

# Guide Pratique pour les responsables d'énergie au niveau des entreprises industrielles







# **Guide Pratique pour les Responsables d'Énergie au Niveau des Entreprises Industrielles**



# Sommaire

<b>1. Contexte national et introduction à la gestion d'énergie</b>	<b>7</b>
1.1. Quelle est la situation énergétique du Maroc ?	8
1.2. Comment est perçue l'énergie dans l'industrie ?	8
1.3. Pourquoi un responsable d'énergie et qui peut l'être ?	9
<b>2. Les missions d'un responsable d'énergie</b>	<b>11</b>
2.1. Evaluation de l'existant	14
2.1.1. Collecte des données énergétiques	14
2.1.2. Réaliser un bilan énergétique global	14
2.1.3. Analyser les factures énergétiques	15
2.1.4. Réaliser une cartographie des principaux usages énergétiques	18
2.2. Identifier et hiérarchiser les principales pistes possibles d'amélioration de la performance énergétique	19
2.3. Piloter la réalisation et analyser les résultats d'un audit énergétique	21
2.4. Gérer des opérations d'efficacité énergétique	21
2.4.1. Rédiger des CdC de demandes de prestations pour répondre aux problématiques énergétiques	21
2.4.2. Analyser des propositions/offres de prestations énergétiques	22
2.4.3. Identifier et définir les indicateurs de performance énergétique	23
2.4.4. Recueillir des données et émettre des préconisations	23
2.5. Mesurer l'efficacité des plans d'action	24
2.5.1. Élaborer un plan M&V (mesure et vérification)	24
2.5.2. Mettre en place un tableau de bord de suivi de la performance énergétique	25
2.6. Formation, Sensibilisation et Communication	25
2.6.1. Sensibilisation et Communication	25
2.6.2. Elaboration du plan de formation	26
<b>Liste de bibliographies</b>	<b>27</b>
<b>Liens pertinents complémentaires</b>	<b>27</b>
<b>Annexes</b>	<b>29</b>

# Tableaux et figures

<b>Tableau 2.1</b>	Ratios de conversion et d'équivalence énergétique	9
<b>Tableau 2.2</b>	Exemple de calcul de la consommation globale en Tep	10
<b>Tableau 2.3</b>	Données et informations standards à relever et traiter dans les factures énergétiques	10
<b>Tableau 2.4</b>	Déférence entre diagramme de SANKEY et présentation simple des données	13
<b>Tableau 2.5</b>	Calcul de la consommation théorique de l'usage "pompage"	13
<b>Tableau 2.6</b>	Calcul de la consommation théorique de l'usage "éclairage"	13
<b>Tableau 2.7</b>	les actions d'EE prévues selon une enquête des industries en France	15
<b>Tableau 2.8</b>	modèle typique de tableau comparatif des offres	18
<b>Tableau 2.9</b>	Outils de mesure et suivi des indicateurs énergétiques	19
<b>Tableau 2.10</b>	modèle simplifié de tableau de bord énergétique	21
<b>Tableau 2.11</b>	Exemple du programme de formation relatif à la gestion d'énergie	22
<b>Figure 1</b>	utilisation de l'énergie par secteur	4
<b>Figure 2</b>	Part de la facture énergie dans les coûts de production selon le secteur d'activité	5
<b>Figure 3</b>	Quelles sont les compétences nécessaires d'un responsable énergie et quel est son profil ?	6
<b>Figure 4</b>	Interactions entre les tâches du RE	7
<b>Figure 5</b>	Étapes à suivre pour l'implémentation du programme d'EE	8
<b>Figure 6</b>	Diagramme de bulles pour l'évaluation et la visualisation des gains	15
<b>Figure 7</b>	Guide détaillant la méthodologie de l'audit énergétique	16
<b>Figure 8</b>	Fiches et CPS typiques des solutions de l'efficacité énergétique	18
<b>Figure 9</b>	indicateurs typiques de la performance énergétique selon le champ d'utilisation	19

# Liste des abréviations

<b>EE</b>	Efficacité énergétique
<b>IPÉ</b>	Indicateur de performance énergétique
<b>M&amp;V</b>	Mesure et Vérification
<b>RE</b>	Responsable d'énergie
<b>TEP</b>	Tonne équivalent pétrole
<b>UES</b>	Usages énergétiques significatifs



# **Contexte national et introduction à la gestion d'énergie**

# 1

## CONTEXTE NATIONAL ET INTRODUCTION À LA GESTION D'ÉNERGIE

### 1.1. Quelle est la situation énergétique du Maroc ?

Bien que la consommation énergétique du Maroc soit relativement faible (moins de 0.6 tep/hab/an, contre une moyenne mondiale de 1,50 tep/hab/an pour l'année 2017 (selon le MEME), le pays connaît une forte dépendance à l'égard de l'énergie importée et sa facture énergétique pèse lourdement sur son équilibre économique et financier. En effet, presque 90% de l'énergie primaire du Maroc est importée sous forme d'énergie fossile.

Dans ce contexte, le législateur marocain a institué des lois et des règles coercitives, pour obliger les gros consommateurs de l'énergie à adopter des mesures de rationalisation de la consommation de l'énergie primaire : loi 47-09 de l'efficacité énergétique, loi 58-15 modifiant et complétant la loi 13-09 relative aux énergies renouvelables... Un de ces socles juridiques, est le décret n° 2-17-746 relatif aux audits énergétiques obligatoires et des organismes d'audit énergétique, qui a été publié au Bulletin Officiel en 02 mai 2019.

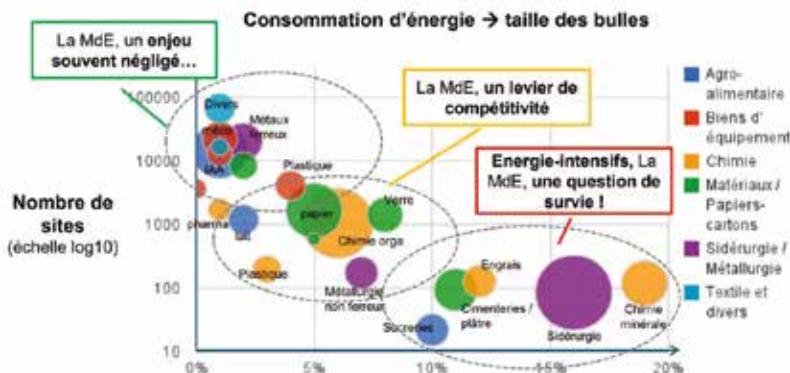
### 1.2. Comment est perçue l'énergie dans l'industrie ?

Le secteur industriel marocain est très diversifié : Textile, matériaux de construction, industrie agroalimentaire, industrie minière, sidérurgie, industrie chimique.... Il consomme plus du cinquième de l'énergie finale utilisée au Maroc.

Mais malheureusement, peu d'entreprises font des efforts pour atténuer ce fardeau. À la question « Quelle est la part de l'énergie dans le coût de revient de votre entreprise ? », plusieurs managers répondraient « élevée ». En s'arrêtant là, ils considéreraient que la facture énergétique est une fatalité : l'énergie est essentielle au fonctionnement et au développement de leur activité, mais ils n'en maîtrisent pas les coûts.

**Figure 1:**

Part de la facture énergie dans les coûts de production selon le secteur d'activité (Source : ATEE d'après INSEE)



\* MdE : Maîtrise de l'énergie

Selon des responsables d'énergie et des chefs d'entreprises qui se sont lancées dans la démarche d'amélioration énergétique : « Prendre le temps de connaître et d'analyser la consommation énergétique de son entreprise, identifier les gaspillages et explorer les économies d'énergie possibles, c'est déjà s'engager dans une stratégie gagnante ».

### 1.3. Pourquoi un responsable d'énergie et qui peut l'être ?

La désignation d'un responsable d'énergie (RE) qui pilote les projets lancés par l'entreprise dans le but d'améliorer sa performance énergétique est devenue incontournable, pour toute entreprise désirante d'améliorer et de maintenir sa compétitivité. En général, les industries énergivores ont un responsable chargé du suivi de la consommation

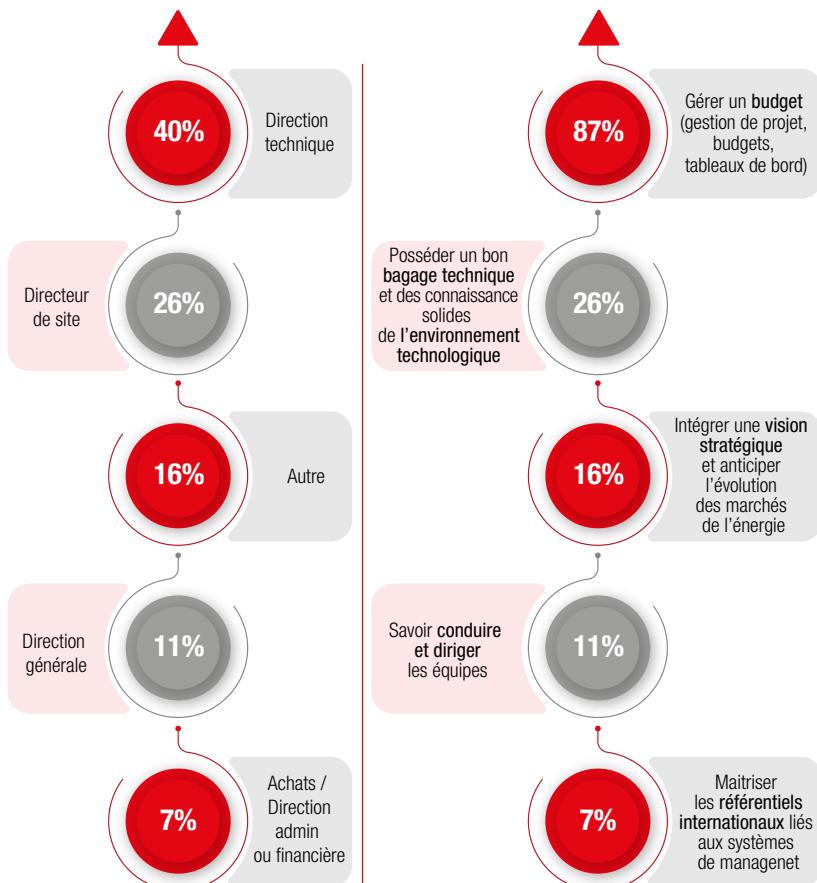
d'énergie. L'attribution de ce poste varie selon la structuration et l'organisation de chaque industrie. Il pourra bien s'agir d'un poste nouvellement créé, ou d'un poste déjà existant à qui seront attachées les responsabilités de gestion de l'énergie. Pour assurer le pilotage du système, le responsable d'énergie doit avoir plusieurs compétences qui seront détaillées dans le présent guide.

Les deux figures suivantes, extraites du rapport de l'enquête "Management de l'énergie dans l'entreprise" exposent les profils des responsables d'énergie et leurs compétences.

**Figure 2**

Quelles sont les compétences nécessaires d'un responsable énergie et quel est son profil ?

Source : Résultats de l'enquête "Management de l'énergie dans l'entreprise"



Ces graphes illustrent les profils les plus répandus pour un responsable d'énergie dans l'industrie (selon l'étude susmentionnée), les deux tiers des entreprises préfèrent le choix d'un profil technique pour le poste du RE. Ainsi, plus de 80% des entreprises interviewées répondent que les compétences de: gestion budgétaire des projets d'amélioration EE et la maîtrise technique des aspects/technologies énergétiques sont les fondements indispensables d'un RE.

**Note :** En raison de manque des études et données relatives aux retours d'expérience sur les audits énergétiques dans le Maroc, par analogie, nous nous referons à des études similaires effectuées en France. Notamment, l'enquête réalisé en partenariat entre l'ATEE, l'AFNOR et DALKIA menée auprès d'un grand nombre d'utilisateurs d'énergie du secteur de l'industrie et du tertiaire.

# **Les missions d'un responsable d'énergie**

**2**

## 2

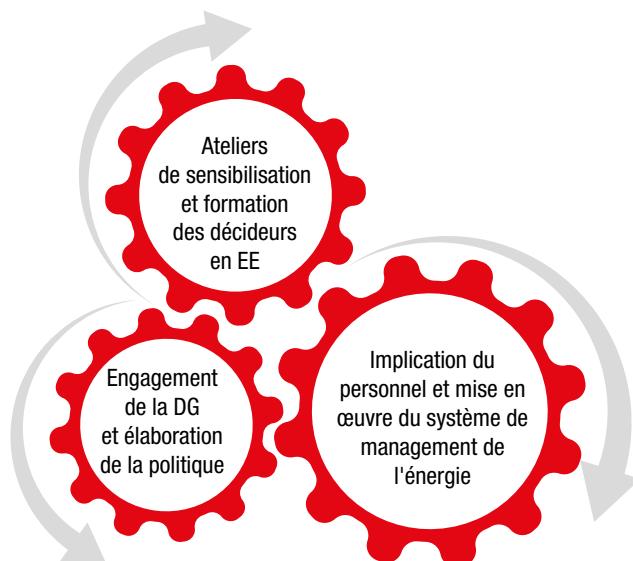
# LES MISSIONS D'UN RESPONSABLE D'ÉNERGIE

Le responsable de l'énergie (RE) joue un rôle primordial dans l'implémentation du système d'amélioration de la performance énergétique ou du programme d'efficacité énergétique de l'industrie à travers l'évaluation de la situation actuelle, l'identification des opportunités d'amélioration et la mise en œuvre des mesures appropriées en lien avec le secteur, la capacité et les standards de performance de l'industrie en question.

Sa mission consiste à assister et à guider son entreprise dans cette approche d'amélioration, en plus de :

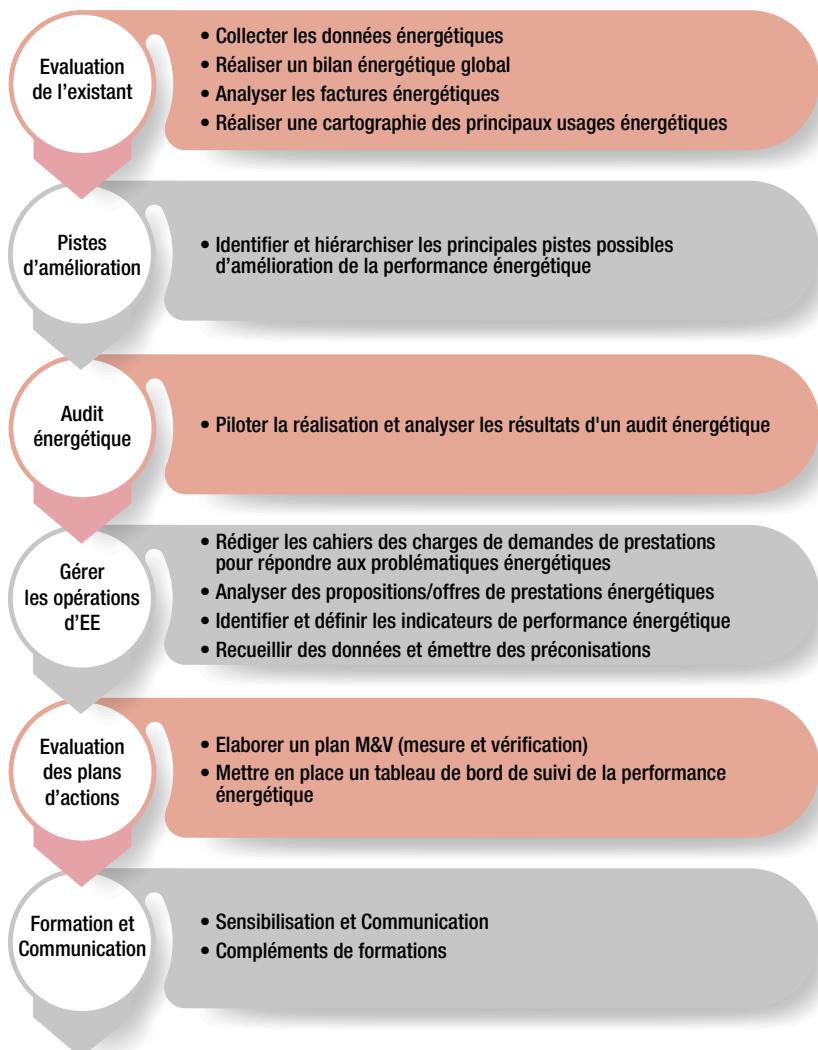
- Communiquer et sensibiliser de façon continue sur l'importance du projet, et assurer les formations nécessaires au profit des équipes concernées à sa réussite ;
- Veiller à ce que la direction soit convaincue des gains estimés et des bénéfices à réaliser ;
- Mobiliser le personnel et les ressources à mettre à la disposition du projet.

**Figure 4**  
Interactions entre les tâches du RE



La présente partie explique la démarche et les étapes à suivre par le responsable d'énergie et propose plusieurs outils à exploiter pour réussir sa mission.

**Figure 5**  
Étapes à suivre pour l'implémentation du programme d'EE



## 2.1. Evaluation de l'existant

L'objectif dans cette première étape est de reconnaître en détail la performance énergétique actuelle de l'entreprise et de dresser son profil de consommation énergétique afin d'identifier les équipements énergivores ou les usages significatifs.

### 2.1.1. Collecte des données énergétiques

Le responsable d'énergie est appelé dans un premier temps à collecter l'ensemble des données/informations utiles et fiables : factures énergétiques, historiques des relevés de compteurs ou centrales de mesures électriques ou autres moyens de comptage énergétique. En cas d'absence des moyens de mesure sur le site ou de manque de leur fiabilité, le responsable peut s'appuyer sur des équipements de location étalonnés ou faire appel à un cabinet spécialisé en efficacité énergétique pour mener une campagne de mesure bien cadrée et adaptée au besoin spécifique de l'entreprise.

**Tableau 2.1 :**

Ratios de conversion et d'équivalence énergétique (source : décret n° 2-17-746 / Annexe)

Source énergétique	Pouvoir Calorifique Inférieur (TJ/KT)	Coefficient d'équivalence énergétique	Unité
Pétrole brut	42,40	1,01	Tep/tonne
Gasoil	43,33	1,04	Tep/tonne
Essences	44,80	1,07	Tep/tonne
GPL	47,31	1,13	Tep/tonne
FIOUL	40,19	0,96	Tep/tonne
Jet	44,59	1,07	Tep/tonne
Naphta	45,01	1,08	Tep/tonne
Bitumes	40,19	0,96	Tep/tonne
Lubrifiants	40,19	0,96	Tep/tonne

### 2.1.2. Réaliser un bilan énergétique global

L'évaluation de l'existant commence par l'établissement d'un bilan global des différentes sources énergétiques permettant à l'entreprise de :

- Vérifier sa position par rapport au seuil défini par le décret n° 2-17-746 (500 TEP pour le tertiaire et 1500 TEP pour l'industrie via le site web de l'AMEE) ;
- Lister et quantifier les sources énergétiques les plus parlantes ;
- Identifier les mesures et les usages à diagnostiquer ultérieurement.

L'ensemble de ces consommations (des différentes sources) doivent être calculées en tonne d'équivalent pétrole (voir le tableau des ratios de conversion ci-dessous).

Source énergétique	Pouvoir Calorifique Inférieur (TJ/KT)	Coefficient d'équivalence énergétique	Unité
Autres (lampant, parafines et autres PP)	40,19	0,96	Tep/tonne
Coke de pétrole	30,14	0,72	Tep/tonne
Charbon	27,63	0,66	Tep/tonne
Bois de feu	15,00	0,36	Tep/tonne
Charbon de bois	30,00	0,72	Tep/tonne
Déchets agricoles	15,00	0,36	Tep/tonne
Autres déchets	11,00	0,26	Tep/tonne
Électricité : hydraulique-éolien -importée	-	86,00	Tep/GWh
Gaz naturel importé	-	900,00	Tep/Million Nm3
Gaz naturel local	-	760,00	Tep/Million Nm3

Cette analyse peut s'effectuer à l'aide des factures énergétiques ou des données collectées antérieurement. Par exemple, pour une industrie dont les données des factures

énergétiques sont présentées dans le tableau suivant, sera concernée par l'audit obligatoire (décret n° 2-17-746).

**Tableau 2.2**  
Exemple de calcul de la consommation globale en Tep

Source énergétique	Consommation annuelle moyenne	Equivalent en Tep
Électricité (hydraulique)	MWh 000 600 8	739,60
FIOUL	tonnes 784	752,64
Gasoil	tonnes 60	62,40
<b>TOTAL</b>		<b>554,64 1</b>

### 2.1.3. Analyser les factures énergétiques

En effet, les factures énergétiques sont la première source gratuite et fiable des données. Elles donnent une image claire, sur le profil de la consommation énergétique, sa répartition par tranche horaire et permet de visualiser l'impact saisonnier. Bien traiter et

exploiter ces données permettent de détecter plusieurs gisements d'économies de l'énergie. Le tableau suivant donne les informations et les graphiques standards à relever et traiter dans les factures énergétiques, notamment celles de l'électricité :

**Tableau 2.3**

Données et informations standards à relever et traiter dans les factures énergétiques (exemple sur 3 années)

Informations	Graphes																																																				
Étudier les données de consommation globale du site (3 années au minimum sont recommandées), faire un graphe ou tableau récapitulant ces données.	<p>Consommation mensuelle en MWh</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mois</th> <th>Année 1</th> <th>Année 2</th> <th>Année 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>JAN</td><td>1.3</td><td>1.5</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>FEV</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>MARS</td><td>1.0</td><td>1.1</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>AVR</td><td>1.8</td><td>1.9</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>MAI</td><td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>JUIN</td><td>1.4</td><td>1.5</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>JUIL</td><td>1.6</td><td>1.7</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>AOU</td><td>1.9</td><td>2.0</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>SEP</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>OCT</td><td>0.7</td><td>1.9</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>NOV</td><td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>DEC</td><td>1.2</td><td>1.4</td><td>1.4</td></tr> </tbody> </table>	Mois	Année 1	Année 2	Année 3	JAN	1.3	1.5	1.5	FEV	1.6	1.7	1.7	MARS	1.0	1.1	1.2	AVR	1.8	1.9	1.9	MAI	1.1	1.2	1.2	JUIN	1.4	1.5	1.5	JUIL	1.6	1.7	1.7	AOU	1.9	2.0	1.8	SEP	1.2	1.3	1.3	OCT	0.7	1.9	1.9	NOV	1.1	1.2	1.2	DEC	1.2	1.4	1.4
Mois	Année 1	Année 2	Année 3																																																		
JAN	1.3	1.5	1.5																																																		
FEV	1.6	1.7	1.7																																																		
MARS	1.0	1.1	1.2																																																		
AVR	1.8	1.9	1.9																																																		
MAI	1.1	1.2	1.2																																																		
JUIN	1.4	1.5	1.5																																																		
JUIL	1.6	1.7	1.7																																																		
AOU	1.9	2.0	1.8																																																		
SEP	1.2	1.3	1.3																																																		
OCT	0.7	1.9	1.9																																																		
NOV	1.1	1.2	1.2																																																		
DEC	1.2	1.4	1.4																																																		
Étudier le profil d'évolution des consommations et des coûts sur les années étudiées par rapport à une année de référence.	<p>Consommation annuelle en MWh</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Période</th> <th>Consommation (MWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>MNOP</td><td>14,3</td></tr> <tr><td>MNOQ</td><td>14,5</td></tr> <tr><td>MNOR</td><td>15</td></tr> <tr><td>MNOS</td><td>14,8</td></tr> </tbody> </table>	Période	Consommation (MWh)	MNOP	14,3	MNOQ	14,5	MNOR	15	MNOS	14,8																																										
Période	Consommation (MWh)																																																				
MNOP	14,3																																																				
MNOQ	14,5																																																				
MNOR	15																																																				
MNOS	14,8																																																				
Analyse les répartitions par tranches horaires (heures creuses, heures pleines et heures de pointe).	<p>Consommation annuelle par tranche horaire</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tranche horaire</th> <th>Pourcentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Heures de pointes</td><td>24%</td></tr> <tr><td>Heures creuses</td><td>38%</td></tr> <tr><td>Heures pleunes</td><td>38%</td></tr> </tbody> </table>	Tranche horaire	Pourcentage	Heures de pointes	24%	Heures creuses	38%	Heures pleunes	38%																																												
Tranche horaire	Pourcentage																																																				
Heures de pointes	24%																																																				
Heures creuses	38%																																																				
Heures pleunes	38%																																																				

Informations	Graphes																																																				
<p>Analyser le profil d'évolution du facteur de puissance facturé (cos PHI).</p>	<p>Facteur de puissance Cos (PHI)</p> <table border="1"> <caption>Data for Facteur de puissance Cos (PHI)</caption> <thead> <tr> <th>Month</th> <th>Cos exigé</th> <th>Cos facturé</th> <th>Cos amélioré</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>JAN</td><td>0.80</td><td>0.85</td><td>0.95</td></tr> <tr><td>FÉV</td><td>0.80</td><td>0.83</td><td>0.94</td></tr> <tr><td>MARS</td><td>0.80</td><td>0.82</td><td>0.93</td></tr> <tr><td>MAI</td><td>0.80</td><td>0.82</td><td>0.92</td></tr> <tr><td>JUIN</td><td>0.80</td><td>0.82</td><td>0.91</td></tr> <tr><td>JUIL</td><td>0.80</td><td>0.82</td><td>0.90</td></tr> <tr><td>AOU</td><td>0.80</td><td>0.82</td><td>0.90</td></tr> <tr><td>SEP</td><td>0.80</td><td>0.81</td><td>0.89</td></tr> <tr><td>OCT</td><td>0.80</td><td>0.82</td><td>0.89</td></tr> <tr><td>NOV</td><td>0.80</td><td>0.83</td><td>0.89</td></tr> <tr><td>DEC</td><td>0.80</td><td>0.83</td><td>0.89</td></tr> </tbody> </table>	Month	Cos exigé	Cos facturé	Cos amélioré	JAN	0.80	0.85	0.95	FÉV	0.80	0.83	0.94	MARS	0.80	0.82	0.93	MAI	0.80	0.82	0.92	JUIN	0.80	0.82	0.91	JUIL	0.80	0.82	0.90	AOU	0.80	0.82	0.90	SEP	0.80	0.81	0.89	OCT	0.80	0.82	0.89	NOV	0.80	0.83	0.89	DEC	0.80	0.83	0.89				
Month	Cos exigé	Cos facturé	Cos amélioré																																																		
JAN	0.80	0.85	0.95																																																		
FÉV	0.80	0.83	0.94																																																		
MARS	0.80	0.82	0.93																																																		
MAI	0.80	0.82	0.92																																																		
JUIN	0.80	0.82	0.91																																																		
JUIL	0.80	0.82	0.90																																																		
AOU	0.80	0.82	0.90																																																		
SEP	0.80	0.81	0.89																																																		
OCT	0.80	0.82	0.89																																																		
NOV	0.80	0.83	0.89																																																		
DEC	0.80	0.83	0.89																																																		
<p>Étudier le profil d'évolution de la puissance souscrite et faire une étude d'optimisation.</p>	<p>Puissance en kVA</p> <table border="1"> <caption>Data for Puissance en kVA</caption> <thead> <tr> <th>Month</th> <th>P. souscrite (kVA)</th> <th>P. appelée (kVA)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>JAN</td><td>650</td><td>750</td></tr> <tr><td>FÉV</td><td>650</td><td>750</td></tr> <tr><td>MARS</td><td>650</td><td>750</td></tr> <tr><td>MAI</td><td>650</td><td>750</td></tr> <tr><td>JUIN</td><td>650</td><td>750</td></tr> <tr><td>JUIL</td><td>650</td><td>750</td></tr> <tr><td>AOU</td><td>650</td><td>750</td></tr> <tr><td>SEP</td><td>650</td><td>750</td></tr> <tr><td>OCT</td><td>650</td><td>550</td></tr> <tr><td>NOV</td><td>650</td><td>700</td></tr> <tr><td>DEC</td><td>650</td><td>700</td></tr> </tbody> </table>	Month	P. souscrite (kVA)	P. appelée (kVA)	JAN	650	750	FÉV	650	750	MARS	650	750	MAI	650	750	JUIN	650	750	JUIL	650	750	AOU	650	750	SEP	650	750	OCT	650	550	NOV	650	700	DEC	650	700																
Month	P. souscrite (kVA)	P. appelée (kVA)																																																			
JAN	650	750																																																			
FÉV	650	750																																																			
MARS	650	750																																																			
MAI	650	750																																																			
JUIN	650	750																																																			
JUIL	650	750																																																			
AOU	650	750																																																			
SEP	650	750																																																			
OCT	650	550																																																			
NOV	650	700																																																			
DEC	650	700																																																			
<p>Établir des ratios (en kWh/tonne ou kWh/m<sup>2</sup>...) et les comparer avec des ratios de références, moyennant des études de benchmarking avec les autres sites industriels de même type d'activité ou dans les bases de données communes (rapports techniques des clusters et associations sectorielles).</p>	<table border="1"> <caption>Data for Ratios</caption> <thead> <tr> <th>Site</th> <th>Conso. en MWh</th> <th>Ratio réel kWh/t</th> <th>Ratio réf. kWh/t</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>TCD</td><td>1.3</td><td>1.2</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>EFG</td><td>1.6</td><td>1.4</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>HCI<sup>r</sup></td><td>1.0</td><td>1.2</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>CGI</td><td>1.8</td><td>1.8</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>HC4</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>7=4D</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>7=4J</td><td>1.6</td><td>1.5</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>CK=</td><td>2.0</td><td>2.0</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>"F.</td><td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>K06</td><td>0.9</td><td>1.0</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>DKG</td><td>1.3</td><td>1.2</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>LFO</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.2</td></tr> </tbody> </table>	Site	Conso. en MWh	Ratio réel kWh/t	Ratio réf. kWh/t	TCD	1.3	1.2	1.2	EFG	1.6	1.4	1.2	HCI <sup>r</sup>	1.0	1.2	1.2	CGI	1.8	1.8	1.2	HC4	1.0	1.0	1.2	7=4D	1.3	1.3	1.2	7=4J	1.6	1.5	1.2	CK=	2.0	2.0	1.2	"F.	1.1	1.2	1.2	K06	0.9	1.0	1.2	DKG	1.3	1.2	1.2	LFO	1.2	1.3	1.2
Site	Conso. en MWh	Ratio réel kWh/t	Ratio réf. kWh/t																																																		
TCD	1.3	1.2	1.2																																																		
EFG	1.6	1.4	1.2																																																		
HCI <sup>r</sup>	1.0	1.2	1.2																																																		
CGI	1.8	1.8	1.2																																																		
HC4	1.0	1.0	1.2																																																		
7=4D	1.3	1.3	1.2																																																		
7=4J	1.6	1.5	1.2																																																		
CK=	2.0	2.0	1.2																																																		
"F.	1.1	1.2	1.2																																																		
K06	0.9	1.0	1.2																																																		
DKG	1.3	1.2	1.2																																																		
LFO	1.2	1.3	1.2																																																		

## 2.1.4 Réaliser une cartographie des principaux usages énergétiques

La réalisation de la cartographie des sources énergétiques et leurs usages est un outil pratique et important pour visualiser le bilan énergétique facilitant ainsi son interprétation et le rendant communiquable et présentable devant la direction. La cartographie permet également de rendre l'identification des usages significatifs facile, ce qui va aider l'entreprise à concentrer ses efforts et investissements sur les aspects les plus avantageux.

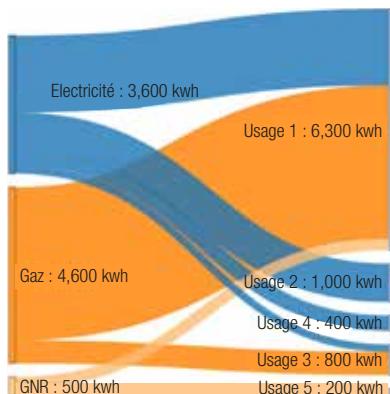
Le diagramme de SANKEY peut servir dans cette opération. C'est un diagramme

pratique ayant l'avantage de représenter la contribution et l'interrelation des différentes sources énergétiques (fuel, gasoil, électricité, etc..) avec les différents types d'usages énergétiques (chauffage et climatisation, production de froid, ventilation et forces motrices, éclairage, etc..) ou même avec les processus industriels (la transformation, le stockage et la distribution, etc..). Ci-dessous un exemple de bilan de flux énergétique représenté par un tableau simple vs un diagramme de SANKEY :

**Tableau 2.4**

Différence entre diagramme de SANKEY et présentation simple des données

Électricité en kWh	
Usage 1	2000
Usage 2	1000
Usage 3	200
Usage 4	400
GAZ en kWh	
Usage 1	4000
Usage 3	600
Gasoil en kWh	
Usage 1	300
Usage 5	200



Pour les mesures relatives aux consommations des usages, le RE peut se servir des données collectées et des équipements de mesures portables (p.ex. analyseurs de réseau, débitmètres, compteurs thermiques, etc.) ou

juste établir un bilan théorique en se basant sur les heures moyennes de fonctionnement et les puissances nominales, voir les exemples suivants :

**Tableau 2.5**

Calcul de la consommation théorique de l'usage «pompage»

Usage	Équipement	Puissance absorbée (kW)	Heures par an	Vitesse Moyenne VSD	% charges de Puissance nominale	Puissance Réelle (kW)	Énergie consommée (kWh)
Pompage	Pompe à eau de refroidissement #1	20	4200	0,5	0,9	4,5	18 900
	Pompe à eau de refroidissement #2	20	4200	1	0,9	18	75 600
	Distributeur hydraulique	100	250	1	0,9	90	22 500

**Tableau 2.6**

Calcul de la consommation théorique de l'usage «éclairage»

Usage	Zone	Système d'éclairage	Nombre des luminaires	Puissance des ampoules (W)	Nombre d'ampoules/luminaire	Heures / an	Énergie kWh / an
Éclairage	Bureau du Directeur	Spot LED	14	5	1		
		Incandescente	1	100	1		
	Salle d'attente	Fluo-compact	8	36	1		
					1		
	Bureau de l'Assistante	Tube fluorescent	2	36	2		

## 2.2. Identifier et hiérarchiser les principales pistes possibles d'amélioration de la performance énergétique

Après avoir déterminé la répartition des consommations énergétiques et identifié les usages significatifs (UES), il faut lister l'ensemble des opportunités et des actions qui peuvent réduire la consommation de ces usages et par suite, améliorer la performance énergétique de l'entreprise. Une des pistes classiques d'optimisation est l'analyse des factures électriques qui peut diriger, par exemple, vers :

- Une reconsideration de type du contrat d'approvisionnement et du mode de tarification choisi ;

- Un aménagement des charges selon les tranches horaires ;
- Une amélioration du facteur de puissance (avec des batteries de compensation) ;
- Une optimisation de la puissance souscrite ;
- Une mise en place d'un système de gestion et suivi en temps réel ;
- Une élaboration d'un tableau de bord énergétique adapté ...

Le responsable d'énergie est invité à conduire des séances de brainstorming pour générer le maximum d'idées et impliquer tous les

techniciens et le personnel concerné par ces usages, lors de ces séances.

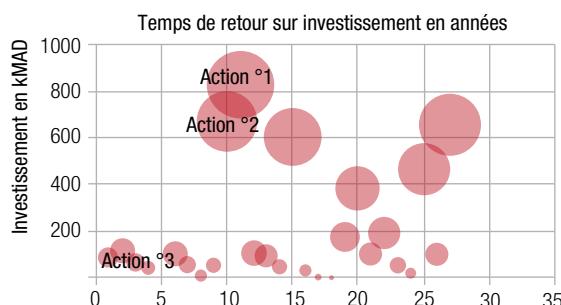
L'ensemble de ces idées et opportunités devront être évaluées et hiérarchisées selon plusieurs critères propres à l'entreprise, par exemple :

- Les coûts d'investissement ;
- L'économie estimée ;
- Le temps de retour sur investissement ;
- La complexité technique de la mise en œuvre ;
- La possibilité de déploiement de l'action sur d'autres sites, etc.

La figure suivante illustre un diagramme de bulles permettant l'évaluation et la visualisation des gains relatifs aux opportunités listées. Les bulles dans le graphe représentent les actions/opportunités étudiées et leurs rayons sont proportionnels aux gains estimés (en MAD et kWh). Par exemple, l'action n°1 présente des gains importants mais avec un investissement d'environ 800 kMAD et un temps de retour aux alentours de 10 ans, alors que l'actions n°3 amène des gains faibles en une année avec seulement un investissement de moins de 100 kMAD :

**Figure 6**

Diagramme de bulles pour l'évaluation et la visualisation des gains



Le tableau suivant résume les actions d'efficacité énergétique prévues en 2014, choisies par plusieurs entreprises. Il donne

en pourcentage les projets/actions les plus envisageables par les entreprises interviewées lors de l'enquête susmentionnée :

**Tableau 2.7**

les actions d'efficacité énergétique prévues selon une enquête des industries en France

Dans le cadre Réglementaire / Audit	Dans le cadre du management de l'énergie
Se faire accompagner par un conseil spécialisé en efficacité énergétique	27%      Réaliser des opérations de mesures et comptage des consommations
Consulter de nouveaux opérateurs / fournisseurs d'énergie	24%      Mettre en place des indicateurs de performance énergétique (IPÉ)
Réaliser une étude d'optimisation tarifaire par simulation	20%      Établir le profil des consommations d'énergie
Réaliser un bilan GES	16%      Former les opérateurs aux économies d'énergie
Autres	13%      Mettre en œuvre l'ISO 50001
	Définir le cadre de son SMÉ
	Autres
	10%

Source : Résultats de l'enquête «Management de l'énergie dans l'entreprise»

## 2.3. Piloter la réalisation et analyser les résultats d'un audit énergétique

Pour les entreprises dépassant le seuil réglementaire pour l'audit obligatoire (susmentionné), ils doivent procéder à des audits énergétiques par des organismes agréés par le Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement. Généralement, le rôle du responsable d'énergie n'est pas de réaliser lui-même l'audit, mais plutôt de conduire ce chantier et d'implémenter les plans d'action validés. De plus, la réalisation d'un tel audit peut apporter à l'entreprise l'avantage de bénéficier d'un œil externe permettant de déceler des améliorations que l'entreprise n'a pas pu voir auparavant. Aussi, grâce à son expertise, proposera-t-il des solutions adaptées pour atteindre les objectifs cibles.

Le « guide pratique sur la méthodologie de l'Audit Énergétique », disponible sur le site du Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Environnement (MEME), ainsi que sur le site de l'Agence Marocaine pour l'Efficacité Energétique (AMEE) donne une panoplie d'outils pratiques et détaille la procédure systématique de l'audit énergétique obligatoire (basée sur la norme internationale ISO 50002) et peut aider l'entreprise, notamment son responsable d'énergie, à :

- Énumérer l'essentiel des livrables de la mission d'audit et leurs contenus : rapport, fiches de calcul, présentations des solutions retenues... ;
- Fixer les méthodes et les outils requis, pour collecter les informations sur site et effectuer les mesures nécessaires ;
- Lister l'ensemble des données et paramètres clefs qui doivent être relevés et analysés durant l'audit énergétique, etc.

Figure 7

Guide détaillant la méthodologie de l'audit énergétique



## 2.4. Gérer des opérations d'efficacité énergétique

### 2.4.1. Rédiger des cahiers des charges de demandes de prestations pour répondre aux problématiques énergétiques

Après avoir élaboré le plan d'action d'amélioration, suite à l'identification et la hiérarchisation des pistes d'amélioration de la performance énergétique, le responsable d'énergie doit préparer les cahiers des prescriptions spéciales ou techniques. Ces documents doivent contenir le nombre minimal des spécifications décrivant la fonctionnalité des solutions retenues.

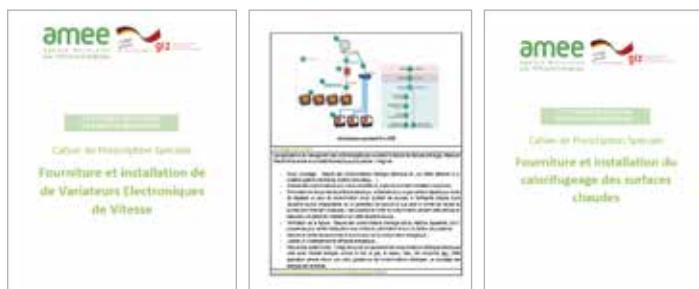
Le responsable d'énergie peut s'appuyer sur les modèles de cahiers des charges (CPS) types, disponibles en annexe et qui rappellent notamment les normes, les paramètres critiques, les performances énergétiques et les accessoires indispensables pour le bon fonctionnement des équipements industriels que le fournisseur doit respecter. Ces CPS concernent :

- Fourniture et installation du calorifugeage des surfaces chaudes
- Fourniture et installation des compresseurs d'air comprimé
- Fourniture et installation des variateurs électroniques de vitesse
- Fourniture et installation des bruleurs modulants

Ainsi, des fiches d'action d'amélioration sous forme de dépliant sont disponibles en annexe par utilités et concernent les usages les plus fréquents dans l'industrie à savoir :

- Installation de variateurs électroniques de vitesse sur les moteurs électriques ;
- Optimisation de l'air comprimé et détection et le colmatage des fuites d'air comprimé ;
- Optimisation des groupes de froid ;
- Calorifugeage des surfaces chaudes ;
- Optimisation de la consommation des chaudières ;
- Optimisation de la consommation des systèmes d'éclairage ;
- Installation de systèmes de gestion de l'énergie ;

**Figure 8**  
Fiches et CPS typiques des solutions de l'efficacité énergétique



#### 2.4.2. Analyser des propositions/offres de prestations énergétiques

Compte tenu de la diversité des prestataires existants sur le marché, il est important de vérifier la capacité du prestataire et des

intervenants à réaliser le projet d'efficacité énergétique. Le responsable d'énergie peut s'épauler par un tableau comparatif ou une grille d'évaluation, toujours selon les critères propres à l'entreprise, pour trier et classifier ces offres (voir l'exemple suivant) :

**Tableau 2.8**  
modèle typique de tableau comparatif des offres

		Prestataire #1	Prestataire #2	Prestataire #3
Critère n°1	Coeff. A			
Critère n°2	Coeff. B			
Critère n°3	Coeff. C			
Critère n°4	Coeff. D			
<b>TOTAL</b>				

Après avoir choisi le prestataire, il est recommandé de fixer en convenance avec lui un planning de réalisation permettant au responsable d'énergie le suivi des travaux.

#### 2.4.3. Identifier et définir les indicateurs de performance énergétique

Généralement, les indicateurs de performance énergétique (IPÉ) sont des grandeurs relatives. Il s'agit fréquemment de ratios

entre d'une part l'énergie consommée, et d'autre part des éléments qui influent cette consommation. L'analyse approfondie des usages énergétiques de l'entreprise (expliquée précédemment), permettra l'identification des variables pertinentes et des différents facteurs impactant, ce qui facilitera la définition des indicateurs adaptés à son contexte spécifique. La figure suivante présente quelques indicateurs typiques de la performance énergétique :

**Figure 9**

indicateurs typiques de la performance énergétique selon le champ d'utilisation



#### 2.4.4. Recueillir des données et émettre des préconisations

Le responsable d'énergie doit élaborer et mettre en place un plan de comptage et mesure des différents paramètres

nécessaires pour le suivi de ses IPÉ, le tableau suivant expose certains outils qui peuvent être utilisés :

**Tableau 2.9**

Outils de mesure et suivi des indicateurs énergétiques

Indicateur de performance énergétique	Outil de mesure
Ratio de consommation totale : • kWh électrique /unité de production • kWh thermique /unité de production	• Compteur général d'électricité et compteur de quantité de production • Compteur général de combustible et compteur de quantité de production
COP frigorifique/calorifique (coefficient de performance)	• Centrales électriques de mesures de l'installation de production du froid • Débitmètre du fluide frigorifique et thermomètres (entrée/sortie)
Rendement de combustion	• Analyseur de combustion
Rendement air comprimé	• Centrales électriques de mesures de l'installation de production d'air comprimé • Débitmètre d'air en sortie

Ce plan de comptage et les données collectées vont permettre au responsable d'énergie le suivi journalier ou hebdomadaire de la performance énergétique de l'entreprise (selon les équipements et la fréquence choisis). Et cela, pour identifier les écarts et agir le plus tôt possible, au lieu d'attendre la facture de la fin du mois pour prendre conscience et mettre en place des mesures correctives.

## 2.5. Mesurer l'efficacité des plans d'action

### 2.5.1. Élaborer un plan M&V (mesure et vérification)

Il est strictement recommandé d'élaborer un plan de Mesure et Vérification M&V, détaillant les méthodes de mesure et d'analyse qui seront appliquées, et fixant les procédures

d'assurance qualité qui seront suivies par le responsable d'énergie.

Les principales tâches relatives à ce plan M&V comportent :

- La calibration et la maintenance des outils de mesures (compteurs, débitmètres...) ;
- La collecte et le traitement des données selon des méthodes de calcul et d'estimations acceptables ;
- L'élaboration des rapports de suivi ;
- Le suivi, l'assurance de la qualité, et la vérification des rapports par un tiers.

Le volume I de l'IPMVP : Concepts et options pour l'évaluation des économies d'énergie et d'eau, indique en détail les différents concepts et options convenablement acceptés comme base d'élaboration des plans de M&V de qualité.



Note : consulter le site web [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org)

## 2.5.2. Mettre en place un tableau de bord de suivi de la performance énergétique

Pour faciliter le suivi et le contrôle de la performance énergétique de l'entreprise, la conception d'un tableau de bord énergétique regroupant les différents indicateurs IPÉ et synthétisant l'avancement de la mise en place des plans d'action EE et leurs gains réalisés, est préconisé. Il peut également servir aux besoins de la sensibilisation du personnel et la communication avec la direction, afin

de garantir l'implication, l'engagement et le soutien essentiel.

Sur le marché, il existe une variété de solutions et d'applications de monitoring offrant des configurations aisées, efficientes et flexibles, que le responsable d'énergie peut utiliser pour développer un modèle Excel simplifié (voir le tableau suivant) :

Tableau 2.10

modèle simplifié de tableau de bord énergétique

Date	Énergie totale consommée (TEP)	Demande totale prévue (TEP)	IPÉ #1 Index d'Intensité d'Énergie	IPÉ #2 Différences (excès)	IPÉ #3 Somme cumulée
Janvier					
Février					
Mars					
Avril					
...					
Décembre					

## 2.6. Formation, Sensibilisation et Communication

### 2.6.1. Sensibilisation et Communication

Par la sensibilisation et la communication, le responsable énergie doit sensibiliser ses collègues aux économies d'énergie, motiver le personnel avec les résultats retenus, dialoguer pour modifier les habitudes et pour faire accepter les évolutions technologiques.

Il doit avoir les compétences suivantes :

- Établissement minutieux des plans d'action adaptés aux objectifs et cibles énergétiques de l'entreprise ;
- Mise en place soignée d'un tableau de bord pour le suivi de réalisation du plan d'action ;

- Établissement détaillé des plannings de contrôle et suivi ;
- Gestion appropriée des ressources humaines de l'équipe d'énergie ;
- Maîtrise pertinente des données énergétiques techniques (factures, modes opératoires des équipements énergivores, fiches techniques, ...) ;
- Gestion efficace des moyens matériels mis à la disposition de l'équipe d'énergie ;
- Elaboration structurée des rapports de bilans énergétiques périodiques (revue énergétique).

## 2.6.2. Elaboration du plan de formation

Établir le plan de formation du personnel ayant impact (direct ou indirect) sur la consommation de l'énergie, notamment sur les usages énergétiques significatifs, permet à l'entreprise de construire une équipe polyvalente avec

des compétences complémentaires. En conséquence, accomplir de façon structurée et optimisée la gestion de l'énergie de l'entreprise par le RE. Voir l'exemple du tableau de formation ci-dessous :

**Tableau 2.11**

Exemple du programme de formation relatif à la gestion d'énergie

Nom	Fonction	Catégorie	Sensibilisation à l'EÉ	ISO 50001	Système HVAC	Comment détecter les opportunités d'économies	Autre formation...
Mme. YYY	Directeur technique	Influenceur					
M. XXX	Responsable de la gestion d'énergie	Influenceur					
M. XYX	Gestionnaire d'énergie	Influenceur					
Mme. YYX	Responsable de la maintenance	Direct					
Mme. YYY	Production	Direct					
Autres membres							

Le programme de formation développé par le responsable doit traiter toutes les sources d'énergie, notamment les usages énergétiques significatifs et leurs conducteurs de machines.

Il devra aussi offrir assez de flexibilité pour s'adapter au besoin spécifique de chaque personnel de l'équipe d'énergie au sein de l'entreprise.

## Liste de bibliographies

**Rapport de l'AIE** : « Energy policies beyond IEA countries », Morocco 2019

**Observatoire Marocain de l'énergie** : Bilan énergétique 2017

**ATEE** : Résultats de l'enquête "Management de l'énergie dans l'entreprise"

**MEME** : décret d'application n° 2-17-746 relatif à la loi 47-09 de l'efficacité énergétique

## Liens pertinents complémentaires

[www.amee.ma](http://www.amee.ma)

[www.giz-energy.ma](http://www.giz-energy.ma)

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

[www.atee.fr/](http://www.atee.fr/)

[www.evo-world.org](http://www.evo-world.org)



# **Annexes**

# ANNEXES

## 1. Cahiers des prescriptions spéciales types :

Vous trouvez ci-dessous l'ensemble des CPS typiques des actions d'efficacité énergétique élaborés par la GIZ et l'AMEE, selon l'ordre suivant :

- a. Fourniture et installation du calorifugeage des surfaces chaudes
- b. Fourniture et installation des compresseurs d'air comprimé
- c. Fourniture et installation des variateurs électroniques de vitesse
- d. Fourniture et installation des bruleurs modulants

## 2. Fiches d'action d'amélioration :

Vous trouvez ci-dessous l'ensemble des fiches typiques des solutions d'efficacité énergétique élaborées par la GIZ et l'AMEE, selon l'ordre suivant :

- a. Installation de variateurs électroniques de vitesse sur les moteurs électriques ;
- b. Optimisation de l'air comprimé et détection et le colmatage des fuites d'air comprimé ;
- c. Optimisation des groupes de froid ;
- d. Calorifugeage des surfaces chaudes ;
- e. Optimisation de la consommation des chaudières ;
- f. Optimisation de la consommation des systèmes d'éclairage ;
- g. Installation de systèmes de gestion de l'énergie ;

## Variateurs électroniques de vitesse (VEV)

### Introduction :

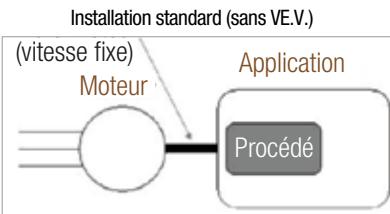
Presque 70 % du total de l'utilisation d'électricité industrielle est consacré à l'alimentation de moteurs électriques. Ces moteurs sont utilisés dans diverses applications, depuis les pompes qui déplacent les fluides, aux ventilateurs qui déplacent l'air vers les compresseurs, en passant par les convoyeurs et tous les types de machines dépendant de la force de rotation pour effectuer leur travail.

La grande majorité des moteurs dans l'industrie fonctionnent en permanence à plein régime. Mais, bien souvent, ce n'est pas nécessaire. Or, il est possible de faire des économies d'énergie dépassant 50 % de la consommation du moteur, grâce à un variateur de fréquence, souvent appelé variateur de vitesse électroniques (VEV), notamment sur les installations de pompage, de ventilation et de compression.

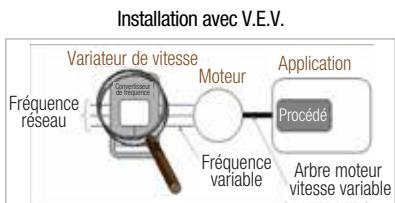
### Principes de base :

Le but est d'ajuster en permanence la vitesse de rotation et le couple des moteurs au débit souhaité, et donc consommer moins d'électricité et d'éviter l'installation de dispositifs de régulation le débit. Le VEV est installé entre le disjoncteur et le moteur et agit sur la fréquence, qui agit sur la vitesse et par conséquent sur la puissance du moteur. Des gains importants sont également réalisés au démarrage des moteurs et des gains annexes

sont à prendre en compte sur l'allongement de la durée de vie des équipements, la réduction du bruit, la maintenance réduite et la meilleure souplesse dans les process.

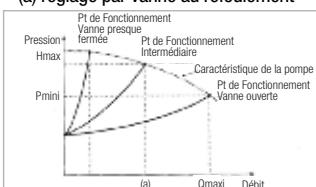


Source : [www.conseils.xpair.com](http://www.conseils.xpair.com)

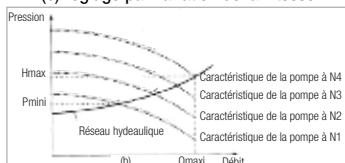


L'association d'un variateur de fréquence permet de satisfaire les besoins de variation de vitesse du moteur en s'affranchissant de l'utilisation de vannes (ou ventelles) de réglages qui opèrent par la réduction de la section utile de la canalisation. Voir le schéma des courbes de variation de la pression en fonction du débit pour une pompe :

(a) réglage par vanne au refoulement



(b) réglage par variation de la vitesse



Le choix d'un type ou d'un autre dépend du besoin spécifique de l'utilisateur. Pour la classification des VEV on peut distinguer plusieurs types selon :

- Le mode de fonctionnement = faire fonctionner un moteur dans un seul sens de rotation, nommés « unidirectionnels », soit commander les deux sens de rotation, ils sont alors dits « bidirectionnels »
- Le type de machine tournante (asynchrone, synchrone, à courant continu, pas à pas...)

Les variateurs de vitesse sont composés des éléments électroniques donnant lieu aux distorsions des courants et des tensions à leur bornes d'entrée. Ces distorsions se propagent sur le réseau électrique et induisent des harmoniques et des perturbations. Pour limiter ces harmoniques, il faut équiper ou choisir les variateurs équipés de filtres anti-harmonique au niveau du circuit intermédiaire.

### Potentiels EE de l'action :

- Les avantages des variateurs de vitesse sont nombreux :
  - Ils permettent la diminution de la consommation électrique et des émissions de CO<sub>2</sub>, notamment pour les cas où les besoins en débit/vitesse/fréquence sont très variables ;
  - Ils assurent un démarrage progressif des moteurs électriques, réduisant l'appel de courant et limitant les chutes de tension ;
  - Ils donnent plus de souplesse et précision au mode de régulation et fonctionnement du système (arrêt / démarrage / vitesse etc) ;
  - Ils améliorent le facteur de puissance (réduire la consommation d'énergie réactive) ;
  - Ils rendent l'automatisation du procédé plus aisée, moyennant les boucles d'automatisme et de ports de communication de la régulation ;
  - Ils prolongent la durée de service du matériel entraîné ;

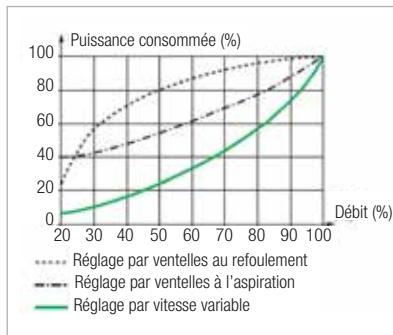
- Le retour sur investissement (ROI) est inférieur à 1,5 an pour 30 % des gisements techniques d'économie, et inférieur à 3 ans pour 50 % du gisement.

### Exemple : Installation de ventilation avec variateur de vitesse

Dans la grande majorité des installations de ventilation, le ventilateur est mu par un moteur connecté directement au réseau. Le moteur ne peut donc tourner qu'à sa vitesse nominale. Le débit d'air circulant dans les canalisations est adapté en amont ou en aval du ventilateur à l'aide de ventelles ou volets dont l'inclinaison déterminera la section de passage et le débit.

L'installation d'un variateur de vitesse permet d'éliminer les ventelles, le débit d'air étant réglé uniquement par la vitesse de rotation du moteur.

Courbes débit – puissance d'un ventilateur.



L'économie d'énergie est importante : en effet, à partir d'un point de fonctionnement nominal à débit maximal, le comportement du système est très différent avec ou sans variateur (voir courbe débit – puissance du ventilateur ci-dessus) ; ainsi, pour un débit égal à 80 % du débit nominal, la réduction

de puissance consommée est de 3 % sans variateur, et 50 % avec variateur.

### Etude de cas réel d'une industrie

Cette étude concerne un ventilateur de 7,5 kW utilisé pour l'extraction d'air dans une scierie :

<b>Temps annuel de fonctionnement</b>	heures 4.000
<b>Consommation d'énergie avec étranglement</b>	kW 5,7
<b>Consommation d'énergie avec variateur de vitesse</b>	kW 3,6
<b>Coût moyen de l'énergie</b>	DHs / kWh 0,96
<b>Economie d'énergie</b>	kWh / an 8.400
<b>Gains annuels</b>	DHs 8.060
<b>Le coût total de l'adaptation à la variation de vitesse (incluant le variateur et le poste de contrôle)</b>	DHs 10.700
<b>Temps de retour sur investissement</b>	an 1,3

### Optimisation de l'air comprime

L'air comprimé est une énergie potentielle très utilisée dans toutes les industries : il représente en moyenne 10 à 15 % de la facture d'électricité (La gestion de l'énergie dans l'entreprise, Gérald Senden). Généralement, un arrêt d'air comprimé équivaut presque systématiquement à un arrêt de production. Le secteur où ce poste pèse le plus sur la facture d'électricité est celui des fabrications métalliques. Dans l'industrie agroalimentaire, il représente en moyenne 5 % de la facture mais peut varier fortement d'une entreprise à l'autre, selon le type d'activité.

Cette source importante est très coûteuse, vu son faible rendement : le rendement d'une installation complète est souvent proche que

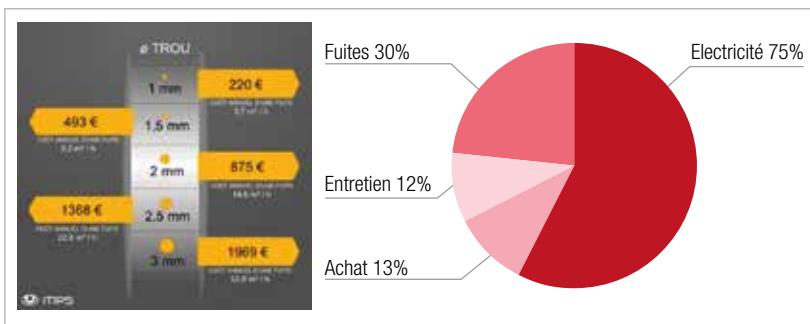
de 10 %, alors que 90% de l'énergie électrique est transformé en chaleur. Pour une installation dimensionnée correctement et bien gérée, fonctionnant à un débit nominal et à une pression de 7 bars, il est possible de prendre comme référence : 85 Wh/Nm<sup>3</sup> <consommation énergétique spécifique <130 Wh/Nm<sup>3</sup> (source: "Compressed air" par ADEME-2007) avec un prix du kWh variant entre 0,7398 DHs en HC et 1,4157 DHs en HDP (Source : site de l'ONEE) ça vaut 0,06 à 0,18 DHs HT le m<sup>3</sup>

Généralement, une installation de production se compose de :

- un ou des compresseurs actionné(s) par un (des) moteur(s) électrique(s).

- un réservoir tampon
- un sécheur
- un séparateur d'huile et de condensats
- des filtres à particules

Un compresseur dépense généralement chaque année l'équivalent de son prix d'achat en énergie. Le graphe ci-après montre la répartition des coûts de l'air comprimé (presque 75% du coût toute sur la durée de vie de l'installation). La plupart des industries ont un taux de fuites d'air comprimé dépassant les 20% sur leurs circuits de distribution (voir la figure ci-dessous).



Source ADEME : pour 6000 heures de fonctionnement/an d'un compresseur (pression 7 bar)

### Postes à vérifier et points à surveiller :

- Les fuites d'air comprimé engendrent 20 à 25% de perte de la puissance développée
- L'enracinement des filtres augmente progressivement la perte de charge que le compresseur doit vaincre
- La pression d'air doit être abaissée au strict nécessaire
- Le séchage de l'air doit être réglé en fonction des réels besoins
- La prise d'air privilégie l'air frais, sec et propre
- La régulation des compresseurs évite les étranglements et le fonctionnement à charge partielle en-dehors des caractéristiques de fonctionnement du compresseur
- Des conduites de trop petit diamètre provoquent des pertes de charge importantes : 1 bar de perte de charge = 7% de la puissance du compresseur

- Un réservoir absent ou de petite taille entraîne une fréquence de fonctionnement plus importante et par conséquent un taux de marche à vide plus élevé
- Pour déterminer le taux de fuites Tf, on suit les étapes suivantes (si le volume total de l'installation est connu ou estimé) :
  - On calcule le volume total de l'installation V (réservoir de stockage + réseau de distribution)
  - On ferme les vannes pour isoler le réseau des autres appareils utilisant l'air comprimé.
  - On pressurise le système jusqu'à une pression P1, puis on arrête le compresseur.
  - On utilise un chronomètre pour identifier la durée T dans laquelle la pression chutera de la valeur P1 à une valeur P2.
  - Le taux de fuites est alors calculé par la relation :  $Tf = (V \times (P1 - P2)) / T$

#### Production :

- Les sécheurs doivent être les plus performants possibles.
- Environ 80 % de la puissance électrique du compresseur est transformée en chaleur, les possibilités de sa récupération doivent être étudiées.
- L'aspiration d'air le plus frais possible, sec et propre.
- Les compresseurs performants ayant une consommation d'énergie spécifique plus faible, et mieux adaptée aux besoins du système permettront plus d'économie.
- Le séchage de l'air doit être réglé en fonction des réels besoins
- Mise en place d'un système avec plusieurs pressions, séparés ou liés en utilisant un compresseur supplémentaire localement au lieu d'élever la pression de tout le réseau.

#### Réseau :

- Un réseau performant autorise une perte de charge maximum de 0,5 bar de bout en bout. Utiliser des purgeurs de condensats sans perte d'air comprimé.
- Optimiser le diamètre des canalisations et la longueur du réseau. Limiter les coudes, les changements de direction ou de section.
- Boucler le réseau pour limiter les écarts de pression en bout du réseau.
- Bien dimensionner les unités de stockage pour permettre au compresseur de fonctionner à un rendement optimal et éviter des démarrages-arrêts intensifs.
- Installer des unités de stockages le plus proche possible des machines à forte variation de demande d'air.

#### Utilisation :

- Ajuster la pression d'utilisation au besoin réel de l'application.
- Arrêter l'alimentation des machines en air comprimé lorsqu'elles ne fonctionnent pas. A l'aide de vannes manuelles actionnées par le personnel ou par des vannes automatiques couplées à des horloges.
- Sensibiliser le personnel sur le coût important de l'air comprimé et l'inviter à rechercher et à signaler les fuites.

#### Contrôle :

- Installer des variateurs de vitesse pour adapter la production au besoin réelle d'air comprimé.
- Installer un système de régulation des compresseurs en cascade selon le besoin d'air comprimé.
- Arrêter les compresseurs en période d'inactivité.

- Lorsque le besoin est réduit (la nuit ou le week-end ...), utiliser un compresseur plus petit pour alimenter le réseau.
- Effectuer des relevés réguliers avec un suivi d'indicateur de performance énergétique (kWh/Nm<sup>3</sup>).

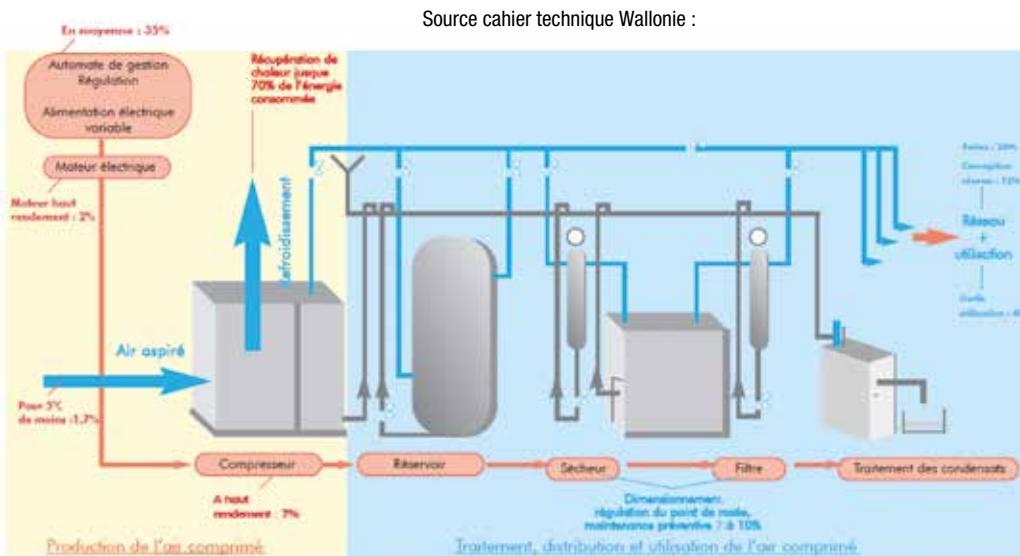
#### Maintenance :

- Les fuites sont responsables de pertes importantes, pouvant atteindre 50% de la consommation globale. Rechercher et colmater les fuites régulièrement (au moins une fois par an).
- Vérifier régulièrement les pertes de charge des sécheurs.
- Respecter les périodicités et les consignes de maintenance (au niveau des compresseurs, sécheurs, ...).
- Faire appel à un frigoriste qualifié pour la maintenance du circuit de froid.
- Vérifier le bon fonctionnement des purgeurs automatiques de condensats
- Nettoyer ou changer les filtres régulièrement.

#### Informations utiles :

- La consommation électrique pour une installation bien optimisée devrait être comprise entre 90 et 120 Wh/Nm<sup>3</sup>.
- Dans la pratique on admet dans les tuyauteries d'air comprimé des vitesses de l'ordre de 5 à 20 m/s.
- Une vitesse d'air limitée à 7 m/s dans les installations courantes est raisonnable et permet ainsi de réduire les consommations d'énergie.
- Des conduites de trop petit diamètre provoquent des pertes de charge importantes : 1 bar de perte de charge = 7% de la puissance du compresseur
- Un compresseur ne devrait pas, si possible, fonctionner plus de 75% du temps de travail.
- Le manque de maintenance peut coûter 15% de la facture d'électricité d'air comprimé

Source cahier technique Wallonie :



Pistes d'économies classées selon le coût d'investissement :

ACTIONS	Economies moyennes [%]	RSI [ans]
<b>Au niveau de la production de l'air comprimé</b>		
Abaïsser la pression de consigne au strict nécessaire	5 à 7 %	Immédiat
Régler le séchage de l'air en fonction des besoins réels	7 à 10 %	Immédiat
S'assurer que les compresseurs sont arrêtés en-dehors des périodes d'activité	5 % (voire plus selon le cas)	Immédiat
Nettoyer/remplacer les filtres régulièrement	3 à 5 %	< 1 an
Si une seule application nécessite une pression élevée, installer un surpresseur à proximité de celle-ci et travailler à une pression moins importante sur le reste du circuit	2 à 5 %	< 1 an
Aspirer l'air d'alimentation du compresseur de préférence à l'extérieur	20 % (voire plus selon le type d'utilisation)	Varié selon le type d'utilisation
Remplacer les purgeurs manuels par des purgeurs automatiques	Jusqu'à 50 %	1 à 2 ans
Installer un compresseur avec un variateur de fréquence quand la demande en air comprimé n'est pas constante	10 à 12 %	1 à 2 ans
<b>Au niveau de la distribution de l'air comprimé</b>		
Faire la chasse aux fuites tous les mois (le week-end par exemple). Travailler à l'oreille ou avec une solution savonnée	5 à 20 % (voire plus selon l'état du circuit)	Immédiat
Redimensionner le réseau de distribution si les tuyauteries présentent des diamètres, pentes ou angle inadaptés	15 à 20 % (voire plus si le profil de charge est très variable)	< 2 ans
Examiner les possibilités de récupérer la chaleur dégagée au compresseur (air ambiant et huile de refroidissement)	8 à 10 % (voire plus selon l'état de référence)	Varié selon l'état de l'existant

Une société des boissons gazeuses spécialisé dans la mise en bouteille de boissons gazeuses et eau de table :

ACTIONS	Economies estimées [DH]	Economies estimées [%]	RSI [ans]
La chasse aux fuites (trimestriellement)	150.000 DH	3%	Immédiat
Implémentation de système de gestion centralisée maître-esclave	280.000 DH	6%	< 1 an

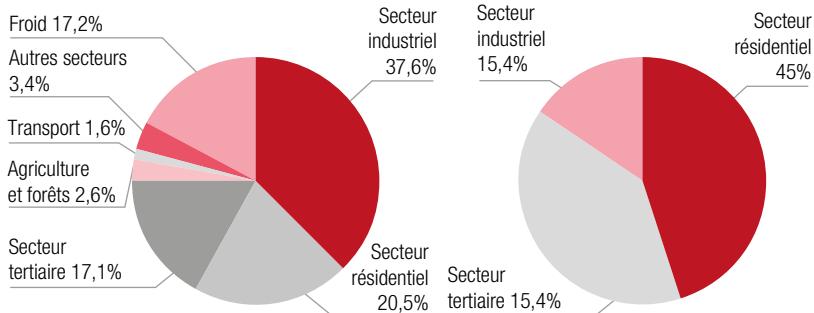
L'entreprise a constaté immédiatement les gains de ces actions qui ont contribué à réduire la charge de production et utilisation de l'air comprimé, en diminuant le nombre des compresseurs utilisés de trois à deux justement, alors qu'ils étaient en train de penser à ajouter un quatrième pour supporter en haute saison et heures de pointes.

## Optimisation des groupes de froid

Le domaine de production du froid présente des gisements d'économies énergétiques très importants, à l'industrie comme au bâtiment, mais il nécessite beaucoup de savoir-faire et d'expérience et de conscience professionnelle de la part des installateurs.

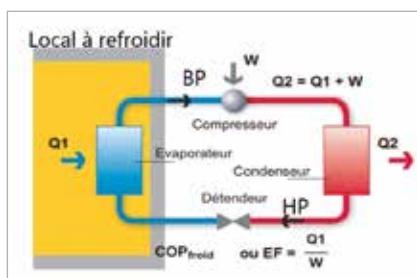
Le froid industriel est un poste énergivore qui représente (selon l'Institut International du Froid) : 17% de la consommation électrique mondiale ! Dans les secteurs d'agro-alimentaire et d'entreposage frigorifique, il peut dépasser 65% de la facture électrique globale (source IIF).

(Rapport ADEME 2017, source IIF)



Le recours à des solutions éprouvées et performantes, et à des technologies adaptées aux besoins, peut apporter jusqu'à 40% d'économie d'énergie. Les temps de retour de ces investissements sont généralement inférieurs à 2 ans (facilitateur URE pour le SPW).

Le groupe froid est une pompe à chaleur (PAC) qui extrait ou évacue les calories d'un élément du circuit vers un autre. Les composantes principales d'une installation froid sont décrites par le schéma de principe ci-dessous :



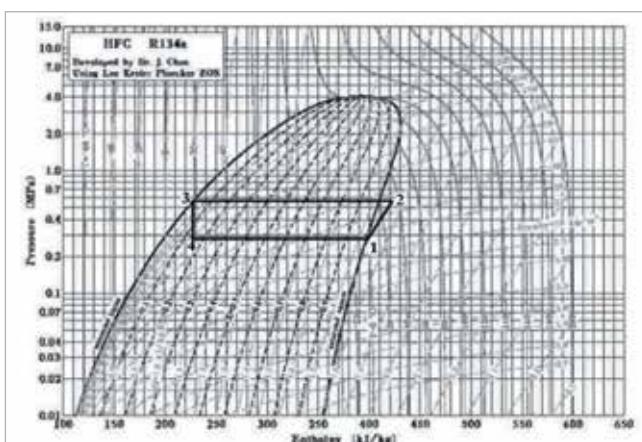
Source : cahier technique N°5, la réfrigération, Energie Wallonie

- **Le compresseur** : qui comprime le gaz (frigorigène) issu de l'évaporateur pour le porter à haute pression ce qui fait monter sa température. Le compresseur est actionné par un moteur électrique dont la consommation est directement liée à la différence de pression HP – BP. Sa consommation électrique représente en moyenne 80% de la consommation totale de l'installation frigorifique.
- **L'évaporateur** : qui absorbe les calories du milieu ou fluide à refroidir. Sa consommation électrique représente en moyenne 10% de la consommation totale de l'installation frigorifique.
- **Le condenseur** : qui évacue les calories absorbées à l'évaporateur et produites pendant la phase de compression. Lors de cet échange de chaleur, le fluide frigorigène passe de l'état gazeux à l'état liquide. Sa consommation électrique représente en moyenne 10% de la consommation totale de l'installation frigorifique.

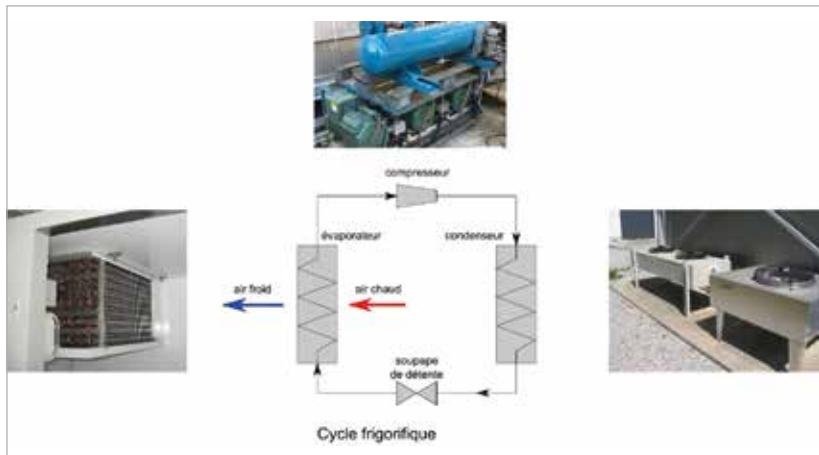
Grandeur importante à savoir :

- **COP Coefficient de Performance** : est le rapport entre l'énergie évacuée au condenseur et l'énergie transmise au fluide lors de la phase de compression (= énergie électrique consommée). Le COP est utilisé plutôt pour les PAC utilisées pour les systèmes de production de chaleur.
- **EER Energy Efficiency Ratio ou CEF coefficient d'efficacité frigorifique** : est le rapport entre l'énergie absorbée à l'évaporateur et l'énergie transmise au fluide lors de la phase de compression (= énergie électrique consommée) . Le CEF est utilisé pour les systèmes de production de froid. Le CEF = COP – 1
- **EE Efficience Energétique** : se calcule en traçant le cycle frigorifique sur le diagramme de Mollier.

$$EE = \frac{T_{\text{évaporateur}}}{(T_{\text{condenseur}} - T_{\text{évaporateur}})} \quad (\text{Température en degrés Kelvins})$$



Source : cahier technique N°5, la réfrigeration, Energie Wallonie



### Conseils et critères pour une installation performante

- Condenser le plus bas possible (économie jusqu'à 30%)
- Evaporer le plus haut possible (économie jusqu'à 5%)
- Entretien régulier de l'installation (le préventif diminue le curatif)
- Bien isoler les locaux ou fluides à refroidir
- Utilisation de moteurs à haute performance pour pompes et surtout compresseurs
- Sensibiliser le personnel aux pertes auxiliaires (surtout les portes OUVERTES DES CHAMBRES FROIDES)
- Vérification et adaptation des paramètres: audit ou diagnostic énergétique des installations
- Une installation frigorifique centralisée aura toujours un meilleur rendement que plusieurs petites installations

### Production :

- Pour les basses températures, utiliser des cycles bi étages ou des cycles à économiseur dans le cas des compresseurs à vis.

- Installer des compresseurs de puissances judicieusement étagées pour couvrir au mieux toute la gamme de puissances appelées
- Pour les grosses installations, privilégier les condenseurs évaporatifs ou hybrides, plus performants que les condenseurs secs.

### Réseau :

- Installer des vannes d'équilibrage sur chaque poste froid et vérifier le bouclage du circuit de distribution
- Récupération de la chaleur des circuits hydrauliques

### Utilisation :

- Mettre en place des protections d'ouvertures efficaces (rideaux à lanières, rideaux d'air, portes à ouverture rapide).
- Mettre en place des sas tampons et diminuer les ouvertures/fermetures de la zone.

- Les entrées d'air peuvent être responsables de 20 à 40% du bilan frigorifique de l'installation.
- L'éclairage constitue un apport de chaleur: dans les chambres froides mettre en place des systèmes d'éclairages performants (LED par exemple).
- Faire un bilan de vos besoins en froid pour dimensionner votre salle des machines en conséquence
- Mettre à l'arrêt les compresseurs inutiles.
- Installer un système de gestion centralisée et d'aide à la maintenance permettant une gestion astucieuse des consignes et l'historisation du comptage d'énergie.
- Utiliser le free-cooling quand les conditions atmosphériques le permettent.
- Mettre en place une stratégie de sous-refroidissement optimisé (free-cooling, échangeur liquide - vapeur).

#### Contrôle :

- Installer de la variation de vitesse sur au moins l'un des compresseurs de la salle des machines.
- Pour les compresseurs à vis, privilégier la régulation de puissance par variation de vitesse plutôt que par tiroir.
- Moduler les consignes en fonction de la période de l'année, des périodes de production, des types de production.

#### Maintenance :

- Contrôler et réparer les fuites sur le circuit du liquide frigorigène. Recharger en liquide si nécessaire.
- Nettoyer les condenseurs et mettre en place une vérification régulière.
- Purger l'air entré dans le circuit et les condenseurs.
- Contrôler la circulation d'air dans la chambre froide et s'assurer que la température y soit homogène.

#### Pistes d'économies classées selon le coût d'investissement :

ACTIONS	Economies moyennes (%)	RSI [ans]
Nettoyage régulier des évaporateurs et contrôle technique	5 à 10%	Immédiat
Nettoyage régulier du condenseur	12 à 15 %	Immédiat
Vérification et suivi de la HP (haute pression) et de la BP (basse pression) du circuit frigorifique	10 à 15 %	< 1 an
Variateur de fréquence sur les compresseurs, les pompes et ventilateurs	15 à 25%	1 an
Régulation automatique des groupes : Température de départ d'eau glacée asservie à la température extérieure	8 à 12 %	2 an
Systèmes d'accumulation/stockage de froid, permettant un stockage sous forme d'eau glacée durant les heures de bas prix d'électricité et de faible consommation, pour l'utiliser dans le cas inverse.	30 à 70 %	< 1 an
Améliorer le calorifugeage des tuyauteries de fluide frigorigène ou d'eau glacée	10 à 15%	Immédiat
Installation d'un système de récupération de chaleur	25% de la chaleur	< 2 an (selon l'exploitation de la chaleur récupérée)
Préférer des condenseurs largement dimensionnés pour réduire les pincement	2 à 3%	2 an

ACTIONS	Economies moyennes [%]	RSI [ans]
Préférer des évaporateurs largement dimensionnés pour réduire les pincement	2 à 3%	2 an
Un bon équilibrage et l'utilisation de la variation de vitesse sur les pompes	20%	< 1 an
Utiliser des cycles bi étagés ou des cycles à économiseur dans le cas des compresseurs à vis.	2 à 5%	< 1 an
Des compresseurs de puissances judicieusement étagées pour couvrir au mieux toute la gamme de puissances appelées	4 à 6%	2 an
Evaluer l'intérêt du R410A au lieu du R404A	Environs 10% des performances énergétiques	(selon le cas)
Installer des rideaux d'air dans les chambres froides négatives	90% d'économie par rapport à une porte ne contenant pas de rideau	< 1 an

Exemple : Une entreprise familiale spécialisée dans le secteur des produits marins depuis 2002, avec une capacité de production supérieur à 1 million de tonnes. Activité principale : traitement et congélation des céphalopodes (poulpe, calamar, seiche...).

ACTIONS	Investissement [DH]	Economies estimées [DH]	Economies estimées [%]	RSI
Automatisation de démarrage/arrêt des tunnels de congélation et programmation pour éviter le fonctionnement pendant les heures de pointes (avant cette opération se fait manuellement par le technicien qui démarre souvent les tunnels avant son départ vers 17h00)	30.000	240.000	35%	2 mois
Changement de deux moteurs anciens (IE1) par deux nouveaux IE2 et IE3	200.000	120.000	18%	20 mois

## Calorifugeage des surfaces chaudes et froides

### Introduction :

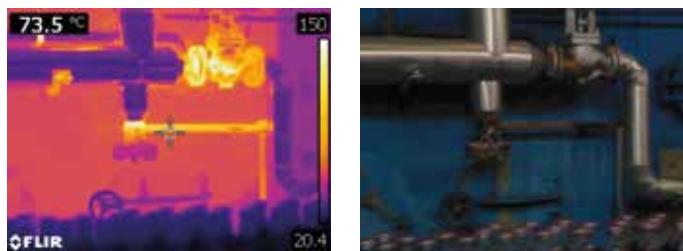
Par nature, lors de leur transport, ou de leur stockage, les liquides ou gaz chauds perdent de leur chaleur. Le contact des tuyaux, ou des cuves, avec les éléments extérieurs, ou les variations de températures extérieures ont une influence sur la température du liquide transporté dans les tuyaux. La mise en place d'une isolation technique industrielle, dans le cadre de travaux de calorifugeage, permet d'optimiser le transport des fluides, en

optimisant la performance énergétique d'une installation industrielle.

Les réseaux sont souvent calorifugés, mais les points singuliers de ces réseaux tels que les robinets, les vannes, les brides, les filtres ou les patins, qui nécessitent des interventions, ne le sont pas en général, du fait de la difficulté de remettre en place le calorifugeage industriels. Le calorifugeage thermique est un enjeu de performance et de sécurité essentiel.

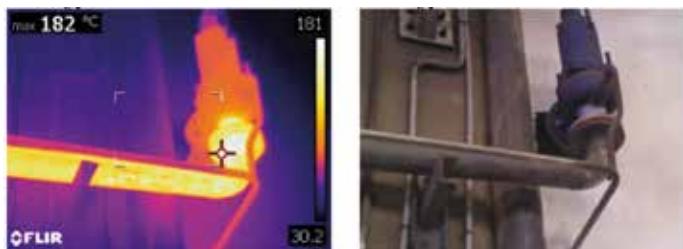


Photo prise par une caméra thermique dans un usine du secteur agro-alimentaire. Elle illustre bien les déperditions thermiques au niveau de la vanne et conduite du purgeur.



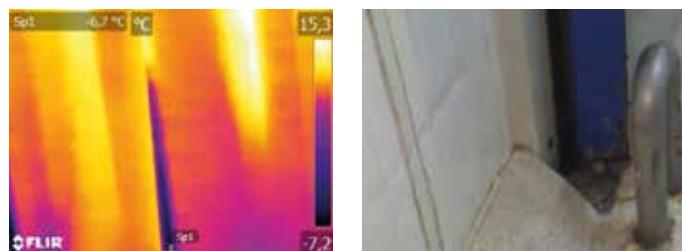
(Source photo AMEE - GIZ)

Inspection par thermographie d'un circuit de distribution de la vapeur.



(Source photo AMEE - GIZ)

Identification des fuites et déperditions thermiques au niveau des joints et portes de chambres froides par une caméra infrarouge.



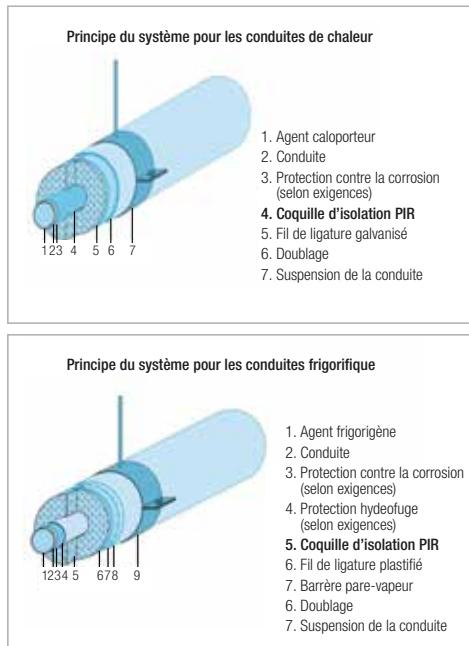
(Source photo AMEE - GIZ)

Il s'agit de matériaux possédant de faibles valeurs de conductivité thermique ce qui permet de limiter les échanges thermiques entre une conduite, une cuve, une paroi, ... et le milieu extérieur, et par la suite réaliser des économies d'énergie importante selon les

cas. Plusieurs types d'isolants existent et leur choix se fait selon l'application visée.

Les échanges de chaleur peuvent se faire selon trois modes ; Echanges par conduction, par convection et par rayonnement.

## Schéma de principe



Source : PIR : l'isolant thermique hautes performances pour les conduites

### Postes à vérifier et points à surveiller :

- Vérifier et remettre en état le calorifuge à intervalles réguliers
- Calorifugeage des vannes, brides et raccords, utilisant des matelas d'isolation adaptés à ces parties
- Remplacer les calorifuges humides ou vétustes. Lorsqu'ils sont mouillés, ils cèdent 30 fois plus d'énergie que lorsqu'ils sont secs
- Vérifier si le calorifuge utilisé est le mieux adapté en fonction de la température, de l'humidité et de l'installation
- Manque ou dégradation de calorifuge (cuves et réseaux chauds ou froids)
- Pont thermique (cuves et chambres froides)

- Présence de fuites : fissure, éléments de surfaces non jointifs, vanne non hermétique...

### Autres avantages pour le calorifugeage :

- Calorifuger pour des raisons de sécurité - Afin de protéger le personnel des surfaces chaudes
- Calorifuger pour empêcher la corrosion par l'humidité et la condensation
- Le calorifugeage réduit le bruit causé par la turbulence dans les réseaux de ventilation à grande vitesse
- Le calorifugeage offre une protection contre le gel

## Tableau récapitulatif des technologies et avantages

ACTIONS	Economies moyennes [%]	RSI [ans]
Sensibiliser et former le personnel, notamment équipes de la maintenance	2 à 3 % (selon l'état actuel)	Immédiat
Planifier des inspections régulières et intégrer la partie « vérification d'isolation des réseau » dans les programmes de la maintenance : réparation des fuites ; entretien des calorifuges, remplacement si nécessaire...	3 à 5 % (selon l'état actuel)	Immédiat
Analyse du réseau et cuves par thermographie infrarouge	3 à 5 % (selon l'état actuel)	< 1 an
Calorifuger les conduites et leurs supports	7 à 10 %	< 1 an
L'amélioration de l'isolation des parois des chaudières	Jusqu'à 5 % (selon l'état de l'existant)	1 an
Calorifuger les canalisations vapeur, du retour des condensats, les vannes, raccords et brides, ainsi que la bâche alimentaire.	Jusqu'à 70% de chaleur	< 2 an

### Exemple de cas réel au Maroc :

Une société des boissons gazeuses spécialisées dans la mise en d'embouteillage a procédé à des rondes de contrôle et la chasse aux fuites :

ACTIONS	Investissement [DH]	Economies estimées [DH]	Economies estimées [%]	RSI [ans]
Organisation des rondes périodiques pour identifier et réparer les points de pertes (dégradation ou manque d'isolation thermique) et les fuites de la vapeur et condensats, dans le réseau de distribution de la vapeur (moyennant une caméra infrarouge)	30.000	55.000 (voir exemple de calcul ci-après)	1%	7 mois

### Exemple d'estimation et calcul des fuites selon les points identifiés :

	Point identifié #1	Point identifié #2	Point identifié #3	Unité
Débit vapeur (5 barg) /condensat (0,2 barg) en fuite	10	2	15	kg/h
Energie totale vapeur 5 barg	2756	2756	439	kJ/kg
Durée	8000	8000	8000	h/an
→Pertes de vapeur	80	16	-	t/an
→Pertes de condensat	-	-	16 442	kWh /an
→Pertes financières	28 000	5 600	8 200	MAD/an

Caractéristiques Produit	Conductivité thermique $\lambda$	Epaisseur e	Résistance thermique R	Masse volumique $\rho$	Coeff. de résistance à la vapeur d'eau $\mu$	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $S_d$	Classement au feu
	W/m.K	mm	$m^2.K/W$	Kg/m <sup>3</sup>	-	m	-
LAINE DE BOIS	0,038	145	3,82	50	2	0,29	E
	0,038	120	3,16	50	2	0,24	E
OUATE DE CELLULOSE	0,04	100	2,00	Soufflage 28 - 35	1	0,1	M1
LIEGE EXPANSE	0,04	60	1,50	120	15	0,9	E
	0,04	200	5,00	120	1	0,2	E
POLYSTRENE	0,038	20	0,50	15	2	0,04	E
	0,031	20	0,65	15		0	E
POLYURÉTHANE	0,022	74	3,36	15 - 20		0	
	0,04	240	6,00	10 - 15	1	0,24	F
ISOLANT EN CHANVRE	0,04	100	2,50	40	1	0,1	F
LAINE DE MOUTON	0,035	45	1,29	30	3	0,135	D
	0,04	24	0,60		6	0,144	F
BÉTON CELLULAIRE	0,09	365	4,24	350	3	1,095	A1
LAINE DE ROCHE	0,038	15	0,39	155	1	0,015	A1
	0,036	60	1,67	122,5	1	0,06	A1
VERRE CELLULAIRE	0,038	60	1,75	100	5	0,3	A1
	0,038	140	3,85	100	5	0,7	A1
	0,041	40	0,98	145	3	0,12	E
	0,041	60	1,46	145	3	0,18	E

Source : Plusieurs fournisseurs et fiches techniques des produits

## Optimisation des chaudières

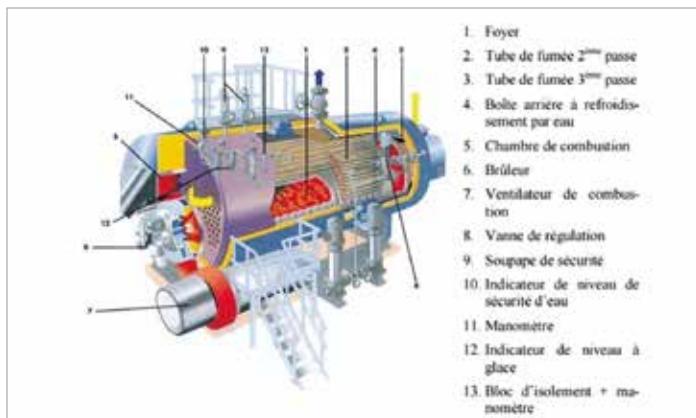
### Introduction :

Les chaudières de production de la vapeur sont parmi les postes les plus consommateurs de l'énergie dans l'industrie. Le ratio de cette consommation varie d'un secteur à l'autre. Les industries de la céramique, du papier/ carton, de la pâte à papier, de la production d'électricité sont les plus grands producteur et consommateur de la vapeur, elles peuvent représentées plus de 85% de l'énergie totale consommée par le site, et presque 100% de l'énergie thermique utilisée dans certains cas.

Dans d'autres secteurs, comme le traitement de minerai, le raffinage du pétrole, les procédés chimiques et la transformation alimentaire, une partie importante également de leur consommation totale d'énergie est dû à la production de la vapeur, soit de 10 % à 50 %. Ce qui rend l'optimisation de cet usage énergétique profitable et rentable à court terme.

Il existe plusieurs types de chaudière, généralement, dans l'industrie marocaine c'est les chaudières vapeur à tubes de fumées qui est le type le plus utilisé.

La flamme et les fumées, à très haute température, qui résultent de la combustion (du gaz ou fioul ou mazout...), circulent du brûleur jusqu'à la cheminée dans un faisceau de tubes immergés dans une calandre formant le réservoir d'eau. La vapeur est ainsi produite en chauffant ce volume d'eau à l'aide des fumées produites dans les tubes de fumées immergés. C'est la technique la plus classique pour la production de vapeur saturée, d'eau ou de vapeur.

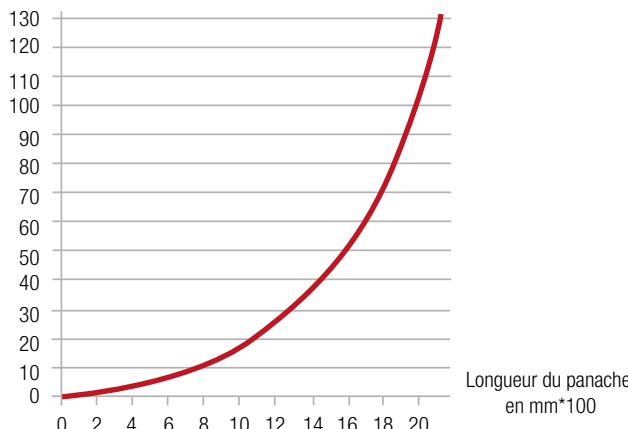


(Source : <https://rci-chaudieres-vapeur.fr>)

## Postes à vérifier et points à surveiller :

- Réseau :
- Installez un accumulateur de vapeur si la demande est variable, afin de faciliter la gestion des pointes de consommation.
- Diminuez si possible la pression du réseau. S'il y a des détendeurs à l'entrée de tous les consommateurs, un réseau haute pression n'est pas nécessaire.
- Effectuer un relevé régulier des instruments de mesures pour suivre les indications de performance énergétique.
- Le graphe ci-après illustre le niveau des déperditions thermiques générées par les fuites de la vapeur selon la longueur du panache :

Pertes vapeur en kg/h



Source : Cahier technique n°9 Wallonie : Energie, Mines et Ressources Canada

## • Maintenance :

- Dans les installations où les purgeurs ne sont pas fréquemment vérifiés, 30 % d'entre eux peuvent être défectueux et fuir. Un suivi régulier peut réduire ce taux à 5 %.
- Réparez les fuites régulièrement. Une seule fuite de 3,18 mm de diamètre sur un réseau de vapeur à 7 bar engendre une perte de 39 000 DH/an.
- Une conduite avec un calorifuge mouillé cède 30 fois plus d'énergie que lorsqu'il est sec.
- Changer périodiquement les filtres à combustion
- Nettoyer régulièrement les foyers, faire un entretien du brûleur (nettoyage, contrôle du gicleur et réglage de l'accroche de la flamme)

## Potentiels EE et opportunités d'amélioration

ACTIONS	Economies moyennes [%]	RSI [ans]
Réparer et éliminer les fuites de vapeur dans la chufferie	5 à 10 % (voire plus selon l'état du circuit)	Immédiat
Réparer ou installer le calorifugeage des conduites de vapeur, vannes, raccords, bâche alimentaire etc	Réduction des pertes de 80% par rapport aux canalisations nues	Immédiat
Régler l'excès d'air à 10% pour les gaz et à 30% pour le fuel lourd	5 à 7 %	Immédiat
Régler la pression de la chaudière à la valeur la plus faible possible en fonction des besoins en température	5 % (voire plus selon le besoin réel)	Immédiat
Aspirer l'air de combustion par le haut de la chufferie	0.5% pour chaque +10°C à l'aspiration	< 1 an
Préchauffer l'air de combustion	1 à 2 %	< 1 an
Acquérir un analyseur de combustion pour le contrôle de la combustion	3 à 8 % (selon le mode d'exploitation)	< 1 an
Installer un conductivimètre automatique pour régler la purge chaudière	5 à 10 % (selon l'existant et mode d'exploitation)	1 à 2 ans
Récupérer la chaleur des purges chaudières pour chauffer l'eau alimentaire via des échangeurs de chaleur	1 à 4%	1 à 2 ans
Récupérer la chaleur des fumées pour préchauffer l'eau alimentaire	2 à 5%	1 à 2 ans
Encourager, via des échangeurs de chaleur, la cogénération de la chaleur et de la puissance électrique	5 % (voire plus selon le besoin)	1 à 2 ans
Installation de chaudières à condensation (cas d'utilisation de gaz)	10%	< 1 an
Remplacer les chaudières à combustible fossiles en fin de vie, par des chaudières à biomasse	8 à 15%	2 à 3 ans
Amélioration de l'isolation des parois des chaudières	5 % (voire plus selon l'état de l'existant)	1 à 2 ans
Utiliser des brûleurs micro-modulants	2 à 5%	1 à 2 ans
Réguler l'air de combustion	3%	< 2ans
Installer un condenseur sur les fumées	8 à 10%	< 1 an
Remplacer la chaudière à eau chaude par une pompe à chaleur	Jusqu'à 70% (selon la région et l'état de chaudière existante)	< 2ans

Un laboratoire pharmaceutique spécialisé dans la fabrication et la commercialisation des médicaments. En moyenne, 50.000.000 boîtes sont produites annuellement sur trois sites. Le site concerné est doté de 6 unités de production où 1200 personnes sont employées.

ACTIONS	Economies estimées [kWh]	Economies estimées [MAD]	Economies estimées [%]	RSI [ans]
Changement de la chaudière classique (fonctionnant en propane) par une chaudière en Biomasse plus efficace	580.000 (propane)	450.000	12%	CPE
Régulation automatique de la combustion au niveau des brûleurs (contrôle de l'excès d'air et du débit de la pompe de circulation)	162.900 (propane)	125.000	3%	0,6

Les gains réellement réalisés par le projet de la biomasse ont dépassé de loin les estimations. En effet, en 2019 les économies réalisées s'élèvent à 1 500 Mwh.

# Système d'éclairage dans le secteur de l'industrie

## Introduction :

L'éclairage en industrie représente généralement entre 5 et 15% de la facture totale d'électricité (selon le secteur). La qualité de l'éclairage influence fortement la productivité et la sécurité du personnel. Pour la réalisation d'un bon éclairage, il est essentiel, qu'en plus de l'éclairage requis, les besoins qualitatifs et quantitatifs soient satisfaits. Les exigences relatives à l'éclairage sont déterminées par la satisfaction de trois besoins humains fondamentaux : Le confort visuel (la sensation de bien-être), La performance visuelle et La sécurité.

80% à 90% du coût de l'éclairage est dû à son usage sur la durée de vie de l'installation de l'éclairage (consommation + frais de maintenance) et 10% à 20% restants représentent l'investissement. Le gisement d'économie en éclairage peut atteindre 25 à 70% d'économie d'énergie et 50% de réduction de frais de maintenance.

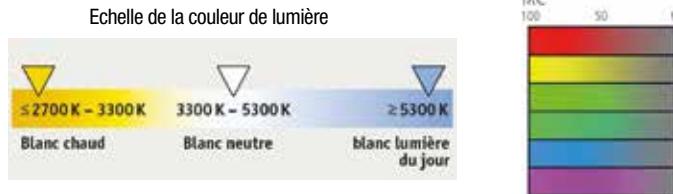
Un appareil d'éclairage se compose de plusieurs éléments :

- La source lumineuse (la lampe) : trois catégories existent selon la technologie utilisée pour produire la lumière : l'incandescence, la décharge dans un gaz et l'électroluminescence.
- Les auxiliaires : certains types de lampes requièrent l'usage d'auxiliaires afin de fonctionner correctement, il s'agit des transformateurs et des ballasts (avec ou sans starter).
- Le luminaire : Il contient la source lumineuse ainsi que les éventuels auxiliaires

## Caractéristiques des luminaires :

- L'efficacité lumineuse des lampes : On évalue la qualité énergétique d'une lampe par son efficacité lumineuse (en lm/W) définie comme le rapport du flux lumineux (en lumen) par la puissance électrique absorbée (en watt).
- Couleur de lumière apparente : La température de couleur ou la couleur de la lumière se mesure en kelvins (K) et indique si la lumière blanche est chaude (nuance jaune) ou froide (nuance bleue).
- Indice de Rendu de Couleur : il est compris entre 0 et 100. 100 étant l'IRC de la lumière naturelle qui restitue toutes les nuances de couleur et 0 étant l'absence de couleur reconnaissable (90<IRC : très bon rendu ; 80<IRC<90 : bon rendu ; 50<IRC<80 : rendu modéré)
- Le taux d'éblouissement unifié UGR (Unified Glare Ratio) : est comprise entre 10 (peu d'éblouissement) et 30 (fort éblouissant)
- Protection (IPx) contre la pénétration de corps solides (x) et de liquides (y)
- CLASSE

### Illustration de l'IRC :



Les valeurs recommandées, relatives au niveau d'éclairage et couleur, pour certains types d'usage sont listées dans le tableau suivant :

Locaux		Couleur		Éclairage
Secteur	Activité type	IRC	Température (K)	Moyen (lx)
Enseignement	salle de classe	85	3 000 - 4 000	500
	tableau	85	3 000 - 4 000	600
	couture	85	3 000 - 4 000	625
	dessin d'art	90	3 000 - 4 000	625
	dessin industriel	85	3 000 - 4 000	950
Bureaux	bureau classique	85	4 000	500
	bureau paysager	85	4 000	750
	dessin technique	90	4 000 - 5 000	950
	salle de conférences	80	3 000 - 4 000	300
	informatique	85	4 000	20 - 500
Magasins (vente)	alimentation	80 - 90	3 000 - 4 000	500
	épicerie fine	80 - 90	3 000 - 4 000	300 - 500
	boulangerie	80 - 90	2 700 - 3 000	300
	boucherie, charcuterie	90 - 100	4 000 - 6 500	500 - 800
	textile, maroquinerie	90 - 100	5 000 - 6 500	500 - 800
	horlogerie, bijouterie	90 - 100	4 000 - 5 000	500 - 800
	fleuriste	90 - 100	4 000 - 5 000	500
	coiffeur, salon de beauté	90 - 100	4 000 - 5 000	500 - 750
Hôtellerie	hall de réception	80	3 000	300
	comptoir	80	3 000	500
	salle à manger	85 - 90	3 000	300
	cuisine	85 - 90	4 000	500
	chambre et annexes	85	3 000	300
	cafétéria, salons	85	3 000	200 - 300
Santé	circulation	80	3 000	150
	salle de soins	85	4 000	300
	laboratoire	90	5 000	500
	chambre de malade	85	3 000 - 4 000	50 - 300
	Services médicaux	90	4 000	300 - 750
	salle d'opération	95	5 000 - 6 500	1 500
	champ opératoire	> 95	spécifique	2 000 et plus
	salle de repos	90	4 000	1 000

Source : Association française de l'éclairage (A.F.E.) et PROMOTELEC

## Potentiels EE de l'action :

### Postes à vérifier et points à surveiller :

#### Contrôle :

- Eteindre les lumières en quittant les bureaux, ateliers, ...
- Installer des détecteurs de présence dans les espaces occupés par intermittente.

#### Maintenance :

- Faire nettoyer périodiquement les vitres, les lampes ...
- Entretenir régulièrement les luminaires, une chute de 40 à 50 % peut être notée à la fin de leur durée de vie.

#### Production :

- Installer des cellules photosensibles pour faire varier l'éclairage en fonction de l'apport de lumière naturelle.
- Adapter l'éclairage au besoin en privilégiant l'éclairage local d'appoint plutôt que l'éclairage général.
- Choisir et dimensionner les lampes en fonction des locaux à éclairer.
- Remplacer des lampes existantes par des lampes LED.
- Utiliser des puits de lumière quand il n'y a pas d'accès direct à la terrasse. Un puits de lumière de 30 cm de diamètre peut éclairer jusqu'à 30m<sup>2</sup> de surface.

#### Utilisation :

- Privilégier les baies vitrées vers l'extérieur.
- Privilégier les couleurs claires pour le plafond, les murs et le mobilier.

- Placer les postes de travail de façon à profiter au maximum possible de la lumière naturelle.

- Respecter

#### Informations utiles :

- Plus de 80% des informations qui nous parviennent sont liées à la vue.
- Le potentiel d'économie en éclairage peut atteindre 25 à 70% d'économie d'énergie.
- 50% de réduction de frais de maintenance peut être réalisée.

## Pistes d'économies classées selon le coût d'investissement :

ACTIONS	Economies moyennes [%] /poste d'éclairage	RSI [ans]
<b>Régulation</b>		
Avec des luminaires régulés à des heures données au moyen d'une horloge de commutation	5 à 15%	1 à 3 ans (selon le cas)
Avec des luminaires régulés par le biais d'un détecteur de présence	15 à 30%	
Avec des luminaires régulés manuellement par pousoir.	30%	
Avec des luminaires régulés automatiquement en fonction de la lumière du jour	40 à 60%	
<b>Utilisation</b>		
Eclairer des espaces uniquement quand ils sont occupés.	15 %	Immédiat
Un asservissement par cellules photosensibles des luminaires à la lumière naturelle.	Jusqu'à 15%	< 1 an
Adoption des lampes à basse consommation.	30% par rapport aux lampes classiques	Immédiat
Installation des détecteurs de présence.	25% à 75% selon l'usage du bâtiment	1 à 2 ans
Utilisation des lampes LED.	80 % par rapport aux ampoules à incandescence	< 1 an
Remplacer les lampes au sodium, à vapeur de mercure et aux halogénures métalliques par des lampes à décharge de nouvelle génération de 90 lumens par watt.	(selon le cas)	< 1 an
Remplacer les tubes fluorescents de technologie T8 par des tubes T5 ou des tubes LED de bonne qualité	Jusqu'à 50% par rapport à l'existant	2 ans
Adapter le niveau d'éclairage en fonction des locaux, des postes de travail, des tâches, des occupants.	20 à 30 %	< 1 an

### Exemple de cas réel au Maroc (si possible)

Un laboratoire pharmaceutique spécialisé dans la fabrication et la commercialisation des médicaments. En moyenne, 50.000.000 boîtes sont produites annuellement sur trois sites. Le site concerné est doté de 6 unités de production où 1200 personnes sont employées.

ACTIONS	Economies [kWh]	Economies [MAD]	Economies/ facture [%]	RSI [ans]
Changement d'éclairage extérieur par des LEDs	24.200	22.000	0,5%	1,6

# Système de gestion d'énergie et de monitoring

## Introduction :

Les mesures sont indispensables pour bien gérer, maîtriser et optimiser la consommation énergétique dans le but d'améliorer sa performance énergétique. La mesure est l'œil des décideurs et des responsables d'énergie pour contrôler et suivre leurs consommations énergétiques afin d'effectuer les bons choix des actions performantes et s'assurer de leurs pertinences après la mise en place.

Elles permettent également la détection de toute dérive anormale des indicateurs de performance (suivi des KPIs énergétiques), et la mise en place d'un processus de contrôle/ vérification continue et d'établissement des actions correctives.

« Ce qui se mesure se gère » - Peter Drucker

Un système de gestion d'énergie (SGE) est un élément important d'un processus complet de management de l'énergie. Il fournit aux personnes et aux services clés des renseignements pertinents qui leur permettent d'améliorer le rendement énergétique et garantissent une réduction de la consommation totale allant jusqu'à 15%, juste en suivant le profil des charges et en comparant avec les besoins réels.

C'est donc un outil stratégique de pilotage de la performance énergétique de l'entreprise qui répond à un objectif d'optimisation et de gestion de l'énergie fixé par la direction.

## Principes de base :

Un SGE se compose de :

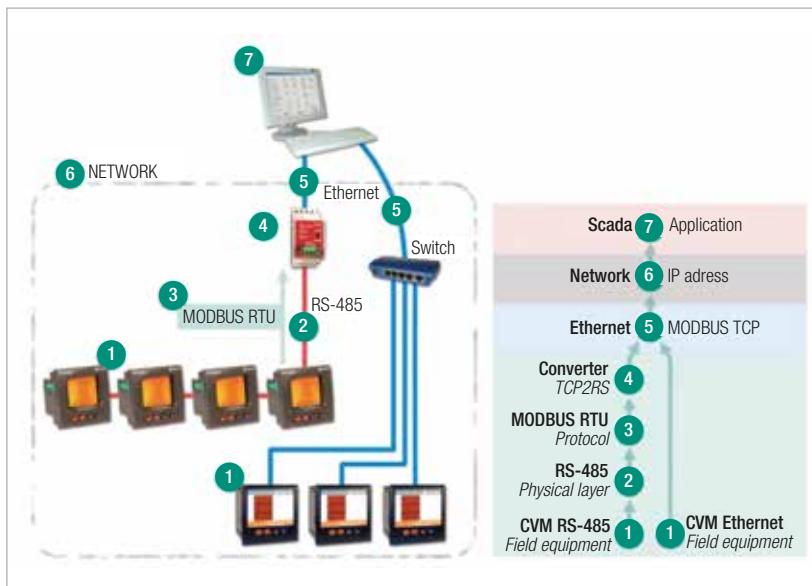
- Capteurs et compteurs d'énergie et de fluides,

- Système d'acquisition et de transfert des données
- Logiciel de visualisation, de traitement et de reporting des données

Bien qu'il puisse adresser d'autres types d'applications (surveillance des installations techniques, contrôle de la qualité des réseaux, etc.), l'objectif principal du SGE reste le management de l'énergie. Pour cela, il doit permettre d'obtenir :

- La répartition des consommations d'énergie à jour (diagnostic)
- Une maîtrise des consommations d'énergie (indicateurs)

Architecture standard d'un SGE



### Avantages de l'action :

Les applications de management des coûts énergétiques consistent à réduire les factures d'énergie, refacturer l'électricité et rendre la comptabilité analytique plus précise. Il s'agit de :

- Sous - comptage : Mesure des consommations d'énergie électrique en vue d'être refacturé à un locataire (galerie marchande, location de bureaux, ...)
- Analyse des consommations pour mieux connaître où, quand et comment l'utilisateur consomme ;
- Minimisation en temps réel de la facture électrique : a-Délester et/ou couper certains départs pour éviter de dépasser un seuil de consommation choisi. b-Gérer les sources, si l'entreprise dispose d'une deuxième source indépendante, tel un générateur de secours et que dans le contrat les heures de pointes sont fortement coûteuses, il est possible de limiter la consommation pendant cette période en basculant une partie de l'installation sur cette deuxième source ;
- Vérification de la facture : Mesure des consommations d'énergie active, réactive, apparente, cos fi, puissances pour vérifier l'adéquation avec la facture, optimisation et suivi du facteur de puissance.
- Mesurer et vérifier les économies et la diminution de la consommation énergétique;

- Justifier un investissement en efficacité énergétique;
- Mesure des autres fluides : Il s'agit de suivre non seulement les consommations d'énergies électriques mais aussi d'autres énergies comme le fuel, le gaz, la vapeur, l'eau, l'air comprimé, etc.. Cette application permet d'avoir une vision globale sur les consommations d'énergies. Le comptage des énergies est centralisé.

#### **Conseils pratiques pour le choix du plan de comptage (si possible) :**

Il existe sur le marché plusieurs types et configurations de logiciels. Les principales fonctionnalités qui peuvent faire la différence entre un logiciel et un autre, ou entre les versions d'un même logiciel sont :

- Politique de gestion des licences : nombre maximal d'appareils de mesure gérés, nombre de clients Web autorisés (postes utilisateurs)
- Type et taille maximale de la base de données
- Fonctionnalités SCADA (écrans de supervision)
- Edition de rapports automatiques ou manuels
- Interopérabilité ou non avec les produits d'autres marques
- Interfaçage avec d'autres logiciels (OPC, etc.)
- Etc.

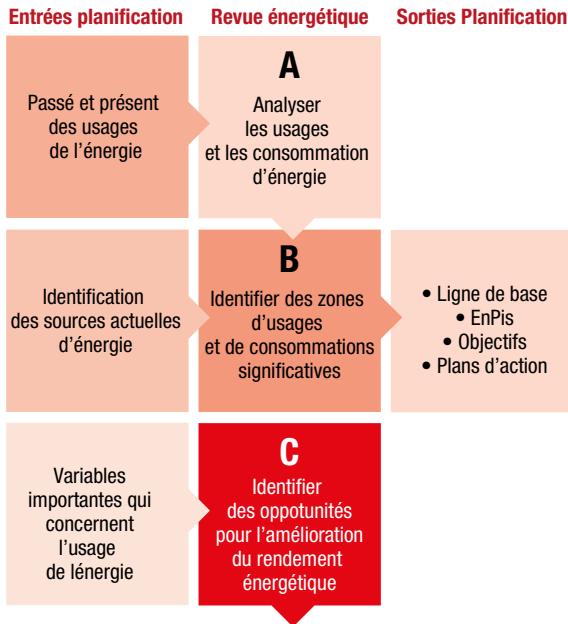
Le choix des appareils de mesure (compteurs électriques, combustibles, thermiques et autres), de leur emplacement judicieux et de leur déploiement, répond à plusieurs critères dont :

1- Une analyse de la situation initiale de l'entreprise, en fonction :

- du niveau d'instrumentation initial
- des enjeux énergétiques et des améliorations potentielles identifiées
- de la configuration de distribution des fluides (électricité, gaz, vapeur, air comprimé....)
- du niveau de suivi ciblé et du budget disponible

2- D'une analyse vis-à-vis des facteurs physiques influençant la consommation d'énergie (Indicateurs de Performance Energétiques).

Le processus décrit par la norme NM ISO 50001 facilite la décision à ce sujet. Le minimum requis dans ce cas est d'installer un capteur ou compteur pour la mesure des consommations de chaque Usage Énergétique Significatif (UES) qui aura été défini lors de la mise en place du système de management de l'énergie selon NM ISO 50001.



### Cas pratique :

Une industrie installée à Bouznika, après avoir analysée ses usages énergétiques et identifiée les actions d'amélioration énergétiques moyennant un audit énergétique, elle a décidé d'implémenter un système de gestion d'énergie pour suivre sa performance en temps réel. Le système se compose des éléments suivants :

- 4 Analyseurs de réseaux
- 60 centrales de mesures électriques
- Communication en MODBUS
- Logiciel de supervision

L'entreprise a commencé de visualiser des gains économiques avant même de réaliser les actions d'amélioration définies.

ACTIONS	Investissement [DH]	Economies estimées [DH]	Economies estimées [%]	RSI [ans]
Mise en place d'un système de gestion de l'énergie et surveillance des « talons et pics » de consommation	800.000	600.000	8%	0,75



**Guide Pratique pour les responsables  
d'énergie au niveau des entreprises industrielles**