



## Air comprimé

Jean Timmermans, Laborelec

Février 2007

<b>1</b>	<b><i>Introduction</i></b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b><i>Aspects techniques liés à l'air comprimé</i></b> .....	<b>4</b>
2.1	Production de l'air comprimé .....	4
2.2	Gestion de la variation de la demande .....	5
<b>3</b>	<b><i>Techniques d'économie d'énergie</i></b> .....	<b>7</b>
3.1	Système de contrôle global.....	7
3.2	Amélioration de la consommation spécifique grâce à des variateurs de vitesse .....	8
3.3	Amélioration des rendements de production par réduction des températures d'admission .....	9
3.4	Distribution économique de l'air comprimé.....	9
3.5	Améliorer la performance du système en utilisant des sècheurs d'air .....	10
3.6	L'utilisation optimisée de l'air comprimé permet d'économiser beaucoup d'énergie .....	10
3.7	Les fuites coûtent très chères mais peuvent être réduites.....	11
3.8	La réduction de la pression de sortie permet de fortes économies.....	12
3.9	Des systèmes de récupération de chaleur peuvent être amortis en deux ans .....	13
<b>4</b>	<b><i>Conclusions</i></b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b><i>Références et bibliographies</i></b> .....	<b>14</b>

### *European Copper Institute*



L'European Copper Institute est une joint venture Européenne entre les principaux producteurs de cuivre mondiaux et les fabricants Européens de demi-produits. Créé en 1996, l'ECI assure la promotion du cuivre en Europe avec un réseau de 11 centres de développement basés en Allemagne, au Benelux, en Espagne, en France, en Grèce, en Hongrie, en Italie, en Pologne, au Royaume Uni, en Scandinavie et en Russie. L'ECI poursuit les efforts initialement engagés par le Copper Products Development Association, créé en 1959, et de l'INCRA (International Copper Research Association) créé en 1961.

### *Centre d'Information du Cuivre, Laiton & Alliages et Copper benelux*



Ce sont les organisations professionnelles des producteurs et des transformateurs de cuivre chargées de promouvoir les applications du cuivre et de ses alliages sur les marchés français et du Benelux. Financés par les producteurs de cuivre du monde entier et par les sociétés fabricants de demi-produits, le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux mettent en oeuvre des programmes de développement sur leurs marchés respectifs en coordination avec les structures professionnelles internationales de leurs mandants : International Copper Association au niveau mondial, European Copper Institute au niveau Européen. Ils ont pour vocation de produire et de diffuser l'information technique relative au cuivre et à ses alliages, de faire connaître les meilleures méthodes de mise en oeuvre des produits dans chacun de leur domaine d'emploi et d'en promouvoir l'utilisation dans les grands secteurs d'application. Le Centre d'Information du Cuivre et Copper benelux sont les coordinateurs respectivement pour la France et le Benelux du programme européen Leonardo relatif à la formation en matière de «Power Quality».

### *Remerciements*

Ce projet a été mis en oeuvre avec le soutien de la Communauté Européenne et l'International Copper Association Ltd.

### *Avertissement*

Le contenu de ce projet ne reflète pas nécessairement la position de la Communauté Européenne. De même, il n'implique aucune responsabilité de la part de la Communauté Européenne. L'European Copper Institute, le Centre d'information du Cuivre et Copper benelux déclinent toutes responsabilités pour toutes conséquences directes ou indirectes ou les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation du contenu ou de l'incapacité à utiliser les informations et les données de ce guide.

## 1 Introduction

Les technologies liées à l'air comprimé sont bien connues et très répandues dans de nombreuses applications industrielles, notamment pour les procédés d'extrusion, de peinture au pistolet, ou encore de moulage par extrusion-soufflage, mais aussi pour des process plus génériques tels que la production de vide, la manutention, et les applications de contrôle et de transport.

Malheureusement, l'acheminement et la distribution de l'air comprimé au client final sont des opérations très coûteuses, qui demandent d'avoir recours à des équipements chers, gourmands en énergie électrique, et nécessitant beaucoup de maintenance.

Le tableau ci-dessous représente les différentes composantes du coût total de l'air comprimé :

Prix Net:

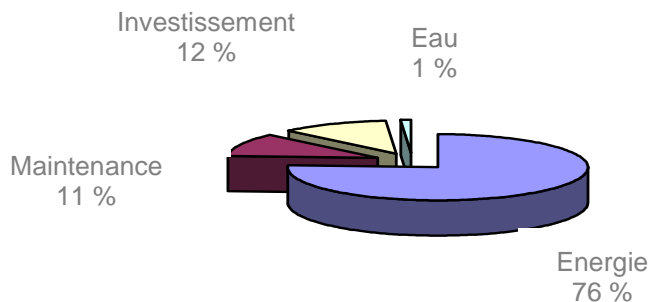
Production :	4,45 ... 8,90 € / kNm <sup>3</sup>
Séchage :	0,45 ... 1,60 € / kNm <sup>3</sup>
Investissement :	0,75 ... 1,00 € / kNm <sup>3</sup>
Maintenance :	0,60 ... 1,00 € / kNm <sup>3</sup>

Coûts supplémentaires :

Distribution	0,25 ... 0,75 € / kNm <sup>3</sup>
Pertes	0,75 ... 2,25 € / kNm <sup>3</sup>

Coût Total : 7,25 ... 15,50 € / kNm<sup>3</sup>

La consommation d'énergie représente entre 60 et 90% du coût total de la production, et donc une part beaucoup plus importante que celle des coûts d'investissement et de maintenance.



**Figure 1 : Répartition des coûts pour la production d'air comprimé**

En règle générale, les coûts énergétiques d'un système à air comprimé représentent entre 10 et 15% de la totalité de la facture électrique du consommateur industriel. Ce guide d'application est un recueil des solutions techniques et organisationnelles qui permettent d'augmenter le rendement énergétique du système dans son ensemble. L'implantation de ce type de mesure peut engendrer des économies allant jusqu'à 25% des coûts électriques liés aux systèmes à air comprimé.

## 2 Aspects techniques liés à l'air comprimé

### 2.1 Production de l'air comprimé

3 principaux types de compresseurs sont utilisés pour la production d'air comprimé :

- Compresseurs à piston
- Compresseurs rotatifs à vis
- Compresseurs centrifuges

Les compresseurs à piston sont des compresseurs volumétriques comportant un ou plusieurs pistons se déplaçant linéairement et alternativement dans le (ou les) cylindre, augmentant ainsi la pression de l'air en réduisant son volume. Les volumes d'air sont successivement admis dans le (ou les) cylindre hermétiquement fermé. Ce type de compresseur est disponible en étape unique ou multi étapes selon le niveau de pression requis. Les compresseurs à piston ont un rendement élevé (75%) mais nécessitent beaucoup de maintenance (valves des pistons).

Les compresseurs à vis, également dénommés hélico-compresseurs, appartiennent aussi à la catégorie des compresseurs volumétriques. Les compresseurs à vis les plus répandus sont les compresseurs dits « birotor », composés d'un rotor hélicoïdal mâle et d'un rotor femelle. L'air est comprimé dans le volume entre les deux rotors.

Tout compresseur à vis est caractérisé par un taux de compression propre mais son fonctionnement ne sera optimal que lorsque ce taux sera le plus proche possible du taux de compression de l'installation frigorifique dans laquelle il est inséré, c'est-à-dire du rapport de la pression de condensation à la pression d'évaporation.

Du fait de l'absence de valves, la maintenance sur ce type de compresseur est moins importante. De plus, ces unités sont refroidies par huile (associés à des systèmes de refroidissement de l'huile par air ou par eau) ; l'huile faisant aussi office de lubrifiant mécanique. Le rendement de ce type de compresseur est de 71% environ.

Il existe aussi des compresseurs à vis sans huile conçus avec des volumes d'air séparés permettant d'éviter la présence d'huile dans la chambre de compression. L'air comprimé ainsi produit ne contient aucune trace d'huile. Le rendement de ce type de compresseurs est de 73%.

Les compresseurs centrifuges sont des compresseurs dynamiques qui transforment l'énergie cinétique des pâles en un flux d'air essentiellement radial dans les aubes et les diffuseurs.

Ces compresseurs sont destinés à des capacités de production plus importantes du fait de l'apport continu en air. Leur rendement est proche de 75%.

## 2.2 Gestion de la variation de la demande

Les besoins en air comprimé d'une usine changent de façon permanente. Des systèmes de contrôle permettent d'adapter en temps réel la fourniture d'air comprimé avec la demande du système. Ces systèmes de contrôle constituent l'un des facteurs les plus déterminant dans le rendement énergétique du système.

Le système de contrôle le plus classique est de type charge/décharge.

La pression est mesurée de façon permanente, et le système de contrôle commande la décharge du compresseur lorsque la pression de décharge (pression mesurée en sortie du compresseur) est atteinte. De même, lorsque la pression mesurée en sortie atteint la valeur basse programmée, le système commande la charge du compresseur pour en augmenter la pression de sortie.

Comme le moteur tourne de façon permanente, un compresseur à vis consomme à vide entre 15 et 35% de la puissance à pleine charge, alors qu'aucun travail n'est fourni. Lorsque la demande est volatile, les passages en charge et en décharge sont nombreux, il en résulte une consommation pendant les périodes de non-charge supérieure ou égale à 40%.

Lors du passage d'une situation de charge à une situation d'absence de charge, la puissance minimale n'est pas instantanément atteinte (inertie du système). Les transitions rapides de charge et de non charge engendrent ainsi une consommation moyenne de non charge plus élevée.

Le stockage peut être une solution de contrôle de la variabilité de la demande. Des réservoirs d'air comprimé reçoivent le surplus de production d'air comprimé et peuvent le restituer afin de minimiser les baisses de pressions dans le système. Cette réserve d'air comprimé permet d'assurer la production grâce à des compresseurs plus petits. De plus, le régime de fonctionnement des petits compresseurs est plus constant que celui de compresseurs plus gros, et permettent ainsi de minimiser l'énergie consommée.

### Fonctionnement avec plusieurs compresseurs

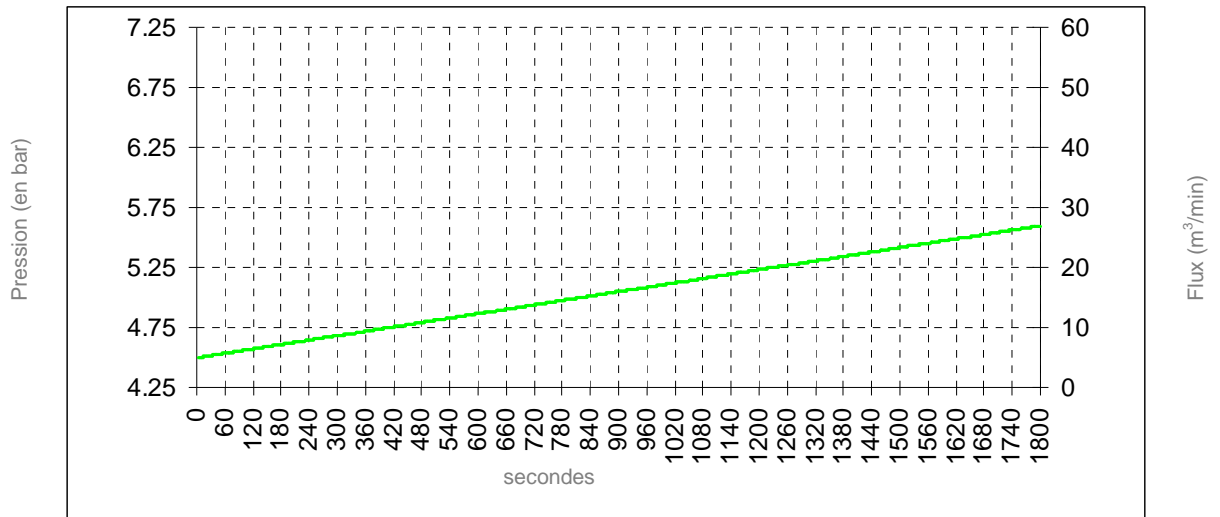
Lorsque la demande en air comprimé varie entre un niveau haut et un niveau bas, le temps de décharge peut être relativement long. Ce temps de décharge, et la consommation inutile d'énergie qui en résulte, peut être diminué en fonctionnant avec plusieurs compresseurs de capacités nominales inférieures. Les compresseurs sont successivement mis sous tension et hors tension en fonction du besoin.

Pour un fonctionnement avec plusieurs compresseurs, la pression d'activation du compresseur assurant la charge de base doit être légèrement supérieure à la pression d'activation des compresseurs d'appoints.

L'économie d'énergie est assurée par la mise hors tension après un fonctionnement à vide de plus de 5 minutes (fonction « automatique » ou « sommeil » disponible sur la plupart des compresseurs).

La simulation suivante illustre un fonctionnement avec plusieurs compresseurs en cascade :

Partant d'une hypothèse de demande en air comprimé augmentant de façon linéaire (profil de consommation variant de 5 à 27 Nm<sup>3</sup>/min) telle que représentée ci-après :

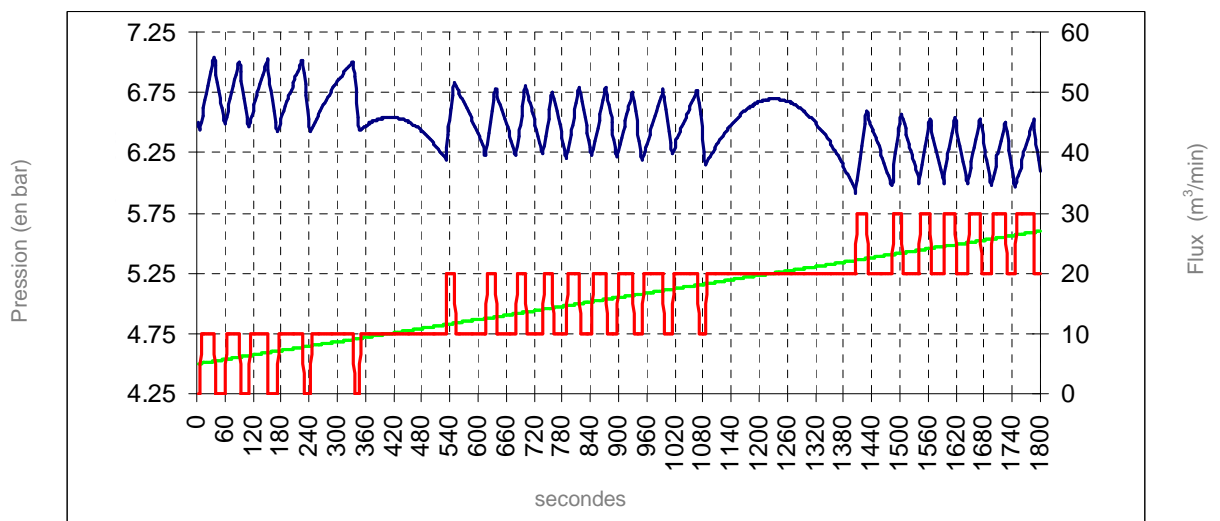


**Figure 2 : profil de consommation**

3 compresseurs de même capacité nominale (10 Nm<sup>3</sup>/min) travaillent en régime charge/décharge afin de fournir les besoins en air comprimé. Les compresseurs sont installés en cascade tel que :

Compresseurs	Pression de charge (pBasse)	Pression de décharge (pHaute)
Comp. 1	6,5 bar	7 bar
Comp. 2	6,25 bar	6,75 bar
Comp. 3	6 bar	6,5 bar

Lorsque nous simulons les flux de production (courbe du bas) et la pression résultante (courbe du haut), nous obtenons les résultats suivants :



**Figure 3 : pression et flux de production de l'air comprimé (1)**

Les très fortes variations de la pression observées sur la simulation sont dues aux cascades successives des points de pression d'activation des compresseurs. Les périodes de non charge sont assez élevées ce qui résulte en des consommations moyennes spécifiques des compresseurs élevées ( $113 \text{ Wh/Nm}^3$ ).

### 3 Techniques d'économie d'énergie

#### 3.1 Système de contrôle global

Comme nous l'avons vu dans l'exemple précédent, un système de contrôle global permet de coordonner toutes les fonctions nécessaires à l'optimisation de la production d'air comprimé. Les systèmes de contrôle global sont interfaçables avec toutes les marques et types de compresseurs, et peuvent même assurer le fonctionnement de compresseurs satellites situés dans des locaux ou bâtiments annexes.

Des systèmes de contrôle global bien configurés permettent d'assurer un fonctionnement optimisé dans toutes les situations de charge, et donc de minimiser les consommations énergétiques.

Un ensemble de compresseurs fonctionnant en cascade (succession de périodes de charge et de non-charge), associé à un système de contrôle global, permet de sélectionner les compresseurs à mettre en charge en fonction de la demande, tout en mettant hors tension les compresseurs à vide.

La simulation des pressions et des flux de production d'air comprimé générés par un système tel que décrit ci-dessus est représentée sur la figure suivante :

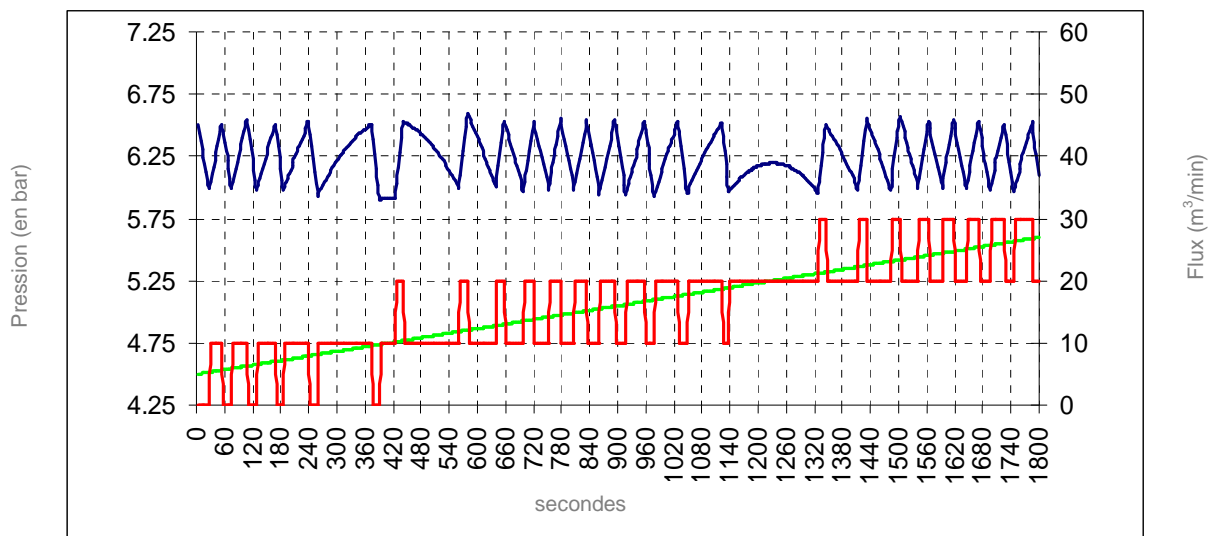


Figure 4 : pression de l'air et flux de production (2)

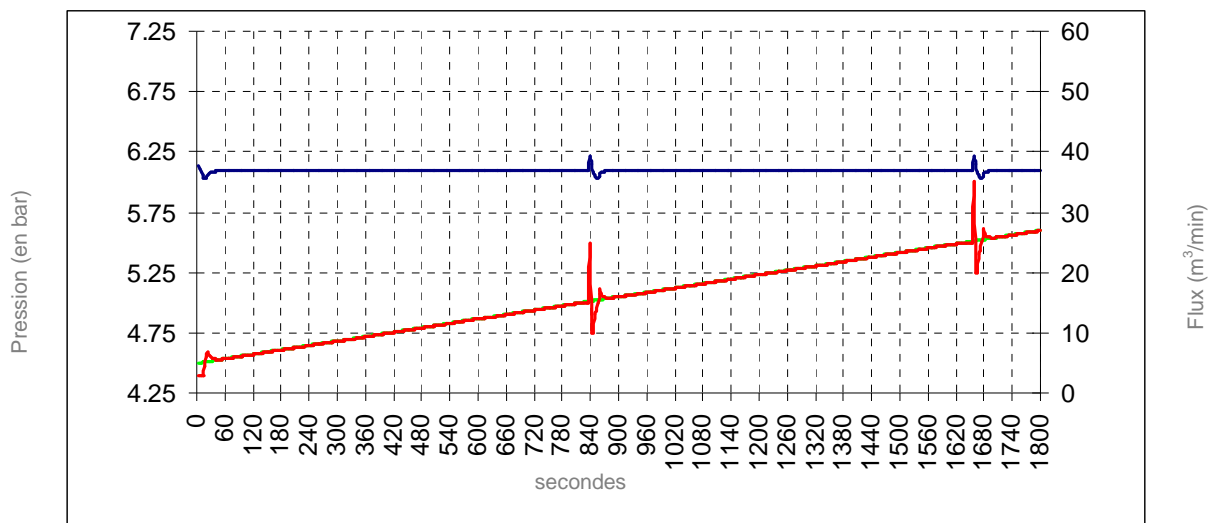
La pression de décharge a une variabilité plus faible due au fait que le système de pression est plus stable. La consommation est moins importante que pour les exemples précédents (111 Wh/Nm<sup>3</sup>).

### 3.2 Amélioration de la consommation spécifique grâce à des variateurs de vitesse

La variation de vitesse, assurée par des variateurs (convertisseurs de fréquence AC) intégrés, est peut être le moyen le plus efficace de contrôle de la capacité des compresseurs. La vitesse des compresseurs est régulée en fonction de la pression de décharge. Grâce à ce type de contrôle, la pression de décharge peut être maintenue dans une fourchette très précise. La pression de décharge moyenne est alors plus basse, et la consommation lors des périodes de non-charge est fortement diminuée. Des mesures effectuées par Laborelec montrent que des économies d'énergie significatives peuvent être réalisées et sont d'autant plus importantes que la variabilité du profil de la demande augmente (des économies consommation de 40% ne sont pas exceptionnelles).

L'intégration d'un compresseur à variation de vitesse dans un système de contrôle global permet de réduire d'autant plus les consommations spécifiques des compresseurs d'air en améliorant la stabilité du système de pression et en évitant le fonctionnement à vide des compresseurs.

La simulation de ce type de fonctionnement est représentée sur la figure ci-dessous :



**Figure 5 : pression de l'air et flux de production (3)**

Dans ce cas, un compresseur muni d'un variateur de vitesse d'une capacité nominale de 15 Nm<sup>3</sup>/min est ajouté au système précédent. La consommation spécifique mesurée est réduite à 103 Wh/Nm<sup>3</sup>.

Afin d'obtenir les meilleurs résultats, il est important que la capacité du compresseur à variation de vitesse soit plus importante que la variation de flux. Dans le cas contraire, on observerait l'apparition de trous de régulation dus au fait que pour certaines demandes de

flux, la régulation du système n'a pas de réponse appropriée entraînant la décharge du compresseur.

### 3.3 Amélioration des rendements de production par réduction des températures d'admission

La puissance nécessaire à la compression d'un gaz parfait obéit à la loi de la thermodynamique ci-dessous :

$$P_{ad} = M \times R \times \frac{n}{(n-1)} \times T_1 \times \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

avec :

$$\frac{(n-1)}{n} = \frac{(\gamma - 1)}{\gamma} \times \frac{1}{\eta_{ad}}$$

$P_{ad}$  : Puissance mécanique

$M$  : Masse du flux d'air

$R$  : Constante des gaz parfaits

$\gamma$  : 1,4

$\eta_{ad}$  : Rendement adiabatique

$T_1$  : température d'admission de l'air

$p_1$  : pression d'admission de l'air

$p_2$  : pression de sortie de l'air

Ce modèle thermodynamique montre que plus la température d'admission de l'air est élevée et plus la puissance mécanique nécessaire au fonctionnement du compresseur est élevée. La consommation énergétique augmente de 0,3% par degré celsius. Les installations correctement conçues s'approvisionnent en air extérieur au nord du bâtiment (dans l'hémisphère nord) et le plus éloigné possible des sources de chaleur (conduits de vapeur, brûleurs, fours, ...), ce qui permet de réduire les températures d'admission de 10°C et d'économiser près de 3,5% d'énergie.

### 3.4 Distribution économique de l'air comprimé

La distribution de l'air comprimé à l'application se fait grâce à réseau de tubes. Tout type d'obstruction, de diminution de section, de rugosité des parois dans le réseau de tubes engendrera une résistance au flux d'air et générera une baisse de pression, résultant en des pertes d'énergie. On observe que les pertes dans un réseau fermé sont moins importantes que dans un réseau en antenne.

Des pertes sont aussi générées par l'ensemble des équipements annexes (mais le plus souvent indispensable) du compresseur, tels que les systèmes de filtration de particules de saleté ou d'eau, ainsi que les séparateurs air/lubrifiants, les refroidisseurs, les séparateurs d'humidité ou encore les sècheurs qui sont souvent intégrés au système.

Ces composants nécessitent une maintenance et un nettoyage réguliers afin de réduire les pertes en pression de sortie. Une réduction de 0,05 bars sur les pertes en sortie permet d'économiser 1% d'énergie. La conception du système joue aussi un rôle particulièrement important. Le cheminement des conduits d'admission d'air doit être le plus court possible, avec de larges sections et le moins possible de virages aigus pour éviter les baisses de pression. Les systèmes de lubrification et de régulation doivent avoir les meilleures spécifications pour des performances accrues. Ces composants doivent être dimensionnés sur la base du flux réel et non du flux moyen.

### **3.5 Améliorer la performance du système en utilisant des sécheurs d'air**

La performance des systèmes à air comprimé peut être améliorée en utilisant des sécheurs d'air. Mais les coûts d'investissements et de fonctionnement (incluant l'énergie) sont tels que le séchage ne doit être mis en place que pour atteindre un fonctionnement amélioré des équipements et de l'utilisation finale (retour sur investissement).

Le choix d'un sécheur pour compresseur à air doit être basé sur la pression de point de rosée optimal et sur les coûts estimés de l'opération.

Les sécheurs/refroidisseurs sont les plus communs et permettent d'obtenir une pression de point de rosée à 2°C, ce qui est acceptable pour la plupart des applications.

Les sécheurs d'air par absorption, grâce à un produit dessiccateur servant à refroidir l'air à la sortie d'un compresseur et à le débarrasser de son excès d'humidité, sont les plus efficaces pour enlever l'humidité de l'air. La plupart de ces sécheurs sont dimensionnés pour une pression de point de rosée à -20°C. La régénération du produit dessiccateur est obtenue soit par air purgé, soit par chaleur.

Il existe aussi des sécheurs dits « régénératifs » qui utilisent la chaleur générée par fonctionnement du compresseur pour réaliser la fonction de dessiccation.

### **3.6 L'utilisation optimisée de l'air comprimé permet d'économiser beaucoup d'énergie**

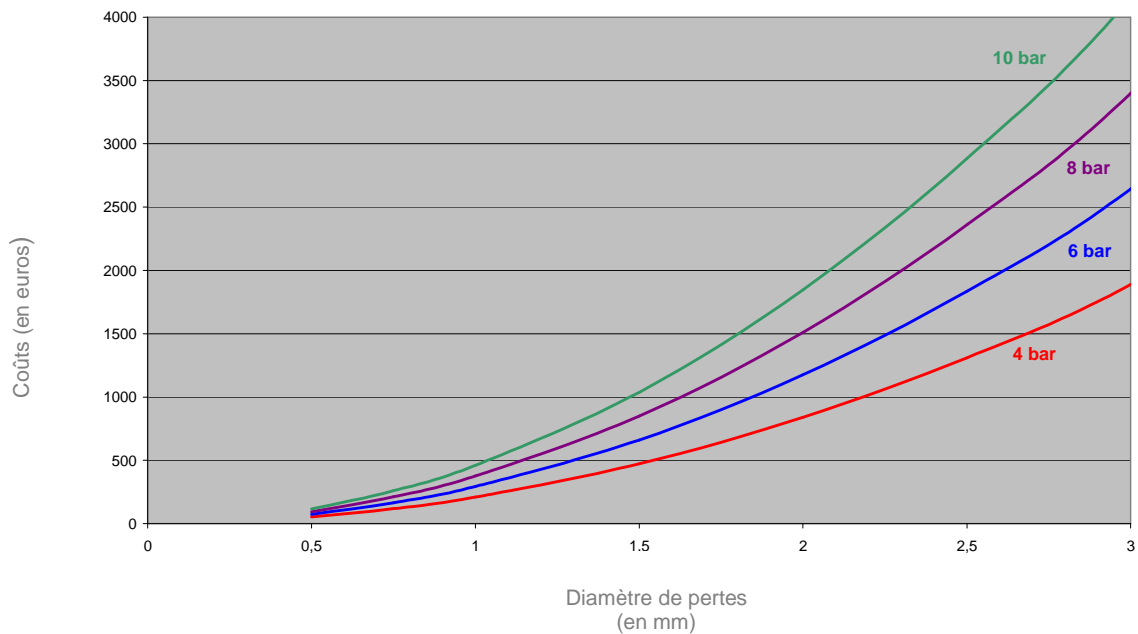
Comme nous l'avons démontré ci-dessus, la production d'air comprimé est très gourmande en énergie. En effet, seulement 10% de l'énergie totale consommée est utilisée à la production d'air comprimé, soit 90% de l'énergie convertie en chaleur. Toutefois, l'air comprimé est une forme propre de l'énergie, facilement disponible et facile à utiliser. Il en résulte que l'air comprimé est très souvent utilisé pour des applications pour lesquelles d'autres formes d'énergie seraient plus économiques. Il est de la responsabilité de l'utilisateur final de considérer toutes les formes d'énergie avant de se tourner vers l'air comprimé.

Il existe de nombreux exemples d'utilisation non appropriée de l'air comprimé : le soufflage, l'aspiration, la génération de vide ou encore le refroidissement. Des alternatives peuvent être trouvées en utilisant d'autres technologies telles que les ventilateurs ou les pompes à vide.

En règle générale, nous pouvons considérer que l'outillage électrique consomme 90% d'énergie en moins que son équivalent pneumatique.

### 3.7 Les fuites coûtent très chères mais peuvent être réduites

Les fuites ne peuvent pas être complètement supprimées dans un réseau industriel d'air comprimé et représentent souvent une part non négligeable du surplus de consommation énergétique. Une installation non correctement maintenue aura très probablement un taux de fuites supérieur à 20% à une installation équivalente bien entretenue. Détection et réparations appropriées permettent de réduire les pertes à moins de 10% de la sortie du compresseur.



**Figure 6 : Coût annuel des pertes d'air comprimé**

Une méthode d'estimation des fuites consiste à déterminer les temps moyens de charge et de décharge du compresseur lorsque le système est à vide. La mise en charge correspondant à la compensation des pertes, il suffit alors de diviser les temps de charge par le temps total du cycle pour calculer une estimation.

Les fuites peuvent être générées par n'importe quelle partie du système, on retiendra toutefois que les plus gros générateurs sont :

- les tubes et raccords,
- les régulateurs de pression,
- les séparateurs de condensats, vannes à obturateur,
- les équipements non opérationnels.

Les fuites ne peuvent être détectées à l'œil nu et sont difficilement perceptibles à l'oreille. Leur localisation doit donc se faire grâce à un matériel adapté. Le détecteur à ultrason est

une méthode simple se basant sur la détection des sifflements hautes fréquences émis par les fuites d'air comprimé dans la tuyauterie.

Une autre méthode de recherche et de réparation de pertes est celle décrite dans la méthode « marquage des fuites ». Les fuites identifiées sont repérées par deux marqueurs dont l'un reste à proximité de la fuite et l'autre est mis à disposition du département maintenance et contient tous les renseignements concernant la fuite : localisation, taille, description.

### 3.8 La réduction de la pression de sortie permet de fortes économies

La production d'air comprimé à une pression plus élevée que nécessaire est une perte d'énergie. Le modèle thermodynamique présenté précédemment montre que pour une quantité équivalente d'air comprimé, la puissance appelée par le compresseur sera d'autant plus importante que la pression d'air comprimé en sortie est élevée.

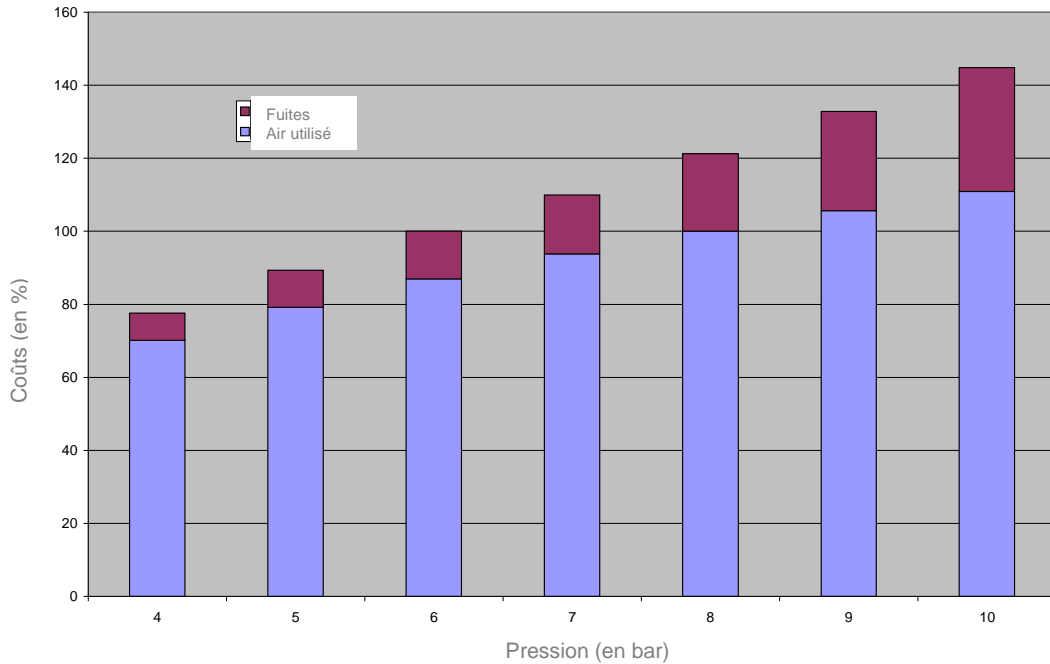
Or, il n'est pas rare que toute l'installation soit dimensionnée par rapport à la pression la plus élevée, même si celle-ci ne correspond qu'à une petite partie de la consommation en air comprimé. Dans de nombreux cas, il est plus avantageux de séparer le réseau en un réseau basse pression et un réseau haute pression, chacun alimenté par un compresseur différent.

Les économies d'énergie potentielles peuvent être substantielles. Prenons pour exemple un magasin dont les besoins en air comprimé sont de  $10\text{m}^3/\text{s}$  à une pression de 11 bars et de  $10\text{m}^3/\text{s}$  à une pression de 6 bars. Distribuer  $20\text{m}^3/\text{s}$  à la pression de 11 bars consommerait 10162kW, alors que pour un système séparé, la consommation du réseau haute pression serait de 5081kW et celle du réseau basse pression de 3720kW, soit un total de 8801kW et donc une économie d'énergie de 13,4%.

Par ailleurs, le réseau de tuyauterie est souvent responsable d'une forte chute de pression entre la sortie compresseur et l'application finale. Cette chute de pression doit donc être compensée par une augmentation de la pression de sortie du compresseur. On estime qu'un réseau de tuyauterie correctement dimensionné ne devrait pas générer de chute de pression de plus de 10% de la pression de sortie du compresseur.

De plus, l'augmentation de la pression de sortie du compresseur sollicite plus les équipements annexes (filtres, régulations...), générant ainsi d'autant plus de pertes !

Le graphique suivant montre l'impact de la réduction de la pression de sortie sur la consommation spécifique du compresseur d'air.



**Figure 7 : Influence du système de pression sur les coûts associés au compresseur d'air**

### 3.9 Des systèmes de récupération de chaleur peuvent être amortis en deux ans

Une part importante de la puissance mécanique est convertie en chaleur. Une grande partie de cette chaleur peut être récupérée sous la forme d'eau chaude ou d'air chaud.

L'air chaud peut être utilisé pour les besoins suivants :

- préchauffage de l'air combustible des chaudières,
- chauffage direct des pièces avoisinantes,
- air chaud pour des applications de séchage.

La chaleur récupérée sous forme d'eau chaude peut produire de la chaleur à 90°C dans un circuit fermé. Les applications possibles sont :

- chauffage d'eau sanitaire via un échangeur thermique,
- chauffage central d'immeuble,
- utilisation directe d'eau de refroidissement pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

La quantité de chaleur récupérée dépend de la demande en air comprimé et du type de contrôle effectué. Il est évident que des compresseurs munis de variateurs de vitesse ont un potentiel de récupération plus faible qu'un contrôle de type charge/décharge.

## 4 Conclusions

Améliorer et maintenir les systèmes à air comprimé à des niveaux de performances élevées demandent non seulement de s'intéresser aux composants individuels, mais aussi d'analyser l'approvisionnement et la demande du système et toutes leurs interactions.

Cette approche système nécessite d'établir des plans d'action dans le but d'améliorer les rendements énergétiques à toutes les étapes :

- analyser des besoins en air comprimé,
- éviter l'utilisation inutile d'air comprimé,
- réduire les pertes d'air du système,
- analyser les données de fonctionnement,
- adapter le régime de fonctionnement du système de production,
- vérifier les opportunités technologiques au niveau des composants,
- vérifier les opportunités au niveau du système de contrôle,
- lorsqu'une optimisation est implantée, continuer à surveiller les performances,
- surveiller et améliorer le système de façon permanente.

## 5 Références et bibliographies

- [1] E. M. Talbott, Compressed Air Systems (second edition), The Fairmont press Inc., Georgia (USA), 1992.
- [2] J.P. Rollins (Compressed Air and Gas Institute), Compressed Air and Gas Handbook, Prentice Hall PTR, New Jersey (USA), 1989..
- [3] <http://www.energystar.gov/>, accessed in December 2006