



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).

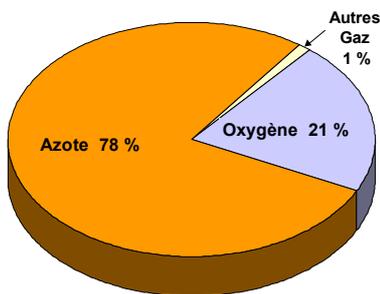


Figure 1 : Composition de l'air ambiant sec

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.

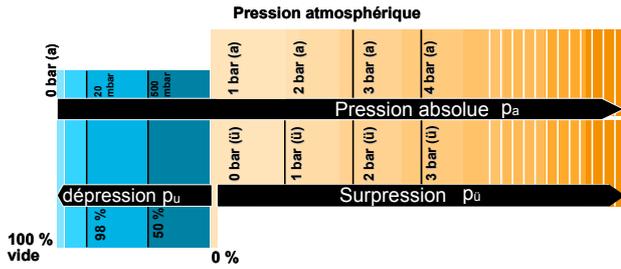


Figure 2 : Surpression, pression absolue et dépression

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 $T = \text{const.}$

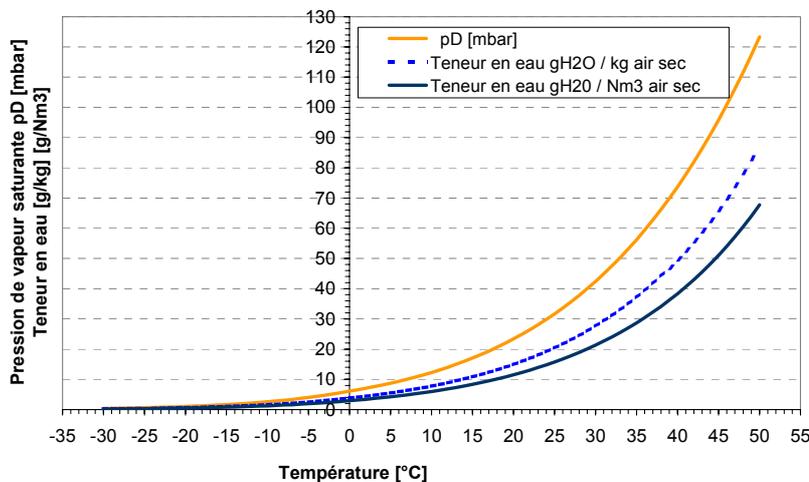


Figure 3 : Pression de vapeur saturante et teneur en eau de l'air

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 ».

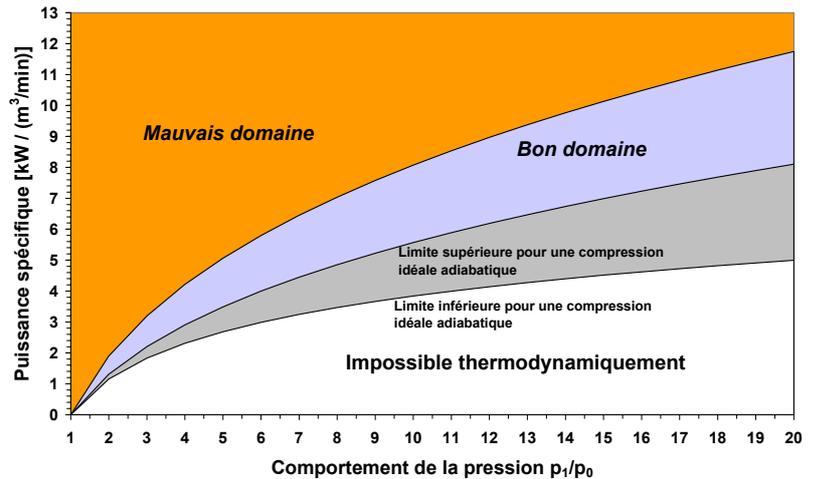


Figure 4 : Le besoin de rendement spécifique pour la production d'air comprimé

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.

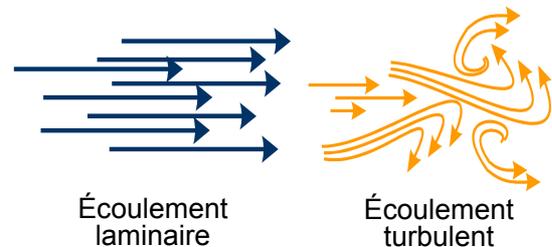


Figure 5 : Écoulement laminaire et écoulement turbulent

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 énergiques 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, 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 (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