

OUTILS POUR ÉCONOMISER L'ÉNERGIE – Guide et outil de vérification énergétique

Le présent guide a été préparé par le Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC), un partenariat entre l'industrie canadienne et l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada. De plus, le guide a été élaboré conjointement avec les provinces et territoires. Les commentaires, les questions et les demandes pour des exemplaires supplémentaires du CD devraient être envoyés par courriel à l'adresse suivante : info.ind@rncan.gc.ca.



TABLE DES MATIÈRES

Partie A : VUE D'ENSEMBLE DE LA VÉRIFICATION ÉNERGÉTIQUE	1
1 INTRODUCTION À LA VÉRIFICATION ÉNERGÉTIQUE DANS LES ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS.....	2
1.1 Qu'est-ce qu'une vérification énergétique?	2
1.2 La vérification énergétique menée à l'interne	2
1.3 Approche systémique de la vérification énergétique	3
1.4 Définition de la vérification énergétique	5
1.5 Comment utiliser le guide	5
1.6 Méthode pratique de vérification	6
2 PRÉPARATION POUR LA VÉRIFICATION ÉNERGÉTIQUE.....	9
2.1 Élaboration d'un plan de vérification.....	9
2.2 Coordination avec divers services de l'usine.....	9
2.3 Définition des ressources de la vérification	10
3 GUIDE DÉTAILLÉ DE LA MÉTHODE DE LA VÉRIFICATION	11
3.1 Microévaluation.....	15
3.2 Référence	16
Partie B : MÉTHODES D'ANALYSE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE	17
1 INSPECTION DE L'ÉTAT	18
1.1 Introduction	18
1.2 Approche systématique	18
1.3 Modèles de feuille de calcul pour l'inspection de l'état.....	20
1.4 Identification des possibilités de gestion de l'énergie	21
1.5 Référence	21
2 ÉTABLISSEMENT DU MANDAT DE LA VÉRIFICATION	22
2.1 Introduction	22
2.2 Liste de contrôle sur le mandat de la vérification	23

3	ÉTABLISSEMENT DE L'ÉTENDUE DE LA VÉRIFICATION	25
3.1	Introduction	25
3.2	Liste de contrôle sur l'étendue de la vérification	26
4	ANALYSE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DES COÛTS	29
4.1	Introduction	29
4.2	Sources d'énergie achetées	29
4.3	Achat d'énergie électrique	30
4.4	Mise en tableau des données sur l'achat d'énergie	32
4.5	Référence	36
5	ANALYSE COMPARATIVE	37
5.1	Introduction	37
5.2	Mise en tableau d'autres données	37
5.3	Comparaison à l'interne grâce au contrôle de la consommation d'énergie	42
5.4	Établissement des objectifs	50
5.5	Référence	54
6	DÉTERMINATION DU PROFIL DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE	55
6.1	Introduction	55
6.2	Qu'est-ce qu'un profil de demande?	55
6.3	Comment obtenir un profil de demande	59
6.4	Analyse du profil de demande	62
6.5	Possibilités d'économie révélées à l'aide du profil de demande	64
6.6	Autres profils utiles	66
7	INVENTAIRE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE	67
7.1	Introduction	67
7.2	Inventaire des charges électriques	67
7.3	Inventaire de la consommation d'énergie thermique – Identification des flux d'énergie	71
7.4	Inventaires et équilibre énergétiques	76
7.5	Recherche de possibilités de gestion de l'énergie à l'aide de l'inventaire énergétique	78
7.6	Référence	82
8	IDENTIFICATION DES POSSIBILITÉS DE GESTION DE L'ÉNERGIE	83
8.1	Introduction	83
8.2	Approche en trois étapes pour relever les possibilités de gestion de l'énergie	83
8.3	Facteurs particuliers pour les systèmes de procédé	89
8.4	Sommaire	92
8.5	Références	92
9	ÉVALUATION DES COÛTS ET DES AVANTAGES	93
9.1	Introduction	93
9.2	Évaluation complète	93
9.3	Analyse économique	98
9.4	Incidence sur l'environnement	107
9.5	Sommaire	109
9.6	Références	109

10	RAPPORT SUR LES MESURES À PRENDRE	110
	10.1 Introduction	110
	10.2 Quelques principes généraux pour la rédaction d'un bon rapport de vérification	110
	10.3 Modèle de rapport de vérification	112
	Partie C : SUPPLÉMENT TECHNIQUE	115
1	PRINCIPES DE BASE DE L'ÉNERGIE.....	116
	1.1 Introduction	116
	1.2 Énergie sous ses diverses formes.....	116
	1.3 Électricité – De l'achat à l'utilisation finale	118
	1.4 Énergie thermique – De l'achat à l'utilisation finale	119
	1.5 Unités de l'énergie	120
	1.6 Principes de base de l'électricité	121
	1.7 Principes de base de l'énergie thermique	128
	1.8 Transfert de chaleur – Comment la chaleur se déplace	134
	1.9 Calculs des pertes de chaleur	138
	1.10 Référence	155
2	DONNÉES DÉTAILLÉES CONCERNANT LES SYSTÈMES CONSOMMATEURS D'ÉNERGIE.....	156
	2.1 Installations de chaudière	156
	2.2 Enveloppe du bâtiment	161
	2.3 Systèmes d'air comprimé	164
	2.4 Systèmes d'alimentation en eau chaude domestique et de traitement	168
	2.5 Systèmes de ventilateurs et de pompes	172
	2.6 Systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation	176
	2.7 Systèmes d'éclairage	180
	2.8 Fours, sécheurs et fours de cuisson	184
	2.9 Systèmes de réfrigération	188
	2.10 Réseaux de vapeur et de condensat	193
3	LISTES DE CONTRÔLE POUR L'INSPECTION DE L'ÉTAT	198
	3.1 Fenêtres	198
	3.2 Portes extérieures	199
	3.3 Plafonds	200
	3.4 Murs extérieurs	201
	3.5 Toits	202
	3.6 Aires d'entreposage	203
	3.7 Aires de réception et d'expédition	204
	3.8 Éclairage	205
	3.9 Aires alimentaires	208
	3.10 Installations de chauffage et de chaudière	210
	3.11 Distribution de la chaleur	211
	3.12 Installations de refroidissement	213
	3.13 Distribution de l'air de refroidissement	214
	3.14 Distribution de l'électricité	216

3.15	Service d'eau chaude	217
3.16	Service d'eau	218
3.17	Air comprimé	219
3.18	Production de chaleur industrielle	220
3.19	Modèle de liste de contrôle	221
4	INSTRUMENTATION POUR LA VÉRIFICATION ÉNERGÉTIQUE	222
4.1	Introduction	222
4.2	Comprendre la prise de mesures aux fins de la vérification énergétique	222
4.3	Boîte à outils du vérificateur	225
4.4	Wattmètre	226
4.5	Analyseur des gaz de combustion	231
4.6	Photomètre	235
4.7	Mesure de la température	236
4.8	Mesure de l'humidité	241
4.9	Mesure du débit d'air	242
4.10	Détecteur de fuites à ultrasons	243
4.11	Tachymètre	244
4.12	Enregistreur de données compact	245
5	MÉTHODE D'INVENTAIRE DES CHARGES ÉLECTRIQUES	247
5.1	Comment effectuer un inventaire des charges	247
5.2	Formulaires d'inventaire des charges	249
5.3	Collecte et évaluation des renseignements sur l'éclairage	259
5.4	Collecte et évaluation des données sur les moteurs et autres	259
5.5	Comparaison de l'inventaire des charges avec les factures d'électricité	260
6	OUTIL POUR LES MODÈLES DE FEUILLE DE CALCUL	267
6.1	Instructions générales	267
6.2	Inspection de l'état	270
6.3	Coût de l'électricité	272
6.4	Coût du gaz	275
6.5	Coût du combustible	278
6.6	Analyse comparative	281
6.7	Profil	285
6.8	Inventaire des charges	287
6.9	Systèmes à combustion	289
6.10	Inventaire de la consommation d'énergie thermique	291
6.11	Enveloppe	295
6.12	Évaluation des avantages	299
6.13	Scénarios financiers de base, pessimiste et optimiste	301
6.14	Facteurs des gaz à effet de serre	303

Avis de non-responsabilité

Le guide *Outils pour économiser l'énergie – Guide et outil de vérification énergétique* n'est fourni qu'à titre informatif afin d'aider les entreprises à évaluer leur consommation d'énergie et à déterminer les possibilités d'économie d'énergie. L'information qu'il contient, y compris les tableaux de l'annexe C, n'a pas pour objet de fournir des avis précis ni de servir de fondement à la prise de décisions. Elle ne peut en aucun cas remplacer l'avis d'un professionnel qualifié ou le recours à un service de recherche indépendant, ni se substituer aux résultats d'une vérification énergétique en règle. Ressources naturelles Canada ne garantit ni l'exactitude, ni l'actualité ni l'intégralité de cette information et ne se tient nullement responsable de quelque perte ou dommage qui pourrait résulter d'erreurs contenues dans le guide ou d'omissions.

A

VUE D'ENSEMBLE DE LA VÉRIFICATION ÉNERGÉTIQUE



1

INTRODUCTION À LA VÉRIFICATION ÉNERGÉTIQUE DANS LES ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

1.1

Qu'est-ce qu'une vérification énergétique?

La vérification énergétique est un aspect essentiel de l'élaboration d'un programme de gestion de l'énergie. Les vérifications énergétiques sont plus ou moins complexes et varient considérablement d'une organisation à l'autre; toutefois, chaque vérification inclut habituellement ce qui suit :

- la collecte et l'examen de données;
- l'inspection de l'installation et les mesures des systèmes;
- l'observation et l'examen des pratiques d'exploitation;
- l'analyse des données.

La vérification énergétique permet de déterminer où, quand, pourquoi et comment l'énergie est utilisée. Cette information sert à relever les possibilités d'amélioration de l'efficacité énergétique ainsi que de réduction des coûts énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre qui contribuent aux changements climatiques. La vérification énergétique permet également de déterminer l'efficacité de la mise en œuvre des possibilités de gestion de l'énergie.

Bien que les vérifications énergétiques soient souvent effectuées par des experts-conseils externes, un grand nombre de mesures peuvent être prises par des ressources internes. Dans le présent guide, on décrit une façon pratique et conviviale de mener des vérifications énergétiques dans les installations industrielles, de sorte que même les petites entreprises pourront intégrer la vérification à leurs stratégies globales de gestion de l'énergie.

1.2

La vérification énergétique menée à l'interne

Examinez la définition suivante :

« Une vérification énergétique consiste à déterminer le profil particulier de consommation d'énergie d'une installation donnée. » – Carl E. Salas, ing. [Traduction]

Cette définition ne fait pas mention de mesures d'économie d'énergie. Elle souligne toutefois que le fait de connaître la façon dont l'énergie est utilisée dans une installation permet de trouver des solutions pour réduire cette consommation.

Les vérifications effectuées par des experts-conseils externes portent habituellement sur les technologies éconergétiques et l'amélioration des immobilisations. Pour leur part, les vérifications menées à l'interne examinent en général les possibilités d'économie d'énergie exigeant un investissement de capitaux moins élevé et sont davantage axées sur l'exploitation. Les organisations qui ont recours à leurs ressources internes pour

effectuer une vérification énergétique acquièrent une grande expérience en gestion des coûts et de la consommation d'énergie. En participant à la vérification, les employés finissent par considérer l'énergie comme une dépense pouvant être contrôlée, par être en mesure d'analyser de façon critique la consommation d'énergie dans leur installation et par prendre conscience de l'incidence de leurs activités quotidiennes sur cette consommation d'énergie.

En faisant appel aux ressources internes pour effectuer une vérification avant d'avoir recours à des spécialistes externes, les organisations ont davantage « conscience de la consommation d'énergie » et sont en mesure de relever les possibilités d'économie d'énergie qui sont évidentes, en particulier celles qui ne requièrent aucune analyse technique approfondie. Les spécialistes externes peuvent alors se concentrer sur les économies d'énergie possibles plus complexes. Les vérifications menées par des spécialistes à l'interne peuvent permettre aux vérificateurs externes de concentrer leurs efforts sur les systèmes qui consomment beaucoup d'énergie et de s'arrêter aux économies d'énergie potentielles plus complexes.

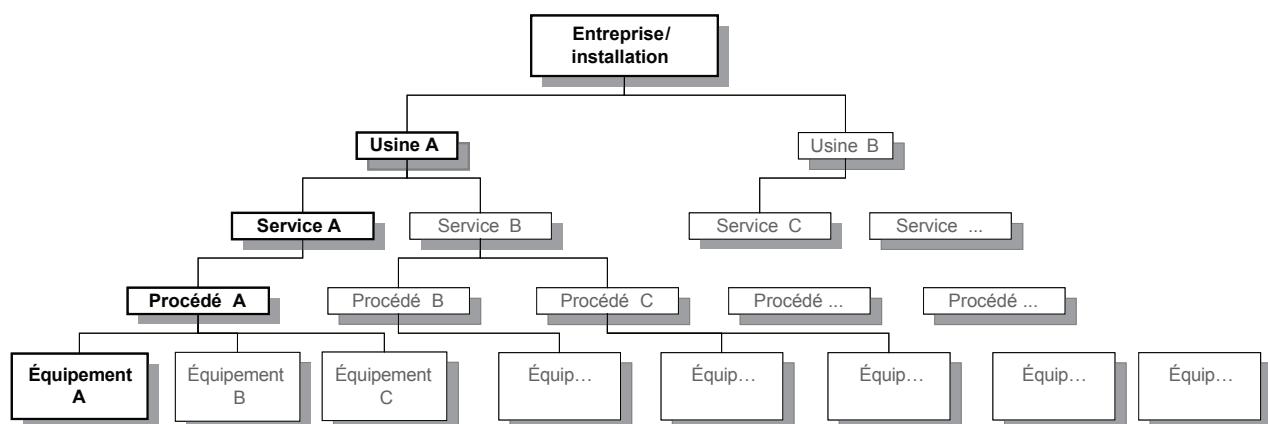
1.3 Approche systémique de la vérification énergétique

1.3.1 | Structure d'un système consommateur d'énergie

Un système consommateur d'énergie est un ensemble de composants qui consomment de l'énergie. Les vérifications énergétiques peuvent porter sur des systèmes allant de vastes installations industrielles comportant plusieurs usines et procédés à un seul appareil, telle une chaudière.

La figure 1.1 illustre la structure générique d'un système consommateur d'énergie à une installation industrielle.

Figure 1.1 Structure d'un système consommateur d'énergie



Pour plus de simplicité, la figure 1.1 montre uniquement une division de chaque échelon subordonné de la hiérarchie du système. Dans la réalité, les systèmes comportent de nombreuses divisions de chaque élément jusqu'aux divers échelons inférieurs. Le concept d'un système consommateur d'énergie peut être appliqué à une installation, à une usine, à un service, à un procédé ou à un appareil, ou à toute combinaison de ces derniers.

Thermodynamique des systèmes énergétiques

La vérification énergétique applique un principe naturel simple : la première loi de la thermodynamique, aussi connue sous le nom de principe de la conservation de l'énergie. Il signifie simplement qu'il est possible de rendre compte de l'énergie car cette dernière ne se crée ni ne se perd dans les installations et les systèmes en exploitation. En termes pratiques, ce principe signifie :

Énergie d'entrée = énergie de sortie

La vérification énergétique pose les défis suivants :

- définition du système examiné;
- mesure des flux d'énergie d'entrée et de sortie du système.

Le premier défi consiste à définir les limites du système. Comme on l'a déjà mentionné, le terme « système » peut désigner un bâtiment, une aire dans un bâtiment, un système d'exploitation, un seul appareil ou un ensemble d'appareils consommateurs d'énergie. Une limite symbolique peut être placée autour de ces éléments. Comme le montre le diagramme schématique de la figure 1.1, la ligne tracée autour des éléments choisis représente la limite.

Le deuxième défi est plus difficile sur le plan technique, car il concerne la collecte de données sur les flux d'énergie de diverses sources à l'aide de mesures directes. Il est probable que les flux d'énergie ne pouvant être mesurés directement devront être estimés, notamment dans le cas des pertes de chaleur par les murs ou dans l'air évacué. Tout en ne mesurant que les flux d'énergie traversant les limites du système, il faut tenir compte de ce qui suit :

- des choix d'unités de mesure pratiques pouvant être converties en une seule unité aux fins de la comparaison des données (p. ex., exprimer toutes les mesures en kWh ou MJ équivalents);
- de la méthode de calcul de l'énergie contenue dans le débit des matières, comme l'eau chaude dans les tuyaux d'évacuation, l'air refroidi dans les conduits d'aération, l'énergie intrinsèque dans les matériaux traités, et autres;
- de la méthode de calcul de la chaleur de diverses formes d'énergie antérieures, comme l'électricité convertie en chaleur produite par un moteur électrique.

1.4 Définition de la vérification énergétique

Il n'y a pas de définition standard des divers niveaux de la vérification énergétique. Nous avons choisi les termes « macrovérification » et « microvérification » pour désigner le niveau de détail de la vérification. Ce niveau de détail est la première caractéristique importante d'une vérification.

La deuxième caractéristique importante est l'étendue physique, ou la portée, de la vérification, c'est-à-dire la taille du système à vérifier, notamment le nombre de sous-systèmes et de composants.

- La **macrovérification** débute à un niveau relativement élevé de la structure des systèmes consommateurs d'énergie – elle peut viser par exemple l'ensemble de l'installation – et porte sur un niveau particulier d'information, ou « macro-renseignements », qui permet de relever les possibilités de gestion de l'énergie. Une macrovérification a une vaste étendue physique et est moins axée sur les détails.
- La **microvérification**, qui est d'une plus petite étendue, débute souvent où prend fin la macrovérification et comporte des analyses pour mesurer un niveau plus détaillé de renseignements. La microvérification peut viser une unité de production, un système consommateur d'énergie ou un seul appareil.

En général, plus le niveau de détail d'une vérification augmente, plus son étendue physique diminue. Le contraire est également vrai; si l'étendue augmente, le niveau de détail de l'analyse diminue.

La méthode de vérification décrite dans le présent guide s'applique tant à la micro-vérification qu'à la macrovérification. Les étapes de la collecte et de l'analyse des données doivent être suivies aussi étroitement qu'il est pratique et possible de le faire, peu importe la portée ou le niveau de détail de la vérification. Les organisations qui ont recours à leurs ressources internes sont plus aptes à effectuer des macrovérifications que des micro-vérifications. L'analyse effectuée dans le cadre de la microvérification peut exiger des connaissances en ingénierie et en analyse qui dépassent la portée du présent guide.

1.5 Comment utiliser le guide

Le présent guide sert à l'autovérification des installations industrielles. Il comporte trois parties :

- La partie A intitulée « **Vue d'ensemble de la vérification énergétique** » renferme des renseignements généraux sur la vérification énergétique et un cadre théorique. On y décrit également une approche systématique de vérification énergétique et ses étapes.
- La partie B intitulée « **Méthodes d'analyse de la consommation d'énergie** » procure des instructions détaillées sur la façon de mener les dix étapes d'une vérification, décrites à la page 7 de la présente section.

- La partie C intitulée « **Supplément technique** » renferme des renseignements généraux, y compris un aperçu des principes de base de l'analyse énergétique et des outils utilisés pour mener une vérification. Elle contient également des descriptions des feuilles de calcul servant d'outils et des formulaires qui accompagnent le guide ainsi que des listes de contrôle et des modèles facilitant la collecte et l'analyse des données sur l'énergie.

Certaines personnes liront le guide du début à la fin, tandis que d'autres, notamment les responsables de la vérification, utiliseront le tableau du processus de vérification à la page 11 de la section 3 comme point de départ et consulteront les descriptions des étapes de la vérification présentées à la partie B, comme on le signale dans le tableau du processus.

Les « principes de base de l'énergie » présentés à la partie C expliquent les termes et les concepts liés à l'énergie et aux systèmes consommateurs d'énergie.

Les feuilles de calcul de la partie B sont des outils conviviaux pour la collecte et l'analyse des données. Des instructions d'utilisation se trouvent à la section C-6 intitulée « Outil pour les modèles de feuille de calcul ».

1.6 Méthode pratique de vérification

La vérification énergétique est une évaluation systématique des pratiques courantes de consommation d'énergie, depuis le point d'achat jusqu'à l'utilisation finale. À l'instar d'une vérification financière, qui examine les dépenses d'argent, la vérification énergétique examine la façon dont l'énergie est traitée et consommée, c'est-à-dire :

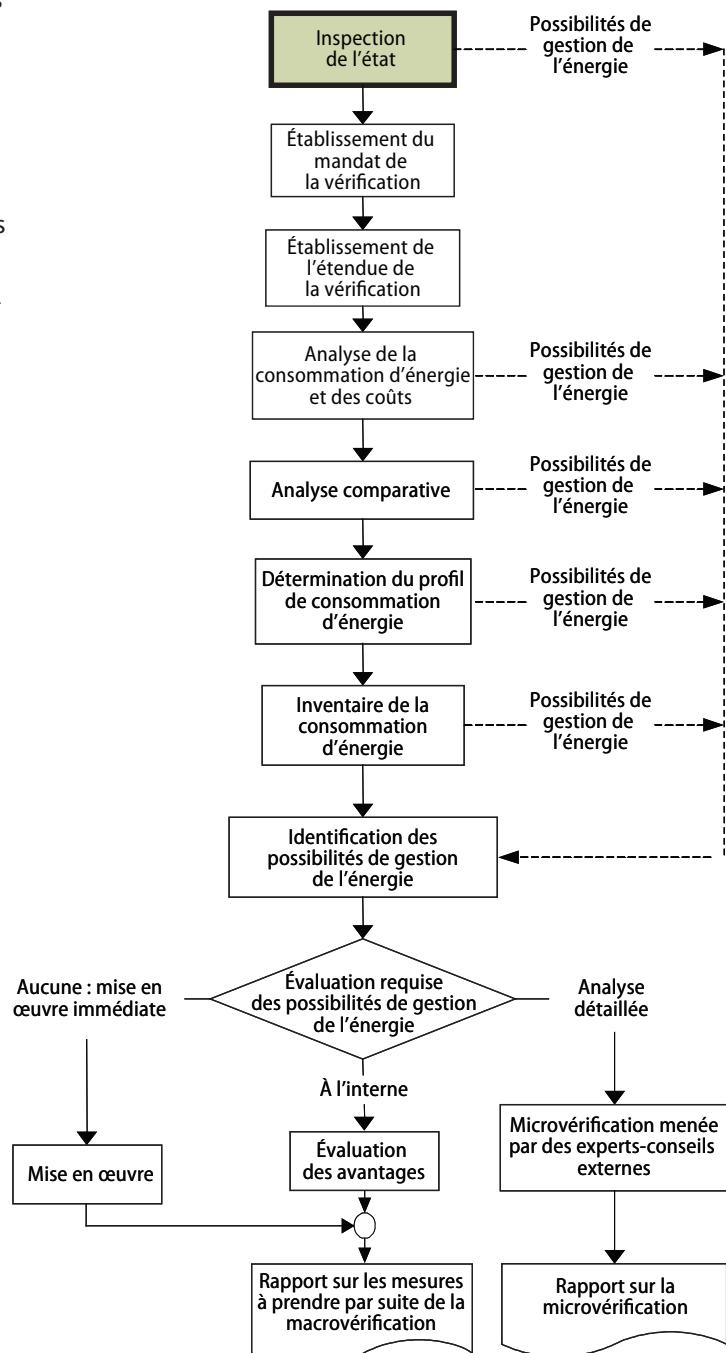
- comment et où l'énergie entre dans l'installation, le service, le système ou l'appareil;
- où l'énergie se rend et comment elle est utilisée;
- tous les écarts entre les intrants et les utilisations;
- comment l'énergie peut être utilisée de façon plus efficace ou efficiente.

La figure 1.2 résume la séquence des étapes à l'aide d'un diagramme schématique.

Étapes principales d'une vérification énergétique :

1. **Inspection de l'état** – Évaluer l'état général des réparations, de la tenue des lieux et des pratiques opérationnelles qui ont une incidence sur l'efficacité énergétique, et relever, à mesure que progresse la vérification, les aspects qui méritent une évaluation plus poussée.
2. **Établissement du mandat de la vérification** – Obtenir l'engagement de la direction et définir les attentes et les résultats de la vérification.
3. **Établissement de l'étendue de la vérification** – Définir le système consommateur d'énergie faisant l'objet de la vérification.
4. **Analyse de la consommation d'énergie et des coûts** – Recueillir, organiser, résumer et analyser les factures d'énergie antérieures et les tarifs facturés.
5. **Analyse comparative du rendement énergétique** – Déterminer les indices de la consommation d'énergie et les comparer à l'interne d'une période à une autre, d'une installation à une autre installation similaire de l'organisation, d'un système à un autre système semblable, ou les comparer à l'externe avec les pratiques exemplaires au sein de l'industrie.
6. **Détermination du profil de consommation d'énergie** – Déterminer la consommation d'énergie en fonction de périodes de temps, par exemple le profil de demande de puissance électrique.
7. **Inventaire de la consommation d'énergie** – Préparer une liste de toutes les charges consommatrices d'énergie dans l'aire où est menée la vérification et déterminer leurs caractéristiques de consommation et de puissance appelée.
8. **Identification des possibilités de gestion de l'énergie** – Inclure les mesures opérationnelles et technologiques visant à réduire le gaspillage de l'énergie.
9. **Évaluation des avantages** – Mesurer les économies potentielles d'énergie et de coûts, de même que tout avantage supplémentaire.
10. **Rapport sur les mesures à prendre** – Préparer un rapport sur les résultats de la vérification et les communiquer au besoin pour mener à bien la mise en œuvre.

Figure 1.2 Diagramme schématique d'une vérification



Chaque étape comporte un certain nombre de tâches qui sont décrites dans les sections suivantes. Comme l'illustre la figure 1.2, plusieurs étapes peuvent mener à l'identification de possibilités de gestion de l'énergie. Certaines de ces possibilités dépassent l'étendue d'une macrovérification et requièrent une étude plus détaillée par un expert-conseil (c.-à-d., une microvérification menée par un expert-conseil externe). D'autres possibilités ne nécessiteront pas d'études plus poussées, car les économies prévues seront considérables et pourront être réalisées rapidement. De telles possibilités devraient être mises en œuvre sans délai.

2 PRÉPARATION POUR LA VÉRIFICATION ÉNERGÉTIQUE

2.1 Élaboration d'un plan de vérification

Un plan de vérification est un document « évolutif » qui donne un aperçu de la stratégie et du processus de la vérification. Bien que ce plan doive être bien défini, il doit être suffisamment souple pour permettre d'y apporter des modifications à la lumière de renseignements imprévus ou de conditions changeantes. Le plan de vérification est également un outil de communication essentiel pour assurer une utilisation des ressources conséquente, complète et efficace pour mener la vérification.

Le plan de vérification devrait comporter les éléments suivants :

- le mandat et l'étendue de la vérification;
- le moment et l'endroit où sera effectuée la vérification;
- les renseignements sur les unités organisationnelles et fonctionnelles faisant l'objet de la vérification (y compris des renseignements sur les personnes-ressources);
- les éléments de la vérification qui ont une priorité élevée;
- le calendrier des principales activités de la vérification;
- le nom des membres de l'équipe de vérification;
- le format et le contenu du rapport ainsi que les dates prévues d'achèvement et de distribution.

2.2 Coordination avec divers services de l'usine

La coordination avec les services de production, d'ingénierie, d'exploitation et d'entretien de l'usine est essentielle pour le bon déroulement de la vérification. Une réunion initiale avec des employés représentant tous les services concernés par la vérification peut créer un climat de confiance relativement au processus et, en bout de ligne, aux résultats de la vérification.

Il faut tenir compte des éléments suivants pour la coordination de la vérification avec les services de l'usine :

- examiner les buts (objectifs), l'étendue et le plan de la vérification;
- modifier au besoin le plan de la vérification;
- décrire les méthodes de la vérification et s'assurer qu'elles sont bien comprises;
- définir les liens de communication au cours de la vérification;
- confirmer la disponibilité des ressources et des installations;
- confirmer le calendrier des réunions (y compris la réunion de clôture) auprès du groupe de gestion de la vérification;

- informer l'équipe de vérification des procédures pertinentes en matière de santé, de sécurité et d'urgence;
- répondre aux questions;
- s'assurer que toutes les personnes concernées connaissent bien les buts et les résultats de la vérification et qu'elles les appuient.

Une autre option consiste à former une équipe de vérification dès le départ, non seulement pour solliciter la participation des membres aux étapes de la planification, mais aussi pour obtenir leur appui et des ressources tout au long de la vérification.

Quelle que soit la méthode choisie, il faut veiller à ce que tous les services concernés obtiennent les résultats de la vérification et les inciter à participer au processus de vérification.

2.3 Définition des ressources de la vérification

Il faut décider dès le départ si la vérification sera effectuée par des spécialistes internes ou des experts-conseils externes, puisque le vérificateur doit participer au processus dès le début. Cette personne aura une incidence sur l'établissement de l'étendue et des critères de la vérification, et sur d'autres préparations entourant cette dernière. (Remarque : Il est entendu que l'utilisation du terme « vérificateur » dans le présent guide peut désigner une équipe entière de vérificateurs, selon les circonstances.)

Bien entendu, le vérificateur doit être un spécialiste compétent, qui connaît les processus et les techniques de vérification énergétique. Si l'entreprise envisage d'embaucher des experts-conseils externes, il est recommandé d'en consulter plusieurs et d'obtenir des références.

Afin que les résultats de la vérification soient crédibles, le choix du vérificateur doit être fondé sur son indépendance et son objectivité, tant réelles que perçues. Idéalement, le vérificateur doit :

- être indépendant des activités vérifiées, tant à titre d'employé d'un organisme qu'à titre personnel;
- être impartial;
- être reconnu pour sa grande intégrité et son objectivité;
- être reconnu pour faire preuve de professionnalisme dans son travail.

Les conclusions du vérificateur ne doivent pas être influencées par l'incidence potentielle de la vérification sur l'unité commerciale concernée ou sur les calendriers de production. Une des façons de garantir que le vérificateur est indépendant, impartial et en mesure d'apporter un nouveau point de vue est d'avoir recours à un expert-conseil externe indépendant ou à des employés internes d'une autre unité commerciale.

3

GUIDE DÉTAILLÉ DE LA MÉTHODE DE LA VÉRIFICATION

Tableau 3.1 Méthode de la vérification

	Inspection de l'état	Établissement du mandat de la vérification	Établissement de l'étendue de la vérification	Analyse de la consommation d'énergie et des coûts	Analyse comparative	Détermination du profil de consommation d'énergie	Inventaire de la consommation d'énergie	Identification des possibilités de gestion de l'énergie	Évaluation des coûts et des avantages	Rapport sur les mesures à prendre
Description	<ul style="list-style-type: none"> Identifier les endroits les plus propices pour mener une vérification. Identifier les possibilités de gestion de l'énergie pouvant être mises en œuvre sans une autre analyse. Aider à établir les priorités pour le mandat et l'étendue de la vérification. 	<ul style="list-style-type: none"> Établir et préciser le but de la vérification. Obtenir la participation des intervenants et leur engagement à l'égard du mandat de la vérification. 	<ul style="list-style-type: none"> Préciser la portée physique de la vérification en déterminant les limites du système consommateur d'énergie à vérifier. Relever les intrants énergétiques qui dépassent les limites du système à vérifier. 	<ul style="list-style-type: none"> Mettre en tableau tous les intrants énergétiques – achats et autres. Déterminer le profil annuel de consommation d'énergie et la consommation annuelle totale. 	<ul style="list-style-type: none"> Comparer le rendement énergétique actuel avec les données internes antérieures sur le rendement et avec les données de référence externes. Donner un aperçu des facteurs ayant une incidence sur la consommation d'énergie d'une installation et des économies potentielles. 	<ul style="list-style-type: none"> Comprendre le profil de consommation d'énergie du système en fonction du temps. 	<ul style="list-style-type: none"> Procurer une image claire de l'endroit où est consommée l'énergie. Aider à établir les priorités pour les possibilités de gestion de l'énergie et cerner les possibilités de réduction en éliminant les utilisations inutiles. 	<ul style="list-style-type: none"> Procéder à une évaluation critique des systèmes et des niveaux de consommation d'énergie. Les méthodes vont d'analyses ouvertes à des listes de contrôle fermées. Aider à déterminer la nécessité d'une microvérification plus détaillée. 	<ul style="list-style-type: none"> Procéder à une évaluation préliminaire des possibilités d'économie d'énergie. Prendre en compte l'interaction entre les possibilités de gestion de l'énergie lorsqu'il existe plusieurs (c.-à-d., déterminer les économies nettes). 	<ul style="list-style-type: none"> Rendre compte des résultats de la vérification de façon à favoriser la prise de mesures (s'applique à tous les niveaux de possibilités de gestion de l'énergie, depuis les mesures d'entretien sans frais jusqu'aux possibilités d'amélioration nécessitant un investissement considérable).

	Inspection de l'état	Établissement du mandat de la vérification	Établissement de l'étendue de la vérification	Analyse de la consommation d'énergie et des coûts	Analyse comparative	Détermination du profil de consommation d'énergie	Inventaire de la consommation d'énergie	Identification des possibilités de gestion de l'énergie	Évaluation des coûts et des avantages	Rapport sur les mesures à prendre
Données requises	<ul style="list-style-type: none"> Inspection visuelle des aires et de l'équipement représentatifs Apport de la haute direction et du personnel de production et d'entretien Contraintes dans les délais, les ressources et l'accès aux installations Ressources 	<ul style="list-style-type: none"> Résultats de l'inspection de l'état Emplacement de tous les intrants énergétiques du système Listes de tous les principaux systèmes consommateurs d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> Factures de services publics pour chaque achat de source d'énergie Données mesurées pour d'autres intrants énergétiques Structures tarifaires applicables des services publics 	<ul style="list-style-type: none"> Données périodiques sur la consommation d'énergie Données périodiques pour les facteurs pertinents ayant une incidence sur la consommation (ou variables ayant une incidence) comme la production, les conditions météorologiques et le taux d'occupation 	<ul style="list-style-type: none"> Données consignées au cours d'intervalles d'une minute, d'une heure, d'une journée pour : <ul style="list-style-type: none"> énergie électrique débit du gaz température humidité niveau d'éclairement débit d'air ou pression autres facteurs pertinents et mesurables 	<ul style="list-style-type: none"> Dessins et spécifications de l'installation et de l'équipement Inventaire de l'équipement et données nominales Consommation d'énergie et de carburant Températures, débits et autres éléments mesurés État et rendement de l'équipement 	<ul style="list-style-type: none"> Inventaires et bilans énergétiques Remarques par suite des visites de l'installation Mesures choisies 	<ul style="list-style-type: none"> Consommation d'énergie actuelle par rapport à la consommation proposée Coûts supplémentaires de l'énergie Mesures facultatives de la consommation actuelle et de l'état 	<ul style="list-style-type: none"> Résultats de chaque étape précédente, depuis l'analyse initiale des coûts jusqu'aux avantages financiers des possibilités de gestion de l'énergie 	
Modèles et listes de contrôle	<ul style="list-style-type: none"> Listes de contrôle pour l'inspection de l'état (section C-3) 	<ul style="list-style-type: none"> Liste de contrôle sur le mandat de la vérification (section B-2) 	<ul style="list-style-type: none"> Liste de contrôle sur l'étendue de la vérification (section B-3) 	<ul style="list-style-type: none"> s.o. 	<ul style="list-style-type: none"> s.o. 	<ul style="list-style-type: none"> s.o. 	<ul style="list-style-type: none"> Formulaire d'inventaire des charges (section C-5) 	<ul style="list-style-type: none"> Listes de contrôle pour les possibilités de gestion de l'énergie (section C-2) 	<ul style="list-style-type: none"> s.o. 	<ul style="list-style-type: none"> Modèle de rapport (section B-10)

	Inspection de l'état	Établissement du mandat de la vérification	Établissement de l'étendue de la vérification	Analyse de la consommation d'énergie et des coûts	Analyse comparative	Détermination du profil de consommation d'énergie	Inventaire de la consommation d'énergie	Identification des possibilités de gestion de l'énergie	Évaluation des coûts et des avantages	Rapport sur les mesures à prendre
Modèles de feuilles de calcul	• Inspection de l'état.xls	• s.o.	• Inspection de l'état.xls	• Coût de l'électricité.xls • Coût du gaz.xls • Coût du combustible.xls	• Analyse comparative.xls	• Profil.xls	• Inventaire des charges.xls • Inventaire de la consommation d'énergie thermique.xls • Systèmes à combustion.xls • Enveloppe.xls	• s.o.	• Évaluation des avantages.xls	• Évaluation des avantages.xls
Analyses et méthodes	• Inspection de l'état (section B-1)	• Mandat de la vérification (section B-2)	• Étendue de la vérification (section B-3)	• Analyse de la consommation d'énergie et des coûts (section B-4)	• Analyse comparative (section B-5)	• Détermination du profil de consommation d'énergie (section B-6) • Instrumentation pour la vérification énergétique (section C-4)	• Méthode d'inventaire des charges électriques (sections B-7 et C-5) • Méthode d'inventaire de la consommation d'énergie thermique (sections B-7 et C-1) • Équilibres énergétiques simples (section B-7) • Instrumentation pour la vérification énergétique (section C-4)	• Recherche de possibilités de gestion de l'énergie à l'aide de l'inventaire énergétique (section B-7.5) • Approche en trois étapes (section B-8) • Listes de contrôle des possibilités de gestion de l'énergie (section C-2)	• Évaluation des coûts et des avantages (section B-9)	• Rapport écrit (section B-10) • Évaluation des coûts et des avantages (section B-9)

	Inspection de l'état	Établissement du mandat de la vérification	Établissement de l'étendue de la vérification	Analyse de la consommation d'énergie et des coûts	Analyse comparative	Détermination du profil de consommation d'énergie	Inventaire de la consommation d'énergie	Identification des possibilités de gestion de l'énergie	Évaluation des coûts et des avantages	Rapport sur les mesures à prendre
Ressources externes	• S.O.	• Publications techniques de Ressources naturelles Canada (RNCan) • Experts-conseils	• S.O.	• Les services publics fournissent souvent des tableaux et des analyses des données antérieures sur la consommation d'énergie.	• Experts-conseils spécialisés dans la comptabilisation de l'énergie ou le contrôle et le suivi	• Experts-conseils en énergie procurant des services de mesure de la consommation • Compagnies d'électricité • Compagnies de gaz	• S.O.	• Guides sur l'efficacité énergétique propre aux secteurs • <i>Guide de planification et de gestion de l'efficacité énergétique du PEEIC</i>	• Experts-conseils externes	• Experts-conseils externes • Ateliers « Le gros bon Sens » de RNCan
Résultats	• Évaluation relative de l'état de chaque système consommateur d'énergie de l'installation	• Énoncé des résultats de la vérification : - endroit - portée et types d'analyses - type de possibilités de gestion de l'énergie et portée des analyses des économies requises - autres résultats connexes de la vérification; p. ex., productivité, exploitation et entretien, avantages supplémentaires pour l'environnement, et autres	• Établissement des limites de la vérification en ce qui a trait aux flux d'énergie d'entrée, aux systèmes consommateurs d'énergie et, indirectement, aux flux d'énergie de sortie	• Coûts annuels relatifs de chaque type d'énergie achetée • Coûts supplémentaires (marginaux) pour : - la demande de puissance électrique et énergie électrique - du gaz naturel - d'autres carburants	• Relation entre la consommation d'énergie et les principaux facteurs déterminants • Tendances de la consommation • Objectifs préliminaires de réduction • Économies potentielles en réduisant la variabilité de la consommation d'énergie	• Conditions de consommation d'énergie anormales non évidentes • Désagrégation de la consommation d'énergie lorsqu'elle est combinée à l'inventaire énergétique • Caractéristiques de l'installation, des systèmes et du fonctionnement de l'équipement	• Ventilation de la consommation d'énergie par principaux domaines d'utilisation (p. ex., consommation de gaz pour la production par rapport au chauffage de l'espace, consommation d'électricité pour les procédés, ventilation, air comprimé, éclairage et transport)	• Liste des priorités en matière de possibilités de gestion de l'énergie pour : - les mesures immédiates - des analyses plus poussées par microvoltaïsation et l'établissement des priorités en vue d'harmoniser les liens entre les possibilités	• Économies découlant des possibilités de gestion de l'énergie • Coûts de mise en œuvre des possibilités de gestion de l'énergie • Avantages financiers des possibilités de gestion de l'énergie relevées	• Exposé bref et convaincant sur les résultats de la vérification, y compris : - sommaire - analyse de la consommation d'énergie actuelle - description des possibilités de gestion de l'énergie - évaluation des économies de certaines possibilités de gestion de l'énergie - plan d'action pour la mise en œuvre

3.1 Microévaluation

Outre les étapes susmentionnées, plusieurs facteurs devraient être pris en compte pour mener une vérification exhaustive.

Inspection de l'état : Pour mener une vérification exhaustive ou une microvérification d'un équipement, il est nécessaire d'utiliser des listes de contrôle plus détaillées que celles fournies dans le présent guide. Il peut se révéler plus efficace de recourir aux services de spécialistes en systèmes ou équipements externes afin d'évaluer l'état général des systèmes et de l'équipement visés.

Mandat de la vérification : Une microvérification est très détaillée, et il est essentiel d'établir son étendue dans le mandat. Cet aspect est en partie fonction du niveau souhaité de certitude (ou d'incertitude acceptable) dans les résultats. Il faut également spécifier les détails nécessaires pour garantir le financement des mesures proposées.

La microvérification est souvent effectuée par un expert-conseil externe. Dans ce cas, le mandat de la vérification et l'étape subséquente – l'élaboration de l'étendue de la vérification – forment une partie intégrante des attributions de l'expert-conseil.

Étendue de la vérification : L'étendue de la microvérification se limite souvent à l'ensemble des installations ou à un bâtiment. Elle peut viser un appareil ou un procédé particulier. Dans ce cas, il sera plus difficile de déterminer les limites de la vérification et des intrants énergétiques connexes.

Analyse de la consommation d'énergie et des coûts : Les limites de la microvérification peuvent ne pas inclure les intrants énergétiques mesurés par les services publics. Dans certains cas, une mesure directe des intrants énergétiques peut être obtenue des compteurs divisionnaires d'électricité, de gaz, de combustible ou de vapeur. Dans chacun de ces cas, il sera nécessaire d'évaluer le coût des intrants pour chaque source d'énergie. Des coûts supplémentaires ou marginaux peuvent s'appliquer à ces intrants.

Analyse comparative : L'analyse comparative effectuée dans une macrovérification comporte habituellement des données mesurées mensuellement par le service public et des données sur les répercussions. Une microvérification offre la possibilité de mener des types similaires d'analyses sur les données mesurées pour les procédés et appareils individuels dans un plus court délai, notamment sur une base hebdomadaire ou quotidienne.

Détermination du profil de consommation d'énergie : Le profil de demande de puissance électrique déterminé au branchement est un profil couramment utilisé dans une macrovérification. De tels profils peuvent être déterminés pour pratiquement toute charge électrique unique ou tout groupe de charges. La microvérification peut utiliser des profils détaillés pour décrire complètement l'exploitation de nombreux procédés, systèmes ou appareils.

Les profils détaillés incluent les renseignements suivants :

- la puissance des sous-systèmes (c.-à-d., système des procédés, compresseurs d'air, réfrigération et autres);
- le débit et la pression d'air comprimé;
- le débit et la pression de vapeur;
- le niveau d'éclairage et le taux d'occupation.

Inventaire de la consommation d'énergie : Le niveau de détail des inventaires est plus élevé pour une microvérification que pour une macrovérification. Une ventilation plus détaillée nécessitera davantage de mesures, d'appareils de mesure et de connaissances.

Identification des possibilités de gestion de l'énergie : Le mandat et l'étendue de la microvérification peuvent être déterminés en fonction de la liste des possibilités de gestion de l'énergie et nécessiteront une analyse plus approfondie. La microvérification définira plus en détail les mesures, les coûts et les économies découlant des possibilités.

Évaluation des coûts et des avantages : La microvérification vise habituellement à évaluer en profondeur les économies découlant de possibilités particulières. Par ailleurs, la macrovérification peut comprendre une vérification superficielle des économies et permettre de commencer à rassembler les données requises pour une analyse plus détaillée.

Rapport sur les mesures à prendre : Il est plus approprié de présenter les résultats d'une microvérification, dont l'analyse est plus détaillée, dans un rapport écrit classique. Les éléments, les données et les renseignements précis requis dans un rapport de microvérification peuvent être fonction des exigences des bailleurs de fonds. Ces exigences devraient être clairement définies dans le mandat de la microvérification.

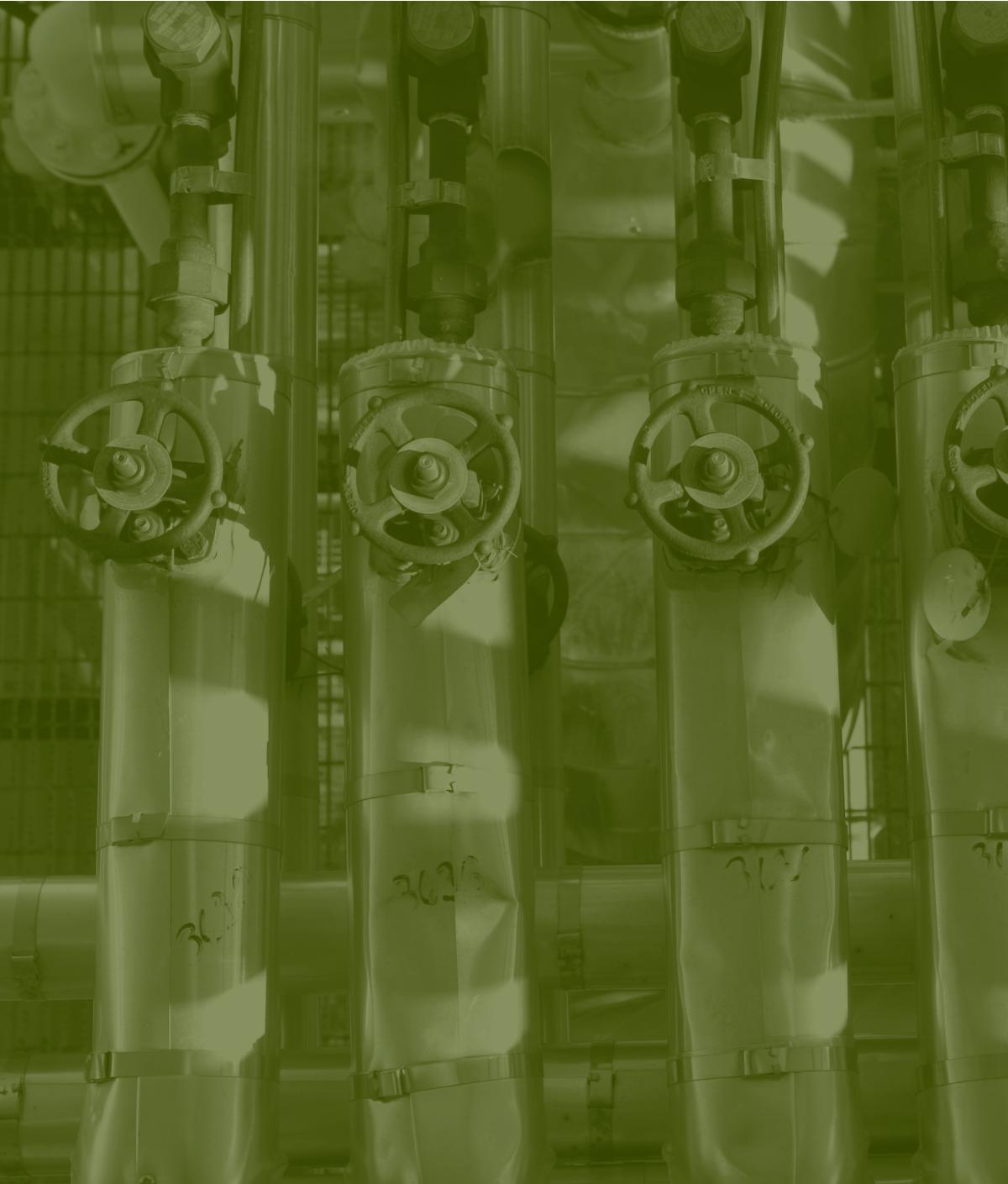
3.2 Référence

Ressources naturelles Canada. *Guide de planification et de gestion de l'efficacité énergétique*, 2002.

oee.rncan.gc.ca/publications/infosource/pub/peeic/efficacite/index.cfm

B

MÉTHODES D'ANALYSE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE



1 INSPECTION DE L'ÉTAT

1.1 Introduction

L'inspection de l'état (vérification initiale de l'installation) est essentiellement une visite d'inspection. Elle vise à examiner les éléments suivants :

- où il y a un gaspillage évident d'énergie;
- où des travaux de réparation ou d'entretien s'imposent;
- où un investissement de capitaux peut être requis afin d'améliorer l'efficacité énergétique.

L'inspection de l'état comporte au moins trois objectifs :

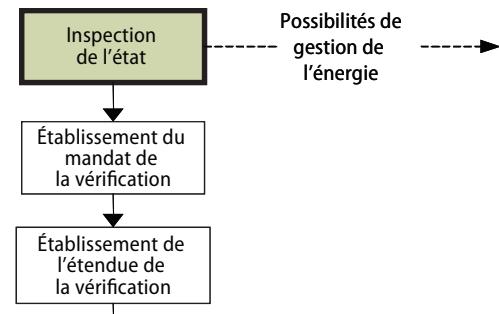
- elle procure au vérificateur ou à l'équipe de vérification un aperçu de l'ensemble de l'installation afin de permettre d'observer les principales utilisations de l'énergie et les facteurs qui ont une incidence sur ces dernières;
- elle aide à relever les aires requérant un examen plus poussé pour déceler les possibilités de gestion de l'énergie avant l'établissement du mandat et de l'étendue de la vérification;
- elle permet de relever les possibilités évidentes d'économie d'énergie pouvant être mises en œuvre sans qu'une évaluation plus poussée, voire aucune évaluation, ne soit nécessaire. Il s'agit souvent de cas de mauvaises réparations ou d'un piètre entretien qui exigent peu de dépenses en capital.

1.2 Approche systématique

L'inspection de l'état se doit d'être exhaustive et systématique. Même si l'information recueillie au cours de l'inspection est principalement qualitative, elle peut tout de même servir à donner une cote numérique à chacune des observations faites au cours de l'inspection en vue d'aider à déterminer l'intensité et l'urgence de toute mesure corrective à prendre.

Un modèle de liste de contrôle pour la collecte d'information comportant un système de classement par points est présenté à la page suivante. Le modèle peut facilement être modifié et adapté en fonction de l'installation. Par exemple, s'il s'agit d'une inspection des systèmes d'éclairage, une ligne pour chaque pièce ou aire distincte de l'installation peut être créée.

L'évaluation repose sur un système à trois points, dans lequel un pointage de « 3 » représente un état de haute efficacité énergétique, tandis que « 0 » désigne un état de faible efficacité énergétique. Le pointage indique l'urgence des mesures correctives à prendre.



		Date : <u>31 mai 2002</u>	<u>Vérificateur : SD</u>	<u>Commentaires :</u> 	Bonne isolation	Isolation moyenne	Piètre isolation	Brides isolées	Aucune fuite	Quelques fuites	Beaucoup de fuites	Commandes automatiques	Procédures opérationnelles	Compteur de vapeur	Compteur de combustible	Compteur d'eau d'appoint	Entretien préventif	Réparations au besoin	Récupération d'énergie	Commandes de l'économiseur	Total des points
N°	Endroit/points	2	1	0	2	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	3	2			
	Pointage maximal	2			2	2			1	1	1	1	1	1	1		3	2	17		
1	Salle de la chaudière principale		1				1		1		1	1			1		3		9		
2	Chaudière de l'usine ouest		1					0							1				2		
Total des points pour la section																			11		
Cote pour les chaudières = $\frac{(100 \times \text{total des points})}{\text{Nombre d'éléments} \times \text{pointage maximal}} = \frac{(100 \times 11)}{(2 \times 17)}$																			32 %		

Une fois les listes de contrôle remplies, le pointage est calculé (selon la formule donnée dans l'exemple ci-dessus).

Le pointage est ensuite utilisé pour indiquer le degré d'urgence d'application de la mesure corrective, en fonction de l'échelle suivante :

Échelle des points	Mesures requises
0-20	Mesure corrective immédiate requise
20-40	Mesure corrective urgente requise
40-60	Mesure corrective requise
60-80	Évaluation pour des améliorations potentielles requise
80-100	Aucune mesure corrective requise

Les listes de contrôle de la partie C, intitulée « Supplément technique », portent sur ce qui suit :

1. Fenêtres
2. Portes extérieures
3. Plafonds
4. Murs extérieurs
5. Toits
6. Aires d'entreposage
7. Aires d'expédition et de réception
8. Éclairage
9. Aires alimentaires
10. Installations de chauffage et de chaudière
11. Distribution de la chaleur
12. Installation de refroidissement
13. Distribution de l'air de refroidissement
14. Distribution de l'électricité
15. Service d'eau chaude
16. Service d'eau
17. Air comprimé
18. Chaleur industrielle

Dans chaque cas, seul l'en-tête du modèle est montré avec la structure de points. On donne à la fin de la section un modèle vierge qui peut être adapté pour des systèmes particuliers de l'installation et autres systèmes qui ne sont pas inclus dans la liste. Dans le dernier cas, il est recommandé d'utiliser une structure de points semblable à celle montrée à la page précédente.

1.3 Modèles de feuille de calcul pour l'inspection de l'état

La partie C, intitulée « Supplément technique », renferme un modèle de feuille de calcul pour l'inspection de l'état ([Inspection de l'état.xls](#)). La figure 1.1 présente un exemple de feuille de calcul adaptée pour l'inspection de systèmes d'éclairage. On recommande au vérificateur d'adapter la feuille de calcul à chaque système et équipement de l'installation. Des éléments et des points peuvent être entrés dans les feuilles de calcul des listes de contrôle de la section C-3.

Figure 1.1 Modèle de feuille de calcul pour l'inspection de l'état

Exemple du système d'éclairage d'une usine															
Système	Date : 4 juin 2002	Vérificateur : Chase A. Watt	Commentaires :	Niveau d'éclairage excessif	Niveau d'éclairage approprié	Éclairage contrôlé par détecteurs de mouvement	Éclairage contrôlé par interrupteurs	Éclairage contrôlé par disjoncteurs	Éclairage incandescent	Éclairage non incandescent (fluorescent ou DH)	Luminaires sales	Bonne réflexion par la surface de la pièce	Mauvaise réflexion par la surface de la pièce	Total des points	Cote pour l'endroit
			Voici des exemples de commentaires pour l'inspection de l'état d'un système d'éclairage.												
N°	Endroit/points	0	1	2	1	0	0	1	1	1	0	1	0		
Pointage maximal		1	2					1	1	1				6	100 %
1	Aire de bureaux		1	2				1	1					5	83 %
2	Aire de production		1		0		1			0		0		2	33 %
3	Aire d'entreposage	0		1	0		1			0		0		2	33 %
4	Extérieur		1	2			1	1		1				6	100 %
														0	0 %
														0	0 %
														0	0 %
														0	0 %
														0	0 %
														0	0 %
														0	0 %
														0	0 %
														0	0 %
														15	63 %
Total des points et cote globale pour l'exemple du système d'éclairage d'une usine															

1.4 Identification des possibilités de gestion de l'énergie

Même si l'inspection de l'état est effectuée avant la vérification principale, elle peut également servir à cerner des possibilités de gestion de l'énergie. Le système de cote de l'inspection aide à identifier les aires de l'installation devant faire l'objet d'une évaluation plus poussée et à établir la priorité à cet égard. Cependant, des observations directes des procédures d'entretien, de maintenance et autres peuvent permettre de découvrir des possibilités de gestion de l'énergie qui ne nécessitent pas une vérification plus poussée et pour lesquelles des mesures peuvent être prises immédiatement. Par exemple, la réparation des fuites dans le réseau de vapeur, d'une vitre cassée et de portes de plate-forme de chargement qui ne ferment pas permettra de réduire immédiatement la consommation d'énergie.

1.5 | Référence

Ressources naturelles Canada. *Guide de planification et de gestion de l'efficacité énergétique*, 2002.

oee.rncan.gc.ca/publications/infosource/pub/peeic/efficacite/index.cfm

2 ÉTABLISSEMENT DU MANDAT DE LA VÉRIFICATION

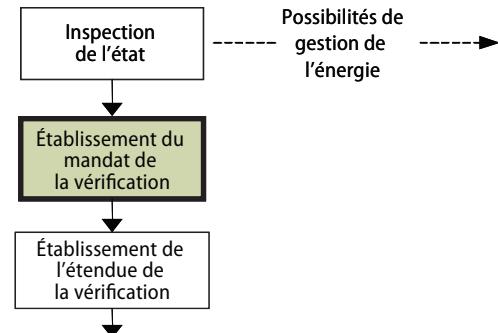
2.1 Introduction

Les vérificateurs, en particulier ceux du domaine technique, peuvent être enclins à commencer rapidement la vérification. Toutefois, le fait de connaître les « règles de base » à l'avance favorise grandement l'utilisation judicieuse du temps et assure la satisfaction des besoins de l'organisme qui demande la vérification.

Le cadre de référence présenté au vérificateur est :

- **le mandat de la vérification** – il vise à définir clairement les buts et objectifs de la vérification et à préciser les principaux obstacles à la mise en œuvre des recommandations formulées suite à la vérification;
- **l'étendue de la vérification** – elle vise à déterminer l'étendue physique de la vérification de même que les approches analytiques utilisées par le vérificateur et le type de renseignements qu'il requiert.

La liste de contrôle suivante peut aider à définir un mandat clair et concis. Une approche similaire pour l'établissement de l'étendue de la vérification suit à la section 3.



2.2 Liste de contrôle sur le mandat de la vérification

Liste de contrôle sur le mandat de la vérification

Objectifs de la vérification : Besoins/désirs en matière d'exploitation et d'investissement

- Réduire :
 - Consommation d'énergie/coûts énergétiques
 - Type de combustible particulier (détails) : _____
 - Demande maximale
- S'adapter à la charge accrue dans le bâtiment.
- Passer les coûts énergétiques directement aux locataires/services.
- Limiter les activités manuelles de l'installation/des procédés.
- Autre (précisez) : _____

Calendrier des activités

Date d'achèvement : _____

Date à laquelle les résultats préliminaires sont requis : _____

Ressources

Personnel interne

- Technique
- De bureau
- Autre (précisez) : _____

Externe

- Experts-conseils
- Services publics
- Organismes gouvernementaux
- Entrepreneurs
- Autre (précisez) : _____

État du bâtiment

Signalez tous les problèmes liés à ce qui suit :

- Confort
 - Bris
 - Manque de capacité
 - Apparence
 - Bruit
 - Pratiques d'exploitation
 - Pratiques d'entretien
 - Autre (précisez) : _____
-

Facteurs et contraintes concernant la mise en œuvre

Calendrier des possibilités de gestion de l'énergie visant l'entretien : _____

Calendrier des possibilités de gestion de l'énergie à faibles coûts : _____

Contraintes financières : _____

Calendrier des possibilités de gestion de l'énergie visant les améliorations : _____

Contraintes financières : _____

Subventions, financements et avantages fiscaux applicables : _____

Possibilité d'appliquer les recommandations découlant de la vérification à d'autres bâtiments/aires

- Oui Non

Détails : _____

Format requis pour les rapports

Niveau de détail : _____

Analyse financière/critères requis : _____

Période de récupération de l'investissement/critères acceptables : _____

3 ÉTABLISSEMENT DE L'ÉTENDUE DE LA VÉRIFICATION

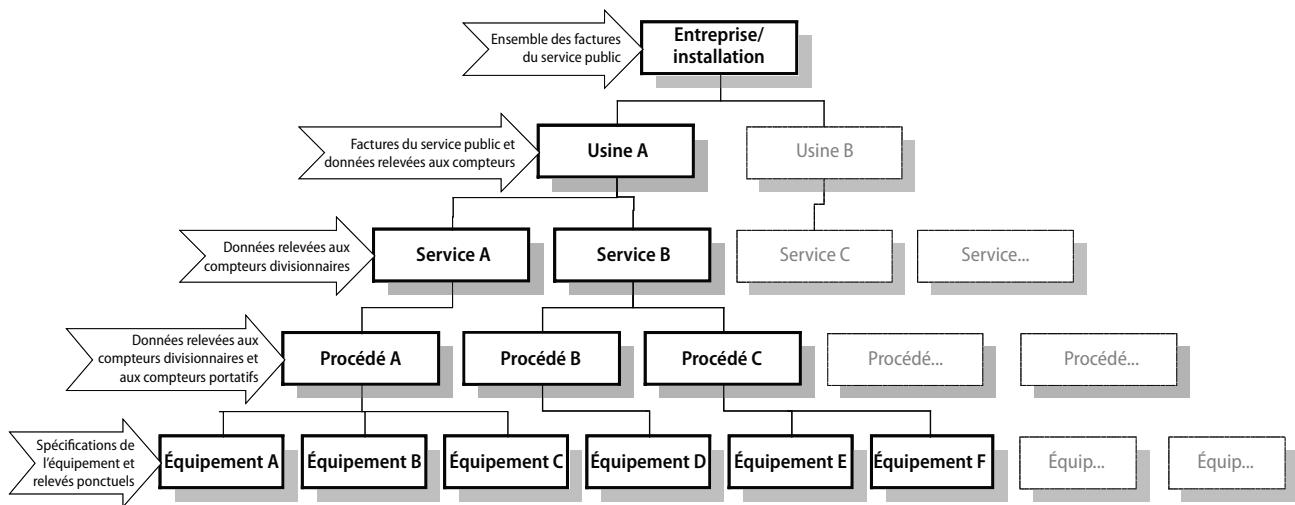
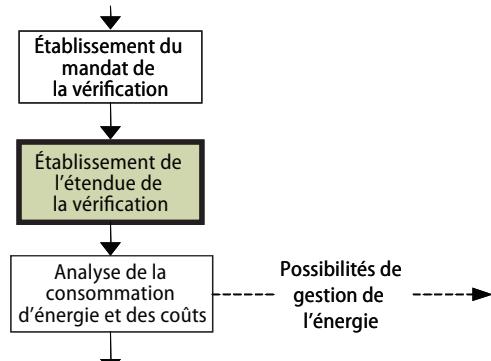
3.1 Introduction

Une approche systématique de la vérification énergétique permet d'en préciser les limites (ces dernières sont décrites dans l'examen des concepts de base de la thermodynamique pour la vérification énergétique). L'étendue de la vérification vise à définir en détail le système visé.

Par ailleurs, l'étendue de la vérification est un énoncé de l'« envergure des travaux », c'est-à-dire qu'elle détermine les sources d'information et leur analyse. La figure 3.1 présente un exemple de l'étendue d'une vérification.

Comme on l'a déjà mentionné, le système peut consister en divers éléments, depuis une usine entière jusqu'à une pièce d'équipement de traitement. La figure 3.1 présente un exemple des échelons hiérarchiques de l'étendue d'une vérification ainsi que des échelons pertinents d'information.

Figure 3.1 Exemple de l'étendue d'une vérification pour un système consommateur d'énergie simplifié



3.1.1 Définition du système faisant l'objet de la vérification

La présente étape vise à déterminer les limites de la vérification et à définir les systèmes énergétiques à l'intérieur de ces limites. Même si le processus de vérification permet de recueillir des données sur l'inventaire des charges énergétiques, il est utile de définir les aires devant être examinées, comme on le décrit dans la liste de contrôle sur l'étendue de la vérification (voir la section 3.2).

3.1.2 | Identification des intrants et des extrants énergétiques

À l'aide d'un diagramme schématique de l'aire faisant l'objet de la vérification, vous devriez être en mesure de dresser la liste des intrants et des extrants énergétiques. Il importe d'identifier tous les flux, que ces derniers soient intentionnels (directement mesurables) ou non intentionnels (non directement mesurables). Comme flux d'énergie évidents, mentionnons l'électricité, le combustible, la vapeur et autres intrants énergétiques directs, les gaz de combustion, l'eau à éliminer, l'air évacué et autres extrants évidents. Les flux d'énergie moins évidents pourraient être les pertes de chaleur par l'enveloppe du bâtiment ou l'énergie intrinsèque des biens produits.

3.1.3 | Identification des sous-systèmes

Il faut identifier tous les systèmes qui feront l'objet de la vérification, comme on le précise dans la liste de contrôle sur l'étendue de la vérification.

3.2 Liste de contrôle sur l'étendue de la vérification

Liste de contrôle sur l'étendue de la vérification

Aires visées

- Installation entière
 - Bâtiments particuliers (détails) : _____
 - Service/unité de traitement (détails) : _____
-

Sous-systèmes à l'extérieur de l'installation

- Éclairage
 - Tuyaux de chauffage
 - Autre (précisez) : _____
-

Sous-systèmes individuels

- Installation de chaudière
- Distribution de la vapeur
- Eau domestique/de traitement
- Réfrigération industrielle
- Éclairage

- CVC
- Enveloppe du bâtiment
- Activités de production/de traitement (description) :

- Autre (détails) :

Types d'information

- Factures d'électricité
- Factures de combustible
- Données de production
- Données sur les conditions météorologiques
- Spécifications et dessins des installations
- Analyses comparatives du sous-secteur
- Autre (précisez) :

Analyse

- Corrélation entre la consommation, la production et les conditions météorologiques
- Analyses comparatives internes ou externes
- Analyse de la demande d'électricité
- Analyse de l'inventaire des charges
- Analyse de la période de récupération de l'investissement concernant les possibilités de gestion de l'énergie et autres critères financiers
- Autre (précisez) :

Exemple de l'envergure des travaux d'une vérification énergétique

1 Coûts antérieurs et analyse de la consommation

- 1.1 Analyse de régression des gaz en fonction des conditions météorologiques et de la production
- 1.2 Régression de l'électricité en fonction de la production
- 1.3 Bilan sommaire des données antérieures de la consommation d'énergie

2 Analyse comparative de la consommation d'électricité

- 2.1 Analyse de la consommation d'énergie électrique en fonction de la charge au moyen de l'analyse par pondération des données de lots
 - 2.1.1 Données antérieures mensuelles – d'après les données existantes
 - 2.1.2 Par lot pour la période de la vérification
- 2.2 Estimation des économies potentielles découlant d'un suivi continu
- 2.3 Préparation de feuilles de calcul pour une analyse continue

3 Analyse comparative du gaz naturel

- 3.1 Analyse de la teneur énergétique du gaz en fonction de la charge au moyen de l'analyse par pondération des données de lots
 - 3.1.1 Données antérieures mensuelles – par four, par produit
 - 3.1.2 Par lot pour la période de la vérification – par four, par produit
- 3.2 Estimation des économies potentielles découlant d'un suivi continu

4 Préchauffage des fours

- 4.1 Essai de combustion (pression des gaz existants)
- 4.2 Équilibre énergétique
- 4.3 Estimation des économies pour les températures finales appropriées

5 Évacuation d'air/air d'appoint

- 5.1 Examen de l'équilibre de l'air et détermination des données sur l'énergie et les coûts pour les flux estimés
- 5.2 Mise à l'essai de la combustion de l'aérotherme à des pressions négatives
 - 5.2.1 Estimation des économies opérationnelles à des pressions équilibrées
- 5.3 Estimation des économies pour l'air d'appoint dirigé aux postes de travail

4 ANALYSE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DES COÛTS

4.1 Introduction

L'information contenue dans les factures d'énergie et les relevés de frais peut servir à cerner des possibilités de gestion de l'énergie, en particulier lorsqu'elle est analysée avec les principaux facteurs ayant une incidence sur la consommation d'énergie, notamment la production. L'analyse de la consommation d'énergie et des coûts devrait avoir lieu avant la comparaison du rendement énergétique avec des données de référence internes et externes. La mise en tableau des données antérieures sur la consommation d'énergie permet d'obtenir rapidement un aperçu de la consommation d'énergie annuelle.

Les possibilités de gestion de l'énergie relevées à la présente étape peuvent viser la réduction de la consommation d'énergie et la réduction des coûts, lesquelles sont deux résultats importants.

L'un des principaux renseignements fournis dans les factures d'énergie est la structure tarifaire ou les tarifs pour les achats d'énergie. Il est essentiel pour le vérificateur de bien comprendre cette structure tarifaire et les éléments de coûts, car ces derniers ont une grande incidence sur le calcul des économies lors de l'évaluation des possibilités de gestion de l'énergie. Étant donné que l'installation peut avoir recours à plusieurs sources d'énergie, il importe également de comprendre les coûts unitaires de l'énergie et leurs coûts différentiels (comparativement à simplement le coût moyen de l'énergie).

Dans la présente section, on explique les termes de base utilisés sur les factures d'énergie et la façon de mettre en tableau les données tirées des factures en vue de quantifier les niveaux de consommation antérieurs et de cerner les habitudes de consommation.

4.2 Sources d'énergie achetées

Les sources d'énergie achetées ont diverses teneurs énergétiques (voir le tableau 4.1). Cette information est utile pour l'analyse des coûts unitaires de diverses sources d'énergie et le calcul des économies.

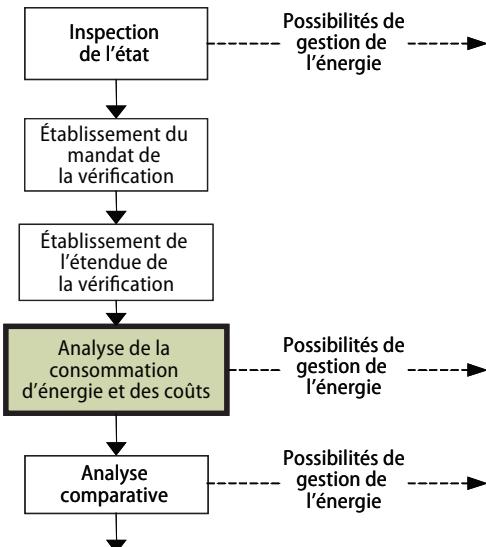


Tableau 4.1 Teneur énergétique de divers combustibles

Combustible	Unités SI		Unités impériales	
Propane	25,3 MJ/L		109 000 Btu/gal (R.-U.)	
Mazout brut	42,7 MJ/kg	40,5 MJ/L	18 380 Btu/lb	174 500 Btu/gal (R.-U.)
Mazout n° 2	45,3 MJ/kg	38,7 MJ/L	19 500 Btu/lb	166 750 Btu/gal (R.-U.)
Bois	19,9 MJ/kg		8 600 Btu/lb	
Gaz naturel	37,6 MJ/m ³		1 008 Btu/pi ³	
Électricité	3,6 MJ/kWh		3 413 Btu/kWh	

4.3 Achat d'énergie électrique

L'étape suivante d'une vérification énergétique consiste à comprendre les achats d'électricité de l'entreprise. Cet aspect concerne en partie la façon dont le service public calcule la consommation d'énergie. Même s'il existe de nombreuses technologies pour effectuer les mesures, les principales questions qui se posent sont essentiellement les mêmes pour l'ensemble de celles-ci, à savoir :

- La demande est-elle mesurée?
- Quel taux de la demande (kW ou kVA) est mesuré?
- De quelle façon l'information doit-elle être mesurée, stockée et affichée, c'est-à-dire par des moyens thermiques (cadrans) ou électroniques (affichage numérique)?

Voir la section C-1, intitulée « Principes de base de l'énergie », pour obtenir de plus amples renseignements sur les compteurs des services publics. Les pages suivantes présentent la terminologie utilisée sur les factures d'électricité et de gaz. Il est essentiel de comprendre les notions élémentaires de la structure d'une facture pour être en mesure d'en extraire des données aux fins de préparation de tableaux.

4.3.1 | Facture d'électricité

Une facture d'électricité renferme l'information suivante :

- **Kilowattheures (kWh) utilisés** : Énergie consommée depuis le dernier relevé du compteur (aussi appelé consommation).
- **Demande mesurée (kW ou kVA)** : Valeur de la demande maximale réelle mesurée au cours de la période de facturation. Si la demande est fournie dans les deux unités, le facteur de puissance au moment de la demande maximale peut être calculé et peut également être fourni.

- **Demande facturée (kW ou kVA)** : Valeur de la demande utilisée pour calculer la facture. Elle est aussi la demande mesurée ou quelque valeur calculée à l'aide de la demande mesurée, en fonction des tarifs du service public.
- **Code de tarif ou tarif** : Détermine les tarifs de facturation appliqués aux relevés d'énergie et de demande.
- **Jours** : Nombre de jours comptés sur la facture. Il importe de noter cet élément, car le nombre de jours séparant les dates de relevés peut varier de +/-5 jours, ce qui peut augmenter ou diminuer artificiellement certaines factures mensuelles.
- **Date de relevé** : Zone de la facture intitulée « Pour la période du/au ». Le « nombre de jours » et la « date du relevé » peuvent servir à mettre en corrélation les hausses de la consommation ou de la demande avec la production ou les facteurs liés aux conditions météorologiques.
- **Facteur de charge (FC)** : Pourcentage d'énergie consommée comparativement à la quantité maximale d'énergie qui aurait pu être consommée si la demande maximale avait été constamment maintenue au cours de la période de facturation.
- **Facteur de puissance (FP)** : Rapport entre les valeurs maximales enregistrées de kW et de kVA (cette valeur est habituellement exprimée par un nombre décimal ou un pourcentage).

4.3.2 | Facture de gaz naturel

Les entreprises de gaz utilisent des termes qui ont parfois des significations différentes avec des tarifs différents. Les définitions suivantes sont relativement standard. En ce qui a trait aux modalités et dispositions particulières, communiquez avec le représentant de votre service de gaz, consultez les tarifs les plus récents pour obtenir le taux approprié ou référez-vous au contrat établi entre votre entreprise et le service public.

- **Jours** : Nombre de jours comptés sur la facture. Il importe de noter cet élément, car le nombre de jours séparant les dates de relevés peut varier de +/-5 jours, ce qui peut augmenter ou diminuer artificiellement certaines factures mensuelles.
- **Date de relevé** : Zone de la facture intitulée « Pour la période du/au ». Le « nombre de jours » et la « date du relevé » peuvent servir à mettre en corrélation les hausses de la consommation ou de la demande avec la production ou les facteurs liés aux conditions météorologiques.
- **Demande contractuelle (DC)** : Consommation quotidienne maximale négociée. Cette valeur est habituellement exprimée en m³/jour.
- **Dépassement** : Quantité de gaz dépassant la demande contractuelle pendant n'importe quel jour (p. ex., 105 p. 100).
- **Tarif par tranche** : Tarif s'appliquant à des quantités de gaz ou à des demandes contractuelles facturées par tranche pré-déterminée. Habituellement, la première tranche est la plus coûteuse et les tranches suivantes sont progressivement moins coûteuses.

- **Frais d'abonnement** : Frais de service mensuels fixes indépendants de la consommation de gaz et de la demande contractuelle.
- **Frais liés à la demande** : Frais mensuels fixes ou s'appliquant à une tranche déterminée en fonction de la demande contractuelle, mais indépendants de la consommation réelle.
- **Frais liés à l'approvisionnement en gaz** : Prix (¢ par m³) du gaz acheté; habituellement appelé le prix du produit. Il s'agit de l'élément concurrentiel de la facture de gaz naturel. Si votre entreprise achète le gaz d'un fournisseur (non le service public avec lequel vous faites affaire), ces frais seront établis dans le cadre d'un contrat ou par le fournisseur. Le service public offrira également des frais de paiement par défaut dans cette catégorie.
- **Frais de livraison (référence : demande contractuelle)** : Frais mensuels fixes ou par tranche reposant sur la demande contractuelle, mais indépendants de la consommation réelle.
- **Frais de livraison (du produit) (référence : gaz livré)** : Frais de livraison fixes ou par tranche (¢ par m³) du gaz acheté.
- **Frais de dépassement** : Tarif s'appliquant à toute quantité de gaz acquise en supplément.

4.4 Mise en tableau des données sur l'achat d'énergie

Les livres comptables sont une source de données sur la consommation d'énergie. Les factures des services publics et des fournisseurs de combustible renferment également des renseignements utiles pouvant servir à la préparation de tableaux sur la consommation.

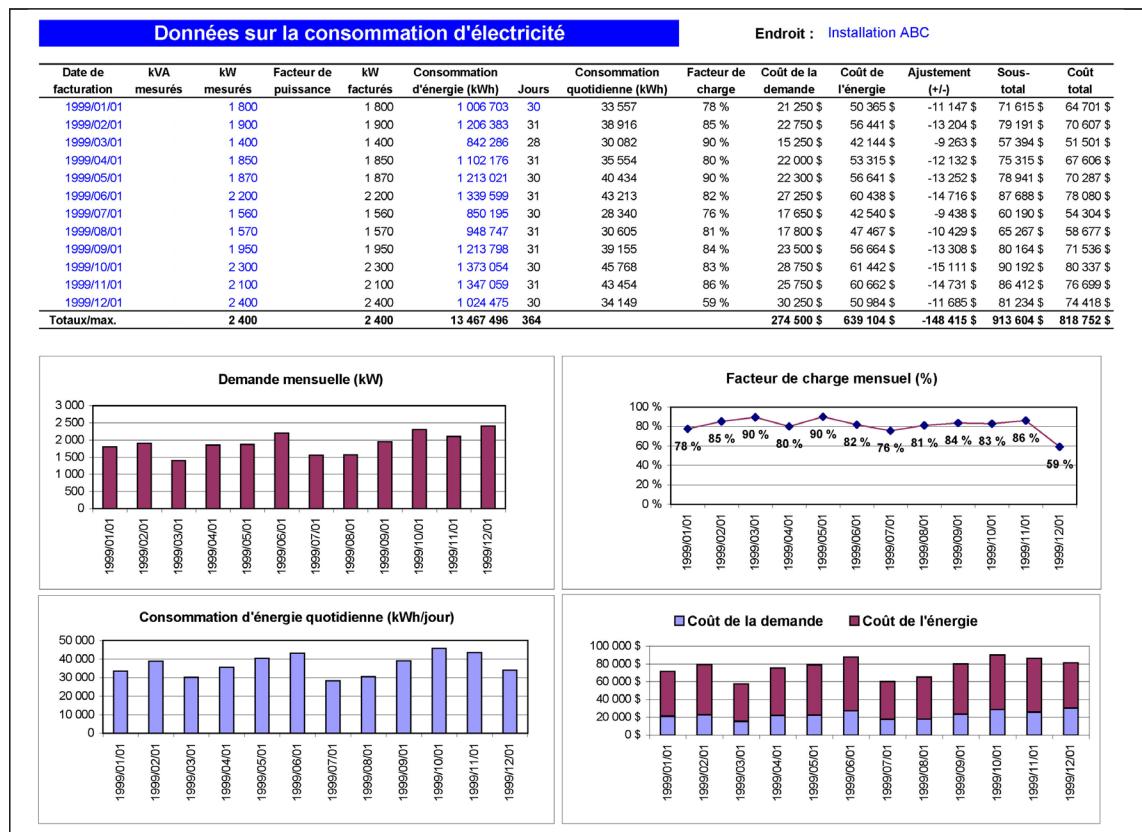
Le supplément technique du présent guide présente une série de modèles de feuilles de calcul pour la préparation de tableaux et de graphiques ainsi que pour l'analyse de données antérieures sur la consommation et les achats d'énergie. Des modèles sont offerts pour l'électricité, le gaz naturel et d'autres combustibles ou sources d'énergie. Consultez les modèles tirés des fichiers suivants :

- [Coût de l'électricité.xls](#)
- [Coût du gaz.xls](#)
- [Coût du combustible.xls](#)

4.4.1 | Mise en tableau des données sur l'électricité

La figure 4.1 est un exemple de la première feuille de calcul sur le coût de l'électricité. Elle renferme des données sur la consommation provenant des factures et des valeurs dérivées faisant partie de l'analyse. En outre, la figure procure une représentation graphique des données principales et des valeurs dérivées.

Figure 4.1 Exemple de feuille de calcul sur les données de consommation d'électricité (tiré du fichier [Coût de l'électricité.xls](#))



Certains calculs peuvent être effectués à l'aide des données de base provenant de factures antérieures. Voici quelques-uns des principaux calculs.

kWh/jour : kWh de la période ÷ nombre de jours. Étant donné que les périodes de facturation peuvent varier, les kWh/jour sont plus utiles pour cerner les habitudes de consommation que les kWh facturés.

Facteur de charge (FC) : kWh ÷ (kW × nombre de jours × 24 h/jour). Si la valeur est mesurée en kVA et que le FP est connu, on remplace kW par kVA × FP. Dans le cas où le FP n'est pas connu, on utilise une valeur de 90 p. 100. Le FC est une indication du pourcentage du temps de la demande de crête de l'usine.

Le FC de l'électricité est le rapport entre l'énergie consommée et la quantité maximale d'énergie qui aurait pu être consommée si la demande maximale (kW) avait été maintenue tout au long de la période de facturation. Toute l'information requise pour calculer le FC se trouve habituellement sur les factures d'électricité. La formule mathématique est la suivante :

$$\text{Facteur de charge (\%)} = \frac{\text{kWh utilisés pendant la période}}{\text{kW en période de crête} \times 24 \text{ h par jour} \times n^{\text{bre de jours dans la période}}} \times 100$$

Une demande de crête élevée et de courte durée diminuera le FC, tandis qu'un taux de consommation d'énergie plus constant entraînera une hausse du FC.

Supposons que les deux installations de l'exemple consomment 25 000 kWh pendant une période de facturation de 28 jours. Leur FC respectif peut être calculé comme suit :

Installation A

$$\text{Facteur de charge (\%)} = \frac{25\,000 \text{ kWh}}{250 \text{ kW} \times 24 \text{ h par jour} \times 28 \text{ jours dans la période}} \times 100 = 15 \text{ p. 100}$$

Installation B

$$\text{Facteur de charge (\%)} = \frac{25\,000 \text{ kWh}}{50 \text{ kW} \times 24 \text{ h par jour} \times 28 \text{ jours dans la période}} \times 100 = 75 \text{ p. 100}$$

L'installation A possède un FC de 15 p. 100 et un coût moyen de l'énergie de 10,5 ¢ par kWh. L'installation B enregistre un FC de 75 p. 100 et un coût moyen de l'énergie de 6,4 ¢ par kWh. Par conséquent, le FC est inversement proportionnel au coût moyen par kWh pour des installations similaires ayant un même taux.

Le FC peut servir de baromètre pour la consommation d'électricité d'une installation en révélant une demande excessive d'énergie. La section suivante renferme plus de renseignements sur la façon dont le FC peut être analysé avec d'autres caractéristiques d'exploitation de l'installation.

Facteur de charge par rapport au facteur d'utilisation : un indicateur de potentiel

Le facteur d'utilisation (FU) est le pourcentage d'utilisation (occupation, production, etc.) d'une installation. Aux fins de comparaison, cette valeur doit être calculée au cours de la même période de temps que celle du FC électrique (24 heures, une semaine, un mois, etc.). Ce calcul est la première étape pour déterminer l'utilisation actuelle de l'électricité et un bon début pour cerner les possibilités d'économie. Si on constate une forte différence entre le FU et le FC, il est probable qu'un examen plus poussé s'impose.

Exemple : Le calcul du FU et du FC peut être effectué sans évaluer le profil de la demande. La seule information requise est une ou plusieurs factures d'électricité et une connaissance des activités de l'installation.

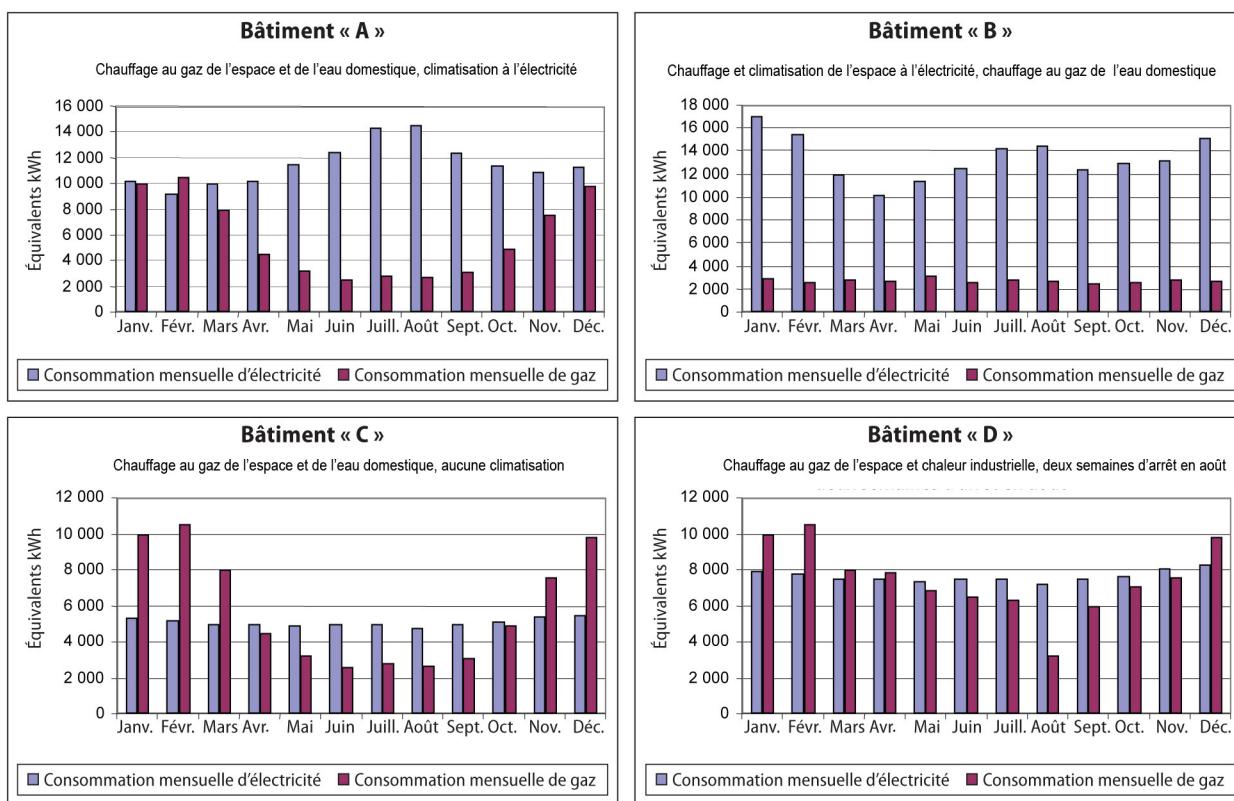
Par exemple, un établissement d'enseignement type est occupé pendant une période de 11 heures par jour, cinq jours par semaine. Le FU hebdomadaire s'élève à 55 h/168 h, ou 33 p. 100. Présumons que le calcul du FC donne une valeur de 45 p. 100. Le fait que le FC soit environ un tiers plus élevé que le FU entraîne un examen plus poussé et d'autres questions, notamment : Les systèmes fonctionnent-ils lorsque leur utilisation n'est pas nécessaire? L'établissement d'enseignement est-il occupé pendant une période plus longue que prévu? Les commandes des systèmes peuvent-elles être ajustées ou améliorées pour que les périodes de fonctionnement de ces derniers correspondent aux heures d'occupation?

4.4.2 | Analyse graphique des modèles antérieurs de consommation d'énergie

La mise en tableau des données des factures antérieures facilite également l'analyse graphique des modèles de consommation de toutes les formes d'énergie achetées. La figure 4.2 illustre les modèles de consommation du gaz et de l'électricité de quatre bâtiments différents. Dans l'ensemble, la consommation d'énergie devrait, dans une certaine mesure, être fonction du type d'équipement, des systèmes et des procédés de l'installation.

Recherchez ces modèles de consommation dans les données. Ces modèles sont souvent prévus, et l'analyse confirme simplement que certains facteurs de l'installation ont une incidence sur la consommation d'énergie. On examine ce lien plus en profondeur dans la section 5. Il arrive parfois que certains modèles ne soient pas prévus, ce qui peut représenter des possibilités de réduction de la consommation d'énergie. Par exemple, l'industrie des procédés lourds n'enregistre habituellement pas des variations saisonnières dans sa consommation d'énergie. Toutefois, si l'analyse révèle un modèle saisonnier, il sera peut-être nécessaire d'examiner l'enveloppe du bâtiment et les systèmes d'évacuation de l'air et d'air d'appoint.

Figure 4.2 Modèles antérieurs de consommation de l'énergie pour quatre installations différentes



4.4.3 | Sommaire

En résumé, on peut utiliser les modèles globaux de consommation pour aider à orienter les dernières étapes de la vérification. Une analyse de base des factures d'énergie antérieures donne un aperçu du coût unitaire de toutes les sources d'énergie achetées. Cette information servira à évaluer les économies de coûts dans les dernières étapes de la vérification.

4.5 Référence

Pour obtenir de plus amples renseignements sur les prix et tarifs du gaz, de l'électricité et des combustibles, communiquez avec vos services publics ou fournisseurs locaux.

5 ANALYSE COMPARATIVE

5.1 Introduction

Quel est le niveau de consommation d'énergie de votre organisme par rapport à celui d'industries, d'installations et d'emplacements similaires? Quel niveau de consommation d'énergie les pratiques d'exploitation exemplaires et les analyses comparatives au sein de l'industrie permettent-elles d'atteindre? Quelle est la consommation d'énergie de cette année comparativement à celle de l'an dernier? Quel est le rendement énergétique de l'installation A par rapport à celui de l'installation B?

Tel qu'on le décrit à la section 4, l'analyse des données antérieures sur la consommation d'énergie et les coûts n'est que le début, car elle sert à classer les renseignements tirés des factures et à jeter les bases pour une analyse plus détaillée du rendement énergétique. Elle procure notamment les données requises pour comparer le rendement :

- **à l'interne** – d'une période à l'autre, entre les installations ou les unités de production;
- **à l'externe** – par rapport aux normes de rendement établies dans les sous-secteurs industriels pertinents.

L'approche visant l'analyse comparative expliquée dans la présente section comporte le contrôle et le suivi. Cette méthode d'analyse statistique tient compte de facteurs ayant une incidence sur la consommation d'énergie, comme la production ou les conditions météorologiques, et procure de l'information de gestion utile sur les tendances de consommation d'énergie et les liens pouvant servir à analyser le rendement antérieur et à contrôler le rendement dans l'avenir.

Posons les questions suivantes : Où se situe le niveau actuel de consommation d'énergie de votre installation par rapport au mois dernier ou à l'année dernière? La consommation d'énergie de votre entreprise pour fabriquer les produits ou exploiter votre installation est-elle plus ou moins élevée que la consommation moyenne des entreprises de l'industrie?

Les réponses à ces questions peuvent donner un aperçu de l'ampleur des possibilités globales d'économie d'énergie pour votre usine et vous permettre d'établir des objectifs réalisables à cet égard pour votre programme de gestion de l'énergie.

Le modèle de feuille de calcul tiré du fichier [Analyse comparative.xls](#) a recours à l'analyse décrite dans la présente section.

5.2 Mise en tableau d'autres données

La section 4 porte sur la mise en tableau des données sur la consommation d'énergie et les coûts. Il est également nécessaire de déterminer les facteurs qui ont une incidence sur la consommation d'énergie et les données connexes pouvant être recueillies, s'il y a lieu. Les facteurs peuvent inclure les éléments montrés au tableau 5.1.

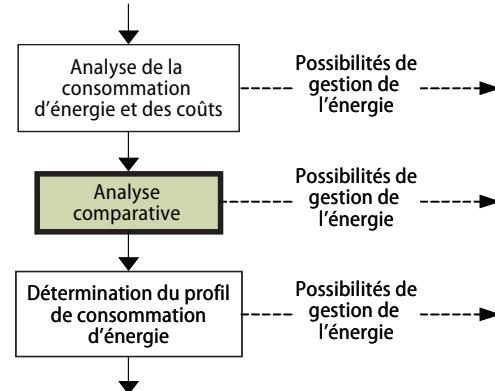


Tableau 5.1 Facteurs ayant une incidence sur la consommation d'énergie

Facteurs	Données	Unités
Produit	Quantités des produits	Quantités, volumes, etc.
Conditions météorologiques	Température de l'air extérieur	Degrés-jours
Occupation	Période d'occupation	Heures, quarts de travail, jours, horaires, etc.

Reprendons l'exemple utilisé à la section 4 sur la consommation de combustible. Nous pouvons déterminer que les conditions météorologiques et la production sont les deux seuls facteurs qui ont une incidence sur les données de consommation de combustible présentées dans le tableau. Les données sur les conditions météorologiques (degrés-jours de chauffage obtenus du bureau météorologique local) et sur la production (nombre d'unités produites) au cours de la période visée sont recueillies et saisies dans le tableau (voir le tableau 5.2).

Tableau 5.2 Analyse des données sur la consommation d'énergie thermique

Accessoires ABC Inc.				
Données sur la consommation d'énergie thermique et sur les facteurs ayant une incidence				
Date	Achat de gaz naturel (m ³)	Consommation d'énergie totale (GJ)	Conditions météorologiques (degrés-jours de chauffage)	Produits (milliers d'unités)
Janvier 2001	531 000	20 521	723,2	48
Février 2001	559 000	21 599	658,3	64
Mars 2001	520 000	20 081	589,6	59
Avril 2001	420 000	16 609	379,5	64
Mai 2001	445 000	17 182	262,8	89
Juin 2001	237 000	9 137	–	75
Juillet 2001	256 000	9 868	–	81
Août 2001	284 000	10 964	–	90
Septembre 2001	193 000	7 431	–	61
Octobre 2001	354 000	13 651	280,3	55
Novembre 2001	497 000	19 183	419,8	79
Décembre 2001	507 000	19 557	678,6	45
Totaux	4 803 000	185 783	3 992,1	810

Dans le présent exemple, on ne tient pas compte des données sur les conditions météorologiques (exprimées en degrés-jours de chauffage) pour les mois de juin à septembre, car on présume qu'au cours de la période visée, aucun chauffage des locaux n'est nécessaire dans une installation située dans l'hémisphère nord. Dans l'exemple, on ne tient pas compte non plus de l'incidence du temps chaud (souvent exprimée en degrés-jours de refroidissement), car le mazout utilisé sert uniquement à produire de la chaleur pour les procédés et le chauffage des locaux.

5.2.1 | Analyse des données

La mise en tableau des renseignements tirés des factures d'énergie au fil du temps et des données sur les principaux « facteurs » ainsi que le fait de procéder à de simples calculs présentent les avantages suivants :

- Établir un lien initial entre les données sur la consommation d'énergie et la demande et les activités d'exploitation de l'usine. Un exemple de ce lien est fourni plus loin dans la section.
- Établir des objectifs ou buts en matière d'économies.
- Relever et signaler toute hausse non prévue de la demande ou de la consommation. Les éléments responsables de cette hausse peuvent être trouvés plus tard et, au besoin, être corrigés, ce qui peut représenter une possibilité de gestion de l'énergie.
- Confirmer les économies pouvant être réalisées grâce à toute mesure d'économie d'énergie mise en œuvre. Par exemple, vous devriez être en mesure d'assurer que les systèmes de commande d'un nouveau procédé permettent de constamment réaliser des économies.
- Évaluer et comparer la consommation et la demande d'énergie d'un bâtiment à un autre ou à des normes (données de référence) en fonction de la superficie ou de la densité énergétique. D'autres renseignements sont requis, notamment les superficies des aires chauffées ou refroidies (pi^2 ou m^2) et le type de combustible de chauffage. Ces types de calculs utilisés sont également connus sous le nom d'intensité de la consommation d'énergie, budget énergétique et densité de la demande.

5.2.2 | Comparaison des données de référence

Les données sur la consommation et la production, comme celles montrées dans le tableau 5.3, peuvent servir à calculer un paramètre important : la consommation d'énergie spécifique (CES). La consommation d'énergie spécifique d'une période donnée consiste simplement en la consommation d'énergie pertinente divisée par la production. Ses unités varient selon les circonstances, et l'unité de production est fonction de l'usine et du procédé (p. ex., tonnes, kilogrammes ou autres unités de masse; unités pour l'assemblage; etc.). Les unités couramment utilisées pour l'énergie sont les kWh, MJ et GJ.

Pour les données présentées au tableau 5.3, la consommation d'énergie spécifique est la suivante :

Maximum de la semaine : 2 098 kWh/tonne

Minimum de la semaine : 744 kWh/tonne

Moyenne pour la période : 1 000 kWh/tonne

Ces données illustrent l'étendue de la variation et permettent d'effectuer des comparaisons avec des données de référence de l'extérieur.

Par exemple, les données suivantes de l'industrie peuvent être disponibles pour ce type d'usine :

Moyenne de l'industrie : 850 kWh/tonne

Pratiques exemplaires : 700 kWh/tonne

Les pratiques exemplaires représentent la consommation d'énergie spécifique réalisable en ayant recours aux pratiques exemplaires relatives aux activités d'exploitation et à l'équipement visés. En comparant ces valeurs avec celles obtenues pour votre installation, on peut tirer des conclusions simples :

- En moyenne, la consommation d'énergie pourrait être réduite de 15 p. 100.
- Les économies attribuables aux pratiques exemplaires, lesquelles pourraient entraîner une importante amélioration des activités d'exploitation et de la technologie, pourraient atteindre 30 p. 100.

On doit toutefois faire ce type de comparaison avec prudence, car on ne connaît pas les pratiques courantes de l'industrie, et il est possible que votre installation n'atteigne jamais les normes en matière de pratiques exemplaires. L'analyse comparative procure toutefois un point de départ. Par contre, l'examen des différences entre votre installation et les données de référence sur les pratiques et les technologies employées peut aider à relever des possibilités tant au chapitre des activités d'exploitation qu'à celui de la technologie.

Les deux comparaisons – à l'interne et à l'externe – montrent clairement qu'il existe des possibilités d'amélioration. Dans le présent cas, un modeste objectif de 5 p. 100 constitue un bon point de départ.

Tableau 5.3 Exemple de données sur la consommation d'énergie et la production

Semaine	Production (tonnes)	Consommation d'énergie (kWh)	Consommation d'énergie spécifique (kWh/tonne)
1	150	140 726	938
2	80	103 223	1 290
3	60	90 764	1 513
4	50	87 567	1 751
5	170	146 600	862
6	180	154 773	860
7	120	121 575	1 013
8	40	81 436	2 036
9	110	115 586	1 051
10	90	105 909	1 177
11	40	83 916	2 098
12	50	86 272	1 725
13	140	125 892	899
14	155	138 966	897
15	165	139 922	848
16	190	152 274	801
17	40	77 788	1 945
18	55	82 711	1 504
19	150	124 317	829
20	80	94 677	1 183
21	63	84 628	1 343
22	110	108 041	982
23	70	89 115	1 273
24	170	136 388	802
25	190	141 428	744
26	160	141 215	883
27	120	118 319	986
28	190	152 506	803
29	80	99 267	1 241
30	90	94 468	1 050
31	180	140 188	779
32	70	91 262	1 304
33	50	78 248	1 565
34	155	128 005	826
35	167	131 003	784
36	120	109 192	910

5.3 Comparaison à l'interne grâce au contrôle de la consommation d'énergie

Le contrôle de la consommation d'énergie sert à analyser l'information sur la consommation d'énergie en vue de relever des possibilités de gestion de l'énergie.

Par définition, le **contrôle** est la collecte régulière d'information sur la consommation d'énergie. Elle vise à établir une base pour le contrôle de la gestion, à déterminer quand et pourquoi la consommation d'énergie dévie des habitudes établies, et à jeter les assises des mesures de gestion, au besoin. Le contrôle vise essentiellement à préserver des habitudes de consommation établies.

Dans le contexte de la vérification énergétique, le contrôle de la consommation énergétique peut être effectué au cours d'une brève période. Il peut être suivi d'une analyse des données en vue d'aider à relever les possibilités de gestion de l'énergie, en particulier celles pouvant être réalisées en améliorant les pratiques d'exploitation et le contrôle des procédés.

Le contrôle de la consommation d'énergie peut être appliqué à divers systèmes et à différentes sources d'énergie et données sur les facteurs déterminants, notamment :

- consommation mensuelle de gaz de l'usine par rapport aux conditions météorologiques et à la production;
- consommation quotidienne de gaz d'une boulangerie par rapport à la production quotidienne;
- consommation d'électricité par rapport au tonnage fondu dans un four électrique;
- consommation hebdomadaire ou quotidienne de vapeur d'un atelier de teinture par rapport à la production de tissu;
- consommation quotidienne de combustible d'un four à ciment ou à chaux par rapport à la production et aux conditions météorologiques.

Une méthode d'analyse comparative à l'interne recommandée pour la vérification comporterait les aspects suivants :

- **collecte et consignation** des données sur la consommation d'énergie et les facteurs déterminants;
- réalisation d'une **analyse de régression** pour examiner les facteurs ayant une incidence sur la consommation d'énergie, et établissement d'un lien de référence pour la consommation d'énergie;
- réalisation d'une analyse des **sommes cumulées** pour examiner les déviations dans la consommation d'énergie comparativement à la base de référence;
- établissement d'un **objectif** visant la réduction du niveau de la consommation d'énergie.

Dans les sections suivantes, on explique en détail chaque étape, en donnant des exemples tirés du modèle de feuille de calcul sur l'analyse comparative présenté dans la partie intitulée « Supplément technique » du présent guide.

5.3.1 | Contrôle de la consommation d'énergie

Le contrôle de la consommation d'énergie est utilisé pour déterminer les liens entre la consommation d'énergie et les principaux « facteurs déterminants », telles la production ou les conditions météorologiques. Cette technique a recours non seulement à de l'information qualitative sur la consommation d'énergie, mais aussi à des données quantitatives. Il y a également des indicateurs qualitatifs. Par exemple, le confort des occupants dans un bâtiment est un indicateur de changement tellement sensible que les occupants remarqueront immédiatement tout léger changement des besoins énergétiques de base du bâtiment. Dans bon nombre de procédés industriels, les caractéristiques d'un produit sont déterminées par les changements découlant de l'alimentation en énergie – par exemple, la couleur d'un pain ou la siccité de l'encre.

Ces indicateurs qualitatifs sont sensibles et décelables, mais ils sont difficiles à quantifier et dépendent souvent d'une impression subjective. Le contrôle de la consommation d'énergie nécessite de l'information quantitative, laquelle est habituellement mesurée en se servant de :

- données tirées des factures d'énergie, y compris la demande et la consommation d'électricité, la consommation de combustible et les coûts;
- mesures de la consommation à certains niveaux (p. ex., le bâtiment entier, un service de production ou un système consommateur d'énergie particulier, tel un générateur d'air chaud);
- variables clés indépendantes qui ont une incidence sur la consommation d'énergie, notamment la production d'un système de fabrication, le taux et les périodes d'occupation d'un bâtiment, et les conditions météorologiques, comme les degrés-jours de chauffage.

Le contrôle de la consommation d'énergie est essentiellement une technique consistant à établir un lien quantitatif entre l'information sur la consommation et les variables indépendantes importantes.

5.3.2 | Consommation d'énergie et production

L'énergie utilisée dans les procédés de production sert habituellement à chauffer, à refroidir, à déplacer des matériaux ou à modifier leur état. Il est évidemment impossible de généraliser puisque les procédés industriels sont complexes et fort variés. Cependant, une évaluation théorique de procédés particuliers semblable à celle effectuée pour les degrés-jours permettra de tirer des conclusions similaires, c'est-à-dire qu'on peut s'attendre à ce que la relation entre la consommation d'énergie et la production donnera également une ligne droite de forme générale :

$$y = mx + c \quad (\text{équation 5.1})$$

où c , l'ordonnée à l'origine (consommation d'énergie sans charge ou sans production), et m , la pente, sont des coefficients empiriques, caractéristiques du système analysé.

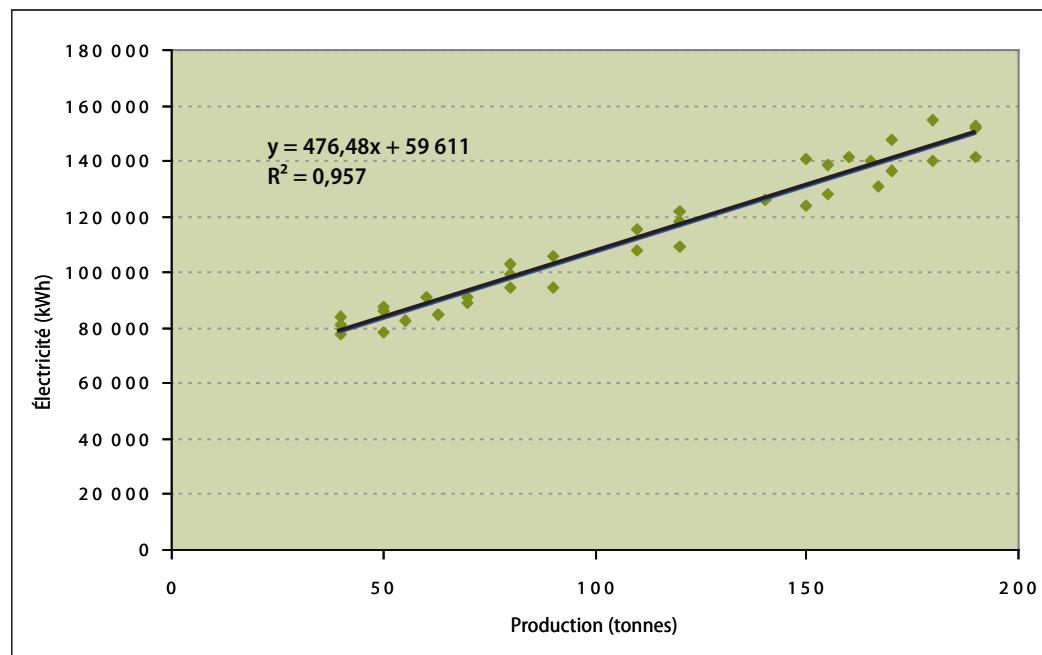
On a établi le principe selon lequel, lorsqu'elles sont utilisées seules, les données sur la consommation d'énergie sont d'une utilité limitée pour comprendre la nature du système énergétique, relever les possibilités d'amélioration du rendement ou contrôler la consommation d'énergie future. L'amélioration des données pour obtenir de l'information en vue de faciliter ces fonctions demande une analyse. Cette analyse peut être effectuée en suivant les étapes décrites ci-dessous.

La première étape consiste à déterminer le lien fonctionnel entre la consommation d'énergie et les paramètres clés (voir l'équation 5.1). Les données du tableau 5.3 illustrent ce lien pour la production.

5.3.3 | Analyse de régression

On détermine habituellement le lien fonctionnel entre la production et la consommation d'énergie par régression linéaire, c'est-à-dire en trouvant la droite du meilleur ajustement à l'aide de la méthode des moindres carrés pour positionner la consommation d'énergie par rapport à la production. La figure 5.1 montre la régression linéaire pour l'exemple de la production.

Figure 5.1 Analyse de régression



Pour l'ensemble intégral des données, le lien fonctionnel recherché est le suivant :

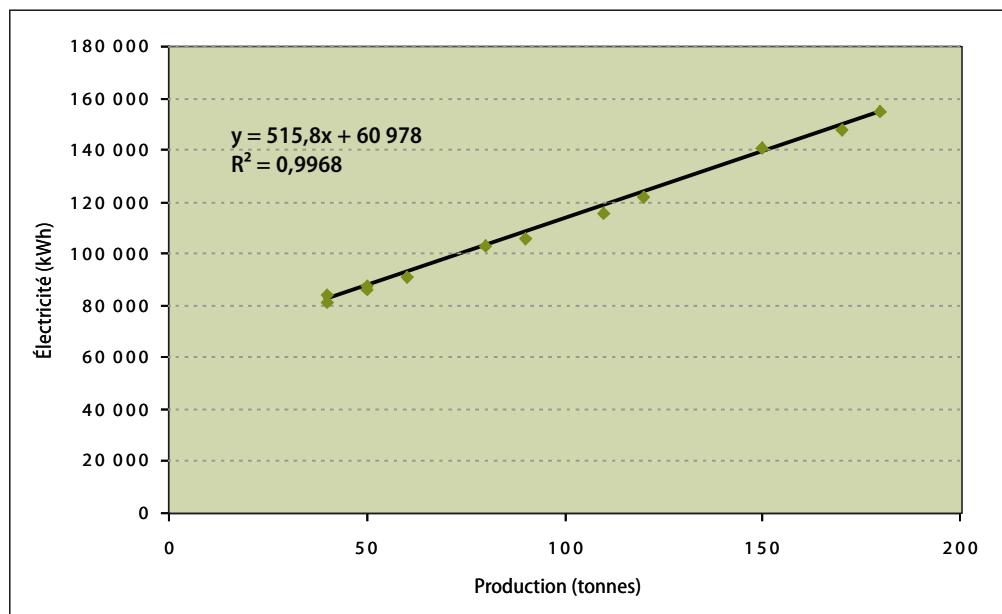
$$\text{Électricité (kWh)} = 476,48 \times \text{production (tonnes)} + 59\,611 \quad (\text{équation 5.2})$$

Toutefois, ce lien peut représenter ou non un rendement constant sur lequel les améliorations ou les bris n'ont aucune incidence. On a besoin d'une base de référence avec laquelle on peut comparer tous les autres rendements.

Dans le présent exemple, les 12 premières semaines sont le reflet de cette situation : le rendement était constant, aucune amélioration n'a été apportée et aucun bris n'est survenu. (Sans l'information sur le rendement, l'établissement de la base de référence se fait par essais et erreurs). La figure 5.2 présente la régression linéaire effectuée pour les 12 premiers points et le lien fonctionnel est le suivant :

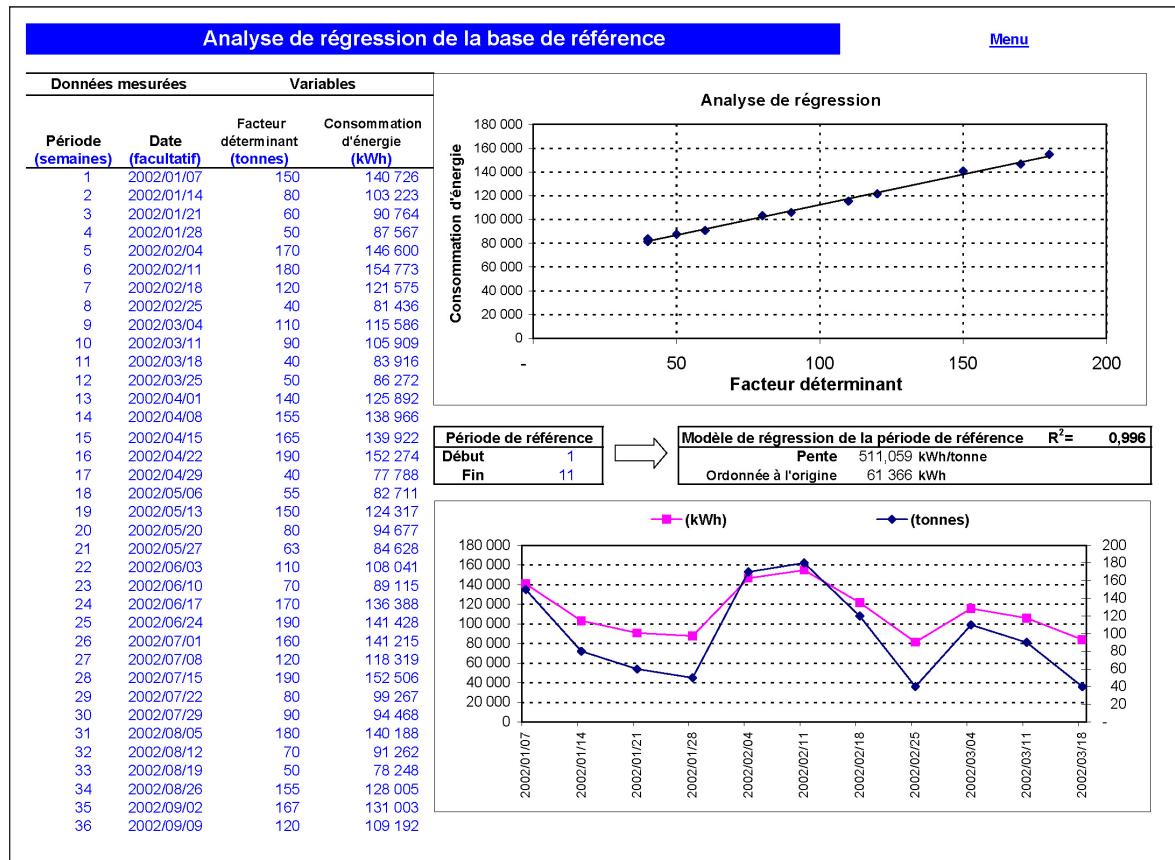
$$\text{Électricité (kWh)} = 515,8 \times \text{production (tonnes)} + 60\,978 \quad (\text{équation 5.3})$$

Figure 5.2 Régression au cours de la période de référence



C'est ce lien qui peut être utilisé comme « norme » de rendement avec laquelle les rendements subséquents et futurs peuvent être comparés.

Figure 5.3 Modèle de feuille de calcul sur l'analyse de régression
(tiré du fichier [Analyse comparative.xls](#))



La figure 5.3 montre la feuille de calcul de l'analyse de régression tirée du modèle d'analyse comparative.

On peut pondérer l'ensemble des données présentées au tableau 5.3 en prévoyant la consommation en fonction de ce lien et de l'écart entre les valeurs réelles et prévues par calcul, comme le montre le tableau 5.4.

Tableau 5.4 Comparaison des valeurs réelles et prévues sur la consommation

Semaine	Production (tonnes)	Consommation d'énergie (kWh)	Consommation d'énergie spécifique (kWh/tonne)	Consommation d'énergie prévue (kWh)	Différence (kWh)
1	150	140 726	938	138 020	2 706
2	80	103 223	1 290	102 250	973
3	60	90 764	1 513	92 030	-1 266
4	50	87 567	1 751	86 920	647
5	170	146 600	862	148 240	-1 640
6	180	154 773	860	153 350	1 423
7	120	121 575	1 013	122 690	-1 115
8	40	81 436	2 036	81 810	-374
9	110	115 586	1 051	117 580	-1 994
10	90	105 909	1 177	107 360	-1 451
11	40	83 916	2 098	81 810	2 106
12	50	86 272	1 725	86 920	-648
13	140	125 892	899	132 910	-7 018
14	155	138 966	897	140 575	-1 609
15	165	139 922	848	145 685	-5 763
16	190	152 274	801	158 460	-6 186
17	40	77 788	1 945	81 810	-4 022
18	55	82 711	1 504	89 475	-6 764
19	150	124 317	829	138 020	-13 703
20	80	94 677	1 183	102 250	-7 573
21	63	84 628	1 343	93 563	-8 935
22	110	108 041	982	117 580	-9 539
23	70	89 115	1 273	97 140	-8 025
24	170	136 388	802	148 240	-11 852
25	190	141 428	744	158 460	-17 032
26	160	141 215	883	143 130	-1 915
27	120	118 319	986	122 690	-4 371
28	190	152 506	803	158 460	-5 954
29	80	99 267	1 241	102 250	-2 983
30	90	94 468	1 050	107 360	-12 892
31	180	140 188	779	153 350	-13 162
32	70	91 262	1 304	97 140	-5 878
33	50	78 248	1 565	86 920	-8 672
34	155	128 005	826	140 575	-12 570
35	167	131 003	784	146 707	-15 704
36	120	109 192	910	122 690	-13 498

5.3.4 | Sommes cumulées

La méthode des sommes cumulées est un outil puissant pour obtenir de l'information sur la gestion, par exemple, d'un bâtiment, d'une usine ou d'un système consommateur d'énergie, tel un four ou un générateur d'air chaud. Elle permet d'établir une différence entre les événements importants qui ont une incidence sur le rendement (c.-à-d., problèmes ou améliorations) et sur le bruit.

Le terme « différence » de l'expression « sommes cumulées des différences » désigne les écarts entre la consommation réelle et la consommation prévue en fonction de certains modèles établis. Si la consommation continue de suivre les modèles établis, les différences entre la consommation réelle et les modèles établis seront petites et aléatoirement positives ou négatives. Au fil du temps, les sommes cumulées de ces différences demeureront près de zéro.

Lorsque les modèles changent en raison d'un problème ou d'une amélioration du procédé à l'étude, la distribution des différences supérieures et inférieures à zéro devient moins symétrique, et les sommes cumulées augmentent ou diminuent avec le temps. Le graphique des sommes cumulées consiste donc en des sections droites séparées par des déviations; chaque déviation représente un changement dans les modèles de consommation, et chaque section droite indique une période où les modèles sont stables.

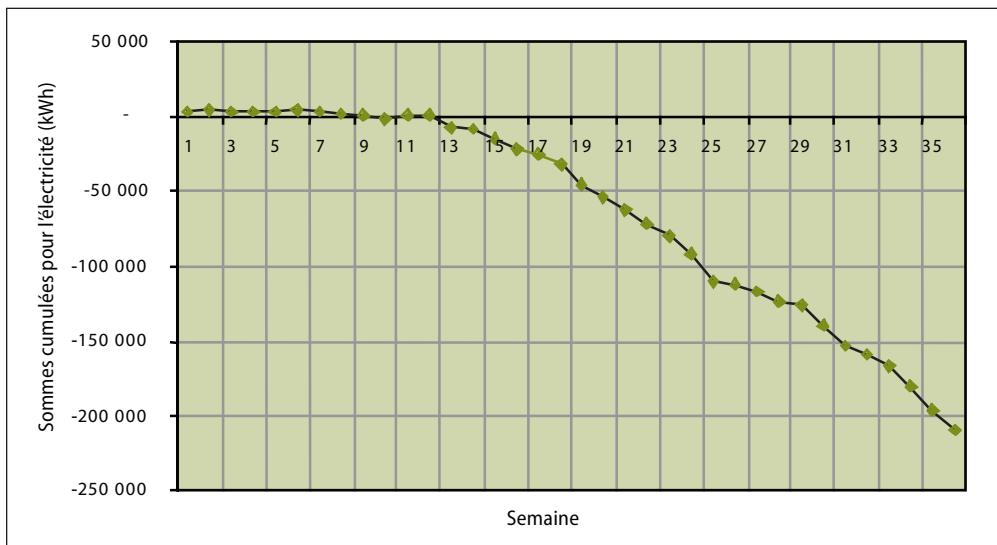
Les sommes cumulées sont calculées en accumulant les différences entre le rendement prévu et le rendement réel, comme le montre la version finale de l'exemple de l'ensemble des données (voir le tableau 5.5). Les valeurs des sommes cumulées sont ensuite reportées sur le graphique en série chronologique, comme le montre la figure 5.4.

Tableau 5.5 Données de production en utilisant la méthode des sommes cumulées

Semaine	Production (tonnes)	Consommation d'énergie (kWh)	Consommation d'énergie spécifique (kWh/tonne)	Consommation d'énergie prévue (kWh)	Déférence (kWh)	Sommes cumulées (kWh)
1	150	140 726	938	138 020	2 706	2 706
2	80	103 223	1 290	102 250	973	3 679
3	60	90 764	1 513	92 030	-1 266	2 413
4	50	87 567	1 751	86 920	647	3 060
5	170	146 600	862	148 240	-1 640	1 420
6	180	154 773	860	153 350	1 423	2 843
7	120	121 575	1 013	122 690	-1 115	1 728
8	40	81 436	2 036	81 810	-374	1 354
9	110	115 586	1 051	117 580	-1 994	-640
10	90	105 909	1 177	107 360	-1 451	-2 091
11	40	83 916	2 098	81 810	2 106	15
12	50	86 272	1 725	86 920	-648	-633
13	140	125 892	899	132 910	-7 018	-7 651
14	155	138 966	897	140 575	-1 609	-9 260
15	165	139 922	848	145 685	-5 763	-15 023
16	190	152 274	801	158 460	-6 186	-21 209
17	40	77 788	1 945	81 810	-4 022	-25 231
18	55	82 711	1 504	89 475	-6 764	-31 995
19	150	124 317	829	138 020	-13 703	-45 698
20	80	94 677	1 183	102 250	-7 573	-53 271
21	63	84 628	1 343	93 563	-8 935	-62 206
22	110	108 041	982	117 580	-9 539	-71 745
23	70	89 115	1 273	97 140	-8 025	-79 770
24	170	136 388	802	148 240	-11 852	-9 122
25	190	141 428	744	158 460	-17 032	-10 854
26	160	141 215	883	143 130	-1 915	-11 069
27	120	118 319	986	122 690	-4 371	-11 440
28	190	152 506	803	158 460	-5 954	-12 094
29	80	99 267	1 241	102 250	-2 983	-12 377
30	90	94 468	1 050	107 360	-12 892	-13 669
31	180	140 188	779	153 350	-13 162	-14 931
32	70	91 262	1 304	97 140	-5 878	-15 509
33	50	78 248	1 565	86 920	-8 672	-16 481
34	155	128 005	826	140 575	-12 570	-17 751
35	167	131 003	784	146 707	-15 704	-19 255
36	120	109 192	910	122 690	-13 498	-20 653

Les points critiques du graphique sur les sommes cumulées sont les changements dans la pente de la droite. On repère facilement ces changements – et on détermine leur emplacement avec plus de précision – en plaçant des lignes droites sur les sections qui ont une pente plus ou moins constante. On constate des changements de pente aux semaines 12, 18, 25 et 30.

Figure 5.4 Exemple de graphique sur les sommes cumulées pour la production



Plus précisément, pour ce qui est du processus à l'étude, le graphique indique ce qui suit :

- Deux mesures de réduction de la consommation ont été prises; une mesure a été mise en œuvre la semaine 12 et l'autre, la semaine 18.
- La première mesure a entraîné des économies de 73 500 kWh, tandis que la deuxième a permis de réaliser des économies de 36 800 kWh jusqu'à la semaine 25, période à laquelle des problèmes sont survenus.
- La deuxième mesure a été reprise à la semaine 30 et, à la fin de la série des données, les économies réalisées grâce aux deux mesures s'élevaient à 201 300 kWh.

La feuille de calcul intitulée « Analyse comparative » (tirée du fichier [Analyse comparative.xls](#)) procure des outils d'analyse des sommes cumulées qui peuvent être adaptés à pratiquement tout ensemble de données semblables à celles présentées dans l'exemple précédent.

5.4 Établissement des objectifs

La vérification énergétique peut être menée dans le but de trouver des moyens d'atteindre un objectif établi au préalable. Par ailleurs, l'information recueillie grâce à la vérification peut également servir à établir un objectif réaliste.

L'établissement d'un objectif est davantage un art qu'une science; toutefois, certaines techniques permettent de fixer des objectifs réalistes.

Données de référence sur le rendement

On a déjà mentionné que les comparaisons à l'interne et à l'externe du rendement énergétique peuvent aider à fixer des objectifs de rendement. Une analyse comparative des procédés ou des bâtiments du portefeuille du propriétaire – c'est-à-dire une comparaison entre la consommation d'énergie actuelle et antérieure – est une forme d'analyse comparative reposant sur une norme interne plutôt qu'à l'échelle du secteur ou de l'industrie. Cette approche est adéquate pour les bâtiments et l'industrie. Elle est habituellement représentée sous une forme graphique, soit par un diagramme en bâtons ou à colonnes, pour comparer les données de la période actuelle avec celles d'une période antérieure similaire.

Indicateur de rendement normalisé

Une connaissance du rendement de l'ensemble de l'industrie peut mener à l'établissement d'objectifs de réduction de la consommation d'énergie plus audacieux. Il peut toutefois être difficile de se procurer de telles données de référence, même si certaines associations industrielles recueillent et communiquent des données sur le rendement sectoriel. Il est habituellement possible d'obtenir des données sur le rendement de type particulier de bâtiments pour effectuer des comparaisons.

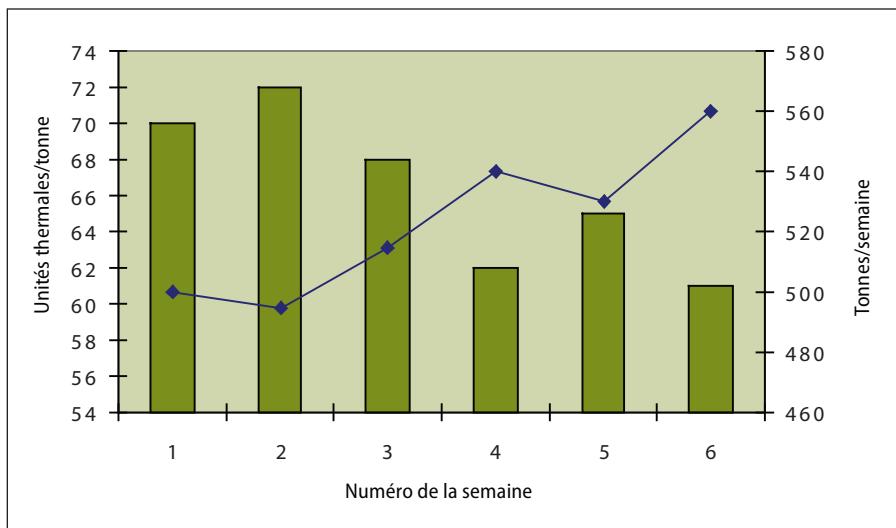
L'indicateur de rendement normalisé est un outil permettant de quantifier le rendement énergétique d'un bâtiment. Il sert d'éalon de mesure pour la consommation d'énergie, comme les kWh/m²/an (toutefois, dans le secteur des soins de santé, les comparaisons reposent en général sur le volume du bâtiment, à savoir les m³). Le calcul est effectué avec les données sur la consommation d'énergie annuelle totale et la surface de plancher ou le volume d'un bâtiment. Le rapport énergétique peut alors être normalisé en se reportant à des tableaux qui renferment les heures de fonctionnement, les conditions météorologiques, et autres. Les indicateurs de rendement normalisés servent à indiquer le rendement en fonction de la consommation d'énergie totale d'une installation, d'une source d'énergie particulière (p. ex., gaz naturel, électricité, mazout) ou d'une utilisation dans l'installation (p. ex., chauffage de l'espace, chaleur industrielle).

Consommation d'énergie spécifique

La consommation d'énergie spécifique (CES) s'applique à l'industrie. Il s'agit simplement de la consommation d'énergie divisée par une mesure de production appropriée (p. ex., tonnes d'acier, nombre d'accessoires). Elle peut être calculée pour une période fixe ou par lot. Il faut toutefois l'appliquer avec prudence, car une variation peut être attribuable à des facteurs comme les économies d'échelle ou des problèmes de production plutôt qu'à la gestion de l'énergie en soi.

Bon nombre de méthodes d'analyse comparative des procédés reposent sur la CES, et un grand nombre d'entreprises s'en servent en raison de sa facilité d'utilisation. Toutefois, certains spécialistes estiment que la CES est trop simpliste et comporte des erreurs. La figure 5.5 illustre la CES pour la fusion du verre.

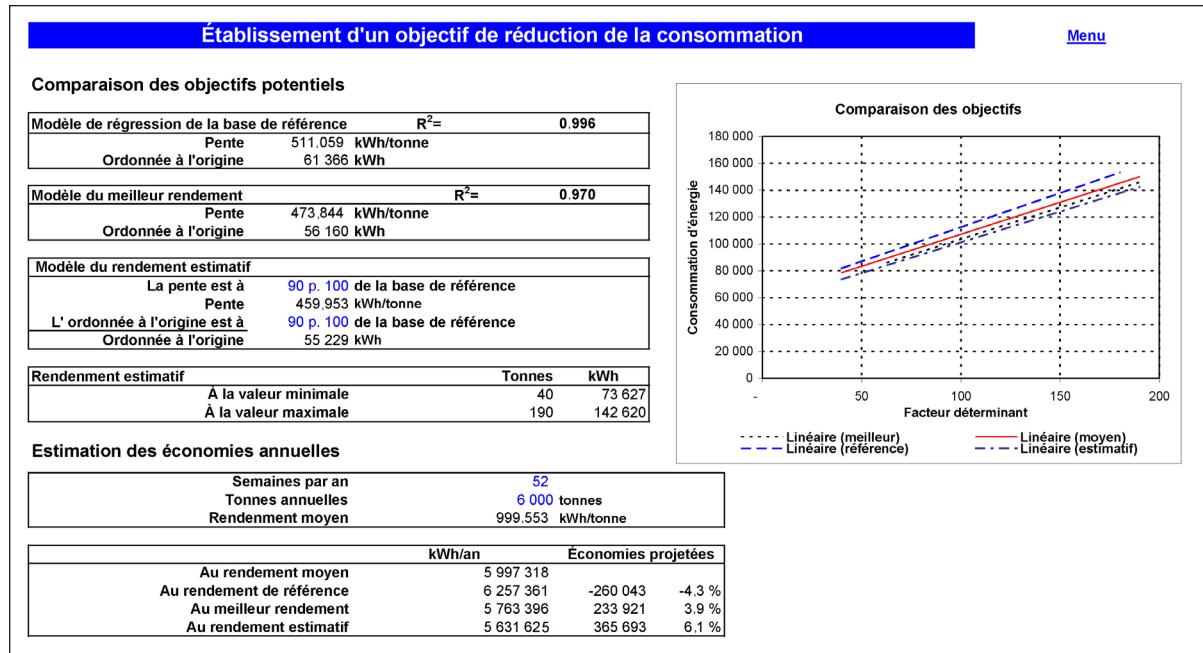
Figure 5.5 CES pour la fusion du verre



Objectifs préliminaires

Lors de la mise en place d'un programme de contrôle et de suivi, il est souvent approprié de recourir à la consommation standard comme objectif, du moins pour les premières semaines.

La consommation standard repose sur le rendement moyen antérieur et, par conséquent, le fait de constamment atteindre cet objectif ne permettra pas de réaliser des économies. Étant donné que le rendement standard représente une moyenne, il suit ce rendement et dépasse ce niveau d'efficacité pendant une période importante de temps, maintenant ainsi la motivation des utilisateurs du service public à réaliser des économies. Ces derniers estiment que l'objectif est réaliste et, en outre, diminuent la consommation élevée. Dans le diagramme de dispersions, les points situés au-dessus de la droite du meilleur ajustement sont tassés vers la droite, et des économies sont réalisées. La figure 5.6 – fiche tirée du modèle d'analyse comparative – montre un objectif préliminaire reposant sur le rendement moyen antérieur.

Figure 5.6 Feuille de calcul sur l'établissement d'objectifs (tirée du fichier [Analyse comparative.xls](#))

La figure 5.6 montre également que les objectifs reposent sur :

- le modèle de référence – maintien du *statu quo*;
- la période du meilleur rendement – dates choisies au cours d'une période antérieure ou de la période à l'étude;
- le rendement estimatif – basé sur un rendement supérieur arbitraire ou estimé par rapport au rendement moyen.

Révision des objectifs

Une fois le programme de contrôle et de suivi en place, l'objectif préliminaire fondé sur le rendement standard sera facilement atteint et un nouvel objectif devrait être fixé. À cet égard, plusieurs méthodes peuvent être utilisées, notamment :

- utilisation comme objectif de l'ajustement optimal des données améliorées, ce qui donnera un objectif modeste qui est habituellement réalisable;
- établissement comme objectif du meilleur rendement antérieur, ce qui donne l'objectif le plus exigeant, mais tout de même réalisable si des efforts sont déployés;
- établissement d'un objectif reposant sur des mesures convenues visant à réaliser des économies particulières quantifiables;
- établissement d'un objectif en fonction d'un pourcentage arbitraire d'améliorations du rendement actuel. Même s'il est arbitraire, l'objectif sera réalisable s'il est choisi adéquatement. Il faut éviter d'opter pour un objectif dépassant le meilleur rendement antérieur, car il sera probablement difficile à atteindre et par conséquent évité. Cette méthode n'est pas recommandée.

Peu importe la méthode utilisée, il est essentiel que le personnel de chaque service participe à l'établissement des objectifs et indique ceux qu'il estime être réalistes ou non réalistes. Autrement, le personnel clé n'appuiera pas le programme de contrôle et de suivi, et les objectifs ne seront pas atteints.

5.5 Référence

Ressources naturelles Canada. *Gérance énergétique*, Ateliers « Le gros bon \$ens » .
oee.rncan.gc.ca/industriel/formation-sensibilisation/ge.cfm

6 DÉTERMINATION DU PROFIL DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE

6.1 Introduction

Le profil de demande électrique renferme une foule de renseignements sur les activités de votre installation. Ce registre du temps de la consommation d'énergie procure de l'information sur les charges électriques applicables à tout moment et sur la demande globale qu'elles représentent. Par ailleurs, un profil de demande peut permettre de relever l'application de charges à des moments où ces dernières ne sont pas requises et d'identifier des systèmes dont la capacité est inappropriée. En raison du fait que le coût de l'électricité est en partie déterminé par la demande maximale, la réduction de la demande peut entraîner une baisse considérable des coûts énergétiques.

Selon la taille de votre installation et les ressources dont vous disposez, il peut être possible d'installer des compteurs – même temporairement – à divers endroits de votre installation en vue de produire un profil de la demande électrique. Comme autre possibilité, votre service public d'électricité peut être en mesure de vous fournir un profil de demande électrique ou vous aider à l'obtenir.

Même si le profil de demande est une mesure de l'énergie électrique, il fournit également de l'information sur la consommation d'autres sources d'énergie. Le profil de demande procure l'empreinte opérationnelle, ou la signature énergétique, d'une installation et constitue un élément essentiel de toute vérification énergétique. On présente d'autres méthodes de détermination du profil ou de consignation de données à la section 6.6 et à la section C-4, « Instrumentation pour la vérification énergétique ».

6.2 Qu'est-ce qu'un profil de demande?

Le profil de demande d'une installation, d'un bâtiment, d'un branchement principal ou de tout utilisateur d'électricité est simplement un enregistrement de la demande de puissance (taux d'utilisation de l'énergie) au fil du temps. Il a pour objectif de procurer des renseignements détaillés sur la façon dont l'énergie est utilisée dans l'ensemble d'une installation. Le profil de demande est essentiellement « l'empreinte électrique » de l'installation et constitue un outil extrêmement utile pour faire un suivi de la consommation d'énergie.

La forme la plus simple d'un profil de demande est une série de relevés manuels des compteurs électriques effectués chaque mois, jour, heure ou, dans la mesure du possible, plus fréquemment. L'intervalle est fonction de l'utilisation prévue de l'information obtenue. Le tableau 6.1 montre un exemple de profil de demande pour lequel un relevé a été effectué manuellement chaque heure.

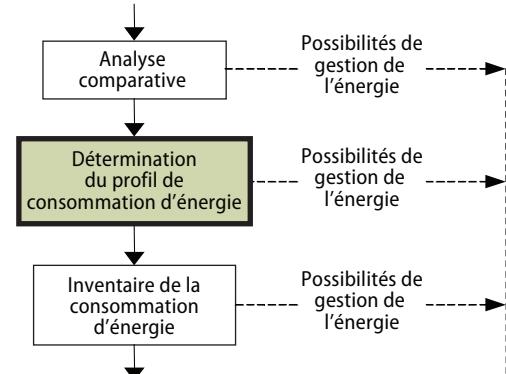
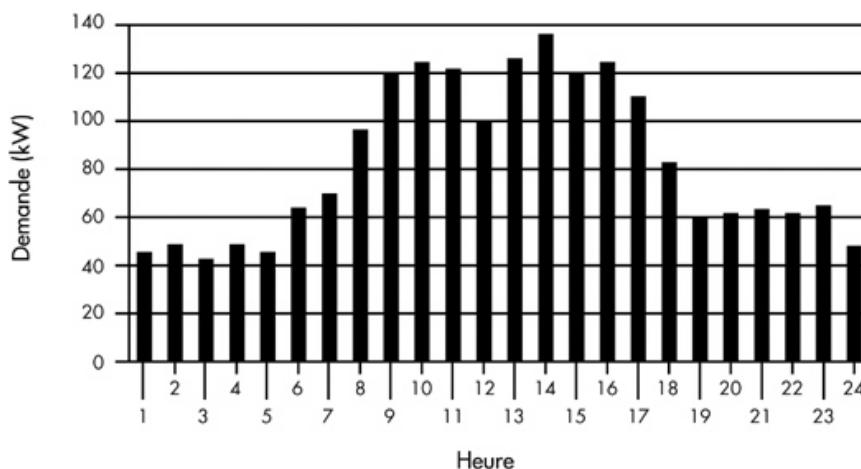


Tableau 6.1 Profil de demande (tabulaire) établi au moyen de relevés manuels

Heure	kW	Heure	kW	Heure	kW
1 h	45	9 h	120	17 h	110
2 h	47	10 h	122	18 h	82
3 h	43	11 h	121	19 h	60
4 h	46	12 h	100	20 h	61
5 h	45	13 h	124	21 h	63
6 h	62	14 h	135	22 h	61
7 h	69	15 h	120	23 h	65
8 h	95	16 h	123	24 h	50

On peut trouver sur la plupart des factures d'électricité l'information nécessaire pour établir un profil de demande mensuel. Avec ce type de profil, on ne recueille évidemment que 12 valeurs pendant une année.

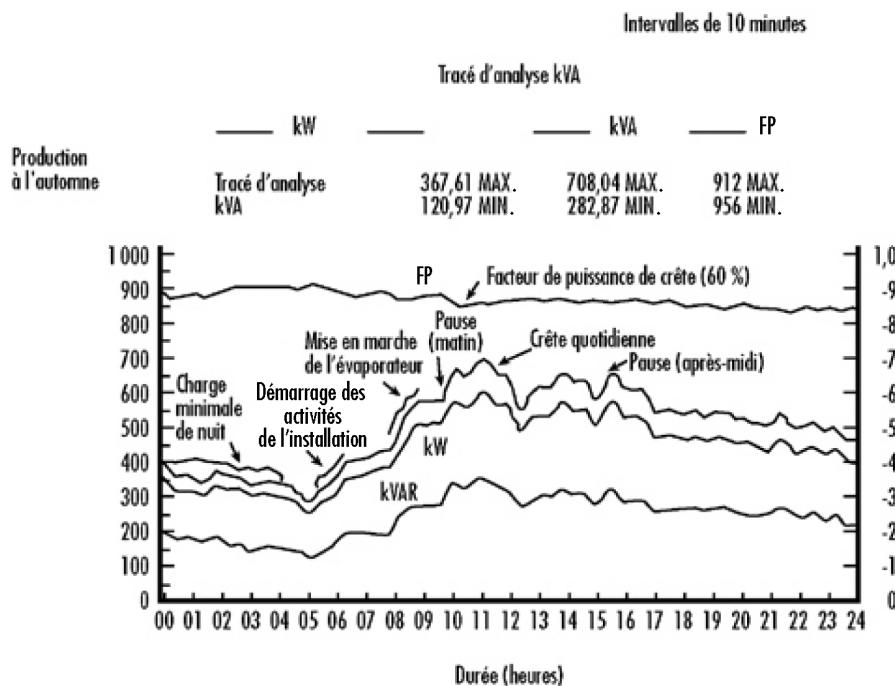
Outre leur consignation manuelle dans un tableau, comme le montre le tableau 6.1, les relevés de la demande peuvent être présentés dans un graphique semblable à celui de la figure 6.1. Ce type de présentation facilite la comparaison des niveaux de demande relative au cours de la journée, et permet de relever rapidement les heures de demande de puissance de crête de même que les caractéristiques de démarrage et d'arrêt.

Figure 6.1

La figure 6.2 illustre la forme la plus courante du profil de demande. Le profil porte sur une période d'environ 24 heures. Il est préférable qu'il comporte un peu plus de 24 heures.

La demande de puissance correspond à l'axe vertical tandis que la durée (en heures) correspond à l'axe horizontal.

Figure 6.2



Un wattmètre enregistreur a été utilisé pour produire le profil de demande montré à la figure 6.2. Les lectures sont généralement enregistrées automatiquement à moins d'une minute d'intervalle. Dans certains cas, les lectures peuvent être rajustées par l'enregistreur pour correspondre à celles obtenues par le compteur du service public.

Le profil de la figure 6.2 comporte des renseignements sur la puissance réelle, mesurée en kilowatts (kW) et en kilovoltampères (kVA), ainsi que sur le FP. Des wattmètres enregistreurs plus perfectionnés peuvent enregistrer ces valeurs ainsi que la tension triphasée, le courant et la qualité de l'électricité.

Une comparaison des figures 6.1 et 6.2 montre clairement l'avantage que présente l'utilisation d'un wattmètre enregistreur. Même si un profil avec intervalles d'une heure demeure un bon point de départ, un wattmètre enregistreur permet de recueillir beaucoup plus de renseignements.

Comme l'illustre le tableau 6.2, bon nombre de renseignements utiles peuvent être tirés du profil de demande.

Tableau 6.2 Éléments à examiner dans un profil de demande

Renseignements	Description
Demande de crête	On peut déterminer l'heure, l'amplitude, la durée des périodes ou les périodes de demande de crête.
Charge de nuit	On peut clairement identifier la demande de nuit (ou pendant les heures d'inactivité).
Démarrage	On peut déterminer l'incidence du démarrage des activités sur la demande et la demande de crête.
Arrêt	On peut identifier la quantité de charge supprimée lors des arrêts. Cette quantité devrait correspondre à la charge supplémentaire requise au démarrage.
Incidence des conditions météorologiques	On peut relever l'incidence des conditions météorologiques sur la demande d'électricité pendant le jour et la nuit (avec changement des températures), et d'une saison à l'autre, en comparant les profils de demande de chaque saison.
Charge cyclique	On peut habituellement déterminer le cycle d'application de bon nombre de charges dans le profil de demande. On peut comparer ce cycle avec les utilisations prévues.
Interaction	Les interactions entre les systèmes peuvent être évidentes; par exemple, on constate une hausse des besoins en chauffage électrique lorsque les registres de ventilation sont ouverts.
Incidence de l'occupation	Souvent, les heures d'occupation d'une installation ont un impact sur le profil de demande. Si ce n'est pas le cas, cela pourrait être signe d'un problème de commande.
Incidence de la production	Comme dans le cas de l'occupation, l'incidence d'une charge accrue sur l'équipement de production devrait être évidente dans le profil de demande. Encore une fois, si ce n'est pas le cas, cela pourrait être signe d'un problème.
Problèmes particuliers	On peut habituellement repérer facilement un compresseur fonctionnant en cycle court dans le profil de demande.

Les renseignements pouvant être obtenus à partir d'un profil de demande ne se limitent pas aux éléments présentés ci-dessus; ces derniers sont parmi les plus évidents. En établissant le profil de demande de services ou d'autres sections de l'installation, vous pourrez recueillir des renseignements détaillés sur les modèles de demande d'électricité de l'installation.

6.3 Comment obtenir un profil de demande

Les profils de demande d'une installation peuvent être obtenus au moyen de diverses méthodes :

- relevés périodiques d'un compteur électrique;
- mesures au moyen de pinces ampèremètres enregistreuses;
- wattmètres enregistreurs ordinaires et multivoies;
- système de gestion de l'énergie de l'installation;
- système de contrôle spécialisé.

Bien que la lecture périodique des compteurs de service public soit la méthode la moins coûteuse et la plus simple à mettre en œuvre, elle ne permet de recueillir qu'un nombre limité de données. À l'opposé, les enregistreurs multivoies (système de contrôle spécialisé) sont des appareils coûteux et complexes qui permettent toutefois de recueillir une foule de renseignements, depuis la puissance réelle jusqu'à la qualité énergétique. Des renseignements sur les instruments utilisés pour préparer des profils de demande sont présentés à la section C-4, « Instrumentation pour la vérification énergétique ».

Quelle que soit la méthode utilisée, il importe de mesurer le profil de demande à un moment représentatif des activités de l'installation et, dans la mesure du possible, dans des conditions où la demande de crête est égale à la demande de crête enregistrée par le compteur d'électricité pour la période de facturation. Ceci est important car l'établissement du profil de charges vise principalement à identifier les charges qui contribuent à la demande de crête facturée.

6.3.1 | Relevés périodiques des compteurs d'électricité

Avec cette méthode manuelle, les relevés sont effectués toutes les heures sur un compteur qui est facile d'accès. Les principaux inconvénients de cette méthode sont la résolution temporelle limitée (forçant la personne interprétant les données à évaluer la valeur des charges entre les relevés) et le travail imposé au personnel (la prise des relevés pourrait être une tâche adéquate dans le cadre d'un emploi pour étudiant). La méthode présente comme avantages sa simplicité, l'absence de coûts des investissements et le fait que les relevés correspondent exactement à ceux du service public. Les autres méthodes ne permettent pas d'établir aussi facilement une correspondance entre les données.

6.3.2 | Ampèremètre enregistreur

Un ampèremètre enregistreur est un ampèremètre à une ou trois phases raccordé à un dispositif qui mémorise régulièrement les relevés. Il peut être installé sur les conducteurs d'alimentation de l'installation pour enregistrer le courant au fil du temps. Les données recueillies ensuite peuvent être combinées avec la tension du réseau et le FP pour obtenir une estimation du relevé de la demande. Le dispositif d'enregistrement, qui peut être un appareil informatisé, est habituellement un enregistreur à déroulement continu.

Le plus grand inconvénient de cette méthode est qu'elle ne permet pas de mesurer la puissance réelle (kW) ou la puissance réactive (kVA). Elle part plutôt du principe que l'intensité du courant est proportionnelle à la puissance. Ceci n'est vrai que lorsque deux conditions existent :

- La tension au branchement principal de l'installation est toujours constante, sinon l'erreur introduite dépendra directement de la variation de la tension. Cette hypothèse est acceptable étant donné la variation de tension normalement prévue.
- Le FP est constant à tous les niveaux de la demande. Cette hypothèse est discutable. La seule façon de la vérifier est de mesurer le FP au moyen de la méthode décrite plus haut, en fonction des niveaux de demandes variés, par exemple à 25, 50, 75 et 100 p. 100 de la demande de crête. Si un changement important du FP est constaté, la précision de cette méthode est discutable.

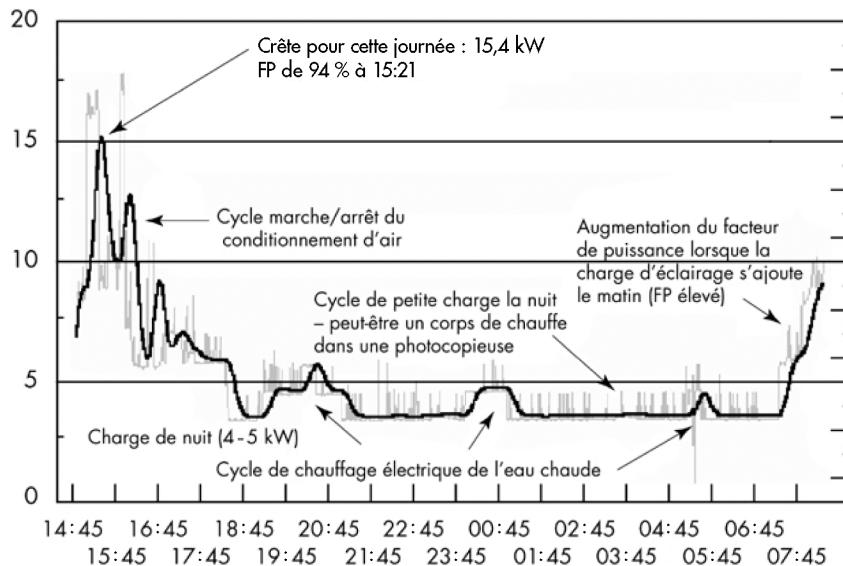
6.3.3 | Wattmètres enregistreurs ordinaires et multivoies

Ces appareils de mesure du profil de demande sont pratiquement les mêmes, sauf que l'appareil ordinaire n'enregistre habituellement qu'une seule valeur (kW ou kVA), alors que les appareils multivoies permettent d'enregistrer les kW, les kVA, le courant en phase, la tension, le FP global et d'autres paramètres.

Le wattmètre enregistreur mesure simultanément jusqu'à trois phases d'intensité de courant et de tension et calcule électroniquement les kW, les kVA et le FP. Un dispositif d'enregistrement à bande magnétique, à déroulement de papier ou à mémorisation de données par microprocesseur permet d'enregistrer toute l'information en vue d'une utilisation ultérieure.

Lorsqu'on utilise des données d'un profil de demande recueillies par un wattmètre enregistreur ou un ampèremètre, il faut tenir compte du fait que le wattmètre permet d'effectuer un grand nombre de relevés par minute. Ce type d'appareil est capable d'enregistrer des changements très rapides de la demande de puissance contrairement aux compteurs électriques qui n'en sont pas capables (voir la figure 6.3). Un compteur électrique standard effectue la moyenne de la demande des 15 dernières minutes. Certains modèles de wattmètre effectuent une moyenne, d'autres non. L'interprétation du profil de demande (voir la section 6.4) doit en tenir compte.

Figure 6.3 Relevés du wattmètre par rapport aux données moyennes sur 15 minutes



6.3.4 | Système de gestion de l'énergie dans une installation

Cette méthode offre comme principal avantage la collecte de mesures de façon continue et routinière. Des données sont constamment disponibles, et l'analyse peut être intégrée à un programme quotidien de gestion de l'énergie. Les systèmes de gestion de l'énergie en place dans les installations permettent souvent de prendre ces mesures, mais ne disposent tout simplement pas des capteurs de puissance nécessaires (watts). Les inconvénients peuvent inclure l'insuffisance de mémoire pour stocker des valeurs (ce qui nécessite l'impression ou le téléchargement périodiques des données), une résolution temporelle limitée des mesures et une faible précision des relevés due aux transducteurs ou au petit nombre d'installations.

6.3.5 | Système de contrôle spécialisé

Un système de contrôle spécialisé mesure, à tout le moins, la consommation d'électricité au branchement principal. En général, ces systèmes sont mis en place en vue d'obtenir des mesures de compteur divisionnaire sur certaines parties de l'ensemble de l'installation. Les systèmes de contrôle sont habituellement conçus pour prendre des mesures précises ainsi que pour stocker et présenter efficacement des données. Les mesures de nombreux autres paramètres peuvent être mises en corrélation avec la demande pour faciliter l'analyse des profils de demande. Les systèmes de contrôle spécialisés sont généralement au cœur des grands systèmes de contrôle et de suivi totalement intégrés.

6.4 Analyse du profil de demande

Le profil de demande est l'empreinte électrique des modèles de consommation d'électricité d'une installation. En lisant ou en interprétant le profil, on peut obtenir des renseignements clés, notamment les charges fonctionnant continuellement qui pourraient être interrompues, les charges qui accentuent inutilement la demande de crête et les charges dont le fonctionnement n'est pas normal et qui nécessitent une intervention.

Bon nombre de charges électriques laissent des empreintes très distinctes lorsqu'elles sont appliquées. En reconnaissant les modèles associés à chaque élément, il est possible d'identifier les diverses charges qui composent le profil général de la demande.

L'interprétation d'un profil de demande est plus qu'une science (compétences techniques), c'est aussi un art (aptitudes en interprétation). Une bonne connaissance de l'installation, des charges qui y sont appliquées et des habitudes opérationnelles ainsi que les exemples de la présente section constituent un bon point de départ pour développer cet art.

Étape 1

Commencez par dresser la liste ou l'inventaire des charges électriques qui s'appliquent dans une installation. On décrit comment procéder à la section 7.

Étape 2

Étudiez le profil de demande et encernez ou notez tous les éléments significatifs, notamment :

- changements brusques de la demande;
- les trois demandes les plus élevées;
- modèles répétitifs;
- sections horizontales;
- chutes pendant les périodes de crête;
- niveau minimal de la demande.

Cette liste est partielle et chaque profil de demande est différent. Notez tout ce qui peut paraître significatif.

Étape 3

Indiquez le long de l'échelle de temps l'heure de la journée à laquelle des événements significatifs se produisent, notamment :

- démarages et arrêts;
- pauses;
- heures de repas;
- changements de quart;
- autres changements importants (fonctionnement d'un procédé particulier).

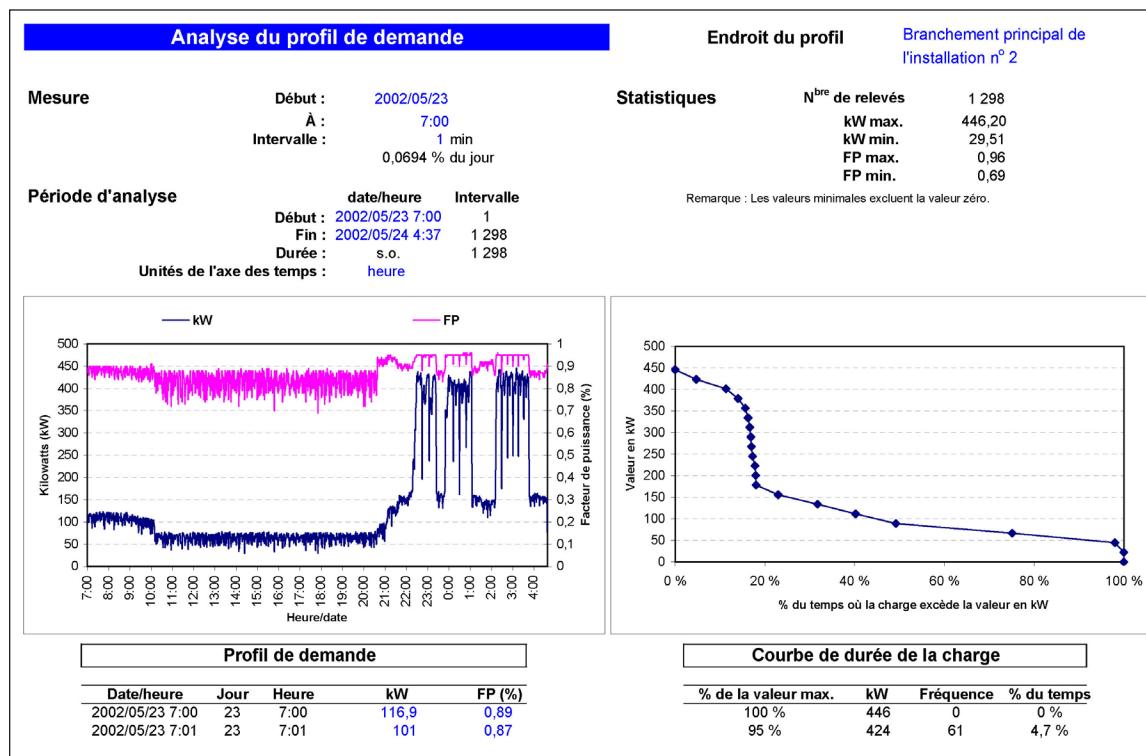
Le but est de repérer les corrélations qui peuvent exister entre les éléments relevés à l'étape 2 et le profil d'exploitation de l'installation.

Étape 4

Étudiez les exemples de la section suivante. Notez les modèles de consommation et les interprétations données, puis essayez de faire correspondre ces modèles et formes des activités de votre installation avec les exemples. Vous devriez obtenir globalement un profil annoté semblable à celui de la figure 6.3.

Les feuilles de calcul sont des moyens pratiques d'analyser les profils. Le modèle de feuille de calcul sur les profils ([Profil.xls](#)) du présent guide constitue un outil simple pour mettre en graphique et analyser les données du profil. La figure 6.4 présente un exemple d'analyse du profil de demande d'une installation industrielle.

Figure 6.4 Feuille de calcul pour l'analyse du profil de demande (tirée du fichier [Profil.xls](#))



Outre la représentation connue des séries chronologiques du profil de demande, le modèle de feuille de calcul fournit une courbe de la durée de la charge, qui est essentiellement un histogramme de la charge en fonction du temps. Cette courbe montre le temps pendant lequel la charge se situe au-dessus d'une certaine valeur. Cette courbe simplifie l'évaluation des possibilités de contrôle de la demande. Dans l'exemple, la demande atteint un maximum de 446 kW et la demande se situe entre 424 et 446 kW pendant 4,6 p. 100 du temps. Ceci signifie que pour réduire la demande de 22 kW (446 kW moins 424 kW), l'usine devra fonctionner en mode de contrôle ou de limite de la demande pendant près de 5 p. 100 du temps.

6.5 Possibilités d'économie révélées à l'aide du profil de demande

Le profil de demande permet souvent de cerner des possibilités d'économie. Les paragraphes suivants donnent des exemples représentatifs des possibilités d'économie :

- Une demande de crête particulièrement élevée par rapport au reste du profil pendant une courte durée pourrait être réduite en modifiant les horaires de travail.
- Une charge de nuit élevée dans une installation ne tenant aucune activité au cours de cette période pourrait être réduite en améliorant les commandes manuelles ou automatiques ou en utilisant des minuteries pour arrêter l'équipement dont le fonctionnement n'est pas requis pendant toute la nuit.
- Il peut être possible d'arrêter complètement les charges qui ont des cycles intermittents fréquents au cours des périodes d'inoccupation.
- Une demande élevée ou une chute négligeable de cette dernière pendant les pauses du personnel de production d'une installation peut indiquer un coût élevé du fonctionnement au ralenti des appareils. Envisagez l'arrêt de l'équipement au cours de ces périodes.
- Assurez-vous que les systèmes ne sont pas en marche avant ou après leur utilisation. Une seule demi-heure par jour peut entraîner des économies considérables si la charge est élevée.
- Les périodes de demande de crête au moment des démarrages pourraient être évitées en démarrant l'équipement par étape afin de réduire la charge.
- Si la demande maximale facturée n'est pas évidente sur un profil de demande type, cela indique que la ou les charges qui déterminent la demande ne sont peut-être pas nécessaires (si elles ne s'appliquent qu'une fois de temps en temps). Envisagez la planification ou l'élimination de ces charges. Vérifiez également les factures antérieures pour voir si la demande de crête est conséquente.
- Les charges importantes qui ont des cycles intermittents fréquents peuvent entraîner une demande de crête plus élevée et une efficacité d'utilisation moindre qu'un appareil plus petit fonctionnant sans arrêt. Envisagez l'utilisation de dispositifs ou d'appareils plus petits placés en étage. Cette stratégie peut également permettre de réduire l'entretien car les arrêts et les démarrages provoquent une plus grande usure.
- Les charges ayant de courts cycles offrent des possibilités d'économie pour l'entretien et la prévention des pannes.
- Dans certains cas, les charges non essentielles peuvent être provisoirement annulées pendant les périodes de crête. Cette méthode est connue sous le nom d'écrêtement de la demande de crête.

6.5.1 | Possibilités d'économie par la correction du FP

Il faut tenir compte du FP dans l'analyse des factures d'électricité. La valeur du FP peut être donnée sur votre facture du service public; toutefois, le FP est habituellement mesuré avec la demande. Lorsqu'elles sont analysées avec le profil de demande, les valeurs du FP facilitent l'interprétation des mesures à l'origine des changements de la demande. Par conséquent, il est utile d'envisager les possibilités d'économie liées au FP.

Le profil de demande de la figure 6.2 montre les valeurs du FP pendant la journée, y compris l'heure de la demande de crête ou de la demande maximale. Les clients facturés en fonction de la demande de kVA ont la possibilité de diminuer leur demande de crête ou maximale de kVA en augmentant leur FP. Comme on le décrit à la section C-1, « Principes de base de l'énergie », le FP est le rapport entre la puissance réelle en kilowatts (kW) et la puissance apparente en kilovoltampères (kVA). À l'aide d'un condensateur ou d'une batterie de condensateurs, il est possible de réduire la demande de kVA tout en maintenant la consommation de la puissance réelle (c.-à-d., la demande de kW).

Dans les faits, seul le FP de crête a une réelle importance du point de vue du coût de la demande.

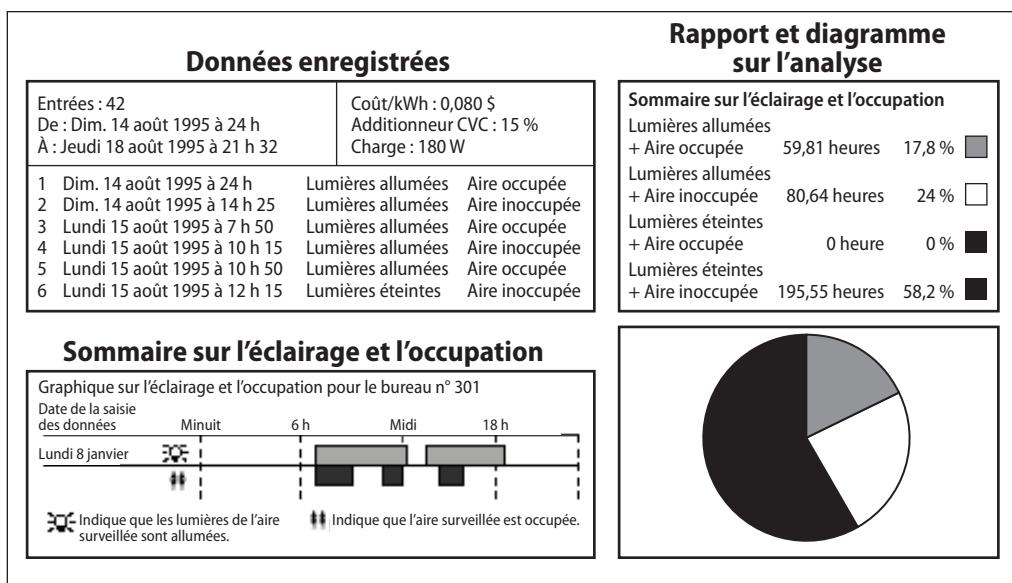
- Correction du FP au branchement principal : Ceci peut être effectué en ajoutant une batterie de condensateurs fixes, à condition que la charge et le FP soient constants. Sinon, une batterie variable de condensateurs est nécessaire (c.-à-d., une batterie qui se règle elle-même en fonction de la charge et du FP).
- Correction du FP au réseau de distribution : Lorsque d'importantes batteries de charge sont dirigées en une seule au sein du réseau de distribution, l'installation des condensateurs au point de commutation peut présenter un avantage. Il est également possible de libérer de l'intensité de courant au sein du réseau de distribution, ce qui constitue un autre avantage.
- Correction du FP au point d'utilisation : Lorsqu'un grand nombre de moteurs démarrent et s'arrêtent fréquemment ou ne sont que partiellement chargés, il peut être avantageux du point de vue de l'exploitation d'installer des condensateurs de correction du FP aux points d'utilisation (c.-à-d., aux moteurs). De cette manière, les condensateurs de correction sont mis en fonction au démarrage du moteur et sont mis hors tension à l'arrêt du moteur.
- Utilisation de moteurs synchrones pour corriger le FP : Les condensateurs des très gros systèmes peuvent être gros et compliqués. Une solution de rechange consiste à faire appel à un gros moteur synchrone en surexcitation qui peut avoir la même incidence dans les circuits électriques qu'un condensateur.

6.6 Autres profils utiles

Bien que le profil de demande procure une foule d'information sur les systèmes consommateurs d'électricité, des profils peuvent être produits pour un grand nombre d'autres paramètres pour des périodes plus courtes dans le cadre de la vérification. La section C-4.12, « Enregistreur de données compact », présente certaines applications types qui décrivent le but général des enregistreurs de données spécialisés. Le recours à l'un de ces appareils permet habituellement de relever des possibilités de gestion de l'énergie.

Un enregistreur capteur de lumière et détecteur de présence combiné est un exemple de ce type d'appareil. La figure 6.5 donne un exemple des résultats obtenus à l'aide de l'appareil, montrant les moments où une aire est occupée et où les lumières sont allumées. L'enregistreur de données indique rapidement les avantages liés à l'installation d'un détecteur de mouvement pour l'éclairage, car les lumières demeurent allumées dans une aire inoccupée 24 p. 100 du temps.

Figure 6.5 Exemple de résultats obtenus à l'aide d'un enregistreur de données spécialisé
(reproduit avec l'autorisation de The Watt Stopper Inc.)



7 INVENTAIRE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

7.1 Introduction

Le profil de demande (c.-à-d., la description du temps d'utilisation et de l'amplitude des charges électriques) et l'inventaire des charges sont deux des outils dont le vérificateur énergétique aura besoin pour procéder à une évaluation exhaustive d'une installation. Ces outils sont complémentaires car ils fournissent des renseignements quantitatifs sur les systèmes consommateurs d'énergie d'une installation.

Le vérificateur énergétique doit savoir où est consommée l'énergie, la quantité utilisée par chaque système et la part de tous les systèmes dans la charge totale. En outre, il est utile de connaître la façon dont la charge totale d'énergie est distribuée parmi les divers systèmes.

L'inventaire des charges est une manière systématique de recueillir et de traiter ce type de renseignements. Il s'agit d'un outil utile pour entreprendre des évaluations de « simulation » des mesures proposées, c'est-à-dire une évaluation de l'incidence des améliorations ou d'autres modifications technologiques ou opérationnelles.

7.2 Inventaire des charges électriques

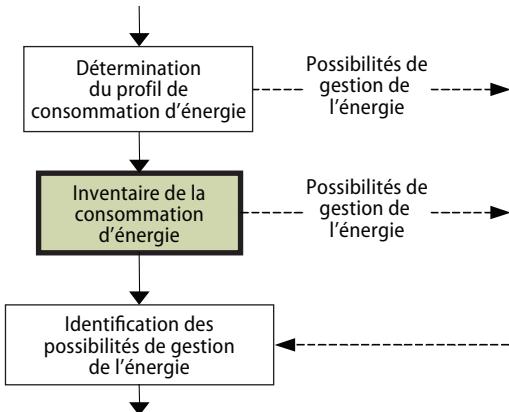
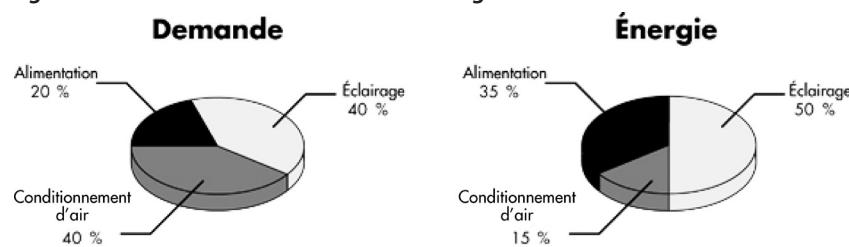
Une liste ou un inventaire de toutes les charges électriques d'une installation permet de répondre à deux questions importantes :

- **Où** l'électricité est-elle utilisée?
- **Quelle quantité** d'électricité est utilisée dans chaque catégorie et à **quelle vitesse**?

L'identification des catégories d'utilisation permet souvent de repérer facilement les gaspillages, ce qui mène généralement à des possibilités d'économie peu coûteuses. En identifiant les charges à forte consommation, vous pouvez envisager en premier les meilleures possibilités d'économie. Étant donné que l'inventaire permet également de quantifier la demande (la vitesse à laquelle l'électricité est utilisée) liée à chaque charge ou groupe de charges, il constitue un moyen inestimable pour aider à interpréter le profil de demande (voir la section 6, « Détermination du profil de consommation d'énergie »).

La figure 7.1 illustre une façon de présenter les résultats de l'inventaire des charges.

Figure 7.1 Résultats de l'inventaire des charges



7.2.1 | Comment effectuer un inventaire des charges

On présente ci-dessous une méthode permettant d'effectuer un inventaire des charges au moyen des formulaires et des calculs décrits à la section C-5, « Méthode d'inventaire des charges électriques ». Cette méthode est expliquée dans les pages qui suivent avec des exemples de fiches tirées du modèle de feuille de calcul sur l'inventaire des charges inclus dans le « Supplément technique ».

Outre les formulaires (en format papier ou électronique), une planchette à pince, un crayon et une calculatrice sont requis. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des instruments; une simple pince ampèremètre est probablement l'outil le plus utile. Cette dernière et d'autres instruments sont décrits dans la section C-4, « Instrumentation pour la vérification énergétique ».

Pour commencer un inventaire des charges, il faut choisir la **période** au cours de laquelle l'inventaire sera effectué. Cette période correspond à celle de la facture d'électricité (habituellement un mois, bien qu'elle puisse également être d'une journée, d'une semaine ou d'une année). Choisissez la période qui convient le mieux à vos activités. Déterminez la **demande réelle en kW** et la **consommation d'énergie en kWh** pour la période choisie. Si cette période est d'un mois, utilisez les renseignements fournis sur la facture du service public. Si la demande de l'installation est mesurée en kVA, vous devrez convertir les kVA en kW à l'aide du FP de crête (voir la section C-1, « Principes de base de l'énergie »).

Identifiez chaque catégorie principale d'utilisation de l'électricité dans l'installation. Pour ce faire, il vous sera peut-être nécessaire de vous déplacer dans l'installation et de noter les catégories à mesure que vous les voyez. Pour établir les diverses catégories d'utilisation, tenez compte du type de consommation d'électricité et des activités de chaque aire. Une bonne méthode consiste à établir les catégories en fonction des modèles d'activités opérationnelles similaires. La figure 7.2 montre des catégories d'utilisation et l'information tirée des factures.

Figure 7.2 Feuille de calcul des catégories d'utilisation de l'inventaire des charges (tirée du fichier [Inventaire des charges.xls](#))

Inventaire des charges					
Pour : Installation de fabrication ABC					
n°	Description des groupes de charges	Demande de crête (kW)	%	Consommation d'énergie (kWh)	%
1	Moteurs	28	60 %	47 247	74 %
2	Éclairage	4	9 %	5 640	9 %
3	Chauffage	5	10 %	6 000	9 %
4	Procédés	9	19 %	4 000	6 %
5	Autres charges	1	2 %	920	1 %
Total pour l'installation		47	100 %	63 807	100 %
Factures mensuelles du service public		55	kW	12 000	kWh
Différence entre l'inventaire des charges et les factures		-8	-15 %	51 807	432 %

La figure 7.2 montre également la demande de crête et la consommation d'énergie pour chaque aire d'utilisation. Ces valeurs ont été calculées avec les données de charge et de temps pour les charges individuelles. Les deux calculs les plus courants sont :

- la méthode de charge de moteur – permet d'évaluer les charges électriques liées aux moteurs à partir de la puissance, de la charge et du rendement du moteur;
- la méthode de la charge (en kW) raccordée nominale ou mesurée – permet d'évaluer la consommation de puissance de sortie utile à l'aide du régime nominal de la charge ou de la puissance mesurée à l'aide d'un wattmètre.

La section C-5 renferme des renseignements sur ces méthodes et une autre méthode plus détaillée portant sur le courant et la tension.

La figure 7.3 présente des exemples de feuilles de calcul à utiliser avec la méthode de charge de moteur et la méthode de la charge (en kW) raccordée nominale ou mesurée.

Figure 7.3 Feuilles de calcul de l'inventaire des charges (tirées du fichier Inventaire des charges.xls)

Inventaires des charges des moteurs								Voir sommaire
Pour l'installation de fabrication ABC								
Sous-totaux pour les moteurs				47 247 kWh		28 kW (crête)		
Description des moteurs	Quant.	Moteur Puissance	Charge	Rendement	Unité (kW)	Total (kW)	Heures/ mois	Facteur de diversité
Ventilateurs - système 1	1	75	100 %	90 %	62,2	62,2	760	47 247
								0,45
								28,0

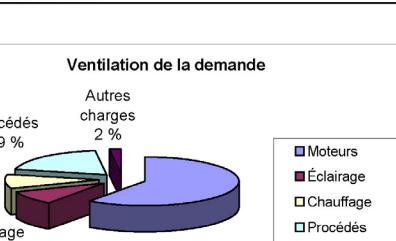
Inventaires des charges de l'éclairage								Voir sommaire
Pour l'installation de fabrication ABC								
Sous-totaux pour l'éclairage				5 640 kWh		4 kW (crête)		
Description des charges	Quant.	Unité (kW)	Total (kW)	Heures/ mois	Total (kWh)	Facteur de diversité	Demande de crête (kW)	
Aire de bureaux								
Éclairage fluorescent (4 pieds)	200	0,47	9,4	600	5 640	0,45	4,2	

Une fois que toutes les charges de toutes les catégories sont répertoriées, la demande totale et la consommation d'énergie peuvent être comparées avec les données des factures du service public pour la période visée. Des diagrammes à secteurs peuvent être créés à l'aide de l'information contenue dans les sommaires. La figure 7.4 montre un inventaire partiellement complété pour lequel la concordance n'a pas encore été effectuée avec les factures du service public.

Figure 7.4 Sommaire de l'inventaire des charges avec des diagrammes à secteurs (tiré du fichier Inventaire des charges.xls)

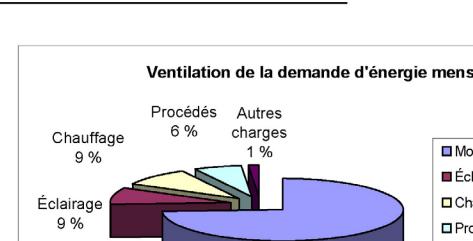
Inventaire des charges					
Pour : Installation de fabrication ABC		Demande de crête (kW)		Consommation d'énergie (kWh)	
n°	Description des groupes de charges	crête (kW)	%	d'énergie (kWh)	%
1	Moteurs	28	60 %	47 247	74 %
2	Éclairage	4	9 %	5 640	9 %
3	Chaussage	5	10 %	6 000	9 %
4	Procédés	9	19 %	4 000	6 %
5	Autres charges	1	2 %	920	1 %
Total pour l'installation		47	100 %	63 807	100 %
Factures mensuelles du service public		55	kW	12 000	kWh
Différence entre l'inventaire des charges et les factures		-8	-15 %	51 807	432 %

Ventilation de la demande



Type de charge	Pourcentage
Moteurs	60 %
Éclairage	9 %
Chaussage	10 %
Procédés	19 %
Autres charges	2 %

Ventilation de la demande d'énergie mensuelle

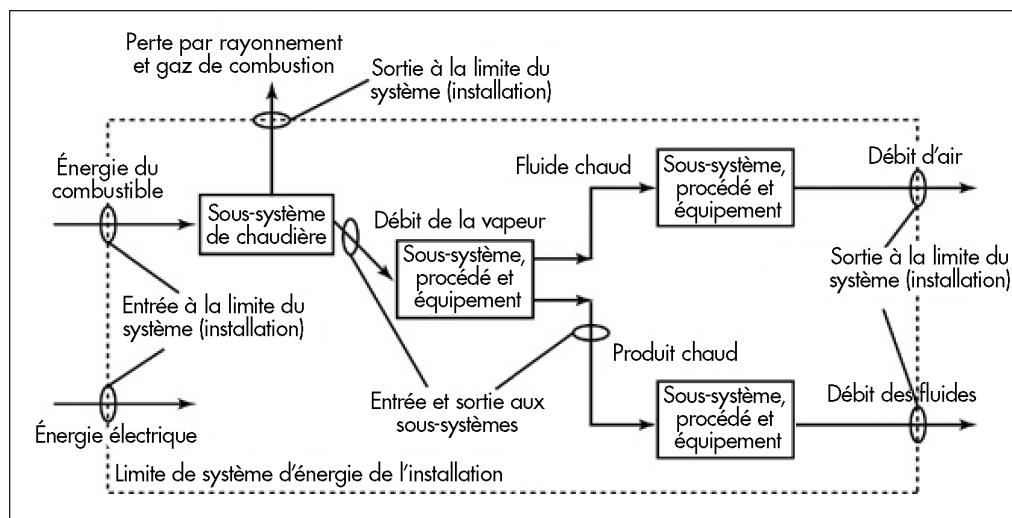


Type de charge	Pourcentage
Moteurs	74 %
Éclairage	9 %
Chaussage	9 %
Procédés	6 %
Autres charges	1 %

7.3 Inventaire de la consommation d'énergie thermique – Identification des flux d'énergie

L'utilisation d'un schéma des flux d'énergie permet de simplifier l'identification des flux d'énergie thermique liés à chaque utilisation de l'énergie dans une installation. Pour être utile, le schéma doit indiquer tous les flux d'énergie entrants, tous les flux d'énergie sortants et tous les flux d'énergie importants à l'intérieur de l'installation.

Figure 7.5 Schéma de flux d'énergie



Étant donné que le schéma sur le flux d'énergie ne vise pas à montrer en détail un procédé, il ne présente habituellement pas les dispositifs et appareils particuliers qui se trouvent dans les divers « blocs » de sous-systèmes. Ce qui importe à la présente étape, c'est d'illustrer les flux d'énergie.

La somme des sorties d'énergie doit être égale aux entrées d'énergie achetée. Une image complète des importants flux d'énergie internes et des flux entrants et sortants permet d'avoir une vue d'ensemble qui révèle souvent des possibilités de réduction de la consommation d'énergie et de sa récupération.

7.3.1 | Identification du type de flux d'énergie

Le tableau 7.1 présenté ci-après peut servir de liste de contrôle pour aider à cerner les flux d'énergie thermique sortants d'un sous-système ou d'une installation. Même si cette liste ne renferme pas tous les types potentiels de flux d'énergie, elle contient les types les plus courants – c'est-à-dire ceux qui offrent souvent des possibilités d'économie d'énergie.

Tableau 7.1 Liste de contrôle des flux d'énergie thermique sortants

Type de flux d'énergie	Exemple	Équipement/fonctions
Conduction	Murs, fenêtres	Structure du bâtiment
Débit d'air – sensible	Évacuation générale	Systèmes d'air d'appoint et d'évacuation d'air, admission d'air de combustion
Débit d'air – latent	Évacuation du sécheur	Conduit d'évacuation de l'appareil de blanchiment, ventilation de bassin, séchage de procédé, conduit d'évacuation d'un équipement
Fluide chaud ou froid	Évacuation d'eau chaude	Eau chaude domestique, eau chaude de traitement, eau de refroidissement de procédé, compresseurs d'air à refroidissement par eau
Pertes de chaleur dans les tuyaux	Tuyaux de vapeur	Tuyaux de vapeur, tuyaux d'eau chaude, tout tuyau chaud
Pertes de chaleur dans les réservoirs	Réservoir de fluide chaud	Réservoirs de stockage et de rétention
Chaleur produite par les systèmes de réfrigération	Entreposage froid	Refroidisseurs, congélateurs, refroidissement des procédés, climatisation
Fuites et évacuation de la vapeur	Évent à vapeur	Installation de chaudière, système de distribution, appareils à vapeur

7.3.2 | Calculs permettant d'estimer les flux d'énergie sortants

On explique à la section C-1 comment calculer les flux d'énergie thermique. Le modèle de feuille de calcul tiré du fichier [Inventaire de la consommation d'énergie thermique.xls](#), permet d'automatiser bon nombre de ces méthodes. La figure 7.6 présente des exemples de calcul de l'énergie contenue dans la chaleur latente des débits d'air humide et de vapeur.

Figure 7.6 Modèle de feuille de calcul de l'énergie thermique (tiré du fichier [Inventaire de la consommation d'énergie thermique.xls](#))

Débit d'air – Chaleur latente								Menu			
Description	Débit d'air (litres/s)	T _{élevée} (°C)	HR _{élevée} (%)	T _{bassee} (°C)	HR _{bassee} (%)	H _{élevée} (g/kg)	H _{bassee} (g/kg)	Débit de chaleur (kW)	Heures mensuelles	Consommation d'énergie mensuelle (kWh)	(GJ)
Évacuation du sécheur	2 000	40	90 %	20	50 %	43,8	7,3	219,8	732	160 920	579,3
Conduction											
Description	Superficie (m ²)	Conductance (W/m ² °C)	T _{élevée} (°C)	T _{bassee} (°C)	Débit de chaleur (kW)	Heures mensuelles	Consommation d'énergie mensuelle (kWh)	(GJ)			
Toit de l'entrepôt	100	0,900	20	5	1,35	732	988	3,6			
Débit, fuites et coûts de la vapeur											
Description	Type de débit de vapeur	Spécificateur de dimension	Pression manométrique de la vapeur (kPa)	Débit de la vapeur (kg/h)	Enthalpie de la vapeur (kJ/kg)	Débit de chaleur (kW)	Heures mensuelles	Consommation d'énergie mensuelle (kWh)	(GJ)		
Petit sécheur dans l'usine B	Panache	Longueur (mm x 100)	20,0	520	105,6	2 758	81	732	59 245	213,3	

7.3.3 | Calculs permettant d'estimer les flux d'énergie entrants

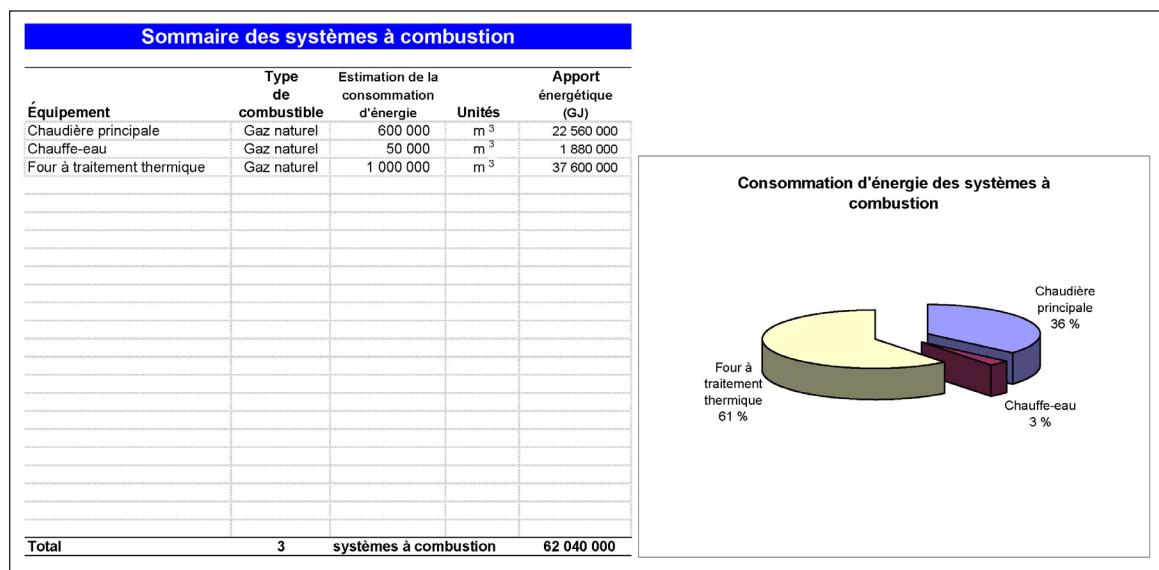
Un schéma des flux d'énergie aide à quantifier les taux (kW) et la quantité (GJ par jour, mois ou année) des entrées d'énergie.

Dans de nombreux cas, l'information nécessaire pour effectuer ces calculs est facilement accessible pour plusieurs procédés et pièces d'équipement.

Régimes nominaux

Il est possible d'obtenir des données sur les exigences en énergie thermique à l'aide des caractéristiques de l'équipement. Le régime de l'équipement à combustion est déterminé en fonction du pouvoir calorifique du combustible. Le régime des chaudières au mazout est souvent donné en fonction de l'apport en énergie comme les Btu/h ou MBtu/h. À l'aide des heures de fonctionnement de l'équipement, la consommation d'énergie peut être évaluée avec les méthodes de calcul de la consommation données à la section C-1, « Principes de base de l'énergie ». La figure 7.7 présente un exemple d'inventaire d'apport calorifique tiré d'un modèle de feuille de calcul sur les systèmes à combustion.

Figure 7.7 Feuille de calcul représentant les systèmes à combustion (tirée du fichier [Systèmes à combustion.xls](#))



Débit de la vapeur

Votre installation peut être dotée d'un système de mesure du débit de la vapeur. L'équipement ayant recours à la vapeur a des besoins particuliers en matière de débit de la vapeur. La section C-1 explique en détail les méthodes d'évaluation de la consommation d'énergie de ces débits de vapeur. La figure 7.8 montre un exemple de feuille de calcul permettant d'évaluer le coût de l'énergie liée à la vapeur.

Figure 7.8 Feuille de calcul des coûts de la vapeur (tirée du fichier [Inventaire de la consommation d'énergie thermique.xls](#))

Évaluation du coût de la vapeur saturée

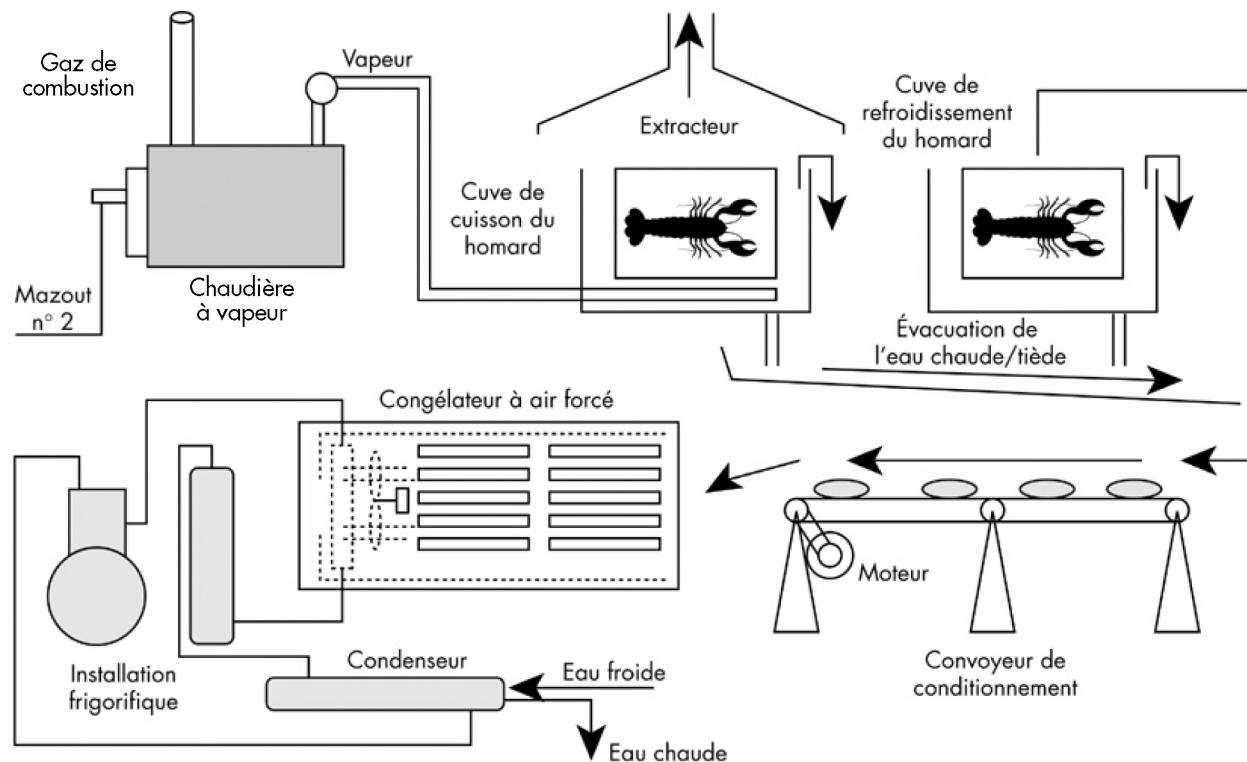
Coût différentiel du combustible	0,25 \$ /l'unité
Teneur énergétique	37,60 MJ /l'unité
Rendement de la chaudière	76 %
Pression manométrique de la vapeur saturée	700,0 kPa
Enthalpie de la vapeur (vapeur et eau)	2 769 kJ/kg
Coût par 1 000 kg	24,23 \$/1 000 kg
Coût par 1 000 lb	11,01 \$/1 000 lb

Remarque : Les valeurs d'enthalpie de la vapeur sont calculées pour la vapeur saturée à l'aide d'une approximation d'une précision de +/- 1 %.

Application à un exemple de système énergétique

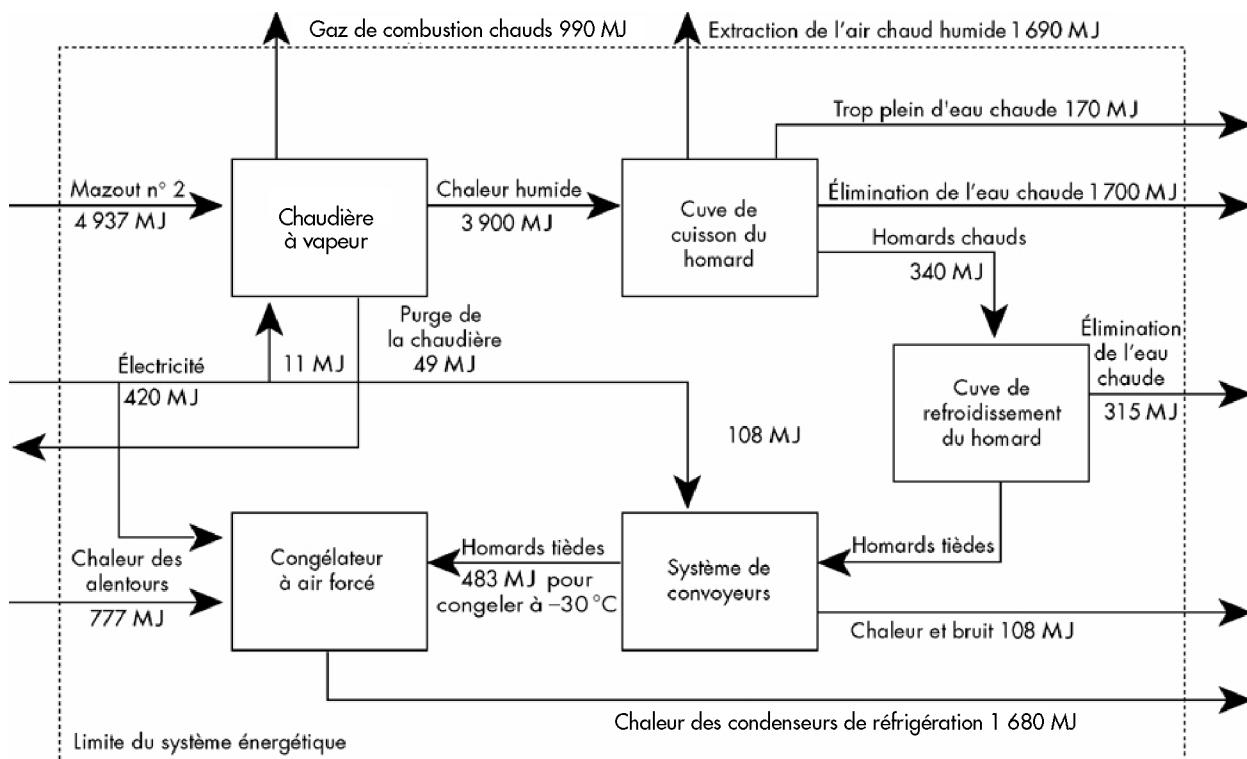
La section 7.3 présente le concept du schéma des flux d'énergie comme moyen d'établir un inventaire de la consommation d'énergie thermique d'une installation. La figure 7.9 illustre un système simple de traitement industriel des aliments.

Figure 7.9 Système de traitement industriel des aliments



La figure 7.10 représente un schéma simplifié des flux d'énergie, qui a aidé à répertorier la consommation d'énergie montrée dans le tableau 7.2. Tous les calculs ont été effectués à l'aide des méthodes présentées dans ce chapitre.

Figure 7.10 Schéma des flux d'énergie



Tous les chiffres indiquant des quantités d'énergie correspondent à une journée d'exploitation de l'usine de traitement de homards, soit une période de 10 heures. La chaleur de fusion (congélation et fonte) de l'eau a été fixée en théorie à 360 kJ/kg. La quantité de homards traités pendant cette période de 10 heures a été fixée en théorie à l'équivalent d'une capacité de chaleur de 1 000 kg d'eau. La température de référence de l'eau était théoriquement de 10 °C.

Tableau 7.2 Inventaire de la consommation d'énergie

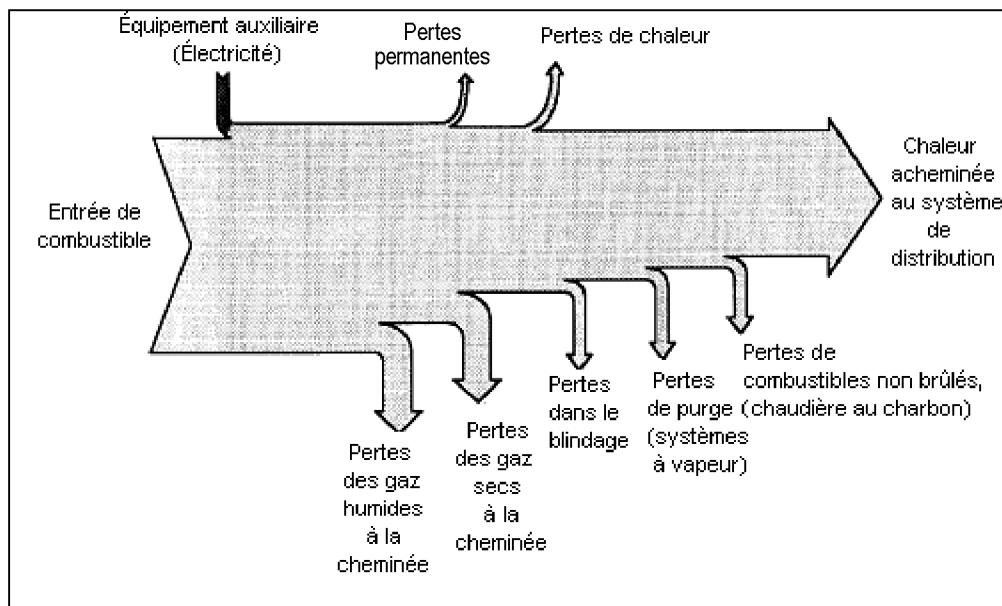
Flux d'énergie	Base des calculs de la consommation d'énergie	Énergie (MJ)
Mazout n° 2	127 litres par jour	4 937 MJ
Électricité	150 kWh par jour	539 MJ
Gaz de combustion chauds	20 p. 100 de l'énergie pour la chaudière	990 MJ
Pertes de purge	1 p. 100 pour le combustible	49 MJ
Chaleur humide	79 p. 100 d'énergie dans la chaudière	3 900 MJ
Évacuation de l'humidité	Chaleur sensible (1 000 L/s de 20 °C à 30 °C) Chaleur latente (1 000 L/s de 50 à 70 p. 100 d'humidité relative)	430 MJ 1 260 MJ 1 690 MJ au total
Surplus d'eau chaude	450 litres par jour à 90 °C	170 MJ
Rejet d'eau chaude	4 500 litres par jour à 90 °C	1 700 MJ
Homard chaud	Équivalent de 1 000 kg d'eau amenée de 10 °C à 90 °C	340 MJ
Rejet d'eau tiède	15 000 litres à 15 °C (homard refroidi à 15 °C)	315 MJ
Alimentation électrique du convoyeur	3 kW pour 10 heures	108 MJ
Chaleur et bruit	Toute l'énergie des convoyeurs	108 MJ
Congélation des homards chauds	Homard refroidi de 15 °C à 0 °C Homard congelé à 0 °C Homard refroidi à -30 °C (équivalent de 1 000 kg d'eau)	63 MJ 360 MJ 60 MJ 483 MJ au total
Alimentation électrique du compresseur	11,6 kW pour 10 heures Congélateur de 10 tonnes (35 kW) d'un CP de 3	420 MJ
Eau de refroidissement du condenseur	33 litres/min de 10 °C à 30 °C	1 680 MJ
Chaleur de l'environnement	Eau de refroidissement en enlevant la chaleur du homard et l'alimentation d'électricité du compresseur	777 MJ

7.4

Inventaires et équilibre énergétiques

L'un des facteurs du principe d'équilibre énergétique à la base d'une vérification est que toutes les entrées d'énergie peuvent être quantifiées puis équilibrées avec toutes les sorties d'énergie. Le schéma des flux d'énergie pour l'usine industrielle de traitement des aliments est équilibré – les entrées et les sorties d'énergie sont égales. Le schéma de Sankey offre une représentation graphique utile de cet aspect. La figure 7.11 présente un exemple de ce schéma pour une chaudière.

Figure 7.11 Schéma de Sankey de l'équilibre énergétique d'une chaudière



Le schéma de Sankey résume le concept de l'équilibre énergétique d'un système donné, indiquant par la taille des flèches l'ampleur de toutes les entrées et sorties d'énergie. Il donne également l'ordre approximatif dans lequel ces sorties se produisent tout en illustrant le parcours de l'énergie. La section C-2, « Données détaillées concernant les systèmes consommateurs d'énergie », présente d'autres schémas de Sankey.

7.4.1 | Perte de chaleur par l'enveloppe du bâtiment

L'analyse de la perte de chaleur par l'enveloppe d'un bâtiment est un autre exemple d'équilibre d'énergie thermique. Cette analyse consiste à calculer les pertes de chaleur par les fenêtres, les portes, les murs, les toits ainsi que les systèmes de ventilation et d'évacuation. La feuille de calcul de la figure 7.12 présente un calcul très simple des pertes de chaleur pour un bâtiment, en montrant tous les flux d'énergie sortants de même que la contribution au chauffage des locaux à partir des gains en chaleur interne, comme la chaleur dégagée par l'électricité et les occupants. Le résultat est une ventilation de la consommation d'énergie dans les principales catégories. Un schéma de Sankey des flux d'énergie dans l'enveloppe du bâtiment est fourni à la section C-2.

Figure 7.12 Feuille de calcul d'une analyse simple des pertes de chaleur dans un bâtiment (tirée du fichier [Enveloppe.xls](#))

Calcul simple des pertes de chaleur d'un bâtiment												
Enveloppe du bâtiment		Longueur (m)	Hauteur (m)	Dalles (W/m ² °C)	Coefficient K (W/m ² °C)	N° de fenêtres	N° de portes	Horaires et températures				
Murs					1. 2. 3. 4. 5.	1. 2. 3.	1. 2. 3.	Point de consigne Occupation	Inoccupation	Autre	24 h - 7 jours	
1. Murs principaux	180	6	0,1	0,6	30	8	2	4	24 h - 7 jours			
2. Murs du gym.	120	10	0,3	0,9			3	1				
3.												
4.												
5.												
Toits	Longueur (m)	Largeur (m)	S.O.	Coefficient K (W/m ² °C)	1. 2. 3. 4. 5.							
1. Toit principal	50	40	s.o.	0,6			1					
2. Toit du gym.	30	30	s.o.	1								
3.			s.o.									
Fenêtres	Longueur (m)	Largeur (m)	Infiltration (L/s par m)	Coefficient K (W/m ² °C)	1.	2.	3.	4.	5.			
1. Grande fenêtre - triple vitrage	1	1	2	3,3								
2. Petite fenêtre - triple vitrage	0,3	1	2	3,3								
3.												
4.												
5.												
Portes	Longueur (m)	Largeur (m)	Infiltration (L/s par m)	Coefficient K (W/m ² °C)								
1. Portes d'acier	1	2,5	5	2,5								
2. Portes de verre	1	2,5	5	4,5								
3. Portes basculantes	3	3	10	2,5								
Pertes de chaleur par les dalles	W/m ² °C		Infiltration	L/s par m								
1. Aucune			Faible	2								
2. Isolées	0,1		Moyenne	10								
3. Non isolées	0,3		Elevée	20								
Ventilation												
Aire/système	N° de personnes	L/s par personne	Système (L/s)	AE moyen (%)	Débit d'air extérieur	Etat						
1. Classes et bureaux	120	15			1 800	Marche	Point de consigne					
2. Gym			3 500	100 %	3 500	Marche	Point de consigne					
3. Cuisine			500	100 %	500	Marche	Point de consigne					
Températures	Nom de l'horaire -->											
		Point de consigne										
		Occupation	Inoccupation									
		20 °C	15 °C	17 °C								
					20 °C							
Dimanche						24						
Lundi						15						
Mardi						15						
Mercredi						15						
Jeudi						15						
Vendredi						15						
Samedi						24						
Heures mensuelles							534					
Temp. moyenne							16,3 °C					
Diff. de temp. X heures								730				
									20 °C			
Gains de chaleur interne										240 000		
Type de combustible											kWh/an	
Rendement de combustion												85 %
Autres pertes												7 %
Rendement saisonnier de l'installation												78 %
Rendement de l'installation de chauffage												
Consumption d'énergie annuelle												
Composant												
Perthes	Pertes	Moins GCI	Consommation de combustible									
Murs	111 961	74 717	345									
Toits	158 530	105 794	488									
Fenêtres	29 329	19 573	90									
Portes	35 628	23 776	110									
Ventilation	386 016	257 606	1 189									
Consommation d'énergie totale du bâtiment	721 465	481 465	2 222									

7.5 Recherche de possibilités de gestion de l'énergie à l'aide de l'inventaire énergétique

Les inventaires des charges électriques et de la consommation d'énergie thermique constituent un bon point de départ pour trouver des possibilités de gestion de l'énergie.

L'évaluation de la ventilation ou de la distribution de la consommation d'énergie permet souvent de relever des possibilités d'économie. Lorsque vous examinez chaque pièce d'équipement, chaque groupe de charges ou chaque système consommateur d'énergie thermique, tenez compte du temps de fonctionnement, de la raison d'être de chaque charge et de la nécessité de faire fonctionner l'équipement à un moment donné.

7.5.1 | Facteurs particuliers concernant l'inventaire de la consommation d'énergie thermique

L'inventaire de la consommation d'énergie thermique peut aider à cerner les possibilités d'économie.

Possibilités de réduction des flux d'énergie

L'amplitude de chaque flux d'énergie est fonction de plusieurs facteurs, notamment la température, la vitesse de circulation, l'humidité, la durée et les caractéristiques des matériaux. Pour relever des possibilités d'économie, il est nécessaire de déterminer lesquels de ces facteurs peuvent être modifiés, s'il y a lieu, afin de réduire la consommation d'énergie.

Peut-on réduire les flux? Peut-on modifier les températures? Dans la plupart des cas, les données actuelles sont ce qu'elles sont pour de bonnes raisons. Toutefois, l'examen du type et de l'amplitude des flux d'énergie actuels révèle souvent certaines possibilités d'économie valables.

Jusqu'à présent, nous n'avons pas examiné les aspects techniques des systèmes et de l'équipement liés aux flux d'énergie à l'étude. Il est maintenant temps de nous pencher sur ce matériel et d'examiner les possibilités de modifier quelques aspects du fonctionnement du système en vue de réduire les flux d'énergie.

Est-il possible, par exemple, de réduire la consommation d'énergie du système de ventilation de l'aire des bureaux d'un bâtiment? Les systèmes de ventilation de ce genre augmentent la consommation d'énergie thermique en hiver, car ils introduisent de l'air extérieur froid qui doit être chauffé pour remplacer l'air vicié et chaud devant être évacué du bâtiment. Les facteurs qui ont une incidence sur la quantité d'énergie consommée par ce système sont la vitesse d'entrée de l'air extérieur, la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur, et la durée de la ventilation.

Étant donné que les occupants du bâtiment ont un besoin normal d'air frais, il n'est habituellement pas possible de réduire la quantité d'air admis dans le bâtiment et évacué à l'extérieur. Certaines exigences réglementaires doivent être respectées en ce qui a trait à la ventilation et à la température. Par exemple, la *Loi sur la santé et la sécurité au travail* du ministère du Travail de l'Ontario (on peut consulter cette dernière à l'adresse www.e-laws.gov.on.ca/index.html) renferme des normes pour les conditions en milieu de travail. Par ailleurs, l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) est un organisme international qui publie des normes sur la ventilation et les températures en milieu de travail. On peut consulter ces normes au site Web de l'ASHRAE (www.ashrae.org).

Compte tenu de la nécessité de maintenir la quantité d'air distribué par un système de ventilation, comment peut-on modifier les paramètres du système pour réaliser des économies d'énergie?

- **Durée :** Un meilleur contrôle du fonctionnement du système de ventilation pourrait permettre de réduire son temps d'utilisation afin qu'il corresponde davantage aux périodes d'occupation du bâtiment.
- **Débit :** Le débit d'air ne peut être modifié pendant les périodes d'occupation; toutefois, il pourrait être réduit la nuit à l'aide de registres bien étanches en position fermée ou, encore, le système de ventilation pourrait être mis complètement hors service la nuit.

- **Température** : Si le système doit fonctionner pendant de longues périodes pour bien évacuer l'air vicié, il pourrait être possible de réduire la température de l'air pendant les périodes d'inoccupation, au moyen d'un dispositif quelconque de remise au point de consigne de la température.

Ces exemples sont simples, mais ils illustrent l'importance d'examiner chaque facteur ayant une incidence sur la consommation d'énergie. C'est en apportant des changements spécifiques aux appareils, dispositifs et méthodes d'exploitation qu'on sera en mesure de réduire les flux d'énergie.

Énergie réductible ou récupérable

Un flux d'énergie peut être de deux types, à savoir réductible ou récupérable. Ces deux types de flux d'énergie permettent de réaliser des économies de façon différente :

- **Réductible** : Flux directement associé à une source d'énergie achetée. Dans le cas présent, une réduction du flux entraîne directement une baisse des achats d'énergie. La réduction du flux d'énergie thermique à travers les murs d'un bâtiment grâce à l'amélioration de l'isolation ou la diminution de la perte d'air chaud attribuable à une baisse des heures de ventilation sont de bons exemples.
- **Récupérable** : Débit de chaleur résiduelle qui, s'il est réduit, n'entraîne pas directement une réduction de l'énergie achetée. L'eau de refroidissement venant des compresseurs à refroidissement par eau est un bon exemple. Ce flux d'énergie ne peut pas et ne doit pas être réduit car il est utile. La chaleur accumulée dans l'eau a toutefois une valeur réelle et pourrait être utilisée pour remplacer l'énergie achetée pour un autre système. C'est ce qu'on appelle la récupération de l'énergie ou de la chaleur.

Il importe de déterminer adéquatement le type de flux d'énergie de l'installation. Dans certains cas, il peut s'agir d'une combinaison. La méthode de calcul des économies n'est pas la même pour l'énergie réductible que pour l'énergie récupérable.

7.5.2 | Facteurs particuliers concernant l'inventaire des charges électriques

Examinez chaque charge de l'inventaire au moyen de la méthode par quadrant (voir la section 8.2.5). Examinez d'abord où les charges sont appliquées, notamment pour répondre aux besoins en éclairage, en air, en eau et en chaleur ou en énergie de procédés. Examinez également les facteurs ci-dessous.

Facteur de diversité

Une valeur élevée indique une charge qui augmente considérablement la demande de crête. Cette charge est-elle nécessaire? Peut-on l'éviter?

Heures de fonctionnement

Les charges associées à de longues heures valables de fonctionnement offrent de bonnes possibilités d'amélioration du rendement énergétique. Peut-on remplacer les appareils d'éclairage par des modèles plus éconergétiques? Peut-on accroître le rendement des pompes et des ventilateurs? Peut-on utiliser un moteur à plus haut rendement?

Regroupement des charges

Certains grands groupes de charges ont-ils des heures de fonctionnement similaires pour la seule raison qu'ils fonctionnent ou sont mis en fonction seulement par groupe? L'éclairage est un bon exemple de cette situation. L'éclairage peut-il être associé à certaines zones ou commandé automatiquement par des détecteurs de mouvement, des minuteries ou des cellules photoélectriques?

Charges de nuit

Si vous disposez d'un profil de demande, pouvez-vous justifier les charges appliquées la nuit? Toutes les charges appliquées la nuit ou pendant les heures d'inoccupation sont-elles nécessaires?

Charges devant être surveillées

Une part importante de la consommation et de la demande d'énergie totale est-elle attribuable à des charges ou des groupes de charges? Pourrait-on surveiller ces charges pour s'assurer qu'elles ne s'appliquent pas pendant de longues durées et qu'elles n'entraînent pas une consommation excessive d'électricité? Les grands systèmes de réfrigération des supermarchés ou les activités de traitement des aliments sont de bons exemples de ce genre de charge.

7.5.3 | Évaluation de la souplesse de la charge

La souplesse de la charge est le degré auquel les modèles de consommation d'électricité d'une installation peuvent être modifiés. Un des objectifs de l'évaluation de la souplesse de la charge est de transférer la consommation d'énergie d'une période de la journée à une autre période où les tarifs sont moins élevés. Un autre objectif est d'alléger la charge d'un système fonctionnant à capacité en répartissant la charge. La souplesse de la charge est un concept important pour les consommateurs d'énergie qui envisagent d'autres types de tarifs d'électricité, comme la facturation en fonction du temps d'utilisation et en temps réel.

Une analyse et un inventaire détaillé des charges associés à vos activités d'exploitation permettront de mieux comprendre les facteurs suivants :

- groupes de charges par fonction (éclairage, procédé, refroidissement, chauffage, etc.);
- incidence de facteurs externes (p. ex., conditions météorologiques, production et taux d'occupation) sur les charges ou les groupes de charges;
- interdépendance entre les charges ou les groupes de charges (p. ex., quelles charges doivent être utilisées en même temps ou selon un horaire déterminé à l'avance).

Ces données permettront d'examiner la souplesse des charges. Les charges souples appartiennent habituellement à l'un des scénarios suivants :

Stockage de l'énergie : À des fins pratiques, il s'agit du stockage de l'eau chaude ou froide (glacée). Des réservoirs isolés peuvent être utilisés pour stocker l'eau chauffée à l'électricité au cours des périodes creuses, de sorte que les chauffe-eau peuvent être mis hors tension pendant les périodes de crête. En ce qui a trait au stockage de l'eau froide, certaines laiteries font fonctionner les appareils de réfrigération pour produire et entreposer de l'eau douce (eau glacée) au cours des arrêts de production. Elles utilisent ensuite l'eau douce au cours de la transformation plutôt que d'avoir recours à une grande installation de réfrigération pour répondre aux besoins en refroidissement sur demande.

Stockage des produits : Dans une usine où l'on fabrique différents types de produits ou encore où la production se fait en diverses étapes distinctes et indépendantes, il est possible de fabriquer différents produits par quart de travail et de les stocker pour le prochain quart. Un exemple de cette approche est le décalage de différents procédés dans une carrière afin de répartir les charges sur les systèmes électriques.

Report des tâches : Dans une usine où les procédés industriels sont indépendants les uns des autres, il peut être possible de reporter certaines tâches ou certains procédés à un différent quart de travail pour lequel les tarifs sont moins élevés.

7.6 Référence

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

8 IDENTIFICATION DES POSSIBILITÉS DE GESTION DE L'ÉNERGIE

8.1 Introduction

Le diagramme du processus de la vérification montre plusieurs étapes où des possibilités de gestion de l'énergie peuvent être relevées :

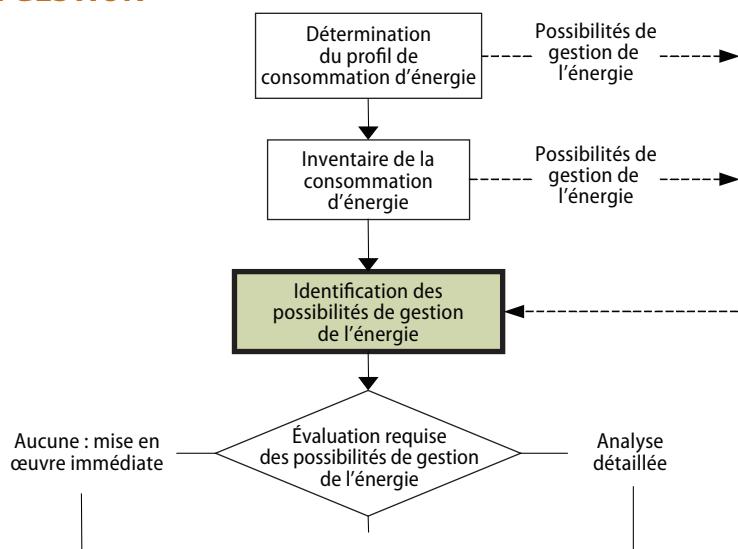
- À l'étape de l'**inspection de l'état**, les besoins évidents en matière de réparation ou de changements opérationnels ne nécessitant pas un examen ultérieur deviennent apparents.
- Lors de l'examen du **profil de demande** de l'installation, on peut cerner d'autres possibilités qui peuvent réduire les coûts ou la consommation; par exemple, les possibilités de déplacement de la charge pour réduire la demande de crête ou les charges appliquées au cours des périodes d'inactivité dans l'usine.
- L'**inventaire des charges** quantifie la distribution de la consommation d'énergie parmi les systèmes de l'usine et procure une base de référence pour comparer les charges avec les données des factures; les écarts relevés et les renseignements sur la distribution de la charge peuvent mener à d'autres possibilités de gestion de l'énergie.

On discute des possibilités de gestion de l'énergie découlant de l'inspection de l'état et du profil de demande dans une autre section du guide. La présente section donne un aperçu de la façon d'identifier d'autres possibilités de gestion de l'énergie et d'évaluer logiquement et systématiquement leur faisabilité et leur rentabilité.

8.2 Approche en trois étapes pour relever les possibilités de gestion de l'énergie

Tout l'équipement et les systèmes consommateurs d'énergie ont été conçus de façon à répondre à des besoins ou à une série de besoins particuliers. Ceux-ci peuvent aller du simple éclairage à des tâches beaucoup plus complexes, notamment dans le cas d'une usine de traitement intégré. **Afin de trouver des possibilités de gestion de l'énergie, il est essentiel de réduire la consommation d'énergie tout en continuant à répondre aux exigences ou aux besoins initiaux.**

La recherche des possibilités de gestion de l'énergie débute au point d'utilisation finale où les exigences ou besoins sont satisfaits, puis remonte méthodiquement jusqu'au point d'achat de l'énergie.



8.2.1 | Étape 1 : Faire correspondre la consommation aux exigences

La première et plus importante étape pour réaliser des économies d'énergie est de faire correspondre la consommation réelle à la consommation requise. Le principal élément à prendre en compte est la durée et l'ampleur de l'utilisation. Voici quelques exemples de questions pouvant être posées :

- Quelles sont les mesures prises?
- Pourquoi ont-elles été prises?
- Quelle est la quantité d'énergie consommée?
- Quelle devrait être la consommation d'énergie?
- L'équipement requis pour le procédé fonctionne-t-il au ralenti pendant une longue période de temps?

8.2.2 | Étape 2 : Optimiser le rendement des systèmes

Une fois qu'on a fait correspondre convenablement les besoins à la consommation, l'étape suivante consiste à assurer que les composants du système répondant aux besoins fonctionnent le plus efficacement possible. À cette étape, on examine l'incidence des conditions de fonctionnement, de l'entretien ainsi que de l'équipement et de la technologie. Afin d'orienter cet aspect de la vérification, nous pouvons poser ces questions parmi d'autres :

- Peut-on améliorer le rendement de l'activité sans toutefois avoir à modifier cette dernière?
- Les principes à la base du procédé sont-ils adéquats?
- Pourquoi y a-t-il une différence?

8.2.3 | Étape 3 : Optimiser l'approvisionnement en énergie

Les deux premières étapes permettront de réduire les besoins énergétiques. À la présente étape, il est donc logique de rechercher la ou les sources d'énergie répondant le mieux aux besoins énergétiques nets.

La dernière étape de l'identification des possibilités d'économie consiste à examiner l'approvisionnement en énergie au système et à rechercher les possibilités d'économie liées à l'optimisation de cet approvisionnement. Les possibilités d'optimisation incluent habituellement les éléments suivants.

Récupération de la chaleur

Les systèmes de récupération de la chaleur ont recours aux flux d'énergie résiduelle pour déplacer les entrées d'énergie. Ces systèmes vont depuis de simples tuyaux d'air chaud jusqu'à de complexes thermopompes.

Thermopompes

En plus de faciliter la récupération de la chaleur, les thermopompes utilisent des sources d'énergie à basse température, comme l'énergie géothermique (chaleur du sol) et l'air. Ces thermopompes sont habituellement appelées pompes géothermiques et thermopompes à air.

Cogénération

Les systèmes de cogénération sont souvent appelés systèmes combinés de chauffage et d'alimentation électrique. Lorsque la demande en eau chaude ou en vapeur d'une installation ou d'un procédé coïncide avec une demande d'énergie électrique, il peut être possible de répondre à ces deux demandes au moyen de l'équipement à combustion. Ces systèmes tirent parti de l'énergie qui serait autrement gaspillée. Avec un rendement énergétique d'habituellement 15 à 30 p. 100 de la conversion du combustible en électricité, la chaleur résiduelle provenant du flux d'échappement peut procurer l'apport thermique requis aux installations ou procédés appropriés, ce qui peut accroître le rendement global d'au moins 50 à 80 p. 100.

Systèmes à énergie renouvelable

L'énergie renouvelable, telles l'énergie solaire, l'énergie éolienne ou la chaleur du sol, peut servir comme source d'appoint pour les sources d'énergie classiques. Bien que ces systèmes soient souvent coûteux, certaines applications de l'énergie renouvelable peuvent se révéler rentables, y compris l'utilisation hors réseau de l'énergie photovoltaïque (électricité produite grâce à l'énergie solaire) et de l'énergie éolienne ainsi que des conceptions solaires passives pour les bâtiments neufs et existants.

Remplacement des sources d'énergie

Le remplacement des sources d'énergie consiste à remplacer une source d'énergie par une autre source moins coûteuse. La conversion d'un système de chauffage à eau chaude électrique pour qu'il fonctionne au gaz est un bon exemple.

Optimisation des achats

L'optimisation des achats tire pleinement parti des avantages du marché libre du gaz naturel et de l'électricité. Les entreprises qui comprennent leurs modèles de consommation d'énergie et la façon dont ces modèles peuvent être modifiés seront en mesure de bénéficier pleinement de l'optimisation des achats.

Il importe de savoir que le moment approprié pour envisager l'optimisation des achats est après chacune des étapes précédentes. Il serait contre-productif, par exemple, de négocier un nouveau marché d'approvisionnement en électricité avant de gérer adéquatement le profil de demande de l'installation. Tout changement ultérieur du profil de demande pourrait rendre le nouveau marché moins avantageux. Par ailleurs, le fait de déterminer la capacité du système de cogénération en fonction des charges électriques et thermiques actuelles sans la mise en œuvre de bonnes pratiques d'usage du système ne serait pas optimal. En fait, les réductions ultérieures des charges thermiques et électriques pourraient rendre le système de cogénération plus coûteux que prévu.

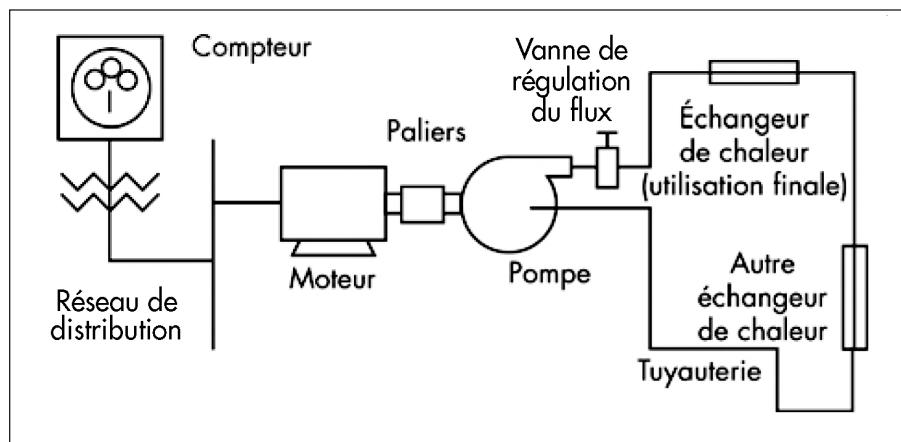
8.2.4 | Les mesures au point d'utilisation finale permettent de réaliser des économies plus importantes

Quel est le meilleur endroit pour commencer à chercher des possibilités de gestion de l'énergie? La réponse est tout aussi simple que la question : **il faut commencer à chercher les possibilités à l'endroit où l'énergie est la plus coûteuse, à savoir au point d'utilisation finale.**

Exemple

Pour illustrer ce point, imaginez un dispositif destiné à pomper un fluide dans une installation. Dans une installation commerciale, il pourrait s'agir d'une pompe à eau réfrigérée destinée à la climatisation ou à l'équipement du procédé de refroidissement. La figure 8.1 illustre de façon simplifiée un tel système en montrant chaque élément utilisé pour convertir l'énergie. L'énergie traverse chaque élément du système, depuis le compteur (point d'achat) jusqu'à l'échangeur de chaleur du dispositif terminal qui nécessite le refroidissement. L'énergie est constamment convertie et transférée.

Figure 8.1 Schéma de conversion d'énergie



Ensuite, présumons que le rendement énergétique de chaque élément est de 100 p. 100 ou moins. Le rendement du compteur serait très près de 100 p. 100, tandis que celui des autres éléments ne serait pas aussi élevé. Le rendement énergétique est le rapport entre l'entrée et la sortie d'énergie d'un système ou d'un élément.

Chaque élément dont le rendement énergétique est inférieur à 100 p. 100 entraîne un gaspillage équivalant à la différence entre l'entrée et la sortie d'énergie. En raison de ce gaspillage, le coût unitaire (\$/kWh ou \$/MJ) de l'énergie augmente entre l'entrée et la sortie. Le coût unitaire de l'énergie à la sortie peut être calculé comme suit :

$$\text{Rendement énergétique (\%)} = \frac{\text{énergie sortante}}{\text{énergie entrante}} \times 100$$

$$\text{Coût à la sortie (\$/élément)} = \frac{\text{coût à l'entrée (\$/élément)}}{\text{rendement énergétique}}$$

Le tableau 8.1 présente chaque élément du système de pompage de l'eau réfrigérée, avec une description des pertes et une estimation du rendement énergétique type des éléments d'un système de puissance modérée (10 à 100 HP).

Tableau 8.1 Rendement des éléments et du système

Élément	Pertes	Rendement type
Compteur	Négligeable	100 %
Réseau de distribution	Résistance électrique	96 %
Moteur	Résistance électrique, frottement et perte magnétique	85 %
Paliers	Frottement	98 %
Pompe	Frottement fluide et frottement des éléments mécaniques	60 %
Vanne	Étranglement minimal	70 %
Tuyauterie	Frottement fluide	60 %
Rendement global du système		20 %

Selon le rendement énergétique de l'ensemble du système, seulement un cinquième de l'énergie parvient réellement au point où elle est nécessaire. Autrement dit, le système consomme cinq fois plus d'énergie que ses besoins réels au point d'utilisation finale, qui, dans le présent cas, sont sous la forme du déplacement de l'eau pour compenser toutes les pertes du système. Les effets sur le coût unitaire de l'énergie sont illustrés au tableau 8.2.

Tableau 8.2 Coût unitaire de l'énergie du système

Élément	Rendement type	Coût unitaire à l'entrée (¢/kWh)	Coût unitaire à la sortie (¢/kWh)
Compteur	100 %	5	5
Réseau de distribution	96 %	5	5,21
Moteur	85 %	5,21	6,13
Paliers	98 %	6,13	6,25
Pompe	60 %	6,26	10,42
Vanne	70 %	10,43	14,88
Tuyauterie	60 %	14,9	24,81
Rapport du coût unitaire général du système		5 à 1	

Il est clair que c'est au point d'utilisation finale du système que le coût de l'énergie est le plus élevé. En effet, c'est là qu'existe la plus grande possibilité d'économie ayant une incidence sur le rendement énergétique global du système et, par conséquent, sur le coût des activités.

De petites économies d'énergie réalisées au réseau de la tuyauterie de ce simple système de pompage de l'eau réfrigérée permettront de réaliser d'importantes économies (cinq fois plus) au point d'acquisition.

8.2.5 | Facteurs concernant les coûts

La consommation d'énergie peut être réduite de deux façons générales :

- en modifiant le **fonctionnement** des systèmes et de l'équipement en place;
- en modifiant la **technologie** du système ou de l'équipement.

Les mesures visant le fonctionnement sont habituellement moins coûteuses à mettre en œuvre; on les appelle **les mesures à faible coût** ou **à gestion interne**.

Par contre, les mesures qui nécessitent un investissement dans une nouvelle technologie ont habituellement un coût de mise en œuvre plus élevé. Ces mesures sont souvent appelées des **mesures d'amélioration**.

L'ordre des mesures de l'évaluation est important. Il n'est pas avantageux d'installer une nouvelle technologie sans clairement définir les besoins et déterminer la capacité requise de l'équipement pour répondre aux besoins. Par ailleurs, le rendement de l'investissement pour une pièce d'équipement éconergétique est fonction des heures d'utilisation; toute mesure qui modifie ces heures d'utilisation devrait avoir priorité.

La mise en œuvre des mesures d'économie d'énergie s'inscrit dans une plage de coût. L'analyse par quadrant tient compte de deux catégories distinctes de mesure et de coût :

- **Coût le plus bas** : Mesures qui pourraient être financées à partir du budget d'exploitation ou de dépenses et qui découlent habituellement de **mesures du fonctionnement** du système.
- **Coût le plus élevé** : Mesures qui peuvent nécessiter certaines formes d'investissement en capital et qui visent habituellement l'installation d'équipement ou d'une nouvelle **technologie**.

L'analyse des pertes et du gaspillage combine ces catégories de mesures dans un tableau comportant quatre quadrants numérotés, comme il est indiqué dans le tableau ci-après. L'exemple présenté dans le tableau porte sur un système d'éclairage.

Mesure/coût	Coût le plus bas		Coût le plus élevé	
Faire correspondre les besoins.	1.	Éteindre les lumières.	2.	Installer des détecteurs de mouvement.
Améliorer le rendement.	3.	Réduire la puissance des lampes en peignant les murs d'une couleur plus claire.	4.	Installer de nouvelles lampes ainsi que de nouveaux ballasts et appareils.

Habituellement, les coûts des mesures du quatrième quadrant sont les plus élevés tandis que ceux du premier quadrant sont les plus bas. Les coûts relatifs des mesures des deuxième et troisième quadrants varient selon les mesures et les appareils particuliers.

Un exemple général d'analyse des pertes et du gaspillage est présenté dans le tableau ci-dessous. Les mesures ont été inscrites dans des catégories plus générales pouvant être utilisées pour tout système consommateur d'énergie.

Mesure/coût	Coût le plus bas (souvent lié au fonctionnement)		Coût le plus élevé (souvent lié à la technologie)	
Faire correspondre les besoins.	1.	Contrôle manuel des durées et des quantités	2.	Contrôle automatique des durées et des quantités
Améliorer le rendement.	3.	Conditions d'entretien et de fonctionnement	4.	Dispositifs et équipement neufs et plus éconergétiques

8.3 Facteurs particuliers pour les systèmes de procédé

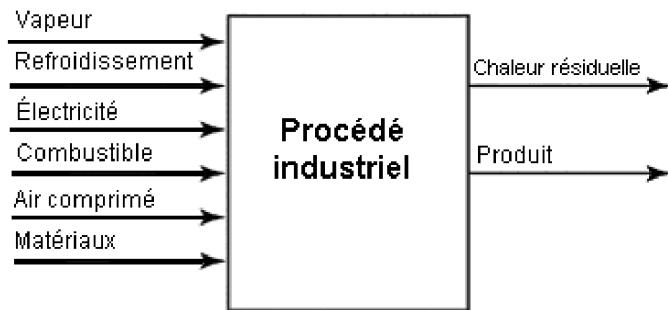
Les mesures visant le fonctionnement et la technologie présentent une multitude de possibilités d'économie d'énergie. On accorde souvent beaucoup d'importance aux mesures technologiques, comme l'amélioration et la remise à neuf de l'équipement, et on néglige un grand nombre de possibilités peu coûteuses et prometteuses.

La consommation d'énergie dans l'industrie peut être répartie entre l'usine et le procédé. La consommation pour l'**usine** comprend l'équipement et les systèmes auxiliaires qui alimentent l'équipement requis pour le **procédé**.

Bon nombre d'autres systèmes peuvent être utilisés pour répondre aux besoins énergétiques des systèmes de procédé :

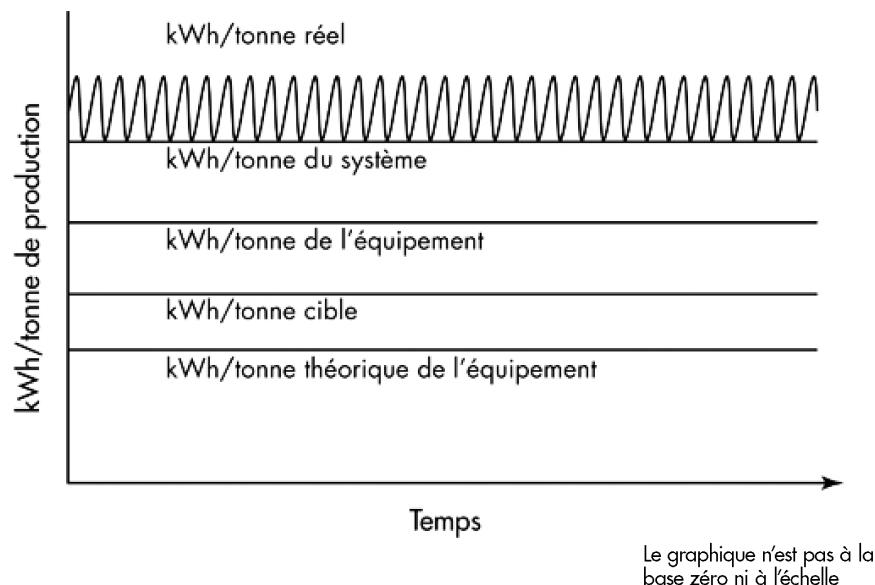
- systèmes à combustion;
- chaudières à vapeur et à eau chaude ainsi que la distribution;
- air comprimé;
- appareils d'éclairage;
- réfrigération;
- pompes et ventilateurs (mouvement des fluides).

L'application du processus d'évaluation critique en trois étapes signifie qu'il faut déterminer dans quelle mesure les exigences du processus sont satisfaites avant d'examiner la consommation d'énergie du système répondant aux besoins. Afin d'analyser les exigences, on doit examiner plus en profondeur le procédé.



La figure 8.2 donne un exemple de la ventilation de la consommation d'énergie du procédé exprimée en kilowattheures par tonne (kWh/tonne).

Figure 8.2 Procédé de consommation d'énergie



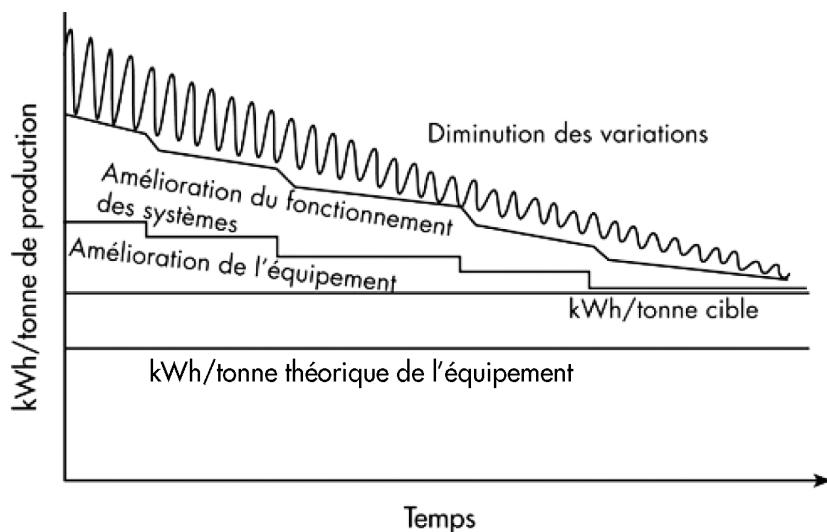
- Le **kWh/tonne de l'équipement** est l'énergie requise lorsque le nombre optimal d'équipement fonctionne à plein rendement.
- Le **kWh/tonne du système** est la consommation d'énergie tenant compte de l'incidence des opérateurs et des machines : les techniques opérationnelles et les habitudes d'entretien ont une incidence sur cette valeur.
- Le **kWh/tonne réel** est la consommation d'énergie tenant compte de toutes les mesures prises par les opérateurs et les superviseurs face aux variations et aux influences externes et le délai de réaction.

L'écart entre chaque niveau présenté à la figure 8.2 offre une possibilité de réduire la consommation d'énergie. Même si, dans la réalité, il n'est pas toujours possible d'atteindre le niveau de consommation théorique, un objectif réaliste peut toutefois être fixé. Une vérification ou une évaluation énergétique dans chaque aire de procédé permettra d'examiner chacun de ces niveaux et les facteurs connexes qui ont une incidence sur la consommation.

Chaque procédé de fabrication ou industriel présente des possibilités de gestion de l'énergie. Il faut toutefois procéder avec prudence, car ces possibilités peuvent créer des problèmes opérationnels. La meilleure façon d'éviter ces problèmes est de faire participer le personnel d'exploitation au processus de vérification ou d'évaluation.

Par suite de la vérification ou de l'évaluation, il est souvent nécessaire de prendre une série de mesures visant les activités opérationnelles et techniques. Les mesures visant les activités opérationnelles portent habituellement sur les variations et les niveaux de consommation des systèmes, tandis que les mesures visant les activités techniques permettent de réduire les niveaux de consommation de l'équipement. À mesure que des améliorations sont apportées, les divers niveaux de consommation diminuent et la consommation réelle approche de l'objectif visé pour le procédé (voir la figure 8.3).

Figure 8.3 Niveaux de consommation



Le graphique n'est pas à la base zéro ni à l'échelle

8.4 Sommaire

La méthode présentée dans la section permet d'examiner chaque système consommateur d'énergie de votre installation et de relever des possibilités d'économie. Les étapes de la méthode sont les suivantes :

1. Vérifier et valider les besoins et exigences énergétiques.
2. Appliquer l'analyse des pertes et du gaspillage.
3. Optimiser l'approvisionnement en énergie.

CONSEIL : Faire d'abord correspondre les besoins, puis améliorer l'efficacité de la distribution.

Les inventaires des charges électriques et thermiques peuvent fournir des renseignements précieux permettant de relever des possibilités d'économie et de déterminer leur portée.

Dans la section C-2, « Données détaillées concernant les systèmes consommateurs d'énergie », on examine des systèmes types d'installations en vue de déterminer d'où proviennent les pertes d'énergie et ce qui peut être fait pour les réduire. Pour chaque système, un schéma de Sankey, comme celui décrit à la section 7, est fourni, suivi de l'application de la méthode en trois étapes décrite dans la présente section.

8.5 Références

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

iac.rutgers.edu/manual_industrial.php

Ressources naturelles Canada. *Guide de planification et de gestion de l'efficacité énergétique*, 2002.

oee.rncan.gc.ca/publications/infosource/pub/peeic/efficacite/index.cfm

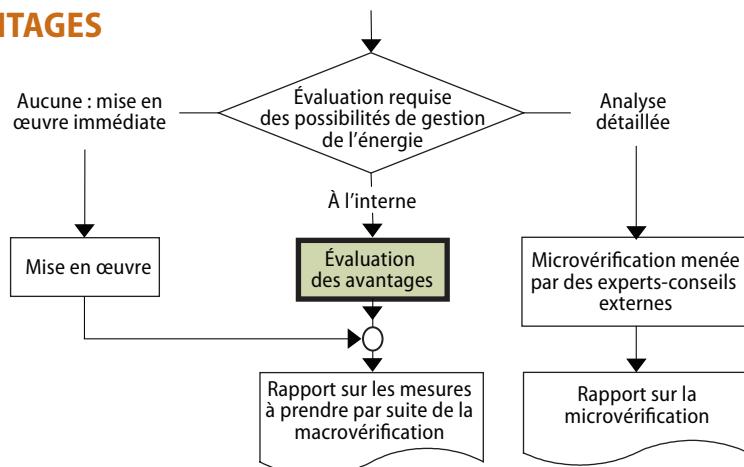
9 ÉVALUATION DES COÛTS ET DES AVANTAGES

9.1 Introduction

Après avoir relevé une foule de possibilités de gestion de l'énergie, le vérificateur devrait également fournir une orientation sur la faisabilité des mesures et des recommandations à mettre en œuvre. L'évaluation des mesures proposées tient principalement compte des coûts et des avantages.

Même si une analyse économique détaillée dépasse les paramètres de la vérification, le vérificateur doit tout de même savoir ce qui suit :

- quels avantages doivent être pris en compte;
- quels coûts devraient être inclus dans l'analyse;
- quels indicateurs économiques procurent une projection réaliste de la viabilité financière au fil du temps d'une mesure proposée.



9.2 Évaluation complète

Une évaluation complète des avantages et des coûts liés à une possibilité d'économie d'énergie est bien plus qu'un examen du coût de l'énergie utilisée. Dans de nombreux cas, elle peut comprendre ce qui suit.

Avantages

- Économies directes d'énergie
- Économies indirectes d'énergie
- Amélioration du confort et augmentation de la productivité
- Réduction des coûts d'exploitation et d'entretien
- Réduction des répercussions environnementales

Coûts

- Coûts directs de mise en œuvre
- Coûts directs de l'énergie
- Coûts indirects de l'énergie
- Hausse des coûts d'exploitation et d'entretien

Ces aspects sont examinés dans les sections suivantes.

9.2.1 | Évaluation des inconvénients liés aux économies

L'évaluation des possibilités d'économie comporte habituellement une analyse des coûts et des avantages. D'abord, quelles sont les économies (ou les autres avantages) découlant de ces possibilités? Ensuite, quel sera leur coût de mise en œuvre? Selon le type d'analyse économique utilisée, on peut également inclure les coûts d'entretien, résultant ou non de la mise en œuvre de la possibilité de gestion de l'énergie.

Le coût indirect des mesures proposées est un facteur souvent négligé. Il peut comprendre, par exemple, une réduction du niveau d'éclairage et une hausse des coûts de chauffage découlant de la baisse de l'éclairage, car l'énergie consacrée à l'éclairage contribue au chauffage du bâtiment en hiver. La diminution de la productivité du personnel attribuable à une baisse inattendue des niveaux d'éclairage ou, peut-être, un problème de sécurité résultant du fait qu'un détecteur de mouvement a été installé dans un endroit inapproprié et a éteint les lumières alors que l'aire est toujours occupée sont des exemples de cas extrêmes de coûts indirects. L'examen de toutes les incidences peut révéler qu'une mesure d'économie fort attrayante n'est après tout pas si souhaitable.

Souvent, ces coûts sont déclarés imprévus. Une évaluation détaillée devrait permettre de prévoir la plupart de ces coûts et de clairement identifier les risques connexes avant d'apporter tout changement.

Un autre facteur souvent négligé est le risque technique et économique lié à la mise en œuvre prévue. Les économies ne sont pas toujours assurées; par exemple, il est peu probable qu'il soit rentable d'installer un détecteur de mouvement servant à commander un système d'éclairage dans une aire à utilisation intense. Le remplacement d'un moteur dont la charge est inadéquate par un moteur éconergétique peut réduire le rendement global en raison des caractéristiques de charge partielle du moteur. Lorsque les économies prévues sont fonction de diverses conditions de fonctionnement ou des habitudes des occupants, elles peuvent se révéler impossibles à atteindre ou être moindres.

Dans ces cas, les coûts indirects sont en fait des économies incertaines. Une évaluation prudente repose uniquement sur les économies qui seront à coup sûr réalisées. Si les économies incertaines sont atteintes, cela n'en sera que mieux.

En résumé, il faut prendre en compte les coûts directs et l'incidence de la mise en œuvre prévue sur les occupants, leur confort, leur productivité, leur sécurité et l'entretien de l'équipement. Il faut aussi tenir compte des interactions potentielles entre le nouvel équipement et les systèmes existants, et de la probabilité que les économies prévues seront réalisées.

9.2.2 | Économies

Selon la source d'énergie, les possibilités d'économie peuvent mener directement à trois types d'économies :

- Économies d'énergie : Elles sont simplement égales à la quantité d'énergie économisée (p. ex., kWh) multipliée par le taux différentiel de l'énergie (p. ex., \$/kWh – qui est habituellement le dernier taux de l'énergie).
- Réduction de la demande : Si la mesure mise en œuvre a une incidence mesurable sur la demande de crête, la réduction de la demande sera égale à :
kW ou kVA économisés × taux différentiel pour la demande (\$/kW ou kVA)
- Économies liées à la consommation par tranche (pour certains taux seulement) : S'il se produit une réduction de la demande de crête, il peut aussi se produire une baisse dans la consommation de la première tranche de prix (en supposant que le taux a une structure à plusieurs tranches). En réalité, ceci a pour effet de déplacer une partie de la consommation d'énergie de la première tranche à coût élevé vers la deuxième tranche à coût moindre. Les économies seront :

$$\text{kW ou kVA économisés} \times 100 \times (\text{taux de la première tranche} - \text{taux de la deuxième tranche})$$

Outre les économies d'électricité directes calculées pour la mesure même, il peut y avoir d'autres facteurs à prendre en considération :

- Économies liées à l'énergie thermique : Il faut « majorer » l'énergie thermique économisée au point d'utilisation en fonction du rendement du chauffage avant de pouvoir y appliquer le coût différentiel du combustible ou de l'énergie thermique :

$$\text{Énergie économisée} = \text{énergie économisée au point d'utilisation} \div \text{rendement de l'installation de chauffage}$$

$$\text{Économie de coût du combustible} = \text{énergie économisée} \times \text{coût différentiel du combustible} \div \text{teneur énergétique du combustible}$$

- Économies indirectes d'électricité attribuables par exemple à la diminution des charges de climatisation en raison d'un éclairage plus efficace ou mieux commandé. Les économies liées à la climatisation peuvent être calculées de la manière suivante :

$$\text{Économies de kWh pour la climatisation} = \text{économies de kWh pour l'éclairage} \div \text{CP}$$

où le CP (coefficent de performance) d'un climatiseur central ordinaire est de 3. Les kWh économisés pour la climatisation ne s'appliquent qu'aux périodes pendant lesquelles le climatiseur fonctionne.

- Coût moindre de la main-d'œuvre nécessaire pour le remplacement des appareils d'éclairage et coût moindre de ces appareils en optant pour des lampes à plus longue durée de vie (remplacement des lampes à incandescence par des lampes fluorescentes compactes dont la durée de vie est dix fois plus élevée).

- Accroissement de la productivité du personnel en installant des luminaires de haute qualité et plus efficaces.

9.2.3 | Coûts

Lors de l'évaluation du coût de la mise en œuvre d'une mesure, assurez-vous d'y inclure tous les coûts, notamment les suivants :

- coût initial des améliorations (devis des entrepreneurs);
- diminution de la durée de vie des appareils d'éclairage, conduisant à une augmentation des coûts de remplacement (p. ex., remplacement de lampes à vapeur de mercure ayant une durée de vie de 24 000 heures par des lampes aux halogénures ayant une durée de vie de 20 000 heures);
- diminution de la durée de vie des appareils d'éclairage attribuable à une augmentation de la mise sous tension (p. ex., un tube fluorescent à allumage rapide ordinaire de 40 W utilisé pendant 10 heures par allumage aura une durée de vie de 28 000 heures. Le même tube utilisé pendant seulement trois heures par allumage aura une durée de vie de 20 000 heures.);
- toute augmentation des coûts d'entretien, comme le coût plus élevé des lampes et des ballasts, le coût plus élevé des réparations ou la durée de vie moindre de tout équipement de remplacement à haute efficacité énergétique;
- augmentation des coûts de chauffage attribuable à un éclairage plus efficace ou mieux contrôlé (en supposant que la chaleur dégagée par les lampes contribue au chauffage des pièces). Cette augmentation des besoins en chauffage peut être calculée comme suit :

$$\text{Augmentation des besoins en chauffage (kWh)} = \frac{\text{économies de kWh pour l'éclairage}}{\text{rendement du système de chauffage}}$$

Encore une fois, les économies de kWh pour l'éclairage ne s'appliquent qu'aux périodes pendant lesquelles le système de chauffage fonctionne. L'efficacité d'un système de chauffage se situe, en général, autour de 0,75 (mazout), 0,85 (gaz naturel ou propane), 1 (résistance électrique) et 3 (CP d'une thermopompe).

La figure 9.1 présente un exemple détaillé d'analyse des économies, qui est tiré du modèle de feuille de calcul incluse dans le fichier [Évaluation des avantages.xls](#). L'exemple présente deux possibilités de gestion de l'énergie courantes pour les systèmes d'air comprimé. L'analyse des économies tient compte du fait que la première possibilité aura une incidence sur les économies découlant de la deuxième possibilité. En effet, l'amélioration des commandes du compresseur entraînera une diminution des économies pour la récupération de la chaleur.

Figure 9.1 Feuille de calcul pour l'analyse des économies (tirée du fichier [Évaluation des avantages.xls](#))

Analyse des économies de coûts réalisées grâce aux possibilités de gestion de l'énergie				
N° 1	Contrôle du compresseur et récupération de la chaleur			
État actuel				
À l'heure actuelle, trois compresseurs d'air autonomes de 50 HP fournissent de l'air à l'usine principale et aux aires de procédé. Ces compresseurs sont utilisés avec des commandes individuelles avec réglage de pression en cascade. Au cours de la vérification, on a constaté que deux compresseurs fonctionnaient souvent alors qu'un seul appareil aurait pu répondre à la demande en air. Le troisième appareil sert de système d'appoint. La chaleur des compresseurs à refroidissement par air est actuellement évacuée de la chambre des compresseurs à longueur d'année.				
État proposé				
On propose d'installer un contrôleur de mise en séquence pour activer les trois compresseurs en fonction de la demande en air, laquelle est indiquée par un capteur de pression dans la conduite d'air de l'usine. Cette solution permettrait de faire fonctionner un seul compresseur à pleine charge. Le deuxième compresseur fonctionnera seulement pendant les périodes de demande de crête en air, lesquelles devraient se produire moins de 10 p. 100 du temps. Ensuite, l'installation d'un simple réseau de tuyaux et de registres permettra d'acheminer dans l'usine la chaleur de l'air de refroidissement du compresseur au cours de la saison de chauffage ou de l'évacuer à l'extérieur au cours des périodes de non-chauffage.				
Économies prévues d'énergie et de coûts				
Électricité				
Réduction de l'utilisation du deuxième compresseur à une charge mesurée de 30 kW pendant 5 000 heures par an				
Réduction de la demande	kW			
Économies d'énergie	150 000 kWh	(30 kW pour 5 000 heures/an)		
Coût différentiel de l'énergie électrique	0,07 \$ /kWh			
Coût différentiel de la demande électrique	8,20 \$ /kW			
Réduction annuelle des coûts d'électricité	10 500 \$/an			
Facteur de GES pour l'électricité ... en :	Ontario	0,276 éq kg CO ₂ par kWh		
Réduction des gaz à effet de serre		41 400 éq kg CO ₂		
Gaz naturel				
La chaleur résiduelle du compresseur contribuera à au moins 40 kW au chauffage de l'espace pendant six mois de chauffage par an.				
Réduction de la charge de chauffage	176 000 kWh	(40 kW pendant 4 400 heures/an)		
Rendement du système de chauffage	75 %			
Réduction en énergie du combustible	234 667 kWh			
Type de combustible (unité)	gaz naturel m ³			
Teneur énergétique du gaz naturel	10,6 kWh/m ³			
Coût différentiel du gaz naturel	0,25 /m ³			
Économies	22 081 m ³			
Économies annuelles en coûts du gaz naturel	5 520 \$/an			
Facteur d'émissions de GES du gaz naturel	1,9 éq kg CO ₂ par m ³			
Réduction des gaz à effet de serre	41 953 \$ éq kg CO ₂			
Économies totales de coûts	16 020 \$/an			
Réduction totale des GES	83 353 éq kg CO ₂ par an			

L'exemple suivant montre que même une simple possibilité de gestion de l'énergie comme le contrôle des appareils d'éclairage (c.-à-d., éteindre les lumières) doit être analysée avec soin. Dans l'exemple, l'énergie économisée grâce à cette mesure ne contribue plus au chauffage du bâtiment, ce qui augmente les coûts de chauffage et réduit les économies.

Exemple d'économies réalisées grâce aux appareils d'éclairage

Économies d'électricité

Économie de kWh – éclairage (saison de chauffage)	=	20 000 kWh/an
Coût différentiel de l'électricité	=	0,06 \$/kWh
Économie de coûts – électricité ($20\ 000 \times 0,06$)	=	1 200 \$/an

Ajustement pour la hausse du chauffage

Rendement du système de chauffage (mazout n° 2)	=	0,75
Teneur énergétique du mazout n° 2	=	10,5 kWh/litre
Coût du mazout n° 2	=	0,25 \$/litre
Hausse des kWh – chauffage ($20\ 000 / 0,75$)	=	26 667 kWh
Hausse – mazout n° 2 ($26\ 667 / 10,5$)	=	2 540 litres
Hausse du chauffage – \$ ($2\ 540 \times 0,25$)	=	635 \$/an
Économies nettes (1 200 – 635)	=	565 \$
(47 p. 100 non ajusté)		

9.3 Analyse économique

9.3.1 | Période de récupération simple de l'investissement

Dans la plupart des cas, une évaluation de la période de récupération simple, à savoir

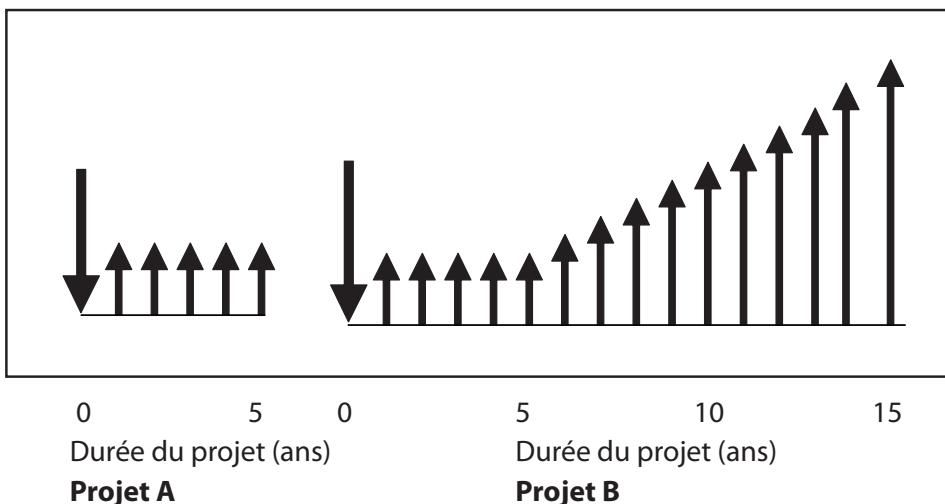
$$\text{Période de récupération simple (ans)} = \frac{\text{coût des investissements}}{\text{économies annuelles}}$$

est suffisante comme premier examen de la faisabilité d'une mesure d'amélioration. La période de récupération simple ne serait normalement pas utilisée pour prendre des décisions d'investissement pour deux bonnes raisons :

- elle ne tient pas compte du coût de l'argent, lequel est un facteur important;
- elle ne tient pas compte de ce qui se passe une fois qu'elle est terminée. Par exemple, un projet dont la période de récupération est d'un an pourrait ne pas permettre de continuer à réaliser les économies obtenues au cours de la première année. La période de récupération d'un an est attrayante, mais une analyse plus détaillée montrerait que le projet ne constitue pas un bon investissement.

La figure 9.2 illustre cet aspect en comparant deux scénarios de mouvements de trésorerie pour le même coût initial. Il est évident que le projet B est un investissement plus attrayant en raison de son rendement global au fil du temps, même si la période de récupération du coût initial du projet A est identique à celle du projet B.

Figure 9.2 Comparaison des mouvements de trésorerie



Le schéma des mouvements de trésorerie montré à la figure 9.2 est un outil d'analyse financière simple mais très utile. Il montre, par exemple, qu'un investissement peut avoir une période de récupération de cinq ans, comme dans le cas du projet A; toutefois, si la durée de l'investissement est de 15 ans au total, comme dans le cas du projet B, il peut offrir un taux de rendement interne considérable. Le tableau 9.2 illustre ce point.

Le schéma est une représentation graphique de ce qui suit :

- la ligne temporelle, habituellement en années;
- les frais engagés, y compris l'investissement initial de capitaux, ainsi que les coûts subséquents liés au projet (dépenses d'entretien, par exemple), montrés par les flèches pointant vers le bas;
- un mouvement de trésorerie positif, comme des économies, montré par les flèches pointant vers le haut.

La même information peut être présentée de façon plus quantitative à l'aide d'un tableau, comme l'illustre l'exemple suivant. Une chaudière neuve doit être installée à un coût total de 100 000 \$, ce montant étant payable en deux versements. On prévoit réaliser des économies de 48 000 \$ par an, dont la moitié des économies seront réalisées la première année, et le reste au cours des années suivantes.

Tableau 9.1 Mouvement de trésorerie pour l'achat d'une chaudière neuve

Dépense en capital : 100 000 \$	90 p. 100 à la livraison et mise en service, et 10 p. 100 après un an si le rendement répond aux attentes.					
Économies prévues : 48 000 \$	La moitié la première année, le montant complet au cours des autres années.					
(Valeur en milliers de dollars)						
Année	0	1	2	3	4	5
Coûts	(90)	(10)	0	0	0	0
Économies	0	24	48	48	48	48
Mouvement de trésorerie net	(90)	14	48	48	48	48
Valeur nette du projet	(90)	(76)	(28)	20	68	116

Dans le tableau, en plus de calculer le mouvement de trésorerie annuel net (c.-à-d., les économies moins les coûts pour l'année en question), on a calculé le mouvement de trésorerie net cumulatif, ou la valeur nette du projet.

Cette analyse montre que la période de récupération simple est de deux à trois ans, une valeur qu'on aurait pu rapidement obtenir en divisant 100 000 \$ par 48 000 \$. Fait plus important, elle montre que la valeur de l'investissement continue de croître après chaque année subséquente où sont réalisées des économies. Dans le tableau, on peut également inclure d'autres coûts du schéma du mouvement de trésorerie, de façon à permettre une analyse plus complexe.

9.3.2 | Rendement des investissements (RI)

Le rendement des investissements (RI) est un vaste indicateur du rendement annuel prévu de l'investissement initial en capitaux. Il est exprimé en pourcentage :

$$RI = \frac{\text{mouvement de trésorerie net annuel}}{\text{coût des investissements}} \times 100 \%$$

Le RI doit toujours être plus élevé que le coût de l'argent et, comparativement à d'autres projets, un RI plus élevé indique un meilleur investissement. Encore une fois, le RI ne tient pas compte de la valeur de rendement de l'argent ou d'un mouvement de trésorerie annuel net variable.

Une autre façon d'envisager le RI au cours de la durée de vie du projet est représentée par l'équation suivante :

$$RI = \frac{\text{économies d'énergie totales (pour la durée du projet)} - \text{coûts prévus du projet}}{\text{coûts prévus du projet}} \times \frac{100 \%}{\text{durée du projet}}$$

Toutefois, il peut être souhaitable, en particulier pour les gros investissements, de procéder à l'établissement des coûts du cycle de vie ou au calcul d'une période de récupération complexe. La période de récupération complexe tient compte de la valeur du rendement de l'argent et du changement éventuel des coûts et des économies au cours de la durée de la mesure.

Une analyse des coûts du cycle de vie permet de déterminer les économies et coûts nets d'une mesure particulière, en tenant compte de tous les coûts et de toutes les économies au cours de la durée de la mesure. L'équation est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{Économies et coûts nets} &= \text{économies de coûts} - \text{coût du capital} + \text{réduction} \\ &\quad \text{des coûts nets de l'exploitation et de l'entretien} * \end{aligned}$$

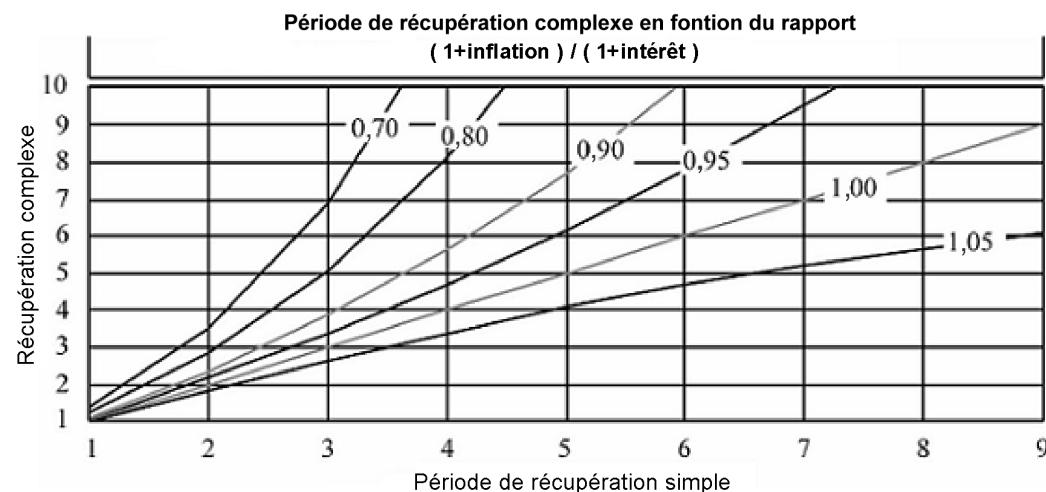
*(total pour la durée de la mesure particulière prise)

La section 9.3.4 renferme de plus amples renseignements sur le calcul des paramètres d'établissement des coûts du cycle de vie – valeur actualisée nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI).

9.3.3 | Comparaison entre les périodes de récupération simple et complexe de l'investissement

Le graphique suivant présente une façon facile de régler la période de récupération simple de l'investissement de façon à ce qu'elle tienne compte du coût du capital (taux d'intérêt) et de la hausse des prix de l'énergie (taux d'inflation). Le résultat est une approximation du résultat d'une analyse des coûts du cycle de vie, qui est parfois appelée période de récupération complexe de l'investissement.

Figure 9.3 Comparaison entre les périodes de récupération simple et complexe de l'investissement



Comparaison entre la période de récupération simple de l'investissement et le TRI

Il est possible que la période de récupération simple ne soit pas le meilleur indicateur de la valeur réelle d'un projet. Au tableau 9.2, on a établi le lien entre la période de récupération simple d'un projet d'économies et le taux de rendement interne (TRI) des économies nettes.

Le tableau répond à la question suivante :

Si un projet a une période de récupération simple de y années et une durée de x années, quel TRI approximatif ceci représente-t-il?

Tableau 9.2 Évaluation du taux de rendement interne

Période de récupération simple de l'investissement (ans)	Durée du projet ou horizon temporel (ans)						
	1	2	3	4	5	10	15
1	0 %	62 %	84 %	93 %	97 %	100 %	100 %
2		0 %	23 %	35 %	41 %	49 %	50 %
3			0 %	13 %	20 %	31 %	33 %
4				0 %	8 %	21 %	24 %
5					0 %	15 %	18 %
6						11 %	15 %
7						7 %	12 %
8						4 %	9 %
9						2 %	7 %
10						0 %	6 %

Par exemple, un projet de récupération de la chaleur qui a une période de récupération simple de trois ans et qui devrait permettre de réaliser des économies pendant 15 ans aurait un TRI d'environ 33 p. 100.

9.3.4 | Valeur actualisée nette et taux de rendement interne

La **valeur de rendement de l'argent**, à savoir le fait que l'intérêt s'applique à tous les fonds investis, est un facteur critique omis des indicateurs financiers simples. Bien entendu, un montant de 1 000 \$ aujourd'hui a une plus grande valeur que le même montant un an plus tard en raison de l'intérêt qu'il cumulera au cours de l'année.

Par conséquent, pour évaluer les investissements en gestion de l'énergie, on doit tenir compte de la **valeur actualisée (VA)** et de la **valeur capitalisée (VC)** de l'argent.

Ces deux valeurs sont liées très simplement comme suit :

$$VC = VA \times (1 + i)^n \quad ou \quad VA = \frac{VC}{(1 + i)^n}$$

où :

VC = valeur capitalisée du mouvement de trésorerie

VA = valeur actualisée du mouvement de trésorerie

i = taux d'intérêt ou d'actualisation

n = nombre d'années dans l'avenir

Dans les évaluations de la VAN et du TRI, au lieu de calculer la valeur actualisée nette d'un projet, on doit calculer la valeur nette du moment afin de mettre les économies futures en valeur présente en fonction du taux d'intérêt actuel ou du taux d'actualisation.

Heureusement, il n'est pas nécessaire de calculer les séries exponentielles directement dans les équations de la VA et de la VC. Il est facile d'obtenir des tableaux de facteurs d'actualisation, et les applications de feuilles de calcul effectuent les calculs.

Si on calcule de nouveau l'exemple du tableau 9.1 en appliquant cette fois-ci le taux d'actualisation au mouvement de trésorerie, le mouvement de trésorerie net actualisé, ou la VAN, du projet est déterminé de la façon montrée au tableau 9.3. (Conformément aux méthodes comptables courantes, les valeurs entre parenthèses sont négatives. Pour ce type d'analyse, la méthode habituelle consiste à indiquer les coûts comme des négatifs et les avantages, notamment les économies, comme des positifs.)

Tableau 9.3 Calcul de la valeur actualisée nette

Année	0	1	2	3	4	5
Mouvements de trésorerie nets (milliers de \$)	(90)	14	48	48	48	48
Le mouvement de trésorerie actualisé à 10 p. 100 peut être trouvé comme suit :						
Année 0		1 × (90) = (90)				
Année 1		0,909 × 14 = 12,73				
Année 2		0,826 × 48 = 39,65				
Année 3		0,751 × 48 = 36,05				
Année 4		0,683 × 48 = 32,78				
Année 5		0,620 × 48 = 29,76				
VAN = la somme de toutes ces valeurs = 60,97 (comparativement à la valeur nette du projet = 116)						

Le taux d'actualisation qui est appliqué dans ce calcul représente non seulement le taux d'intérêt en vigueur, mais aussi certains facteurs pour couvrir les frais de traitement de l'argent, lesquels sont habituellement de 5 p. 100. Autrement dit, pour des raisons administratives, un organisme peut par exemple choisir d'utiliser un facteur d'actualisation correspondant au taux d'intérêt de la banque nationale plus 5 p. 100 (ou un autre facteur approprié portant sur le traitement et, peut-être, les risques).

Si le calcul de la VAN était repris pour différents taux d'actualisation, on constaterait que plus le taux d'actualisation est élevé, plus la VAN est faible, devenant éventuellement négative. Il existe un taux d'actualisation pour lequel la VAN est égale à zéro; ce taux d'actualisation est appelé le taux de rendement interne (TRI). Pour trouver le TRI manuellement, il faut utiliser un procédé itératif dans lequel la VAN est calculée pour divers facteurs d'actualisation, et la VAN est reportée avec le taux d'actualisation pour produire une courbe qui traverse l'axe x (c.-à-d., à $VAN = 0$), donnant ainsi le TRI.

De nombreux organismes prennent une décision à l'égard d'un investissement donné en comparant le TRI à leurs attentes ou politiques, c'est-à-dire que si le TRI est égal ou supérieur à la valeur critère, l'investissement peut être considéré comme possible.

La plupart des programmes de feuilles de calcul permettent de calculer la VAN et le TRI. Vous n'avez qu'à entrer une gamme de valeurs de mouvement de trésorerie avec le facteur d'actualisation applicable afin de calculer la VAN et, pour une série donnée de mouvements de trésorerie, de calculer le TRI.

9.3.5 | Mouvements de trésorerie

Ces exemples comportent seulement deux types de mouvements de trésorerie : l'investissement initial en un ou plusieurs versements, et les économies découlant de l'investissement. Bien entendu, il s'agit d'une explication fort simplifiée de la réalité des investissements en gestion de l'énergie.

Il y a habituellement d'autres mouvements de trésorerie liés au projet, notamment :

- **Les dépenses en immobilisations** sont les coûts liés à la conception, la planification, l'installation et la mise en service du projet; ils sont habituellement des coûts uniques non touchés par l'inflation ou les facteurs de taux d'actualisation, même si dans l'exemple, des coûts liés au temps s'appliquent aux paiements versés au cours d'une période.
- **Les mouvements de trésorerie annuels**, telles les économies annuelles découlant d'un projet, se produisent chaque année au cours de la durée du projet; ces mouvements incluent les impôts, les assurances, la location d'équipement, les coûts énergétiques, les réparations, l'entretien, la main-d'œuvre et autres. Une hausse de l'un de ces coûts représente un mouvement de trésorerie négatif (flèches pointant vers le bas de la figure 9.2), alors qu'une baisse de ces coûts représente un mouvement de trésorerie positif (flèches pointant vers le haut).

Certains facteurs doivent être pris en compte pour le calcul des mouvements de trésorerie annuels, à savoir :

- **Les impôts**, utilisant le taux marginal d'imposition appliqué aux mouvements de trésorerie positifs (c.-à-d., une hausse des impôts) ou négatifs (c.-à-d., une baisse des impôts).

- **L'amortissement des biens** de l'usine au cours de leur durée de vie. L'amortissement est une « allocation pour frais sur papier » plutôt qu'un mouvement de trésorerie réel et, par conséquent, n'est pas inclus directement dans le coût du cycle de vie. Toutefois, l'amortissement est une « dépense réelle » en ce qui concerne le calcul des impôts et a donc une incidence à cet égard. Par exemple, si le taux d'amortissement d'un bien de 100 000 \$ est de 20 p. 100 et que le taux d'imposition marginal est de 40 p. 100, l'amortissement s'élèverait à 20 000 \$ et le mouvement de trésorerie imposable serait de 8 000 \$ – c'est ce dernier montant qui serait indiqué dans le calcul des coûts.
- **Les mouvements de trésorerie intermittents** se produisent de temps à autre plutôt qu'annuellement au cours de la durée du projet. Le remplacement du chemisage d'une chaudière tous les cinq ans constitue un bon exemple.

Exemple : Calcul de la période de récupération simple de l'investissement pour le remplacement des appareils d'éclairage

Étant donné :

Appareils en place : lampes fluorescentes de 4 tubes de 4 pieds standard, d'une charge totale par appareil	= 192 watts
Heures de fonctionnement	= 3 000 h/an
Coûts des lampes en place	= 2 \$ chacune
Coûts des ballasts en place	= 10 \$ chacun
Tarifs de l'électricité : demande énergie	= 7 \$/kW/mois = 0,08 \$/kWh

Les améliorations proposées consistent à remplacer quatre lampes et deux ballasts par deux lampes de type T8 et un ballast électronique, et à installer des réflecteurs.

Coûts des améliorations (par appareil)

Lampes T-8 (2 à 5 \$)	= 10 \$
Ballast électronique	= 35 \$
Ensemble du réflecteur	= 20 \$
Main-d'œuvre (0,5 h à 30 \$ l'heure)	= 15 \$
Total	= 80 \$

Coûts de fonctionnement actuel

kWh 192 W × 1/1 000 × 3 000 h/an	= 576 kWh
\$ correspondant à ces kWh 576 kWh × 0,08 \$/kWh	= 46,08 \$
Coûts en \$ de la demande 192 × 1/1 000 × 12 mois × 7 \$	= 16,13 \$

Coûts de remplacement des lampes

3 000 h/an/20 000 h × 2 \$/lampe × 4 lampes	= 1,20 \$
---	-----------

Coûts de remplacement des ballasts

3 000 h/50 000 h × 10 \$ /ballast × 2 ballasts	= 1,20 \$
--	-----------

Coûts de fonctionnement total des appareils en place

64,61 \$/an

Coûts de fonctionnement proposé

kWh 58 W × 1/1 000 × 3 000 h/an	= 174 kWh
---------------------------------	-----------

\$ correspondant à ces kWh 174 kWh × 0,08 \$/kWh	= 13,92 \$
--	------------

Coûts en \$ de la demande 58 × 1/1 000 × 12 mois × 7 \$	= 4,87 \$
---	-----------

Coûts de remplacement des lampes

3 000 h/an/20 000 h × 5 \$ × 2 lampes	= 1,50 \$
---------------------------------------	-----------

Coûts de remplacement des ballasts

3 000 h/100 000 h × 35 \$	= 1,05 \$
---------------------------	-----------

Coûts de fonctionnement total proposé

21,34 \$/an

ÉCONOMIES = 64,61 \$ – 21,34 \$

= 43,27 \$/an

PÉRIODE DE RÉCUPÉRATION = 80 \$/43,27 \$/an

= 1,85 an

La figure 9.4 illustre l'analyse des coûts du cycle de vie complet pour les économies réalisées grâce à une possibilité de gestion de l'énergie. Dans l'exemple, on présente trois variations de l'analyse pour évaluer les avantages de scénarios financiers optimiste, pessimiste et prévu (de base).

Figure 9.4 Feuille de calcul pour l'analyse des coûts du cycle de vie d'une possibilité de gestion de l'énergie (tirée du fichier Évaluation des avantages.xls)

Analyse des mouvements de trésorerie du cycle de vie d'une possibilité de gestion de l'énergie											Scénario financier de base	
Coûts pour la période		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Dépenses en immobilisations		50 000 \$										
Entretien		200 \$	204 \$	206 \$	212 \$	216 \$	221 \$	225 \$	230 \$	234 \$	239 \$	244 \$
Amortissement des biens												
Coûts de location												
Analyse des mouvements de trésorerie du cycle de vie d'une possibilité de gestion de l'énergie											Scénario financier pessimiste	
Coûts pour la période		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Dépenses en immobilisations		50 000 \$										
Entretien		200 \$	204 \$	208 \$	212 \$	216 \$	221 \$	225 \$	230 \$	234 \$	239 \$	244 \$
Amortissement des biens												
Coûts de location												
Analyse des mouvements de trésorerie du cycle de vie d'une possibilité de gestion de l'énergie											Scénario financier optimiste	
Coûts pour la période		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Dépenses en immobilisations		50 000 \$										
Entretien		200 \$	204 \$	208 \$	212 \$	216 \$	221 \$	225 \$	230 \$	234 \$	239 \$	244 \$
Amortissement des biens												
Coûts de location												
Impôts												
Assurances												
Main-d'œuvre												
Autres												
Sous-total des coûts		50 200 \$	204 \$	208 \$	212 \$	216 \$	221 \$	225 \$	230 \$	234 \$	239 \$	244 \$
Économies pour la période												
Électricité		10 500 \$	10 710 \$	10 924 \$	11 143 \$	11 366 \$	11 593 \$	11 825 \$	12 061 \$	12 302 \$	12 548 \$	12 799 \$
Gaz ou combustible		5 535 \$	5 646 \$	5 759 \$	5 874 \$	5 991 \$	6 111 \$	6 233 \$	6 356 \$	6 485 \$	6 615 \$	6 747 \$
Eau												
Entretien												
Impôts												
Assurances												
Main-d'œuvre												
Facteurs de GES												
Sous-total des économies		16 035 \$	16 356 \$	16 683 \$	17 016 \$	17 357 \$	17 704 \$	18 058 \$	18 419 \$	18 788 \$	19 163 \$	19 547 \$
Mouvement de trésorerie net		(34 165 \$)	16 152 \$	16 475 \$	16 804 \$	17 140 \$	17 483 \$	17 833 \$	18 189 \$	18 553 \$	18 924 \$	19 303 \$
Valeur nette du projet		(34 165 \$)	(18 013 \$)	(1 539 \$)	15 266 \$	32 406 \$	49 889 \$	67 722 \$	85 911 \$	104 465 \$	123 389 \$	142 692 \$
Taux d'actualisation		15 %										
Mouvement de trésorerie actualisé		(34 165 \$)	14 045 \$	12 457 \$	11 049 \$	9 800 \$	8 692 \$	7 710 \$	6 838 \$	6 065 \$	5 379 \$	4 771 \$
Valeur actualisée nette (VAN) :		52 642 \$										
Taux de rendement interne (TRI) :		48 %										
Remarque : Les économies d'électricité et de gaz naturel et les coûts d'entretien sont corrigés en fonction d'un taux d'inflation de 2 p. 100 par année.												

9.4 Incidence sur l'environnement

Les mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique réduiront les émissions de gaz à effet de serre de deux façons :

- Les mesures d'amélioration du rendement énergétique des systèmes à combustion sur place, comme les chaudières, les générateurs d'air chaud ou les fours, réduiront les émissions de gaz à effet de serre de manière directement proportionnelle aux économies de combustible. Cette incidence est dite **directe**.
- La réduction de la consommation d'électricité entraînera une baisse des émissions de gaz à effet de serre au niveau de la centrale électrique. Cette incidence est dite **indirecte**.

Bien que les exemples suivants puissent sembler avoir des applications plutôt limitées, la méthode utilisée pour le calcul de la réduction des émissions peut s'appliquer à n'importe quel projet de gestion d'énergie conduisant à des réductions de la consommation de combustible ou d'électricité.

La figure 9.5, tirée de la feuille de calcul du fichier [Évaluation des avantages.xls](#), montre les facteurs requis pour calculer les réductions directes et indirectes des émissions de gaz à effet de serre.

Ces facteurs peuvent être utilisés pour évaluer les réductions des émissions de GES dans l'exemple détaillé de la figure 9.1. Les réductions des émissions attribuables aux économies d'électricité et de gaz naturel sont calculées.

Figure 9.5 Feuille de calcul sur les facteurs des GES (tirée du fichier Évaluation des avantages.xls)

Facteurs des gaz à effet de serre

[Menu](#)

Facteurs des émissions pour « émissions indirectes » (électricité)

Facteur équivalents kg CO₂ par kWh

Province / territoire	1990	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 ⁽¹⁾
Alberta	0.98	0.93	0.89	0.96	0.89	0.87	0.88	0.86	0.88
Colombie-Britannique	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
Île-du-Prince-Édouard	1.26	1.15	0.75	0.68	0.38	0.26	0.2	N/A	N/A
Manitoba	0.03	0.03	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Nouveau-Brunswick	0.37	0.46	0.51	0.45	0.48	0.46	0.39	0.42	0.46
Nouvelle-Écosse	0.75	0.76	0.59	0.67	0.79	0.75	0.76	0.74	0.79
Ontario	0.21	0.28	0.26	0.27	0.2	0.21	0.18	0.2	0.17
Québec	0.012	0.002	0.002	0.01	0.009	0.003	0.004	0.12	0.002
Saskatchewan	0.78	0.85	0.87	0.84	0.88	0.79	0.76	0.77	0.71
Terre-Neuve-et-Labrador	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02
Yukon, les Territoires du Nord-Ouest et le Nunavut	0.27	0.15	0.11	0.11	0.11	0.08	0.08	0.07	0.06

FY a été:

X indique des valeurs confidentielles.

(1) Données préliminaires pour 2008 dans le rapport d'inventaire national 1990-2008

Source:

Environnement Canada, Rapport d'inventaire national 1990-2008 - Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada;
[Annexe 13 : Tableaux sur l'intensité des émissions du secteur de l'électricité](#)

Facteurs des émissions pour des sources d'énergie thermique choisies

Type de combustible	Facteur équivalents kg CO ₂ par unité	Unité de mesure	MJ par unité
Gaz naturel	1.9	m ³	38.26
Mazout n° 2	2.69	litres	38.55
Mazout n° 6	3.12	litres	42.5
Propane	1.51	litres	25.31

Notes: Facteur de type de combustible Mazout n° 2 est la moyenne des facteurs de mazout léger et carburant diésel.

Sources:

(1) Environnement Canada, Rapport d'inventaire national 1990-2008 – Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada;

[Annexe 8 : Coefficients d'émission](#)

(2) Statistique Canada – Catalogue no 57-003, Texte table 1 – Facteurs de conversion énergétique

9.5 Sommaire

Il est clair que les projets de gestion de l'énergie présentent de nombreux avantages.

Il devrait en être de même pour les approches d'évaluation, que ce soit lors de l'identification des mesures ou, comme cela a été souligné dans le présent chapitre, pour le calcul des avantages.

9.6 Références

Ressources naturelles Canada. *Logiciel d'analyse de projets d'énergies propres RETScreen*, 2008.
www.retscreen.net

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

Ressources naturelles Canada. *Amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage*, 2001.

oee.rncan.gc.ca/Publications/infosource/Pub/peeic/Systemeschaffage_avantpropos.cfm

Ressources naturelles Canada. *Calculatrice de l'efficacité des chaudières*, 2006.

oee.rncan.gc.ca/industriel/info-technique/outils/chaudieres/index.cfm

10 RAPPORT SUR LES MESURES À PRENDRE

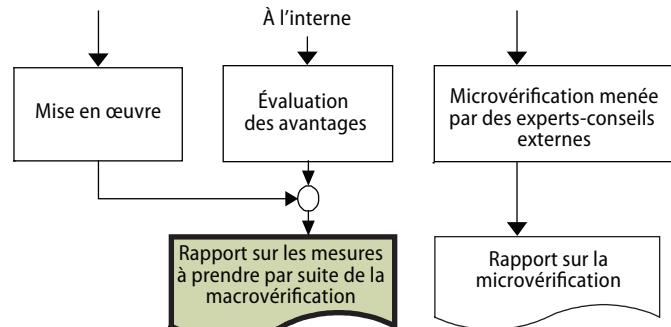
10.1 Introduction

Peu importe la rigueur et la minutie avec lesquelles vous menez une vérification énergétique ou les avantages offerts par les possibilités de gestion de l'énergie proposées, vous n'obtiendrez pas de résultat si aucune mesure n'est prise pour les mettre en œuvre. L'étape entre la vérification et la prise de mesure est le rapport de la vérification.

Le rapport de vérification est trop souvent relégué aux oubliettes. Il devrait avoir pour but de procurer un portrait clair des faits sur lesquels reposent les recommandations et d'inciter les lecteurs à mettre en œuvre ces recommandations.

Il sera peut-être nécessaire de « promouvoir » les résultats de la vérification, et le rapport est votre outil pour le faire.

Certains principes de la rédaction technique sont présentés ci-dessous. Un bon rapport de vérification doit avoir un style concis, exact et approprié pour le public cible. La présente section renferme des suggestions sur la façon d'assurer que le rapport de vérification mène à l'action.



10.2 Quelques principes généraux pour la rédaction d'un bon rapport de vérification

10.2.1 Connaissez votre lecteur

Plusieurs personnes de votre organisme pourraient être appelées à lire le rapport, notamment le chef de la direction ou le gestionnaire de l'installation, le superviseur des travaux techniques ou de l'entretien, et le chef d'équipe de l'installation de chauffage. Comme leurs besoins en information peuvent être fort différents, il faut veiller à tenir compte de tous ces besoins au moment de la préparation du rapport. Ce dernier doit comporter un **sommaire** qui présente les faits saillants aux décideurs supérieurs et une **section technique** qui procure des renseignements détaillés à l'intention des personnes qui seront chargées de la mise en œuvre des recommandations.

10.2.2 Utilisez un style simple et direct

Au nombre des personnes qui liront le rapport, il pourrait y avoir des ingénieurs, des titulaires de diplôme d'études supérieures et même des ouvriers qualifiés. Vous devez utiliser un style clair, concis et compréhensible pour tous les lecteurs :

- Ayez recours à la voix active plutôt qu'à la voix passive. Par exemple, il est préférable d'écrire : « Nous avons constaté une grande détérioration de la canalisation principale de vapeur... » plutôt que « il a été constaté que l'isolation était... ».
- Évitez d'utiliser du jargon technique. Nous avons utilisé l'expression « possibilités de gestion de l'énergie » dans ce guide; si vous utilisez cette expression dans votre rapport, veuillez en donner la définition lorsqu'elle apparaît la première fois. Dans la mesure du possible, optez pour des termes courants plutôt que des termes techniques, et inscrivez les expressions complètes des abréviations que vous utiliseriez en temps normal (p. ex., utilisez « télécommande par variation de fréquence » plutôt que son acronyme TVF).
- Assurez-vous qu'il n'y a pas de fautes de grammaire et que le style coule bien. Avant de distribuer le rapport, vous pouvez demander à une personne que vous estimatez être un bon communicateur de le lire et de vous faire part de ses commentaires.

10.2.3 | Présentez l'information à l'aide de graphiques

Le ton de tout rapport technique est habituellement sec. Utilisez des graphiques (p. ex., photos, diagrammes à secteurs pour compléter ou remplacer les tableaux de données, diagrammes et schémas) pour rendre le rapport et les recommandations aussi dynamiques que possible. De nombreux logiciels permettent de créer des graphiques et des diagrammes qui peuvent être facilement intégrés à votre rapport.

10.2.4 | Formulez des recommandations claires

La partie principale du rapport renferme les recommandations. Assurez-vous que la description des recommandations répond à toutes les questions que pourraient avoir les personnes qui liront le rapport; soyez précis, clair et suffisamment détaillé. Par exemple, la recommandation « déclassement du compresseur de 75 HP » est fort vague si ce que voulez vraiment dire est « réduction de la charge d'air comprimé à l'aide d'un programme de détection et de réparation des fuites; amélioration des commandes du compresseur; livraison de la charge de base à l'aide du compresseur de 100 HP déjà en place et de la charge de crête à l'aide de l'appareil de 50 HP déjà en place; déclassement du compresseur de 75 HP ».

10.2.5 | Expliquez vos hypothèses

Étant donné que vous devrez avancer des hypothèses dans vos calculs, expliquez clairement ces dernières. Par exemple, si une section de fabrication fonctionne habituellement en fonction d'un quart par jour, cinq jours par semaine et 50 semaines par an, incluez cette information pour expliquer pourquoi vous avez recours à 2 000 heures par an comme facteur de temps dans vos calculs de la consommation d'énergie. Si l'on apporte des modifications à l'usine et que deux quarts sont mis en place, il sera plus facile pour les personnes lisant le rapport de modifier les calculs en conséquence.

10.2.6 | Soyez exact et cohérent

Évidemment, vos calculs doivent être exacts; les erreurs mineront la crédibilité du rapport.

Par ailleurs :

- soyez cohérent dans le style et la terminologie que vous employez;
- soyez cohérent lorsque vous exprimez des unités de mesure (p. ex., évitez d'utiliser des m³ de gaz à un endroit et des unités thermales ou Btu à un autre endroit);
- effectuez une vérification de l'orthographe et une lecture d'épreuves de votre rapport, et demandez à une autre personne de procéder à une deuxième lecture d'épreuves.

10.2.7 | Présentez vos calculs de façon claire

Il est possible que les personnes ayant une expérience technique souhaitent vérifier l'exactitude de vos hypothèses et de vos calculs. Par conséquent, vous devriez présenter clairement votre méthode de calcul, et donner au moins un exemple de chaque type de calcul.

10.3 Modèle de rapport de vérification

10.3.1 | Sommaire

Certaines personnes, en particulier les décideurs supérieurs, voudront connaître les recommandations clés et les répercussions sur les bénéfices nets sans avoir à lire le rapport entier. Le sommaire devrait inclure les renseignements suivants :

- **information sommaire sur les principaux résultats de la vérification** : par exemple, la consommation annuelle, le budget énergétique, les principaux indicateurs de rendement, etc.;
- **possibilités de gestion de l'énergie recommandées**, avec une brève explication de chacune de ces dernières; il peut être utile de les regrouper selon les catégories suivantes : améliorations des opérations et de l'entretien, améliorations des procédés et des systèmes du bâtiment;
- **coûts de mise en œuvre, les économies et les périodes de récupération** (ou autres critères financiers utilisés dans votre organisme, notamment le taux de rendement interne lié à chaque possibilité de gestion de l'énergie);
- toute **information particulière** liée à la mise en œuvre des possibilités de gestion de l'énergie.

CONSEIL : Afin de faire ressortir le sommaire du reste du rapport, vous pouvez l'imprimer sur du papier de couleur.

10.3.2 | Section technique

La section technique du rapport renferme des renseignements sur les résultats de la vérification. Les éléments suivants devraient être inclus en sous-sections :

Mandat, étendue et méthode de la vérification

Le mandat, l'étendue et la méthode de la vérification devraient inclure :

- un énoncé du mandat, à savoir les buts et objectifs de la vérification;
- une description de l'étendue de la vérification, notamment les installations et les procédés visés;
- les méthodes utilisées pour recueillir les renseignements et effectuer les analyses;
- les principales personnes qui ont fourni de l'information, etc.

Description de l'installation et constatations

La description de l'installation et les constatations devraient inclure :

- une description générale de l'installation ou des aires visées par la vérification (superficie, activités qui s'y déroulent, configuration, et autres);
- des constatations sur l'état général de l'installation (tirées de l'inspection de l'état);
- des renseignements détaillés sur les coûts et la consommation pour l'électricité et les combustibles;
- de l'information sommaire sur la demande;
- des données sommaires sur l'inventaire des charges.

Hypothèses et calculs

Le rapport devrait présenter des exemples de tous les calculs effectués de sorte que toutes les hypothèses, notamment les heures d'opération et les caractéristiques principales des tarifs, sont claires.

Recommandations découlant de la vérification

Les recommandations formulées dans le rapport devraient inclure des descriptions détaillées des possibilités de gestion de l'énergie, leurs coûts, leur incidence sur la consommation d'énergie et les économies, et une analyse de la période de récupération. Les recommandations peuvent également inclure les possibilités de gestion de l'énergie qui ont été examinées, puis rejetées en raison de leur coût trop élevé.

Annexe

L'annexe du rapport inclut les renseignements essentiels pour la compréhension des calculs et des recommandations, notamment :

- tableaux de données;
- graphiques de référence utilisés dans les calculs, comme les courbes de rendement des moteurs;
- tarifs de l'électricité et du combustible.

C

SUPPLÉMENT TECHNIQUE



1 PRINCIPES DE BASE DE L'ÉNERGIE

1.1 Introduction

La vérification énergétique vise avant tout à cerner les possibilités de réduction de la consommation d'énergie et des coûts énergétiques engagés dans une installation. Il va sans dire que le vérificateur doit être familier avec les principes liés à l'énergie de même qu'avec l'utilisation de l'énergie sous ses diverses formes par la vaste gamme de systèmes consommateurs d'énergie d'une installation industrielle.

Dans la présente section, qui porte sur les principes de base de l'énergie électrique et de l'énergie thermique, on vise à offrir une connaissance pratique – voire un rappel – des principes requis pour comprendre l'information recueillie dans le cadre d'une vérification.

L'énergie consommée dans les installations industrielles, commerciales et institutionnelles prend plusieurs formes. Habituellement, dans une installation, on achète une source d'énergie, comme le mazout, en vue de produire de la chaleur à diverses fins. En général, l'électricité achetée assure le fonctionnement des appareils d'éclairage et des moteurs, sert directement dans un procédé et, dans certains cas, est utilisée comme source de chaleur. L'expression « énergie thermique » fait référence à toutes les formes d'énergie qui produisent de la chaleur et qui proviennent habituellement du gaz, du mazout, du propane et parfois de l'électricité. Les procédés relatifs à l'achat et à la consommation de l'énergie thermique et ceux qui sont liés à l'énergie électrique diffèrent quelque peu. Un modèle de base de ces procédés pour chacun de ces types d'énergie est présenté dans les sections suivantes, de même qu'un processus simple d'analyse de la consommation d'énergie et d'identification des possibilités d'économie.

1.2 Énergie sous ses diverses formes

L'énergie est très simplement définie comme la capacité de faire un travail. Bien que le mot « travail » possède une définition technique précise, on peut le définir comme la capacité de faire quelque chose d'utile, notamment déplacer une voiture, allumer une ampoule, faire fonctionner une pompe, chauffer un four ou refroidir une pièce à l'aide d'un climatiseur.

L'énergie peut prendre diverses formes et produire différents types de travail. Une des règles fondamentales de la nature, qui guide le processus de gestion de l'énergie, est que l'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais seulement convertie d'une forme à une autre. Parmi les formes d'énergie étudiées dans le présent guide, mentionnons l'énergie chimique, l'énergie thermique, l'énergie mécanique et l'énergie électrique.

1.2.1 | Énergie chimique

L'énergie chimique est l'énergie qui sert à « coller » les atomes ensemble dans des agrégats appelés molécules ou composés chimiques. Les substances, comme le gaz naturel, le propane ou le mazout, capables de libérer un peu de ce type d'énergie, sont d'un intérêt particulier dans le présent guide. Lorsque ces combustibles brûlent, certains de leurs atomes se décollent, libérant ainsi l'énergie de liaison chimique qui les maintenait ensemble. Au cours de ce procédé, l'énergie chimique est transformée en énergie thermique à haute température, une forme convenant très bien à différents types de travail. Ce phénomène a lieu chaque fois qu'on allume un briquet.

1.2.2 | Énergie thermique

L'énergie thermique est créée par les mouvements microscopiques des atomes et des molécules constituant tout ce qui nous entoure. L'énergie thermique est souvent appelée chaleur. En fait, il existe deux types d'énergie thermique.

L'énergie « sensible », ou chaleur sensible, est l'énergie qui agite les molécules et les atomes dans des substances comme l'eau. Plus l'agitation est grande, plus la substance devient chaude. L'énergie sensible tient son nom du fait qu'on peut la sentir directement en touchant la substance ou indirectement avec un thermomètre.

Lorsqu'on ajoute de la chaleur à l'eau d'une bouilloire, on augmente sa température.

L'énergie « latente », ou chaleur latente, est l'énergie nécessaire pour faire passer d'un état à un autre une même substance, par exemple de l'eau (un liquide) en vapeur d'eau (un gaz). Ce changement d'état survient quand on ajoute suffisamment de chaleur sensible et que les molécules, trop agitées pour rester ensemble, finissent par se séparer. L'énergie latente tient son nom du fait qu'elle reste cachée, ou latente, jusqu'à ce que les conditions deviennent adéquates pour permettre sa libération.

Si on ajoute suffisamment de chaleur à de l'eau à 100 °C, celle-ci finit par bouillir et par se transformer en vapeur (un gaz). Si par contre on élimine suffisamment de chaleur de l'eau liquide à 0 °C, celle-ci finit par se transformer en glace (un solide). De façon naturelle, la chaleur se déplace des températures élevées vers les températures basses.

L'énergie thermique peut se déplacer de diverses manières entre de nombreuses substances différentes, et passer de l'une à l'autre de ses formes sensible et latente, et vice versa. Dans le présent guide, on s'intéresse principalement à la compréhension et à la gestion du déplacement et de la transformation de toutes les formes d'énergie.

1.2.3 | Énergie mécanique

L'énergie mécanique est l'énergie correspondant au mouvement physique, par exemple le déplacement d'eau ou d'air, le lancement d'une balle ou le ponçage d'un morceau de bois. À l'instar de nombreuses autres formes d'énergie, l'énergie mécanique est éventuellement libérée ou perdue sous forme d'énergie thermique. Un bon exemple de la conversion de l'énergie mécanique en chaleur est le sablage du bois.

1.2.4 | Énergie électrique

L'énergie électrique correspond au passage d'un courant électrique dans des câbles. C'est une forme très utile d'énergie, car elle permet de faire beaucoup de choses. La majeure partie de l'énergie électrique ou électricité se transforme elle aussi en bout de ligne en énergie thermique sous forme de chaleur sensible. Certains dispositifs, comme les radiateurs électriques, convertissent l'énergie directement, alors que d'autres, comme les moteurs, convertissent l'électricité en énergie mécanique qui se transforme éventuellement en chaleur. L'utilisation optimale de l'électricité consiste à maximiser la quantité de travail produit grâce à cette énergie, avant que celle-ci se perde sous forme de chaleur. En général, cela requiert aussi l'optimisation de l'utilisation de l'énergie mécanique.

1.3

Électricité – De l'achat à l'utilisation finale

L'électricité permet de déplacer l'énergie d'un point à un autre. Pendant le parcours, une certaine quantité d'énergie est toutefois perdue à cause des imperfections de la méthode de transfert. L'énergie électrique parvient finalement à un point d'utilisation où elle permet d'effectuer des opérations utiles. Pour savoir comment réduire la quantité d'électricité achetée, il est utile de suivre le flux de l'énergie entre son point d'achat et son point d'utilisation.

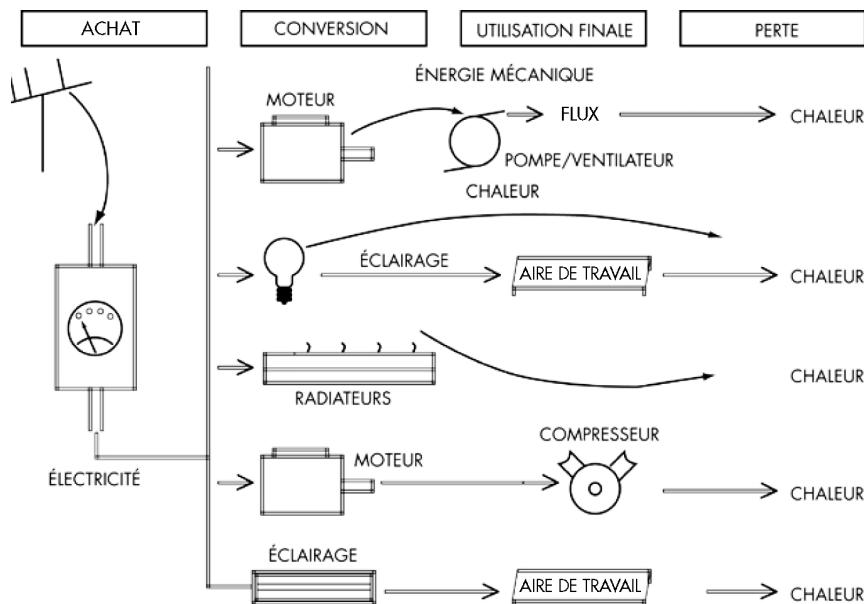
Une fois que l'énergie a passé le compteur électrique, elle est acheminée par le réseau de distribution de l'installation vers un point de conversion. Elle est alors convertie en une autre forme d'énergie, notamment en énergie lumineuse dans un appareil d'éclairage, en énergie mécanique dans un moteur, en énergie thermique et parfois en énergie sonore. Dans certains cas, l'électricité est utilisée directement, comme avec les appareils de soudure qui utilisent le courant électrique pour chauffer et fondre le métal.

La figure 1.1 illustre le parcours de l'électricité depuis le compteur électrique jusqu'aux divers points d'utilisation d'une installation. Un système de réfrigération convertit deux fois l'énergie, de la forme électrique à la forme mécanique, puis à la forme thermique, au moyen d'un moteur et d'un compresseur. En bout de ligne, toute l'énergie électrique achetée est convertie en énergie thermique puis absorbée par l'environnement ou évacuée à l'extérieur par la ventilation.

Pour réduire la quantité d'électricité achetée, il est nécessaire de :

- s'assurer que l'utilisation finale est réellement utile;
- minimiser la quantité d'énergie requise au point d'utilisation;
- minimiser les pertes entre le compteur électrique et le point d'utilisation

Figure 1.1



1.4 Énergie thermique – De l'achat à l'utilisation finale

De façon comparable au flux de l'énergie électrique, on peut suivre le flux de l'énergie thermique du point d'achat au point d'utilisation finale. Dans un contexte industriel, une chaudière peut convertir le gaz naturel acheté en vapeur, laquelle est ensuite directement utilisée dans un procédé ou convertie en chaleur pour chauffer l'eau et les locaux. Dans une installation commerciale, le gaz naturel peut servir à chauffer l'eau d'une chaudière pour le chauffage des locaux, et celle d'un chauffe-eau pour les besoins en eau domestique.

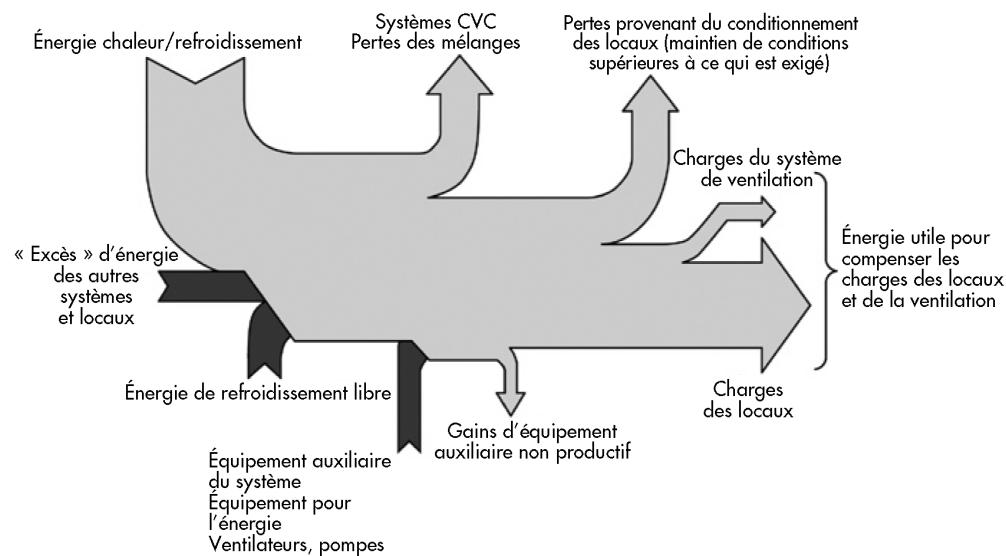
Dans les deux cas, une importante perte d'énergie se produit à la chaudière, au point de conversion du combustible en énergie thermique. La figure 1.2 illustre de façon simple les nombreuses pertes subies, au-delà de la chaudière, de l'énergie requise pour répondre aux besoins en chauffage et en refroidissement d'un système de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC).

Dans le présent guide, la détermination de l'utilisation de l'électricité se fait depuis le compteur électrique jusqu'à l'utilisation finale, alors que, inversement, l'identification et l'évaluation des possibilités d'économie d'électricité se font toujours depuis le point d'utilisation finale jusqu'au compteur.

Encore une fois, si l'on veut réduire la quantité de combustible acheté, il faut, comme dans le cas de l'électricité :

- s'assurer que l'utilisation finale est réellement utile (p. ex., éviter les fuites d'air inutiles aux portes et aux fenêtres);
- minimiser la quantité d'énergie requise au point d'utilisation (p. ex., utiliser les dispositifs d'abaissement de la température pendant les heures d'inoccupation des locaux);
- minimiser les pertes entre le compteur électrique et le point d'utilisation (p. ex., s'assurer que le système CVC est efficace);
- minimiser les pertes de la façon indiquée à la figure 1.2;
- s'assurer que les dispositifs mécaniques satisfont aux exigences maintenant que celles-ci ont été rationalisées (p. ex., est-ce que la capacité du dispositif d'origine est trop élevée?).

Figure 1.2 Pertes d'énergie thermique d'une installation de chaudière



1.5 Unités de l'énergie

Dans le Système international (SI), l'unité de base de l'énergie est le joule (J). L'énergie électrique est exprimée en wattheures. Dans le système impérial, l'unité de base de l'énergie est le British Thermal Unit (Btu). Le préfixe « kilo » sert à indiquer 1 000 unités. Les équivalences entre les différentes unités sont indiquées ci-dessous.

Équivalences des unités d'énergie	
1 000 joules (J)	1 kilojoule (kJ)
1 Btu	1 055,66 J ou 1,056 kJ
1 kilowattheure (kWh)	3 600 000 J ou 3,6 mégajoules (MJ)
1 kilowattheure (kWh)	3 413 Btu

1.5.1 | Puissance

Il est souvent utile d'exprimer la mesure du flux d'énergie par unité de temps, c'est-à-dire la vitesse de consommation ou du transfert de l'énergie. Dans le cas de l'énergie électrique ou de l'énergie mécanique, cela revient à parler de puissance ou de vitesse à laquelle le travail est produit. La puissance thermique est mesurée en joules par seconde (J/s). Un joule par seconde est équivalent à un watt (W). Dans le système impérial, la puissance thermique est souvent mesurée en Btu par heure (Btu/h). La puissance mécanique est habituellement mesurée en kilowatts (kW) dans le SI et en horsepower (HP) dans le système impérial. Voici quelques équivalences utiles entre les différentes unités de puissance.

Équivalences des unités de puissance (taux d'énergie)	
1 kilowatt (kW)	1 kilojoule/seconde (kJ/s)
1 kilowatt (kW)	3 413 Btu/heure (Btu/h)
1 horsepower (HP)	746 watts (0,746 kW)
1 tonne de réfrigération	12 000 Btu/h

La capacité d'une chaudière est souvent donnée en production d'énergie thermique appelée « puissance évaporatrice », laquelle correspond à 9 809,6 watts. Il ne faut pas confondre cette unité avec celle de la puissance mécanique, aussi appelée « puissance » (HP).

1.6 Principes de base de l'électricité

Dans la présente section, on définit les termes utilisés dans le guide.

La puissance électrique ou demande utilisée par un circuit est fonction de deux quantités fondamentales, à savoir la tension et le courant.

- 1) La tension représente l'ampleur de la poussée envoyant une charge électrique dans un câble (comparable à la pression dans un réseau de distribution d'eau ou à une personne poussant un enfant sur une balançoire). La tension se mesure en volts.
- 2) Le courant représente l'amplitude du débit de charge dans un câble, imputable à une poussée de la tension (comparable au débit d'eau dans un tuyau ou à la vitesse de l'enfant poussé sur la balançoire). Le courant se mesure en ampères.

- 3) La puissance est le résultat de la tension et du courant agissant ensemble pour produire un travail utile. La puissance se mesure en watts. Mathématiquement, la relation est la suivante :

$$\text{Puissance} = \text{tension} \times \text{courant}$$

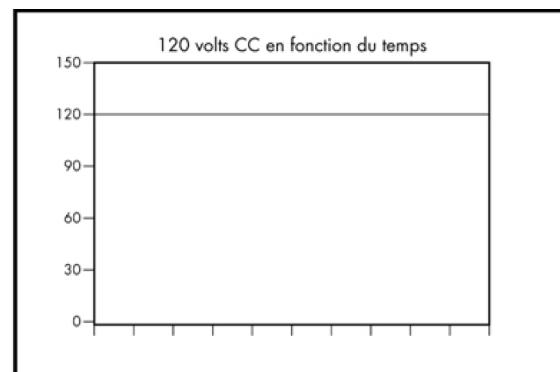
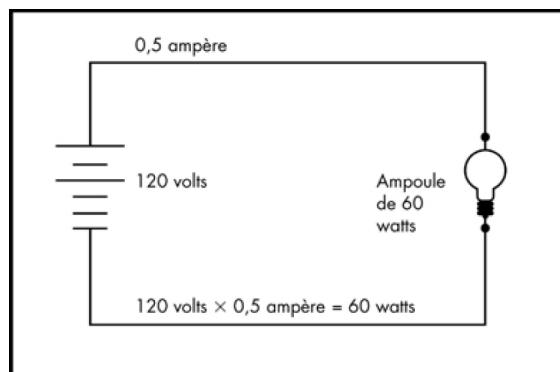
L'unité de puissance est le watt :

$$\text{Watts} = \text{volts} \times \text{ampères}$$

- 4) La demande correspond au taux d'utilisation de l'énergie électrique. Le terme « demande » correspond pour ainsi dire à la puissance électrique, bien que, en général, il corresponde à la puissance moyenne pendant un intervalle donné.

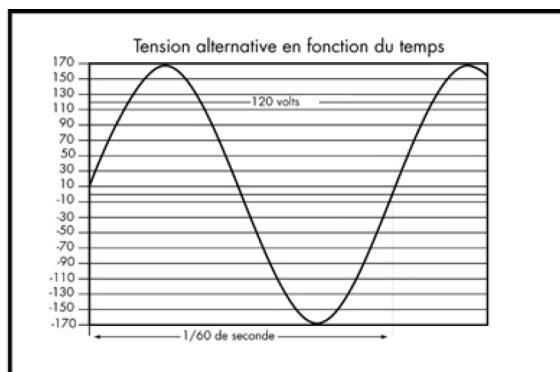
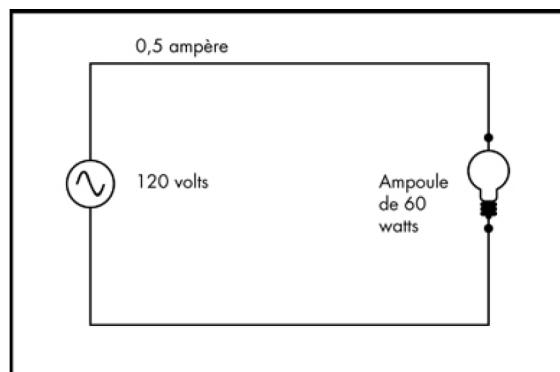
1.6.1 | Courant alternatif et facteur de puissance

Le courant continu (CC) est un courant électrique qui circule toujours dans la même direction, comme le courant utilisé dans le système électrique d'une automobile.



Dans les circuits à courant continu, la puissance est toujours égale aux volts multipliés par les ampères, car la tension (poussée) et le courant (flux) sont toujours coordonnés.

Le courant alternatif (CA), comme son nom l'indique, change de direction, inversant périodiquement son flux (passant d'une poussée à un tirage). Les entreprises de services publics ont recours au CA pour transmettre et distribuer l'électricité, car il est plus sécuritaire et plus facile à contrôler. La tension d'une habitation type a un cycle complet de 60 fois par seconde, soit 60 hertz (Hz). Durant chaque cycle, la tension passe de +170 volts à -170 volts, résultant en une tension moyenne de 120 volts.



Dans les circuits à courant alternatif, le courant et la tension ne sont pas toujours coordonnés. Leur coordination est représentée par le facteur de puissance (FP), un nombre allant de 0 à 1 ou de 0 à 100 p. 100. Revenons à l'analogie d'une personne poussant un enfant sur une balançoire. Si la personne pousse la balançoire lorsque celle-ci est tout en haut du cycle, la poussée sera maximale (FP de 100 p. 100). Si la personne pousse à un autre moment, une partie de la poussée sera perdue et le facteur de puissance sera inférieur à 100 p. 100.

1.6.2 | Paramètres qui influent sur le facteur de puissance

Les radiateurs électriques et les lampes à incandescence sont appelés « charges résistives ». Ces charges ne réduisent pas le facteur de puissance. Elles permettent à la tension et au courant d'être coordonnés (FP de 100 p. 100).

Les moteurs, les charges et les transformateurs dotés de bobines sont appelés « charges inductives ». Ces dernières provoquent un ralentissement du courant. Le facteur de puissance peut varier de 0 à 100 p. 100.

L'incidence des charges inductives est amortie par celle des charges capacitatives à l'aide de dispositifs appelés condensateurs. Ces derniers sont constitués de fils ou de plaques en métal séparés par un matériau isolant visant à diminuer la tension. Leur facteur de puissance peut varier de 100 à 0 p. 100.

Puisque les charges capacitatives et inductives ont des effets inverses, elles permettent de recourir à une technique appelée correction du facteur de puissance, qui consiste à placer des condensateurs dans un circuit de manière à amener son facteur de puissance plus près de 100 p. 100.

Les moteurs synchrones en surexcitation, qu'on trouve habituellement dans les gros systèmes, ont un même comportement électrique que ceux des condensateurs et peuvent ainsi être utilisés pour corriger le facteur de puissance.

1.6.3 | Calculs de base du facteur de puissance

La relation entre la puissance, le courant, la tension et le facteur de puissance dans les circuits à courant alternatif peut être résumée par les équations suivantes :

$$\text{Kilowatts (kW)} = \frac{\text{volts} \times \text{ampères} \times \text{facteur de puissance}}{1\,000}$$

Si, dans un circuit à courant alternatif, on ignore le facteur de puissance et qu'on multiplie simplement la tension par le courant, on obtient des voltampères, ou, en multiples de 1 000, des kilovoltampères.

$$\text{Kilovoltampères (kVA)} = \frac{\text{volts} \times \text{ampères}}{1\,000}$$

On peut donc conclure que les kilowatts et les kilovoltampères sont liés par le facteur de puissance :

$$kW = kVA \times \text{facteur de puissance}$$

Enfin, si on connaît les valeurs en kilowatts et en kilovoltampères, on peut calculer le facteur de puissance :

$$\text{Facteur de puissance} = \frac{kW}{kVA}$$

Veuillez noter l'utilisation du préfixe « kilo », signifiant « milliers de ». C'est le multiple le plus couramment utilisé dans le cas de la puissance. (Les entreprises de services publics utilisent aussi souvent le préfixe « méga » signifiant « millions de »).

Il importe de signaler que les kVA sont égaux aux kW (dans le cas de charges uniquement résistives) ou supérieurs au kW (dans le cas de charges inductives, p. ex., moteurs et transformateurs). La différence existant entre les kVA mesurés et les kW consommés vous coûtera de l'argent. Un bon contrôle du facteur de puissance permettra de rapprocher les valeurs en kVA à celles en kW et vous permettra de réaliser des économies.

1.6.4 | Énergie électrique

Dans la section précédente, on a parlé de la puissance électrique. Lorsqu'une puissance est consommée pendant une durée déterminée, de l'énergie est utilisée. La consommation d'énergie est la quantité totale d'électricité utilisée pendant une période. Elle est mesurée en **kilowattheures (kWh)**.

$$\text{Énergie} = \text{demande moyenne} \times \text{temps}$$

Le kilowattheure est l'unité de l'énergie.

$$\text{Kilowattheures} = \text{kilowatts} \times \text{heures}$$

1.6.5 | Demande et énergie – Quelle vitesse et quelle quantité?

Le terme « demande » définit habituellement la valeur moyenne de la puissance mesurée pendant un certain temps (en général, une charge donnée enregistre 99 p. 100 de sa mesure instantanée après 30 minutes). La demande maximale (ou de crête) est la demande maximale (en kW) mesurée par le compteur électrique au cours d'une période de facturation.

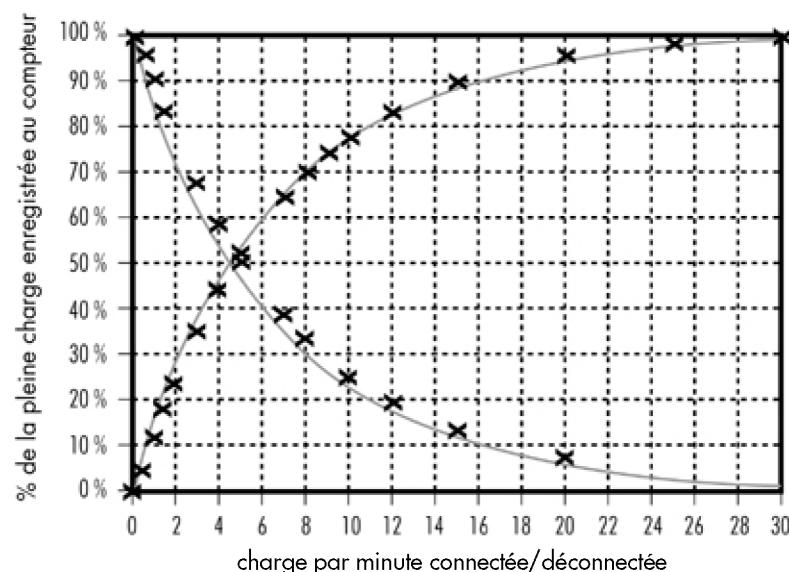
L'énergie (kWh) est le produit de la puissance par le temps, c'est-à-dire la somme de toutes les mesures de puissance instantanée effectuées au cours d'une période (autrement dit, la quantité d'électricité consommée).

Ces deux quantités, la demande maximale et l'énergie, sont mesurées par le compteur électrique et servent à déterminer le montant de la facture d'électricité mensuelle.

1.6.5.1 Comparaison entre la demande moyenne et la demande instantanée

Lorsqu'une charge est appliquée à un compteur de demande électrique, le pointeur de la demande n'indique pas immédiatement l'amplitude de la charge. Il monte lentement jusqu'à 99 p. 100 de la charge appliquée, habituellement après 30 minutes, comme l'illustre le graphique de la figure 1.3.

Figure 1.3



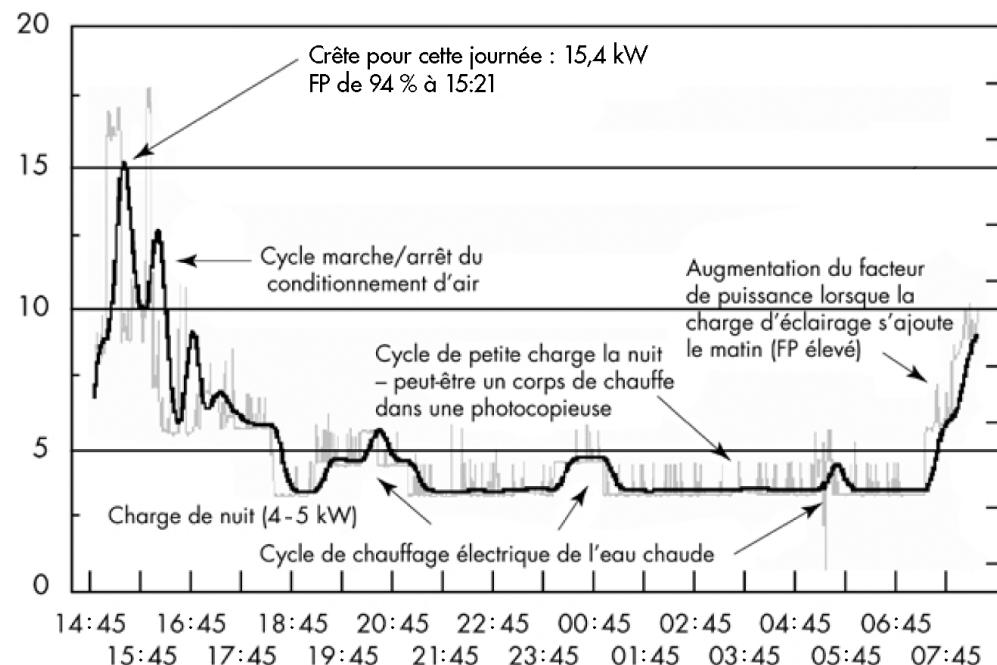
Cela entraîne, avec l'évolution du temps, un lissage de la réponse du compteur aux charges appliquées ainsi qu'un décalage entre le moment où une charge est appliquée et celui où elle est complètement enregistrée par le compteur, comme l'illustre la figure 1.4.

La ligne épaisse représente la réponse du compteur de demande tandis que la ligne fine représente la charge réellement appliquée avec l'évolution du temps. Les conséquences de ce décalage de la réponse dans le temps sont les suivantes :

- les fortes charges de courte durée (p. ex., celles causées par le démarrage des gros moteurs) ne sont pas complètement enregistrées par le compteur;
- de même, lorsqu'une forte charge est interrompue après avoir été appliquée pendant au moins 30 minutes, la demande mesurée ne baisse pas immédiatement.

Il est bon de se rappeler ces points au moment d'examiner les possibilités de réduction de la demande.

Figure 1.4



1.6.5.2 Mesure de la consommation d'électricité en fonction du temps d'utilisation

Les nouvelles technologies d'évaluation de la consommation d'électricité donnent aux services publics la possibilité de mesurer et d'enregistrer la consommation d'énergie en fonction du temps d'utilisation. Cette façon de procéder permet aux services publics de déterminer non seulement combien d'énergie a été consommée mais aussi quand elle l'a été au cours de la période de facturation. Un compteur électrique horaire mesure et enregistre la consommation d'électricité durant des périodes prédéterminées de la journée et accumule ces périodes quotidiennes au cours de la période de facturation (p. ex., un mois). Ces compteurs mesurent également la consommation moyenne (demande moyenne) en fonction du temps d'utilisation. La tarification au compteur horaire est un résultat direct de cette technologie.

Les services publics d'électricité déterminent la demande maximale au moyen d'une ou de plusieurs des méthodes suivantes de calcul de la demande moyenne à l'aide d'un compteur électrique horaire :

- la demande moyenne sur 15 minutes;
- les moyennes glissante et mobile sur 60 minutes.

On calcule la demande moyenne sur 15 minutes en multipliant par 4 la consommation moyenne d'énergie de chaque intervalle de 15 minutes ($4 \times$ intervalles de 15 minutes par heure).

Prenons l'exemple d'une installation dont la consommation s'élève à 1 000 kWh pendant une période de deux heures :

	Intervalle de 15 minutes (n°)	Consommation d'énergie pendant l'interval de 15 minutes (kWh)	Demande moyenne (interval de 15 minutes kWh × 4 = moyenne kW)
2 heures	1	60	$60 \times 4 = 240$
	2	140	$140 \times 4 = 560$
	3	200	$200 \times 4 = 800$
	4	300	$300 \times 4 = 1\,200$
	5	160	$160 \times 4 = 640$
	6	100	$100 \times 4 = 400$
	7	80	$80 \times 4 = 320$
	8	20	$20 \times 4 = 80$

La demande moyenne maximale sur 15 minutes est de 1 200 kW et est atteinte au cours du quatrième intervalle.

La plupart des services publics ajoutent une moyenne glissante aux moyennes mesurées sur 15 minutes. Il s'agit habituellement d'une moyenne glissante mesurée sur 60 minutes. On calcule ensuite la moyenne de chaque demande moyenne sur 15 minutes avec les trois valeurs précédentes pour obtenir la moyenne mobile. Dans l'exemple ci-dessus, les valeurs de demande maximale enregistrées sont les suivantes :

Intervalle de 15 minutes (n°)	Demande moyenne pendant l'interval de 15 minutes (kW)	Moyenne mobile pendant 60 minutes (kW)
1	240	—
2	560	—
3	800	—
4	1 200	$(240 + 560 + 800 + 1\,200)/4 = 700$
5	640	$(560 + 800 + 1\,200 + 640)/4 = 800$
6	400	$(800 + 1\,200 + 640 + 400)/4 = 760$
7	320	$(1\,200 + 640 + 400 + 320)/4 = 640$
8	80	$(640 + 400 + 320 + 80)/4 = 360$

Dans l'intérêt du consommateur, la demande maximale a été réduite à 800 kW. Elle semble s'être produite au cours du cinquième intervalle. Afin que la moyenne mobile mesurée sur 60 minutes soit équivalente à la demande maximale mesurée sur 15 minutes, cette dernière doit être maintenue pendant quatre intervalles consécutifs (une heure). Malheureusement, il en est de même pour la situation inverse. Si une installation déplace sa demande d'électricité aux heures creuses, elle devra commencer à réduire cette demande près de 75 minutes avant le début de la période de crête.

Dans les exemples précédents, on a établi la moyenne de l'intervalle à 15 minutes et la moyenne mobile à 60 minutes. Comme le service public peut utiliser différentes périodes pour les moyennes, il importe d'obtenir ces renseignements auprès de son représentant du service public.

L'application de la mesure de la consommation d'électricité en fonction du temps d'utilisation peut avoir des incidences positive et négative sur les stratégies de gestion de la demande en place. Il faut effectuer avec prudence l'analyse comparative entre la tarification classique et la tarification au compteur horaire. L'information pertinente peut être obtenue avec le profil de demande d'électricité, l'inventaire des charges et la souplesse des charges.

1.6.5.3 Mesure des intervalles

Comme le compteur électrique horaire, le compteur d'intervalle mesure la consommation d'énergie en fonction du temps. Toutefois, plutôt que d'accumuler les périodes de temps d'utilisation, il enregistre chaque valeur séparément. Cette façon permet de brosser un tableau plus précis des modèles de consommation d'énergie d'une installation. Les services publics ont recours à la mesure des intervalles pour leurs structures tarifaires en temps réel.

1.7 Principes de base de l'énergie thermique

L'énergie thermique est entreposée et transférée de diverses manières dans les installations industrielles et commerciales. La présente section porte sur ces concepts de base.

1.7.1 | Température et pression

La température et la pression sont des mesures des conditions physiques ou de l'état d'une substance. Elles sont habituellement liées à la quantité d'énergie que renferme la substance. La mesure de la température et de la pression est donc un moyen de déterminer la teneur énergétique.

1.7.1.1 Température

La température d'une substance est une mesure de la quantité d'énergie associée au mouvement de ses molécules et de ses atomes. C'est une mesure de la chaleur sensible de la substance. Sur l'échelle en degrés Celsius, le point de congélation de l'eau se situe à 0 °C et son point d'ébullition à 100 °C. L'échelle en degrés Fahrenheit est définie de manière similaire, mais avec des points de référence différents (32 °F et 212 °F, respectivement). Le lien existant entre les degrés Celsius et les degrés Fahrenheit est le suivant :

$$\text{Degrés } C = (\text{degrés } F - 32) \times 5/9$$

La température peut être mesurée de diverses façons. Les thermomètres à mercure ou à alcool (dans lesquels un fluide se dilate sous l'effet de la chaleur) sont les moyens les plus couramment utilisés. D'autres dispositifs, comme les thermocouples, produisent une différence de potentiel électrique proportionnelle à la température ou voient leur résistance varier en fonction de la température. D'autres encore reposent sur l'observation de l'expansion de fluides ou de matériaux solides.

1.7.1.2 Pression

La pression est la poussée exercée par une substance sur ce qui l'entoure. Les molécules de l'air se déplacent à cause de leur énergie. On peut augmenter la quantité de mouvement des molécules d'un gaz en lui transférant de l'énergie sensible ou de la chaleur. Lorsqu'on chauffe un gaz dans un volume fixe, on augmente sa pression. Par exemple, en chauffant l'air d'un ballon, on provoque sa dilatation à cause de l'augmentation de pression.

Le principe de la pression est utile car il permet d'entreposer de l'énergie thermique dans une substance en enfermant celle-ci puis en lui ajoutant de l'énergie. La vapeur sous haute pression permet d'entreposer beaucoup plus d'énergie que la vapeur sous basse pression. La pression peut être exprimée par rapport à la pression atmosphérique dominante; c'est la pression manométrique qui est indiquée sur un manomètre. La pression peut aussi être mesurée de manière absolue; dans ce cas, elle est la somme de la pression manométrique et de la pression atmosphérique dominante.

Pression absolue = pression manométrique + pression atmosphérique dominante

Unités de mesure de la pression :

Système international (SI) : kilopascal (kPa)

Système impérial : livre par pouce carré (lb/po²)

1.7.2 | Capacité calorifique

Dans de nombreuses situations quotidiennes, on transfère de l'énergie thermique d'un endroit à un autre simplement en chauffant une substance, puis en la déplaçant. Un bon exemple est le chauffe-eau d'une habitation ou d'un immeuble à bureaux. La chaleur est transportée de la chaudière vers le radiateur d'une pièce ou d'un local en chauffant l'eau dans la chaudière, puis en la pompant jusque dans le radiateur de l'espace à chauffer. L'eau est fréquemment utilisée car elle possède une bonne capacité de conservation de la chaleur.

La capacité calorifique d'une substance peut être calculée en ajoutant une quantité connue d'énergie thermique sensible à une quantité connue d'une substance, puis en mesurant l'élévation de sa température. La capacité calorifique d'une substance est une mesure de la quantité d'énergie nécessaire pour accroître de 1 °C la température de 1 kilogramme de cette substance.

Elle se mesure en kilojoules par kilogramme par degré Celsius. La capacité calorifique par unité de masse est appelée chaleur massique. La chaleur massique de substances communes est donnée ci-dessous.

Substance	Chaleur massique
Eau	4,2 kJ/(kg/ °C)
Glace	2,04 kJ/(kg/ °C)
Aluminium	0,912 kJ/(kg/ °C)
Brique	0,8 kJ/(kg/ °C)

En général, la capacité calorifique d'une substance est connue; toutefois, on ne connaît pas la quantité de chaleur qu'elle renferme ou la quantité de chaleur requise pour éléver sa température d'une valeur donnée. On peut utiliser la formule suivante pour calculer ces valeurs (les unités sont données entre parenthèses) :

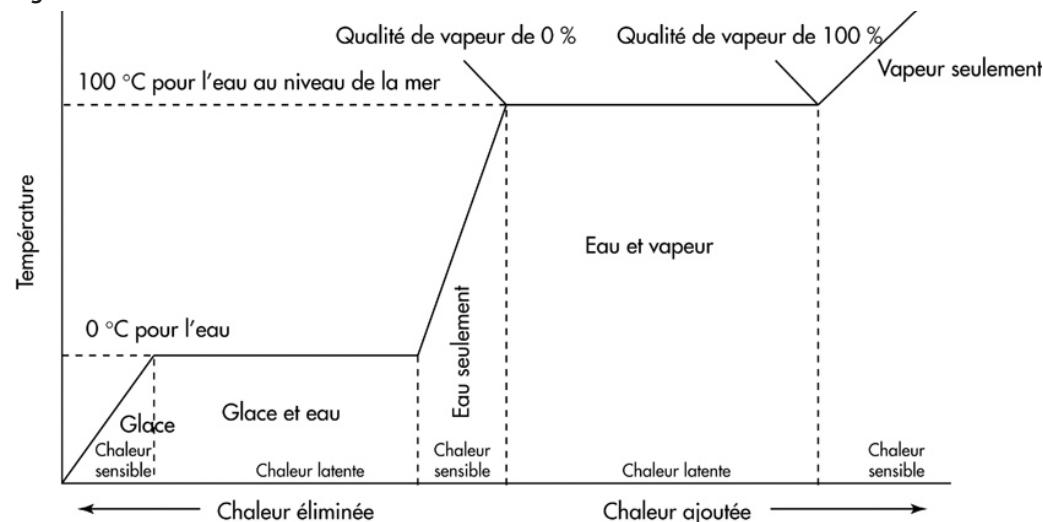
$$\text{Chaleur (kJ)} = \text{masse (kg)} \times \text{capacité calorifique (kJ/kg °C)} \times \text{changement de température (°C)}$$

ou

$$Q = M \times C \times (T_2 - T_1)$$

Cette formule est utile en gestion de l'énergie. De l'énergie thermique est souvent transférée grâce à un débit d'eau, d'air ou d'autres fluides. Cette formule, ou une dérivée de cette dernière, peut servir pour calculer le flux d'énergie correspondant à ce flux massique.

Figure 1.5



1.7.3 | Chaleur sensible et chaleur latente – Étude plus approfondie

C'est impossible d'ajouter indéfiniment de la chaleur sensible à une substance. Pour toute substance, il existe un point à partir duquel cette dernière changera d'état si on ajoute de la chaleur. En d'autres termes, à partir d'une certaine température, le mouvement des molécules qui composent la substance devient si important que la substance change d'état. C'est ce qui se passe lorsqu'on chauffe de la glace, elle finit par fondre et devient de l'eau. À 100 °C, l'eau devient de la vapeur. La figure 1.6 illustre ce phénomène : à mesure qu'on ajoute de la chaleur, la température de la glace augmente en fonction de sa capacité calorifique. À 0 °C, la température ne s'élève plus même si on ajoute encore de la chaleur.

Éventuellement, toute la glace se transforme en eau et la température recommence à monter. La chaleur ajoutée pour faire fondre la glace est appelée chaleur latente de fusion, car elle représente la quantité de chaleur nécessaire pour convertir une substance en liquide.

Si on continue d'ajouter de la chaleur, la température de l'eau s'élève. La chaleur sensible contenue dans l'eau augmente. Éventuellement, l'eau ne peut accumuler plus de chaleur sensible et sa température atteint de nouveau un plateau. L'eau se transforme alors en vapeur. De la chaleur est ajoutée et absorbée jusqu'à ce que toute l'eau se transforme en vapeur. La quantité totale de chaleur absorbée et cachée dans la vapeur lors de ce plateau est appelée chaleur latente de vaporisation. Enfin, lorsque suffisamment de chaleur est ajoutée et que toute l'eau est convertie en vapeur, la vapeur d'eau commence à absorber de la chaleur sensible, et sa température augmente de nouveau.

On appelle capacité calorifique cette capacité de la glace (un solide), de l'eau (un liquide) ou de la vapeur (un gaz) à absorber de la chaleur. C'est elle qui détermine la pente de la courbe de la température pour les portions de changement de température sur le graphique. Plus la substance peut absorber de chaleur, moins la pente sera importante. Moins elle peut absorber de chaleur, plus sa température augmentera rapidement et plus la pente sera importante.

La quantité de chaleur qui reste latente ou cachée dans le liquide ou la vapeur peut être déterminée en mesurant la longueur des plateaux. Plus le plateau est long, plus la chaleur est absorbée et plus grande est la quantité de chaleur latente. Ainsi, la quantité de chaleur latente emmagasinée dans la vapeur d'eau est beaucoup plus importante que celle emmagasinée dans l'eau liquide. Étant donné que la vapeur peut emmagasiner beaucoup d'énergie, elle est utile dans les systèmes d'énergie thermique. La chaleur latente de vaporisation est de 2 256,9 kJ/kg à 100 °C et à une pression absolue de 101,325 kPa.

1.7.3.1 Évaporation

L'évaporation est le processus par lequel une substance passe de l'état liquide à l'état de gaz ou de vapeur. Ceci se produit lorsqu'on ajoute de la chaleur, tel qu'on le décrit ci-dessus.

1.7.3.2 Condensation

La condensation est le processus par lequel une substance passe de l'état gazeux à l'état liquide. Elle se produit lorsqu'on refroidit la substance. Lors du changement d'état, la chaleur latente ou cachée est relâchée.

1.7.3.3 Vapeur

Le terme « vapeur » fait souvent référence à un mélange d'eau et de vapeur. À vrai dire, la vapeur « sèche » est uniquement de la vapeur d'eau; la vapeur « humide » est un mélange de vapeur et de fines gouttelettes de liquide. Au début du plateau de vaporisation, il y a 0 p. 100 de vapeur et 100 p. 100 d'eau. À la fin du plateau, il y a 100 p. 100 de vapeur

et 0 p. 100 d'eau. Au milieu du plateau, il y a 50 p. 100 de vapeur et 50 p. 100 d'eau. À ce stade, l'eau peut se présenter sous forme de très petites gouttelettes, semblables à du brouillard. Quelquefois, on parle d'une qualité de vapeur de 0 à 100 p. 100. Ceci sert à indiquer la quantité d'eau gazeuse présente dans la vapeur.

La vapeur possède de nombreuses propriétés qui ont fait l'objet d'une foule d'études, dont les résultats ont été mis en tableaux. Les tables de vapeur donnent les valeurs de la teneur énergétique de la vapeur sous diverses conditions. La chaleur latente de vaporisation est de 2 256,9 kJ/kg à 100 °C et à une pression absolue de 101,325 kPa. Ces valeurs sont utilisées pour estimer les pertes d'énergie attribuables aux fuites de vapeur.

Les unités habituellement utilisées pour les mesures relatives à la vapeur sont les suivantes :

Conditions : température (°C) et pression (kPa)

Masse : kilogramme (kg)

Flux massique : kilogramme par heure (kg/h)

Teneur énergétique : kilojoules par kilogramme (kJ/kg)

1.7.3.4 Air humide et humidité

La chaleur latente contenue dans l'air humide est une autre forme d'énergie latente courante dans les installations. Lorsqu'il pleut ou que le brouillard est dense, l'air renferme de l'humidité. En fait, la pluie signifie que l'humidité de l'air vient tout juste de passer de l'état gazeux à l'état liquide. La formation de rosée sur le gazon le matin résulte du même processus, à savoir la condensation.

L'humidité dans l'air a deux importantes incidences sur le chauffage et le refroidissement de l'air.

- L'air qui est humide possède une plus grande capacité calorifique. Si on veut le chauffer cela exige donc plus de chaleur.
- En réduisant la température de l'air, on peut atteindre une température à laquelle la vapeur se condense en liquide, relâchant son énergie latente et rendant ainsi plus difficile le refroidissement de l'air. Par exemple, la condensation nuira au refroidissement de l'air par un climatiseur. De même, le chauffage de l'air humide demande plus d'énergie que celui de l'air sec.

La quantité d'humidité ou de vapeur d'eau contenue dans l'air se mesure par ce qu'on appelle l'humidité relative (HR), laquelle est exprimée en un pourcentage variant de 0 à 100 p. 100. Le terme « relative » indique la quantité de vapeur d'eau présente par rapport à la quantité maximale qui pourrait s'y trouver à une température donnée. L'humidité relative est toujours associée à une température mesurée avec un élément récepteur sec. Par exemple, il est d'usage d'indiquer que l'humidité relative est de 65 p. 100 à 20 °C avec bulbe sec.

On mesure l'humidité relative avec un **psychromètre**, qui compare la température mesurée avec un bulbe complètement sec avec celle mesurée avec un bulbe complètement entouré d'une mèche saturée. À une humidité relative de 100 p. 100, les deux bulbes devraient donner la même température.

Les propriétés de l'air humide ont été étudiées et les résultats obtenus ont été mis en diagramme psychrométrique.

Les mesures et les unités relatives à l'humidité sont les suivantes :

Facteur d'humidité : grammes d'eau par kilogramme d'air sec (g/kg)

Humidité relative : pourcentage (%) à la température (°C)

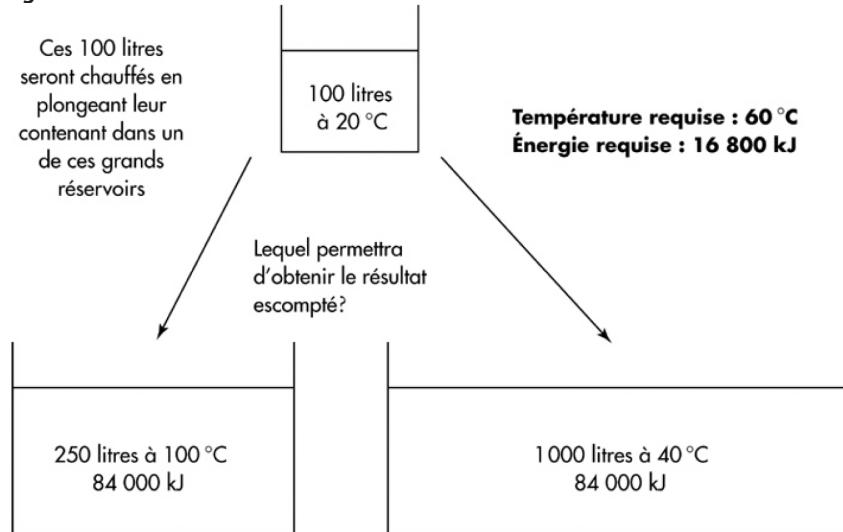
1.7.4 | L'importance et l'utilité de l'énergie thermique

Compte tenu de notre définition initiale de l'énergie comme étant la capacité de produire un travail, on peut dire que l'énergie thermique est utile si elle peut procurer un certain travail thermique. Comme exemple de certaines formes simples de travail thermique, mentionnons :

- le chauffage d'un réservoir de liquide froid avec un radiateur électrique;
- le chauffage d'une cuve de produits chimiques avec de la vapeur pour entretenir une réaction chimique;
- le chauffage d'un bâtiment en hiver avec un radiateur chaud;
- l'évaporation de l'eau dans le lait à l'aide d'un serpentin de vapeur.

Tous ces procédés ont en commun l'ajout de chaleur grâce à un dispositif ou à un fluide « plus chaud » ou ayant une température plus élevée que celle de la substance d'origine. Ainsi peut-on dire, en termes très simplifiés, que la capacité de produire un travail utile est associée à une augmentation de la température.

Figure 1.6



Examinez la question posée à la figure 1.6. On souhaite faire passer de 20 °C à 60 °C la température de 100 litres d'eau en plongeant le contenant de 100 litres dans un des réservoirs. Lequel de ces réservoirs a la plus grande capacité de produire le travail souhaité?

Si la capacité calorifique de l'eau est de 4,2 kJ/kg, il faudra 16 800 kJ de chaleur. Les deux réservoirs d'eau renferment la même quantité d'énergie thermique – 84 000 kJ par rapport à l'eau à une température de 20 °C. Quel contenant doit-on utiliser?

Ces deux réservoirs peuvent-ils faire le travail utile nécessaire? Non, le plus grand réservoir ne sera jamais capable d'éléver la température à une valeur supérieure à sa propre température, soit de 40 °C. La source de chaleur doit avoir une température supérieure à 60 °C. On peut donc conclure qu'on doit utiliser le réservoir d'eau de 250 litres à 100 °C.

On peut apprendre de cette situation que la capacité de produire un travail n'est pas uniquement liée à la quantité d'énergie que renferme une substance, mais aussi à la température de la substance. Une autre façon d'exprimer ceci est de dire que la chaleur et l'énergie thermique ne se déplacent que des températures élevées vers les températures basses. La gestion de l'énergie thermique consiste principalement à manipuler les températures de manière à obtenir un travail utile maximal à partir de l'énergie thermique ou de la chaleur achetée.

Le seul cas où ceci ne s'applique pas est celui de l'énergie latente, puisque la capacité de produire un travail utile est emmagasinée, et la température peut ne pas indiquer la quantité. En fait, c'est aussi le cas dans d'autres situations. La température n'est pas la seule mesure de la capacité de produire un travail utile, mais en reste une bonne pour un grand nombre de systèmes thermiques. Dans le cas de systèmes latents, il faut se rappeler que s'il est possible de convertir l'énergie latente en énergie sensible à haute température, il sera possible de produire un certain travail thermique utile.

L'aspect important à se rappeler au sujet de l'énergie latente est qu'elle représente une capacité emmagasinée ou cachée de produire un travail utile.

L'utilité de l'énergie sensible d'une substance dépend de la température de cette substance par rapport à celle de la température du milieu environnant.

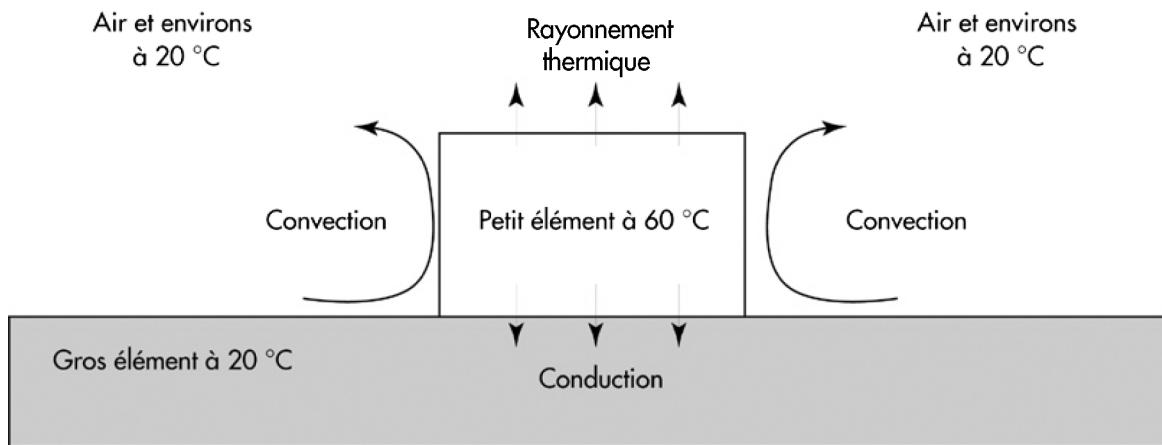
1.8 Transfert de chaleur – Comment la chaleur se déplace

Le transfert d'énergie thermique ou de chaleur est gouverné par une différence de température. La vitesse avec laquelle la chaleur se déplace d'un corps à haute température vers un corps à plus basse température est déterminée par la différence de température et la nature des matériaux servant au transfert de chaleur.

Il n'existe que trois processus fondamentaux de transfert de chaleur, à savoir la conduction, la convection et le rayonnement. Tous les transferts de chaleur se font par au moins un de ces processus et, en général, grâce à une combinaison de ceux-ci. Tous les transferts de chaleur sont gouvernés par des différences de température et sont fonction des substances ou des matériaux utilisés.

La figure 1.7 montre chacun de ces processus de transfert de chaleur à l'œuvre sur un bloc à 60 °C, reposant sur une surface à 20 °C, entouré d'air à 20 °C, dans une pièce dont les murs sont à une température de 20 °C.

Figure 1.7



1.8.1 | Conduction

La conduction de la chaleur a lieu lorsque deux corps entrent en contact l'un avec l'autre. Si la température de l'un des corps est plus élevée que celle de l'autre, le mouvement des molécules du corps le plus chaud provoquera au point de contact une agitation des molécules du corps le plus froid et augmentera donc la température de ce dernier.

Dans l'exemple donné à la figure 1.7, la chaleur sera transférée par conduction du bloc vers la surface, jusqu'à ce que les deux atteignent la même température. Le bloc va donc se refroidir et la surface se réchauffer.

La quantité de chaleur transférée par conduction varie en fonction de la différence de température, des propriétés des matériaux en contact, de l'épaisseur du matériau, de la surface de contact et de la durée du transfert.

Les bons conducteurs de chaleur sont habituellement des substances denses, car leurs molécules sont plus près les unes des autres. Cela permet au processus d'agitation moléculaire de se propager plus facilement dans la substance. Il en est autrement pour les gaz, car leurs molécules sont beaucoup plus distantes, ce qui les rend moins bons conducteurs de chaleur. Les mauvais conducteurs de chaleur sont appelés des isolants.

La mesure de la capacité d'isolation d'une substance est sa résistance thermique. On l'appelle souvent valeur « R » (RSI dans le SI). La valeur R est en général l'inverse de la conductance ou capacité de transférer la chaleur.

Les unités de mesure types pour le transfert de chaleur par conduction sont les suivantes :

Taux de transfert de chaleur :

Système international (SI) : watts (W) ou kilowatts (kW)

Système impérial : Btu par heure (Btu/h)

Taux de transfert de chaleur par unité de surface (pour une épaisseur donnée) :

Système international (SI) : watts par mètre carré (W/m²)

Système impérial : Btu par heure par pied carré (Btu/h/ft²)

1.8.2 | Convection

Le transfert de chaleur par convection fait intervenir le mouvement d'un fluide, comme un gaz ou un liquide. Il existe deux types de convection : naturelle et forcée.

Dans le cas de la convection naturelle, le fluide en contact ou adjacent à un corps à haute température est réchauffé par conduction. En se réchauffant, il se dilate, devient moins dense et donc s'élève. Ce phénomène déclenche un processus au cours duquel un courant de fluide circule aux environs du corps chaud, transférant continuellement de la chaleur. La figure 1.7 illustre le processus de convection naturelle se déroulant sur les côtés et au-dessus du corps chaud.

La convection naturelle contribue à refroidir le café dans une tasse et à cuire un gâteau dans le four.

Dans le cas de la convection forcée, le mouvement du fluide est forcé à l'aide d'un ventilateur, d'une pompe ou d'autres moyens externes. Un système de chauffage à air chaud est un bon exemple de convection forcée.

La convection dépend du transfert de chaleur par conduction entre le corps chaud et le fluide. Dans le cas d'un fluide de faible conductivité, comme l'air, une surface rugueuse peut piéger l'air, réduisant le transfert de chaleur par conduction et, donc, les courants de convection. C'est ce principe qui est utilisé pour l'isolation des murs avec de la fibre de verre. Les fins brins de laine de verre sont conçus pour réduire le plus possible les courants de convection dans le mur et, donc, le transfert de chaleur par convection. Les matériaux renfermant de nombreuses fibres fines empêchent la convection, alors que les surfaces lisses la favorisent.

La convection forcée peut potentiellement transférer une beaucoup plus grande quantité de chaleur, à plus grande vitesse.

Les unités de mesure utilisées dans le cas du transfert de chaleur par convection sont les suivantes :

Système international (SI) : watts (W) ou kilowatts (kW)

Système impérial : Btu par heure (Btu/h)

1.8.3 | Rayonnement thermique

Le rayonnement thermique est un processus par lequel de l'énergie est transférée sous forme d'ondes électromagnétiques comparables aux ondes lumineuses. Ces ondes peuvent être visibles (lumière) et invisibles. L'élément chauffant d'un poêle est un bon exemple de rayonnement thermique. Lorsque l'élément chauffant est mis sous tension, le rayonnement est invisible, bien qu'on puisse ressentir la chaleur émise. En chauffant, l'élément devient orange, une partie du rayonnement devient visible. Plus l'élément est chaud, plus il devient brillant et plus d'énergie radiante est émise.

Les processus fondamentaux de l'interaction entre une substance et le rayonnement thermique sont les suivants :

- **l'absorption** : processus par lequel le rayonnement pénètre dans le corps et se transforme en chaleur;
- **la transmission** : processus par lequel le rayonnement traverse un corps;
- **la réflexion** : processus par lequel le rayonnement n'est ni absorbé ni transmis par le corps, mais plutôt réfléchi.

Les objets reçoivent du rayonnement thermique lorsqu'ils sont bombardés par des ondes électromagnétiques, augmentant ainsi l'agitation des molécules et des atomes. Une plus grande agitation correspond à plus d'énergie et à une température plus élevée. De l'énergie est ainsi transférée d'un corps à un autre sans contact ni milieu assurant le transport, comme l'air ou l'eau. En fait, le transfert de chaleur par rayonnement thermique est la seule forme de transfert de chaleur possible sous vide.

Tous les corps émettent une certaine quantité de rayonnement. Cette quantité dépend de la température du corps et de la nature de sa surface. Malgré leur température, certains corps n'émettent qu'une petite quantité d'énergie radiante; ils sont communément appelés matériaux à faible émissivité. Les fenêtres à faible émissivité sont utilisées pour limiter la chaleur radiante entrant ou sortant d'un immeuble. Les fenêtres peuvent être conçues pour réfléchir, absorber et transmettre différentes parties du rayonnement solaire.

L'état de la surface d'un corps déterminera la quantité de rayonnement thermique absorbé, réfléchi ou réémis. Les surfaces noires et rugueuses, comme le fer noir, absorbent et réémettent presque toute l'énergie radiante. Les surfaces lisses et polies n'absorberont pas, mais réfléchiront la plus grande partie de l'énergie radiante.

Les unités de mesure types pour la vitesse de transfert d'énergie radiante sont les suivantes :

Système international (SI) : watts par mètre carré (W/m^2)

Système impérial : Btu par heure par pied carré ($Btu/h/ft^2$)

1.9 Calculs des pertes de chaleur

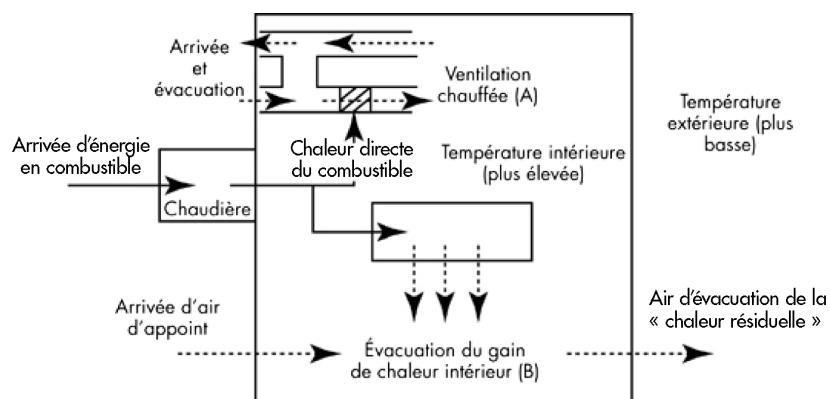
Les sections suivantes présentent des méthodes simples permettant d'estimer la quantité d'énergie liée à chaque flux d'énergie. Ces méthodes sont générales et peuvent servir à estimer la quantité d'énergie rattachée à tout processus de transfert de la chaleur – à l'intérieur, à l'extérieur, ou de l'intérieur vers l'extérieur d'une installation.

1.9.1 | Connaître la source de chaleur

Prenons le cas de l'air évacué d'un bâtiment pendant l'hiver et de l'arrivée correspondante d'air d'appoint, qui peut être chauffé ou non. Deux situations pourraient se produire, comme l'illustrent la figure 1.8 et la description suivante :

- L'air de ventilation est aspiré vers l'intérieur puis chauffé. Une évacuation est nécessaire pour équilibrer les pressions d'air extérieur et intérieur et pour effectuer l'échange d'air.
- L'air froid est aspiré vers l'intérieur pour évacuer l'excès de chaleur produit dans le bâtiment par l'éclairage, les moteurs et autres dispositifs internes produisant de la chaleur. La chaleur ainsi évacuée porte parfois le nom de chaleur résiduelle. L'air frais n'est pas chauffé directement, ou peut n'être chauffé qu'en partie.

Figure 1.8

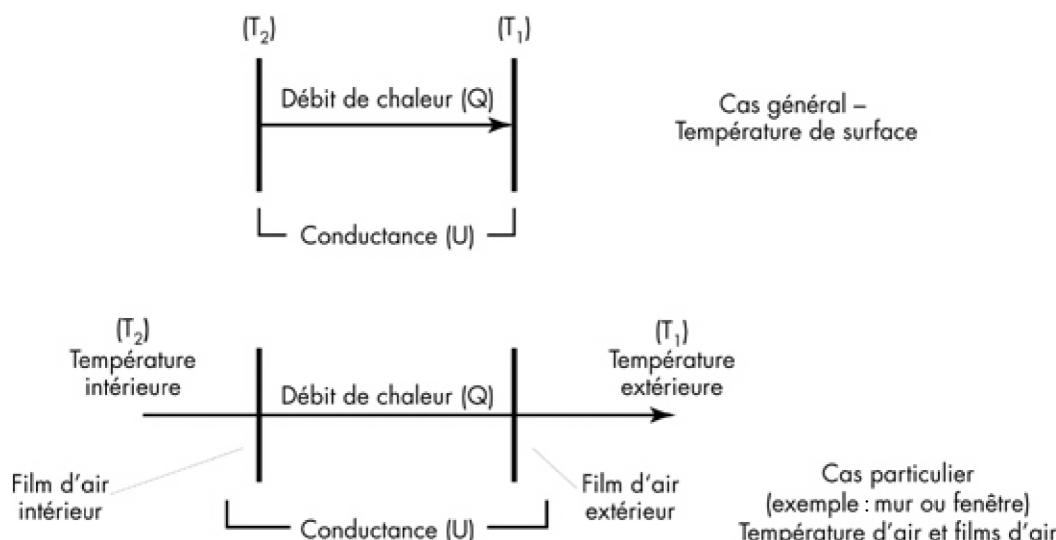


À mesure que vous identifiez les sorties, déterminez les sources de chaleur à la sortie, car cette information est importante pour l'identification et l'évaluation des possibilités d'économie.

1.9.2 | Conduction

Le transfert de chaleur par conduction se produit à travers les murs, la toiture et les fenêtres du bâtiment. Comme l'illustre la figure ci-dessous, la chaleur se déplace par transfert ou conduction en allant du côté le plus chaud vers le côté le plus froid du matériau traversé.

Figure 1.9



Remarque : $T_2 > T_1$ dans les configurations ci-dessus.

La nature du ou des matériaux situés entre les deux températures extrêmes détermine la conductance thermique. On utilise habituellement le terme valeur de résistance thermique ou valeur R du matériau, plutôt que conductance. Avec le SI, le terme employé est valeur RSI. (La résistance thermique et la conductance thermique sont reliées. L'une est la réciproque de l'autre.) Dans la section 1.9.2.1, on explique en détail une méthode permettant d'estimer la capacité d'isolation et la conductance des divers matériaux et structures, comme ceux des murs, des toitures et des fenêtres. Cette méthode peut être utilisée avec toute surface plane si les deux températures correspondent avec précision à celle de la surface du matériau que la chaleur traverse par conduction.

1.9.2.1 Détermination de la conductance

La conductivité thermique est la mesure de la capacité d'un matériau à transférer la chaleur lorsqu'une différence de température existe entre les côtés de ce matériau. Cette conductivité est habituellement exprimée en débit thermique par unité d'épaisseur du matériau et par degré de différence de température. Les unités sont le W/m °C (SI) et le Btu/ [pi^2/h/°F] (mesures impériales). Le plus souvent, la conductance du matériau est exprimée en débit thermique par unité de surface et par degré de différence de température, pour une épaisseur donnée. Les unités de conductance sont le W/m² °C (SI) et le Btu/ [pi^2/h/°F] (système impérial).

Paramètre	Symbole	Unités	Exemple	Méthode de détermination
Conductance	U	W/m ² /°C	0,9 W/m ² /°C	Voir ci-dessous
Surface	A	m ²	100 m ²	Mesure
Température la plus élevée	T ₂	°C	20 °C	Mesure, estimation
Température la moins élevée	T ₁	°C	5 °C	Mesure, estimation
Temps	t	heures	s.o.	Estimation, calcul
Débit thermique	Q	kW	1,35 kW	Voir la formule ci-dessous

La résistance au passage de la chaleur par unité d'épaisseur ou par unité de surface pour une épaisseur donnée s'appelle habituellement la valeur « RSI » (unités SI) et la valeur « R » (unités impériales). Les valeurs R et RSI sont l'inverse de la conductivité et de la conductance, respectivement. Les unités SI sont le m °C/W et m² °C/W, respectivement. Les unités impériales sont le [pi h °F]/Btu et le [pi h °F]/Btu, respectivement. On peut obtenir les valeurs de conductance, de conductivité et de résistance pour divers matériaux et couches de matériaux communs dans la documentation du fabricant, laquelle, souvent, peut être consultée sur Internet. La conductance d'un ensemble de matériaux (en couches) est souvent appelée la transmittance.

1.9.2.2 Températures

Dans certains cas, il est possible de remplacer les températures de surface T₂ et T₁ par des températures de l'air. Cela est courant dans le cas d'éléments comme les murs, les toitures et les fenêtres, où l'effet d'isolation de la couche d'air adjacente à l'intérieur et à l'extérieur des surfaces entre en ligne de compte.

Équation pour le taux de transfert de chaleur :

$$Q = UA \times (T_2 - T_1) \quad \text{en watts (W)}$$

Quantité totale de chaleur transférée :

$$\text{Chaleur} = Q \times t / 1\,000 \quad \text{en kilowattheures (kWh)}$$

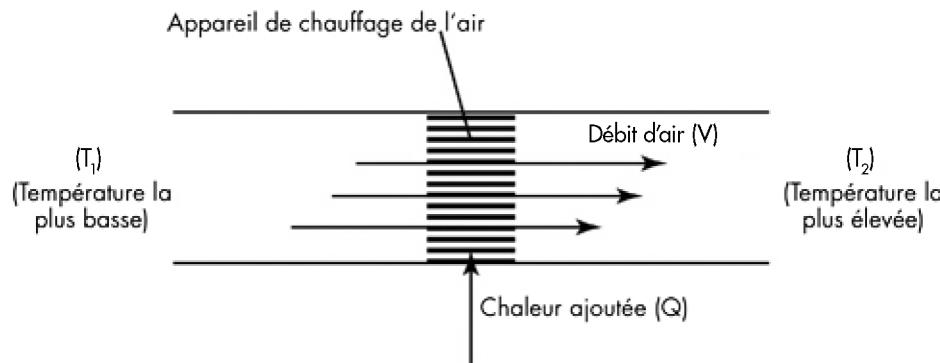
$$\text{Chaleur} = Q \times t \times 3\,600 \quad \text{en joules (J)}$$

Hypothèses et mises en garde

- Les données seront moins précises si la température varie considérablement avec le temps.
- La température ne varie pas pour la surface touchée.
- Les températures utilisées doivent être celles de la surface si les mesures de conductance ne tiennent pas compte des films d'air.

Référence : *Série de la gestion de l'énergie, module n° 18 – Point de vue architectural.*

1.9.3 | Débit d'air – Chaleur sensible



Exemple illustré : Chauffage d'air froid nécessaire au remplacement de l'air évacué

Ce type de flux d'énergie par convection forcée est courant avec les flux d'air chauffé ou refroidi qui permettent de ventiler les bâtiments industriels et d'en évacuer l'air. Cette méthode d'estimation ne tient compte que de la chaleur sensible et de l'humidité de l'air. Elle ne tient pas compte des changements possibles de l'humidité de l'air causés par la condensation ou l'évaporation. Divers flux d'énergie d'une installation sont représentés dans les situations suivantes :

- Perte de chaleur lorsque l'air chaud passe dans un espace plus froid. L'évacuation d'air chaud en hiver en est un exemple.
- Chaleur nécessaire pour augmenter la température de l'air froid qui pénètre dans un espace chaud. L'entrée d'air froid en hiver en est un exemple.
- Gain de chaleur (donc besoin de refroidissement) lorsque l'air chaud entre dans un espace froid. L'entrée d'air chaud dans un bâtiment climatisé en été en est un exemple.

Paramètre	Symbole	Unités	Exemple	Méthode de détermination
Débit de circulation d'air	V	L/s	1 800 L/s	Mesure, estimation
Température intérieure/extérieure	T_2	°C	20 °C	Mesure, estimation (voir la remarque ci-dessous)*
Température extérieure/intérieure	T_1	°C	5 °C	Mesure, estimation (voir la remarque ci-dessous)*
Temps	t	heures	s.o.	Estimation, calcul
Débit de chaleur	Q	kW	33,3 kW	Formule ci-dessous

* Remarque : La valeur moyenne peut être calculée sur des périodes annuelles au moyen de la méthode des degrés-jours.

Équation pour le taux de transfert de chaleur :

$$Q = V \times (T_2 - T_1) \times 1,232 \quad \text{en watts (W)}$$

Quantité totale de chaleur transférée :

$$\text{Chaleur} = Q \times t / 1\,000 \quad \text{en kilowattheures (kWh)}$$

$$\text{Chaleur} = Q \times t \times 3\,600 \quad \text{en joules (J)}$$

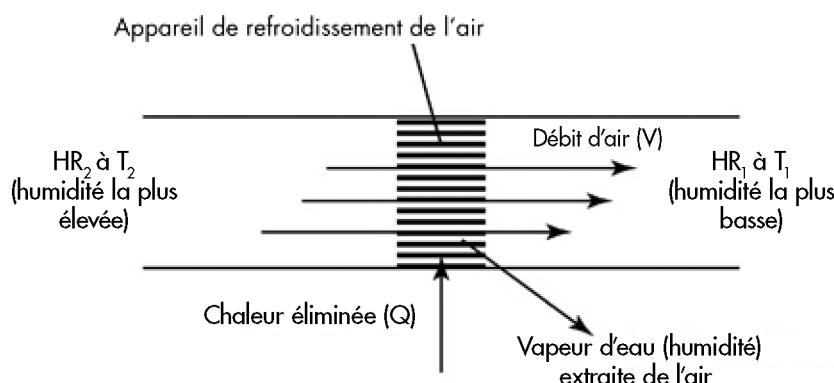
Hypothèses et mises en garde

- L'humidité relative de l'air est de 50 p. 100 à une température de 21 °C. Ces conditions sont prises en compte dans la constante 1,232.
- Cette méthode ne devrait pas être utilisée avec les débits d'air à température très élevée et à taux d'humidité élevé. Elle est avant tout destinée aux calculs du chauffage et de la climatisation des bâtiments.
- Tout débit d'air qui pénètre dans un bâtiment est équilibré par un flux d'énergie sortant, au moyen d'un système de ventilateurs, de la ventilation ou de l'exfiltration à travers la structure. L'inverse est également vrai. En effectuant un inventaire des flux d'énergie sortants, ne comptez que l'énergie nécessaire pour chauffer l'air qui entre ou l'énergie perdue avec l'air qui sort. En les comptant toutes les deux, vous effectueriez un compte double.

1.9.4 | Débit d'air – Chaleur latente

Ce type de flux d'énergie se trouve dans les courants d'air humide chauffé ou refroidi comme ceux des systèmes de ventilation et d'évacuation des immeubles commerciaux et industriels.

Figure 1.10



Exemple illustré : Refroidissement d'air nécessaire au remplacement de l'air évacué

Ce type de flux d'énergie tient compte de la condensation ou de l'évaporation attribuable aux changements de température et d'humidité associés au débit d'air. Il ne tient pas compte de la chaleur sensible associée au débit d'air. Selon les différences d'humidité, deux types de flux d'énergie d'une installation sont représentés dans les situations suivantes :

- Gain de chaleur (besoin de refroidissement) lorsque la vapeur d'eau présente dans l'air humide se condense (ou est extraite). Cela peut être associé au refroidissement par climatiseur, durant l'été, de l'air venant de l'extérieur.
- Chaleur nécessaire à l'humidification (ajout d'humidité) de l'air sec par évaporation. L'humidification de l'air de ventilation arrivant de l'extérieur pendant l'hiver en est un exemple.

1.9.4.1 Détermination du facteur d'humidité

À toute humidité et température données, l'air contient une certaine quantité d'humidité. Cette quantité est habituellement mesurée en grammes d'eau par kilogramme d'air sec (air dont l'humidité relative est égale à 0 p. 100). La figure 1.11 présente un exemple d'un schéma connu sous le nom de diagramme psychrométrique¹ qui est couramment utilisé pour déterminer le facteur d'humidité, selon la température du bulbe sec (T_1 ou T_2) et l'humidité relative (HR_1 ou HR_2). Une version pleine grandeur de ce diagramme se trouve dans n'importe quelle édition du guide de l'ASHRAE, intitulé *Handbook – Fundamentals*. La feuille de calcul tirée du fichier [Inventaire de la consommation d'énergie thermique.xls](#) qui accompagne le guide renferme une version électronique du diagramme (voir la section 6.10).

¹ Psychrométrie : détermination des propriétés thermodynamiques de l'humidité contenue dans l'air.

Figure 1.11 Exemple de diagramme psychrométrique (reproduit avec l'autorisation de l'ASHRAE)

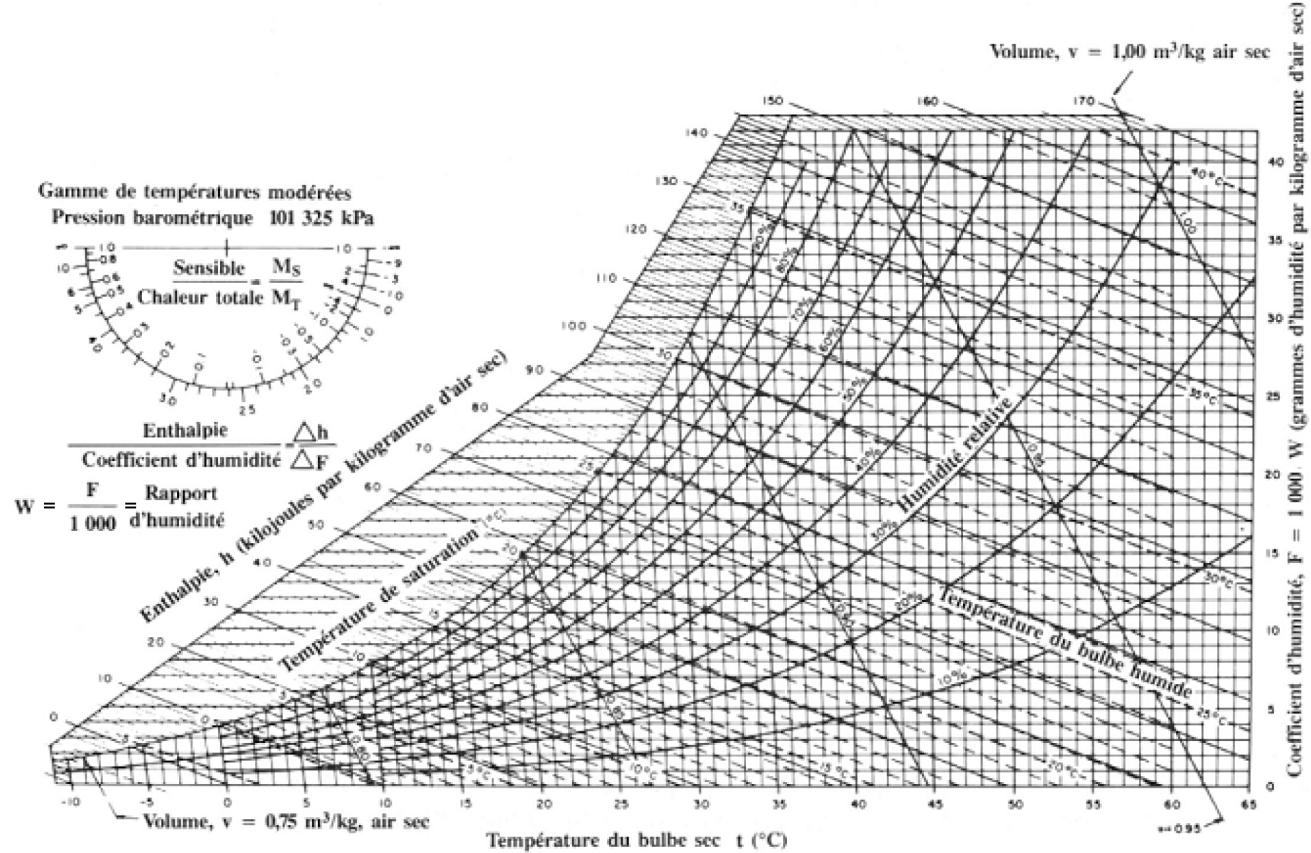


Diagramme psychrométrique

Paramètre	Symbole	Unités	Exemple	Méthode de détermination
Débit de circulation d'air	V	L/s	1 831 L/s	Mesure, estimation
Température (bulbe sec)	T ₁	°C	24 °C	Mesure, estimation
Humidité relative inférieure	HR ₁	%	50 %	Mesure, estimation Voir la section 1.7.3.4.
Température (bulbe sec)	T ₂	°C	31 °C	Mesure, estimation
Humidité relative supérieure	HR ₂	%	50 %	Mesure, estimation Voir la section 1.7.3.4.
Facteur d'humidité (élevé)	H ₂	g/kg	14,5 g/kg	Mesure de l'humidité et diagramme psychrométrique
Facteur d'humidité (faible)	H ₁	g/kg	9 g/kg	Mesure de l'humidité et diagramme psychrométrique
Temps	t	heures	s.o.	Estimation, calcul
Débit thermique	Q	kW	30,3 kW	Formule ci-dessous

Équation pour le taux de transfert de chaleur :

$$Q = V \times (H_2 - H_1) \times 3,012 \quad \text{en watts (W)}$$

Quantité totale de chaleur transférée :

$$\text{Chaleur} = Q \times t / 1\,000 \quad \text{en kilowattheures (kWh)}$$

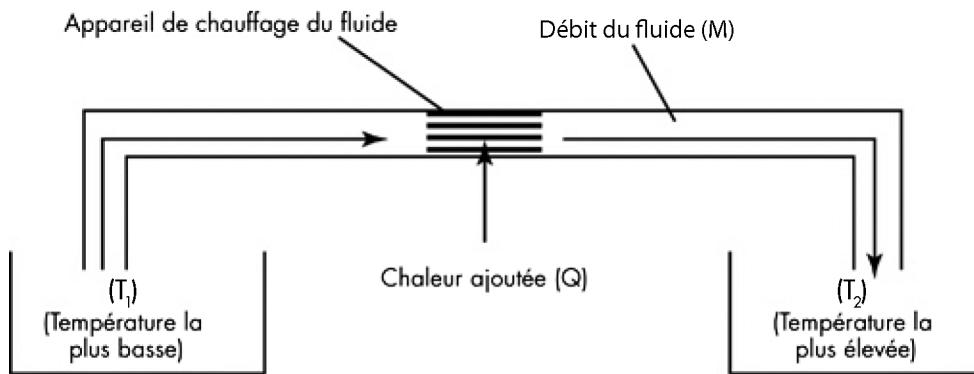
$$\text{Chaleur} = Q \times t \times 3\,600 \quad \text{en joules (J)}$$

Hypothèses et mises en garde

- Cette méthode d'estimation s'applique d'abord au chauffage et à la climatisation des bâtiments. Elle ne devrait pas être utilisée dans les cas de températures et de taux d'humidité extrêmement élevés. Le facteur 3,012 a été établi en fonction de conditions normales.
- Tout débit d'air qui pénètre dans un bâtiment est équilibré par un flux d'énergie sortant au moyen d'un système de ventilateurs, de la ventilation ou de l'exfiltration à travers la structure. L'inverse est également vrai. En effectuant un inventaire des flux d'énergie sortants, ne comptez que l'énergie nécessaire pour chauffer l'air qui entre ou l'énergie perdue avec l'air qui sort. En les comptant toutes les deux, vous effectueriez un compte double.

1.9.5 | Fluide chaud ou froid

La circulation de fluides à diverses températures est courante dans l'industrie. L'eau est habituellement utilisée pour déplacer la chaleur. Les liquides doivent souvent être chauffés ou refroidis pendant les activités de production courantes.



Exemple illustré : Eau chauffée pour utilisation dans un procédé

Cette méthode d'estimation peut être utilisée à diverses fins, dont celles de :

- déterminer la perte de chaleur causée par la sortie d'un fluide chaud;
- déterminer la chaleur requise pour chauffer un fluide froid qui circule;
- déterminer le refroidissement nécessaire pour abaisser la température d'un fluide.

Paramètre	Symbole	Unités	Exemple	Méthode de détermination
Débit massique	M	kg/s	0,35 kg/s	Mesure, estimation
Température la plus élevée	T_2	°C	40 °C	Mesure, estimation
Température la plus basse	T_1	°C	10 °C	Mesure, estimation
Capacité calorifique d'un fluide (chaleur massique)	C	kJ/kg/°C	4,2 kJ/kg/°C	Voir le tableau dans la section 1.7.2
Temps	t	heures	s.o.	Estimation, calcul
Débit thermique	Q	kW	44,1 kW	Formule ci-dessous

Où, $Q = M \times C \times (T_2 - T_1)$

1.9.5.1 Température la plus élevée, température la plus basse

Avec cette méthode d'estimation des flux d'énergie sortants, la température la plus basse est habituellement celle du fluide qui pénètre dans l'installation. Dans le cas de l'eau, cela peut être la température d'une arrivée d'eau.

Dans le cas du chauffage, la température la plus basse et la température la plus élevée sont simplement prises comme températures « en provenance de » et « à destination de », respectivement. Pour la climatisation, les valeurs sont inversées.

1.9.5.2 Débit massique

Le débit massique correspond au débit volumétrique multiplié par la densité du fluide. L'unité de densité est le kilogramme par mètre cube (kg/m^3) avec le système SI, et la livre par pied cube (lb/pi^3) avec le système impérial. Les débits sont souvent donnés en litres par seconde (L/s), ou en gallons par minute (gal/min). Il est donc nécessaire de connaître la densité d'une substance en kg/L ou lb/gal respectivement. La densité de l'eau est de 1 kg/L . Le débit massique est le suivant :

$$\text{Débit massique} = \text{débit volumétrique} (\text{L}/\text{s}) \times \text{densité} (\text{kg}/\text{L})$$

Équation pour le taux de transfert de chaleur :

$$Q = M \times (T_2 - T_1) \times C \times 1\,000 \quad \text{en watts (W)}$$

Quantité totale de chaleur transférée :

$$\text{Chaleur} = Q \times t / 1\,000 \quad \text{en kilowattheures (kWh)}$$

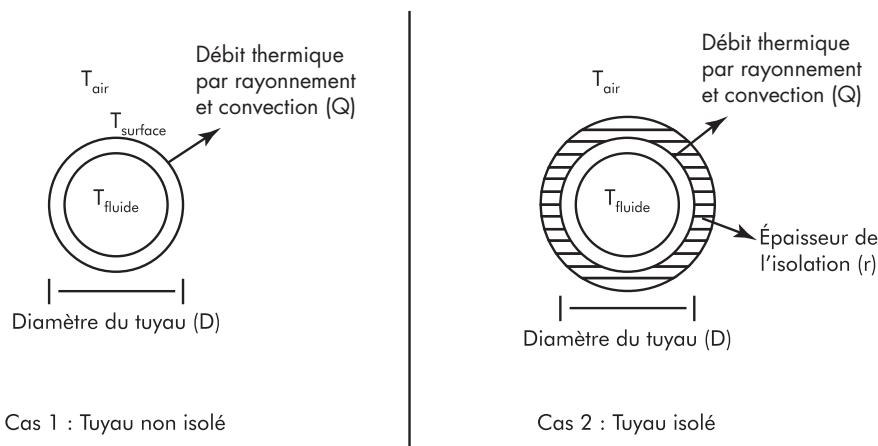
$$\text{Chaleur} = Q \times t \times 3\,600 \quad \text{en joules (J)}$$

Référence : Tout manuel de physique élémentaire.

1.9.6 | Perte de chaleur par les tuyaux

Une perte ou un gain de chaleur se produit dans les tuyaux transportant les fluides, selon les températures qui existent à l'intérieur et à l'extérieur du tuyau. En raison de la forme arrondie des tuyaux, les pertes de chaleur qui en proviennent doivent être traitées différemment de celles qui proviennent d'une surface plane. La méthode simplifiée servant à l'estimation de la perte de chaleur est présentée ci-après.

Figure 1.12 Perte de chaleur par les tuyaux



Le mode de transfert de la chaleur combine les principes de la conduction, de la convection et du rayonnement.

Paramètre	Symbole	Unités	Exemple	Méthode de détermination
Température du fluide (intérieure) ou température de surface	T_f T_s	°C	150 °C Surface nue	Mesure, estimation; utiliser la température du tuyau dans le cas des tuyaux non isolés.
Diamètre du tuyau	D	po (diamètre nominal du tuyau)	3 po (diamètre nominal du tuyau)	Mesure
Longueur du tuyau	L	m	20 m	Mesure
Facteur de perte de chaleur	F	W/m	575 W/m	Voir ci-dessous.
Épaisseur de l'isolation	r	mm	aucune	Si le tuyau est isolé, l'épaisseur de l'isolation s'exprime en millimètres.
Temps	t	heures	s.o.	Estimation, calcul
Débit thermique	Q	kW	11,5 kW	Formule ci-dessous

Facteur de perte de chaleur

Les valeurs se rapportant au facteur de perte de chaleur fondées sur la température du fluide (ou la température des tuyaux non isolés) et sur le diamètre des tuyaux sont présentées dans les manuels d'isolation thermique.

Équation pour le taux de transfert de chaleur (déperdition) :

$$Q = F \times L \quad \text{en watts (W)}$$

Quantité totale de chaleur transférée :

$$\text{Chaleur} = Q \times t / 1\,000 \quad \text{en kilowattheures (kWh)}$$

$$\text{Chaleur} = Q \times t \times 3\,600 \quad \text{en joules (J)}$$

Mise en garde

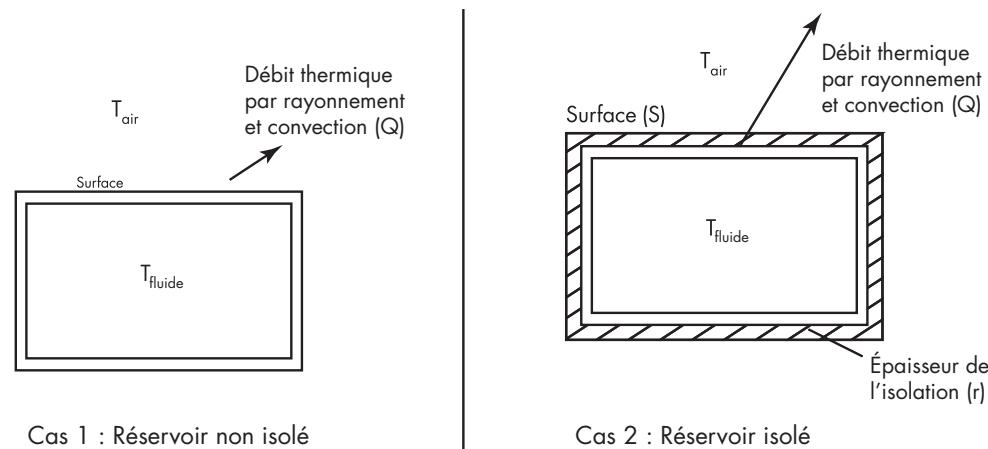
- Dans le cas où un tuyau est situé à l'extérieur du bâtiment, la déperdition de chaleur qui en provient constitue un flux d'énergie sortant de l'installation. Lorsque le tuyau est situé à l'intérieur du bâtiment, la chaleur qu'il produit peut contribuer au chauffage général du bâtiment (ou à un chauffage excessif dans certains cas), et la déperdition de chaleur qui en provient ne constitue pas un flux d'énergie sortant. Celui-ci survient lorsque la chaleur provenant du tuyau s'ajoute à l'air intérieur et s'évacue à l'extérieur du bâtiment ou s'évacue par conduction par les parois de la structure du bâtiment. Les données se rapportant aux différents flux d'énergie ne doivent être capturées qu'une fois.

Remarque : Un logiciel (avec applications en langue anglaise seulement) est disponible en ligne pour calculer le rendement thermique de la tuyauterie isolée et non isolée à l'adresse www.pipeinsulation.org.

1.9.7 | Perte de chaleur par les réservoirs

Une perte ou un gain de chaleur se produit dans les réservoirs contenant du fluide, selon les températures qui existent à l'intérieur et à l'extérieur du réservoir. La méthode simplifiée servant à l'estimation de la perte de chaleur est présentée ci-après.

Figure 1.13 Perte de chaleur par les réservoirs



Le mode de transfert de la chaleur combine les principes de la conduction, de la convection et du rayonnement.

Paramètre	Symbole	Unités	Exemple	Méthode de détermination
Température du fluide (intérieure) ou température de surface.	T_f T_s	°C	90 °C Surface nue	Estimation de mesure, utilisez la température du réservoir dans le cas des réservoirs non isolés.
Surface	S	m ²	20 m ²	Mesure
Facteur de déperdition	F	W/m ²	950 W/m ²	Voir ci-dessous.
Épaisseur de l'isolation	r	mm	aucune	Si le réservoir est isolé, l'épaisseur de l'isolation est radiale.
Temps	t	heures	s.o.	Estimation, calcul
Débit thermique	Q	kW	19 kW	Formule ci-après

Facteur de perte de chaleur

Les valeurs se rapportant au facteur de perte de chaleur fondées sur la température du fluide (ou la température du réservoir non isolé) sont présentées dans les manuels d'isolation thermique.

Équation pour le taux de transfert de chaleur :

$$Q = F \times S \quad \text{en watts (W)}$$

Quantité totale de chaleur transférée :

$$\text{Chaleur} = Q \times t / 1\,000 \quad \text{en kilowattheures (kWh)}$$

$$\text{Chaleur} = Q \times t \times 3\,600 \quad \text{en joules (J)}$$

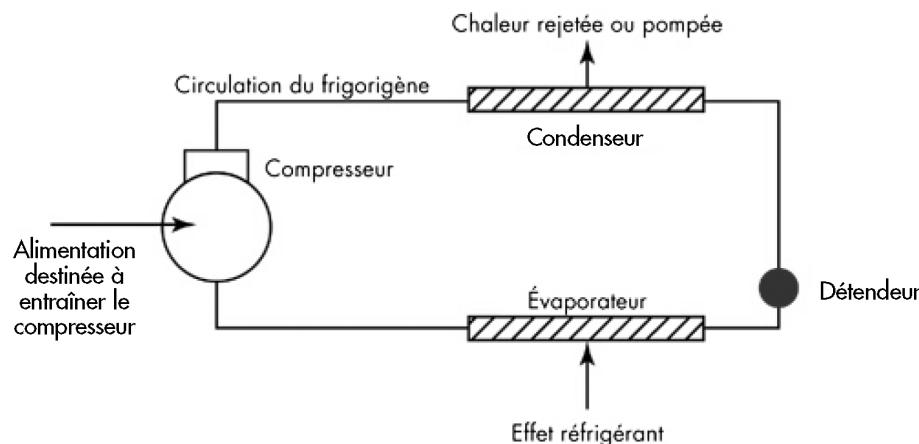
Hypothèses et mises en garde

- La température du réservoir est considérée comme uniforme, quelles que soient les conditions qui existent à l'intérieur du réservoir. La température à la surface du réservoir est également considérée comme uniforme.
- Lorsque le réservoir est situé à l'extérieur du bâtiment, la déperdition de chaleur qui en provient constitue un flux d'énergie sortant de l'installation. Dans le cas où le réservoir se trouve à l'intérieur du bâtiment, la chaleur qu'il produit peut contribuer au chauffage général du bâtiment (ou à un chauffage excessif dans certains cas), et la déperdition de chaleur qui en provient ne constitue pas un flux d'énergie sortant. Le flux d'énergie sortant se produit lorsque la chaleur provenant du réservoir se combine à l'air intérieur et s'évacue à l'extérieur du bâtiment ou s'évacue par conduction par les parois de la structure du bâtiment. Les données se rapportant aux différents flux d'énergie ne doivent être capturées qu'une fois.

1.9.8 | Réfrigération

Les systèmes de réfrigération sont conçus et utilisés pour déplacer la chaleur. Lorsqu'on dresse l'inventaire des flux d'énergie sortants ou lorsqu'on évalue les possibilités de récupérer la chaleur, il est souvent utile de pouvoir estimer la quantité de chaleur qu'un système de réfrigération rejette par unité de temps.

Figure 1.14



Le rejet de chaleur d'un système de réfrigération se fait principalement au condenseur. La quantité de chaleur rejetée correspond à la somme de l'énergie électrique qui alimente le compresseur et de la chaleur pompée à partir de l'évaporateur. On peut utiliser la méthode décrite pour les fluides chauffés s'il s'agit d'un condenseur refroidi à l'eau et de la méthode du débit d'air pour la chaleur sensible dans le cas d'un condenseur refroidi à l'air. Si l'appareil est doté d'une tour de refroidissement par évaporation, il peut être nécessaire de tenir compte de la chaleur latente de l'air qui élimine de la chaleur du condenseur.

Une autre méthode consisterait à effectuer une approximation reposant sur la capacité du système à déplacer la chaleur. Cette capacité est couramment appelée coefficient de performance (CP). Avec un système de réfrigération destiné à fournir un effet de refroidissement ou de réfrigération, le CP de la réfrigération est défini à l'aide de la formule suivante :

$$CP_R = \text{effet de réfrigération}/\text{énergie absorbée par le travail}$$

Lorsqu'un système de réfrigération est destiné à chauffer, comme avec les thermopompes, le CP de chauffage est l'élément intéressant. Ce CP est le suivant :

$$CP_H = (\text{effet de réfrigération} + \text{énergie absorbée par le travail})/\text{énergie absorbée par le travail}$$

Ces équations montrent clairement qu'avec une énergie absorbée par le travail (cette énergie vient habituellement de l'alimentation électrique du compresseur) et un CP donnés, il est possible de calculer la quantité d'énergie déplacée.

Équation pour le taux de transfert de chaleur :

$$Q = CP \times \text{alimentation du compresseur} \quad \text{en kilowatts (kW)}$$

Quantité totale de chaleur transférée en temps (t), mesurée en heures :

$$\text{Chaleur} = Q \times t \quad \text{en kilowattheures (kWh)}$$

$$\text{Chaleur} = Q \times t \times 3\,600\,000 \quad \text{en joules (J)}$$

Exemple de calcul

On constate qu'un système de réfrigération d'un CP_R moyen de 3,2 consomme 21 kW d'électricité. Le taux de transfert de chaleur est de :

$$Q = 3,2 \times 21 \text{ kW} = 67,2 \text{ kW}$$

Le calcul précis du CP est une tâche complexe. De plus, le CP d'un système peut varier grandement selon les conditions de fonctionnement, le type d'appareil et le type de frigorigène. Les conditions de fonctionnement peuvent changer d'un jour à un autre selon la température. Les fabricants et les fournisseurs de service d'entretien des appareils de réfrigération peuvent donner de l'information sur la performance des systèmes selon diverses conditions de fonctionnement.

Hypothèse et mise en garde

- Comme cette méthode ne représente tout au plus qu'une approximation, les résultats qu'elle permet d'obtenir doivent être utilisés avec précaution.

1.9.9 | Fuites et évacuation de vapeur

La vapeur est l'élément le plus couramment utilisé pour transporter de grandes quantités d'énergie thermique dans les installations commerciales et industrielles. La vapeur est produite dans une installation de chaudière à combustion et est fournie à diverses pressions selon les types d'appareil, de système et de procédé requérant de la chaleur. La vapeur est ensuite distribuée par des tuyaux alimentant les divers points d'utilisation, mais de l'énergie est perdue par la tuyauterie de distribution. On peut estimer ces pertes en effectuant le calcul de chaleur perdue dans les tuyaux décrit dans les sections précédentes.

Les fuites et l'évacuation constituent d'autres sources courantes de perte d'énergie par les systèmes à vapeur. Les décharges de vapeur peuvent être voulues lorsque la vapeur est contaminée, mais elles représentent quand même un flux d'énergie et une possibilité de récupérer de la chaleur. On peut estimer l'énergie perdue à cause d'une fuite ou d'une évacuation de vapeur à partir du diamètre de la fuite.

1.9.9.1 Enthalpie de la vapeur

L'*enthalpie de la vapeur* est la chaleur totale contenue dans l'eau et la vapeur. Cette méthode part du principe selon lequel la vapeur est saturée. Cela signifie que la vapeur n'a pas été chauffée au-delà du point auquel toute l'eau se transforme en vapeur, c'est-à-dire qu'elle n'est pas surchauffée. Un exemple de tableau des propriétés de la vapeur saturée est présenté ci-dessous.

Figure 1.16 Exemple de tableau des propriétés de la vapeur saturée

États			Enthalpie spécifique			Vapeur
Pression manométrique	Pression absolue	Température	Eau	Évaporation	Vapeur	Volume spécifique
bar	bar	°C	(h _r) kJ/kg	(h _{fg}) kJ/kg	(h _g) kJ/kg	(V _g) m ³ /kg
0,00	1,013	100,00 °C	419,04	2 257,00	2 676,00	1,673
0,05	1,063	101,40 °C	424,90	2 253,30	2 678,20	1,603
0,10	1,113	102,66 °C	430,20	2 250,20	2 681,40	1,533
0,15	1,163	103,87 °C	435,60	2 246,70	2 682,30	1,471
0,20	1,213	105,10 °C	440,80	2 243,40	2 684,20	1,414
0,25	1,263	106,26 °C	445,70	2 240,30	2 686,00	1,361
0,30	1,313	107,39 °C	450,40	2 237,20	2 687,60	1,312
0,35	1,363	108,50 °C	455,20	2 234,10	2 689,30	1,268
0,40	1,413	109,55 °C	459,70	2 231,30	2 691,00	1,225
0,45	1,463	110,58 °C	464,10	2 228,40	2 692,50	1,186
0,50	1,513	111,61 °C	468,30	2 225,60	2 693,90	1,149
0,55	1,563	112,60 °C	472,40	2 223,10	2 695,50	1,115
0,60	1,613	113,56 °C	476,40	2 220,40	2 696,80	1,083
0,65	1,663	114,51 °C	480,20	2 217,90	2 698,10	1,051
0,70	1,713	115,40 °C	484,10	2 215,40	2 699,50	1,024
0,75	1,763	116,28 °C	487,90	2 213,00	2 700,90	0,997
0,80	1,813	117,14 °C	491,60	2 210,50	2 702,10	0,971
0,85	1,863	117,96 °C	495,10	2 208,30	2 703,40	0,946
0,90	1,913	118,80 °C	498,90	2 205,60	2 704,50	0,923
0,95	1,963	119,63 °C	502,20	2 203,50	2 705,70	0,901
1,00	2,013	120,42 °C	505,60	2 201,10	2 706,70	0,881
1,05	2,063	121,21 °C	508,90	2 199,10	2 708,00	0,86
1,10	2,113	121,96 °C	512,20	2 197,00	2 709,20	0,841
1,15	2,163	122,73 °C	515,40	2 195,00	2 710,40	0,823
1,20	2,213	123,46 °C	518,70	2 192,80	2 711,50	0,806
1,25	2,263	124,18 °C	521,60	2 190,70	2 712,30	0,788
1,30	2,313	124,90 °C	524,60	2 188,70	2 713,30	0,773
1,35	2,363	125,59 °C	527,60	2 186,70	2 714,30	0,757
1,40	2,413	126,28 °C	530,50	2 184,80	2 715,30	0,743
1,45	2,463	126,96 °C	533,30	2 182,90	2 716,20	0,728
1,50	2,513	127,62 °C	536,10	2 181,00	2 717,10	0,714

Équation pour le taux de transfert de chaleur :

On peut convertir le nombre de lb/h du débit en nombre de kg/h en divisant le nombre de lb/h par 2,205.

$$Q = M \times h / 3\,600 \quad \text{en kilowatts (kW)}$$

Quantité totale de chaleur transférée en temps (t), mesurée en heures :

$$\text{Chaleur} = Q \times t \quad \text{en kilowattheures (kWh)}$$

$$\text{Chaleur} = Q \times t \times 3,6 \quad \text{en mégajoules (MJ)}$$

Hypothèses et mises en garde

- Cette méthode ne permet d'obtenir que des approximations.
- Cette méthode ne tient pas compte de l'enthalpie de l'eau utilisée pour produire la vapeur.

1.9.10 | Mises en garde générales

Les méthodes décrites dans le présent chapitre ne permettent d'obtenir que de simples estimations et ne doivent être utilisées que pour effectuer une première approximation de l'utilisation de l'énergie dans une situation donnée. Ces méthodes peuvent aider à identifier les possibilités d'économie d'énergie, mais des calculs techniques appropriés doivent être effectués pour vérifier et préciser les estimations initiales avant de changer réellement les systèmes en question.

Toutes ces méthodes prennent pour hypothèses que les conditions sont statiques ou ne changent pas pendant la période spécifiée. Aussi, lorsqu'il s'agit d'estimations tenant compte de périodes mensuelles ou annuelles pendant lesquelles les conditions changent régulièrement (c.-à-d. chaque jour, chaque nuit, chaque semaine ou chaque saison), il est nécessaire de répéter l'estimation en fonction d'un certain nombre de périodes plus courtes durant lesquelles les conditions sont considérées comme constantes. Par exemple, il peut être nécessaire d'estimer l'évacuation d'énergie pendant le jour et la nuit pour chaque mois, en tenant compte des baisses nocturnes de la température et des changements saisonniers de la température extérieure.

1.10 Référence

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.
(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

2 DONNÉES DÉTAILLÉES CONCERNANT LES SYSTÈMES CONSOMMATEURS D'ÉNERGIE

2.1 Installations de chaudière

On utilise les chaudières pour produire de la vapeur et de l'eau chaude en vue de chauffer les locaux et pour les besoins des procédés. Dans de nombreux bâtiments, l'installation de chaudière constitue le plus gros consommateur de combustible. Toutes les chaudières utilisent un brûleur pour livrer un mélange de combustible – le principal intrant énergétique – et d'air au procédé de combustion qui produit la chaleur, laquelle est ensuite transférée au fluide de transfert de chaleur – de la vapeur ou de l'eau chaude – le principal extrant énergétique. Un autre apport mineur en énergie électrique peut également s'avérer nécessaire pour faire fonctionner de l'équipement auxiliaire comme un ventilateur. Les diverses pertes d'énergie dans le système revêtent une importance particulière pour la vérification énergétique, comme le montre un peu plus loin le schéma de Sankey.

Bien que les chaudières aient généralement une puissance thermique nominale ou maximale donnée, elles fonctionnent souvent à une fraction de cette puissance, ou à une charge partielle. Le rendement d'une chaudière varie grandement selon la charge. Par conséquent, il importe d'évaluer le rendement de l'installation de chaudière et l'efficacité pour toute la plage de charges réelles ou partielles imposées à la chaudière.

Le maintien d'un ratio air-combustible optimal est essentiel au bon fonctionnement de ces systèmes. Un manque d'air entraîne une combustion incomplète, ce qui donne lieu à des pertes de combustibles dans les gaz de combustion. Un excès d'air accroît inutilement les pertes de gaz de combustion secs, à l'instar de la température des gaz de combustion. La température des gaz de combustion dépend de l'efficacité du transfert thermique dans la chaudière et constitue un bon indicateur de l'état des surfaces internes d'échange de chaleur. L'analyseur des gaz de combustion portable s'avère un outil utile pour évaluer le rendement de combustion des installations de chaudière.

Les diverses pertes présentées dans le schéma de Sankey à la figure 2.1 sont détaillées et définies au tableau 2.1.

Pour déterminer les économies d'énergie possibles dans les installations de chaudière, il faut évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.2 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour les installations de chaudière selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.1 Schéma de Sankey des flux d'énergie dans une installation de chaudière

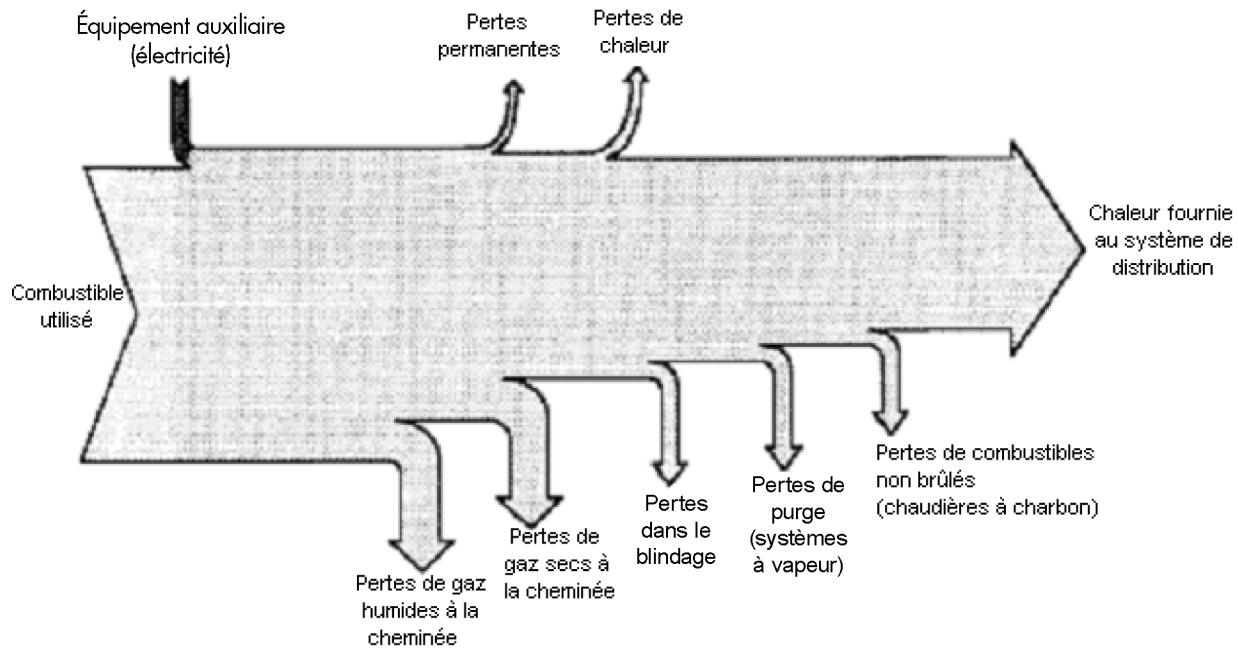


Tableau 2.1 Flux d'énergie dans une installation de chaudière

Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour évaluer le flux	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Pertes de gaz humides à la cheminée (plus importantes pour les combustibles solides)	Humidité contenue dans le combustible qui se forme pendant la combustion et qui est rejetée par les gaz de combustion	Analyse des gaz de combustion (CO_2 , O_2 , CO, etc.) et de la température des gaz de combustion	Analyzeur des gaz de combustion
Pertes de gaz secs à la cheminée	Chaleur sensible dans les gaz de combustion		
Pertes dans le blindage	Pertes de chaleur par rayonnement de la surface de la chaudière	Température de surface, superficie; tableau de pertes par rayonnement des chaudières standard de l'ABMA	Thermomètre sans contact ou dispositif de mesure de la température par infrarouges
Pertes de purge (systèmes à vapeur)	Eau purgée de la chaudière à vapeur pour enlever les solides et les produits chimiques excédentaires de l'eau de chaudière	Choix du moment (établissement du calendrier), température, volume	
Pertes de combustibles non brûlés (principalement dans les systèmes à combustible solide, comme le charbon et la biomasse)	Combustibles dans les déchets solides (cendres) et possiblement dans les gaz de combustion	Quantité de résidus secs, enthalpie	Analyzeur de pointe des gaz de combustion capable de déceler les combustibles dans les gaz de combustion
Pertes permanentes (également appelées pertes à vide)	Chaleur perdue pendant le cycle d'arrêt de la chaudière	Cycle de fonctionnement de la chaudière	Chronomètre ou minuterie Thermomètre sans contact ou dispositif de mesure de la température par infrarouges
Autres (inconnu)	Toutes les autres pertes minimales	Généralement 0,5 p. 100 de la chaleur dans le combustible consommé	
Chaleur fournie au système de distribution	L'eau chaude ou la vapeur fournie	Flux et température (pression pour la vapeur)	Si elles sont disponibles, les données des compteurs de chaleur de l'eau chaude ou de la vapeur de la chaudière peuvent être utilisées; ces paramètres ne sont normalement pas mesurés dans le cadre d'une macrovérification.

Tableau 2.2 Possibilités de gestion de l'énergie dans les installations de chaudière

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Documenter la charge imposée à la chaudière, idéalement établir un profil horaire. <input type="checkbox"/> Pour les chaudières à eau chaude : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Température et débit requis <input type="checkbox"/> Pour les chaudières à vapeur : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Débit, pression et qualité de vapeur requis <input type="checkbox"/> Ceci peut nécessiter un examen des charges en aval du système de distribution. <input type="checkbox"/> La charge imposée à la chaudière changera par suite d'autres mesures de gestion de l'énergie au point d'utilisation finale et dans le système de distribution – cette étape pourrait devoir être révisée périodiquement.
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> S'assurer que la température de la chaudière et la pression de fonctionnement ne sont pas bien plus élevées que le besoin le plus grand. Fonctionner à la température ou à la pression la moins élevée possible. <input type="checkbox"/> Si une installation comprend plusieurs chaudières, les placer en ordre séquentiel en ligne pour suivre la demande de vapeur ou d'eau chaude. <input type="checkbox"/> Réduire au maximum le besoin pour les chaudières de demeurer en position d'attente. <input type="checkbox"/> Surveiller le rendement général de l'installation de chaudière (combustible par rapport à la vapeur ou à l'eau chaude). <input type="checkbox"/> Réduire au maximum les variations de charge et prévoir la demande (idéalement au point d'utilisation finale) dans la mesure du possible. <input type="checkbox"/> Adapter les calendriers et la fréquence des purges de la chaudière en fonction des exigences de la charge et de la composition chimique de l'eau.
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vérifier régulièrement le rendement de combustion et celui de la chaudière. <input type="checkbox"/> Vérifier et adapter régulièrement les niveaux d'air excédentaire. <input type="checkbox"/> Vérifier et adapter régulièrement les procédures de traitement de l'eau. <input type="checkbox"/> Veiller à ce que les assemblages et les commandes du brûleur soient ajustés et calibrés. <input type="checkbox"/> Maintenir en bon état les joints, les conduits d'air, le collecteur de fumée et les portes d'accès pour assurer l'étanchéité à l'air. <input type="checkbox"/> S'assurer que l'isolation de la chaudière et des conduits répond aux normes.
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Déplacer la prise d'air comburant ou déstratifier l'air de la chaufferie pour tirer parti de la chaleur perdue afin de préchauffer l'air comburant. <input type="checkbox"/> Installer un économiseur sans condensation pour recueillir la chaleur des gaz de combustion. <input type="checkbox"/> Installer un condenseur de gaz de combustion pour récupérer de la chaleur additionnelle dans les gaz de combustion. <input type="checkbox"/> Récupérer la chaleur provenant de la purge de la chaudière.

Ouvrages de référence sur les installations de chaudière

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

Ressources naturelles Canada. *Amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage*, 2001.

oee.rncan.gc.ca/Publications/infosource/Pub/peeic/Systemeschaffage_avantpropos.cfm

Ressources naturelles Canada. *Calculatrice de l'efficacité des chaudières*, 2006.

oee.rncan.gc.ca/industriel/info-technique/outils/chaudieres/index.cfm

2.2 Enveloppe du bâtiment

On observe dans les flux d'énergie dans l'enveloppe du bâtiment les trois types de transfert de chaleur :

- la conduction (à travers ou entre des matériaux solides adjacents);
- la convection (circulation de l'air);
- le rayonnement (ondes électromagnétiques, par exemple, la lumière du soleil).

Tous les mouvements et les pertes de chaleur par l'enveloppe du bâtiment peuvent être quantifiés pour ces trois types de transfert. Il existe de nombreuses applications logicielles complexes qui peuvent simuler en détail les flux d'énergie. Cependant, pour la plupart des vérifications, on peut faire les calculs avec une précision raisonnable à l'aide d'une feuille de calcul utilisant certaines formules, hypothèses et règles empiriques de base.

La présente section traite uniquement des flux et pertes d'énergie des locaux climatisés. Les pertes dues à la production (chaudière, air climatisé) et à la distribution (CVC) sont abordées dans d'autres sections. Outre les flux d'énergie entre la source de chauffage ou de climatisation et l'enveloppe du bâtiment, il importe de reconnaître et de comprendre les interactions entre les systèmes et la façon dont les modifications apportées à un système peuvent influer sur un autre. Par exemple, une réduction dans l'énergie consommée par le système d'éclairage pourrait entraîner un accroissement des besoins en chauffage en hiver mais une réduction de la climatisation en été. Lorsqu'on envisage la température de consigne comme possibilité de gestion de l'énergie, il y a lieu de tenir compte de la *masse thermique* et de la *réponse thermique* du bâtiment. Dans la mesure du possible, il faut tirer parti de ces caractéristiques lorsqu'on établit des horaires.

Les stratégies de conservation de l'énergie pour l'enveloppe du bâtiment peuvent se résumer à la réduction des pertes dues aux trois types de transfert de chaleur : conduction (c'est-à-dire augmentation de l'isolation); convection (c'est-à-dire réduction de l'infiltration d'air) et rayonnement (c'est-à-dire remplacement ou amélioration des fenêtres).

Le thermomètre enregistreur peut s'avérer un outil utile pour surveiller les variations de température dans un local. Nombre de systèmes de contrôle modernes peuvent consigner des points de contrôle (température, débit d'air, humidité, temps de marche, etc.). Si on dispose d'un appareil d'imagerie thermique, celui-ci peut indiquer les pertes de chaleur lorsqu'on l'utilise par temps froid.

Les diverses pertes figurant dans le schéma de Sankey à la figure 2.2 sont détaillées et définies au tableau 2.3.

Pour déterminer les possibilités d'économiser l'énergie dans les systèmes d'alimentation en eau chaude, il est nécessaire d'évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.4 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour l'enveloppe du bâtiment selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.2 Schéma de Sankey des flux d'énergie dans l'enveloppe du bâtiment

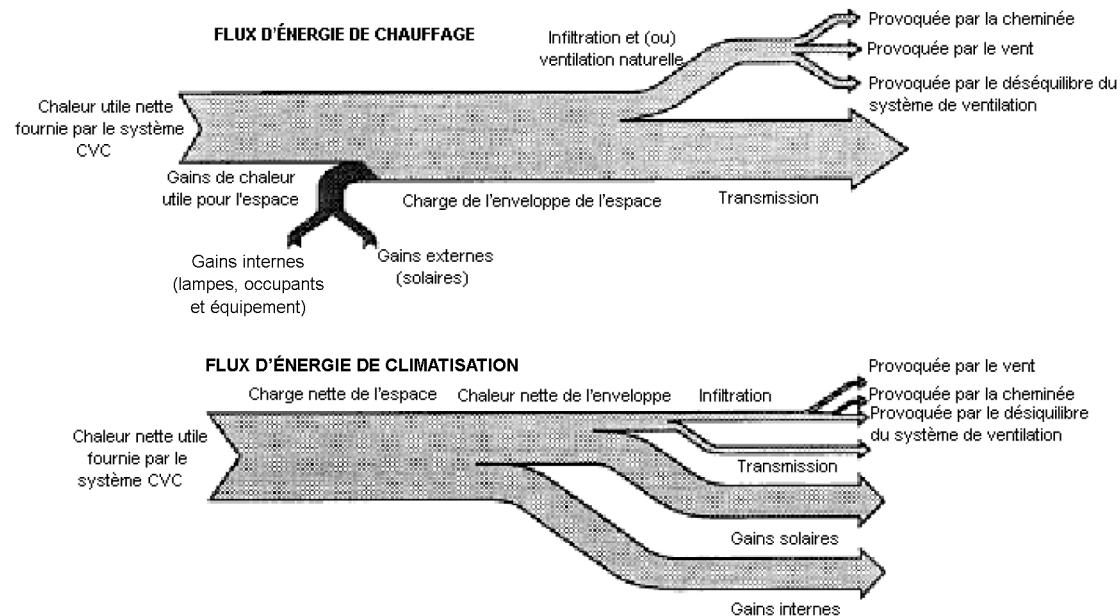


Tableau 2.3 Flux d'énergie dans l'enveloppe du bâtiment

Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour évaluer le flux	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Gains internes	Chaleur des occupants, des lampes et de l'équipement	Inventaire des occupants, des appareils d'éclairage et du matériel	
Gains externes	Rayonnement solaire pénétrant par les fenêtres	Heures d'ensoleillement, orientation du bâtiment, type de vitrage du bâtiment (faible émissivité)	
Infiltration/ventilation	Pertes par circulation d'air	Débit d'air du CVC déséquilibré, vitesse locale du vent, orientation du bâtiment	Débitmètre d'air, manomètre
Transmission	Perte de chaleur par les murs, le toit, etc.	Température, superficie, niveaux d'isolation	Thermomètre ou dispositif de mesure de la température par infrarouges

Tableau 2.4 Possibilités de gestion de l'énergie dans l'enveloppe du bâtiment

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Documenter la charge imposée au système de chauffage ou de climatisation; distinguer le combustible consommé pour le chauffage de celui utilisé pour la climatisation des locaux. <input type="checkbox"/> Déterminer les exigences nominales et les besoins réels au point d'utilisation finale, la température, l'air frais, etc. <input type="checkbox"/> La charge imposée au système changera par suite d'autres mesures de gestion de l'énergie au point d'utilisation finale – cette étape pourrait devoir être révisée périodiquement.
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> S'assurer que la température du local n'est pas beaucoup plus élevée que la température maximale requise. Fonctionner à la température la plus basse possible. <input type="checkbox"/> Réduire les débits et les températures selon les besoins au point d'utilisation finale. <input type="checkbox"/> Réduire la stratification thermique dans les endroits où le plafond est élevé. <input type="checkbox"/> S'assurer que les systèmes de climatisation et de chauffage ne « rivalisent » pas.
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Réduire au maximum les fuites d'air aux fenêtres, aux portes et aux prises d'air. <input type="checkbox"/> S'assurer que les fenêtres et les portes sont fermées lorsque le chauffage fonctionne. <input type="checkbox"/> S'assurer que l'isolation du bâtiment est conforme à la norme. <input type="checkbox"/> Envisager des fenêtres à rendement élevé pour réduire les gains de chaleur en été et les pertes de chaleur en hiver.
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Maximiser les gains solaires lorsqu'on chauffe et les réduire lorsqu'on climatise. <input type="checkbox"/> Utiliser de manière novatrice la technologie du chauffage solaire actif ou passif pour les locaux ou le chauffage de l'eau, en particulier si on améliore simultanément l'isolation, la conception des fenêtres et la récupération de chaleur de l'air évacué. <input type="checkbox"/> Envisager un mur accumulateur de chaleur – un isolateur en métal conçu pour fournir une ventilation préchauffée (air d'appoint) dans les bâtiments ayant de grands murs exposés au sud.

Ouvrage de référence sur l'enveloppe du bâtiment

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

2.3 Systèmes d'air comprimé

L'air comprimé a été qualifié de troisième service public, les coûts d'exploitation étant souvent proches de ceux liés à l'électricité et à l'énergie thermique. Le compresseur utilisé pour générer et traiter l'air comprimé représente une part importante mais nécessaire de la charge électrique dans la plupart des installations industrielles.

Les fuites d'air comprimé constituent la principale et la plus courante cause des coûts excessifs, représentant généralement environ 70 p. 100 du gaspillage total. Parfois, le coût de l'air produit et distribué inefficacement peut atteindre 1 \$/kWh! Les pertes d'énergie dans un système d'air mal entretenu découlent du besoin de fournir une énergie supplémentaire pour pallier l'inefficacité du matériel, puisque l'air peut ne pas être fourni à la pression voulue.

Les coûts à long terme de la production d'air comprimé se répartissent comme suit : 75 p. 100 en électricité, 15 p. 100 en investissement et 10 p. 100 en entretien. Des mesures simples et rentables permettent de réduire les coûts en électricité de 30 p. 100. Cela vaut donc la peine de faire ce qu'il faut pour rendre le système d'air comprimé éconergétique.

Toutes les usines devraient envisager une vérification du système d'air comprimé, entre autres un examen de la production, du traitement, du contrôle, de la distribution, de l'utilisation finale et de la gestion de l'air comprimé.

Les diverses pertes présentées dans le diagramme sur les flux d'énergie à la figure 2.3 sont détaillées et définies au tableau 2.5.

Pour déterminer les possibilités d'économiser l'énergie dans les systèmes d'air comprimé, il est nécessaire d'évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.6 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour les systèmes d'air comprimé selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.3 Diagramme des flux d'énergie dans un système d'air comprimé

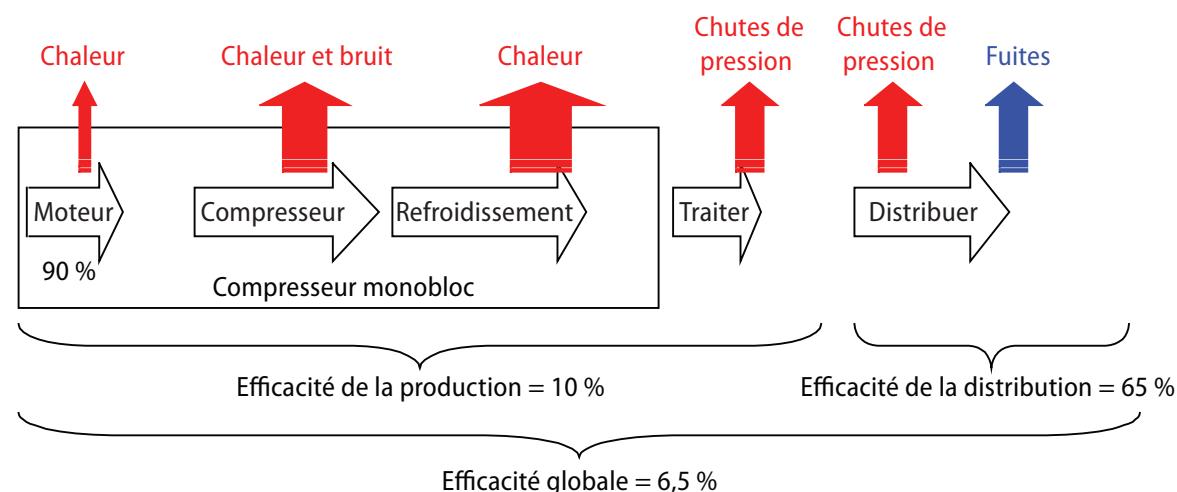


Tableau 2.5 Flux d'énergie dans un système d'air comprimé

Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour l'évaluation du flux	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Pertes dans le moteur	Chaleur créée dans le moteur par la conversion de l'électricité en énergie mécanique	Cote de rendement du moteur et conditions de fonctionnement, à savoir tension appliquée, charge et température	Cote de rendement du moteur, mesure de la température du moteur, tachymètre pour vérifier la charge du moteur d'après la vitesse
Pertes dans le compresseur	Inefficacité thermodynamique du compresseur en question	Type de compresseur, spécifications et conditions de fonctionnement	
Chaleur rejetée par le refroidisseur d'air	La chaleur générée pendant la compression est rejetée pour fournir l'air à la température voulue	Débit d'air (eau) et températures	Peut être estimée d'après l'intrant énergétique fourni aux systèmes et les spécifications du fabricant Mesure de la température et du débit
Pertes dans le traitement, incluant le déshuillage, la filtration et le séchage	Perte due à des chutes de pression dans chaque élément et aux fuites d'air, aux événements et aux purges de divers éléments	Spécifications de l'équipement et observation visuelle du fonctionnement Relevés de la pression	Manomètres dans le système
Chutes de pression du système de distribution	Pertes dues aux chutes de pression aux coudes, aux raccords de tuyauterie, aux raccords en T et au frottement des conduits	Relevés de la pression	Manomètres dans le système ou jauge connectées par branchement rapide
Fuites dans le système de distribution	Perte d'air dans les systèmes, depuis le compresseur jusqu'à l'utilisation finale	Débit et pression de l'air	Détecteur de fuites à ultrasons
Chutes de pression au point d'utilisation finale pour les utilisateurs d'air à faible pression	Pertes occasionnées par les réducteurs de pression (régulateurs de débit) aux points d'utilisation finale	Différences de pression et volume d'air (débit)	Des jauge ordinaires de pression d'alimentation et de sortie seront installées dans le système
Utilisation finale d'air comprimé	Travail utile effectué par l'air	Pression et débit pour chaque utilisation	Débitmètre d'air comprimé et manomètres

Tableau 2.6 Possibilités de gestion de l'énergie dans les systèmes d'air comprimé

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> L'air comprimé est-il absolument nécessaire? Peut-on utiliser une autre forme d'énergie? (en particulier les moteurs pneumatiques et le refroidissement par air) <input type="checkbox"/> Établir le besoin en air comprimé en tenant compte : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> du débit requis (pied cube par minute); <input type="checkbox"/> de la pression requise; <input type="checkbox"/> de la qualité (température, humidité, teneur en huile, etc.); <input type="checkbox"/> de l'endroit dans le système de distribution. <input type="checkbox"/> Documenter lorsque l'air comprimé est requis. <input type="checkbox"/> La demande réelle d'air comprimé augmente-t-elle ou s'agit-il simplement de fuites?
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Mettre en place un programme de sensibilisation à la grandeur de l'usine pour la gestion de l'air comprimé. <input type="checkbox"/> Éliminer les fuites : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Utiliser un détecteur de fuites à ultrasons pour déceler les fuites et les réparer. <input type="checkbox"/> Fermer les vannes des appareils et de l'équipement lorsqu'ils ne sont pas utilisés. <input type="checkbox"/> Gérer l'utilisation finale : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Mettre fin aux utilisations inutiles (passer le balai). <input type="checkbox"/> Envisager d'intensifier l'utilisation de buses au lieu de simples buses à conduite de coupure. <input type="checkbox"/> Réduire au maximum la pression de la conduite principale. <input type="checkbox"/> Éviter de réduire la pression au point d'utilisation finale, séparer les grandes utilisations de faible pression et fournir séparément de l'air à basse pression; envisager des ventilateurs à haute pression. <input type="checkbox"/> Utiliser un traitement adapté à la qualité requise; séparer les utilisateurs de qualité et de volume élevés et les alimenter séparément. <input type="checkbox"/> S'assurer que les commandes de traitement (séchage) ne sont pas réglées à des valeurs moindres que celles requises. <input type="checkbox"/> S'assurer que la capacité du compresseur en ligne suit la demande d'air : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Charger au minimum les compresseurs dotés d'un régulateur de puissance peu efficace (étranglement) – vérifier la charge du moteur lorsque l'alimentation en air provenant du compresseur est faible. <input type="checkbox"/> Faire fonctionner les compresseurs selon un ordre séquentiel afin de s'assurer que le dispositif doté du meilleur régulateur de puissance suive la charge. <input type="checkbox"/> Veiller à ce que les compresseurs fonctionnant à vide soient arrêtés rapidement. <input type="checkbox"/> Optimiser l'installation de compresseurs en utilisant des réservoirs de la bonne taille, des régulateurs de puissance appelée et un dispositif de contrôle général du système.

Étape	Mesures
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> S'assurer que l'air aspiré est aussi froid et sec que possible – utiliser de l'air provenant de l'extérieur pendant les saisons froides. <input type="checkbox"/> S'assurer que les filtres d'entrée sont propres et que la chute de pression est minimale. <input type="checkbox"/> S'assurer que le matériel de filtration et de traitement impose une chute de pression minimale. <input type="checkbox"/> S'assurer que la taille du conduit est adaptée aux débits pour réduire les chutes de pression. <input type="checkbox"/> Veiller à l'adoption de bonnes pratiques de branchement pour éviter les chutes de pression excessives aux raccords en T, aux coudes, aux raccords-unions et autres raccords. <input type="checkbox"/> Assurer une température appropriée dans la chambre des compresseurs. <input type="checkbox"/> Envisager de remplacer le compresseur par un appareil plus adéquat, plus récent ou plus efficace. <input type="checkbox"/> Envisager de remplacer le moteur par un modèle éconergétique – solution qui n'est pas pratique dans de nombreux appareils monobloc.
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Opter pour la forme de récupération de chaleur la plus simple possible pour récupérer l'air rejeté des compresseurs – refroidi par eau ou par air. <input type="checkbox"/> Envisager d'utiliser des compresseurs à moteur récupérateurs de chaleur.

Ouvrages de référence sur les systèmes d'air comprimé

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

The Compressed Air Challenge, visitez le site Internet à compressedairchallenge.org.

Ressources naturelles Canada. *Ensemble, économisons l'énergie! L'air comprimé*, 2005 (feuillet d'information).

oee.rncan.gc.ca/publications/industriel/peeic/air-comprime.cfm

2.4 Systèmes d'alimentation en eau chaude domestique et de traitement

Par définition, l'eau domestique est potable, tandis que l'eau de traitement peut l'être ou pas. Dans les systèmes centraux, les réseaux de production et de distribution des deux peuvent être identiques. L'eau chaude domestique peut être locale (petite chaudière électrique ou élément chauffant sur demande) près du point d'utilisation finale ou centrale (grande chaudière ou réservoir de stockage et réseau de distribution par pompage). L'eau chaude de traitement est presque toujours centrale.

La source d'énergie pour les systèmes d'eau chaude centrale peut être la même que pour les chaudières ordinaires – gaz, pétrole, électricité, (chauffage résistif), biomasse, etc. Les autres sources possibles sont l'énergie solaire, la récupération de la chaleur résiduelle et les thermopompes. Dans certains cas, l'eau domestique est chauffée au moyen d'un serpentin dans la chaudière principale ou au moyen d'un serpentin de vapeur dans un réservoir de stockage. Le responsable de la vérification de l'énergie utilisée pour chauffer l'eau devrait bien comprendre comment l'eau est chauffée et distribuée et quantifier toutes les pertes dans la mesure du possible. Les pertes dues à la production (chaudière) sont décrites dans la section « Installations de chaudière ». La présente section traite des pertes dues au stockage, à la distribution et autres.

Pour optimiser la consommation d'énergie dans un système d'alimentation en eau chaude, il faut généralement réduire l'utilisation finale ainsi que les pertes. La réduction de l'utilisation finale ou la réutilisation peuvent permettre d'économiser l'eau achetée ou pompée (d'un puits, le cas échéant). Pour les mêmes raisons, il faudrait également envisager de réduire dans la mesure du possible l'utilisation finale d'eau froide. Plus la demande d'eau provenant de sources municipales augmentera, plus l'eau fraîche deviendra coûteuse.

Le thermomètre sans contact (à infrarouges) s'avère un outil utile pour relever les espacements dans l'isolation des conduits et des réservoirs d'eau chaude. L'utilisation d'un compteur divisionnaire (débit, volume) pour les principaux conduits de distribution peut également faciliter la diminution de la consommation d'eau.

Les diverses pertes présentées dans le schéma de Sankey de la figure 2.4 sont détaillées et définies au tableau 2.7.

Pour déterminer les possibilités d'économiser l'énergie dans les systèmes d'alimentation en eau chaude, il est nécessaire d'évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.8 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour les systèmes d'alimentation en eau chaude domestique selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.4 Schéma de Sankey des flux d'énergie de l'eau chaude domestique

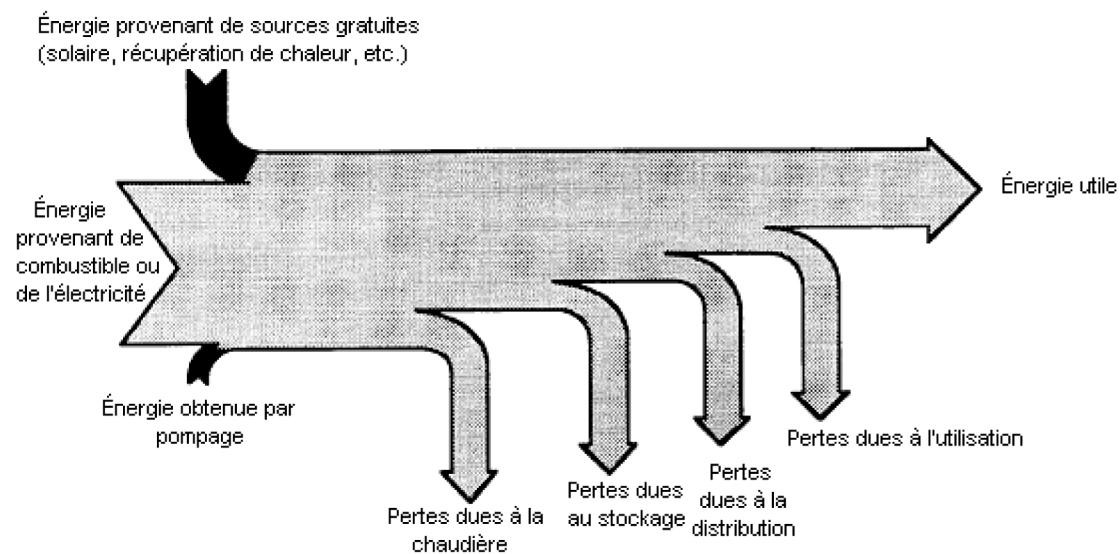


Tableau 2.7 Flux d'énergie dans les systèmes d'eau chaude domestique

Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour évaluer le flux	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Intrants énergétiques « gratuits »	Chaleur auxiliaire de l'eau chaude fournie par l'énergie solaire, la récupération de la chaleur, etc.	Température, volume	Thermomètre sans contact ou à infrarouges ou dispositif de mesure de la température
Énergie obtenue par pompage	Chaleur ajoutée à l'eau par l'action mécanique (frottement) d'une pompe de circulation		
Pertes dues à la chaudière	Pertes à la cheminée et autres pertes	Voir : Installations de chaudière	
Pertes dues au stockage	Chaleur perdue par un réservoir ou des raccords mal ou non isolés	Température, superficie, niveaux d'isolation	Thermomètre ou dispositif de mesure de la température à infrarouges
Pertes dues à la distribution	Chaleur perdue par des conduits mal ou non isolés; pertes dues à la recirculation continue	Température, superficie; niveaux d'isolation; période d'utilisation de la pompe à recirculation; occupation	Thermomètre ou dispositif de mesure de la température à infrarouges
Pertes dues à l'utilisation	Chaleur perdue en raison d'une utilisation excessive d'eau chaude et d'une température réglée trop haute	Besoins au point d'utilisation finale	Thermomètre
Utilisation indirecte	Chaleur fournie par l'échangeur de chaleur		

Tableau 2.8 Possibilités de gestion de l'énergie dans les systèmes d'eau chaude domestique

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Documenter la charge imposée au système d'eau chaude – idéalement établir un profil horaire. <input type="checkbox"/> Déterminer les exigences nominales et les besoins réels au point d'utilisation finale, en tenant compte du débit et de la température ainsi que du temps requis pour atteindre la température voulue. <input type="checkbox"/> La charge imposée au système changera par suite d'autres mesures de gestion de l'énergie au point d'utilisation finale – cette étape pourrait devoir être révisée périodiquement.
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Promouvoir de bonnes pratiques de gestion interne auprès de tous les employés; continuer à les sensibiliser et transformer les nouvelles connaissances acquises en habitudes. <input type="checkbox"/> Veiller à ce que la température de l'eau chaude domestique ne soit pas beaucoup plus élevée que la température maximale requise. Fonctionner à la température la plus basse possible. <input type="checkbox"/> Réduire les débits selon les besoins au point d'utilisation finale. <input type="checkbox"/> Réduire au maximum la recirculation en fonction de la température requise. <input type="checkbox"/> Vérifier régulièrement que la tuyauterie d'eau chaude domestique ne fuit pas. <input type="checkbox"/> Installer des contrôleurs de débit à des fins sanitaires, des robinets à débit minuté ou à arrêt automatique sur les éviers des toilettes et des pommes de douche à débit réduit. <input type="checkbox"/> Réutiliser, dans la mesure du possible, toute l'eau de rinçage provenant des activités de nettoyage, compte tenu des répercussions sur la qualité des produits, par exemple le dernier rinçage du nettoyage en place. <input type="checkbox"/> Installer des compteurs d'eau dans différentes aires de traitement pour surveiller en permanence la consommation.
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vérifier et adapter régulièrement les procédures de traitement de l'eau. <input type="checkbox"/> Débrancher et sceller tout branchement d'eau chaude domestique non utilisé ou en fermer la vanne. <input type="checkbox"/> S'assurer que l'isolation de la tuyauterie et autres est conforme à la norme.
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Utiliser l'énergie solaire ou la chaleur récupérée pour répondre de manière complémentaire aux besoins en eau chaude. <input type="checkbox"/> Utiliser à la demande, les chauffe-eau domestique en ligne lorsque les besoins sont faibles. <input type="checkbox"/> Un circuit à passe unique pourrait-il être converti en système de circulation? <input type="checkbox"/> Réviser le réseau de distribution d'eau pour y intégrer plusieurs réutilisations (recirculation) de l'eau de traitement dans la mesure du possible, en utilisant des régimes de récupération de la chaleur adaptés, et mettre en œuvre les mesures.

Ouvrages de référence sur les systèmes d'eau chaude domestique et de traitement

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

Ressources naturelles Canada. *Calculatrice de l'efficacité des chaudières*, 2006.
oee.rncan.gc.ca/industriel/info-technique/outils/chaudieres/index.cfm

2.5 Systèmes de ventilateurs et de pompes

Le système d'un ventilateur et celui d'une pompe présentent de nombreuses caractéristiques semblables et peuvent donc être analysés, d'un point de vue énergétique, de façon similaire. Tous deux sont actionnés par un moteur, directement ou au moyen d'une courroie ou d'une boîte à engrenages. Les deux systèmes utilisent souvent des dispositifs centrifuges pour créer un mouvement dans le fluide ou l'air et ils sont donc régis par une série de règles appelées règles d'affinité. Celles-ci décrivent le rapport entre la vitesse, le débit, la pression et la puissance requis :

$$\frac{Q_{2I}}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \frac{P_{2I}}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \frac{kW_{2I}}{kW_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

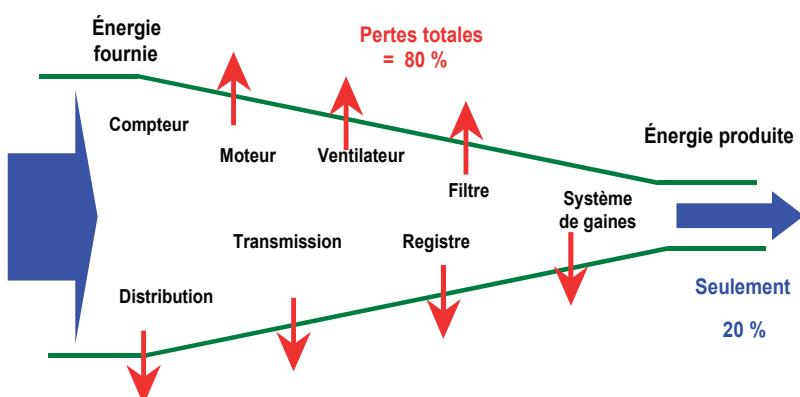
N = vitesse, Q = débit, P = pression, kW = kilowatt

La puissance requise pour déplacer l'air ou le fluide dans le système en aval du ventilateur ou de la pompe est déterminée par la chute de pression communiquée par le système au flux. Les deux systèmes enregistrent des pertes importantes de frottement en aval et, par conséquent, présentent des possibilités similaires en ce qui a trait à la modulation du débit, à la réduction de la charge (pression) statique et dynamique et au contrôle de la vitesse au lieu d'un étranglement pour contrôler le débit.

Pour déterminer les possibilités d'économiser l'énergie dans les systèmes de ventilateurs et de pompes, il est nécessaire d'évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.10 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour les systèmes de ventilateurs et de pompes selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Les diverses pertes présentées dans le schéma de Sankey de la figure 2.5 sont détaillées et définies au tableau 2.9. Un schéma similaire pour un système de pompage est fourni à la section B-8, « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.5 Schéma de Sankey des flux d'énergie dans le système de ventilateur



Élément	Efficacité type
Compteur	100 %
Distribution	96 %
Moteur	85 %
Transmission	98 %
Ventilateur	60 %
Registre	70 %
Filtre	75 %
Système de gaines	80 %
Général	20 %

Tableau 2.9 Flux d'énergie dans un système de ventilateur (pompe)

Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour évaluer le flux	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Pertes dans les réseaux de distribution électrique	Chaleur provenant de la résistance des fils	Chute de tension dans le câblage	Wattmètre portable ou pince à ampèremètre
Pertes dans le moteur	Chaleur créée dans le moteur lors de la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique	Cote de rendement du moteur et conditions de fonctionnement, à savoir tension appliquée, charge et température	Cote de rendement du moteur, mesure de la température du moteur, tachymètre pour vérifier la charge du moteur à partir de la vitesse
Pertes dans la transmission	Chaleur créée en raison du frottement dans les poulies supports, les courroies et les paliers	Tension de la courroie, température des paliers et de la courroie	Mesure de la température par infrarouges
Pertes dans le ventilateur (la pompe)	Chaleur créée par le frottement et les pertes de fluide visqueux avec le ventilateur (la pompe)	Cote de rendement du ventilateur (de la pompe) au point de fonctionnement défini par le débit et la pression, tel que le spécifie la courbe caractéristique du ventilateur (de la pompe)	Mesure du débit et de la pression
Pertes dues aux registres (aux vannes)	Chaleur et chute de pression créées par le registre à frottement (la vanne)	Réglage du registre (de la vanne) et chute de pression entre l'entrée et la sortie	Mesure de la pression différentielle
Pertes dans le filtre (le tamis collecteur)	Chaleur et chute de pression créées par le frottement avec le débit d'air dans le filtre (le tamis collecteur)	Chute de pression dans les filtres (les tamis collecteurs)	Mesure de la pression différentielle
Pertes dans le système de gaines (la tuyauterie)	Chaleur et chute de pression créées par le frottement dans le système de gaines (la tuyauterie) avec le débit d'air (de l'eau)	Chute de pression globale ou par unité de longueur	Mesure de la pression différentielle
Puissance de l'air (de l'eau) fournie	Puissance d'air (de l'eau) fournie au point terminal comme le diffuseur ou la sortie (échangeur de chaleur au point d'utilisation finale)	Différence de pression et débit obtenus au point d'utilisation finale	Mesure du débit et de la pression

Tableau 2.10 Possibilités de gestion de l'énergie dans les systèmes de ventilateurs et de pompes

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Déterminer le débit d'air ou d'eau requis, possiblement en établissant un profil au fil du temps. <input type="checkbox"/> Déterminer la plage de pressions que le ventilateur ou la pompe devra supporter. <input type="checkbox"/> Déterminer si le besoin visant le débit est fixe ou variable. <input type="checkbox"/> Déterminer pendant combien de temps le débit est requis (heures par jour).
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Installer et utiliser des commandes manuelles pour les ventilateurs et les pompes. <input type="checkbox"/> Contrôler les heures de fonctionnement des ventilateurs et des pompes au moyen d'une commande automatique. <input type="checkbox"/> Procéder à un équilibrage de l'air ou de l'eau avec des entrepreneurs qualifiés. <input type="checkbox"/> Éliminer ou réduire l'étranglement comme moyen de contrôle du débit. <input type="checkbox"/> Pour les systèmes de ventilateurs ayant besoin d'un débit fixe, réduire le débit en fonction du besoin en : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> réduisant la vitesse du ventilateur par des changements à la poulie; <input type="checkbox"/> éteignant les ventilateurs supplémentaires (de secours). <input type="checkbox"/> Pour les pompes ayant besoin d'un débit fixe, réduire le débit en fonction du besoin en : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> changeant ou ajustant légèrement la pompe centrifuge; <input type="checkbox"/> éteignant les ventilateurs supplémentaires (de secours). <input type="checkbox"/> Pour les systèmes de ventilateurs ou de pompes dont le débit requis varie, modifier le débit en : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> utilisant un moteur à deux vitesses; <input type="checkbox"/> utilisant un variateur de vitesse. <input type="checkbox"/> Éliminer les fuites dans le système de gaines et la tuyauterie.
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Assurer un entretien adéquat des ventilateurs et des pompes. <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Lubrification <input type="checkbox"/> Courroie et poulies <input type="checkbox"/> Nettoyage et remise en état des pompes et des ventilateurs <input type="checkbox"/> Réduire les chutes de pression ou la résistance du système de gaines et de la tuyauterie en : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> nettoyant l'intérieur des tuyaux et des conduits; <input type="checkbox"/> maintenant les filtres et les tamis collecteurs; <input type="checkbox"/> utilisant des pratiques efficaces visant le système de gaines et la tuyauterie. <input type="checkbox"/> Sélectionner et installer une pompe ou un ventilateur plus efficace : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Modèle plus adapté à l'application <input type="checkbox"/> Nouvel équipement ou nouvelle technologie <input type="checkbox"/> Installer un moteur plus efficace.
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Envisager l'utilisation de petites turbines à vapeur, généralement à la place de réducteurs de pression, pour faire fonctionner de gros ventilateurs et de grosses pompes (c'est-à-dire pompe à eau d'alimentation de chaudière, chaudière à circulation forcée ou ventilateur aspirant). <input type="checkbox"/> Envisager l'utilisation d'une solution de rechange, comme un moteur diesel récupérateur de chaleur au lieu d'un moteur électrique comme principal moteur.

Ouvrages de référence sur les systèmes de ventilateurs et de pompes

Ressources naturelles Canada. *Guide d'évaluation du rendement des systèmes moteurs éconergétiques*, 2004.

oee.rncan.gc.ca/cipec/peel/bibliotheque/systemes_moteurs/index.cfm

Ressources naturelles Canada. OSMCan : *L'outil de sélection des moteurs au Canada*, 2004
oee.rncan.gc.ca/industriel/equipement/logiciels/intro.cfm.

Équipement éconergétique industriel, ? éUS` [e_ VéVjWfði` W_ Wfå XécgWUWhSqSTM Ressources naturelles Canada
oee.rncan.gc.ca/industriel/equipement/efv/efv.cfm

Ressources naturelles Canada. *Secteur industriel Équipement éconergétique*.

oee.rncan.gc.ca/industriel/equipement/produits/index.cfm

2.6 Systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation

Les systèmes CVC sont conçus pour offrir aux occupants un environnement confortable, sûr et productif sous la forme d'une température confortable et d'une ventilation et d'un taux d'humidité adéquats. Dans la présente section, on se limitera aux sous-systèmes de commande et de distribution. L'équipement de chauffage, de refroidissement et d'humidification, qui fournit la source d'énergie au système CVC, est abordé ailleurs dans ce guide.

Avant de mettre en œuvre des possibilités de gestion de l'énergie pour des systèmes CVC, il importe de connaître quelque peu les facteurs influant sur le confort de l'environnement que sont la température de l'air, la température moyenne de rayonnement, l'humidité, la qualité de l'air, la vitesse d'écoulement de l'air, le niveau d'activité et la résistance thermique des vêtements. En connaissant les effets que les changements dans le système CVC pourraient avoir sur ces facteurs, on peut éviter des réactions négatives de la part des occupants.

Les systèmes CVC peuvent être très complexes, étant donné le large éventail de modes de fonctionnement dépendant des conditions ambiantes extérieures, des périodes d'occupation et des facteurs saisonniers et autres. Il est donc essentiel de bien comprendre le fonctionnement du système tel qu'il a été conçu et le fonctionnement *réel*. Souvent, on peut réaliser d'importantes économies en rétablissant simplement les conditions de régime du système. Les données antérieures sur le fonctionnement figurant dans les registres ou obtenus lors d'entretiens avec les opérateurs peuvent être très utiles pour évaluer un système dans un large éventail de conditions de fonctionnement.

En général, on peut réaliser les plus grandes économies dans les systèmes CVC en adaptant la climatisation du local à l'occupation (périodes et niveaux). Ceci se fait généralement en réglant et en contrôlant le système, de préférence en utilisant des stratégies de contrôle en boucle fermée (information en retour provenant du local et de l'air extérieur). Les wattmètres et thermomètres enregistreurs sont des outils utiles pour évaluer le rendement des systèmes CVC. Nombre de systèmes de commande modernes sont capables de consigner des points de contrôle (température, débit d'air, humidité, temps de fonctionnement, etc.)

Les diverses pertes présentées dans le schéma de Sankey de la figure 2.6 sont détaillées et définies au tableau 2.11.

Pour déterminer les possibilités d'économiser l'énergie dans les systèmes CVC, il est nécessaire d'évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.12 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour les systèmes CVC selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.6 Schéma de Sankey des flux d'énergie dans le système CVC

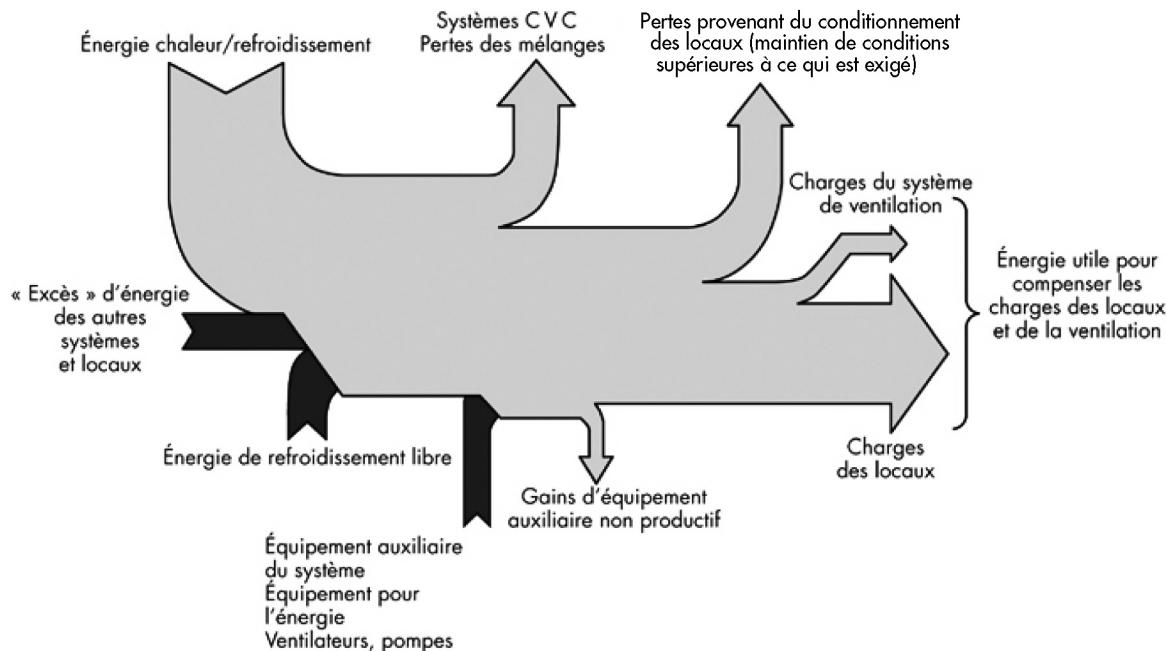


Tableau 2.11 Flux d'énergie dans un système CVC

Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour évaluer le flux	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Pertes des mélanges du système CVC	Mélangage des flux de fluides chauds et froids	Température et débit des flux; exigence nominale pour le mélange	Dispositifs de mesure de la température et du débit
Pertes dues à la climatisation	Maintien de conditions supérieures aux niveaux requis	Utilisation de l'espace, système de distribution inadéquat ou inégal	Thermomètre ou psychromètre enregistreur
Charges du système de ventilation	Pertes dues aux besoins en air frais	Apport d'air extérieur, réglage de l'air mixte	
Charges des locaux	Besoins des occupants, gains en chaleur interne	Densité d'occupation, lampes et équipement	Mesure de la température et de l'humidité
Gains et pertes dûs à l'équipement auxiliaire	Chaleur fournie au système par les ventilateurs et les pompes	Taille du moteur	Wattmètre enregistreur
Énergie excédentaire provenant d'autres systèmes	Chauffage ou refroidissement croisé d'un autre système		
Refroidissement naturel	Air extérieur lorsque la température et l'humidité se trouvent dans la plage propice au refroidissement		

Tableau 2.12 Possibilités de gestion de l'énergie dans les systèmes CVC

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Documenter la charge imposée au système – mesurer l'apport en chaleur ou en air refroidi. <input type="checkbox"/> Évaluer les besoins concernant les locaux – horaires, taux d'occupation, températures et humidité, évacuation d'air et ventilation. <input type="checkbox"/> Examiner attentivement tous les effets qu'une possibilité de gestion de l'énergie pourrait avoir sur la qualité de l'environnement du local climatisé. <input type="checkbox"/> La charge imposée au système changera par suite d'autres mesures de gestion de l'énergie au point d'utilisation finale – cette étape pourrait devoir être révisée périodiquement.
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> S'assurer que la température et l'humidité fournies ne sont pas beaucoup plus élevées que celles qui sont requises. Régler la température, l'humidité, le pourcentage d'air frais et le débit d'air le plus bas possible. Envisager la ventilation à la demande. <input type="checkbox"/> Surveiller le rendement global du système CVC (apport d'énergie au local climatisé). <input type="checkbox"/> Réduire les variations de charge et échelonner la demande et les démarriages (idéalement au point d'utilisation finale) dans la mesure du possible. <input type="checkbox"/> Utiliser le refroidissement naturel dans la mesure du possible. <input type="checkbox"/> Programmer les systèmes ou la température en fonction de l'occupation et de l'air extérieur. <input type="checkbox"/> S'assurer que les commandes fonctionnent bien et sont calibrées régulièrement. <input type="checkbox"/> Envisager des commandes numériques directes qui offrent un contrôle plus souple des charges, pourvu que les systèmes sous-jacents puissent faire l'objet de la modulation appropriée. <input type="checkbox"/> Utiliser des variateurs de vitesse lorsque les heures de fonctionnement, les conditions et les aspects économiques l'exigent. <input type="checkbox"/> Installer des unités locales de traitement d'air (p. ex., assainisseurs d'air électroniques, filtres à charbon actif à absorption d'odeur, filtres à haut rendement) pour réduire le besoin d'évacuation générale.
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vérifier régulièrement les points d'entretien mécanique (ventilateurs, paliers, alignements, etc.) <input type="checkbox"/> S'assurer que les filtres à air et les conduits sont propres. <input type="checkbox"/> Utiliser des moteurs éconergétiques lorsque les heures de fonctionnement, les conditions et les aspects économiques l'exigent. <input type="checkbox"/> Isoler le système de distribution – conduits, système de gaines. <input type="checkbox"/> Maintenir en bon état les joints, les conduits d'air, le collecteur de fumée et les portes d'accès pour assurer l'étanchéité à l'air. <input type="checkbox"/> S'assurer que l'isolation des conduits et tuyaux répond aux normes.
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Récupérer la chaleur et l'air frais rejetés. <input type="checkbox"/> Utiliser le stockage thermique dans les systèmes de climatisation pour optimiser l'achat d'électricité. <input type="checkbox"/> Envisager un mur accumulateur de chaleur – un isolateur en métal conçu pour fournir une ventilation préchauffée (air d'appoint) pour les bâtiments ayant de grands murs exposés au sud.

Ouvrages de référence sur les systèmes CVC

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

Ressources naturelles Canada. *Guide d'évaluation du rendement des systèmes moteurs éconergétiques*, 2004.

oee.rncan.gc.ca/cipec/peel/bibliotheque/systemes_moteurs/index.cfm

Ressources naturelles Canada. OSMCan : *L'outil de sélection des moteurs au Canada*, 2004.

oee.rncan.gc.ca/industriel/equipement/logiciels/intro.cfm

Ressources naturelles Canada. *Ensemble, économisons l'énergie! Le chauffage et la climatisation*, 2005 (feuillet d'information).

oee.rncan.gc.ca/publications/industriel/peeic/chauffage-climatisation.cfm

Ressources naturelles Canada. *Secteur industriel Équipement éconergétique*.

oee.rncan.gc.ca/industriel/equipement/produits/index.cfm

2.7 Systèmes d'éclairage

L'éclairage constitue une grande partie, quoique nécessaire, de la charge électrique dans la plupart des installations. Par rapport à d'autres formes de conversion de l'énergie, il existe de nombreux facteurs additionnels à prendre en compte outre l'efficacité de la conversion et la réduction des pertes. Il faut accorder, dans les recommandations, la priorité à la qualité de l'éclairage et aux niveaux de confort visuel pour les occupants puisque la réduction de la productivité du travailleur en raison de modifications à l'éclairage peut être de loin supérieure aux économies d'énergie.

La source d'éclairage (lampe, réflecteur, lentille) ne constitue qu'une partie du système tout entier. Tout l'espace clos devrait être considéré comme faisant partie du système, puisque de nombreux facteurs comme la couleur des murs, la réflectivité, l'emplacement des fenêtres et les cloisonnements intérieurs peuvent avoir un effet important sur la quantité d'éclairage direct. L'utilisation finale d'un système d'éclairage peut être mesurée en tant que niveau d'éclairage direct (éclairement utile). Une vérification détaillée de l'énergie devrait tenir compte des diverses pertes d'énergie se produisant dans le système d'éclairage, comme l'indique le schéma de Sankey.

Outre les niveaux d'éclairage direct, d'autres facteurs moins quantifiables devraient être pris en compte. Il s'agit entre autres de la couleur de la source de lumière (indice de rendu des couleurs [IRC]), du reflet (appareils et fenêtres), de la réflexion de la surface et de l'âge des occupants.

Les diverses pertes présentées dans le schéma de Sankey à la figure 2.7 sont détaillées et définies au tableau 2.13.

Pour déterminer les possibilités d'économiser l'énergie dans les systèmes d'éclairage, il est nécessaire d'évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.14 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour les systèmes d'éclairage selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.7 Schéma de Sankey des flux d'énergie dans le système d'éclairage

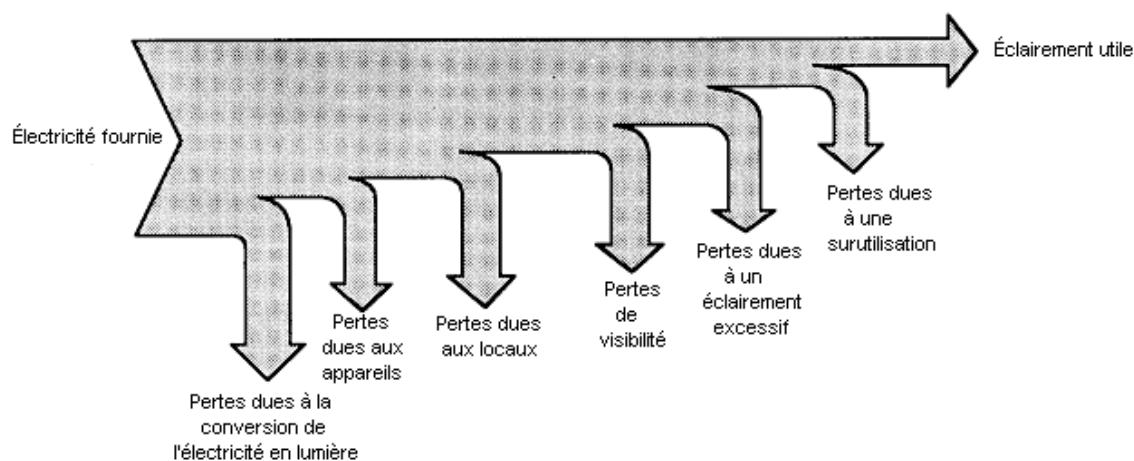


Tableau 2.13 Flux d'énergie dans un système d'éclairage

Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour évaluer le flux	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Pertes dues à la conversion de l'électricité en lumière	Rendement lumineux (lumens) de la source de lumière par unité de puissance d'entrée (watts)	Puissance consommée par l'appareil; spécification du fabricant sur les lampes; compte exact des appareils	Wattmètre portable ou pince à ampèremètre pour vérifier ponctuellement les charges des circuits d'éclairage
Pertes dues aux appareils	Lumière piégée dans l'appareil	Conception de l'appareil, propreté, niveaux de poussière	
Pertes dues aux locaux	Lumière directe perdue en raison des caractéristiques physiques du local	Couleurs du mur et du plafond; emplacement des fenêtres	Photomètre pour déterminer le ratio de réflexion de la lumière réfléchie et de la lumière incidente (lux)
Pertes de visibilité	Lumière excédentaire fournie pour pallier les problèmes de qualité de l'éclairage	Reflet, réflexions	
Pertes dues à un éclairage excessif	Lumière excédentaire fournie pour pallier la mauvaise distribution de la lumière ou le manque de constance	Mauvaise distribution de la lumière; exigences en matière de niveaux d'éclairage multitâche	Photomètre numérique
Pertes dues à une surutilisation	Lampes qui restent allumées quand elles ne sont pas requises	Taux d'occupation contre périodes d'éclairage	Wattmètre enregistreur ou détecteur de mouvement enregistreur ou détecteur optique
Éclairage utile	Niveau d'éclairage direct (ou au niveau du local en général)	Lux ou candelas-pieds échantillonnes sur la superficie. Également DPU de l'éclairage (densité de puissance unitaire – W/m ²)	Photomètre (luxmètre) (de préférence numérique)

Tableau 2.14 Possibilités de gestion de l'énergie dans les systèmes d'éclairage

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Déterminer le niveau d'éclairement requis. <input type="checkbox"/> Déterminer les besoins en couleur (température et IRC). <input type="checkbox"/> Déterminer les besoins en matière de qualité (faible reflet, indirect, décoratif, etc.). <input type="checkbox"/> Déterminer où l'éclairage est requis – éclairage du local ou éclairage direct. <input type="checkbox"/> Déterminer la durée pendant laquelle l'éclairage est requis (heures par jour).
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Fournir et utiliser des interrupteurs manuels. <input type="checkbox"/> Offrir plus de niveaux de commutation. <input type="checkbox"/> Encourager les employés à utiliser les contrôles de l'éclairage. <input type="checkbox"/> Utiliser des détecteurs de mouvement ou des minuteries pour contrôler les lampes. <input type="checkbox"/> Utiliser des cellules photoélectriques pour des appareils de fenêtre. <input type="checkbox"/> Utiliser des minuteries et des cellules photoélectriques pour les lampes extérieures. <input type="checkbox"/> Utiliser l'éclairage direct et éteindre les lampes de plafond. <input type="checkbox"/> Procéder à une analyse de l'éclairage pour déterminer s'il est utile : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> d'utiliser des lampes de faible consommation dans les appareils existants; <input type="checkbox"/> d'enlever les appareils ou les lampes inutiles.
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Procéder à une analyse de l'éclairage pour déterminer s'il est utile : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> d'enlever des lampes ou des appareils pour réduire les niveaux d'éclairement en fonction des besoins; <input type="checkbox"/> de concevoir et de maintenir des systèmes plus appropriés – nombre réduit d'appareils et remplacement général ou local des lampes; <input type="checkbox"/> d'utiliser des lampes de faible consommation et des appareils modifiés ou dont des ampoules ont été retirées – en insérant éventuellement des réflecteurs; <input type="checkbox"/> de remplacer tout le système d'éclairage par un appareil qui comprend une source d'éclairage plus efficace, par exemple remplacer les ampoules à incandescence par des lampes fluorescentes T12 ou T8. <input type="checkbox"/> Utiliser des lampes à diode électroluminescente dans les enseignes de sortie.
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Installer des puits de lumière dans les entrepôts. <input type="checkbox"/> Installer des puits de lumière dans les nouvelles constructions. <input type="checkbox"/> Concevoir des plans d'éclairage naturel pour les nouvelles constructions.

Ouvrage de référence sur les systèmes d'éclairage

Ressources naturelles Canada. *Ensemble, économisons l'énergie! L'éclairage*, 2005 (feuillet d'information).

oee.rncan.gc.ca/publications/industriel/peeic/eclairage.cfm

2.8 Fours, sécheurs et fours de cuisson

Les fours, sécheurs et fours de cuisson sont utilisés dans des applications diverses comme la fonte de métal, le séchage du bois, l'évaporation de l'eau et la fabrication de chaux, de briques et de céramiques. Certaines installations sont construites et exploitées uniquement pour les besoins d'un procédé de fabrication utilisant la chaleur. Par conséquent, le four pourrait être le plus gros consommateur d'énergie. Tous les fours non électriques utilisent un brûleur pour fournir un mélange de combustible et d'air au procédé de combustion qui produit la chaleur, laquelle est transférée par la suite au produit directement (dans la chambre de combustion) ou indirectement (au moyen d'un échangeur de chaleur). De l'électricité peut également être requise pour faire fonctionner de l'équipement auxiliaire comme les ventilateurs.

Comme pour les chaudières, il importe d'évaluer le rendement et l'efficacité du four pour toute la plage de charges réelles ou partielles. Contrairement aux chaudières, le système de distribution de la chaleur n'est généralement pas grand, et les pertes connexes sont peu élevées également (c'est-à-dire l'utilisation finale de la chaleur a lieu dans le four).

Le maintien d'un ratio air-combustible optimal est essentiel au fonctionnement efficace des fours à combustible. Un manque d'air entraîne une combustion incomplète, ce qui donne lieu à des pertes de combustible dans les gaz de combustion (flamme fuligineuse). Un excès d'air accroît inutilement les pertes de gaz de combustion secs, comme le montre l'élévation de la température des gaz de combustion. Par ailleurs, l'air excédentaire pénétrant dans le four doit être chauffé, ce qui augmente la perte d'énergie. La température des gaz de combustion dépend également de l'efficacité du transfert de chaleur au produit traité et constitue un bon indicateur de l'état des surfaces internes d'échange thermique. Dans certains cas, une grande quantité d'air excédentaire est requise pour maintenir la qualité du produit. Il faudrait alors envisager la récupération de chaleur. L'analyseur portable des gaz de combustion constitue un outil utile pour évaluer le rendement de combustion des fours, sécheurs et fours de cuisson.

Les diverses pertes présentées dans le schéma de Sankey à la figure 2.8 sont détaillées et définies au tableau 2.15.

Pour déterminer les possibilités d'économiser l'énergie dans les systèmes de production de chaleur industrielle, il est nécessaire d'évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.16 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour les fours, les sécheurs et les fours de cuisson selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.8 Schéma de Sankey des flux d'énergie dans les systèmes de production de chaleur industrielle

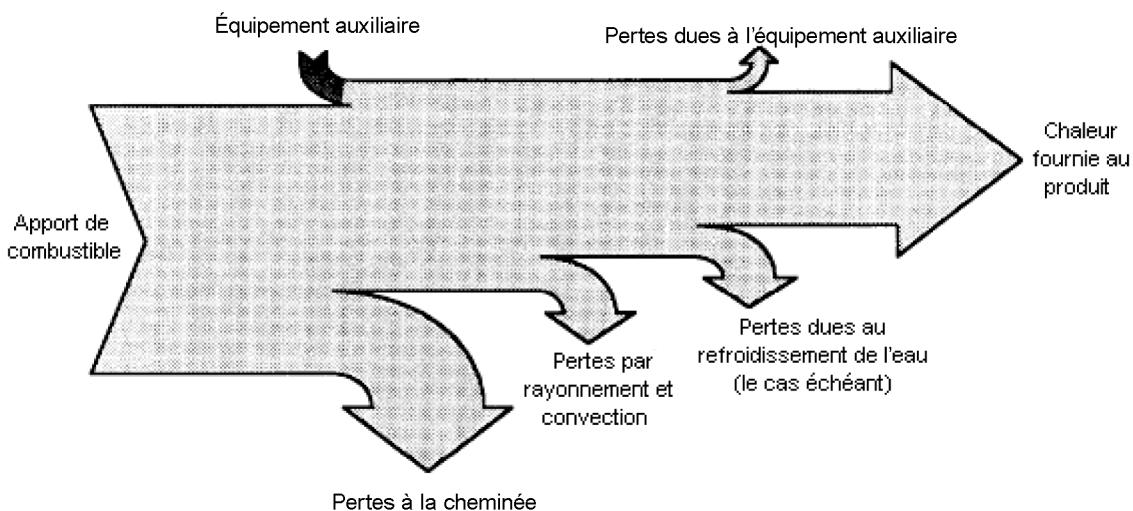


Tableau 2.15 Flux d'énergie dans un système de production de chaleur industrielle

Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour évaluer le flux	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Pertes de gaz humides à la cheminée (plus importantes pour les combustibles solides)	Humidité contenue dans le combustible qui se forme pendant la combustion et qui est rejetée par les gaz de combustion	Analyse des gaz de combustion (CO_2 , O_2 , CO , etc.) et de la température des gaz de combustion	Analyseur des gaz de combustion
Pertes de gaz secs à la cheminée	Chaleur sensible dans les gaz de combustion		
Pertes par rayonnement et convection	Pertes aux surfaces extérieures de la chambre de combustion et des échangeurs de chaleur	Température à la surface, superficie	Thermomètre sans contact ou dispositif de mesure de la température par infrarouges
Pertes dues au refroidissement de l'eau (le cas échéant)	Eau utilisée pour ralentir le procédé de chauffage ou pour refroidir le produit après le traitement	Choix du moment (calendrier), température d'entrée et de sortie, volume de l'eau de refroidissement	Mesure de la température
Pertes et consommation dues à l'équipement auxiliaire	Ventilateurs, pompes, etc. et les pertes connexes (généralement électriques)	Spécifications de l'équipement et heures de fonctionnement	Wattmètre enregistreur
Chaleur fournie au produit	Chaleur que le produit absorbe tout au long du cycle de traitement		Si elles sont disponibles, les données des instruments de l'usine peuvent être utilisées; dans le cas contraire, ces paramètres ne sont pas mesurés dans le cadre d'une macroévaluation.

Tableau 2.16 Possibilités de gestion de l'énergie dans les fours, sécheurs et fours de cuisson

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Documenter la charge imposée au four, au sécheur ou au four de cuisson – procéder à un bilan énergétique au moment de la perte de chaleur de l'appareil même. <input type="checkbox"/> Évaluer les exigences du procédé pour ce qui est de la charge de produits et des besoins thermodynamiques. <input type="checkbox"/> Examiner attentivement l'effet qu'une possibilité de gestion de l'énergie pourrait avoir sur la qualité du produit final.
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> S'assurer que la température de traitement n'est pas beaucoup plus élevée que celle requise. Fonctionner à la température et au débit d'air les plus bas possible. <input type="checkbox"/> Dans un système étagé, placer les brûleurs en ordre séquentiel en ligne pour suivre la demande de chaleur. <input type="checkbox"/> Réduire au maximum la nécessité pour les fours de demeurer en position d'attente. <input type="checkbox"/> Surveiller le rendement général de la production de chaleur industrielle (combustible au produit). <input type="checkbox"/> Réduire les variations de charge et planifier la production afin d'optimiser, dans la mesure du possible, l'utilisation de la capacité du four, du sécheur ou du four de cuisson. <input type="checkbox"/> Examiner les procédures de l'opérateur pour s'assurer que ses pratiques occasionnent une consommation minimale d'énergie.
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vérifier régulièrement le rendement de combustion. <input type="checkbox"/> Vérifier et adapter régulièrement les niveaux d'air excédentaire. <input type="checkbox"/> Garder les assemblages et les commandes du brûleur ajustés et calibrés. <input type="checkbox"/> Maintenir en bon état les joints, les conduits d'air, le collecteur de fumée et les portes d'accès pour assurer l'étanchéité à l'air. <input type="checkbox"/> Déplacer les prises d'air pour assurer que les fours de cuisson utilisent l'air le plus sec possible. <input type="checkbox"/> S'assurer que l'isolation de la surface est conforme à la norme. <input type="checkbox"/> Installer des commandes électroniques pour contrôler la combustion et la température.
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Déplacer la prise d'air comburant ou déstratifier l'air de l'usine pour tirer parti de la chaleur résiduelle afin de préchauffer l'air comburant. <input type="checkbox"/> Installer un économiseur sans condensation pour recueillir la chaleur dans les gaz de combustion. <input type="checkbox"/> Installer un condensateur de gaz de combustion pour récupérer de la chaleur additionnelle dans les gaz de combustion. <input type="checkbox"/> Récupérer la chaleur résiduelle issue du refroidissement du produit.

Ouvrages de référence sur la production de chaleur industrielle

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

Ressources naturelles Canada. *Amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage*, 2001.

oee.rncan.gc.ca/Publications/infosource/Pub/peeic/Systemeschaffage_avantpropos.cfm

Ressources naturelles Canada. *Calculatrice de l'efficacité des chaudières*, 2006.

oee.rncan.gc.ca/industriel/info-technique/outils/chaudieres/index.cfm

Ressources naturelles Canada. *Ensemble, économisons l'énergie! La récupération de la chaleur perdue*, 2005 (feuillet d'information).

oee.rncan.gc.ca/publications/industriel/peeic/chaleur-perdue.cfm

2.9 Systèmes de réfrigération

Les systèmes de réfrigération sont utilisés dans de nombreux environnements différents – résidentiel, commercial et industriel. Tous ces systèmes sont conçus dans un but unique : transférer la chaleur d'un milieu où la température est moins élevée (source de chaleur) à un milieu où la température est plus élevée (source de froid), au moyen d'un fluide de transfert (réfrigérant). Comme il s'agit de l'orientation inverse à l'orientation naturelle du flux thermique, un intrant énergétique est requis, généralement sous forme d'électricité. Selon la quantité de chaleur à transférer, le coût de la réfrigération peut être élevé. Les diverses pertes d'énergie se produisant dans le système, comme l'indique le schéma de Sankey, revêtent une importance particulière pour la vérification énergétique.

Les systèmes de réfrigération sont relativement complexes, et leur rendement dépend des conditions de fonctionnement. Bien que la cote d'un système soit établie pour une charge de refroidissement nominale ou maximale donnée, le système fonctionne généralement pendant la majeure partie de sa durée de vie utile à une fraction de cette puissance, ou à une charge partielle. L'efficacité d'un système de refroidissement peut varier considérablement en fonction de la charge, selon la méthode de réglage de la puissance frigorifique employée. Par conséquent, il est important d'évaluer le rendement et l'efficacité d'un système pour toute la plage de charges réelles.

L'énergie requise pour faire fonctionner un système de refroidissement est proportionnelle à la différence de température entre la source de chaleur et la source de froid. Par conséquent, la réduction de la différence de température entre le milieu refroidi (p. ex., entreposage frigorifique) et la température de condensation (p. ex., tour de refroidissement) a un effet important sur l'apport d'énergie au système. Divers dispositifs de mesure, comme un wattmètre, un thermomètre, un psychromètre et un manomètre, peuvent être utiles pour évaluer l'efficacité des systèmes de réfrigération en matière de refroidissement.

Les diverses pertes présentées dans le schéma de Sankey de la figure 2.9 sont détaillées et définies au tableau 2.17.

Pour déterminer les possibilités d'économiser l'énergie dans les systèmes de réfrigération, il est nécessaire d'évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.18 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour les systèmes de réfrigération selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.9 Schéma de Sankey des flux d'énergie dans le système de réfrigération

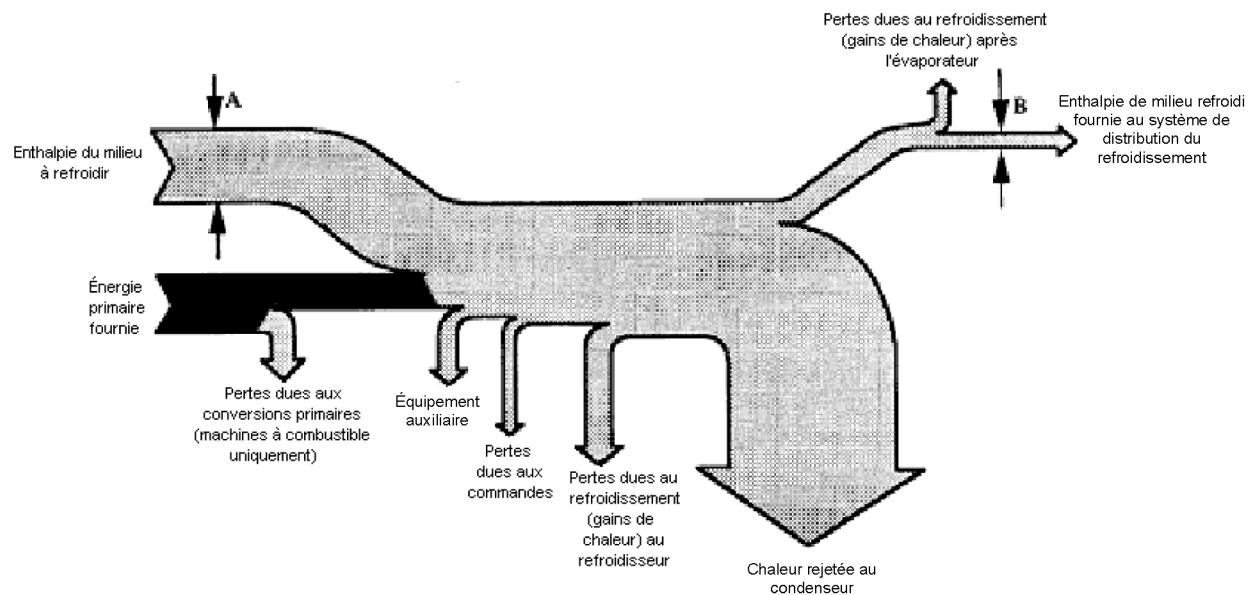


Tableau 2.17 Flux d'énergie dans un système de réfrigération

Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour évaluer le débit	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Enthalpie du milieu à refroidir	Contenu de chaleur sensible et de chaleur latente de la charge	Température et humidité relative	Dispositif de mesure de la température et de l'humidité
Énergie primaire fournie	Électricité fournie au système	Pourcentage de la charge nominale, FP	Wattmètre portable (devrait indiquer les watts et le facteur de puissance)
Pertes dues aux conversions primaires	Électrique – pertes dans le moteur et à l'arbre entre le moteur, le compresseur, la pompe, le ventilateur, etc.	Pourcentage de la charge nominale, FP	
Équipement auxiliaire	Équipement de soutien – ventilateurs, pompes, appareils de chauffage, etc.	Fonctionnement continu (inutile), type de contrôle	Wattmètre
Pertes dues aux commandes	Pertes dues à une baisse d'efficacité à une charge partielle	Type de réglage de la puissance frigorifique (contrôle de la vitesse, dérivation des gaz chauds, etc.)	Wattmètre enregistreur (surveille l'apport énergétique pour une large plage de charges)
Pertes dues au refroidissement	Gains de chaleur internes ou externes avant que le réfrigérant n'arrive à destination	Mauvaise isolation et fuites d'air	Dispositif de mesure de la température
Chaleur rejetée au condenseur		Débit, pression et différence de température du réfrigérant dans le condenseur	Dispositif de mesure de la température, jauge du système, débitmètre d'air
Pertes dues au refroidissement après l'évaporateur	Mesure du coefficient de rendement d'élévation de l'évaporateur	Température (évaporateur et milieu refroidi)	Dispositif de mesure de la température; débitmètre d'air
Enthalpie du milieu refroidi fournie par le système de distribution du refroidissement	Chaleur restant dans l'air ou l'eau après son refroidissement		Dispositif de mesure de la température

Tableau 2.18 Possibilités de gestion de l'énergie dans les systèmes de réfrigération

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Documenter la charge de refroidissement et la température requise – idéalement, établir un profil. <input type="checkbox"/> Examiner les diverses températures requises : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> dans un procédé, éventuellement selon le produit ou l'étape du procédé; <input type="checkbox"/> dans un système CVC, selon la saison et l'occupation. <input type="checkbox"/> Examiner l'effet que d'autres mesures de gestion de l'énergie au point d'utilisation finale peuvent avoir sur les besoins du système – ceci peut changer au fil du temps.
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Utiliser des pratiques d'économie au point d'utilisation finale pour réduire au maximum la charge de refroidissement. <input type="checkbox"/> Calibrer les commandes et régler les températures aux plus hauts degrés acceptables. <input type="checkbox"/> Éviter si possible un chauffage et un refroidissement simultanés. <input type="checkbox"/> Assurer un réglage de la puissance frigorifique approprié pour les systèmes de réfrigération : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Réglages de plusieurs unités <input type="checkbox"/> Modulation (sans faux chargement) pour des appareils individuels <input type="checkbox"/> Éviter le recours à la dérivation des gaz chauds pour régler la puissance <input type="checkbox"/> Examiner la possibilité d'élever la température de l'évaporateur par des mesures comme le réglage de l'eau refroidie à une température plus élevée. Utiliser une température aussi élevée que possible tout en continuant à répondre au besoin de refroidissement. <input type="checkbox"/> Veiller à ce que les commandes de dégivrage soient bien réglées et revoir régulièrement le réglage.
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> S'assurer que les surfaces d'échange thermique sont nettoyées et entretenues régulièrement. <input type="checkbox"/> Réduire les températures de condensation en assurant une libre circulation de l'air autour des unités de condensation et des tours de refroidissement. <input type="checkbox"/> Veiller à ce que les tours de refroidissement soient bien entretenues afin d'obtenir la température de l'eau la plus basse possible. <input type="checkbox"/> Examiner la haute pression flottante ou la surpression du liquide pour réduire la température de condensation et la pression sur une base saisonnière. <input type="checkbox"/> Remplacer les compresseurs par des unités à haut rendement (CP).
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Utiliser l'entreposage frigorifique pour optimiser le fonctionnement des systèmes de refroidissement et l'achat d'électricité en fonction de l'heure de la journée. <input type="checkbox"/> Utiliser des désurchauffeurs pour récupérer la chaleur rejetée par les condenseurs. <input type="checkbox"/> Envisager d'exploiter la capacité de refroidissement naturel directement de l'air froid ambiant (p. ex., en hiver), et de ne pas avoir à utiliser un compresseur et donc de l'électricité. <input type="checkbox"/> Envisager d'utiliser uniquement de l'eau comme réfrigérant pour l'eau de refroidissement du procédé.

Ouvrages de référence sur les systèmes de réfrigération

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

2.10 Réseaux de vapeur et de condensat

On utilise souvent la vapeur comme agent pour transférer la chaleur de la chaudière à son point d'utilisation finale. Les caractéristiques qui la rendent utile comme caloporeur (capacité élevée de transfert de chaleur) rendent aussi son système de distribution vulnérable aux pertes et gaspillages d'énergie. Les systèmes d'approvisionnement en vapeur et de retour du condensat requièrent une inspection et un entretien réguliers (et parfois, un peu de travail de détection) afin de réduire au maximum ou d'éliminer ces pertes.

La vapeur produite par une chaudière est ensuite fournie sous pression à la charge par le système de distribution de la vapeur. En général, la chaleur latente de la vapeur est convertie dans un échangeur de chaleur et la vapeur est condensée (transformée en état liquide). Ce condensat chaud est renvoyé par le système de retour du condensat dans l'eau d'appoint de la chaudière pour y être réchauffé, puis le cycle recommence. Dans certains cas, la vapeur vive est injectée directement dans le procédé et il n'y a alors aucun retour de condensat.

Les réseaux de vapeur peuvent être classés selon leur pression et ceux de condensat, selon leur méthode de retour (gravité ou pompage). En raison du danger inhérent dans les réseaux de vapeur sous pression, les règlements provinciaux sont très stricts en ce qui concerne les modifications aux réseaux. Toute possibilité de gestion de l'énergie nécessitant des modifications aux conduits ou à l'équipement doit être conçue, mise en œuvre et inspectée par du personnel qualifié.

L'optimisation d'un réseau de vapeur ou de condensat peut se résumer en deux mesures : faire parvenir la vapeur à destination et renvoyer le condensat à la chaudière moyennant des pertes minimales. Les pertes courantes sont causées par des fuites de vapeur attribuables, entre autres, au fait que des purgeurs de vapeur d'eau sont bloqués en position ouverte ou que des tuyaux sont mal ou non isolés. Le thermomètre sans contact (à infrarouges) s'avère un outil utile pour déceler les fuites de vapeur dans les réseaux de vapeur et de condensat. Un réseau de vapeur ou de condensat optimisé permet de réaliser des économies relativement aux produits chimiques destinés au traitement de l'eau – le condensat de retour renferme non seulement de l'énergie thermique mais aussi de précieux produits chimiques pour le traitement.

Les diverses pertes présentées dans le schéma de Sankey de la figure 2.10 sont détaillées et définies au tableau 2.19.

Pour déterminer les possibilités d'économiser l'énergie dans les réseaux de vapeur et de condensat, il est nécessaire d'évaluer d'un œil critique la consommation d'énergie actuelle. Le tableau 2.20 donne des exemples de possibilités de gestion de l'énergie pour les réseaux de vapeur et de condensat selon une méthode en trois étapes expliquée en détail dans la section B-8 intitulée « Identification des possibilités de gestion de l'énergie ».

Figure 2.10 Schéma de Sankey des flux d'énergie dans les réseaux de vapeur et de condensat

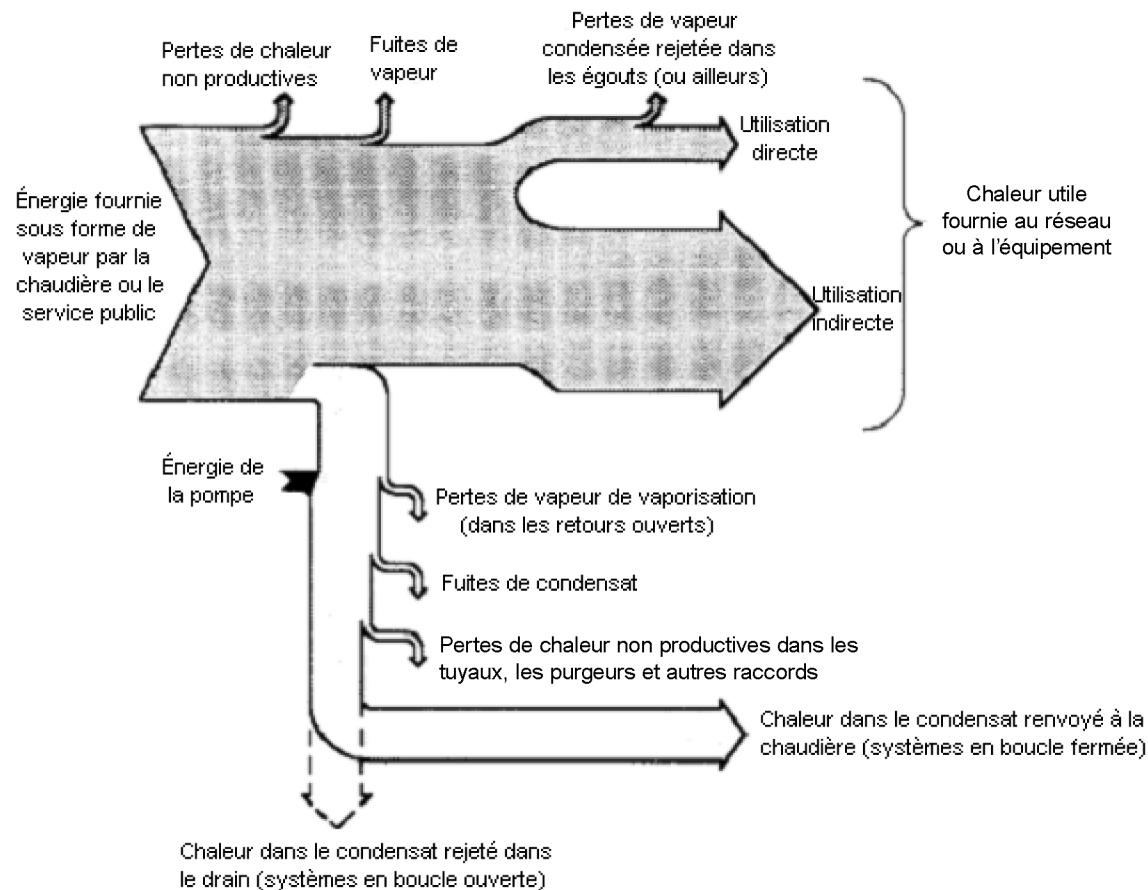


Tableau 2.19 Flux d'énergie dans les réseaux de vapeur et de condensat

	Flux d'énergie	Description	Facteurs clés pour évaluer le flux	Instruments portables utilisés pour l'évaluation
Vapeur	Pertes de chaleur non productives	Pertes de chaleur à la surface des tuyaux non isolés	Température, superficie, niveaux d'isolation	Thermomètre sans contact ou dispositif de mesure de la température par infrarouges
	Fuites de vapeur	Trous dans la tuyauterie de vapeur	Taille du panache, pression du réseau	Thermomètre sans contact ou dispositif de mesure de la température par infrarouges; détecteur à ultrasons
	Perte de vapeur condensée	Eau condensée rejetée à l'égout ou ailleurs	Température, volume	Thermomètre
	Utilisation directe	Vapeur vive injectée dans le procédé	Contrôle de l'injection de vapeur	
	Utilisation indirecte	Chaleur fournie par l'échangeur de chaleur		
Condensat	Pertes de vapeur de vaporisation	Lorsque le condensat sous pression est relâché à la pression atmosphérique, une partie s'évapore sous forme de vapeur de vaporisation en raison de la chute de pression	Température, pression, conception de réservoirs de détente	Thermomètre
	Fuites de condensat	Trous dans le système de retour du condensat	Fuites d'eau	
	Pertes de chaleur non productives	Chaleur perdue à la surface de tuyaux non isolés, par le purgeur et par les raccords	Température, superficie, niveaux d'isolation	Thermomètre sans contact ou dispositif de mesure de la température par infrarouges
	Retour du condensat à la chaudière	Dans les systèmes en boucle fermée, on ajoute le condensat à l'eau d'appoint de la chaudière	Pourcentage de retour, température du condensat, volume de l'eau d'appoint	Thermomètre

Tableau 2.20 Possibilités de gestion de l'énergie dans les réseaux de vapeur et de condensat

Étape	Mesures
Déterminer le besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Documenter la charge de l'utilisation finale – idéalement, établir un profil horaire. <input type="checkbox"/> Déterminer les exigences nominales en matière de débit, de pression et de qualité de la vapeur. <input type="checkbox"/> Ceci peut nécessiter un examen des charges en aval du système de distribution de la vapeur. <input type="checkbox"/> La charge imposée au système changera par suite d'autres mesures de gestion de l'énergie au point d'utilisation finale – cette étape pourrait devoir être révisée périodiquement.
Répondre au besoin	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> S'assurer que la température de la chaudière et la pression de fonctionnement ne sont pas beaucoup plus élevées que le besoin maximal. Fonctionner à la température et à la pression les plus basses possible. <input type="checkbox"/> Assurer une taille adéquate des tuyaux pour éviter des pressions d'alimentation excessives visant à surmonter les chutes de pression. <input type="checkbox"/> Veiller à ce que le système ne soit pas surdimensionné pour les pertes de chaleur augmentant la charge. <input type="checkbox"/> En cas d'utilisation directe de la vapeur, veiller à ce que le contrôle du rejet de la vapeur soit adéquat. <input type="checkbox"/> En cas d'utilisation indirecte, s'assurer que l'échangeur de chaleur est ajusté en fonction de la charge et contrôlé. <input type="checkbox"/> Vérifier régulièrement la tuyauterie des réseaux de vapeur et de condensat afin de déceler les fuites et de les réparer. <input type="checkbox"/> Déceler et réparer les purgeurs de vapeur défectueux. <input type="checkbox"/> Fermer l'alimentation en vapeur de l'équipement non utilisé. <input type="checkbox"/> Réviser les postes de détente.
Maximiser le rendement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vérifier et ajuster régulièrement les procédures de traitement de l'eau. <input type="checkbox"/> Déconnecter et sceller tout branchement de vapeur ou de condensat non utilisé ou en fermer la vanne. <input type="checkbox"/> S'assurer que l'isolation de la tuyauterie et des appareils est conforme à la norme. <input type="checkbox"/> Isoler les tuyaux, les brides, les raccords et l'équipement non isolé. <input type="checkbox"/> Renvoyer autant de condensat qu'il est possible et rentable de faire. <input type="checkbox"/> Nettoyer régulièrement les surfaces d'échange thermique.
Optimiser l'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Récupérer la chaleur de tout condensat ou vapeur qui doit être rejeté. <input type="checkbox"/> Réorienter ou réutiliser la vapeur de vaporisation. <input type="checkbox"/> Remplacer les réducteurs de pression par de petites turbines à vapeur anti-retour.

Ouvrages de référence sur les réseaux de vapeur et de condensat

Modern Industrial Assessments: A Training Manual, Version 2.0, Rutgers, The State University of New Jersey, septembre 2001.

(Disponible en ligne à l'adresse iac.rutgers.edu/manual_industrial.php)

Ressources naturelles Canada. *Ensemble, économisons l'énergie! Les réseaux de tuyauterie de vapeur et de condensat*, 2005.

oee.rncan.gc.ca/publications/industriel/peeic/vapeur-condensat.cfm

3 LISTES DE CONTRÔLE POUR L'INSPECTION DE L'ÉTAT

3.1 Fenêtres

Dans la présente liste de contrôle et celles qui suivent, des points sont accordés dans chaque catégorie selon les directives données ci-dessous; le pointage maximal pouvant être octroyé pour chaque système est indiqué dans le tableau (c.-à-d. le pointage maximal pour les fenêtres est de 10; le total réel est comparé à ce maximum).

		Date : _____	Contre-fenêtres	Protection solaire	Fenêtre bien ajustée	Faible infiltration	Grande infiltration	Ne peut être ouverte	Peut être ouverte	Munie de coupe-bise										Total des points
N°	Pointage maximal = 10 Endroit	2	2	2	1	0	3	0	1											

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES FENÊTRES

2 points : La fenêtre est dotée d'une contre-fenêtre adéquate pour la protection contre le froid. La contre-fenêtre doit être bien ajustée et empêcher le vent d'entrer autour de la fenêtre.

2 points : La fenêtre est dotée d'un dispositif de protection contre la lumière directe du soleil au cours de l'été. La protection solaire peut être intégrée à la conception du bâtiment, comme un surplomb, des vélums ou des écrans protecteurs. Il peut s'agir également d'une pellicule teintée ou réfléchissante appliquée sur les fenêtres, de fenêtres à double vitrage, d'écrans solaires ou d'arbres bloquant la lumière directe du soleil.

2 points : La fenêtre est bien ajustée, c'est-à-dire qu'on ne peut détecter d'infiltration d'air les jours de grand vent. La fenêtre doit être bien ajustée et tout le calfeutrage doit être en place. Les coupe-bise contribuent à un bon ajustement.

1 point : Il y a un peu d'infiltration de vent autour de la fenêtre. La fenêtre doit être relativement bien ajustée et ne doit pas être lâche ni vibrer.

0 point : On peut sentir une grande infiltration d'air. La fenêtre est lâche dans le cadre, et il n'y a pas de calfeutrage ou ce dernier est en piètre état.

3 points : La fenêtre est conçue de façon à ne pas pouvoir être ouverte.

0 point : La fenêtre peut être ouverte. Elle sera ouverte pour « régler » la température de la pièce.

1 point : La fenêtre est dotée d'un coupe-bise tout autour, et ce dernier est en bon état.

3.2 Portes extérieures

Date : _____													
Vérificateur : _____													
Commentaires : _____ _____													
N°	Pointage maximal = 10 Endroit	Système sas	Porte munie d'un ferme-porte	Ferme-porte sans dispositif de maintien en position ouverte	Ferme-porte avec dispositif de maintien en position ouverte	Bon ajustement	Ajustement moyen	Ajustement lâche	Coupe-bise aux quatre côtés	Coupe-bise sur le montant et le linteau	Aucun coupe-bise	Abri contre le vent ou autre	Total des points
		2	1	1	0	2	1	0	2	1	0	1	

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES PORTES

La présente section s'applique à toutes les portes qui s'ouvrent sur l'extérieur ainsi que celles qui s'ouvrent sur une aire où l'air n'est pas conditionné, notamment les entrepôts et les pièces de rangement.

2 points : La porte fait partie d'un système sas.

1 point : La porte est dotée d'un ferme-porte de type à ressort, à air ou hydraulique.

1 point : Le ferme-porte n'a pas de dispositif de maintien en position ouverte.

0 point : Le ferme-porte a un dispositif de maintien en position ouverte.

2 points : La porte est bien ajustée dans le cadre et il n'y a aucune infiltration d'air autour de la porte.

1 point : L'ajustement de la porte est moyen. La porte peut vibrer légèrement dans le cadre et il y a une légère infiltration d'air autour de la porte.

0 point : La porte est lâche dans le cadre et il y a infiltration d'air.

2 points : Il y a un coupe-bise en bon état tout autour de la porte. (Les seuils avec élastiques ou fibres pour fermer les espaces et les battements sur les portes doubles sont considérés comme des coupe-bise.)

1 point : Le coupe-bise est installé uniquement sur le montant et le linteau.

0 point : Il n'y a aucun coupe-bise ou ce dernier est en piètre état.

1 point : La porte est protégée du vent extérieur. Il peut s'agir d'un élément dans la conception du bâtiment, d'un abri contre le vent ou d'arbustes.

3.3 Plafonds

Date : _____	Plafond suspendu	Plafond suspendu isolé	Plafond ordinaire isolé	Aire sans ventilation mécanique	Tous les panneaux en place	Panneaux brisés	Panneaux manquants							Total des points
N° Endroit	Pointage maximal = 6	1	1	1	1	2	1	0						

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES PLAFONDS

1 point : Il y a un plafond suspendu.

1 point : Il y a de l'isolant au-dessus du plafond du dernier étage en dessous du toit ou de l'espace mécanique.

1 point : Il y a un plafond ordinaire isolé.

1 point : L'espace au-dessus du plafond suspendu est doté d'une ventilation mécanique. Le tirage naturel n'est pas considéré comme une ventilation mécanique.

2 points : Tous les panneaux sont en place et en bon état et il n'y a pas de panneaux brisés ni manquants.

1 point : Des panneaux sont brisés ou en piètre état.

0 point : Des panneaux sont manquants ou retirés et égarés.

3.4 Murs extérieurs

		Date : _____															Total des points
		Vérificateur : _____															
		Commentaires : _____ _____															
N°	Pointage maximal = 7	Isolé	Non isolé	Protection solaire	Étanche	Fissuré ou brisé	Ouvre sur une aire non conditionnée										
	Endroit	3	0	2	2	1	0										

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES MURS EXTÉRIEURS

3 points : Le mur est conçu pour résister aux différences de température extérieure. De l'isolant est présent pour changer considérablement le temps de transfert de la chaleur.

0 point : Le mur n'est qu'une simple division sans isolation adéquate.

2 points : La surface du mur extérieur est dotée d'une protection solaire comme un revêtement pâle, est fort ombragée ou est dotée d'écrans solaires.

2 points : Les surfaces des murs sont bien entretenues et ne sont pas endommagées.

1 point : L'intérieur est en état moyen avec quelques fissures dans la surface et de petites sections de l'enduit intérieur sont manquantes.

0 point : Le mur a des ouvertures donnant sur des aires où l'air n'est pas conditionné; p. ex., des ouvertures non fermées pour la plomberie ou les tuyaux.

3.5 Toits

Date : _____ Vérificateur : _____ Commentaires : _____ _____		Isolant sec	Isolant mouillé	Surface réfléchissante	Ventilation sous le toit	Aucune fuite	Quelques fuites	NOMBREUSES fuites												Total des points
N°	Pointage maximal = 6	2	0	1	1	2	1	0												
	Endroit																			

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES TOITS

2 points : L'isolant du toit est sec.

0 point : L'isolant du toit est en piètre état, mouillé, vieux, friable, fissuré, etc., ou il n'y a pas d'isolant.

1 point : Le toit a une surface réfléchissante; il peut s'agir du type de matériau ou de la couleur et de l'état de la surface (gravier, etc.).

1 point : Un système de ventilation mécanique est en place entre le toit et le plafond en dessous. Il doit s'agir d'un système de capacité adéquate afin d'assurer une bonne circulation d'air.

2 points : Il n'y a aucune fuite dans le toit.

1 point : Il y a quelques fuites dans le toit.

0 point : Il y a de nombreuses fuites.

3.6 Aires d'entreposage

		Date : _____	Vérificateur : _____	Commentaires : _____	Non conditionnée	Porte fermée	Aucune fenêtre	Une fenêtre	Deux fenêtres ou plus	Utilisée comme prévu	Non utilisée comme prévu												Total des points
N°	Pointage maximal = 6	1	1	2	1	0	2	0															
	Endroit																						

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES AIRES D'ENTREPOSAGE

1 point : La température de l'aire n'est pas contrôlée.

1 point : Les portes sont tenues fermées.

2 points : L'aire ne comporte aucune fenêtre.

1 point : L'aire comporte une fenêtre.

0 point : L'aire comporte deux fenêtres ou plus.

2 points : L'aire est utilisée conformément à l'usage prévu.

0 point : L'aire est utilisée comme entrepôt mais a été conçue à d'autres fins.

3.7 Aires de réception et d'expédition

		Date : _____										
		Vérificateur : _____										
		Commentaires : _____ _____										
N°	Pointage maximal = 6		Bonne protection contre les intempéries	Protection moyenne contre les intempéries	Piètre protection contre les intempéries	Espaces individuels – camions	Une seule grande aire	Portes fermées	Portes ouvertes	L'air n'est pas conditionné	L'air est conditionné	Total des points
	3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES AIRES DE RÉCEPTION ET D'EXPÉDITION

3 points : L'aire de réception et d'expédition est bien protégée des températures extérieures.

1 point : L'aire de réception et d'expédition est raisonnablement protégée contre l'entrée de l'air extérieur.

0 point : L'aire de réception et d'expédition n'est pas protégée contre les intempéries. Il s'agit d'une aire ouverte directement exposée aux températures extérieures.

1 point : Il y a des espaces individuels destinés aux camions, ce qui permet de fermer les aires non utilisées.

0 point : Il s'agit d'une grande aire et le quai entier doit être exposé pour le chargement ou le déchargement d'un seul camion.

1 point : Les portes sont fermées lorsque l'aire n'est pas utilisée.

0 point : Les portes sont laissées ouvertes aux fins de commodité.

1 point : L'air n'est pas conditionné.

0 point : L'air est conditionné.

3.8 Éclairage

		Date : _____											
		Vérificateur : _____											
		Commentaires : _____ _____											
N°	Pointage maximal = 10	1	1	0	2	1	0	2	1	0	1	0	1
Endroit													

On peut évaluer les niveaux d'éclairement à l'aide de petits photomètres portatifs peu coûteux, lesquels sont disponibles dans diverses gammes de lux (le lux est l'unité d'éclairement lumineux, et un lux correspond à un lumen par mètre carré; le lumen est l'unité de mesure pour la lumière émise par une source). Les photomètres portatifs ont habituellement une précision de +/- 15 p. 100; il faut donc veiller à ce qu'ils soient utilisés conformément aux consignes d'utilisation.

Le tableau 3.1 présente des directives pour les niveaux d'éclairement recommandés.

Tableau 3.1 Niveaux d'éclairement recommandés par l'Illuminating Engineering Society of North America (IES) pour différentes catégories de tâches visuelles

Catégorie de tâches visuelles	Exemples	Éclairement (lux)
Aires publiques mal éclairées	Vestibules	20-50
Orientation rapide pour de brèves visites temporaires	Couloirs; salles d'entreposage	50-100
Aires de travail où des tâches visuelles ne sont effectuées qu'à l'occasion	Salles d'attente	100-200
Tâches visuelles avec contraste élevé ou gros objet	Salles de conférence; matériel imprimé; originaux dactylographiés; écriture à la main à l'encre; travail industriel brut	200-500
Tâches avec exigences visuelles moyennes ou petit objet	Bureau d'ingénieurs; écriture au crayon à mine moyenne; matériel mal imprimé ou reproduit; travail industriel moyen	500-1 000
Tâches avec exigences visuelles élevées ou très petit objet	Écriture au crayon à mine dure sur du papier de piètre qualité; copies décolorées; travail industriel difficile	1 000-2 000
Tâches visuelles très méticuleuses pendant une longue période de temps ou très petit objet	Travail industriel fin; inspection difficile	2 000-5 000
Tâches visuelles très méticuleuses, prolongées et exigeantes	Travail très fin	5 000-10 000
Tâches visuelles de précision avec très faible contraste ou très petit objet	Intervention chirurgicale; couture	10 000-20 000

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES NIVEAUX D'ÉCLAIREMENT

1 point : Les appareils d'éclairage servant uniquement à des fins décoratives (ne servant pas pour assurer la sécurité, l'éclairage dans les couloirs et autres nécessités) sont éliminés.

1 point : L'éclairage est disposé de façon à éclairer uniquement l'aire de travail.

0 point : L'éclairage est conçu pour éclairer la pièce entière à un niveau adéquat pour le travail.

2 points : Le diffuseur du luminaire est propre et clair.

1 point : Le diffuseur a jauni légèrement ou est sale.

0 point : Le diffuseur est notablement jauni ou plein de poussière. Cette restriction peut représenter jusqu'à 10 p. 100 ou plus du flux lumineux transmis.

2 points : La surface réfléchissante interne du luminaire est en bon état (la peinture est réfléchissante et propre).

1 point : On obtient de la poussière en passant un linge blanc sur la surface réfléchissante interne du luminaire.

0 point : La surface réfléchissante est jaunie et terne.

1 point : La source lumineuse (T8, lampes à vapeur de sodium à haute pression, lampes aux halogénures, enseignes de sortie DEL) est appropriée pour l'application.

0 point : Une source lumineuse inappropriée est utilisée.

1 point : Les luminaires sont adéquatement ventilés et la chaleur peut s'échapper dans l'entre-plafond. Cet espace doit être ventilé afin d'empêcher une accumulation de chaleur.

1 point : Les lumières sont éteintes lorsque l'aire est inoccupée.

1 point : Le niveau d'éclairement est adéquat pour l'utilisation prévue.

0 point : L'aire est « trop éclairée » pour l'utilisation prévue.

0 point : Au moins deux lampes ont des extrémités noircies ou luisent sans produire d'éclairage.



3.9 Aires alimentaires

		Date : _____															
		Vérificateur : _____															
		Commentaires : _____ _____															
N°	Pointage maximal = 15 Endroit	Équipement hors tension	Équipement laissé en marche	Portes des appareils de réfrigération fermées	Portes des appareils de réfrigération ouvertes	Robinets sans fuite	Robinets avec fuites	Portes d'accès fermées	Hottes de bonne qualité	Hottes de qualité moyenne	Hottes de piètre qualité	Ventilation adéquate	Équip. de réfrigération de bonne qualité	Équip. de réfrigération de qualité moyenne	Équip. de réfrigération de piètre qualité	Syst. de récupération de la chaleur	Total des points
		2	0	1	0	1	0	3	2	1	0	1	2	1	0	3	

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES AIRES ALIMENTAIRES

2 points : L'équipement de préparation des aliments est uniquement activé au besoin.

Cet équipement inclut, sans s'y limiter, les fours, les chauffe-plats, les tables à vapeur, l'équipement de livraison et les urnes à café.

0 point : L'équipement est laissé en marche toute la journée.

1 point : Les portes du réfrigérateur et du congélateur sont tenues bien fermées.

0 point : Les portes du réfrigérateur et du congélateur sont laissées ouvertes.

1 point : Les robinets et les vannes sont en bon état et n'ont pas de fuite.

0 point : Les robinets et les vannes ont des fuites. Les fuites peuvent être externes ou internes au système.

3 points : Les portes entre l'aire de la cuisine et les autres aires sont tenues fermées.

2 points : Des hottes adéquates sont utilisées au-dessus de l'équipement produisant de la chaleur.

1 point : Certaines hottes sont utilisées au-dessus de l'équipement produisant de la chaleur.

0 point : Il n'y aucune hotte, ou des hottes inadéquates sont utilisées.

1 point : L'approvisionnement en air de ventilation est adéquat pour éliminer une bonne quantité de la chaleur produite par l'équipement de cuisine.

2 points : L'équipement de réfrigération est bien entretenu, les joints sont en bon état, le condenseur est propre, le passage d'air au-dessus du condenseur est dégagé.

1 point : L'équipement de réfrigération est en état moyen. On trouve de la poussière ou de la saleté sur le condenseur mais la circulation d'air n'est pas bloquée. Il y a des joints d'étanchéité tout autour de la porte, mais ces derniers peuvent toutefois avoir perdu un peu de leur étanchéité.

0 point : L'équipement de réfrigération est en piètre état. On trouve une grande quantité de poussière et de saleté sur le condenseur ou les ailettes sont courbées bloquant ainsi la circulation d'air. Les joints ne sont pas étanches tout autour des portes d'équipement, ils sont friables, cassés ou manquants.

3 points : Des systèmes de récupération de la chaleur sont utilisés. Ces derniers peuvent être utilisés pour l'air d'évacuation, l'eau chaude résiduelle ou sur l'équipement de réfrigération.

3.10 Installations de chauffage et de chaudière

		Date : _____	Bonne isolation	Isolation moyenne	Piètre isolation	Brides isolées	Aucune fuite	Quelques fuites	NOMBREUSES fuites	Commandes automatiques	Procédures opérationnelles standard	Compteur de vapeur	Compteur de combustible	Compteur d'eau d'appoint	Entretien préventif	Réparation au besoin	Récupération d'énergie	Commandes de l'économiseur	Total des points
N°	Pointage maximal = 15	2	1	0	2	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	3	2	
Endroit																			

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE (PRODUCTION)

2 points : L'isolant est en bon état et aucune section n'est brisée ou manquante. L'isolant ne doit pas être mouillé, friable ou fissuré.

1 point : L'isolant est dans un état moyen et de petites sections sont brisées ou manquantes. L'isolant ne doit pas être mouillé ou friable.

0 point: L'isolant est en piètre état et des sections sont manquantes, brisées, mouillées, friables ou fissurées.

2 points : Les brides, les vannes et les régulateurs sont isolés avec du revêtement amovible.

2 points : Le réseau de vapeur n'a pas de fuite.

1 point : Le réseau de vapeur a quelques fuites autour des garnitures des vannes, des garnitures d'étanchéité, etc.

0 point : Le réseau de vapeur a de nombreuses fuites. Les vannes, les régulateurs et les purgeurs ont des fuites, des panaches de vapeurs, etc.

1 point : Les commandes de combustion de la chaudière sont automatiques.

1 point : Des procédures opérationnelles standard sont suivies. Ces dernières devraient être écrites et affichées près du panneau de commande de la chaudière.

1 point : Chaque chaudière est dotée d'un compteur de débit de vapeur.

1 point : Chaque chaudière est dotée d'un compteur d'eau d'appoint.

1 point : Chaque chaudière est dotée d'un compteur de combustible.

1 point : Un programme d'entretien préventif est suivi.

0 point : L'équipement est entretenu ou réparé seulement lorsqu'il y a une panne.

3 points : Un système de récupération de l'énergie est utilisé. Il peut s'agir d'un échangeur de chaleur de l'eau à l'eau, d'une roue à air comprimé ou de tout type d'appareil courant.

2 points : La production de chaleur est contrôlée par un système doté d'un économiseur, en comparant les températures intérieures et extérieures.

3.11 Distribution de la chaleur

	Date : _____	Bonne isolation	Isolation moyenne	Piètre isolation	Brides isolées	Aucune fuite	Quelques fuites	NOMBREUSES fuites	Commandes de bonne qualité	Commandes de qualité moyenne	Commandes de piètre qualité	Procédures opérationnelles standard	Entretien préventif	Réparations au besoin	Conditionnement au besoin	Minimum d'air frais	Bon contrôle de la zone	Contrôle moyen de la zone	Piètre contrôle de la zone	Total des points
N°	Pointage maximal = 14	2	1	0	2	2	1	0	2	1	0	1	1	0	1	1	2	1	0	
Endroit																				

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE (DISTRIBUTION)

2 points : L'isolant est en bon état et aucune section n'est brisée ou manquante. L'isolant ne doit pas être mouillé, friable ou fissuré.

1 point : L'isolant est dans un état moyen et de petites sections sont brisées ou manquantes. L'isolant ne doit pas être mouillé, friable ou fissuré.

0 point : L'isolant est en piètre état et des sections sont manquantes, brisées, mouillées, friables ou fissurées.

2 points : Les brides, les vannes et les régulateurs sont isolés avec du revêtement amovible.

2 points : Le réseau de vapeur n'a pas de fuite.

1 point : Le réseau de vapeur a quelques fuites autour des garnitures des vannes, des garnitures d'étanchéité, etc.

0 point : Le réseau de vapeur a de nombreuses fuites. Les vannes, les régulateurs et les purgeurs ont des fuites, des panaches de vapeurs, etc.

2 points : Le système de contrôle de chaque aire est adéquat. Le système de contrôle doit maintenir la température de chaque pièce près des réglages du thermostat.

1 point : Le système de contrôle de chaque aire n'est qu'un contrôle général sans capacité de réguler chaque pièce.

0 point : Le système de contrôle a peu, voire aucun contrôle sur la température de l'aire. Aussi, le système de contrôle permet aux systèmes de chauffage et de refroidissement de s'opposer dans une même aire générale.

1 point : Il y a des procédures opérationnelles standard. Ces dernières doivent être écrites et affichées.

1 point : Un programme d'entretien préventif est suivi.

0 point : L'équipement est entretenu ou réparé seulement lorsqu'il y a une panne.

1 point : L'aire est conditionnée seulement lorsqu'elle est occupée. Cela s'applique particulièrement aux auditoriums, aux salles de travail, au centre de bricolage, aux salles de télévision, etc.

1 point : Les commandes du système de ventilation procurent un volume minimal d'air frais pour un milieu plus sain plutôt qu'un volume fixe d'air frais.

2 points : Le contrôle de la zone est bon, et certaines aires peuvent être isolées lorsqu'elles ne servent pas ou nécessitent moins de conditionnement.

1 point : Le contrôle de la zone permet uniquement d'isoler des aires générales lorsque les conditions le dictent.

0 point : Le contrôle de la zone ne peut être réalisé sans isoler une grande aire.

3.12 Installations de refroidissement

		Date : _____	Bonne isolation	Isolation moyenne	Piètre isolation	Brides isolées	Procédures opérationnelles standard	Wattmètre	Entretien préventif	Réparation au besoin	Récupération d'énergie	Utilisation de l'air extérieur (air frais gratuit)	Contrôle de l'enthalpie (T & HR)		Total des points
N°	Pointage maximal = 12	2	1	0	1	1	1	1	1	0	3	2	1		
	Endroit														

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT (PRODUCTION)

2 points : L'isolant est en bon état et aucune section n'est brisée ou manquante. L'isolant ne doit pas être mouillé, friable ou fissuré. L'isolant à alvéoles fermées est jugé d'un état moyen en raison de la détérioration de ce type de matériau.

1 point : L'isolant est dans un état moyen et de petites sections sont brisées ou manquantes. L'isolant ne doit pas être mouillé ou friable. L'enveloppe extérieure de l'isolant à alvéoles ouvertes doit être intacte ou avoir seulement de petites fissures.

0 point : L'isolant est en piètre état et des sections sont manquantes, brisées, mouillées, friables ou fissurées.

1 point : Les brides et les vannes sont isolées.

1 point : Des procédures opérationnelles standard sont suivies. Ces dernières devraient être écrites et affichées près du panneau de commande.

1 point : L'appareil est doté d'un wattheuremètre, ce qui permet de déterminer la consommation d'énergie en temps réel.

1 point : Un programme d'entretien préventif est suivi.

0 point : L'équipement est entretenu ou réparé seulement lorsqu'il y a une panne.

3 points : Un système de récupération de la chaleur est utilisé. Il peut s'agir d'un échangeur de chaleur de l'eau à l'eau, d'une roue à air comprimé ou de tout type d'appareil courant.

2 points : L'air extérieur est utilisé pour aider à conditionner les aires qui ont besoin de climatisation même les journées froides.

1 point : Le rapport d'air frais est réglé en comparant les besoins internes avec les températures extérieures.

3.13 Distribution de l'air de refroidissement

		Date : _____	Bonne isolation	Isolation moyenne	Piètre isolation	Brides isolées	Procédures opérationnelles standard	Bon contrôle	Contrôle moyen	Piètre contrôle	Entretien préventif	Réparations au besoin	Conditionnement au besoin	Conditionnement continu	Bon contrôle de la zone	Contrôle moyen de la zone	Piètre contrôle de la zone	Total des points
N°	Pointage maximal = 11	2	1	0	2	1	2	1	0	1	0	1	0	1	2	1	0	
	Endroit																	

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LES SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT (DISTRIBUTION)

2 points : L'isolant est en bon état et aucune section n'est brisée ou manquante. L'isolant ne doit pas être mouillé, friable ou fissuré. L'isolant à alvéoles fermées est jugé d'un état moyen en raison de la détérioration de ce type de matériau.

1 point : L'isolant est dans un état moyen et de petites sections sont brisées ou manquantes. L'isolant ne doit pas être mouillé ou friable. L'enveloppe extérieure de l'isolant à alvéoles ouvertes doit être intacte ou avoir seulement de petites fissures.

0 point : L'isolant est en piètre état et des sections sont manquantes, brisées, mouillées, friables ou fissurées.

1 point : Les brides et les vannes sont isolées.

1 point : Des procédures opérationnelles standard sont suivies. Ces dernières devraient être écrites et affichées près du panneau de commande.

2 points : Le système de contrôle de chaque aire est adéquat. Ce système maintient la température de chaque pièce près du réglage du thermostat.

1 point : Le système de contrôle de chaque aire n'est qu'un contrôle général sans capacité de régler chaque pièce.

0 point : Le système de contrôle a peu, voire aucun contrôle sur la température de l'aire. Aussi, le système de contrôle permet aux systèmes de chauffage et de refroidissement de s'opposer dans une même aire générale.

1 point : Un programme d'entretien préventif est suivi.

0 point : L'équipement est entretenu ou réparé seulement lorsqu'il y a une panne.

1 point : L'aire est conditionnée seulement lorsqu'elle est occupée. Cela s'applique particulièrement aux auditoriums, aux salles de travail, au centre de bricolage, aux salles de télévision, etc.

0 point : L'aire est conditionnée en tout temps, peu importe qu'elle soit occupée ou non.

2 points : Le contrôle de la zone est bon, et certaines aires peuvent être isolées lorsqu'elles ne servent pas ou qu'elles nécessitent moins de conditionnement.

1 point : Le contrôle de la zone permet uniquement d'isoler des aires générales lorsque les conditions le dictent.

0 point : Le contrôle de la zone ne peut être réalisé sans isoler une grande aire générale.

3.14 Distribution de l'électricité

		Date : _____	Ampèremètre enregistreur	Modèles de consommation	Coordination avec l'entreprise d'électricité	Avertissement des puissances de crête	Limitation de la demande d'électricité	Procédures opérationnelles standard	Entretien préventif	Réparations au besoin	Facteur de puissance de 90 %							Total des points
		Vérificateur : _____																
		Commentaires : _____ _____																
N°	Pointage maximal = 10 Endroit	2	1	1	1	1	1	1	1	0	2							

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LA DISTRIBUTION DE L'ÉLECTRICITÉ

2 points : Un ampèremètre enregistreur est utilisé.

1 point : Des modes horaires de consommation d'électricité du bâtiment sont établis.

1 point : Un examen des besoins électriques est effectué avec le personnel de l'entreprise d'électricité.

1 point : Un système d'avertissement des puissances de crête est installé.

1 point : Une analyse visant à éliminer les demandes de puissance de crête est réalisée.

1 point : Des procédures opérationnelles standard sont suivies. Ces dernières devraient être écrites et affichées près du panneau de commande.

1 point : Un programme d'entretien préventif est suivi.

0 point : L'équipement est entretenu ou réparé seulement lorsqu'il y a une panne.

2 points : Le facteur de puissance est d'au moins 90 p. 100 pour l'ensemble du système, au branchement principal.

3.15 Service d'eau chaude

		Date : _____											
		Vérificateur : _____											
		Commentaires : _____ _____											
N°	Pointage maximal = 8 Endroit	Bonne isolation	Isolation moyenne	Piètre isolation	Robinets sans fuite	Robinets avec fuites	Procédures opérationnelles standard	Entretien préventif	Réparations au besoin	Temp. du chauffe-eau < 60 °C	Optimisation de la température de l'eau chaude de traitement		Total des points
		2	1	0	1	0	1	1	1	0	1	2	

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LE SERVICE D'EAU CHAUDE

2 points : L'isolant est en bon état et aucune section n'est brisée ou manquante. L'isolant ne doit pas être mouillé, friable ou fissuré.

1 point : L'isolant est dans un état moyen et de petites sections sont brisées ou manquantes. L'isolant ne doit pas être mouillé ou friable.

0 point : L'isolant est en piètre état et des sections sont manquantes, brisées, mouillées, friables ou fissurées.

1 point : Les robinets et les vannes sont en bon état.

0 point : Les robinets et les vannes ont des fuites internes et externes.

1 point : Des procédures opérationnelles standard sont suivies. Ces dernières devraient être écrites et affichées.

1 point : Un programme d'entretien préventif est suivi.

0 point : L'équipement est entretenu ou réparé seulement lorsqu'il y a une panne.

1 point : La température du chauffe-eau est inférieure à 60 °C.

2 points : Les températures de l'eau chaude de traitement ont été optimisées pour des besoins particuliers.

3.16 Service d'eau

Date : _____	Vérificateur : _____	Commentaires : _____	Robinets sans fuite	Robinets avec fuites	Procédures opérationnelles standard	Entretien préventif	Réparations au besoin	Aucun équipement n'utilise de l'eau non recyclée	Équipement mis à l'arrêt									Total des points
N°	Pointage maximal = 5	1	0	1	1	0	1	1										
	Endroit																	

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LE SERVICE D'EAU

1 point : Les robinets et les vannes sont en bon état.

0 point : Les robinets et les vannes ont des fuites internes et externes.

1 point : Des procédures opérationnelles standard sont suivies. Ces dernières devraient être écrites et affichées.

1 point : Un programme d'entretien préventif est suivi.

0 point : L'équipement est entretenu ou réparé seulement lorsqu'il y a une panne.

1 point : Aucun équipement n'utilise d'eau de refroidissement non recyclée ni ne la rejette aux égouts.

1 point : L'équipement consommateur d'eau est mis à l'arrêt lorsqu'il ne sert pas.

3.17 Air comprimé

		Date : _____	Aucune fuite dans les prises	Fuites dans les prises	Capacité adéquate des compresseurs	Utilisation des compresseurs sur demande	Procédures opérationnelles standard	Entretien préventif	Réparation au besoin	Réduction de la pression d'approvisionnement	Qualité de l'air adéquate	Commandes empêchant la purge					Total des points
N°	Pointage maximal = 8 Endroit	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1						

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LE SERVICE D'AIR COMPRIMÉ

1 point : Les prises et les vannes sont en bon état.

0 point : Les prises et les vannes ont des fuites externes et internes.

1 point : Les compresseurs sont d'une capacité adéquate afin de réduire les demandes de crête.

1 point : Des compresseurs supplémentaires sont mis en marche selon la demande et ne fonctionnent pas continuellement.

1 point : Des procédures opérationnelles standard sont suivies. Ces dernières devraient être écrites et affichées.

1 point : Un programme d'entretien préventif est suivi.

0 point : L'équipement est entretenu ou réparé seulement lorsqu'il y a une panne.

1 point : La pression d'air évacué du compresseur (approvisionnement) a été réduite pour les applications.

1 point : La qualité de l'air (point de rosée, température, propreté) est adéquate, mais non supérieure à la qualité requise.

1 point : Les commandes des compresseurs centrifuges empêchent la purge d'air.

3.18 Production de chaleur industrielle

Date : _____ Vérificateur : _____ Commentaires : _____ _____ _____											
N°	Pointage maximal = 6 Endroit	Chaleur résiduelle des gaz de combustion	Isolation des aires à temp. élevée	Piètre isolation	Évacuation de l'air servant au procédé	Procédures opérationnelles standard	Rendement de combustion	Entretien préventif	Réparations au besoin		
		1	2	0	1	1	1	1	0		

INSTRUCTIONS CONCERNANT LES COTES POUR LA PRODUCTION DE CHALEUR INDUSTRIELLE

- 1 point :** La chaleur résiduelle des gaz de combustion de l'équipement de traitement est extraite pour chauffer, à relativement basse température, l'eau destinée au procédé et au chauffage de l'espace ainsi que l'eau d'appoint.
- 2 points :** Tous les tuyaux, fours, sécheurs, réservoirs et équipement de traitement à température élevée sont isolés avec un matériau adéquat. L'isolant ne doit pas être mouillé, friable ou fissuré.
- 0 point :** L'isolant est en piètre état et des sections sont manquantes, brisées, mouillées, friables ou fissurées.
- 1 point :** L'air servant au procédé est évacué.
- 1 point :** Des procédures opérationnelles standard sont suivies. Ces dernières devraient être écrites et affichées près du panneau de commande.
- 1 point :** Le rendement de combustion de l'équipement de chauffage au gaz est vérifié régulièrement.
- 1 point :** Un programme d'entretien préventif est suivi.
- 0 point :** L'équipement est entretenu et réparé seulement lorsqu'il y a une panne.

3.19 Modèle de liste de contrôle

Référence

Ressources naturelles Canada. *Guide de planification et de gestion de l'efficacité énergétique*, 2002.
oee.rncan.gc.ca/publications/infosource/pub/peeic/efficacite/index.cfm

4 INSTRUMENTATION POUR LA VÉRIFICATION ÉNERGÉTIQUE

4.1 Introduction

Dans la présente section, on décrit l'instrumentation et les techniques de mesure applicables aux activités de vérification énergétique. On y donne un bref aperçu des principes de mesure. Enfin, on a sélectionné dans la boîte à outils de vérificateurs chevronnés une série d'instruments utiles, relativement faciles à utiliser et facilement disponibles. Ces instruments sont présentés en des termes pratiques. On décrit les types d'instruments de base et leur utilisation ainsi que les spécifications types, en plus de mentionner les sources et de donner des conseils pour une utilisation efficace. Bien que la liste des instruments soit exhaustive pour le type de vérification énergétique décrite dans le présent guide, elle peut être complétée par le vérificateur plus chevronné, qui y ajoutera des capteurs et des dispositifs d'enregistrement plus perfectionnés.

Un vérificateur énergétique doit comprendre dans les grandes lignes les techniques de mesure et l'instrumentation pour être bien renseigné au moment de l'achat, de la location ou de l'utilisation de l'équipement. Si l'on veut obtenir des données mesurées utiles, il est essentiel de disposer du bon instrument et de l'utiliser adéquatement.

4.1.1 | La sécurité avant tout

Les mesures effectuées sur des procédés ou systèmes physiques devraient toujours être réalisées conformément aux consignes de sécurité par des personnes formées connaissant bien l'équipement et les procédés en question. Les mesures de la consommation d'électricité, des ampères, des volts, des watts et autres se prennent généralement sur de l'équipement et des conducteurs sous tension et ne devraient être effectuées que par du personnel technique qualifié ayant reçu la formation requise. En aucun cas l'équipement électrique sous tension ne devrait être ouvert par des personnes non qualifiées.

4.2 Comprendre la prise de mesures aux fins de la vérification énergétique

4.2.1 | Mesures représentatives

Habituellement, une vérification énergétique du type abordé dans le présent guide s'effectue dans un délai limité, qui dépasse rarement un mois. Pendant la vérification, des mesures seront prises afin de jeter les bases des nombreux calculs de l'énergie requis pour établir des inventaires énergétiques, des profils et, en fin de compte, des estimations des économies d'énergie. La plupart des mesures effectuées dans le cadre de la vérification constituent des enregistrements à court terme pris instantanément ou dans un court intervalle. Par contre, la majorité des calculs concernant les économies d'énergie sont effectués annuellement, car la plupart des organisations veulent savoir quelles mesures de gestion de l'énergie leur permettront de réaliser des économies l'année suivante.

Bien que la précision de toutes ces mesures soit importante, comme on l'indique dans la prochaine section, la pertinence des mesures de vérification à court terme par rapport aux conditions qui prévalent à long terme est tout aussi importante, c'est-à-dire la période annuelle pour laquelle les économies sont calculées. Quoiqu'il soit peut-être facile de mesurer avec précision la consommation d'électricité d'un moteur de compresseur d'air au moyen d'un wattmètre portable puis de multiplier cette valeur par les heures de fonctionnement par année pour déterminer la consommation annuelle d'énergie, il faut déterminer si le relevé effectué est représentatif de la consommation d'électricité de demain, de la semaine prochaine ou du mois prochain.

La mesure instantanée la plus précise ne peut être précise qu'à $+/- 50$ p. 100 sur une base annuelle. De toute évidence, il faut faire preuve de prudence lorsqu'on extrapole des mesures à court terme pour obtenir des résultats à long terme. Pour éviter ces erreurs, il existe une technique utile qui consiste à essayer de prendre des mesures pendant les périodes représentatives du fonctionnement de l'équipement évalué. Les sections qui suivent renferment des conseils pour la prise de mesures valides et représentatives au moyen de chaque instrument.

Dans une certaine mesure, les techniques de bilan énergétique présentées dans le guide permettent de relever les erreurs flagrantes. Par exemple, les mesures de la consommation d'électricité d'un équipement doivent correspondre à la charge totale telle qu'elle apparaît sur l'indicateur de demande maximale du service public et sur la facture. De même, les consommations énergétiques individuelles établies d'après les heures de fonctionnement doivent correspondre à l'énergie totale mesurée au compteur et figurant sur la facture. Bien que cela ne garantisse pas que ce type d'erreur ne se produira pas, la vérification de ces bilans force également le vérificateur à envisager les conditions à long terme.

4.2.2 | Précision des mesures

La précision d'un appareil de mesure (instrumentation) et l'utilisation adéquate d'un instrument constituent deux facteurs susceptibles d'influer sur la précision de la mesure. Avant d'acheter ou de louer un instrument, il importe de déterminer le niveau de précision requis de la mesure et de choisir l'instrument et les stratégies de mesure qui permettront de l'obtenir. On peut généralement s'attendre à payer davantage pour des instruments plus précis, mais les instruments plus coûteux et plus précis requièrent souvent des techniques de mesure plus vigilantes et plus longues.

Dans le cas de mesures spécialisées et « à ne prendre qu'une fois », il peut souvent être avantageux, sur le plan de la précision et du coût général, de retenir les services de techniciens indépendants compétents pour procéder aux mesures.

Lorsqu'on évalue des instruments aux fins d'achat ou de location, il est utile de savoir comment différents fabricants définissent la précision de leur équipement. Voici quelques façons courantes de la définir :

- un pourcentage de l'échelle totale;
- un pourcentage de la valeur réelle du relevé, une « résolution »; cela est courant pour les instruments dont le relevé est numérique et correspond souvent à un nombre de chiffres.

Dans la plupart des cas, en particulier pour les instruments de qualité, la précision indiquée vise une série de circonstances précises; par exemple, le type de formes d'onde ou la fréquence peuvent être précisés pour les mesures électriques. Souvent, on signale une moins grande précision si l'instrument est utilisé en dehors de ces circonstances particulières.

Aux fins de la macrovérification énergétique, le besoin de précision peut ne pas être très grand. Comme on l'a déjà mentionné, une mesure très précise aujourd'hui peut n'avoir qu'une précision limitée à long terme. Par conséquent, plutôt que d'acheter et d'utiliser des instruments très précis, le vérificateur peut consacrer temps et argent à mieux interpréter des données moins précises sur de longues périodes.

4.2.3 | Mesures ponctuelles et enregistrements

Bien que nombre des mesures prises dans le cadre d'une vérification énergétique soient instantanées ou « ponctuelles », il peut être possible de réaliser certains enregistrements à court terme. Les enregistrements, réalisés à des intervalles minutieusement choisis, peuvent fournir des données bien plus représentatives pour les calculs à long terme.

Par exemple, le vérificateur a peut-être remarqué d'après les relevés ponctuels d'un compresseur d'air que sa puissance en « régime ralenti », c'est-à-dire lorsqu'il ne fournit pas d'air, représentait 70 p. 100 de la puissance totale prévue. Cela donne à penser que l'utilisation d'une commande pour éteindre le compresseur lorsqu'il n'est pas utilisé pourrait permettre d'économiser beaucoup d'énergie. Mais cette non-utilisation dure-t-elle longtemps? Le personnel de l'usine signale que la demande en air comprimé est « relativement stable ». Dans ce cas, l'utilisation d'un wattmètre enregistreur, effectuant des relevés à la minute pendant 48 heures, tout au long d'une journée de production et éventuellement pendant une journée d'arrêt, pourrait donner une meilleure idée de la situation. Le wattmètre enregistreur s'avère un outil extrêmement utile pour le vérificateur énergétique.

Parmi les autres outils enregistreurs utiles, souvent appelés enregistreurs de données, mentionnons les suivants :

- l'enregistreur de température;
- l'enregistreur d'éclairement;
- l'enregistreur du taux d'occupation;
- l'enregistreur d'événements;
- l'enregistreur de données générales.

4.2.4 | Caractéristiques utiles de l'instrumentation numérique

Aux fins de vérification et à de nombreuses autres fins, les appareils de mesure numérique remplacent les appareils classiques de mesure à affichage analogique, car ils coûtent moins cher et sont plus faciles à utiliser. Leur précision est plus que suffisante pour la plupart des objectifs de la vérification. Au nombre des caractéristiques particulièrement utiles, mentionnons les suivantes :

Mesures multiples – Instruments intégrés capables de mesurer et, dans certains cas, d'enregistrer deux ou plusieurs paramètres, comme la température, l'humidité, la marche-arrêt, les niveaux d'éclairement et une ou plusieurs entrées analogiques polyvalentes (voir ci-après) pour d'autres capteurs.

Fonction de blocage du relevé – Facilite les relevés lorsque l'affichage ne peut être lu au moment où la mesure est prise.

Inversion de l'affichage – Peut faciliter la lecture du compteur dans des situations difficiles; les tachymètres, par exemple, présentent souvent cette fonction.

Sortie analogique – Un signal analogique standard (0-10 V, 4-20 mA, etc.) proportionnel au relevé, qui peut être utilisé avec un enregistreur à déroulement continu ou un enregistreur de données polyvalent afin d'offrir une fonction d'enregistrement.

4.3 Boîte à outils du vérificateur

Dans les sections qui suivent, on présente en détail les instruments qui se trouvent souvent dans la boîte à outils du vérificateur :

- le wattmètre;
- l'analyseur des gaz de combustion;
- le thermomètre numérique;
- le thermomètre à infrarouges;
- le psychromètre (mesure de l'humidité);
- les dispositifs de mesure du débit d'air;
- le tachymètre;
- le détecteur de fuites par ultrasons.

4.3.1 | Autres outils et matériel de sécurité utiles

Outre ces instruments, quelques autres articles s'avèrent pratiques :

- des jumelles et une petite lampe de poche – pour lire les plaques signalétiques;
- un ruban adhésif et des attaches autobloquantes – pour fixer les compteurs enregistreurs;
- un tournevis multivis, une clé anglaise et des pinces;
- un ruban à mesurer;
- un seau et un chronomètre – pour mesurer le débit d'eau qui coule;
- des lunettes de sécurité, des gants et des bouchons d'oreille;
- un ruban d'avertissement – pour prévenir d'autres personnes de la présence de compteurs enregistreurs.

4.4 Wattmètre

Pour le vérificateur énergétique, les instruments de mesure de l'électricité sont au nombre des outils les plus puissants et les plus utiles qui soient disponibles. Grâce à la technologie de mesure et d'enregistrement des données existantes, un investissement modeste livrera une myriade de renseignements. Les mesures de la consommation d'électricité et d'énergie en disent long sur le fonctionnement de nombreux systèmes et appareils dans une installation. Ces instruments montrent clairement où et comment sont consommées l'électricité et l'énergie et permettent de comprendre comment l'équipement et les systèmes consomment d'autres formes d'énergie. Des applications types en matière de vérification sont présentées ci-après.

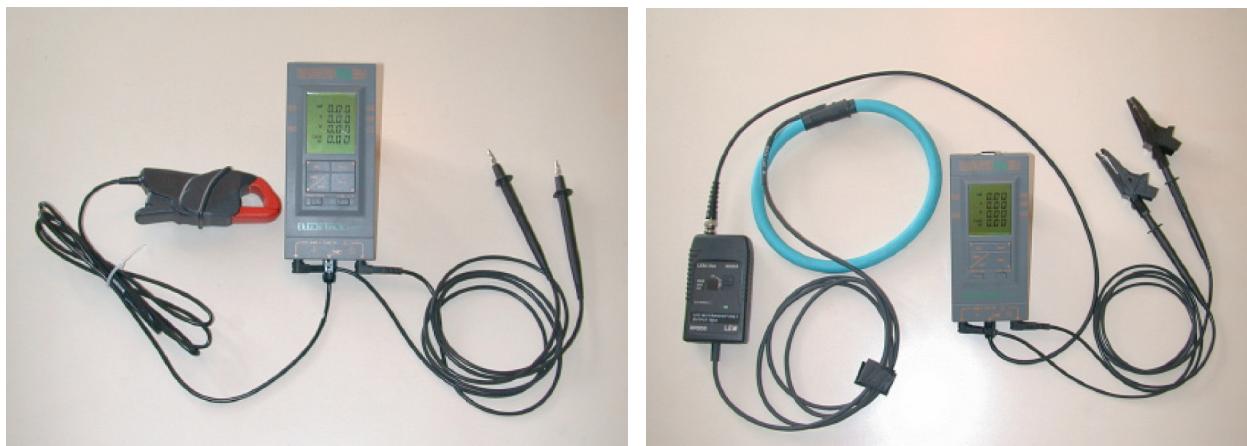
Grâce à la technologie d'aujourd'hui, il n'est pas nécessaire pour un vérificateur de transporter des appareils distincts de mesure des volts, des ampères et des facteurs de puissance pour pouvoir mesurer l'électricité en watts. Le wattmètre portable moderne offre à lui seul toutes ces fonctions de mesure. Dans la présente section, on décrit divers types de wattmètres adaptés aux vérifications énergétiques et présentant toutes ces fonctions de mesure. Le lecteur, peu familier avec le fondement des mesures de l'électricité, trouvera un aperçu technique du courant, de la tension et de l'électricité dans la section portant sur les principes de base de l'énergie. Pour de plus amples renseignements, il est possible également de consulter des manuels de base sur l'électricité.

Comme on l'a déjà mentionné, les mesures réalisées avec ces types d'instruments devraient être prises seulement par des employés formés et autorisés à travailler sur de l'équipement électrique sous tension.

4.4.1 | Wattmètre numérique monophasé portable

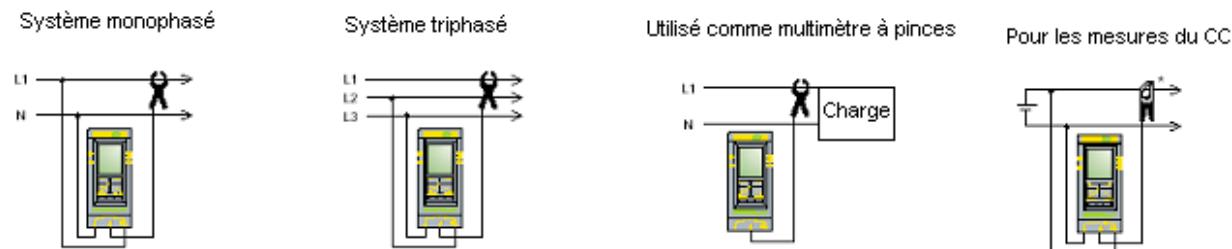
Le wattmètre monophasé mesure la tension au moyen de deux sondes de contact, et le courant au moyen d'un transformateur de courant amovible que l'on appelle généralement multimètre à pinces. La figure 4.1 présente un wattmètre type. La configuration présentée à la gauche de la figure 4.1 permet de mesurer des systèmes de 600 volts jusqu'à un courant maximal de 200 ampères. À l'aide du transducteur de courant souple présenté à la droite de la figure 4.1, ce type d'instrument permet de mesurer des courants allant de 30 à 3 000 ampères. Cet instrument peut également consigner ou enregistrer jusqu'à 4 000 points de données pour les besoins d'inspections ou de profils à court terme. Bien que les mesures ponctuelles requièrent uniquement un contact instantané avec les conducteurs pour les relevés de la tension, les enregistrements nécessitent le recours à des pinces de contact offertes en option, comme le montre la figure 4.1.

Figure 4.1 Wattmètre portable



Conçu principalement pour la prise de mesures dans des circuits monophasés, ce wattmètre possède souvent les caractéristiques requises pour permettre la prise de mesures sur des systèmes électriques triphasés. La figure 4.2 présente des connexions types.

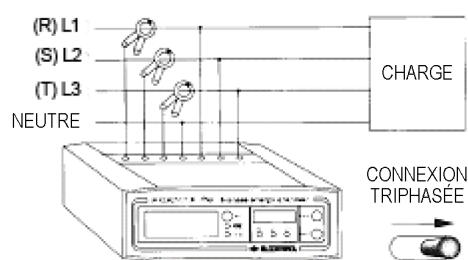
Figure 4.2 Connexion type pour le wattmètre monophasé



4.4.2 | Wattmètre numérique triphasé

Pour effectuer des mesures exactes sur un système triphasé, selon que le système est à trois ou à quatre fils, il faut mesurer les courants biphasés et triphasés ainsi que les tensions triphasées. La figure 4.3 présente un diagramme de connexion triphasée type.

Figure 4.3 Connexion triphasée type



4.4.3 | Applications

Préparation d'inventaires des charges – Comme l'explique en détail la section B-7.2 « Inventaire des charges électriques », le wattmètre portable peut accélérer la collecte des valeurs de charge individuelle en kW.

Établissement du profil de la demande d'un branchement principal, d'une sous-station ou d'une SCM – Afin d'établir les profils de la demande à l'échelle de l'usine, du bâtiment ou du système, comme on l'explique en détail à la section B-6.2 « Qu'est-ce qu'un profil de demande ? », il est nécessaire d'utiliser un wattmètre triphasé, souvent doté de transducteurs de courant optionnels semblables à ceux présentés à la figure 4.1, pour mesurer des courants élevés dans les barres omnibus et les conducteurs.

Système de procédé ou équipement – Il sera peut-être possible d'isoler un groupe de charges propre à un système, à un équipement, à une cellule de fabrication ou à un procédé d'usine particulier.

Mesure de la charge individuelle – Pour les charges d'un moteur, monophasé ou triphasé, on peut utiliser un wattmètre monophasé pour les mesures ponctuelles ou les enregistrements. À l'aide de la fonction d'enregistrement, on peut établir des profils types de fonctionnement des ventilateurs, des pompes et des compresseurs.

Caractérisation du procédé électrique – Les données sur la consommation d'électricité peuvent être mesurées et mises en corrélation avec les données sur la production au cours d'un intervalle type afin de caractériser les modèles de consommation d'un procédé. Cela est particulièrement utile pour des appareils comme les fours, les sécheurs et les fours de cuisson électriques. Selon la configuration de l'équipement et l'alimentation en électricité, il peut être possible d'effectuer un tel relevé à l'aide d'un wattmètre monophasé; le wattmètre triphasé fonctionnera, quant à lui, dans la plupart des cas.

Mesure de la consommation du matériel de bureau – En utilisant un wattmètre simplifié, on pourra déterminer la consommation d'énergie pendant une période de fonctionnement type, comme le montre la figure 4.4.

Figure 4.4 Le logiciel Brultech ECM1200 mesure la consommation d'énergie d'un moniteur



4.4.4 | Spécifications types

Pour le wattmètre portable

- Volts, ampères, watts, VAr, VA, W, Hz, kWh (importation/exportation), kVArh
- Toutes les mesures sont de vraies valeurs efficaces.
- Mémoire suffisante pour enregistrer plusieurs mesures à un intervalle variable
- Précision à 1 p. 100 près – incluant une erreur de calage
- Affichage à cristaux liquides à éclairage arrière
- À piles

Pour le wattmètre triphasé

- Wattmètre portable pour les systèmes monophasés et triphasés, fournissant la mesure de vraies valeurs efficaces pour un maximum de 33 paramètres, notamment les volts, les ampères, les watts, VAr, VA, W, Hz, kWh (importation/exportation), kVArh.
- Précision à 1 p. 100 près – incluant une erreur de calage
- Affichage à cristaux liquides à éclairage arrière à contraste élevé
- Au moins 1 Mo de mémoire incorporée pour le stockage des données pendant de longues périodes de relevés, entre autres la saisie de l'oscillogramme pour le courant et la tension
- Fourni complet avec prises médianes, fils de tension et tous les accessoires dans une mallette solide
- Téléchargement à un ordinateur via une liaison en série à haute vitesse
- Logiciel d'ordinateur (Windows) pour le téléchargement des données, l'analyse et l'exportation dans des feuilles de calcul
- Entièrement programmable pour tous les ratios PM/VT, les connexions en étoile, en triangle et monophasées et la période d'intégration électrique
- Bloc d'alimentation bitension 230/110 volts CA avec pile de secours interne rechargeable
- Horloge et calendrier incorporés

4.4.5 | Caractéristiques utiles

Outre les mesures de base de l'électricité, ces types de wattmètres présentent de nombreuses fonctions. Quoique pratiques, ces fonctions additionnelles ne sont pas tout à fait nécessaires. Nous avons repris ci-dessous celles qui se sont avérées utiles pour les activités de vérification énergétique.

Pour le wattmètre monophasé portable

- Mesure et analyse des paramètres de la qualité de l'électricité, entre autres des harmoniques
- Mesure du CC avec capteur à effet Hall offert en option
- Reconnaissance automatique du type de pince
- La fonction CRÈTE saisit les valeurs maximales de tension et d'électricité.
- La fonction MEM permet la retenue des données et une comparaison en temps réel des nouveaux relevés par rapport aux valeurs enregistrées.

Pour le wattmètre triphasé

- Fonctionnement autonome à piles afin de permettre l'installation dans des armoires électriques et la fermeture de ces armoires en toute sécurité
- Mesure et analyse des paramètres de la qualité de l'électricité, entre autres des harmoniques
- Convient aux mesures du CC (au moyen d'une pince pour CC en option).
- Prises offertes en option pour enregistrer d'autres paramètres, comme la température

4.4.6 | Conseils pour une utilisation efficace

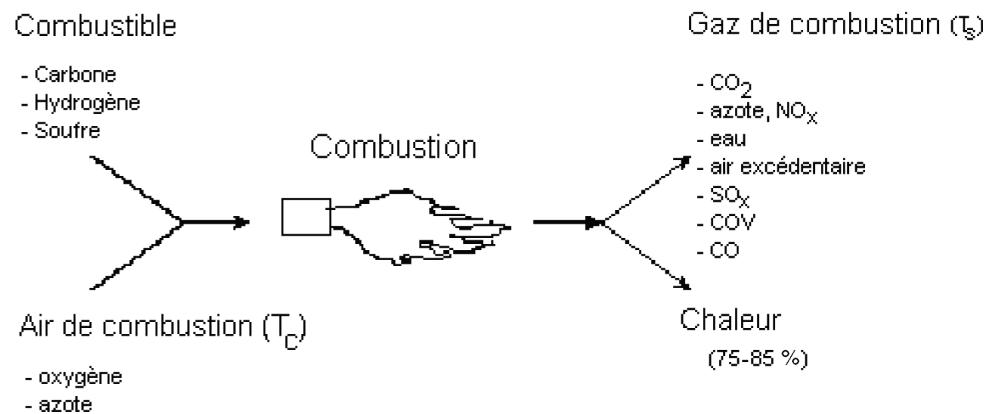
Valider les relevés au moment de la collecte – Lorsqu'on installe des wattmètres, s'assurer que les relevés instantanés sont raisonnables. Nombre d'erreurs de collecte de données sont attribuables à un wattmètre mal connecté et peuvent être évitées au moment de la connexion. En comparant les relevés avec ceux d'un dispositif de mesure déjà en place, tels les appareils de tableau ou les compteurs des services publics, le vérificateur peut rapidement les valider. Un facteur de puissance anormalement faible ou élevé est souvent le signe de mauvaises connexions. Les relevés de la puissance peuvent sembler valables alors que les facteurs de puissance ne le sont pas.

Utiliser un intervalle d'intégration ou de calcul de la moyenne aussi court que possible pour enregistrer les valeurs se rapportant à l'électricité et à l'énergie – Idéalement, utiliser des intervalles d'une minute. Les wattmètres effectuent généralement la moyenne des valeurs mesurées pendant l'intervalle d'enregistrement. De l'information se perd dans le processus de calcul de la moyenne. Des intervalles plus courts donnent un nombre accru d'empreintes électriques des charges, ce qui simplifie l'interprétation des profils qui en résultent.

4.5 Analyseur des gaz de combustion

Les analyseurs modernes des gaz de combustion sont des instruments électroniques portables utilisés pour mesurer le rendement de combustion de chaudières, de générateurs d'air chaud ou d'autres équipements dotés d'un système à combustion de combustible. La figure 4.5 présente les éléments essentiels du procédé de combustion. Le principal objectif de l'analyse de la combustion consiste à assurer l'utilisation du ratio air-combustible optimal. Un excès d'air apparaîtra dans les gaz de combustion et emportera la chaleur qui aurait pu être utilisée. Un manque d'air donnera lieu à une combustion incomplète qui se traduit souvent par des niveaux importants de monoxyde de carbone (CO) dans les gaz de combustion.

Figure 4.5 Procédé de combustion



On détermine le rendement de combustion en procédant à plusieurs mesures, entre autres de la température des gaz de combustion et de la composition de ces gaz – en général du dioxyde de carbone (CO_2) ou de l'oxygène (O_2). Souvent, les instruments mesurent plusieurs autres paramètres qui indiquent le rendement du système de combustion, comme on l'explique ci-après.

4.5.1 | Description de l'instrument

Tous les analyseurs électroniques des gaz de combustion réunissent plusieurs fonctions de mesure en une seule unité, laquelle fonctionne souvent à piles et utilise un affichage et un clavier numériques comme interface avec l'utilisateur. Un analyseur de base permettra de mesurer :

- la température des gaz de combustion;
- la température de l'air de combustion;
- l'oxygène (O_2);
- le monoxyde de carbone (CO).

L'utilisateur choisit à partir du menu le combustible utilisé dans le système à combustion. D'après un algorithme programmé à l'interne contenant des données sur la composition du combustible, l'analyseur calculera et affichera ensuite le rendement de combustion et déterminera les niveaux d'air excédentaire et de monoxyde de carbone (CO).

La figure 4.6 présente un analyseur des gaz de combustion typique. Cet appareil convient pour la vérification de chaudières, d'équipement de chauffage d'usine et d'une série limitée de systèmes à combustion de procédé. Outre les paramètres susmentionnés, cet appareil peut également mesurer le tirage de la cheminée, c'est-à-dire la pression dans la cheminée qui aspire le flux de gaz chauds hors du système à combustion.

Figure 4.6 Analyseur électronique des gaz de combustion



4.5.2 | Applications

Les analyseurs des gaz de combustion peuvent être utilisés pour une grande variété d'appareils à combustion alimentés au gaz, au pétrole, au charbon ou fonctionnant avec plusieurs autres combustibles, incluant le bois. Ils peuvent être utilisés entre autres pour l'équipement suivant :

- les chaudières;
- les aérothermes;
- les chauffe-eau;
- les fours de réchauffage;
- les fours;
- les fours de traitement;
- les fours de cuisson;
- les sécheurs;
- les préchauffeurs de poches;
- les préchauffeurs de matériel.

Pour les applications autres que celles visant l'équipement de chauffage des bâtiments, on encourage le lecteur à consulter les fournisseurs de ces instruments afin de choisir les plages et les fonctions voulues.

4.5.3 | Spécifications types

- Mesure de ce qui suit : O₂, CO₂, rendement, air excédentaire, tirage et CO (325-1 uniquement)

- Grand écran d'affichage par menu

- Mesure facultative des NO_x

- Mesure de la température**

Plage de température/résolution : -40 à +1 112 °C/0,1 °C

Précision : +/-0,5 °C

Capteur : Thermocouple de type K

- Mesure du tirage/de la pression**

Plage de mesure/résolution : +/-16 dans H₂O/0,1 dans H₂O

- Rendement brut et net

Plage de mesure/résolution : 0 à 120 p. 100/0,1 p. 100

- Mesure de l'O₂

Plage de mesure/résolution : 0 à 21 vol. p. 100/0,1 vol. p. 100

Précision : +/-0,2 vol. p. 100 absolu

□ Mesure du CO₂

Plage de mesure/résolution : 0 à CO₂ max. (calcul à partir de O₂)/0,01 vol. p. 100

Précision : +/-0,2 vol. p. 100

□ Mesure du CO (325-1 uniquement)

Plage de mesure/résolution : 0 à 2 000 ppm/1 ppm

Précision : +/-20 ppm (à 400 ppm)

4.5.4 | Caractéristiques utiles

- Alarmes pour signaler des niveaux de monoxyde de carbone anormalement élevés, afin de protéger l'équipement et l'utilisateur
- Capteurs de température élevée offerts en option, qui peuvent être requis pour les applications industrielles et nécessitant une température élevée
- Capacité d'analyse de plusieurs gaz, outre le CO₂ ou le O₂ et le CO, les NO_x, les SO_x et les combustibles
- Saisie par l'utilisateur des données sur la composition du combustible pour les combustibles non standard
- Imprimante intégrée pour l'impression des résultats de chaque échantillon
- Sondes plus longues offertes en option en vue d'une utilisation sur des appareils plus gros

4.5.5 | Conseils pour une utilisation efficace

Prendre plusieurs mesures dans une plage de taux d'allumage – Le rendement de l'équipement à combustion dépend du taux d'allumage, et le calibrage des commandes combustible-air peut changer selon la plage de taux d'allumage auxquels l'équipement à combustion fonctionne.

S'assurer que les mesures sont prises dans des conditions de fonctionnement stable –

Attendre que l'équipement à combustion atteigne la température de fonctionnement normale avant d'effectuer des relevés.

Calibrage – En général, l'appareil d'analyse des gaz n'est pas aussi stable que plusieurs autres types de dispositifs de mesure de la pression et de la température. Cela signifie que l'appareil devrait être fréquemment calibré. La fréquence dépendra de l'importance des relevés pour le bon fonctionnement et de la tendance du calibrage à changer. Il peut s'avérer nécessaire de vérifier le calibrage toutes les semaines ou, selon l'expérience, on pourrait aussi décider de le faire tous les mois avant que le calibrage ne change trop. Les instruments d'analyse des gaz sont calibrés au moyen de gaz d'essai en bouteille ayant une composition certifiée semblable à celle des gaz mesurés. Un analyseur souvent calibré et doté d'une bonne répétabilité devrait donner de bons résultats.

4.6 Photomètre

Les photomètres (ou luxmètres) offrent une méthode simple et efficace de déterminer le niveau actuel d'intensité lumineuse. Il est utile de comparer les niveaux actuels aux niveaux suggérés ou recommandés pour des activités ou secteurs particuliers.

Un photomètre utilise généralement un capteur modifié pour tenir compte de ce qui suit :

- la couleur de la lumière – les sources de lumière varient en couleur;
- l'angle d'incidence – on utilise la loi des cosinus pour apporter des corrections en fonction de l'apparente illumination réduite à des petits angles à l'horizontale.

La figure 4.7 présente un photomètre de base. Celui-ci fonctionne à piles et peut mesurer entre 0 et 50 000 lux. Il est doté d'un capteur de lumière distinct muni d'un cordon souple.

Figure 4.7 Photomètre de base



4.6.1 | Spécifications types

- Mesure de 0 à 50 000 lux dans trois plages (0-2 000/0-20 000/0-50 000)
- Précision à 5 p. 100 près
- Ajustement automatique à zéro
- Capteur se trouvant dans une unité distincte de l'affichage et raccord avec un cordon souple
- À piles
- Affichage à cristaux liquides

4.6.2 | Caractéristiques utiles

- Sortie analogique pour l'enregistrement

4.6.3 | Conseils pour une utilisation efficace

S'assurer que les mesures sont prises dans des conditions de fonctionnement stable –

De nombreuses lampes requièrent une période de réchauffement avant d'atteindre leur plein rendement lumineux.

S'assurer que la lumière du jour n'influe pas sur les relevés – Prendre les relevés le soir, utiliser des stores ou effectuer deux relevés avec et sans lampes et soustraire la contribution de la lumière du jour pour obtenir les niveaux d'éclairement artificiel.

Évaluer le facteur de réflexion des parois – Évaluer en établissant le ratio de la lumière reflétée et de la lumière incidente sur la paroi à l'aide d'un photomètre. Mesurer la lumière incidente à environ 0,5 mètre de la paroi, tourner le capteur vers la paroi et mesurer la lumière reflétée.

S'assurer que la gamme de couleur de la lumière du capteur utilisé convient à la source de lumière présente – Dans le cas contraire, utiliser des facteurs de correction conformément aux instructions du manuel du photomètre.

Veiller à ce que les relevés soient comparables – Le rendement lumineux d'une lampe diminue avec le temps; éviter de comparer de vieilles lampes avec des nouvelles.

4.7 Mesure de la température

Les mesures de la température donnent au vérificateur la possibilité de quantifier la consommation et les pertes d'énergie thermique de diverses façons. Les températures de l'air, des gaz, des fluides et de la surface sont généralement mesurées dans le cadre d'une vérification.

4.7.1 | Types d'instruments

On peut mesurer la température en prenant diverses mesures par contact par des moyens mécaniques ou électriques, et des mesures sans contact ou reposant sur le rayonnement.

Thermomètre bimétallique – Il est fabriqué à partir de deux fines bandes de métal ayant des coefficients d'expansion différents et reliées dans une bobine. La bobine est attachée à une aiguille ou à une flèche sur une échelle qui tourne à mesure que le métal se dilate ou se contracte en fonction de la température.

Thermocouple – Il repose sur le principe selon lequel une tension proportionnelle à la température se produit à la jonction de deux métaux de nature différente. Il est grandement utilisé depuis que le capteur peut être employé avec des fils aux fins de télérelevé ou de télénregistrement.

Détecteur de température à résistance (DTR) – Il repose sur la caractéristique de certains métaux selon laquelle la résistance augmente à mesure que la température monte. Ce dispositif requiert une source de courant externe pour le capteur afin de créer une tension qui pourra être décelée et liée à la température.

Pyromètre (thermomètre sans contact) – Il fonctionne selon le principe que les objets rayonnent différentes quantités d'énergie selon leur température. Cet instrument mesure le rayonnement sans entrer en contact avec l'objet et fonctionne selon l'hypothèse de l'émissivité des objets (capacité de rayonner de l'énergie), laquelle peut être fixée ou établie par l'utilisateur.

Le tableau qui suit résume les options qui s'offrent au vérificateur pour mesurer la température.

Type	Avantages	Inconvénients	Plages types	Précision % d'écart
Thermomètre à prime en verre	Peu coûteux	Fragile Difficile à lire	-50 °C à +800 °C	1 % à 2 %
Bimétallique	Peu coûteux	Plage limitée Pas de télécapteur	-60 °C à +425 °C	1 % à 4 %
Thermocouple Type T Type J Type K Types R et S	Simple Robuste Grande variété Grande plage de température Autonome	Non linéaire Référence requise Le moins stable Le moins sensible	-150 °C à +260 °C -160 °C à +800 °C -150°C à +1 500 °C -15 °C à +1 700 °C	0,3 % à 1 %
DTR Nickel Platine	Le plus stable Le plus précis	Coûteux Source de courant requise	-150 °C à +260 °C -255 °C à +650 °C	0,1 %
Pyromètre (sans contact) Optique Infrarouges Rayonnement	Sûr Facile à utiliser Pratique	Relativement coûteux D'autres sources dans le champ de vision peuvent réduire la précision	+760 °C à +3 500 °C 0 °C à +3 300 °C +500 °C à +3 900 °C	1 % à 2 % 1 % à 2 % 0,5 % à 1 %

La figure 4.8 présente un dispositif de mesure de la température à thermocouple type. Il comprend une sonde de thermocouple, se trouvant, dans ce cas, dans une gaine robuste en acier inoxydable, ainsi qu'une unité d'affichage numérique pour convertir la tension de sortie à la jonction en un relevé de température.

Figure 4.8 Thermomètre numérique à thermocouple



La figure 4.9 illustre un pyromètre ou dispositif de mesure de la température sans contact. Il convient aux relevés de proximité (de 0,05 à 0,5 m).

Figure 4.9 Dispositif de mesure de la température à infrarouges



4.7.2 | Sélection d'un instrument en vue de la vérification énergétique

Pour la plupart des vérifications énergétiques, les thermocouples offrent à la fois la plage et la précision requises. Il existe un large éventail de capteurs comprenant des thermocouples pour presque toutes les applications. Le capteur présenté à la figure 4.8 est une sonde à immersion convenant aux applications aériennes et aquatiques. La plupart des fournisseurs offrent un large éventail de sondes destinées à de nombreuses applications et températures.

Les unités d'affichage des thermomètres numériques, semblables à celles présentées à la figure 4.8, peuvent convenir à divers styles et types de thermocouples, ce qui en fait des outils de vérification polyvalents.

4.7.3 | Spécifications types

Pour le thermomètre numérique à thermocouple

- Précision du relevé de 0,1 p. 100 et de +0,5 °C
- Plage d'entrée : Type K : -200 °C à 1 300 °C
- Résolution : 0,1 °C
- Température de fonctionnement : 0 à 50 °C, 0 à 90 p. 100 HR
- Vitesse de lecture : 1 par seconde
- À piles
- Affichage à cristaux liquides à six chiffres

Pour le thermomètre à infrarouges (sans contact)

- Visée par laser circulaire ou en un seul point
- Plage : -20 à 420 °C (0 à 788 °F)
- Résolution : 1 °C/1 °F
- Émissivité : 0,95 fixe
- Réponse spectrale : 6-14 mm
- Champ de vision optique, N/S = 8:1
- Temps de réponse : 500 ms
- Précision : -20 °C à 100 °C : 2 °C; 101 °C à 420 °C : +/-3 p. 100
- Température de fonctionnement : 0 à 50 °C, moins de 80 p. 100 HR

4.7.4 | Caractéristiques utiles

Pour le thermomètre numérique à thermocouple

- Sortie analogique pour permettre l'enregistrement des mesures à l'aide d'un enregistreur de données polyvalent
- Fonctions de saisie max./min. – Le dispositif affichera les températures maximale et minimale relevées (le dispositif présenté à la figure 4.8 possède cette fonction).
- Deux entrées de thermocouple ayant une fonction différentielle pour afficher la différence entre les deux relevés du thermocouple (le dispositif présenté à la figure 4.8 possède cette fonction).

Pour le thermomètre à infrarouges (sans contact)

- Émissivité variable pour les matériaux dont l'émissivité n'approche pas 0,95
- Visée par laser avec un champ de vision étroit

4.7.5 | Conseils pour une utilisation efficace

Les mesures de la température de la surface ne devraient pas être perturbées par des influences externes – Il faudrait utiliser du matériau isolant pour éviter au capteur de mesure de la température par contact d'entrer en contact avec l'air. Par exemple, lorsqu'on utilise un capteur à thermocouple pour mesurer la température à la surface d'un conduit, il faut tenir le capteur contre le conduit avec un morceau de mousse isolante (à condition que la surface ne fasse pas fondre le matériau).

Protéger le capteur contre les sources de rayonnement thermique – Souvent, les sources de rayonnement ambiantes, comme un radiateur chaud, un serpentin ou le soleil, influeront sur les relevés de température si le capteur n'est pas protégé du rayonnement. Cela s'applique aussi aux capteurs de température de l'air ou du gaz situés près de surfaces chaudes ou au soleil. Plus précisément, un capteur de température des gaz de combustion peut être influencé par le rayonnement de surfaces chaudes dans l'équipement de combustion si les relevés sont pris trop près des zones de combustion.

Prendre plusieurs relevés sur une zone représentative – Cela permet de réduire les erreurs dans les relevés en raison des endroits chauds sur une surface.

Veiller à ce que le capteur ne soit pas influencé par une fuite dans un conduit ou par un courant d'air – Lorsqu'on effectue le relevé du débit d'air dans des conduits sous pression négative, le trou d'accès peut laisser s'infiltrer de l'air dans le conduit qui influera sur les relevés. Cela s'applique aussi aux relevés de température dans les gaz de combustion ou les événements qui peuvent être sous pression négative.

4.8 Mesure de l'humidité

On a souvent recours aux mesures de l'humidité dans la vérification énergétique pour évaluer la charge de refroidissement présente dans un système ou pour déterminer la quantité d'énergie latente présente dans un flux d'air extrait.

4.8.1 | Types d'instruments

Le psychromètre, ou le thermomètre à bulbe humide ou sec, est l'instrument le plus couramment utilisé. Il comprend deux capteurs de température, dont l'un doté d'une mèche en coton imbibée d'eau distillée. Le capteur doté de la mèche enregistrera une température proche de la température du thermomètre thermodynamique à bulbe humide. Si l'on connaît la température du thermomètre à bulbe sec, celle du thermomètre à bulbe humide et la pression barométrique, on peut déterminer l'humidité relative à l'aide d'un logiciel ou des diagrammes psychrométriques. La figure 4.10 présente le psychromètre fronde, ainsi baptisé en raison de son utilisation. On fait tourner le thermomètre comme une fronde dans l'air pour obtenir un relevé représentatif.

Figure 4.10 Le psychromètre fronde



Les psychromètres électroniques ou numériques offrent les relevés de base du bulbe humide ou sec, un relevé direct de l'humidité et une capacité d'enregistrer les données en plus de permettre d'effectuer des calculs.

Outre les instruments spécialisés de mesure de l'humidité, plusieurs enregistreurs de données polyvalents décrits à la section 4.12 comprennent des fonctions de mesure de l'humidité relative.

Pour les activités de vérification énergétique de base, le psychromètre fronde offre une mesure fiable à faible coût, sauf si vous avez besoin d'enregistrer les données ou les mesures de l'humidité.

4.8.2 | Conseils pour une utilisation efficace

Le calibrage du psychromètre numérique est important. – Les divers types de capteurs utilisés sont vulnérables à la contamination ou peuvent s'abîmer. Le recalibrage ou le remplacement des capteurs peut être requis. Au moment de choisir un appareil, s'assurer que le capteur convient à l'environnement dans lequel il sera utilisé. Certains capteurs sont particulièrement sensibles à une humidité élevée, aux vapeurs d'huile ou à d'autres composés organiques qui peuvent être présents dans l'air.

On ne peut utiliser un psychromètre quand la température de l'air est inférieure à 0 °C. –

Il faut souvent nettoyer et remplacer la mèche en coton. Bien entretenu, cet instrument donne une précision d'environ $+/- 0,5$ °C à une HR d'au moins 20 p. 100.

4.9 Mesure du débit d'air

Les mesures du débit d'air sont utiles pour analyser les systèmes CVC et les systèmes d'évacuation d'une installation. La mesure précise du débit d'air est généralement difficile à prendre et requiert de l'équipement spécialisé. Dans le contexte d'une microvérification énergétique de base ou d'une macrovérification, on peut procéder à certaines mesures simples du débit d'air afin d'obtenir des données pour les estimations initiales de la consommation d'énergie et des économies. Pour obtenir des mesures plus précises, il est suggéré de retenir les services d'un technicien ou d'un entrepreneur compétent en équilibrage de l'air.

4.9.1 | Types d'instruments

On propose ces instruments relativement bon marché et faciles à utiliser pour effectuer des vérifications énergétiques de base :

- ✓ **Anémomètre numérique à moulinet** – Un moulinet en rotation qui affiche une vitesse proportionnelle à la vitesse de l'air. L'utilisation de cet instrument est limitée en raison de sa taille et de la difficulté à placer le capteur dans le flux d'air. En général, on ne peut l'utiliser pour les mesures dans les conduits.

- ✓ **Thermo-anémomètre numérique** – Il permet de relever la vitesse anémométrique en captant la température d'un fil chaud refroidi dans un flux d'air. Cet instrument peut être utilisé dans les conduits et les chambres de répartition d'air.
- ✓ **Aéromètre** – Il est composé d'un manomètre très simple et d'un assemblage de tube de Pitot pour les faibles pressions d'air et vitesse d'écoulement de l'air (figure 4.11).

Figure 4.11 Tube de Pitot simple et manomètre mesurant le débit d'air (à gauche) et manomètre mesurant la pression (à droite)



- ✓ **Tube de Pitot et manomètre** – Il est peut-être le dispositif de mesure du débit d'air le plus polyvalent. Des manomètres plus perfectionnés que celui présenté à la figure 4.11 sont disponibles. Des manomètres numériques portables dotés de fonctions d'enregistrement des données sont disponibles pour des applications de pointe. Il existe également des manomètres analogiques plus robustes pour des relevés instantanés. Le tube de Pitot et manomètre présente comme avantage que le manomètre peut mesurer la pression, valeur requise pour l'évaluation de la puissance de l'air.

4.10 DéTECTEUR DE FUITES À ULTRASONS

Lorsqu'on fait passer du gaz par une petite ouverture – une fuite dans un système à pression ou à vide – un ultrason se crée. Ce son est très directionnel et cette directionnalité est utilisée pour localiser la source ou la fuite. Le détecteur de fuites à ultrasons capte cette fréquence de son. En général, ces appareils sont dotés d'un affichage qui indique la force d'un signal de fuite et, comme il est possible d'adapter la sensibilité, on peut localiser la fuite avec précision.

Figure 4.12 DéTECTEUR DE fUITES à ULTRASONS ET TRANSMETTEUR



La figure 4.12 présente un détecteur type de fuites à ultrasons et le transmetteur à ultrasons qui l'accompagne. Dans les endroits où les fuites de gaz sont de faible pression ou dans un système qui doit être rempli de gaz, il n'y a peut-être aucun ultrason à déceler. Cet appareil permet de « pressuriser » artificiellement un endroit avec des ultrasons de manière à pouvoir déceler les petites fissures et ouvertures. Les fuites peuvent être décelées dans les systèmes de réfrigération et de climatisation, les systèmes de chauffage, les purgeurs de vapeur, les compresseurs et les systèmes d'air comprimé. Cet instrument est utile pour déceler les fuites d'air autour des joints d'étanchéité des portes et fenêtres, les fuites d'eau dans les toits et les fuites dans les réservoirs sous vide.

En général, le détecteur et le transmetteur sont fournis dans une trousse qui comprend des écouteurs ou un casque d'écoute, ainsi que des rallonges pour la détection dans des endroits difficiles d'accès.

4.11 Tachymètre

Le tachymètre est utile au vérificateur lorsque ce dernier doit déterminer la vitesse d'un moteur ou d'un appareil entraîné. La vitesse des ventilateurs, des pompes et des compresseurs est utile pour comparer le rendement réel avec le rendement nominal ou spécifié. Pour les ventilateurs et les pompes, le flux est directement proportionnel à la vitesse de la pompe ou du ventilateur. La comparaison entre la vitesse du moteur et la vitesse nominale théorique du moteur peut donner une idée de la charge imposée au moteur.

Figure 4.13 Tachymètre type



La figure 4.13 présente un tachymètre pratique pour la vérification énergétique. Cet appareil est capable de prendre des mesures par ou sans contact.

Pour des mesures par contact, l'appareil doit être tenu contre l'extrémité d'un arbre tournant ou la courroie d'un convoyeur pour déterminer la vitesse rotationnelle ou linéaire.

Pour des mesures sans contact, un faisceau lumineux doit se refléter sur l'arbre tournant. En général, on appose un morceau de ruban réflecteur sur l'arbre lorsque l'appareil est à l'arrêt. Cela donne une cible facile de réflectivité élevée.

L'appareil présenté à la figure 4.13 fonctionne à piles et possède une fonction de mémoire. Cela permet de prendre des relevés, par exemple, à un endroit près de l'extrémité de l'arbre où l'affichage n'est pas visible, puis de voir la valeur à l'aide du bouton de mémoire.

4.12 Enregistreur de données compact

Les enregistreurs de données compacts permettent au vérificateur de recueillir rapidement et facilement des données grâce à divers capteurs et autres instruments. Ces appareils sont variés, depuis des enregistreurs autonomes de température et d'humidité jusqu'aux enregistreurs multivoies polyvalents dotés de prises analogiques et numériques standard.

4.12.1 | Description

Un enregistreur de données est un instrument électronique qui enregistre des mesures de la température, de l'humidité relative, de l'intensité lumineuse, des changements dans la mise sous tension ou hors tension, la tension et d'autres paramètres pendant de longues périodes. En général, les enregistreurs de données sont de petits appareils autonomes à piles qui sont dotés d'un microprocesseur, d'une mémoire pour le stockage des données et d'un capteur ou d'un groupe de capteurs. Les capteurs peuvent se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enregistreur.

Les enregistreurs de données sont dotés d'une forme d'interface à un ordinateur et sont fournis avec un logiciel qui permet la configuration et la récupération des données recueillies. La configuration permet à l'utilisateur d'établir les paramètres de fonctionnement de l'enregistreur, dont :

- ✓ les types de capteurs externes connectés;
- ✓ les intervalles d'échantillonnage;
- ✓ les heures de début et d'arrêt des relevés (s'ils ne sont pas immédiats);
- ✓ l'horloge en temps réel.

En général, la mémoire installée dans ces enregistreurs est suffisante pour permettre la collecte d'au moins 10 000 données, laquelle, selon l'intervalle de mesure choisi, pourrait s'étendre sur plusieurs heures ou plusieurs jours. Les mesures peuvent être prises à des intervalles aussi courts que toutes les secondes ou aussi longs qu'une heure ou plus. Une fois que les données sont recueillies, il faut les télécharger à partir de l'enregistreur en vue de les examiner ou de les analyser à l'aide du logiciel fourni ou de les exporter vers une feuille de calcul à des fins d'analyse approfondie.

4.12.2 | Applications

- ✓ Enregistrement de la température, de l'humidité et des niveaux d'éclairement au moyen de capteurs internes
- ✓ Enregistrement d'autres signaux analogiques comme les capteurs de pression et de CO₂ ou tout capteur doté d'une interface de courant ou de tension standard
- ✓ Enregistrement d'événements comme l'arrêt ou la mise en marche de moteurs, de lampes ou d'appareils de chauffage
- ✓ Enregistrement de signaux provenant d'autres instruments comme des photomètres, des thermomètres numériques, des débitmètres d'air et des multimètres à pinces.

4.12.3 | Caractéristiques utiles

Collecte de données, pause et capacité de transfert – Cette caractéristique de certains enregistreurs de données permet de télécharger et de redémarrer les enregistreurs, alors que l'on est sur le terrain. Le dispositif de transfert de données est portable et se connecte à l'ordinateur pour le téléchargement final des données.

Petite taille – Certains des nouveaux modèles d'enregistreurs de données sont très petits et faciles à installer dans des endroits étroits.

Autonome – Un enregistreur de données autonome est plus facile à utiliser dans un endroit où il n'y a pas d'électricité et où l'accès à l'électricité peut être dangereux ou peu commode.

5 MÉTHODE D'INVENTAIRE DES CHARGES ÉLECTRIQUES

5.1 Comment effectuer un inventaire des charges

La présente section donne un aperçu d'une méthode permettant d'effectuer un inventaire des charges au moyen d'un ensemble de formulaires, dont certains sont présentés dans les pages qui suivent. Chaque formulaire est accompagné d'instructions sur la façon de l'utiliser.

En plus de ces formulaires, une planchette à pince, un crayon et une calculatrice sont requis. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des instruments complexes. Une simple pince ampèremètre suffit dans la plupart des cas. D'autres instruments sont brièvement décrits à la section 2.

Étape 1 L'information suivante est requise :

La **période de temps** au cours de laquelle sera effectué l'inventaire. Cette période correspond à celle de la facture d'électricité (habituellement un mois, bien qu'elle puisse également être d'un jour, d'une semaine ou d'un an). Choisissez la période qui convient le mieux aux activités de votre installation.

Vous devez déterminer la **demande réelle en kilowatts** (kW) et la **consommation d'énergie en kilowattheures** (kWh) pour la période choisie. Si cette période est d'un mois, utilisez les renseignements fournis sur la facture d'électricité. Si la demande de l'installation est mesurée en kVA, vous devrez convertir les kVA en kW à l'aide du facteur de puissance de crête. (Voir la section « Principes de base de l'énergie » pour de plus amples renseignements.)

Inscrivez les valeurs réelles sur le formulaire LD1 (Sommaire de l'inventaire des charges), à la ligne « Demande et consommation d'énergie réelles ».

Étape 2 Déterminez chacune des catégories principales d'utilisation de l'électricité dans l'installation. Pour ce faire, vous devrez peut-être vous déplacer dans l'installation et noter les catégories à mesure que vous les voyez. Inscrivez chacune d'elles sur le formulaire LD1. Pour établir les diverses catégories d'utilisation, tenez compte du type de consommation d'électricité et de l'activité de chaque aire. Une bonne méthode consiste à établir les catégories en fonction de modèles d'activités opérationnelles similaires.

Dans le formulaire donné comme exemple, la consommation des moteurs est séparée de celle de l'éclairage dans les aires de bureau, les aires de production (catégories multiples) et les aires extérieures.

Étape 3 Évaluez le pourcentage de la demande attribuable à chaque catégorie. Cette évaluation peut être fondée sur une connaissance préalable, une idée approximative de la valeur des charges, le diamètre des câbles de distribution, ou autres. Vous pouvez également utiliser toute information provenant du profil

de demande. Inscrivez les pourcentages de demande sur le formulaire LD1 et calculez la demande estimative pour chaque catégorie d'utilisation en vous basant sur la demande réelle.

Étape 4 Évaluez le pourcentage de consommation d'énergie pour chaque catégorie. Cette évaluation devrait reposer sur le taux d'occupation, la production ou autres facteurs liés à l'intensité d'utilisation dans chaque catégorie. Inscrivez les pourcentages de consommation d'énergie sur le formulaire LD1 et calculez la consommation d'énergie estimative pour chaque catégorie d'utilisation en vous basant sur la consommation d'énergie réelle.

Étape 5 Sélectionnez la catégorie d'utilisation qui affiche la plus grande demande ou la plus forte consommation d'énergie.

Étape 6 Utilisez les formulaires LD3, LD4 et LD5 pour répertorier chaque charge dans la catégorie sélectionnée. N'inscrivez que les données nominales et celles sur la charge (en kW), y compris le nombre de kW totaux. Chaque formulaire est conçu pour un type particulier d'information. Le formulaire LD2 présente le sommaire des renseignements recueillis dans chacun des formulaires.

Pour chaque charge, sélectionnez une méthode de consignation des renseignements en fonction des critères suivants :

LD3 – Renseignements sur les charges simples

Utilisez ce formulaire pour des éléments comme l'éclairage, le chauffage électrique, le matériel de bureau ou toute autre charge dont le nombre de kW est connu.

LD4 – Méthode courant-tension

Lorsque les données sur la charge de kW ne sont pas connues, utilisez ce formulaire pour consigner les données nominales de charge détaillées pour des appareils comme les refroidisseurs, les petits moteurs, les appareils ménagers, et autres. Ce formulaire devrait également être utilisé pour tout dispositif qui a fait l'objet de mesures.

LD5 – Méthode de la charge de moteur

Ce formulaire ne devrait être utilisé que pour les moteurs. Il permet d'évaluer le nombre de kW en fonction de la puissance, de la charge et du rendement des moteurs. Il ne faut pas utiliser ce formulaire si les intensités de courant et les tensions réelles des moteurs ont été mesurées (dans ce cas, utilisez le formulaire LD4).

Étape 7 Pour chaque charge, évaluez le nombre d'heures de fonctionnement pendant la période visée. Indiquez également si la charge est appliquée pendant la période de demande de crête ou la nuit. À cette étape, n'essayez pas d'évaluer le facteur de diversité.

Étape 8 Répétez les étapes 6 et 7 pour chaque catégorie d'utilisation, en allant des catégories de demande et de consommation d'énergie les plus fortes jusqu'aux plus faibles. Si la demande ou la consommation d'énergie évaluée dans une catégorie est relativement faible (moins de 5 p. 100), il n'est probablement pas nécessaire de produire un inventaire détaillé.

5.2 Formulaires d'inventaire des charges

La section qui porte sur les feuilles de calcul dans le présent guide renferme des formulaires d'inventaire des charges. On présente ci-dessous un exemple de chaque formulaire et des instructions sur la façon de les remplir.

Formulaire LD1 – Sommaire de l'inventaire des charges

Catégorie d'utilisation	Demande estimative (%) (a)	Consommation d'énergie estimative (%) (b)	Demande estimative (kW) (c)	Consommation d'énergie estimative (kWh) (d)	Demande calculée (kW) (e)	Consommation d'énergie calculée (kWh) (f)	Charge de nuit calculée (kW) (g)
Compresseurs d'air	22	6	113	13 500			
Appareils d'éclairage	10	10	51	22 500			
Systèmes CVC	35	33	179	74 250			
Réfrigération	30	50	154	112 500			
Extérieur	3	1	15	2 250			
<hr/>							
Pourcentages estimatifs							
Demande et consommation d'énergie réelles			512	225 000			
Demande et consommation d'énergie calculées							
Charge de nuit calculée							

Période applicable aux calculs de l'énergie	Jour	Semaine	Mois	Année
Heures par période	24	168	732	8 760
Cochez la période utilisée.			✓	

Formulaire LD1 – Sommaire de l'inventaire des charges

Le présent formulaire constitue le point de départ et le point final de l'inventaire des charges.

Les évaluations initiales de la ventilation de la charge sont inscrites ici, ainsi que la somme des totaux définitifs des charges calculées pour chaque catégorie.

Élément	Unités	Description
Demande estimative	%	Pourcentage représentant la fraction de la demande dans cette catégorie
Consommation d'énergie estimative	%	Pourcentage représentant la fraction de la consommation d'énergie dans cette catégorie
Demande estimative	kW	Pourcentage de la demande estimative multiplié par la demande réelle totale
Consommation d'énergie estimative	kWh	Pourcentage de la consommation d'énergie estimative multiplié par la consommation d'énergie réelle totale
Demande calculée	kW	Demande calculée totale tirée du formulaire LD2 pour chaque catégorie d'utilisation
Consommation d'énergie calculée	kWh	Consommation d'énergie calculée totale tirée du formulaire LD2 pour chaque catégorie d'utilisation
Charge de nuit calculée	kW	Charge de nuit calculée tirée des formulaires, pour chaque catégorie d'utilisation
Pourcentages estimatifs	%	Devraient toujours être égaux à 100 p. 100, c'est-à-dire au total de chacun des pourcentages de la demande et de la consommation d'énergie.
Demande et consommation d'énergie réelles	kW et kWh	Demande et consommation d'énergie réelles pour la période – les données peuvent provenir des factures d'électricité.
Demande et consommation d'énergie calculées	kW et kWh	Total des colonnes de la demande et de la consommation d'énergie calculées
Charge de nuit calculée	kW	Total de la colonne de la charge de nuit calculée

Formulaire LD2 – Catégorie des sommaires d'utilisation : Ensemble de l'installation

Formulaire n°	Description	kWh/ période	kW de crête	kW de nuit
LD3	Renseignements sur les charges simples	4 087	15,9	0,235
LD4	Renseignements détaillés sur les charges	30 680	76,1	0
LD5	Renseignements sur les charges des moteurs	432	1,9	1,9
	Total calculé	35 199	93,9	2,1

Formulaire LD2 – Catégorie des sommaires d'utilisation

Le présent formulaire permet de faire le sommaire des renseignements détaillés sur les charges provenant des formulaires LD3, LD4 et LD5. Il suffit d'entrer la valeur totale pour les kWh/période, les kW de crête et les kW de nuit de chacun des formulaires, puis d'additionner les trois colonnes.

Formulaire LD3 – Renseignements sur les charges simples

Catégorie d'utilisation : Éclairage

Formulaire LD3 – Renseignements sur les charges simples

Le présent formulaire sert à consigner les renseignements sur les charges simples et à calculer la demande et la consommation d'énergie pour chaque élément. Les totaux pour les kWh/période, les kW de crête et les kW de nuit devraient être consignés à la dernière ligne du formulaire.

Élément	Unités	Description
Quantité	(chiffre)	Quantité de cet élément particulier
Charge par unité	kW	Charge en kW pour un élément de cette charge particulière
kW totaux	kW	Quantité × charge par unité
h/période	heures	Nombre d'heures d'utilisation estimatives par période
kWh/période	kWh	kW totaux × h/période
En fonction en période de crête	Oui/Non	Cette charge appliquée pendant la période de crête est-elle identifiée dans le profil de demande?
Facteur de diversité	0-100 %	Fraction de la charge totale de cet élément particulier qui contribue à la demande de crête.
kW de crête	kW	Si cette charge est appliquée en période de crête, cette valeur est alors égale au nombre de kW totaux × facteur de diversité.
En fonction la nuit	Oui/Non	Est-ce que cette charge est appliquée la nuit?
kW de nuit	kW	Si cette charge est appliquée la nuit, ce nombre est égal au nombre de kW totaux; sinon, il est égal à 0.

Formulaire LD4 – Renseignements détaillés (Méthode courant-tension) Catégorie d'utilisation : _____

Description	Quant. (a)	Volts (b)	Ampères (c)	Phase (d)	FP (e)	kW totaux (f)	h/ période (g)	kWh/ période (h) = g × f	En fonction en période de crête O ou N	Facteur de diversité (i)	kW de crête (j) = i × f	En fonction la nuit O ou N	kW de nuit
Appareils sur toiture	10	575	15	3	0,85	126,8	242	30 680	O	0,6	76,1	N	0
Totaux	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.	30 680	s.o.	s.o.	76,1	s.o.	0

$$\begin{aligned} \text{kW totaux} &= (f) = (a) \times (b) \times (c) \times (d) \times (e) \text{ en monophasé } (d) = 1 \\ &\text{en triphasé } (d) = \sqrt{3} = 1,73 \end{aligned}$$

Formulaire LD4 – Renseignements détaillés (Méthode courant-tension)

Le présent formulaire sert à recueillir des données détaillées lorsque les données nominales ou mesurées sur l'intensité du courant et la tension sont disponibles. Les kWh/période, les kW de crête et les kW de nuit totaux devraient être consignés à la dernière ligne du formulaire.

Élément	Unités	Description
Quantité	s.o.	Nombre d'unités en fonction
Volts	volts	Tension d'alimentation (mesurée ou nominale) pour cette charge
Ampères	ampères	Appel de courant par cette charge, mesuré ou nominal. Dans le cas d'une charge triphasée, n'inscrire que l'intensité par phase.
Phase	1 ou 3	Nombre de phases CA utilisées par cette charge
Facteur de puissance	0-100 %	Facteur de puissance estimatif ou mesuré pour cette charge
kW totaux	kW	Quantité × tension × intensité × 1,73 × facteur de puissance
h/période	heures	Nombre d'heures d'utilisation estimatives par période
kWh/période	kWh	kW totaux × heures/période
En fonction en période de crête	Oui/Non	Cette charge appliquée pendant la période de crête est-elle identifiée dans le profil de demande?
Facteur de diversité	0-100 %	Fraction du nombre total de kW pour cette charge particulière qui contribue à la demande de crête
kW de crête	kW	Si cette charge est appliquée en période de crête, cette valeur est alors égale au nombre de kW totaux × le facteur de diversité.
En fonction la nuit	Oui/Non	Est-ce que cette charge est appliquée la nuit?
KW de nuit	kW	Si cette charge est appliquée la nuit, ce nombre est égal au nombre de kW totaux. Sinon, il est égal à 0.

Formulaire LD5 – Renseignements détaillés sur les charges (Méthode de la charge de moteur)

Catégorie d'utilisation : Compresseur d'air

Description	Quant. (a)	Puissance du moteur (b)	% charge de moteur (c)	% rendement du moteur (d)	kW totaux (e)	h/ période (f)	kWh/ période (g) = e × f	En fonction en période de crête O ou N	Facteur de diversité (h)	KW de crête (i) = e × h	En fonction la nuit O ou N	kW de nuit
Compresseur d'air de 5 HP	1	5	75	78	3,6	120	432	0	5	1,9	0	1,9
Totaux	1	5	75	78	3,6	120	432		5	1,9		1,9

$$\text{KW totaux (e)} = (a) \times (b) \times 0,746 \times (c) \div (d)$$

Formulaire LD5 – Renseignements détaillés sur les charges (Méthode de la charge de moteur)

Le présent formulaire sert à estimer les charges d'alimentation des moteurs à partir des données de charge et de rendement des moteurs. Les kWh/période, les kW de crête et les kW de nuit totaux devraient être consignés à la dernière ligne du formulaire.

Élément	Unités	Description
Quantité	s.o.	Nombre d'unités en fonction
Puissance (HP) du moteur	HP	Puissance nominale du moteur
% charge du moteur	0-100 %	Estimation de la fraction de puissance nominale que ce moteur exerce sur la charge entraînée.
% rendement du moteur	0-100 %	Rendement estimé ou mesuré de la puissance électrique d'entrée par rapport à la puissance mécanique de sortie. Ce pourcentage dépend du pourcentage de charge du moteur – il ne s'agit pas simplement du rendement nominal.
kW totaux	kW	Quantité × HP du moteur × 0,746 × % de charge du moteur ÷ % rendement du moteur
h/période	heures	Nombre estimatif d'heures d'utilisation par période
kWh/période	kWh	kW totaux × heures/période
En fonction en période de crête	Oui/Non	Cette charge appliquée en période de crête est-elle identifiée dans le profil de demande?
Facteur de diversité	0-100 %	Fraction de la charge totale de cet élément particulier qui contribue à la demande de crête
kW de crête	kW	Si cette charge est appliquée en période de crête, ce nombre est alors égal au nombre de kW totaux × le facteur de diversité.
En fonction la nuit	Oui/Non	Cette charge est-elle appliquée la nuit?
kW de nuit	kW	Si cette charge est appliquée la nuit, ce nombre est alors égal au nombre de kW totaux. Sinon, il est égal à 0.

5.3 Collecte et évaluation des renseignements sur l'éclairage

Les données sur l'éclairage sont en général les renseignements les plus faciles à recueillir. Habituellement, une installation donnée ne comporte qu'un nombre restreint de puissances et de types différents de lampes. Une fois que vous avez identifié ces types et ces puissances de base, vous pouvez faire la somme des divers types par catégorie et par temps d'utilisation à l'aide d'une liste de contrôle.

Tenez compte de ce qui suit pour la collecte des données sur l'éclairage :

- N'oubliez pas d'inclure la puissance des ballasts dans la puissance totale des appareils d'éclairage. Le tableau suivant indique le nombre de watts de certains ballasts courants.

Type de ballast	Puissance du ballast (watts)
2 tubes fluorescents standard de 4 pi	14
2 tubes fluorescents éconergétiques	9
Ballast électronique pour lampes fluorescentes	5
Lampes fluorescentes compactes (habituellement de 7, 9, 11 ou 13 watts)	3

- Assurez-vous que les ballasts pour lampes fluorescentes dont on a retiré les lampes, ont également été débranchés. Ce type de ballast consomme de l'électricité même si aucune lampe n'est installée.
- Dans la mesure du possible, utilisez les réglages des minuteries ou les horaires des activités pour estimer avec précision les temps de fonctionnement.
- Regroupez l'information sur les charges par type de lampes et par heure de fonctionnement afin d'estimer avec précision le nombre de kWh.

5.4 Collecte et évaluation des données sur les moteurs et autres

Les paragraphes suivants présentent quelques suggestions et méthodes empiriques pour recueillir et évaluer des données :

- Si les moteurs sont alimentés en 600 V/3Ø, le nombre de kVA à pleine charge est à peu près le même que celui des ampères à pleine charge (charge nominale). Ceci vient de la relation suivante entre le nombre de kVA et l'intensité du courant dans les réseaux triphasés :

$$kVA = V \times I \text{ (par phase)} \times \sqrt{3}$$

Par exemple, si un moteur est alimenté en 600 V/5,7 A, le nombre de kVA à pleine charge est de :

$$600 \times 5,7 \times 1,73 = 5,9 \text{ kVA}$$

Le facteur de puissance doit être appliqué à ce résultat pour obtenir la charge en kW qui est inscrite sur le formulaire LD4. Cette valeur peut aller de 50 à 90 p. 100, selon le type de moteur et la charge, et selon que des condensateurs de correction du facteur de puissance ont été installés ou non.

- La consommation en kWh des appareils ménagers et du matériel de bureau, comme les réfrigérateurs et les photocopieuses, peut parfois être évaluée à partir des tableaux.
- Les charges des appareils de réfrigération varient en fonction de la température ambiante et de la charge. Avec les gros compresseurs de réfrigération, il peut être utile de mesurer les périodes de fonctionnement pendant un temps donné (au moyen d'un chronomètre). Si cette mesure est effectuée à un moment où la charge appliquée sur les appareils est la même que d'habitude, un facteur de puissance (pourcentage du temps de fonctionnement) peut être calculé avec précision. Notez que le facteur de charge pendant les heures creuses est habituellement moins élevé.
- Les données de l'inventaire des charges peuvent être vérifiées au moyen d'une pince ampèremètre permettant de mesurer des intensités sur un circuit d'alimentation, dans les conditions suivantes :
 1. le circuit d'alimentation ne dessert qu'un type spécifique de charge (p. ex., un panneau d'éclairage);
 2. des données suffisamment précises sont disponibles pour l'appareil desservi par le circuit d'alimentation;
 3. les charges mesurées n'effectuent pas de cycle.

Ce type de mesure ponctuelle de l'intensité peut parfois révéler une application inutile de certaines charges, comme dans le cas des petits moteurs ou des radiateurs électriques situés dans des zones inoccupées.

5.5 Comparaison de l'inventaire des charges avec les factures d'électricité

Une fois que les renseignements destinés à l'inventaire des charges ont été recueillis, ils peuvent être comparés avec la demande de crête ou la demande maximale et la consommation d'énergie enregistrée par le compteur électrique. Ceci permet d'obtenir une ventilation détaillée de la consommation d'énergie et de la demande maximale.

5.5.1 | Ventilation de la demande de crête

Une demande totale en kilowatts (kW) a été calculée pour chaque charge répertoriée dans l'inventaire. La demande d'électricité qui contribue à la demande de crête pour cette charge particulière doit être égale ou inférieure au résultat de ce calcul. À ce point, on doit se poser la question suivante : dans quelle proportion chaque charge totale contribue-t-elle à la demande de crête?

Pour une charge donnée, le lien entre la charge totale et la quantité qui contribue à la demande de crête est la suivante :

$$\text{Charge de crête} = \text{charge totale} \times \text{facteur de diversité}$$

Le facteur de diversité tient compte de certaines situations dans lesquelles la demande de crête est inférieure à la charge totale, dont les suivantes :

- Le cycle de la charge marche/arrêt se trouve en fonction pendant moins de 30 minutes à la fois. Après 15 minutes, le compteur de demande d'énergie thermique enregistre 90 p. 100 de la charge totale. (La réponse du compteur de demande est décrite en détail à la section 1, « Principes de base de l'énergie »).

Application de la charge	% enregistré par un compteur de demande d'énergie thermique	% enregistré par un compteur de demande numérique (fenêtre de 15 min)
1 minute	15 %	33,3 %
5 minutes	52 %	33,3 %
10 minutes	78 %	66,7 %
15 minutes	90 %	100 %
30 minutes	97 %	100 %
> 30 minutes	100 %	100 %

- La charge peut être ou ne pas être appliquée pendant les périodes de demande de crête; dans ce cas, le facteur de diversité devient un facteur de coïncidence lié à la probabilité de l'application de la charge au cours de la demande de crête.

5.5.2 | Comparaison des demandes de crête

La comparaison entre la demande de crête indiquée sur les factures d'électricité et la demande de crête calculée à partir de l'inventaire des charges implique ce qui suit :

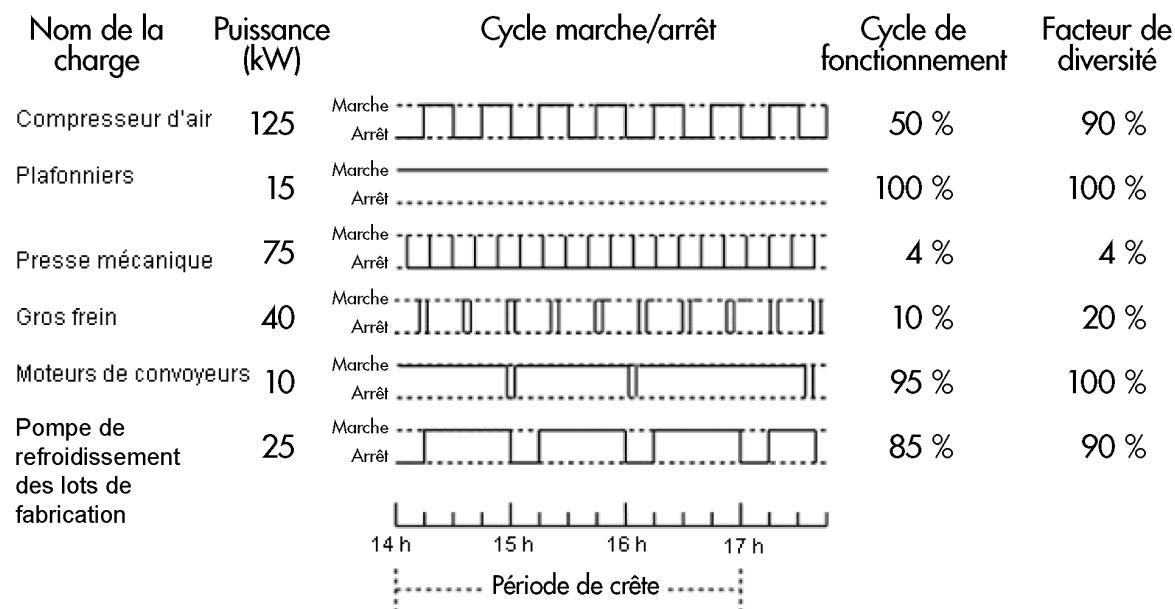
- la détermination de la demande de crête pour la période visée, à partir de la facture d'électricité ou du compteur électrique;
- si la facture est établie en kVA, la conversion des kVA facturés en kW au moyen du facteur de puissance de crête. Ce dernier devrait être déterminé au moyen d'un wattmètre ou d'un mesureur de facteur de puissance;
- l'estimation du facteur de diversité pour chaque charge appliquée en période de crête, en calculant la demande diversifiée totale;
- la comparaison entre la demande de crête calculée et la demande de crête réelle et l'adaptation des calculs pour faire correspondre les valeurs aux besoins.

L'estimation de la portion de la demande de crête attribuable à une charge particulière soulève deux questions :

- i) Quelle est l'incidence du cycle de fonctionnement de toute charge donnée sur le compteur de demande, compte tenu de la réponse du compteur?
- ii) Quelle est la coïncidence entre l'application d'une charge particulière et l'application de toutes les autres charges de l'installation?

Comme on l'a déjà vu, le facteur de diversité tient compte de ces deux incidences (voir la figure 5.1). Dans l'exemple donné, les cycles d'application de diverses charges sont indiqués avec une estimation du facteur de diversité, et on présume que la période de crête a lieu entre 14 h et 17 h.

Figure 5.1



Les facteurs de diversité ont été estimés de la façon suivante :

Compresseur d'air – Le compresseur se met en marche/arrêt toutes les 15 minutes. Le compteur de demande aura enregistré 90 p. 100 de la demande au bout de 15 minutes. Cette charge est appliquée au même moment (en coïncidence) que diverses autres charges pendant la période de crête. Par conséquent, la totalité des 90 p. 100 est utilisée.

Plafonniers – Ces appareils fonctionnent continuellement pendant la période de crête. Le compteur de demande enregistre donc 100 p. 100 de la charge totale, en coïncidence avec toutes les autres charges.

Presse mécanique – Le moteur de la presse mécanique ne fonctionne que pendant 0,6 minute; le compteur de demande n'enregistre qu'environ 8 p. 100 pendant cette durée. Toutefois, comme cette charge ne coïncide pas complètement avec toutes les autres, une valeur de 50 p. 100 est retenue pour tenir compte de la coïncidence. Il en résulte un facteur de diversité de 4 p. 100.

Gros frein – Le moteur du frein fonctionne à pleine charge pendant 1,5 minute, en coïncidence au moins une fois avec d'autres charges pendant la période de crête. Par conséquent, une réponse de 20 p. 100 mesurée au compteur au bout de 1,5 minute est utilisée comme facteur de diversité.

Moteurs de convoyeurs – La durée pendant laquelle les convoyeurs sont à l'arrêt n'est pas assez importante pour permettre au compteur d'enregistrer une baisse significative, un facteur de diversité de 100 p. 100 est donc utilisé.

Pompe de refroidissement des lots de fabrication – La pompe fonctionne pendant une longue période (de 35 à 40 minutes). Le compteur devrait enregistrer la totalité de la demande. Une valeur de 10 p. 100 est prévue pour l'absence de coïncidence entre cette charge et les autres importantes charges de courtes durées. Un facteur de diversité de 90 p. 100 est donc utilisé.

On peut estimer les facteurs de diversité au moyen d'autres méthodes, notamment la suivante :

Étape 1 Partez du principe que tous les facteurs de diversité sont de 100 p. 100 et faites la somme de toutes les charges totales. Appelons cette somme *Chargemax*. Cela représente la demande qui se produirait si toutes les charges étaient appliquées continuellement. Soustrayez la demande de crête réelle de la *Chargemax*. Appelons cette différence *Diff-A*.

Étape 2 Déterminez quelles charges sont continuellement appliquées. Le facteur de diversité de ces charges sera de 100 p. 100. Additionnez chacune de ces charges. Appelons le résultat de cette somme *Chargecont*. Soustrayez la *Chargecont* de la demande de crête réelle. Appelons cette différence *Diff-B*.

Étape 3 Divisez la *Diff-B* par la *Diff-A* et multipliez par 100. Le résultat obtenu est un facteur de diversité moyen applicable à toutes les charges qui ne sont pas continuellement appliquées (charges intermittentes). Appelons ce résultat *Facteur moyen*.

Étape 4 Pour chaque charge intermittente, déterminez le facteur obtenu au compteur électrique à cause du cycle de fonctionnement, en utilisant le tableau établi plus haut. Si ce facteur est inférieur au Facteur moyen, utilisez cette valeur; sinon, utilisez le Facteur moyen comme facteur de diversité pour cette charge.

Étape 5 Pour chaque facteur de diversité adapté en aval, vous devez adapter un autre facteur de charge en amont afin de conserver la moyenne. Cela signifie qu'il existe une charge qui contribue plus à la demande de crête que ce que permet le Facteur moyen. Ces modifications doivent tenir compte de la coïncidence entre les charges.

Étape 6 Étudiez chacune des charges de cette manière, puis calculez de nouveau la demande de crête. Comparez le résultat obtenu avec la demande de crête réelle. Si la différence est supérieure à 5 p. 100, répétez les étapes 5 et 6. Un bon jugement est nécessaire pour adapter les charges en amont. N'oubliez pas que l'objectif principal est d'évaluer le mieux possible la contribution de chaque charge à la demande de crête.

Conseils pratiques

- Utiliser les renseignements du profil de demande, comme les courbes de charge et les cycles de fonctionnement.
- Il peut être nécessaire d'adapter non seulement les facteurs de diversité mais également les données sur la charge de base pour effectuer une comparaison.
- L'intensité de nombreux dispositifs est inférieure à leurs régimes nominaux. Dans de tels cas, utiliser un ampèremètre.
- Il peut être nécessaire d'effectuer une comparaison de la consommation d'énergie (voir la section suivante) pour faciliter la comparaison de la demande de crête. Si les données sur la charge de base sont fausses, la consommation d'énergie et la demande sont affectées toutes les deux. Une comparaison de la consommation d'énergie peut fournir de l'information supplémentaire.
- Dans la mesure du possible, utiliser un compteur enregistreur avec les groupes de charges pour lesquels le cycle de fonctionnement est inconnu.
- Les différences résultent habituellement d'hypothèses fausses et non de données nominales et mesurées erronées.

5.5.3 | Ventilation de la consommation d'énergie

L'utilisation conjointe de l'inventaire des charges (kW) et des durées de fonctionnement estimatives permet d'obtenir une ventilation de l'énergie. Comme pour la ventilation de la demande de crête, le but est de faire correspondre la consommation d'énergie totale mesurée pendant une certaine période à la somme des charges individuelles calculées pendant cette même période.

La relation de base entre la consommation d'énergie et un appareil individuel est la suivante :

Consommation d'énergie (kWh) = charge (kW) × temps de fonctionnement (heures)

- La charge nominale (kW) est celle qui est indiquée sur la plaque signalétique de l'appareil, c'est-à-dire : volts × ampères × facteur de puissance (s'il y a lieu) × 1/1 000 ($\times \sqrt{3}$, avec les circuits triphasés) × charge (%).
- Le temps de fonctionnement (heures) est la durée totale de mise sous tension de l'appareil pendant la période évaluée × cycle de fonctionnement (%).
- Le cycle de fonctionnement (%) ne s'applique qu'aux charges qui effectuent un cycle d'application et d'interruption automatique lorsque les appareils sont sous tension, notamment dans le cas des appareils de réfrigération. Si ces charges n'effectuent aucun cycle, le cycle de fonctionnement = 100 p. 100.
- Le chargement (%) s'applique aux appareils qui peuvent fonctionner à des charges inférieures à la pleine charge, comme dans le cas des moteurs qui entraînent des charges centrifuges. Notez qu'il est ici question du pourcentage de la pleine charge en kW appelée par l'appareil.

Exemples

1. Un compresseur de réfrigération a un cycle de fonctionnement de 30 p. 100, un régime nominal de 600 V/22 A et un facteur de puissance de 75 p. 100. La période d'évaluation est de 33 jours. Le compresseur est toujours sous tension et fonctionne à pleine charge. La consommation est de :

$$600 \text{ (V)} \times 22 \text{ (A)} \times \sqrt{3} \times 75 \text{ p. 100 (FP)} \times 1/1\,000 \times 33 \text{ (jours)} \times 24 \text{ (h/jour)} \times \\ 30 \text{ p. 100 (cycle de fonctionnement)} = 4\,074 \text{ kWh}$$

2. Une batterie de 20 appareils d'éclairage à décharge de grande intensité de 400 W fonctionne 10 heures par jour, 5 jours par semaine. Chaque appareil est doté d'un ballast de 50 watts. Pendant la même période d'évaluation de 33 jours, la consommation est de :

$$20 \text{ lampes} \times (400 + 50) \text{ watts/lampe} \times 10 \text{ h/jour} \times 5 \text{ jours/semaine} \times 1/1\,000 \times \\ 33/7 \text{ semaines} = 2\,121 \text{ kWh}$$

3. Le régime nominal d'un moteur de 50 HP est de 600 V/50 A/facteur de puissance de 83 p. 100. Ce moteur fonctionne 5 heures par jour, 5 jours par semaine à 75 p. 100 de charge. Pendant 33 jours, la consommation est de :

$$600 \times 50 \times \sqrt{3} \times 0,83 \times 0,75 \times 1/1\,000 \times 5 \text{ jours/semaine} \times 5 \text{ h/jour} \times \\ 33/7 \text{ semaines} = 3\,812 \text{ kWh}$$

5.5.4 | Comparaison de la consommation d'énergie avec les factures d'électricité

Une fois que les calculs de la consommation d'énergie ont été effectués pour toutes les charges de l'inventaire, vous devez les comparer avec les données des factures d'électricité. Si vous avez soigneusement évalué toutes les charges, les données devraient être relativement semblables. S'il y a de grandes différences, la méthode suivante peut aider à y remédier.

- Si vous avez plus d'un compteur ou si vous possédez vos propres compteurs divisionnaires, effectuez une ventilation de la consommation d'énergie afin de la faire correspondre aux compteurs individuels.
- Évaluez en premier les charges que vous connaissez le mieux – éclairage général, appareils commandés par des minuteries, moteurs fonctionnant à charge constante, etc. Partez du principe que les valeurs de ces charges sont bonnes et que les erreurs se trouvent du côté des charges moins constantes, comme celle de la réfrigération.
- Réexaminez vos premières hypothèses générales (ventilation en pourcentage) et voyez si elles correspondent à la ventilation détaillée.
- Effectuez un contrôle croisé des horaires, des minuteries et autres pour vérifier si les appareils fonctionnent plus longtemps que vous ne le pensiez.
- Si vous effectuez une moyenne hebdomadaire pendant une période mensuelle, il est possible que des erreurs se soient glissées en raison des fins de semaine qui tombent dans la période de facturation.

- Lors de l'évaluation des périodes d'utilisation de l'équipement de chauffage, vous pouvez calculer les heures de fonctionnement de la façon suivante si la consommation de mazout est connue : $(\text{mazout consommé pendant la période}) / (\text{vitesse de combustion du brûleur})$. Cette méthode n'est valable qu'avec les brûleurs à un seul étage.
- Si vous disposez d'un profil de demande (graphique à déroulement continu), utilisez-le pour évaluer les cycles de fonctionnement des charges cycliques.
- Les charges appliquées la nuit sont souvent continues. Essayez de tenir compte de toutes les charges de nuit.

6 OUTIL POUR LES MODÈLES DE FEUILLE DE CALCUL

6.1 Instructions générales

Chaque feuille de calcul consiste en un modèle autonome afin de vous aider à chaque étape de la vérification. Les fiches expliquent comment saisir les données afin de compléter l'information contenue dans chaque chapitre du guide de vérification. Les utilisateurs devraient prendre connaissance de cette information avant d'utiliser les modèles.

6.1.1 | Compatibilité

Les feuilles de calcul ont été créées à l'aide de Microsoft Excel 2000 et devraient pouvoir être utilisées adéquatement avec Excel 97 et les versions plus récentes.

6.1.2 | Zone de saisie des données

Chaque feuille de calcul est protégée afin d'éviter la saisie de données dans des cellules qui renferment des formules. Les cellules qui acceptent les données comportent du texte ou des chiffres de couleur bleue. Chaque cellule de saisie de données est décrite dans les sections ci-dessous. Certaines cellules comportent des listes déroulantes afin de vous aider à sélectionner les données exactes.

Il est possible de supprimer les exemples de données dans les zones de saisie en surlignant la zone et en enfonçant la touche de suppression. Après avoir supprimé les données du modèle, sauvegardez ce dernier sous un nouveau nom de fichier. Dans de nombreux cas, il est recommandé de créer plus d'un exemplaire du modèle pour différentes aires de l'usine ou différents bâtiments.

6.1.3 | Impression

Chaque onglet (ou fiche) des feuilles de calcul est formaté de façon à pouvoir être imprimé sur une seule page. Il suffit de cliquer sur le bouton d'impression ou de sélectionner « Imprimer » dans le menu « Fichier ». Dans les cas où de longues listes de données existent, seule la première partie des données est imprimée. L'étendue de l'impression devra être précisée de nouveau à l'aide du menu « Fichier/Zone d'impression/Réglage », si vous souhaitez imprimer la liste entière.

6.1.4 | Sauvegarde des données

Vous pouvez sauvegarder vos données sous le nom original de la feuille de calcul ou sous un nouveau nom. Dans certains cas, vous devrez créer plusieurs versions des feuilles de calcul pour différentes séries de données. Comme pour toute application logicielle, il est recommandé de sauvegarder fréquemment vos données. Prenez garde, car de nombreuses versions d'Excel ne comportent pas de fonction de sauvegarde automatique.

6.1.5 | Modification des feuilles de calcul par les utilisateurs avertis

Les utilisateurs avertis peuvent, s'ils le souhaitent, modifier les feuilles de calcul en fonction de leurs besoins. Chaque fiche est protégée; toutefois, cette protection peut être supprimée à partir du menu « Outils » d'Excel. Il n'y a pas de protection par mot de passe et seule une protection au niveau de la fiche est appliquée. Les personnes qui connaissent les applications « Visual Basic » pourront utiliser le code VBA dans certaines fiches afin d'obtenir des fonctions supplémentaires pour les calculs techniques. Les fiches pouvant être modifiées ne sont pas protégées par mot de passe. On recommande aux utilisateurs avertis d'explorer les feuilles de calcul et de les adapter, de les améliorer ou de les modifier afin de répondre à leurs besoins.

6.1.6 | Sommaire des caractéristiques et des avantages des modèles de feuille de calcul

Modèle	Caractéristiques	Avantages
6.2 Inspection de l'état <u>Inspection de l'état.xls</u>	Évaluation de l'état de divers bâtiments et systèmes d'usine Plusieurs aires pour chaque système Examen des systèmes en fonction de tout type de consommation d'énergie	Crée une fiche de rapport pour chaque système et aire. Aide à établir l'ordre de priorité des aires. Peut être modifié pour faire état des progrès.
6.3 Coût de l'électricité <u>Coût de l'électricité.xls</u>	Mise en tableau de la demande et de la consommation Calcul et vérification des factures Création de graphiques de base	Fait connaître les coûts. Relève les erreurs de facturation. Peut être utilisé pour vérifier différents tarifs. Peut être utilisé pour évaluer les économies en fonction de la réduction de la demande et de la consommation d'énergie.
6.4 Coût du gaz <u>Coût du gaz.xls</u>	Mise en tableau de la consommation Calcul et vérification des factures Création de graphiques de base	Fait connaître les coûts. Relève les erreurs de facturation. Peut être utilisé pour vérifier différents tarifs. Peut être utilisé pour évaluer les économies en fonction de la réduction de la consommation d'énergie.
6.5 Coût du combustible <u>Coût du combustible.xls</u>	Mise en tableau de la consommation Calcul et vérification des factures Création de graphiques de base	Fait connaître les coûts. Peut être utilisé pour évaluer les économies en fonction de la réduction de la consommation d'énergie.

Modèle	Caractéristiques	Avantages
6.6 Analyse comparative Analyse comparative.xls	<p>Mise en tableau de la consommation d'énergie en fonction des données sur les conditions météorologiques et la production</p> <p>Analyse de régression</p> <p>Analyse des sommes cumulées</p> <p>Analyse des objectifs</p>	<p>Détermine les tendances dans les données antérieures.</p> <p>Repère les anomalies dans les données antérieures.</p> <p>Fournit un moyen d'établir des objectifs réalisistes reposant sur les modèles de consommation actuels.</p>
6.7 Profil Profil.xls	<p>Création d'un profil sur les séries chronologiques des kW et du facteur de puissance</p> <p>Création de courbes sur la durée de la charge</p>	<p>Permet l'analyse de l'empreinte électrique d'une installation.</p> <p>Aide à déterminer la demande et les possibilités d'économie d'énergie.</p>
6.8 Inventaire des charges Inventaire des charges.xls	<p>Mise en tableau de la demande et de la consommation d'énergie pour la liste des charges</p> <p>Calcul de la consommation d'énergie et de la demande de crête</p> <p>Création d'un diagramme à secteurs sur la demande et la ventilation de la consommation d'énergie</p>	<p>Relève les principaux éléments de la demande et de la consommation d'énergie.</p> <p>Fournit un sommaire de la consommation d'électricité d'une installation.</p>
6.9 Systèmes à combustion Systèmes à combustion.xls	<p>Mise en tableau de la capacité et du rendement des systèmes à combustion</p> <p>Calcul du rendement de combustion</p>	<p>Concentre l'attention sur la consommation d'énergie en quantifiant l'utilisation.</p> <p>Facilite les calculs techniques.</p>
6.10 Inventaire de la consommation d'énergie thermique Inventaire de la consommation d'énergie thermique.xls	<p>Mise en tableau des principaux procédés de consommation d'énergie thermique</p> <p>Calculs sur l'air, l'eau, la vapeur et la conduction ainsi que calculs psychrométriques</p> <p>Tableau sommaire et diagramme à secteurs</p>	<p>Concentre l'attention sur la consommation d'énergie en quantifiant l'utilisation.</p> <p>Facilite les calculs techniques.</p>
6.11 Enveloppe Enveloppe.xls	<p>Calcul des pertes de chaleur par l'enveloppe du bâtiment</p> <p>Analyse des pertes de chaleur par évacuation et ventilation pour les fenêtres, les portes, les murs, les toits, les dalles</p> <p>Fiche d'une page sur les données et les résultats</p>	<p>Concentre l'attention sur la consommation d'énergie en quantifiant l'utilisation.</p> <p>Facilite les calculs techniques.</p>
6.12 Évaluation des avantages Évaluation des avantages.xls	<p>Modèle pour la description des possibilités et le calcul des économies d'énergie et de coûts et la réduction des GES</p> <p>Analyse économique en fonction des méthodes de la période de récupération simple, de la VAN et du TRI</p>	<p>Crée une analyse professionnelle des possibilités d'économie.</p> <p>Aide à promouvoir les possibilités.</p>

6.2 | Inspection de l'état

La présente fiche renferme un modèle pour consigner les renseignements recueillis au cours de l'inspection de l'état. Le modèle peut être copié et adapté pour inspecter les aspects jugés importants des systèmes de l'installation. La méthode de la vérification détaillée fournit des modèles d'inspection de l'état pour divers systèmes.

Inspection de l'état.xls

6.2.1 | Modèle sur l'inspection de l'état

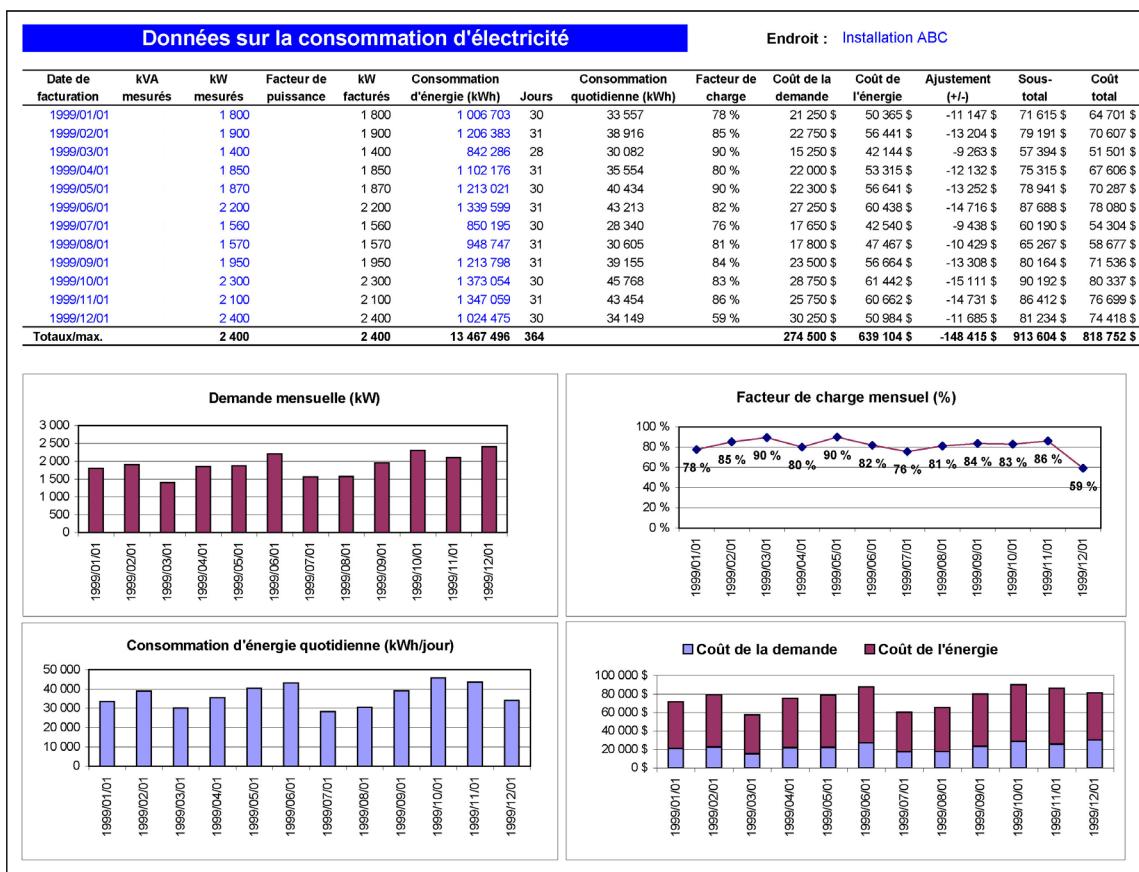
Nom de la zone de saisie	Zones sur l'inspection de l'état
Système	Entrez une description des systèmes à examiner.
Date	Entrez une date pour l'inspection.
Vérificateur	Entrez votre nom.
Commentaires	Inscrivez tout commentaire applicable.
Endroit	Entrez un nom pour chaque aire à inspecter.
Critères	Dans les cellules verticales, entrez chacun des critères qui serviront à l'évaluation du système.
Points	Entrez les points obtenus pour chaque critère satisfait. <i>Veuillez prendre note que certaines zones sont mutuellement exclusives; par exemple, dans l'inspection des systèmes d'éclairage ci-dessus, les appareils d'éclairage peuvent être contrôlés par détecteurs de mouvement (2 points) ou par interrupteurs (1 point), mais non les deux.</i>
Pointage maximal	Entrez les points représentant le pointage maximal pouvant être obtenu. Si l'élément satisfait à plus d'un critère, avec pointages ascendants, entrez seulement le pointage maximal, comme on le mentionne dans l'exemple ci-dessus.
Points obtenus	Entrez le nombre de points obtenus pour chaque aire inspectée.
Cote globale	Le pointage de chaque aire sera calculé (échelle de 0 à 100 p. 100); 100 p. 100 représentant un pointage égal au pointage maximal susmentionné. La somme de toutes les aires sera ensuite calculée afin d'obtenir le pointage global.
Validation du tableau des données	Il ne s'agit pas d'une zone de saisie. Les données entrées dans les colonnes du tableau principal doivent être validées. Le pointage obtenu ne doit pas dépasser le pointage donné au haut de la colonne de la rangée « Endroit/points ». En outre, le pointage maximal (2 ^e rangée) ne doit pas dépasser celui de la rangée du haut. Si l'une de ces deux conditions n'est pas respectée, un « X » sera inscrit en rouge dans la colonne appropriée de ce tableau.

6.3 Coût de l'électricité

La présente feuille de calcul permet de mettre en tableau les données sur la consommation, le tarif et les coûts de l'électricité de l'installation. Elle permet de ventiler les coûts mensuels en fonction des principaux éléments de facturation et de tarification ainsi que de produire des graphiques sur une base annuelle. [Coût de l'électricité.xls](#)

6.3.1 | Données sur la consommation d'électricité

Les données sur la consommation d'électricité sont saisies dans la présente fiche. Des coûts et des graphiques sont présentés.



Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives à la consommation d'électricité
Endroit	Entrez, comme titre, l'endroit où la consommation d'électricité a été mesurée.
Date de facturation	Entrez la date indiquée sur la facture – idéalement, il s'agit de la date du relevé mensuel.
kVA mesurés	Si les valeurs de kVA sont données sur la facture, entrez-les dans l'espace prévu à cet effet. Sinon, laissez la zone vide.
kW mesurés	Entrez les valeurs de kW mesurées pour chaque mois, lesquelles sont indiquées sur la facture.
kW (kVA) facturés	La fiche présente les valeurs de kW utilisées sur la facture – ajustées en fonction du FP, si cela est précisé sur la fiche de tarifs (voir ci-dessous).
Facteur de puissance (FP)	Entrez les valeurs de FP pour chaque mois si elles sont indiquées sur la facture; autrement, laissez la zone vide.
Consommation d'énergie (kWh)	Entrez la consommation d'énergie mensuelle indiquée sur les factures.
Jours	Le système calculera la durée de la période de facturation pour chaque mois sauf le premier, puisque la dernière date de facturation n'est pas entrée. Entrez le nombre de jours depuis la dernière date de facturation.

6.3.2 | Données sur le tarif de l'électricité

Les renseignements sur le tarif de l'électricité sont inscrits sur la présente fiche afin de faciliter le calcul des coûts mensuels de la page précédente.

Tarif de l'électricité			
Nom du tarif :	Tarif pour un grand service général		
Mois et année :	Janvier 1999		
Frais de service :	/mois		
Unités de facturation de la demande :	kW	(kVA ou kW)	
FP souhaité par le service public	90 %		
Frais liés à la demande :	pour le premier bloc de	50 kW	
	10,00 \$ pour le deuxième bloc de	1 000 kW	
	15,00 \$ pour le reste		
Frais liés à la consommation d'énergie :		taille du bloc	
	0,08000 pour le premier bloc	1 000 kWh/mois	N
	0,05000 pour le deuxième bloc	10 000 kWh/mois	N
	0,05000 pour le troisième bloc	1 000 000 kWh/mois	s.o.
	pour le quatrième bloc	kWh/mois	s.o.
	0,03000 pour le reste		
Crédit pour le transformateur :	0,60 \$ /kW		
Crédit pour le compteur principal :	0,01 \$ /kWh		
Ajustement :	(Pourcentage de la facture totale, - pour les rabais; + pour les suppléments) (fixe, - pour les rabais; + pour les suppléments)		
Taxe :	7 % (applicable après l'ajustement)		
FP estimatif :	85 % (utilisé pour évaluer les kW dans le calcul du facteur de charge lorsque les kVA sont mesurés)		

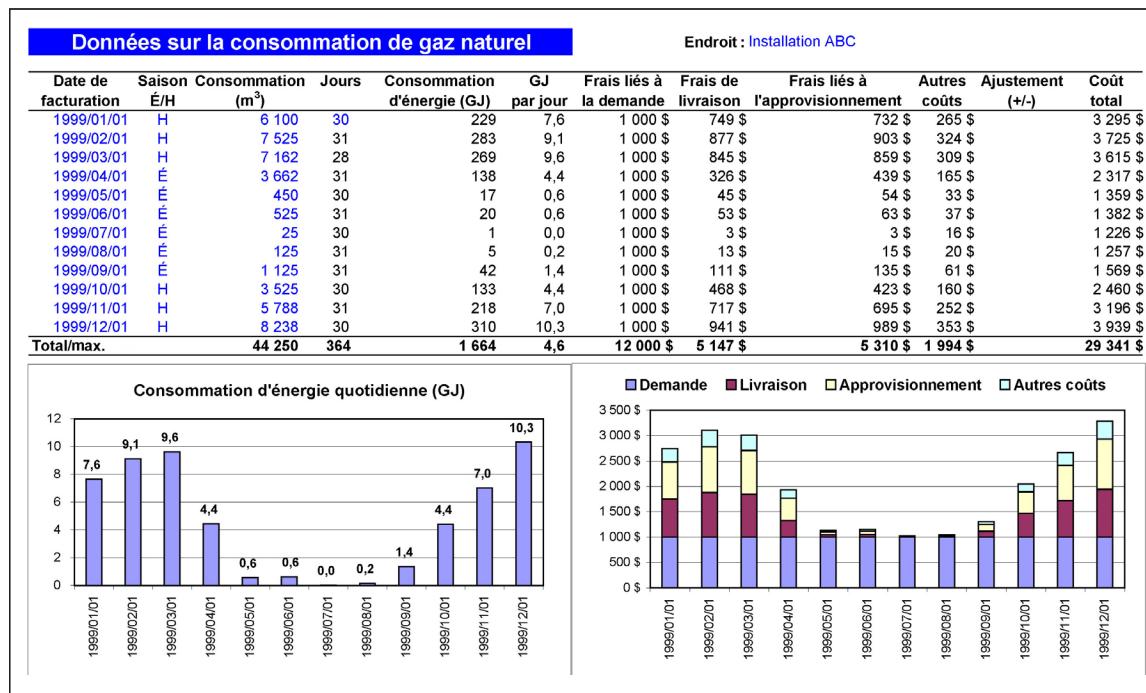
Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives au tarif de l'électricité
Nom du type de tarif, mois et année	Inscrivez le nom du type de tarif et les dates applicables.
Frais de service	Entrez les frais de service par compteur en dollars.
Unités de facturation de la demande	Sélectionnez kW ou kVA comme unité de facturation de la demande.
FP souhaité par le service public	Entrez le facteur de puissance souhaité que le service public utilise pour calculer la demande facturée (c.-à-d. le maximum de kW mesurés ou 90 p. 100 des kVA mesurés).
Frais liés à la demande (3 zones)	Entrez les frais en dollars pour chaque bloc de demande. S'il n'y a qu'un seul bloc, entrez les frais dans la zone à cet effet : « pour le reste ».
Blocs de demande (2 zones)	Entrez la taille des deux premiers blocs de demande, s'il y a lieu.
Frais liés à la consommation d'énergie (5 zones)	Entrez les frais en dollars pour chaque bloc de consommation d'énergie. S'il n'y a qu'un seul bloc, entrez les frais dans la zone « pour le reste ».
Taille des blocs de consommation d'énergie (5 zones)	Entrez la taille des trois premiers blocs de consommation d'énergie, s'il y a lieu. Si la taille des blocs est fonction de la demande, entrez alors les multiplicateurs de la taille des blocs.
Par kW? (2 zones)	Si la taille des blocs est fonction de la demande, veuillez l'indiquer en inscrivant « O » dans la zone. Assurez-vous que les valeurs entrées pour la taille des blocs sont celles des multiplicateurs.
Crédit pour le transformateur	Entrez le crédit par kW si les transformateurs sont la propriété du client.
Crédit pour le compteur principal	Entrez le crédit par kWh pour le compteur principal.
Ajustement	Entrez les facteurs d'ajustement – soit un pourcentage de l'ensemble de la facture, soit un montant, lequel sera négatif s'il s'agit d'un rabais ou positif dans le cas de frais supplémentaires.
Taxe	Entrez la taxe applicable à la facture totale après ajustement.
FP estimatif	Si le facteur de puissance n'est pas indiqué sur la facture, et que seuls les kVA sont donnés, entrez le FP qui sera utilisé dans le calcul des kW pour déterminer le facteur de charge.

6.4 Coût du gaz

La présente feuille de calcul permet de mettre en tableau les données sur la consommation, le tarif et les coûts du gaz naturel. Elle permet de ventiler les coûts mensuels en fonction des principaux éléments de facturation et de tarification ainsi que de produire des graphiques sur une base annuelle. [Coût du gaz.xls](#)

6.4.1 | Consommation de gaz naturel

Les données sur la consommation de gaz naturel sont saisies dans la présente fiche. Des coûts et des graphiques sont présentés.



Nom de la zone de saisie	Zone sur les données relatives à la consommation de gaz naturel
Endroit	Entrez, comme titre, l'endroit où la consommation de gaz a été mesurée.
Date de facturation	Entrez la date indiquée sur la facture – idéalement, il s'agit de la date du relevé mensuel.
Consommation (m ³)	Entrez la consommation mensuelle de gaz indiquée sur les factures.
Jours	Le système calculera la durée de la période de facturation pour chaque mois sauf le premier, puisque la dernière date de facturation n'est pas entrée. Entrez le nombre de jours depuis la dernière date de facturation.

6.4.2 | Tarif du gaz naturel

Les renseignements sur le tarif du gaz naturel sont inscrits dans la présente fiche afin de faciliter le calcul des coûts mensuels de la page précédente.

Tarif du gaz naturel					
Nom du tarif : Tarif pour un grand service général					
Mois et année : Janvier 1999					
Unités de facturation : m ³ (m ³ , GJ, unités thermales)					
Teneur énergétique : 0,0376 GJ/m ³					
Frais de service :	15,00 \$	/mois			
Frais de livraison :	Été		Hiver		
		Taille du bloc		Taille du bloc	
	0,10000 \$ pour le premier bloc	1 000 m ³	0,15000 \$ pour le premier bloc	1 000 m ³	
	0,09000 \$ pour le deuxième bloc	2 000 m ³	0,13000 \$ pour le deuxième bloc	2 000 m ³	
	0,07000 \$ pour le troisième bloc	3 000 m ³	0,11000 \$ pour le troisième bloc	3 000 m ³	
	0,04000 \$ pour le reste		0,09000 \$ pour le reste		
Demande contractuelle					
Frais liés à la demande :	1 000,00 \$	ou	5 000 GJ/m ³	1 000,00 \$	
		x	0,20 \$ /GJ/m ³		
Frais liés à l'approvisionnement :	0,12 \$ /m ³			0,12 \$ /m ³	
Frais liés au stockage :	0,04 \$ /m ³			0,04 \$ /m ³	
Autres frais :	0,00 \$ /m ³			0,00 \$ /m ³	
	0,00 \$ /mois			0,00 \$ /mois	
Ajustement :	0,00 % (Pourcentage de la facture totale, - pour les rabais; + pour les suppléments)				
	0,00 \$ (fixe, - pour les rabais; + pour les suppléments)				
Taxe :	20 % (applicable après l'ajustement)				

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives au tarif du gaz naturel
Nom du type de tarif, mois et année	Inscrivez le type de tarif et les dates applicables.
Unités de facturation	Entrez les unités de facturation pour le gaz (habituellement GJ ou m ³).
Teneur énergétique	Entrez la teneur énergétique en GJ par unité précisée ci-dessus.
Frais de service	Entrez une valeur en dollars pour les frais de service.
Frais de livraison (4 zones pour l'hiver [H] et 4 zones l'été [É])	Entrez les frais pour la livraison du gaz, en hiver et en été, s'il y a lieu. S'il n'y a qu'un seul bloc, entrez les valeurs dans la quatrième zone.
Bloc de frais de livraison (3 zones)	Entrez la taille de chacun des blocs de frais de livraison.
Frais liés à la demande (2 zones, une pour l'hiver et une pour l'été)	Entrez les frais liés à la demande pour la livraison du gaz, en hiver et en été, s'il y a lieu.
Demande contractuelle (2 zones)	Entrez la demande contractuelle – il s'agit habituellement du volume par mois et du taux applicable par mètre cube.
Frais liés à l'approvisionnement (2 zones, une pour l'hiver et l'autre pour l'été)	Entrez les frais liés à l'approvisionnement en gaz, en hiver et en été, s'il y a lieu.
Frais liés au stockage (2 zones, une pour l'hiver et l'autre pour l'été)	Entrez les frais liés au stockage du gaz, en hiver et en été, s'il y a lieu.
Autres frais	Entrez le montant des autres frais, soit un pourcentage ou un montant fixe.
Ajustement	Entrez les facteurs d'ajustement – soit un pourcentage de l'ensemble de la facture soit un montant, lequel sera négatif s'il s'agit d'un rabais ou positif dans le cas de frais supplémentaires.
Taxe	Entrez la taxe applicable à la facture totale après ajustement.

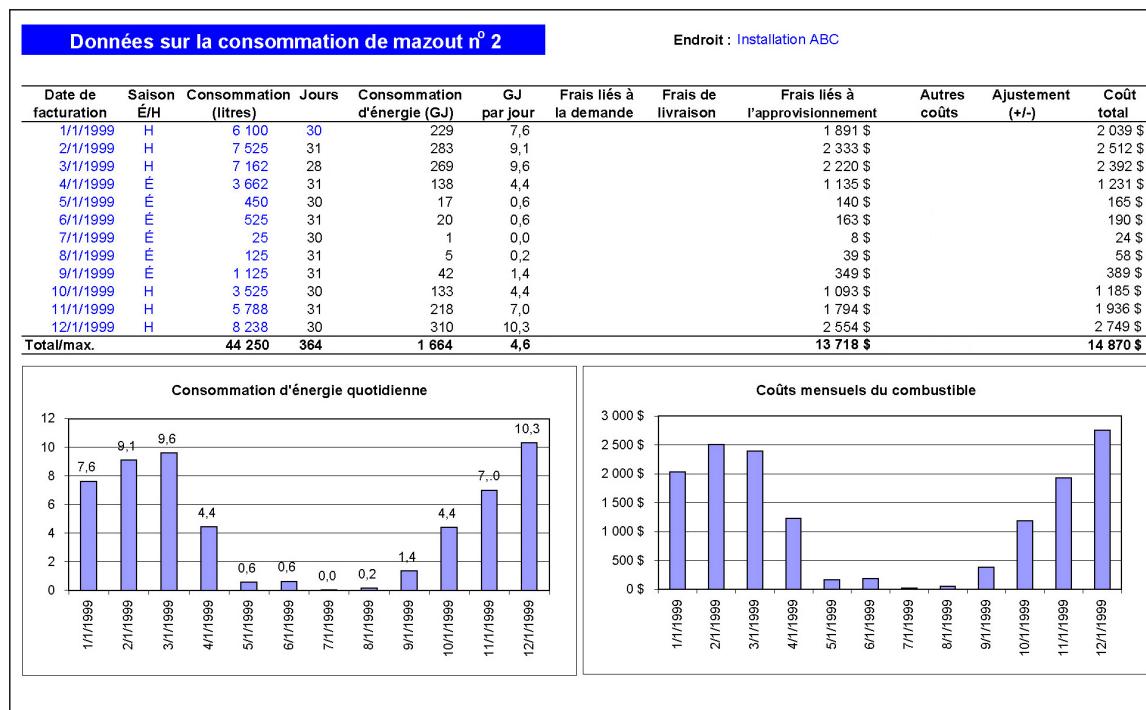
6.5 Coût du combustible

La présente feuille de calcul permet de mettre en tableau les données sur la consommation, les tarifs et les coûts du combustible et d'autres sources d'énergie. Elle permet de ventiler les coûts mensuels en fonction des principaux éléments de facturation et de tarification ainsi que de produire des graphiques sur une base annuelle.

[Coût du combustible.xls](#)

6.5.1 | Consommation de combustible

Les données sur la consommation du combustible et d'autres sources d'énergie sont saisies dans la présente fiche. Des coûts et des graphiques sont présentés.



Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives à la consommation de combustible
Endroit	Entrez, comme titre, l'endroit où le combustible a été livré ou l'endroit où la consommation d'énergie a été mesurée.
Date de facturation	Entrez la date indiquée sur la facture – idéalement, il s'agit de la date du relevé mensuel.
Consommation (litres)	Entrez la consommation mensuelle de combustible indiquée sur les factures.
Jours	Le système calculera la durée de la période de facturation pour chaque mois sauf le premier, puisque la dernière date de facturation n'est pas entrée. Entrez le nombre de jours depuis la dernière date de facturation.

6.5.2 | Tarif du combustible

Les renseignements sur le tarif ou le prix du combustible sont inscrits dans la présente fiche afin de faciliter le calcul des coûts mensuels de la page précédente.

Tarif des autres sources d'énergie																					
Fournisseur :	Fournisseurs de combustible ABC																				
Mois et année :	Janvier 1999																				
Type de combustible ou de source d'énergie : Mazout n° 2																					
Unités de mesure :	Litre	(litre, m ³ , GJ, MMBtu, unités thermales)																			
Teneur énergétique :	0,0376	GJ/litre																			
Frais de service :	/mois																				
Frais de livraison :	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Été</th><th>Hiver</th><th></th></tr> <tr> <th></th><th></th><th>Taille du bloc</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pour le premier bloc</td><td>pour le premier bloc</td><td>Litre</td></tr> <tr> <td>pour le deuxième bloc</td><td>pour le deuxième bloc</td><td>Litre</td></tr> <tr> <td>pour le troisième bloc</td><td>pour le troisième bloc</td><td>Litre</td></tr> <tr> <td>pour le reste</td><td>pour le reste</td><td>Litre</td></tr> </tbody> </table>			Été	Hiver				Taille du bloc	pour le premier bloc	pour le premier bloc	Litre	pour le deuxième bloc	pour le deuxième bloc	Litre	pour le troisième bloc	pour le troisième bloc	Litre	pour le reste	pour le reste	Litre
Été	Hiver																				
		Taille du bloc																			
pour le premier bloc	pour le premier bloc	Litre																			
pour le deuxième bloc	pour le deuxième bloc	Litre																			
pour le troisième bloc	pour le troisième bloc	Litre																			
pour le reste	pour le reste	Litre																			
Demande contractuelle																					
Frais liés à la demande :	ou	Litre																			
	X	/Litre																			
Frais liés à l'approvisionnement :	0,31 \$ /Litre	0,31 \$ /Litre																			
Frais liés au stockage :	/Litre	/Litre																			
Autres frais :	/Litre	/Litre																			
	/mois	/mois																			
Ajustement :	(pourcentage de la facture totale, - pour les rabais; + pour les suppléments) (fixe, - pour les rabais; + pour les suppléments)																				
Taxe :	7 % (applicable après l'ajustement)																				

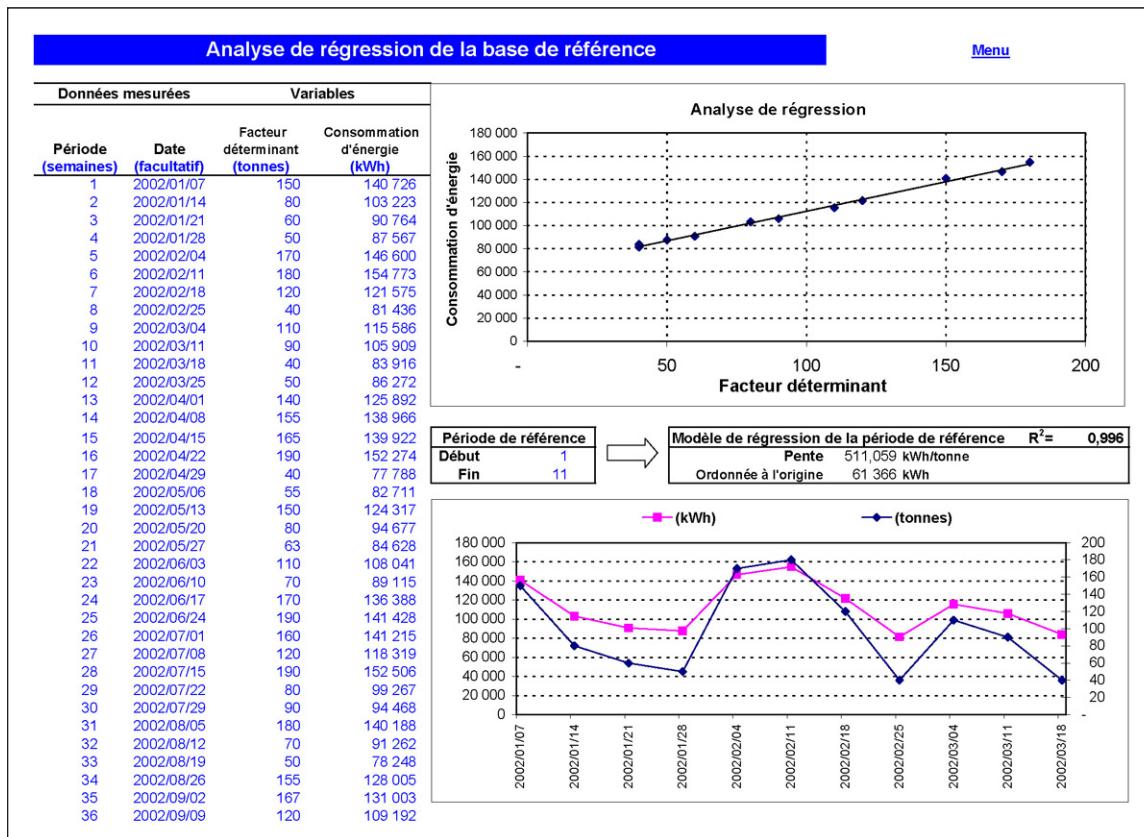
Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives au tarif du combustible
Nom du type de tarif, mois et année	Inscrivez le type de tarif et les dates applicables.
Type de combustible ou de source d'énergie	Entrez une description du combustible ou de la source d'énergie.
Unités de mesure	Entrez les unités de mesure pour le combustible ou la source d'énergie.
Teneur énergétique	Entrez la teneur énergétique en GJ par unité précisée ci-dessus.
Frais de service	Entrez une valeur en dollars pour les frais de service.
Frais de livraison (4 zones pour l'hiver et 4 zones pour l'été)	Entrez les frais de livraison du combustible ou de la source d'énergie, en hiver et en été, s'il y a lieu. S'il n'y a qu'un seul bloc, entrez les frais dans la quatrième zone.
Bloc de frais de livraison (3 zones)	Entrez la taille de chacun des blocs de frais de livraison.
Frais liés à la demande (2 zones, une pour l'hiver et l'autre pour l'été)	Entrez les frais liés à la demande pour la livraison du combustible ou de la source d'énergie, en hiver et en été, s'il y a lieu.
Demande contractuelle (2 zones)	Entrez la demande contractuelle – il s'agit habituellement du volume par mois et du taux applicable par unité de mesure.
Frais liés à l'approvisionnement (2 zones, une pour l'hiver et l'autre pour l'été)	Entrez les frais liés à l'approvisionnement du combustible, en hiver et en été, s'il y a lieu.
Frais liés au stockage (2 zones, une pour l'hiver et l'autre pour l'été)	Entrez les frais liés au stockage du combustible, en hiver et en été, s'il y a lieu.
Autres frais	Entrez le montant des autres frais, soit un pourcentage, soit un montant fixe.
Ajustement	Entrez les facteurs d'ajustement – soit un pourcentage de l'ensemble de la facture soit un montant, lequel sera négatif s'il s'agit d'un rabais ou positif dans le cas de frais supplémentaires.
Taxe	Entrez la taxe applicable à la facture totale après ajustement.

6.6 Analyse comparative

La présente fiche permet d'effectuer une analyse de régression simple à une variable sur la consommation d'énergie en fonction d'un facteur déterminant afin de créer un modèle de référence linéaire. [Analyse comparative.xls](#)

6.6.1 | Analyse de régression de la base de référence

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives à l'analyse de régression de la base de référence
Période (vedette)	Décrivez la période utilisée.
Période (données)	Entrez un numéro de séquence pour chaque période.
Date	Facultatif – entrez une date pour chaque période afin d'identifier la séquence de temps sur le graphique.
Facteur déterminant (nom de l'unité)	Entrez les unités pour le facteur déterminant utilisé.
Facteur déterminant (données)	Entrez la valeur du facteur déterminant pour chaque période.
Consommation d'énergie (unités)	Entrez les unités de la consommation d'énergie qui est analysée.
Données sur la consommation d'énergie	Entrez la valeur de la consommation d'énergie pour chaque période.
Début de la période de référence	Sélectionnez, dans la liste des numéros de séquence, le début de la période visée par l'analyse de régression.
Fin de la période de référence	Sélectionnez, dans la liste des numéros de séquence, la fin de la période visée par l'analyse de régression.

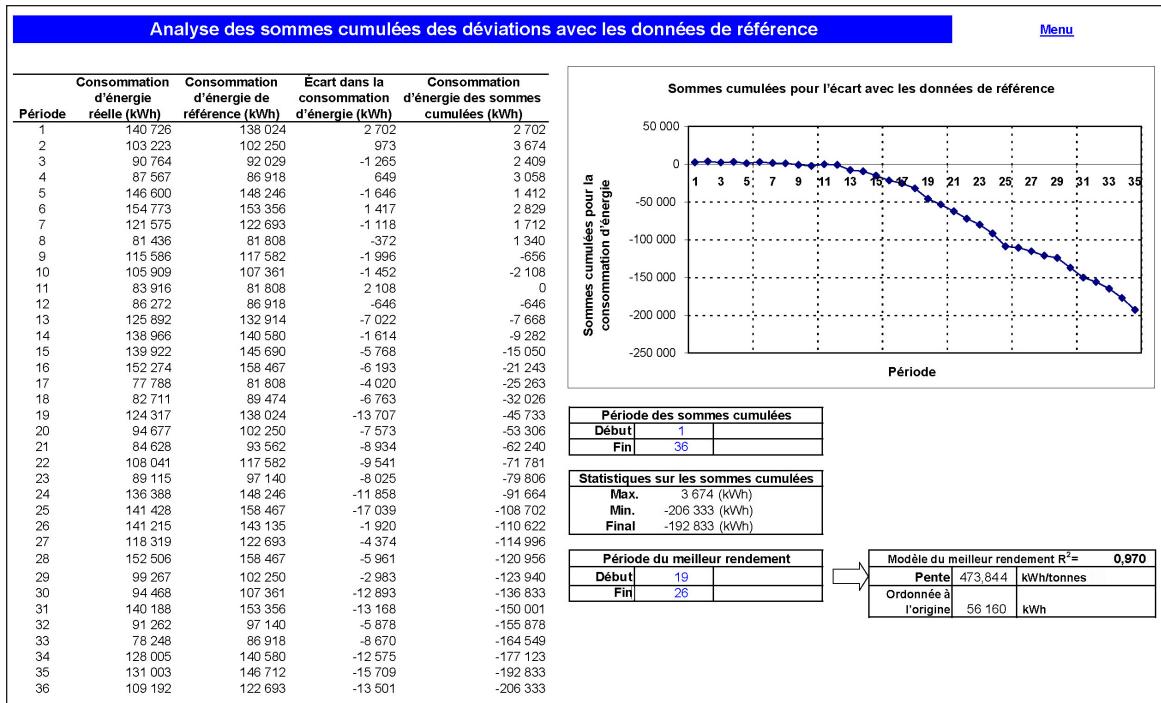


6.6.2 | Analyse des sommes cumulées

Dans la présente fiche, la technique des sommes cumulées¹ est utilisée pour comparer des données antérieures avec la base de référence obtenue dans l'analyse de régression. Une période du meilleur rendement, depuis la période de référence, peut être sélectionnée.

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives à l'analyse des sommes cumulées
Début de la période des sommes cumulées	Sélectionnez le début de la période des données antérieures à comparer avec la période de référence à l'aide de la technique des sommes cumulées.
Fin de la période des sommes cumulées	Sélectionnez la fin de la période des données antérieures à comparer avec la période de référence à l'aide de la technique des sommes cumulées.
Début de la période du meilleur rendement	Sélectionnez le début de la période des données antérieures identifiée à l'aide de la technique des sommes cumulées comme la période du meilleur rendement par rapport à la base de référence.
Fin de la période du meilleur rendement	Sélectionnez la fin de la période des données antérieures identifiée à l'aide de la technique des sommes cumulées comme la période du meilleur rendement par rapport à la base de référence.

¹ Les sommes cumulées (sommes courantes) sont la somme de la différence entre la consommation d'énergie prévue et la consommation d'énergie réelle. Voir la section B-5, intitulée « Analyse comparative », pour obtenir de plus amples renseignements.



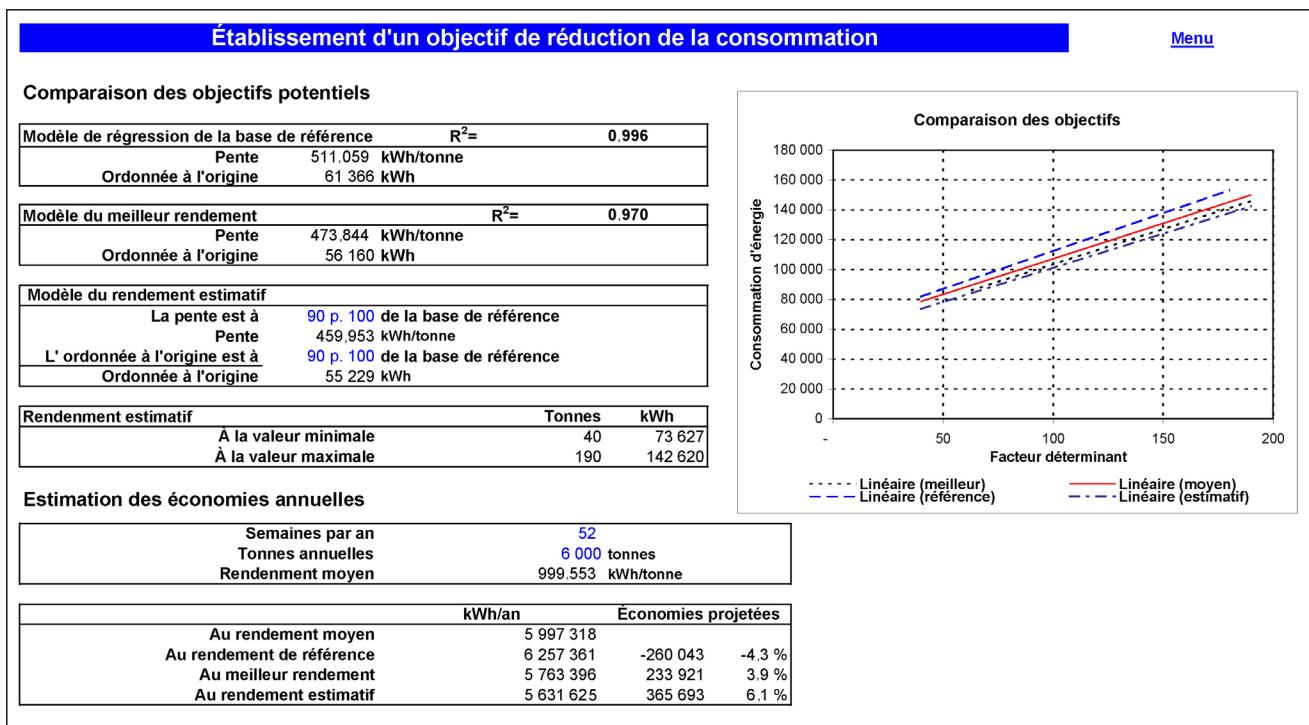
6.6.3 | Établissement d'un objectif

La présente fiche permet de comparer les divers types d'objectifs qui pourraient être établis en vue d'améliorer la consommation d'énergie par rapport au facteur déterminant. Le rendement moyen représenté par les données antérieures est comparé avec ce qui suit :

- ✓ le rendement de référence – déterminé par l'analyse de régression;
- ✓ le modèle de la « période du meilleur rendement » – déterminée à l'aide de la fiche sur les sommes cumulées;
- ✓ le rendement estimatif – déterminé comme un pourcentage du modèle de référence (pente et ordonnée à l'origine).

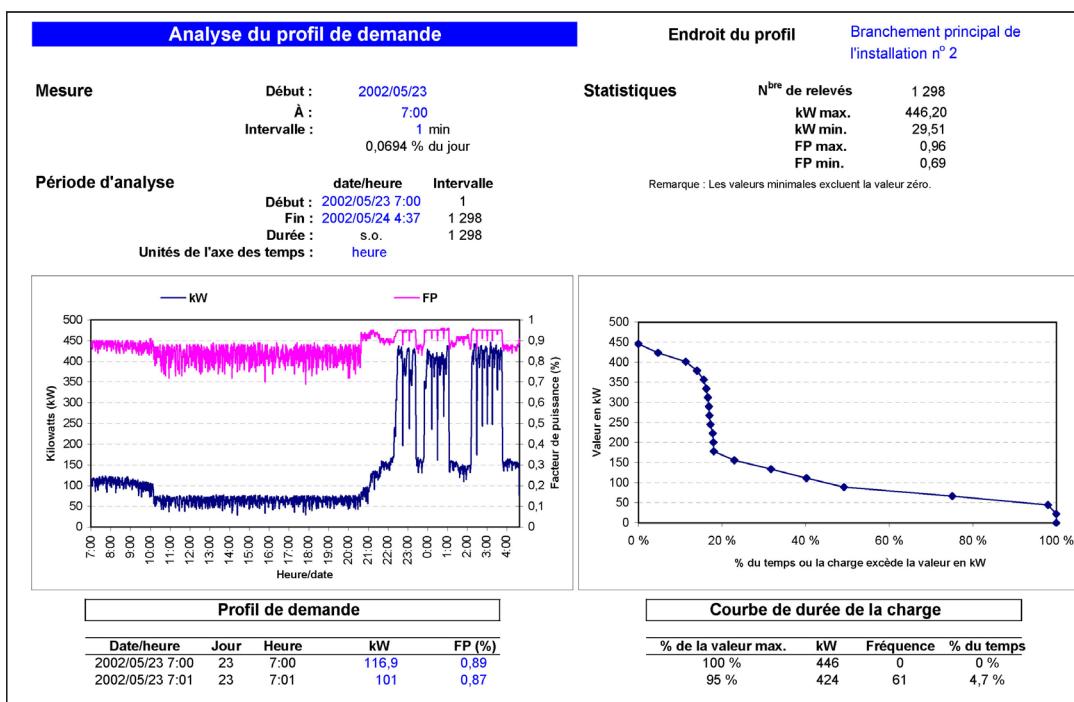
Dans chaque cas, les économies sont calculées pour un nombre particulier de périodes, comme on le définit dans la fiche « Analyse de régression », et pour une valeur particulière du facteur déterminant.

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives à l'analyse des sommes cumulées
% estimatif de la pente de référence	Entrez le pourcentage estimatif auquel la pente du modèle de référence pourrait être réduite.
% estimatif de l'ordonnée à l'origine de référence	Entrez le pourcentage estimatif auquel l'ordonnée à l'origine du modèle de référence pourrait être réduite.
Semaines par an	Entrez un nombre de périodes (déterminé par l'analyse de régression) par an.
Tonnes annuelles (Valeur du facteur déterminant)	Entrez la valeur totale annuelle du facteur déterminant.



6.7 Profil

La présente feuille de calcul permet de mettre en tableau et d'analyser les données du profil de demande, à savoir la puissance (kW) et les valeurs facultatives du facteur de puissance (FP) jusqu'à des intervalles arbitraires de 3 000. Elle permet de présenter et de préparer des graphiques d'une sous-série de l'ensemble des données en séries chronologiques et sous la forme d'une courbe de durée de la charge. Cette courbe montre la durée pendant laquelle la charge enregistrée était supérieure à une certaine valeur. En outre, elle est utile pour cerner les possibilités de contrôle de la demande. [Profil.xls](#)

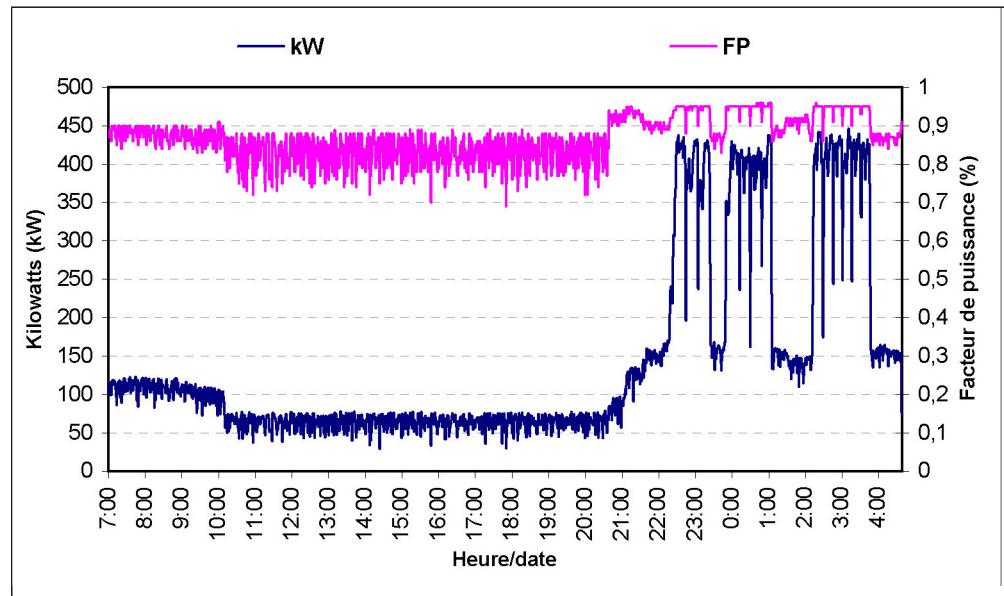


6.7.1 Analyse du profil

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives à l'analyse du profil
Endroit du profil	Décrivez l'endroit où le profil a été mesuré.
Début de la mesure	Entrez une date pour la première valeur dans les données du profil.
À	Entrez une heure pour la première valeur dans les données du profil.
Intervalle	Entrez l'intervalle de temps (en minutes) utilisé pour enregistrer les données (1 min, 15 min, etc.).
Début de l'analyse	Entrez la première période de temps que vous souhaitez reporter sur le graphique et inclure dans les statistiques (sélectionnez-la dans la liste déroulante).
Fin	Entrez la dernière période de temps que vous souhaitez reporter sur le graphique et inclure dans les statistiques (sélectionnez-la dans la liste déroulante).
Unités de l'axe des temps	Entrez les unités qui seront utilisées dans l'axe des abscisses du profil (temps ou date).
Profil de demande – kW	Dans cette colonne, entrez les valeurs des données en kW enregistrées pour chaque intervalle de temps – assurez-vous que la première période de temps correspond au premier élément des données.

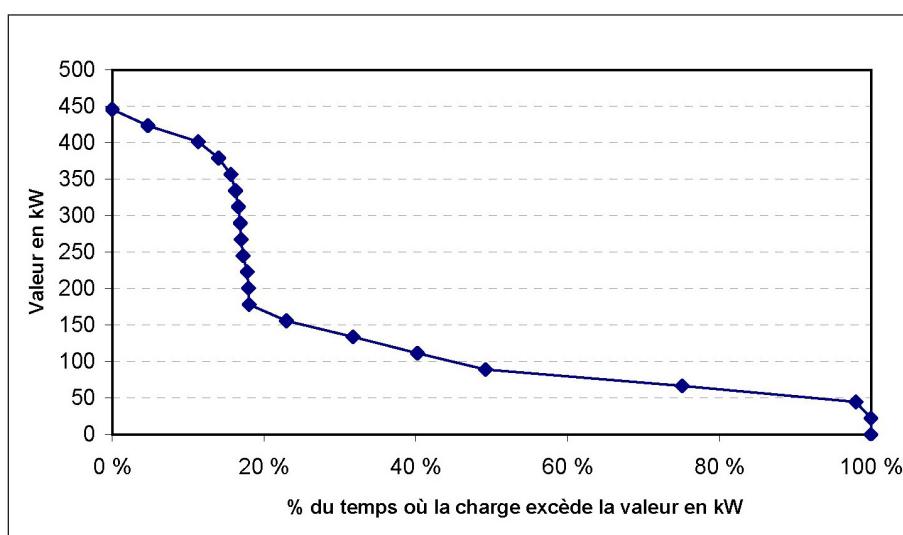
6.7.2 | Profil

La fiche renferme un graphique pleine grandeur du profil de demande, qui est lié à la série de données principales. Celui-ci n'est pas protégé et son format peut être modifié afin de servir aux fins d'autres rapports. Le graphique peut donc être copié et collé (Modifier/Collage spécial/Image) dans tout autre document, comme on l'illustre ci-dessous.



6.7.3 | Durée de la charge

La fiche sur la durée de la charge renferme un graphique pleine grandeur de la courbe de durée de la charge, qui est lié à la série de données principales. Celui-ci n'est pas protégé et son format peut être modifié afin de servir aux fins d'autres rapports. Le graphique peut donc être copié et collé (Modifier/Collage spécial/Image) dans tout autre document, comme on l'illustre ci-dessous.



6.8 Inventaire des charges

La feuille de calcul « Inventaire des charges » permet de répartir les charges en cinq catégories, de donner un aperçu de l'inspection pour chaque catégorie avec des zones de saisie appropriées et de mettre en tableau et en diagramme à secteurs la ventilation de la demande et de la consommation d'énergie pour les charges répertoriées. Les charges totales relevées sont comparées avec les valeurs mensuelles de demande et de consommation d'énergie obtenues des factures du service public. [Inventaire des charges.xls](#)

6.8.1 | Sommaire

La présente fiche établit les catégories des charges et fournit un sommaire graphique et tabulaire de la demande et de la consommation d'énergie par catégorie.

Inventaire des charges															
Pour : Installation de fabrication ABC															
n°	Description des groupes de charges	Demande de crête (kW)	%	Consommation d'énergie (kWh)	%										
1	Moteurs	28	60 %	47 247	74 %										
2	Éclairage	4	9 %	5 640	9 %										
3	Chauffage	5	10 %	6 000	9 %										
4	Procédés	9	19 %	4 000	6 %										
5	Autres charges	1	2 %	920	1 %										
Total pour l'installation		47	100 %	63 807	100 %										
Factures mensuelles du service public		55	kW	12 000	kWh										
Différence entre l'inventaire des charges et les factures		-8	-15 %	51 807	432 %										
<p>Ventilation de la demande</p> <table border="1"> <tr> <td>Moteurs</td> <td>60 %</td> </tr> <tr> <td>Chauffage</td> <td>10 %</td> </tr> <tr> <td>Éclairage</td> <td>9 %</td> </tr> <tr> <td>Procédés</td> <td>19 %</td> </tr> <tr> <td>Autres charges</td> <td>2 %</td> </tr> </table>						Moteurs	60 %	Chauffage	10 %	Éclairage	9 %	Procédés	19 %	Autres charges	2 %
Moteurs	60 %														
Chauffage	10 %														
Éclairage	9 %														
Procédés	19 %														
Autres charges	2 %														
<p>Ventilation de la demande d'énergie mensuelle</p> <table border="1"> <tr> <td>Moteurs</td> <td>74 %</td> </tr> <tr> <td>Chauffage</td> <td>9 %</td> </tr> <tr> <td>Éclairage</td> <td>9 %</td> </tr> <tr> <td>Procédés</td> <td>6 %</td> </tr> <tr> <td>Autres charges</td> <td>1 %</td> </tr> </table>						Moteurs	74 %	Chauffage	9 %	Éclairage	9 %	Procédés	6 %	Autres charges	1 %
Moteurs	74 %														
Chauffage	9 %														
Éclairage	9 %														
Procédés	6 %														
Autres charges	1 %														

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives au sommaire
Endroit	Décrivez l'endroit où a été pris l'inventaire des charges.
Description du groupe de charges	Entrez un autre nom pour chacune des cinq catégories. Même si le nom sur les graphiques et au haut de chacune des fiches d'inventaire des charges sera modifié en conséquence, l'onglet au bas de la feuille de calcul conserve les noms originaux. Un lien permanent avec la fiche d'inventaire des charges appropriée existe pour chaque nom de catégorie.
Factures mensuelles du service public Demande de crête (kW)	Entrez la valeur de la demande de crête en kW tirée d'une facture type ou choisie du service public avec laquelle vous souhaitez comparer l'inventaire des charges.
Factures mensuelles du service public Consommation d'énergie en kWh	Entrez la valeur de la consommation d'énergie totale en kWh tirée d'une facture type ou choisie du service public avec laquelle vous souhaitez comparer l'inventaire des charges.

6.8.2 | Moteurs

La présente fiche permet de répertorier les charges des moteurs avec les données sur la puissance, les charges et le rendement pour calculer les valeurs en kW. Ces valeurs pourraient également être mesurées et saisies dans une autre fiche avec les kW comme unité. Les calculs sont définis dans la section « Inventaire de la consommation d'énergie » du guide de la vérification.

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives à l'analyse du profil
Description du moteur	Entrez la description du moteur.
Quantité	Entrez la quantité de ce type de moteur.
Puissance du moteur (HP)	Entrez la puissance nominale (HP) du moteur.
Charge du moteur	Entrez la charge mécanique (pourcentage de la puissance nominale) du moteur.
Rendement du moteur	Entrez le rendement nominal à la charge spécifiée du moteur.
Heures/mois	Entrez le nombre d'heures de fonctionnement par mois du moteur.
Facteur de diversité	Entrez le facteur de diversité – le facteur représentant la fraction de la charge totale du moteur qui est enregistrée par le compteur de demande de crête.

Inventaires des charges des moteurs									Voir sommaire	
Pour l'installation de fabrication ABC										
Sous-totaux pour les moteurs									47 247 kWh	28 kW (crête)
Description des moteurs	Quant.	Puissance	Moteur Charge	Rendement	Unité (kW)	Total (kW)	Heures/mois	Total (kWh)	Facteur de diversité	Demande de crête (kW)
Ventilateurs - système 1	1	75	100 %	90 %	62,2	62,2	760	47 247	0,45	28,0

6.8.3 | Éclairage, charges de procédé, charges de chauffage et autres charges

Les quatre autres fiches (Éclairage, Charges de procédé, Charges de chauffage, Autres charges) répertorient les charges en kW, lesquelles peuvent être estimées, mesurées ou nominales.

Inventaires des charges de l'éclairage	Voir sommaire
Pour l'installation de fabrication ABC	
Sous-total	Inventaires des charges de chauffage
Pour l'installation de fabrication ABC	Voir sommaire
De Sous-total	Inventaires des charges de procédé
Aire de b Eclairage	Pour l'installation de fabrication ABC
Descr	Inventaires des autres charges
Salle des Humidific	Pour l'installation de fabrication ABC
Descr	Sous-total pour le procédé
Four Éléments	92 kWh 1 kW (crête)
	Description de la charge Quant. Unité (kW) Total (kW) Heures /mois Total (kWh) Facteur de diversité Demande de crête (kW)
	Toilette des hommes 2 2,3 4,6 20 92 0,20 0,9
	Séchoirs à cheveux

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives aux charges d'éclairage, de procédé, de chauffage et autres
Description de la charge	Décrivez la charge particulière.
Quantité	Entrez la quantité de la charge.
Unités en kW	Entrez la valeur de la charge nominale estimée ou mesurée en kW.
Heures/mois	Entrez le nombre d'heures par mois de l'application de la charge.
Facteur de diversité	Entrez le facteur de diversité – le facteur représentant la fraction de la charge totale qui est enregistrée par le compteur de demande de crête.

6.9 Systèmes à combustion

La présente feuille de calcul permet de mettre en tableau les systèmes à combustion. Elle permet d'évaluer la combustion et, s'il y a lieu, le rendement de la chaudière pour ces appareils. [Systèmes à combustion.xls](#)

6.9.1 | Sommaire

La fiche sur le sommaire présente un sommaire sur la consommation d'énergie des divers systèmes décrits à la fiche qui suit.

Sommaire des systèmes à combustion				
Équipement	Type de combustible	Estimation de la consommation d'énergie	Unités	Apport énergétique (GJ)
Chaudière principale	Gaz naturel	600 000	m ³	22 560 000
Chauffe-eau	Gaz naturel	50 000	m ³	1 880 000
Four à traitement thermique	Gaz naturel	1 000 000	m ³	37 600 000
Total		3 systèmes à combustion		62 040 000

Consommation d'énergie des systèmes à combustion

Four à traitement thermique	61 %
Chaudière principale	36 %
Chauffe-eau	3 %

6.9.2 | Renseignements détaillés sur les systèmes à combustion

Dans la présente fiche, on énumère chaque système à combustion et on entre des renseignements sur la consommation d'énergie, le type de source d'énergie utilisée, les conditions de la combustion et autres données opérationnelles pertinentes. À l'aide de ces renseignements, on effectue une estimation préliminaire du rendement de combustion du dispositif et, s'il y a lieu, du rendement global de la chaudière.

Systèmes à combustion								Pour les chaudières				
Équipement	Type de combustible	Consommation d'énergie estimative	Unités	Température de l'air de combustion (°C)	Température des gaz de combustion (°C)	Gaz de combustion (CO ₂)	Rendement de combustion	Cycle de fonctionnement	Pertes d'utilisation	Pertes de purge estimatives	Autres pertes	Rendement global estimatif
Chaudière principale	Gaz naturel	600 000	m ³	20	240	10 %	81 %	30	11 %	1 %	1 %	67 %
Chauffe-eau	Gaz naturel	50 000	m ³	20	500	6 %	59 %	7	10 %	1 %	1 %	47 %
Four à traitement thermique	Gaz naturel	1 000 000	m ³	20	700	9 %	60 %					60 %

Le rendement de combustion est déterminé à l'aide de la formule de Seigert :

$$\text{Rendement (\%)} = 100 - \left(\frac{K \times \Delta T}{\% \text{ CO}_2} \right) + C$$

Type de combustible	K	C	unités	MJ/unité
Mazout n° 2	0,56	6,5	litres	38,7
Charbon	0,63	5	tonnes	30,0
Gaz naturel	0,38	11	m ³	37,6

Les pertes d'utilisation sont calculées à l'aide du facteur du rendement :

Réduction du rendement pour l'utilisation de la chaudière = 0,00005 × CF₂ + 0,0007 CF + 0,8272 où CF = cycle de fonctionnement

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives aux systèmes à combustion
Équipement	Décrivez l'équipement à combustion.
Type de combustible	Sélectionnez un type de combustible dans la liste déroulante.
Consommation estimative de combustible	Entrez une estimation de la consommation totale de combustible pour l'équipement.
Température de l'air de combustion	Entrez la température mesurée (en °C) de l'air de combustion.
Température des gaz de combustion	Entrez la température mesurée (en °C) des gaz de combustion.
Gaz de combustion (CO ₂)	Entrez le pourcentage mesuré de CO ₂ dans les gaz de combustion.
Cycle de fonctionnement	Entrez le cycle de fonctionnement estimatif pour la chaudière. Il peut s'agir d'une valeur moyenne pour la saison de chauffage déterminée en divisant la consommation de combustible réelle par le produit du taux de combustion nominal x 8 760 heures.
Pertes de purge estimatives	Si elles sont connues, inscrivez les pertes de purge en pourcentage de l'apport énergétique total; si elles ne sont pas connues, entrez la valeur implicite de 3 p. 100.
Type de combustible (Liste)	Sélectionnez dans la liste déroulante le nom du combustible.
K	Une constante représentant la composition du combustible.
C	Une constante représentant la composition du combustible.
Unités	Les unités de mesure du combustible.
MJ/unité	La teneur énergétique du combustible.

6.10 Inventaire de la consommation d'énergie thermique

La présente feuille de calcul fournit divers calculateurs pouvant servir à déterminer l'ampleur du débit énergétique ou de la consommation dans certaines situations courantes. [Inventaire de la consommation d'énergie thermique.xls](#)

6.10.1 | Débit d'air – Chaleur sensible

La présente fiche permet d'évaluer le débit de chaleur sensible d'un flux d'air chauffé ou refroidi entre deux températures.

Débit d'air – Chaleur sensible							Menu
Description	Débit d'air (litres/s)	T _{élévée} (°C)	T _{bassee} (°C)	Débit de chaleur (kW)	Heures mensuelles	Consommation d'énergie mensuelle (GJ)	
Evacuation principale de l'usine	18 000	20	5	332.6	732	243 492	876.6
				-	-	-	-
				-	-	-	-

On présume dans les calculs une humidité relative de 50 p. 100 et une température de 21 °C.
Pour d'autres conditions, les constantes doivent être ajustées : 1,232 J·litre⁻¹C⁻¹

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives au débit d'air – Chaleur sensible
Description	Décrivez la situation.
Débit d'air	Entrez le taux du débit d'air en litres par seconde (1 L/s = 2,12 p ³ /min)
T _{élévée}	Entrez la température du côté chaud.
T _{basse}	Entrez la température du côté froid.
Période de temps	Entrez la période de temps pour le calcul.
Heures	Entrez les heures pendant lesquelles la différence de température est maintenue.
Constante	Une constante intégrant la densité et la chaleur massique de l'air.

6.10.2 | Débit d'air – Chaleur latente

La présente fiche permet d'évaluer le débit de chaleur latente dans un flux d'air chauffé ou refroidi et humidifié ou déshumidifié entre deux températures et taux d'humidité relative. On a recours dans la fiche à une fonction mathématique pour calculer les propriétés psychrométriques de l'air humide.

Débit d'air – Chaleur latente										Menu	
Description	Débit d'air (litres/s)	T _{élévée} (°C)	HR _{élévée} (%)	T _{basse} (°C)	HR _{basse} (%)	H _{élévée} (g/kg)	H _{basse} (g/kg)	Débit de chaleur (kW)	Heures mensuelles	Consommation d'énergie mensuelle (kWh)	(GJ)
Évacuation du sécheur	2 000	40	90 %	20	50 %	43,8	7,3	219,8	732	160 920	579,3
								-	-	-	-
								-	-	-	-
								-	-	-	-
								-	-	-	-
								-	-	-	-

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives au débit d'air – Chaleur latente
Description	Décrivez la situation.
Débit d'air	Entrez le débit de circulation d'air en litres par seconde (1 L/s = 2,12 p ³ /min)
T _{élévée}	Entrez la température du côté chaud.
HR _{élévée}	Entrez l'humidité relative du côté chaud.
T _{basse}	Entrez la température du côté froid.
HR _{basse}	Entrez l'humidité relative du côté froid.
Période de temps	Entrez la période de temps pour le calcul.
Heures	Entrez les heures pendant lesquelles la différence de température est maintenue.
Constante	Une constante intégrant la chaleur massique de l'eau.
Pression atmosphérique ambiante	Entrez la pression atmosphérique dominante pour le calcul exact des propriétés psychrométriques de l'air humide.

6.10.3 | Fluide chaud ou froid

La présente fiche permet d'estimer la chaleur requise pour chauffer ou refroidir un fluide entre deux températures.

Fluide chaud ou froid								Menu
Description	Débit (kg/s)	Capacité calorifique (kJ/kg °C)	T _{élévée} (°C)	T _{bas} (°C)	Débit de chaleur (kW)	Heures mensuelles	Consommation d'énergie mensuelle (kWh)	Consommation d'énergie mensuelle (GJ)
Refroidissement du réacteur chimique	0,350	4,200	40	10	44,10	732	32 281	116,2

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives aux fluides chauds ou froids
Description	Décrivez la situation.
Débit	Entrez le débit de circulation d'air en kg par seconde.
Capacité calorifique	Entrez la capacité calorifique du fluide (utilisez 4,2 kJ/kg °C pour l'eau)
T _{élévée}	Entrez la température du côté chaud.
T _{bas}	Entrez la température du côté froid.
Période de temps	Entrez la période de temps pour le calcul.
Heures	Entrez les heures pendant lesquelles la différence de température est maintenue.

6.10.4 | Débit, fuites et coûts de la vapeur

La présente fiche permet d'évaluer l'énergie liée au débit, aux fuites ou au panache de la vapeur saturée à une pression donnée et pendant une période donnée. Elle permet également de calculer le coût de la vapeur par 1 000 kg ou 1 000 lb selon un ensemble de conditions données.

Débit, fuites et coûts de la vapeur								Menu		
Description	Type de débit de vapeur	Spécificateur de dimension	Pression manométrique de la vapeur (kPa)	Débit de la vapeur (kg/h)	Enthalpie de la vapeur (kJ/kg)	Débit de chaleur (kW)	Heures mensuelles	Consommation d'énergie mensuelle (kWh) (GJ)		
Petit sécheur dans l'usine B	Panache	Longueur (mm x 100)	20	520	105,6	2 758	81	732	59 245	213,3

Évaluation du coût de la vapeur saturée

Coût différentiel du combustible	0,25 \$	l'unité
Teneur énergétique	37,60	MJ l'unité
Rendement de la chaudière	76 %	
Pression manométrique de la vapeur saturée	700,0	kPa
Enthalpie de la vapeur (vapeur et eau)	2 769	kJ/kg
Coût par 1 000 kg	24,23 \$	/1 000 kg
Coût par 1 000 lb	11,01 \$	/1 000 lb

Remarque : Les valeurs d'enthalpie de la vapeur sont calculées pour la vapeur saturée à l'aide d'une approximation d'une précision de +/- 1 %.

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives au débit, aux fuites et aux coûts de la vapeur
Description	Décrivez la situation.
Type de débit de vapeur	Sélectionnez le type de situation où il y a débit de vapeur. Chaque situation a sa propre méthode de calcul du débit.
Taille	Pour chaque situation, entrez les dimensions appropriées : Débit – entrez le débit. Fuites – entrez une estimation du diamètre (en mm) des fuites. Panache – entrez la longueur du panache de vapeurs en mm. (Le panache, aire adjacente à une évacuation invisible de vapeur, indique la présence de vapeur à la place des gouttelettes d'eau visibles ou de la brume.)
Pression de vapeur saturée	Entrez la pression de vapeur en kPa. La fiche renferme des calculs mathématiques permettant d'obtenir une estimation de la teneur en chaleur (enthalpie) de la vapeur. Ces calculs utilisent la vapeur saturée et la teneur en chaleur comme enthalpie totale de l'eau et de la vapeur.
Période de temps	Entrez la période de temps pour le calcul.
Heures	Entrez les heures pendant lesquelles la différence de température est maintenue.
Coût différentiel du combustible	Entrez le coût différentiel du combustible thermique.
Teneur énergétique	Entrez la teneur énergétique du combustible.
Rendement de la chaudière	Entrez le rendement global de la chaudière, du combustible à la vapeur.
Pression de vapeur saturée	Entrez la pression de vapeur produite par la chaudière.

6.10.5 | Réfrigération

La présente fiche permet d'évaluer le débit de chaleur lié à la chaleur rejetée par un appareil de réfrigération fonctionnant à un coefficient de performance (CP), à une puissance d'entrée et à des heures de fonctionnement donnés.

Réfrigération						Menu
Description	Puissance d'entrée (kW)	CP	Débit de chaleur (kW)	Heures mensuelles	Consommation d'énergie mensuelle (kWh)	Consommation d'énergie mensuelle (GJ)
Dispositif de refroidissement de la machine de moulage	100	3,20	320	732	234 240	843,3

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives à la réfrigération
Description	Décrivez la situation.
Puissance d'entrée	Entrez la puissance d'entrée du compresseur (mesurée ou évaluée) en kW.
CP	Entrez le CP estimatif pour l'appareil.
Période de temps	Entrez la période de temps pour le calcul.
Heures	Entrez les heures pendant lesquelles la différence de température est maintenue.

6.10.6 | Conduction

La présente fiche permet d'évaluer le débit de chaleur lié à la conduction de chaleur dans un matériau d'une conductance connue, entre deux températures.

Conduction							Menu	
Description	Superficie (m ²)	Conductance (W/m ² °C)	T _{élévée} (°C)	T _{basse} (°C)	Débit de chaleur (kW)	Heures mensuelles	Consommation d'énergie mensuelle (kWh)	(GJ)
Toit de l'entrepôt	100	0,900	20	5	1,35	732	988	3,6
						-	-	-
						-	-	-
						-	-	-

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives à la conduction
Description	Décrivez la situation.
Superficie	Entrez la superficie du matériau dans lequel la chaleur est transférée.
Conductance	Entrez la conductance du matériau (déterminée à l'aide des tableaux de produits).
T _{élévée}	Entrez la température du côté chaud.
T _{basse}	Entrez la température du côté froid.
Période de temps	Entrez la période de temps pour le calcul.
Heures	Entrez les heures pendant lesquelles la différence de température est maintenue.

6.11 Enveloppe

La présente feuille de calcul permet de calculer facilement les pertes de chaleur du bâtiment. Les pertes de chaleur par l'enveloppe sont calculées en fonction des pertes de chaleur des éléments du bâtiment, notamment :

- ✓ la conduction par les murs, le toit, les portes, les fenêtres et les dalles sur terre-plein;
- ✓ les pertes de chaleur sensible attribuables à la ventilation, à l'évacuation et à l'infiltration.

Les pertes de chaleur annuelles sont évaluées en fonction de la température extérieure mensuelle moyenne et des horaires des températures intérieures afin d'obtenir la différence de température annuelle totale au fil du temps, exprimée en degrés-heures.

Signalons à l'utilisateur qu'il s'agit d'une méthode très simple permettant d'obtenir une première estimation des besoins en énergie de chauffage. [Enveloppe.xls](#)

Calcul simple des pertes de chaleur d'un bâtiment												
Enveloppe du bâtiment												
Murs	Longueur (m)	Hauteur (m)	Dalles (W/m ² °C)	Coefficient K (W/m ² °C)	N ^{bre} de fenêtres	1.	2.	3.	4.	5.	N ^{bre} de portes	
1. Murs principaux	180	6	0,1	0,6	30	8					2.	4
2. Murs du gym.	120	10	0,3	0,9							3.	
3.												
4.												
5.												
Toits	Longueur (m)	Largeur (m)	S.O.	Coefficient K (W/m ² °C)	1.	2.	3.	4.	5.			
1. Toit principal	50	40	s.o.	0,6				1				
2. Toit du gym.	30	30	s.o.	1								
3.			s.o.									
Fenêtres	Longueur (m)	Largeur (m)	Infiltration (L/s par m)	Coefficient K (W/m ² °C)								
1. Grande fenêtre - triple vitrage	1	1	2	3,3								
2. Petite fenêtre - triple vitrage	0,3	1	2	3,3								
3.												
4.												
5.												
Portes	Longueur (m)	Largeur (m)	Infiltration (L/s par m)	Coefficient K (W/m ² °C)								
1. Portes d'acier	1	2,5	5	2,5								
2. Portes de verre	1	2,5	5	4,5								
3. Portes basculantes	3	3	10	2,5								
Pertes de chaleur par les dalles	W/m ² °C			Infiltration	L/s par m							
1. Aucune				Faible	2							
2. Isolées	0,1			Moyenne	10							
3. Non isolées	0,3			Élevée	20							
Ventilation												
Aire/système	N ^{bre} de personnes	L/s par personne	Système (L/s)	AE moyen (%)	Débit d'air extérieur	État						
1. Classes et bureaux	120	15			1 800	Marche	Point de consigne					
2. Gymn.			3 500	100 %	3 500	Marche	Point de consigne					
3. Cuisine			500	100 %	500	Marche	Point de consigne					
Horaires et températures												
Températures	Point de consigne	Autre	24 h - 7 jours									
Occupation	20 °C	15 °C	17 °C	20 °C								
Inoccupation	24	24	24	24								
Dimanche	9	15	24	24								
Lundi	9	15	24	24								
Mardi	9	15	24	24								
Mercredi	9	15	24	24								
Jeudi	9	15	24	24								
Vendredi	9	15	24	24								
Samedi	9	15	24	24								
Heures mensuelles	196	534	730	730								
Temp. moyenne	16,3 °C	17 °C	20 °C									
Diff. de temp. X heures	54 109,4 °C	57 968,4 °C	75 490,3 °C									
Rendement de l'installation de chauffage												
Type de combustible	Gaz naturel	Gains de chaleur interne	240 000 kWh/an									
Rendement de combustion	85 %											
Autres pertes	7 %											
Rendement saisonnier de l'installation	78 %											
Consommation d'énergie annuelle												
Composant	kWh/an	GJ/an	Consommation de combustible									
Murs	Perfes	Moins GCI	345									
Toits			488									
Fenêtres			90									
Portes			110									
Ventilation			1 189									
Consommation d'énergie totale du bâtiment	721 465	481 465	2 222									

6.11.1 | Pertes de chaleur

La présente fiche sert à consigner les caractéristiques du bâtiment et à calculer les pertes de chaleur.

Nom de la zone de saisie		Zones sur les données relatives aux pertes de chaleur									
Mur		Entrez une description de chaque mur.									
Longueur et hauteur des murs		Entrez la longueur et la hauteur (en mètres) de chaque mur.									
Dalle pour le mur		Si le mur est sur dalles sur terre-plein, choisissez une valeur dans la liste déroulante sur les pertes de chaleur moyenne pour les dalles sur terre-plein. Autrement, entrez la valeur zéro. Modifiez le tableau dans le coin supérieur droit de la fiche pour les valeurs standard. Autrement, entrez la valeur zéro.									
Coefficient K des murs		Entrez une valeur de conductance en watts/m ² °C pour le mur.									
Nombre de fenêtres dans les murs (jusqu'à cinq types par mur)		Entrez le nombre de fenêtres de chaque type par mur.									
Nombre de portes dans le mur (jusqu'à 4 par mur)		Entrez le nombre de portes de chaque type par mur.									
Horaire pour les murs		Sélectionnez l'horaire applicable au mur parmi les trois horaires définis de temps de fonctionnement et de température (consigne, autre, 24 h/7 j).									
Toit		Entrez une description de chaque toit.									
Longueur/largeur du toit		Entrez la longueur et la largeur (en mètres) de chaque toit.									
Coefficient K du toit		Entrez la conductance (en watts/m ² °C) du toit.									

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives aux pertes de chaleur
Nombre de fenêtres dans le toit (jusqu'à 5 par toit)	Entrez le nombre de fenêtres de chaque type dans le toit.
Horaire du toit	Sélectionnez l'horaire applicable au toit parmi les trois horaires définis de temps de fonctionnement et de température (consigne, autre, 24 h/7 j).
Fenêtres	Entrez une description de chaque fenêtre.
Longueur/largeur des fenêtres	Entrez la longueur et la largeur (en mètres) de chaque fenêtre.
Infiltration par les fenêtres	Sélectionnez une valeur de taux d'infiltration dans la liste déroulante qui est applicable à la fenêtre. Il s'agit du taux d'infiltration par pied linéaire de périmètre. Autrement, entrez la valeur zéro. Modifiez la liste dans le coin supérieur droit de la fiche pour obtenir des valeurs standard. Autrement, entrez la valeur zéro.
Coefficient K des fenêtres	Entrez la conductance (en watts/m ² °C) de la fenêtre.
Porte	Entrez une description de chaque porte.
Longueur/largeur des portes	Entrez la longueur et la largeur (en mètres) de chaque porte.
Infiltration par les portes	Sélectionnez une valeur de taux d'infiltration dans la liste déroulante qui est applicable à la porte. Il s'agit du taux d'infiltration par pied linéaire de périmètre. Autrement, entrez la valeur zéro. Modifiez la liste dans le coin supérieur droit de la fiche pour obtenir des valeurs standard. Autrement, entrez la valeur zéro.
Coefficient K des portes	Entrez la conductance (en watts/m ² °C) de la porte.
Tableau des pertes de chaleur par les dalles	Ce tableau renferme des valeurs standard des pertes de chaleur par les dalles par longueur linéaire du périmètre des murs. Ces valeurs peuvent être sélectionnées pour chaque mur dans les listes déroulantes fournies.
Tableau sur l'infiltration	Ce tableau renferme les valeurs standard des taux d'infiltration par longueur linéaire du périmètre des portes et fenêtres. Ces valeurs peuvent être sélectionnées pour chaque porte et fenêtre dans les listes déroulantes fournies.
Aire/système de ventilation	Entrez une description de chaque système de ventilation et d'évacuation.
N ^{bre} de personnes	Le débit de l'air extérieur pour chaque système est calculé comme le nombre maximal de personnes multiplié par la ventilation requise par personne ou la capacité des systèmes multipliée par le pourcentage d'air extérieur (% AE). Entrez dans cette zone le nombre de personnes.
L/s par personne	Entrez la quantité requise d'air extérieur par personne.
Système L/s	Entrez la capacité de débit du système.
AE moyen (%)	Entrez un pourcentage d'air extérieur (habituellement le pourcentage minimal d'air extérieur).
Horaire	Sélectionnez l'horaire applicable au système de ventilation parmi les trois horaires définis de temps de fonctionnement et de température (consigne, autre, 24 h/7 j).
Période occupée (8 zones)	Entrez une température pour la période et les heures d'occupation par jour pour chaque jour de la semaine.
Période inoccupée	Entrez une température pour la période inoccupée.
Température – Autre	Entrez une température pour l'autre horaire.
Température 24 h/7 j	Entrez une température pour l'horaire 24 h/7 j.
Type du combustible	Sélectionnez dans la liste déroulante le type de combustible utilisé par le système de chauffage.
Rendement de combustion	Entrez le rendement de combustion mesuré, si ce dernier est disponible.

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives aux pertes de chaleur
Autres pertes	Entrez les autres pertes contribuant au rendement global de l'installation de chauffage.
Gains de chaleur interne	Il y a souvent des gains considérables de chaleur interne dans les locaux chauffés en raison de la chaleur dégagée par les humains et les appareils électriques. Estimez, par le truchement d'un inventaire par exemple, les gains de chaleur qui diminueront les besoins en chaleur de l'installation de chauffage.

6.11.2 | Conditions météorologiques

La présente fiche permet à l'utilisateur de consigner les températures mensuelles moyennes et d'indiquer si le système de chauffage a été utilisé au cours du mois en question. Une différence de température globale – une valeur de temps en degrés-heures – est ensuite calculée aux fins d'utilisation à la page précédente. La différence de température repose sur la température moyenne de fonctionnement de l'horaire et la température extérieure moyenne.

Données sur les conditions météorologiques

Endroit : Vancouver						
Mois	Température mensuelle moyenne	Jours	Système de chauffage M/A	Température moyenne pour l'horaire		
				Point de consigne moyen 16,3 °C	Autre 17,0 °C	24 h 7 j 20,0 °C
Janvier	3,0 °C	31	Marche	13,3 °C	14,0 °C	17,0 °C
Février	4,7 °C	28	Marche	11,6 °C	12,3 °C	15,3 °C
Mars	6,3 °C	31	Marche	10,0 °C	10,7 °C	13,7 °C
Avril	8,8 °C	30	Marche	7,5 °C	8,2 °C	11,2 °C
Mai	12,1 °C	31	Arrêt	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C
Juin	15,2 °C	30	Arrêt	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C
Juillet	17,2 °C	31	Arrêt	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C
Août	17,4 °C	31	Arrêt	0,0 °C	0,0 °C	0,0 °C
Septembre	14,3 °C	30	Marche	2,0 °C	2,7 °C	5,7 °C
Octobre	10,0 °C	31	Marche	6,3 °C	7,0 °C	10,0 °C
Novembre	6,0 °C	30	Marche	10,3 °C	11,0 °C	14,0 °C
Décembre	3,5 °C	31	Marche	12,8 °C	13,5 °C	16,5 °C
	365			54 109,4 °C	57 968,4 °C	75 490,3 °C

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives aux conditions météorologiques
Endroit	Décrivez l'endroit où est située la station météorologique.
Température mensuelle moyenne	Entrez la température mensuelle moyenne pour chacun des 12 mois. Ces données peuvent être obtenues d'une source sur les conditions météorologiques, notamment Environnement Canada. Utilisez les moyennes à long terme pour les données types.
Utilisation du système de chauffage M/A	Indiquez les mois au cours desquels le système de chauffage fonctionnait.

6.11.3 | Calculs des pertes de chaleur

La fiche sur les calculs des pertes de chaleur décrit en détail la façon de calculer et d'arriver à ces résultats. Ces calculs sont fournis pour les utilisateurs avertis qui souhaitent améliorer ou modifier les calculs.

6.12 Évaluation des avantages

La présente feuille de calcul est un modèle permettant d'évaluer les économies d'énergie électrique et d'énergie thermique ainsi que la réduction des gaz à effet de serre (GES). Elle permet également de procéder à une analyse économique de base.

[Évaluation des avantages.xls](#)

6.12.1 | Économies d'énergie

Analyse des économies de coûts réalisées grâce aux possibilités de gestion de l'énergie		
N° 1	Contrôle du compresseur et récupération de la chaleur	
État actuel		
À l'heure actuelle, trois compresseurs d'air autonomes de 50 HP fournissent de l'air à l'usine principale et aux aires de procédé. Ces compresseurs sont utilisés avec des commandes individuelles avec réglage de pression en cascade. Au cours de la vérification, on a constaté que deux compresseurs fonctionnaient souvent alors qu'un seul appareil aurait pu répondre à la demande en air. Le troisième appareil sert de système d'appoint. La chaleur des compresseurs à refroidissement par air est actuellement évacuée de la chambre des compresseurs à longueur d'année.		
État proposé		
On propose d'installer un contrôleur de mise en séquence pour activer les trois compresseurs en fonction de la demande en air, laquelle est indiquée par un capteur de pression dans la conduite d'air de l'usine. Cette solution permettrait de faire fonctionner un seul compresseur à pleine charge. Le deuxième compresseur fonctionnera seulement pendant les périodes de demande de crête en air, lesquelles devraient se produire moins de 10 p. 100 du temps. Ensuite, l'installation d'un simple réseau de tuyaux et de registres permettra d'acheminer dans l'usine la chaleur de l'air de refroidissement du compresseur au cours de la saison de chauffage ou de l'évacuer à l'extérieur au cours des périodes de non-chauffage.		
Économies prévues d'énergie et de coûts		
Électricité		
Réduction de l'utilisation du deuxième compresseur à une charge mesurée de 30 kW pendant 5 000 heures par an		
Réduction de la demande	kW	
Économies d'énergie	150 000 kWh	(30 kW pour 5 000 heures/an)
Coût différentiel de l'énergie électrique	0,07 \$ /kWh	
Coût différentiel de la demande électrique	8,20 \$ /kW	
Réduction annuelle des coûts d'électricité	10 500 \$/an	
Facteur de GES pour l'électricité ... en :	Ontario	0,276 éq kg CO ₂ par kWh
Réduction des gaz à effet de serre		41 400 éq kg CO ₂
Gaz naturel		
La chaleur résiduelle du compresseur contribuera à au moins 40 kW au chauffage de l'espace pendant six mois de chauffage par an.		
Réduction de la charge de chauffage	176 000 kWh	(40 kW pendant 4 400 heures/an)
Rendement du système de chauffage	75 %	
Réduction en énergie du combustible	234 667 kWh	
Type de combustible (unité)	gaz naturel m ³	
Teneur énergétique du gaz naturel	10,6 kWh/m ³	
Coût différentiel du gaz naturel	0,25 /m ³	
Économies	22 081 m ³	
Économies annuelles en coûts du gaz naturel	5 520 \$/an	
Facteur démissions de GES du gaz naturel	1,9 éq kg CO ₂ par m ³	
Réduction des gaz à effet de serre	41 953 \$ éq kg CO ₂	
Économies totales de coûts	16 020 \$/an	
Réduction totale des GES	83 353 éq kg CO ₂ par an	

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives aux économies d'énergie
Titre	Entrez un titre pour la possibilité.
État actuel	Entrez une description de l'état actuel et les hypothèses.
État proposé	Entrez une description de l'état proposé et les hypothèses.
Réduction de la demande	Entrez la réduction de la demande prévue (en kW) attribuable à la possibilité de gestion de l'énergie. Il s'agit de la réduction prévue des kW de crête enregistrés par le compteur de demande.
Économies d'énergie ↳ kW	Entrez la valeur en kW qui sera utilisée pour le calcul des économies d'énergie. Cette valeur n'est pas nécessairement la même que celle de la réduction de la demande.
Économies d'énergie ↳ heures	Entrez les heures à utiliser pour le calcul des économies d'énergie.
Coût différentiel de l'énergie électrique	Entrez le coût différentiel de l'électricité – le coût des prochains kW économisés – déterminé à l'aide d'une analyse du prix de l'électricité.
Coût différentiel de la demande électrique	Entrez le coût différentiel de la demande – le coût des prochains kW économisés – déterminé à l'aide d'une analyse du prix de l'électricité.
Facteur d'émissions de GES pour l'électricité	Sélectionnez la province dans laquelle les économies d'électricité sont réalisées afin de choisir le facteur de gaz à effet de serre adéquat, comme on le définit sur la fiche portant sur le facteur des gaz à effet de serre.
Réduction de la charge de chauffage ↳ kW	Entrez la réduction de la charge de chauffage attribuable à la possibilité de gestion de l'énergie. Il peut s'agir d'une valeur moyenne du débit de chaleur (exprimée en kW), mais pas nécessairement d'une valeur électrique.
Réduction de la charge de chauffage ↳ heures	Entrez le nombre d'heures applicables à la réduction de la charge de chauffage.
Rendement du système de chauffage	Entrez le rendement global de la chaudière ou de l'installation de chauffage.
Type de combustible	Choisissez le type de combustible dans la liste déroulante de la fiche sur le facteur des gaz à effet de serre.
Coût différentiel du combustible	Entrez le coût différentiel du combustible de chauffage applicable.

6.13 Scénarios financiers de base, pessimiste et optimiste

Les fiches suivantes représentent une analyse des coûts du cycle de vie de base pour une possibilité de gestion de l'énergie. Les indicateurs de la valeur actualisée nette (VAN) et du taux de rendement interne (TRI) sont calculés.

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives aux scénarios financiers de base, pessimiste et optimiste
Description des coûts pour la période (7 zones)	Modifiez ou entrez une description pour chaque coût à prendre en compte. Les saisies sont facultatives.
Coûts pour la période (zones pour 7 coûts pendant 10 ans)	Pour chaque catégorie de coûts, entrez les coûts annuels, s'il y a lieu; le chiffre zéro ou un espace vide représentent la valeur zéro. Les coûts peuvent être actualisés année après année en utilisant la formule ci-dessous pour la deuxième à la dixième année et une valeur de base pour la première année : Coûts de l'année précédente $\times (1 + e/100)$; où e = indice d'actualisation en pourcentage.
Description des économies pour la période (8 zones)	Modifiez ou entrez une description pour chaque économie à prendre en compte. Les saisies sont facultatives.
Économies pour la période (zones pour 8 coûts pendant 10 ans)	Pour chaque catégorie d'économies, entrez les économies annuelles réalisées, s'il y a lieu; le chiffre zéro ou un espace vide représentent la valeur zéro. Les économies peuvent être actualisées année après année en utilisant la formule ci-dessous pour la deuxième à la dixième année et une valeur de base pour la première année : Économies de l'année précédente $\times (1 + e/100)$; où e = indice d'actualisation en pourcentage.
Taux d'actualisation	Entrez le taux d'actualisation utilisé pour calculer les valeurs actualisées nettes de chacun des mouvements de trésorerie futurs.

6.14 Facteurs des gaz à effet de serre

La présente fiche renferme des tableaux des facteurs des gaz à effet de serre utilisés pour le calcul des économies.

Facteurs des gaz à effet de serre									Menu									
Facteurs des émissions pour « émissions indirectes » (électricité)																		
Province / territoire	1990	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 ⁽¹⁾									
Alberta	0.98	0.93	0.89	0.96	0.89	0.87	0.88	0.86	0.88									
Colombie-Britannique	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02									
Île-du-Prince-Édouard	1.26	1.15	0.75	0.68	0.38	0.26	0.2	N/A	N/A									
Manitoba	0.03	0.03	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01									
Nouveau-Brunswick	0.37	0.46	0.51	0.45	0.48	0.46	0.39	0.42	0.46									
Nouvelle-Écosse	0.75	0.76	0.59	0.67	0.79	0.75	0.76	0.74	0.79									
Ontario	0.21	0.28	0.26	0.27	0.2	0.21	0.18	0.2	0.17									
Québec	0.012	0.002	0.002	0.01	0.009	0.003	0.004	12	0.002									
Saskatchewan	0.78	0.85	0.87	0.84	0.88	0.79	0.76	0.77	0.71									
Terre-Neuve-et-Labrador	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02									
Yukon, les Territoires du Nord-Ouest et le Nunavut	0.27	0.15	0.11	0.11	0.08	0.08	0.07	0.06										
FYI Ufei Y:																		
	X indique des valeurs confidentielles.																	
(1) Données préliminaires pour 2008 dans le rapport d'inventaire national 1990-2008																		
Source: Environnement Canada, Rapport d'inventaire national 1990-2008 - Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada; Annexe 13 : Tableaux sur l'intensité des émissions du secteur de l'électricité																		
Facteurs des émissions pour des sources d'énergie thermique choisies																		
Type de combustible	Facteur équivalents kg CO ₂ par unité	Unité de mesure	MJ par unité															
Gaz naturel	1.9	m ³	38.26															
Mazout n° 2	2.69	litres	38.55															
Mazout n° 6	3.12	litres	42.5															
Propane	1.51	litres	25.31															
Notes:	Facteur de type de combustible Mazout n° 2 est la moyenne des facteurs de mazout léger et carburant diésel.																	
Sources:	(1) Environnement Canada, Rapport d'inventaire national 1990-2008 – Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada; Annexe 8 : Coefficients d'émission																	
	(2) Statistique Canada – Catalogue no 57-003, Texte table 1 – Facteurs de conversion énergétique																	

Nom de la zone de saisie	Zones sur les données relatives aux facteurs des gaz à effet de serre
Facteur éq kg CO ₂ par kWh	Pour chaque province, entrez le facteur des gaz à effets de serre marginal de l'électricité. Les valeurs implicites sont les mêmes que celles de 2001. Pour les autres facteurs, consultez Ressources naturelles Canada ou Changements climatiques CSA, Registres des GES.
Type de combustible	Entrez une brève description de chaque type de combustible.
Facteur éq kg CO ₂ par unité	Pour chaque type de combustible, entrez le facteur de gaz à effet de serre. Les valeurs implicites sont les mêmes que celles de 2001. Pour les autres facteurs, consultez Ressources naturelles Canada ou Changements climatiques CSA, Registres des GES.
Unité de mesure	Entrez une unité de mesure pour chaque type de combustible.
GJ par unité	Entrez la teneur énergétique du combustible.