

# Systèmes d'information sur la gestion de l'énergie

POUR UNE MEILLEURE EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Guide à l'usage des gestionnaires, des ingénieurs et du personnel opérationnel



Publié par l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada

Coauteurs :

James H. Hooke

Byron J. Landry, ing.

David Hart, M.A., ing.

Financé par Ressources naturelles Canada, Union Gas Limited, Enbridge Gas Distribution



CEATI – Groupe d'intérêt sur les technologies d'utilisation finale  
(BC Hydro, Hydro-Manitoba, Hydro-Québec, Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers, New York State Electric & Gas Corporation)

2003



BC Hydro  
**POWER SMART**

Manitoba  
Hydro  
**POWER SMART**

Hydro  
Québec



**NYSEG**

#### Désistement

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

#### Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Vedette principale au titre :

Systèmes d'information sur la gestion de l'énergie : pour une meilleure efficacité énergétique :  
guide à l'usage des gestionnaires, des ingénieurs et du personnel opérationnel

*Also published in English under the title: Energy Management Information Systems – Achieving Improved Energy Efficiency.*

ISBN 0-662-77742-5

N° de cat. M144-54/2004F

1. Systèmes d'information – Ressources énergétiques.
  2. Économie d'énergie – Guides, manuels, etc.
  3. Évaluation énergétique – Guides, manuels, etc.
- I. Canada. Office de l'efficacité énergétique.

TJ163.3E53 2004

025.06'33379

C2004-980298-4

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2004



Papier recyclé



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Avant-propos</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Qu'est-ce qu'un système d'information de gestion énergétique?</b>	<b>5</b>
	Aperçu	5
2.1	Qu'est-ce qu'un SIGE?	7
2.2	Programmes de gestion de l'énergie et SIGE	7
2.3	Produits livrables d'un SIGE	9
2.3.1	Détection rapide d'un mauvais rendement	9
2.3.2	Soutien au processus décisionnel	13
2.3.3	Système efficace de rapports sur le rendement	16
2.3.4	Vérification des activités antérieures	17
2.3.5	Détermination et justification des projets énergétiques	19
2.3.6	Preuves de réussite	19
2.3.7	Soutien à la budgétisation énergétique et à la comptabilité de gestion	20
2.3.8	Données sur l'énergie à d'autres systèmes	20
2.4	Les éléments d'un SIGE	21
2.5	Un SIGE en fonction des circonstances	23
<b>3</b>	<b>Qu'est-ce qui assure le succès d'un SIGE?</b>	<b>25</b>
	Aperçu	25
3.1	Facteurs de réussite	26
3.1.1	Sensibilisation et engagement de la direction	26
3.1.2	Politiques, directives et organisation de l'entreprise	27
3.1.3	Responsabilité du programme	27
3.1.4	Procédures et systèmes	28
3.1.5	Choix de projets et incidences	28
3.1.6	Approbation du budget	28
3.1.7	Approbation des critères d'investissement	28
3.1.8	Formation	29
3.1.9	Systèmes intégrés d'information	29
3.1.10	Rapports sur les économies réalisées	29
3.1.11	Motivation	29
3.1.12	Diffusion de l'information	29

3.2	Évaluation	30
<b>4.</b>	<b>Pourquoi faut-il des données en temps réel?</b>	<b>33</b>
<b>5.</b>	<b>Comment agir pour s'assurer qu'il y aura des améliorations?</b>	<b>35</b>
	Aperçu	35
5.1	Qui doit intervenir?	35
5.2	Que faut-il pour décider des mesures à prendre?	36
5.2.1	Données sur l'énergie	36
5.2.2	Objectifs	37
5.2.3	Rapports	37
5.2.4	Formation	38
5.2.5	Soutien décisionnel	38
5.2.6	Vérification de la réussite	38
5.2.7	Motivation et reconnaissance	39
5.2.8	Analyse comparative et pratiques exemplaires	39
<b>6</b>	<b>Comment concevoir et justifier un SIGE efficace?</b>	<b>41</b>
	Aperçu	41
6.1	Créer la vision d'un SIGE efficace	41
6.1.1	Besoins des installations	41
6.1.2	Utilité du système	42
6.2	Première étape de la conception : La mesure	42
6.3	Étape suivante : L'intégration aux systèmes existants	43
6.4	Analyse de rentabilité : Étude coûts-avantages	44
6.5	Obtention de l'appui des décideurs	46
6.6	Conception et mise en œuvre d'un SIGE : Liste de contrôle	47
<b>7</b>	<b>Système efficace de rapports en matière d'énergie</b>	<b>49</b>
	Aperçu	49
7.1	Qu'est-ce qu'un rapport efficace?	51
7.2	Qui a besoin de rapports en matière d'énergie?	52
7.2.1	Cadres	52
7.2.2	Gestionnaires des opérations	53
7.2.3	Personnel opérationnel	53
7.2.4	Ingénieurs	55
7.2.5	Personnel de la comptabilité	56
7.2.6	Gestionnaires de l'énergie et de l'environnement	56
7.2.7	Conseillers externes	56
7.3	Approche par étapes	57



<b>8</b>	<b>Analyse des données sur l'énergie</b>	<b>59</b>
	Aperçu	59
8.1	Qu'entend-on par données sur l'énergie?	61
8.2	Objectifs de l'analyse des données sur l'énergie	62
8.3	Ventilation de la consommation et des coûts d'énergie	62
8.4	Calcul des indicateurs de rendement	65
8.5	Compréhension de la variabilité du rendement : Techniques simples	66
8.6	Compréhension de la variabilité du rendement : Exploration des données	69
8.7	Calcul des objectifs	75
8.8	Modélisation des données et analyse par simulation/anticipation	79
<b>9</b>	<b>Système de mesure</b>	<b>81</b>
	Aperçu	81
9.1	Introduction	82
9.2	Nécessité des mesures	83
9.3	Emplacement des compteurs et des capteurs	84
9.3.1	Étape 1 : Examiner les plans existants des installations	85
9.3.2	Étape 2 : Établir une liste des compteurs	85
9.3.3	Étape 3 : Désigner des centres de comptabilisation de la consommation d'énergie	86
9.3.4	Étape 4 : Décider où améliorer la capacité de comptage ou de mesure	86
9.4	Types de mesures à utiliser et considérations d'ordre pratique	87
9.4.1	Mesure de la consommation d'électricité	87
9.4.2	Mesure de la consommation de gaz naturel	88
9.4.3	Mesure de la consommation de vapeur	90
9.4.4	Mesure de la consommation d'eau et de condensat	92
9.4.5	Mesure de la consommation d'air comprimé	92
9.4.6	Enregistreurs	93
9.5	Raccordement des compteurs aux systèmes de surveillance	93
9.6	Coûts	94
9.7	Conclusions	95
<b>10</b>	<b>Votre SIGE est-il efficace? Liste de vérification</b>	<b>97</b>
	Annexe A : Abréviations et symboles	103
	Annexe B : Figures et tableaux	105





## Avant-propos

En vertu du Protocole de Kyoto, d'ici 2008-2012, le Canada doit réduire ses émissions de gaz à effet de serre à un niveau 6 p. 100 inférieur à celui de 1990. Cet engagement, associé à la hausse des coûts de l'énergie et à la déréglementation des industries de l'électricité et du gaz, vient de relancer le besoin pour les entreprises d'améliorer leur efficacité énergétique afin de réduire leurs frais d'exploitation, d'augmenter leurs bénéfices et de diminuer les émissions de gaz à effet de serre qui contribuent aux changements climatiques.

Le présent guide, qui est destiné à tous les niveaux de gestion et au personnel opérationnel, vise à expliquer clairement et de façon pratique ce qu'est un système d'information sur la gestion de l'énergie (SIGE) et à servir de mode d'emploi pour sa mise en œuvre. Comme il couvre tous les aspects d'un SIGE – notamment la mesure, la collecte et l'analyse des données, le système de rapports et les analyses coûts-avantages – le présent guide devrait faire partie intégrante du programme de gestion de l'énergie (PGE) de toute entreprise. Les auteurs y présentent des techniques de pointe enrichies de leur propre expérience et de l'apport technique des organismes qui en ont parrainé la publication : Ressources naturelles Canada, Union Gas Limited, Enbridge Gas Distribution et CEATI – groupe d'intérêt sur les technologies d'utilisation finale (BC Hydro, Hydro-Manitoba, Hydro-Québec, Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers, New York State Electric & Gas Corporation).

On peut grandement améliorer l'efficacité énergétique en éliminant le gaspillage grâce à l'optimisation des procédés. Pour les grands consommateurs d'énergie, l'utilisation de matériel et de méthodes de contrôle et de calcul de pointe est l'une des solutions les plus rentables et les plus efficaces pour diminuer les coûts énergétiques et accroître les bénéfices.

Dans son fort remarqué livre *Megatrends* (1982), John Naisbitt affirmait que « la technologie informatique est à l'ère électronique ce que fut l'automatisation à la révolution industrielle ». Son intuition s'est avérée des plus justes. Les techniques modernes de calcul et de contrôle, particulièrement dans les grandes entreprises, sont parmi les outils les plus rentables et les plus utiles dont disposent les installations industrielles et commerciales pour accroître leur efficacité énergétique.

*« La technologie informatique est à l'ère électronique ce que fut l'automatisation à la révolution industrielle. »*

– JOHN NAISBITT

De nos jours, il va de soi pour une entreprise, particulièrement dans les secteurs où les procédés jouent un rôle critique, de recueillir d'énormes quantités de données en temps réel à l'aide de systèmes de contrôle automatisés, notamment les contrôleurs programmables (CP) et les systèmes d'acquisition et de contrôle des données (SCADA). De plus, les dirigeants ou gestionnaires ont accès à bien d'autres systèmes informatisés et ils tiennent des banques de données qui s'y rapportent. Les systèmes informatisés intégrés servent à accroître le rendement du personnel et de la plupart des activités, y compris les finances et la comptabilité, le contrôle des stocks, les ventes et le marketing, la production et l'ordonnancement, la planification des ressources, la gestion de l'actif, la planification de l'entretien, le contrôle et la surveillance des procédés, la conception, la formation et d'autres secteurs.

Cependant, sans diffusion ni analyse ordonnée et précise des données recueillies afin de repérer les secteurs problématiques et de trouver des solutions, cette masse de données ne constitue qu'une surdose d'information.

*Sans analyse, les données ne constituent qu'une surdose d'information.*

En soi, les données ne sont pas du savoir – ce terme désigne plutôt l'information tirée des tendances et des liens que révèlent les données. Il faut par conséquent convertir les données en savoir pour prendre des décisions éclairées en matière d'énergie. Cela est primordial dans toute activité de gestion. Dans nombre d'entreprises, il est souvent difficile d'analyser en profondeur la consommation énergétique totale. Les tendances inhérentes à la consommation d'énergie sont très complexes, particulièrement dans les industries de transformation où il est difficile de comprendre ce qui provoque la hausse ou la baisse de la consommation, surtout si les taux de production et les produits des procédés varient beaucoup, ou en cas d'interaction de nombreux procédés dans un même lieu. Il est pourtant essentiel que les gestionnaires puissent interpréter les données afin de prendre des décisions judicieuses en matière d'énergie et d'affaires.

La technologie de l'information (TI), définie dans le présent document comme étant l'utilisation de l'informatique pour recueillir, analyser, contrôler et diffuser des données, a progressé rapidement. De nos jours, les gestionnaires et les exploitants ont souvent accès à des logiciels et à des ordinateurs puissants; nous disposons maintenant de nombreuses techniques d'analyse des facteurs qui influent sur l'efficacité, et nous pouvons créer automatiquement des modèles fondés sur des simulations pour améliorer la prise de décisions.

Dans les années 80, dans le cadre du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC), on a élaboré deux versions d'un manuel de comptabilisation de l'énergie (de base et avancée) destiné à aider les entreprises canadiennes des secteurs industriel, commercial et institutionnel à concevoir et à mettre en œuvre des systèmes de comptabilisation de l'énergie permettant de faire le suivi de la productivité et du rendement énergétiques. La version révisée des manuels parue en 1989 – que l'on peut toujours se procurer auprès de l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles



Canada – expose les principes de la comptabilisation de l'énergie et présente une approche type que l'on peut appliquer aux entreprises à une ou plusieurs unités. On considère ce manuel comme un outil de gestion énergétique de première génération conçu pour les entreprises et autres organismes.

Dans les années 90, le bureau de l'efficacité énergétique du Royaume-Uni a mis au point le premier système de gestion énergétique reconnu, appelé *Monitoring and Targeting* (surveillance et suivi). Fondé sur les mêmes principes que le manuel de comptabilisation énergétique du PEEIC, ce premier système automatisé de gestion de l'énergie tirait parti de l'utilisation accrue de l'ordinateur. Il représentait un outil de deuxième génération dans ce domaine.

Ces deux démarches tendent cependant à mettre l'accent uniquement sur l'énergie et réussissent plus ou moins bien. La plupart des initiatives prévues concernent des projets peu coûteux ou sans frais et examinent rarement autre chose que les systèmes de CVC (points de consigne), les compresseurs (fuites d'air) et d'autres mesures du genre représentant des économies possibles. Nombre d'entreprises ignorent les possibilités d'améliorer l'efficacité énergétique parce qu'il n'y a pas eu d'analyse approfondie de données crédibles et partagées pour cerner des possibilités rentables d'efficacité énergétique accrue. En général, la plupart des entreprises doivent réaliser des ventes de 10 \$ pour dégager un bénéfice de 1 \$. Inversement, toute économie de 1 000 \$ obtenue en éliminant le gaspillage et en améliorant l'efficacité énergétique équivaut à des ventes additionnelles de 10 000 \$.

Étant donné la prolifération des systèmes informatisés et le potentiel des bases de données, les membres du consortium (voir la deuxième couverture) appuient l'élaboration du présent guide, qui vise avant tout à cerner les besoins des entreprises relativement à la préparation d'un SIGE et aux démarches nécessaires à cette fin.

Le guide est organisé de façon à permettre au personnel de tous les échelons d'une entreprise de consulter les sections qui le concernent plus particulièrement. Les auteurs recommandent toutefois aux gestionnaires de tous les niveaux de le lire en entier.

Les auteurs faisaient partie des groupes qui ont créé et réalisé les exemples de SIGE ici proposés. L'application pratique de renseignements avérés reflète leur conviction que l'énergie représente des frais d'exploitation variables, et non des frais généraux fixes.

*L'énergie représente des frais d'exploitation variables, et non des frais généraux fixes.*





# Qu'est-ce qu'un système d'information de gestion énergétique?

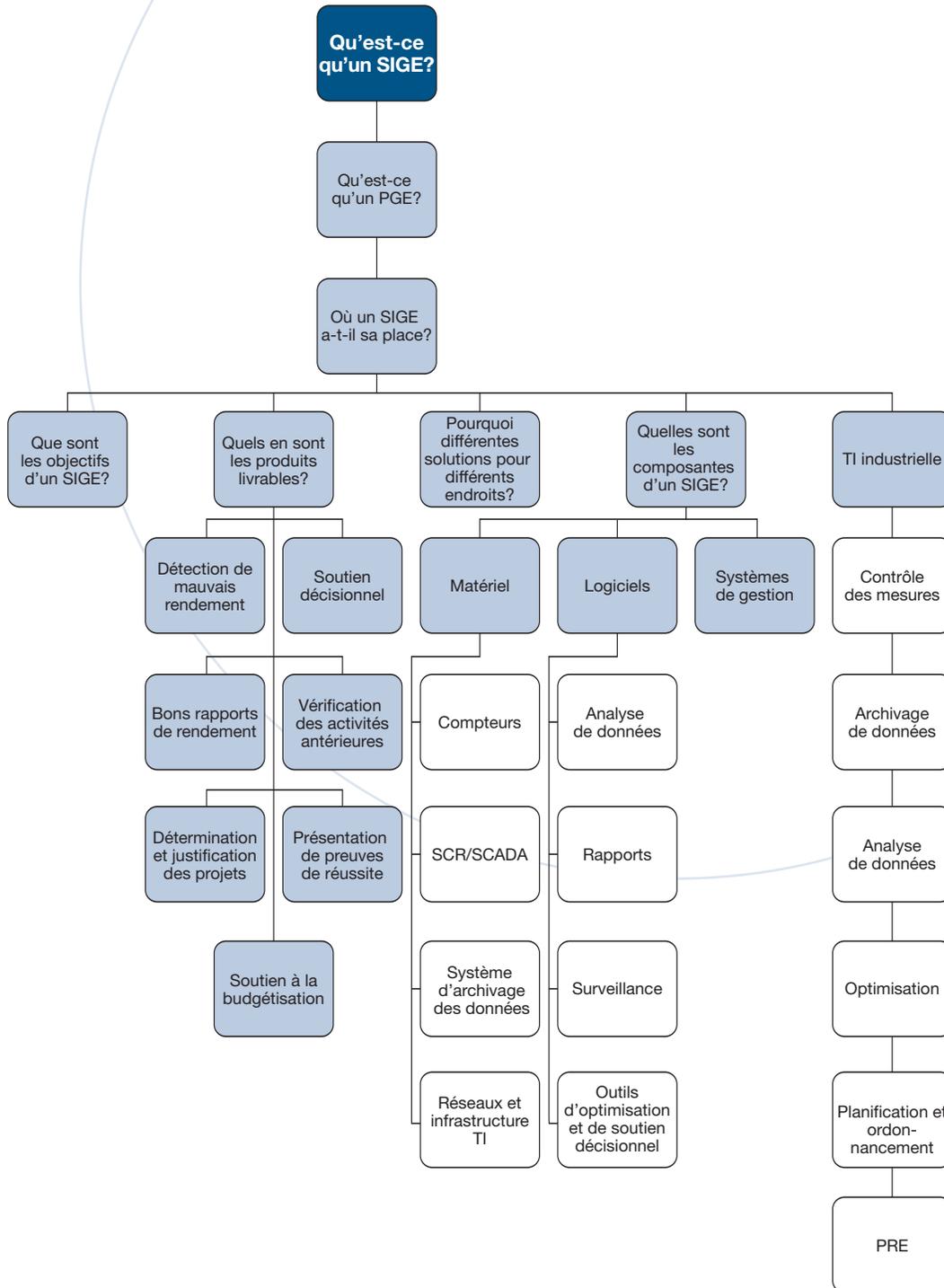
## Aperçu

Un système d'information de gestion énergétique (SIGE) est un élément important d'un programme complet de gestion de l'énergie. Il fournit aux personnes et aux services clés des renseignements pertinents qui leur permettent d'améliorer le rendement énergétique.

Un SIGE se définit par ses produits livrables, ses caractéristiques, ses composantes et le soutien qu'on y apporte. Les produits livrables incluent la détection rapide d'un mauvais rendement, le soutien au processus décisionnel et un système de rapports efficace en matière d'énergie. Les caractéristiques comprennent le stockage de données dans un format utilisable, la définition d'objectifs valides en matière de consommation d'énergie et la comparaison de la consommation réelle avec ces objectifs. Les composantes incluent les capteurs, les compteurs d'énergie, le matériel informatique et les logiciels (qu'on trouve parfois comme systèmes de contrôle du rendement des processus et des activités de l'entreprise). Les éléments de soutien essentiels comprennent l'engagement de la direction, l'attribution des responsabilités, les procédures, la formation, les ressources et les vérifications régulières.

La présente section décrit les grandes lignes d'un SIGE efficace. La liste de contrôle de la section 10 vous aidera à déterminer si un SIGE proposé ou existant réussira. Les questions traitées dans la présente section sont résumées à la figure 1.

Figure 1. Éléments de base d'un SIGE



## 2.1 Qu'est-ce qu'un SIGE?

Un SIGE donne au personnel approprié d'une organisation des renseignements servant à la gestion de la consommation et des coûts de l'énergie. Sa nature exacte dépend des éléments suivants :

- l'emplacement;
- les installations et les procédés;
- le coût de l'énergie (par rapport aux autres coûts);
- les compteurs et autres instruments existants;
- les systèmes de surveillance et de contrôle;
- les données historiques;
- les systèmes d'analyse et de communication des données;
- les systèmes de gestion existants.

Dans le présent guide, la définition du SIGE s'appuie sur les résultats qu'il procure à l'entreprise; la façon de les obtenir est secondaire.

Au fil des ans, les SIGE ont affiché des degrés de réussite et de viabilité variés. La liste de contrôle de la section 10 donne un aperçu des caractéristiques d'un SIGE efficace, soit d'un système qui permettra de diminuer les coûts énergétiques d'au moins 5 p. 100 et de maintenir le rendement accru. On devrait s'assurer que le SIGE planifié ou existant répond à ces exigences (en parcourant chaque élément de la liste de contrôle).

Le présent guide traite de chacun des éléments de cette liste de contrôle. Nous suggérons donc vivement qu'elle soit consultée de nouveau après la lecture du guide.

## 2.2 Programmes de gestion de l'énergie et SIGE

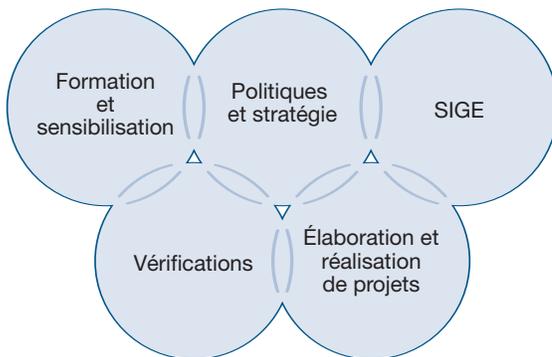
Un SIGE n'est qu'un élément d'un programme de gestion de l'énergie (PGE) complet, sans lequel cependant on ne pourra obtenir ni maintenir tous les avantages attendus. Un SIGE efficace devrait diminuer la consommation (et les coûts) de l'énergie d'au moins 5 p. 100.

Les mesures à prendre en matière de consommation d'énergie dans le cadre d'un PGE peuvent inclure un ou plusieurs des éléments suivants :

- élaboration et approbation d'une politique et d'une stratégie en matière d'énergie;
- formation et mesures de sensibilisation;
- vérifications énergétiques afin de cerner et d'évaluer les possibilités;
- élaboration et mise en œuvre des mesures d'amélioration;
- mise en œuvre des systèmes de gestion du rendement, notamment du SIGE.



Figure 2. Éléments d'un programme de gestion de l'énergie (PGE)



*Comment le SIGE  
s'intègre-t-il à une  
initiative de gestion  
de l'énergie?*

La politique énergétique d'une entreprise doit comporter des objectifs convenus et montrer l'engagement de la haute direction en la matière. La stratégie énergétique déployée à l'appui de cette politique doit donner un aperçu de plans précis axés sur l'amélioration du rendement.

La formation est essentielle pour s'assurer que le personnel opérationnel connaît les enjeux clés en matière d'énergie et les mesures qu'il doit prendre pour réduire les coûts. Les activités de sensibilisation peuvent également servir à souligner le besoin de réduire la consommation énergétique et à expliquer le lien qui existe entre l'énergie et l'environnement.

Les vérifications énergétiques constituent en général le fondement du plan d'économie d'énergie d'une entreprise. Généralement effectuées par des ingénieurs chevronnés, elles précisent et quantifient la répartition de la consommation d'énergie, et définissent les possibilités d'amélioration. Il peut s'agir de changements entraînant peu ou pas de frais, ou encore nécessitant des investissements.

Lorsqu'on a défini les possibilités, il faut les traduire en projets que l'on peut justifier et mettre en œuvre. L'élaboration de projets comprend l'estimation précise des coûts et des avantages ainsi que l'évaluation de questions d'ordre pratique, notamment quant à l'environnement et à la sécurité.

Les systèmes de gestion du rendement visent à garantir la réalisation et le maintien d'améliorations grâce au contrôle, à l'analyse du rendement et à un système de rapports efficace à tous les échelons de l'entreprise.

Le SIGE est l'élément clé de la gestion du rendement; il constitue également un instrument de soutien essentiel au processus de vérification énergétique. Un SIGE moderne est un outil logiciel étroitement intégré aux systèmes de surveillance et de contrôle des procédés et aux systèmes de TI d'une entreprise. Il fait souvent partie d'un système général servant à gérer le rendement des procédés (et des activités).



Malgré cela, il importe de comprendre qu'un SIGE ne fonctionne pas seul – et qu'il faut aussi l'engagement de la direction, des procédures, de l'organisation ainsi que la formation et le savoir-faire technique adéquats.

## 2.3 Produits livrables d'un SIGE

Le premier objectif d'un SIGE est de soutenir le programme de gestion énergétique de l'entreprise. En voici les livrables :

- 2.3.1 Détection rapide d'un mauvais rendement
- 2.3.2 Soutien au processus décisionnel
- 2.3.3 Système efficace de rapports sur le rendement
- 2.3.4 Vérification des activités antérieures
- 2.3.5 Détermination et justification des projets énergétiques
- 2.3.6 Preuves de réussite
- 2.3.7 Soutien à la budgétisation énergétique et à la comptabilité de gestion
- 2.3.8 Données sur l'énergie à d'autres systèmes

Pour concevoir et mettre en œuvre un système efficace, il faut absolument comprendre les résultats attendus du SIGE. En s'appuyant sur l'analyse qui suit, le lecteur devrait pouvoir préciser les exigences de son SIGE.

*Précisez les résultats attendus du SIGE.*

### 2.3.1 Détection rapide d'un mauvais rendement

Un des rôles importants du SIGE est la détermination rapide et efficace de situations qui nuisent au rendement. En voici quelques exemples :

- points de consigne incorrects;
- matériel fonctionnant inutilement;
- défauts du matériel : encrassement des échangeurs thermiques, présence d'air dans les condenseurs de réfrigération, etc.

Il faut déceler ce type d'anomalies aussi rapidement que possible et y remédier en appliquant des solutions pratiques et rentables. Il ne suffit pas de déceler un problème passé (p. ex., survenu la semaine précédente) impossible à corriger à cause du délai écoulé et parce que les opérations sont passées à un nouveau « mode ».

La comparaison entre le rendement réel et les objectifs permet souvent de déceler un mauvais rendement. Tout écart par rapport à l'objectif doit donner l'alerte. Outre la consommation d'énergie, les indicateurs de rendement peuvent aussi englober des mesures de l'efficacité ou des indicateurs indirects (p. ex., le niveau d'oxygène dans les gaz de combustion d'une chaudière).



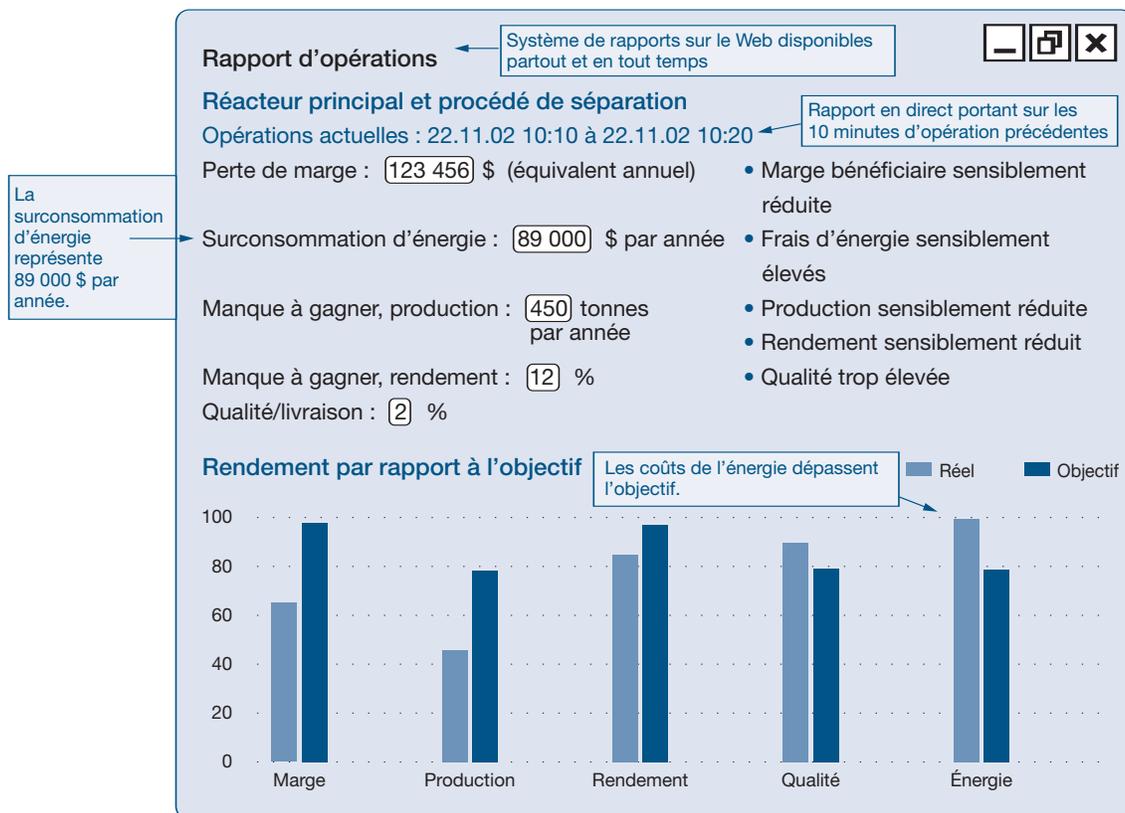
- Il y a plusieurs façons valables de définir les objectifs :
- Le rendement antérieur normal du procédé – on peut comparer le rendement actuel ou futur au rendement antérieur afin de déterminer les progrès réalisés (**point de référence**).
  - Le meilleur rendement futur possible ou antérieur du procédé (**pratique exemplaire**).
  - Le niveau de rendement escompté – p. ex., 5 p. 100 inférieur au point de référence (**réduction**).
  - Le rendement budgétaire (**budget**).

*La comparaison entre le rendement réel et les objectifs permet de déceler un mauvais rendement.*

La réussite repose sur la définition d'objectifs solides et la prise en considération de facteurs déterminants. Nous y reviendrons à la section 8.

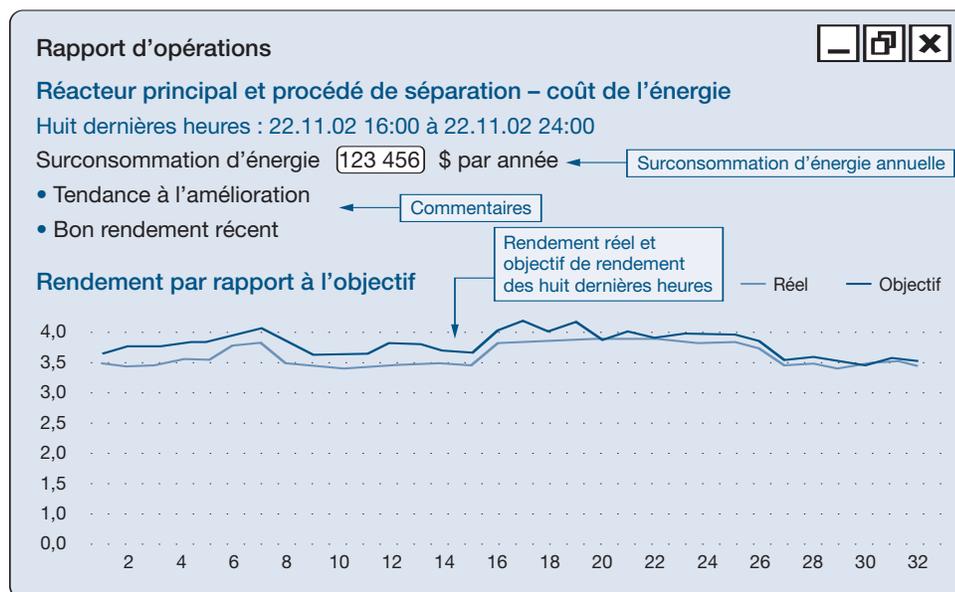
La fréquence de la surveillance du rendement varie selon l'application. Dans un procédé complexe qui consomme beaucoup d'énergie, il peut être approprié d'établir un rapport toutes les 15 minutes, surtout si l'opérateur peut apporter des changements au procédé en fonction des alertes sur le rendement. Par contre, dans un SIGE associé à une unité centrale de réfrigération par exemple, on peut se satisfaire de rapports quotidiens ou hebdomadaires parce qu'il est probable que les anomalies apparaîtront lentement et qu'on ne peut y remédier que par des mesures d'entretien (p. ex., nettoyage du condenseur, charge de fluide frigorigène).

**Figure 3. Rapport d'opérations indiquant un mauvais rendement**



Les figures 3 et 4 sont des exemples de rapports d'évaluation du rendement. La figure 3 présente un avertissement selon lequel le rendement des 10 minutes précédentes a été mauvais. La figure 4 signale un changement qui indique une amélioration du rendement.

**Figure 4. Rapport d'opérations indiquant une amélioration du rendement**



Le tableau 1 présente des exemples de problèmes courants et les fréquences de contrôle respectives qu'un système de surveillance du rendement peut recenser.



**Tableau 1. Exemples de problèmes courants pouvant occasionner des coûts énergétiques élevés**

Problèmes courants	Fréquence de la surveillance*
<i>Activités liées au procédé</i>	
• points de consigne incorrects	horaire
• échangeurs de chaleur encrassés	quotidienne
• interruption des commandes avancées	horaire
• mauvaise synchronisation des commandes	horaire
<i>Chaudières</i>	
• mauvais rapport air-combustible	horaire
• échangeurs encrassés	quotidienne
• extraction excessive	horaire
• mauvais choix de chaudière	horaire
<i>Réfrigération</i>	
• condenseur encrassé	quotidienne
• air dans le condenseur	quotidienne
• réglage incorrect de la surchauffe	quotidienne
• réglage de pression de refoulement élevé	quotidienne
• mauvais choix de compresseur	horaire
<i>Air comprimé</i>	
• fuites	quotidienne
• mauvais réglage du compresseur	quotidienne/horaire
• pression incorrecte	horaire
<i>Vapeur</i>	
• fuites	horaire
• purgeurs défectueux	horaire
• isolation inadéquate	horaire
• points de consigne incorrects	horaire
• faible retour du condensat	horaire
<i>Chauffage et climatisation</i>	
• température trop élevée	horaire
• ventilation excessive	horaire
• climatisation excessive	horaire
• chauffage et climatisation	horaire
• température élevée de l'eau de refroidissement	horaire
<i>Production d'énergie</i>	
• mauvais rendement du moteur	horaire
• réglages inadéquats des commandes	horaire
• tour de refroidissement défectueuse	horaire
• échangeurs de chaleur encrassés	horaire

\* La fréquence de surveillance appropriée dépend de l'application.



### 2.3.2 Soutien au processus décisionnel

Il suffit bien souvent d'avertir le personnel et les cadres opérationnels d'un mauvais rendement pour qu'un problème soit résolu. Ces employés ont parfois suffisamment d'expérience pour comprendre les raisons de la hausse de la consommation d'énergie et prendre les mesures qui s'imposent. Par contre, il se peut qu'ils n'aient pas l'expérience ou le temps nécessaire pour effectuer une analyse.

Si la prise de décisions est difficile lorsque surviennent les problèmes, il faut envisager d'incorporer au SIGE des systèmes de soutien au processus décisionnel. Ces systèmes, qui fournissent des renseignements complémentaires, peuvent se présenter sous plusieurs formes, des manuels aux tableaux en passant par les systèmes informatisés évolués.

Le « savoir » de ces systèmes décisionnels peut provenir :

- d'experts (systèmes experts ou systèmes à base de connaissances);
- des données d'exploitation (**exploration de données**).

Plus le procédé est complexe et consomme de l'énergie, plus un système de soutien au processus décisionnel sera justifié.



### *Exemple 1. Système de réfrigération expert d'une brasserie*

Une grande brasserie a mis en œuvre un système expert conçu pour aider les ingénieurs à prendre des décisions en matière d'amélioration des rendements sous-optimaux de la réfrigération. Cette mesure s'est traduite par une diminution de 29,5 p. 100 de la consommation d'électricité du système de réfrigération. La période de récupération du système expert a été de moins d'un an.

L'installation frigorifique fournissait à la brasserie un frigorigène secondaire à environ  $-3,5$  °C, pour refroidir les circuits, les cuves et les chambres froides. Les éléments suivants avaient une grande influence sur l'efficacité énergétique des systèmes réfrigérants :

- la température du frigorigène secondaire;
- les lacunes de fonctionnement de l'évaporateur (particulièrement l'encrassement et le niveau de frigorigène);
- les fuites de frigorigène;
- les réglages des détendeurs;
- les obstacles au bon rendement des condenseurs (encrassement, accumulation d'air et de gaz non condensables);
- le réglage des régulateurs de pression de refoulement;
- l'efficacité de la tour de refroidissement.

Les problèmes revenaient occasionnellement sans que l'on puisse les repérer avec précision. La surveillance de la consommation d'énergie en fonction d'objectifs et le recours au système expert ont permis de corriger la situation. Diagnostiquer la cause d'une consommation d'énergie élevée est une tâche relativement complexe, car les indicateurs clés de rendement varient selon la demande en refroidissement, la température du frigorigène secondaire, la température ambiante et l'humidité. L'analyse de la situation requiert :

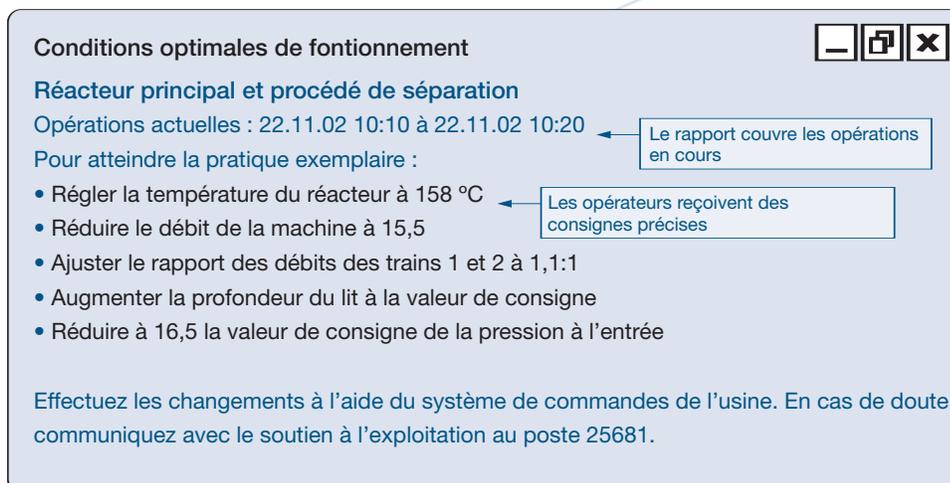
- la modélisation du fonctionnement du système frigorifique afin de déterminer les conditions de fonctionnement prévues;
- la comparaison des valeurs réelles avec les prévisions du modèle;
- l'interprétation des écarts (p. ex., on signale la présence d'air ou de gaz non condensables si la pression de condensation est élevée ou que le sous-refroidissement du liquide est important). Bien que les ingénieurs puissent se servir de cette démarche analytique, peu d'entre eux disposent de suffisamment de temps pour l'appliquer. Le système expert a permis d'automatiser cette fonction et de diagnostiquer la cause du problème.

De nos jours, il est relativement simple de concevoir et de mettre en œuvre des systèmes experts. Il ne devrait pas être difficile ni complexe d'établir des « règles » pour de tels systèmes; il s'agit simplement d'établir des mesures simples, et ce, de façon constante, précise et rapide.



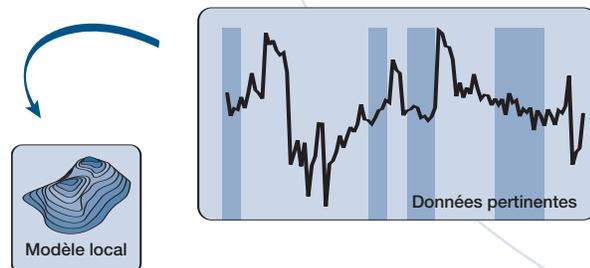
Récemment, on a mis en œuvre des systèmes de soutien décisionnel capables d'apprendre des « règles » à partir des données de fonctionnement historiques. Le système indique alors à l'opérateur comment modifier les opérations du procédé afin de parvenir aux meilleurs niveaux de rendement observés dans le passé (voir la figure 3). On s'assure ainsi que les opérations se déroulent conformément aux pratiques exemplaires.

**Figure 5. Rapport donnant des consignes pour parvenir à des conditions optimales de fonctionnement**



La figure 6 illustre le principe d'apprentissage fondé sur des données. Le système cherche des périodes de fonctionnement antérieures semblables à celle en cours (p. ex., quant aux paramètres externes comme les niveaux de production, la qualité, les conditions ambiantes). À l'intérieur de ces périodes, celles où le rendement a été optimal servent à déterminer le meilleur ensemble de conditions d'exploitation. Dans certaines circonstances, un simple système consigné par écrit (fondé sur l'expérience ou la théorie) peut servir de la même manière.

**Figure 6. Apprentissage fondé sur les données**



En général, la saisie de données sur le rendement des opérations mérite une étude sérieuse. L'information produite par un tel système doit être rapidement diffusée au sein de l'entreprise (p. ex., au moyen d'intranets).



### 2.3.3 Système efficace de rapports sur le rendement

En plus de signaler les problèmes au personnel opérationnel, le SIGE devrait également établir des rapports à l'intention de la direction, des cadres, des ingénieurs et d'autres membres clés du personnel (voir la section 7) afin de s'assurer que les ressources, le niveau d'engagement et le savoir-faire appropriés sont mis au service de l'efficacité énergétique. Faire en sorte que les personnes responsables du rendement prennent des mesures efficaces est une dimension clé du processus de gestion.

Figure 7. Exemple d'un rapport de gestion indiquant un progrès hebdomadaire

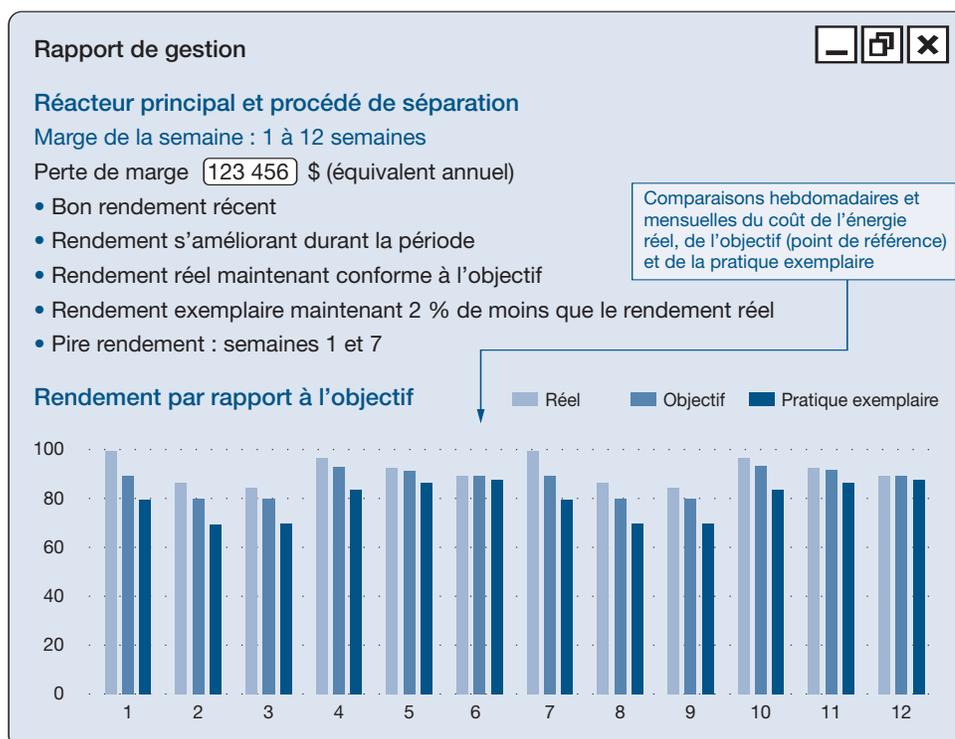
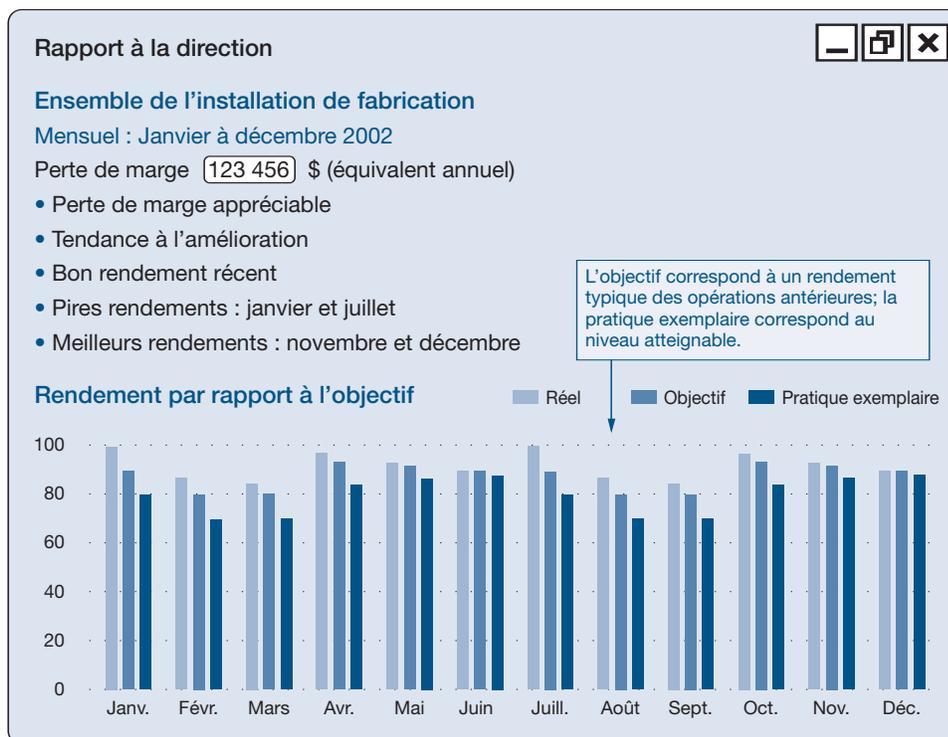


Figure 8. Exemple d'un rapport à l'intention des cadres indiquant un progrès mensuel



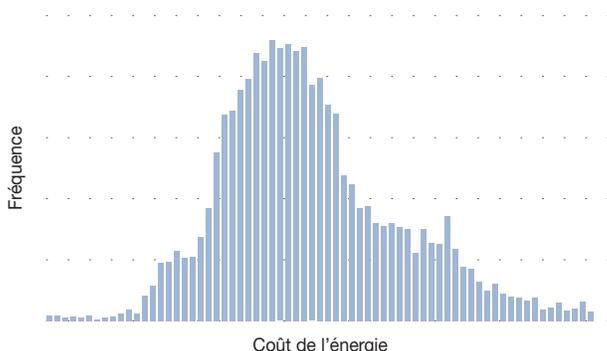
#### 2.3.4 Vérification des activités antérieures

En plus de fournir de l'information continue sur le rendement énergétique actuel des procédés et du matériel, le SIGE peut servir à analyser des rendements antérieurs. Il faut alors y associer une base de données portant sur la consommation d'énergie antérieure et les facteurs déterminants. Grâce aux techniques modernes d'analyse de données (voir la section 8), ces données permettent :

- d'effectuer une vérification des activités antérieures (**compréhension de ce qui s'est produit**);
- d'expliquer les écarts du rendement énergétique (**causes des fluctuations de la consommation**);
- de vérifier la consommation et les coûts de l'énergie (**coût des opérations**).

Grâce à cette analyse, les ingénieurs et les gestionnaires apprennent à mieux connaître ce qu'est l'efficacité énergétique et à prendre de meilleures décisions.

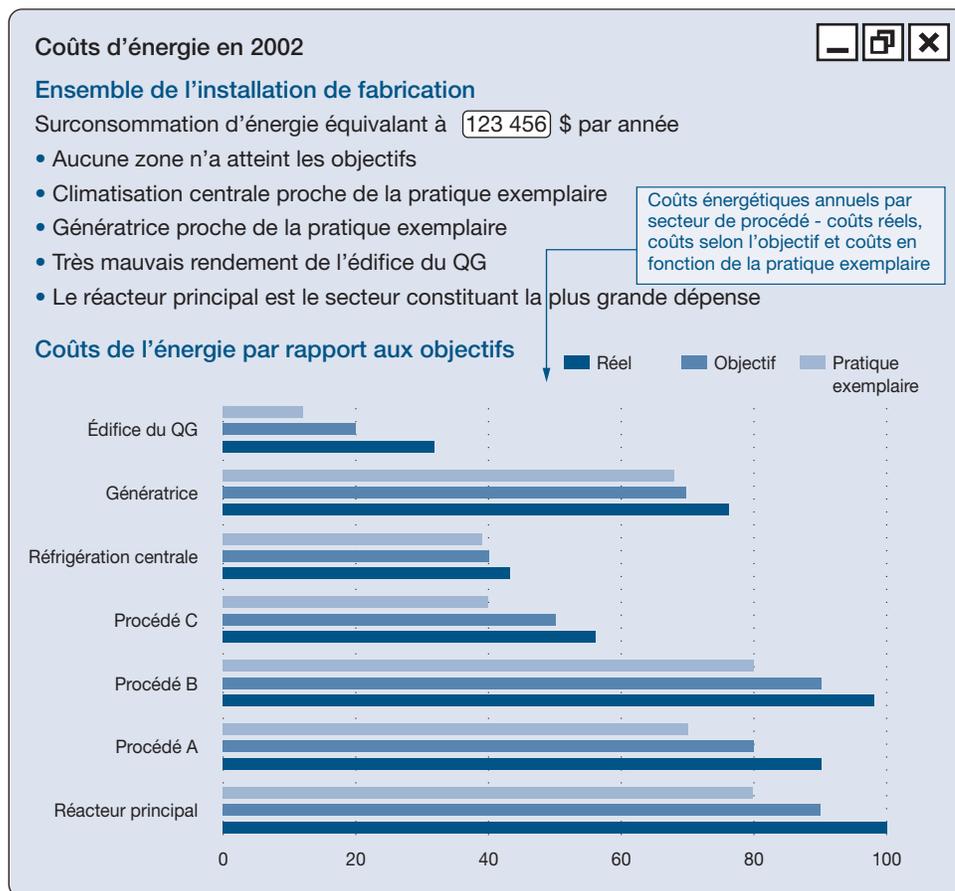
Figure 9. Exemple de la distribution statistique



Le SIGE permet de mieux comprendre les fluctuations du rendement énergétique. Dans la figure 9, la distribution statistique montre que le coût de l'énergie varie considérablement par rapport à la moyenne. Cela est-il attribuable à des facteurs externes ou à des décisions prises par le personnel d'exploitation ou de gestion des installations?

Comprendre ce qui s'est produit est particulièrement important si l'on veut s'attaquer aux problèmes des secteurs sous-performants (voir la figure 10).

Figure 10. Quantification de la consommation et des coûts de l'énergie d'un SIGE



### 2.3.5 Détermination et justification des projets énergétiques

Un SIGE peut servir de premier outil pour déterminer et justifier les projets visant l'efficacité énergétique. On peut décider d'améliorations à apporter aux opérations et déterminer les réglages en se fondant sur des données d'exploitation historiques analysées au moyen de méthodes avancées (voir la section 8). Les possibilités ainsi repérées sont en général celles qui donnent des résultats rapides moyennant peu ou pas de frais; elles sont particulièrement intéressantes, car elles peuvent facilement justifier l'investissement dans un SIGE. Le bon sens économique conduit souvent à commencer par une analyse de ce type.

L'analyse des données historiques peut également permettre de découvrir des possibilités qui exigent un investissement. Les données créées par un SIGE bien configuré peuvent servir aux activités importantes qui suivent :

- surmonter les obstacles aux projets d'efficacité énergétique, notamment les désaccords sur le mode de fonctionnement des installations (p. ex., à quel point il dépend de contraintes liées au procédé ou au marketing);
- quantifier les améliorations et justifier les investissements en matière d'énergie.

### 2.3.6 Preuves de réussite

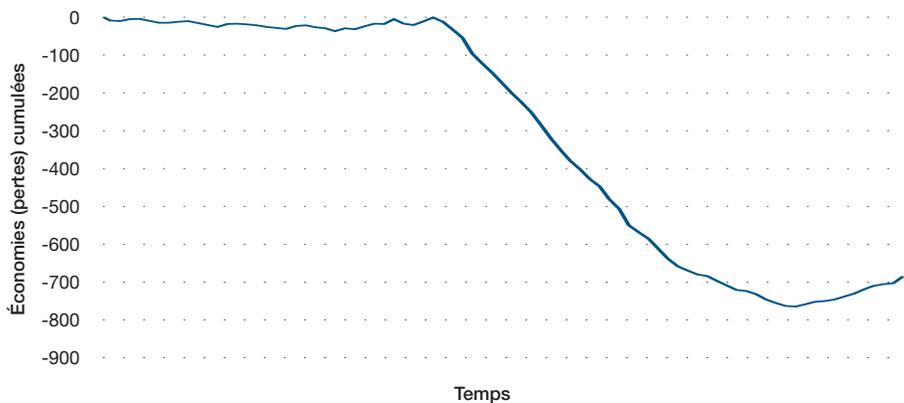
Le SIGE doit clairement montrer si les mesures prises pour réduire la consommation et les coûts d'énergie ont été efficaces (ou non). On peut ainsi démontrer le bien-fondé d'un investissement continu dans les systèmes, confirmer les décisions ayant conduit à des économies d'énergie, prouver que les améliorations sont réelles et satisfaire aux besoins de déclarations réglementaires ou volontaires.

Pour y parvenir, il faut un point de référence – une valeur de consommation d'énergie qu'on peut comparer à la valeur actuelle – qui doit tenir compte des influences externes sur la consommation d'énergie (production, température ambiante, etc.). Généralement, il s'agit d'un modèle établi à partir de données d'exploitation historiques. La régression est parfois acceptable, mais on a souvent besoin de méthodes d'analyse beaucoup plus avancées (voir la section 8).

Un graphique des sommes cumulées peut servir à illustrer clairement l'amélioration du rendement.



**Figure 11. Économies cumulées réalisées depuis la mise en œuvre d'un SIGE**



### 2.3.7 Soutien à la budgétisation énergétique et à la comptabilité de gestion

Les renseignements provenant d'un SIGE servent lors de l'établissement du budget. Les relations historiques entre la production et la consommation énergétique, de pair avec les estimations de la production, servent à prévoir la consommation future d'énergie.

Le SIGE répartit également la consommation et les coûts énergétiques par produit, procédé ou service pour :

- améliorer la comptabilité de gestion;
- déterminer le coût énergétique réel, comme celui de la fabrication de certains produits;
- comprendre l'incidence des volumes de production sur le coût de l'énergie par tonne de produit.

### 2.3.8 Données sur l'énergie à d'autres systèmes

Le SIGE peut également fournir des données et des modèles concernant l'énergie à d'autres systèmes comme ceux de la planification de la production et d'ordonnancement, de l'étude de la consommation d'énergie, de la planification des ressources, d'information de gestion, de gestion intégrée et de rapports sur l'environnement.



## 2.4 Les éléments d'un SIGE

Dans un SIGE, les divers éléments réunis concourent à l'élaboration d'un système complet, notamment les capteurs et les instruments, l'infrastructure de données et les outils logiciels. En général, les modules qui constituent le système proviennent de fournisseurs distincts.

Autant que possible, les composantes du SIGE seront les mêmes que celles utilisées dans l'exploitation et la gestion des installations et l'évaluation du rendement des procédés, c'est-à-dire celles du système d'information de gestion du rendement. Il est hasardeux d'élaborer un système distinct pour l'énergie : une telle approche a échoué dans le passé. L'efficacité énergétique n'est qu'un aspect du rendement des procédés (et des activités de l'entreprise), et il faut l'examiner parallèlement à d'autres objectifs opérationnels comme la production, le rendement, la qualité, la fiabilité, l'environnement et le **profit**.

Outre le matériel informatique, le SIGE est doté de logiciels de gestion en vue d'assurer une amélioration du rendement.

Il arrive que certains éléments du SIGE soient déjà en place au sein d'une entreprise sans toutefois servir à la gestion de la consommation d'énergie.

Les capteurs et les instruments du système comprennent les compteurs d'énergie (électricité, gaz, mazout, vapeur) et autres compteurs directement associés à la consommation d'énergie (flux thermique, circulation d'air de refroidissement et d'air comprimé), à la température, à la pression, au débit et à la composition, ainsi que d'autres dispositifs servant à mesurer des facteurs qui influent sur la consommation.

Ces capteurs et autres instruments sont généralement reliés à un système de surveillance – qui doit toujours être le système général de commande et de surveillance des procédés. Dans les installations de grande taille, il peut s'agir d'un système de commande réparti (SCR) ou encore d'un système d'acquisition et de contrôle des données (SCADA) ou un contrôleur programmable (CP). En entreprise, on utilise des systèmes de gestion des immeubles semblables aux systèmes SCADA/CLP.

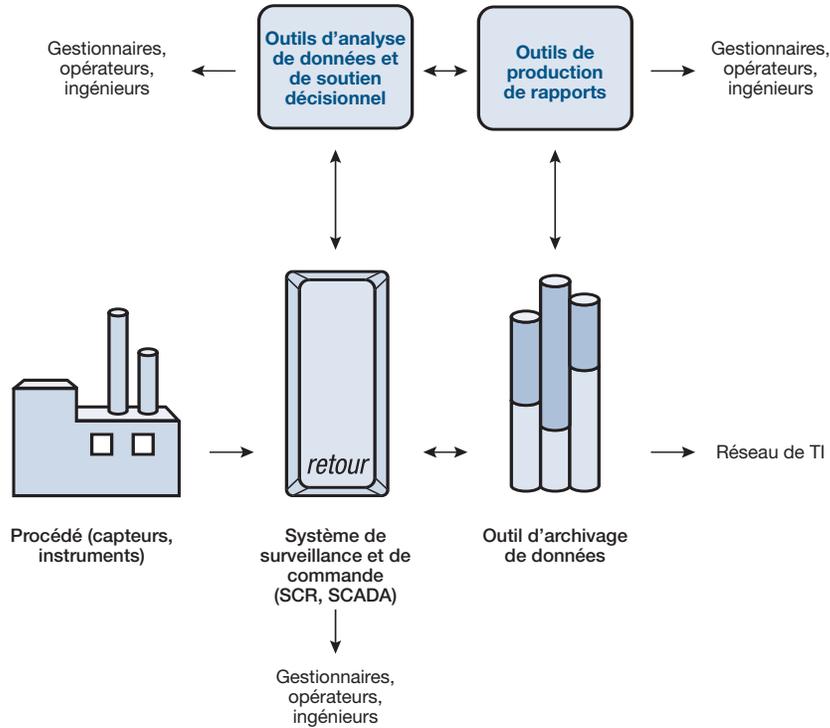
La collecte des données doit être automatisée. On a généralement recours à un outil de collecte et d'archivage des données pour le stockage des données chronologiques. La collecte manuelle des données est maintenant considérée comme dépassée.

La plupart du temps, les outils logiciels du SIGE s'intègrent directement au système de commande et de surveillance et à l'outil de collecte et d'archivage. On compte :

- les outils d'analyse des données;
- les outils de production de rapports;
- les logiciels de surveillance;
- les logiciels d'optimisation et de soutien décisionnel.

Les interfaces entre ces outils, les systèmes de commande et de surveillance et les outils de collecte et d'archivage des données sont standardisés et généralement simples à déployer. La plupart du temps, le SIGE et l'infrastructure de surveillance et de gestion des procédés sont mis en réseau avec les systèmes de TI de l'entreprise. La figure 12 présente les éléments d'un SIGE classique.

**Figure 12. Éléments d'un SIGE classique**



## 2.5 Un SIGE en fonction des circonstances

Les caractéristiques, les avantages et les composantes du SIGE doivent convenir à l'installation. Dans une vaste usine énergivore équipée d'une infrastructure moderne de surveillance et de contrôle, on aura besoin de toutes les capacités décrites dans le présent guide. Dans une installation plus modeste, des instruments moins exhaustifs, une surveillance et des rapports moins fréquents ainsi qu'une analyse de données moins élaborée pourraient suffire. Ce guide permet de choisir les composantes du système qui conviennent. Le choix de la composition optimale du SIGE dépend des questions suivantes :

- la valeur des économies d'énergie qu'on peut réaliser et leur importance;
- le nombre de défauts éventuelles et le temps requis pour les corriger;
- l'infrastructure existante que le SIGE peut utiliser;
- les capitaux qu'on peut investir dans le SIGE.

Nombre d'entreprises ayant adopté le principe du SIGE doivent procéder par étapes et accumuler le capital requis grâce aux économies réalisées avant de passer à l'étape suivante. En ce qui a trait aux exigences du système, il y a peu de différences entre les SIGE du secteur industriel et ceux du secteur commercial, sauf en ce qui concerne la mise en œuvre. Par exemple, dans le secteur commercial, la surveillance concerne le système de gestion des immeubles, et la réduction de la consommation d'énergie incombe davantage au personnel opérationnel de l'installation, même s'il faut tenir compte de la réaction des occupants.

Les entreprises à emplacements multiples peuvent mettre en place un SIGE central pour la gestion des rapports et l'analyse globale du rendement énergétique de l'entreprise. Il faut alors interconnecter les systèmes d'archivage des données de tous les emplacements pour que les systèmes d'analyse et de rapports aient accès à toutes les données. On peut également créer une base centrale de données particulières qui, en plus de produire des rapports généraux en matière d'énergie (p. ex., consommation totale de l'énergie de l'entreprise par rapport aux objectifs), permet d'analyser les données d'entreprise et de repérer des pratiques qui consomment le plus d'énergie. Ainsi, dans des cas où des procédés semblables sont utilisés dans plusieurs emplacements, on pourrait définir des pratiques exemplaires en matière de systèmes, de conditions d'exploitation et d'entretien, et trouver les meilleurs entrepreneurs, types de matériel et fournisseurs. Nous traitons de l'analyse des données avancée à la section 8.





## Qu'est-ce qui assure le succès d'un SIGE?

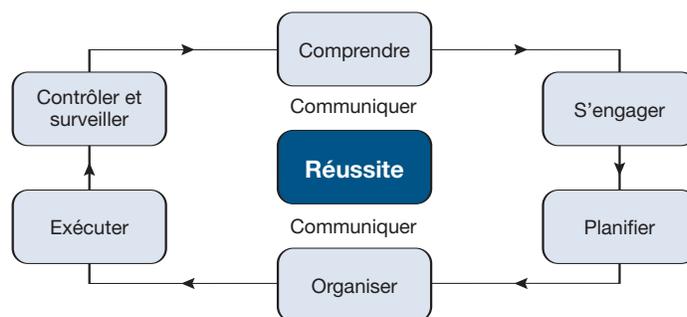
### Aperçu

La présente section aborde des éléments essentiels à considérer pour la mise en œuvre d'un SIGE efficace. Comme nous le précisons à la section 2, le SIGE n'est qu'un des éléments d'un programme de gestion de l'énergie (PGE). Cette gestion exige les mêmes méthodes commerciales rigoureuses que celles que l'on applique aux finances, à la production, à la commercialisation et à l'administration.

La gestion énergétique donnera des résultats durables si le plan d'activités à long terme de l'entreprise est axé sur une orientation claire (politiques, objectifs, ressources humaines et financières).

Il n'y a pas de durabilité sans l'engagement des membres à tous les échelons – du conseil d'administration, du président et des cadres supérieurs au personnel opérationnel et administratif. Comme l'illustre la figure 13, l'étape qui précède l'engagement est la compréhension. On ne peut appuyer ce que l'on ne comprend pas!

Figure 13. Étapes de la réussite



Bien que le PGE et le SIGE soient intrinsèquement liés, ils se distinguent cependant l'un de l'autre. Le SIGE donne de l'information tandis que le PGE permet d'intervenir et de produire des résultats concrets. Il importe de connaître cette différence lorsqu'on évalue la situation d'une entreprise.

## 3.1 Facteurs de réussite

Les facteurs suivants influent directement sur le degré de réussite d'un SIGE :

- 3.1.1 Sensibilisation et engagement de la direction
- 3.1.2 Politiques, directives et organisation de l'entreprise
- 3.1.3 Responsabilité du programme
- 3.1.4 Procédures et systèmes
- 3.1.5 Choix de projets et incidences
- 3.1.6 Approbation du budget
- 3.1.7 Approbation des critères d'investissement
- 3.1.8 Formation
- 3.1.9 Systèmes intégrés d'information
- 3.1.10 Rapports sur les économies réalisées
- 3.1.11 Motivation
- 3.1.12 Diffusion de l'information

### 3.1.1 Sensibilisation et engagement de la direction

On ne peut mettre en œuvre d'initiative durable en matière d'énergie sans l'appui concret de la haute direction. Cela paraît évident, mais dans bien des cas, il s'agit d'un obstacle majeur à la mise en place et au maintien d'un PGE fiable. Les raisons du manque d'appui sont diverses.

- Le PDG, le président ou le conseil d'administration ne connaissent pas les avantages financiers d'une initiative de gestion de l'énergie approuvée par les dirigeants.
- La haute direction n'est pas convaincue des avantages de nouvelles initiatives réalisées dans le cadre du plan stratégique de l'entreprise.
- Des initiatives précédentes n'ont pas amené les améliorations escomptées.

Le gestionnaire de l'énergie de l'entreprise doit considérer ce qui suit :

- Les cadres supérieurs ont-ils des renseignements précis et valables sur lesquels fonder leur engagement?
- Reçoivent-ils les rapports concernant l'énergie à temps et dans le format requis?
- Les rapports font-ils partie du système d'information pour les cadres?

Il ne faut pas oublier que ce sont les cadres supérieurs qui établissent les politiques, les objectifs et les budgets associés, non les cadres intermédiaires ou un gestionnaire de l'énergie désigné (voir les sections 5 et 6, et particulièrement le point 6.5, « Obtention de l'appui des décideurs »).



### 3.1.2 Politiques, directives et organisation de l'entreprise

Pour s'assurer que l'efficacité énergétique fait partie intégrante du plan d'activités et n'est pas seulement une question secondaire ou l'objet d'un projet ponctuel, il faut créer une structure organisationnelle et définir un ensemble clair de politiques et de directives approuvées par la haute direction. Cela comprend :

- un énoncé clair des principes d'efficacité énergétique générale qui précise les buts et les objectifs en matière d'utilisation de l'énergie;
- une structure organisationnelle approuvée et un engagement à améliorer l'efficacité énergétique;
- un plan d'action stratégique et un calendrier d'exécution;
- une stratégie et un plan qui visent à rallier tous les employés en faisant appel à leur participation.

La gestion énergétique est avant tout un effort conjoint de la direction et du personnel. Sans l'attention requise, le programme échouera ou ne réussira qu'en partie.

### 3.1.3 Responsabilité du programme

Comme la gestion efficace de l'énergie est axée sur les personnes (plus il y a de participants, plus le programme est efficace), il faut planifier et coordonner les efforts de tous ceux qui y travaillent. L'équation de gestion suivante exprime une réalité importante quand on cherche à améliorer l'efficacité énergétique :

#### **Responsabilité = reddition de comptes + autorité**

L'attribution d'une responsabilité suppose la reddition de comptes. Si les deux éléments de cette équation sont valides, la personne responsable doit détenir l'autorité nécessaire (y compris un budget approuvé) pour atteindre les objectifs et les buts approuvés par la direction.

Dans les entreprises plus petites, la direction peut se charger de la réduction de la consommation d'énergie dans le cadre de ses tâches usuelles de gestion.

Dans les grandes entreprises, il faut plutôt nommer un gestionnaire de l'énergie ou un coordonnateur des politiques énergétiques qui est chargé des projets en la matière et redevable à la haute direction quant à leur réussite. On choisira de préférence un cadre hiérarchique ayant beaucoup d'entregent et de l'expérience dans la gestion de projets.

Même s'il est entièrement responsable de la gestion de l'énergie de l'entreprise, le gestionnaire de l'énergie ne peut, bien entendu, travailler seul. L'étape suivante consiste à mettre sur pied un comité de gestion de l'énergie, qui devrait inclure des membres de chaque secteur qui consomme une grande quantité d'énergie, notamment des représentants du personnel opérationnel, de l'entretien des installations, de l'ingénierie et des finances. Dans la plupart des cas, le gestionnaire de l'énergie ou le coordonnateur des politiques énergétiques de l'installation préside ce comité.

### 3.1.4 Procédures et systèmes

Les procédures et les systèmes sont des éléments très importants à examiner et à remettre en question. Souvent, on peut commencer en réalisant des économies moyennant peu ou pas de frais.

Un SIGE bien structuré déterminera les secteurs à examiner, à inspecter et à vérifier. Il aidera également les cadres et le personnel opérationnel à comprendre comment les réponses à certaines questions amélioreront l'efficacité énergétique. Lancez un défi au personnel opérationnel en demandant : « Sans tenir compte de limites de nature matérielle ou de coût, quels changements – justifiés d'un point de vue opérationnel et économique – recommanderiez-vous? »

*Qui? Quoi?  
Où? Quand?  
Comment?  
Pourquoi?*

### 3.1.5 Choix de projets et incidences

Toute initiative d'efficacité énergétique concernant un secteur ou un procédé aura inévitablement des incidences sur les autres.

### 3.1.6 Approbation du budget

De nos jours, dans le monde des affaires, il y a beaucoup de concurrence interne pour les ressources financières et humaines. L'efficacité d'un PGE dépendra donc du financement et du personnel consacrés à son élaboration et à son maintien. Il faut donc que le gestionnaire et le comité de gestion de l'énergie élaborent un plan d'activités rentable à soumettre à la haute direction.

### 3.1.7 Approbation des critères d'investissement

Il ne sert à rien d'entreprendre des initiatives ou des projets qui exigent des dépenses en capital si la position de l'entreprise à ce sujet n'est pas claire et bien comprise.

- Coût de revient de base : Il se peut que la politique de l'entreprise soit d'obtenir le meilleur prix pour les biens d'équipement neufs ou de remplacement, plutôt que de tenir compte du coût énergétique à long terme.
- Coût du cycle de vie : L'entreprise doit tenir compte de l'efficacité opérationnelle (coût) de l'équipement pour la durée complète de son cycle de vie.
- Période de récupération : Si la politique de l'entreprise établit un délai de 18 mois pour récupérer un coût initial d'investissement, il est irréaliste de préparer une proposition dont la période de récupération est de 3 ans, par exemple.



### 3.1.8 Formation

On oublie souvent la formation, on sous-estime son importance ou on ne la finance pas suffisamment. À moins que les gestionnaires des opérations et le personnel de production reçoivent la formation appropriée sur les nouvelles méthodes et le nouveau matériel, on ne parviendra pas à réaliser les économies escomptées.

Ainsi, même si l'ordinateur fait partie intégrante du milieu de travail actuel, tout le monde n'est pas versé en informatique. Comme le matériel et les contrôles sont informatisés, la formation dans ce domaine est importante et elle se rentabilisera à court terme. Les nouvelles méthodes dans d'autres domaines exigent également de la formation.

### 3.1.9 Systèmes intégrés d'information

Les systèmes d'information de l'entreprise doivent être intégrés afin que les différents services aient accès aux données. L'entreprise peut maintenir plusieurs bases de données dont une partie de l'information peut être dédoublée. Les gestionnaires et le personnel ne doivent pas avoir l'impression qu'un partage des données pourrait mener à des empiètements sur leur sphère de responsabilité. Les données appartiennent à l'entreprise, pas à certains gestionnaires ou services.

### 3.1.10 Rapports sur les économies réalisées

Il faut noter et signaler à la haute direction chaque économie réalisée. Les rapports présentés irrégulièrement constituent l'un des principaux obstacles à l'appui continu des cadres supérieurs. L'information pertinente doit être communiquée à tous les employés selon leurs sphères de responsabilité ou d'engagement. Ces employés contribuent à la réalisation des économies et il faut souligner leurs efforts.

### 3.1.11 Motivation

La motivation joue un grand rôle dans le travail accompli par tous les employés. La communication régulière – officielle ou officieuse – des objectifs, des buts et des réalisations est un élément essentiel d'un programme efficace de gestion de l'énergie. N'oubliez pas que la gestion de l'énergie dépend des personnes; leur participation et leur motivation sont donc indispensables à sa réussite et il faut souligner leur engagement.

### 3.1.12 Diffusion de l'information

L'image de l'entreprise en matière d'énergie et d'environnement revêt de plus en plus d'importance. Certaines entreprises font déjà part à des organismes gouvernementaux de la réduction de leur consommation d'énergie et de leurs émissions de CO<sub>2</sub>, et en informent également leur clientèle. C'est à juste titre qu'elles sont fières de documenter et de diffuser leurs réussites. Elles désirent montrer à la population qu'elles se comportent en bon citoyen, qu'elles améliorent leur efficacité énergétique et qu'elles réduisent leurs émissions de gaz à effet de serre qui contribuent aux changements climatiques.



## 3.2 Évaluation

Il importe d'évaluer le programme de gestion de l'énergie existant (PGE); cela sert également à distinguer un PGE d'un SIGE (voir la section 2). Les tableaux 2 et 3 vous aideront à évaluer votre PGE.

**Tableau 2. Critères de calcul de la réussite**

Facteur	Valeur attribuée	Facteur de pondération*	Note actuelle	Note visée
Engagement de la direction	20			
Politiques, directives et organisation de l'entreprise	10			
Responsabilité du programme	10			
Procédures et systèmes	5			
Choix de projets et incidences	15			
Approbation du budget – ressources financières et autres	15			
Approbation des critères d'investissement	3			
Formation	5			
Systèmes intégrés d'information	5			
Rapports sur les économies réalisées	5			
Motivation	4			
Diffusion à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise	3			
<b>Total</b>	<b>100</b>			

\*Facteur de pondération

Aucune mesure : 0 p. 100

Initiative faible : 25 p. 100

Initiative moyenne (quelques faiblesses) : 50 p. 100

Bonne initiative : 75 p. 100

Excellente initiative : 100 p. 100



**Tableau 3. Évaluation d'un programme de gestion de l'énergie d'une entreprise**

Niveau	Politique énergétique	Organisation	Budget	Investissement	Systèmes d'information	Formation et motivation
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Politique signée et diffusée</li> <li>• Plan d'action détaillé</li> <li>• Processus d'examen et d'évaluation intégré au plan d'activités de l'entreprise et à sa stratégie commerciale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadre supérieur affecté à la gestion de l'énergie</li> <li>• La responsabilité et la production de rapports font partie de la description des fonctions du cadre responsable</li> <li>• Participation active de la haute direction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'énergie est considérée comme des frais d'exploitation; budgets spécifiques par centre de responsabilité ou de coût opérationnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investissement privilégié appliqué à l'acquisition, au remplacement ou à la mise à niveau du matériel, des systèmes et des procédures concernant l'énergie</li> <li>• Politiques en matière d'environnement</li> <li>• Analyse du coût du cycle de vie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SIGE complet surveillant la consommation, les anomalies, les solutions et les économies réalisées par rapport au budget</li> <li>• Intégration au système d'information principal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfectionnement continu des compétences techniques du personnel</li> <li>• Présentation interne et externe des résultats par voie de bulletin ou autre publication régulière</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Politique et plan d'action officiels, mais non intégrés au plan d'activités de l'entreprise</li> <li>• Pas d'engagement ferme de la haute direction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nomination d'un gestionnaire de l'énergie redevable à un cadre supérieur</li> <li>• Existence d'un comité de l'énergie formé des principaux consommateurs et présidé par le gestionnaire de l'énergie de l'installation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Financement approuvé projet par projet dans le cadre du budget d'exploitation</li> <li>• Ordre de priorité des projets établi par le comité de l'énergie et approuvé par le gestionnaire de l'énergie de l'installation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mêmes critères de récupération des coûts que pour tout investissement de l'entreprise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systèmes de surveillance et de contrôle à l'aide de compteurs secondaires</li> <li>• Pas de lien avec le système général</li> <li>• Les économies réalisées sont mal rapportées à la haute direction et au personnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmes limités de formation et de sensibilisation</li> <li>• Diffusion interne et externe des résultats</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Politique non officielle instaurée par le gestionnaire de l'énergie ou le directeur principal d'un service</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nomination d'un gestionnaire de l'énergie redevable à un comité spécial</li> <li>• Pouvoir hiérarchique imprécis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En concurrence avec d'autres demandes de fonds d'exploitation ou d'investissement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investissement à court terme seulement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapports sur les coûts fondés sur la lecture des compteurs ou sur les rapports de consommation retenus par le gestionnaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quelques initiatives de sensibilisation et un peu de formation particulière</li> </ul>



**Tableau 3. Évaluation d'un programme de gestion de l'énergie d'une entreprise (suite)**

Niveau	Politique énergétique	Organisation	Budget	Investissement	Systèmes d'information	Formation et motivation
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Politique ou directives non écrites</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La gestion de l'énergie est une responsabilité à temps partiel</li> <li>• Pas de pouvoir hiérarchique ou d'influence réelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucun financement particulier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Initiatives à peu ou pas de frais seulement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucun système d'information pour faire un suivi non officiel de la consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formation limitée et non structurée</li> </ul>
0	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de directives établies ou implicites</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de responsabilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucun financement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucun financement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de comptabilisation de l'énergie consommée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucun contact avec le personnel</li> </ul>

## Pourquoi faut-il des données en temps réel?

### Qu'entend-on par données en temps réel?

Les données en temps réel sont recueillies automatiquement à intervalles préétablis. Pour un coût presque identique, on peut enregistrer des mesures tous les jours ou toutes les secondes. Afin d'être utile, toutefois, la fréquence de la collecte des données doit :

- être suffisante pour régler des problèmes et trouver des solutions assez rapidement afin d'économiser l'énergie (c.-à-d. avant que le problème disparaisse et que le procédé passe à un autre mode d'opération);
- être supérieure à celle des fluctuations dans la consommation d'énergie que l'on cherche à comprendre (au moins deux fois plus élevée);
- être à intervalles raisonnables pour que les changements soient attribuables aux variations réelles du rendement énergétique et non à celles du système de contrôle.

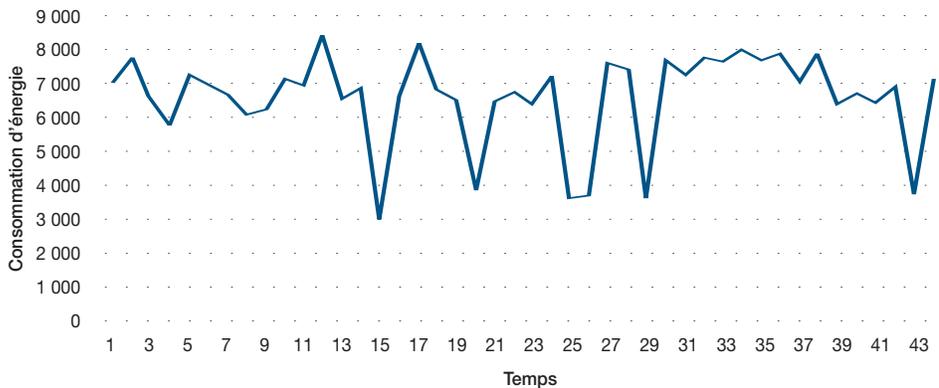
La collecte peu fréquente de données mène à des objectifs approximatifs voire à l'échec de certains systèmes. Si un gestionnaire ne peut constater l'effet sur le rendement des mesures qu'il prend, le système perd toute crédibilité. Les seules économies réalisées sont alors celles qui découlent de la mise en œuvre d'un SIGE ou de tout autre système de surveillance et de suivi énergétique, du fait de sa vocation d'économiser l'énergie. Ces économies sont cependant bien inférieures à ce qu'il est possible de réaliser et, en général, elles ne se répètent pas. Le SIGE doit fonctionner en temps réel pour les raisons suivantes :

- Un système en temps réel détecte le mauvais rendement (c.-à-d. les problèmes) assez rapidement pour que l'on puisse intervenir.
- Les données en temps réel permettent de mieux comprendre l'historique des activités.
- Les données en temps réel permettent d'établir de meilleurs objectifs (modèles).
- L'information en temps réel convient mieux à la comptabilité par activité.
- Les données en temps réel sur l'énergie sont compatibles avec la collecte de données destinée à la gestion globale du rendement d'un procédé (énergie, production, etc.), et leur intégration à ces systèmes est essentielle.

La découverte rapide d'un mauvais rendement permet au personnel de régler le problème qui s'est produit et de réaliser des économies d'énergie. Comparons cette méthode à un système qui signale simplement qu'un problème est survenu la semaine ou le jour précédent : l'opérateur sait alors qu'on a raté une occasion et il doit s'assurer qu'une surveillance en temps réel décèlera la prochaine anomalie.

Comparons également l'utilité d'un profil de demande d'énergie avec celle d'une valeur unique pour la consommation totale d'énergie. La figure 14 montre les divers modes et les anomalies passagères; la courbe montre des tendances importantes à comprendre, et elle peut servir de base à une analyse de données plus détaillée (voir la section 8).

**Figure 14. Profil montrant des anomalies passagères dans la consommation d'énergie**



Parmi les arguments contre l'utilisation des systèmes en temps réel, mentionnons :

- Coût – On peut faire la lecture manuelle des compteurs, mais quel en est le coût (p. ex., en personnel)? Pour être fiables, les lectures **doivent** se faire au même moment de chaque période de collecte (jour ou heure), incluant les jours fériés payés au taux de rémunération des heures supplémentaires.
- Complexité moindre – Les systèmes qui ne fonctionnent pas en temps réel sont moins complexes. Mais combien coûtent-ils en économies d'énergie non réalisées?



# Comment agir pour s'assurer qu'il y aura des améliorations?

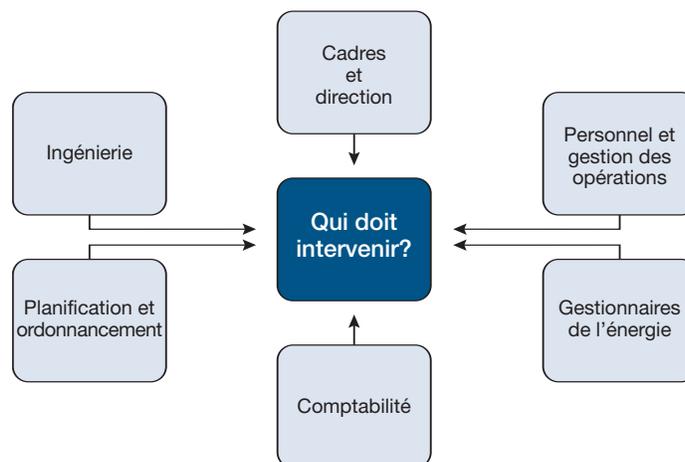
## Aperçu

La mise en œuvre d'un SIGE est peu utile si l'on ne prend pas de mesures fondées sur l'analyse des données recueillies. La présente section indique comment s'assurer que le fonctionnement du SIGE mène à des économies. On y précise également qui doit intervenir, comment et quand, et ce qu'il faut pour être certain que des mesures sont prises.

### 5.1 Qui doit intervenir?

Les mesures d'amélioration sont efficaces lorsque la culture organisationnelle encourage, récompense et maintient des initiatives de réduction des coûts des services d'utilité publique (énergie, eau). Même si un SIGE fournit des renseignements utiles sur les modes de consommation d'un emplacement, il faut de bonnes compétences interpersonnelles pour communiquer efficacement avec le personnel, l'encourager et le motiver à obtenir des résultats.

Figure 15. Incidence du SIGE sur la structure organisationnelle



Comme le montre la figure 15, l'utilisation d'un SIGE comme outil pour inciter à agir se répercute sur la structure organisationnelle. Selon le type d'activités de l'entreprise, la direction et le personnel joueront des rôles différents lorsque des mesures s'imposent.



SIGE que l'on « gave » de données, mais plutôt considérer celui-ci comme un outil aidant à modéliser des améliorations. Il faut en comprendre les capacités et les limites avant d'appliquer l'information qu'il produit.

### 5.2.2 Objectifs

La comparaison du rendement énergétique actuel aux objectifs incite à agir pour améliorer l'efficacité énergétique. La simple surveillance de la consommation d'énergie n'entraîne que des coûts d'immobilisations et ne permet pas d'éviter d'autres coûts.

*Les objectifs bien fondés motivent; les autres inquiètent.*

On calcule les objectifs à l'aide d'une équation qui représente le lien entre la consommation d'énergie vérifiée et ses facteurs déterminants (température extérieure, heures d'exploitation, taux de production, heures d'occupation, etc.). L'équation se fonde sur l'analyse statistique ou sur des données mesurées. Pour être valables et fiables, les objectifs doivent être :

- réévalués régulièrement (au moins tous les trois mois);
- conformes à un plan d'action précis;
- fixés seulement après la mise en place du niveau de surveillance recherchée et l'obtention de données cohérentes et fiables;
- réalistes sans pour autant être trop faciles à atteindre.

En fixant des objectifs qui, en général, s'avèrent appropriés, on assure l'amélioration continue des résultats et on aide à motiver le personnel qui influence la consommation d'énergie. Par contre, les objectifs mal choisis risquent de miner la confiance en le SIGE et de mener à son échec. Plusieurs facteurs influent sur la définition des objectifs et sur la capacité à traduire l'information en mesures :

- Les objectifs doivent être clairement établis et acceptés. Rappelez-vous ce qui en justifie l'application et concentrez les efforts sur leur réalisation. Ne cherchez pas à surveiller les installations entières si une évaluation préalable indique que les principaux avantages à réaliser ne viendront probablement que d'un ou deux secteurs. Établissez des objectifs simples mais pas simplistes.
- Le personnel de gestion ne peut appuyer des objectifs ou s'engager à les atteindre s'il ne les connaît pas ou ne les comprend pas. Les objectifs doivent être expliqués à la haute direction et approuvés par celle-ci.

### 5.2.3 Rapports

Il est important de diffuser des rapports sur l'atteinte, le dépassement ou l'amélioration des objectifs. Ces outils de motivation doivent être utilisés en temps opportun et être clairs, crédibles, pertinents et instructifs. N'inondez pas vos destinataires de données et de chiffres.



Le degré de détail des rapports doit être fonction des destinataires. Généralement, les cadres n'ont besoin que d'un aperçu du rendement. La haute direction a besoin d'information semblable, accompagnée de détails additionnels et de la comparaison entre la consommation d'énergie et les objectifs. Les gestionnaires de l'exploitation et leur personnel ont besoin de renseignements détaillés. Les rapports qu'on leur destine doivent inclure des profils énergétiques et indiquer les principaux facteurs déterminants dont les données plus précises les aideront à diagnostiquer les anomalies.

#### 5.2.4 Formation

Pour que la mise en œuvre d'un SIGE soit suivie de mesures appropriées, le personnel doit comprendre les rapports produits et les mesures qu'il doit appliquer. Cela exige la formation du personnel et la promotion du travail d'équipe.

*L'importance du soutien  
à la formation et à  
la documentation*

La formation doit :

- amener le personnel des installations à bien saisir l'incidence des services d'utilité publique sur l'exploitation ainsi que le fait qu'ils représentent un coût contrôlable;
- inclure des graphiques, des illustrations et des documents simples pour présenter l'historique de l'utilisation de ces services et servir de guide pour la définition des objectifs futurs;
- aider le personnel à collaborer et à repérer les possibilités de réduire les coûts de l'énergie à l'échelle des installations;
- motiver les employés à encourager leurs collègues à participer activement à la réduction de la consommation d'énergie;
- souligner le fait que tout problème est un problème collectif qui exige un travail d'équipe; personne ne doit être laissé seul aux prises avec un problème à régler.

#### 5.2.5 Soutien décisionnel

Comme nous l'avons souligné à la section 3, la mise en œuvre efficace de mesures d'efficacité énergétique doit concerner diverses unités au sein de l'organisme. Un comité d'aide à la prise de décisions par l'autorité responsable (c.-à-d. le gestionnaire de l'énergie) peut servir de cadre propice à l'obtention d'un consensus sur les mesures susceptibles de toucher plus d'une unité opérationnelle. Le comité peut également promouvoir la communication entre divers services et présenter des arguments convaincants à la haute direction afin qu'elle approuve les projets proposés.

#### 5.2.6 Vérification de la réussite

L'obtention de premiers résultats fructueux attestés par le SIGE maintiendra le degré de motivation à l'endroit des mesures d'amélioration. La crédibilité du système rehaussera cette motivation et aidera à rallier tout le personnel.



### 5.2.7 Motivation et reconnaissance

Le service des ressources humaines peut établir la façon de récompenser un bon rendement : la reconnaissance publique (affiches, témoignages, bulletins, récompenses non pécuniaires remises à l'occasion d'activités spéciales, etc.) ou de modestes primes en argent. On peut également favoriser la motivation en garantissant au personnel qu'il pourra compter sur la collaboration de l'équipe pour corriger un mauvais rendement.

### 5.2.8 Analyse comparative et pratiques exemplaires

Les comparaisons tirées d'une analyse comparative peuvent servir de catalyseur à la prise de mesures destinées à améliorer le rendement énergétique et à réduire les coûts.

Même si le processus de révision des objectifs permet de mieux saisir le rendement des activités et les coûts des services d'utilité publique, nombre d'entreprises cherchent également à comparer leur rendement à celui des concurrents et à comparer celui de leurs différentes unités. L'analyse comparative sert à cette fin. Elle offre également aux gestionnaires une excellente occasion d'apprentissage. Les réductions de la consommation d'énergie provenant des données du SIGE peuvent se traduire en pratiques exemplaires. L'entreprise a beaucoup à gagner si toutes les unités utilisent les pratiques exemplaires définies par d'autres unités ou par un intervenant de l'industrie.

Avant d'effectuer toute analyse comparative, l'entreprise doit :

- décider d'abord de la base de comparaison (p. ex., consommation d'énergie par quantité totale de matière première brute traitée, ou par quantité totale de produit raffiné);
- déterminer les opérations devant servir de référence;
- faire sa propre recherche et se préparer adéquatement en vue d'une association avec d'autres entreprises à ce sujet.

On peut trouver des candidats à l'analyse comparative par l'entremise d'associations industrielles, de publications spécialisées ou de relations avec des collègues. La plupart des entreprises pressenties pour échanger des données sont ouvertes aux analyses comparatives, même si certaines peuvent hésiter pour des questions de concurrence.

*Sachez quelles données sont nécessaires et quels résultats sont escomptés – comparez des pommes avec des pommes.*

Les entreprises conscientes d'être pressenties, en raison de leur réputation dans leur secteur, acceptent souvent de partager l'information. La plupart d'entre elles refuseront toutefois de le faire avec une entreprise qui n'a pas effectué son propre examen.





# Comment concevoir et justifier un SIGE efficace?

## Aperçu

La présente section décrit une démarche structurée pour la conception d'un SIGE efficace. On y traite de l'élaboration d'une vision et d'une analyse de rentabilisation, et de l'obtention de l'appui nécessaire à sa mise en œuvre. Les points clés sont résumés à la fin de la section.

### 6.1 Créer la vision d'un SIGE efficace

Avant d'investir dans un SIGE, l'entreprise doit avoir une vision claire. Les facteurs qui influent sur la décision d'amorcer un projet de SIGE comprennent :

- le besoin de réduire les émissions de gaz à effet de serre;
- la constatation qu'on peut limiter les coûts des services d'utilité publique et qu'il ne s'agit pas de frais généraux fixes;
- la volonté d'une négociation efficace des contrats de services publics fondée sur la connaissance approfondie du profil de consommation énergétique des installations;
- le besoin de diagnostiquer les anomalies en temps réel, le contrôle de qualité des produits et la capacité à remettre en question le rendement des installations.

Il faut considérer les points mentionnés ci-après avant de concevoir un SIGE.

#### 6.1.1 Besoins des installations

La mise en œuvre doit tenir compte des besoins des installations, sinon il ne s'agit que d'un « système » et non d'un outil de gestion. Pour cela, il faut savoir quelles mesures de rendement peuvent contribuer à la stratégie d'exploitation des installations.

*Le SIGE doit convenir aux installations, impliquer le personnel opérationnel et produire des données en temps réel.*

### 6.1.2 Utilité du système

Il faut bien comprendre à quoi servira le SIGE et comment il se traduira directement ou indirectement en économies de coûts des services d'utilité publique. Le SIGE doit donner des résultats si l'on tient à ce qu'il soit utilisé pendant plusieurs années. Cela signifie qu'il doit rassembler l'expérience acquise relativement aux opérations d'une installation sans avoir à réapprendre l'information utile. Il doit donc :

- recueillir et stocker une quantité considérable d'information, l'organiser logiquement et la rendre facilement accessible dans des délais raisonnables;
- être assez flexible pour s'adapter aux besoins de l'établissement principal d'une entreprise qui en possède plusieurs, tout en répondant aux besoins particuliers d'installations éloignées, si la charge énergétique est appréciable et qu'elle représente un facteur limitatif pour l'ensemble des activités;
- encourager la coopération et aider à l'analyse et à la prise de décisions.

## 6.2 Première étape de la conception : La mesure

Lorsqu'on a une vision claire de l'utilisation du SIGE, il faut définir comment la consommation d'énergie sera mesurée. Pour mettre en place un système efficace, il faut fonder la conception du SIGE sur deux aspects clés :

- l'engagement manifeste de la personne responsable du processus;
- la présentation en temps réel des mesures du rendement.

Il n'est guère utile de concevoir un système élaboré de contrôle de la consommation d'énergie si on mesure celle-ci trop grossièrement. De plus, les mesures ne seront d'aucune utilité si l'abondance de détails complique la détermination de la consommation historique d'énergie d'un secteur précis et ne permet pas de connaître les raisons pour lesquelles elle diffère des valeurs antérieures. En fait, c'est la personne responsable du procédé qui est la mieux placée pour répondre à ces questions. Un système efficace offre également des outils aux personnes qui fabriquent le produit afin qu'elles obtiennent des indicateurs de rendement lors du processus de fabrication et y répondent adéquatement.

L'objectif premier d'un SIGE est de comparer la consommation en temps réel des services d'utilité publique avec des données historiques et de fixer des objectifs (p. ex., au sujet de la consommation d'énergie du lot courant par rapport au précédent). Tant que ces deux variables ne sont pas intégrées au SIGE, on risque de souffrir du « syndrome du rétroviseur », où l'on présente de l'information que personne n'aura le temps d'examiner.

Il est logique de demander à la personne responsable d'un procédé de recueillir les données sur le procédé et la consommation d'énergie et d'expliquer le rendement en temps réel. Les autres employés n'ont probablement pas les connaissances requises et de toute façon, ils auraient à consulter cette personne.



Il faut tenir compte du degré de mesure de la consommation d'énergie au moment de la conception du SIGE. Cela donne lieu au compromis habituel entre le coût et les besoins. Si, à cause de mesures insuffisantes, la consommation d'énergie n'est pas répartie en « blocs » correspondant à ceux de la gestion du procédé, on pourra difficilement instaurer le principe de responsabilité requis pour sa gestion efficace.

Pour répondre aux arguments selon lesquels le SIGE est une forme de microgestion inutile, les opérateurs de procédé expérimentés admettent généralement qu'il est difficile de gérer un procédé en se contentant de comparer la quantité totale de matières premières à la production totale mensuelle. Il n'est pas rare qu'une cuve de traitement soit équipée de matériel valant de 100 000 \$ à 200 000 \$, destiné à la microgestion de cette partie du procédé. Cela fait partie de la surveillance du procédé; par contre, on accorde rarement autant d'attention à la gestion de l'énergie. Si on est vraiment décidé à élaborer des mesures, à remettre en question les pratiques en cours et à revoir la consommation d'énergie dans le cadre d'un processus d'examen régulier des coûts axé sur la gestion de l'énergie, il faut connaître la consommation énergétique, au moins quotidienne, par unité de production pour chaque secteur.

### 6.3 Étape suivante : L'intégration aux systèmes existants

Au moment de l'élaboration du SIGE, il faut accorder une attention particulière à son intégration aux systèmes de gestion en place. La baisse continue du coût du traitement des données, la disponibilité accrue de largeurs de bande de communication et l'amélioration continue des moteurs de recherche facilitent l'intégration du SIGE aux systèmes de TI existants. Un grand nombre d'entreprises utilisent déjà une variété de systèmes SCR et SCADA, systèmes qui permettent l'inclusion d'une bonne partie de l'infrastructure et du matériel existants dans la conception d'un SIGE.

*Utilisez le plus possible l'infrastructure existante.*

Vu que les besoins du SIGE seront vraisemblablement plus étendus que ceux du système de TI existant, sa mise en œuvre demandera probablement des variables d'entrée ou de sortie supplémentaires. Cela peut se faire assez facilement en ajoutant des dispositifs comme des capteurs, en reliant les signaux à des cartes d'entrée de réserve et en effectuant une certaine reprogrammation.

Au moment de l'élaboration, outre les questions d'acquisition de données, de surveillance et de contrôle, il faut déterminer les caractéristiques actuelles des systèmes de gestion en place, des normes ISO et des procédures qu'il est possible d'intégrer au SIGE. Cette évaluation sert à mieux connaître l'utilisation des systèmes existants dans une architecture qui intègre des données, des fonctions (analyse, gestion de documents, outils de simulation, moteur de recherche, etc.) et leur présentation. Il faut aussi connaître le fonctionnement des réseaux d'entreprise qui soutiennent cette architecture, notamment les intranets et les extranets pour les connexions aux services d'utilité publique et aux fournisseurs et les liens Internet.



Étant donné qu'on trouve aujourd'hui des systèmes de comptabilité analytique d'exploitation dans toutes les usines, il faut intégrer le SIGE aux systèmes en place, et ce, afin d'être certain que la gestion de l'énergie sera bien intégrée aux activités principales et non reléguée au second plan.

*Tenez compte de l'interaction entre la technologie et les gens.*

En général, les obstacles à la mise en œuvre d'un SIGE sont liés davantage à des questions d'ordre culturel ou organisationnel qu'à des réalités techniques. La mise sur pied d'une équipe d'experts exige plus que de l'équipement tels les logiciels, les bases de données étoffées et le matériel. Il faut tenir compte des aspects suivants en ce qui a trait à l'interaction entre les gens et la technologie :

- Avant l'élaboration du SIGE, il faut rapprocher les données existantes qui ne sont pas compatibles à l'échelle de l'entreprise. Dans un environnement d'échange de données, leur homogénéité est essentielle.
- Il est difficile d'encourager l'échange d'information s'il est dans la culture de l'entreprise de classer les employés strictement en fonction du rendement individuel. On va alors se heurter à l'idée selon laquelle la recherche et la diffusion de connaissances nuisent à la valeur future de quelqu'un pour son entreprise. (« Pourquoi aurait-on besoin de moi? » ou « Quelqu'un d'autre va-t-il s'attribuer le mérite si j'échange de l'information? »). On peut promouvoir l'esprit de collaboration au sein de l'entreprise en reconnaissant la participation à la transmission du savoir et au travail d'équipe au moment des évaluations du rendement.
- Mettre l'accent uniquement sur la technologie ne permet pas de vaincre la réticence ou de surmonter l'incapacité à communiquer l'information entre les échelons dans les structures hiérarchiques. La direction doit décider qui aura un accès complet à l'information afin de prendre des décisions éclairées pendant que se déroulent les activités courantes.

#### 6.4 Analyse de rentabilité : Étude coûts-avantages

On ne peut encore évaluer avec exactitude les économies réalisées sur les factures énergétiques annuelles qui découlent de la mise en œuvre d'un SIGE. Au cours des 15 dernières années, des travaux importants ont été effectués au Royaume-Uni à cet effet; on a conclu qu'un SIGE correctement mis en œuvre peut permettre d'économiser de 5 à 15 p. 100 des frais d'énergie annuels. Comme première approximation, 8 p. 100 nous semble une estimation raisonnable. Pour avoir une estimation plus précise des économies, il faut faire une analyse préliminaire sur la consommation d'énergie d'une installation afin d'évaluer l'ampleur des charges contrôlables et des réductions que permettraient de meilleures pratiques fondées sur une information cohérente obtenue en temps opportun. Les résultats d'une telle enquête peuvent servir à recenser les secteurs les plus énergivores et les économies possibles, si l'on décide de mettre en œuvre un projet pilote ciblé et à portée réduite avant la mise en œuvre intégrale. Si c'est le cas, il faudra que les logiciels (base de données, éléments graphiques, rapports, archivage et enregistrement des tendances antérieures) et les composants matériels



(capacité de traitement, largeur de bande du réseau, disque dur et mémoire, impression) du SIGE aient une capacité d'extension suffisante pour répondre aux besoins futurs sans que le processus soit interrompu.

Le montant des dépenses qu'on peut justifier en vue de la mise en œuvre d'un SIGE devrait être proportionnel aux coûts annuels des services d'utilité publique de l'installation. Il s'agit là du point de référence qui sert à estimer les économies possibles des coûts d'énergie. Même s'il n'existe pas de règles strictes pour déterminer le montant des dépenses justifiables, la fourchette des coûts (fondée sur l'expérience au Royaume-Uni) présentée au tableau 4 peut offrir des balises approximatives.

*Quel niveau de dépenses peut-on justifier?*

**Tableau 4. Coût approximatif d'investissement raisonnable dans un SIGE**

Coûts d'énergie annuels	Coût approximatif d'investissement raisonnable dans un SIGE
125 000 \$	jusqu'à 25 000 \$
250 000 \$	jusqu'à 40 000 \$
600 000 \$	jusqu'à 50 000 \$
1 250 000 \$	jusqu'à 150 000 \$
2 500 000 \$	jusqu'à 200 000 \$ ou plus

Les coûts approximatifs indiqués au tableau 4 couvrent divers niveaux d'acquisition de matériel et de logiciels. Des dépenses de 150 000 \$ ou moins représenteraient l'achat d'un nombre modeste de compteurs, de tableurs d'analyse et peut-être de logiciels et de matériel de collecte de données de base dans la gamme de prix supérieure. Des dépenses de plus de 200 000 \$ indiquent l'achat de matériel et de logiciels de mesure, de collecte et d'analyse des données ainsi que de systèmes réseautés supérieurs.

Il faut souligner qu'aux coûts de l'installation initiale du SIGE s'ajoutent des coûts de fonctionnement (notamment en temps et en entretien) dont il faut tenir compte dans la justification d'un projet. D'autre part, les leçons tirées du processus de collecte de données et leur mise à jour en fonction des changements apportés à l'environnement de l'entreprise entraînent des frais de soutien permanents, soit en temps et en argent qu'il faut inscrire au budget.

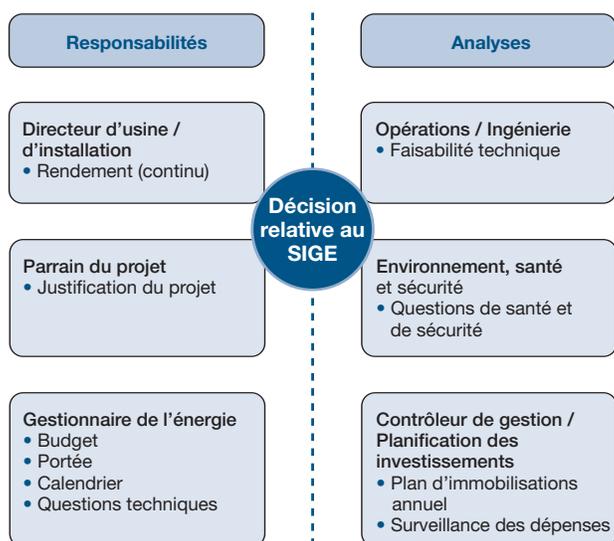
Après avoir pris en compte des aspects de l'analyse coûts-avantages et peaufiné l'avant-projet afin de respecter la période de récupération requise, il faut inclure les avantages non monétaires dans la demande. Grâce à un SIGE, il est possible, par exemple, de préserver l'information essentielle qui disparaîtrait autrement au départ de certains employés – ce qui constitue un avantage important.



## 6.5 Obtention de l'appui des décideurs

Comme nous l'avons mentionné dans la section précédente, la mise en œuvre d'un SIGE touche différentes unités de gestion et d'exploitation d'une organisation. La phase finale de la concrétisation de la vision initiale est l'obtention de l'appui des décideurs clés. Vu le nombre élevé d'intervenants dans le processus, la coordination est cruciale. Le gestionnaire de l'énergie (ou du projet) est généralement le mieux placé pour coordonner et organiser le projet soumis à la haute direction. La figure 16 illustre la boucle décisionnelle, y compris les intervenants clés, leurs objectifs et leurs motivations.

**Figure 16. Responsabilités et analyses de la boucle décisionnelle**



## 6.6 Conception et mise en œuvre d'un SIGE : Liste de contrôle

Le tableau suivant résume une démarche structurée afin de concevoir et de mettre en œuvre un SIGE efficace. Cette liste de contrôle vise à aider le lecteur à élaborer ses propres solutions.

Oui	Non		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	A-t-on clairement défini ce que l'on veut accomplir?	Soyez clair sur l'utilisation du SIGE, sur la façon dont il améliorera la gestion de l'énergie et sur sa rentabilité.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	A-t-on défini le mode d'intégration du SIGE aux systèmes de gestion de l'énergie et des TI existants?	Pensez à l'infrastructure existante utilisable en faisant le point sur l'état des logiciels, du matériel et des dispositifs en place, le savoir du personnel, la culture organisationnelle et la hiérarchie.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	A-t-on établi tous les rapports nécessaires à la réalisation des objectifs et décidé de leurs destinataires?	De quoi le personnel et les cadres opérationnels ont-ils respectivement besoin? Déterminez le contenu des rapports et leur présentation (documents imprimés, affichage SCR, page Web). Évitez la surdose de renseignements qui pourrait décourager l'utilisation du système.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	A-t-on défini les types de données nécessaires à la préparation des rapports?	Cela ne se limite pas à la collecte de données sur la consommation d'énergie. Il faut inclure aussi des facteurs déterminants (degrés-jours, niveaux de production, heures d'activité) et penser à la collecte de données en temps réel. Cela permet de faire une bonne analyse des facteurs qui influent sur la consommation d'énergie et de diagnostiquer les anomalies. Autant que possible, ce sont les systèmes (SCADA, SCR et CP) qui recueillent les données sur les procédés qui serviront à la collecte des données sur l'énergie.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	A-t-on établi les caractéristiques de l'analyse appropriée des données?	Il est inutile de recueillir des données si on ne les analyse pas correctement. Les méthodes d'analyse de données (comme l'exploration des données) doivent fournir des renseignements sur le lien entre les facteurs déterminants et la consommation d'énergie, et aider à déceler les anomalies qui influent sur les coûts de l'énergie. On peut inclure l'analyse prévisionnelle comme fonction avancée. On peut s'attendre à une efficacité accrue si le logiciel d'analyse des données permet à un système de commande de procéder de réduire l'écart par rapport à un point de consigne, d'accroître la production, de diminuer la consommation d'énergie, et de prévoir ou de diagnostiquer rapidement les anomalies.



## Conception et mise en œuvre d'un SIGE : Liste de contrôle (suite)

- |                       |                       |   |   |
|-----------------------|-----------------------|---|---|
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Le SIGE sera-t-il relégué au second rang?   | Il faut intégrer le SIGE aux systèmes de contrôle et de surveillance et aux systèmes de TI existants. Il faut transmettre à la direction l'information provenant du système en même temps que celle sur le rendement et la production (entre autres). Si on ne s'intéresse qu'à l'énergie, le SIGE risque d'être relégué au second rang.  |
| <hr/>                 |                       |   |   |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | A-t-on prévu et approuvé une enveloppe budgétaire pour les services de soutien?         | Il faut s'assurer que les prévisions budgétaires comportent une enveloppe pour les services de soutien comme la mise en service, les essais, la formation et la documentation sur les installations, l'assistance technique et le dépannage périodique.   |
| <hr/>                 |                       |   |   |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | A-t-on achevé l'analyse préliminaire en matière d'énergie et l'analyse coûts-avantages? | La réussite éventuelle d'un SIGE se mesure à son rendement avantages-coûts. On peut parvenir à une estimation raisonnable de la période de récupération en effectuant une analyse des économies probables de coûts annuels en énergie et des prévisions budgétaires catégorisées des dépenses d'investissement (prévisions qui peuvent être obtenues des fournisseurs).   |
| <hr/>                 |                       |   |   |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Y a-t-il assez de souplesse pour améliorer au besoin la conception du SIGE?             | Il faut être prêt à améliorer sa conception en fonction des attentes budgétaires de la direction. Il faudra peut-être réduire jusqu'aux niveaux strictement nécessaires le nombre d'appareils de mesure, la capacité d'analyse et de stockage des données ainsi que la production de rapports en vue d'en diminuer les coûts. Avant d'engager des sommes importantes et d'enclencher la mise en œuvre, commencez par un projet pilote générant les économies escomptées pour accroître l'appui au projet global. On peut augmenter le rendement en n'appliquant le système qu'aux secteurs les plus susceptibles de donner lieu à des économies notables. |
| <hr/>                 |                       |   |   |
| <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | A-t-on terminé la préparation d'une demande de fonds bien faite?                        | Dans la plupart des cas, le processus de demande de fonds inclut la présentation d'un document écrit et d'un exposé oral du projet à la haute direction. La présentation doit être objective et mettre l'accent sur les objectifs opérationnels plutôt que sur la technologie.  |
| <hr/>                 |                       |   |   |



## Système efficace de rapports en matière d'énergie

07

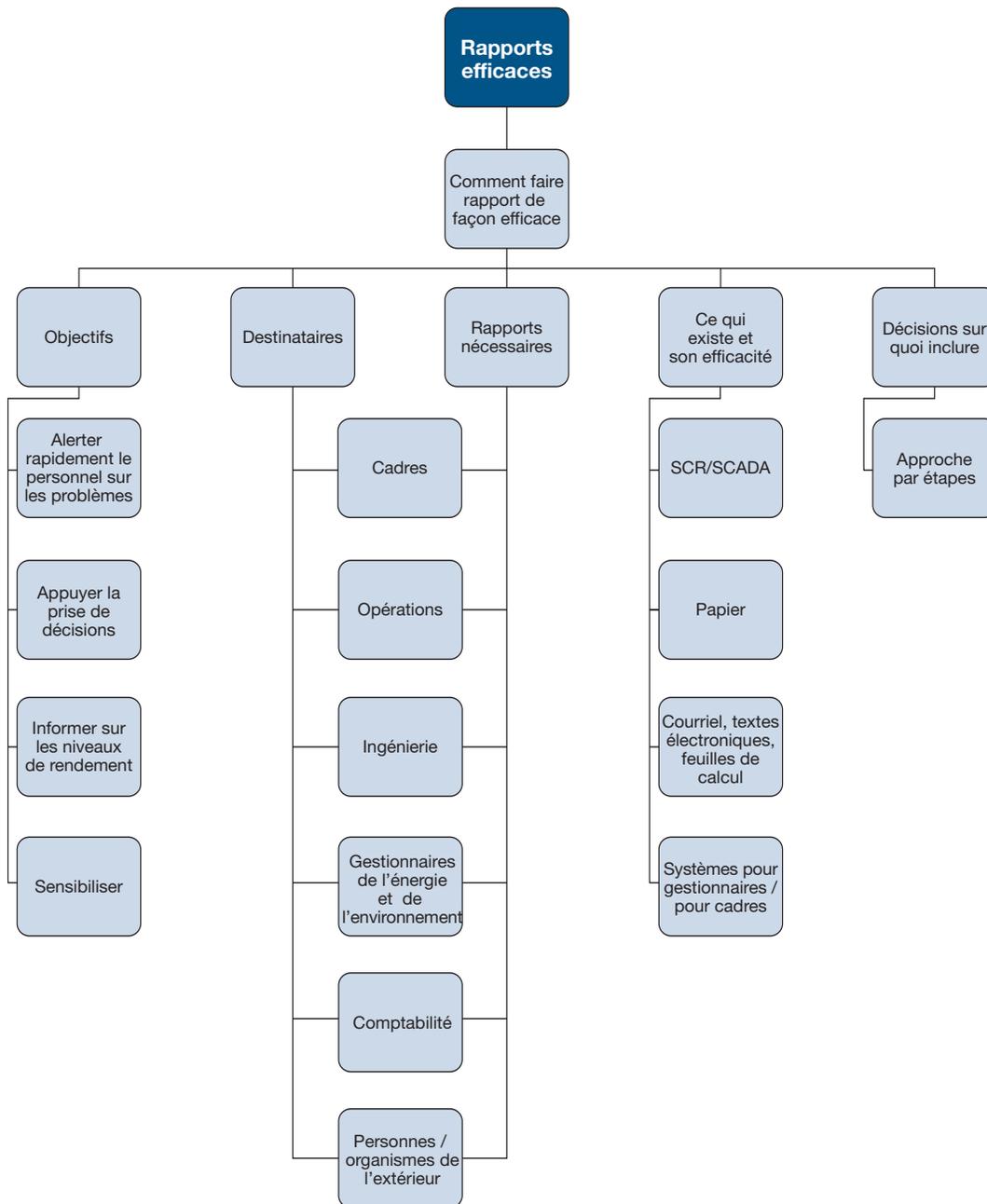
### Aperçu

Un système efficace de rapports en matière d'énergie est un élément essentiel à la réussite d'un SIGE. Dans une entreprise, les rapports servent à une foule de personnes et de services – du personnel opérationnel au président. Ils doivent contenir de l'information pertinente et compréhensible ainsi que des données cohérentes.

L'information contenue dans les rapports doit permettre à l'utilisateur d'agir. Le personnel opérationnel doit être informé de l'apparition d'un problème dès que possible et savoir quoi faire. La haute direction a par ailleurs besoin d'une information sommaire afin de savoir si les procédures et les systèmes en place fonctionnent bien. Pour élaborer ces rapports, il importe de comprendre à qui et à quoi ils servent.

Il faut utiliser le plus possible l'infrastructure de communication existante. Les intranets de l'entreprise et Internet soutiennent les techniques graphiques, et le Web peut faciliter l'accès aux rapports partout et en tout temps. La figure 17 résume les sujets abordés dans la présente section.

**Figure 17. Système efficace de production de rapports en matière d'énergie : Questions et réponses**



## 7.1 Qu'est-ce qu'un rapport efficace?

Un SIGE doit permettre la production efficace de rapports sur le rendement destinés au personnel approprié afin :

- de s'assurer que le personnel est averti des problèmes en temps opportun;
- de permettre la prise de décision efficace;
- de pouvoir s'informer sur les niveaux de rendement à l'interne et à l'externe;
- d'augmenter le niveau de sensibilisation et de gagner l'appui en faveur des initiatives de gestion de l'énergie.

Un SIGE complet cible un éventail de personnes et de groupes, dont :

- les cadres;
- les gestionnaires des opérations;
- le personnel opérationnel;
- les ingénieurs;
- les comptables;
- les gestionnaires de l'énergie et de l'environnement;
- les consultants externes;
- les planificateurs et les agents d'ordonnement;
- les utilisateurs spéciaux.

Les rapports, différents selon les destinataires, doivent tous s'appuyer sur des données valides concernant le rendement réel des procédés, une analyse claire et des objectifs de rendement.

Les données présentées doivent être cohérentes, et il est souvent indiqué de diffuser les rapports à l'ensemble du personnel (à moins qu'on ne puisse le faire pour des motifs de confidentialité). Cependant, les rapports destinés à des utilisateurs particuliers doivent se limiter à l'information qui leur est nécessaire pour agir efficacement. Il faut éviter la surdose d'information; le personnel pourra toujours consulter des rapports plus détaillés.

On recommande de rendre les rapports disponibles à des endroits et à des moments opportuns. Sur ce plan, une interface Web accessible sur le réseau ou l'intranet de l'entreprise peut s'avérer très efficace.

En général, il faut bien intégrer les rapports aux systèmes existants de surveillance et de gestion du rendement. Par exemple, si le personnel opérationnel s'appuie sur des SCR ou des SCADA pour obtenir de l'information, on devrait présenter les résultats à l'aide de ces mêmes systèmes. Si les cadres utilisent efficacement leur propre système d'information, servez-vous-en pour communiquer les résultats. Utilisez également le site Web de l'entreprise à ces fins.





- une indication des économies (ou des pertes) réalisées à ce jour et les facteurs qui ont mené à ce résultat;
- une indication des possibilités d'économies additionnelles et des mesures en cours pour les concrétiser.

On devrait produire un nouveau rapport tous les mois et à temps pour les réunions du conseil d'administration (pour que le cadre puisse en inclure les données dans ses propres rapports et préparer ses questions).

Le mode d'établissement des rapports varie grandement; il y a les rapports imprimés, les documents électroniques facilement intégrables à ceux du conseil d'administration et les systèmes informatisés. Les cadres peuvent utiliser leur propre système d'information ou être rompus à l'utilisation des navigateurs Web, des tableurs ou de logiciels similaires.

### 7.2.2 Gestionnaires des opérations

Les gestionnaires des opérations sont chargés de l'exploitation efficace des procédés et des installations. Ils doivent connaître, pour chaque quart de travail, chaque jour, chaque semaine ou chaque mois (selon la nature du procédé et la consommation d'énergie), la quantité d'énergie consommée afin de la comparer à divers objectifs.

L'information sert :

- à mesurer et à gérer l'efficacité du personnel opérationnel, des installations de traitement et des systèmes;
- à repérer rapidement les problèmes;
- à rédiger les rapports de rendement (à l'intention des cadres).

Généralement, le gestionnaire des opérations a besoin de rapports simples, soit par une interface Web ou sous forme d'un document électronique ou d'un tableur, ou au moyen d'un système de rapports de gestion existant. Il faudra peut-être incorporer l'information dans les rapports existants de rendement des procédés ou des installations.

### 7.2.3 Personnel opérationnel

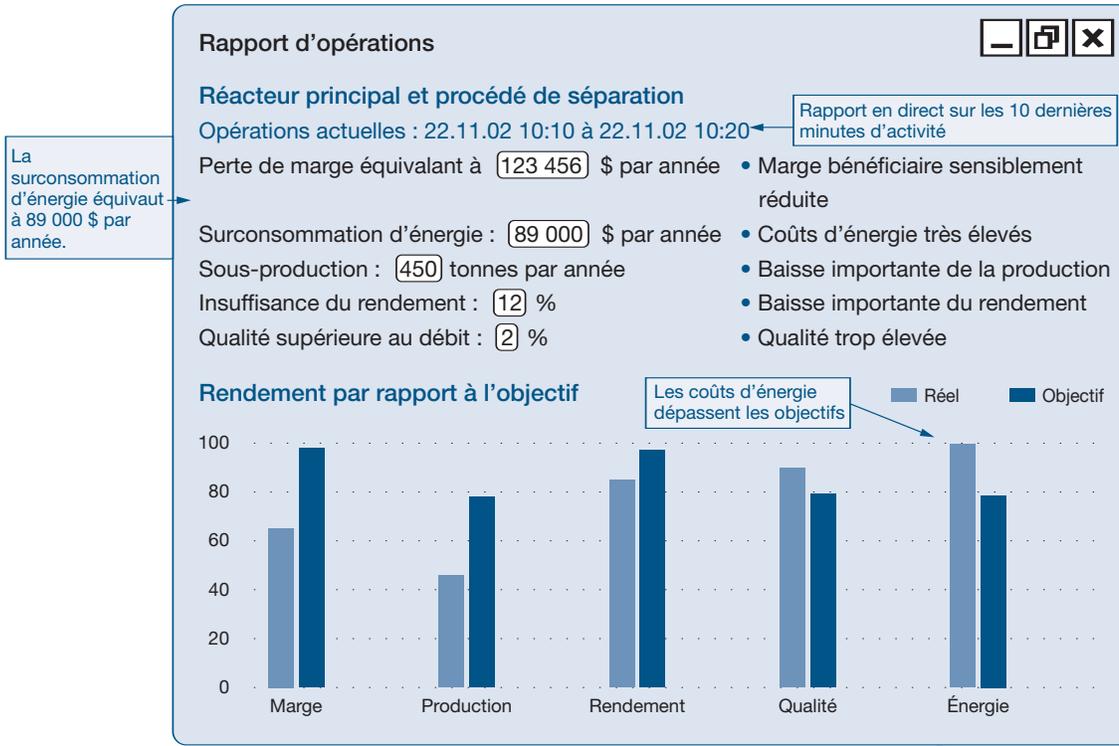
Le personnel opérationnel doit être informé d'un problème dès son apparition et connaître les mesures à prendre pour y remédier. Il faut que l'information soit :

- communiquée à temps, ce qui peut signifier dans les minutes qui suivent l'incident pour un procédé très énergivore, ou durant la journée ou la semaine qui suit;
- rapportée à l'aide d'un système facile à utiliser et rapidement accessible (en général, le SCR, le SCADA ou une interface de navigateur Web).

La figure 18a présente un avertissement selon lequel le rendement énergétique des 10 minutes précédentes a été mauvais.



Figure 18a. Exemple d'un rapport d'opérations comportant un avertissement



Comme le montrent les figures 18a et 18b, l'information sur l'énergie doit être présentée avec d'autres facteurs clés de rendement.

Des solutions de soutien décisionnel peuvent également être nécessaires pour indiquer aux opérateurs comment réagir devant un mauvais rendement.



Figure 18b. Autre exemple d'un rapport d'opérations comportant un avertissement

The screenshot shows a window titled "Conditions optimales de fonctionnement" with standard window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner. The main content is under the heading "Réacteur principal et procédé de séparation". It states "Opérations actuelles : 22.11.02 10:10 à 22.11.02 10:20" and lists instructions for achieving best practices. A callout box points to the current operations time, stating "Le rapport concerne les activités en cours". Another callout box points to the instruction "Régler la température du réacteur à 158 ° C", stating "Les opérateurs reçoivent des consignes précises au moment où ils en ont besoin". At the bottom, there is a note: "Effectuez les changements à l'aide du système de commandes de l'usine. En cas de doute, communiquez avec le soutien à l'exploitation au poste X25681."

Conditions optimales de fonctionnement

Réacteur principal et procédé de séparation

Opérations actuelles : 22.11.02 10:10 à 22.11.02 10:20

Pour atteindre des pratiques exemplaires :

- Régler la température du réacteur à 158 ° C
- Réduire le débit de la production de l'usine à 15,5
- Ajuster le rapport des débits des trains 1 et 2 à 1,1:1
- Augmenter la profondeur du lit à la valeur de consigne
- Réduire à 16,5 la valeur de consigne de la pression à l'entrée

Effectuez les changements à l'aide du système de commandes de l'usine. En cas de doute, communiquez avec le soutien à l'exploitation au poste X25681.

#### 7.2.4 Ingénieurs

Le personnel d'ingénierie remplit plusieurs rôles, notamment aux chapitres des opérations, du soutien et de projets.

Les ingénieurs qui prennent directement part aux activités ont besoin de rapports semblables à ceux destinés au personnel opérationnel (décrits à la section 7.2.3). Généralement, les ingénieurs se heurtent à des problèmes qui laissent plus de temps pour intervenir (par rapport aux opérateurs de procédés) comme le nettoyage des échangeurs de chaleur, la résolution d'un problème de contrôle ou le retrait de l'air d'un condenseur de réfrigération.

Les ingénieurs qui ne prennent pas directement part aux activités, mais qui offrent des services de soutien, ont un plus grand besoin de données historiques détaillées. Généralement, ils participent à l'analyse du rendement antérieur, à l'élaboration des objectifs et à la modélisation. Il faut qu'ils aient accès au système d'archivage informatique des données des installations, et leurs outils d'analyse vont des tableurs usuels aux logiciels d'exploration avancée de données et autres applications similaires.

Les ingénieurs engagés dans des projets ont besoin de données complémentaires comme les niveaux de consommation d'énergie et les conditions de fonctionnement des procédés. Il leur faut également accéder aux données historiques brutes et aux outils d'analyse.

Il importe donc que les données sur l'énergie et les outils servant à les analyser soient bien documentés et soutenus.



### 7.3 Approche par étapes

La démarche suivante sert à l'élaboration de rapports efficaces.

Déterminer le personnel cible; il s'agit de personnes dont l'engagement peut aider à économiser l'énergie. S'adapter à leurs besoins particuliers :

- connaître les systèmes existants de rapports sur le rendement;
- évaluer l'efficacité et la pertinence des systèmes existants reliés à l'information sur l'énergie;
- discuter et convenir de la forme, du contenu et du calendrier des rapports avec les utilisateurs;
- mettre un accent particulier sur les rapports au personnel opérationnel, notamment en ce qui a trait à la surveillance en ligne et au soutien décisionnel;
- mettre en œuvre les systèmes de rapports à l'aide de l'infrastructure de surveillance et de données existantes;
- assurer un contrôle adéquat et un soutien continu aux systèmes de production de rapports;
- réviser et améliorer les rapports de façon continue.

Ce sont les besoins en matière de rapports qui déterminent les besoins d'analyse, de surveillance et de mesure des données. La tâche essentielle de déterminer ces besoins est effectuée aux premières étapes de l'élaboration du SIGE, après la détermination des résultats attendus (voir la section 2.3).





## Analyse des données sur l'énergie

### Aperçu

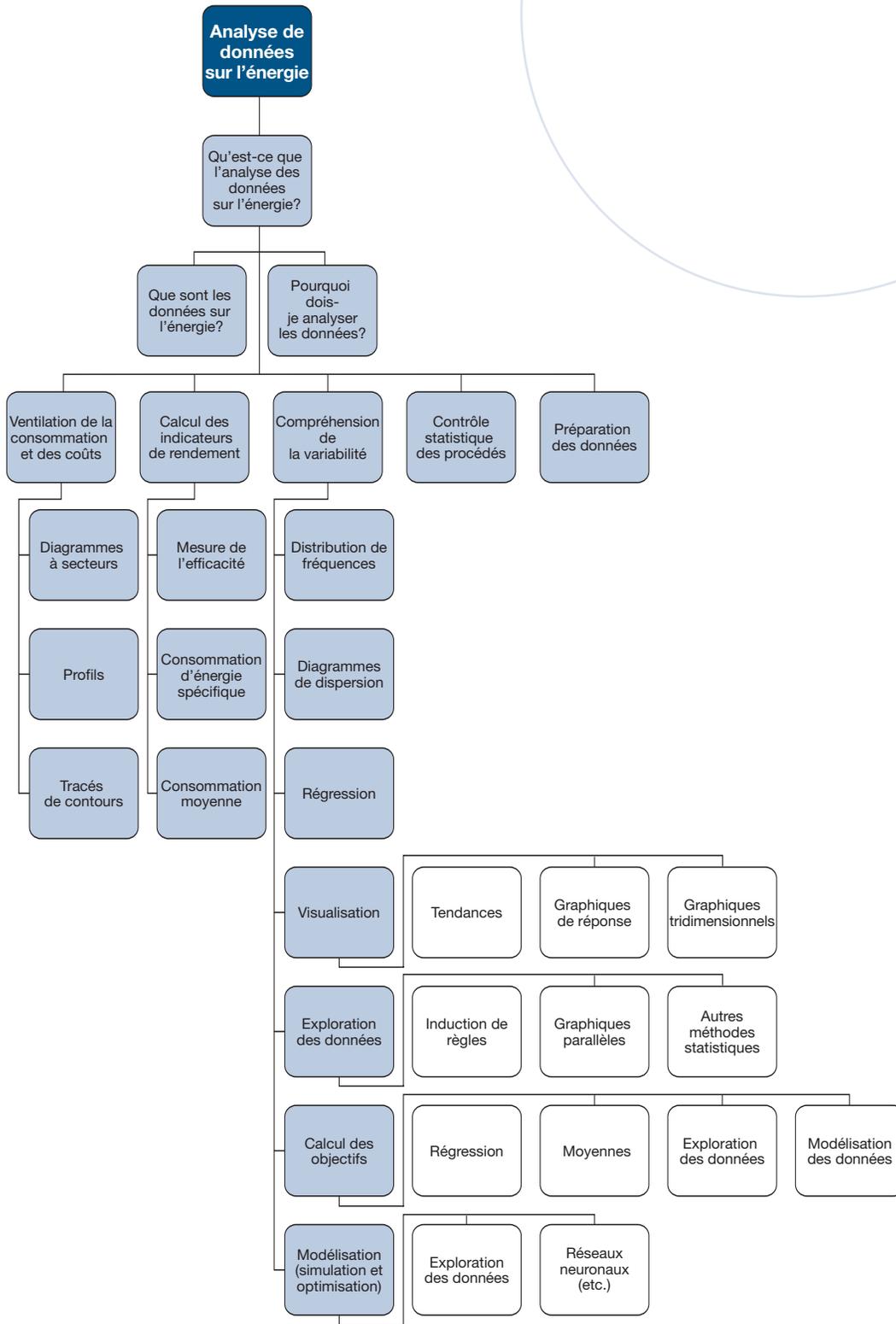
La présente section, qui porte sur l'analyse des données sur l'énergie, constitue un élément clé de ce guide. L'analyse efficace des données est essentielle mais souvent, on ne lui accorde pas l'importance qui lui revient. En fait, une analyse médiocre peut gravement nuire au bon fonctionnement d'un SIGE et produire des messages pouvant induire en erreur.

Les données sur l'énergie ne se limitent pas à celles sur la consommation; elles comprennent également d'importants facteurs qui influencent celle-ci. La fréquence de saisie des données doit être plus grande que la fréquence des variations étudiées.

L'analyse des données a pour objet de mieux comprendre la consommation et le coût de l'énergie, de calculer les niveaux de rendement et d'établir les objectifs et la consommation modèle. Un éventail de techniques sont disponibles, allant des plus simples aux plus complexes. Ces techniques devraient être choisies en fonction des problèmes à résoudre (au lieu de choisir d'abord une technique d'analyse, puis de trouver une situation qui y correspond).

Le diagramme de la figure 19 résume tous les sujets abordés dans la présente section.

Figure 19. Schéma des éléments d'une analyse des données sur l'énergie



## 8.1 Qu'entend-on par données sur l'énergie?

Les données sur l'énergie comprennent :

- les mesures directes de la consommation de services d'utilité publique (électricité, gaz, vapeur, etc.);
- les mesures directement associées à la consommation d'énergie, par exemple, le taux de chauffage, le taux de refroidissement ou le débit d'air comprimé;
- les facteurs déterminants de la consommation mesurés ou les variables enregistrées pouvant avoir une incidence sur la consommation.

Les mesures directes et indirectes de la consommation d'énergie sont indispensables. Il faudrait calculer séparément la consommation de chaque secteur important du procédé. Un secteur est désigné comme suit :

- un secteur où la consommation d'énergie est principalement déterminée par les actions ayant lieu au sein du secteur, du procédé ou de l'usine;
- un secteur dont la consommation des divers types d'énergie est très élevée;
- un secteur où le rendement est variable ou risque de ne pas être optimal;
- un secteur administré par une personne ou un groupe auquel on peut attribuer la responsabilité du rendement.

Le tableau 5 fournit des exemples de secteurs dont la consommation d'énergie doit être mesurée.

**Tableau 5. Exemples de secteurs dont les services doivent être mesurés**

### Secteur

.....  
Chaque procédé – consommation d'énergie (vapeur, électricité, etc.)

Chaque activité unitaire (séchoir, évaporateur) – consommation d'énergie

Chaudière – consommation d'énergie

Centrales de cogénération – taux de chauffage

Réfrigération – consommation d'énergie

Air comprimé – débit

Refroidissement (par la réfrigération) – débit d'air

Principaux bâtiments – consommation d'énergie  
.....

Il est essentiel d'avoir en main des données sur les facteurs déterminants. Sans ces données, l'analyse énergétique se limite à la mesure de la consommation et des coûts, et à la comparaison des valeurs courantes avec les valeurs historiques. Les économies réalisables s'en verraient très réduites. L'utilisation de données sur les facteurs déterminants permet :

- de comprendre les causes d'une consommation variable;
- d'établir des objectifs auxquels on peut comparer les rendements actuels;
- de modéliser la consommation d'énergie.

**Tableau 6. Exemples de facteurs déterminants**

.....  
**Perturbations externes**

- température ambiante
- taux de production
- conditions d'alimentation

**Facteurs contrôlables**

- choix de l'usine
  - paramètres de commande
  - pratiques d'exploitation
  - réparation des défauts
- .....

## 8.2 Objectifs de l'analyse des données sur l'énergie

Voici les objectifs d'une analyse des données sur l'énergie :

- ventiler la consommation et les coûts d'énergie;
- calculer les niveaux de rendement;
- comprendre pourquoi la consommation d'énergie et le rendement varient;
- calculer, pour la consommation et l'efficacité, des valeurs cibles qui permettront de repérer un rendement insuffisant et d'assurer un suivi;
- modéliser la demande d'énergie.

Les techniques d'analyse des données vont des plus simples aux plus complexes. Celles à choisir dépendent de la taille et de la complexité des opérations, du financement et des outils logiciels disponibles, des compétences et des intérêts du personnel, ainsi que du temps disponible.

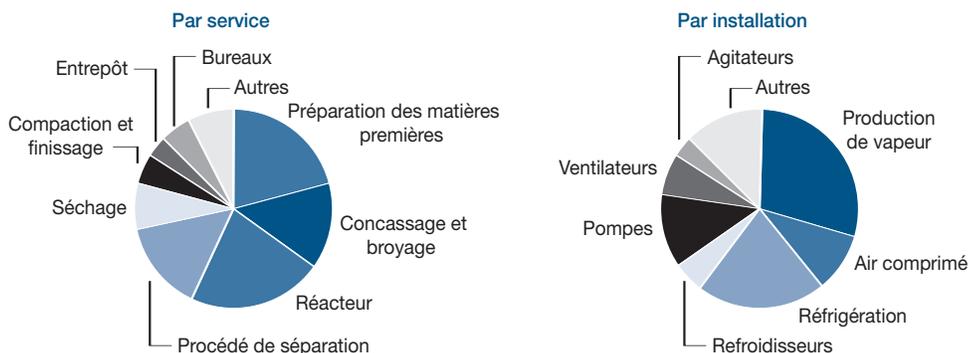
## 8.3 Ventilation de la consommation et des coûts d'énergie

Il y a plusieurs avantages à diviser la consommation totale d'énergie (et les coûts correspondants) d'une installation par sous-secteur :

- répartition des coûts par service;
- mise en relief des secteurs clés;
- incitation à la discussion et à l'émergence de nouvelles idées.



**Figure 20. Ventilation de la consommation d'énergie**

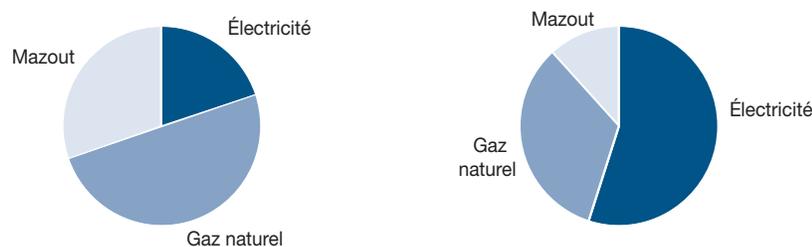


Dans les exemples de la figure 20, on tient compte de l'ensemble des services publics (électricité, gaz, mazout, vapeur, etc.) en fonction des coûts qui leur sont associés.

Des diagrammes basés sur la consommation d'énergie (en MJ, kWh, etc.) ou sur les émissions en équivalent CO<sub>2</sub> peuvent aussi être utiles. Ils peuvent éclairer les lecteurs sur la consommation d'énergie selon les divers services publics et les coûts correspondants. Tous ces diagrammes sont essentiels à la gestion de l'énergie. Ils reposent en général sur des données couvrant une période d'un an.

La figure 21 illustre la répartition des services, c'est-à-dire la consommation des divers types d'énergie, et la répartition des coûts correspondante (diagramme de droite). On peut voir que le coût de l'électricité est relativement élevé et que ce coût a des répercussions sur les priorités en matière d'efficacité énergétique.

**Figure 21. Répartition des services selon la consommation et les coûts énergétiques**

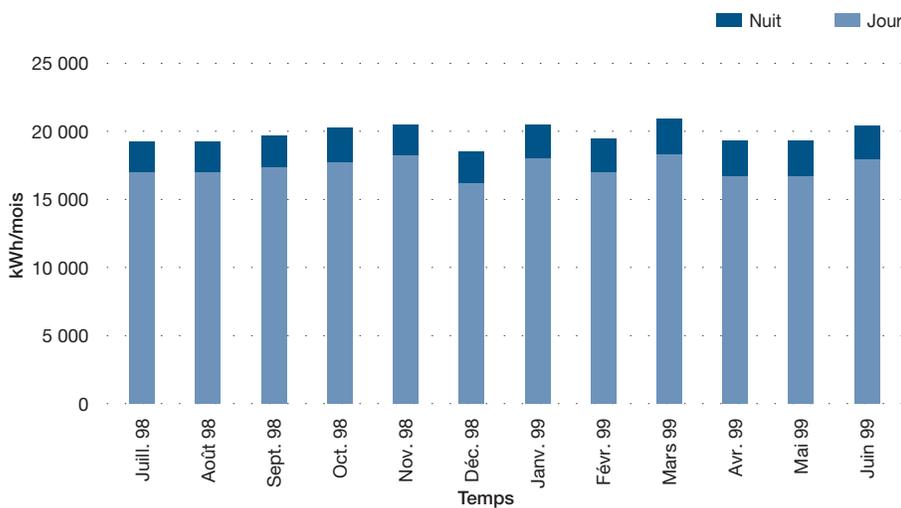


Ce type de diagramme peut facilement être produit à l'aide d'un chiffrier courant ou d'un autre logiciel semblable et être publié, par exemple, comme partie intégrante d'une section sur l'énergie de l'intranet de l'entreprise.

Dans certains cas, il peut être utile de ventiler la consommation d'énergie par tranches de temps. Par exemple, il peut être fort utile de déterminer la consommation moyenne pendant les périodes d'arrêt de production (p. ex., nuit, vacances), afin de repérer les opérations dont le contrôle est insuffisant (p. ex., isolation inadéquate de l'air comprimé).



**Figure 22. Ventilation mensuelle de la consommation d'électricité illustrant les périodes diurnes et nocturnes**



La détermination des périodes de pointe permet également d'obtenir des renseignements utiles. Il y aurait lieu, dans la mesure du possible, d'étudier le profil de la demande.

**Figure 23a. Profil typique de la demande aux 30 minutes (graphique linéaire)**

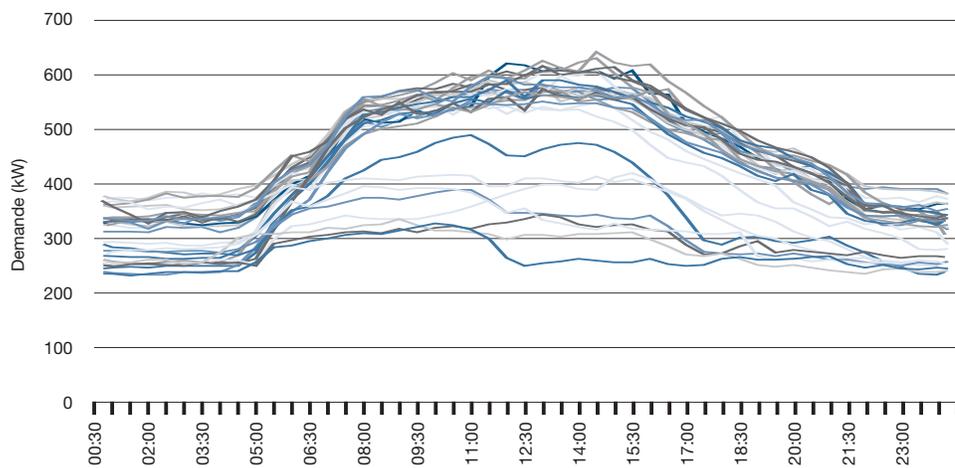
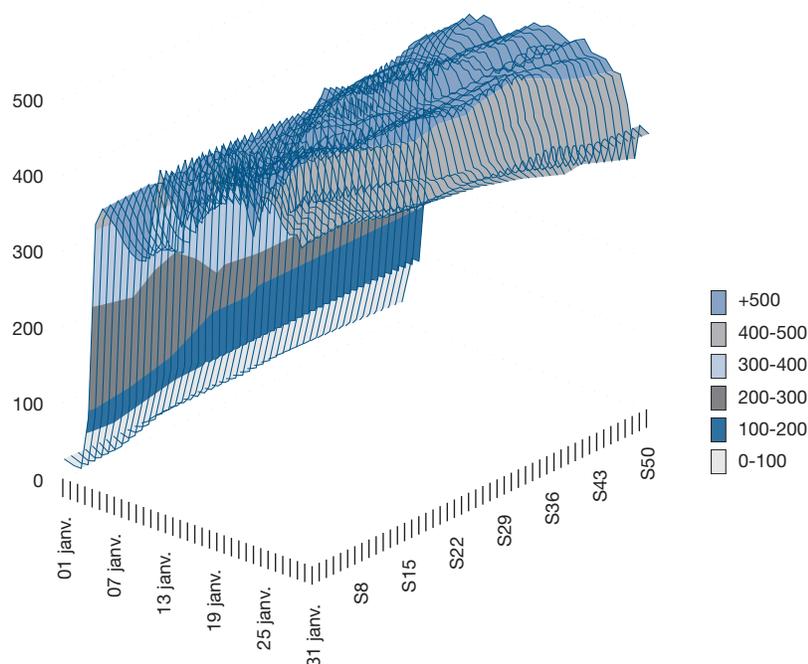


Figure 23b. Profil typique de la demande aux 30 minutes (tracé de contours)



## 8.4 Calcul des indicateurs de rendement

Dans certains cas, on peut mesurer le rendement de l'énergie en utilisant une mesure simple, comme la consommation d'énergie d'un secteur ou d'un procédé. Toutefois, cette consommation est souvent fortement influencée par des facteurs externes comme le taux de production, auquel cas on peut utiliser la « consommation d'énergie spécifique », c'est-à-dire la consommation d'énergie divisée par le taux de production.

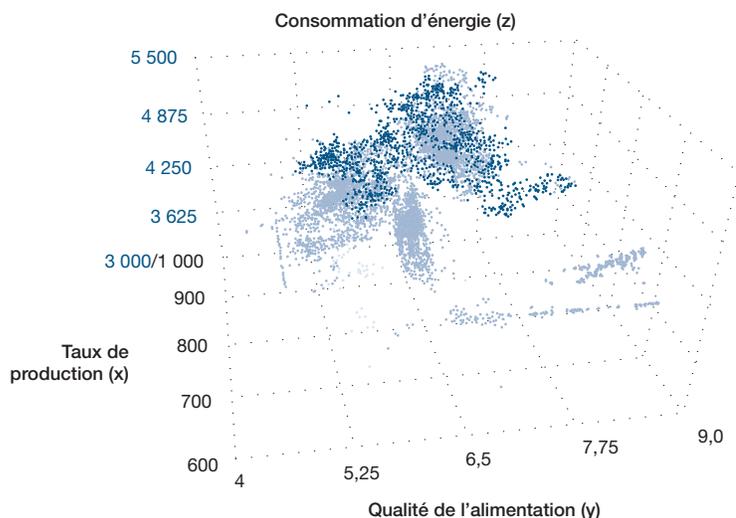
Il faut interpréter très soigneusement ce type de mesure. Un procédé à demande élevée d'énergie de base aura, par exemple, une consommation spécifique plus faible lorsque le taux de production est élevé, même si l'efficacité de base des opérations demeure inchangée.

D'autres indicateurs d'efficacité peuvent aussi être utilisés, comme l'efficacité d'une chaudière ou le coefficient de performance (COP) d'un système de réfrigération. On s'attend à ce que ces valeurs varient elles aussi (notamment l'efficacité de la chaudière selon la pression de vapeur, et le COP selon la température ambiante).





**Figure 26. Exemple d'un graphique tridimensionnel de la consommation d'énergie en fonction de la production et de la qualité de l'alimentation**



Grâce à des techniques de régression multiple, on peut obtenir des équations plus détaillées pour décrire les relations.

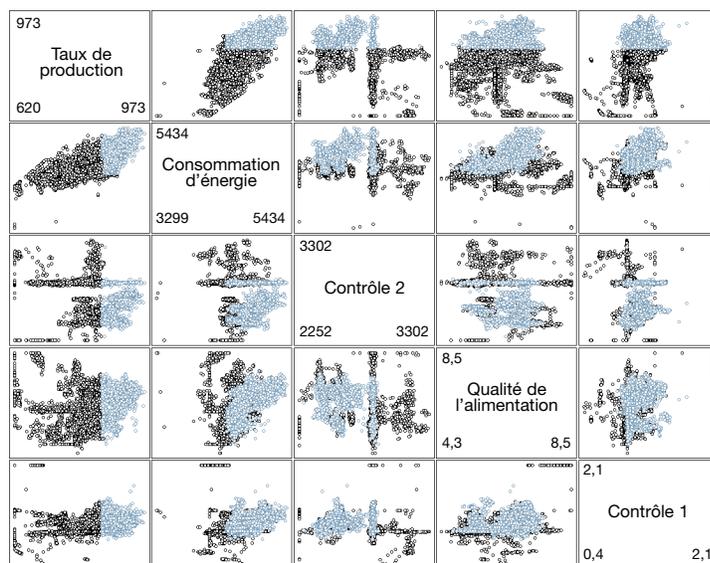
$$y = m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots + c$$

Il existe sur le marché des logiciels permettant d'effectuer ces calculs et d'obtenir ces graphiques facilement. Les chiffriers courants possèdent toutes ou presque toutes les capacités nécessaires pour effectuer ces analyses.

Il est parfois difficile de dégager des tendances à partir des tracés comportant de nombreuses variables. Les diagrammes de dispersion bidimensionnels multiples facilitent l'établissement des rapports entre des variables multiples (tracés de type matrice) en illustrant, d'un coup d'œil, les relations entre les données. Dans la figure 27, les cellules ombragées indiquent les valeurs d'axe pour chacune des variables tracées. La première cellule non ombragée dans la première rangée donne le taux de production sur l'axe des y en fonction de la consommation d'énergie sur l'axe des x. La première cellule dans la dernière rangée donne la variable contrôlable « Contrôle 1 » sur l'axe des y en fonction du taux de production. Les données représentant une consommation élevée apparaissent en bleu pâle. À titre d'exemple des relations qu'il est possible de dégager de ces diagrammes de dispersion bidimensionnels multiples, citons la relation bien claire entre la consommation d'énergie et la qualité de l'alimentation. Autre exemple de consommation élevée : les valeurs inférieures de la variable contrôlable « Contrôle 2 ».



Figure 27. Diagramme de dispersion multiple



## 8.6 Compréhension de la variabilité du rendement : Exploration des données

Parfois, une analyse plus détaillée convient mieux :

- aux grands consommateurs d'énergie;
- lorsque la consommation d'énergie représente un enjeu complexe qui dépend d'une multitude de facteurs déterminants;
- lorsque l'on a accès à une grande quantité de données historiques provenant, notamment, d'une base de données d'archivage des données.

L'exploration de données présente les caractéristiques suivantes :

- elle permet de manipuler des bases de données énormes;
- elle recherche automatiquement les relations;
- elle présente ces relations sous forme d'ensemble de règles.

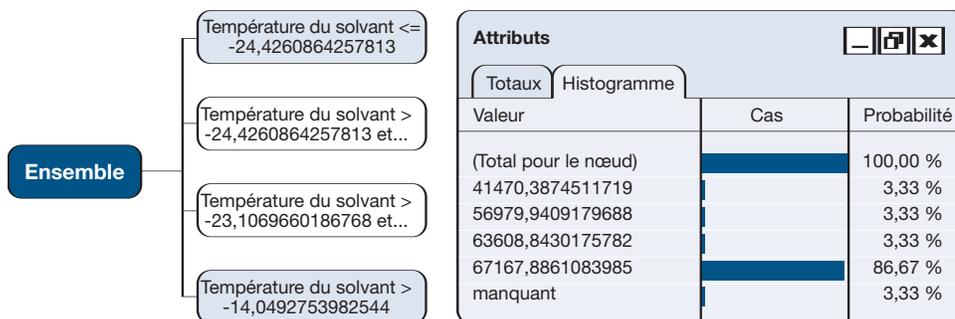
L'arbre de décision illustré à la figure 28 représente un ensemble de règles produites lors d'une analyse d'exploration de données. Les règles permettent de mettre en valeur le facteur clé de consommation d'un système de réfrigération et de déterminer l'ampleur de l'impact de cet élément. Le « cheminement » surligné dans l'arbre est caractérisé par la règle suivante :

Si la température du solvant > -23 °C et < -14 °C

D'après la probabilité estimée à 86,67 p. 100 dans la fenêtre « Attributs », dans la partie droite de la figure 28, la consommation a été déterminée par analyse à 67 167 unités dans les conditions indiquées.

Les règles sont produites automatiquement dans ce type d'analyse. L'utilisateur définit uniquement les objectifs et les facteurs déterminants. Essentiellement, le processus répartit les activités historiques en modes; lorsque la consommation est différente, les modes sont déterminés par des règles.

Figure 28. Arbre de décision simple



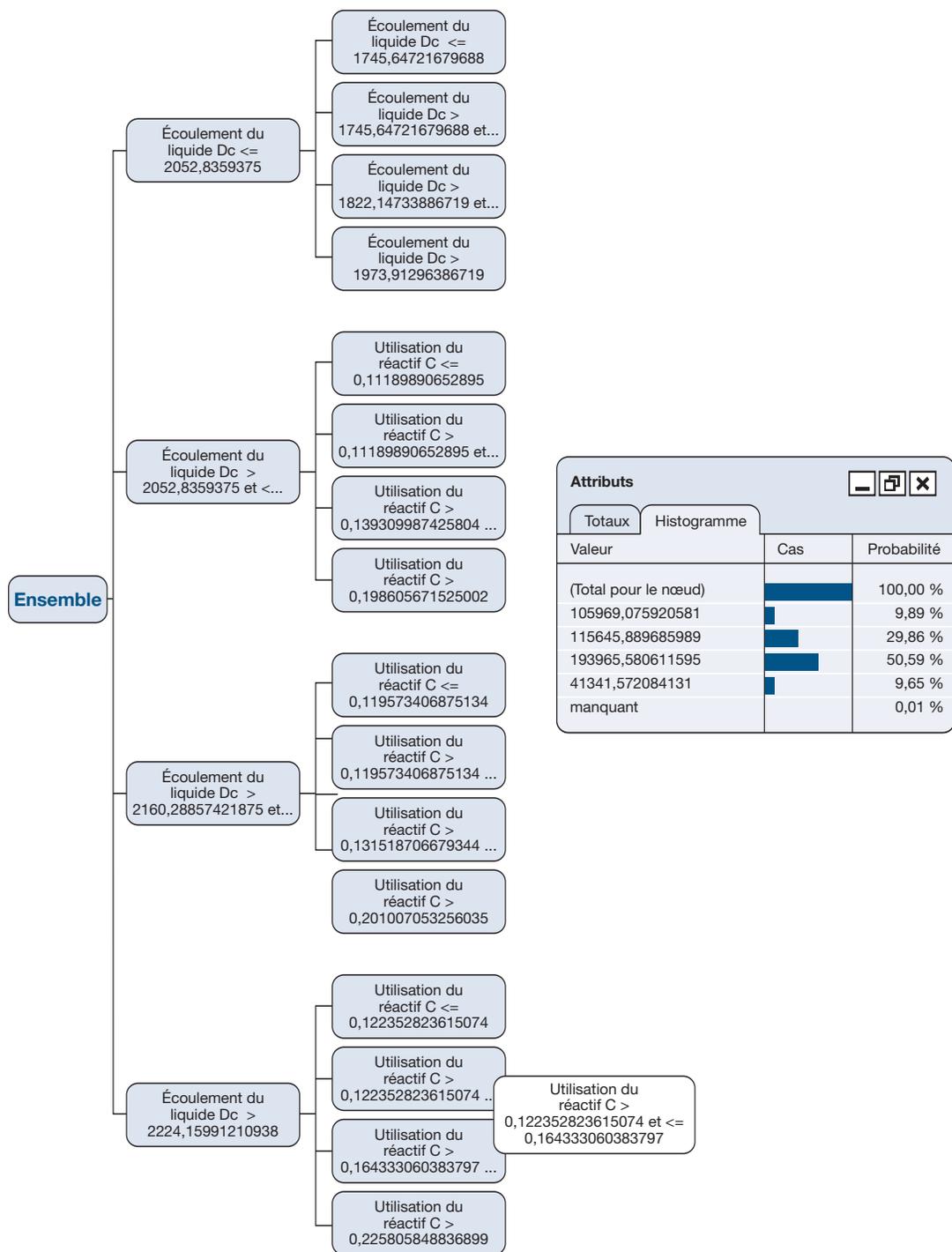
Une analyse de données réelles produira des arbres de décision beaucoup plus complexes – car les règles sont plus complexes – comme celui de la figure 29. Ce type d'arbre indiquera :

- les éléments clés;
- l'ampleur de l'effet sur la consommation d'énergie;
- les meilleurs modes de fonctionnement.

La figure 29 illustre un cheminement « en nœud » pour le débit du liquide et l'utilisation d'un réactif selon lequel il y aurait une probabilité de 50,59 p. 100 que la consommation d'énergie soit de 193 965 unités dans ces conditions.



Figure 29. Arbre de décision complexe



Les outils d'exploration de données sont répandus et couramment utilisés. La figure 30 illustre les étapes typiques d'une telle analyse.

**Figure 30. Étapes d'une analyse initiale d'exploration des données**



Ces étapes font partie de tout projet d'analyse approfondie des données.



### Exemple 2 : Rendement d'une installation de chaudières à haute pression

On a analysé l'efficacité d'une installation de chaudières à haute pression. Cette installation comprend trois chaudières, dont deux fonctionnent en temps normal. Les chaudières peuvent être alimentées au gaz naturel ou au mazout et peuvent produire de la vapeur sous une pression manométrique maximale de 1 600 lb/po<sup>2</sup> (11 MPa) pour alimenter des turbines à vapeur et d'autres systèmes fonctionnant sous une pression plus faible.

Les données ont été recueillies à l'installation après une modification des systèmes de surveillance, puis elles ont été explorées en mettant l'accent sur le coût d'exploitation par unité de vapeur.

Figure 31. Pression de vapeur dans le distributeur de la chaudière



Les attributs comprennent la sélection des chaudières dans la séquence d'exploitation, les charges, les pressions, les températures et les débits de vapeur prélevée dans les turbines.

La figure 31 illustre la pression de vapeur dans le distributeur de la chaudière sur une période de 30 minutes.

L'incidence de la pression dans le distributeur sur le coût d'exploitation est indiquée dans l'arbre de décision partiellement illustré à la figure 32. Dans cet exemple, une pression de vapeur plus élevée réduit le coût d'exploitation par unité de vapeur produite. En comparaison, la figure 33 indique que des tracés du coût en fonction de la pression de vapeur dans le distributeur ne permettent pas d'illustrer clairement l'influence de la pression, et ce, en raison des changements dans les ensembles de données, qui résultent de nombreux autres facteurs influant sur le rendement.



## 8.7 Calcul des objectifs

Les objectifs sont les valeurs de rendement prévues que l'on peut comparer au rendement réel pour déterminer si une installation ou un procédé affiche ou non un bon rendement. Ils se présentent sous plusieurs formes, dont les suivantes :

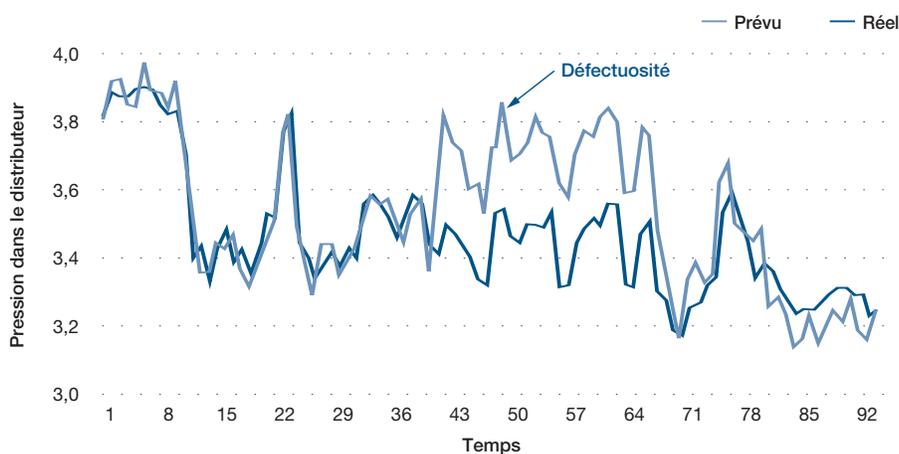
- Le rendement moyen obtenu à partir de données historiques est un objectif couramment utilisé. Il permet d'avertir le personnel opérationnel lorsque le rendement est inférieur à la moyenne.
- La forme la plus simple de ce type d'objectif est la consommation moyenne au cours d'une période antérieure, par exemple au cours de l'année ou du mois précédent.
- Il arrive souvent que les objectifs doivent être ajustés pour tenir compte de facteurs externes, comme le taux de production ou la température ambiante. En général, cet ajustement est apporté à la suite d'une analyse de régression simple ou multiple.

Dans certains cas, l'objectif est ajusté pour indiquer l'intention d'apporter une amélioration. Par exemple, il peut être modifié pour obtenir une autre réduction de consommation de 5 p. 100 dans l'ensemble des installations.

L'exactitude et la robustesse des objectifs sont extrêmement importantes. Un objectif incorrect induira en erreur; les améliorations ne paraîtront peut-être pas dans les calculs, ou encore un faible rendement ne sera pas repéré. Des objectifs inadéquats entraînent une perte de confiance à l'égard du processus de surveillance et se traduira par une incapacité à réaliser des économies d'énergie.

On peut obtenir un objectif plus précis basé sur des données historiques grâce à l'exploration de données et à d'autres techniques semblables. De cette façon, un plus grand nombre de données peuvent être analysées, plus de facteurs déterminants peuvent être pris en compte et il est plus probable que les relations non linéaires pourront être exploitées.

**Figure 34. Rendement réel et rendement prévu en fonction du temps**



Un objectif obtenu grâce à une analyse détaillée des données recueillies (p. ex., aux heures ou aux 15 minutes) peut être suffisamment précis pour être appliqué en ligne, en temps réel. Cette méthode a pour avantage, entre autres, de déceler plus rapidement les problèmes de fonctionnement. Les gros consommateurs d'énergie devraient envisager de faire appel à ce genre d'approche.

Le rendement moyen historique peut servir de point de référence par rapport au rendement ultérieur. Il représente ce qui se serait produit si aucun changement (amélioration) n'avait été apporté.

Un objectif optimal indique ce qu'un procédé ou une installation bien exploitée pourrait réaliser. Il diffère du rendement historique moyen et d'une amélioration recherchée, car il a été établi à partir de données sur le potentiel d'amélioration.

On peut calculer la valeur cible optimale à partir de principes de base, auquel cas cette valeur représente la valeur théoriquement possible. La modélisation informatique est fréquemment appliquée aux principaux procédés comme le raffinage du pétrole et la fabrication de produits pétrochimiques, et elle est utilisée de plus en plus souvent dans d'autres secteurs. On procède également à la modélisation de systèmes comme les chaufferies et les installations de réfrigération.

Il se peut aussi que les objectifs optimaux représentent le meilleur rendement déjà atteint compte tenu des conditions particulières (externes), ce que peut permettre de déterminer l'analyse de données d'exploitation antérieures à l'aide de techniques d'exploration de données et d'autres techniques semblables.

Selon cette approche, on détermine les périodes d'exploitation antérieures au cours desquelles les conditions externes étaient semblables aux conditions actuelles, puis on choisit comme objectif les résultats de la période où le rendement était maximal. Il existe des logiciels qui permettent d'automatiser cet exercice.

Le rendement par rapport à l'objectif peut être exprimé de différentes façons. On peut signaler un faible rendement par rapport à l'objectif au fur et à mesure qu'il se révèle, par exemple en termes de coût annuel si les déficiences ne sont pas réparées.



Figure 35a. Rapport sur le rendement

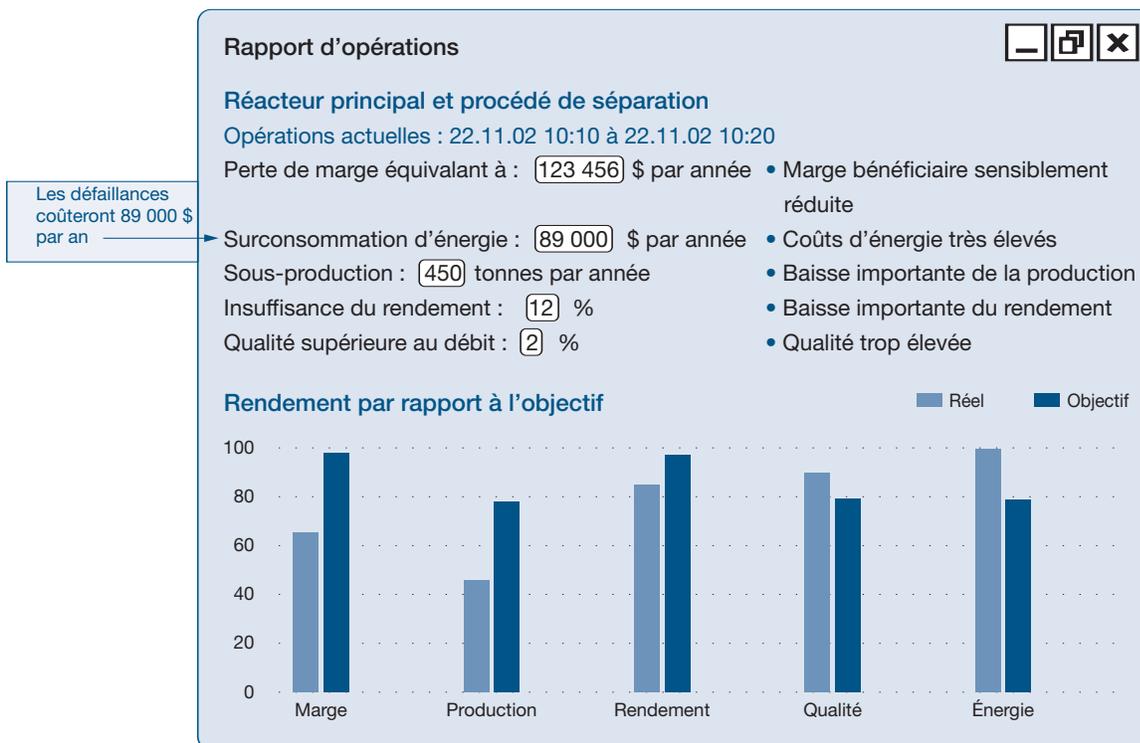
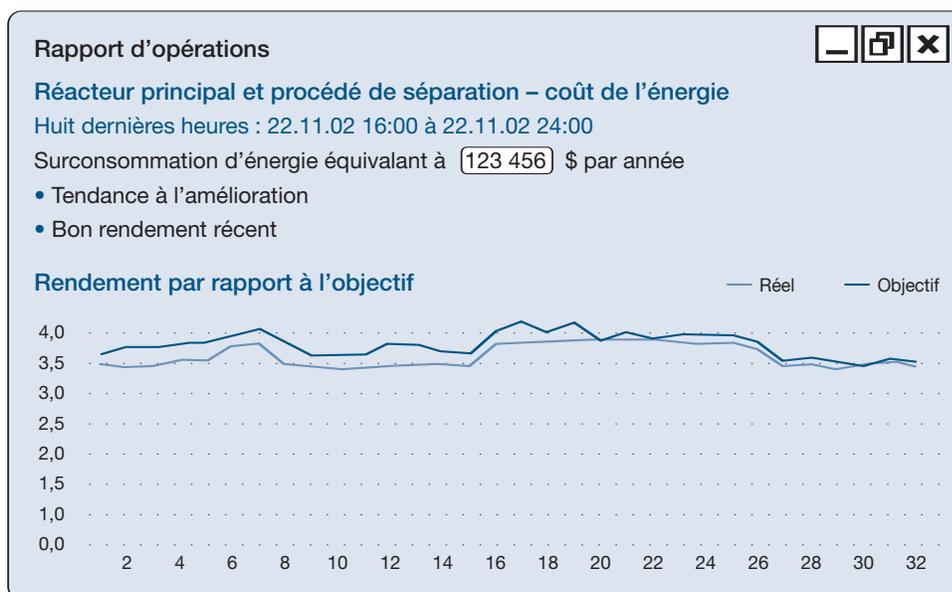
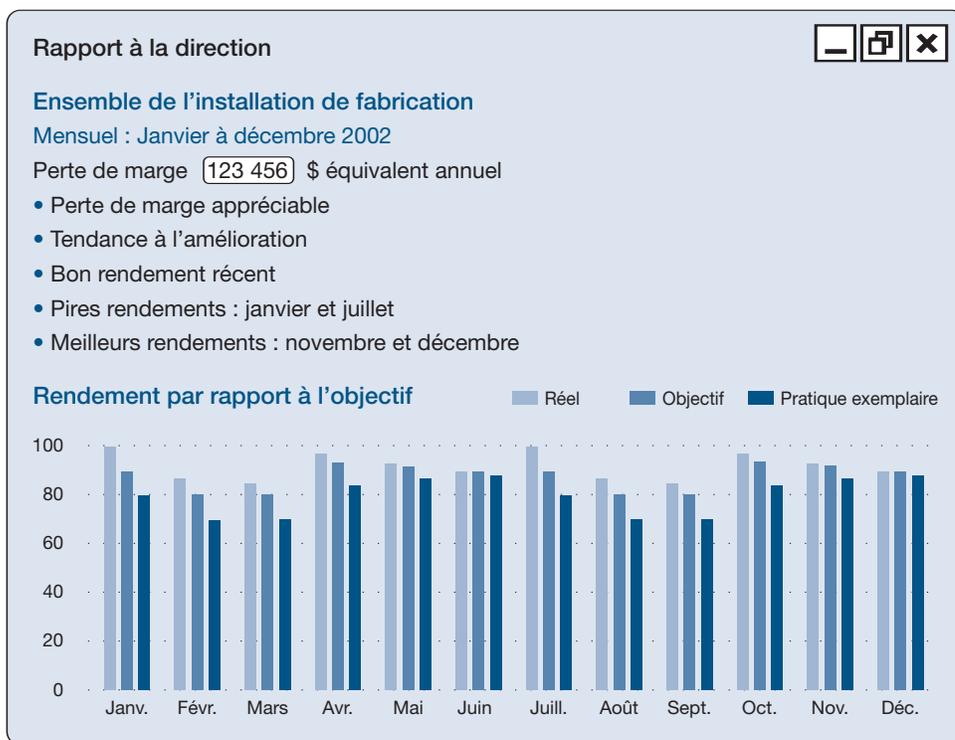


Figure 35b. Rapport des sommes cumulées (graphique linéaire simple)

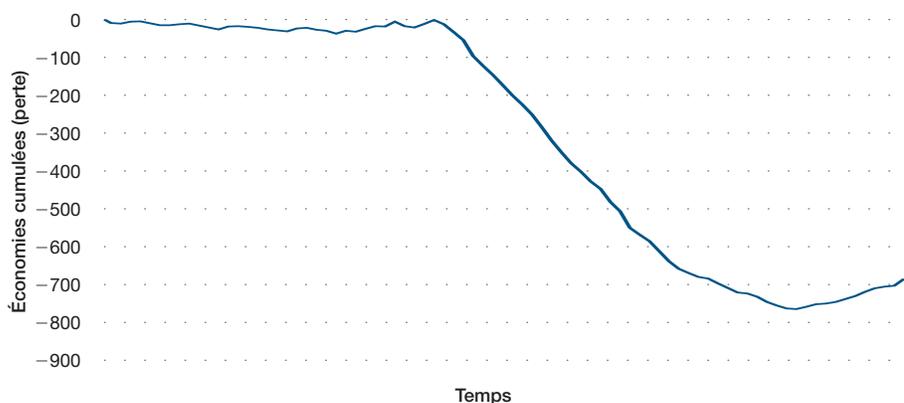


**Figure 35c. Rapport des sommes cumulées (résumés mensuels, hebdomadaires ou annuels)**



Les techniques de sommes cumulées mettent en évidence les économies cumulées pendant une période. Par exemple, la figure 36 montre les économies cumulées pendant huit semaines.

**Figure 36. Rapport des sommes cumulées**



Les valeurs des sommes cumulées sont établies en faisant la somme des économies réalisées pendant chaque période afin d'obtenir un total cumulatif en évolution. Lorsque l'objectif assigné au procédé est atteint, le total cumulatif des économies sera en moyenne de zéro et la courbe du graphique sera horizontale. Un rendement insatisfaisant entraînera des pertes au cours de chaque période et la pente de la ligne sera négative. Un rendement dépassant l'objectif produira une pente positive. Tout changement de pente sur un graphique des sommes cumulées correspond à un « événement », soit une modification du rendement du procédé.

## 8.8 Modélisation des données et analyse par simulation/anticipation

Dans cette technique, on établit les objectifs en élaborant un modèle des opérations à l'aide de données historiques d'exploitation (ou un modèle de principes de base).

D'autres techniques de modélisation peuvent être envisagées, dont des techniques neuromimétiques, des techniques de raisonnement par cas ou diverses techniques mathématiques et statistiques. Ces techniques devraient être utilisées avec précaution : la modélisation des procédés demande de la part de l'analyste une bonne compréhension des relations entre les variables. L'induction de règles facilite cette compréhension.

En dépit des obstacles, la modélisation des données peut s'avérer efficace pour la surveillance des dispositifs de contrôle et d'optimisation. De plus, les modèles peuvent servir à étudier l'effet de conditions anormales grâce à l'analyse par simulation/anticipation.





## Système de mesure

### Aperçu

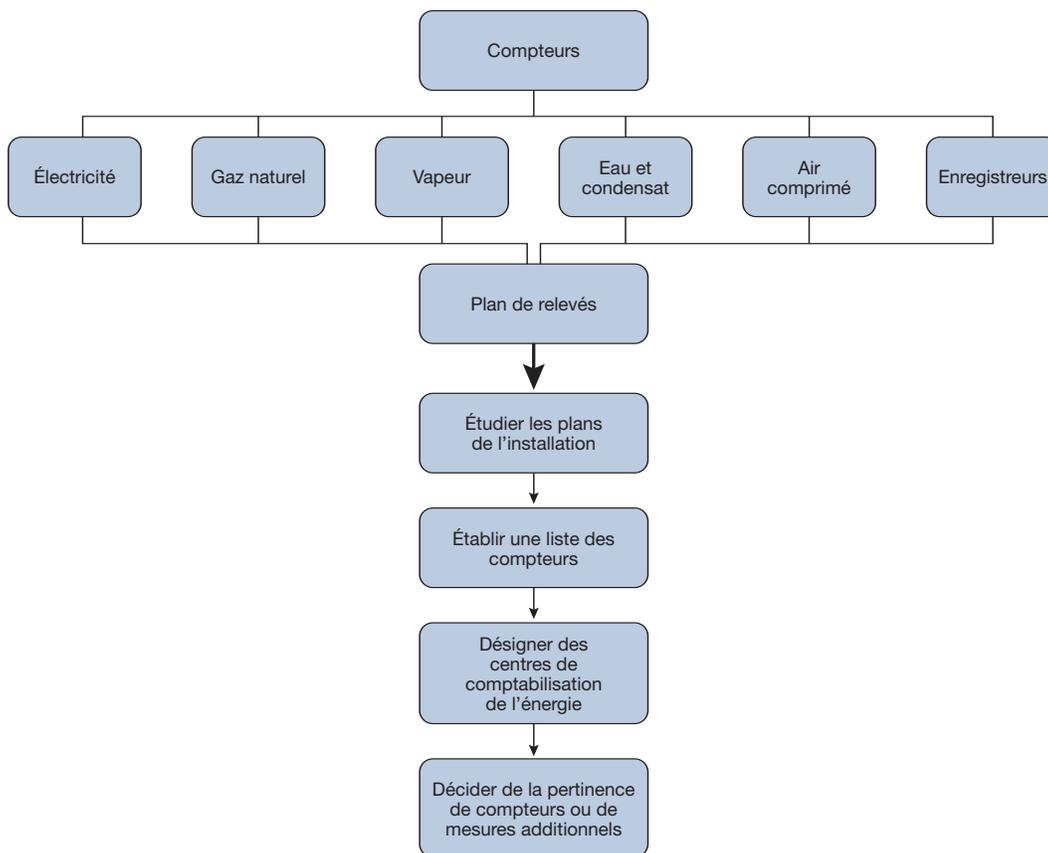
La présente section est consacrée aux caractéristiques de l'équipement de mesure disponible et à l'infrastructure nécessaire pour la saisie et le stockage des données.

Ci-après, on donne les grandes lignes d'une approche destinée à guider l'utilisateur final vers la mise en place d'un système de comptage et de mesure tout en gardant à l'esprit les questions clés suivantes :

- Ai-je besoin de compteurs supplémentaires pour gérer la consommation d'énergie?
- Comment décider où installer les compteurs?
- Quelles sortes de compteurs devrais-je utiliser?
- Comment dois-je relier ces compteurs à mes systèmes de surveillance?
- Suis-je en mesure de faire une telle dépense? Sinon, quelles sont les priorités?
- Quels sont les aspects d'ordre pratique ou autres que je devrais connaître?

La figure 37 présente une approche structurée pour l'élaboration d'un plan de mesure de la consommation d'énergie.

Figure 37. Plan de mesure de la consommation : Une approche structurée



## 9.1 Introduction

Les compteurs et les mesures représentent un aspect clé du SIGE. La mesure en temps opportun de la consommation, des conditions ambiantes et des variables des procédés permet au personnel de l'installation :

- d'établir une comptabilité par centre de coûts;
- d'identifier les zones qui connaissent un problème avant que celui-ci ne devienne incontrôlable;
- de vérifier la facturation des services d'utilité publique;
- de participer à l'achat de l'énergie;
- de participer à la maintenance et au diagnostic d'anomalies;
- de participer à la détermination et à la surveillance des projets énergétiques;
- de fournir des données importantes en vue du dimensionnement et de la conception des installations et de l'amélioration du matériel.

*Ce qui peut être mesuré peut être géré.*



Il est bon de souligner que, peu importe la variable mesurée, les données recueillies ne peuvent à elles seules permettre l'identification des causes d'un événement. À ce stade, on encourage l'utilisateur final à noter les modifications et les écarts dans les courbes de données, et à en rechercher les causes possibles. D'un autre côté, la difficulté de mesurer tous les paramètres simultanément impose à l'utilisateur final la nécessité de sélectionner quelques domaines clés et de les surveiller avec une attention particulière, afin de détecter toute modification soudaine, tout événement inhabituel ou tout autre signe avant-coureur. Les données ayant été recueillies, l'utilisateur final peut les interpréter en s'appuyant sur les principes suivants :

- Puisque les mesures ne signifient rien en elles-mêmes, il faut analyser les données pour déterminer si un résultat dépasse ou respecte le budget, s'il est meilleur ou moins bon que celui de la dernière période similaire, s'il est supérieur ou inférieur à la moyenne de l'industrie, ou meilleur ou moins bon que celui d'un autre produit, etc. Évaluer le rendement en faisant des comparaisons internes et externes.
- Lorsque l'on fait des comparaisons, les mots sont souvent trop vagues pour être utiles. Les valeurs chiffrées sont préférables (p. ex., « 100 kg de produit/MWh représente une amélioration par rapport à 85 kg/MWh » est plus précis que « nous nous sommes améliorés »).
- Normaliser les données afin d'effectuer des comparaisons vraisemblables. Prendre en compte les variations saisonnières relatives à la consommation, à l'occupation ou au procédé (p. ex., « m<sup>3</sup> de gaz naturel » en dit moins que « m<sup>3</sup> de gaz naturel pour le chauffage par degré-jour »).

## 9.2 Nécessité des mesures

Avant d'envisager une augmentation des capacités de mesure ou de choisir des capteurs, des compteurs ou d'autres appareils de surveillance, il faut élaborer une stratégie ou un plan de gestion de l'énergie. Ce plan servira de base à la prise de décisions relatives au projet d'installation de compteurs, au-delà des mesures déjà effectuées par les services publics pour la facturation. Sauf dans le cas de petites usines ou installations, les compteurs des principaux services publics ne suffisent pas pour établir les profils de consommation. L'utilisateur final doit clairement savoir si les compteurs sont installés uniquement afin de pouvoir suivre les économies réalisées et s'ils seront installés de façon permanente ou temporaire. L'installation de compteurs divisionnaires permet d'imputer la consommation à l'utilisateur final, qui exerce la plus grande influence sur la réduction des coûts d'exploitation, contrairement au personnel des usines ou des services publics.

La prévision de la consommation, aux fins de négociation de contrats d'achat d'énergie, constitue une autre raison d'accroître la capacité de comptage et de mesure. Dans certaines régions, les tarifs de l'énergie varient maintenant selon l'heure de consommation, et les prix moyens changeront selon les horaires ou l'utilisation. Dans de tels cas, les profils de consommation auront une influence sur les coûts, les profils plus uniformes correspondant à des coûts moyens plus bas.

Les distributeurs d'énergie peuvent offrir des tarifs simplifiés qui nivellent les variations selon l'heure de consommation, mais ces taux ne sont pas forcément les plus avantageux. Les tarifs variables peuvent se traduire par les tarifs moyens les plus bas lorsqu'ils sont choisis dans le cadre de stratégies visant à réduire, à niveler ou à déplacer la demande de pointe. La connaissance de votre profil type de consommation totale quotidienne et de la consommation enregistrée par les principaux compteurs divisionnaires pourrait vous amener à découvrir comment réduire les prix actuels et futurs, ainsi que le coût total. Une meilleure connaissance de votre consommation aidera votre fournisseur d'énergie à vous offrir le prix le moins élevé et le plus prévisible.

Le même raisonnement peut s'appliquer aux prévisions de consommation et à l'achat de gaz naturel. Du point de vue des producteurs, des transporteurs et des fournisseurs, une demande constante pendant toute la journée et toute l'année serait idéale. Les variations de la demande ont tendance à faire grimper les coûts de manière importante. Une connaissance détaillée de la consommation de gaz, appuyée par l'utilisation de compteurs divisionnaires, permettra au client de déterminer ses exigences de consommation de base et de consommation interruptible lors de la conclusion de contrats.

En résumé, les contrats d'achat d'énergie peuvent être sensibles à une consommation de pointe qui dépasse les niveaux maximaux stipulés dans les contrats d'achat, rendant donc nécessaire une surveillance étroite de la consommation de l'usine ou de l'installation. Une entreprise qui ne connaît pas précisément sa consommation d'énergie ou ses profils de consommation de pointe ne sera pas en mesure de négocier le meilleur contrat d'achat possible dans un marché libre.

Il faut s'assurer de connaître les paramètres suivants :

- à quel moment l'énergie est consommée (variations selon l'heure du jour et la saison);
- quelles sont les charges dont la consommation peut être contrôlée (déplacée, répartie ou réduite).

### 9.3 Emplacement des compteurs et des capteurs

Après avoir déterminé les besoins liés au comptage et à la mesure de la consommation, il faut élaborer un plan qui touche l'installation de l'équipement de surveillance. Ce plan devrait indiquer :

- tous les points de surveillance;
- les types de capteurs et l'endroit où ils seront installés;
- le schéma du câblage et les dispositifs de communication sans fil;
- la documentation nécessaire.

On devrait terminer l'élaboration du plan de mesure de la consommation avant de préparer le plan d'acquisition des données et d'analyse ultérieure. L'utilisateur final doit déterminer la fréquence des mesures (toutes les 15 minutes, toutes les heures, etc.) et décider si la surveillance se fera à court ou à long terme.



### 9.3.1 Étape 1 : Examiner les plans existants des installations

Si l'on dispose de plans à jour des installations, les circuits de distribution d'électricité et de gaz naturel vers les principales charges devraient être indiqués au moyen de diagrammes simples. Les schémas électriques indiqueront la distribution aux transformateurs, aux centres de commande des moteurs et aux principales charges. Ces schémas, qui donnent la configuration de la distribution énergétique et des dispositifs de mesure, permettront de déterminer si les systèmes de distribution existants peuvent facilement être utilisés pour faire des mesures à des fins de répartition des coûts.

*Une approche structurée pour un plan de relevés de la consommation*

Dans de nombreux cas, l'alimentation de différents centres de coûts de l'usine ou de l'installation peut être assurée par de nombreux points de mesure de la consommation de gaz naturel ou de nombreux centres de commande des moteurs. L'installation de compteurs supplémentaires pour chacune de ces charges serait probablement trop onéreuse ou impossible en raison des contraintes budgétaires de l'installation. Les étapes indiquées ci-après aideront à prendre une décision éclairée quant au nombre et à l'emplacement des compteurs, afin de conserver un équilibre entre les objectifs et les contraintes budgétaires de l'installation.

### 9.3.2 Étape 2 : Établir une liste des compteurs

Il faut établir une liste des compteurs à installer afin de l'inclure dans la stratégie globale d'allocation des coûts. Le tableau 7 donne un exemple d'une telle liste.

**Tableau 7. Liste des compteurs**

Point de mesure	Consommation mesurée
CA 1	Compresseurs d'air n <sup>os</sup> 1 et 2
E 1	Sous-station de 115 kV
E 2	Bâtiment administratif
W 1	Service d'eau municipal
NG 1	Entrée principale
NG 2	Séchoirs
E 3	Éclairage et prises pour chauffe-moteur du stationnement
W 2	Pompes à eau n <sup>os</sup> 1, 2 et 3
S 1	Chaudières de service n <sup>os</sup> 1 et 2
E 4	Unités de CVC n <sup>os</sup> 1, 2 et 3



### 9.3.3 Étape 3 : Désigner des centres de comptabilisation de la consommation d'énergie

Après avoir établi la liste des compteurs, on peut désigner des centres de comptabilisation de la consommation d'énergie en fonction des unités fonctionnelles de l'usine ou de l'installation. Le tableau 8 présente un exemple de configuration de ces centres correspondant à la liste des compteurs donnée dans le tableau 7.

**Tableau 8. Centres de comptabilisation de la consommation d'énergie**

Unité fonctionnelle	Centre de comptabilisation de la consommation d'énergie	Variable de mesure du rendement	Consommation mesurée
Services du site	Bâtiment administratif	Tonne de produit	E 2
Services du site	Stationnement	Tonne de produit	E 3
Services du site	Chauffage des bâtiments	Température extérieure	NG 1 – NG 2
Services du site	Climatisation	Température extérieure	E 4 – Facteur calculé
Services du site	Eau potable	Tonne de produit	W 1
Procédé	Production et manutention des matériaux	Tonne de produit	E 1 – (E 2 + E 3 + E 4)
Procédé	Chauffage pour les procédés	Tonne de produit	NG 2
Procédé	Air comprimé	Tonne de produit	CA 1
Procédé	Eau pour les procédés	Tonne de produit	W 2
Procédé	Vapeur pour les procédés	Tonne de produit	S 1

### 9.3.4 Étape 4 : Décider où améliorer la capacité de comptage ou de mesure

En adoptant une approche systématique pour établir la liste des compteurs et des centres de comptabilisation de la consommation, on met en évidence les zones où il est possible d'améliorer le comptage de l'énergie et la prise de mesures.

Afin d'obtenir plus de renseignements sur la consommation, on pourrait, par exemple, mesurer la consommation d'électricité individuelle des principales unités des procédés, comme les pompes ou les moteurs, plutôt que de se fier à des données brutes obtenues par soustraction, comme l'illustrent les tableaux 7 et 8.

De plus, on pourrait obtenir des renseignements potentiellement utiles sur la consommation du système d'air comprimé, consommation qui n'est pas mesurée selon la liste des compteurs. Pour le moment, on ne peut que comparer le débit d'air comprimé consommé (en m<sup>3</sup>/s) avec la production totale (tonne de produit). La mesure de la consommation électrique des compresseurs d'air (n<sup>os</sup> 1 et 2) permettrait de suivre le

rendement de l'équipement à air comprimé, en (m<sup>3</sup>/s)/kW, et d'obtenir des renseignements précieux. Si on décidait de faire des mesures au point E 5, le tableau des centres de comptabilisation de la consommation comporterait l'ajout suivant :

Unité fonctionnelle	Centre de comptabilisation de la consommation d'énergie	Variable de mesure du rendement	Consommation mesurée
Procédé	Air comprimé	Écoulement d'air total	E 5

## 9.4 Types de mesures à utiliser et considérations d'ordre pratique

### 9.4.1 Mesure de la consommation d'électricité

Dans de nombreux cas, la qualité de l'approvisionnement en énergie et les problèmes de continuité de cet approvisionnement – plutôt que des considérations relatives à la gestion de l'énergie – sont des éléments qui incitent à mesurer localement la consommation d'électricité. Lorsqu'on décide d'installer des compteurs supplémentaires pour des raisons de gestion de l'énergie et de limitation des coûts, il faut choisir parmi les types de compteurs commerciaux disponibles en tenant compte des paramètres qui suivent.

Pour commencer, il faut utiliser à leur pleine capacité les compteurs existants installés aux fins de facturation par les services publics, en particulier pour évaluer le profil de consommation électrique totale de l'installation et vérifier la facturation. Voici certains des problèmes que pose l'utilisation de ces compteurs :

- Ces compteurs étant réglementaires et la propriété du service public, seul le personnel du service public peut y apporter des modifications.
- Les modifications consistent généralement en une modernisation par l'installation d'un générateur d'impulsions ou d'un séparateur d'impulsions sur un générateur existant.
- Il est primordial de connaître la valeur des impulsions, soit en la lisant sur le compteur, soit en l'obtenant auprès du service public.
- Lorsque les compteurs existants ne peuvent pas être modernisés au moyen de générateurs d'impulsions ou lorsque les tensions utilisées empêchent l'installation de nouveaux compteurs à un coût rentable, on peut installer de nouveaux transformateurs de courant de 5 A sur le côté secondaire des transformateurs de courant existants, qui seraient à leur tour branchés au nouvel équipement de mesure. Cette approche ne donne pas des résultats aussi précis que les mesures directes, car les mesures de courants secondaires introduisent une deuxième erreur dans la mesure.

#### *Connexion à un compteur de facturation du service public*

Les compteurs propriétés de l'entreprise servant à surveiller la consommation totale d'un centre principal doivent habituellement être installés au point de livraison (sous-station) et servir à la surveillance de la puissance consommée et de l'impulsion Q des compteurs des services publics servant à la facturation. À partir de ces données, on



De nombreux compteurs, propriété de l'installation, donnent des lectures non corrigées pour les variations de température et de pression, ce qui remet en question la précision des volumes qu'ils indiquent. La compensation pour les effets attribuables à la température peut être réalisée au moyen d'un dispositif mécanique à bilame en spirale placé à l'entrée du compteur dans un logement scellé. Dans la gamme de températures allant de -20 à 120 °F (-29 à 49 °C), les lectures des volumes de gaz naturel peuvent être rajustées à 60 °F (15 °C) et affichées en pieds cubes normaux (pi<sup>3</sup> nor) ou en mètres cubes normaux (Nm<sup>3</sup>).

*Il faut s'assurer que les compteurs de gaz naturel comportent un système de compensation pour les variations de pression et de température.*

Les facteurs de correction de la pression peuvent être calculés à l'aide de la formule suivante :

$$\frac{\text{Pression de livraison par le service public} + \text{pression atmosphérique à l'installation}}{\text{Pression atmosphérique au niveau de la mer}}$$

Par exemple, si la pression de livraison du service public est de 50 lb/po<sup>2</sup> (344 kPa), la pression atmosphérique estimative à l'installation du site de 14,6 lb/po<sup>2</sup> (100,66 kPa) et la pression atmosphérique au niveau de la mer de 14,73 lb/po<sup>2</sup> (101,56 kPa), le facteur de correction de la pression sera de :

$$\frac{50 + 14,6}{14,73} = 4,39$$

Dans ce cas, le volume mesuré sera donc multiplié par 4,39 afin d'obtenir une valeur réelle.

Les principaux distributeurs vendent des compteurs avec compensation de température et de pression. Dans certains de ces compteurs, le dispositif de compensation est doté d'un microprocesseur et alimenté avec une pile. Ce dispositif peut être incorporé à l'intérieur du compteur ou monté à l'extérieur sur un mur, une canalisation ou le compteur.

Les compteurs fonctionnant sur le principe de la dispersion thermique permettent de réaliser les mesures de façon relativement simple, grâce à un orifice unique pratiqué dans la canalisation, éliminant ainsi les dispositifs de mesure de la pression et de la température et les calculs de compensation de masse volumique qui étaient nécessaires avec les compteurs à pression différentielle, à vortex ou à turbine. On a donc besoin de moins de matériel pour mesurer de manière fiable les débits de gaz, et ce genre de compteur à dispersion thermique offre une bonne solution de rechange à la mesure des flux gazeux. La transmission des données du débitmètre vers le système de traitement est assurée grâce à deux câbles à deux brins. Les signaux de sortie linéaires de 0-5 V c.c. ou de 4-20 mA sont captés par une interface de type RS 232 ou RS 485.



Les points d'entrée du gaz et les compteurs étant habituellement situés à l'extérieur, il faut se rappeler qu'un point de mesure de 1 000 \$ peut entraîner des dépenses totales de 10 000 \$ lorsque sont pris en compte les coûts pour creuser des tranchées, enfouir les canalisations et faire pénétrer les canalisations dans les bâtiments. Dans de tels cas, l'utilisation de systèmes de communication sans fil peut représenter une solution de rechange intéressante.

Tout comme dans le cas des compteurs électriques, on peut demander au service public d'installer un générateur d'impulsions sur les compteurs de gaz existants afin de fournir des signaux partagés. Lorsqu'un générateur d'impulsions est déjà installé sur le compteur, on peut installer un séparateur d'impulsions. Voici certains des points importants à prendre en considération lorsqu'on veut utiliser des signaux partagés pour la mesure de la consommation de gaz naturel :

- accorder assez de temps au service public pour la coordination;
- obtenir du service public le facteur d'échelle adéquat pour le compteur;
- prévoir la compensation des données fournies par le générateur d'impulsions en fonction de la température et de la pression.

Il est bon de noter que, bien que le partage des signaux avec les compteurs des services publics puisse être rentable, ce partage avec des compteurs existants des installations peut engendrer des dépenses imprévues d'étalonnage et d'entretien. Voici certains des problèmes éventuels d'un tel système :

- toutes les imprécisions du système de mesure existant sont implicites;
- la taille des compteurs existants de l'installation pourrait ne pas convenir;
- la documentation sur l'étalonnage peut être limitée ou non disponible;
- le démontage des compteurs d'un système sous pression est peu pratique et peut imposer leur étalonnage sur le terrain, avec les erreurs que comporte une telle opération.

#### 9.4.3 Mesure de la consommation de vapeur

On utilise généralement des compteurs à diaphragme dans les usines. Les données d'étalonnage doivent être obtenues soit à partir des registres d'étalonnage de l'installation, soit à partir des plaques signalétiques des compteurs. Le débit de vapeur est proportionnel à la racine carrée de la différence de pression entre les deux côtés du diaphragme. Si les débits sont faibles, cette différence de pression peut ne varier que faiblement pour des changements importants de débit, ce qui peut entraîner des erreurs. Si la production de vapeur devient inférieure au taux de variation de débit, la précision nominale du compteur à diaphragme peut constituer un problème et des données inexactes peuvent être générées.

Lorsqu'on utilise ces débitmètres à diaphragme, il faut également faire attention au problème lié à la diminution de la pression de vapeur. Les valeurs de débit de vapeur obtenues à l'aide de dispositifs à diaphragme sont généralement affectées par une



baisse de la pression de vapeur découlant d'une baisse correspondante de la masse volumique de la vapeur. Il en résulte une chute de pression plus grande au niveau du diaphragme pour un débit donné, ce qui se traduit par une valeur affichée du débit de vapeur proportionnellement plus grande. Dans ce cas, on peut appliquer des facteurs de correction de débit massique calculés pour ces valeurs affichées afin d'obtenir les valeurs réelles. Des discussions tenues avec le personnel travaillant sur place ont révélé que la compensation automatique de pression est rarement appliquée.

On donne ci-après un exemple de correction de débit massique s'appliquant à la lecture du débit de vapeur saturée avec un débitmètre à diaphragme.

Si la valeur affichée est de 13 607 kg/h de vapeur saturée, la pression de travail normal de 690 kPa et la pression nominale pour le diaphragme de 862 kPa, quel est le débit massique réel?

La formule de correction est :  $C_m = \sqrt{(dD/dA)} \times (dA/dD)$

Dans laquelle  $dA$  = la masse volumique de la vapeur à la pression réelle

$dD$  = la masse volumique de la vapeur à la pression nominale

$C_m$  = le facteur de correction de débit massique

D'après les tables de vapeur :  $dD = (1/\text{volume massique}) = 1/0,201 = 4,976 \text{ kg/m}^3$

$dA = (1/\text{volume massique}) = 1/0,243 = 4,120 \text{ kg/m}^3$

$C_m = \sqrt{(4,976/4,120)} \times (4,120/4,976) = 0,9098$

Le débit réel de vapeur est donc de  $0,9098 \times 13\ 607 = 12\ 380 \text{ kg/h}$ .

La différence de pression est généralement mesurée à l'aide d'un manomètre différentiel et transformée en un signal de 4-20 mA ou en un signal satisfaisant à une autre norme de l'industrie, qui est ensuite enregistré par un système de surveillance et de gestion de l'énergie.

Les débitmètres à vortex, bien que plus chers, sont plus précis que ceux à diaphragme et ont une gamme de mesure au moins trois fois plus grande. Les débitmètres

Annubar sont une autre solution de remplacement aux débitmètres à diaphragme. Ce sont des capteurs en

forme de diamant qui sont insérés dans le circuit de vapeur. Ils produisent une perte permanente de pression plus faible à cause de leur encombrement moindre, et sont plus faciles à installer. Par exemple, un Annubar installé sur une canalisation de 8 pouces (200 mm) ne nécessite que 4 pouces linéaires (20 cm) de soudure, comparativement au 50 pouces (125 cm) que nécessite un débitmètre à diaphragme. Les économies sur les coûts d'installation vont de 25 p. 100 pour les canalisations les plus petites à 70 p. 100 pour celles de plus grand diamètre. Comme pour les débitmètres à diaphragme, il faut consulter les données fournies par le fabricant pour déterminer les facteurs appropriés de compensation de température et de pression. La gamme de mesures est semblable à celle des débitmètres à diaphragme.

*Faites attention à l'étalonnage des débitmètres à diaphragme.*

#### 9.4.4 Mesure de la consommation d'eau et de condensat

À moins qu'ils ne soient trop anciens, les débitmètres existants à turbine, à disque rotatif, à vortex ou magnétiques peuvent être modernisés en les équipant d'une tête à impulsion. Les fabricants de ces débitmètres pourront indiquer si une telle modification est possible, et il est conseillé de les consulter au préalable à ce sujet. Bien qu'ils soient rarement étalonnés, la plupart de ces débitmètres donnent des lectures d'une précision raisonnable s'ils sont en bon état de fonctionnement. Il est bon de noter que le coût de démontage, de remplacement de pièces et d'étalonnage d'un compteur peut souvent être équivalent à celui d'un compteur neuf. On suggère d'installer un registre local lors de toute installation d'une tête à impulsion afin de pouvoir relever les valeurs lues.

*Les compteurs à eau nécessitent généralement l'installation d'une tête à impulsion.*

Si les canalisations du compteur comportent une vanne d'arrêt pour interrompre le passage du condensat ou de l'eau dans le compteur et que cette vanne d'arrêt subit une défaillance, le débit peut être mesuré correctement sur le registre local mais peut être mesuré plusieurs fois par la tête à impulsion.

Dans les usines, on retrouvera divers types de compteurs venturi, Annubar ou à diaphragme, qui fonctionnent avec des transmetteurs à pression différentielle. Ces compteurs sont sujets à de nombreux problèmes de fonctionnement et d'étalonnage.

Les débitmètres de type non intrusif sont un moyen de faire des vérifications ponctuelles. Parmi ces débitmètres, on retrouve ceux de type magnétique, à temps de transit et à effet Doppler. Les principaux avantages de ce type d'équipement sont qu'il est portable et que le flux n'est pas obstrué (pas de perte de pression dans les canalisations). Parmi les points importants à prendre en considération lors du choix d'un compteur non intrusif, il y a ceux-ci :

- les débitmètres magnétiques sont relativement chers mais ont une gamme étendue (30/1) et conviennent aux fluides sales et aux mesures de flux bidirectionnelles;
- les débitmètres soniques à temps de transit sont très précis pour des fluides relativement propres, mais sont perturbés par la présence de bulles ou de particules dans le circuit et de dépôts sur les parois des canalisations, et nécessitent un débit complet dans la canalisation avec des turbulences modérées;
- la précision des débitmètres à effet Doppler dépend de la présence de particules en suspension ou de bulles.

#### 9.4.5 Mesure de la consommation d'air comprimé

Bien que d'utilisation courante, les compteurs à diaphragme ne conviennent pas aux systèmes à air comprimé, car ils ont une marge de réglage limitée (3/1) et ils produisent des pressions différentielles relativement importantes. On suggère d'utiliser des appareils à tube de Pitot qui offrent une meilleure marge de réglage et des pressions différentielles



pratiquement négligeables. Afin d'obtenir les valeurs réelles des débits, ces appareils devraient être munis d'un dispositif de compensation de température et de pression. Les compteurs à tube de Pitot et à thermocouple de type J devraient être installés dans une partie non perturbée de la canalisation d'air comprimé de chaque compresseur.

L'absence de jauges de pression ou la présence de jauges non étalonnées dans le système empêchera la mesure des pressions différentielles au niveau d'éléments critiques comme les filtres, les refroidisseurs et les séparateurs. L'installation de points d'essai à des emplacements choisis permet d'utiliser un appareil de précision étalonné pour obtenir des lectures précises de pression et d'éviter l'entretien et l'étalonnage de nombreux appareils de mesure.

#### 9.4.6 Enregistreurs

Là où l'accès au système est difficile (p. ex., boîtier de moteur ou de ventilateur, boîtes de raccords électriques, ouverture d'aération), on peut surveiller les données relatives à la température, à l'humidité relative, à la tension et au courant électriques, à la pression et à la teneur en CO<sub>2</sub> grâce à des enregistreurs. Puisque ce sont des appareils autonomes, on peut les réutiliser pour d'autres tâches. Leur coût est relativement faible si on le compare à celui de systèmes permanents d'acquisition de données.

#### *Le rôle des enregistreurs*

La plupart des enregistreurs peuvent être raccordés à un ordinateur personnel. Certains sont munis de connexions externes pour les relier directement à des appareils de mesure et des capteurs existants qui donnent des signaux en tension, ce qui permet ainsi de surveiller et d'enregistrer les données de sortie de ces dispositifs.

Les enregistreurs constituent une solution pour les situations où un petit nombre de projets de rénovation simples (p. ex., de l'éclairage) sont répétés un grand nombre de fois et où seul un échantillonnage représentatif est requis. Lorsqu'on sait que le profil de consommation d'énergie d'un système de moteurs ou d'éclairage est uniforme, il est facile de calculer cette consommation.

### 9.5 Raccordement des compteurs aux systèmes de surveillance

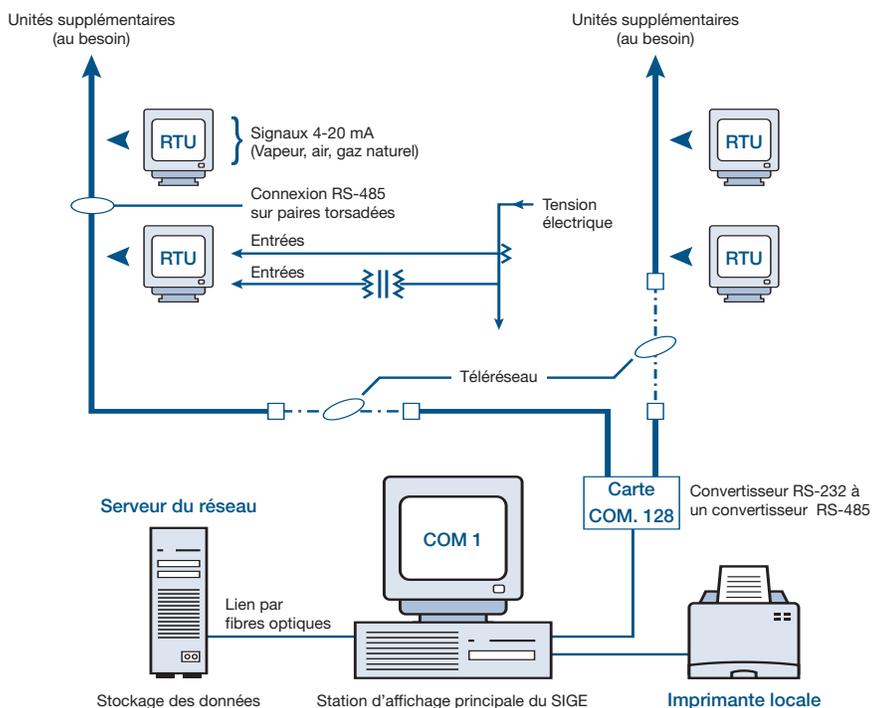
Après avoir choisi l'équipement de mesure, il faut configurer le système permettant de communiquer au logiciel du SIGE les données obtenues en temps réel grâce aux divers appareils électroniques de mesure en temps réel (gaz naturel, électricité, air comprimé, vapeur et eau).

Actuellement, la plupart des compteurs comportent des options de sortie analogique (4-20 mA) ou de sortie numérique en série (RS 232) et une interface de communication avec un réseau de type bus, comme Ethernet ou téléterminal Modbus (RTU). Bien que la plupart des compteurs puissent être initialement utilisés de manière autonome, ils peuvent être intégrés dans une installation complète ou un système à la grandeur de l'usine, afin d'assurer un contrôle et une surveillance au moyen d'un lien de communication commun disponible grâce à une architecture ouverte.



La figure 38 illustre un système couramment utilisé comportant des RTU intégrés dans le circuit qui permettent de surveiller la consommation d'énergie dans diverses parties d'une usine ou d'une installation. Les RTU sont interconnectés avec l'ordinateur central du SIGE au moyen d'un réseau local (LAN).

**Figure 38. Configuration courante d'un SIGE**



## 9.6 Coûts

Le coût représente toujours un facteur de premier ordre. Après avoir planifié les mesures et les données à acquérir, il faut décider si l'infrastructure de mesure existante peut être utilisée ou s'il faut acheter de l'équipement neuf. Il faut garder à l'esprit que les économies réalisées par l'utilisation d'un compteur existant peuvent être contrebalancées par les coûts de conversion encourus pour satisfaire aux nouvelles exigences de mesure, sans compter les coûts d'inspection, de réparation et d'étalonnage. Parmi les autres facteurs, il y a les exigences techniques du projet, le fait que le compteur peut remplir ou ne pas remplir son objectif d'origine et le besoin éventuel de se doter d'une installation permanente.

La rentabilité des mesures dépend grandement des économies d'échelle lors de l'utilisation finale. Par exemple, bien que le coût de surveillance d'un moteur de 200 HP soit comparable à celui d'un moteur de 20 HP, le moteur de 200 HP présente des économies potentielles dix fois plus importantes.

En l'absence de données techniques détaillées et étant donné la susceptibilité des coûts dans les conditions actuelles du marché, il est difficile d'évaluer ces coûts pour les besoins de ce guide.

## 9.7 Conclusions

L'ambition d'une précision absolue de toutes les mesures sur un site de production et la difficulté d'atteindre cette précision sont souvent perçues comme un frein à la mise en service d'une meilleure infrastructure de surveillance.

Ces considérations ne devraient pas empêcher la modernisation des systèmes de mesure de l'installation avant la mise en place d'un SIGE. Une modernisation par étapes réalisée dans le cadre de contraintes budgétaires est un moyen pratique de faire bouger les choses. À ce stade, il est important de réaliser que dans la pratique, les mesures ne seront pas parfaites.

*Il vaut mieux être à peu près exact que précis dans l'erreur.*

Les actions destinées à apporter des améliorations sont mieux acceptées lorsque la culture d'entreprise encourage et récompense les initiatives de réduction de la consommation d'énergie. Le SIGE a pour but de fournir de l'information et des données utiles sur les habitudes de consommation de l'installation. Pour communiquer efficacement, encourager la participation et favoriser l'engagement du personnel à tous les niveaux, il faut des aptitudes en relations humaines. La motivation d'une équipe se maintient lorsqu'elle connaît rapidement le succès en présentant des résultats validés par le SIGE. La crédibilité de ces résultats accentuera aussi la motivation et l'adhésion de tout le personnel. Avec l'aide de l'équipe des ressources humaines, on doit développer des méthodes visant à récompenser le bon rendement, ce qui peut se faire par des publicités (p. ex., affiches spéciales, publications de l'entreprise comme des bulletins de nouvelles, récompenses non monétaires lors d'événements organisés par l'entreprise, etc.) ou sous forme de modestes récompenses en argent. La motivation du personnel sera aussi renforcée, celui-ci sachant que de l'aide est disponible afin de corriger un mauvais rendement.

*Récompensez un bon rendement et améliorez un mauvais rendement.*

Bien que les procédures et les normes comme celles de l'ISO aient un but légitime, il ne faut pas leur accorder un trop grand rôle dans l'amélioration de l'efficacité énergétique. Par exemple, on considère généralement que la norme ISO 14000 a fait ses preuves pour une gestion environnementale efficace et complète. Bien que son champ d'application soit assez étendu pour couvrir l'efficacité de l'utilisation de l'énergie, il peut négliger des aspects importants de la gestion énergétique. Par exemple, les achats stratégiques d'énergie en constituent un élément clé mais complexe dans un environnement déréglementé. L'objectif principal de la norme ISO 14000 est centré sur la conformité aux lois environnementales, et en tant que tel, cette norme n'offre aucune directive sur l'achat d'énergie, car l'achat n'est pas habituellement relié à la conformité. Il existe indéniablement un lien direct entre l'énergie et l'environnement, et un SIGE peut servir d'outil complémentaire utile pour les problèmes environnementaux.

Trop se fier à une seule personne peut être une autre source de problèmes. De nombreuses organisations se sont retrouvées dans des situations où il n'était pas possible d'obtenir de l'information nécessaire, car une seule personne était au courant et cette personne était absente. Un SIGE efficace consignera les connaissances collectives sur la consommation et les rendra largement accessibles. De plus, en réduisant le temps de collecte des données, le personnel pourra consacrer plus de temps à trouver des solutions aux problèmes.

*Il est risqué de se fier à un seul expert dans le domaine de l'énergie.*



## **Votre SIGE est-il efficace? Liste de vérification**

Ce qui suit peut vous aider à évaluer un SIGE par rapport à l'approche structurée présentée dans le présent guide. Cette liste de vérification pourrait vous indiquer que de nombreux éléments d'un SIGE, tels qu'on les présente, sont sous-utilisés ou inutilisés. Plusieurs éléments souhaitables peuvent être mis en place à un coût minime. Tout au moins, cette liste indiquera ce qui manque par rapport à ce qui peut être obtenu; elle pourrait ainsi mener à une plus grande rentabilité grâce à une consommation d'énergie plus efficace.

Tout SIGE efficace devrait comprendre les éléments indiqués dans la liste de vérification suivante. La mise en place de ces éléments devrait réduire les coûts annuels d'énergie d'au moins 5 p. 100.

## Réalisations attendues : Le SIGE fournit-il les éléments suivants?

Oui	Non		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Identification précoce d'un rendement insuffisant	Une trop grande consommation d'énergie dans des zones clés du procédé est découverte assez rapidement pour permettre de prendre des mesure correctives (découvrir que le rendement antérieur aurait pu être plus élevé n'est pas suffisant!).
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Soutien à la prise de décisions	L'utilisateur du SIGE obtient de l'information (ressources sur papier ou outils logiciels) pour l'aider à agir lorsqu'un rendement insuffisant est décelé.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Rapports utiles sur l'efficacité énergétique à tous les décideurs :	Le rendement énergétique est rapporté aux décideurs clés. Les rapports sont transmis à tous les membres du personnel s'occupant de la gestion des affaires et du rendement énergétique.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Haute direction	Les rapports comprennent uniquement les données pertinentes et sont conçus en fonction de leurs destinataires.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Gestionnaires principaux	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Gestion des opérations	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Personnel technique	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Exploitation	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Planification et ordonnancement	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Comptabilité	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Organisations externes	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Autres membres du personnel concernés	Les rapports sont intégrés au système existant de rapports.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Vérifications des rendements antérieurs	Les rapports sont accessibles et produits en temps utile.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Vérifications des rendements antérieurs	Fournir des détails sur les rendements antérieurs, y compris une ventilation de la consommation, l'évolution des indicateurs clés du rendement et des comparaisons de la consommation d'énergie et des indicateurs clés du rendement avec des objectifs bien établis.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Soutien pour la découverte de mesures d'économie	Quantifier la consommation d'énergie des procédés individuels et de l'installation au complet. Quantifier l'effet de ces mesures sur les paramètres clés du rendement.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Fournir des preuves de l'amélioration du rendement énergétique	Mettre en évidence l'amélioration du rendement grâce à des comparaisons avec des valeurs de référence établies pour les installations en entier, les procédés individuels et l'usine.



### Réalisations attendues : Le SIGE fournit-il les éléments suivants? (suite)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Fournir un soutien lors de la négociation de contrats et pour les prévisions budgétaires concernant l'énergie	Établir des relations entre les facteurs déterminants (niveaux de production, qualité des produits, nature des produits, conditions ambiantes, etc.) influant sur la demande future en énergie afin de prévoir celle-ci avec un degré élevé de certitude.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Fournir des données sur l'énergie à d'autres systèmes de TI relatifs à l'administration et aux procédés	Fournir les données pertinentes et leur influence aux systèmes de planification et d'ordonnement, aux systèmes de gestion et de TI de l'entreprise, et aux systèmes de gestion et de surveillance des procédés et du rendement de l'usine. Envoyer les données pertinentes aux dépôts centraux de données.

### Caractéristiques : Le SIGE présente-t-il les caractéristiques clés suivantes?

Oui	Non		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Stockage efficace des données sur l'énergie et des données connexes	Une base de données moderne, archivage des données historiques et dépôt.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Accès facile aux données par tout le personnel concerné :	Données facilement accessibles au personnel pertinent au moyen d'outils standard (tableur, système d'information pour la haute direction, planification des ressources de l'organisation, système de gestion de l'information, programmes d'applications, SCR, SCADA, etc.).
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Haute direction	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Gestionnaires principaux	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Gestion des opérations	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Personnel technique	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Personnel opérationnel	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Planification et ordonnancement	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Comptabilité	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Organismes externes	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	• Autres membres du personnel concernés	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Calcul d'objectifs réalisables à partir des données historiques ou de simulations à l'échelle de l'usine	Comporte des outils modernes d'analyse des données pour établir des objectifs réalisables, qui prennent en compte les multiples facteurs déterminants (plus sophistiqués qu'une régression linéaire ou multiple) et/ou qui comprennent des modèles de premiers principes des opérations de l'usine comme objectifs.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Comparaison du rendement réel avec les objectifs	Comparaison des valeurs réelles de la consommation, des indicateurs clés de rendement et des facteurs déterminants avec les valeurs cibles.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Analyse des données historiques	Outils permettant de repérer les tendances dans les données historiques, allant de simples graphiques à la visualisation et à l'exploration de données.



### Caractéristiques : Le SIGE présente-t-il les caractéristiques clés suivantes? (suite)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Création de graphiques	Rapports comprenant des graphiques simples mais efficaces (courbes, dispersion, barres, sommes cumulées, en trois dimensions, etc.).
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Validation des données	Bilans thermiques et massiques, contrôle des limites, etc.

### Éléments

Oui	Non		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Compteurs pour la consommation d'énergie	Compteurs divisionnaires de l'installation lus automatiquement.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mesure des facteurs déterminants	Mesures de ces facteurs lues automatiquement.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mesure des indicateurs clés de rendement	Mesures de ces indicateurs lues automatiquement.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Acquisition automatique des données	La collecte automatique des données est une exigence clé d'un SIGE efficace.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Système d'archivage des données	Une base de données qui peut être utilisée efficacement.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Outils de traitement des données	Une suite logicielle d'outils d'analyse des données allant de la régression à l'exploration des données.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Outils pour la création de rapports	Idéalement, outils déjà utilisés pour établir les rapports sur les procédés et le rendement de l'organisation.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Outils de soutien décisionnel	Logiciels ou sur papier.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Interfaces	Avec la planification des ressources de l'organisation, le système d'information de gestion, SCR, SCADA, tableur, etc.



## Soutien

Oui	Non		
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Programme de gestion de l'énergie	Un programme complet de gestion de l'énergie dont le SIGE constitue un élément.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Engagement de la direction	Soutien et engagement du PDG et de la haute direction à l'endroit du programme de gestion de l'énergie.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Attribution des responsabilités	La responsabilité du rendement énergétique revient aux gestionnaires de la production, des opérations et de divisions concernés, et non au gestionnaire de l'énergie.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Procédures	Procédures pour s'assurer que les tâches requises pour exploiter le SIGE et réaliser des économies sont comprises et adoptées.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Formation et soutien	Formation technique, formation sur les logiciels, soutien aux utilisateurs du SIGE.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Ressources	Ressources financières et humaines nécessaires à la réalisation des économies.
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Vérifications régulières	Pour vérifier le rendement du système, l'adhésion aux procédures et les économies réalisées.



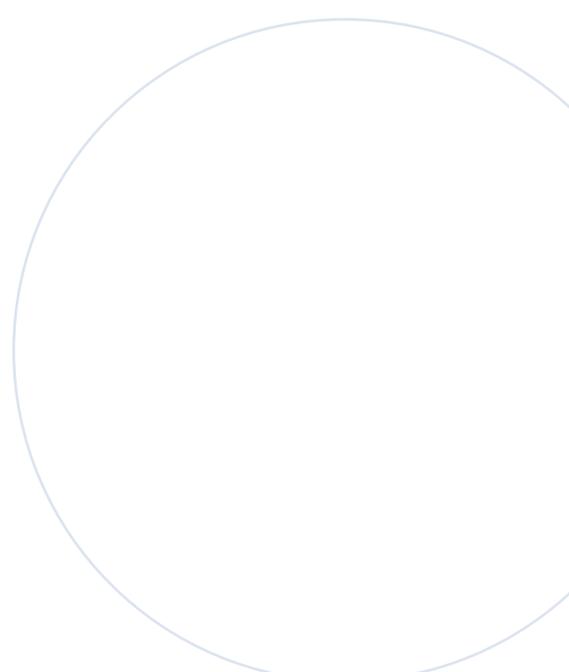


## Annexe A : Abréviations et symboles

CP	Contrôleurs programmables
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
COP	Coefficient de performance
CVC	Chauffage, ventilation et climatisation
FP	Facteur de puissance
HP	Horse power
H <sub>z</sub>	Hertz
ISO	Organisation internationale de normalisation
kg/h	Kilogramme à l'heure
kPa	Kilopascal
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattheure
kV	Kilovolt
kVA	Kilovoltampère
kVAR	Kilovar
LAN	Réseau local
lb/po <sup>2</sup>	Livre par pouce carré
m <sup>3</sup> /h	Mètre cube à l'heure
m <sup>3</sup> /s	Mètre cube à la seconde
mA	Milliampère
MJ	Mégajoule
mm	Millimètre
MPa	Mégapascal
MWh	Mégawattheure
Nm <sup>3</sup>	Mètre cube normal
PEEIC	Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne



PGE	Programme de gestion de l'énergie
pi <sup>3</sup> nor	Pied cube normal
pi <sup>3</sup> /h	Pied cube par heure
PRE	Planification des ressources de l'entreprise
RTU	Réseau de type bus
SCADA	Système d'acquisition et de contrôle des données
SCR	Système de commande réparti
SGD	Système de gestion des documents
SID	Système d'information pour la direction
SIGE	Système d'information de gestion énergétique
SIGMÉ	Société indépendante de gestion du marché de l'électricité de l'Ontario
TI	Technologie de l'information
SGI	Système de gestion de l'information
VA	Voltampère
VAR	Voltampère réactif



## Annexe B : Figures et tableaux

Figure 1.	Éléments de base d'un SIGE	6
Figure 2.	Éléments d'un programme de gestion de l'énergie	8
Figure 3.	Rapport d'opérations indiquant un mauvais rendement	10
Figure 4.	Rapport d'opérations indiquant une amélioration du rendement	11
Figure 5.	Rapport donnant des consignes pour parvenir à des conditions optimales de fonctionnement	15
Figure 6.	Apprentissage fondé sur les données	15
Figure 7.	Exemple d'un rapport de gestion indiquant un progrès hebdomadaire	16
Figure 8.	Exemple d'un rapport à l'intention des cadres indiquant un progrès mensuel	17
Figure 9.	Exemple de la distribution statistique	18
Figure 10.	Quantification de la consommation et des coûts de l'énergie d'un SIGE	18
Figure 11.	Économies cumulées réalisées depuis la mise en œuvre d'un SIGE	20
Figure 12.	Éléments d'un SIGE classique	22
Figure 13.	Étapes de la réussite	25
Figure 14.	Profil montrant des anomalies passagères dans la consommation d'énergie	34
Figure 15.	Incidence du SIGE sur la structure organisationnelle	35
Figure 16.	Responsabilités et analyses de la boucle décisionnelle	46
Figure 17.	Système efficace de production de rapports en matière d'énergie : Questions et réponses	50
Figure 18a.	Exemple d'un rapport d'opérations comportant un avertissement	54
Figure 18b.	Autre exemple d'un rapport d'opérations comportant un avertissement	55
Figure 19.	Schéma des éléments d'une analyse des données sur l'énergie	60
Figure 20.	Ventilation de la consommation d'énergie	63
Figure 21.	Répartition des services selon la consommation et les coûts énergétiques	63
Figure 22.	Ventilation mensuelle de la consommation d'électricité illustrant les périodes diurnes et nocturnes	64
Figure 23a.	Profil typique de la demande aux 30 minutes (graphique linéaire)	64
Figure 23b.	Profil typique de la demande aux 30 minutes (tracé de contours)	65



Figure 24.	Exemple de la distribution de fréquences	66
Figure 25.	Consommation d'énergie en fonction de la production	67
Figure 26.	Exemple d'un graphique tridimensionnel de la consommation d'énergie en fonction de la production et de la qualité de l'alimentation	68
Figure 27.	Diagramme de dispersion multiple	69
Figure 28.	Arbre de décision simple	70
Figure 29.	Arbre de décision complexe	71
Figure 30.	Étapes d'une analyse initiale d'exploration des données	72
Figure 31.	Pression de vapeur dans le distributeur de la chaudière	73
Figure 32.	Incidence de la pression dans le distributeur sur les coûts d'exploitation – arbre de décision partiel	74
Figure 33.	Coûts en fonction de la pression dans le distributeur	74
Figure 34.	Rendement réel et rendement prévu en fonction du temps	75
Figure 35a.	Rapport sur le rendement	77
Figure 35b.	Rapport des sommes cumulées (graphique linéaire simple)	77
Figure 35c.	Rapport des sommes cumulées (résumés mensuels, hebdomadaires ou annuels)	78
Figure 36.	Rapport des sommes cumulées	78
Figure 37.	Plan de mesure de la consommation : Une approche structurée	82
Figure 38.	Configuration courante d'un SIGE	94
Tableau 1.	Exemples de problèmes courants pouvant occasionner des coûts énergétiques élevés	12
Tableau 2.	Critères de calcul de la réussite	30
Tableau 3.	Évaluation d'un programme de gestion de l'énergie d'une entreprise	31
Tableau 4.	Coût approximatif d'investissement raisonnable dans un SIGE	45
Tableau 5.	Exemples de secteurs dont les services doivent être mesurés	61
Tableau 6.	Exemples de facteurs déterminants	62
Tableau 7.	Liste des compteurs	85
Tableau 8.	Centres de comptabilisation de la consommation d'énergie	86



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



**PEEIC**

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

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

Office de l'efficacité énergétique

a/s Ressources naturelles Canada

580, rue Booth, 18<sup>e</sup> étage

Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Téléphone : (613) 995-6839

Télécopieur : (613) 992-3161

ATME : (613) 996-4397

(appareil de télécommunication pour malentendants)

Courriel : [cipec.peeic@rnca.gc.ca](mailto:cipec.peeic@rnca.gc.ca)

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

L'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada renforce et élargit l'engagement du Canada envers l'efficacité énergétique afin d'aider à relever les défis posés par les changements climatiques.

**Canada**