

**ADEME**

**Provence Alpes Côte d'Azur**

# **Etude du gisement d'économie d'énergie dans l'industrie en Provence-Alpes-Côte d'Azur**

**Etape 2b**

**Application régionale :  
Identification des  
gisements**



**ICE, Groupe BURGÉAP**  
27, rue de Vanves  
92772 BOULOGNE -  
BILLANCOURT  
Tel : 01 46 10 25 51 –  
01 46 10 25 70  
Fax : 01 46 10 25 25  
Courriel :  
[ice@iceconsultants.com](mailto:ice@iceconsultants.com)

Accord-cadre Etat-Région-ADEME 2007-2013



Région  
  
Provence-Alpes-Côte d'Azur



Mai 2011



## SOMMAIRE

SOMMAIRE .....	3
1 L'efficacité énergétique selon les BREF .....	6
1.1 La combustion .....	6
1.1.1 La technique et ses emplois .....	6
1.1.2 Techniques disponibles et gisement d'économie .....	6
1.2 Les systèmes à vapeur.....	8
1.2.1 La technique et ses emplois .....	8
1.2.2 Techniques disponibles et gisement d'économie .....	9
1.3 La récupération de chaleur.....	10
1.3.1 Les gisements à récupérer .....	10
1.3.2 Echangeurs de chaleur.....	10
1.3.3 Pompes à chaleur.....	10
1.3.4 Refroidisseurs et systèmes de refroidissement.....	11
1.4 Production simultanée de plusieurs formes d'énergie .....	11
1.4.1 Cogénération .....	11
1.4.2 Trigénération.....	11
1.5 Alimentation électrique .....	12
1.5.1 Les consommations.....	12
1.5.2 Techniques disponibles et gisements d'économie .....	12
1.6 Sous-systèmes entraînés par moteur électrique.....	13
1.6.1 Les consommations.....	13
1.6.2 Techniques disponibles et gisements d'économie .....	14
1.7 Système d'air comprimé (SAC) .....	16
1.7.1 Les consommations.....	16
1.7.2 Techniques disponibles et gisements d'économie .....	16
1.8 Systèmes de pompage.....	18
1.8.1 Les consommations.....	18
1.8.2 Techniques disponibles et gisements d'économie .....	18
1.9 Systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC).....	19
1.9.1 Chauffage et refroidissement des locaux .....	19
1.9.2 Ventilation .....	19
1.10 Eclairage .....	20
1.11 Procédés de séchage, séparation et concentration.....	20
1.11.1 Les consommations.....	20
1.11.2 Techniques disponibles et gisements d'économie .....	20
1.12 RESUME d'ordres de grandeur .....	23

2	L'estimation des gisements en région PACA.....	25
2.1	La méthodologie .....	25
2.2	L'analyse pour chacun des secteurs NCE .....	28
2.3	Le cumul des estimations.....	28
2.4	Délais de mise en œuvre.....	29

## PREAMBULE

### Travaux précédents

Le premier rapport présente le contexte de l'énergie consommée dans le secteur industriel en France et en Europe.

- ✓ contexte de la MdE et de la réglementation en vigueur,
- ✓ présentation détaillée de la directive IPPC,
- ✓ dispositifs d'incitation aux actions de MdE,
- ✓ présentation des acteurs de l'Efficacité Energétique dans le secteur industriel.

Le deuxième rapport dresse un portrait résumé de l'activité industrielle en région PACA et exploite l'enquête nationale EACEI pour extrapoler des informations de consommation énergétique par filière industrielle et par usage énergétique.

### Objectif de la première partie ce rapport

La directive IPPC et les documents de référence sur les MTD (les BREF) sont expliquées au 2<sup>ème</sup> chapitre du document « Etape 1 – Contexte des économies d'énergie dans l'industrie ».

BREF : Best REFerence                      MTD : Meilleure Technique Disponible

Dans le rapport ci-après, les techniques d'efficacité énergétique à prendre en considération pour les systèmes, les procédés ou les activités utilisant de l'énergie sont résumées à partir d'une lecture du « BREF-ENE-Chapitre 3 ».

### Objectif de la deuxième partie ce rapport

La méthodologie utilisée pour tirer le meilleur parti des informations disponibles est exposée, notamment via une grille de lecture du tableur Excel construit par le consultant ICE.

Puis les résultats d'économie d'énergie sont calculés pour la dizaine de secteurs NCE significativement consommateurs d'énergie.

### **PRECAUTION**

*Les données de base pour la consommation énergétique en PACA ont été extrapolées à partir de l'enquête annuelle EACEI nationale : il convient d'être très modeste quant à la fiabilité de ces données, surtout quand on focalise son regard sur un aspect précis, par exemple la consommation énergétique d'un usage donné pour un secteur NCE donné.*

*L'estimation ci-après des gisements s'inspire fortement de l'étude CEREN-nov 2000 "Potentiel MdE dans l'industrie française" qui s'appuie sur un panorama français très détaillé d'opérations techniques, différencié pour chaque filière industrielle, visant la réduction de consommations énergétiques et l'amélioration des performances technologiques. Et ce qui a été estimé à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle sur le global France est extrapolé dans la présente étude sur le territoire PACA.*

*La constitution d'une base de données spécifique « consommation énergétique dans l'industrie pour la région PACA » permettrait une estimation des gisements d'économie plus fine et plus fiable.*

# 1 L'EFFICACITE ENERGETIQUE SELON LES BREF

## 1.1 La combustion

### 1.1.1 La technique et ses emplois

Les installations de combustion sont des dispositifs de chauffage ou des installations utilisant la combustion d'un combustible (y compris des déchets) pour produire et transférer la chaleur à un procédé donné. Il s'agit principalement de :

- ✓ chaudières de production de vapeur ou d'eau chaude,
- ✓ réchauffeurs de procédés (par exemple réchauffage du pétrole brut dans les unités de distillation, pour le vapocraquage en pétrochimie ou pour le reformage à la vapeur dans la production d'hydrogène),
- ✓ fours ou unités dans lesquelles les matières sont chauffées à des températures élevées pour obtenir une transformation chimique (fours à ciment, fours de production des métaux, ...).

Les pertes thermiques sont de diverses natures :

- ✓ par dégagement gazeux,
- ✓ par la partie de combustible non brûlé (combustion incomplète),
- ✓ par conduction et rayonnement de l'installation (principalement dépendant de la qualité d'isolation),
- ✓ par la matière non brûlée dans les résidus,
- ✓ par les purges des chaudières,
- ✓ par les équipements auxiliaires (par ex pompes de circulation, décendresseurs, évacuation des cendres, ...).

### 1.1.2 Techniques disponibles et gisement d'économie

La gestion de ces installations doit tenir compte à la fois des paramètres du procédé mis en jeu et des paramètres de la combustion.

Les techniques de gestion optimale de l'énergie sur ces installations sont en grande partie fonction du procédé industriel qu'elles servent. Ainsi, même si elles sont nombreuses, les techniques pour économiser l'énergie sont spécifiques à chaque grand secteur industriel, voire même à l'unité industrielle concernée.

Il est par conséquent difficile d'évaluer avec pertinence le gisement global d'économie dans l'industrie (ou même à l'échelle d'un secteur industriel) lié à l'optimisation des installations de combustion.

Selon les combustibles utilisés, l'amélioration des performances énergétiques peut passer par les techniques suivantes : pré-séchage du lignite, séchage du combustible, gazéification du charbon ou de la biomasse, turbine de détente pour récupérer la teneur énergétique des gaz pressurisés,

cogénération, pilotage informatisée de l'installation, ... Toutes ces techniques sont décrites sous ses différentes configurations dans les BREF sectoriels.

Quant au BREF-Efficacité Energétique, sans pouvoir avancer des ordres de grandeur sur les économies potentielles, il expose les techniques ci-après.

#### Réduction de la température des gaz de combustion

Plus la température de combustion est basse, meilleure est l'efficacité énergétique. Il faut toutefois trouver le compromis avec d'autres impératifs, tel que le fonctionnement au dessus du point de rosée, les plages de températures pour une bonne épuration des gaz, parfois l'exigence de « correcte » dispersion des gaz (éviter le panache blanc, symbole erroné d'une pollution), ...

#### Installation d'un préchauffeur d'air ou d'eau

L'air qui alimente le brûleur est préchauffé par les gaz de combustion. La combustion est améliorée, les combustibles organiques sont mieux séchés : le rendement de la chaudière peut ainsi augmenter de 3 à 5%.

Les brûleurs récupératifs et régénératifs optimisent ce préchauffage grâce à la récupération directe de la chaleur perdue..

#### Régulation et contrôle automatique des brûleurs, réduction de l'excès d'air

Il s'agit, en fonction de la demande thermique, d'optimiser le débit de combustible, le débit d'air, la teneur en oxygène des gaz de combustion.

L'excès d'air est nécessaire pour éviter l'extinction de la flamme ou un retour de flamme (pouvant provoquer des dégâts sur l'installation). Mais il faut chercher à minimiser cet excès d'air.

#### Choix du combustible

En tenant compte notamment du pouvoir calorifique et du niveau de polluants pendant la combustion des combustibles envisageables, un choix bien effectué permet de réduire l'excès d'air et d'augmenter le rendement énergétique du procédé de combustion.

#### L'oxy-combustion

Il s'agit de remplacer l'air comburant par l'oxygène. Le rendement énergétique est amélioré et les émissions de NO<sub>x</sub> considérablement réduites.

Cependant la demande en énergie pour séparer l'oxygène de l'air est considérable : elle doit être prise en compte dans le bilan énergétique global. Les recherches en cours sur les fours verriers à oxy-combustion laissent envisager des améliorations sur le rendement énergétique global, ne compensant toutefois pas les coûts d'achat de l'oxygène.

#### Autres pistes

- ✓ réduire les pertes de chaleur par une bonne isolation thermique des parois du système de combustion,
- ✓ réduire les pertes de chaleur au niveau des ouvertures du four (trappe, cheminée, porte, ...).

## 1.2 Les systèmes à vapeur

### 1.2.1 La technique et ses emplois

La vapeur est générée dans une chaudière ou dans le générateur d'un système de récupération de chaleur en transférant la chaleur des gaz de combustion à de l'eau.

Les utilisations finales de la vapeur sont :

- ✓ l'entraînement mécanique de turbines, pompes, compresseurs, ... généralement pour des équipements de grande dimension telles que la production d'électricité, les grands compresseurs, ... ,
- ✓ le chauffage des procédés, séchage de tout type de produits papiers (d'autres vecteurs d'énergie courants étant notamment l'eau et l'huile thermique),
- ✓ l'utilisation dans les réactions chimiques, modération des réactions chimiques, fractionnement des composants hydrocarbures et comme source d'hydrogène dans le reformage du méthane à la vapeur.

Le vecteur énergétique « vapeur » représente une part importante (34%) dans le secteur industriel, d'ailleurs concentré à 96% sur 3 secteurs : papier et pâte à papier, produits chimiques et raffinage pétrolier. Autres secteurs consommateurs : la production d'électricité, l'industrie alimentaire, l'industrie des boissons et l'industrie laitière.

(données de 1994) 1 MégaJoule = 0,278 kWh	Énergie pour générer de la vapeur (PJ)	Pourcentage de l'énergie totale utilisée par cette industrie
<b>L'ensemble du secteur industriel de l'UE-15</b>	<b>5988</b>	<b>34%</b>
dont le secteur		
Papier et pâte à papier	2 318	83 %
Produits chimiques	1 957	57 %
Raffinage pétrolier	1 449	42 %

La vapeur doit cette place à un certain nombre d'avantages : une faible toxicité, une sécurité d'utilisation avec des matières inflammables ou explosives, une facilité de transport, un rendement élevé, une capacité thermique élevée et un faible coût par rapport aux huiles thermiques.

Le calcul du rendement de certaines chaudières est exprimé dans les documents CEN EN 12952-15:2003 (chaudières à vapeur à tubes d'eau et installations auxiliaires : essais d'acceptation) et dans le document CEN EN 12953-11:2003 (chaudières à foyer intérieur : essais d'acceptation).

Le ratio de production de vapeur ne devrait pas être supérieur à 820 kWh PCI par tonne de vapeur (brochure Ademe 2003).



## 1.2.2 Techniques disponibles et gisement d'économie

L'élimination des pertes d'énergie associées à qui sont évitables, réduit considérablement le coût de la vapeur au point d'utilisation.

Les économies d'énergie potentielles se situent en phase « génération de vapeur » et « distribution (incluant le retour du condensat) ». Sur un site industriel, elles peuvent varier de 1 % jusqu'à 35 %, avec une économie moyenne de 7 %.

### Préchauffage de l'eau d'alimentation de la chaudière à vapeur

Cette récupération de chaleur permet ainsi de réduire les apports en combustibles requis par la chaudière à vapeur. La technique la plus fréquemment utilisée est l'utilisation d'économiseur, un échangeur de chaleur qui transfère la chaleur émanant des gaz de combustion vers l'eau d'alimentation en entrée.

Il est largement admis qu'un économiseur peut accroître de 4 % le rendement de la production de vapeur. Grâce à la récupération de la chaleur perdue, un économiseur peut souvent réduire la demande en combustible de 5 à 10 % et s'autofinancer en moins de 2 ans.

### Prévention et élimination des dépôts de tartre sur les surfaces de transfert de chaleur

Le gaspillage de combustible dû à la présence de tartre sur la chaudière peut être de 2 % pour les chaudières à tubes d'eau et atteindre jusqu'à 5 % pour les chaudières à tubes de fumées.

Outre les économies d'énergie importantes qu'une élimination régulière de ce dépôt de tartre peut engendrer, cette précaution permet d'allonger la durée de vie de l'équipement.

### Minimisation des pertes dues aux cycles courts des chaudières

Le maintien d'une chaudière en veille à la température correcte nécessite un apport continu d'énergie tout au long de l'année, qui correspond à approximativement 8 % de la capacité totale de la chaudière. Le bon dimensionnement de la chaudière aux besoins, le choix d'une chaudière bien isolée et présentant une bonne inertie, l'installation de plusieurs petites chaudières plutôt qu'une seule, ... sont des pistes qui réduisent les cycles courts.

### Contrôle et de réparation pour les purgeurs de vapeur

Avec un suivi annuel, les fuites peuvent être réduites à 4 à 5 % des purgeurs. Si tous les purgeurs étaient vérifiés annuellement, il y aurait une lente diminution à environ 3 % au bout de 5 ans (les anciens purgeurs étant remplacés par des modèles plus récents).

Récupération de l'énergie à partir des purges de la chaudière, par réemploi de la vapeur de détente et par collecte et retour du condensat à la chaudière

### Autres pistes

Dispositifs d'étranglement et utilisation des turbines à contre-pression

Techniques d'exploitation et de contrôle

Minimisation des purges de la chaudière

Optimisation du taux de mise à l'air libre du désaérateur

Optimisation des systèmes de distribution de vapeur

Calorifugeage des canalisations vapeur et des canalisations de retour du condensat

## 1.3 La récupération de chaleur

---

### 1.3.1 Les gisements à récupérer

Les flux de chaleur qui peuvent être récupérés ont diverses origines :

- ✓ rayonnement de chaleur par les ouvertures des fours, zones chaudes avec une isolation médiocre ou sans isolation,
- ✓ gaz de combustion chauds,
- ✓ échappement d'air,
- ✓ fluides de refroidissement provenant des systèmes de refroidissement (par exemple gaz, eau de refroidissement, fluide thermique),
- ✓ produit chaud ou froid ou produit de résidus,
- ✓ eau chaude ou froide évacuée vers un égout,
- ✓ chaleur de surchauffe et du condenseur rejetée à partir de la réfrigération.

Avant de rechercher à récupérer ces sources de « chaleur perdue », il est souvent préférable d'optimiser le process.

### 1.3.2 Echangeurs de chaleur

Par transfert de conduction et convection, ils utilisent directement la chaleur telle qu'elle est dans le flux de surplus de chaleur.

Selon leur nature et conception très diverses, les dispositifs « échangeur de chaleur » trouvent des applications dans tous les secteurs industriels, étant capables de travailler sur des températures relativement basses, de l'ordre de 70 °C, mais pouvant atteindre 500 °C.

A condition que la demande de chaleur récupérée corresponde à la courbe de production, ces techniques rencontrent de nombreux cas d'application. Les échangeurs de chaleur doivent être nettoyés périodiquement, après désassemblage pour les versions à plaques, par un nettoyage à l'acide, un nettoyage à balles ou hydroforage pour les versions à faisceau tubulaire

Les contextes de durée de retour sur investissement sont très divers : cette durée peut être courte, de l'ordre de six mois ou longue, de l'ordre de 50 ans ou plus.

### 1.3.3 Pompes à chaleur

Les pompes à chaleur peuvent transférer de la chaleur à partir d'un niveau de température inférieure (par exemple sources de chaleur fabriquées par l'homme telles que les procédés industriels) vers un niveau supérieur.

L'entraînement de la pompe peut être d'un type quelconque, comme un moteur électrique, un moteur à combustion, une turbine ou une source de chaleur pour les pompes à chaleur à adsorption.

#### La Recompression Mécanique de la Vapeur (MVR)

Il s'agit en fait d'une pompe à chaleur ouverte ou semi-ouverte (si l'on se réfère au système de pompe à chaleur). L'échappement de vapeur basse pression émanant de procédés industriels, comme les chaudières, les évaporateurs ou les lessiveurs, est comprimé puis par la suite condensé pour restituer de la chaleur à une température plus élevée, et remplacer ainsi la vapeur vive ou une autre énergie primaire. La vapeur comprimée la plus courante est la vapeur d'eau bien que d'autres vapeurs process soient également utilisées notamment dans l'industrie pétrochimique.

### **1.3.4 Refroidisseurs et systèmes de refroidissement**

*décrit dans le BREF ICS (Systèmes de refroidissement industriels)*

## **1.4 Production simultanée de plusieurs formes d'énergie**

---

### **1.4.1 Cogénération**

Il s'agit de la production simultanée, dans un seul processus, d'énergie thermique et électrique et/ou mécanique (en anglais CHP = Combined Heat and Power).

Ces centrales ont un rendement énergétique du combustible de 80 à 90 %, tandis que, pour les centrales à condensation de vapeur classique, les rendements restent à 35 à 45 % et même inférieur à 58 % pour les centrales à cycle combiné.

Comme pour la production d'électricité, il existe un large éventail de combustibles pouvant être utilisés pour la cogénération, par exemple déchets, sources d'énergie renouvelable comme la biomasse et combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz.

Les unités de cogénération trouvent généralement leur place lorsqu'il existe des demandes importantes en chaleur à des températures se situant dans la plage de vapeur à moyenne ou basse pression. Il est préférable qu'il n'existe pas de période prévisible avec de fortes baisses de la demande en énergie thermique.

### **1.4.2 Trigénération**

Le système de cogénération est complété par un refroidisseur à absorption qui utilise une partie de la chaleur pour produire l'eau réfrigéré : le combustible permet de fournir trois produits énergétiques utiles : électricité, eau chaude ou vapeur et eau réfrigérée.

La souplesse apportée par l'emploi de la chaleur récupérée pour le chauffage pendant une saison (hiver) et pour le refroidissement pendant une autre saison (été) est une manière efficace de maximaliser les heures de fonctionnement à plein rendement pour toute l'usine.

## 1.5 Alimentation électrique

### 1.5.1 Les consommations

La consommation d'énergie électrique dans l'EU-25 en 2002, s'élevait à 2641 TWh plus 195 TWh de pertes en réseau. Le secteur de consommation le plus important était l'industrie avec 1168 TWh (44 %), puis les ménages avec 717 TWh (27 %) et les services avec 620 TWh (23 %). Ensemble, ces trois secteurs représentent environ 94 % de la consommation.

### 1.5.2 Techniques disponibles et gisements d'économie

#### Correction du facteur de puissance

De nombreux dispositifs électriques ont des charges inductives, telles que les moteurs à courant alternatif monophasés et triphasés, les entraînements à vitesse variable, les transformateurs, les lampes à décharge haute intensité.

Tous ces dispositifs nécessitent à la fois une puissance électrique active et une puissance électrique réactive. La puissance électrique active est transformée en puissance mécanique utile, tandis que la puissance électrique réactive sert à conserver les champs magnétiques des appareils.

De telle sorte que les générateurs, les transformateurs, les lignes électriques, les appareillages de commutation, ... doivent être dimensionnés pour des puissances nominales supérieures à celles correspondant uniquement à la puissance active consommée par la charge.

Le **facteur de puissance** électrique ( $\cos \varphi$ ) est le rapport entre puissance réelle et puissance apparente : les besoins en énergie réactive sont considérablement réduits lorsque ce facteur est compris entre 1 et 0,9 (ce sont les valeurs cibles).

Pour rapprocher ce facteur de puissance des valeurs-cibles, il faut installer des condensateurs puis assurer un contrôle régulier des écarts (environ tous les 3 à 10 ans).

Si l'on considère l'UE dans son ensemble, on estime que l'application d'une correction du facteur de puissance à l'industrie devrait permettre d'économiser 31 TWh<sup>1</sup>, bien qu'une partie de ce potentiel soit déjà exploitée.

Dans une installation, on estime que si un exploitant ayant un facteur de puissance de 0,73 procédait à une correction du facteur pour qu'il soit de 0,95, il pourrait économiser 0,6 % de sa consommation d'électricité (0,73 est le chiffre estimatif pour l'industrie et les services).

Etant donné que les fournisseurs d'électricité facturent l'excès de puissance réactive, le faible coût des corrections du facteur est rapidement rentabilisé.

#### Réduction ou élimination des harmoniques

Certains équipements électriques ayant des charges non linéaires (redresseurs, certaines formes d'éclairage électrique, les fours électriques à arc, les équipements de soudage, les alimentations électriques à découpage, les ordinateurs, ...) créent des harmoniques dans la fourniture de courant (addition des distorsions dans l'onde sinusoïdale).

<sup>1</sup> 31 TWh équivalent à plus de 8 millions de foyers, environ 2600 aérogénérateurs, à environ 10 centrales électriques alimentées au gaz et à 2 à 3 centrales électriques nucléaires. Cela correspond également à plus de 12 Mt de CO<sub>2</sub>.

L'application de filtre (pratique relativement courante) permet de réduire ou éliminer ces harmoniques, générant ainsi des économies d'énergie ainsi qu'un meilleur fonctionnement et durée de vie des appareils.

### Management de l'efficacité énergétique des transformateurs

Les transformateurs sont des machines statiques constituées d'un noyau comprenant un certain nombre de plaques ferromagnétiques, avec les bobines primaire et secondaire enroulées autour des côtés opposés du noyau.

Le taux de transformation des tensions est donné par le rapport  $V_2/V_1$

Les pertes se situent dans les composants de fer (dues à l'hystérésis et aux courants de Foucault) et les pertes dans les composants cuivre (dues à l'effet Joule). Elles sont estimées approximativement à 1,5 à 3,5 % de la puissance nominale  $P_n$  (à 100 % de la charge).

On estime que l'optimisation de la charge est applicable à 25 % des cas. Le nombre de transformateurs de puissance installés/soumis à un repowering chaque année dans l'industrie est estimé à 5 % et les transformateurs à faibles pertes peuvent être pris en compte pour ces cas nouveaux/soumis à repowering.

Dans le cas de l'installation de transformateurs à faible perte, par rapport aux transformateurs des « séries normales », ou en cas de remplacement de transformateurs existants à faible rendement, les périodes de retour sur investissement sont normalement courtes (de l'ordre de l'année), du fait notamment du nombre élevé d'heures de fonctionnement annuel des transformateurs.

## 1.6 Sous-systèmes entraînés par moteur électrique

### 1.6.1 Les consommations

Un sous-système entraîné par moteur électrique convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Dans la plupart des applications industrielles, le travail mécanique est transféré à la machine entraînée sous forme de puissance mécanique rotative (par le biais d'un arbre rotatif).

Les moteurs électriques sont l'une des principales sources de consommation d'énergie en Europe. Selon les estimations, les moteurs représentent 1/3 de la consommation électrique du secteur tertiaire.

Pour l'industrie, les moteurs électriques consomment 68 % de l'électricité de ce secteur (en 1997 on l'évaluait à 707 TWh).

Distribution de cette consommation des moteurs électriques entre les différentes applications	
pour modification de la pression	
	20 % par les pompes
	18 % par les ventilateurs
	17 % par les compresseurs d'air
	11 % par les compresseurs de refroidissement

pour déplacement ou transport des matières / des objets	
	4 % par les convoyeurs
	30 % par d'autres utilisations (grues, appareils de levage, treuils, ...)

### 1.6.2 Techniques disponibles et gisements d'économie

Le développement rapide des composants de l'électronique de puissance et des algorithmes de contrôle a amélioré la « position » de la technologie CA (courant alternatif) de sorte qu'il n'existe plus de supériorité de performance réelle de la technologie CC (courant continu) sur la technologie CA. Les moteurs et les entraînements CA modernes surpassent les performances de leurs homologues CC à bien des égards. En d'autres termes, même les applications les plus exigeantes, telles que le contrôle de la vitesse et du couple des bobineuses à papier peuvent être réalisées avec des moteurs et des entraînements CA de nos jours.

Les coûts approximatifs associés à l'exploitation d'un moteur sur sa durée de vie se répartissent ainsi :

2,5% pour l'investissement + 1,5% pour la maintenance + 96% pour l'énergie consommée

Le potentiel d'économies d'énergie dans les industries de l'UE-15 grâce à l'emploi d'entraînements CA est de 43 TWh/an et pour l'amélioration du rendement des moteurs électriques proprement dit, de 15 TWh/an selon les études du programme SAVE de l'UE-15.

Dans leur démarche d'économie d'énergie, les utilisateurs doivent avoir pour objectif d'optimiser le système global dont fait partie le sous-système moteur, avant de prendre en considération la partie moteur.

#### Les moteurs à haut rendement (EEM)

Le coût d'achat supplémentaire initial est de 20 à 30%, ou plus, pour les moteurs d'une puissance supérieure à 20 kW et de 50 à 100 % pour les moteurs d'une puissance inférieure à 15 kW, selon la catégorie d'économies d'énergie (qui impacte sur la quantité supplémentaire d'acier et de cuivre dans le matériel). Alors que les économies d'énergie peuvent être de l'ordre de 2 à 8 % pour des moteurs de 1 à 15 kW.

Un accord européen entre le Comité Européen de Constructeurs de Machines Électriques et d'Électronique de Puissance (CEMEP) et la Commission européenne donne l'assurance que soient clairement affichés les niveaux de rendement de la plupart des moteurs électriques fabriqués en Europe. Ce schéma de classement des moteurs européens est applicable à tous les moteurs d'une puissance inférieure à 100 kW :

- ✓ EFF1 (moteurs à haut rendement),
- ✓ EFF2 (moteurs à rendement standard),
- ✓ EFF3 (moteur à faible rendement).

Ces classes de rendement s'appliquent aux moteurs à induction à cage, triphasés, à 2 et 4 pôles, dont le fonctionnement nominal est de 400 V, 50 Hz, de classe S1, avec une puissance de sortie allant de 1,1 à 90 kW, c'est-à-dire aux moteurs qui représentent la plus grande partie des ventes du marché.

La directive Eco-conception (EuP) aboutira vraisemblablement à l'élimination des moteurs de classe EFF 3 et EFF 2 d'ici à 2011.

Promus par le programme européen EU-SAVE PROMOT, il existe des outils pour faciliter le choix du bon moteur approprié au contexte de l'entreprise :

- ✓ la base de données EuroDEEM, qui répertorie le rendement de plus de 3 500 types de moteurs de 24 constructeurs,
- ✓ le logiciel Motor Master Plus.

Il est important en outre de bien dimensionner le moteur électrique aux besoins (économie potentielle de 1 à 3% sur les consommations). Des études de terrain indiquent que, en moyenne, ils fonctionnent en fait à environ 60% de leur capacité nominale, alors que le rendement maximal est obtenu entre 60 et 100 % de la pleine charge. Seuls les moteurs de grande puissance peuvent fonctionner avec un rendement raisonnablement élevé à des charges de moins de 30% de la puissance nominale.

#### Entraînement à vitesse variable (EVV)

Lorsque la charge de travail est constante (par ex. pour les ventilateurs d'introduction d'air des lits fluidisés, les compresseurs d'air à oxydation, ...) le recours à des entraînements à vitesse variable pour les moteurs engendre des pertes de l'ordre de 3 à 4 % de l'énergie en entrée (redressement et ajustement de la phase du courant).

Par contre ce dispositif EVV peut conduire à des économies d'énergie significatives (de l'ordre de 4 à 50%) quand la charge varie notamment dans le cas des pompes centrifuges, des compresseurs et des ventilateurs. C'est le cas aussi pour des cas de transformation des matières faisant appel à des machines centrifuges, des broyeurs et des machines outils et les applications de manutention avec des bobinoirs, des convoyeurs et des monte-charges.

#### Réparation ou achat de neuf

Des tests en laboratoire ont montré que des réparations de mauvaise qualité réduisent en général le rendement du moteur de 0,5 à 1% et parfois jusqu'à 4% voire même plus pour de vieux moteurs.

Quant au rebobinage d'un moteur, il peut entraîner une réduction permanente de son rendement, supérieure à 1 %.

On considère ainsi que le remplacement d'un moteur à réparer par l'achat d'un nouveau moteur EEM peut être un bon choix pour des moteurs ayant un grand nombre d'heures de fonctionnement.

#### Optimiser le système de transmissions

Une mauvaise transmission entre moteur et charge peut générer des pertes de 2 à 10 %, voire jusqu'à 45 %. Quelques règles de bonnes pratiques :

- ✓ éviter les courroies trapézoïdales (même si les « dentées » sont plus performantes que les « classiques »),
- ✓ préférer les courroies synchrones,
- ✓ engrenages hélicoïdaux nettement plus performants que les engrenages à vis sans fin,

- ✓ lorsqu'il est réalisable techniquement, l'accouplement direct est toujours la meilleure option possible.

### D'autres mesures

Contrôler la qualité de puissance peut permettre d'économiser 0,5 à 3 % sur les consommations.

Assurer un bon fonctionnement (ajustements, calage, ...) et maintenance (notamment lubrification) peut permettre d'économiser 1 à 5 %.

## 1.7 Système d'air comprimé (SAC)

### 1.7.1 Les consommations

L'air comprimé est utilisé dans des procédés industriels (par ex fourniture d'azote, d'oxygène, soufflage des fibres de verre, moulage des plastiques, ...). Il s'agit de son utilisation principale.

Il est également utilisé en tant que vecteur d'énergie, par exemple pour l'entraînement des outils pneumatiques, des actionneurs pneumatiques comme les vérins. Dans ce cas, le rendement (puissance à l'arbre de l'outil divisée par la puissance électrique totale en entrée nécessaire pour produire l'air comprimé consommé par l'outil mécanique) n'est généralement de l'ordre que de 10 à 15 %. La durée de vie d'un gros compresseur est estimée à 15 à 20 ans.

L'air comprimé représente jusqu'à 10 % de la consommation industrielle d'électricité (de l'ordre de 80 TWh par an) dans l'Union Européenne des 15.

Dans les entreprises grands consommatrices d'énergie, la part de l'énergie totale utilisée dans les systèmes d'air comprimé peut représenter entre 5 et 25 %.

### 1.7.2 Techniques disponibles et gisements d'économie

PNEUROP est une association des fabricants européens de compresseurs air ou gaz, de pompes, outils pneumatiques et accessoires représentés par leurs associations nationales. Son objet est de développer l'efficacité énergétique et la protection de l'environnement.

Dans le cadre du programme européen SAVE, elle a réalisé une étude pour analyser les potentiels d'efficacité énergétique d'un SAC, résumée dans le tableau ci-dessous.

Mesure d'économies d'énergie	Applicabilité en % (1)	Gains en % (2)	Contribution potentielle en % (3)	Commentaires
(1) % de SAC où cette mesure est applicable et de bon rapport coût-efficacité				
(2) réduction en % de la consommation d'énergie annuelle				
(3) contribution potentielle = applicabilité * réduction				
<b>Installation ou rénovation du système</b>				
Amélioration des entraînements (moteurs à haut rendement)	25 (4)	2	0,5	Meilleur rapport coût-efficacité des petits systèmes (<10 kW)
(4) la plupart des grands systèmes (soit 75%) étant déjà équipés				
Amélioration des entraînements	25	15	3,8	Applicable à des systèmes à charge



(régulateur de vitesse)				variable. Dans les installations multi-machines, une seule machine doit être équipée d'un entraînement à vitesse variable. Le gain estimé concerne l'amélioration globale des systèmes, qu'ils soient mono ou multi-machines.
Modernisation du compresseur	30	7	2,1	
Emploi de système de commande sophistiqué	20	12	2,4	TRI généralement inférieur à 1 an
Récupération de la chaleur perdue en vue de son utilisation dans d'autres fonctions (le gain est exprimé en termes d'énergie et non pas de consommation électrique, étant donné que l'électricité est convertie en chaleur utile)	20	20 – 80	4,0	80 à 95 % de l'énergie électrique consommée est convertie en énergie thermique. Bien conçue, une installation peut récupérer de 50 à 90 % de chaleur.
Amélioration du refroidissement, du séchage et de la filtration	10	5	0,5	Ceci ne comporte pas une augmentation de la fréquence de remplacement des filtres (voir ci-dessous)
Conception globale du système incluant des systèmes multipression	50	9	4,5	Exemple d'un SAC moyen de 50 kW : économies de (50 kW x 3000 h/an x 0,08 EUR/kWh x 10 % =) 1200 €/an coûts d'une révision majeure et optimisation = 2000 €/an.
Réduction des pertes de pression par frottement (par ex. par une augmentation du diamètre des canalisations)	50	3	1,5	
Optimisation de certains dispositifs d'utilisation finale	5	40	2,0	
<b>Fonctionnement et maintenance du système</b>				
Réduction des fuites d'air	80	20	16,0	Exemple d'un SAC moyen de 50 kW : économies = 50 kW x 3000 h/an x 0,08 EUR/kWh x 20 % = 2400 €/an coûts de détection et réparation systématique = 1000 €/an.
Augmentation de la fréquence de remplacement des filtres	40	2	0,8	
<b>TOTAL</b>			<b>32,9</b>	
<b>Source : Mesures d'économies d'énergie dans les systèmes d'air comprimé (PNEUROP, 2007)</b>				

Selon le cabinet NUS Consulting, le prix de l'air comprimé en Europe varie fortement d'une société à l'autre : de 0,006 € à 0,097€ par Nm<sup>3</sup> (le prix de l'électricité variant lui de 0,052 à 0,1714 €/kWh). La qualité d'optimisation de l'installation influe beaucoup sur ce prix.

Les coûts approximatifs associés à l'exploitation d'un SAC (sur la base de 6000 heures/an sur cinq ans) se répartissent ainsi :

13% pour l'investissement + 12% pour la maintenance + 75% pour l'énergie consommée

Le coût énergétique de l'air comprimé est exprimé en termes de consommation énergétique spécifique (SEC) en Wh/Nm<sup>3</sup>. 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 (cette référence prend en compte différentes technologies de compresseurs) ce qui suit :

85 Wh/Nm<sup>3</sup> < SEC < 130 Wh/Nm<sup>3</sup> (cf "Compressed air" par ADEME-2007)

Ce rapport représente la qualité de la conception et de la gestion de l'installation d'air comprimé. Il est important de le connaître et de le surveiller, parce qu'il peut se détériorer rapidement, et entraîner une forte augmentation du prix de l'air.

### D'autres pistes

Alimentation des compresseurs avec de l'air frais extérieur : dans la littérature technique, on explique que chaque augmentation de 5 °C de la température de l'air d'admission dans le compresseur provoque une augmentation d'environ 2 % de l'énergie nécessaire. Dans 50% des cas il est possible de modifier l'installation pour récupérer de l'air plus frais, à l'extérieur.

Optimisation du niveau de pression : en réduisant la pression de 1 bar, on obtient des économies d'énergie de 6 à 8 %. Ainsi avec une régulation intelligente optimisée, la pression de l'air comprimé peut être ramenée d'une moyenne de 8,2 à 6,9 bars, ce qui correspond à des économies d'énergie de 9,1 %.

## **1.8 Systèmes de pompage**

### **1.8.1 Les consommations**

Après les moteurs, les pompes centrifuges (ou roto-dynamiques) sont les machines les plus fréquentes dans le monde, et sont énergivores.

Les systèmes de pompage représentent approximativement 20 % de la demande mondiale en énergie électrique et de 25 à 50 % de la consommation d'énergie dans certaines opérations des usines industrielles.

Les coûts approximatifs associés à l'exploitation d'une pompe industrielle de taille moyenne sur sa durée de vie (15 à 20 ans) se répartissent ainsi :

13% pour l'investissement + 35% pour la maintenance  
+ 40% pour l'énergie consommée + 12% pour autres coûts.

### **1.8.2 Techniques disponibles et gisements d'économie**

Selon certaines études, 30 à 50 % de l'énergie consommée par les systèmes de pompage pourrait être économisée grâce à des changements d'équipements ou des modifications du système de régulation.

Aussi, dans une entreprise, il importe d'instaurer un suivi précis au moins sur les 50 pompes les plus puissantes.

### Choix des pompes

Le surdimensionnement des pompes à lui seul représente la plus grande source de gaspillage d'énergie : on estime que 75% des systèmes de pompage sont surdimensionnés, la plupart de plus de 20%.

Un guide européen présente une méthodologie simple afin de choisir une pompe performante ayant un rendement élevé au point de fonctionnement requis (cf [http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/EU\\_pumpguide\\_final.pdf](http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/EU_pumpguide_final.pdf)).

### Réseaux de canalisations

La consommation d'énergie directement liée au réseau de canalisation est la conséquence des pertes par frottement imputables au déplacement des liquides dans les tuyaux, aux vannes et autres équipements du système. Ces pertes sont proportionnelles au carré du débit.

Il importe de bien dimensionner le réseau, en relation avec la pompe, pour satisfaire les besoins de façon optimale.

Contrôle et régulation du système de pompage, maintenance bien proportionnée, choix de moteurs performants sont d'autres points pour garantir une utilisation optimale du système de pompage.

## 1.9 Systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (CVC)

---

Environ 60 % de l'énergie d'un système CVC est consommée par le refroidisseur/la pompe à chaleur tandis que les 40 % restants sont consommés par les machines périphériques.

### 1.9.1 Chauffage et refroidissement des locaux

La consommation d'énergie pour le chauffage/refroidissement des bâtiments industriels est en France de l'ordre de 30 TWh, soit environ 10 % de la consommation de combustible.

Pourtant baisser de 1 ou 2 °C les températures de chauffage (1°C de moins correspond à 6 ou 7 % d'économie) et augmenter de 1 ou 2 °C pour la climatisation n'altérerait généralement pas le confort des employés : une bonne campagne d'information en leur direction permettrait d'accompagner le changement d'habitudes.

En limitant le chauffage/le refroidissement pendant les périodes de non-production ou de non-occupation de locaux, en mettant en place un chauffage radiant local dans les zones occupées, ... il est possible d'obtenir des économies d'énergie de 40 à 80 %.

#### Refroidissement gratuit (free-cooling)

Le refroidissement gratuit est applicable dans des circonstances spécifiques : pour un transfert indirect, la température de l'air ambiant doit être inférieure à la température du fluide réfrigérant renvoyé au refroidisseur ; pour les utilisations directes, la température de l'air extérieur doit être égale ou inférieure à la température requise. On estime que cette méthode est applicable dans 25 % des cas.

Le retour sur investissement pour un nouveau système peut être de 12 mois tandis que le retour sur investissement pour la modernisation d'une installation peut atteindre 3 ans.

### 1.9.2 Ventilation

Environ 10 % de la consommation d'électricité des sociétés est due aux systèmes de ventilation (voire plus dans le cas d'un système avec conditionnement d'air).

Des audits sur ces installations ont décelé des gisements d'économie d'énergie pouvant atteindre 30 % de la consommation, souvent avec un retour sur investissement inférieur à 3 ans.

## 1.10 Eclairage

---

Dans les bureaux, l'éclairage représente entre 20 et 50 % de la consommation d'énergie totale. Il est constaté que, dans certains bâtiments, plus de 90 % de la consommation d'énergie pour l'éclairage constitue une dépense inutile en raison d'un éclairage lumineux excessif.

Des techniques telles que l'identification de l'éclairage requis pour chaque zone d'utilisation, les activités de planification afin d'optimiser l'utilisation de la lumière naturelle, le choix des types de lampes et d'appareils en fonction des exigences spécifiques à l'utilisation qui va en être faite, et la gestion de l'éclairage permettent d'obtenir des consommations énergétiques d'éclairage mieux maîtrisées. Pour un bâtiment à construire ou à rénover profondément, il est essentiel de bien planifier l'utilisation des espaces afin d'optimiser l'utilisation de la lumière naturelle.

Par exemple, les investissements dans le cadre du Programme Green Light ([www.eu-greenlight.org](http://www.eu-greenlight.org)) utilisent une technologie, des produits et des services ayant fait leurs preuves, qui sont susceptibles de réduire la consommation d'énergie pour l'éclairage de 30 à 50%.

## 1.11 Procédés de séchage, séparation et concentration

---

### 1.11.1 Les consommations

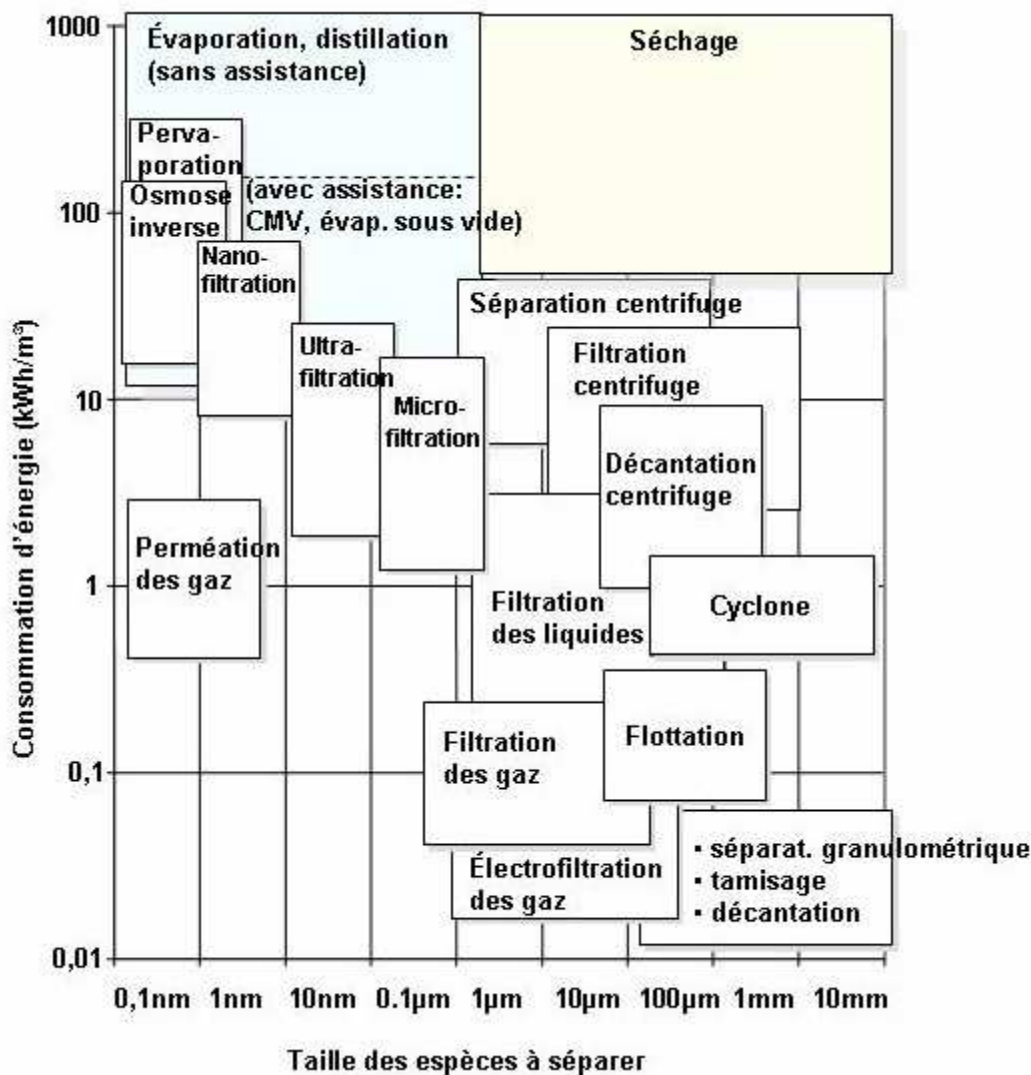
La technologie de séparation consiste, de ce fait, à fractionner et à isoler les produits souhaités à partir d'un mélange contenant différentes substances ou une substance pure sous forme de plusieurs phases ou tailles.

Le séchage (séparation de l'eau du reste du produit) est un procédé énergivore. Même s'il peut s'opérer par conduction, par rayonnement thermique (infrarouge, micro-ondes, ...) ou par champ électromagnétique haute fréquence, la plupart des sècheurs industriels sont de type convectif et utilisent des gaz de combustion directe ou de l'air chaud comme fluide de séchage.

### 1.11.2 Techniques disponibles et gisements d'économie

#### Savoir choisir les bonnes technologies, éventuellement en les combinant

Ce graphique situe le niveau de consommation énergétique de certains procédés de séparation en fonction des tailles d'espèces à séparer. Il apparaît notamment que séchage, évaporation et distillation sont parmi les procédés de séparation les plus énergivores.



Consommation d'énergie relative des procédés de séparation (Ademe-2007)

#### Dès que possible, substituer un procédé mécanique à un séchage thermique

La consommation d'énergie des procédés mécaniques peut être de plusieurs ordres de grandeur inférieure aux procédés de séchage thermique. Lorsque le produit à sécher l'autorise, il est souhaitable d'utiliser de manière prédominante des procédés de séparation essentiellement mécaniques afin de réduire la quantité d'énergie consommée pour l'ensemble du procédé. En règle générale, la majorité des produits peut faire l'objet d'un prétraitement mécanique pour obtenir des niveaux moyens de teneur en humidité (rapport entre masse du liquide à extraire et masse de matière sèche) compris entre 40 et 70 %. En pratique, l'utilisation des procédés mécaniques est limitée par les charges de matière autorisées et/ou les temps de séchage économiquement rentables.

#### Vapeur surchauffée

Il s'agit de vapeur chauffée à une température supérieure au point d'ébullition de l'eau à une pression donnée. Elle ne peut exister en contact avec l'eau ni contenir de l'eau ; elle est semblable à gaz parfait. Elle est également dénommée vapeur surchargée, vapeur anhydre et vapeur gazeuse. La

vapeur surchauffée peut être utilisée comme fluide de chauffage à la place de l'air chaud dans tous les sècheurs directs (où le fluide de chauffage est en contact direct avec le produit), par exemple, dans le séchage par pulvérisation, dans un lit fluidisé, dans un lit jaillissant, dans des tambours, ...

La cinétique du séchage s'en trouvant améliorée et les pertes de chaleurs étant réduites du fait d'une enceinte plus petite, ce procédé est économe en énergie.

Il est possible de moderniser tous les sècheurs directs avec la vapeur surchauffée. Des tests doivent être conduits afin de garantir la qualité des produits et des calculs économiques doivent être réalisés.

### Energies radiantes

Grâce à un transfert direct de l'énergie, une densité de puissance élevée, une focalisation de l'énergie, une souplesse de contrôle, les énergies radiantes, telles que les infrarouges (IR), les hautes fréquences (HF) et les micro-ondes (MW) permettent de réaliser des économies d'énergie dans les procédés.

Compte tenu d'un investissement généralement plus onéreux (+20 à 30 %) que pour les techniques classiques, ces techniques sont destinées à des applications bien identifiées.

### Autres pistes

Comparé à l'utilisation de contrôleurs empiriques classiques, il a été constaté que la mise en œuvre dans des usines d'une régulation assistée par ordinateur ou automatisation des procédés de séchage thermique permet de réaliser des économies de 5 à 10 %.

La récupération de la chaleur dans les procédés de séchage permet d'obtenir des économies d'énergie d'au moins à 5 %.

La Recompression Mécanique de la Vapeur (MVR) est également une technique très efficace pour réduire les consommations.

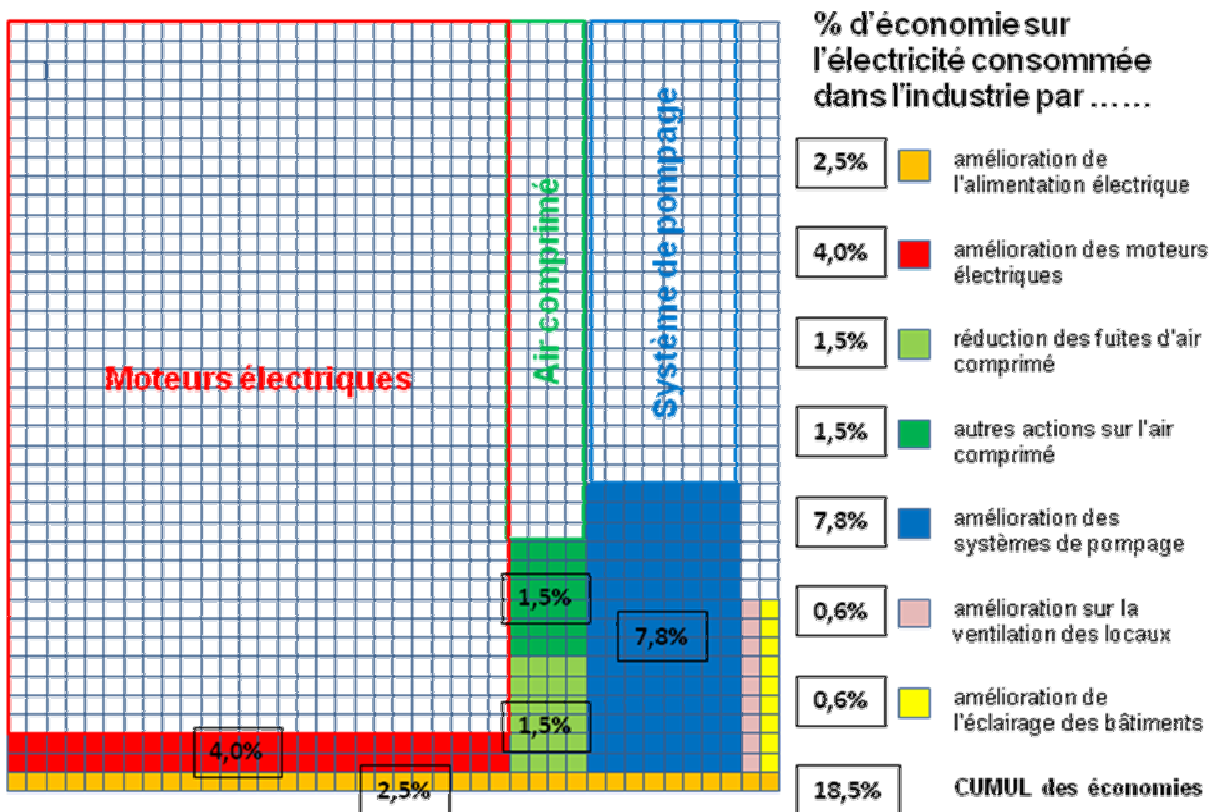
Enfin il faut assurer une isolation optimale du système de séchage

## 1.12 RESUME d'ordres de grandeur

consommation énergétique de l'industrie en France (yc sidérurgie) en 2007 : 37,1 Mtep

conso énergétique de l'industrie en UE25 (yc sidérurgie) en 2007 : 319 Mtep

Quelques repères de consommation	Famille de techniques	potentiel moyen d'éco nrj	« fourchette large » pour ce potentiel
	<b>combustion</b>		
34% de l'énergie dans l'industrie	<b>système à vapeur</b>	7,0%	de 1 à 35%
	<b>récupération de chaleur</b>		
	<b>cogénération et trigénération</b>		
	<b>séchage, séparation, concentration</b>		
environ 30 TWh en France (10% de la consommation de combustible)	<b>chauffage climatisation des bâtiments industriels</b>		jusqu'à 40%, voire 80%
1168 TWh (44% de l'énergie électrique consommée dans UE25)	<b>alimentation électrique</b>	2,5%	1 à 3 %
environ 780 TWh (2/3 de l'électricité consommée dans l'industrie)	<b>moteur électrique</b>	6,0%	2 à 8 % (avec moteurs de 1 à 15kW à haut rendement EEM) 4 à 50 % (avec dispositif VEV quand la charge du moteur varie) 0,5 % grâce à une bonne exploitation (bonne transmission, qualité de la puissance, bon calage, maintenance, ...)
environ 100 TWh (presque 10% de l'électricité consommée dans l'industrie)	<b>réduction des fuites d'air sur le système d'air comprimé</b>	16,0%	valeur après prise en compte d'un taux de diffusion de 80%
	<b>autres mesures sur le système d'air comprimé</b>	16,9%	valeur après prise en compte d'un taux de diffusion
environ 20% de l'électricité consommée dans l'industrie	<b>système de pompage</b>	40,0%	selon certaines études, 30 à 50% .....
environ 10% de la consommation électrique des bâtiments des sociétés est due aux systèmes de ventilation	<b>ventilation</b>		jusqu'à 30%
entre 20 et 50% de la consommation énergétique totale des bureaux	<b>éclairage</b>		de 30 à 50%



*(schéma-estimation, construit à partir de données du BREF-Efficacité énergétique)*

Abscisse : part de chaque usage dans la consommation électrique dans l'industrie

Ordonné : Pourcentage d'économie pour chaque usage (en couleur)

La surface (les petits carrés de couleur), représente donc les économies totales réalisables sur l'ensemble de la consommation électrique (1 carrée = 0,65%)



## 2 L'ESTIMATION DES GISEMENTS EN REGION PACA

### 2.1 La méthodologie

Elle est expliquée dans les 2 tableaux présentés pages 25 et 26, qui constituent l'ossature du tableau Excel pour estimer les gisements d'un certain nombre de secteurs NCE parmi les plus consommateurs.

Pour les 6 premières étapes de la méthodologie, les chiffres pris en compte pour un secteur NCE sont ceux déterminés à l'échelle nationale par l'étude CEREN. Le déroulé de la méthodologie suit la logique suivante :

- 1-L'étude CEREN-nov 2000 « Potentiel MdE dans l'industrie française » permet de répartir des consommations de 1998 selon une dizaine d'opérations représentatives de ce secteur NCE
- 2-Les valeurs sont ensuite adaptées aux niveaux de consommations pour 2010 à partir des prévisions (lorsqu'elles existent) faites par CEREN.
- 3-Les techniques de MdE les plus significatives pour le secteur NCE étudié sont retenues, avec le potentiel exploitable total de MdE en 2010, selon l'étude CEREN-nov 2000.
- 4-D'autres techniques MdE sont ajoutées par le consultant ICE, en référence à la lecture du BREF-ENE
- 5-Le potentiel exploitable de MdE en 2010, selon l'étude CEREN-nov 2000, est inscrit en 1<sup>ère</sup> ligne, puis ventilé selon les différentes opérations concernées.
- 6-Il ne paraît pas réaliste de considérer que toutes les économies potentielles peuvent s'additionner. Sur la base de son expérience, ICE a donc pris pour hypothèse que le potentiel exploitable en MdE serait de :
  - 50% du total du gisement de Mde identifié pour les consommations de combustibles,
  - 65% du total du gisement pour les consommations d'électricité.

A titre d'exemple, sur la fiche présentée en page 25, le potentiel total de MdE identifié par l'étude CEREN pour les opérations de fusion est de 237 ktep (sur un total de 948 ktep consommés). ICE retient comme cible 50% de cette valeur, soit 119 ktep.

*NB1 : nous faisons le choix de conserver les colonnes présentant le cumul des potentiels identifiés, mais barrons les chiffres, pour bien montrer que cette valeur intermédiaire n'est donnée qu'à titre indicatif.*

*NB2 : dans tous les tableaux « potentiel MdE » doit se comprendre par « potentiel d'économie »*

NCE	Nomenclature de Consommation	<b>Pour comprendre la METHODOLOGIE, lire les commentaires en italique rouge, en suivant l'ordre de leur numérotation</b>				<i>3/ Les techniques de MdE les plus significatives pour ce secteur NCE, avec le potentiel exploitable de MdE en 2010, selon l'étude CEREN-nov 2000</i>									<i>4/ ajout d'autres techniques MdE par ICE, d'après lecture du BREF-</i>									
nce	Energétique																							
	<b>Conso par Opération (en ktep)</b>	<b>Combu stible</b>	<b>Electri cité</b>																					
	<b>en 1998</b>	<b>ktep</b>	<b>GWh</b>	<b>ktep</b>	<b>ktep</b>																			
	Sous chaudières	35	0																					
	Fusion	948	752																					
	Traitements thermiques	102	220																					
	Chauffage des locaux	36	23																					
	Force motrice (hors air et froid)		2060																					
	Air comprimé																							
	<i>1/ Etude CEREN-nov 2000 "Potentiel MdE dans l'industrie française" répartition des consommations selon une dizaine d'opérations représentatives de ce secteur NCE</i>																							
	<b>Total</b>	<b>1121</b>	<b>3055</b>	<b>0</b>	<b>0</b>																			
						<b>50%</b>	<b>65%</b>																	
						<i>6/ En fait toutes les économies ne s'additionnent pas, seul un pourcentage du cumul est réalisable. ICE prend pour hypothèse ces valeurs %</i>	<i>cumul de toutes les opérations d'économie en combustibles</i>	<i>cumul de toutes les opérations d'économie en électricité</i>																
	<b>en 2010</b>	<b>ktep</b>	<b>GWh</b>	<b>ktep</b>	<b>ktep</b>	<b>de total</b>	<b>de total</b>	<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>J</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	
	Sous chaudières	35	0	0	0	0	0	±	0	98	24	31	6	6	47	26	54	8	28	2,5%	6,0%	33%	20%	
	Fusion	948	752	0	0	119	18	237	27	98	24	31	6				54	8	24	19				
	Traitements thermiques	102	220	0	0	17	34	34	53					6	47	26			3	6				
	Chauffage des locaux	36	23	0	0	4	0	7	±											1			7	
	Force motrice (hors air et froid)	0	1480	0	0	0	82	0	126											37	89			
	Air comprimé	0	510	0	0	0	118	0	181											13		168		
	<i>2/ Etude CEREN-nov 2000 "Potentiel MdE dans l'industrie française" adaptation des niveaux de consommations pour 2010 à partir des prévisions (lorsqu'elles existent) faites par CEREN</i>																			0				
	<b>Total</b>	<b>1121</b>	<b>2985</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>140</b>	<b>252</b>	<b>279</b>	<b>387</b>															
										<b>x</b>	<b>sur les combustibles</b>						<b>y</b>	<b>sur l'électricité</b>						
										<i>5/ le potentiel exploitable de MdE en 2010, selon l'étude CEREN-nov 2000, est inscrit en 1ère ligne, puis ventilé selon les différentes opérations concernées</i>														

**Légende :** Fabrication (carboné) Chauffage Process Force motrice Air comprimé

A l'occasion des 2 dernières étapes de la méthodologie, l'estimation est calculée sur les données de consommation énergétique de la région PACA.

**7-** Les chiffres obtenus par ICE à partir de l'exploitation de l'enquête annuelle EACEI 2008 sont rappelés.

**8-** Avec l'étape 6, une estimation d'économie d'énergie est calculée au niveau national. A l'étape 8, le pourcentage d'économie est appliqué aux consommations en région PACA.

Exemple pour le poste « opération de fabrication » du secteur NCE22 : dans l'étude CEREN, ce poste consomme  $(35+948+102)= 1085$ . Le potentiel exploitable est de  $(0+120+16) = 136$ , soit 12,5% de la consommation. Le consultant d'ICE extrapole ce 12,5% aux 88 ktep consommés par ce poste en 2008 en PACA pour estimer le potentiel exploitable, soit environ 12 ktep.

		663 ktep					
				potentiel exploitable de MdE en 2010 pour ce secteur NCE en région PACA			
		(*) 1 Tep élec = 11628 kWh ou 1GWh = 86 tep élec					
NCE	Consommation énergétique 2008	combust	électricité		combust	élec	
nce	de ce secteur NCE en région PACA	ktep	GWh <sup>+</sup>		ktep	GWh <sup>+</sup>	
	Fabrication (fours, séchoirs, ...)	88		7/	11,0		explication pour le poste "opération de fabrication"
	Matières premières	2		<i>chiffres obtenus par ICE à partir de l'exploitation de l'enquête annuelle EACEI 2008</i>			<i>8/ dans l'étude CEREN, ce poste consomme <math>(35+948+102)= 1085</math>. Le potentiel exploitable est de <math>(0+120+16) = 136</math>, soit 12,5% de la consommation. ICE extrapole ce 12,5% aux 88 ktep consommés par ce poste en 2008 en PACA pour estimer le potentiel exploitable: soit env 12 ktep.</i>
	Production d'électricité	2					
	Chauffage et autres usages	7			0,7		
	Force motrice		275			27,6	
	Usages thermiques		51			2,7	
	Autres usages (yc électrolyse)		12		0,3		
	<b>TOTAL</b>	<b>99</b>	<b>338</b>		potentiel MdE 12	31	
			29 ktep			3 ktep	
					12%	9,0%	

## 2.2 L'analyse pour chacun des secteurs NCE

Seuls les secteurs NCE significativement consommateurs d'énergie en région PACA sont analysés.

Autres Industries Agro-Alimentaires	<b>NCE 14</b>
Sidérurgie	<b>NCE 16</b>
Métallurgie des non-ferreux	<b>NCE 18</b>
Production de minéraux divers	<b>NCE 19</b>
Les ciments, plâtres et chaux	<b>NCE 20</b>
Industrie du verre	<b>NCE 22</b>
Fabrication d'engrais	<b>NCE 23</b>
Autres industries de la chimie minérale, fab. matières plastiques, caout. synt. et élastomères	<b>24</b>
autres industries de la chimie organique de base	<b>NCE 25</b>
Construction électrique et électronique	<b>NCE 26</b>
Industrie du papier-carton	<b>NCE 31</b>
	<b>NCE 35</b>

Se référer au document ANNEXE pour obtenir les résultats de chaque secteur NCE.

## 2.3 Le cumul des estimations

En données cumulées, le gisement d'économies est estimé à :

- 8,5 % pour les combustibles (116 ktep pour un total consommés de 1357 ktep) ;
- 7 % pour l'électricité (539 GWh pour un total consommé de 7399 GWh).

Ce chiffre est en cohérence avec les ordres de grandeur estimés à l'échelle nationale.

Deux usages sont majoritaires dans la consommation énergétique de l'industrie : la fabrication (pour les combustibles) et la force motrice pour l'électricité.

Sans surprise c'est eux qui ouvrent des perspectives d'économie d'énergie les plus importantes, y compris avec des pourcentages intéressants de gain qui se situent quelque soit le secteur NCE dans une fourchette de 6 à 12%.

Sur la force motrice, les actions ne diffèrent pas selon le secteur concerné :

- ✓ s'assurer la qualité de l'alimentation électrique de l'entreprise,
- ✓ et substituer les moteurs actuels par des équipements présentant les meilleures performances techniques disponibles sur le marché

La qualité et les performances des installations d'air comprimé, lorsqu'elles représentent une part significative des consommations énergétiques d'un secteur NCE, sont également des pistes pour obtenir des économies d'énergie.

Sur l'usage « Fabrication », là aussi les potentiels d'économie sont importants, voisins de 10%, mais évidemment les solutions sont beaucoup plus diverses, spécifiques à chaque secteur NCE en lien avec les process et technologies qu'ils utilisent. La maturité des options technologiques économes et la rentabilité de celles-ci étant très différentes selon les filières industrielles, exploiter les potentiels d'économie des usages « Fabrication » demandera un travail plus fin, du « sur-mesure ».

Pour cet usage, trois secteurs méritent d'être suivis de plus près, compte tenu de la valeur absolue estimée pour leur potentiel :

- NCE24, 25, 26 – chimie minérale (autre que les engrais), fabrication mat. plastiques, chimie organique
- NCE20 – ciments, plâtre et chaux
- NCE35 – papier et carton.

L'étude a permis d'identifier les 20 plus grandes entreprises classées NCE 18, 20, 24, 25, 26 et 35 pour lesquelles les potentiels d'économie d'énergie (en valeur absolue et en % escompté) sont les plus forts.

Un travail spécifique devra être mené en direction de ses entreprises par le comité de pilotage, pour vérification de ces informations puis déclinaison opérationnelle des recommandations

## 2.4 Délais de mise en œuvre

Les potentiels d'économie sont accessibles selon des délais de mise en œuvre plus ou moins long. Schématiquement, on pourra distinguer 3 échéances :

- Actions immédiates ; le retour sur investissement est rapide et les mesures sont techniquement simples et légères à mettre en œuvre ; elles peuvent donc être déclenchées très vite. L'exemple type de ce type d'action est la recherche et la maîtrise des fuites d'air sur un réseau d'air comprimé.
- Actions à court terme (horizon 3 ans). Ces actions sont généralement liées aux opérations de gros entretien, qui comportent alors le changement de certains dispositifs impliqués dans la consommation énergétique de l'industriel. Il pourra s'agir par exemple du remplacement des moteurs électriques par des matériels plus performants.
- Actions à moyen et long terme (horizon 5 ans et plus). Ces actions seront déclenchées lors des réflexions et des modifications du process même de l'industriel.

Dans le cadre de cette étude il est difficile de quantifier ce qui ressort de ces différents délais de mise en œuvre sur le potentiel total. Dans la suite de la démarche de recherche d'économies d'énergie dans l'industrie, ces 3 horizons devront être pris en compte, car les moyens à mettre en œuvre peuvent être assez différents.

<b>CUMUL des principaux potentiels exploitables de MdE en 2010 en région PACA</b>			(*) 1 Tep élec = 11628 kWh ou 1GWh = 86 tep élec						
			combustibles en ktep				électricité en GWh*		
			Fabrication (fours, séchoirs, ...)	Matières premières	Production d'électricité	Chauffage et autres usages	Force motrice	Usages thermiques	Autres usages (yc électrolyse)
			<b>Consommation par usage de chaque secteur NCE</b>						
Autres Industries Agro-Alimentaires	NCE 14		37,0	0,0	4,0	3,0	310,0	39,0	12,0
Sidérurgie	NCE 16		68,0	0,0	0,0	4,0	1058,0	151,0	58,0
Métallurgie des non-ferreux	NCE 18		29,0	0,0	0,0	2,0	158,0	33,0	221,0
Production de minéraux divers	NCE 19		16,0	0,0	2,0	2,0	227,0	0,0	0,0
Les ciments, plâtres et chaux	NCE 20		230,0	0,0	0,0	0,0	302,0	7,0	3,0
Industrie du verre	NCE 22		88,0	0,0	2,0	7,0	275,0	51,0	12,0
Fabrication d'engrais	NCE 23		16,0	0,0	0,0	1,0	45,0	49,0	47,0
Autres de la chimie minérale	NCE 24		578,0	0,0	51,0	34,0	2705,0	476,0	475,0
Construction électrique et électronique	NCE 31		1,0	0,0	0,0	3,0	257,0	80,0	24,0
Industrie du papier-carton	NCE 35		44,0	0,0	134,0	1,0	315,0	9,0	0,0
		<b>TOTAL</b>	<b>1107,0</b>	<b>0,0</b>	<b>193,0</b>	<b>57,0</b>	<b>5652,0</b>	<b>895,0</b>	<b>852,0</b>
			<b>1357,0</b>				<b>7399,0</b>		
			<b>Potentiel MdE par usage de chaque secteur NCE</b>						
Autres Industries Agro-Alimentaires	NCE 14		3,1	0,0	0,0	0,0	21,8	2,1	0,0
Sidérurgie	NCE 16		2,9	0,0	0,0	0,0	58,5	8,9	0,0
Métallurgie des non-ferreux	NCE 18		2,8	0,0	0,0	0,0	10,8	7,3	4,5
Production de minéraux divers	NCE 19		0,8	0,0	0,0	0,0	14,5	0,0	0,0
Les ciments, plâtres et chaux	NCE 20		22,7	0,0	0,0	0,0	36,6	1,5	0,2
Industrie du verre	NCE 22		11,0	0,0	0,0	0,7	27,6	3,9	0,3
Fabrication d'engrais	NCE 23		1,6	0,0	0,0	0,0	2,5	1,2	1,2
Autres de la chimie minérale	NCE 24		55,6	0,0	0,0	0,0	223,7	7,7	26,0
Construction électrique et électronique	NCE 31		0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	11,8	0,0
Industrie du papier-carton	NCE 35		14,7	0,0	0,0	0,0	37,2	0,0	0,0
		<b>TOTAL</b>	<b>115,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,7</b>	<b>452,2</b>	<b>44,5</b>	<b>32,1</b>
			<b>116,1</b>				<b>528,8</b>		

	Potentiel d'économie de 15 à 30 ktep ou GWh
	Potentiel d'économie de 30 à 100 ktep ou GWh
	Potentiel d'économie supérieur à 100 ktep ou GWh

NB : la ligne NCE 24 regroupe également NC25 et 26 (voir page 27)

		(*) 1 Tep élec = 11628 kWh ou 1GWh = 86 tep élec						
		combustibles en ktep				électricité en GWh*		
		Fabrication (fours, séchoirs, ...)	Matières premières	Production d'électricité	Chauffage et autres usages	Force motrice	Usages thermiques	Autres usages (yc électrolyse)
		<b>Contribution de l'usage par secteur au potentiel global de MdE</b>						
NCE	14	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	4,1%	0,4%	0,0%
NCE	16	2,5%	0,0%	0,0%	0,0%	11,1%	1,7%	0,0%
NCE	18	2,4%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%	1,4%	0,8%
NCE	19	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	2,7%	0,0%	0,0%
NCE	20	19,6%	0,0%	0,0%	0,0%	6,9%	0,3%	0,0%
NCE	22	9,5%	0,0%	0,0%	0,6%	5,2%	0,7%	0,1%
NCE	23	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,2%	0,2%
NCE	24	47,9%	0,0%	0,0%	0,0%	42,3%	1,5%	4,9%
NCE	31	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,6%	2,2%	0,0%
NCE	35	12,6%	0,0%	0,0%	0,0%	7,0%	0,0%	0,0%
sous total		99,4%	0,0%	0,0%	0,6%	85,5%	8,4%	6,1%
TOTAL		100,0%				100,0%		
		<b>% de MdE sur la consommation par usage de chaque secteur NCE</b>						
NCE	14	8,4%		0,0%	0,0%	7,0%	5,4%	0,0%
NCE	16	4,3%			0,0%	5,5%	5,9%	0,0%
NCE	18	9,8%			1,9%	6,9%	22,2%	2,0%
NCE	19	4,8%		0,0%	0,0%	6,4%		
NCE	20	9,9%				12,1%	21,3%	5,5%
NCE	22	12,5%		0,0%	10,0%	10,0%	7,7%	2,5%
NCE	23	9,8%			0,0%	5,5%	2,5%	2,5%
NCE	24	9,6%		0,0%	0,0%	8,3%	1,6%	5,5%
NCE	31	0,0%			0,0%	7,4%	14,7%	0,0%
NCE	35	33,4%		0,0%	0,0%	11,8%	0,0%	

	Potentiel d'économie de 4 à 8 %
	Potentiel d'économie de 8 à 20 %
	Potentiel d'économie supérieur à 20 %

NB : la ligne NCE 24 regroupe également NC25 et 26 (voir page 27)

