPower
Courriel : rgraham@
saskpower.sk.ca

Île-du-Prince-Édouard

Angus Orford
Maritime Electric Co. Ltd.
Courriel : orford@
maritimeelectric.com

Gaz naturel :

Alberta

Mark Antonuk
Canadian Western Natural Gas
Courriel : mark.antonuk@cwng.ca

Colombie-Britannique

Gary Hammer
BC Gas
Courriel : ghammer@bcgas.com

Manitoba

Gerry Rose
Manitoba Hydro (aussi pour le gaz naturel)
Courriel : gwrose@hydro.mb.ca

Ontario

Massoud Almassi
Enbridge
Courriel : massoud.almassi@cgc.enbridge.com

Marc St. Jean
Union Gas Ltd.
Courriel : mstjean@uniongas.com

Québec

Robin Roy
Gaz Métropolitain
Courriel : rroy@gazmet.com

Saskatchewan

Bernard Ryma
SaskEnergy/TransGas
Courriel : bryma@saskeenergy.sk.ca

4.5 Associations

Association des fonderies canadiennes
Judith Arbour, directrice
1, rue Nicholas, bureau 1500
Ottawa (Ontario) K1N 7B7
Tél. : (613) 789-4894
Télééc. : (613) 789-5957
Courriel : judy@foundryassociation.ca
Site Web : <http://www.foundryassociation.ca>

Groupe de travail du secteur des fonderies du PEEIC
Adam Promoli, président
Crowe Foundry Limited
C.P. 25010
95, rue Sheffield
Cambridge (Ontario) N3C 4B1
Tél. : (519) 658-9376, poste 241
Télééc. : (519) 658-6190
Courriel : adam@crowefoundry.com

American Foundry Society and Cast Metals Institute, Inc.
505 State Street
Des Plaines, IL 60016-8399 USA
Tél. : 1 800 537-4237
(États-Unis et Canada)
Télééc. : (847) 824-7848
Site Web : <http://www.afsinc.org>

Éditeurs des magazines
Modern Casting,
Engineering Casting Solutions
et Casting Source Directory

Casting Industry Suppliers Association
Site Web : <http://www.industry.net/c/orgindex/cisa>

British Foundry Association
Courriel : webmaster@foundryonline.com

Association canadienne des
mouleurs sous pression
C.P. 1227, Succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5R3
Tél. : (613) 271-6164
Télééc. : (613) 599-7027
Courriel : cdcassn@istar.ca

Association des fabricants et
exportateurs canadiens
5995, chemin Avebury, bureau 900
Mississauga (Ontario) L5R 3P9
Tél. : (905) 568-8300
Télééc. : (905) 568-8330
Courriel : webmaster@
cme-mec.ca

On peut trouver d'autres liens à la
section 4.7 – Internet.

4.6 Conseillers

Pour obtenir de l'aide, consultez les listes de conseillers qui figurent dans les Pages Jaunes locales, les annonces dans les revues spécialisées, ainsi que les listes de technologues énergétiques certifiés et d'ingénieurs de votre province. Demandez également des références à d'autres membres de l'industrie des fonderies. Le conseiller chevronné est une personne qui peut jeter un regard indépendant et, comme intervenant de l'extérieur, peut déceler rapidement les pratiques qui gaspillent l'énergie.

4.7 Internet

Internet est une source très riche d'information. En plus des adresses Internet précisées plus haut dans le guide, voici certaines autres personnes et centres-ressources que vous pouvez trouver dans la Toile :

American Foundry Society
www.afsinc.org

Association des fonderies
canadiennes
www.foundryassociation.ca

California Cast Metals Association
www.foundryccma.org

Casting Industry Suppliers
Association
www.cisa.org

Castings Technology International
www.castingsdev.com

Centre international d'intervention
pour l'analyse et la diffusion des
techniques énergétiques
démonstrées (CADDET)
*« Bibliothèque » internationale
d'information sur les projets
énergétiques*

Note : chaque source de référence
possède des liens intégrés pour
obtenir un aperçu des organisations
qui ont de l'expérience dans les
technologies connexes.
www.caddet-ee.org/register/dataee

Code modèle national de l'énergie
pour les bâtiments de l'Ontario
www.orderline.com/obc
Tél. : 1 888 361-0003 (sans frais)

Compressed Air Challenge Energy
Center of Wisconsin (offre
également de la formation)
www.knowpressure.org

Diecasting Development Council
www.diecasting.org/ddc

Ductile Iron Marketing Group
www.ductile.org/dimg

Ductile Iron Society
www.ductile.org

Electric Power Research Institute
www.epri.com

FIRST (Foundry Industry
Recycling Starts Today)
www.foundryrecycling.org

Foundry Educational Foundation
www.fefoffice.org

Illinois Cast Metals Association
www.ilcastmetals.org

Industrie Canada
<http://strategis.ic.gc.ca>

Initiative des Innovateurs
énergétiques industriels
<http://oe.e.rncan.gc.ca/peeic>

Investment Casting Institute
www.investmentcasting.org

Iron Casting Research Institute
www.ironcasting.org

L'Enjeu PEEIC, bulletin
d'information
[http://batiments.rncan.gc.ca/
bulletins/peeic.htm](http://batiments.rncan.gc.ca/bulletins/peeic.htm)

Mesures volontaires et Registre
inc. du Défi-climat canadien
www.vcr-mvr.ca

Netherlands Energy Research
Foundation
[www.eco-web.com/register/
00472.html](http://www.eco-web.com/register/00472.html)

Non-Ferrous Founders' Society
www.nffs.org

North American Die Casting
Association
www.diecasting.org

Oak Ridge National Laboratory
www.ornl.gov

Steel Founders' Society of America
www.sfsa.org

Texas Cast Metals Association
www.tcmainc.com

Tooling and Manufacturing
Association (TMA)
www.tmanet.com

4.8 Autres fonderies

Veillez consulter l'appendice 5.5
pour obtenir la liste des fonderies
membres de l'AFC.

5.0

Appendices

Appendice 5.1 : Unités d'énergie et facteurs de conversion

Unités SI de base

Longueur	mètre (m)
Masse	gramme (g)
Temps	seconde (s)
Température	Kelvin (K)

Unités de température les plus utilisées :

Celsius (**C**), Fahrenheit (**F**)

$$0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ }^{\circ}\text{K} = 32\text{ }^{\circ}\text{F} \quad 1\text{ }^{\circ}\text{F} = 5/9\text{ }^{\circ}\text{C} \quad 1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1\text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$\text{Température Fahrenheit} = 1,8 (\text{température Celsius}) + 32$$

Note : Utiliser le terme « centigrade » au lieu du terme « Celsius » est une erreur, et cet usage a été abandonné en 1948 pour éviter la confusion avec un degré d'arc centenaire en topographie.

Multiples

10^1	déca (da)
10^2	hecto (h)
10^3	kilo (k)
10^6	méga (M)
10^9	giga (G)
10^{12}	téra (T)
10^{15}	péta (P)

Fractions

10^{-1}	déci (d)
10^{-2}	centi (c)
10^{-3}	milli (m)
10^{-6}	micro (μ)
10^{-9}	nano (n)

Unités SI dérivées

Volume :	hectolitre (hL)	100 L
	mètre cube (m³)	1000 L
Masse :	kilogramme (kg)	1000 g
	tonne (t)	1000 kg
Chaleur :	Quantité de chaleur, de travail, d'énergie	joule (J)
	Flux thermique, puissance	watt (W)
	Flux thermique	watt/m ²
	Coefficient global de transfert de chaleur	watt/m ² K
	Conductivité thermique (K)	W/mK
Pression :	Pascal (Pa)	

Facteurs de conversion :

	Multiplieur	par	pour obtenir
Longueur :	mètre	3,2808399	pieds
	mètre	39,370079	pouces
Masse :	kg	2,2046226	livres
	tonne (t)	0,9842206	tonnes (anglaises)
	tonne (t)	1,10233113	tonnes (américaines)
Volume :	L	0,219975	gallons (impériaux)
	L	0,264173	gallons (américains)
	L	0,035315	pieds cubes
Énergie :			
Quantité de chaleur :	kWh	3,6	MJ
	kWh	3412,0	Btu
	MJ	947,8	Btu
	Btu	0,001055	MJ
Émission ou gain de chaleur :	W/m ²	0,317	Btu/pi ²
Chaleur massique :	KJ/kgK	0,2388	Btu/lb°F
Flux thermique :	W	3,412	Btu/h
Coefficient de transfert de chaleur :	W/m ² K	0,1761	Btu/pi ² h°F
Conductivité :	W/m K	6,933	Btu in/pi ² h °F
Valeur calorifique (base masse) :	KJ/kg	0,4299	Btu/lb
Valeur calorifique (base volume) :	MJ/m ³	26,84	Btu/pi ³
Pression :	bar	14,50	lb/po ² (psi)
	bar	100,0	kPa
	bar	0,9869	atmosphère type
	mm Hg (mercure)	133,332	Pa
	pied d'eau	2,98898	kPa
Volume massique :	m ³ /kg	16,02	pi ³ /lb
Vitesse :	m/s	3,281	pi/s

Valeurs d'usage

1 thermie	=	100 000 Btu	ou	29,31 kWh
1 pi ³ de gaz naturel	=	1 000 Btu	ou	0,2931 kWh
1 gallon US huile n° 2	=	140 000 Btu	ou	41,03 kWh
1 gallon imp. huile n° 2	=	168 130 Btu	ou	49,27 kWh
1 gallon US huile n° 4	=	144 000 Btu	ou	42,20 kWh
1 gallon imp. huile n° 4	=	172 930 Btu	ou	50,68 kWh
1 gallon US huile n° 6	=	152 000 Btu	ou	44,55 kWh
1 gallon imp. huile n° 6	=	182 540 Btu	ou	53,50 kWh
1 puissance (1 hp) évaporation	=	33 480 Btu/h	ou	9,812 kW
1 puissance (1 hp) mécanique	=	2 545 Btu/h	ou	0,7459 kW
1 tonne de réfrigération	=	12 000 Btu	ou	3,5172 kWh

Au Canada, la valeur d'un Btu (60,5 °F) = 1,054615 KJ a été adoptée dans les industries gazière et pétrolière. L'ISO accepte la valeur 1,0545 KJ.

Appendice 5.2 : Données repères énergétiques dans les fonderies

Mesure	Unité	Fonderies de fer		Aciéries		Fonderies de laiton et de bronze		
		Moyenne	Gamme	Moyenne	Gamme	Moyenne	Gamme	
Coût de l'énergie	\$/t	138	67–193	230	110–425	386	100–830	
Coût de l'électricité	\$/t	72	–	186	–	300	–	
	¢/kWh	9,5	6–13	7,9	6–12	10,2*	6–13	
Coût du gaz	\$/t	–	–	33	–	68	–	
Énergie par tonne (t) de bonnes pièces de fonte	kWh/t	2395	1210–3310	4486	2200–6600	9590	2980–16100	
Énergie par tonne fondue	kWh/t	1581	1025–2200	2710	1430–4740	4410	1870–11020	
Ratio énergétique des bonnes pièces de fonte	–	1,51	–	1,66	–	2,17	–	
Électricité par tonne de bonnes pièces fondues	kWh/t	1555	1025–2870	2844	1320–4740	3417	2980–6400	
Électricité par tonne fondue	kWh/t	992	770–1290	1800	940–3090	1786	680–3350	
Ratio d'électricité des bonnes pièces de fonte	–	1,57	–	1,58	–	1,91	–	
Facteur de charge moyen	%	30,1	16–70	31,3	13–50	26,6	14–41	
Facteur de puissance moyen	%	87,0	73–99,6	92	84–99,7	89	73–94	
Consommation électrique typique des fours	par tonne fondue	kWh/t	772	595–1290	872	620–2760	–	–
	par tonne de Cu fondue	kWh/t	–	–	–	–	530	400–1100
	par tonne de Al fondue	kWh/t	–	–	–	–	560	570–1610
Consommation de gaz naturel	par tonne de Cu fondue	kWh/t	–	–	–	–	4630	1870–11020
	par tonne de Al fondue	kWh/t	–	–	–	–	4300	1540–7170
Appel de puissance du four en % de la fonderie	%	78	68–89	68	59–88	59	33–90	
Rendement du serpent	1-k	80	63–95	78	70–82	58**	51–61	
Pertes du bloc d'alimentation	%	11	8–15	12	8–20	12	8–25	
Rendement général	%	66	54–84	58	49–67	53,2	36–73	
Consommation électrique des fours / fonderie***	%	66	40–79	49	43–65	38,1	13–84	

Notes : 1 t (tonne) = 2 216 lb; 1 tonne (américaine) × 1,10233113 = 1 t; Cu = cuivre; Al = aluminium;

*Moyenne simple de 10,2 ¢/kWh; moyenne pondérée de 9,5 ¢/kWh

**Fours de cuivre

***Ratio de consommation d'électricité

Ce tableau est une adaptation des études de Laurence V. Whiting sur les fonderies canadiennes publiées en 2000.

Appendice 5.2 : Données repères énergétiques dans les fonderies (suite)

Mesure	Unité	Fonderies de fer		Aciéries		Fonderies de laiton et de bronze		
		Moyenne	Gamme	Moyenne	Gamme	Moyenne	Gamme	
Moteurs :	puissance d'appel	%	40	10–100 cubilots 10–40 électrique	34,6	20–49	45,5	20–80
	consommation	%	30	–	47	–	–	–
	demande moyenne/ plaque signalétique	%	60	–	60	–	60	–
Coût de l'électricité des compresseurs de la fonderie		%	15,1	3–44	11,6	4–21	19,5	8–29 (75)
Rendement des brûleurs à gaz :	poches de coulée	%	53	40–67	60,4	46–70	62	46–70
	fours de traitement thermique	%	–	–	59	45–67	–	–
	fours	%	–	–	–	–	58	40–70
Production :	tonnes fondues par employé de la fonderie	t/homme-mois	9,9	3,3–18,7	5,4	2,2–11,4	4,11	1,07–10,80
	tonnes expédiées par le total des effectifs de la fonderie	t/homme-mois	6,0	2,2–14,3	2,6	1,3–6,4	0,89	0,36–4,08

Ce tableau est une adaptation des études de Laurence V. Whiting sur les fonderies canadiennes publiées en 2000.

Appendice 5.3 : Caractéristiques techniques et énergétiques des fours de fusion électrique

Alliage et type de four		Puissance appliquée	Puissance d'attente	% de rendement du serpentín	Température de fusion	Utilisation typique d'énergie	Besoins de fusion	Énergie théorique de fusion
		kW	kW		°C (°F)	kWh/t	kWh/t*	kWh/t**
Fonte :	Canal	1100–1500	250–350	92–95	1482–1510 (2700–2750)	661–1213	–	–
	Fréquence principale	300–5500	40–220	60–78	1455–1537 (2650–2800)	573–882	550–595	374–398
	Fréquence moyenne	425–3500	–	77–83	1455–1566 (2650–2850)	617–926	573–584	–
Aciers :	Acier – four à arc	1000–1800	–	–	1593–1649 (2900–3000)	728–1075	–	–
	Acier inoxydable – Fréquence moyenne	250–1050	40	80–83	1621–1705 (2950–3100)	728–2205	628	383–406
Cuivre :	Canal	200–450	40–120	85–93	1177–1204 (2150–2200)	276–529	276–342	196–204
Aluminium :	Fréquence moyenne	1500–1600	200–260	61–72	771 (1420)	705–827	540–551	327

Adaptation des travaux de L.V. Whiting, à l'aide de données provenant à la fois de CANMET et d'Ontario Hydro, étude portant sur 25 fonderies en Ontario (1991–1993).

Notes : 1 t (tonne) = 1,10233113 tonne (américaine); 1 tonne = 0,90716843 t

* Fusion, et jusqu'à la température sans attente.

** L'énergie théorique de fusion renvoie à la température précisée.

Appendice 5.4 : Calcul de la réduction des émissions de gaz à effet de serre

Bien que les exemples suivants puissent paraître spécialisés, la méthode utilisée pour calculer les réductions d'émissions s'applique à tout projet de gestion de l'énergie qui réduit la consommation de combustible ou d'électricité.

Systèmes de combustion sur place

Utilisez les facteurs du tableau 1 et les renseignements ci-dessous pour calculer la quantité de CO₂, CH₄ et NO_x produite par les systèmes de combustion dans l'exemple ci-après. Pour effectuer ce calcul dans vos propres installations, obtenez les données précises de votre service public de gaz.

- Quand on a isolé de nouveau le four pit dans une aciérie, les brûleurs à gaz naturel originaux ont été remplacés par des brûleurs à haute efficacité. On estime les économies annuelles de combustible à 50 térajoules (TJ). Quelles seraient les réductions correspondantes des émissions de CO₂, CH₄ et NO_x ?
- Les facteurs d'émission du gaz naturel sont le CO₂ : 49,68 t/TJ; le CH₄ : 0,13-1,27 kg/TJ; le NO_x : 0,62 kg/TJ. Une gamme de 0,13 -1,27 kg/TJ a été indiquée pour le CH₄, de sorte que nous supposons 0,6 kg/TJ pour ce calcul.

$$\text{Réduction du CO}_2 = 50 \text{ TJ/an} \times 49,68 \text{ t}$$

$$\text{CO}_2/\text{TJ} = 2\,484 \text{ t/an}$$

$$\text{Réduction du CH}_4 = 50 \text{ TJ/an} \times 0,6 \text{ kg}$$

$$\text{CH}_4/\text{TJ} = 30 \text{ kg/an}$$

$$\text{Réduction du NO}_x = 50 \text{ TJ/an} \times 0,62 \text{ kg}$$

$$\text{NO}_2/\text{TJ} = 31 \text{ kg/an}$$

TABLEAU 1

Facteurs d'émission de gaz à effet de serre par source de combustion

(Le tableau se poursuit à la page suivante)

Type de combustible	CO ₂		CH ₄		NO _x	
	t/ML	t/TJ	kg/GL	kg/TJ	kg/ML	kg/TJ
Combustibles gazeux						
Gaz naturel	1,88	49,68	4,8-48	0,13-1,27	0,02	0,62
Gaz de distillation	2,07	49,68	—	—	0,02	0,62
Gaz de cokerie	1,60	86,00	—	—	—	—
Combustibles liquides						
Essence à moteur	2,36	67,98	0,24-4,20	6,92-121,11	0,23-1,65	6,6-47,6
GPL	1,11-1,76	59,84-61,38	0,03	1,18	0,23	9,00-12,50
Carburant diesel	2,73	70,69	0,06-0,25	1,32-5,7	0,13-0,40	3,36-10,34
Pétrole léger	2,83	73,11	0,01-0,21	0,16-5,53	0,13-0,40	3,36-10,34
Pétrole lourd	3,09	74,00	0,03-0,12	0,72-2,88	0,13-0,40	3,11-9,59
Coke de pétrole	4,24	100,10	0,02	0,38	—	—

Type de combustible	CO ₂		CH ₄		NO _x	
	t/t	t/TJ	g/kg	kg/TJ	g/kg	kg/TJ
Anthracite	2,39	86,20	0,02	varie	0,1–2,11	varie
Bitumineux américain	2,46–2,50	81,6–85,9	0,02	varie	0,1–2,11	varie
Bitumineux canadien	1,70–2,52	94,3–83,0	0,02	varie	0,1–2,11	varie
Sous-bitumineux	1,74	94,30	0,02	varie	0,1–2,11	varie
Lignite	1,34–1,52	93,8–95,0	0,02	varie	0,1–2,11	varie
Coke	2,48	86,00	–	–	–	–
Bois de chauffage	1,47	81,47	0,15–0,5	0,01–0,03	0,16	8,89

Abréviations : t, tonne; kg, kilogramme; g, gramme; ML, mégalitre; TJ, térajoule; kL, kilolitre; GL, gigalitre. (Voir l'appendice 5.1 : Unités d'énergie et facteurs de conversion.)

Source : Cahier du participant au programme Mesures volontaires et Registre, août 1995, et son addendum publié en mars 1996. Données fournies par Environnement Canada.

Impact des réductions sur la consommation d'électricité

Les projets de gestion de l'énergie qui réduisent la consommation d'électricité ont également un effet positif sur l'environnement. Toutefois, les réductions d'émission se produisent à la centrale plutôt qu'à l'emplacement des améliorations éconergétiques. Pour calculer la réduction des émissions, utilisez la méthode exposée ci-dessus, puis calculez l'énergie économisée à la centrale. Cela s'effectue en rajustant le chiffre qui représente l'énergie économisée à l'emplacement afin de tenir compte des pertes du réseau de distribution de l'électricité.

À l'aide du tableau 1 et des données ci-dessous, calculez les réductions d'émission. Pour effectuer ce calcul dans vos propres installations, obtenez des données précises de votre service public d'électricité.

- Dans une grande fonderie de la Saskatchewan, le programme de gestion de l'énergie comprenait le remplacement des tubes fluorescents par des tubes à halogénure métallisé, de même que le remplacement de plusieurs gros moteurs électriques par des moteurs à haut rendement. Le total de l'économie d'énergie annuelle s'est élevé à 33 600 MWh. Calculez la réduction correspondante des émissions.
- Le tableau 2 indique qu'en Saskatchewan, l'émission moyenne de CO₂ de la production d'énergie électrique est de 0,83 t/MWh.
- Convertissez l'économie équivalente d'énergie à la centrale en utilisant un rendement de transmission de 96 p. 100.

$$\begin{aligned} \text{Économies d'énergie annuelles à la centrale} &= 33\,600 \text{ MWh} / 0,96 \\ &= 35\,000 \text{ MWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Réduction du CO}_2 &= 35\,000 \text{ MWh/an} \times 0,83 \text{ t/MWh} \\ &= 29\,050 \text{ t/an} \end{aligned}$$

TABLEAU 2**Moyenne des émissions de CO₂ en 1998, par unité d'électricité produite**

	t/MWh	t/TJ
Provinces de l'Atlantique	0,25	68,4
Québec	0,01	2,5
Ontario	0,23	65,2
Manitoba	0,03	8,2
Saskatchewan	0,83	231,7
Alberta	0,88	245,3
Colombie-Britannique	0,03	7,5
Yukon et Territoires du Nord-Ouest	0,40	109,8
Moyenne canadienne	0,22	61,1

Source : Division de l'analyse et de l'élaboration de la politique de la demande, Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada.

Appendice 5.5 : Liste des fonderies membres de l'Association des fonderies canadiennes, par type de métal fondu

La liste suivante était à jour au 16 mars 2002, et peut servir de complément d'information. Vous pourrez trouver le détail des personnes-ressources dans Internet par le biais du site Web de l'AFC, à www.foundryassociation.ca.

	Total
Alliages de fonte	3
A.G. Anderson Ltd.	London (Ont.)
Molten Metallurgy Inc.	Paris (Ont.)
Wells Foundry Limited	London (Ont.)
Alliages d'acier	2
A.G. Anderson Ltd.	London (Ont.)
Molten Metallurgy Inc.	Paris (Ont.)
Aluminium	9
Custom Aluminum Limited	Cambridge (Ont.)
Diversa Cast Technologies Inc.	Guelph (Ont.)
Gamma Foundries Ltd.	Richmond Hill (Ont.)
Grenville Castings Ltd. (Merrickville)	Merrickville (Ont.)
Grenville Castings Ltd. (Smiths Falls)	Smiths Falls (Ont.)
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)
Paber Aluminium	Cap-Saint-Ignace (Qc)
Pacific Mako	Langley (C.-B.)
Ramsden Industries Limited	London (Ont.)
Bronze d'aluminium	1
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)
Cuivre de béryllium	1
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)
Laiton	2
Gamma Foundries Ltd.	Richmond Hill (Ont.)
Pacific Mako	Langley (C.-B.)
Bronze	4
A.H. Tallman Bronze Ltd.	Burlington (Ont.)
Gamma Foundries Ltd.	Richmond Hill (Ont.)
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)
Pacific Mako	Langley (C.-B.)
Carbone	6
Canada Alloy Castings Ltd	Kitchener (Ont.)
Dominion Castings Limited	Hamilton (Ont.)
ESCO Limitée	Port Coquitlam (C.-B.)
Fonderies canadiennes d'acier ltée	Montréal (Qc)
Maritime Steel & Foundries Ltd.	New Glasgow (N.-É.)
Molten Metallurgy Inc.	Paris (Ont.)

Alliages de cuivre		1
A.H. Tallman Bronze Ltd.	Burlington (Ont.)	
Fontes ductiles		14
Ancast Industries Ltd.	Winnipeg (Man.)	
Bibby-Ste-Croix	Sainte-Croix (Qc)	
Brown Foundry	Morrisburg (Ont.)	
Crowe Foundry Ltd.	Cambridge (Ont.)	
Diversa Cast Technologies Inc.	Guelph (Ont.)	
Fonderie Grand-Mère	Grand-Mère (Qc)	
Lethbridge Iron Works Company Ltd.	Lethbridge (Alb.)	
McLean Foundry Limited	Brantford (Ont.)	
Molten Metallurgy Inc.	Paris (Ont.)	
Procast Foundries Inc.	Elmira (Ont.)	
Standard Induction Castings Inc.	Windsor (Ont.)	
Wabi Iron & Steel Corporation	New Liskeard (Ont.)	
Wabtec Foundry Limited	Wallaceburg (Ont.)	
Wells Foundry Limited	London (Ont.)	
Fontes grises		18
Ancast Industries Ltd.	Winnipeg (Man.)	
B.P.I. - Sudbury	Sudbury (Ont.)	
Bibby-Ste-Croix	Sainte-Croix (Qc)	
Brown Foundry	Morrisburg (Ont.)	
Crowe Foundry Ltd.	Cambridge (Ont.)	
Dana Brake Parts Inc.	St. Catharines (Ont.)	
Diversa Cast Technologies Inc.	Guelph (Ont.)	
Fonderie Grand-Mère	Grand-Mère (Qc)	
Fonderie Laperle Inc.	Saint-Ours (Qc)	
Hopper Foundry (1977) Limited	Forest (Ont.)	
Lethbridge Iron Works Company Ltd.	Lethbridge (Alb.)	
McLean Foundry Limited	Brantford (Ont.)	
Molten Metallurgy Inc.	Paris (Ont.)	
Procast Foundries Inc.	Elmira (Ont.)	
Standard Induction Castings Inc.	Windsor (Ont.)	
Wabi Iron & Steel Corporation	New Liskeard (Ont.)	
Wabtec Foundry Limited	Wallaceburg (Ont.)	
Wells Foundry Limited	London (Ont.)	
Aciers fortement alliés		3
AMSCO Cast Products (Canada) Inc.	Selkirk (Man.)	
Molten Metallurgy Inc.	Paris (Ont.)	
Wescast Industries Inc. (Magalloy)	Stratford (Ont.)	
Alliages fortement chromés		2
Lethbridge Iron Works Company Ltd.	Lethbridge (Alb.)	
Magotteaux Canada	Magog (Qc)	
Cuivre à haute conductivité		1
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)	

Fer		21
A.G. Anderson Ltd.	London (Ont.)	
Ancast Industries Ltd.	Winnipeg (Man.)	
B.P.I. - Sudbury	Sudbury (Ont.)	
Bibby-Ste-Croix	Sainte-Croix (Qc)	
Crowe Foundry Ltd.	Cambridge (Ont.)	
Dominion Castings Limited	Hamilton (Ont.)	
Fonderie Grand-Mère	Grand-Mère (Qc)	
Fonderie Laperle Inc.	Saint-Ours (Qc)	
Ford Motor Company	Dearborn (Mich., É.-U.)	
Ford du Canada Limitée	Windsor (Ont.)	
Hopper Foundry (1977) Limited	Forest (Ont.)	
Lethbridge Iron Works Company Ltd.	Lethbridge (Alb.)	
Magotteaux Canada	Magog (Qc)	
McLean Foundry Limited	Brantford (Ont.)	
Procast Foundries Inc.	Elmira (Ont.)	
Standard Induction Castings Inc.	Windsor (Ont.)	
Wabi Iron & Steel Corporation	New Liskeard (Ont.)	
Wabtec Foundry Limited	Wallaceburg (Ont.)	
Wells Foundry Limited	London (Ont.)	
Wescast Industries Inc. (Brantford)	Brantford (Ont.)	
Wescast Industries Inc. (Wingham)	Wingham (Ont.)	
Bronzes à l'étain au plomb		2
Gamma Foundries Ltd.	Richmond Hill (Ont.)	
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)	
Acier faiblement allié		10
AMSCO Cast Products (Canada) Inc.	Selkirk (Man.)	
Canada Alloy Castings Ltd	Kitchener (Ont.)	
Dominion Castings Limited	Hamilton (Ont.)	
ESCO Limitée	Port Coquitlam (C.-B.)	
ESCO Limitée	Port Hope (Ont.)	
Fonderies canadiennes d'acier ltée	Montréal (Qc)	
Kubota Metal Corporation - Division Fahramet	Orillia (Ont.)	
Maritime Steel & Foundries Ltd.	New Glasgow (N.-É.)	
Wabi Iron & Steel Corporation	New Liskeard (Ont.)	
Wescast Industries Inc. (Magalloy)	Stratford (Ont.)	
Bronze au manganèse		4
AMSCO Cast Products (Canada) Inc.	Selkirk (Man.)	
ESCO Limited	Port Coquitlam (C.-B.)	
Gamma Foundries Ltd.	Richmond Hill (Ont.)	
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)	
Bronze au nickel		1
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)	

Fonte Ni-Hard		3
Hopper Foundry (1977) Limited	Forest (Ont.)	
Wabi Iron & Steel Corporation	New Liskeard (Ont.)	
Wells Foundry Limited	London (Ont.)	
Non ferreux		11
A.G. Anderson Ltd.	London (Ont.)	
A.H. Tallman Bronze Ltd.	Burlington (Ont.)	
BAYCO Industries	Winnipeg (Man.)	
Custom Aluminum Limited	Cambridge (Ont.)	
Gamma Foundries Ltd.	Richmond Hill (Ont.)	
Grenville Castings Ltd. (Merrickville)	Merrickville (Ont.)	
Nemak Canada Inc.	Windsor (Ont.)	
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)	
Paber Aluminium	Cap-Saint-Ignace (Qc)	
Pacific Mako	Langley (C.-B.)	
Ramsden Industries Limited	London (Ont.)	
Acier inoxydable		7
Canada Alloy Castings Ltd	Kitchener (Ont.)	
ESCO Limited	Port Hope (Ont.)	
Fonderies canadiennes d'acier ltée	Montréal (Qc)	
Midan Industries Limited	Langley (C.-B.)	
Molten Metallurgy Inc.	Paris (Ont.)	
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)	
Wabi Iron & Steel Corporation	New Liskeard (Ont.)	
Acier		16
A.G. Anderson Ltd.	London (Ont.)	
AMSCO Cast Products (Canada) Inc.	Selkirk (Man.)	
Canada Alloy Castings Ltd	Kitchener (Ont.)	
Dominion Castings Limited	Hamilton (Ont.)	
ESCO Corporation	Portland (Orég., É.-U.)	
ESCO Limitée	Port Hope (Ont.)	
ESCO Limitée	Port Coquitlam (C.-B.)	
Fonderies canadiennes d'acier ltée	Montréal (Qc)	
Griffin Canada	Winnipeg (Man.)	
Kubota Metal Corporation - Division Fahramet	Orillia (Ont.)	
Maritime Steel & Foundries Ltd.	New Glasgow (N.-É.)	
Midan Industries Limited	Langley (C.-B.)	
Molten Metallurgy Inc.	Paris (Ont.)	
Niagara Bronze Limited	Niagara Falls (Ont.)	
Wabi Iron & Steel Corporation	New Liskeard (Ont.)	
Wescast Industries Inc. (Magalloy)	Stratford (Ont.)	

Appendice 5.6 : Tableaux de l'évaluation du risque

Il faudrait se servir des tableaux ci-dessous comme d'un autre outil de prise de décision dans le choix et l'évaluation des projets de PGE. Ils s'appliquent généralement à toute une série de situations. Rappel : le risque $R = E \times L \times C$, où C est la somme des conséquences individuelles (activité, sécurité, etc.).

Grille du risque

Gravité : pertes pour les personnes, l'entreprise, actifs, production, environnement			
	Mineur	Modéré	Majeur
Probabilité : Fréquent	B	A	A – Élevé (Agir dans les 3 mois)
Occasionnel	C	B – Moyenne (Agir dans les 6 mois)	A
Rare	C – Faible (Agir dans l'année)	C	B

Valeurs et pondérations du risque

Élément de risque	Échelle de valeur	Pondérations
Exposition	0–10	1
Probabilité	0,1–10	1
Conséquence	0,25–25	Total 10 : 2,5 pour chaque conséquence

Probabilité

Quelle est la probabilité que l'événement se produise ?

10	Élevé	Continu (peut se produire chaque jour)
6	Moyen élevé	Fréquent (peut se produire chaque semaine)
3	Moyen	Occasionnel (peut se produire chaque mois)
1	Moyen faible	Rare (peut se produire chaque année)
0,5	Faible	Très rare (peut se produire tous les 2 ou 3 ans)
0,1	Aucun	Négligeable

Exposition

À quelle fréquence l'activité ou l'événement se produit-il?

10	Élevé	Continu (se produit toute la journée ou chaque jour)
6	Moyen élevé	Fréquent (toutes les semaines)
3	Moyen	Occasionnel (se produit tous les mois)
1	Moyen faible	Rare (se produit une fois l'an)
0,5	Faible	Très rare (se produit tous les 2 ou 3 ans)
0	Aucun	Aucune exposition

Conséquences

Opinion publique / réputation de l'entreprise			Activité		
Quels sont les impacts sur l'opinion publique et la réputation de l'entreprise à la suite de l'activité ou de l'événement, et de ses répercussions ?			Quelles sont les conséquences financières ou les pertes découlant de l'activité ou de l'événement, et de ses répercussions ?		
Degré	Description	Points	Degré	Description	Points
Élevé	Couverture négative à l'échelle nationale ou internationale, ou protestations de la part de groupes nationaux ou internationaux ou d'organismes non gouvernementaux (ONG) en raison de la haute importance des questions en jeu Nécessite de longs pourparlers; il se peut que les problèmes ne puissent être résolus	25	Élevé	Pertes ou dommages supérieurs à 1 000 000 \$ Impact à long terme important sur : <ul style="list-style-type: none"> • Les coûts de production • La capacité de fonctionner de la fonderie Perte permanente de nouvelles possibilités économiques	25
Moyen élevé	Couverture négative par la presse locale ou régionale, ou protestation par des intervenants locaux ou régionaux ou des organismes non gouvernementaux (ONG) Problèmes ayant une solution mais nécessitant beaucoup de réunions pendant plusieurs semaines ou mois	10	Moyen élevé	Pertes ou dommages de plus de 100 000 \$ Impact à court terme important sur : <ul style="list-style-type: none"> • Les coûts de production • La capacité de fonctionner de la fonderie Pertes ou restrictions à court terme sur l'élaboration de possibilités économiques nouvelles et actuelles	10
Moyen	Plaintes déposées auprès d'organismes extérieurs, d'organismes de réglementation et de l'entreprise Questions réglables à court terme à l'aide de réunions	4	Moyen	Pertes ou dommages de plus de 10 000 \$ Impact faible sur : <ul style="list-style-type: none"> • Les coûts de production • La capacité de fonctionner de la fonderie Restrictions à court terme sur les possibilités économiques actuelles	4
Moyen faible	Plaintes auprès de l'entreprise Problèmes réglés facilement	2	Moyen faible	Pertes ou dommages de plus de 1 000 \$ Aucun effet sur : <ul style="list-style-type: none"> • Les coûts de production • La capacité de fonctionner de la fonderie Aucune restriction sur les possibilités économiques présentes et futures	2
Faible	Connaissance indirecte de l'inquiétude du public	1	Faible	Pertes ou dommages de plus de 100 \$	1
Aucun	Aucune plainte connue	0,25	Aucun	Aucune	0,25

Conséquences – Sécurité

Quelles sont les conséquences pour la santé et la sécurité humaines de l'activité ou de l'événement, et ses répercussions ?

Degré	Description	Points
Élevé	Décès ou impacts à long terme sur la santé	25
Moyen élevé	Blessures graves ou impacts sur la santé à court terme	10
Moyen	Irritation ou invalidité temporaire	4
Moyen faible	Série de blessures ou de plaintes mineures	2
Faible	Irritation ou premiers soins mineurs	1
Aucun	Aucune, négligeable ou de peu de conséquence	0,25

D'autres catégories de conséquence peuvent être sélectionnées et évaluées de la même façon, p. ex. les conséquences légales, environnementales et autres.

Le danger doit être présent pour le calcul du risque et être exprimé en termes de fréquence.

Appendice 5.7 : Série de la gestion de l'énergie Des publications de RNCAN

La Série de la gestion de l'énergie est un ensemble de brèves monographies publiées par Ressources naturelles Canada au cours de la dernière décennie. Toutes les brochures ont été revues par un ingénieur dans la discipline appropriée. Même si les références au prix de l'énergie et au coût des investissements ne sont plus d'actualité, la théorie de base et les exemples de réalisations demeurent valables et riches d'enseignement.

Coût d'achat : 4 \$ par manuel + 7 % de TPS. Veuillez libeller votre chèque à l'ordre du Receveur général du Canada.

M91-6/01F Isolation thermique des équipements
M91-6/05F Comptabilité de la gestion énergétique
M91-6/06F Appareillage de chaufferie
M91-6/07F Fours, sècheurs et fours de cuisson
M91-6/08F Réseaux de vapeur et de condensat
M91-6/09F Chauffage et refroidissement (vapeur et eau)
M91-6/10F Chauffage, ventilation et conditionnement d'air
M91-6/11F Refroidissement et pompes à chaleur
M91-6/12F Réseaux de distribution d'eau et d'air comprimé
M91-6/13F Ventilateurs et pompes
M91-6/14F Compresseurs et turbines
M91-6/15F Mesures et contrôle
M91-6/17F Manutention des matériaux et transport sur place
M91-6/18F Point de vue architectural
M91-6/19F Accumulation thermique
M91-6/20F Récupération de la chaleur perdue

Veuillez communiquer avec :

Patrick Nolan
Adjoint aux publications
Office de l'efficacité énergétique
Ressources naturelles Canada
Tél. : (613) 947-6814
Télec. : (613) 947-4121
Courriel : pnolan@rncan.gc.ca
Site Web : <http://oee.rncan.gc.ca>

Appendice 5.8 : Sources de référence

Les sources suivantes ont servi de complément dans l'élaboration du présent guide, et le recours à certains renseignements qui y sont contenus dans le texte est reconnu ci-après :

L'Enjeu PEEIC – Accent sur les fonderies, Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada, août 1999.

Compte rendu de l'assemblée générale annuelle, Association des fonderies canadiennes, 2000.

Rapport sur les consultations préliminaires – Guide technologique de l'industrie canadienne de la fonderie – Industrie Canada, Association des fonderies canadiennes, Association canadienne des mouleurs sous pression, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, et coll., ébauche, mai 1999.

Communications privées, Laurence V. Whiting, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, octobre à décembre, 2000.

Use of electricity in Canadian iron foundries, Laurence V. Whiting, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, juin 2000.

Use of electricity in Canadian steel foundries, Laurence V. Whiting, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, juin 2000.

Use of electricity in Canadian bronze foundries, Laurence V. Whiting, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, mai 2000.

The cost of melting grey cast iron in induction furnaces, L.V. Whiting, R.D. Warda, P.J. Buttle et R.G. Anstie, Actes de la Electric Furnace Conference, 1988.

Process, Equipment and Techniques for the Energy Efficient Recycling of Aluminum, F.T. Gerson Limited, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, février 1993.

Natural gas applications for industry – hydrogen, T.J. McCann and Associates Ltd., Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, avril 1996.

Natural gas applications for industry – iron and steel foundries, T.J. McCann and Associates Ltd., Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, avril 1996.

Natural gas applications for industry – steel industry, T.J. McCann and Associates Ltd., Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, avril 1996.

Natural gas applications for industry – overview, T.J. McCann and Associates Ltd., Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, avril 1996.

Intelligent energy management for small boiler plants, Gas Technology Canada, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, mars 1998.

Implementation of an effective mill wide energy monitoring system, Peter Brenndorfer, Avenor Inc., Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, décembre 1996.

Série Analyse, Centre international d'intervention pour l'analyse et la diffusion des technologies énergétiques démontrées (CADDET) – Learning from experiences with ... :

- ... small scale cogeneration, 1995;
- ... process heating in the metals industry, 1993;
- ... process heating in the low and medium temperature ranges, 1997;
- ... industrial heat pumps, 1997;
- ... compact heat exchangers, 1999;
- ... industrial electric motor drive systems, 1998.

Low-NO_x technology assessment and cost/benefit analysis, Programme fédéral des chaudières industrielles, Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, octobre 1994.

Amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage, Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada, 2001.

Modèles de réussite, Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne, 2000-2001.

Rapport annuel, Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne, 1999-2000.

Améliorer le rendement énergétique au Canada, Ressources naturelles Canada, 1999-2000.

L'état de l'efficacité énergétique au Canada en 2001, Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada.

Foundry Energy Management, American Foundrymen's Society, 1982.

Conseils aux gestionnaires de l'énergie, Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada, 1998.

Guide de planification et de gestion de l'efficacité énergétique, Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC), Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada, 2002.

Monitoring and Target Setting – Implementation Manual, Energy Efficiency Office du ministère de l'Énergie, Royaume-Uni, 1991.

Development of Energy Intensity Indicators for Canadian Industry, 1990-1996, Centre canadien de données et d'analyse de la consommation finale d'énergie dans l'industrie, Université Simon Fraser, C.-B., 1997.

Statistique Canada, renseignements choisis, 2000.

Best Practice Program, Guide 126, Compressing air costs, Energy Efficiency Office du ministère de l'Énergie, Royaume-Uni, 1991.

Normes internationales relatives aux systèmes de gestion de l'environnement – série ISO 14000 (1996) et ISO 14004 (1996), Organisation internationale de normalisation, Genève.

Les normes internationales ISO de la série 9000 (1994) et de la série 9001 (2000), pour la gestion de la qualité, Organisation internationale de normalisation, Genève.

Possibilités d'amélioration du rendement énergétique dans ... – une série de guides, publiés par des associations de l'industrie et subventionnés par l'Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada :

- ... Les industries des produits en bois massif, Conseil des industries forestières, 1997;
- ... l'industrie canadienne du caoutchouc, Tire Technologies Inc., Association canadienne de l'industrie du caoutchouc, 1997;
- ... l'industrie brassicole canadienne, Lom & Associates Inc., Association des brasseurs du Canada, 1998;
- ... l'industrie de transformation de produits laitiers, Wardrop Engineering Inc, Conseil national de l'industrie laitière du Canada, 1997;
- ... dans l'industrie de la pâte kraft, Agra Simons Ltd., Association technique des pâtes et papiers du Canada, 2000;
- ... les alumineries, Soprin-ADS, Association de l'aluminium du Canada, avril 1998.

Rapports d'analyse par le CADDET offerts par l'entremise de l'Office de l'efficacité énergétique, Ressources naturelles Canada :

- Small-scale cogeneration, AR 01;
- Process heating in the metals industry, AR 11;
- Process heating in low and medium temperature ranges, AR 22;
- Industrial heat pumps, AR 23;
- Industrial electric motor drive systems, AR 24;
- Compact heat exchangers, AR 25.

Extraits de 122 rapports sur divers systèmes d'utilisation de l'énergie et de nouvelles pratiques dans les fonderies, du répertoire en ligne de CADDET (www.caddet-ee.org) :

- Energy efficient design of a new production facility at Scan Coat A/S, Danemark, 2000;
- Computer-aided advance runner design, Royaume-Uni, 2000;
- Mechanical grit blasting of steel constructions without compressed air, Pays-Bas, 1997;
- Four de traitement thermique à combustion pulsatoire, Canada, 1997;
- Heat recovery in an iron foundry at Sperre St.Yperi, Norvège, 1995;
- Regenerating fluxing fluids in thermal galvanization, Pays-Bas, 2000;
- Heat recovery in galvanizing foundries, Pays-Bas, 2000;
- Heat recovery by means of a rotary heat exchanger in an iron foundry, Norvège, 1995;
- The use of computerized modelling and solidification simulation at Hanson Foundry (Stockport) Ltd., Royaume-Uni, 1994;
- Reclamation of foundry sand using natural gas, Canada, 1999;
- Use of molten metal filters in non-ferrous foundries, Royaume-Uni, 1996;
- Variable speed drive on a large continuous furnace combustion sir fan, Royaume-Uni, 1994;
- Gas-fired scrap preheater in an iron foundry, Canada, 1999;

- Foundries benefit from new infrared Mould coating dryer, États-Unis, 1996;
- Efficient continuous heat treatment furnace for metal products, Japon, 1997;
- Continuous ring foundry process for brass, Pays-Bas, 1997;
- Ceramic insulation replaces firebrick in metal heat treating electric furnaces, États-Unis, 1997;
- Lost foam casting, États-Unis., 2000;
- Ladle lining with a lightweight insulating refractory material, Royaume-Uni, 2000;
- Compressed air costs reduced by automatic control system, Royaume-Uni, 1995;
- Compressed air leakage reduction using electronic condensate drain taps, Royaume-Uni, 2000;
- Compressed air savings through leakage reduction and the use of high efficiency nozzles, Royaume-Uni, 2000;
- Ultrasonic detection of compressed air leaks, Australie, 1999;
- Heat recovery from an air compressor, Nouvelle-Zélande, 1995;
- The performance of a variable speed air compressor, Royaume-Uni, 2000;
- Variable speed drive for an air compressor reduces electricity consumption, Danemark, 1998;
- Expanding an existing compressed air grid with a low pressure section, Pays-Bas, 1997;
- Fuel-based nitrogen generator demonstrated in a metal industry, États-Unis, 1995;
- A monorail transport system at a galvanizing foundry, Pays-Bas, 2000;
- Installation of a chiller and four rotary-drum air dryers, Canada, 2000;
- Control optimization, Royaume-Uni, 1994;
- Cascaded use of waste heat from gas turbine cogeneration by steam expander, Japon, 1999;
- Energy recovery unit for wide range of industries, Nouvelle-Zélande, 1997;
- Energy management system at Volvo-Car, Pays-Bas, 1996;
- Supersavers: a workforce-led initiative to save energy and reduce waste, Royaume-Uni, 2000;
- Energy monitoring system, Canada, 1999;
- Energy efficiency from induction melting technology, Australie, 1999;
- Gas-fired furnaces for light alloy melting and holding processes, Royaume-Uni, 1994;
- Use of dual function burner and oxygen lance in an electric arc furnace, Royaume-Uni, 1995;
- Regenerative type heat recuperation in a retort furnace, Canada, 1997;
- The use of oxygen/natural gas-fired burners on an electric arc furnace, Royaume-Uni, 1996;
- Long campaign hot-blast cupolas in iron foundries, Royaume-Uni, 1999;
- Cupola melting of cast iron, Royaume-Uni, 1994;
- Electric induction furnaces replace coke-fired cupolas for iron melting and lower foundry energy, États-Unis, 1991;
- Electromagnetic induction furnace at Fonderie Grand-Mère Ltée, Canada, 1999;
- Gas-fired furnaces for light alloy melting and holding processes, Royaume-Uni, 1994;

- Arkansas aluminum mould and die casting producer installs electric resistance melting furnaces, États-Unis, 1996;
- Coreless induction furnaces provide flexibility and energy savings in batch melting of iron, États-Unis, 1996;
- The conversion of two coke-fired cupolas to cokeless (gas-fired) melting at Hunt Bros. (Oldbury) Ltd., Royaume-Uni, 1996;
- Replacing a coke-fired crucible furnace with a natural gas/oxygen drum furnace, Pays-Bas, 1997;
- Speed controlled flue gas blower in an aluminum factory, Pays-Bas, 1992;
- Saving energy by partial ventilation of spraying booths, Pays-Bas, 1994;
- Improving dust collection systems at an aluminum plant, États-Unis, 1999;
- Raising employees' awareness at Rover Group Ltd., Royaume-Uni, 1995;
- Energy and utility management at the Royal Mint, Royaume-Uni, 1994;
- A Biotox installation at an anode preparation plant, Canada, 1999;
- Dual-fuel rotary furnace using natural gas and carbon monoxide, Canada, 1999;
- Conflict control of a combustion air fan on a large continuous furnace, Royaume-Uni, 1999;
- Full-time regenerative burner system (FFR), Japon, 1997;
- Gas motor generates electricity from outlet gas in ferrous alloy production, Norvège, 1996;
- Expert system improves performance of plant controlled by programmable logic controllers, Royaume-Uni, 1994;
- Efficient continuous heat treatment furnace for metal products, Japon, 1993;
- Waste wood as an iron-ore palletizing kiln fuel, États-Unis, 1990;
- A rotating, gas-fired oxy-fuel furnace for the production of Ni-resist and nodular cast iron, Pays-Bas, 1992;
- Efficient ignition of a sintering furnace for crude steel production, Japon, 1990;
- Improving efficiency of tube drawing bench, États-Unis, 1999;
- Adjustable speed drives improve ventilation at a metal plating facility, États-Unis, 1996;
- Training of staff reduces waste at British Aerospace (Airbus) Ltd., Royaume-Uni, 1995;
- La technologie DSM profite à un producteur d'acier, Canada, 1992;
- Heat pump to drain contaminated sludge in a steel factory, Canada, 1999;
- Expert furnace optimization process, Canada, 1999;
- Improved casting and enhanced energy efficiency with power ultrasound, Royaume-Uni, 1999;
- Improving steam turbine performance at a steel mill, États-Unis, 1999;
- Suction cooling roll for continuous annealing line, Japon, 1999;
- Demonstration of innovative equipment to decoat scrap aluminum, États-Unis, 1996;
- Preheating of the combustion air in rotary furnaces, Canada, 1999;
- Distributed small-scale CHP (combined heat and power) in a large manufacturing plant, Royaume-Uni, 1999;
- Heat transformer in the steel industry, Pays-Bas, 1995;
- Combined heat recovery and flue gas scrubbing unit, Norvège, 1995;
- Regenerative gas-fired burner for industrial furnaces reclaims waste heat from exhaust gases, États-Unis, 1990;

- Electricity production by heat recovery at a ferrosilicon plant, Norvège, 1989;
- Using waste heat in a stud bolt factory, Pays-Bas, 1991;
- Radiation heater with heat recovery, Pays-Bas, 1991;
- Speed-controlled flue gas blower in an aluminum factory, Pays-Bas, 1994;
- Compressed air system combined with cogeneration in factory, Japon, 1994.

How to succeed – your process integration, water, effluent and energy study, S. Gennaoui, Compte rendu de la Conférence canadienne sur l'efficacité énergétique de 2000.

Thermal energy savings through process integration, C. Leroy, Laboratoire de recherche en diversification énergétique de CANMET, 2000.

Rapports et fiches publiés par le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET) :

- Moteurs C.A. à haut rendement énergétique (FS10);
- Condensateur adaptif de puissance réactive (FS12);
- Recyclage de l'aluminium à haut rendement énergétique (FS17);
- Heat management technologies – heat-smart solutions (FS19);
- Gas technologies for industry (FS20).

Bulletins d'information du CADDET :

- Compressed air: savings of 30% are quite normal, Pays-Bas, 1999;
- Compressed Air Challenge™ communicates better management, États-Unis, 1999;
- Upgrading industrial waste heat using a hybrid heat pump, Norvège, 2000;
- Energy audit programs – one answer to Kyoto Protocol commitments, Finlande, 2000;
- Free CHP (combined heat and power) saves energy for vehicle manufacturer, Royaume-Uni, 1998;
- Energy recovery from dust-laden gas with self-cleaning boiler, Norvège, 1999;
- Power savings in a steelworks by using less compressed air, Japon, 1999;
- Saving by outsourcing, Norvège, 1999;
- Electricity consumption of compressed air reduced by 60%, Danemark, 1999;
- Compressed air system from “Demand Back Through Supply”, Belgique, 1998.

Présentation à l'Association canadienne de l'industrie de boissons gazeuses, V.G. Munroe, Office de l'efficacité énergétique Ressources naturelles, Canada, 1997.

Norme CAN/CSA-Q850-F97 Gestion du risque : Lignes directrices à l'intention des décideurs, 1997.

Do your product development math, Reinersten & Associates, Machine Design, mai 1998.

Nous recommandons également au lecteur de consulter les sources ci-dessus pour obtenir de plus amples renseignements.

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
renforce et élargit l'engagement du Canada envers l'efficacité énergétique
afin d'aider à relever les défis posés par les changements climatiques.

Canada