

Guide technique de l'air comprimé

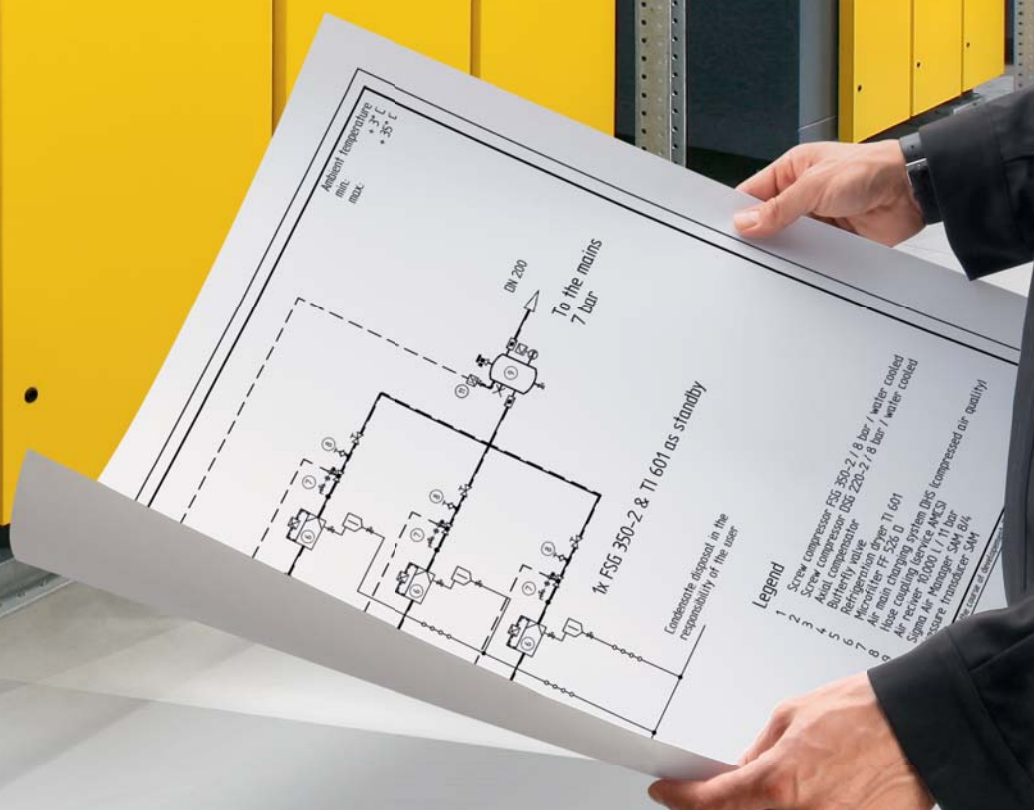
Notions fondamentales, informations pratiques et conseils utiles



Kompressor 5

KAESER

FSD 571



Sommaire

Notions fondamentales

Chapitre 1	Quelques notions d'air comprimé.....	4
Chapitre 2	Le traitement économique de l'air comprimé.....	6
Chapitre 3	Pourquoi sécher l'air comprimé ?.....	8
Chapitre 4	Purger automatiquement les condensats.....	10
Chapitre 5	Le traitement fiable et économique des condensats.....	12
Chapitre 6	Une commande de compresseur performante.....	14
Chapitre 7	Adapter les compresseurs à la consommation d'air comprimé.....	18
Chapitre 8	Économiser de l'énergie avec la récupération des calories.....	20
Chapitre 9	Créer un réseau d'air comprimé.....	22
Chapitre 10	Moderniser un réseau d'air comprimé.....	24
Chapitre 11	Analyse des besoins en air comprimé (ADA) – État des lieux de l'existant.....	26
Chapitre 12	Définir une solution économique.....	30
Chapitre 13	Refroidir efficacement la station d'air comprimé.....	32
Chapitre 14	Pérenniser la fiabilité et l'optimisation des coûts.....	34

Conseils pratiques

Conseil n° 1	Réaliser des économies avec une pression optimale.....	40
Conseil n° 2	La bonne pression à l'utilisation.....	42
Conseil n° 3	Distribuer l'air comprimé.....	44
Conseil n° 4	Les tuyauteries de la station d'air comprimé.....	46
Conseil n° 5	Bien installer les compresseurs.....	48
Conseil n° 6	Ventiler la station d'air comprimé.....	49
Conseil n° 7	Évacuer l'air de la station d'air comprimé.....	50

Annexe

Annexe 1	Nomogramme – Déterminer le diamètre intérieur de la tuyauterie.....	50
Annexe 2	Exemples de questionnaires pour le système d'économie d'énergie.....	52

Avant-propos


 Dipl.-Wirtsch.-Ing.
 Thomas Kaeser

 Dipl.-Wirtsch.-Ing.
 Tina-Maria Vlantoussi-Kaeser

Chère lectrice, cher lecteur,

Il y a plus de 2000 ans, Socrate estimait que la connaissance était le bien le plus précieux de l'Humanité, et l'ignorance le pire des maux.

Cet axiome de l'un des pères de la philosophie occidentale est plus que jamais d'actualité car rien ne semble plus permanent que le changement. L'ampleur et le rythme des mutations dues aux évolutions techniques et à la mondialisation de l'économie appellent de nouvelles réponses et de nouvelles stratégies.

Plus que jamais nous devons relever ces défis comme autant d'opportunités pour de futures réussites. Dans un monde de plus en plus complexe où les réseaux ne cessent de se développer, la connaissance est en passe de devenir la principale matière première de l'avenir. Le volume de connaissances explose et chaque individu ne peut se l'approprier que par l'éducation et au prix d'importants efforts de formation permanente.

Dans l'air comprimé par exemple, il ne suffit plus de savoir construire, installer et exploiter correctement des compresseurs performants.

Pour utiliser ce vecteur d'énergie rationnellement, autrement dit avec le meilleur rendement possible, il faut considérer le système d'air comprimé dans sa globalité. Il faut également connaître les nombreuses interactions et les facteurs qui interviennent à l'intérieur du système, et maîtriser son intégration au sein de l'entreprise.

C'est pourquoi KAESER COMPRESSEURS s'investit par de multiples moyens dans la formation permanente de ses clients. Tout au long de l'année, des spécialistes expérimentés de KAESER se déplacent sur tous les continents pour parler de la production performante et de l'utilisation rationnelle de l'air comprimé, lors de congrès, de conférences ou de séminaires. À quoi s'ajoutent de nombreux articles dans les médias les plus divers.

Ce guide vous présente un condensé de tout ce savoir. Vous y trouverez une solide introduction à la technique de l'air comprimé ainsi qu'une série de conseils pratiques pour les exploitants de stations d'air comprimé et les utilisateurs. Vous constaterez au fil des pages qu'il suffit parfois de petits changements dans le système d'air comprimé pour améliorer de manière significative le rendement et la disponibilité de ce vecteur d'énergie.

Quelques notions d'air comprimé

Pour l'air comprimé comme pour bien d'autres choses dans la vie, le diable se cache dans les détails et de petites causes produisent souvent de grands effets, en bien ou en mal. Examinées de près, les choses sont souvent différentes de ce qu'elles paraissent au premier abord. L'air comprimé, par exemple, peut coûter très cher s'il est produit et utilisé dans des conditions défavorables, ou au contraire être très économique dans des conditions générales bien adaptées. Dans le premier chapitre, nous nous penchons sur quatre notions de la technique d'air comprimé accompagnées de quelques remarques importantes.

1. Débit

Le débit d'un compresseur est le volume d'air, ramené à la pression atmosphérique, que le compresseur injecte à l'état comprimé dans le réseau. Les normes DIN1945-1, **annexe F** et **ISO 1217, annexe C** définissent les méthodes de mesurage du débit. Pour mesurer le débit, on procède comme indiqué à la **fig. 1** : relever tout d'abord la température, la pression atmosphérique et l'humidité de l'air à l'entrée de la machine complète. La pression de service maximale, la température de l'air comprimé et le volume d'air débité sont ensuite mesurés en sortie de compresseur. Enfin, on ramène le volume V_2 mesuré à la sortie d'air



Fig. 1 : Mesurage du débit selon ISO 1217 annexe C (DIN 1945 annexe F)

$$V_1 = \frac{V_2 \times P_2 \times T_1}{[p_1 - (p_D \times F_{rel})] \times T_2}$$

comprimé aux conditions d'aspiration, à l'aide de l'équation des gaz parfaits (cf. **formule ci-dessus**).

Ce calcul donne le débit du compresseur, à ne pas confondre avec le débit du bloc compresseur.

Attention:

Les normes DIN 1945 et ISO 1217 seules concernent uniquement le débit du bloc.

2. Puissance utile

La puissance utile est la puissance transmise mécaniquement à l'arbre par le moteur du compresseur. Elle est à son point optimal lorsque le rendement électrique et le facteur de puissance $\cos \phi$ sont exploités au maximum sans surcharge du moteur. La puissance utile optimale se situe dans la plage de puissance nominale qui figure sur la plaque constructeur du moteur électrique.

Attention : Si la puissance utile s'écarte trop de la puissance nominale du moteur, le compresseur gaspille de l'énergie et/ou subit une usure accrue.

3. Puissance absorbée

La puissance absorbée est la puissance électrique consommée par le moteur du compresseur pour une sollicitation mécanique donnée de l'arbre moteur (puissance utile). Elle est égale à la puissance utile plus les pertes de puissance du moteur, comme les pertes électriques et mécaniques dues aux roulements et à la ventilation du

$$P = U_n \times I_n \times \sqrt{3} \times \cos \phi_n$$

moteur. La puissance absorbée au point nominal se calcule avec la formule ci-dessous :

U_n , I_n , et $\cos \phi_n$ figurent sur la plaque constructeur du moteur électrique.

4. Puissance spécifique

La puissance spécifique désigne le rapport entre la puissance électrique absorbée et le débit d'air fourni à une pression de service donnée (**fig. 2**). La puissance électrique absorbée par un compresseur est la somme des puissances absorbées de tous les moteurs du compresseur, à savoir le moteur principal, le motoventilateur, le moteur de la pompe à huile, le kit hors-gel etc.

Si la puissance spécifique est utilisée pour calculer des coûts d'exploitation, elle doit se rapporter aux bornes de la centrale complète à la pression de service maximale. Pour cela, il faut

$$P_{spéc.} = \frac{\text{Puissance absorbée}}{\text{Débit}}$$

diviser la puissance absorbée totale à la pression maximale par le débit du compresseur à cette même pression :

5. IE – la nouvelle formule des moteurs économes en énergie

La première classification du rendement des moteurs triphasés asynchrones est apparue aux États-Unis en 1997 avec la loi EPACT (Energy Policy Act). L'Europe a ensuite mis en place sa propre classification. Depuis 2010, les moteurs électriques sont soumis à la norme internationale IEC. Les classifications et le renforcement des législations ont conduit à une nette amélioration du rendement énergétique des moteurs électriques des catégories supérieures. Les moteurs à grand rendement offrent de gros avantages :

a) De basses températures de service

Sur les petits moteurs, les pertes de rendement internes (frottement, échauffement) peuvent représenter jusqu'à 20 % de la puissance absorbée, et 4 à 5 % sur les moteurs de plus de 160 kW. Les moteurs IE3/IE4 limitent l'échauffement et donc les pertes (**fig. 3**).

Dans un moteur conventionnel en charge normale l'augmentation de la température de service est d'environ 80 K avec une réserve de température de 20 K par rapport à la classe d'isolation F, alors que dans les mêmes conditions, l'élévation de température d'un moteur IE ne dépassera pas 65 K environ, avec une réserve de température de 40 K.

b) Une plus grande longévité

Les basses températures de service réduisent la sollicitation thermique du moteur, des roulements et du bornier, d'où une plus grande longévité du moteur.

c) 6 % d'air comprimé en plus avec moins d'énergie

Une moindre déperdition de chaleur se traduit par une augmentation du rendement. En étudiant soigneusement ses compresseurs par rapport aux moteurs

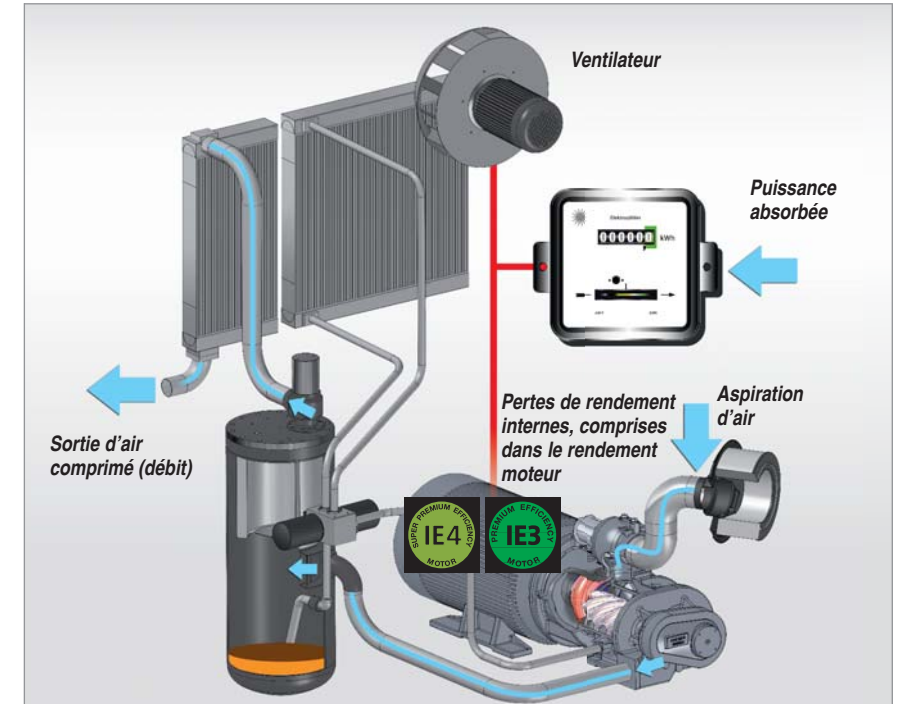


Fig. 2 : Schéma de principe d'un compresseur à vis, décomposition de la puissance spécifique

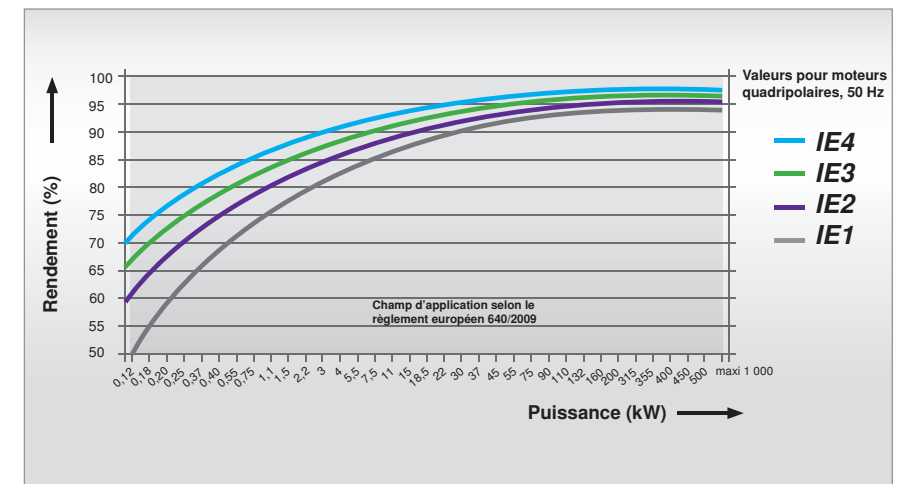


Fig. 3 : La nouvelle classification des moteurs électriques selon la norme IEC. Les moteurs IE3 sont obligatoires dans l'UE depuis le 01/01/2015. Une classe de rendement supérieure, la classe IE4, a été définie depuis cette date.

à grand rendement, KAESER a pu augmenter le débit des machines de 6 % et leur puissance spécifique de 5 %. Résultat : des débits plus importants, des temps en marche plus courts et une réduction de la consommation

d'énergie par mètre cube d'air comprimé produit.

Le traitement économique de l'air comprimé

Quel est le compresseur le mieux adapté pour produire de l'air comprimé exempt d'huile ? Indépendamment de ce que peut affirmer tel ou tel constructeur, la réponse à cette question est claire : il est possible d'obtenir de l'air comprimé de grande qualité, exempt huile, aussi bien avec un compresseur à vis sèches ou à pistons secs qu'avec un compresseur refroidi par huile ou par fluide. Le choix du système doit être guidé par des critères de rendement.

1. Qu'entend-on « air comprimé exempt d'huile » ?

Selon la norme ISO 8573-1, l'air comprimé est considéré comme exempt d'huile si sa teneur en huile (vapeur d'huile comprise) est inférieure à 0,01 mg/m³. Cela représente environ 4 % de ce qui est contenu dans l'air atmosphérique. Cette quantité est si faible qu'elle est pratiquement impossible à détecter. Mais qu'en est-il de la qualité de l'air aspiré par le compresseur ?

Elle dépend fortement de l'environnement : la teneur en hydrocarbures due aux émissions industrielles et à la circulation automobile peut se situer entre 4 et 14 mg/m³ d'air dans les zones moyennement polluées. Dans les zones industrielles où des huiles sont utilisées pour le graissage, le refroidissement et les process, la teneur en huile minérale peut à elle seule dépasser 10 mg/m³, auxquels viennent s'ajouter d'autres polluants comme les hydrocarbures, le dioxyde de soufre, les particules, les métaux et la poussière.

2. Pourquoi traiter l'air comprimé ?

Le compresseur fonctionne comme un gros aspirateur qui absorbe les polluants, les concentre du fait de la compression puis les rejette dans le réseau en l'absence de traitement.

a) Les compresseurs « sans injection d'huile »

Le fonctionnement décrit ci-dessus se vérifie surtout pour les compresseurs à vis sèches ou à pistons secs : du fait des polluants évoqués au paragraphe 1, un compresseur simplement équipé d'un préfiltre de 3 microns ne peut pas produire de l'air comprimé exempt d'huile. En dehors de ces préfiltres, les compresseurs à vis sèches ou à pistons secs ne disposent pas de composants de traitement.

b) Les compresseurs refroidis par fluide ou par huile

Dans ce type de compresseurs, le fluide (ou l'huile) de refroidissement neutralise les polluants agressifs et évacue une partie des particules contenues dans l'air comprimé.

3. Traiter l'air comprimé pour maîtriser sa qualité

Même si l'air comprimé produit est relativement pur, son traitement est indispensable. Dans les conditions ordinaires d'aspiration d'air atmosphérique plus ou moins pollué, la compression, avec ou sans injection d'huile, ne permet pas d'obtenir une qualité d'air déshuilé définie, conforme à ISO 8573-1.

La production d'air comprimé est plus ou moins économique suivant la plage de pression et de débit envisagée qui, à son tour, détermine le type de compresseur requis. Le séchage est le traitement fondamental pour toute utilisation de l'air comprimé. Généralement, le procédé le plus économique est le séchage frigorifique économe en énergie (cf. chap. 3, p. 9).

4. Le système de purification d'air KAESER

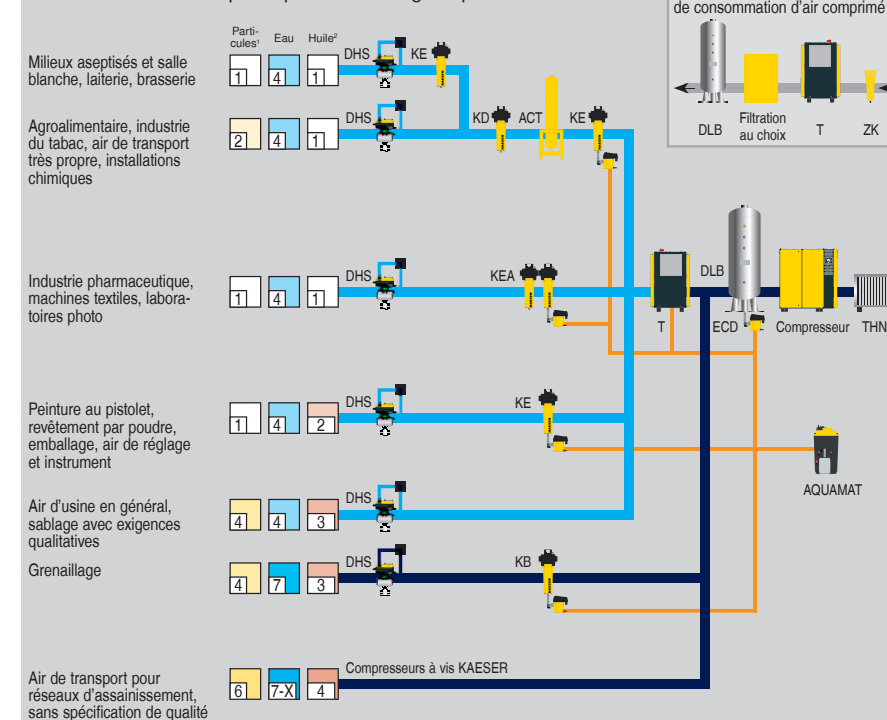
Le rendement des compresseurs à vis modernes, refroidis par fluide ou par huile est supérieur d'environ 10 % à celui des compresseurs à vis

sèches. Le système de purification d'air développé par KAESER pour les compresseurs, qu'ils soient à vis sèches ou à injection d'huile ou de fluide, permet jusqu'à 30 % d'économies de coûts. La teneur résiduelle en huile obtenue est inférieure à 0,003 mg/m³, soit nettement moins que la valeur limite fixée par la norme ISO pour la classe de qualité 1 (pour l'huile). Ce système comprend tous les éléments de traitement nécessaires pour obtenir de l'air comprimé de la qualité requise. Suivant l'application, il fait appel à des sècheurs frigorifiques ou à des sècheurs par adsorption (cf. chap. 3, p. 9), et à différentes combinaisons de filtres. Il permet de réaliser de manière fiable et économique toutes les classes de qualité d'air comprimé définies par la norme ISO, de l'air sec ou sans particules jusqu'à l'air techniquement déshuilé ou stérile (fig. 1).

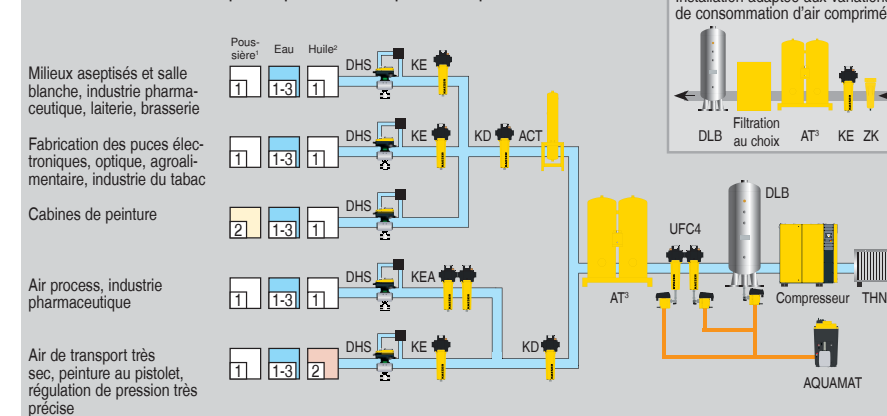
Sélectionnez la qualité d'air comprimé correspondant à votre utilisation :

Exemples d'utilisation : sélection du degré de traitement selon ISO 8573-1 (2010)

Traitement de l'air comprimé par sécheur frigorifique



Traitement de l'air comprimé par sécheur par adsorption



¹⁾ Qualité réalisable avec une tuyauterie et une mise en service exécutées dans les règles de l'art.
²⁾ Teneur totale en huile réalisable si les recommandations en matière de fluides compresseur et d'air aspiré sont respectées.
³⁾ Des filtres adaptés aux hautes températures et éventuellement un refroidisseur final sont indispensables en aval des sècheurs à adsorption à régénération par apport de chaleur.
⁴⁾ La chaîne de filtration Extra Combination (filtre KB et filtre KE en aval) est recommandée pour les utilisations critiques qui requièrent de l'air comprimé très pur (p. ex. dans l'électronique ou l'optique).

Légende	
ACT	Colonne à charbon actif
AQUAMAT	AQUAMAT
AT	Sécheur par adsorption
DHS	Système de maintien de pression
DLB	Réservoir d'air comprimé
ECD	ECO-DRAIN
KA	Filtre à charbon actif Adsorption
KB	Filtre à coalescence Basic
KBE	Extra Combination
KD	Filtre dépollueur Dust
KE	Filtre à coalescence Extra
KEA	Carbon Combination
T	Sécheur frigorifique
THNF	Filtre grandes poussières
ZK	Séparateur cyclonique

Classes de qualité selon ISO 8573-1(2010) :

Particules solides / poussières			
Classe	Nombre maxi de particules de taille d en µm, par m ³ *		
	0,1 ≤ d ≤ 0,5	0,5 ≤ d ≤ 1,0	1,0 ≤ d ≤ 5,0
0	Consulter KAESER pour des spécifications personnalisées		
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400 000	≤ 6 000	≤ 100
3	non défini	≤ 90 000	≤ 1 000
4	non défini	non défini	≤ 10 000
5	non défini	non défini	≤ 100 000
Concentration de particules C _p en mg/m ³ *			
6	0 < C _p ≤ 5		
7	5 < C _p ≤ 10		
X	C _p > 10		

Eau	
Classe	Point de rosée en °C
0	Consulter KAESER pour des spécifications personnalisées
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Teneur en eau liquide C _w en g/m ³ *	
7	C _w ≤ 0,5
8	0,5 < C _w ≤ 5
9	5 < C _w ≤ 10
X	C _w > 10

Huile	
Classe	Concentration totale en huile (liquide, aérosol + gazeuse), en mg/m ³ *
0	Consulter KAESER pour des spécifications personnalisées
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	> 5,0

* dans les conditions de référence 20 °C, 1 bar (abs.), hygrométrie 0 %

Fig. 1 : Ce schéma figure dans chaque notice commerciale des compresseurs à vis KAESER. Il permet à l'utilisateur de déterminer d'un coup d'œil la combinaison d'appareils appropriée pour son utilisation.

Pourquoi sécher l'air comprimé ?

Le problème tient à l'hygrométrie de l'air : lorsque l'air atmosphérique se refroidit, comme c'est le cas après avoir été comprimé dans le compresseur, la vapeur d'eau qu'il contient se condense. Un compresseur de 5 m³/min (débit rapporté à une température ambiante de +20 °C, 70 % d'humidité relative et 1 bar_{abs}) « produit » environ 30 litres d'eau sur huit heures. Il faut éliminer cette quantité d'eau du système d'air comprimé pour éviter des dysfonctionnements et des dommages aux équipements. Par conséquent, le séchage économique et non polluant est une partie importante du traitement pour parvenir à de l'air comprimé adapté aux besoins.

1. Un exemple concret

Un compresseur refroidi par fluide aspire 10 m³ d'air à la minute. Ce volume d'air à la pression ambiante, à 20 °C et avec une humidité relative de 60 % contient environ 100 g de vapeur d'eau. La compression de l'air à un taux de 1:10 fournit un mètre cube d'air industriel à la pression absolue de 10 bar. L'air échauffé à 80 °C à l'issue de la compression peut retenir 290 g d'eau par mètre cube. Avec une teneur en eau de 100 g seulement, l'humidité relative n'est que de 35 %. L'air est donc relativement sec et ne produit pas de condensats. Le refroidisseur final du compresseur abaisse la température

de l'air comprimé de 80 °C à environ 30 °C. Le mètre cube d'air ne peut plus retenir que 30 g d'eau ; l'excédent de 70 g/min se transforme en condensats qui sont évacués. Au cours d'une journée de travail de 8 heures, cela représente environ 35 litres de condensats, auxquels il faut ajouter 6 litres/jour si un sécheur frigorifique est installé en aval du compresseur. Dans un premier temps, l'air comprimé est refroidi à +3 °C, avant d'être ramené ultérieurement à la température ambiante. Il en résulte une sous-saturation en humidité de près de 20 % et par conséquent un air comprimé relativement sec, de meilleure qualité (fig. 1).

2. L'humidité de l'air ambiant

Notre air atmosphérique est plus ou moins humide car il a toujours une certaine teneur en eau. Cette humidité dépend de la température. De l'air à +25 °C saturé à 100 % en vapeur d'eau contient par exemple près de 23 g d'eau par mètre cube.

3. Les condensats

Les condensats se forment lorsque l'on réduit le volume d'air et que l'on abaisse sa température. La capacité hygroscopique de l'air diminue. C'est exactement ce qui se produit après la compression dans le bloc compresseur et dans le refroidisseur final du compresseur.

4. Quelques notions importantes

a) Humidité absolue de l'air

L'humidité absolue indique, en g/m³, la teneur en vapeur d'eau de l'air.

b) Humidité relative de l'air (F_{rel})

L'humidité relative de l'air indique le degré de saturation, autrement dit le rapport entre la teneur effective en vapeur d'eau et le point de saturation de l'air (100 % F_{rel}). Ce point dépend de la température : l'air chaud peut retenir davantage de vapeur d'eau que l'air froid.

c) Point de rosée atmosphérique

Le point de rosée atmosphérique est la température à laquelle l'air a un degré de saturation en humidité (H_{rel}) de 100 % à la pression atmosphérique (conditions ambiantes).

d) Point de rosée sous pression

Le point de rosée sous pression est la température à laquelle l'air comprimé atteint son point de saturation en humidité (100 % F_{rel}) à sa pression absolue. Pour reprendre l'exemple ci-dessus : au point de rosée sous pression de +3 °C, l'air à 10 bar (a) a une humidité absolue de 6 g par mètre cube industriel. Si l'on détend ce mètre cube d'air industriel de 10 bar (a) pour le ramener à la pression atmosphérique, son volume sera multiplié par dix. La teneur en vapeur d'eau est toujours de 6 g mais

elle se répartit sur un volume décuplé. Par conséquent, chaque mètre cube d'air détendu ne contient plus que 0,6 g de vapeur d'eau, ce qui correspond à un point de rosée atmosphérique de -24 °C.

5. Le séchage de l'air comprimé économique et non polluant, avec des sécheurs frigorifiques ou par adsorption ?

En dépit du renforcement de la réglementation en matière de fluides frigorigènes, les sécheurs par adsorption ne peuvent concurrencer les sécheurs frigorifiques en termes d'empreinte écologique et de coûts d'exploitation. Les sécheurs frigorifiques ne consomment que 3 % de l'énergie absorbée par le compresseur pour produire l'air comprimé, contre 10 à 25 % ou plus pour les sécheurs par adsorption. Dans le cas normal, il est donc préférable d'opter pour un sécheur frigorifique. Cependant, l'utilisation d'un sécheur par adsorption est pertinente lorsque l'air comprimé requis doit être extrême-

Système de séchage	Point de rosée sous pression °C	Puissance absorbée spécifique typique kW / m ³ /min **)
Sécheur frigorifique	+3	0,1
HYBRITEC	+3 / -40 *)	0,2 0,3
Sécheur par adsorption à régénération par apport calorifique	-40	0,5 - 0,6
Sécheur par adsorption à régénération sans chaleur	-20 -70	1,4 - 1,6

Fig. 2 : Plusieurs systèmes de séchage sont envisageables suivant le point de rosée sous pression requis

ment sec, avec des points de rosée de -20, -40 ou -70 °C (fig. 2). La plupart des systèmes d'air comprimé sont exposés à de fortes variations de la consommation au fil de la journée. Des variations qui se vérifient également tout au long de l'année et auxquelles

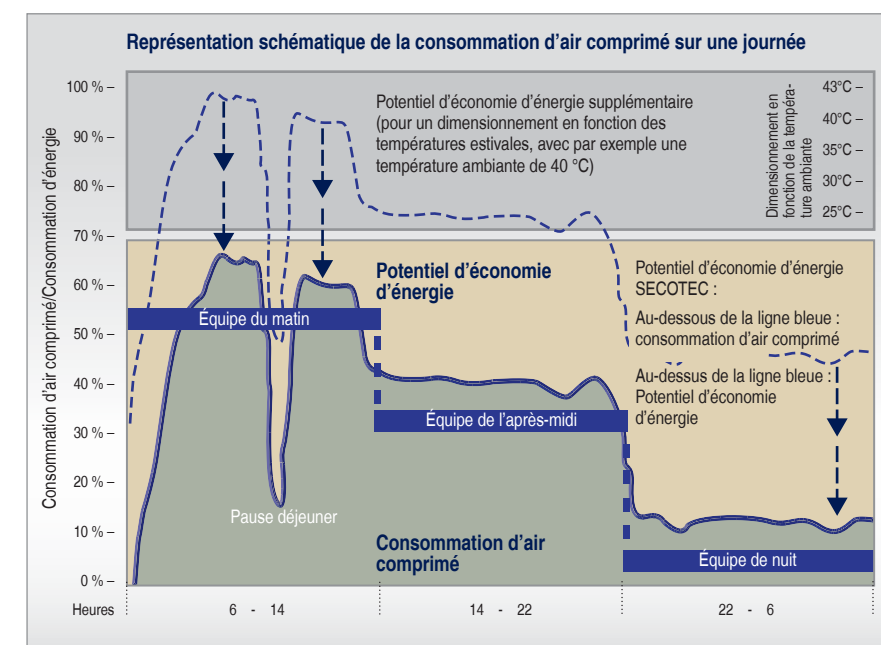


Fig. 3 : Potentiels d'économie d'énergie des sécheurs frigorifiques avec une régulation marche/arrêt

s'ajoutent d'importantes fluctuations de la température. Il faut donc dimensionner les sécheurs d'air comprimé pour les conditions les plus défavorables possibles : la pression la plus basse, la consommation maximale et des températures ambiantes et d'entrée d'air comprimé très élevées. Autrefois, pour parer à ces situations, le sécheur fonctionnait en continu, d'où un grand gaspillage d'énergie, surtout en charge partielle. Les sécheurs frigorifiques modernes avec une régulation marche/arrêt performante adaptent leur consommation d'énergie aux variations des conditions de service tout en maintenant une qualité d'air comprimé constante (fig. 3). Ils permettent ainsi d'économiser plus de 50 % d'énergie en moyenne annuelle.

Lorsqu'il faut assurer des points de rosée sous pression négatifs, le rendement énergétique du sécheur est un critère important car les sécheurs par adsorption nécessaires à cet effet sont très énergivores.

Le sécheur HYBRITEC, un système aussi économique que performant sur le plan énergétique, permet d'abaisser la consommation de manière significative en combinant un sécheur frigorifique et un sécheur par adsorption. Dans un premier temps, le sécheur frigorifique économe en énergie refroidit l'air comprimé à un point de rosée sous pression de +3 °C. L'air passe ensuite dans le sécheur par adsorption. Du fait du séchage préliminaire, ce sécheur dépense beaucoup moins d'énergie pour amener l'air comprimé à un point de rosée sous pression de -40 °C.



Fig. 1 : La production, le stockage et le traitement de l'air comprimé génèrent des condensats (quantités indiquées pour 10 m³/min, 10 bar_{abs}, 8 h, 60 % F_{rel} et 20 °C)

Purger automatiquement les condensats

Les condensats sont un sous-produit inévitable de l'air comprimé. Dans des conditions de service moyennes, un compresseur de 30 kW et d'un débit de 5 m³/min génère à peu près 20 litres de condensats en 8 heures. Ces condensats doivent être évacués du circuit d'air pour éviter des dysfonctionnements et des problèmes de corrosion. Ce chapitre présente les moyens appropriés pour évacuer les condensats et abaisser les coûts.



Fig. 1 : Des condensats se forment en certains points du circuit d'air comprimé

1. La purge des condensats

Des condensats plus ou moins pollués se forment en différents points du circuit d'air comprimé (fig. 1). Leur évacuation fiable est indispensable. Elle influe fortement sur la qualité de l'air comprimé, la sécurité de fonctionnement et le rendement de la centrale.

a) Les points de collecte et de purge des condensats

Les organes mécaniques du circuit d'air comprimé sont les premiers points de collecte et d'évacuation des condensats. Ils concentrent 70 à 80 % du volume total de condensats, pour autant que le compresseur soit équipé d'un refroidisseur final efficace.

Séparateur cyclonique :

Ce séparateur mécanique utilise la force centrifuge pour séparer les condensats de l'air comprimé (fig. 2). Pour fonctionner de manière optimale, il doit toujours être raccordé à un compresseur.

Refroidisseur intermédiaire :

Sur les compresseurs bi-étagés avec des refroidisseurs intermédiaires, des condensats se forment au niveau du séparateur du refroidisseur intermédiaire.

Réservoir d'air comprimé :

En plus de sa fonction première de stockage de l'air comprimé, le réservoir sépare les condensats par gravité (fig. 1). S'il est correctement dimensionné (débit compresseur/min : 3 = volume du réservoir en m³), il est aussi efficace qu'un séparateur cyclonique. Toutefois, à la différence de celui-ci, le réservoir peut être raccordé au collecteur central de la station d'air comprimé lorsque l'entrée d'air est en bas et la sortie d'air en haut. Grâce à sa grande surface de dissipation thermique, le réservoir refroidit l'air comprimé, ce qui favorise encore la séparation des condensats.

Points bas dans la conduite d'air comprimé :

Pour éviter un écoulement non maîtrisé des condensats, la conduite d'air comprimé dans la partie humide est à prévoir de telle sorte que toutes les arrivées et tous les départs soient raccordés par le haut ou sur le côté.

Les condensats seront évacués de la conduite principale par des points bas prévus à cet effet, autrement dit par des piquages dirigés vers le bas. À une vitesse du flux d'air de 2 à 3 m/s, le point bas (fig. 3), s'il est correctement dimensionné, est aussi efficace qu'un

réservoir d'air comprimé pour évacuer les condensats présents dans la partie humide du circuit d'air comprimé (fig. 1).

b) Le sécheur d'air comprimé

Il existe également des points de collecte et d'évacuation des condensats au niveau du séchage de l'air comprimé.

Sécheur frigorifique :

Le refroidissement de l'air comprimé, et le séchage qui en résulte, génèrent des condensats dans le sécheur frigorifique.



Fig. 2 : Séparateur cyclonique avec purgeur de condensats

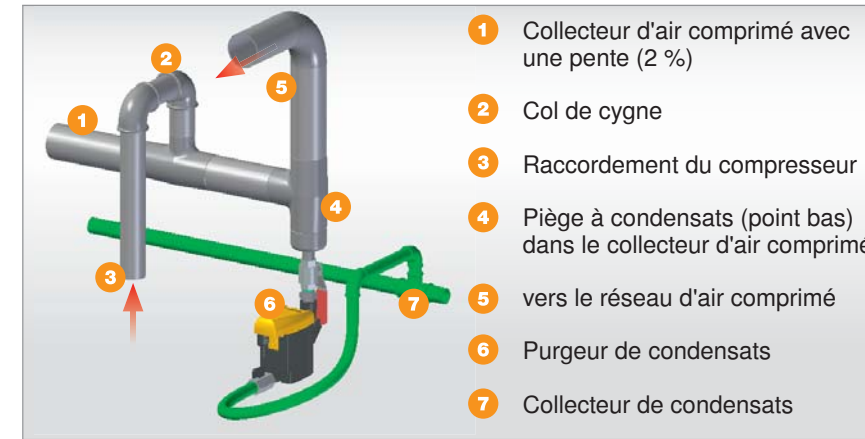


Fig. 3 : Point bas avec purgeur de condensats dans la partie humide du circuit d'air comprimé

Sécheur par adsorption :

Le refroidissement dans la conduite d'air comprimé entraîne la formation de condensats au niveau du préfiltre du sécheur par adsorption. Dans le sécheur par adsorption proprement dit, l'humidité se présente uniquement sous forme de vapeur du fait de la pression partielle.

c) Les séparateurs décentralisés

S'il n'est pas prévu de séchage centralisé de l'air comprimé, des condensats se forment en grandes quantités dans les séparateurs de liquide installés juste en amont des points de consommation de l'air comprimé. Ces séparateurs nécessitent un entretien intensif.

2. Les systèmes de purge

Actuellement, il existe principalement trois systèmes :

a) Le purgeur à flotteur

Le purgeur à flotteur est l'un des plus anciens systèmes de purge ; il a remplacé la purge manuelle, coûteuse et trop aléatoire. Toutefois, du fait des particules présentes dans l'air comprimé, la purge des condensats sur le principe du flotteur (fig. 4) est sensible aux panes et nécessite un entretien très fréquent.

- 1 Collecteur d'air comprimé avec une pente (2 %)
- 2 Col de cygne
- 3 Raccordement du compresseur
- 4 Piège à condensats (point bas) dans le collecteur d'air comprimé
- 5 vers le réseau d'air comprimé
- 6 Purgateur de condensats
- 7 Collecteur de condensats

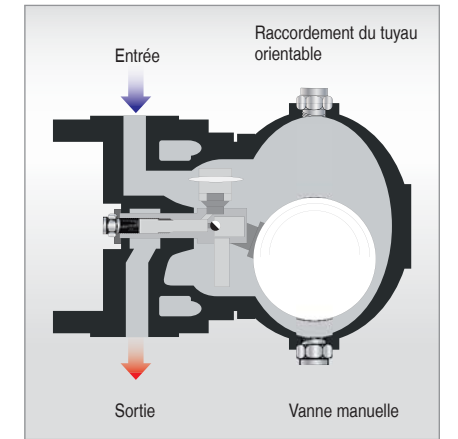


Fig. 4 : Purgateur de condensats à flotteur

b) L'électrovanne

Les électrovannes temporisées sont certes plus fiables que les purgeurs à flotteur mais elles nécessitent néanmoins un contrôle périodique pour prévenir leur encrassement. Un mauvais réglage des durées d'ouverture de la vanne peut causer des pertes d'air comprimé et par conséquent une surconsommation d'énergie.

c) Le purgeur de condensats capacitif

Aujourd'hui, la plupart des purgeurs disposent d'une commande capacitive intelligente (fig. 5). Le purgeur électronique remplace avantageusement le flotteur sensible aux panes, en excluant les problèmes d'encrassement ou d'usure mécanique. Les temps d'ouverture de la vanne adaptés et calculés avec précision évitent toute perte d'air comprimé. Entre autres avantages, le purgeur capacitif possède une fonction d'auto-surveillance automatique et permet la transmission de signalisations à un système de contrôle-commande centralisé.

d) Une installation bien étudiée

Il faut toujours prévoir un tuyau court avec une vanne d'arrêt entre le système de séparation des condensats et le purgeur (fig. 2 et 3).



Fig. 5 : Purgateur de condensats électronique capacitif (type ECO-DRAIN)

Cela permet d'isoler le purgeur pour effectuer les travaux d'entretien sans perturber le fonctionnement de la station d'air comprimé.

Le traitement fiable et économique des condensats

Les condensats qui accompagnent inévitablement la production d'air comprimé ne sont pas simplement de la vapeur d'eau condensée. Le compresseur fonctionne comme un gros aspirateur : il absorbe l'air atmosphérique dont les polluants se retrouvent concentrés dans les condensats de l'air comprimé avant son traitement.

1. Pourquoi traiter les condensats ?

Les utilisateurs d'air comprimé qui rejettent les condensats au tout-à-l'égout encourent de lourdes amendes car les condensats issus de la production d'air comprimé sont un mélange polluant. Du fait de la pollution atmosphérique, ils contiennent des particules fines, mais aussi des hydrocarbures, du dioxyde de soufre, du cuivre, du plomb, du fer, etc. En France, l'élimination des condensats provenant des centrales d'air comprimé est régie par la loi sur l'Eau qui impose des seuils de rejets et concerne donc tous les condensats engendrés par les compresseurs, y compris les compresseurs à vis sèches. La législation définit des valeurs limites pour tous les polluants et pour le pH. Ces limites sont variables selon le secteur d'activité et l'implantation géographique. La limite est par exemple de 20 mg/l pour les hydrocarbures, et le seuil de rejet des condensats est fixé à un pH entre 6 et 9.

2. La nature de condensats (fig. 1)

a) Dispersion

Les condensats issus de l'air comprimé peuvent être de différentes natures. Les dispersions se retrouvent généralement dans les compresseurs à vis qui utilisent des fluides de refroidissement synthétiques comme le Sigma Fluid S460. Normalement, ces condensats ont un pH compris entre 6 et 9, soit un pH neutre. Dans ces condensats, les polluants provenant de l'air atmosphérique se déposent dans une couche

d'huile qui flotte à la surface de l'eau et qui est donc facile à séparer.

b) Émulsion

La présence d'une émulsion est signalée par un liquide laiteux qui, même après plusieurs jours, ne sépare pas en deux phases. Ce type de condensats se présente souvent dans les compresseurs à pistons, à vis ou à palettes lubrifiés avec des huiles conventionnelles. Ici aussi, la phase huileuse de l'émulsion fixe les polluants.

Du fait de la grande stabilité de l'émulsion, la force centrifuge ne permet pas de séparer les huiles de l'eau, ni les polluants comme les poussières ou les métaux lourds. Si les huiles contiennent des esters, les condensats risquent d'être agressifs et il faut les neutraliser. Ce type de condensats ne peut être traité que par des systèmes de désémulsification.

3. L'élimination par un prestataire

L'exploitant peut évidemment collecter les condensats et les faire éliminer par une entreprise spécialisée. Cette méthode coûte toutefois entre 40 et 150 €/m³ selon la nature des condensats. Compte tenu des quantités en jeu, il est généralement rentable de traiter

les condensats en interne. Le traitement interne offre l'avantage de réduire à 0,25 % la quantité de condensats restant à éliminer conformément aux prescriptions environnementales.

4. Les méthodes de traitement

a) Traitement des dispersions

Pour traiter ce type de condensats, il suffit généralement d'un séparateur à trois compartiments, dont deux compartiments de préséparation et un compartiment de filtration sur charbon actif (fig. 2). La séparation proprement dite s'effectue par gravité. La couche d'huile flottant en surface dans le compartiment de séparation est conduite dans un réservoir collecteur pour être éliminée comme de l'huile usagée.

L'eau restante est filtrée dans deux étages de filtration avant d'être rejetée à l'égout. La séparation gravitaire permet d'économiser environ 95 % des frais d'élimination des condensats par rapport à l'élimination par une entreprise spécialisée.

Les séparateurs actuellement disponibles sur le marché sont adaptés à des débits de compresseurs jusqu'à 105 m³/min. Pour des débits plus importants, il suffit de monter plusieurs séparateurs en parallèle.



Fig. 1 : Le compresseur aspire l'air atmosphérique avec la vapeur d'eau et les polluants qu'il contient. Les condensats (fig. 1,1) contiennent donc de l'huile et des polluants qu'il faut éliminer (fig. 1, 2) pour pouvoir rejeter les condensats sous forme d'eau conforme aux seuils de rejet (fig. 1,3).



Fig. 2 : Système de séparation gravitaire des condensats issus de l'air comprimé

b) Traitement des émulsions

Deux grands types d'appareils sont aujourd'hui utilisés pour traiter les émulsions stables.

Les systèmes de séparation par membrane fonctionnent sur le principe de l'ultrafiltration à flux croisé. Les condensats préfiltrés s'écoulent sur les membranes.

Une partie du liquide traverse les membranes et ressort de l'appareil épurée et conforme aux seuils de rejet. Le deuxième type d'appareil utilise un agent de séparation pulvérisé qui enrobe les particules d'huile pour les agglomérer en gros flocons faciles à éliminer par filtration. Celle-ci s'effectue de manière fiable avec des filtres d'une largeur de maille définie. L'eau qui reste peut être rejetée à l'égout.

Une commande de compresseur performante

Seule une bonne adaptation du débit des compresseurs aux variations de la consommation d'air comprimé permet de limiter les phases de charge partielle qui consomment beaucoup d'énergie et sont donc coûteuses pour l'exploitant. La commande joue donc un rôle clé dans le rendement énergétique du compresseur.

Lorsque les compresseurs sont utilisés à moins de 50 %, la cote d'alerte au gaspillage d'énergie est atteinte. De nombreux exploitants n'en ont pas conscience car leurs compresseurs ont un compteur d'heures de service, mais

pas de compteur pour les heures en charge. Les commandes bien paramétrées peuvent remédier à ce problème : en augmentant le taux de charge à 90 % ou plus, elles permettent au moins 20 % d'économie d'énergie.

1. La commande interne

a) Régulation charge/marche à vide

La plupart des compresseurs sont équipés de moteurs asynchrones triphasés. Or plus ces moteurs sont puissants, plus leur fréquence de démarrage admissible est basse. Elle ne répond pas à la fréquence requise pour démarrer et arrêter les compres-

seurs en fonction de la consommation réelle d'air comprimé, lorsque l'écart de régulation est faible. Ces commutations ne déchargent cependant que les parties sous pression du compresseur. Le moteur continue de tourner par inertie pendant un certain temps (fig.1), consommant de l'énergie en pure perte. Avec ce type de régulation, la consommation d'énergie en marche à vide représente pas moins de 20 % de la consommation en charge.

Les modes de régulation optimisés par ordinateur permettent de limiter les phases de marche à vide coûteuses tout en protégeant le moteur : la régulation Quadro qui sélectionne automatiquement le mode de fonctionnement optimal (fig. 2), la régulation dynamique qui gère les durées de marche à vide en fonction de la température du moteur (fig. 3) et la régulation Vario avec des durées de marche à vide calculées de manière variable (fig. 4).

Les régulations progressives par étranglement de l'aspiration ne sont pas recommandées car à 50 % du débit, le compresseur consomme 90 % de l'énergie dépensée pour débiter à 100 %.

b) Variation de vitesse par convertisseur de fréquence

Les compresseurs à vitesse variable par convertisseur de fréquence (fig. 5) n'ont pas un rendement constant sur leur plage de réglage. Le rendement d'un moteur de 90 kW tombe par exemple de 94 % à 86 % sur la plage comprise entre 30 % et 100 %. À cela s'ajoutent les pertes internes du convertisseur de fréquence et la courbe de puissance non linéaire des compresseurs. Il faut exploiter les compresseurs équipés d'un convertisseur de fréquence sur une plage de réglage de 40-70 % car c'est là qu'ils sont le plus économiques.

Ces composants doivent être dimensionnés pour 100 % de la charge. Mal utilisés, les convertisseurs de fréquence peuvent s'avérer très énergivores sans que l'exploitant ne le remarque. Le convertisseur de fréquence n'est pas la panacée pour minimiser la consommation d'énergie du compresseur.

2. Classification des besoins en air comprimé

Les compresseurs se distinguent généralement par leur fonction au sein de la station : ils peuvent servir soit à couvrir la charge de base, la charge moyenne ou la charge de pointe, ou sont utilisés comme machines de secours.

a) La charge de base

La charge de base désigne la quantité d'air comprimé requise en permanence pour couvrir l'activité de l'entreprise.

b) La charge de pointe

La charge de pointe est la quantité d'air comprimé nécessaire pendant les pointes de consommation. Elle est variable selon les équipements pneumatiques alimentés.

Pour pouvoir répondre au mieux à ces différentes charges, les compresseurs ont besoin de commandes flexibles. En cas de défaillance du système de gestion prioritaire, elles doivent être en mesure de maintenir le fonctionnement des compresseurs pour assurer la continuité de l'alimentation en air comprimé.

3. La commande prioritaire

Les commandes prioritaires modernes avec leur logiciel Web permettent non seulement de coordonner les compresseurs de la station en optimisant leurs performances énergétiques, mais également de collecter les données d'exploitation pour documenter le rendement de l'alimentation en air comprimé.

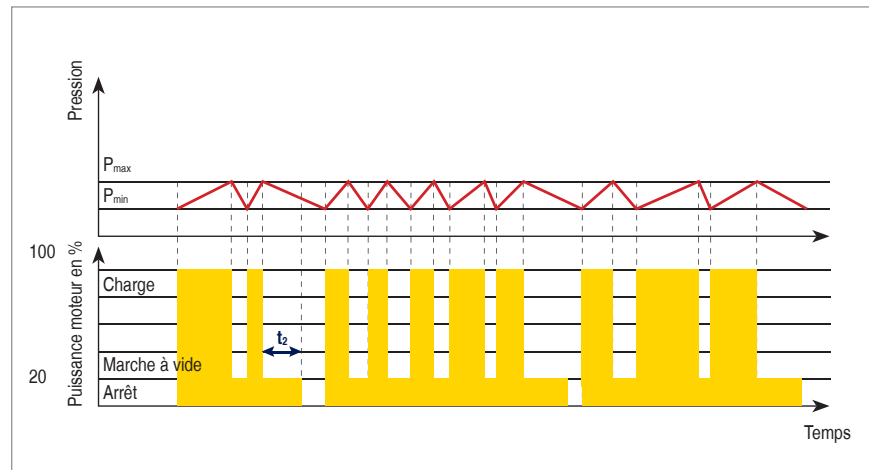


Fig. 1 : Mode Dual : régulation charge-marche à vide-arrêt avec des temps de marche à vide fixes

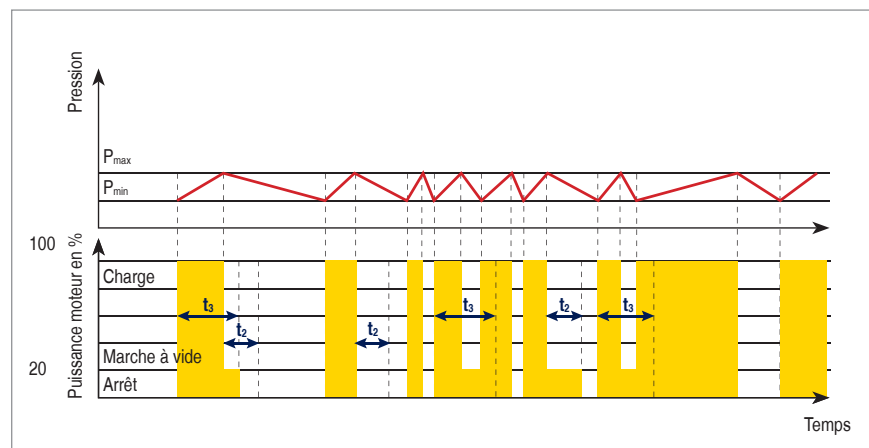


Fig. 2 : Mode Quadro : régulation charge-marche à vide-arrêt avec sélection automatique du mode de fonctionnement optimal

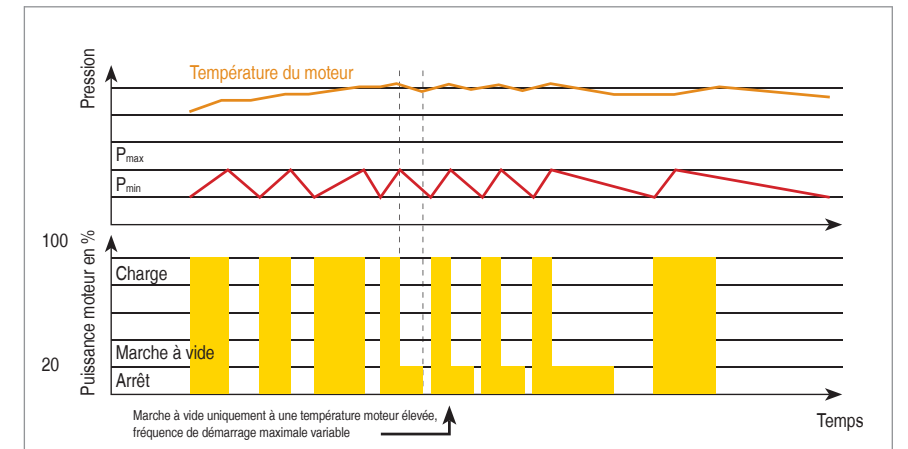


Fig. 3 : Régulation dynamique basée sur le mode Dual, avec des temps de marche à vide gérés en fonction de la température du moteur

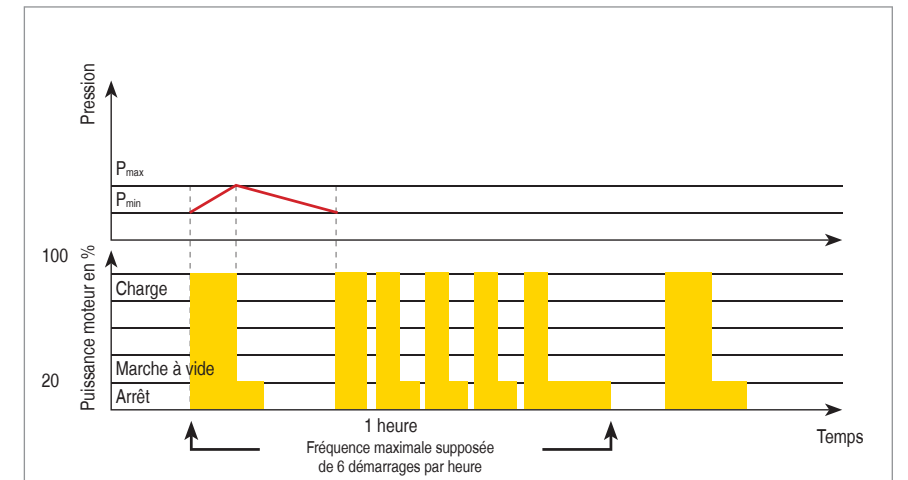


Fig. 4 : Régulation Vario avec des temps de marche à vide calculés de manière variable

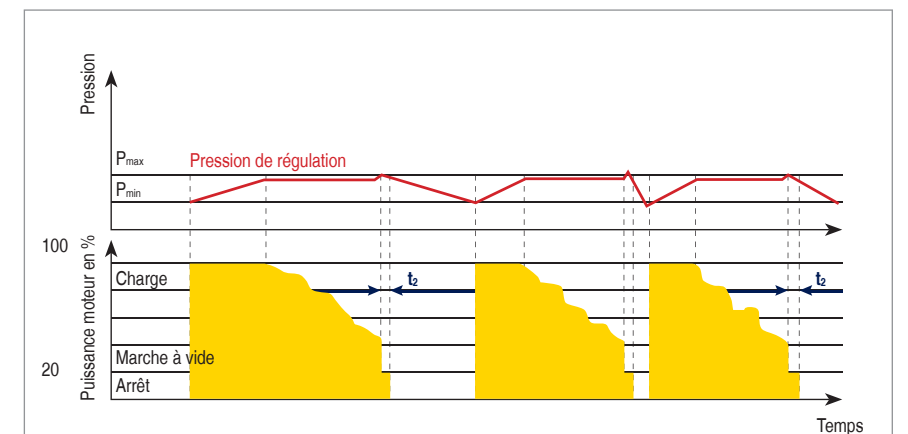


Fig. 5 : Réglage continu du débit par la variation de la vitesse du moteur (conversion de puissance)

Une commande de compresseur performante

a) Le splitting des compresseurs

Le splitting consiste à répartir les compresseurs selon leur débit et leur mode de régulation, en fonction de la consommation d'air pendant les périodes de charge de base et de pointe (fig. 6).

b) Les tâches de la commande prioritaire

La coordination des compresseurs est une tâche délicate et complexe. La commande prioritaire doit être en mesure non seulement de mettre en service des compresseurs de types et de puissances différents au moment opportun, mais aussi de surveiller les compteurs d'entretien, d'équilibrer les durées de fonctionnement des compresseurs et de signaler les anomalies pour abaisser les frais d'entretien de la station d'air comprimé et améliorer sa sécurité de fonctionnement.

c) L'échelonnement des débits

Pour être performante, autrement dit pour générer des économies d'énergie, la commande prioritaire doit être capable d'échelonner les débits fournis par les compresseurs de manière à exclure les trous de régulation.

Le débit total des machines pour la charge de pointe doit être supérieur à permuter en charge de base. Si le compresseur pour la charge de pointe est à vitesse variable, sa plage de réglage devra donc être supérieure au débit du prochain compresseur à mettre en service, faute de quoi l'alimentation en air comprimé ne sera pas économique.

d) La transmission fiable des données

La fiabilité de la transmission des données est également essentielle pour le bon fonctionnement et le rendement de la commande prioritaire.

Cette fiabilité est indispensable aussi bien pour l'émission des signalisations

spécifiques à chacun des compresseurs que pour la transmission des signalisations entre les compresseurs et la commande prioritaire. Par ailleurs, la commande prioritaire doit surveiller les connexions et les câbles de signalisation pour détecter immédiatement toute anomalie, comme par exemple une rupture de câble.

Les voies de transmission courantes sont :

1. Les contacts secs
2. Les signaux analogiques 4 – 20 mA
3. Les interfaces électroniques, comme par exemple RS 232, RS 485, Profibus DP ou Ethernet.

Le Profibus est la technique la plus avancée pour transmettre rapidement de grandes quantités de données sur de longues distances. Complété par des connexions Ethernet et des liaisons téléphoniques, le Profibus permet de raccorder la commande prioritaire à des systèmes informatiques et des systèmes de surveillance standard. Les systèmes de contrôle-commande

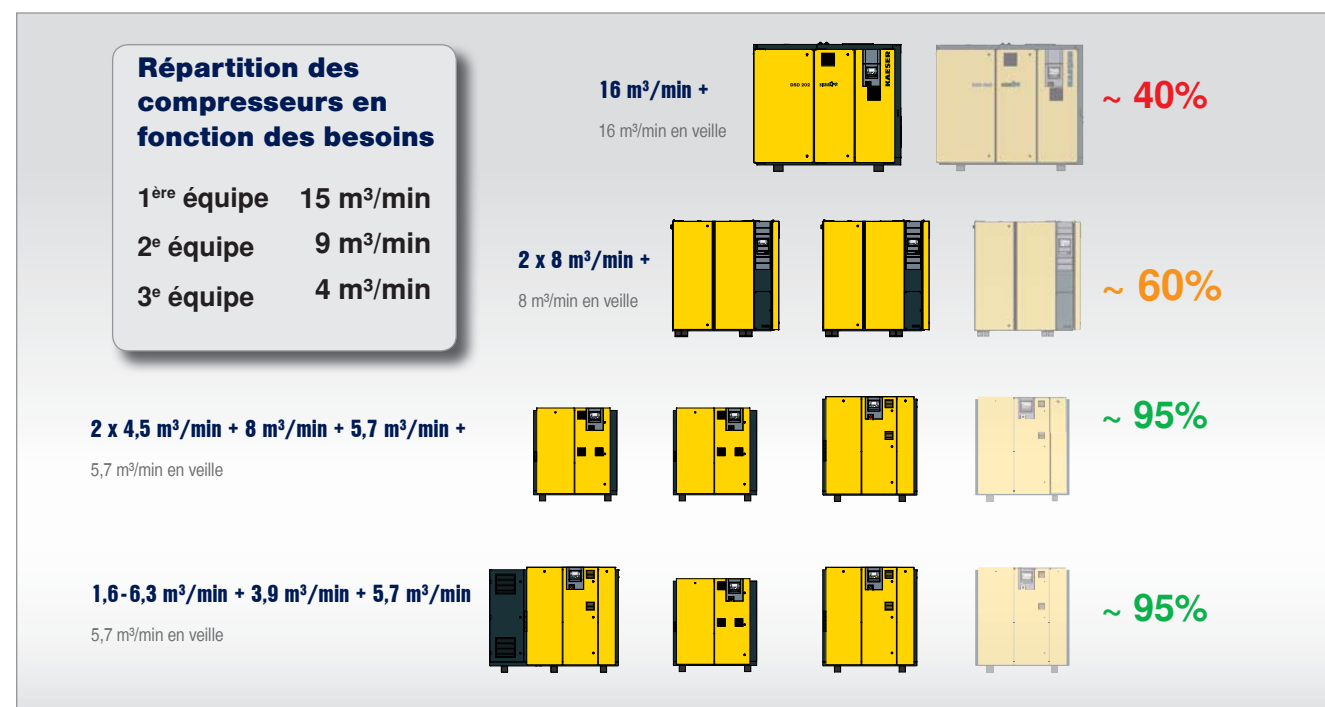


Fig. 6 : Répartition de la charge entre des compresseurs de différents débits, en fonction de la consommation d'air



Fig. 7 : La connectivité de la commande prioritaire contribue au rendement de la station d'air comprimé

n'ont donc pas forcément besoin d'être implantés dans la station d'air comprimé. (fig. 7).

Adapter les compresseurs à la consommation d'air comprimé

Les stations d'air comprimé se composent généralement de plusieurs compresseurs de même taille ou de tailles différentes. Pour les coordonner, il faut une commande prioritaire qui adapte la production d'air comprimé aux besoins précis de l'utilisateur tout en assurant le meilleur rendement énergétique possible.

Ce que nous appelons communément des commandes de compresseurs sont en fait des systèmes de régulation qui se répartissent entre quatre principes de fonctionnement :

1. La régulation en cascade

La régulation en cascade est la méthode classique de couplage de compresseurs pour une gestion en série. Pour cela, des points de commutation inférieur et supérieur sont affectés à chaque compresseur. La coordination de plusieurs compresseurs s'effectue donc selon un système de régulation en gradins ou en cascade. Lorsque la consommation d'air est faible, un seul compresseur est mis en service et la pression fluctue entre p_{min} et p_{max} dans le haut de la plage de pression du compresseur. En revanche, la pression

baisse lorsque plusieurs compresseurs sont mis en service pour répondre à une augmentation de la consommation d'air (fig. 1, colonne 1).

D'où une situation relativement défavorable : la pression du réseau est à son maximum lorsque la consommation est faible, ce qui augmente les pertes énergétiques dues aux fuites ; lorsque la consommation est importante, la pression baisse et le réseau ne dispose que d'une faible réserve de pression.

Du fait de l'affectation d'une plage de pression donnée à tel ou tel compresseur, la bande de pression du système de régulation est très large, avec des différences selon le type de capteur utilisé (pressostat à diaphragme conventionnel, manomètre ou capteur électronique). Plus il y a de compresseurs en service, plus les plages de pression sont globalement importantes. Cela conduit à des réglages inefficaces avec des pressions inutilement élevées, des fuites et des pertes d'énergie. Dans des configurations comptant plus de deux compresseurs, il convient donc de remplacer la régulation en cascade par d'autres méthodes de régulation.

2. La régulation sur une bande de pression

Contrairement à la régulation en cascade, la régulation sur une bande de pression (fig. 1, colonne 2) permet de coordonner plusieurs compresseurs dans les limites d'une plage de pression définie. Cela permet de limiter assez étroitement la plage de pression dans laquelle l'ensemble de la station sera régulé.

2. a) Régulation simple

Les versions simples de la régulation sur une bande de pression ne sont pas en mesure de coordonner des compresseurs de différentes tailles. Par conséquent, elles ne sont pas aptes à gérer les charges de pointe dans les réseaux d'air comprimé soumis à de fréquentes variations de la consommation. Cette régulation a donc été complétée par un système qui permet de couvrir les pointes de consommation en prenant en compte les périodes de diminution et d'augmentation de la pression pour piloter les compresseurs. La courbe caractéristique de cette régulation nécessite toutefois une bande de pression relativement large (fig. 2). Par ailleurs, elle ne tient pas compte de l'hystérésis des compresseurs et du réseau d'air comprimé. Par conséquent, comme dans la régulation en cascade, la pression est susceptible de descendre sous le seuil minimum défini. Il faut donc respecter une marge de sécurité entre la pression minimale requise et le point de commutation le plus bas de la régulation.

2. b) Régulation sur une bande de pression en fonction de la pression nominale

La régulation sur une bande de pression en fonction de la pression nominale a apporté une amélioration importante (fig. 1, colonne 3) Elle vise à respecter une pression nominale définie et peut gérer des compresseurs de différents

débites en fonction de la consommation d'air comprimé. Avantage majeur de cette variante, elle permet d'abaisser nettement la pression de service moyenne du système d'air comprimé et donc d'économiser de l'énergie et des coûts.

3. Régulation en fonction de la pression requise

La régulation en fonction de la pression requise (fig. 1, colonne 4) offre actuellement l'optimum en termes de régulation. Cette variante ne nécessite pas de limites de pression minimale et maximale, mais uniquement la pression de service minimale admissible au point de mesure du capteur (fig. 3). La régulation sélectionne et permute les compresseurs, et fait varier la vitesse de certains pour obtenir la configuration optimale compte tenu de toutes les pertes dues à l'élévation de pression, aux temps de démarrage, de réaction et de marche à vide. Connaissant les temps de réaction des différents compresseurs, le système est en mesure d'empêcher la pression de descendre sous le seuil minimal requis (fig. 4). Grâce à cette toute nouvelle régulation adaptative 3D^{advance}, la commande prioritaire SIGMA AIR MANAGER 4.0 parvient à réduire encore la consommation d'énergie par rapport à la régulation sur une bande de pression qui se réfère à la pression nominale. La nouvelle régulation évite également toute baisse de la pression sous le seuil prescrit. Et elle se distingue par la facilité avec laquelle l'utilisateur peut régler lui-même la pression requise.

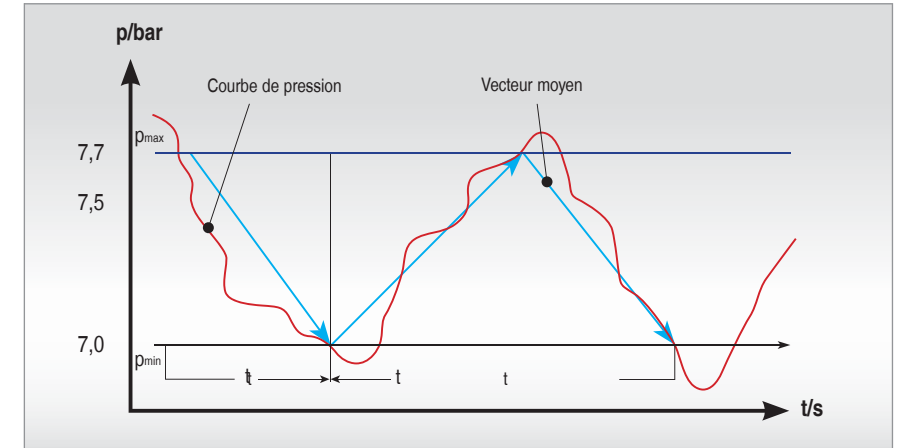


Fig. 2 : Le système règle la pression optimale en tenant compte de toutes les pertes liées à la régulation

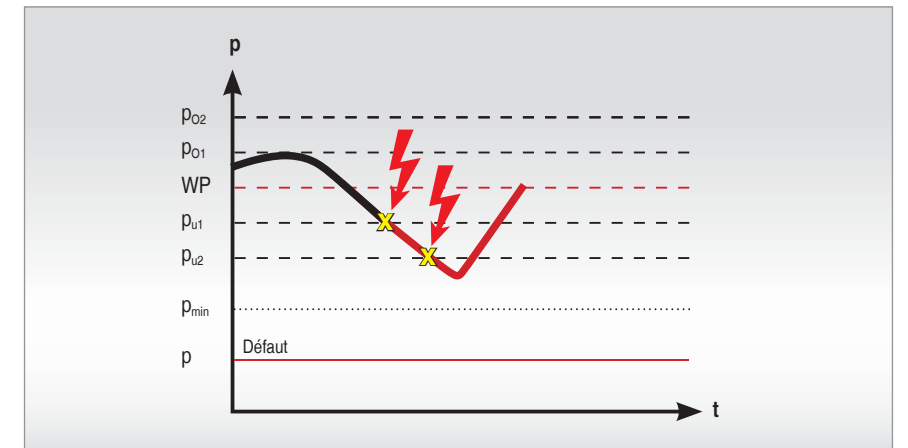


Fig. 3 : Avec la régulation en fonction de la pression requise, plus besoin de définir des limites de pression mini et maxi

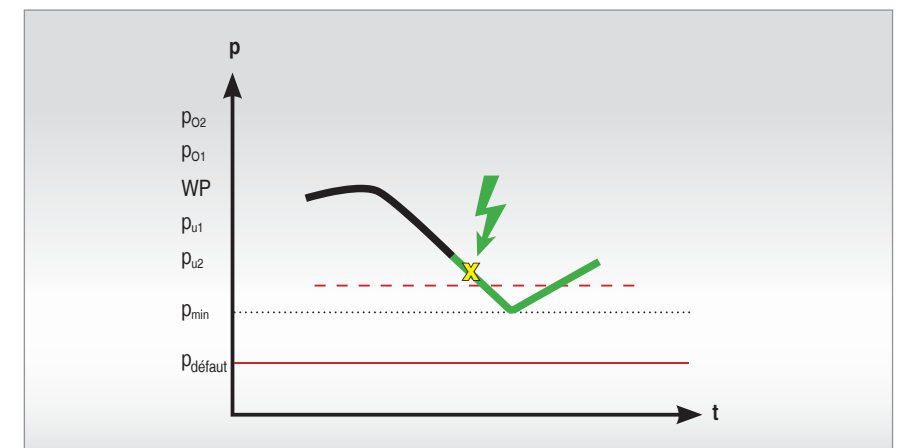


Fig. 4 : Le système évite toute baisse de la pression sous le seuil de pression requise défini

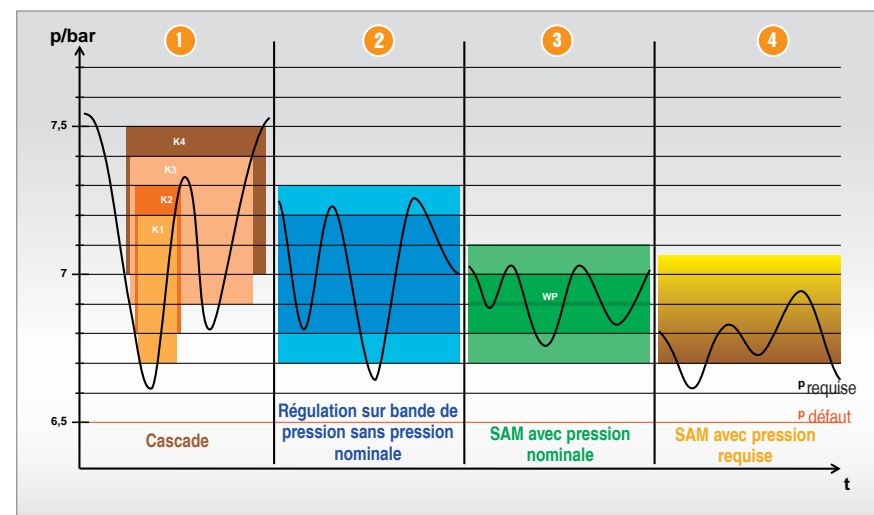
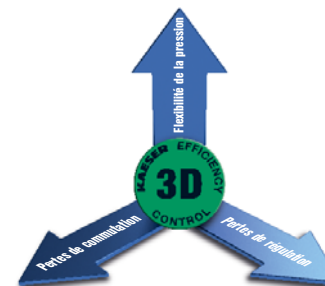


Fig. 1 : Différentes variantes de régulation des compresseurs par une commande prioritaire



Économiser de l'énergie avec la récupération des calories

Face à la hausse continue du prix de l'énergie, la maîtrise des ressources énergétiques est un impératif écologique et une nécessité économique. Les constructeurs de compresseurs proposent pour cela de nombreuses solutions, comme par exemple la récupération des calories émises par les compresseurs à vis.

1. Les compresseurs produisent en premier lieu de la chaleur

Un compresseur convertit 100 % de l'énergie consommée en énergie calorifique. Pendant la compression, le compresseur charge l'air d'un potentiel d'énergie (fig. 1). Cette masse énergétique est utilisable lorsque l'air comprimé, en se détendant à la consommation se refroidit et soustrait l'énergie calorifique de son environnement.

2. Les possibilités de récupération de calories

L'utilisateur désireux de rentabiliser sa production d'air comprimé a le choix entre plusieurs solutions pour récupérer les calories :

a) Le chauffage par air chaud

Sur les compresseurs à vis refroidis par air, par huile ou par fluide, la manière la plus simple de récupérer les calories consiste à réutiliser directement l'air de refroidissement réchauffé par le compresseur. Cet air chaud est amené par un réseau de gaines dans les locaux à chauffer. Il peut évidemment servir à d'autres usages, comme les processus de séchage, les rideaux d'air chaud ou le préchauffage de l'air de combustion pour les brûleurs. Lorsque l'on n'a pas besoin de l'air chaud, celui-ci est évacué à l'air libre par des registres. Le réglage thermostatique des registres permet d'adapter le débit d'air chaud nécessaire pour obtenir des températures constantes. Cette solution permet de réutiliser jusqu'à 96% de la puissance électrique absorbée par un compresseur à vis. Elle est également

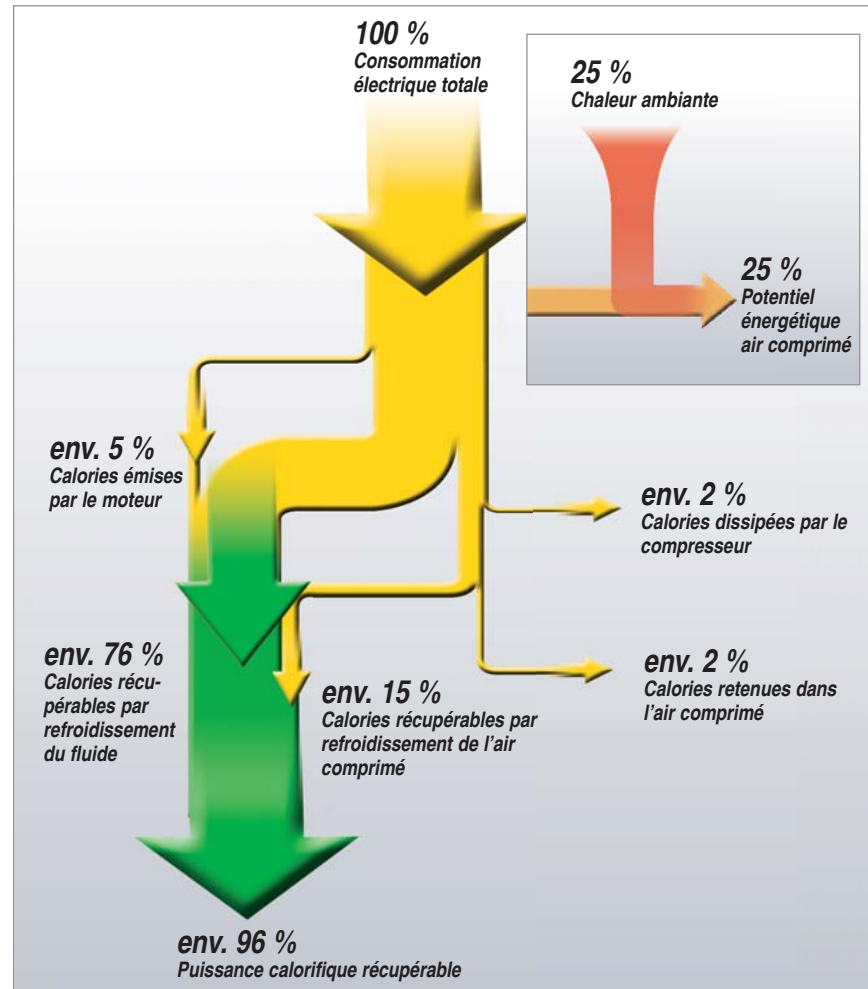


Fig. 1 : Diagramme de répartition

rentable avec des petits compresseurs : l'énergie calorifique dégagée par un compresseur de 7,5 kW suffirait aisément à chauffer une maison individuelle.

b) La production d'eau chaude

Avec un échangeur de chaleur installé dans le circuit d'huile, les compresseurs à vis refroidis par air ou par eau permettent de produire de l'eau chaude. Selon l'usage prévu (chauffage, lavage, sanitaires ou processus de fabrication ou de nettoyage spéciaux), l'échangeur de chaleur utilisé peut être un échan-

Fig. 3 : Raccordement des compresseurs à un système de récupération de calories



geur à plaques conventionnel ou un échangeur de sécurité. Les échangeurs de chaleur permettent de produire de l'eau à 70 °C maxi. Pour des compresseurs à partir de 7,5 kW, les frais d'installation du système de récupération de calories sont généralement amortis en deux ans, pour autant que le système ait été correctement étudié.

3. Respecter la sécurité

Il ne faut jamais récupérer les calories sur le circuit de refroidissement primaire du compresseur car une éventuelle défaillance du système de récupération de calories compromettrait le refroidissement du compresseur et par conséquent la production d'air comprimé. Il faut donc équiper le compresseur d'échangeurs de chaleur supplémentaires, dédiés à la récupération de calories. En cas de défaut, le compresseur assurera sa propre sécurité de fonctionnement : si l'échangeur huile-eau du système de récupération de calories n'évacue pas de chaleur, le compresseur commute en interne sur son circuit de refroidissement primaire par air ou par eau. L'alimentation en air comprimé est préservée (fig. 2 et 3).

4. Jusqu'à 96 % d'énergie récupérable

La plus grosse part de l'énergie consommée et récupérable sous forme de chaleur, à savoir 76 %, se trouve dans le fluide de refroidissement des compresseurs à injection d'huile ou de fluide, 15 % sont retenus dans l'air comprimé et jusqu'à 5 % correspondent à la déperdition de chaleur du moteur électrique. Sur les compresseurs à vis refroidis par huile ou par fluide et carrossés hermétiquement, un refroidissement approprié permet même de récupérer les calories dissipées par le moteur électrique. Au total, jusqu'à 96 % de l'énergie consommée par le compresseur peut être réutilisée sous forme de chaleur.

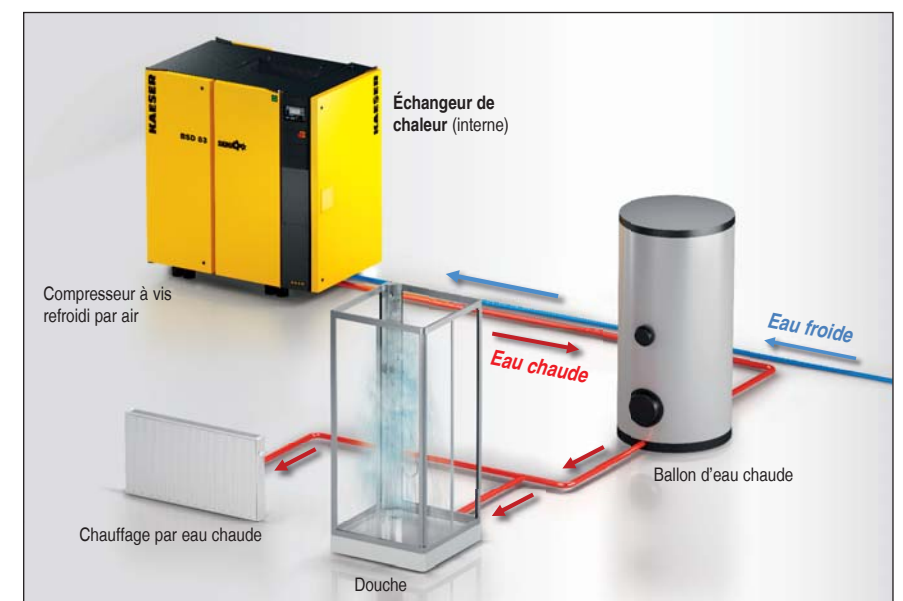


Fig. 3 : Schéma de la récupération de calories

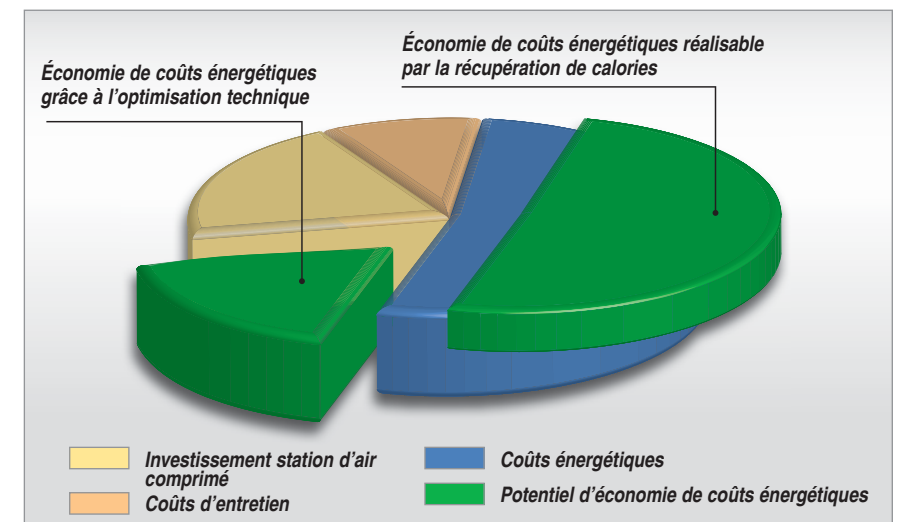


Fig. 4 : La récupération de calories permet d'importantes économies de coûts énergétiques

Seuls 2 % des calories sont dissipées par rayonnement et 2 % sont retenus dans l'air comprimé (fig. 1).

5. Conclusion

La récupération des calories est un moyen tout à fait intéressant pour rendre la station d'air comprimé plus économique tout en réduisant son empreinte énergétique. L'investisse-

ment nécessaire est relativement faible et varie selon les caractéristiques du lieu d'installation, l'utilisation prévue et le mode de récupération de calories choisi (fig. 4).

Créer un réseau d'air comprimé

Pour que l'air comprimé soit un vecteur d'énergie économique, sa production, son traitement et sa distribution doivent être parfaitement harmonisés. Cela suppose une étude et une exécution soignées de la station proprement dite, mais aussi un dimensionnement et une installation appropriés du réseau d'air comprimé.

1. Produire l'air comprimé à moindre coût

Compte tenu de toutes les dépenses d'énergie, de fluides de refroidissement, d'entretien et d'amortissement, le mètre cube d'air comprimé coûte entre 0,5 et 2,5 centimes, suivant la puissance, la charge, l'état et le type de compresseur. Beaucoup d'entreprises cherchent donc à rendre leur production d'air comprimé la plus économique possible, ce qui explique le succès des compresseurs à vis refroidis par huile ou par fluide : ils permettent d'économiser jusqu'à 20 % des coûts de production de l'air comprimé.

2. Traiter l'air comprimé pour protéger le réseau

Le traitement de l'air comprimé est souvent considéré comme relativement secondaire. Ceci est regrettable car le traitement approprié de l'air comprimé permet de limiter les frais d'entretien des équipements pneumatiques et du réseau de tuyauterie. Les tuyauteries qui transportent de l'air comprimé humide, en amont du séchage, doivent impérativement être traitées anticorrosion. Lorsque l'air comprimé a été traité, il faut veiller à ce que sa qualité ne se dégrade pas dans le réseau du fait d'une mauvaise tuyauterie.

a) Moins d'entretien grâce aux sècheurs frigorifiques

Dans 80 % des cas, les sècheurs frigorifiques suffisent pour traiter l'air comprimé. Ils dispensent souvent d'installer dans le réseau des filtres

qui génèrent des pertes de charge, et en termes de coûts énergétiques, ils ne représentent que 3 % de l'énergie consommée par le compresseur pour un débit d'air équivalent. Les économies d'entretien et de réparation des tuyauteries et des équipements pneumatiques dépassent jusqu'à dix fois les dépenses occasionnées par le séchage frigorifique.

b) Des unités gain de place

Des unités peu encombrantes, combinant un compresseur à vis, un sécheur frigorifique et un réservoir d'air comprimé (fig. 1) sont disponibles pour les petites entreprises ou pour l'alimentation en air comprimé décentralisée.

3. Créer un réseau d'air comprimé

Avant toute chose, il faut déterminer si l'alimentation en air comprimé doit être centralisée ou décentralisée. L'alimentation centralisée est généralement adaptée aux petites et moyennes entreprises. Elle évite les problèmes liés à un réseau d'air comprimé étendu : une installation compliquée, le risque de gel des conduites extérieures insuffisamment isolées en hiver et la perte de



Fig. 1 : La station compacte AIRCENTER pour la production, le traitement et le stockage d'air comprimé dans un minimum d'espace

charge importante, due à la longueur des tuyauteries.

a) Bien dimensionner le réseau

Le dimensionnement du réseau de tuyauterie nécessite un calcul soigné sur la base d'une perte de charge maximale de 1 bar entre le compresseur et les outils pneumatiques, et compte tenu de l'écart de régulation du compresseur et du traitement d'air comprimé standard (sécheur frigorifique).

Les hypothèses de pertes de charge sont les suivantes (fig. 2) :

① Conduite principale	0,03 bar
② Conduite de distribution	0,03 bar
③ Descente	0,04 bar
④ Sécheur	0,20 bar
⑤ Unité d'entretien et tuyau	0,50 bar
Total maxi	0,80 bar

Comme le montre cette liste, il est important de calculer les pertes de charge sur les différents tronçons de tuyauterie, en prenant aussi en compte les coudes et les vannes d'arrêt. Il ne suffit pas de prendre le métrage linéaire de la tuyauterie et d'appliquer une table de calcul ou une formule, il faut calculer les longueurs de tuyauterie du point de vue de l'écoulement du fluide. Dans la phase initiale de l'étude, on ne connaît généralement pas encore tous les raccords et les vannes qui seront nécessaires. Pour calculer les longueurs de tuyauterie du point de vue fluide, on multiplie le nombre de mètres linéaires de tuyauterie par 1,6. Des formules courantes (fig. 3) ou des nomogrammes permettent de déterminer facilement le diamètre des tuyauteries (annexe 1, p. 54).

La **Toolbox KAESER** (www.kaeser.fr/Online_Services/Toolbox) permet également d'effectuer ces calculs.

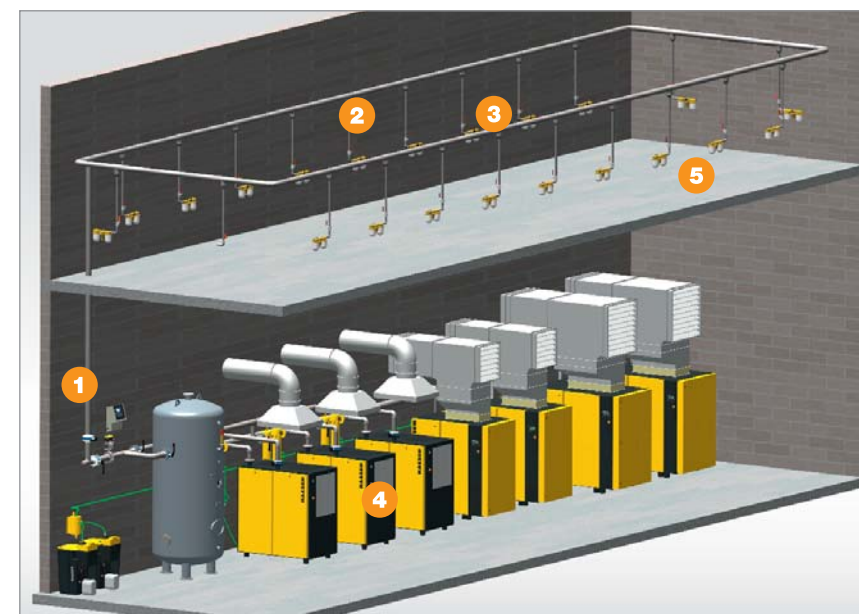


Fig. 2 : Les principales composantes du réseau de distribution d'air comprimé : conduite principale (1), conduite de distribution (2), descente (3), sécheur (4), unité d'entretien et flexible (5)

Formule d'approximation :

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times V^{1,85} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

d_i = diamètre intérieur du tuyau (m)
 p_s = pression du système (absolue, en Pa)

L = longueur nominale (m)

V = débit (m^3/min)

Δp = perte de charge (Pa)

Fig. 3 : Formule de calcul approximatif des diamètres de tuyaux

b) Économiser de l'énergie avec des tuyauteries bien posées

Pour économiser de l'énergie, il faut poser les tuyauteries de la manière la plus linéaire possible. Afin d'éviter des coudes pour contourner des piliers par exemple, la tuyauterie sera posée en ligne droite, à côté de l'obstacle. Les angles vifs à 90° qui provoquent de fortes pertes de charge peuvent facilement être remplacés par des coudes à 90° largement dimensionnés. Utiliser

des vannes à boisseau sphérique ou des soupapes à clapet à passage intégral à la place des vannes d'arrêt d'eau que l'on rencontre encore souvent.

Dans la partie humide du réseau, autrement dit uniquement dans le local compresseurs, les entrées et sorties de la conduite principale doivent être dirigées vers le haut ou au minimum prévues sur le côté. La conduite principale doit avoir une pente de 2 ‰. L'évacuation des condensats est à prévoir au point le plus bas de cette conduite. Dans la partie sèche, il faut poser les tuyaux à l'horizontale et diriger les piquages vers le bas.

c) Quel matériau pour la tuyauterie ?

Nous ne pouvons pas émettre de recommandation particulière quant aux propriétés du matériau mais du fait du dégagement de chaleur des compresseurs, il faut utiliser des conduites métalliques. Le prix d'achat du matériau n'est pas non plus le seul critère de choix. Qu'ils soient galvanisés, en cuivre ou en plastique, les tuyaux reviennent à peu près au même prix

si l'on additionne les coûts d'achat et d'installation. Les tuyaux en inox sont à peu près 20 % plus chers mais leur prix a baissé grâce aux nouvelles techniques de fabrication.

Aujourd'hui, de nombreux fabricants de tuyaux fournissent des tableaux spécifiant les conditions d'utilisation optimales des différents matériaux. Avant toute décision d'investissement, il est recommandé d'étudier soigneusement ces tableaux comparatifs pour définir un cahier des charges en fonction des contraintes d'exploitation du réseau. C'est le meilleur moyen de faire le bon choix.

d) Attention à la technique de raccordement

Les éléments de tuyauterie seront soudés ou collés, ou encore assemblés par vissage et collage. Même si ces techniques de raccordement rendent le démontage difficile, elles minimisent les risques de fuite.

Moderniser un réseau d'air comprimé

Chaque année, de nombreuses entreprises jettent littéralement des milliers d'euros par la fenêtre parce que leur réseau obsolète et/ou mal entretenu augmente la consommation d'énergie du système d'air comprimé. Pour remédier à une telle situation, il faut procéder méthodiquement. Voici quelques conseils pour mener à bien la modernisation d'un réseau d'air comprimé.

1. Première condition : de l'air comprimé sec

La création d'un tout nouveau réseau d'air comprimé permet d'éviter de nombreuses erreurs et les problèmes qui en découlent. En revanche, la modernisation d'un vieux réseau s'avère plus compliquée. Elle est même pratiquement vouée à l'échec si la station continue d'alimenter le réseau en air comprimé humide. Avant d'engager des travaux de modernisation, il faut dans tous les cas prévoir un système de séchage centralisé.

2. Comment remédier à une perte de charge anormale ?

Si un système de traitement approprié a été mis en place et que la perte de charge dans le réseau reste très importante, c'est dû à l'encrassement des tuyaux. Les particules contenues dans l'air comprimé se déposent sur les parois des tuyaux et finissent par réduire fortement le passage.

a) Remplacer ou décaper par jet d'air
Lorsque les dépôts ont durci, il n'y a généralement pas d'autre solution que de remplacer les tuyaux.

Si le rétrécissement n'est pas encore très important, le décapage des tuyaux par jet d'air comprimé, suivi d'un séchage, suffit souvent pour agrandir la section de passage.

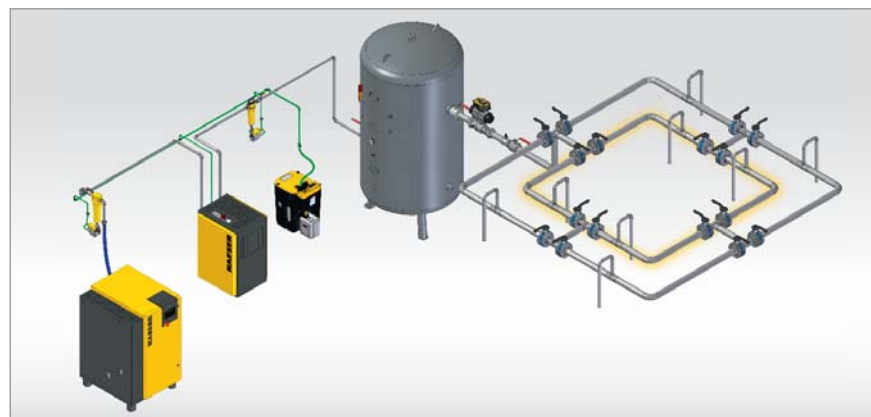


Fig. 1 : Modernisation de la tuyauterie par la pose d'une seconde boucle

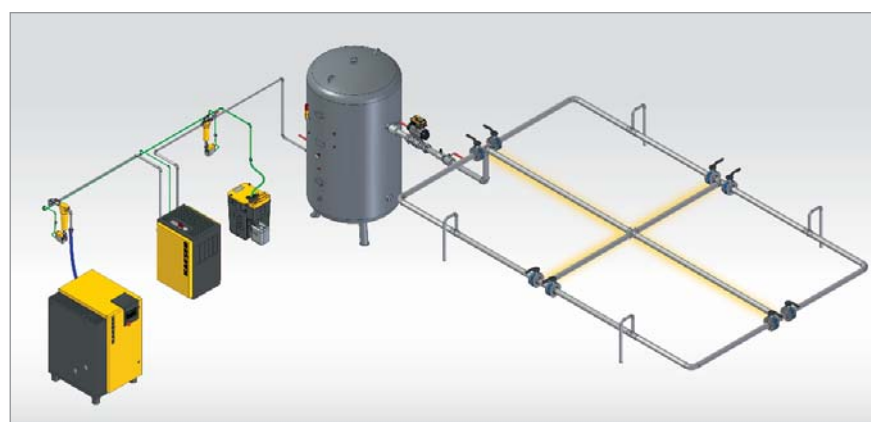


Fig. 2 : Augmentation de la capacité des tuyauteries par un maillage

b) Poser des tuyauteries complémentaires

Un excellent moyen de résoudre le problème de piquages devenus trop étroits consiste à poser une tuyauterie parallèle, reliée aux piquages. De même, si un réseau circulaire n'offre plus une section suffisante, le problème peut être résolu par la pose d'une deuxième boucle (fig. 1).

En plus de son utilité première qui est de réduire les pertes de charge, et pour autant qu'il soit bien dimensionné, ce réseau de doubles piquages ou de double boucle améliore la fiabilité de la distribution d'air comprimé.

Un autre moyen de moderniser un réseau circulaire consiste à le compléter par un maillage (fig. 2).

3. Déterminer et éliminer les fuites

Pour que les mesures de modernisation aboutissent à un résultat optimal, il faut aussi éliminer au maximum les fuites en ligne.

a) Calculer le débit total des fuites

Avant de se mettre à la recherche des fuites dans le réseau, il faut déterminer leur ampleur. Il existe pour cela une méthode simple : arrêter tous les outils et équipements pneumatiques puis mesurer les temps de fonctionnement du compresseur sur un laps de temps défini (fig. 3). À partir de cette mesure, le débit de fuite se calcule avec la formule suivante :

$$VL = \frac{VK \times \sum t_x}{T}$$

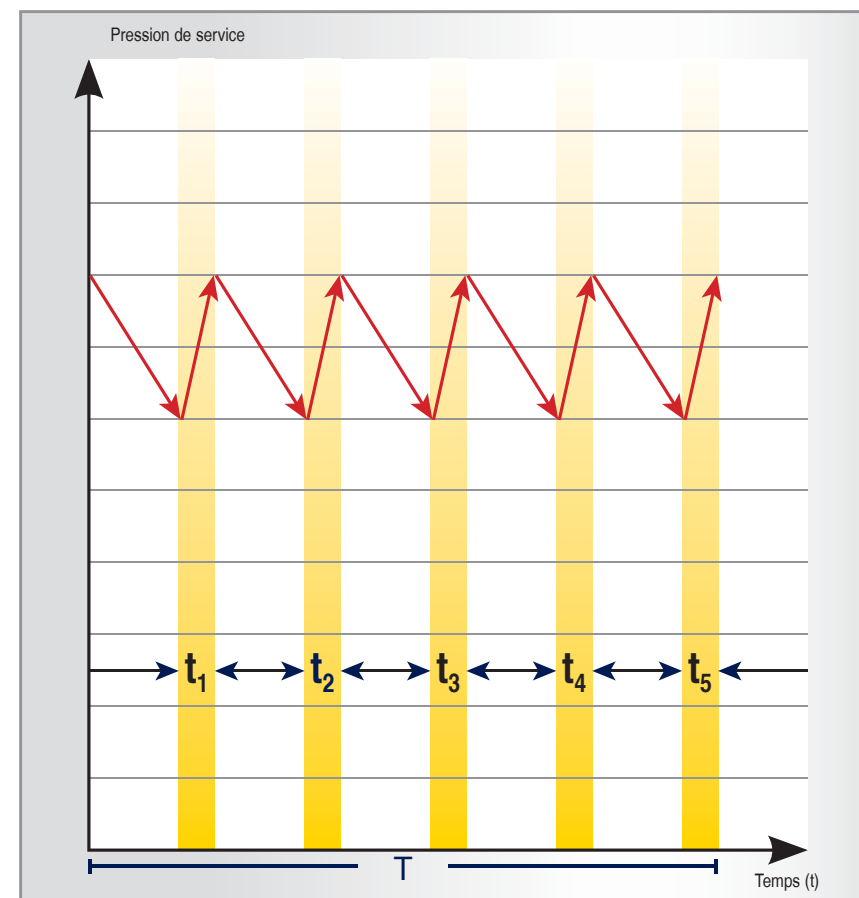


Fig. 3 : Calcul des fuites à partir des temps de fonctionnement du compresseur, tous les équipements pneumatiques étant débranchés

où :

VL = débit de fuite (m³/min)

VK = débit du compresseur (m³/min)

$\sum t_x = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$

Durée (min) pendant laquelle le compresseur a tourné en charge

T = durée totale (min)

b) Déterminer les fuites au niveau des équipements pneumatiques

Pour déterminer les fuites au niveau des équipements pneumatiques, raccorder tous les outils, machines et appareils pneumatiques, puis additionner toutes les fuites (fig. 4). Fermer ensuite les vannes d'arrêt en amont des équipements pneumatiques pour mesurer les fuites des tuyauteries (fig. 5).

La différence entre le total des fuites et les fuites du réseau correspond

aux fuites au niveau des équipements pneumatiques, de leurs raccords et des accessoires de tuyauterie.

4. Où se trouvent la plupart des fuites ?

Nous savons par expérience qu'à peu près 70 % des fuites se situent en fin de ligne, autrement dit sur les dernières descentes du réseau d'air comprimé. Les fuites peuvent être localisées au moyen d'eau savonneuse ou d'un spray spécial. En général, lorsque les tuyauteries principales transportant de l'air sec présentent des fuites nombreuses et importantes, cela est dû au dessèchement de l'étoupage en chanvre qui était prévu à l'origine pour un réseau transportant de l'air humide. Le détecteur à ultrasons est très commode pour

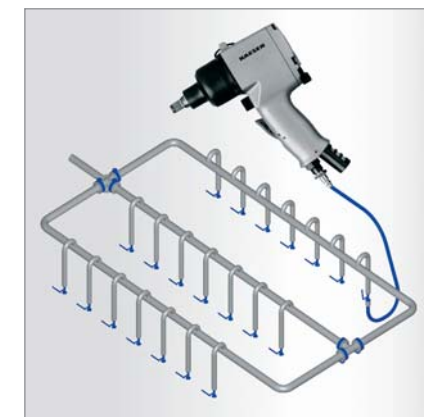


Fig. 4 : Mesure des fuites sur les équipements pneumatiques + tuyauteries

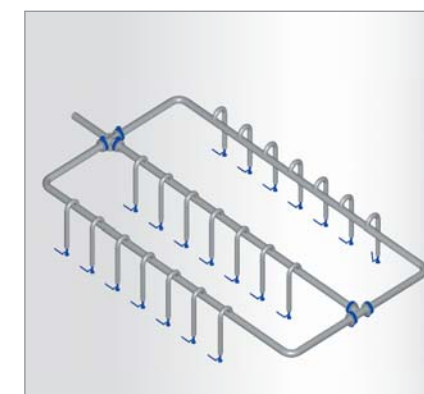


Fig. 5 : Mesure des fuites des tuyauteries

localiser précisément les fuites sur les tuyauteries principales. Lorsque les fuites ont été déterminées et éliminées, et que les sections de tuyauterie ont été adaptées aux nouveaux besoins, le réseau assure la distribution d'air comprimé de manière économique.

Analyse des besoins en air comprimé (ADA)

État des lieux de l'existant

Les stations d'air comprimé modernes sont généralement des systèmes complexes. Leur exploitation ne pourra être économique que si cette complexité est prise en compte lors de la création, de l'extension ou de la modernisation. KAESER propose pour cela un ensemble complet de produits et de services qui associe des éléments éprouvés comme les équipements de la station d'air comprimé, le conseil et le suivi du client, et les nouvelles techniques d'information appliquées à l'air comprimé.

L'air comprimé est utilisé dans tous les secteurs industriels. Quel que soit le secteur considéré, la fiabilité des équipements de production et de traitement est l'un des préalables essentiels à l'utilisation économique de l'air comprimé. Ils doivent fournir l'air comprimé aux meilleurs coûts, aux débits spécifiés et dans la qualité définie.

1. Le conseil, un facteur de performance économique

Pour répondre à ces critères, le système d'air comprimé doit être étudié en fonction de l'utilisation envisagée,

et adapté aux conditions ambiantes et d'installation. Autrement dit, il doit comprendre des compresseurs, des appareils de traitement et un réseau de tuyauterie correctement dimensionnés, une commande efficace, des systèmes de traitement des condensats et de ventilation appropriés, et dans la mesure du possible, permettre la récupération des calories. KESS, le système d'économie d'énergie KAESER, permet de répondre à ces exigences. Il englobe l'analyse du profil de consommation d'air comprimé, la planification (fig. 1) et la réalisation de la station, la formation du personnel et le service après-vente.

La qualité du conseil et le choix des types d'équipements sont déterminants car les plus gros gisements d'économies se trouvent dans la consommation d'énergie et les frais d'entretien, et non pas au niveau de l'achat proprement dit.

2. L'analyse du profil de consommation

Le conseil dans le cadre du programme KESS commence toujours par l'analyse du profil de consommation d'air com-

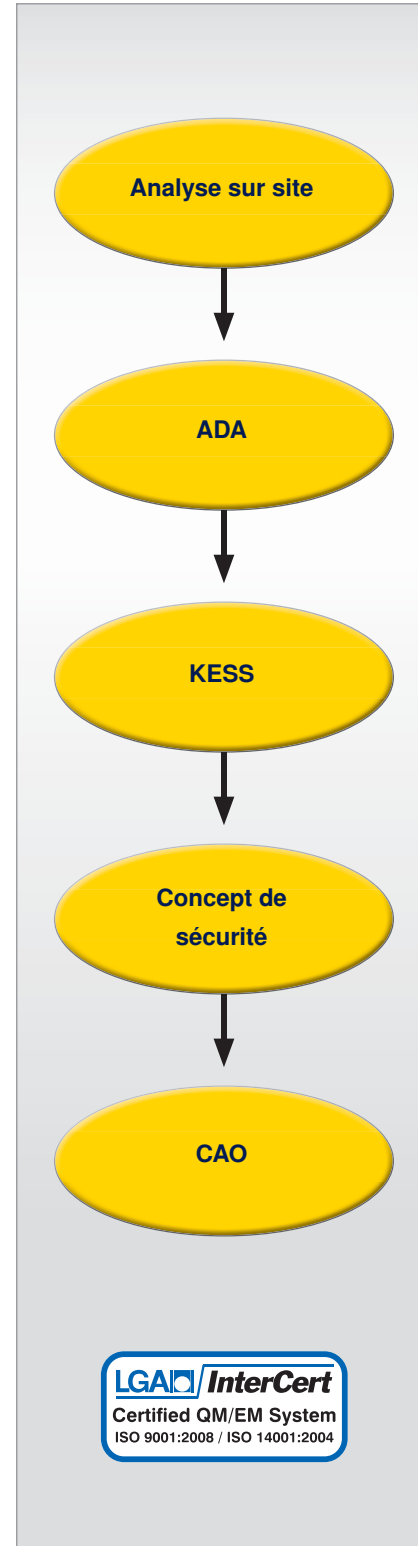


Fig. 1 : Le système d'analyse de KAESER Compresseurs

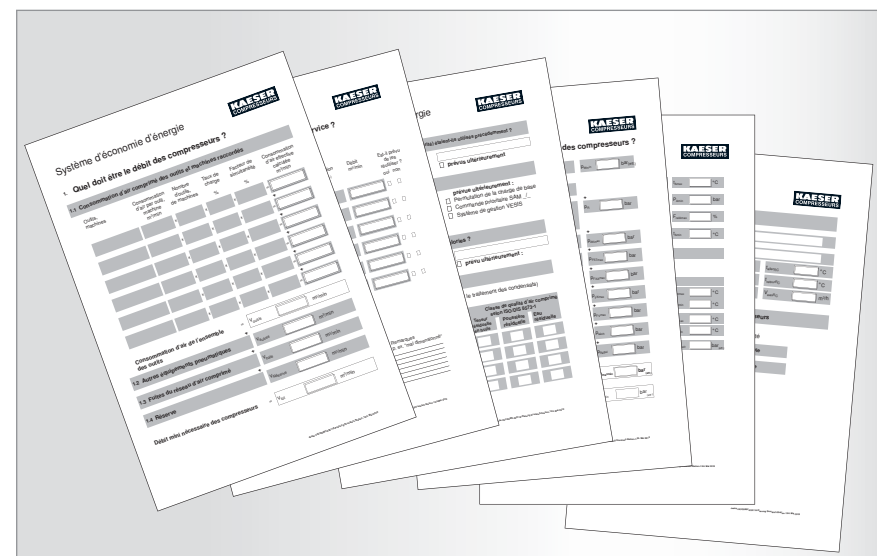


Fig. 2 : Questionnaire « Station d'air comprimé » pour des centrales à créer ou existantes (cf. annexe p. 56)

primé actuel et éventuellement futur. Cette analyse, désignée chez KAESER sous l'appellation ADA (Analyse de la Demande d'Air), prend différentes formes selon le projet envisagé :

a) Création d'une station d'air comprimé

Le futur exploitant reçoit un questionnaire spécial pour l'étude et le dimensionnement de sa station (fig. 2). L'exploitation de ce questionnaire et le conseil d'un spécialiste de KAESER permettent de cerner les besoins estimés en air comprimé et l'équipement nécessaire. Les questions couvrent tous les aspects essentiels d'une alimentation en air comprimé économique et non polluante.

b) Extension et modernisation

Contrairement à la création d'une station, les projets d'extension peuvent s'appuyer sur l'existant pour le dimensionnement. KAESER met à la disposition du client des méthodes et des instruments de mesure pour déterminer exactement la consommation d'air comprimé aux divers postes de travail et à des moments différents. Il est très important de relever non seulement des moyennes de consommation, mais aussi les valeurs maximales et minimales (fig. 8, page 29).

c) Contrôle du rendement des stations existantes

Même pour les stations existantes, il est recommandé de vérifier de temps en temps, à l'aide d'un système d'analyse assisté par ordinateur, si la charge des compresseurs est encore correcte, si la programmation de la commande prioritaire est toujours adaptée ou si le débit de fuite est dans la tolérance. L'analyse ADA est également recommandée au moment de remplacer des compresseurs obsolètes. C'est l'occasion, éventuellement, de rectifier des paramètres, d'améliorer le fonctionne-

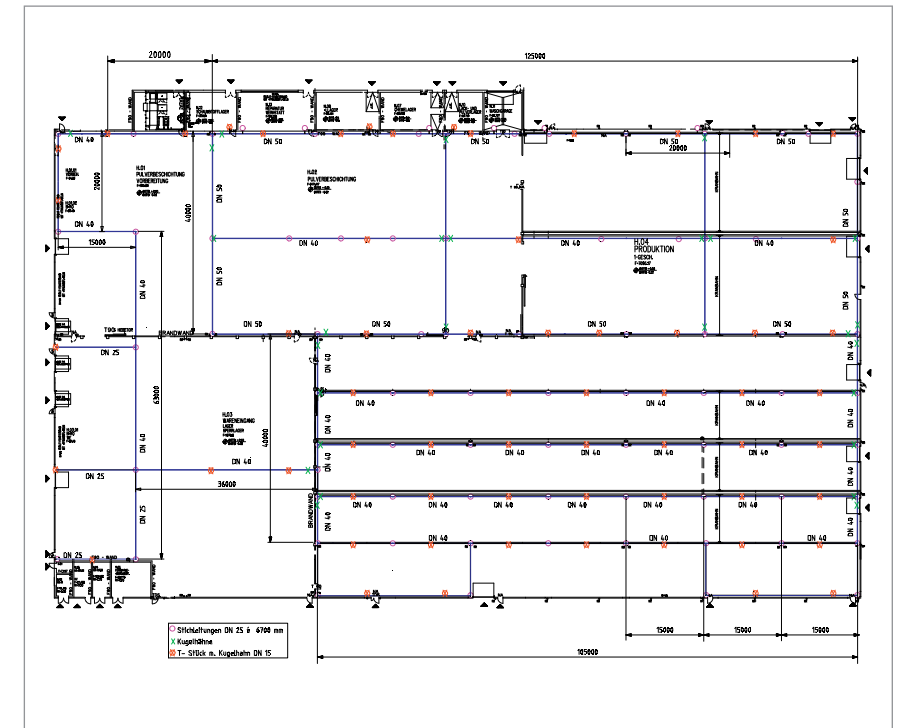


Fig. 3 : Plan d'ensemble du réseau d'air comprimé

ment des compresseurs (surtout en charge partielle) et de prévoir un système de gestion prioritaire optimisé.

d) Nouvelles conditions d'utilisation de l'air comprimé

Lorsque les conditions d'utilisation changent, il est judicieux de consulter un spécialiste. Dans bien des cas, le fait d'adapter le système de traitement ou d'ajuster la pression permet de réduire les coûts.

3. Les informations à fournir par l'exploitant

a) Le plan du réseau

Le plan d'ensemble du réseau (fig. 3) est indispensable à titre d'information générale. Il doit indiquer la conduite principale d'air comprimé, les piquages et les points d'alimentation de la station de compresseurs.

Il mentionnera également les dimensions et les matériaux des tuyauteries,

les postes à forte consommation d'air comprimé et ceux qui nécessitent une pression ou une qualité d'air spéciales.

b) Les types d'utilisation de l'air comprimé

L'air comprimé étant un fluide très polyvalent, il est indispensable de connaître précisément l'utilisation qui en est faite. L'air comprimé sera-t-il utilisé comme air de réglage, pour le revêtement de surface, pour des outils rotatifs, à des fins de nettoyage, comme air process, etc. ?

c) Les compresseurs existants

L'exploitant doit préciser le type et le modèle des compresseurs, leurs caractéristiques techniques telles que la pression de service, le débit, la puissance absorbée, le type de refroidissement et éventuellement la présence d'un système de récupération de calories.

Analyse des besoins en air comprimé (ADA) État des lieux de l'existant

d) Le traitement d'air comprimé

Pour le traitement de l'air comprimé, l'essentiel est de savoir s'il est centralisé et/ou décentralisé, et quelles sont les classes de qualité requises. L'exploitant doit également fournir les caractéristiques techniques des organes de traitement. Un schéma fonctionnel facilite la compréhension (fig. 4, page 28).

e) La commande et la surveillance de la centrale

La description des systèmes de commande et de surveillance utilisés est indispensable car le rendement de la station est déterminé non seulement par les caractéristiques de chacune des machines mais aussi, et surtout, par la bonne coordination des compresseurs.

4. Concertation entre l'exploitant et le spécialiste de l'air comprimé

Au cours d'un entretien préliminaire, l'exploitant présente toutes les informations dont il dispose et expose au spécialiste les problèmes qui affectent son alimentation en air comprimé. Il peut s'agir d'une pression trop basse ou instable, d'une qualité d'air insuffisante, d'une mauvaise utilisation de

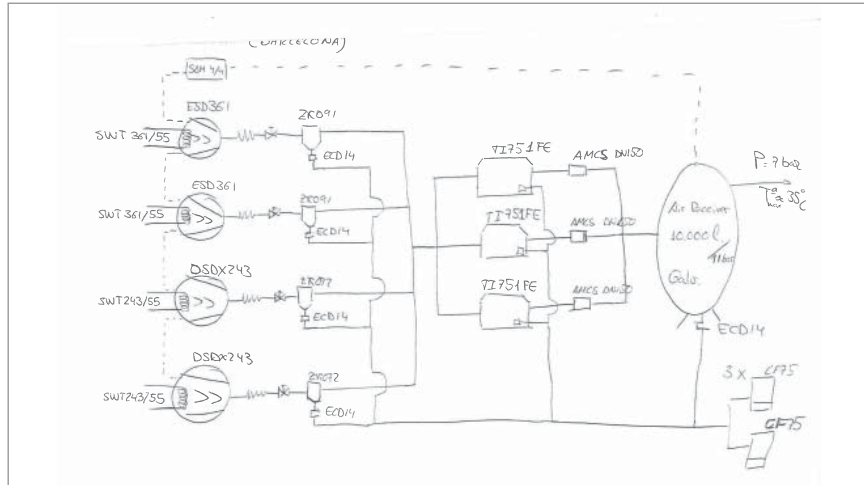


Fig. 4 : Schéma fonctionnel d'une station (PID), tracé à la main

la capacité des compresseurs ou d'un problème de refroidissement.

5. L'état des lieux du réseau d'air comprimé

Il est généralement très instructif de faire le tour du réseau pour dresser un état des lieux. On commencera de préférence par les zones critiques, là où il faut par exemple s'attendre à de fortes pertes de charge ou à une mauvaise qualité d'air (fig. 5). En général, ce sont les derniers points de prélèvement du réseau.

a) Flexibles, manodétendeurs, décanteurs

Les raccords des flexibles au niveau des outils pneumatiques sont très souvent sujets aux fuites. Il faut donc contrôler leur état et leur étanchéité. Si des manodétendeurs sont utilisés, vérifier également leur réglage (pression d'alimentation et pression finale) en conditions de charge (fig. 6). Contrôler les décanteurs en amont des manodétendeurs pour rechercher du liquide ou des impuretés. Vérifier également les tuyaux de sortie vers le bas (fig. 7).

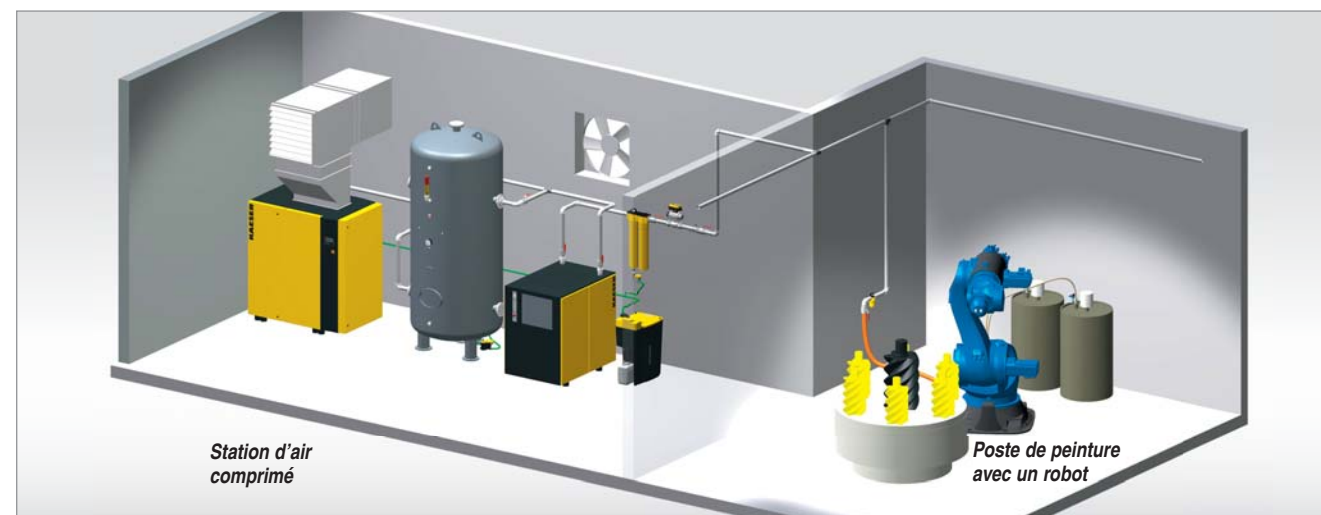


Fig. 5 : Très instructif : l'état des lieux du réseau

b) Les vannes d'isolement

L'état des conduites de distribution qui partent du réseau principal joue considérablement sur les performances du système. Les vannes d'isolement sont des points névralgiques. Il faut vérifier s'il s'agit par exemple de vannes à boisseau sphérique à passage intégral qui favorisent l'écoulement de l'air, de clapets d'arrêt ou encore de vannes d'arrêt d'eau ou de robinets-équiers défavorables au flux d'air.

c) La tuyauterie principale

Il s'agit ici de rechercher les restrictions de section qui occasionnent des pertes de charge.

d) Le système de traitement

Les principaux points à contrôler sont la perte de charge provoquée par le système de traitement et le point de rosée sous pression (degré de séchage). D'autres contrôles de qualité peuvent être nécessaires selon le cas.

e) La station

La station d'air comprimé elle-même peut aussi présenter de graves anomalies. Il faut vérifier l'installation des machines, le circuit de ventilation, le refroidissement et les tuyauteries. L'écart total des pressions de commutation des compresseurs devra être déterminé, de même que la capacité des réservoirs d'air comprimé et le point de mesure à partir duquel les compresseurs sont pilotés.

f) Définir les points de mesure

À l'issue de cet état des lieux, le spécialiste de l'air comprimé définit avec l'exploitant les points de mesure pour l'analyse de la consommation d'air. Il faut au minimum relever la pression en amont et en aval du traitement, et à la sortie du réseau d'air comprimé.



Fig. 6 : Unité d'entretien avec manodétendeur

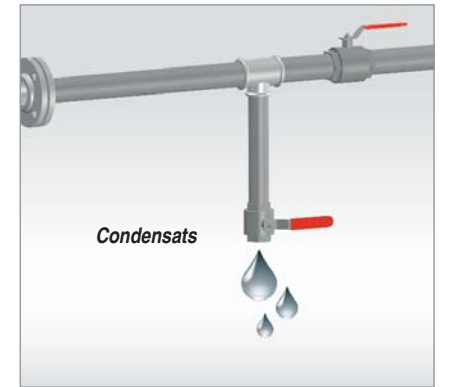


Fig. 7 : Recherche la présence d'humidité dans la conduite de sortie d'air comprimé

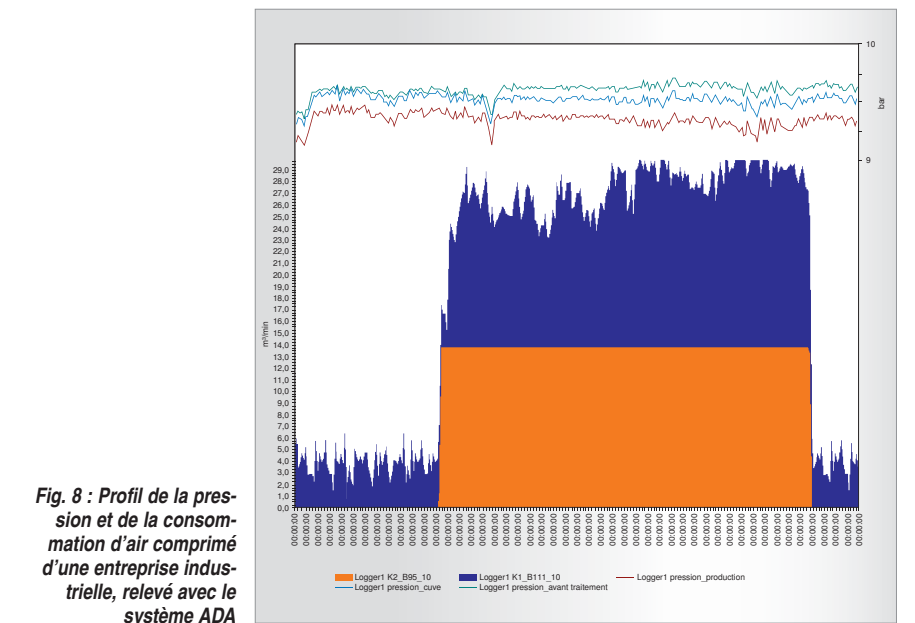


Fig. 8 : Profil de la pression et de la consommation d'air comprimé d'une entreprise industrielle, relevé avec le système ADA

6. Profil des pressions et des consommations d'air (ADA)

Des enregistreurs de données modernes enregistrent le fonctionnement de la station de compresseurs sur une période d'au moins 10 jours pour relever le profil de la pression et la consommation d'air. L'enregistreur relève les valeurs de mesures prévues et les transmet à un ordinateur qui génère un diagramme détaillé de la consommation d'air comprimé. Celui-ci montre les baisses et les varia-

tions de pression, les fluctuations de la consommation, le fonctionnement des machines en marche à vide, les temps en charge et les temps d'arrêt des compresseurs, et la puissance de chacun des compresseurs rapportée à la consommation d'air comprimé. Pour obtenir un tableau complet, il faut aussi relever les fuites sur toute la période de mesurage. La procédure est décrite au chapitre 10, (p. 24). Elle nécessite d'isoler certaines parties du réseau pendant le week-end.

Définir une solution économique

L'optimisation rigoureuse des systèmes d'air comprimé permettrait aux industriels européens d'économiser plus de 30 % de leurs frais d'air comprimé moyens. 70 à 90 % du coût de l'air comprimé sont imputables à la consommation d'énergie. Face à l'évolution des prix, le rendement du système d'air comprimé est un enjeu de plus en plus important pour l'utilisateur.

Les calculs d'optimisation effectués par le système d'économie d'énergie KESS de KAESER permettent de déterminer, parmi plusieurs variantes, la configuration la mieux adaptée pour l'entreprise considérée. S'agissant d'une création de station, les calculs s'appuient sur un questionnaire de dimensionnement renseigné par le futur exploitant. Pour la modernisation d'une station d'air comprimé existante, les calculs sont basés sur le profil de consommation journalier caractéristique, relevé avec le système d'analyse de la demande d'air (ADA) (voir p. 29, fig. 8).

1. Une étude assistée par ordinateur

Pour l'optimisation de la station, les caractéristiques techniques des compresseurs existants et des nouvelles variantes possibles sont saisies dans l'ordinateur. Le système KESS détermine la variante optimale et les potentiels de réduction des coûts. Non seulement il calcule la consommation énergétique pour une consommation d'air comprimé donnée, en tenant compte de toutes les pertes de charge, mais il fournit une représentation graphique précise du profil de puissance spécifique de la station de compresseurs sur toute la durée de fonctionnement (fig. 1). Cela permet de repérer les points faibles en charge partielle pour y remédier en amont du projet. À l'issue de cette étude, l'utilisateur a une vision claire des économies réalisables et de l'amortissement de son investissement.

2. Panacher les machines

Dans la plupart des cas, la bonne solution consiste à associer des compresseurs de différentes puissances dans une configuration soigneusement étudiée. Celle-ci comprend généralement de gros compresseurs pour couvrir la charge de base et servir de machines de secours, et de compresseurs de plus petite taille pour la charge de pointe.

Le système de gestion prioritaire a pour fonction d'équilibrer au mieux la puissance spécifique entre les 16 compresseurs pouvant être pris en charge au maximum. Il doit être en mesure de sélectionner automatiquement la combinaison de compresseurs la plus favorable pour respecter une plage

de variation de pression de 0,2 bar seulement. Les systèmes de commande intelligents comme le SIGMA AIR MANAGER répondent à cette exigence. Cette commande prioritaire échange des données avec les compresseurs et d'autres équipements (purgeurs de condensats, sécheurs, etc.) par un système de bus. Elle peut également transférer toutes les données d'exploitation à un système de contrôle-commande centralisé grâce à des interfaces.

3. Optimiser l'utilisation de l'espace

La création ou la modernisation d'une station d'air comprimé est l'occasion d'optimiser l'utilisation de l'espace disponible. Les systèmes de concep-

tion modernes, comme ceux qu'utilise KAESER, facilitent cette optimisation. Ils permettent d'intégrer dans l'étude non seulement les plans d'ensemble et les schémas tuyauterie et Instrumentation, mais aussi des animations et des représentations en 3-D de la station. De ce fait, malgré des locaux exigus, il s'avère souvent possible, par exemple, de prévoir un refroidissement par air qui permet d'économiser 30 à 40 % des coûts par rapport au refroidissement par eau. (fig. 2a à 2c).

4. Optimisation du fonctionnement et contrôle de gestion

Pour que la production d'air comprimé reste économique dans le temps, il ne suffit pas d'optimiser le rapport coût-bénéfice, il faut aussi assurer la transparence indispensable pour contrôler efficacement la gestion de la station. La commande de compresseur SIGMA CONTROL remplit les conditions nécessaires pour cela grâce à son PC industriel avec cinq modes de régulation programmés. Cette commande est en mesure de collecter et de transmettre les données à une commande prioritaire, par un réseau. La commande prioritaire, le SIGMA AIR MANAGER (p. 18), est elle aussi équipée d'un PC industriel qui assure des fonctions analogues à l'échelle de la station : il collecte toutes les données des compresseurs qu'il régule et surveille, et les transmet à un réseau Ethernet via Internet ou par le logiciel de contrôle-commande SIGMA CONTROL CENTER. Avec le SIGMA AIR CONTROL, le logiciel de visualisation du SIGMA AIR MANAGER, l'utilisateur peut consulter sur un PC l'état de tous les compresseurs de la station et leurs principales données de fonctionnement. Il connaît immédiatement la pression de service et voit si des entretiens arrivent à échéance ou si des défauts sont signalés.

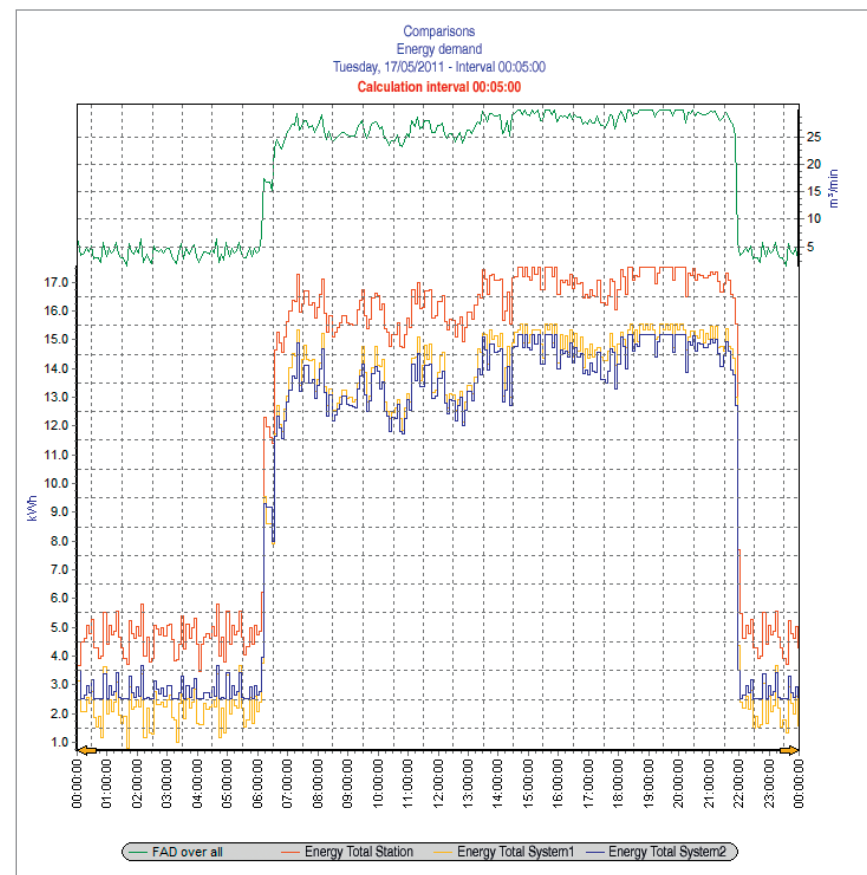


Fig. 1 : Comparaison de la consommation d'énergie entre une station existante et plusieurs nouvelles variantes, sur une journée de travail, en fonction de la consommation d'air comprimé

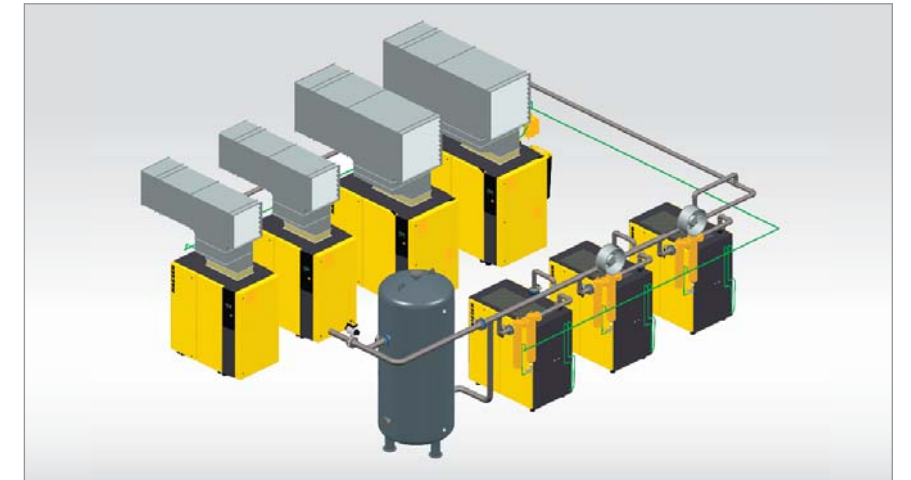


Fig. 2a : Étude en 3-D d'une station d'air comprimé, optimisée par CAO

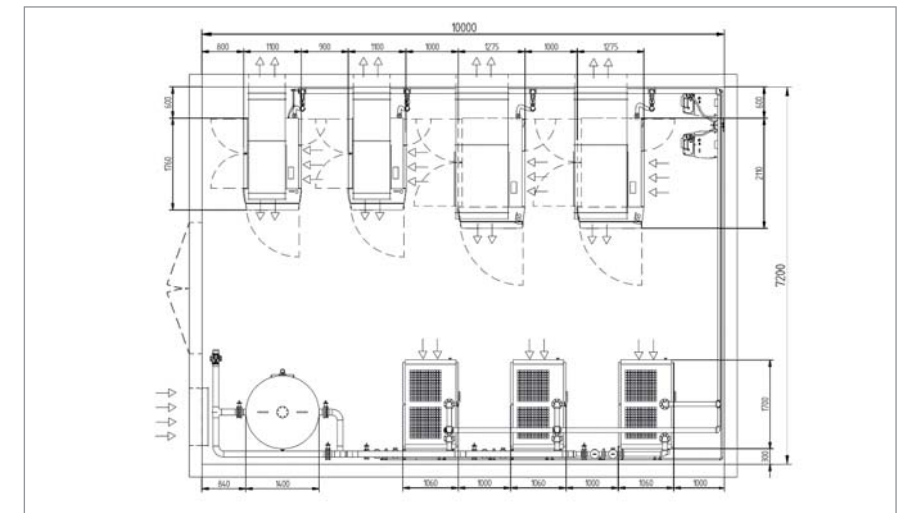


Fig. 2b : Plan d'ensemble d'une station d'air comprimé

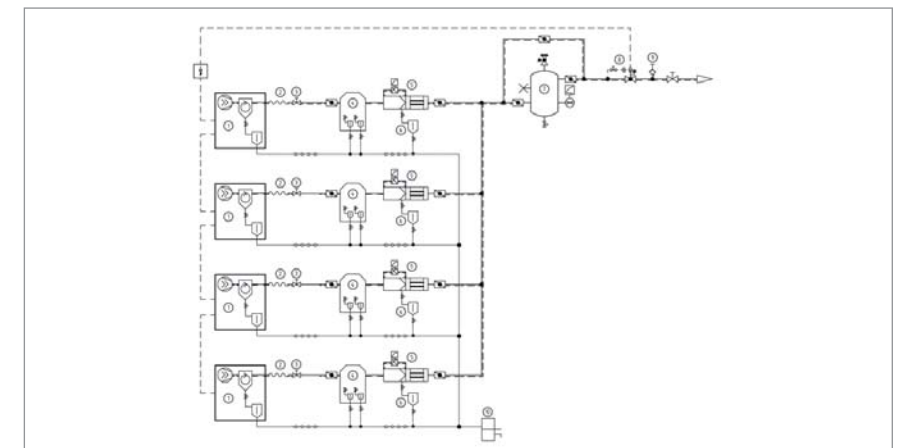


Fig. 2c : PID d'une station d'air comprimé

Refroidir efficacement la station d'air comprimé

Les compresseurs convertissent 100 % l'énergie électrique consommée en énergie calorifique. La chaleur dégagée par un compresseur de 18,5 kW seulement suffirait à chauffer une maison individuelle. La station a donc besoin d'un refroidissement efficace pour pouvoir fonctionner sans problèmes.

La chaleur dissipée par les compresseurs permet d'économiser de l'énergie facilement. Les systèmes de récupération de calories permettent d'utiliser jusqu'à 96 % de l'énergie et d'abaisser fortement le coût de production de l'air comprimé (voir chapitre 8, p. 20). Même s'ils sont équipés pour la récupération de calories, les compresseurs doivent disposer d'un système de refroidissement performant qui est lui-même source d'économies substantielles. Le refroidissement par air, par exemple, peut coûter jusqu'à 30 % moins cher que le refroidissement par eau. Il est donc à privilégier partout où c'est possible.

1. L'environnement des compresseurs

1.1. De l'air ambiant propre et frais

La réglementation allemande sur la prévention des accidents VBG 16 (13.4 Compresseurs, article 12, paragraphe 1) stipule : « Les compresseurs sont à installer de manière à assurer une accessibilité suffisante et le refroidissement nécessaire. » Les textes d'application précisent que la température ambiante ne doit pas dépasser +40 °C pour les compresseurs refroidis par air et par huile.

Par ailleurs il est indiqué à l'article 15 : « ... aucun mélange dangereux ne doit être libéré dans la zone d'aspiration des compresseurs. » Ce sont là des prescriptions minimales visant à limiter le risque d'accident. Il faut réunir bien d'autres conditions pour assurer le fonctionnement économique des compresseurs et réduire l'entretien.



Exemple d'une station avec un système d'évacuation d'air chaud et une ventilation thermostatée supplémentaire pour le sécheur frigorifique

1.2 Le local compresseurs n'est pas un débarras

Le local compresseurs ne doit pas être encombré d'appareils étrangers à l'exploitation des compresseurs et doit être maintenu propre et sans poussière. Le plancher doit, dans la mesure du possible, être résistant à l'usure. Une filtration intensive est à prévoir si l'air d'aspiration ou de refroidissement est poussiéreux, chargé en particules ou pollué par d'autres substances. Même dans des conditions de service normales, il faut filtrer l'air d'aspiration et l'air de refroidissement des compresseurs.

1.3 Des températures ambiantes maîtrisées

La température ambiante a une incidence sur la fiabilité des compresseurs et leur fréquence d'entretien. L'air d'aspiration et de refroidissement ne doit être ni trop froid (pas au-dessous de +3 °C) ni trop chaud (pas au-dessus de +40 °C). En été, même à des latitudes tempérées, la température peut dépasser les 40 °C dans les locaux

orientés au sud ou même à l'ouest. Il est donc recommandé de ne pas placer les ouvertures pour l'air d'aspiration et de refroidissement à des endroits très exposés au soleil. La taille des ouvertures dépend de la puissance des compresseurs et du type de ventilation.

2. La ventilation du local compresseurs

Une bonne ventilation du local est indispensable pour les compresseurs, qu'ils soient refroidis par air ou par eau. Il faut évacuer la chaleur dissipée dans le compresseur et celle qui est émise par le moteur électrique, soit en tout environ 10 % de la puissance motrice du compresseur.

3. Les différents types de ventilation

3.1 La ventilation naturelle

L'air de refroidissement est aspiré puis réchauffé par le compresseur et sous l'effet de la surpression, il s'élève et sort du local par une ouverture prévue en hauteur (fig. 1). Mais cette convection naturelle idéale ne fonctionne qu'exceptionnellement et pour des

compresseurs de moins de 5,5 kW. Le rayonnement solaire ou le vent qui souffle sur l'ouverture d'évacuation suffisent à empêcher cette ventilation naturelle.

3.2 La ventilation forcée

Cette méthode utilise un flux d'air de refroidissement forcé. Une commande thermostatique empêche la température de descendre sous les +3 °C en hiver. Des températures plus basses nuiraient au fonctionnement des compresseurs ainsi qu'à l'évacuation et au traitement des condensats. La commande thermostatique est nécessaire car la ventilation forcée crée une certaine dépression qui empêche l'air chaud de refluer dans le local compresseurs. Il existe deux solutions :

3.2.1 Le ventilateur externe

Un ventilateur externe thermostaté (fig. 2), installé dans l'ouverture d'évacuation du local compresseurs aspire l'air chaud. L'ouverture d'aspiration (en bas à droite) ne doit pas être trop petite car cela créerait une dépression excessive qui se traduirait par un flux d'air trop fort et bruyant. Cela compromettrait aussi le refroidissement de la station. La ventilation doit être dimensionnée de sorte que l'élévation de température due à la dissipation de chaleur des compresseurs n'excède pas 7 K. Ceci pour éviter un recyclage thermique et la défaillance des compresseurs.

3.2.2 La gaine d'évacuation d'air chaud

Les compresseurs à vis hermétiquement carrossés se prêtent à une ventilation pratiquement idéale avec une gaine d'évacuation : le compresseur aspire l'air atmosphérique par une ouverture et rejette l'air chaud directement hors du local par la gaine (fig. 3). Ce système offre l'avantage d'autoriser un plus grand échauffement de l'air de refroidissement. L'élévation de tem-

pérature admissible peut aller jusqu'à environ 20 K, ce qui réduit la quantité d'air de refroidissement nécessaire. En principe, les ventilateurs installés de série sur les compresseurs suffisent à évacuer l'air et contrairement aux ventilateurs externes, ils ne nécessitent pas d'énergie supplémentaire. Mais tout ceci n'est valable que pour autant que la réserve de surpression des ventilateurs ne soit pas dépassée. Par ailleurs, la gaine d'évacuation d'air chaud doit être équipée d'un registre de circulation d'air thermostaté (fig. 4) pour éviter le refroidissement du local compresseurs en hiver. Si le local abrite des sécheurs refroidis par air, il faut en tenir compte pour éviter que les compresseurs et les sécheurs ne se perturbent mutuellement dans leur refroidissement. Lorsque les températures dépassent les + 25 °C, il est recommandé de prévoir un système d'évacuation d'air thermostaté pour augmenter le débit d'air de refroidissement du sécheur frigorifique.

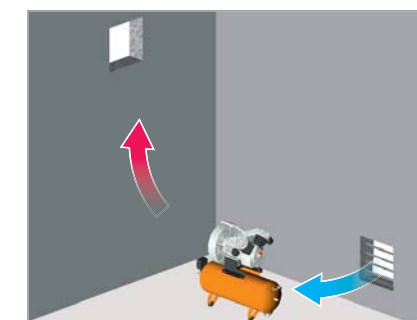


Fig. 1 : Ventilation naturelle pour les centrales jusqu'à 5,5 kW

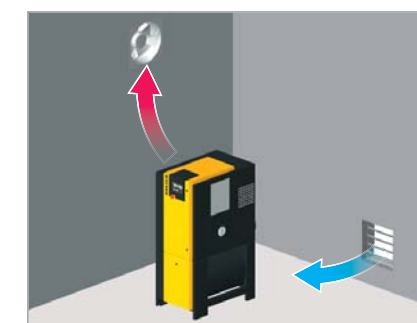


Fig. 2 : Ventilation forcée (ventilateur d'extraction) pour les centrales de 5,5 à 11 kW

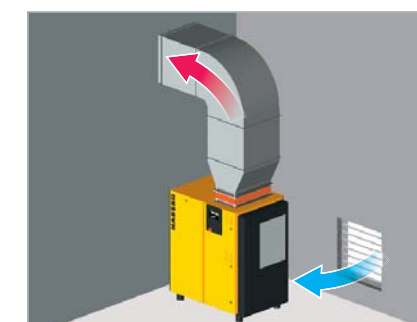


Fig. 3 : Ventilation forcée : gaine d'évacuation d'air chaud, pour les centrales à partir de 11 kW

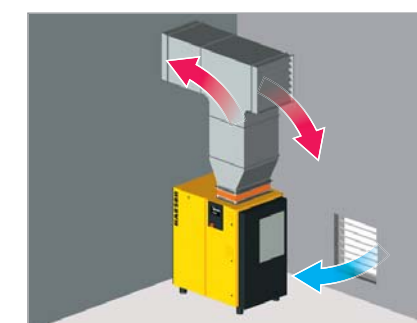


Fig. 4 : Un registre de circulation d'air thermostaté assure l'équilibre thermique

Optimisation des coûts et fiabilité durables

Les pages 22 à 33 présentent les points à prendre en compte pour la création d'une station ou la modernisation d'un réseau d'air comprimé existant, et les méthodes de planification d'une station performante. Mais il ne suffit pas d'être attentif à la consommation d'énergie et aux coûts pendant la phase d'étude et d'installation de la station. Pour que l'alimentation en air comprimé soit durablement économique, il faut surtout optimiser le rendement du système.

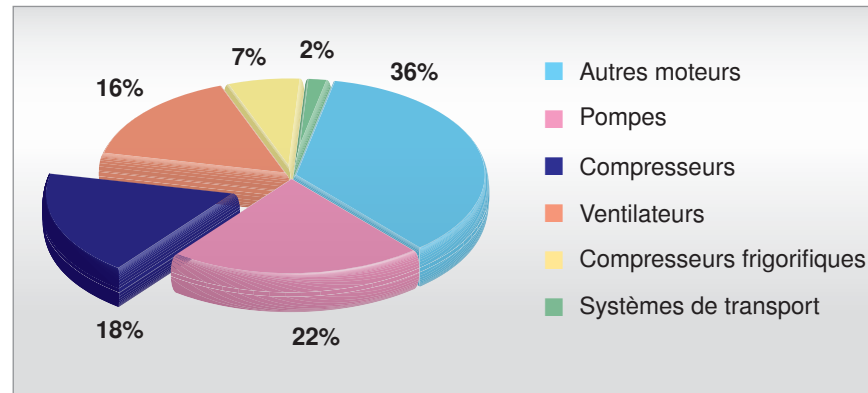


Fig. 1 : Part des compresseurs dans la consommation énergétique des systèmes d'entraînement électrique industriels dans l'UE (Source : SAVE II (2000))

L'utilisateur a intérêt à assurer un rendement maximal de sa station pour trois raisons : pour améliorer la sécurité de son alimentation en air comprimé, abaisser ses coûts d'air comprimé et réduire sa facture d'énergie. Les potentiels de rendement sont importants : selon l'étude européenne SAVE II, les compresseurs d'air européens ont consommé près de 80 milliards de kilowatts-heure en 2000, dont 30 % pourraient être économisés (fig. 1).

1. Qu'est-ce qu'un rendement optimal ?

Le rendement d'un système d'air comprimé se reflète dans sa structure de coûts. L'optimum réalisable varie

suivant l'entreprise et le type de production. Il est conditionné par le temps de marche des compresseurs, la pression de service et certains paramètres commerciaux.

Prenons l'exemple d'une station d'air comprimé optimisée, refroidie par air : durée de fonctionnement 5 ans, tarif de l'électricité 0,08 €/kWh, pression de service 7 bar, qualité d'air comprimé selon ISO 8573-1 : huile résiduelle classe 1, poussière résiduelle classe 1, eau résiduelle classe 4. Cet exemple montre que même dans des conditions optimales, la consommation énergétique

est le premier poste de dépense avec 70 % des coûts totaux d'air comprimé (fig. 2). Une étude menée en 2003 par l'institut universitaire de technologie de Coburg a recensé les anomalies dans les stations d'air comprimé d'Allemagne (fig. 3, p. 35).

2. Pérenniser le rendement

L'utilisateur qui souhaite préserver durablement le rendement de son alimentation en air comprimé doit respecter quelques points importants.

2.1 L'entretien conditionnel

Les commandes de compresseurs comme le SIGMA CONTROL et les systèmes de gestion comme le SIGMA AIR MANAGER 4.0, basés sur un PC industriel informent précisément l'utilisateur des intervalles d'entretien des composants de la station d'air comprimé. L'utilisateur peut donc effectuer l'entretien de manière conditionnelle et préventive pour réduire ses coûts d'entretien. Il améliore en même temps la fiabilité et le rendement de son alimentation en air comprimé, et par conséquent sa propre productivité.

2.2 Des équipements pneumatiques adaptés

L'utilisateur cherche à faire des économies aussi bien du côté de la production que de la consommation d'air comprimé, mais d'un côté comme de l'autre, certaines économies sont trompeuses, comme celle qui consiste à acheter des machines de production certes moins chères à l'achat mais qui nécessitent une pression de service relativement élevée. L'augmentation de pression et/ou l'extension du réseau d'air comprimé nécessaires auront vite dépassé la différence de prix d'achat par rapport à une machine qui se contente par exemple d'une pression de service de 6 bar. Lors de l'acquisition de machines de production il faut donc prendre en compte non seulement l'alimentation électrique mais aussi l'alimentation en air comprimé.

2.3 Nouvelles exigences dues à des changements de production

2.3.1 Consommation d'air comprimé

a) Réorganisation de la production

Les variations de consommation sont fréquentes dans de nombreuses entreprises. Or elles sont souvent mal prises en compte et il peut arriver, à l'issue d'une réorganisation de la production, que certains compresseurs soient sous-utilisés alors d'autres doivent répondre à une demande d'air comprimé qui épuise les réserves de sécurité. Il faut donc adapter en permanence l'approvisionnement en air comprimé aux changements des structures de production.

b) Extension de la production

Dans ce cas, il ne suffit pas d'adapter la puissance des compresseurs, il faut aussi redimensionner les tuyauteries et le traitement de l'air comprimé. S'il est prévu d'augmenter la capacité de production en installant une nouvelle machine, il est recommandé de

Les anomalies constatées dans les stations d'air comprimé et les ateliers de production

Station d'air comprimé



Production

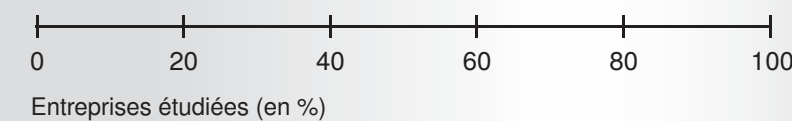
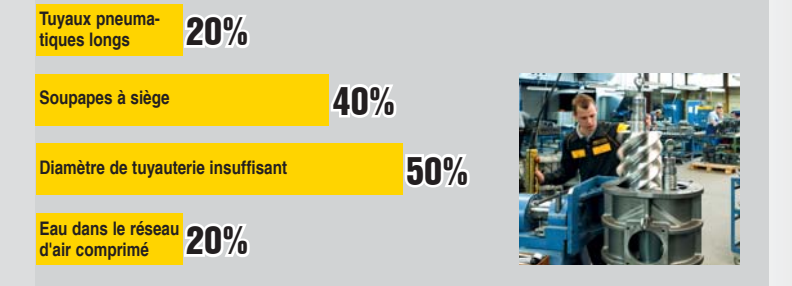


Fig. 3 : Analyse des résultats des audits d'air menés par Kaeser pour la campagne sur l'efficacité énergétique de l'air comprimé (original en allemand) Mémoire de fin d'études d'Anja Seitz, Institut universitaire de technologie Coburg, département Construction mécanique (2003)

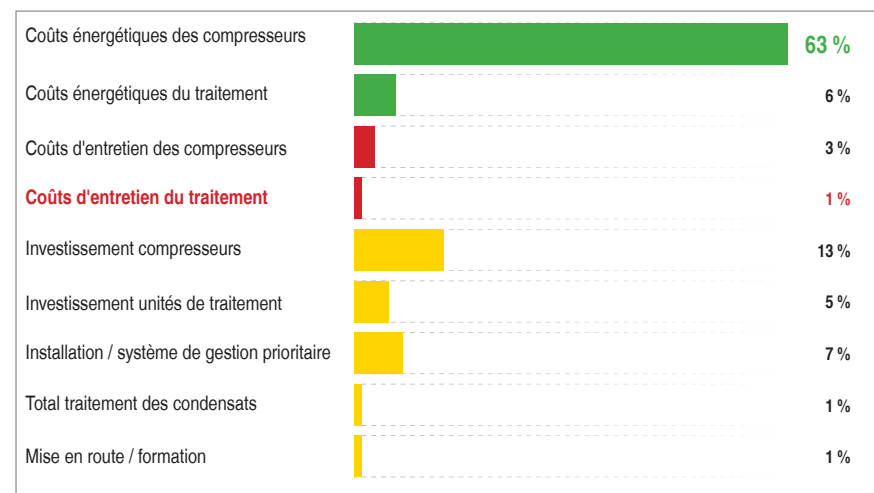


Fig. 2 : Structure des coûts d'un système d'air comprimé optimisé

Pérenniser la fiabilité et l'optimisation des coûts

mesurer au préalable la consommation d'air comprimé de la machine existante de la manière la plus précise possible pour pouvoir adapter l'alimentation.

2.3.2 Sécurité d'alimentation

Chaque station comprend généralement un compresseur de secours, mais il est rarement prévu des réserves de sécurité pour le traitement de l'air comprimé. Lorsque la consommation d'air augmente, le compresseur de secours se met en marche, mais la qualité de l'air comprimé se dégrade faute d'une capacité de traitement suffisante. Il faut



Fig. 4 : Recherche de fuites par ultrasons

donc prévoir une unité de traitement (sécheur, filtre) par compresseur de secours.

2.3.3 Nouvelles exigences qualitatives

Si l'air comprimé doit répondre à des exigences qualitatives plus strictes, il faut discerner si le changement concerne l'ensemble de la production d'air comprimé ou seulement un tronçon du réseau. Dans le premier cas, il ne suffit pas de renforcer le système de traitement d'air comprimé au sein de la station. Il faut nettoyer ou remplacer les tuyauteries qui transportaient l'air de plus basse qualité. Dans le second cas, on mettra en place un

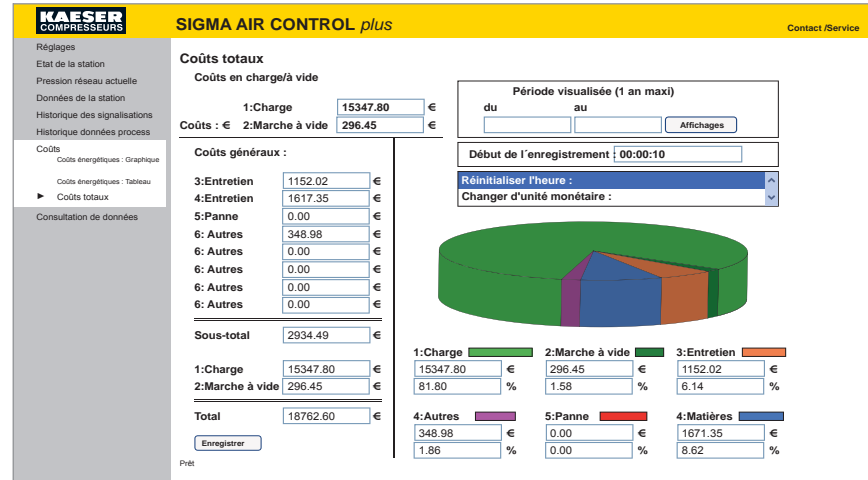


Fig. 5a : Système de gestion : analyse des coûts d'air comprimé (basée sur le Web)

système de traitement décentralisé, apte à fournir la qualité d'air requise. Il faudra prévoir un régulateur de débit pour éviter qu'un débit trop important ne « déborde » le système de traitement qui n'est évidemment pas prévu pour le débit maximum des compresseurs.

2.4 Maîtriser les fuites

Un réseau d'air comprimé, même bien entretenu, présente des fuites qui peuvent parfois entraîner des pertes d'énergie considérables. L'usure des outils, des flexibles et des composants mécaniques est

la première cause de fuite (fig. 4). Il faut donc surveiller les signes d'usure et y remédier le cas échéant. Il est également recommandé d'effectuer périodiquement un calcul des fuites totales, avec le SIGMA AIR MANAGER par exemple. S'il fait apparaître une augmentation des fuites, il faut les rechercher et les éliminer.

3. Gérer les coûts

Les données issues de l'analyse des besoins pendant la phase d'étude sont intéressantes pour l'exploitation ultérieure. Après réactualisation, elles

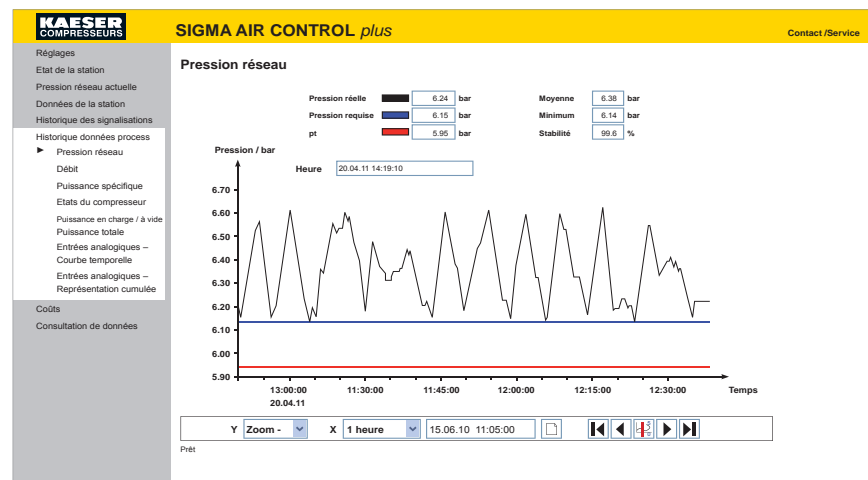


Fig. 5b : Courbe de pression

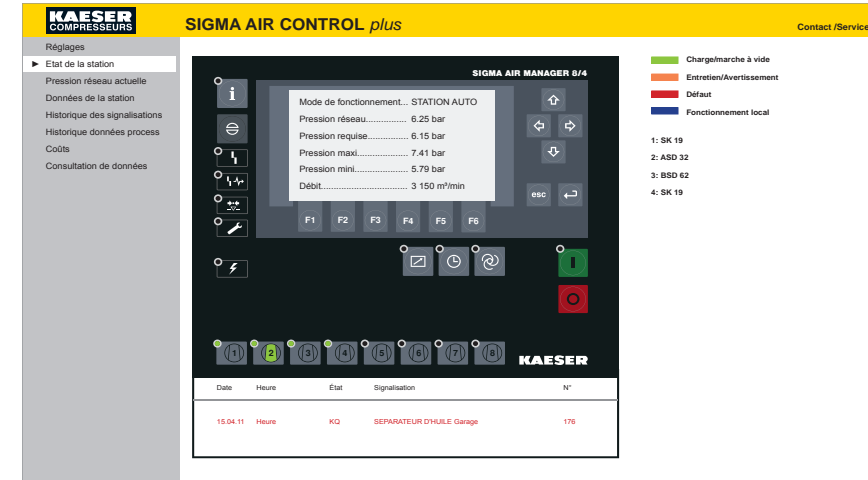


Fig. 5c : Aperçu général : commande et système de gestion

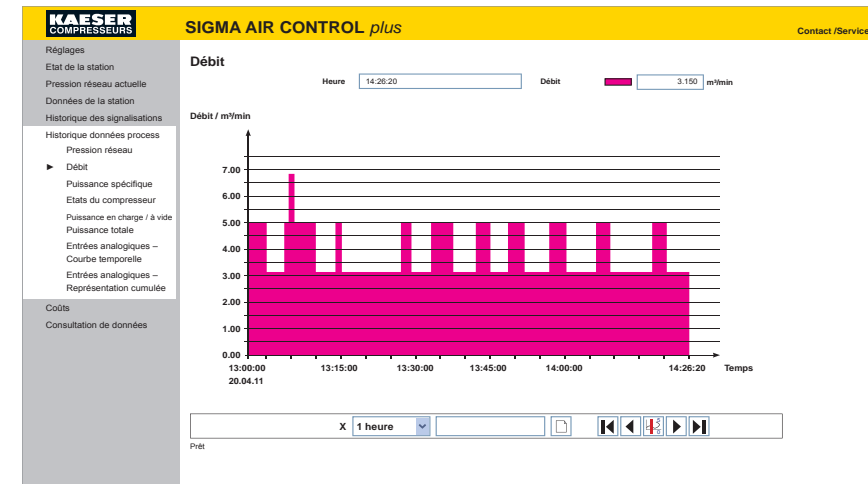


Fig. 5d : Consommation d'air comprimé

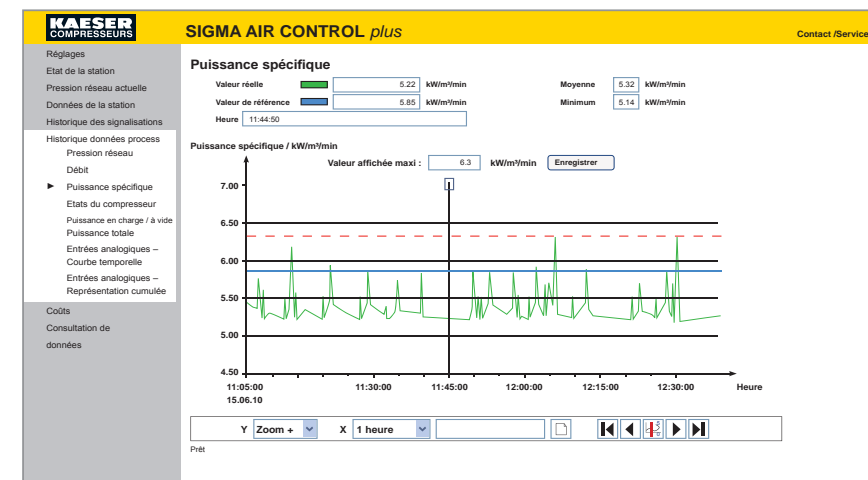


Fig. 5e : Puissance spécifique nécessaire

peuvent être utilisées par des systèmes tels que le SIGMA AIR MANAGER, sans nouvelle analyse. Elles servent de base à des audits et à une gestion efficace des coûts d'air comprimé (fig. 5a à 5e). Si de plus en plus d'utilisateurs mettent de la transparence dans leurs coûts d'air comprimé, explorent des gisements d'économies et privilégient le rendement énergétique lors de leurs achats d'équipements, c'est l'ensemble des acteurs qui se rapprochera de l'objectif global de réduire d'au moins 30 % la consommation d'énergie pour la production d'air comprimé – et les entreprises soulageront leurs bilans tout en réduisant leur empreinte environnementale.

Conseils pratiques

Conseils n° 1 - 7

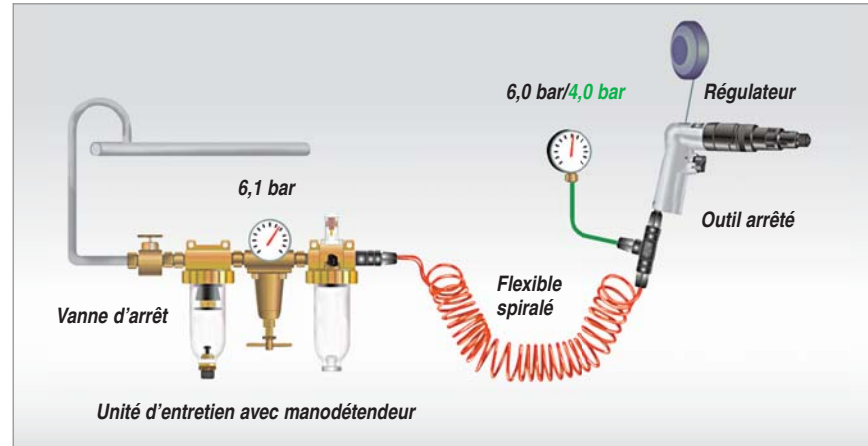
40-51

Conseil n° 1

Faire des économies par une pression optimale

Une bonne pression de service est une condition primordiale pour avoir un réseau d'air comprimé économique. En la matière, des mesures simples peuvent se révéler très efficaces.

L'alimentation des outils pneumatiques est généralement prévue de la manière suivante : lorsque l'outil est arrêté, la pression est de 6,1 bar sur l'unité d'entretien et de 6,0 bar sur l'outil. Cette pression n'est toutefois pas celle qui s'applique lorsque l'outil consomme l'air comprimé.



Outil raccordé par un flexible spiralé – pression 6,0 bar en l'absence de consommation d'air 4,0 bar pendant le fonctionnement de l'outil = perte de charge de 2 bar : plus que 54 % de puissance !

Perte de charge au niveau de l'outil – Que faire ?

La mesure de la pression sur l'outil en service fait souvent apparaître une perte de charge importante. Dans l'exemple présent, cette perte est de 2 bar, autrement dit l'outil ne développe que 54 % de sa puissance.

Les causes sont souvent simples à éliminer :

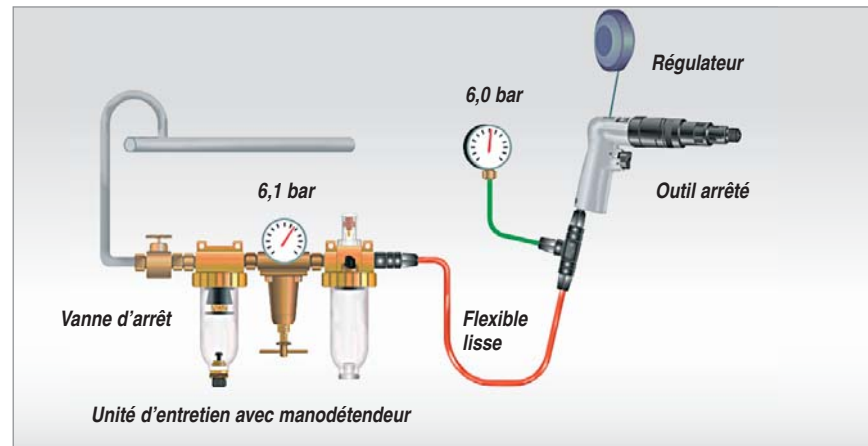
a) Section de raccordement trop faible : utiliser un raccord rapide de plus grande section.

b) Manodétendeur mal réglé : l'ouvrir plus grand.

c) Pression réseau trop basse : augmenter la pression réseau ou installer des tuyauteries de plus grande section.

d) Flexible spiralé trop petit : utiliser un flexible spiralé plus gros, ou de préférence un flexible lisse.

e) Perte de charge du décanteur décentralisé : centraliser le séchage de l'air comprimé (décanteur superflu).



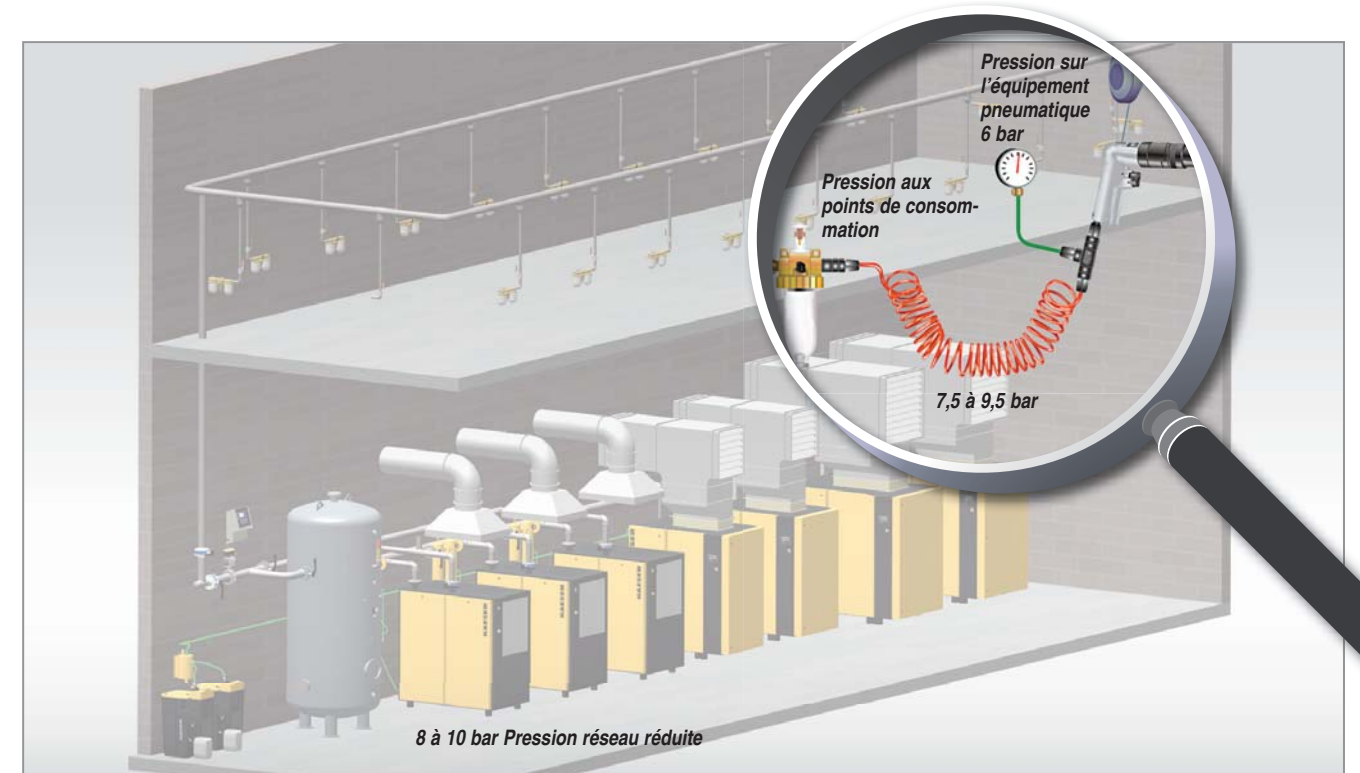
Les décanteurs et les flexibles spiralés sont énergivores : centraliser le séchage de l'air comprimé et utiliser des flexibles lisses

Les mesures ci-dessus permettent d'obtenir la pression optimale (en l'occurrence 6 bar) sur l'outil pneumatique qui développera 100 % de sa puissance.

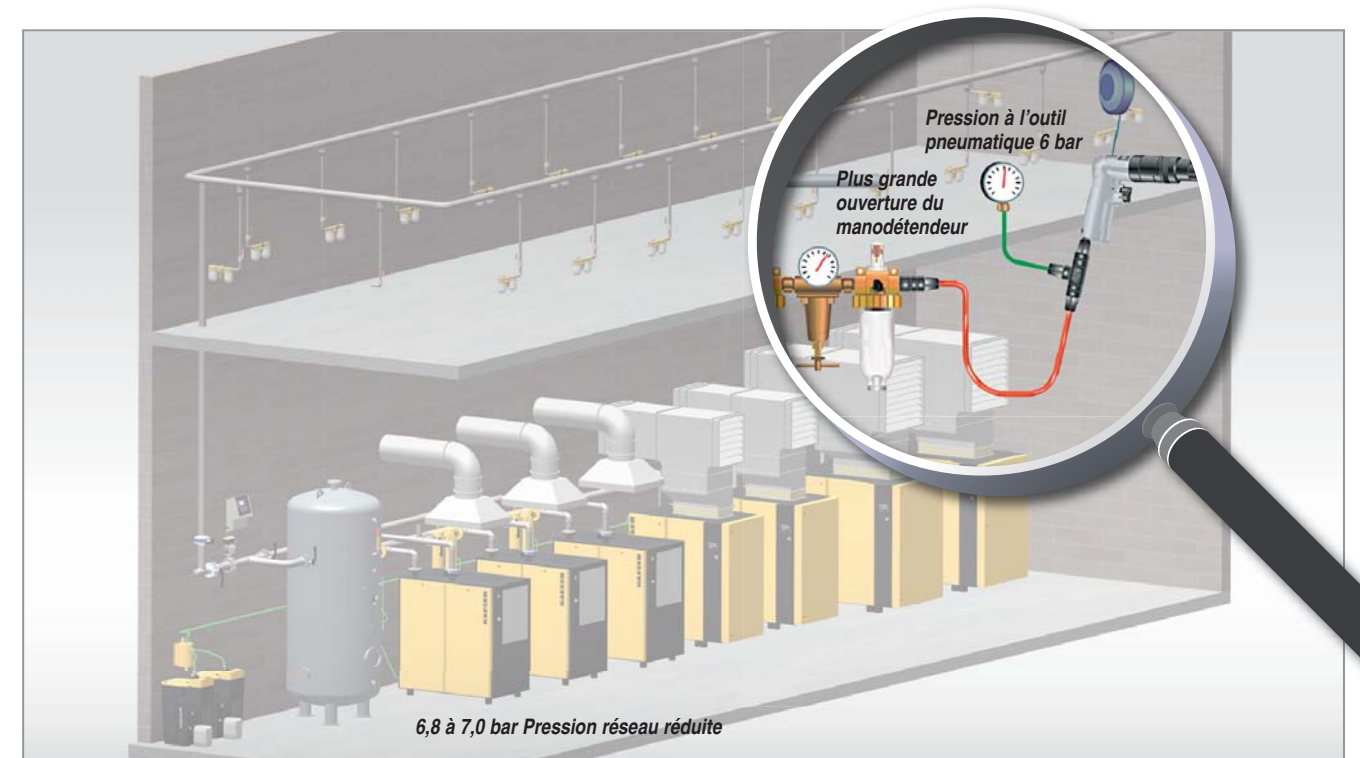
La bonne manière d'économiser de l'énergie

On sous-estime souvent l'impact des manodétendeurs sur le rendement de l'air comprimé. Prenons l'exemple d'un réseau d'air comprimé de 8 à 10 bar. Les 7,5 à 9,5 bar aux points de consommation sont abaissés à 6 bar par les manodétendeurs. Pour économiser de l'énergie, l'utilisateur réduit la

pression réseau entre 6,8 et 7 bar pour avoir 6,1 bar aux points de consommation, mais la pression sur les outils n'est plus que de 4 bar. Conséquences : des temps de travail allongés, des résultats médiocres dus à un manque de pression de l'outil, et des temps de marche plus longs des compresseurs. L'économie visée est simple à obtenir, d'une part en réduisant la pression réseau, mais aussi en utilisant des flexibles lisses, en éliminant les décanteurs superflus et en ouvrant davantage les manodétendeurs sur les outils pneumatiques.



Un pur gaspillage d'énergie : définir une pression trop haute pour la réduire ensuite au niveau de l'outil



... abaisser la pression réseau et ouvrir plus grand les manodétendeurs

Conseil n° 2

La bonne pression à l'utilisation

L'air comprimé est à la bonne pression dans la station mais il arrive à une pression trop basse aux outils pneumatiques. Pourquoi ?

La cause se situe souvent au niveau des flexibles, des raccords rapides ou des manodétendeurs. Mais il est également fréquent que la pression soit déjà insuffisante au niveau de la conduite de descente. Au lieu des 6,8 à 7 bar disponibles au départ, il ne reste plus que 5 bar pour l'alimentation des outils pneumatiques.

Le remède est généralement vite trouvé : « Nous n'avons qu'à augmenter la pression de 1 bar dans la station ! » Mais cela ne va pas sans poser de problèmes car une élévation de pression de 1 bar entraîne non seulement une augmentation de 6 % de la consommation d'énergie de la station, mais également une forte augmentation du débit de fuite. Il est donc nettement préférable de trouver la cause du problème et d'y remédier.

Perte de charge du réseau de tuyauterie

Si la pression en aval du compresseur est normale et que les composants de traitement ne la font pas chuter, le problème ne peut se trouver qu'au niveau du réseau de tuyauterie. Celui-ci se décompose en trois parties : la conduite principale, la conduite de distribution et les descentes (**fig.1**). Dans un système d'air comprimé optimisé, les pertes de charge suivantes sont acceptables du point de vue économique :

Conduite principale (1) :	0,03 bar
Conduite de distribution (2) :	0,03 bar
Descente (3) :	0,04 bar
À quoi s'ajoutent :	
Sécheur (4) :	0,2 bar
Unité d'entretien/flexible (5) :	0,5 bar
Total :	0,8 bar

Éliminer les goulots d'étranglement

En y regardant de plus près, on s'aperçoit souvent que si les conduites principales et de distribution sont correctement dimensionnées, la section des descentes est souvent insuffisante. Leur diamètre ne doit pas être inférieur à DN 25 (1"). KAESER propose, sur

son site, un outil de calcul des sections de tuyauterie :

www.kaeser.fr/Online_Services/Toolbox/Pressure_drop/pipe_diameter.asp#0

Il existe également un **nomogramme** spécial à cet effet. Vous le trouverez à l'**annexe 1, p. 54**.

Veiller à un raccordement approprié

Pour éviter des défauts et des dommages dus à une éventuelle présence d'humidité, les piquages sur la conduite de distribution seront réalisés en col de cygne pour favoriser l'écoulement de l'air (**fig. 2**). On ne choisira un piquage vertical direct (**fig. 3**) que s'il est absolument garanti qu'il ne se formera pas de condensats dans la tuyauterie.

La **page 40** montre un exemple de raccordement optimisé qui limite à 1 bar maxi la perte de charge entre la sortie du compresseur et l'outil pneumatique.

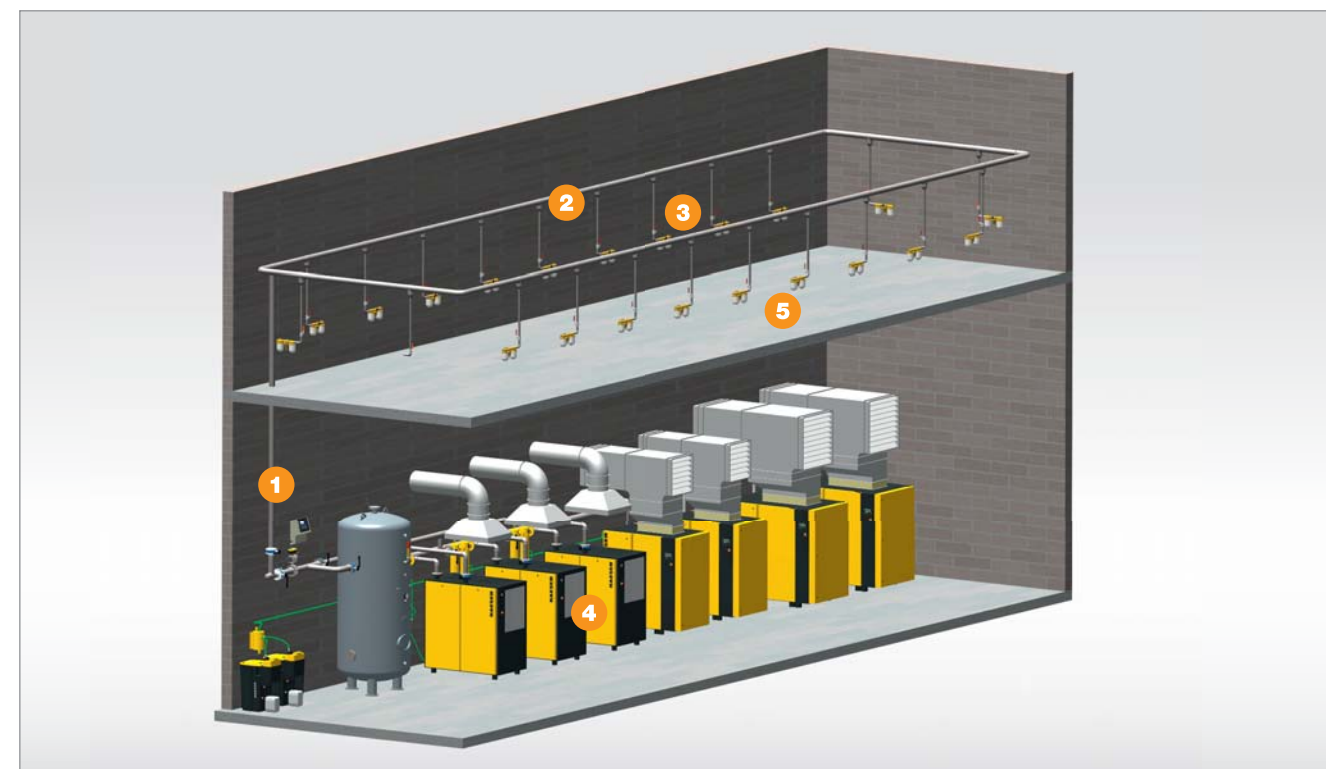


Fig. 1 : Les principaux composants du circuit de distribution d'air comprimé Conduite principale (1), conduite de distribution (2), descente (3), sécheur (4), bloc FRL/flexible (5)

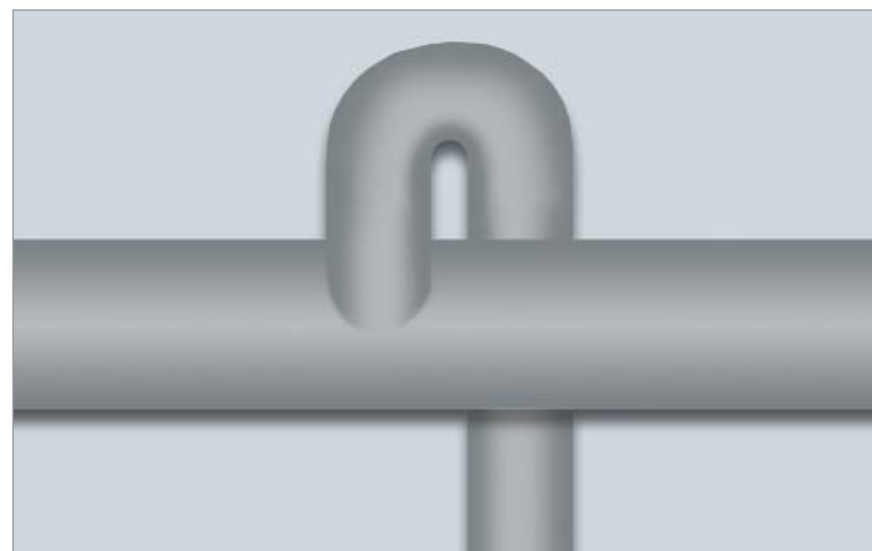


Fig. 2 : Col de cygne

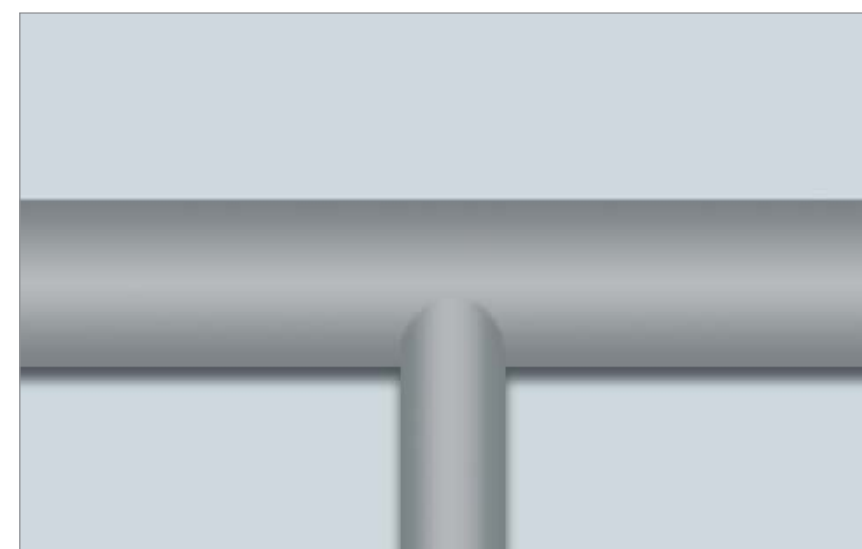


Fig. 3 : Descente droite

Conseil n° 3

Distribuer l'air comprimé

Entre un réseau en peigne, circulaire ou maillé, le choix de l'architecture du réseau de distribution dépend de la configuration du site. Pour que l'utilisation de l'air comprimé soit économique, il ne suffit pas de le produire de manière économe en énergie, il faut aussi le distribuer le plus efficacement possible dans l'entreprise. Vous trouverez ci-dessous quelques pistes pour y parvenir.

Réseau en peigne :

Le réseau en peigne avec des descentes desservant les outils pneumatiques (fig. 1) est assez simple à réaliser. La longueur de tuyauterie à poser est relativement faible, mais la tuyauterie doit offrir une capacité de transport suffisante pour la consommation d'air comprimé totale.

Autrement dit, elle doit avoir une section nettement plus grande que pour un réseau circulaire ou maillé. Il faut également prévoir des descentes plus longues, et par conséquent plus grosses, car les distances à couvrir jusqu'aux outils pneumatiques sont plus importantes. Comme ce type de réseau ne permet pas d'isoler des tronçons de tuyauterie en cas d'extension ou de maintenance, il est plutôt réservé aux petites entreprises.

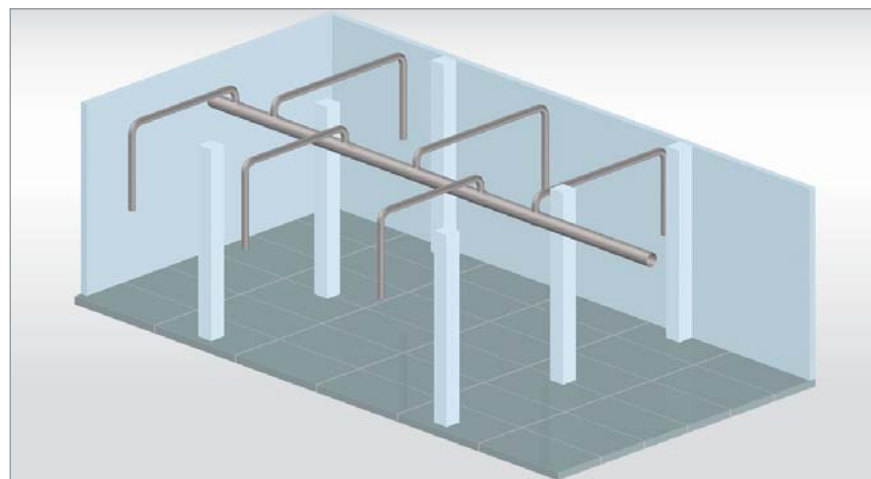


Fig. 1 : Réseau en peigne

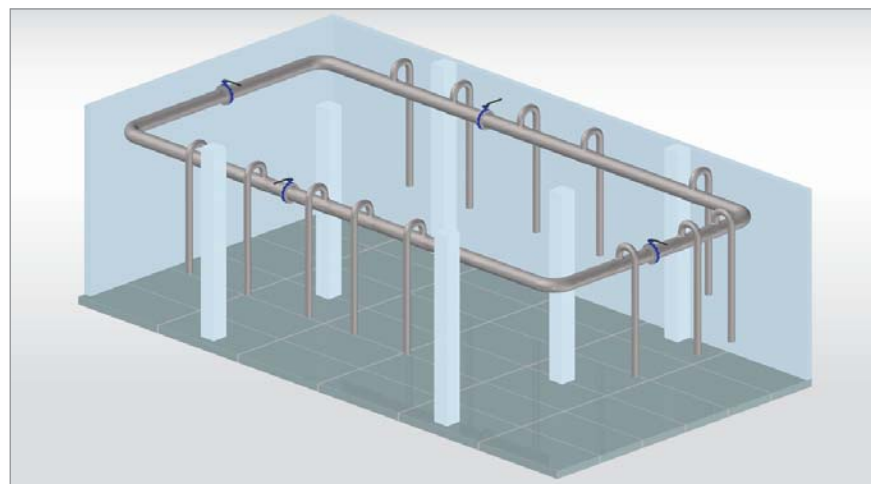


Fig. 2 : Boucle

Boucle

Bien que plus compliquée à installer, la boucle (fig. 2) présente un gros avantage par rapport au réseau en peigne : si tous les outils alimentés nécessitent le même débit d'air, les longueurs et diamètres de tuyauteries peuvent être divisés par deux. Des sections plus petites suffisent pour la même capacité de transport. Les descentes sont courtes et rarement supérieures à DN 25. Des vannes prévues en nombre suffisant permettent d'isoler des tronçons de tuyauterie, ce qui permet de réaliser des travaux d'extension ou de maintenance sans interrompre l'activité.

Réseau maillé

Les entreprises dont les locaux s'étendent sur de grandes superficies choisiront de préférence un réseau maillé – autrement dit un réseau circulaire complété par des conduites longitudinales et transversales (fig. 3). De tous les types de réseaux, le réseau maillé est le plus compliqué à mettre en place, mais les avantages l'emportent sur cet inconvénient : le maillage permet d'alimenter de grands ateliers de manière fiable et économe en énergie sans avoir à surdimensionner les tuyauteries. Au contraire, il auto-

rise des sections relativement faibles, comme pour le réseau circulaire dans une petite ou moyenne entreprise. Au besoin, ce réseau peut également être isolé partiellement avec des vannes.

Dimensionnement de la conduite principale

La conduite principale du réseau d'air comprimé relie les conduites de distribution des différents secteurs (bâtiments) de l'entreprise à la station d'air comprimé (production). Le dimensionnement de la conduite principale dépend du débit total des

compresseurs utilisés. C'est lui qui détermine les dimensions et la capacité de la conduite. La perte de charge ne doit pas dépasser 0,03 bar.

Alimentation par une seule station

Si plusieurs secteurs de l'entreprise (ateliers de production) sont alimentés par une seule station d'air comprimé, il faut dimensionner la conduite principale de chaque secteur en fonction de la consommation maximale de ce secteur (perte de charge < 0,03 bar). Les tuyauteries peuvent être réunies dans un collecteur dans la station d'air comprimé, ce qui permet de couper facilement l'alimentation de certains secteurs en cas de besoin. Cela permet également, en intégrant des débitmètres, de relever facilement les consommations des différents secteurs (fig. 4).

Alimentation par plusieurs stations

Si deux stations ou plus alimentent un grand réseau de conduites principales, il faut dimensionner les tuyauteries de manière à ce que le débit maximal de la plus grande des stations puisse arriver dans tous les secteurs desservis. La perte de charge entre les stations ne doit pas dépasser 0,03 bar. Dans le cas contraire, il faut prévoir des systèmes de régulation complexes (fig. 5).

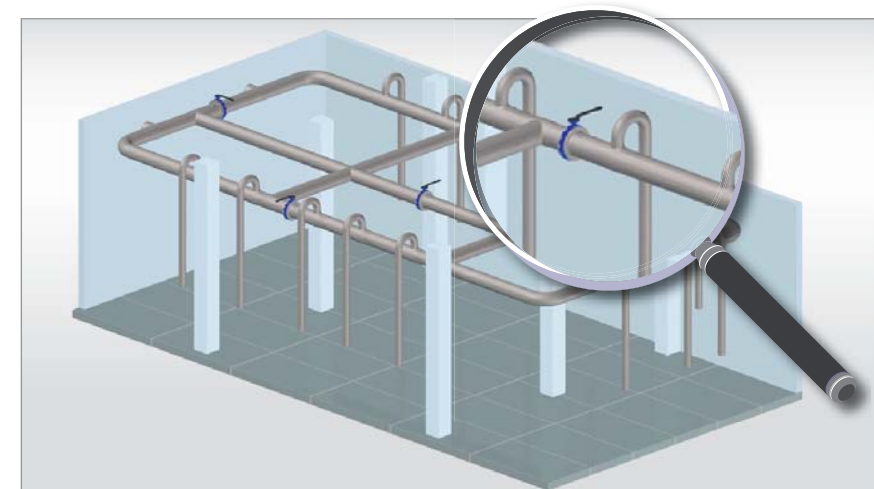


Fig. 3 : Réseau maillé

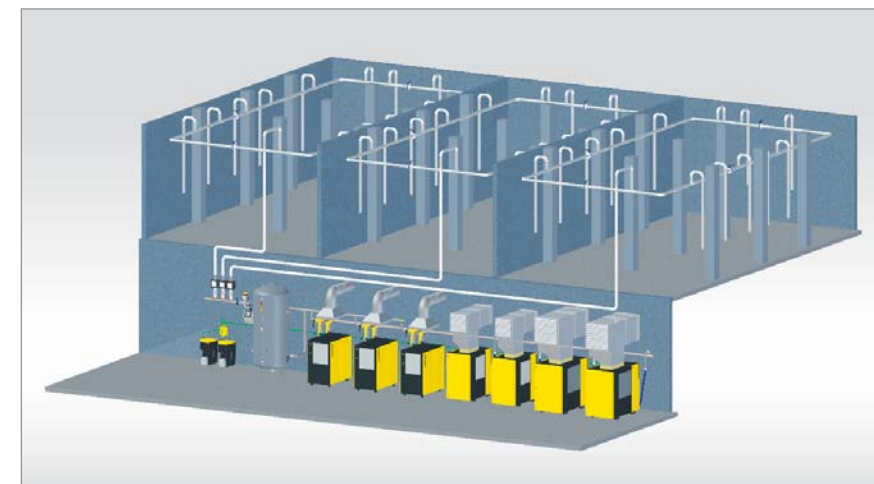


Fig. 4 : Alimentation en air comprimé avec une station centrale pour plusieurs ateliers

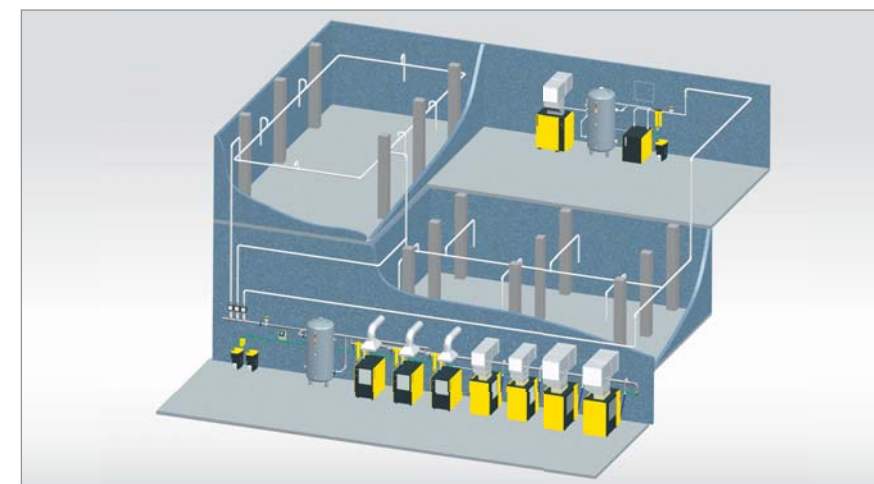


Fig. 5 : Alimentation en air comprimé avec deux stations et une régulation centralisée pour plusieurs ateliers

Les tuyauteries de la station d'air comprimé

En plus de leur rôle de distribution de l'air comprimé, les tuyauteries servent à relier les compresseurs et les autres composants de la station au réseau. Quelques aspects importants sont à prendre en compte lors de l'installation pour assurer une sécurité de fonctionnement et une efficacité énergétique maximales.

En général, les tuyauteries à l'intérieur de la station d'air comprimé doivent être dimensionnées de manière à limiter à moins de 0,01 bar leurs pertes de charge à plein débit. Du fait des contraintes thermiques impossibles à définir, il est conseillé d'utiliser exclusivement des tuyaux métalliques.

Raccordement des conduites de distribution

Il est conseillé de raccorder les tuyauteries de la station à un collecteur d'où partiront toutes les conduites de distribution (fig. 1.1). En cas de besoin, cela permet d'isoler des secteurs précis de l'entreprise.

Tuyauterie dans la partie d'air comprimé humide

Dans la partie de la station où l'air comprimé est humide, autrement dit entre la sortie des compresseurs et l'entrée des sécheurs, il faut, dans la mesure du possible, éviter les points bas. Sinon, il faut poser la tuyauterie avec une pente vers le point bas et prévoir un purgeur de condensats à cet endroit (fig. 2).

Raccordement des composants

Dans la station, les composants (compresseurs, sécheurs, etc.) sont à raccorder à la conduite principale par le haut. Les tuyaux à partir de DN 100 peuvent aussi être raccordés latéralement (fig. 3 a/b).

Raccordement des compresseurs

Les compresseurs doivent être raccordés au réseau de tuyauterie avec des compensateurs élastiques pour

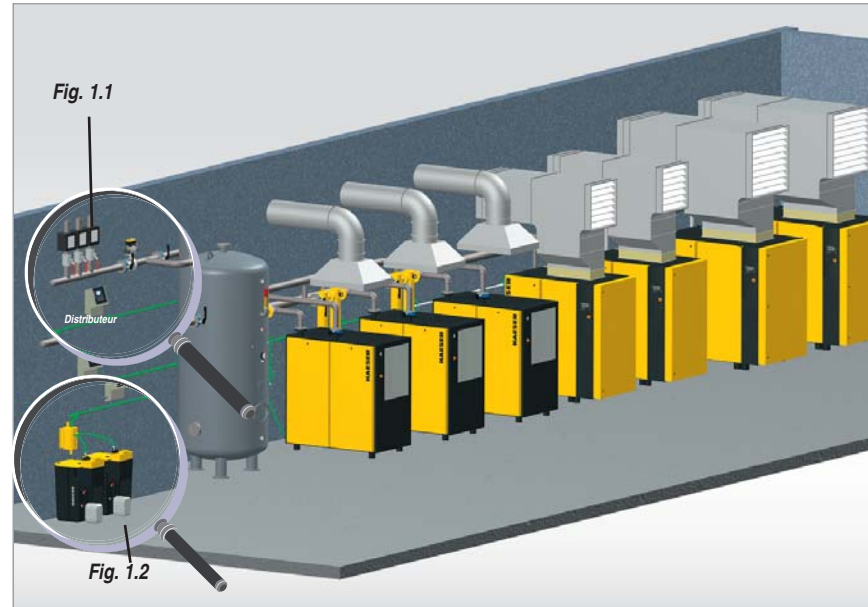


Fig. 1 : Station d'air comprimé avec collecteur

éviter la propagation des vibrations. Pour les tuyaux < DN 100, le raccordement élastique peut être réalisé avec des flexibles (fig. 4). Une fixation sera prévue entre le flexible et le premier coude du tube rigide pour compenser les forces et éviter qu'elles ne se transmettent à la tuyauterie (fig. 4.1). Pour les tuyaux > DN 100, le raccordement antivibratoire du compresseur au réseau de tuyauterie sera réalisé avec un compensateur axial (fig. 3b) et non avec un flexible.

Élimination fiable des condensats

L'élimination fiable des condensats est l'une des conditions essentielles pour la sécurité de fonctionnement et la disponibilité de la station d'air comprimé. Il est donc important de ne pas faire d'erreur, surtout dans la pose des conduites de condensats.

Les tuyaux de raccordement au système de traitement des condensats sont souvent mal posés, nuisant à l'efficacité des systèmes de purge. Les conseils suivants vous permettront d'éviter ces écueils :

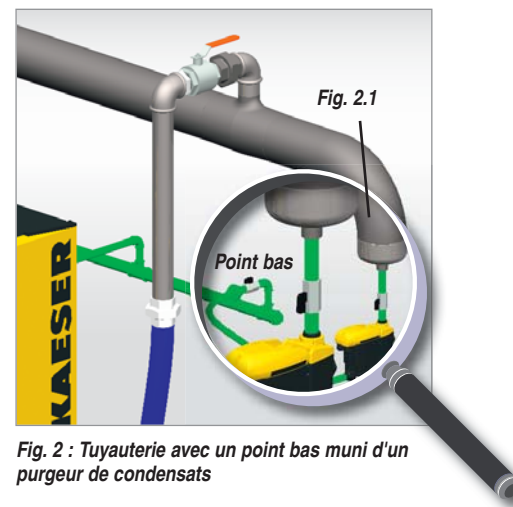


Fig. 2 : Tuyauterie avec un point bas muni d'un purgeur de condensats

Isoler les purgeurs de condensats

Les purgeurs de condensats doivent être équipés des deux côtés d'une vanne pour les isoler du réseau lors des opérations d'entretien (fig. 2.1).

Bien dimensionner les raccords

Le raccord du collecteur doit mesurer au moins 0,5 pouce pour éviter une pression dynamique inutile.

Raccorder les conduites par le haut

Il faut raccorder les conduites de condensats au collecteur par le haut pour que les points de purge restent indépendants les uns des autres (fig. 3a (1)).

Conduite en pente et à la pression atmosphérique

Le collecteur doit présenter une pente pour évacuer les condensats par gravité. Il doit par ailleurs être à la pression atmosphérique pour permettre l'arrivée de condensats provenant de purgeurs d'équipements qui fonctionnent à des pressions différentes (séparateur cyclonique, réservoir, sécheur frigorifique, filtre à air comprimé). Si ce n'est pas le cas, il faut utiliser les raccords de l'appareil de traitement des condensats (Aquamat).

Plusieurs appareils de traitement

Si les quantités de condensats à évacuer nécessitent plusieurs appareils de traitement, il faut les raccorder à la conduite principale par un distributeur (fig. 1.2).

Pression réseau supérieure à 15 bar

Pour les systèmes dont le niveau de pression est supérieur à 15 bar, une chambre de détente séparée est à prévoir avant l'entrée des condensats dans l'appareil de traitement.

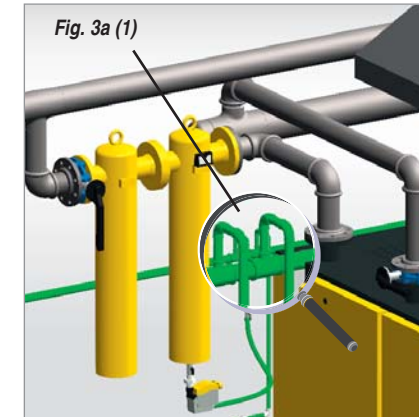


Fig. 3a : Raccordement (par le haut) du sécheur frigorifique et du purgeur de condensats



Fig. 3b : Raccordement du compresseur avec des compensateurs axiaux

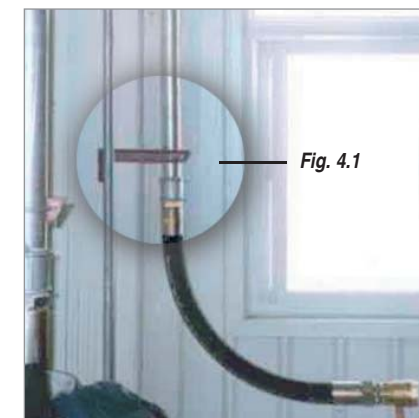


Fig. 4 : Raccordement du compresseur avec un flexible

Conseil n° 5

Bien installer les compresseurs

Les conditions d'installation et d'environnement influent considérablement sur la fiabilité et le rendement de la production d'air comprimé. Trois règles essentielles sont à respecter.

1. Une station propre

La propreté et l'entretien laissent souvent à désirer, même si toutes les stations d'air comprimé ne ressemblent pas à la **fig. 1**. Assurer la propreté de la station consiste en premier lieu à éviter



Fig. 1 : Une station mal entretenue

la poussière, faute de quoi les filtres d'aspiration des compresseurs se colmateront rapidement, ce qui nécessitera des entretiens fréquents et entraînera une baisse de puissance et un mauvais refroidissement. Un environnement poussiéreux provoquerait non seulement des dysfonctionnements dus à une surchauffe des compresseurs, mais aussi une chute de la puissance de séchage et par conséquent une présence d'humidité importante qui endommagerait les outils pneumatiques et nuirait à la qualité des produits fabriqués. Si la poussière est inévitable à l'emplacement choisi, il faut dépoussiérer l'air d'aspiration avec des filtres grandes poussières (**fig. 2a, 2b**).

2. Un local bien tempéré

En hiver, la station d'air comprimé doit être maintenue hors-gel : avant d'être traité, l'air comprimé produit et transporté est humide et les condensats gelés dans la tuyauterie perturberaient gravement le fonctionnement du



Fig. 2a : Filtre grandes poussières (côté aspiration)

ystème. Par ailleurs, les huiles et la graisse des roulements des compresseurs perdent de leur pouvoir lubrifiant à des températures inférieures à +5 °C, ce qui est également susceptible de nuire au bon fonctionnement des compresseurs. En été au contraire, il faut extraire la chaleur dégagée par les compresseurs pour que, dans la mesure du possible, la température du local ne dépasse pas la température extérieure. Dans le cas contraire, les moteurs et les composants électriques risquent de surchauffer. Les sécheurs ne pourraient plus assurer leur fonction du fait d'un refroidissement insuffisant de l'air comprimé, d'où la formation de condensats avec les dommages qu'ils causent aux outils pneumatiques. Dans le pire des cas, l'accumulation de chaleur due à une ventilation insuffisante du local compresseurs conduit à l'arrêt



Fig. 2b : Filtre grandes poussières (côté compresseur)

complet des compresseurs et des sécheurs et donc à la défaillance générale de l'alimentation en air comprimé. Les systèmes de refroidissement qui gèrent automatiquement la température de la station permettent d'éviter ces problèmes en régulant l'arrivée, l'évacuation et la circulation de l'air de refroidissement (**fig 3**).

3. Une station facile à entretenir

Les compresseurs et les appareils de traitement modernes nécessitent un entretien relativement réduit, mais malgré tout indispensable. Il faut donc les positionner de manière à pouvoir accéder facilement à tous les points d'entretien. La production d'air comprimé ne peut être assurée de manière fiable et efficace que si les trois critères ci-dessus sont correctement pris en compte.



Fig. 3 : Station d'air comprimé avec une ventilation thermostatée

Conseil n° 6

Ventiler la station d'air comprimé

Une ventilation bien étudiée contribue à la disponibilité de l'air comprimé et permet de réduire les frais d'entretien de la station.

1. Des prises d'air bien placées

L'emplacement des prises d'air est très important pour la ventilation de la station d'air comprimé. Pour des raisons de sécurité de fonctionnement et de fiabilité, l'air amené de l'extérieur doit être le moins possible assujéti aux conditions météorologiques. Il est donc conseillé de percer les prises d'air dans un mur extérieur non exposé au soleil et dans la partie inférieure du mur, à l'abri des intempéries.

2. À l'abri de la poussière et des polluants

L'air aspiré doit contenir le moins de poussière et de polluants possibles, tels que des substances agressives et combustibles ou encore des gaz d'échappement de moteurs thermiques. Il faut donc exclure la circulation de poids lourds de la zone d'aspiration d'air de la station. Si la poussière et les polluants ne peuvent être évités dans le périmètre de la station, il faut prendre des mesures de protection appropriées. Les filtres à air de refroidissement permettent de remédier à une pollution modérée. Dans les cas extrêmes, il faut recourir au captage des poussières.

3. Dimensionnement et équipement des prises d'air

La taille des prises d'air dépend tout d'abord de la puissance des compresseurs refroidis par air. La section passante doit être de 0,02 à 0,03 m² par kilowatt de puissance nominale installée, soit un débit d'air de refroidissement de 130 à 230 m³/h.

La notion de « section passante » est importante car le passage est considérablement restreint par les grilles de protection contre les intempéries, les registres et les filtres requis pour pallier de mauvaises conditions d'aspiration.

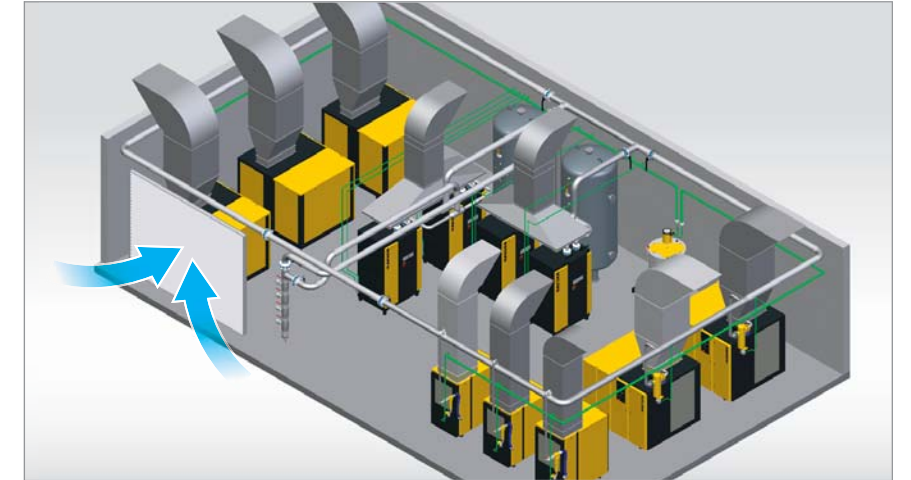


Fig. 2 : Arrivée d'air dans la station d'air comprimé

Selon le système de ventilation, la réduction peut aller de 30 à 60 %, d'où l'importance de choisir des systèmes de ventilation qui favorisent la circulation de l'air. Les rétrécissements de section dus aux dispositifs de protection et de réglage doivent être compensés.

En général, un système de prise d'air (**fig. 1**) est constitué d'une grille à ventelle contre les oiseaux et contre la pluie, d'un registre motorisé et éventuellement d'un filtre. Lorsque la station compte plusieurs compresseurs, il est recommandé de prévoir une commande thermostatée des systèmes

d'arrivée d'air et de répartir leurs ouvertures en fonction de l'emplacement et de la puissance des différents compresseurs (**fig. 2**).

4. Ventiler les compresseurs refroidis par eau

Les compresseurs refroidis par eau nécessitent eux aussi une ventilation suffisante car ils sont généralement équipés de moteurs à refroidissement par air et dissipent de la chaleur. La chaleur à évacuer avec l'air de refroidissement représente environ 20 % de la puissance installée d'un compresseur refroidi par eau. Il faut donc veiller à aussi au dimensionnement approprié des prises d'air.

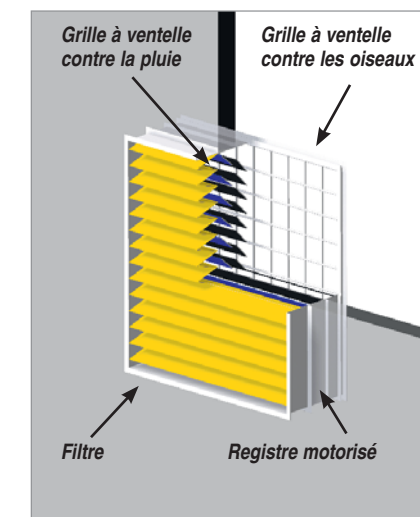


Fig. 1 : Structure du système d'arrivée d'air

Conseil n° 7

Évacuer l'air de la station d'air comprimé

Une bonne évacuation de l'air est indispensable pour assurer la disponibilité de l'air comprimé et maîtriser les coûts d'entretien de la station. Lorsque la température extérieure descend au-dessous de +5 °C, il faut limiter le refroidissement du local compresseurs par la reprise d'air chaud.

1. Gainage d'évacuation d'air

Les gaines d'évacuation d'air jouent un rôle important dans la station en extrayant l'air chaud issu du refroidissement de moteurs et des compresseurs (fig.1). Sur les machines modernes, la chaleur dissipée par les divers composants est évacuée par une seule ouverture de sortie d'air (fig. 1, zoom) qui est raccordée à la gaine d'évacuation par un manchon en toile (fig. 2.). Ce système permet d'extraire l'intégralité de l'air chaud du local compresseurs lorsque la température extérieure dépasse +10 °C. Le cas échéant, il faut prévoir des gaines individuelles pour les compresseurs anciens qui comportent plusieurs sorties d'air chaud.



Fig. 2 : Raccordement du gainage par un manchon en toile

2. Poser une gaine collectrice

Lorsque le local ne permet pas de poser des gaines séparées, la solution consiste à poser une gaine collectrice (fig. 3). Des registres antiretour sont indispensables pour raccorder chacun

des compresseurs. En position fermée, ils empêchent l'air chaud de refluer dans la station quand le compresseur est à l'arrêt. Les registres motorisés limitent la perte de charge et peuvent être commandés par le signal « Moteur en marche ». Des déflecteurs dans la gaine collectrice évitent les pertes de charge.

3. Limiter le refroidissement du local par la recirculation

Lorsque la température extérieure est inférieure à +5 °C, les registres de recirculation doivent s'ouvrir plus ou moins à partir d'une température intérieure de +10 °C (fig. 1). Lorsque la station toute entière est temporairement arrêtée, un chauffage d'appoint maintiendra la température du local compresseurs au-dessus de +5 °C.

4. Évacuer l'air chaud des sècheurs frigorifiques

La chaleur engendrée par les sècheurs frigorifiques représente quatre fois leur puissance électrique absorbée. Ils ont donc besoin de leur propre système d'évacuation avec un ventilateur thermostaté (fig. 1 et 3). Si la station compte plusieurs sècheurs frigorifiques, le ventilateur doit être équipé d'une commande progressive qui sera activée à partir de +20 °C. La gaine d'évacuation d'air ne doit pas être posée directement sur le sécheur car le système d'évacuation d'air ne fonctionne pas en permanence.

5. Conception et commande des systèmes d'évacuation d'air

Tous les systèmes de sortie d'air doivent être conçus de manière à ce que leur perte de charge ne dépasse pas la réserve de pression de la plus petite machine (se reporter aux données constructeur), faute de quoi l'air chaud de cette machine risquerait de refluer dans le local compresseurs. Si la réserve de pression est insuffisante,

il faut prévoir des ventilateurs supplémentaires. Les registres doivent être commandés automatiquement par des thermostats d'ambiance et par les compresseurs. Pour que les défauts de fonctionnement des registres puissent être détectés rapidement et transmis à un système de contrôle-commande, il est recommandé de les surveiller par une commande prioritaire (par exemple le SIGMA AIR MANAGER).

6. Le cas particulier du refroidissement par eau

Les compresseurs refroidis par eau transforment environ 20 % de leur puissance installée en chaleur et ils nécessitent donc aussi un système d'évacuation d'air chaud approprié.

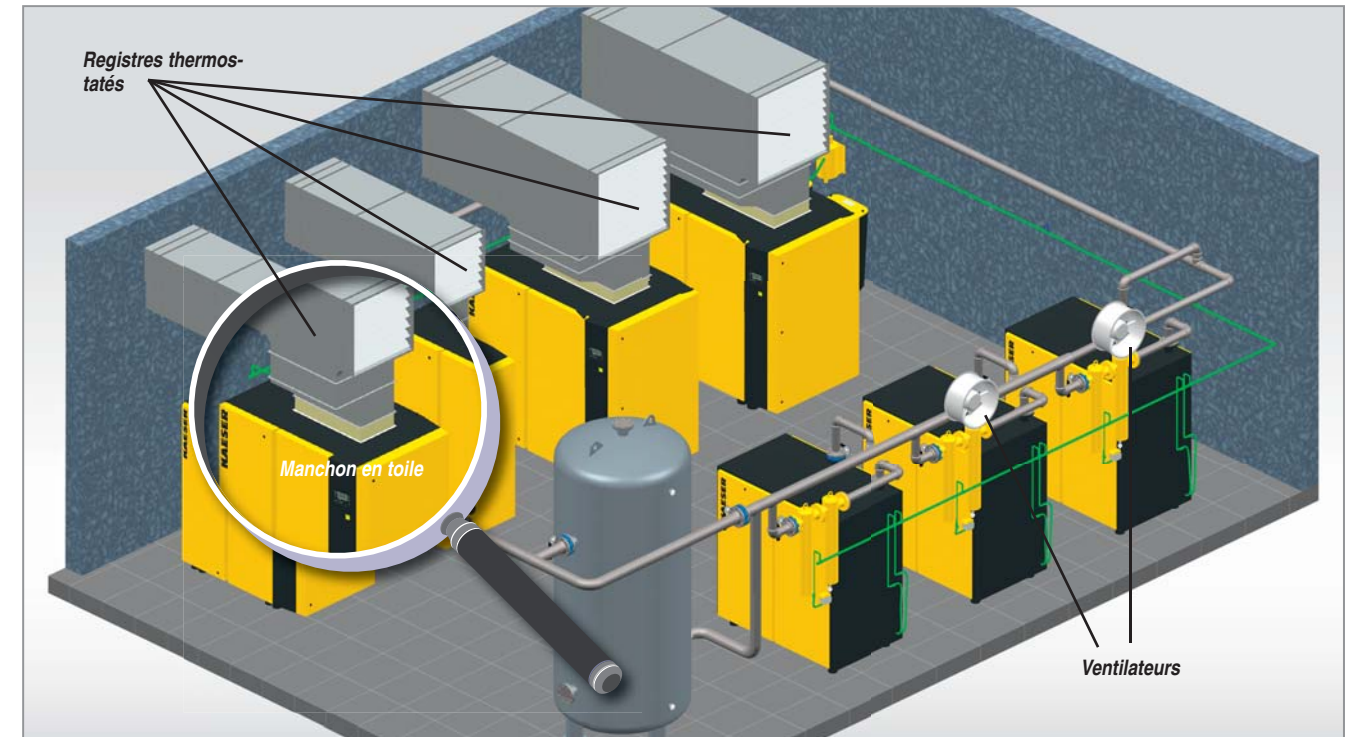


Fig. 1 : Système d'évacuation d'air avec une gaine par compresseur

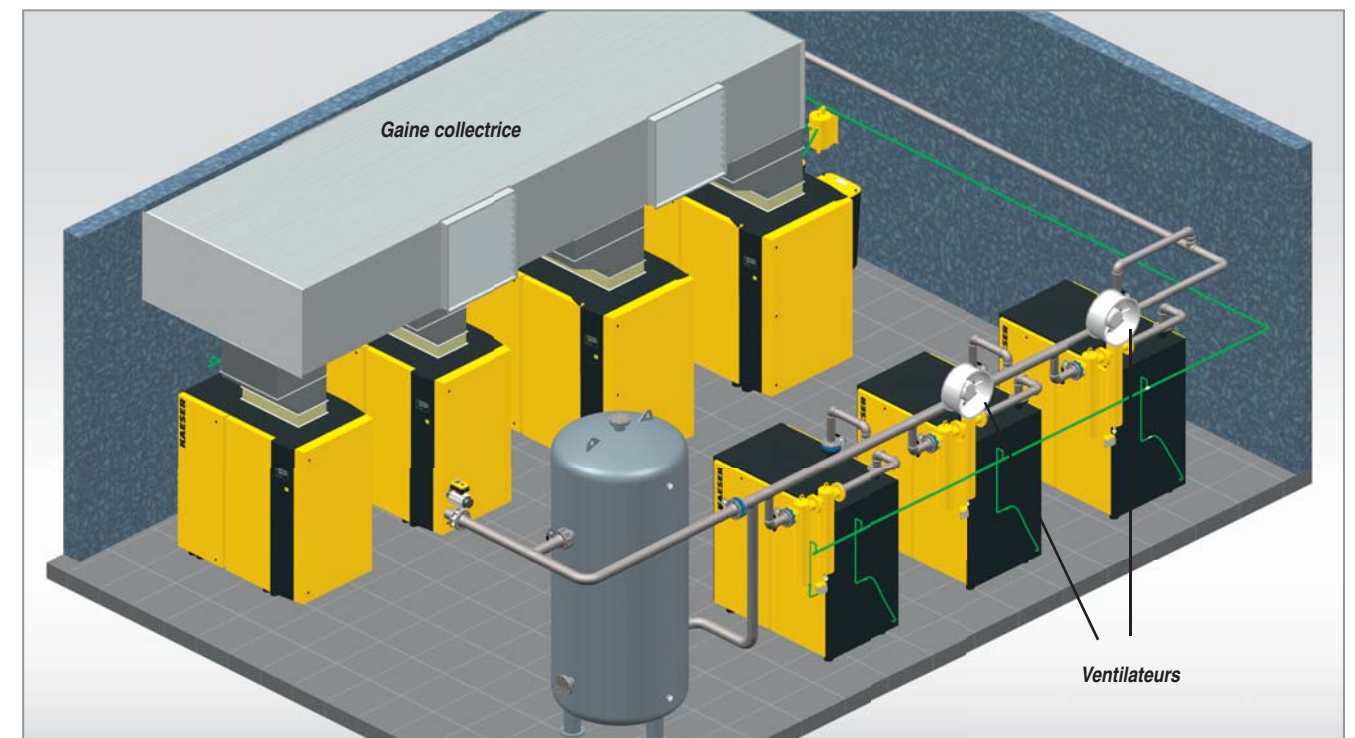


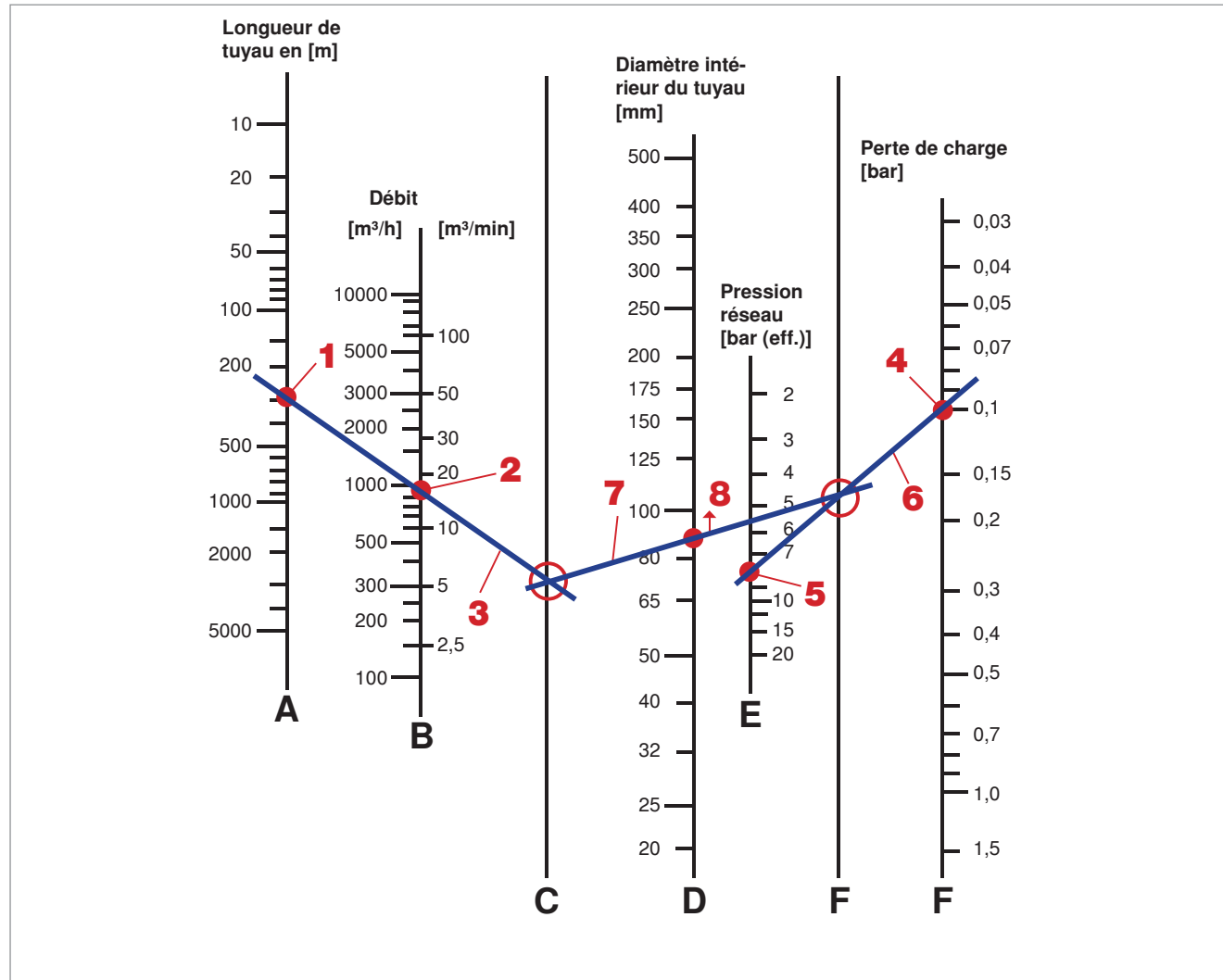
Fig. 3 : Système d'évacuation d'air avec une gaine collectrice pour tous les compresseurs

Annexe

Annexe 1 - 2

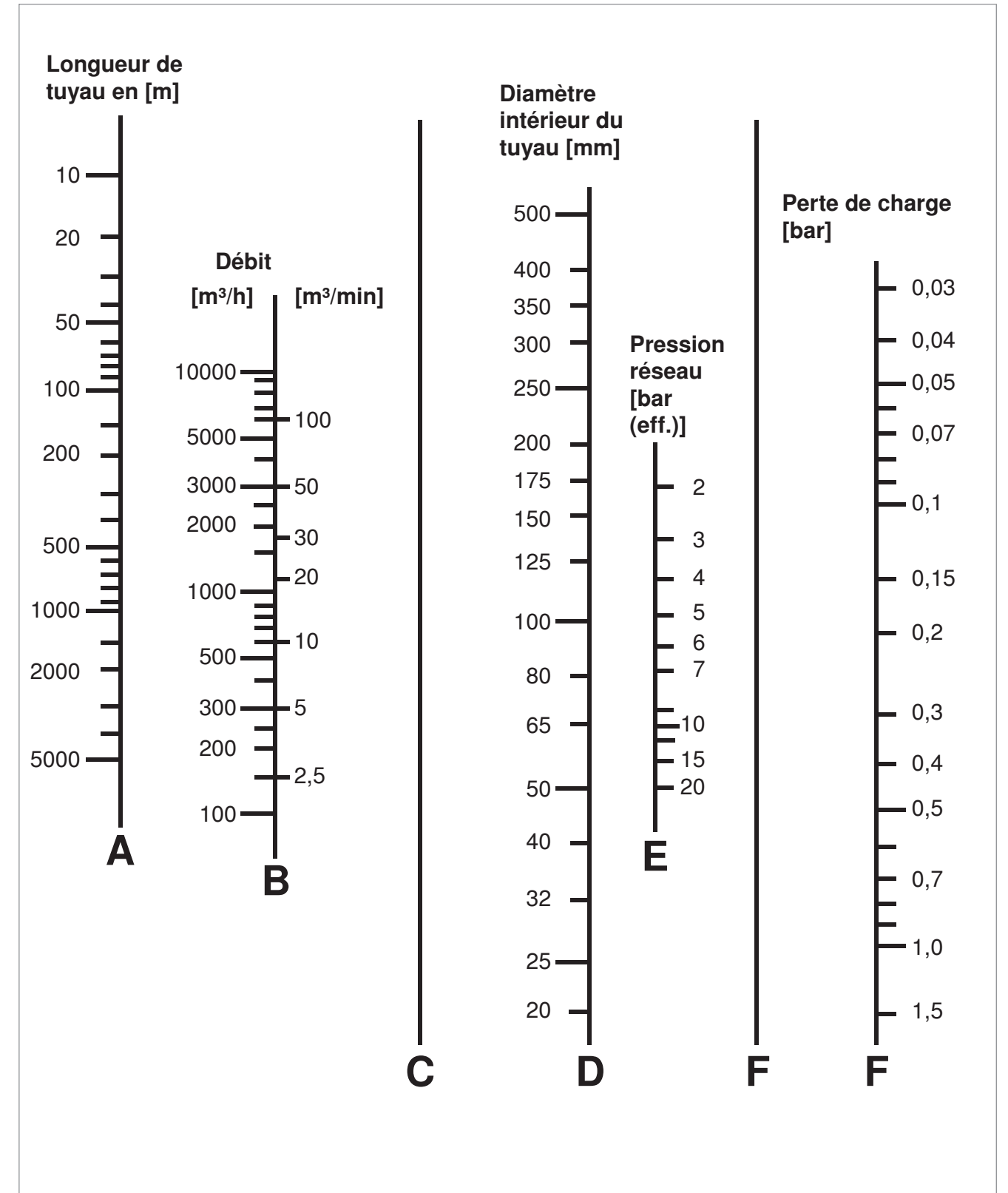
54-57

Nomogramme pour déterminer le diamètre intérieur des tuyauteries



Ce nomogramme permet de déterminer le diamètre intérieur des tuyauteries d'air comprimé : Repérer tout d'abord la longueur de tuyau et le débit sur les axes A et B. Relier ces deux points par une droite dont le prolongement coupe l'axe C. Marquer ensuite la pression réseau

minimale et la perte de charge maximale admissible sur les axes E et G. La droite qui relie ces deux points coupe l'axe F. La droite qui passe par les intersections des axes C et F coupe l'axe D au point qui correspond à la section de tuyau nécessaire.



Exemples de questionnaires pour le système d'économie d'énergie

Système d'économie d'énergie



1. Quel doit être le débit des compresseurs ?

1.1 Consommation d'air comprimé des outils et machines raccordés

Outils, machines	Consommation d'air par outil, machine m³/min	Nombre d'outils, de machines	Taux de charge %	Facteur de simultanéité %	Consommation d'air effective calculée m³/min
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=

Consommation d'air de l'ensemble des outils = V_{outils} [] m³/min

1.2 Autres équipements pneumatiques + V_{autres} [] m³/min

1.3 Fuites du réseau d'air comprimé + V_{fuite} [] m³/min

1.4 Réserve + $V_{\text{Réserve}}$ [] m³/min

Débit mini nécessaire des compresseurs = V_{tot} [] m³/min

Système d'économie d'énergie



2. Des compresseurs sont-ils déjà en service ?

non

oui

Désignation de l'exploitant	Fabricant	Type	Pression bar _(eff.)	Débit m³/min	Est-il prévu de les réutiliser ? oui non
				[]	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				[]	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				[]	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				[]	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				[]	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				[]	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				[]	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Débit total des compresseurs existants qui seront réutilisés

= $V_{\text{totexistant}}$ [] m³/min

Composants de traitement existants :

Type/modèle (sécheur, filtre, purgeur, etc.)	Fabricant	Dimensionné pour m³/min	bar _(eff.)	Remarques p. ex. "mal dimensionné"



CSD 105

SIGMA 

KAESER – Présence globale

KAESER, l'un des premiers constructeurs de compresseurs à vis, est présent partout dans le monde. Grâce à ses filiales et à ses partenaires commerciaux répartis dans plus de 100 pays, les utilisateurs d'air comprimé sont assurés de disposer des équipements les plus modernes, les plus fiables et les plus efficaces.

Les ingénieurs-conseil et techniciens expérimentés de KAESER apportent leurs conseils et proposent des solutions personnalisées à haut rendement énergétique pour tous les champs d'application de l'air comprimé. Le réseau informatique mondial du groupe international KAESER permet à tous les clients du monde d'accéder au savoir-faire de ce fournisseur de systèmes.

Le réseau mondial de distribution et de SAV assure une disponibilité maximale de tous les produits et services KAESER.

