

Feuilles d'info

Air comprimé

- I Applications
- II Thermodynamique
- III Technique de mesure
- IV Production
- V Commande et régulation
- VI Traitement
- VII Distribution
- VIII Optimisation
- IX Outils pneumatiques
- X Fuites d'air comprimé



Feuille d'info Applications

Propriétés de l'air comprimé

L'air comprimé est une forme d'énergie qui offre sans concurrence un large panel d'applications et qui combine vitesse, force, précision et une utilisation sans danger. Ces propriétés rendent l'air comprimé irremplaçable dans la mise en œuvre de nombreuses applications. Mais les applications les plus intéressantes sont celles dans lesquelles l'air comprimé entre en concurrence avec d'autres formes d'énergie comme l'électricité ou l'hydraulique. Il est nécessaire d'effectuer une analyse besoins-coûts précise dans un souci de rentabilité. Les coûts relativement élevés dus à la production d'air comprimé sont compensés par des éléments comme vitesse de travail, fiabilité, frais de maintenance, ... A cela Il faut ajouter qu'aujourd'hui les moyens techniques existent. Les applications utilisant l'air comprimé se sont énormément perfectionnées ces dernières années au regard u rendement énergétique.

L'étendue des applications nécessitant l'air comprimé est particulièrement significative si l'on considère certains modèles-types.

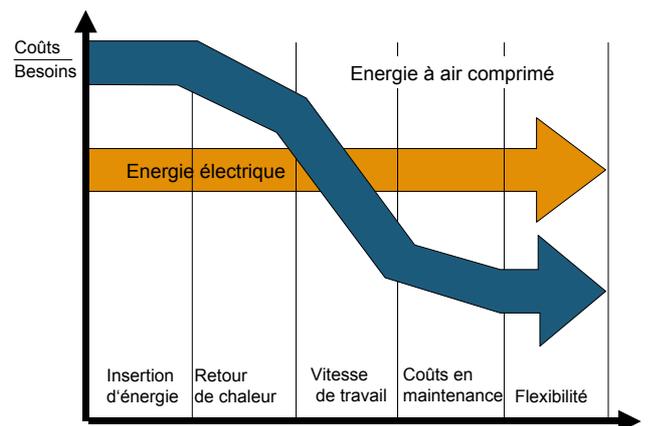


Figure 1 : Comparatif coûts-besoins par rapport à des paramètres importants

Travail et énergie de l'air

Depuis plusieurs années, la branche pneumatique, branche la plus importante de l'air comprimé, affiche un taux de croissance à 2 chiffres. De plus en plus de brevets, dont l'objet concerne vérins, moteurs et distributeurs, sont déposés. Rapidité, précision, flexibilité et miniaturisation des composants ont un rôle important dans ce domaine.



Figure 2 : Automatisation à l'aide d'air comprimé

Le niveau d'automatisation essentiel pour la compétitivité des entreprises suisse serait impossible sans air comprimé.

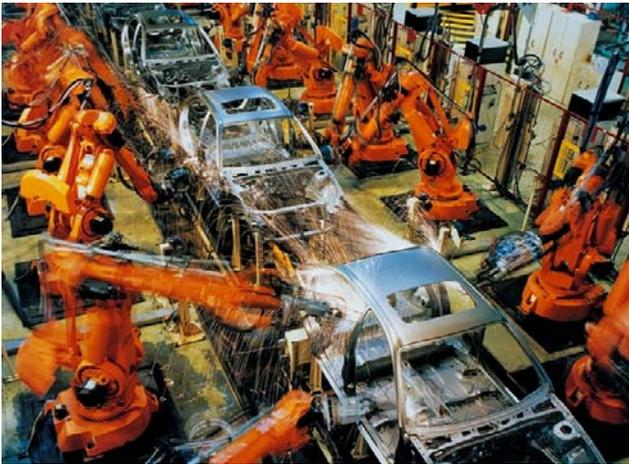


Figure 3 : Robots actionnés à l'air comprimé

Ainsi une foule de produits, dont on ne peut plus se passer dans la vie d'aujourd'hui, ne pourraient pas être produits sans air comprimé.



Figure 4 : Bouteilles en plastique

Une autre propriété assez importante des appareils à air comprimé est leur possibilité d'utilisation en milieu explosif.

Par exemple, lors d'une opération de laquage, l'utilisation d'un appareil de levage à air comprimé, nous assure de n'obtenir aucune étincelle.



Figure 5 : Epreuve d'essai d'explosion

Mettre sur un pied d'égalité air comprimé avec uniquement des applications dépassées, ne correspond pas à la réalité. Par exemple le nettoyage des établis en utilisant l'air comprimé n'est plus à l'ordre du jour. Dans de nombreux cas cela serait fait à la main. Toutefois si l'air comprimé était encore utilisé dans un tel cas, il serait alors recommandé d'utiliser des gicleurs optimisés, qui effectuent un nettoyage maximal pour une utilisation d'air minimale.



Figure 6 : Métier à tisser à gicleur d'air

"L'air actif"

On parle d'air actif lorsque l'air comprimé est utilisé comme "agent de transport". Le transport de matières (en poudre, en granulé,...), le va et vient des navettes sur les métiers à tisser, le guidage par air ou le tout nouveau et redécouvert transport pneumatique sont des exemples d'applications actuelles.

Sur l'exemple du guidage par air, on peut montrer certains avantages de l'air comprimé. Les canons à laser des satellites géostationnaires doivent être exactement positionnés et guidés automatiquement. Afin d'atteindre la précision nécessaire de $\pm 1/3600$ degré, le système optique est guidé par air. Le guidage par air permet une totale douceur et une fluidité de mouvements des télescopes pour une haute précision de mesure et prévient des vibrations. Sans air comprimé, de tels procédés modernes de géodésie seraient quasi impossibles.

L'air pour des procédés

On parle de procédés à air lorsque l'air comprimé est directement mis en oeuvre. Les opérations d'assèchement, l'aération des bassins d'épuration ou l'introduction d'air dans les processus de fermentation sont des domaines d'applications courants.



Figure 7 : Fermentation et embouteillage

Le vide industriel

La technologie de vide industriel et de l'air comprimé sont sensiblement identiques. Diverses applications peuvent être réalisées soit avec de l'air comprimé soit avec du vide. Avec un vide industriel on peut emballer, sécher, étirer, aspirer, soulever, positionner etc.... De plus en plus de domaines reconnaissent leurs préférences pour des applications à vide.

L'industrie électronique peut être citée en tant qu'exemple, puisque la production y dépend d'une précision absolue avec un rendement maximum. En accord avec une production efficace, de très petites pompes à vide extrêmement précises assurent la manipulation minutieuse des circuits imprimés et leur implantation sur les cartes dans de bonnes conditions. L'air, aspiré de façon régulière et régulée, attrape la puce et la place exactement à la bonne place sur le circuit imprimé.

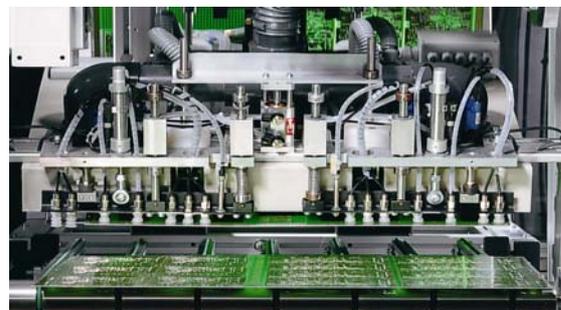


Figure 8 : Production de circuits imprimés

Domaines de pression

Des applications différentes demandent des pressions différentes. Comprimer le plus possible pour ensuite détendre l'air est une opération rarement économiquement acceptable. C'est pourquoi il est nécessaire de classer les domaines de pression en différentes catégories et de les introduire dans les systèmes de production adéquats.

• Applications à vide et à souffleries

Ce domaine couvre les vides simples et primaires jusqu'au domaines de surpression d'environ 1 bar. Ces niveaux de pression peuvent être économiquement réalisés avec l'utilisation de pompes à vide à soupapes rotatives, de pompes à vide à canal latéral.

Il est certes possible de générer un vide industriel au moyen de l'air comprimé, mais dans la plupart des cas cela pourrait être considéré comme un mésusage. Des pompes à vides spécifiques fonctionnent avec une fraction de l'apport d'énergie nécessaire à la compression de l'air.

• Applications à basse pression

Dans un domaine de surpression compris entre 2 et 2,5 bar on parle d'application à basse pression. La plupart du temps on introduira ici des compresseurs à mouvement rotatif, mais également des turbo-compresseurs pour des quantités d'air plus importantes.

En particulier pour les applications à basse pression qui sont bien loin des 6 bar classiques, il faut néanmoins remarquer que des appareils sont mis en relation avec le « réseau 7 bar ». A l'endroit voulu, la pression est réduite de manière appropriée. Dans de tels cas il faut impérativement vérifier si l'introduction séparée d'air à basse pression ne pourrait pas augmenter la rentabilité.

- **Applications à pression standard**

Pour des applications à pression standard qui se situent au delà du réseau 7 bar, une large gamme de compresseurs est à disposition. Les exigences en terme de quantité et de qualité de l'air déterminent quel arrangement de compresseurs est le plus approprié économiquement.

- **Applications à haute pression**

Des compresseurs à déplacement oscillatoire, comme les compresseurs à pistons ou à membranes ont leur domaine d'application dans le domaine du type deux à trois bar. Pour de grandes quantités d'air, les turbocompresseurs radiaux peuvent aussi faire l'affaire. Il n'est pas rare de constater que quelques récepteurs à haute pression peuvent être alimentés très économiquement via le réseau standard d'air comprimé, par des compresseurs auxiliaires décentralisés exclusivement destinés aux consommateurs de haute pression.

Pression correctrice

Chaque récepteur d'air comprimé nécessite une certaine pression pour pouvoir fournir sa performance

optimale. Par exemple, des outils utilisés avec 5 bar au lieu des 6 nécessaires, il y a une baisse de la capacité de charge de 25 % alors que la vitesse à vide ne baisse que de 5 %. Des contrôles réguliers sont ainsi indispensables pour voir si la pression est acceptable, spécialement dans des conditions de pleine charge. Les pertes de pression dues à une section de conduction insuffisante ou à un rétrécissement ne peuvent être remarquées que si l'air comprimé est en train de circuler. Des pressions excessives n'apportent aucun gain en performance. Elles n'augmentent que l'utilisation d'air comprimé et l'usure des appareils.

La qualité de l'air comprimé

L'insuffisance d'air comprimé dans un processus peut provenir d'autres phénomènes. Des particules, l'humidité et l'huile endommagent les équipements et augmentent leur fragilité. Une usure augmentée et des pertes en performance sont toujours des problèmes de faible importance par rapport à un arrêt complet de la production. Mais même si les équipements à air comprimé fonctionnent sans problème, des impuretés dues à une insuffisance dans le traitement de l'air peuvent s'introduire dans le système et conduire à la perte complète de la production.

Conclusion

Celui qui choisit soigneusement ses applications, réglant le système à air comprimé en conséquence et contrôlant les paramètres significatifs que sont rentabilité et sécurité du travail, s'est assurément décidé pour un fournisseur d'énergie moderne et efficace.

La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Prematic, Servatech, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

Cette feuille d'informations a été réalisée dans le cadre de la campagne "Druckluft Effizient" qui a eu lieu entre 2001 et 2004 en Allemagne. Cette campagne a été menée par la *Deutsche Energie Agentur (dena)*, le *Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung* (Fraunhofer ISI, conduite générale du projet), le *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)* avec le soutien du *Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi)* et des entreprises (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe/Allemagne, Juin 2006



air comprimé efficient – une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch



Feuille d'info

Thermodynamique

L'air comprimé est utilisé dans l'industrie en tant qu'agent de transmission d'énergie au même titre que le courant électrique. Il est par ailleurs souvent à observer quelle est la dépense nécessaire pour la production, le traitement et la distribution de l'air comprimé. Pour une meilleure compréhension, les principales relations physiques seront ici indiquées et expliquées ainsi que leurs typiques mauvaises interprétations.

Composition

Par air comprimé on entend air ambiant comprimé. **L'air ambiant sec est composé d'azote (78 vol-%) et d'oxygène (21 vol-%)** ainsi qu'une petite partie d'autres gaz (1 vol-%) (Figure 1).

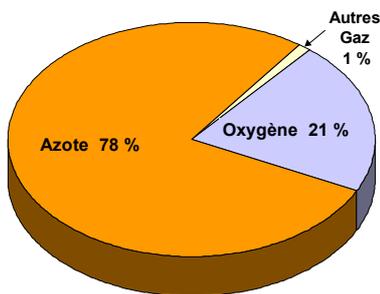


Figure 1 : Composition de l'air ambiant sec

L'air ambiant contient également de l'eau sous forme de vapeur dont la quantité varie fortement en fonction de la température, du volume et des conditions géographiques. A cause de cela la fraction d'eau contenue dans l'air est généralement considérée séparément des autres éléments constitutifs de l'air.

La pression

Le paramètre habituel de l'air comprimé est la pression, généralement exprimée en ba ou en Pa. (1 bar = 10^5 Pa = 10^5 N/m²)

La **pression absolue** (p_a) est celle donnée par rapport au point de pression nulle. Elle est nécessaire à toute considération théorique tant dans les techniques du vide et d'aspiration que dans celles de soufflerie et de ventilation.

La **surpression** (p_u , p_e) est la grandeur déterminée par la mesure et est définie par rapport à la pression atmosphérique. Pression absolue et surpression sont exprimées dans la même unité. C'est pourquoi lors de données de pression il faut continuellement surveiller s'il s'agit de pression absolue ou de surpression. En pratique on parle en général de surpression, car les appareils de mesure indiquent la surpression, c'est-à-dire la différence entre la pression absolue et la pression atmosphérique (cf. Figure 2). Pour éviter des erreurs il peut être judicieux d'indiquer les données de pression.

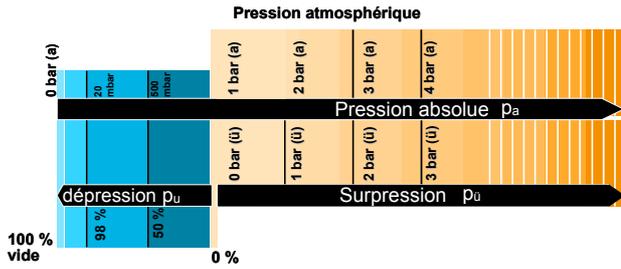


Figure 2 : Surpression, pression absolue et dépression

La teneur en eau

La quantité maximale de vapeur d'eau contenue dans l'air est décrite par la pression de vapeur saturante p_s . Cette quantité dépend seulement de la température. Lorsque la température augmente, cette capacité d'absorption augmente également (Figure 3).

C'est pourquoi il existe constamment le danger d'une condensation de la vapeur lors d'un refroidissement.

La condensation peut aussi avoir lieu lorsque la pression de vapeur saturante est franchie comme lors d'une compression. L'air humide comprimé à une température constante entraîne une hausse de la pression partielle de la vapeur d'eau correspondant à la montée de la pression totale. Si au cours de la compression la pression de vapeur saturante (à cette température) est franchie, la condensation a alors lieu. Comme l'air quitte le compresseur à une température élevée, la condensation se forme à cause du refroidissement de l'air comprimé, lorsque sa température devient inférieure à la température de rosée.

Après cela la condensation se forme continuellement et il y aura donc aussi de la condensation dans le

sous-refroidisseur. A cet endroit se produit 60 à 80% de la condensation. Une autre épuration ciblée et l'assèchement de l'air comprimé ont lieu dans un appareil spécialisé ou bien involontairement dans les conduites.

Soit de l'air avec un taux d'humidité relative de 60% et à une température de 15 °C. Comprimé à une pression de 7 bar et immédiatement refroidi à 25 °C, il se formera par condensation 30 g d'eau par mètre cube d'air comprimé.

De plus amples informations sur le traitement de l'air comprimé sont disponibles sur la feuille d'information intitulée « Traitement ».

Le besoin de puissance pour la compression

Pour la description thermodynamique du changement d'état de l'air (compression, détente, refroidissement), celui ci peut être considéré comme un gaz parfait compte tenu du domaine de pression et de la température atteinte lors de la compression. L'équation des gaz parfaits décrit la relation entre la pression (p), le volume (V) et la température (T) d'un gaz :

$$p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T$$

en introduisant le quantité de matière n

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

où $R = 8,3144 \text{ J}/(\text{mol K})$ est la constante universelle des gaz parfaits.

On constate que le produit de la pression par le volume est proportionnel à la température. Les changements d'état rencontrés peuvent être décrits à l'aide de cette relation.

Les deux plus importants types de changement d'état sont la transformation isotherme (variation de la pression à température constante) et l'adiabatique réversible ou transformation isentropique (variation de la pression sans ajout et sans apport de chaleur).

Pour le changement d'état isotherme, la relation suivante est valable :

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

avec R et $T = \text{const.}$

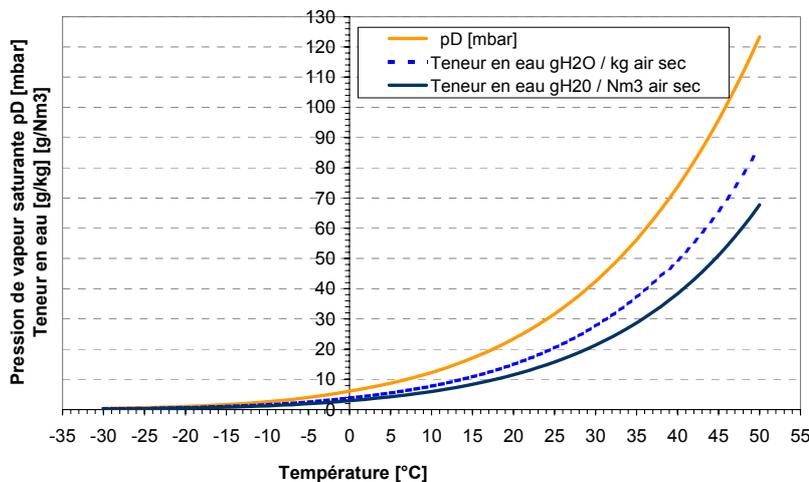


Figure 3 : Pression de vapeur saturante et teneur en eau de l'air

Le travail spécifique pour une compression est calculé à partir du travail dû à la variation de volume :

$$w_{12} = -\int_1^2 p \cdot dv = -p_1 \cdot v_1 \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}$$

Pour le changement d'état **adiabatique** :

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

avec $R = \text{const.}$

Pour la température on a :

$$\frac{T_1}{T_2} = \left[\frac{v_2}{v_1} \right]^{(\kappa-1)} = \left[\frac{p_1}{p_2} \right]^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

et il s'en suit pour le travail spécifique :

$$w_{1,2} = \int_1^2 v \cdot dp = \int_1^2 c_p \cdot dT = c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Le coefficient isentropique de compression γ est égal à 1,4 pour l'air à l'état comprimé.

Le besoin énergétique théorique pour la compression de l'air dépend du comportement de l'opération de compression ainsi que du type de changement d'état. Pendant que la compression isotherme conduit à un travail spécifique moindre, la compression réelle (compression polytropique) s'approche de la compression adiabatique réversible.

Dans la pratique ces valeurs optimales ne sont pas atteintes car le processus de compression est affecté de pertes. De bonnes installations se remarquent d'elles mêmes grâce à leur puissance spécifique qui n'est qu'environ 45 % supérieure à celle de la compression adiabatique idéale (Figure 4). Il faut remarquer que lorsque la taille de l'installation augmente, la puissance spécifique diminue. Les données spécifiques sur le rendement prennent en compte toutes les pertes électriques et mécaniques lors de la production d'air comprimé. Elles ne sont pas directement comparables avec le rendement donné par les caractéristiques affichées sur le moteur du compresseur. La puissance spécifique fournie par une installation de production d'air comprimé doit se situer dans le bon domaine. La limite inférieure du bon domaine est donnée par la compression adiabatique représentant le cas idéal et n'atteignant donc pas la puissance réellement utilisée.

De plus amples informations concernant la production de l'air comprimé sont disponibles sur la feuille d'information intitulée « Production ».

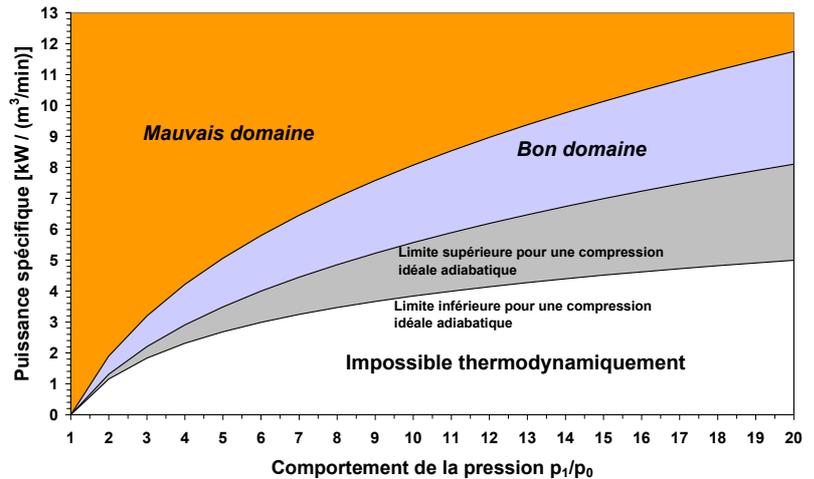


Figure 4 : Le besoin de rendement spécifique pour la production d'air comprimé

Les pertes d'air comprimé

Après sa production et son traitement, l'air comprimé doit être réparti dans un réseau suivant les besoins des différents récepteurs. En plus des pertes de pression ayant lieu lors du traitement de l'air comprimé, d'autres pertes de pression ont lieu dans la distribution de l'air comprimé à cause de la rugosité des conduites et des flexibles. Cela représente aussi une perte d'énergie. Les pertes par frottement sont beaucoup plus importantes pour un écoulement turbulent que pour un écoulement laminaire.

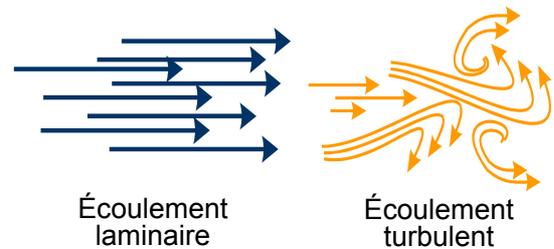


Figure 5 : Écoulement laminaire et écoulement turbulent

Rendre un écoulement laminaire dans la tuyauterie dépend généralement de la vitesse d'écoulement de l'air. L'influence des petites variations de rugosité peut être négligée. Ce qu'il faut prendre en compte, c'est les différences de section lors des connexions entre tuyaux. Un large courant turbulent prédomine lors de la distribution de l'air dans le système de répartition. Le degré de turbulence de l'écoulement augmente avec l'accroissement de la vitesse du fluide. Plus la vitesse est importante, plus les pertes le seront également.

Pour les fluides incompressibles, la vitesse de l'écoulement est donnée par le comportement du débit volumique de fluide et de la section de l'écoulement.

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

Une petite section du tuyau entraînera une grande vitesse pour le fluide et donc des pertes de pression importante dans la tuyauterie. Pour limiter ces pertes, la vitesse du fluide devrait être inférieure à 6 m/s lors de la répartition de l'air.

De plus amples informations sur la distribution de l'air comprimé sont disponibles sur la feuille d'information intitulée « Distribution ».

La mesure de l'air comprimé

Bien que l'air comprimé soit coûteux, ni sa consommation, ni les besoins énergétiques relatifs à sa production et à son traitement sont généralement pris en compte. La connaissance de ces informations représente un élément clé pour l'optimisation d'une installation. Des informations complémentaires sont disponibles à ce sujet dans la feuille d'information : « Technique de mesure ».

Dans la série de feuilles d'informations vous trouverez d'autres informations relatives à l'air comprimé mais ces articles sont purement informatifs et ne peuvent en aucun cas remplacer l'expertise d'un spécialiste.

La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Prematic, Servatechnik, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

Cette feuille d'informations a été réalisée dans le cadre de la campagne "Druckluft Effizient" qui a eu lieu entre 2001 et 2004 en Allemagne. Cette campagne a été menée par la *Deutsche Energie Agentur (dena)*, le *Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung* (Fraunhofer ISI, conduite générale du projet), le *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)* avec le soutien du *Bundesministerium für Wirtschaft (BMW)* et des entreprises (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe/Allemagne, Juin 2006



air comprimé efficient – une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch



Feuille d'info

Technique de mesure

Dans le domaine de l'air comprimé, la technique de mesure de pression fournit les informations nécessaires à la bonne appréciation des niveaux des différences de pression dans le réseau, au contrôle et aux réglages des compresseurs. Avant le dimensionnement ou l'optimisation d'une installation, il faut procéder à la mesure des débits. Lorsqu'en particulier une bonne qualité d'air comprimé est exigée, des mesures appropriées doivent assurer sa qualité ainsi que l'optimisation de son traitement.

Mesure de pression ou mesure de différence de pression

La mesure de pression dans les conditions courantes sert avant tout au contrôle et au réglage des compresseurs ou des stations de compression ainsi qu'à l'appréciation des systèmes d'air comprimé. La mesure de différences de pression est aussi introduite ici afin de surveiller l'état et la rentabilité des systèmes de traitement et de filtration d'air.

Contacteurs à membrane

Dans de nombreux compresseurs ou stations de compression actuels, les contacteurs à membrane enregistrent la pression et transmettent la valeur de la mesure sous forme d'un signal électrique.

Attention :

- L'âge des pièces mécaniques porte préjudice à la précision.

- Les contacteurs à membrane nécessitent une importante différence de pression pour la restitution des données et sont encombrants.

Manomètre à contacts

Jusque dans les années 90, les manomètres à contacts étaient considérés comme standard pour la mesure de différence de pression. Ils étaient utilisés pour la surveillance, la filtration ou la régulation des stations de compression.

Attention :

- Afin d'atteindre une précision suffisante, l'intervalle de mesure optimal doit se situer non loin des pressions mesurées.
- Les contacts électriques entraînent une mauvaise répétitivité ainsi que des réglages compliqués. Seulement quatre contacts maximum sont utilisables.

Capteur de pression électronique

Les systèmes de compression modernes doivent être contrôlés à partir de la mesure de pression de capteurs de pression électroniques qui transforment les valeurs de pression en signaux analogiques.

Attention :

- Un capteur de pression avec un signal de sortie compris entre 4 et 20 mA évite la rupture du câble.



suisse énergie

air comprimé efficient – une campagne de Suisse Énergie
www.air-comprime.ch

- Si les pressions maximales à mesurer s'approchent de la limite du domaine de mesure, la précision n'en sera que meilleure.
- Ces systèmes très robustes et très fiables se caractérisent par leur répétabilité ainsi que par leur construction compacte.

Mesure de débit volumique

La mesure de débits volumiques est utilisée afin de connaître la capacité des compresseurs ainsi que la consommation d'air totale d'une entreprise au vu de la consommation des installations de production locales.

Par ailleurs, il faut considérer que les données concernant les débits volumiques des compresseurs et des récepteurs sont exprimées à pression et température ambiante, mais la mesure est effectuée dans le système sous pression. Il est donc nécessaire de recalculer les valeurs mesurées pour les conditions ambiantes.

Afin d'obtenir un résultat absolument exact, on ne devrait pas seulement mesurer le débit volumique, la température et la pression de l'air comprimé, mais aussi la pression atmosphérique, la température ambiante et le taux d'humidité de l'air aspiré (Figure 1). Cela est indispensable au contrôle de la performance des compresseurs.

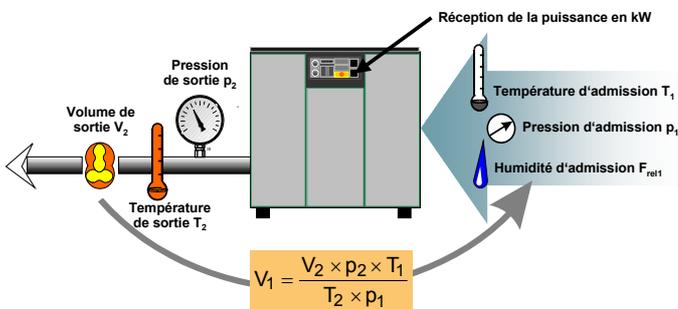


Figure 1 : Mesure du débit volumique entrant

Des mesures de débits volumiques pour un décompte interne à l'entreprise ou pour l'installation d'une station de compresseurs ne justifient pas néanmoins le coût des mesures parallèles de la température environnante, de l'humidité et de la pression atmosphérique. En revanche, le calcul final doit être basé sur les conditions moyennes de pression et de température sur les lieux de l'installation.

Compensation de pression et de température

La pression et la température sont rarement identiques et constantes dans un système d'air comprimé. Lors de la mesure d'un débit volumique il est nécessaire d'également relever la pression et la température ambiante, de façon à pouvoir plus tard calculer le débit exact en prenant en compte les conditions ambiantes. Cela est essentiel pour des mesures exactes.

Sans compensation de pression ou de température

Avec une mesure de débits volumiques sans mesure parallèle de pression ou de température et sans calcul ultérieur sur ces facteurs à un état détendu, il n'est pas possible de déterminer le débit volumique aux conditions actuelles de température et de pression. Autrement, si des fluctuations de pression et de température ont lieu pendant la phase de mesure, il en résulte des erreurs pour les calculs ultérieurs.

Mesure directe des débits volumique et massique

La mesure de pression dynamique rend possible la recherche du débit volumique avec une grande précision. Un Venturi peut être utilisé ou alternativement un capteur de pression dynamique (Figure 2).

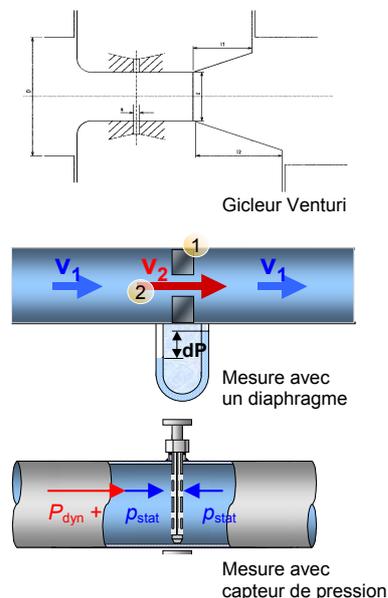


Figure 2 : Mesure de pression dynamique

Attention :

- Afin d'atteindre une résolution suffisante, le domaine de mesure optimal doit être situé à proximité du domaine de travail.
- Des points de contact électriques entraînent une mauvaise répétitivité ainsi que des réglages compliqués. Quatre contacts maximum sont utilisables.
- Les longueurs correctes des zones d'admission et de refoulement sont importantes, ainsi que l'introduction du dispositif de mesure dans le système de distribution et les données géométriques très précises des tuyaux.
- Attention aux risques de pollutions !
- Si le débit tombe en deçà des 10 % de la valeur mesurée maximale, cela conduit à une faible précision de mesure.

Mesure volumétrique

Les mesures volumétriques sont des mesures de très grande précision qui sont par exemple introduites afin de déterminer la capacité des compresseurs. Les appareils de mesure les plus importants sont les compteurs à double roue (ovale ou en huit) et les compteurs à turbine. Alors que le compteur à double roue devrait être introduit dans un domaine de mesure allant de 10 à 90 % de son débit volumique maximum, le compteur à turbine offre une grande précision dans des domaines de mesures encore plus bas.

Attention :

- Ces appareils de mesure doivent être continuellement surveillés et entretenus du fait de la complexité de la construction et des pièces mécaniques.
- Absence de stabilité dans le cas d'une surcharge (Danger lorsque le réseau est sous pressurisé).

Calorimétrie

Les anémomètres à fil chaud peuvent mesurer le débit volumique comme une fonction du débit massique de l'écoulement dans une canalisation à air comprimé, en se rapportant à la chaleur introduite dans le courant volumique (Figure 3).



Figure 3 : Mesure de débit volumique calorimétrique

Attention :

- Sans compensation de pression ou de température, les fluctuations autour de la température visée,

ainsi que l'humidité et les variations de pression ont une grande influence sur le résultat.

- La mesure du débit massique par la force de Coriolis.

Celle-ci est fondée sur l'utilisation de la génération contrôlée des forces de Coriolis. Ces forces sont générées lorsque se superposent des mouvements de translation (linéaires) et de rotation. L'intensité de la force dépend alors de la masse déplacée ainsi que de leur vitesse et de leur débit massique traversant (Figure 4).

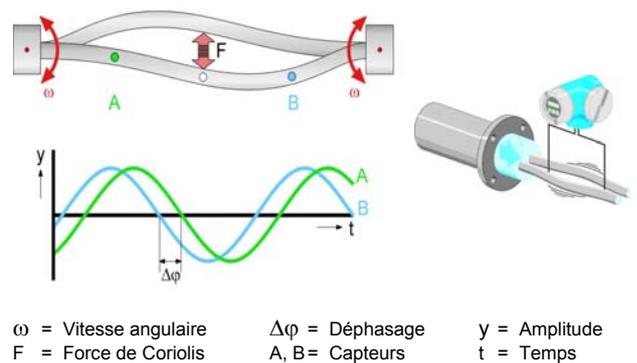


Figure 4 : Mesure du débit massique par Coriolis

Divers

En plus des méthodes traditionnelles de mesure de débits volumiques, il existe à présent quelques nouveaux systèmes de mesure.

Débitmètre à tourbillon de Karman ou à effet Vortex

La mesure de débits volumiques est basée sur le principe de la voie vibrante de Karman (Figure 5).

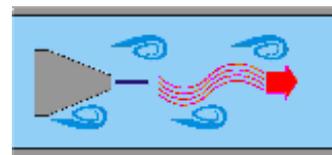


Figure 5 : Le tourbillon de Karman

Un corps exactement défini et fixé dans un système à air comprimé produit un tourbillon et des oscillations qui peuvent être enregistrées. Elles varient de manière analogue aux changements opérés dans le courant et du à l'introduction du corps.

Les propriétés qu'a ce procédé de mesure sont proches de celles qu'ont les systèmes de mesure de pression dynamique.

Attention :

- Des oscillations dues à la conception du système de canalisations peuvent influencer les résultats expérimentaux.

Mesure par ultrasons

Des appareils de mesure par ultrasons, comme ceux connus dans les techniques de traitement de l'eau et des gaz n'ont pas encore connu une telle expansion dans les systèmes à air comprimé (Figure 6).

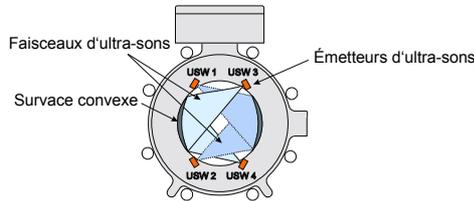


Figure 6 : Mesure de courant par ultrasons

Mesures indirectes

Alors que les mesures directes décrites précédemment peuvent être introduites localement ou centralement pour mesurer la consommation d'air comprimé dans les entreprises et pour déterminer les caractéristiques des compresseurs, les mesures indirectes à l'aide des compresseurs servent à déterminer la consommation d'air et les caractéristiques complètes des systèmes d'air comprimé.

Enregistrement analogique de la charge des compresseurs

Les compresseurs à régulation discontinue sont connectés à un enregistreur qui enregistre la charge totale, la non-charge et les « temps morts » des compresseurs (Figure 7).

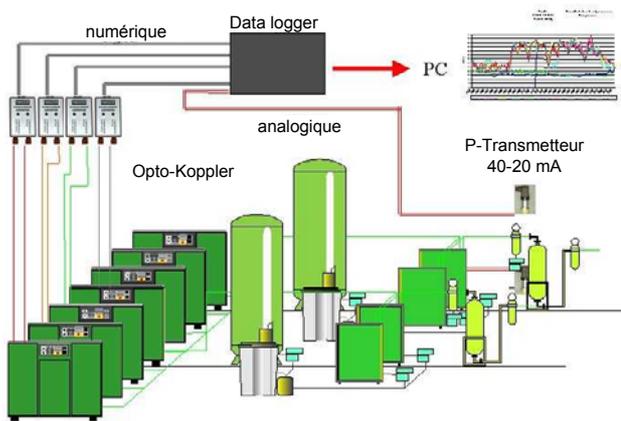


Figure 7 : Enregistrement analogique de la charge

Après l'acquisition de ces données sur ordinateur, les caractéristiques propres de chaque compresseur et la consommation totale d'air de l'entreprise peuvent être simulées.

Attention :

- L'avantage de ce procédé de mesure indirecte vis à vis des mesures directes réside dans le fait que non seulement les informations sur la consomma-

tion d'air comprimé peuvent être récoltées, mais qu'elle fournit également des données sur la charge et le comportement des compresseurs.

- Peu de dépenses en installation.
- L'intervalle de mesure minimum doit être d'une seconde afin d'enregistrer les pics de consommation.

Autres procédés

Des mesures simples sur la consommation d'air ou bien des mesures de charge des compresseurs peuvent aussi être déterminées par lecture en comptant le nombre total d'heures de fonctionnement en charge et en mesurant le temps nécessaire à vider l'accumulateur à charge d'air comprimé.

Attention :

- Demande une forte présence de personnel et est assez vague quant aux résultats.

Procédé de repérage des fuites en utilisant la mesure de pression

Au moyen d'un capteur de pression pouvant être aisément introduit dans les systèmes à air comprimé, la pression peut être mesurée et enregistrée sur une grande période par petits intervalles de mesure. Afin d'effectuer cette opération, le système ne nécessite aucune modification, un connecteur ou une connexion standard suffit pour cela.

Les courbes de pression sont ensuite traitées au moyen d'un procédé mathématique, afin que l'entrepreneur connaisse exactement pour chaque endroit mesuré, l'importance du nombre de fuites ainsi que celle de la capacité de charge totale (en %). Cela est réalisé en calculant les pertes et les gradients de pression qui donnent grâce à un algorithme mathématique une courbe idéale. La courbe idéale est comparée avec les courbes réellement mesurées (Figure 8).

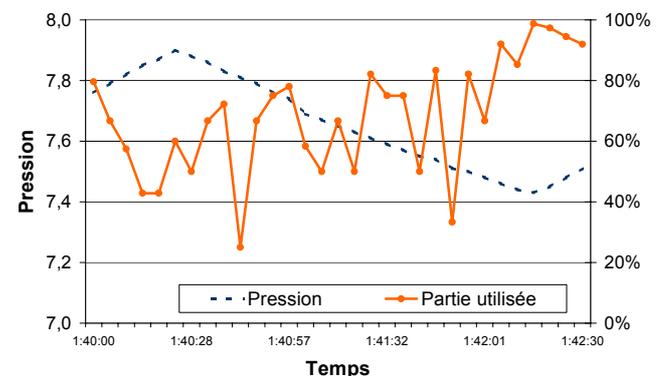


Figure 8 : Repérage des fuites par mesure en cours de fonctionnement

Les résultats sont les parts relatives de la capacité de charge ou alors des fuites à chaque point et à chaque instant. Si les débits traversant ou les temps de fonctionnement du compresseur sont enregistrés au même instant, les valeurs relatives peuvent être alors converties en pertes absolues.

Attention :

- L'avantage du procédé est qu'il permet de repérer les fuites en cours d'opération. Il est en particulier approprié pour les entreprises pour effectuer une production non interrompue (continue).

Repérage des fuites grâce à la vidange des réservoirs d'air comprimé

Un repérage des fuites possible et plus aisé consiste à utiliser les réservoirs d'air comprimé. Pour cela la pression dans le réservoir sera augmentée jusqu'à la pression maximum nécessaire au système et on mesure le temps nécessaire à une baisse de pression de 1 à 2 bar (Figure 9).

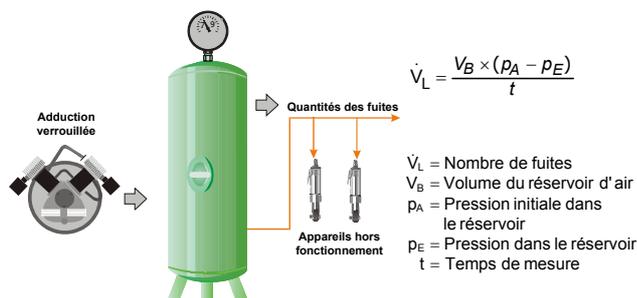


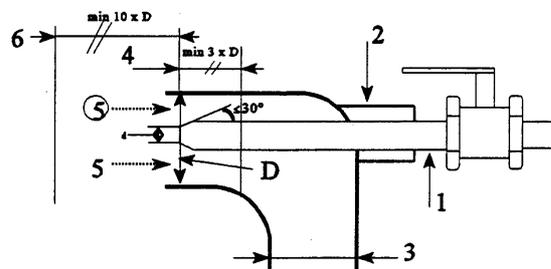
Figure 9 : Repérage des fuites par vidange du réservoir d'air comprimé

Mesures de qualité de l'air d'après ISO 8573

La façon de prendre des échantillons est particulièrement importante pour obtenir des mesures exactes sur la qualité de l'air.

Lorsque dans un tuyau domine un courant turbulent et en particulier lorsqu'il y a des effets de bord importants (turbulences dues aux bords du tuyaux),

l'échantillon doit être pris à un endroit où l'on puisse être sûr qu'il contient un mélange représentatif de tous les composants de l'air comprimé. Cela ne peut être réalisé qu'avec un échantillon appelé iso-cinétique (Figure 10).



1. Sonde échantillon dans le tuyaux principal
2. Bague permettant d'ajuster la sonde
3. Section « D » du tuyaux d'air comprimé
4. Profondeur min de vissage : « 3 x D »
- 5 Direction du flux
6. Longueur minimale de la zone d'admission = 10 x D

Figure 10 : Échantillon iso-cinétique

Pour chaque groupe de polluant – d'après les normes :

- ISO 8573-2 : teneur en aérosol huileux
- ISO 8573-3 : teneur en eau
- ISO 8573-4 : teneur en particules
- ISO 8575-5 : vapeur d'huile et teneur en hydrocarbure
- ISO 8573-6 : contamination par substances gazeuses
- ISO 8573-7 : contamination micro biologique

les normes décrivent les systèmes de mesures à mettre en oeuvre.

La qualité de l'air est classée sous la dénomination ISO 8573-1.

La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Prematic, Servatech, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

Cette feuille d'informations a été réalisée dans le cadre de la campagne "Druckluft Effizient" qui a eu lieu entre 2001 et 2004 en Allemagne. Cette campagne a été menée par la Deutsche Energie Agentur (dena), le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI, conduite générale du projet), le Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) avec le soutien du Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) et des entreprises (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).



Feuille d'info Production

Quels types de compresseurs?

Dans la pratique on trouve avant tout des compresseurs à piston, des compresseurs à vis et des turbocompresseurs. A cela il faut ajouter les compresseurs à membrane, à vanne glissante, à hélice, à dent et à pistons rotatifs.

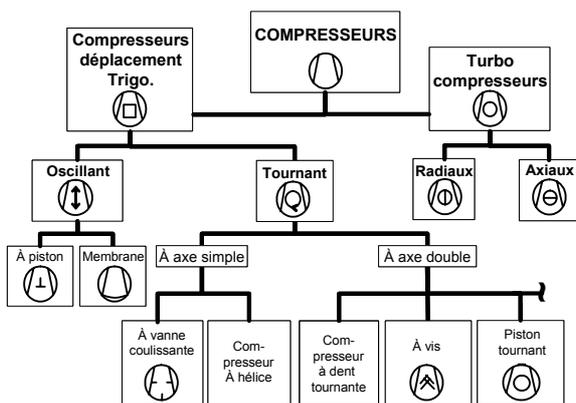


Figure 1 : Les différents types de compresseurs

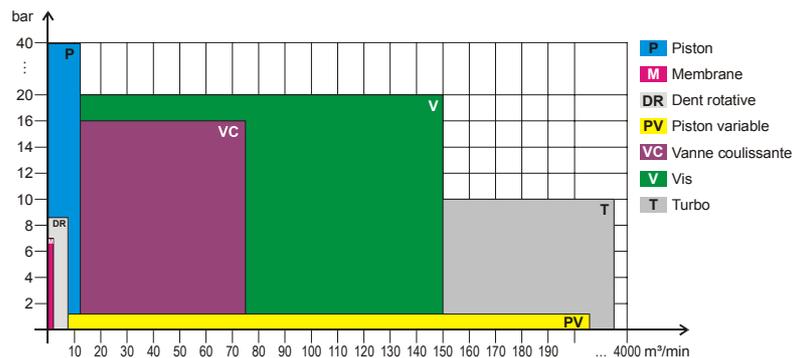


Figure 2 : Puissance potentielle des types de compression

Principe de la compression

Compresseurs à pistons

Les compresseurs à piston fonctionnent à partir du principe de refoulement. Lorsqu'il descend, le piston aspire l'air atmosphérique par la soupape d'admission. Au début de la phase de montée, cette soupape se ferme. L'air est expulsé par la soupape de refoulement. Les compresseurs à piston sont soit à cylindres (pouvant comprimer de grand volume) ou à paliers (pouvant atteindre des hautes pressions).



Figure 3 : Compresseur à piston

Compresseurs à vis

Les compresseurs à vis fonctionnent également à partir du principe de refoulement. Deux soupapes rotatives parallèles, mais avec des formes différentes, tournent en sens inverse dans un carter commun. Ces compresseurs sont utilisés pour des puissances supérieures à 1000 kW. Ils sont directement commandés par des engrenages ou des courroies.

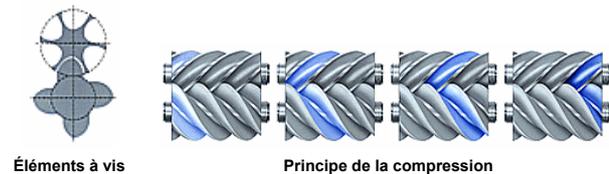


Figure 4 : Éléments à vis et principe de la compression

Les compresseurs à vis lubrifiés compriment jusqu'à 15 bar pour un compresseur à un palier et jusqu'à 20 bar pour un compresseur à deux paliers. Les compresseurs à vis fonctionnant sans huile vont jusqu'à 3 bar pour les compresseurs à un palier et jusqu'à 10,5 bar pour les compresseurs à deux paliers avec refroidissement intermédiaire. Afin d'éviter tout contact dans le fonctionnement sans huile, le rotor principal et le rotor secondaire sont entraînés par un mécanisme synchrone.

Turbocompresseurs

Les turbocompresseurs sont des compresseurs dynamiques, dans lesquels des roues à aubes accélèrent le gaz à comprimer.

Les aubes du diffuseur transforment l'énergie cinétique en énergie de pression. Les turbocompresseurs compriment sans huile et sont la plupart du temps utilisés pour de grandes quantités d'air. A un palier, ils compriment jusqu'à 2 bar, et jusqu'à 7 bar pour des compresseurs à deux paliers. Le nombre de palier de compression peut aller jusqu'à 20 afin d'aboutir à des pressions plus importantes.

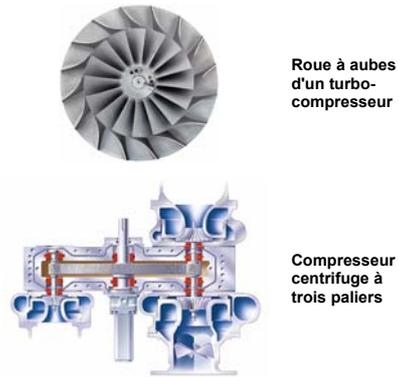


Figure 5 : Roue à aubes et compresseur centrifuge

Domaines de pression des compresseurs à vis

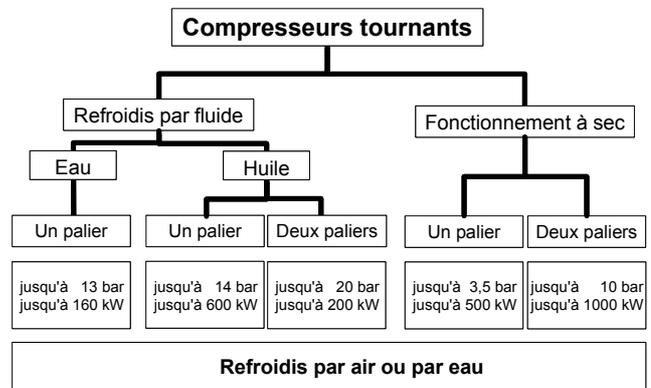


Figure 6 : Domaines d'utilisation des compresseurs à vis

Mesure de puissance ISO 1217 Annexe C

Les mesures de puissance pour les compresseurs à vis sont décrites d'après ISO 1217, annexe A. L'annexe B décrit les mesures de puissance des paliers de compression et l'annexe C s'applique pour l'installation globale des compresseurs à vis.

Débit volumique

Le débit volumique des compresseurs est mesuré, d'après la norme, à pression maximale au niveau de la sortie du système de compression et ramené ensuite aux conditions d'admission (température et pression).

Conditions d'admission :	
Température d'admission	+20 °C
Pression d'admission	1 bar
Humidité relative de l'air	0 %
Température du liquide de refroidissement (eau)	+20 °C

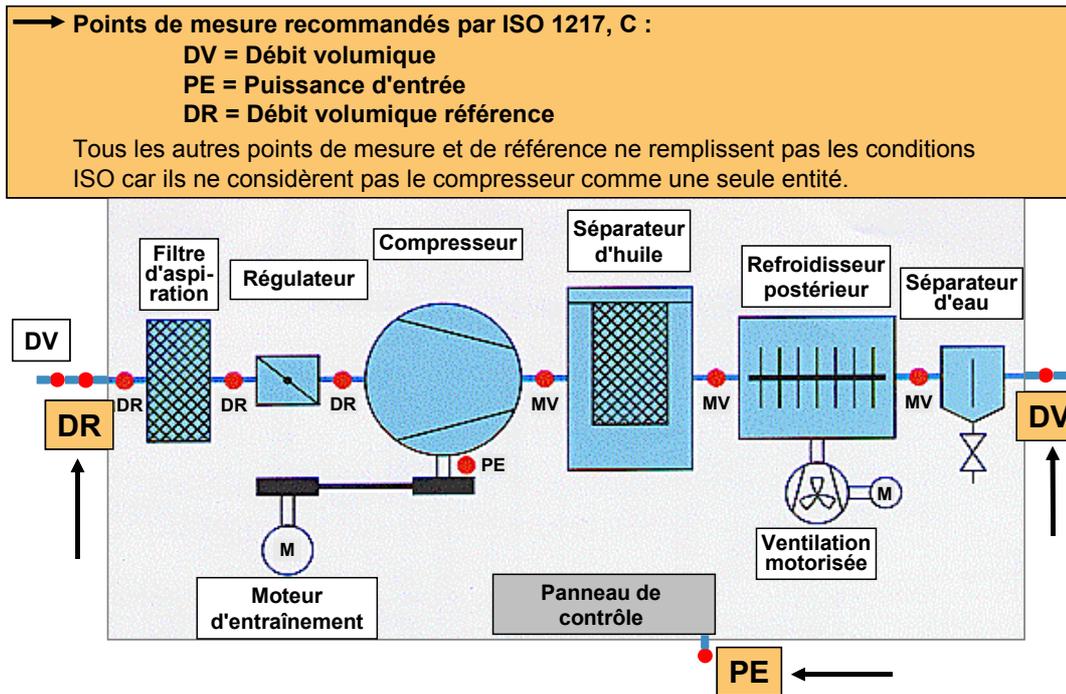


Figure 7 : Mesure de puissance d'après ISO 1217

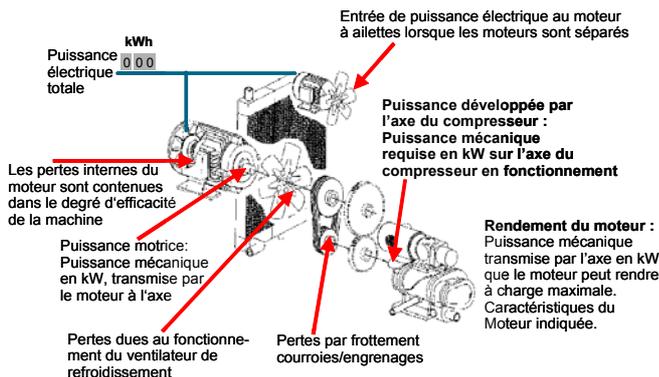


Figure 8 : Puissances et forces dans les compresseurs

Consommation de puissance

Il faut comprendre sous l'appellation consommation de puissance électrique la consommation globale de tous les moteurs électriques (les moteurs d'entraînement et les ventilateurs).

Besoin de puissance spécifique

Les normes relatives aux mesures de puissance, indiquent quelles sont les tolérances autorisées sur la puissance spécifique (consommation de puissance électrique divisée par quantité d'air produite).

ISO 1217 : 1996 (PN2 CPT)			
Débit volumique pour les conditions suivantes	Débit volumique	Puissance spécifique	Puissance à vide*)
moins de 0,5 m ³ /min	+/- 7 %	+/- 8 %	+/- 20 %
0,5 – 1,5 m ³ /min	+/- 6 %	+/- 7 %	+/- 20 %
1,5 – 15 m ³ /min	+/- 5 %	+/- 6 %	+/- 20 %
plus de 15 m ³ /min	+/- 4 %	+/- 5 %	+/- 20 %

Les tolérances ci-dessus contiennent les tolérances du compresseur d'après le constructeur, y compris celles mesurées pour les valeurs obtenues lors du contrôle
*) données éventuellement par le constructeur

Tableau 1 : Tolérances d'après ISO 1217

Locaux à compresseurs et associations de compresseurs (VDMA 4363)

La chaleur produite par la compression - ce qui représente la quasi-totalité de l'énergie que le compresseur tire du réseau électrique - doit être évacuée. Les températures autorisées dans le local à compresseurs sont fixées par la commission allemande VDMA, feuillet 4363. Elles se situent entre +5 °C et +40 °C. Si la température est trop faible, il risque d'y avoir un gel des organes de sécurité du compresseur. Si elle est trop importante, le problème peut alors provenir d'une surcontrainte des différents composants. En fonction des conditions environnantes, des compresseurs refroidis à l'air peuvent être introduits approchant une puissance de 250 kW. Si le refroidissement par air n'est pas envisageable (débit d'air trop faible), il faut alors envisager un refroidissement liquide. Un refroidissement par eau coûte 30% plus cher qu'un refroidissement par air.

Aération des chambres de compression

Convection forcée (avec un ventilateur, sans canal)

- Coûts d'investissement faibles
- Apport technique minimal
- Chauffage de la chambre automatique en hiver

Note:

- Seulement applicable dans les compresseurs de petite et de taille moyenne
- La température de la chambre augmente de $\Delta t = 5-10$ K, nécessitant ainsi un plus grand volume d'air de refroidissement
- Risque si l'air admis est chaud

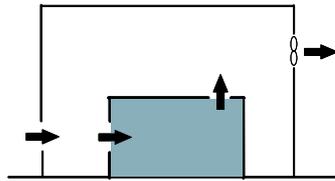


Figure 9 : Aération naturelle pour des petits compresseurs

refroidir l'eau disponible pour des questions de coûts évidemment. Les compresseurs peuvent sans problème être reliés à des circuits d'eau froide ouverts ou fermés. Avant de se décider pour un refroidissement par eau, il faut s'assurer que le refroidisseur des compresseurs est conçu pour la qualité de l'eau disponible. Une eau de refroidissement agressive nécessite un refroidisseur conçu en conséquence.

Un autre point est souvent oublié : malgré le refroidissement par eau, la chaleur émise par chaque composant du compresseur doit aussi être évacuée. Pour cela, même quand c'est relativement petit, il faudra prendre en compte une quantité de fluide de refroidissement approprié.

Récupération de la chaleur

Aération au moyen d'un canal de sortie

- Coûts d'investissements moyens
- Apport technique moyen
- Air froid réchauffé de $\Delta t = 25$ K, de ce fait nécessité de volume d'air pour ventiler moindre
- Moindre réchauffement de la chambre du compresseur
- Réchauffement possible grâce à un canal secondaire
- Réduction du bruit

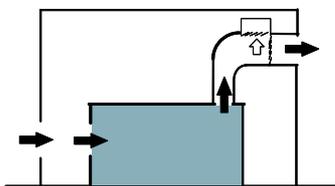


Figure 10 : Refoulement canalisé de l'air pour des compresseurs plus importants

Chauffage de la chambre

La manière la plus économique pour récupérer de la chaleur, c'est d'utiliser la chaleur provenant du compresseur pour le chauffage du local. Il est nécessaire avant tout ici d'utiliser un compresseur refroidi par air sur lequel l'air frais peut être canalisé. Cette manière de récupération de la chaleur est ainsi la plus économique, car toute la chaleur est utilisée, y compris celle générée dans le compresseur. L'air frais réchauffé doit être ensuite conduit au moyen d'un système de canalisations. Il est donc nécessaire de prendre en compte des chemins les plus courts possibles. Tout d'abord, de longs chemins sont synonymes de pertes de charge dans le canal, qui ne peuvent être compensées qu'au moyen d'un ventilateur d'appoint. Ensuite, il peut se produire des pertes de chaleur par une trop longue présence de l'air dans le canal. La solution serait d'utiliser des canalisations parfaitement isolées, ce qui signifierait en outre une augmentation conséquente des coûts d'investissement.

Il faut bien sûr remarquer que seuls les mois d'hiver peuvent être pris en compte en ce qui concerne le temps d'amortissement pour l'opération de récupération de chaleur grâce au chauffage du local. En été la chaleur peut être refoulée à l'extérieur par un aiguillage se raccordant au canal.

Refroidissement par air

La façon la plus simple d'évacuer la chaleur réside dans l'utilisation de l'air ambiant; charge à l'utilisateur d'assurer une circulation d'air suffisante afin d'évacuer la quantité de chaleur suffisante. Quand cela est possible, l'air peut être apporté et évacué par des ouvertures libres. Si cette aération naturelle, qui suffit en général pour les petits compresseurs, ne suffit pas, un ventilateur d'appoint est nécessaire soit pour l'apport soit pour l'évacuation de l'air. Si cela ne suffit toujours pas, l'apport et/ou l'évacuation doivent être canalisés. Dans le cas de conduits trop long, il sera nécessaire d'ajouter un ventilateur à l'intérieur de ceux-ci afin de palier aux pertes de charge. Il est également possible d'obtenir en hiver un régime mixte : par un clapet en persienne l'air chaud de la chambre de compression est mélangé avec l'air froid aspiré de l'extérieur. L'apport d'air frais par des canaux venant de l'extérieur est également recommandé s'il l'air du local est pollué.

Refroidissement par eau

Pour les gros compresseurs ou pour des assemblages de plusieurs compresseurs dans un local, il peut être difficile d'obtenir la quantité d'air frais nécessaire à l'évacuation la chaleur. Les machines doivent alors être refroidies par eau. Bien sûr l'opérateur doit utiliser l'eau dont il peut disposer. Il n'est pas question de

Chauffage de l'eau

Pour des compresseurs à vis avec une injection d'huile, l'élévation de température de l'huile est responsable d'environ 72 % de l'énergie électrique consommée. Cette énergie peut encore être utilisée. Pour cela le fait que le compresseur à vis soit refroidi par air ou par eau ne joue aucun rôle. Pour récupérer la chaleur, l'huile passe à travers un échangeur de chaleur qui peut réchauffer l'eau de 50 degrés permettant d'atteindre les 70 °C. En général l'échangeur de chaleur, un échangeur à plaque qui permet l'utili-

sation de fortes chaleurs, n'est pas volumineux et rend possible ces fortes températures.

Il faut noter que l'eau est évidemment réchauffée uniquement si le système est en fonctionnement. Puisque ce n'est pas toujours le cas, et que l'eau chaude ne sera pas toujours générée, l'eau de chauffage utilisant la récupération de chaleur peut seulement servir de complément au circuit de chauffage. C'est pourquoi l'amortissement de l'opération de récupération de chaleur dans ce cas n'est possible que pendant l'hiver.

La génération de l'eau chaude

Si les plaques des échangeurs de chaleur sont défectueuses, il peut y avoir une perforation ce qui a pour conséquence le mélange de l'eau et de l'huile. Afin que l'huile ne vienne pas polluer le circuit d'eau, on introduit pour la production d'eau chaude un échangeur de chaleur sécurisé. Entre le côté où se trouve l'eau et celui où se trouve l'huile se trouve un fluide caloporteur dont la pression se trouve modifiée si l'huile s'échappe par une perforation. Un signal est alors donné par un interrupteur de pression afin de mettre hors tension le système. Dans ce système l'eau utilisée peut être réchauffée de 35 degrés et peut atteindre les 55 °C. A l'inverse du chauffage d'eau de chauffage, l'amortissement est possible toute l'année.

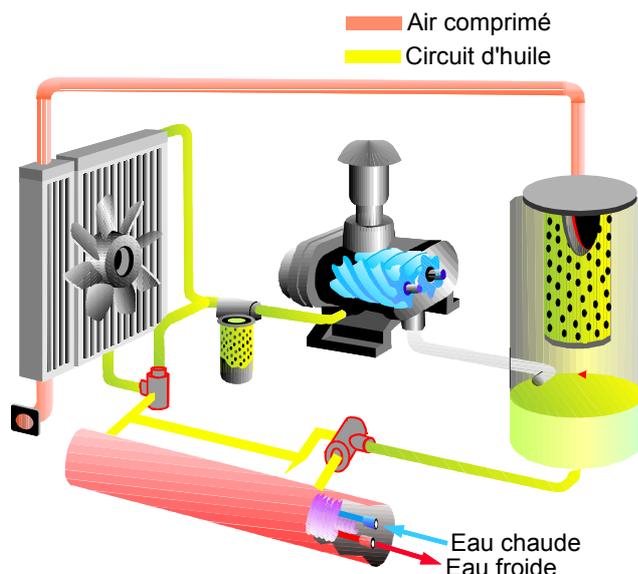


Figure 11 : Génération d'eau chaude d'un compresseur à injection à huile

La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Promatic, Servatechnik, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

Cette feuille d'informations a été réalisée dans le cadre de la campagne "Druckluft Effizient" qui a eu lieu entre 2001 et 2004 en Allemagne. Cette campagne a été menée par la *Deutsche Energie Agentur (dena)*, le *Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung* (Fraunhofer ISI, conduite générale du projet), le *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)* avec le soutien du *Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi)* et des entreprises (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe/Allemagne, Juin 2006



Feuille d'info

Commande et régulation

Les régulations au niveau des compresseurs sont introduites à la fois pour la production et pour la préparation de l'air comprimé. Cette feuille d'info traite des régulations qui adaptent la production à la consommation de l'air comprimé (Figure 1).

Régulation interne et régulation supérieure

A l'intérieur de la station de compression, on distingue régulation interne et régulation supérieure. Les régulations internes servent à ajuster le compresseur à la consommation d'air et, grâce à une coordination optimale des processus internes de commande, de diminuer la surcharge des compresseurs. Comme les stations de compresseurs modernes sont généralement composées de plusieurs compresseurs individuels, la tâche de la régulation supérieure est de faire fonctionner au mieux chaque entité afin de coordonner et de surveiller leur utilisation en fonction de la consommation effective d'air.

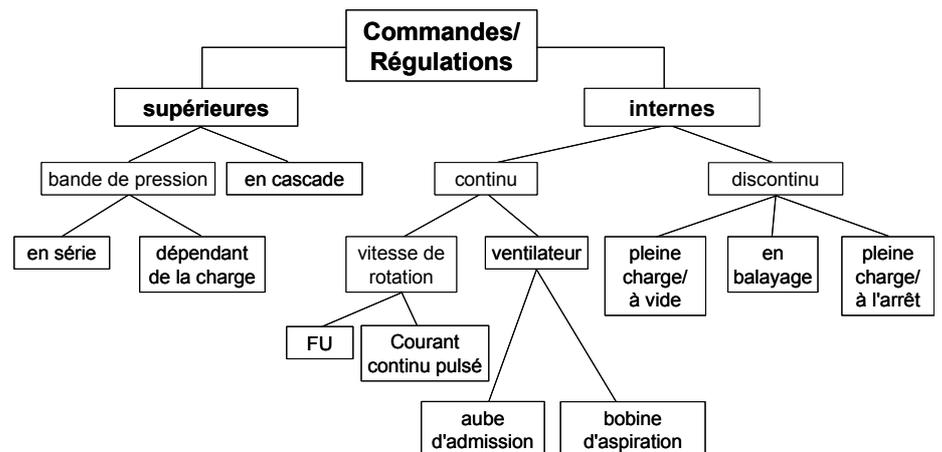


Figure 1 : Commandes et régulations des systèmes d'air comprimé

Types de régulation interne

En ce qui concerne les réglages internes, on distingue les continus et les discontinus.



suisse énergie

air comprimé efficient – une campagne de Suisse Énergie
www.air-comprime.ch

Régulation discontinue

La régulation "pleine charge/ à vide" est aujourd'hui la régulation la plus communément rencontrée pour les systèmes dépourvus de régulation de vitesse. Si la pression de service atteint la valeur de la pression limite p_{\min} , alors le compresseur est mis en route et débite de l'air comprimé. En atteignant p_{\max} le compresseur ne s'arrête pas, mais continue à fonctionner à vide jusqu'à ce que l'air ait été consommé. Si, pendant le fonctionnement à vide, p_{\min} est atteint, le compresseur se remet alors en route à pleine charge. Pour une faible consommation d'air, le compresseur s'éteint automatiquement après une période de fonctionnement à vide (Figure 2).

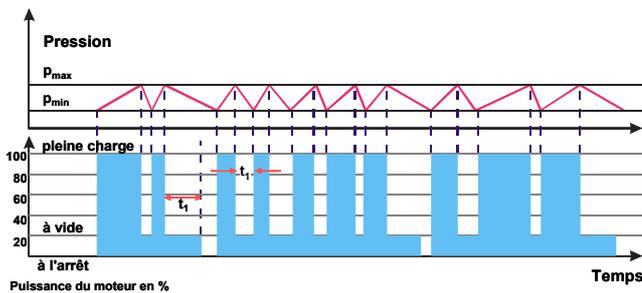


Figure 2 : Variation de charge et de pression dans le compresseur

À noter :

- Réaction rapide
- Haute fréquence d'utilisation sans surcharge du moteur
- En cas de mauvaise utilisation, consommation d'énergie en fonctionnement à vide.

En régulation à vide, avec un fonctionnement à vide optimisé, le temps de relance varie en fonction des variations de pression au cours du temps et de la taille du moteur. Cela permet des économies importantes au cours du fonctionnement à vide, en particulier pour les machines à charge de base (Figure 3).

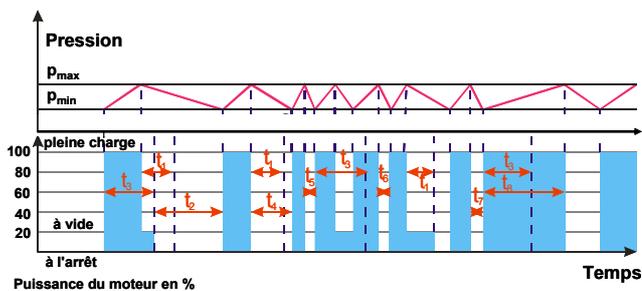


Figure 3 : Variation de charge et de pression dans le compresseur

A noter :

- Eviter le plus possible un fonctionnement à vide
- Bonne exploitation de l'énergie
- Temps de réaction plus long

Les installations à régulation discontinue ont ceci en commun qu'elles sont régulées par les pressions limites p_{\max} et p_{\min} .

Capteur de mesure

Quand les valeurs limites de pression requises par les contacteurs mécaniques sont parfois différentes d'un bar, les différences de pression peuvent aujourd'hui être réduites jusqu'à 0,2 bar en utilisant des capteurs modernes.

À noter :

- Économie d'énergie grâce à un faible Δp
- Haute répétitivité
- Constance importante de la pression
- Pas d'interchangeabilité universelle.

Régulation continue

Régulation de la vitesse d'un moteur

La régulation de la vitesse des compresseurs modernes est réalisée soit par modification de la fréquence d'alimentation soit par modulation de courant continu. Dans les deux cas le démarrage des installations a lieu à p_{\min} . Les moteurs suivent alors une courbe caractéristique jusqu'à une vitesse qui est définie par le quotient de la pression à chaque instant par la pression de réglage.

Si la consommation d'air sort du domaine de régulation de la machine, alors, selon les conséquences du contrôle, le système passe en fonctionnement à vide ou bien alors s'éteint (Figure 4).

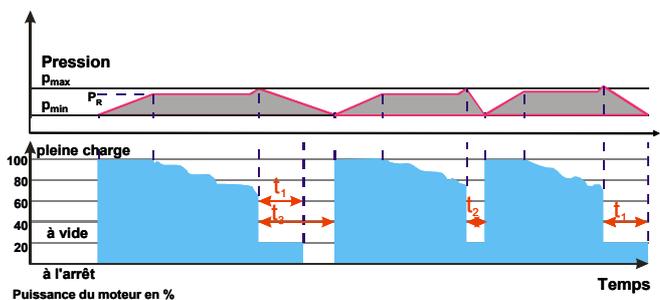


Figure 4 : Variation de charge et de pression dans le compresseur

A noter :

- Bonne capacité de réglage
- Réaction rapide
- Pression constante +/- 0,1 bar
- Bonne exploitation de l'énergie dans la plage de régulation compris entre 40 et 80 %
- Baisse de la consommation d'énergie pour une utilisation inférieure à 40% et supérieure à 80 %
- Coûts d'investissement élevés
- Influence ultérieure sur le réseau.

Les courbes caractéristiques du régulateur, du moteur et du bloc de compression en charge partiel sont décisives pour l'efficacité de la régulation (Figure 5).

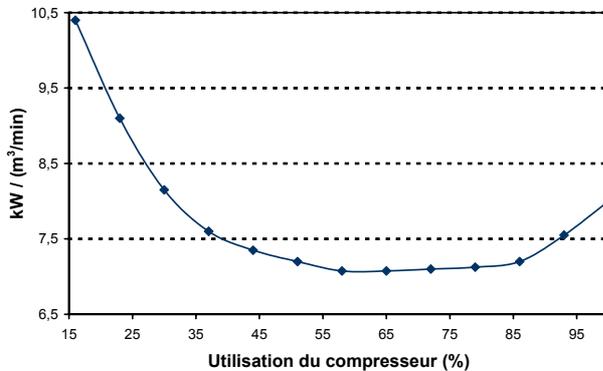


Figure 5 : Puissance spécifique d'un compresseur à vitesse régulée

Régulation par clapet d'admission

Les machines munies d'une régulation par l'orifice d'aspiration sont en général des compresseurs qui ont une régulation pleine charge/à vide et qui sont pourvus d'un régulateur supplémentaire. Celui-ci est ajusté à la pression de régulation. Si cette pression est atteinte, la soupape d'admission sera ouverte ou fermée en fonction de la variation de pression. Pour les compresseurs à refoulement, il s'agit exclusivement d'une réduction du débit volumique, ce qui n'a qu'une influence négligeable sur le comportement de la puissance du compresseur. (Figure 6)

À noter :

- Faibles coûts
- Domaine de réglage important
- L'utilisation de l'énergie est extrêmement mauvaise.

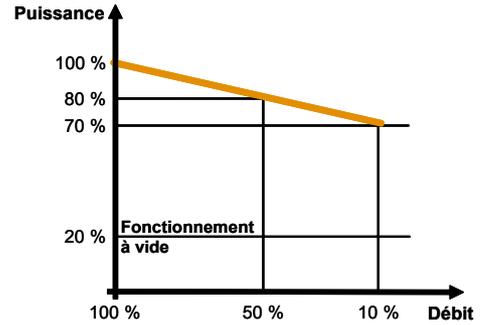


Figure 6 : Réglage du débit volumique grâce au clapet d'admission

Régulation par purges

La régulation par purges est ainsi appelée lorsque de l'air comprimé est relâché dans l'atmosphère, et que le débit s'accorde à la consommation effective d'air comprimé.

Ce type de régulation est mise en oeuvre dans le domaine des systèmes à basse pression (par exemple les souffleries) ou alors pour les compresseurs dynamiques.

Pour les compresseurs dynamiques, le comportement de la puissance est également influencé par la régulation, mais cela ne fonctionne que dans un domaine réduit. (Figure 7).

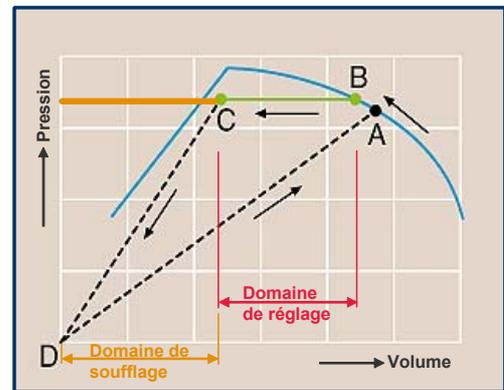


Figure 7 : Régulation par purges

A noter :

- Le comportement de la puissance est linéaire dans le domaine de contrôle.
- Le domaine de régulation est habituellement environ 20 à 30 % plus large sans régulation par purges (forte perte d'énergie).

Régulation supérieure

Pour de tels systèmes, on différencie régulation en cascade et régulation de la bande de pression.

Régulation en cascade

La régulation en cascade est la régulation supérieure la plus répandue; dans ce cas, un domaine de fonctionnement est attribué à chaque compresseur au moyen d'une régulation supérieure (Figure 8).

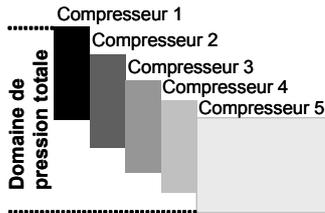


Figure 8 : Réglage en cascade

A noter :

- Bande de pression, et par cela économie d'énergie (par bar, 6 à 10 % de consommation d'énergie en plus environ)
- La consommation d'air effective n'est pas prise en compte
- 4 compresseurs au maximum.

Pour des compresseurs de même taille, le régime de fonctionnement (à vide, à pleine charge et à charge partielle) de chaque compresseur est, soit après une durée de fonctionnement donnée, soit par un système de commutation minutée, changé, cela afin d'obtenir une utilisation uniforme de chaque compresseur. Afin de disposer d'une installation en bonne et due forme, la mise en cascade des quatre compresseurs nécessite l'insertion de contacteurs à membrane ou de manomètres à contact entraînant de temps à autre des écarts de pression pouvant aller jusqu'à 2 bar. L'insertion de capteurs de pression modernes rend possible la diminution des écarts de pression de 0,7 bar pour les quatre compresseurs.

Régulation par bande de pression

Les systèmes modernes de commande supérieurs sont utilisés pour permettre de commander n'importe quelle installation sur un domaine de pression; la plus petite différence de pression est de 0,2 bar (Figure 9). L'avantage de ce type de commande est de réduire la pression maximale dans le poste d'air comprimé, et de diminuer ainsi les dépenses d'énergie primaires et les pertes dans cette station.

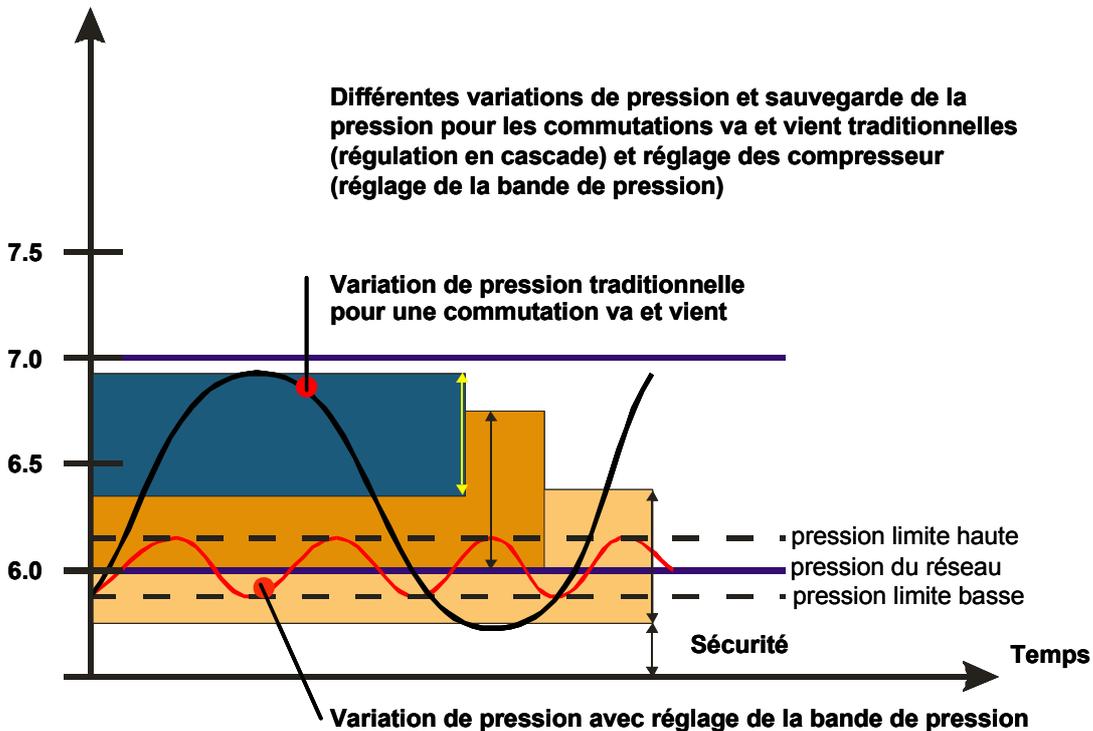


Figure 9 : Régulation dans le domaine de pression

Possibilités d'extension avec une régulation supérieure

Des régulations de bandes de pression étendues sont possibles. Pour cela, il suffit de mettre en cascade des compresseurs de tailles différentes fonctionnant indépendamment de la charge, la régulation supérieure les fera fonctionner en fonction de la demande en air comprimé. Le bon choix des tailles des compresseurs évite que des "trous" dans la régulation n'apparaissent.

Pour améliorer la surveillance et pour la lecture du process à l'intérieur d'une unité de compression, ces régulations supérieures peuvent enregistrer non seulement les données des compresseurs, mais aussi celles des systèmes de traitement et de répartition et les restituer ensuite à un poste central grâce à un logiciel approprié (Figure 11).

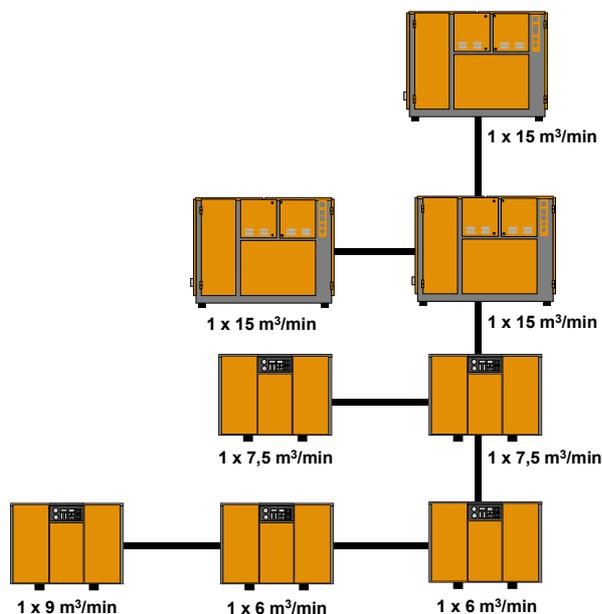


Figure 10 : Possibilités de répartition de la production d'air comprimé

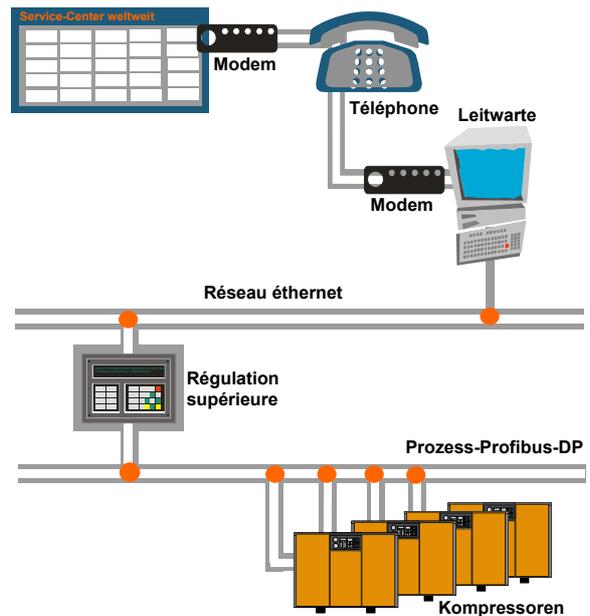


Figure 11 : Insertion d'une technologie de pointe pour la commande des compresseurs

Potentiel d'économie

D'après une étude menée par la Commission Européenne, les régulations supérieures peuvent, grâce à une chute de pression et à une meilleure coordination, permettre une économie d'énergie moyenne de 12 %. Grâce à une réduction des pertes internes dues au réglage, des régulations internes optimisées peuvent atteindre 15 %.

Economie de l'air comprimé

L'énergie pneumatique est stockée dans les canalisations et dans les réservoirs. Les récepteurs d'air comprimé travaillent souvent de manière très discontinue. L'acheminement de l'air comprimé au moyen des compresseurs doit alors être effectué en harmonie avec la consommation discontinue d'air comprimé. Les réservoirs représentent alors le taux de retour de la rentabilité d'une station de compression. Ils doivent être plutôt choisis trop grands que trop petits. L'influence du réservoir sur la rentabilité d'une station de compression dépend de l'importance de la perte de pression entre le point de mesure et le lieu du stockage de l'air comprimé. Elle ne devrait normalement pas être supérieure à 0,1 bar. Pour des réservoirs tampons, on distingue aujourd'hui dans un système, les réservoirs tampons centralisés et décentralisés.

Réservoir tampon centralisé

Le réservoir tampon centralisé d'une station de compression sert d'abord à minimiser la fréquence d'utilisation des compresseurs. Grâce à cela il empêche les grandes variations de pression dans le système. Il devrait être choisi en conformité avec les formules d'évaluation. Un dimensionnement plus important que la valeur minimale calculée au moyen de formules, permet d'améliorer la rentabilité de la station de compression. (Figure 12).

$$V_B = \frac{\dot{V}_1 \cdot (x - x^2)}{z \cdot \Delta p}$$

Puissance du compresseur	Valeur courante de z (1/h), moteur en fonctionnement :
7.5 kW	30
30 kW	15
110 kW	8
250 kW	4

V_B = Volume du réservoir d'air comprimé [m³]
 \dot{V}_1 = Quantité débitée à partir des compresseurs en fonctionnement [m³/h]
 \dot{V}_2 = Consommation maximale moins consommation moyenne [m³/h]
 x = $\dot{V}_2 : \dot{V}_1$ = Facteur d'utilisation [m³/h]
 z = Fréquence de commutation autorisée [1/h]
 Δp = Différence de pression entrée/sortie [bar]

$z \approx 45$ pour les compresseurs à vis (pleine charge; à vide)
 valeur approchée : $(x - x^2) \approx 0.25$

Figure 12 : Dimensionnement d'un réservoir d'air comprimé centralisé

Réservoir tampon décentralisé

Il sert souvent à approvisionner les récepteurs en air comprimé qui ont des consommations courtes et subites et à empêcher ainsi une chute de pression dans le reste du système. Il faut qu'il soit choisi en conformité avec la durée de consommation d'air et des variations de pression du récepteur décentralisé prévu (Figure 13).

$$V_B = \frac{\dot{V} \cdot t}{\Delta p}$$

Insertion en tant que :

- Tampon pour un refoulement court et violent d'air comprimé
- Agrégat de débit en cas d'urgence

V_B = Volume du réservoir d'air comprimé [m³]
 \dot{V} = Consommation d'air [m³/min]
 t = Durée de la consommation d'air [min]
 Δp = Chute de pression autorisée [bar]

À noter : ne remplace pas le compresseur sur une longue durée

Figure 13 : Dimensionnement d'un réservoir d'air comprimé décentralisé

La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Prematic, Servatechnik, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

Cette feuille d'informations a été réalisée dans le cadre de la campagne "Druckluft Effizient" qui a eu lieu entre 2001 et 2004 en Allemagne. Cette campagne a été menée par la *Deutsche Energie Agentur (dena)*, le *Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung* (Fraunhofer ISI, conduite générale du projet), le *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)* avec le soutien du *Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi)* et des entreprises (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe/Allemagne, Juin 2006



air comprimé efficient – une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch



Feuille d'info Traitement

De nos jours, la qualité de l'air comprimé non traité est la plupart du temps insuffisante pour les applications envisagées et risquerait de diminuer la qualité des produits en relation avec son utilisation. Une qualité inadaptée peut conduire à des défaillances sur les chaînes de production allant jusqu'au rebus de la production. C'est l'application qui fixe la qualité de l'air comprimé à envisager.

Classe	Nombre maximum de particules/m ³			Point de Rosée (°C)	Teneur résiduelle en huile (mg/m ³)
	0,1 < d ≤ 0,5	0,5 < d ≤ 1	1 < d ≤ 5		
0	spezifiziert gemäss Anwendung und besser als Klasse 1				
1	100	1	0	≤ -70	0,01
2	100.000	1.000	10	≤ -40	0,1
3	–	10.000	500	≤ -20	1
4	–	–	1.000	≤ +3	5
5	–	–	20.000	≤ +7	–

Tableau 1 : Classes de qualité d'après la Norme DIN ISO 8573-1:2001

Les quantités maximales en particules, en eau et en huile sont séparées en classes de qualité dans la norme DIN ISO 8573-1 (édition 2001). Les fabricants d'appareils utilisant l'air comprimé peuvent ainsi définir la qualité nécessaire.

Assèchement de l'air comprimé

Les différents procédés d'assèchement de l'air comprimé peuvent être classés en différentes catégories indiquées sur la figure 1. En considérant le point de rosée accessible ainsi que l'énergie nécessaire selon le type de système, le besoin en énergie pourra être fourni soit par l'air comprimé soit par l'électricité.

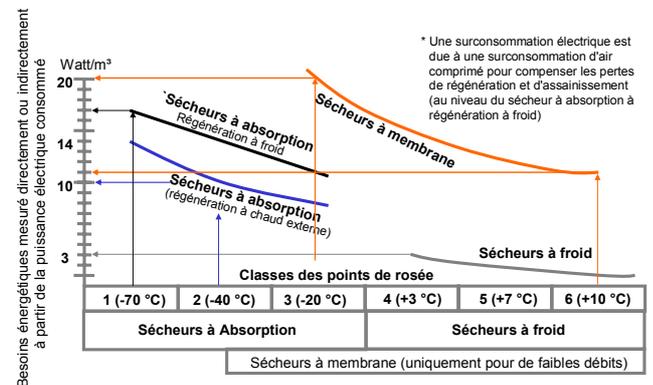


Figure 1 : Procédés d'assèchement de l'air comprimé

Sécheur à froid

Les sécheurs à froid sont aujourd'hui les sécheurs standards dans les systèmes à air comprimé. Ils sont aussi importants que les générateurs d'air comprimé eux-mêmes. En outre cela représente le procédé le plus économique pour la multitude des applications.

Principes physiques :

Quand la température chute, la capacité de l'air à conduire l'eau diminue. La vapeur d'eau se condense alors. Le sécheur à froid retient la vapeur d'eau présente dans l'air comprimé. L'air comprimé est refroidi dans un système à échangeurs de chaleur. La vapeur d'eau et la vapeur d'huile sont obtenues par condensation, et l'huile par coagulation et coalescence. Des systèmes recueillent par écoulement la condensation.

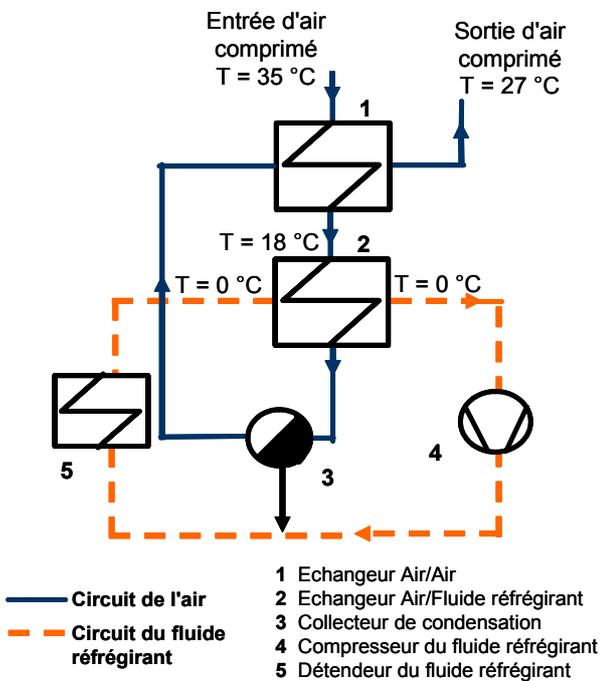


Figure 2 : Principe de fonctionnement du sécheur à froid

L'assèchement à froid économique de l'air comprimé se déroule en deux phases. Dans la première, l'air comprimé chaud entrant dans l'échangeur de chaleur air/air est refroidi grâce à un autre courant d'air comprimé froid et sortant. Environ 70 % de la vapeur d'eau est ici extraite. Dans la deuxième phase, l'air comprimé traverse un échangeur de chaleur air/réfrigérant. Ici a lieu la séparation de la condensation et de l'air comprimé. Le capteur de condensation est ensuite actionné.

Des systèmes d'échangeurs de chaleur intégrés qui regroupent les échangeurs air/air, air/réfrigérant, et les capteurs de condensation dans un seul bloc, sont plus efficaces par rapport à des blocs séparés, et cela grâce aux faibles différences de pression.

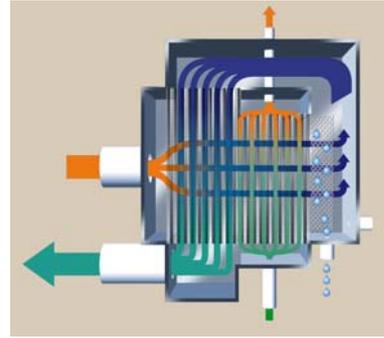


Figure 3 : Echangeur de chaleur à capteur de condensation intégré (Demister)

Sécheur à absorption

Les sécheurs à absorption extraient l'humidité transportée dans l'air comprimé en utilisant un agent dessiccant. Pendant que dans le premier réservoir a lieu l'absorption, la régénération de l'agent dessiccant se déroule au même moment avec succès dans le second réservoir. Des points de rosée compris entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ sont atteints avec des produits standards. On dispose de divers procédés pour la régénération. On peut distinguer deux types d'adsorption de régénération : la régénération à chaud et la régénération à froid.

Régénération à froid

Pour la régénération du sécheur à adsorption, une partie de l'air comprimé déjà refroidi est détendue dans l'air atmosphérique.

- + Technique simple
- + Faibles coûts d'investissements
- Consommation d'air comprimé
- Frais de fonctionnement élevés.

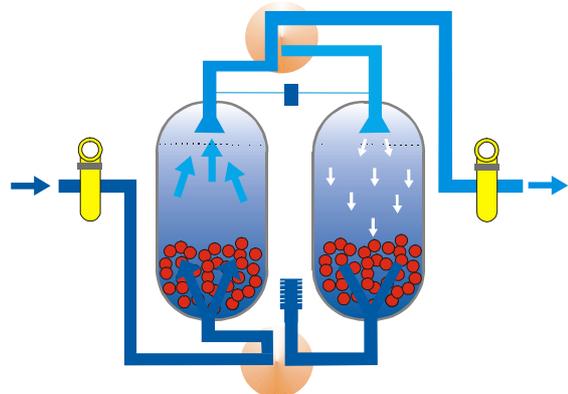


Figure 4 : Régénération à froid

Régénération à chaud

La régénération à chaud s'effectue avec de l'air ambiant réchauffé ou de l'air provenant du système.

Régénération à ventilateur :

Dans la phase de chauffage, un ventilateur aspire l'air ambiant et le propulse dans le chauffage. L'air réchauffé transporte l'humidité du matériau asséchant. Pour le refroidissement, l'air comprimé et l'air ambiant sont utilisés.

- + Peu de frais de fonctionnement avec le chauffage par la vapeur ou l'électricité.
- Consommation d'air comprimé dans la phase de refroidissement.

Régénération de chaleur sans consommation d'air comprimé :

En modifiant le dispositif ou la procédure, le lit d'agent déshydratant peut être refroidi avec l'air ambiant. On distingue parmi les sècheurs à adsorption les ventilateurs, les aspirateurs refroidissant ou dispositifs de régénération de vide.

- + Peu de frais de fonctionnement en chauffant à la vapeur ou à l'électricité
- + Pas de consommation d'air comprimé dans la phase de refroidissement
- Investissements élevés
- Si l'air ambiant est très humide, l'utilisation peut être remise en question.

Régénération à l'aide de la chaleur dissipée par le compresseur :

En combinant compresseurs non lubrifiés avec sècheurs à adsorption, la chaleur produite lors du fonctionnement du compresseur peut être réutilisée dans le processus de régénération du sécheur à adsorption. Des points de rosée à partir de -30°C et au dessus sont assurés par des compresseurs appropriés.

- + Utilise la chaleur de la compression pour la régénération
- + Pas de consommation d'air comprimé
- Seulement avec des compresseurs non lubrifiés.

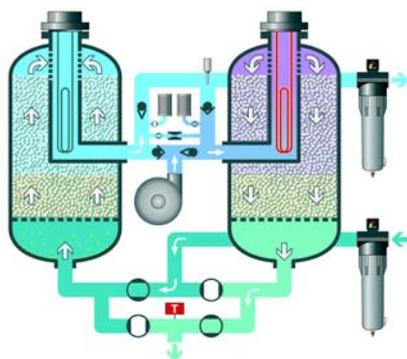


Figure 5 : Régénération à chaud

Commande

Tous les sècheurs à adsorption, à froid ou à chaud, sont équipés d'un système de commande dépendant du temps. Cela est considéré comme une caractéristique spécifique du fabricant ou d'une commande par programme enregistré (CPE), fonction de l'étendue de la commande requise. En option, il est possible de commander en fonction de la charge. A la sortie du sécheur, un capteur enregistre la variation du point de rosée. Il ajuste automatiquement le cycle du sécheur au comportement de la charge. La commande dépendant de la charge compense d'éventuels fonctionnements à charge partielle et réduit les frais de fonctionnement.

- + Frais de fonctionnement minimaux, même lors de partition de la charge.
- + Mesure du point de rosée de manière continue pour des contrôles qualité.

Sécheur à membrane

Le sécheur à membrane représente une alternative aux traditionnels sècheurs à froid et à adsorption. Avant tout, il est surtout efficace en tant que sécheur final pour de petites quantités d'air comprimé, pour des applications non continues ou n'utilisant pas d'électricité.

La partie centrale de ce sécheur à membrane est constituée de tubes creux en polymère qui laisse facilement diffuser la vapeur d'eau à travers les parois.

Filtration

Elle est mise en œuvre afin d'éliminer les impuretés pouvant avoir des conséquences néfastes sur la qualité de l'air comprimé.

Ces impuretés sont notamment de la vapeur d'huile, provenant des compresseurs lubrifiés ou à injection d'huile, ou bien des particules solides ou des polluants à base d'hydrocarbures, tout cela provenant de l'air ambiant. Ces polluants se retrouvent ensuite présents dans l'air comprimé sous forme concentrée. Afin de garantir la qualité de l'air comprimé actuellement requise, un traitement est absolument nécessaire.

Grâce à une plus grande considération de l'environnement ainsi qu'à des mesures renforcées de protection de la santé sur le lieu de travail, des exigences sont également requises en ce qui concerne les quantités d'air comprimé émises par chaque composant, en particulier en ce qui concerne la teneur en vapeur d'huile relâchée dans l'air ambiant directement à partir d'un vérin ou d'un gicleur.

Les filtres consomment eux aussi de l'énergie. Bien qu'il n'y ait pas d'apport d'énergie dans un filtre, une

consommation a quand même lieu à cause de la chute de pression (différence de pression). Elle doit être approvisionnée par le compresseur situé en amont du filtre. La règle suivante prévaut :

Plus le degré de filtration est important, c'est à dire plus l'air sera pur à la sortie du filtre, plus grande sera la différence de pression, c'est à dire que le compresseur en amont devra fournir plus d'énergie.

Les filtres sont donc nécessaires mais coûtent de l'énergie et de l'argent. Il est important de choisir le traitement approprié à l'application en question. La norme ISO 8573-1 ou les constructeurs eux-mêmes peuvent aider à cela. Il est sensé de réfléchir avec soin au degré de pureté de l'air comprimé demandé afin de sélectionner individuellement les filtres avec une différence de pression la plus petite possible pour les applications envisagées. La figure 6 montre les économies potentiellement réalisables. Il y est aussi indiqué les dépenses en énergie causées par les compresseurs en compensant la chute de pression due au filtre. Les frais peuvent s'élever à plusieurs milliers d'Euros par an et franchir le prix d'achat ou les frais d'amortissement de l'élément en question. Grâce au choix du bon filtre avec la différence de pression la plus petite possible, d'énormes économies peuvent alors être réalisées.

Le remplacement en temps voulu des éléments filtrant encrassés par la poussière, et qui possèdent donc une différence de pression accrue, est aussi important. Comme cela est montré à la figure 7, la différence de pression d'un nouveau filtre augmente d'abord plutôt lentement. Plus l'élément se trouve longtemps dans le mécanisme, plus rapidement la différence de pression augmente. Si l'élément n'est pas remplacé à temps, les coûts compensatoires de la différence de pression additionnelle peuvent dépasser très vite le prix même de l'élément de rechange. En règle générale :

Changement d'élément une fois par an, au plus tard pour une différence de pression de 350 mbar.

Les filtres à charbon actif sont exclus de cette règle. Pour eux, c'est la règle suivant qui est valable.

La durée de vie de l'élément ne doit pas dépasser 1500 heures de fonctionnement ou 3 mois, en fonction de la température d'entrée et de la teneur en huile.

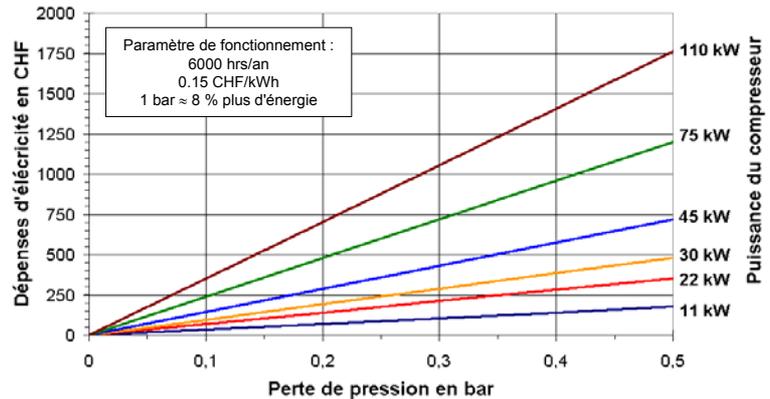


Figure 6 : Coûts d'énergie dus aux chutes de pression

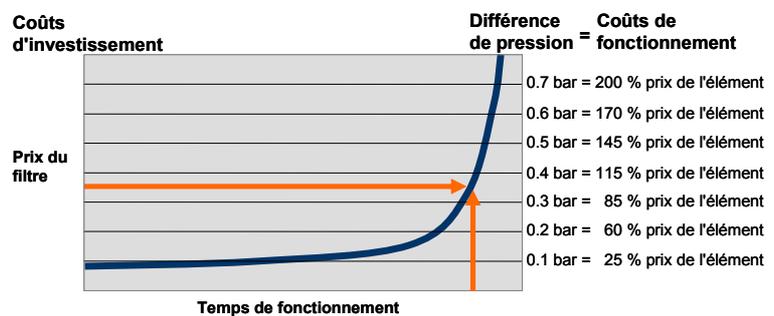


Figure 7 : Comportement typique de la différence de pression ; coûts en énergie par rapport au prix du filtre

Il reste enfin à éclaircir le sujet sur la sécurité lors du fonctionnement d'un filtre. Ce critère dépend d'abord de la qualité des matériaux et substances utilisées, de la qualité de la production et des paramètres constructeurs du filtre. L'élaboration des filtres doit être effectuée individuellement. En résumé les critères pour un filtre sont :

- Efficacité de la filtration**
- + sécurité fonctionnement**
- + différence de pression**
- = frais de fonctionnement**

La somme de ces trois critères donne alors l'ensemble des frais de fonctionnement du filtre, les chutes de coûts dues à l'insuffisance du résultat de la filtration ou d'un mauvais filtre y sont incluses.

Séparation préliminaire

La première étape lors du traitement d'un système à air comprimé consiste à capter la condensation présente dans celui-ci. Un séparateur centrifuge ou un réservoir pressurisé est placé à la sortie du compresseur. Ce dernier est le système le plus simple. A cause de la réduction de la vitesse du fluide et d'un

refroidissement de l'air comprimé sur la plus grande surface du réservoir, la condensation est alors recueillie au pied de ce dernier et peut alors être éliminée. Le séparateur centrifuge utilise l'inertie de son tourbillon afin d'effectuer la séparation. Les deux systèmes améliorent la performance du traitement de l'air comprimé, car d'importantes quantités de condensation peuvent être ici enlevées. Les deux composants ne remplacent pas le sécheur d'air car après cette séparation, l'air est saturé à 100% de vapeur d'eau et à chaque refroidissement de l'eau se formera.

Technique de condensation

La condensation est un résidu qui se forme obligatoirement à la production d'air comprimé. Cette condensation résulte de l'humidité contenue dans l'air. Cette humidité existe tout d'abord en phase vapeur à cause de la compression et de l'élévation de température qui s'en suit. Comme après la compression seule une fraction du volume initial subsiste, on arrive à une sursaturation de l'air. Par le refroidissement, la vapeur se condense. Cette condensation contient, à part de l'eau et de l'huile, toutes les substances présentes dans l'air ambiant et aspirées au moment de la compression. Celles-ci sont sous forme concentrée et conduisent à une contamination de la condensation.

Conséquences de la condensation sur les installations :

La condensation, qu'elle contienne de l'huile ou pas, conduit à de forts dégâts de corrosion dans les conduites ainsi que dans toute l'installation. Alors que la condensation dépourvue d'huile possède une plus forte acidité, la condensation contenant de l'huile a plus un effet de collage. La qualité d'air exigée ne peut plus être atteinte, même pour les petites classes de qualité.

Où la condensation attaque-t-elle ?

La condensation attaque donc toujours lorsque la température de l'air comprimé tombe en dessous de celle du point de rosée. Cela se passe au niveau du réfrigérateur aval, du chaudron, du séparateur centrifuge, du filtre, du sécheur tout comme dans les conduites. Les plus grandes quantités de condensation sont obtenues au niveau de la plus grande chute de température.

Captage de la condensation

En raison des coûts élevés dus aux dégradations résultantes, une grande importance doit être attribuée à la phase de captage de la condensation. Pour le captage de la condensation, trois procédés sont utilisés :

Commande à flotteur :

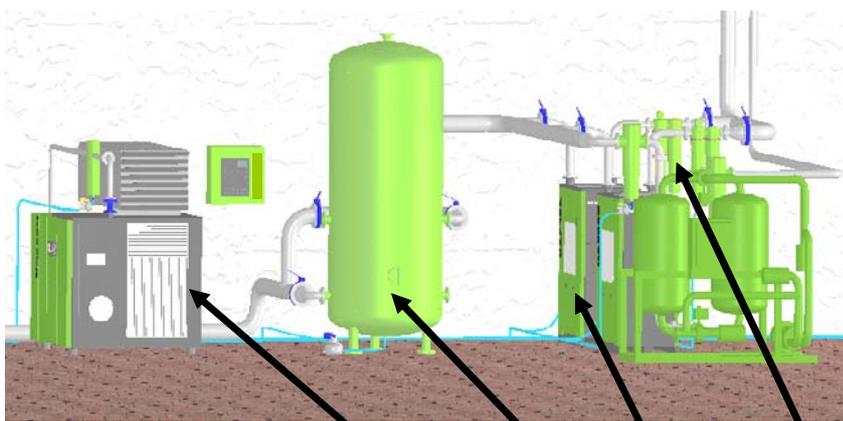
La condensation est recueillie dans un réservoir. Un mécanisme à flotteur ouvre une soupape après la condensation.

- + Peu d'investissement
- Forte sensibilité à la poussière
- Pas de possibilité de surveillance.

Soupape commandée dans le temps :

Une soupape à commande temporelle s'ouvre pendant une durée déterminée.

- + Grande surface d'ouverture
- + Également disponible par forte pression
- Pertes d'air comprimé fortes dépenses en énergie
- Pas de contrôle de fonctionnalité et de surveillance.



Quantité de condensation pour 10 10m ³ normés	Séparateur centrifuge Sous refroidisseur	Réservoir	Refroidisseur à froid	Filtre
Hiver	25 g/m ³	3,5 g/m ³	3,5 g/m ³	--
Printemps/Automne	28 g/m ³	6 g/m ³	9,5 g/m ³	2 g/m ³
Été	53 g/m ³	9,5 g/m ³	21,5 g/m ³	3 g/m ³

Figure 8 : Quantité de condensation en fonction de la saison



Figure 9 : Electrovalve commandé dans le temps

Dérivateur électronique à niveau réglable :

Un capteur se trouvant au niveau de la récupération de condensation, après avoir atteint une valeur déterminée, donne le signal de vidage du récupérateur de condensation.

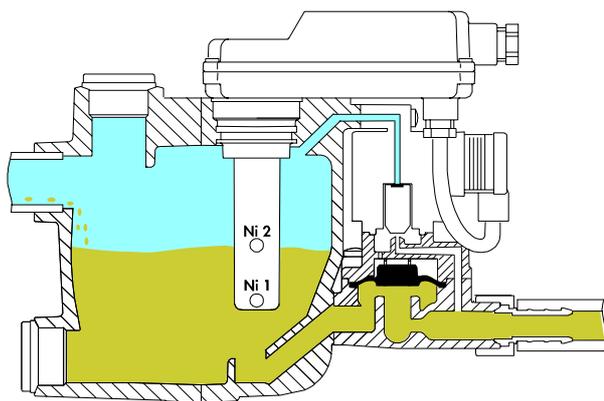


Figure 10 : Défecteur à niveau réglable

- + Économie d'énergie
- + Pas de pertes de pression
- + Indications de perturbation et fonctionnement d'alarme.

Traitement de la condensation

La condensation du compresseur est au sens du législateur un déchet important à surveiller obligatoirement. Pour le traitement des résultats de la condensation, le législateur propose deux possibilités au choix : soit la gestion des déchets par des entreprises autorisées, soit un traitement local avec une technique de traitement de la condensation appropriée et autorisés. Les substances condensées sont présentes sous forme de mélange varié eau/huile ou d'émulsion stable. En pratique les procédés suivants se sont imposés.

Système statique de séparation eau/huile :

Pour ce procédé la condensation est introduite avec un temps d'attente déterminé dans le réservoir où se déroule la séparation. Les particules d'huile plus légères montent et restent sur la partie supérieure. Les autres particules et les autres substances sont filtrées dans une couche de charbon actif. Ce procédé est toujours satisfaisant lorsque le produit de la condensation se trouve sous forme dispersée.

- + Système simple
- + Amortissement rapide.

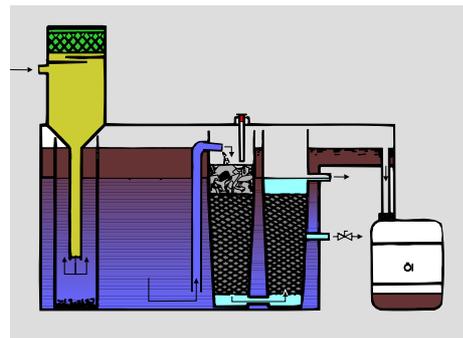


Figure 11 : Système statique de séparation huile/eau

Dispositif d'émulsion et de fission :

Pour ce procédé, le condensat préalablement nettoyé subit une réaction à base d'oxyde d'aluminium (substance de séparation). Les électrolytes contenus dans la substance de séparation cassent la liaison eau-huile et ainsi entraîne l'émulsion. Les substances huileuses et les autres particules présentes dans la condensation sont adsorbées par l'oxyde d'aluminium puis sont filtrées et séparées de l'eau. Seule les substances restantes sont amenées au traitement des déchets.

Ultrafiltration :

Pour l'ultrafiltration la condensation est filtrée sous pression en circuit fermé à travers une membrane à porosité déterminée. Les particules d'huile sont retenues et concentrées pendant que l'eau est nettoyée. L'eau récupérée peut alors directement être évacuée dans le système d'évacuation des eaux usés. Le concentré émulsif est amené au traitement des déchets.

Dans tous les cas, lors de l'achat d'appareils et de pièces de rechange, il faut prendre garde à la réglementation des pièces mécaniques. Autrement un enlèvement individuel onéreux de l'appareil doit être effectué par les autorités locales.

Bilan

Le traitement de l'air dans les systèmes à air comprimé est aujourd'hui un traitement standard. L'exigence de base de cette technique de traitement est l'élimination fiable et haut degré des impuretés et de l'humidité contenues dans l'air comprimé. Cette pollution conduit à une baisse de la qualité et des perturbations et même jusqu'à une chute ou une production non utilisable. Le choix d'un système approprié pour une application peut être influencé grâce à la comparaison des produits se trouvant sur le marché, afin de déterminer le prix d'un traitement donné ainsi que les frais de fonctionnement.

Dans le domaine du traitement de l'air comprimé, il est nécessaire avant tout d'atteindre la qualité optimale. Les meilleurs coûts en énergie et en frais de fonctionnement ont lieu lorsque les exigences sont remplies. Si l'exigence n'est pas atteinte, les dépenses en énergie et en frais de fonctionnement augmenteront. Les figures 12 et 13 donnent un aperçu de la manière dont la qualité d'air appropriée peut être atteinte au moyen d'une suite de procédés et du choix des produits de traitement. Le potentiel d'économie réalisable peut aller pour chaque pièce jusqu'à plusieurs milliers de Francs. En particulier grâce au changement régulier des éléments de filtre à l'intérieur de l'intervalle donné, des économies significatives peuvent être atteintes et ainsi il y a possibilité de minimiser les frais de fonctionnement.

L'analyse sérieuse de l'installation à air comprimé déjà implantée ou seulement planifiée est un investissement qui s'amortit rapidement.

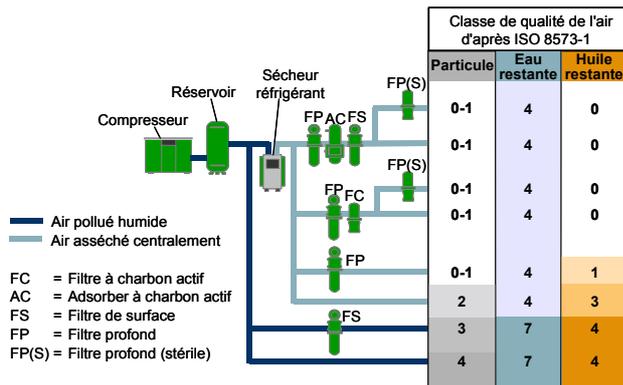


Figure 12 : Qualité de l'air comprimé en insérant un sécheur réfrigérant

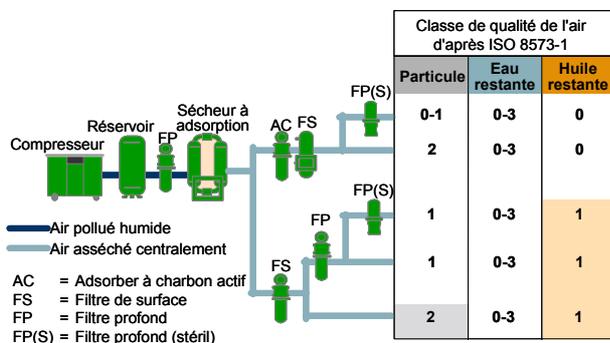


Figure 13 : Qualité de l'air en insérant un sécheur à adsorption

La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Pematic, Servatech, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

Cette feuille d'informations a été réalisée dans le cadre de la campagne "Druckluft Effizient" qui a eu lieu entre 2001 et 2004 en Allemagne. Cette campagne a été menée par la Deutsche Energie Agentur (dena), le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI, conduite générale du projet), le Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) avec le soutien du Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) et des entreprises (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe/Allemagne, Juin 2006



suisse énergie
air comprimé efficient – une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch



Feuille d'info

Distribution

Économie d'énergie dans le système de distribution d'air comprimé

Une distribution optimale de l'air comprimé est un réseau, comme un réseau électrique, qui transporte l'énergie avec le moins de pertes possibles, c'est-à-dire avec la réduction la plus faible possible :

- De la pression dynamique (chute de pression dans les conduites)
- De la quantité d'air perdue (fuites) et
- De la qualité de l'air (rouille, oxydes, eau etc.)

Les conduites

Dans la pratique les conduites d'air comprimé (principales et secondaires) sont souvent choisies avec ignorance et sans prêter attention au côté énergétique. Cela a pour conséquence, d'après une étude menée par l'union européenne, un gaspillage de 50% de l'énergie voire plus, dans 80 à 100 % des entreprises, avant même son utilisation par le récepteur.

La planification adéquate d'un réseau a une influence directe sur la performance des machines et sur les coûts de production de l'air comprimé. Choisissez le bon diamètre de conduite en considérant le débit volumique souhaité et la chute de pression autorisée? La chute de pression entre le réservoir d'air comprimé et la connexion ne doit pas excéder 0,1 bar. Pour les réseaux conçus de façon optimale, on répartie les chutes de pression en quatre catégories :

- ≤ 0,03 bar pour les conduites principales
- ≤ 0,03 bar pour les conduites de répartition
- ≤ 0,04 bar pour les conduites ou flexibles de raccordement
- ≤ 0,3 bar accessoires de raccordement

De la même manière que la rentabilité de la compression est documentée, l'efficacité du système de répartition d'air doit l'être aussi. Le manque de documentation conduit toujours à un gaspillage d'énergie.

Conduite principale (CP):

Elle relie les postes de production (local à compresseurs) au système de distribution. La conduite principale doit être dimensionnée de manière à ce que des réserves soient disponibles pour des extensions futures.

Conduite de distribution (CD):

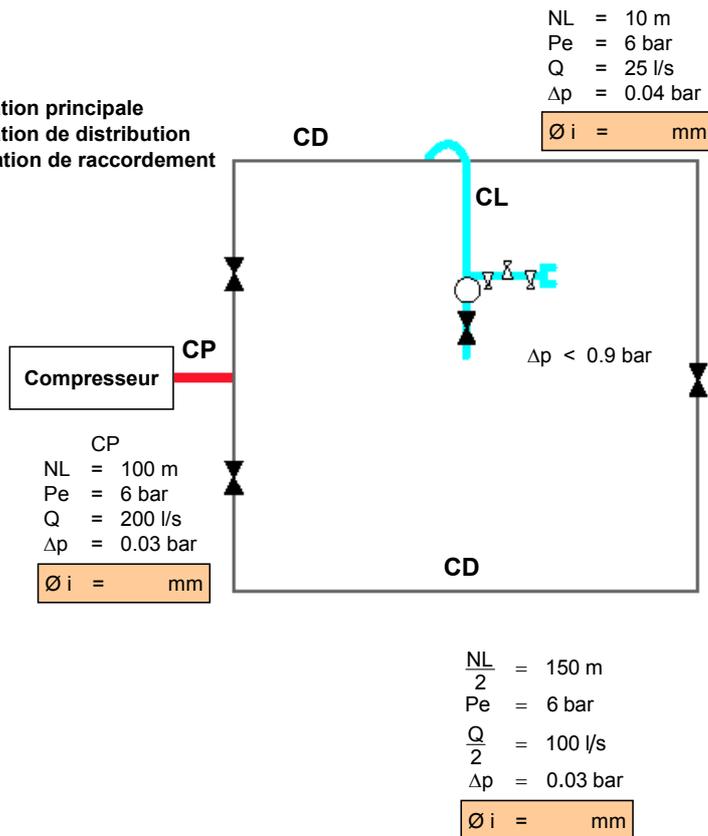
Elle répartie l'air à l'intérieur d'un groupe de récepteurs. Elle peut être disposée en dérivation, comme conduite circulaire ou comme conduite circulaire avec un branchement en dérivation intégré.



suisse énergie

air comprimé efficient – une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch

CP= Canalisation principale
CD= Canalisation de distribution
CL = Canalisation de raccordement



Explications des notions et des facteurs prépondérants:

Pression dynamique

Malgré des efforts d'information, de la part des fabricants, qui durent depuis des dizaines d'années, la plupart des appareils à air comprimé sont alimentés avec une pression dynamique comprise entre 3 et 5 bar, ce qui est de 1 à 3 bar insuffisant. Les manomètres indiquent la pression statique aux régulateurs et aux éléments de maintenance. Ce n'est pas de cette pression statique dont il est question pour le fonctionnement des récepteurs mais d'une autre grandeur : la pression dynamique.

D'autres atteintes de la pression dynamique se produisent à cause d'une section de tube trop petite ou de raccords anguleux. Pour le dispositif, les longueurs significatives équivalentes doivent être indiquées pour tous les connecteurs.

Figure 1 : Dénomination des différents types de canalisations

Conduite ou flexible de raccordement (CR):

Il s'agit de la liaison entre le système de distribution et le récepteurs ou le lieu de sous tirage. Le raccord au système de distribution doit être positionnée en amont de ce dernier pour éviter que de la condensation ne soit expulsée avec l'air.

Accessoires de raccordement:

Ces composants sont souvent les points critiques d'un système et requièrent dans tous les cas une grande attention. Les raccords, les tuyaux flexibles, les spirales ou les éléments de surveillance conduisent souvent en raison d'une mauvaise disposition à une perte d'énergie. De plus, dans ce petit espace se trouvent de nombreuses connexions qui peuvent fuir beaucoup.

Quantité d'air

Pour des systèmes de distribution d'air comprimé agrandis au fil du temps, constitués de divers matériaux, présentant des diamètres différents et non optimisés, dont les matériaux facilitent plus ou moins la corrosion et avec différents types de raccordement, le taux de fuite se situe entre 25 et 35 %. Les fuites coûtent beaucoup d'argent. Les fuites sont les récepteurs les plus assidus et fonctionnent de surcroît 365 jours par an.

Qualité de l'air

Des tuyauteries résistantes à la corrosion et à l'oxydation développée spécialement pour les applications à air comprimé sont des valeurs demandées. Un système doit être choisi de manière à ce que la qualité de l'air, après que celui ci ait été produit et traité, ne soit pas affectée par son temps de séjour dans le réseau.

Pression dynamique dans le récepteur (P _e bar)	Consommation d'air %	Mesure
8,0	125	} réduire le régulateur
7,0	111	
6,3 bar	100 %	Puissance optimale
6,0	96	} augmenter la pression
5,0	77	
4,0	61	
3,0	44	

Table 1 : Relation entre pression de l'écoulement et consommation

Dia- mètre du trou mm	Perte en air		Perte en énergie		Coûts*	
	à 6 bar _e l/s	à 12 bar _e l/s	à 6 bar _e kWh/h	à 12 bar _e kWh/h	à 6 bar _e CHF	à 12 bar _e CHF
1	1,1	2,0	0,4	1,1	470	1 300
3	9,7	18,0	3,5	9,7	4 200	11 700
5	26,9	50	9,7	27,0	11 700	32 500
10	107,8	200,1	38,8	108,1	46 600	130 000

(*) kW x 0,15 CHF/kWh x 8 000 h/a (valeur arrondi)

Table 2 : Dépenses annuelles en énergie due aux fuites (sans coût d'achat et maintenance)

Diamètre Nominal	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100
Chute de pression [bar]	0,60	0,16	0,07	0,02
Investissement [CHF]	7 800	10 200	12 000	15 300
Coût d'Énergie compensatoire de la chute de pression [CHF/an]	5 149	1 400	622	164
Coût total sur 10 ans [CHF]	59 294	24 197	18 221	16 942

Table 3 : Coûts dus à un choix de diamètre trop petit

Stockage

Un autre facteur influant sur la qualité et la quantité d'air est son stockage. Le stockage juste après la production, également appelé stockage central, a une influence sur la qualité de l'air dans la mesure où la condensation a été enlevée. On offre par cette nouveauté, grâce à un réservoir, la possibilité d'exiger dans un court intervalle de temps de grandes quantités d'air que le compresseur ne pourrait pas fournir instantanément. Il existe également la possibilité, selon les cas, d'insérer le réservoir directement sur le récepteur. Vous pouvez trouver de plus amples informations sur ce thème dans les feuilles d'informations « Commande et régulation » et « Traitement ».

Coûts

Les prix du matériel et du montage des différents systèmes tubulaires doivent être comparés, puisqu'il n'y a pas de formule générale pour le « matériel tubulaire correct ». Partant de ce constat, chaque cas doit être traité individuellement avec au premier plan les exigences techniques.

Jusqu'à l'acier allié les prix des différents matériaux pour les tubes ne sont pas si différents les uns des autres, si bien que les amortissements annuels ont des différences si faibles qu'elles peuvent être négligées.

Le choix de la section correcte du tube est également décisif. Il y aura des frais ultérieurs considérables si les diamètres sont trop faibles. Celui qui économise sur les coûts lors de l'acquisition, doit ensuite puiser profondément dans sa poche pour des dépenses ultérieures (cf. Table 3).

Assainissement dans le domaine de la distribution de l'air comprimé

En général il ne faut pas y attendre trop longtemps pour contrôler les canalisations, cela pour des raisons économiques et écologiques. Les opérations doivent être effectuées pas à pas, et les actions à l'aveugle doivent être évitées.

De grands potentiels d'économie dans la répartition de l'air comprimé peuvent être recherchés sur la base du diagnostic grossier suivant :

- Qualité de l'air
- Fuites
- Chutes de pression.

Si les conditions de la **qualité de l'air** sont remplies?

C'est avant tout la question, à côté de la façon de traiter l'air comprimé, de savoir si le réseau de distribution est résistant à la corrosion. La qualité de l'air est-elle maintenue du traitement jusqu'aux récepteurs ?

Les dépôts et précipités de calamine, la rouille ou les dépôts de zinc (même en quantité négligeable) nécessitent souvent, en plus du traitement central de l'air comprimé, des éléments de traitement coûteux avant chaque récepteur.

Le système a-t-il des fuites ?

Le débit de fuites peut être déterminée grâce à un graphique de la charge des compresseurs comparé à l'enlèvement disponible. Il est par ailleurs urgent de considérer que les mesures peuvent être effectuées avec des récepteurs « ouverts » ou « fermés », car les fuites pourraient fausser ces mesures au niveau des accessoires de raccordement ou dans les machines.

Sous le terme fuites, on pourrait considérer également les conséquences de la surpression sur les récepteurs. Un récepteur qui a besoin de 6 bar, mais à qui on impose un fonctionnement à 7 ou 8 bar, gaspille d'importantes quantités d'air supplémentaires.

Quelle est l'importance de la chute de pression ?

Elle peut provenir d'une section trop faible. Pour des réseaux "grandissants", il y aura au cours du temps toujours plus de récepteurs branchés sur des canalisations principales toujours de plus en plus grandes, sans que les exigences n'apportent de nouveaux dimensionnements. Éventuellement seule la puissance du compresseurs est augmentée. Une fois le diagnostic posé, en considérant chacun des trois critères, un assainissement économique et sensé peut être réalisé: soit seules certaines parties doivent être assainies, soit la solution économique est de faire se rencontrer tous les phénomènes négatifs si possible d'un point de vue prix/ utilisation. De tels assainissements coûtent en général beaucoup moins que les gaspillages d'énergie au cours des années, et les temps d'amortissement sont assez courts.

Un concept économique peut être produit pour n'importe quel domaine utilisant l'air comprimé !

Souvent une considération méticuleuse du système complet, depuis la production et le traitement jusqu'à la répartition dans les mécanismes des machines, à cause des mesures nécessaires onéreuses (en temps), se paye rapidement et avec du gain sur la durée d'un fonctionnement, quelque soit le type et la taille.

Il faut apporter l'entretien nécessaire aux sources d'énergie les plus chères, qui sont déterminantes pour la production.

La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Prematic, Servatechnik, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

Cette feuille d'informations a été réalisée dans le cadre de la campagne "Druckluft Effizient" qui a eu lieu entre 2001 et 2004 en Allemagne. Cette campagne a été menée par la *Deutsche Energie Agentur (dena)*, le *Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung* (Fraunhofer ISI, conduite générale du projet), le *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)* avec le soutien du *Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi)* et des entreprises (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe/Allemagne, Juin 2006



air comprimé efficient – une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch



Feuille d'info

Optimisation

Éléments à prendre en compte pour l'optimisation:

1. **Diagnostic : évaluation de l'installation dans l'état actuel**
2. **Ingénierie – Conception**
3. **Analyse du système dans son ensemble**
4. **Réduction des interfaces**
5. **Rentabilité de la production d'air comprimé**
6. **Suivi – Optimisation du système**
7. **Externalisation de l'approvisionnement en air comprimé**
8. **Modifications planifiées**

L'optimisation du système dans son ensemble est un outil très important pour l'augmentation de l'efficacité des installations industrielles à l'ère de la rationalisation dans la technique de l'air comprimé. Il apparaît souvent au début d'une analyse que la planification et la prévision d'installations à air comprimé et leurs éventuels élargissements sont pris trop à la légère, ainsi que ce fut souvent le cas ces dernières décennies. La problématique consiste ici à effectuer une analyse plus proche de la réalité et pourtant stratifiée. Dans le passé par exemple, les installations à air comprimé ont souvent été considérées comme un domaine propre aux techniciens et étaient traitées « à part ». Cette « considération sauvage » est encore

encouragée, voire renforcée, par l'avantage principal de l'air comprimé : l'assurance d'absence d'accident. Mais le fait que l'air comprimé est une des énergies les plus coûteuses est souvent oublié.

Grâce à l'analyse du système dans son ensemble, avec ses différentes possibilités d'optimisation, dont le coût est parfois faible, il est possible de réaliser des économies notables. Il ne faut cependant pas oublier que l'élaboration d'outils pour la pratique et la réflexion doivent rester au premier plan.

Dans la suite, des possibilités d'optimisation des installations sont présentées dans le cadre d'une analyse globale du système.

Inventaire: évaluation de l'installation dans l'état actuel

Une installation à air comprimé se compose des domaines suivants:

- **Production**
- **Traitement**
- **Répartition**
- **Et récepteurs associés**

Une analyse des plans de l'installation permet d'obtenir un aperçu de son état actuel. A l'aide des techniques de mesure dont on dispose, les paramètres importants comme le débit volumique, la pression dynamique, la qualité de l'air comprimé (température, humidité, pression) peuvent être pris en considéra-

tion. D'autres mesures peuvent être effectuées comme la consommation électrique du compresseur (mesures à vide et en charge) avec la représentation correspondante des profils de charge ou alors la mesure du débit de fuites (voir pour cela la feuille d'informations « Technique de mesure »)

A côté des aspects prédominants de la pression, une remarque importante doit être effectuée. Souvent le récepteur principal est placé à l'extrémité du réseau ce qui est déterminant pour la pression que doit délivrer le compresseur. Les agrandissements des réseaux et des installations ont en grande partie conduit à des augmentations de pression historiques. Pourtant ces installations peuvent être réduites par une analyse plus précise et grâce à de petites modifications dans le réseau comme par exemple la mise en place de réseaux "bouclés" ou "fermés".



Figure 1 : Technique de mesure

De précieuses informations concernant l'état des installations peuvent être obtenues à partir des mesures ponctuelles décrites précédemment (par exemple les problèmes d'admission et de refoulement de l'air, les surcharges des unités de traitement, le refroidissement, etc.). A cette étape, la qualité de l'air comprimé doit également être contrôlée. Tous les critères ne correspondant pas à la norme utilisée (air contenant de l'huile et préparé avec un sécheur réfrigérant, avec un filtre usuel à particules de maille 1 μm et avec une teneur de 1 mg/m^3 pour l'huile restante, un point de rosée à +3 °C) exigent des investissements et des frais de fonctionnement supplémentaires à cause des mesures requises à mettre en place lors de la phase de traitement (voir la feuille d'info « Traitement »).

Dès que les exigences concernant la quantité, la qualité, la disponibilité requise et la redondance de l'air comprimé liée à cette dernière sont fixées, l'état de l'installation peut alors être vérifié, en particulier en ce qui concerne le fonctionnement ultérieur des installations du point de vue de l'état et de l'âge de la structure, de l'efficacité en énergie etc. L'installation peut alors encore être utilisée. Pour juger de l'état du réseau en terme de fuites, il est judicieux d'évaluer

les pertes, qui doivent normalement être de l'ordre de 15 à 40% (valeurs constatées).

Les fuites peuvent soit être calculées en approvisionnant le système pendant qu'il est à l'arrêt soit, dans la mesure du possible, pendant le fonctionnement à partir des courbes de pression. Pour cela on dispose d'un procédé mathématique exploitable. Pour l'évaluation du potentiel de fuites en cours de fonctionnement, la détection de fuites grâce à la technologie des ultrasons est d'un grand secours.

La commande simultanée de plusieurs compresseurs dans une installation et donc dans un réseau représente un autre aspect de l'optimisation. Dans ce domaine de très grandes innovations sont disponibles sur le marché, en particulier ces dernières années avec le processeur intégré, si bien qu'une analyse séparée de la commande et de la technique de gestion est ici pleine de sens, et cela dans tous les cas.

Actuellement, après examen, les temps de fonctionnement à vide sont de 30 % par exemple pour des compresseurs à vis non régulés. Le besoin électrique en fonctionnement à vide atteint également les 30 % de la puissance nécessaire en fonctionnement. Cela peut être considéré comme point de départ pour une éventuelle optimisation en relation avec l'insertion de concepts de commande et de régulation modernes (voir la feuille d'informations « Commande et régulation »).

L'inventaire doit être clôturé par un rapport détaillé et documenté en mettant l'accent sur les travaux et activités déjà réalisés, illustration correspondante et représentation des courbes de mesure et schéma fonctionnel à l'appui (éventuellement des analyses de potentiels effectuées), ainsi que sur les propositions d'optimisation possibles.

Ingénierie – Conception

Il est nécessaire d'attirer l'attention sur la conception dans sa globalité à partir des informations obtenues grâce à l'inventaire (pour ainsi dire regarder plus loin que le bout de son nez) :

Les principaux paramètres, comme par exemple le respect des directives légales et celle d'un éventuel concept de gestion des déchets (par exemple pour la condensation), doivent être impérativement respectés.

Le concept énergétique n'est pas à considérer comme définitif, mais doit être envisagé en relation avec un éventuel système de récupération de chaleur et avec les effets synergiques d'autres énergies utilisées, comme par exemple le besoin en azote. Cela dépendra plus généralement de la manière de choisir les divers futurs composants, d'un point de vue général, de façon à éviter toute redondance lors d'agrandissements, de renouvellements ou de diversifications.

Avec des techniques modernes intégrées (mot-clé : télé-service, maintenance et commande à distance), la disponibilité de l'installation peut être augmentée significativement. En conformité avec cela, la plus grande unité de compression doit alors être assurée ou du moins prête à tout cas de redondance de l'installation. Une sécurité adéquate en cas de panne peut être mise en place à l'aide d'une commande effectuée sur le système de distribution.

Un autre point important réside dans la réalisation globale du plan de maintenance et de service, qui prend en compte les principales suites d'opération à réaliser.

Analyse globale du système

Pour la considération des techniques de mesure en cours de fonctionnement, il est important de réfléchir sur l'utilisation sensée des techniques disponibles. Il faut déterminer quelles sont les mesures permanentes qui doivent être effectuées. On peut citer la consommation électrique, la surveillance des fuites, les pertes de pression et en particulier la puissance générale pour la surveillance du système, cela à côté des mesures « habituelles » comme le débit volumique, la pression et la mesure du point de rosée. Il est approprié d'effectuer une analyse besoin/coûts.

En ce qui concerne la régulation, il faut vérifier si une régulation automatique ou une régulation sans palier doit être installée (voir la feuille d'informations « Commande et régulation »).

Remarque : D'après l'étude « Compressed Air Systems in the European Union » menée par la Communauté Européenne, une économie d'énergie d'environ 20 % est potentiellement réalisable grâce à l'introduction de commandes et de régulations efficaces.

Réduction des interfaces

Il est également important de savoir qui est responsable de l'installation d'air comprimé. On cherche ici à contrôler s'il est judicieux de transférer la station d'air comprimé dans une structure hiérarchisée qui lui soit propre. Un grand avantage de cela est la transparence dans les prix et donc un meilleur contrôle des coûts. Jusqu'ici la technologie de l'air comprimé, qu'elle soit connue ou non, était enregistrée sur différents comptes. Cela entraînait une difficulté de contrôle des coûts.

Si un responsable de projet, et donc des coûts, est introduit pour d'autres opérations d'amélioration, cela modifie ce problème.

Grâce aux opérations de maintenance et d'entretien, la planification à long terme des travaux devient plus simple. Les listes de contrôle et les plans de maintenance doivent en pratique être effectués très tôt, afin que la maintenance sans faille de l'installation soit garantie. (mot-clé : gestion des perturbations)



Figure 2 : Installation à air comprimé

Rentabilité de la production

Pour constater la rentabilité, le coût du m³ peut servir de grandeur caractéristique pour l'énergie, la maintenance et le capital. Le choix des composants peut également être réalisé à partir de la puissance spécifique et des coûts de fonctionnement. La comparaison avec d'autres utilisateurs ou avec des projets d'optimisation similaires est à recommander.

D'après ces évaluations, l'estimation du potentiel devrait inclure les coûts internes supplémentaires de l'analyse des dépenses d'investissement, de celle des investissements de remplacement, de la prise en considération des frais de fonctionnement et de l'évaluation des dépenses de maintenance et d'entretien.

L'étape suivante, étape fortement recommandée, est la mise en place d'un suivi de fonctionnement de l'installation d'air comprimé. Il s'agit de surveiller les grandeurs caractéristiques du système comme son rendement, la quantité d'air consommée,...

Une autre augmentation de l'efficacité énergétique peut être par exemple atteinte par une recherche sur les possibilités de récupération de chaleur. En approfondissant, une remarque essentielle sur l'optimisation du système doit être effectuée quant à l'utilisation abusive de l'air comprimé, comme par exemple pour rafraîchir les employés lors des jours de fortes chaleurs etc. Il s'agit là de sensibiliser le personnel à ce sujet.

Il ne reste enfin plus qu'à mettre en œuvre dans la pratique les améliorations retenues.

Suivi – Optimisation du système

Pour cela il est nécessaire de mener des recherches basiques comme le contrôle de l'efficacité énergétique avec des alternatives et la recherche des formes d'énergie disponibles comme par exemple le couplage énergie mécanique - chaleur. La considération générale des conditions de fonctionnement et de

mise en place ainsi que la facilité de maintenance en découle.

Il n'est pas suffisant d'optimiser le système une seule fois. Il est bien plus nécessaire d'adapter le système régulièrement aux exigences, qui changent en fonction des cas pratiques rencontrés (consommations, pressions dans le réseau etc.) Les modifications du réseau sont provoquées par des mesures de travaux non coordonnées de manière centrale. Il est pour cela très important que les modifications internes au réseau soient communiquées ou mieux encore qu'elles nécessitent une autorisation.

En pratique, dans le passé également, des mécanismes de contrôle différents, comme par exemple les contrôles des coûts et des systèmes de conservation de la puissance ont fait leurs preuves. Un bon outil est la prévision du comportement du système dans lequel on analyse le comportement des demandes actuelles vis-à-vis des futures.

Externalisation de l'approvisionnement en air comprimé

Le pour et le contre de l'externalisation doivent être soigneusement soupesés. Un avantage de l'externalisation est la garantie par l'entrepreneur d'une consommation d'énergie par Nm³ (Normo-m³) d'air comprimé. Ensuite il est dans l'intérêt de l'entrepreneur que l'installation fonctionne efficacement. De plus, une surveillance efficace de l'installation est garantie et le personnel peut être déchargé des opérations hors de leur domaine de compétences.

De ce fait, il existe pour le client le risque de la perte des compétences primordiales pour l'optimisation, la planification de nouvelles installations et la maintenance des installations d'air comprimées. Par réinté-

gration des installations à air comprimé, les compétences doivent être recréées. (voir pour cela le fil conducteur de l'entreprise)

Modifications organisationnelles

La pratique a montré qu'en général l'estimation de la valeur d'une installation d'air comprimé par la direction manque. Dans ces circonstances, les services compétents sont seuls responsables, étant donné qu'ils ne réfèrent pas à la direction des incidents importants dans les installations. Cela a pour conséquences d'aboutir à une gestion hasardeuse de l'installation.

La situation du personnel doit être éclaircie. Si besoin le personnel doit être formé pour les travaux en décaoulant. Une autre possibilité est d'introduire un système de mandats dans le domaine de l'air comprimé.

Bilan

L'utilisation de composants simples et efficaces en énergie pour la production, le traitement, la distribution et l'utilisation de l'air comprimé est indispensable. Il est également important de prendre en compte les interférences entre les composants. L'utilisation de composants individuellement efficaces ne conduit pas obligatoirement à un résultat général raisonnable. Le potentiel d'optimisation disponible est considérable.

Une aide professionnelle extérieure est souvent nécessaire, cela dépend également de la pertinence des questions posées au cours du projet, lors de la planification et de la mise en exécution.

La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Prematic, Servatech, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

Cette feuille d'informations a été réalisée dans le cadre de la campagne "Druckluft Effizient" qui a eu lieu entre 2001 et 2004 en Allemagne. Cette campagne a été menée par la *Deutsche Energie Agentur (dena)*, le *Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI)*, conduite générale du projet), le *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)* avec le soutien du *Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi)* et des entreprises (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe/Allemagne, Juin 2006



air comprimé efficient – une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch



Feuille d'info

Outils pneumatiques

Ce qui vient « avant » l'outil

L'air comprimé, en tant que source d'énergie pour les outils, a une forte influence sur l'efficacité du travail effectué à l'aide de ces outils.

Des mesures d'optimisation de l'approvisionnement des postes de travail en air comprimé contribuent souvent à une augmentation significative de la productivité et à la chute des dépenses énergétiques.

Une installation correctement pensée du compresseur jusqu'à l'outil est essentielle pour l'efficacité. Beaucoup d'installations, dont les plus vieux composants ne sont plus toujours bien adaptés, sont devenues des "vieilles dames". Des compresseurs mal dimensionnés, ou bien fonctionnant trop longtemps, comme les pertes de puissance et les fuites, ont exactement les mêmes effets qu'une hausse des prix.

Des informations plus précises sur le choix des composants sont tour à tour disponibles sur les feuilles d'informations « Production », « Commande et régulation » et « Distribution ».

Régression massive de la productivité à cause d'une pression de travail trop faible !

Les outils à air comprimé sont conçus pour fonctionner avec une pression de service bien précise (en général 6,3 bar). Il faut remarquer qu'il s'agit de pression dynamique et non de pression statique, pression souvent indiquée dans les postes de maintenance.

La pression dynamique peut être mesurée soit par un manomètre placé avant l'outil lors du fonctionnement de ce dernier, soit en effectuant une simulation de l'outil. Si la pression de fonctionnement est inférieure à la pression optimale, la puissance de l'outil diminue. Comme exemple, voici l'enlèvement de matière pour une meule :

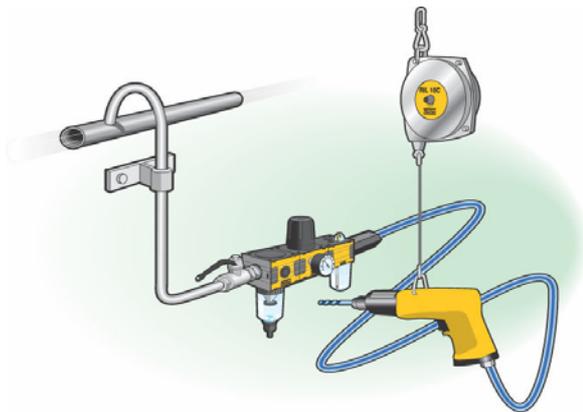
Pression de service en bar	Enlèvement de matière en kg/h
6,3	5,5
5,8	4,5
5,3	4,0

L'exemple montre qu'une pression de travail trop faible de 0,5 bar entraîne une chute significative de la productivité. Non seulement le temps de travail nécessaire est augmenté, mais les dépenses en énergie aussi.

En effet la consommation d'air par unité de temps chute, mais cela apporte aussi un temps de travail plus long.

Exemple

Sur l'exemple d'une perceuse, comme représentée sur la figure 1, les dépenses globales doivent être indiquées.



Pression de travail en bar	Divers temps de perçage en s (exemple)
6,3	2,0
5,8	3,2

Figure 1 : Perceuse avec unité de surveillance et flexible d'alimentation

Cela signifie que le temps de perçage pur augmente de 60 % à cause d'une pression trop faible. A cela, une pression de travail trop faible de 0,5 bar n'est en aucun cas une exception, mais une réalité souvent plus onéreuse.

Dans l'exemple de la perceuse, les frais s'élèveraient comme suit :

Pour	
Consommation d'air de la perceuse (6,3 bar)	15 l/s
un temps de perçage efficace	1 h/jour
coût de l'opération	30 CHF/h
dépenses en énergie	0,15 CHF/kWh
conduisent à un supplément de frais par mois pour	
le fonctionnement	360,00 CHF
l'énergie	8,95 CHF
SOMME	368,96 CHF
C'est-à-dire 4 060 CHF par an !	

La voie à prendre pour une utilisation efficace de l'outil

1. Optimisation de l'environnement

Longueur du flexible = Perte de pression!

Il découle de la constatation précédente que les flexibles doivent être pris le plus court possible. Les flexibles-spirale sont à éviter. Ceux-ci peuvent être généralement remplacés par de simples flexibles. Mais il faut aussi prendre garde au diamètre des flexibles, afin d'éviter les passages « dévoreurs » de pression.

Installer des connecteurs pauvres en pertes!

La plupart des connecteurs rapides auto purgeant, en particulier ceux en laiton, (Pression dynamique entre 0,6 et 1,3 bar) coûtent beaucoup de pression. La cause est la présence d'une boule reposant dans le courant d'air. Les connecteurs rapides modernes réduisent les pertes (d'environ 0,2 bar) de manière frappante et s'amortissent alors en peu de temps.

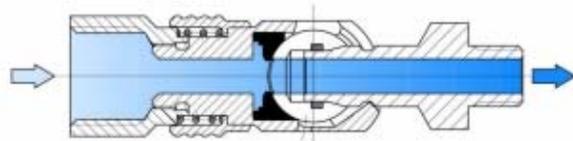


Figure 2: Connecteur rapide moderne

Eviter les « bricolages » !

De grandes négligences sur la section, la présence plus que nécessaire de connecteurs, trop de soufflettes et de mauvais diamètres de tuyau s'additionnent pour donner un grand gaspillage en énergie. Une conception correcte se paye en revanche presque toujours.



Figure 3: Gaspillage d'énergie dans les réseaux à air comprimé

Mélange avec de l'huile dans l'arrivée d'air seulement si c'est nécessaire !

Les mécanismes des turbines ou bien alors des outils équipés avec des moteurs à lamelles lubrifiés ne nécessitent pas d'apport en huile. Les produits huileux agissent directement sur les pertes de pression. Quand ce n'est pas le cas, ces huiles doivent être branchés de 3 à 5 mètres en amont de l'outil.

2. Mesure et ajustement de la pression dynamique

Il est possible qu'après l'optimisation de l'environnement l'outil soit soumis à une pression trop importante. Cette pression ne peut être à présent réduite que par un régulateur de pression. A présent l'outil fonctionne le plus efficacement et sa consommation d'air est diminuée.

Flux de pression dans l'outil en bar	Consommation d'air en %
6,3	100
7,0	110
8,0	125

3. Ajustement de la pression du réseau

Souvent la pression du réseau peut être fortement réduite. Cela agit sur les temps de fonctionnement des compresseurs, qui diminuent, et réduit ainsi énormément les dépenses d'énergie !

Les optimisations de l'environnement de l'outil s'amortissent souvent sur des durées très courtes !

Maintenance de l'installation d'air comprimé

Après la première optimisation, il faut maintenir sur la durée l'efficacité gagnée. Une maintenance régulière des composants y contribue de manière très importante. En plus de la vidange et du nettoyage du filtre, il faut effectuer une recherche des fuites, et cela régulièrement.

Le fournisseur de l'installation d'air comprimé vous apporte son expérience lors de la réalisation des plans de maintenance.

On ne doit pas oublier que l'état de maintenance de l'outil a lui aussi un effet important sur l'efficacité.

Il est tout aussi important, lors de chaque modification dans l'installation, de prendre soin aux diverses conséquences pour les comportements de la pression dans le système.

Si cela n'est pas possible parce que des modifications sont trop souvent effectuées, un contrôle de l'installation dans sa globalité à intervalles réguliers devient nécessaire.

Bilan

Lors de l'introduction d'outils à air comprimé, l'analyse de l'environnement devient donc vite rentable. De mauvais dimensionnements, de mauvaises incorporations et des mauvais états de maintenance réduisent la productivité de manière dramatique.

La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Prematic, Servatechnik, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

Cette feuille d'informations a été réalisée dans le cadre de la campagne "Druckluft Effizient" qui a eu lieu entre 2001 et 2004 en Allemagne. Cette campagne a été menée par la *Deutsche Energie Agentur (dena)*, le *Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung* (Fraunhofer ISI, conduite générale du projet), le *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)* avec le soutien du *Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi)* et des entreprises (<http://www.druckluft-effizient.de/kontakt/partner/industrie.php>).

© Druckluft effizient / Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe/Allemagne, Juin 2006



air comprimé efficient – une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch



Feuille d'info

Fuites d'air comprimé

Comment votre argent part « en air »

L'air comprimé est un agent de transmission d'énergie de qualité, il doit donc être traité en conséquence. Malheureusement une grande partie de l'air comprimé produit est perdue avant même son utilisation à cause des fuites. On constate dans la pratique que la part des fuites représente de 15 à 70 % de la quantité totale d'air comprimé produite.

La part de fuites est définie par le quotient du volume total d'air perdu par rapport à la production total d'air comprimé. En ne considérant uniquement que les fuites durant les temps de production, cette part est souvent plus faible étant donné qu'en dehors des temps de production elle représente souvent 100 %.

Une valeur cible raisonnable pour la part globale des fuites est 10 %. Une diminution des fuites en dessous de 10 % n'est dans la plupart des cas pas réalisable sans un investissement conséquent et souvent pas rentable. Il faut également toujours prendre en compte que la part des fuites dépend du secteur d'activités. Il est donc logique d'attendre des parts de fuite beaucoup plus faibles dans le secteur de la chimie et de la pharmacologie que dans des secteurs comme la cimenterie ou la production d'acier.

Plus que le secteur d'activités, la volonté des entreprises joue un rôle central dans l'importance des

fuites. Figure 1 montre cela clairement, il s'agit des résultats de la campagne « Air Comprimé » menée en Allemagne. Ces résultats mettent en évidence que les variations de la part des fuites au sein d'une branche sont beaucoup plus importantes que les variations entre les différents secteurs d'activité. Il n'incombe donc qu'à vous de diminuer les fuites de votre installation et d'ainsi faire des économies tant du point de vue énergétique que du point de vue des coûts de fonctionnement de votre installation.

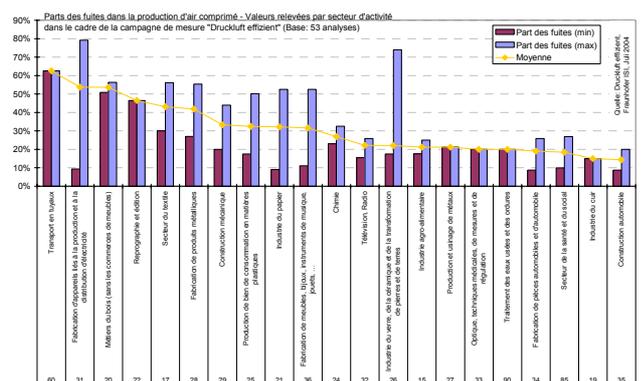


Figure 1 : L'importance de fuites d'air

La part des fuites est souvent méconnue. Nous vous montrons dans la suite, comment déterminer simplement les fuites de votre installation.

Détermination des fuites d'air comprimé

Méthode de la vidange des réservoirs

Une façon simplifiée de déterminer les fuites consiste à mesurer le temps de vidange des réservoirs d'air comprimé. Pour réaliser cette mesure, vous n'avez besoin que d'une montre et d'un manomètre. Il vous faut également connaître le volume du réservoir et la pression du réseau. La mesure est réalisée de la façon suivante : régler la pression du réseau et du réservoir à la pression maximum admissible en veillant à ce que tous les récepteurs soient hors service puis mettre le compresseur hors service de façon à ce que le réseau ne soit plus alimenté. Mesurer ensuite le temps nécessaire pour que la pression diminue de 1 à 2 bar en raison des fuites. Figure 2 montre un profil de pression typique pour cette mesure. Vous pouvez choisir librement les 2 pressions entre lesquelles vous effectuez la mesure.

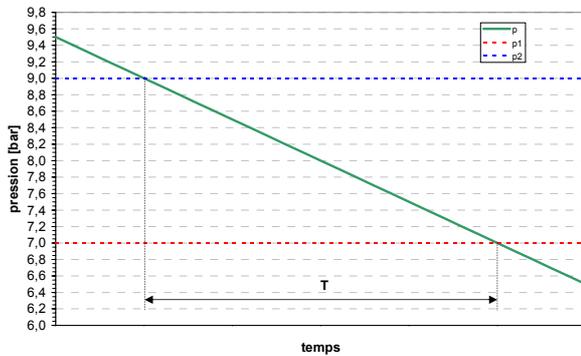


Figure 2 : Mesure de la diminution de pression dans le système compresseur coupé en fonction du temps

Avec les données de pression maximale et minimale, le temps nécessaire cette diminution de pression et le volume du réservoir, la quantité d'air perdue à cause des fuites peut être calculée :

$$\dot{V}_L = \frac{V_B \times (p_A - p_E)}{t}$$

\dot{V}_L = Débit de fuite

V_B = Volume du réservoir

p_A = Pression dans le réservoir au début de la mesure

p_E = Pression dans le réservoir à la fin de la mesure

t = Temps de mesure

Si le volume du réseau est important par rapport au volume du réservoir, il faut prendre en compte ce volume dans le calcul (si le volume du réseau est inférieur à 5 % du volume du réservoir, il n'est pas nécessaire de le prendre en compte).

Méthode de la durée de fonctionnement du compresseur

Une autre méthode pour déterminer les fuites consiste à mesurer la durée de fonctionnement du compresseur lorsque celui-ci ne fait que compenser les fuites. L'avantage de cette méthode est qu'il n'est pas nécessaire de connaître le volume des réservoirs et du réseau mais la quantité d'air délivré par le compresseur. La mesure est réalisée de la façon suivante : après avoir mis tous les récepteurs et les compresseurs, exception faite de celui nécessaire à la mesure, hors service, relevez l'évolution de la pression dans le système au cours du temps. Figure 3 montre une courbe caractéristique de cette mesure. Pendant les temps t_i , le compresseur fonctionne en charge et alimente le système ce qui fait augmenter la pression du système. Une fois la pression maximale du système atteinte, le compresseur s'arrête et la pression se met à baisser en raison des fuites jusqu'à ce que la pression minimale soit éteinte et que le compresseur se remette en charge.

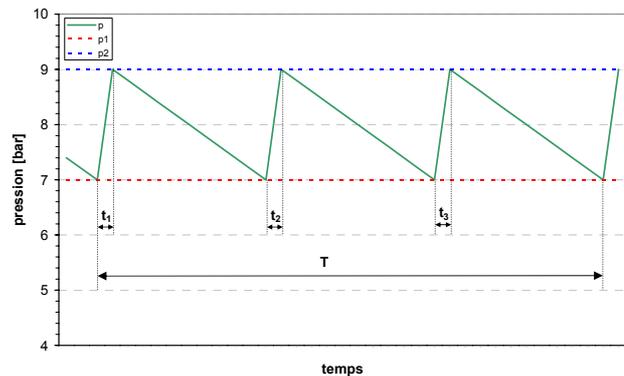


Figure 3 : Détermination de la quantité des fuites par la méthode de la durée de fonctionnement du compresseur

Pour déterminer les fuites avec précision, il est nécessaire de mesurer plusieurs cycles de fonctionnement du compresseur. Additionnez les temps de fonctionnement en charge du compresseur t_i . Les fuites se laissent alors calculer à l'aide de la formule suivante :

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{V}_K \times t}{T}$$

\dot{V}_L = Débit de fuite [m³/min]

\dot{V}_K = Débit du compresseur [m³/min]

$t = \sum_{i=1}^n t_i$ = Temps de fonctionnement du compresseur en charge [min]

T = Durée totale de la mesure [min]

Ce procédé se laisse automatisé, si les données des compresseurs sont disponibles soit à partir du système de gestion de production soit à partir de la commande du compresseur. Une évaluation automatique peut ainsi être régulièrement effectuée le week-end ou bien après arrêt de la production.

Une telle mesure permet de mettre en place des alertes dans le cas où les fuites dépassent un certain seuil et d'éliminer efficacement les fuites.

Estimation des fuites à partir de données géométrique

Dans la mesure où aucune mesure ne peut ou ne doit être menée, les fuites se laissent aussi estimer à partir du nombre et de la taille de celles-ci. L'écoulement d'air au niveau d'une fuite peut être décrit à l'aide de la mécanique des fluides. Etant donné que la géométrie de la fuite n'est pas exactement connue, il est fait l'hypothèse que celle-ci est circulaire., ce qui permet d'avoir une estimation du débit de fuite supérieure à ce qu'il n'est vraiment. La vitesse d'écoulement au niveau de la fuite correspond typiquement à la vitesse du son. Seulement en cas de faible différence de pression, cette vitesse n'est pas atteinte. Cette même méthode permet de calculer la quantité d'air qui s'écoule d'une buse.

Détermination des fuites à partir d'une mesure du débit volumique ou du signal des compresseurs

Il est également possible de déterminer le débit de fuite à l'aide des profils de consommation d'air comprimé. Cela nécessite que la production soit arrêtée le soir ou le week-end par exemple.

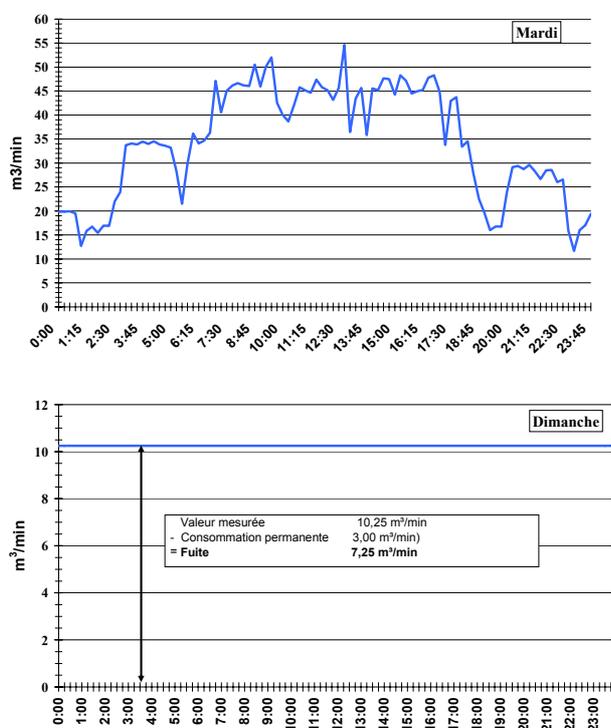


Figure 4 : Détermination de la consommation engendrée par les fuites à l'aide de la mesure du débit volumique ou du signal des compresseurs

Si aucun récepteur ne fonctionne pendant les jours vaqués, le débit de fuite se laisse ainsi simplement mesuré. Les commandes supérieures des compresseurs modernes permettent souvent d'évaluer le profil de consommation hebdomadaire. Ces profils peuvent servir au contrôle des fuites.

Détermination des fuites à l'aide de l'utilitaire Excel

Vous trouverez sur interne (www.druckluft.ch/toolbox) un utilitaire développé dans le cadre de la campagne Air Comprimé Efficient Suisse qui prend en charge la méthode de la vidange des réservoirs, la méthode de la durée de fonctionnement du compresseur et l'estimation des fuites à partir des données géométriques. Cet utilitaire vous permet d'évaluer facilement le débit de fuite, les coûts de ces fuites et les économies que vous pouvez réaliser. L'utilitaire vous épargne les calculs à la main qui prennent beaucoup de temps et vous fournit les bons arguments pour l'élimination des fuites dans votre entreprise.

Détecter les fuites au cours du fonctionnement de votre installation

Une fois que vous avez évalué les économies potentiellement réalisables par la réduction des fuites, l'étape suivante consiste à mettre en place des mesures pour diminuer effectivement les fuites. Pour cela il est nécessaire de repérer en fonctionnement les fuites. Il est connu que les fuites se produisent essentiellement sur le dernier tiers du réseau. Les tuyaux, les raccords, les prises, les unités de conditionnement et autres composants similaires sont des endroits, où les fuites sont fréquentes.

Dans beaucoup de cas il suffit simplement d'arpenter l'installation lorsque la production est arrêtée pour détecter des fuites. Les fuites se remarquent souvent par le sifflement caractéristique qu'elles produisent. Les fuites d'air comprimé se laissent également très bien détecter à l'aide d'appareils de détection aux ultrasons. Ces appareils ne sont pas gênés dans la détection des fuites par le bruit ambiant. On trouve sur le marché une multitude d'appareils standardisés avec des prix commençant à 800 CHF. 2 Types d'appareils sont représentés sur la figure 5.



Figure 5 : Appareils de détection aux ultrasons des fuites d'air comprimé

L'acquisition de tels appareils n'est donc pas sans un certain coût, c'est pourquoi ce type d'appareil peut être loués pour environ 100 à 150 CHF par semaine auprès de votre fournisseur d'air comprimé. Vous pouvez également sous-traiter totalement la recherche et l'élimination des fuites à un tiers.

Documentation des fuites

Pendant que vous arpentez votre installation à la recherche de fuites, il doit si possible s'en suivre une documentation de chacune d'elles. Cela est surtout valable dans le cas où la fuite ne peut pas être éliminée de suite. Une classification claire des fuites est judicieuse. Il convient de différencier 3 catégories :

	(a) fuites inaudibles
	(b) fuites audibles
	(c) fuites importantes avec nécessité de réparations rapides

Différenciez les catégories avec des étiquettes de différentes couleurs. Les informations suivantes doivent figurer sur chaque étiquette :

- N° de la fuite
- désignation du poste de travail
- date de la réparation
- date du prochain contrôle
- personne responsable.

Dans beaucoup de cas il peut être utile de documenter la fuite à l'aide d'une photo numérique. Un exemple est donné sur l'illustration 6.



Figure 6 : Marquage d'une fuite au niveau d'un filtre

La recherche et l'élimination des fuites n'est pas à réaliser une seule fois, il s'agit d'un processus à répéter à intervalle de temps régulier puisque des fuites apparaissent toujours et souvent au même endroit. C'est dans ces cas que la documentation prend tout son sens. Cette documentation peut par exemple être réalisée sous Excel et contenir les informations suivantes :

- N° de la fuite [Numéro courant de la fuite trouvée]
- lieu de la fuite [indication précise du poste de travail et de l'endroit où la fuite se produit]
- catégorie de la fuite [(a), (b), (c)]
- désignation du composant défectueux [raccord, unité de conditionnement, tuyau, vérin etc.]
- fabricant du composant
- cause possible de la fuite
- date de l'identification
- date de remplacement
- personne responsable.

Si ce processus est mené de façon consciencieuse, les fuites se laissent repérer de façon sûre et fiable puis éliminer. En raison des coûts importants liés aux fuites, le temps pris pour réaliser la documentation est très vite amortie. Cette documentation livre en même temps des informations quant aux opérations d'entretien à réaliser. Veillez à ne faire tout ce travail pour rien en oubliant au final d'éliminer les fuites.

Mesures pour l'élimination des fuites

La réduction des fuites peut se faire de manière directe ou indirecte. Avec les mesures directes, le nombre de fuites est réduit, avec les mesures indirectes, la quantité et la taille des fuites restent inchangées alors que le « temps de fuite » est réduit.

Mesures directes

Souvent les fuites se situent au niveau de raccords. Qu'il s'agisse de colliers, de raccords serties ou d'assemblages de tubes, il suffit souvent de resserrer les éléments pour éliminer la fuite.

Au niveau des vérins, des connexions, des soufflettes ou des purgeurs de condensat, des joints peuvent être usés. Changez ces joints de suite si vous le pouvez. Si des tuyaux fuient, changez les tout de suite, tout comme les connexions. Vérifiez également l'usure des fiches de connexions, si leur profil est altéré, changez les au profit de fiches en acier durci. Prévoyez à cet effet un stock de pièce de rechange. Les tuyaux peuvent souvent être raccourcis si le défaut se situe près d'une extrémité. Prenez soins de documenter même les fuites que vous éliminez tout de suite.

Mesures indirectes

Dans beaucoup de cas, les fuites ne se laisse pas éliminer tout de suite. Cela vaut particulièrement, quand des machines doivent être arrêtées afin de pouvoir procéder aux réparations. Dans ce cas les réparations sont reportées à plus tard. Comme les fuites ne peuvent pas être ramenées tout de suite à un niveau proche de zéro, il est toujours conseillé dans ce cas de voir si des mesures indirectes ne pourraient pas contribuer à une diminution des fuites.

Une des mesures les plus efficaces est la **diminution** du « temps de fuite ». Cela peut être réalisé par l'arrêt de l'installation d'air comprimé le soir et le week-end dans le cas où un fonctionnement continu n'est pas indispensable.

Si l'installation ne peut pas être arrêtée dans sa totalité, il reste toujours la possibilité de couper du réseau certains secteurs. Les fuites dans les secteurs isolés présente alors un « temps de fonctionnement » plus court et un taux de fuite ainsi plus faible. Une autre possibilité consiste à **abaisser la pression de service du réseau**.

Plus la pression du réseau est faible, plus les fuites sont faibles. Si par exemple le pression du réseau est abaissée pendant le week-end de 9 à 7 bar, les fuites sont réduites de 22 %. Si la quantité d'air perdue à cause des fuites en fonctionnement normal représente 2 m³/min, vous pouvez économiser environ 1000 CHF par an.

Des économies similaires peuvent être réalisées en coupant certains secteurs ou certaines machines du réseau. Les mesures indirectes ne doivent cependant pas remplacer l'élimination des fuites mais la compléter.

Il ne faut pas non plus négliger la sensibilisation des employés et leur collaboration dans la recherche et l'élimination des fuites. Un employé qui prend soin quotidiennement de « ses » outils et qui prend au sérieux les bruits de fuite, permet de gagner du temps et de l'argent dans la recherche.

Avec des coûts faibles, les mesures indirectes permettent de réaliser des économies importantes.

Résumé

Les fuites d'air comprimé sont la cause du plus fréquent et plus important gaspillage dans le domaine de l'air comprimé. Contrôlez et éliminez les fuites de votre installation régulièrement (au moins une fois par an). Louer ou acheter un appareil de détection aux ultrasons. Documentez et marquez clairement les fuites qui ont été trouvées. Faites appel le cas échéant à un prestataire de service pour que votre entreprise ne ressemble pas à ça :



La campagne Suisse air comprimé efficient motive et soutient les utilisateurs de systèmes à air comprimé en Suisse par la mise en œuvre de mesures pour l'amélioration de l'efficacité de la production d'air comprimé. La campagne est conduite par le Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung et est soutenue par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et le Elektrizitätswerk Zurich (ewz). Elle est intégrée au programme SuisseEnergie. Les entreprises partenaires sont : Airtag, Atlas Copco, Donaldson, Dopag, Kaeser, Oetiker, Prematic, Servatechnik, Vektor.

Vous trouverez de plus amples informations à l'adresse suivante : www.air-comprime.ch

© Effiziente Druckluft Schweiz, Fraunhofer ISI, Karlsruhe/Allemagne, Septembre 2006



air comprimé efficient – une campagne de SuisseEnergie
www.air-comprime.ch

