

KAESER
COMPRESSEURS



Technique d'air comprimé

Notions fondamentales et conseils

www.kaeser.com

Sommaire

Notions de base

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 ?	10
Chapitre 4	Purger automatiquement les condensats	12
Chapitre 5	Le traitement fiable et économique des condensats	14
Chapitre 6	Une commande de compresseur performante	16
Chapitre 7	Adapter les compresseurs à la consommation d'air comprimé	20
Chapitre 8	Économiser de l'énergie avec la récupération des calories	22
Chapitre 9	Créer un réseau d'air comprimé	24
Chapitre 10	Moderniser un réseau d'air comprimé.....	26
Chapitre 11	Analyse des besoins en air comprimé (ADA) – État des lieux de l'existant	28
Chapitre 12	Définir la solution la plus économique	32
Chapitre 13	Refroidir efficacement la station d'air comprimé	34
Chapitre 14	Pérenniser la fiabilité et l'optimisation des coûts	36

Conseils pratiques

Conseil n° 1	Réaliser des économies avec une pression optimale.....	42
Conseil n° 2	La bonne pression à l'utilisation.....	44
Conseil n° 3	Distribuer l'air comprimé.....	46
Conseil n° 4	Les tuyauteries de la station d'air comprimé.....	48
Conseil n° 5	Bien installer les compresseurs	50
Conseil n° 6	Ventiler la station d'air comprimé.....	51
Conseil n° 7	Évacuer l'air de la station d'air comprimé	52

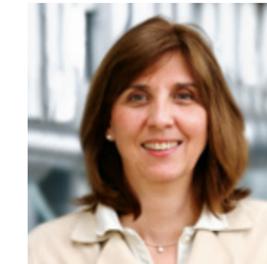
Annexe

Annexe	Questionnaires	56
	Notes	62

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 cette source d'énergie rationnellement, autrement dit de la manière la plus efficace 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 KOMPRESSOREN s'investit dans la formation permanente de ses clients par de multiples moyens. Tout au long de l'année, des spécialistes expérimentés de KAESER interviennent sur tous les continents dans des congrès, des conférences ou des séminaires pour parler de la production et de l'utilisation efficaces de l'air comprimé. 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 l'efficacité et la disponibilité de cette source 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 plusieurs 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 d'air comprimé. La norme ISO 1217, annexe C définit la manière de le mesurer. Pour mesurer le débit du compresseur, on procède comme indiqué à la fig. 1 : Il faut tout d'abord relever la température, la pression atmosphérique et l'humidité de l'air à l'entrée de la machine complète. La pression de service réglée si possible à sa valeur maximale, la température de l'air comprimé et le volume d'air débité sont ensuite mesurés en sortie de compresseur dans des conditions de service maintenues constantes. Enfin, le volume V_2 mesuré à la sortie d'air comprimé est ramené aux conditions d'aspiration à l'aide de l'équation des gaz parfaits (cf. formule).

$$V1 = \frac{V_2 \times P_2 \times T_1}{[P_1 - (p_0 \times F_{rel})] \times T_2}$$

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

Attention :

La norme ISO 1217 seule concerne 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 extrême du moteur. La puissance utile optimale se situe dans la plage de puissance nominale du moteur, également appelée puissance

assignée. Celle-ci 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 électriques et mécaniques dues aux roulements et à la ventilation du 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.

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

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 diviser la puissance

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

$$P_{spec} = \frac{\text{Puissance absorbée}}{\text{Débit}}$$

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

La première classification de l'efficacité énergétique des moteurs triphasés asynchrones est apparue aux États-Unis en 1997 avec la loi EPACK (Energy Policy Act). L'Europe a ensuite mis en place sa propre classification. Depuis 2010, les moteurs électriques sont soumis à la norme internationale CEI. Les classifications et le renforcement des législations ont conduit à une nette amélioration de l'efficacité énergétique des moteurs électriques des catégories supérieures. Les moteurs à haut 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 IE3 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 à grand rendement, KAESER a pu augmenter le débit des machines jusqu'à 6 % et leur puissance spécifique jusqu'à 5 %. Résultat : des débits plus importants, des temps de marche plus courts et une réduction de la consommation d'énergie par mètre cube d'air comprimé produit.

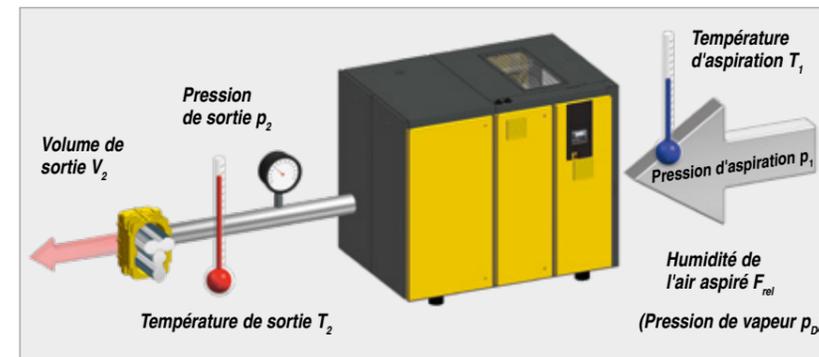


Fig. 1 : Mesure du débit selon ISO 1217, annexe C

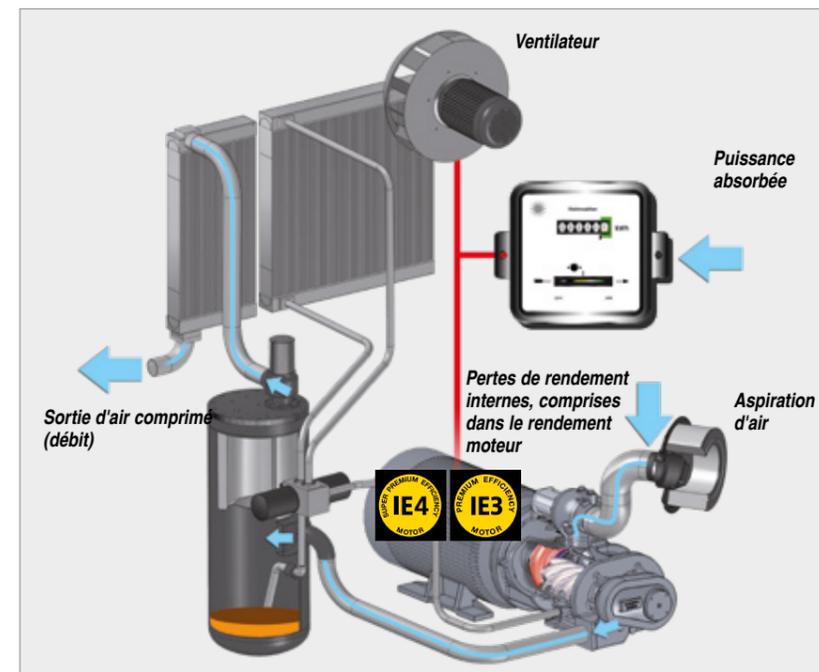


Fig. 2 : Schéma de principe d'un compresseur à vis, décomposition de la puissance spécifique

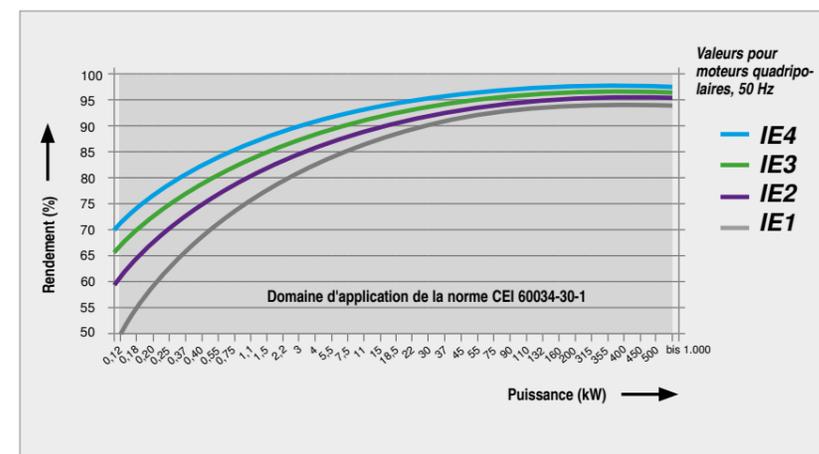


Fig. 3 : Les classes d'efficacité des moteurs électriques selon la norme CEI. Depuis juillet 2021, les moteurs triphasés de 0,75 à 1000 kW avec un taux d'utilisation relatif de 80 % et plus doivent respecter la classe de rendement IE3 dans l'UE. Depuis juillet 2023, la classe de rendement IE4 s'impose aux moteurs de 75 à 200 kW. La classe de rendement supérieure IE5 n'est pas encore définie dans les détails. Elle apparaîtra dans la prochaine édition de la norme.

Le traitement économique de l'air comprimé

Quel est le compresseur le mieux adapté pour produire de l'air comprimé sans 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, sans huile, aussi bien avec un compresseur à vis sans huile (vis « sèches ») qu'avec un compresseur refroidi par huile ou par fluide. Le choix du système doit être guidé par des critères de rentabilité.

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

Selon la norme ISO 8573-1, l'air comprimé est considéré comme sans 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 l'huile est utilisée pour le graissage, le refroidissement et les process, la teneur en huile minérale seule peut largement dépasser 10 mg/m³, auxquels viennent s'ajouter d'autres polluants comme les hydrocarbures, le dioxyde de soufre, la suie, 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 huile »

Le fonctionnement décrit ci-dessus se vérifie surtout pour les compresseurs sans injection d'huile : 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 sans huile. En dehors de ces préfiltres, les compresseurs sans injection d'huile 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 solides 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 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. 10).

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 sans huile. Le système de purification d'air développé par KAESER pour les compresseurs, avec ou sans injection d'huile ou de fluide, permet jusqu'à 30 % d'économies de coûts.

La teneur en huile résiduelle 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 sécheurs frigorifiques ou à des sécheurs par adsorption (cf. chap. 3, p. 11), 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, voir le schéma sur les deux pages suivantes.



Fig. 1 : Les sécheurs frigorifiques dans une station d'air comprimé



Fig. 2 : Exemple d'installation pour le traitement de l'air comprimé avec un sécheur frigorifique, des filtres à coalescence et à charbon actif, et un système de maintien de pression

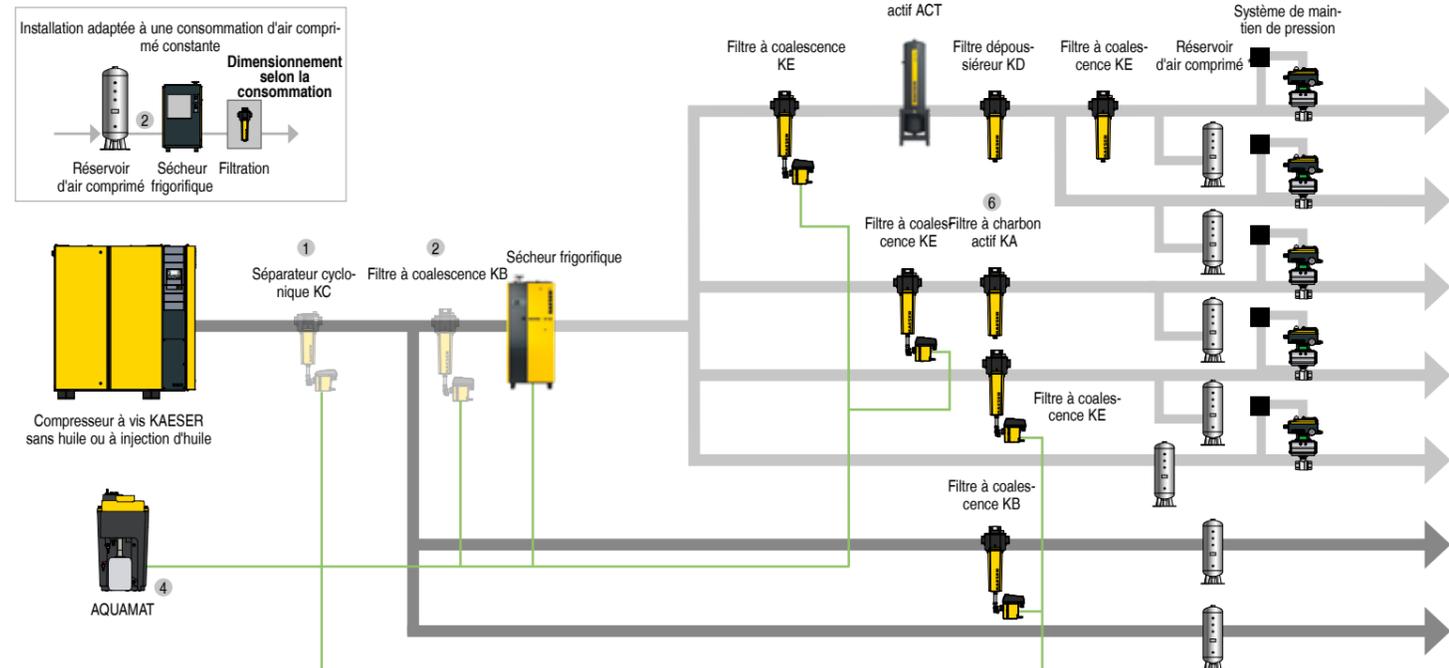
Le traitement économique de l'air comprimé

Ce schéma permet de déterminer rapidement la combinaison d'appareils adéquate en fonction de l'application.

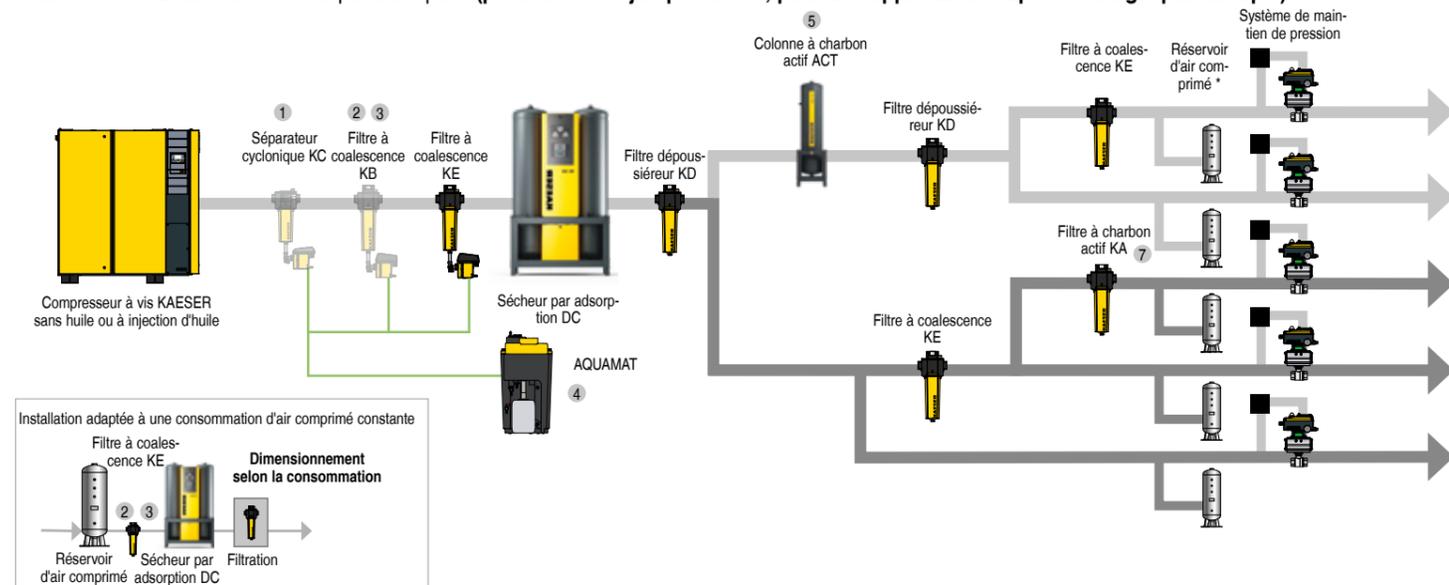
Sélectionnez la qualité d'air comprimé correspondant à vos besoins ou à votre utilisation.

Exemples d'utilisation : sélection des classes de pureté d'air comprimé selon ISO 8573-1 (2010)

Traitement de l'air comprimé avec un sécheur frigorifique (point de rosée jusqu'à +3 °C)



Traitement de l'air avec un sécheur par adsorption (point de rosée jusqu'à -70 °C, pour des applications exposées au gel par exemple)



- 1 Le filtre KC est inutile si le compresseur est équipé d'un séparateur cyclonique intégré.
- 2 Le filtre KB est installé en amont si la station comporte des compresseurs d'autres marques ou en cas de tuyauteries polluées et très corrodées.
- 3 Le filtre KB est installé en amont pour les utilisations critiques qui requièrent de l'air comprimé très pur.
- 4 Les condensats provenant des compresseurs à vis sans huile sont à éliminer côté utilisateur.

- 5 Durée de vie environ 12 000 h
- 6 Durée de vie environ 500 h
- 7 Durée de vie environ 1 000 h

Classes de pureté réalisables

Particules	Eau	Huile
1	4	1
2	4	1
1	4	1
1	4	2
4	4	3
4	7-X	3
4-6	7-X	3-4

Secteurs/applications

Milieux aseptisés et salle blanche, laiterie, brasserie, industrie du tabac et agroalimentaire

Air de transport très propre, installations chimiques

Machines textiles, laboratoires photo, industrie pharmaceutique

Peinture au pistolet, revêtement par poudre, emballage, air de réglage et instrument

Air d'usine en général, sablage avec exigences qualitatives

Grenailage

Air de transport pour réseaux d'assainissement

Classes de pureté réalisables

Particules	Eau	Huile
1	1-3	1
2	1-3	1
1	1-3	1
1	1-3	2
2	1-3	2

Secteurs/applications

Milieux aseptisés et salle blanche, industrie pharmaceutique, industrie du tabac et agroalimentaire

Cabines de peinture

Air process, industrie pharmaceutique

Laboratoires photo

Air de transport très sec, peinture au pistolet, régulateurs de pression précis

Classes de pureté d'air comprimé selon ISO 8573-1 (2010) :

Particules			
Classe	Nombre maxi de particules de taille d en µm, par m³ *)		
	0,1 < d ≤ 0,5	0,5 < d ≤ 1,0	1,0 < d ≤ 5,0
0	par ex. pour milieux aseptisés et salle blanche, après consultation de KAESER		
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
Classe	Concentration de particules C _p en mg/m³ *)		
6	0 < C _p ≤ 5		
7	5 < C _p ≤ 10		
X	C _p > 10		

Eau

Classe	Point de rosée en °C
0	par ex. pour milieux aseptisés et salle blanche, après consultation de KAESER
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Classe	Teneur en eau liquide C _w en g/m³ *)
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) [mg/m³] *)
0	par ex. pour milieux aseptisés et salle blanche, après consultation de KAESER
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	> 5,0

* Lorsque l'air comprimé doit répondre à des exigences qualitatives élevées, le réservoir d'air comprimé sera installé dans une conduite de dérivation en aval du traitement pour éviter que des dépôts ne soient entraînés dans le flux d'air comprimé.

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

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, humidité relative 70 % 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 l'endommagement des 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

Lorsqu'un compresseur refroidi par fluide aspire 10 m³ d'air par minute. Ce volume d'air à la pression ambiante, à 20 °C et 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 par minute à une 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 30g 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 11,5 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 définitions 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 (abs) a une humidité absolue de 6g par mètre cube industriel. Si l'on détend ce mètre cube d'air industriel de 10 bar (abs) pour le ramener à la pression atmosphérique, son volume sera multiplié par dix. La



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)

teneur en vapeur d'eau est toujours de 6 g mais elle se répartit sur un volume décuplé. Chaque mètre-cube d'air détendu ne contient plus alors 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 extrêmement sec, avec des points de rosée à -20, -40 ou -70 °C (fig. 2). La plupart des systèmes d'air comprimé sont exposés à de fortes variations de la

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

*) PdR -40 °C pour un tiers du temps de fonctionnement
**) ISO 7153 option A

consommation au fil de la journée. Des variations qui se vérifient également tout au long de l'année et auxquelles s'ajoutent d'importantes fluctuations de 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 tem-

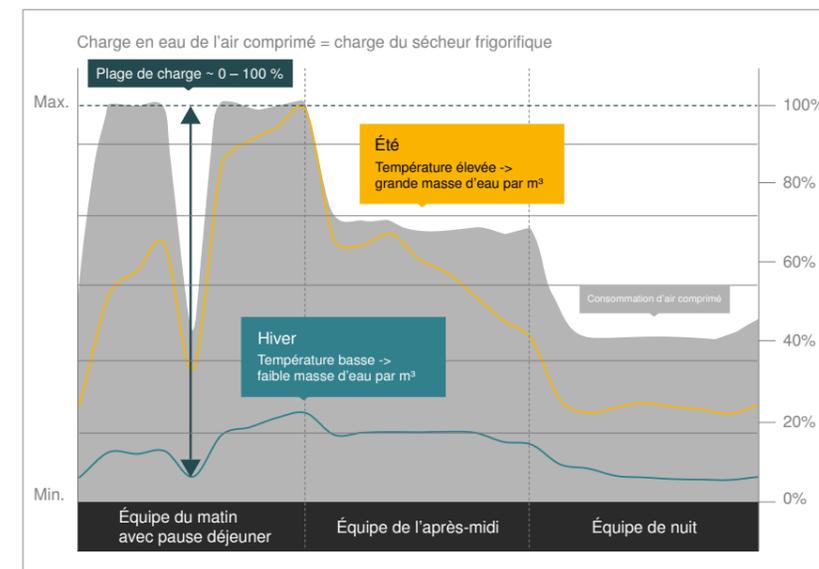


Fig. 3 : Potentiels d'économie d'énergie des sécheurs frigorifiques avec une régulation marche/arrêt

températures ambiantes et d'entrée d'air comprimé très élevées. Autrefois, pour parer à ces situations, le sécheur fonctionnait en continu, d'où un gros 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 qu'efficace, permet d'abaisser la consommation d'énergie 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. 4).



Fig. 4 : Système Hybritec

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 avec un débit de 5 m³/min produit 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 tout en réduisant considérablement les coûts.

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.

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. 2a). Pour fonctionner de manière optimale, il doit toujours être raccordé à un compresseur. Les centrales de grande taille possèdent souvent un système de séparation intégré au compresseur (fig. 2b).. Du fait des contraintes d'espace et suivant la solution technique réalisée, le taux de séparation peut varier dans des proportions importantes.

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). lorsqu'il est installé dans la partie « humide » de la tuyauterie. S'il est correctement dimensionné (débit



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

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



Fig. 2a : Séparateur cyclonique avec purgeur de condensats



Fig. 2b : Séparateur cyclonique intégré avec purgeur de condensats

bas et la sortie d'air en haut. Le réservoir peut refroidir l'air comprimé grâce à sa grande surface de dissipation thermique, ce qui favorise encore la séparation des condensats.

Point bas dans la conduite d'air comprimé :

Pour éviter un écoulement non maî-

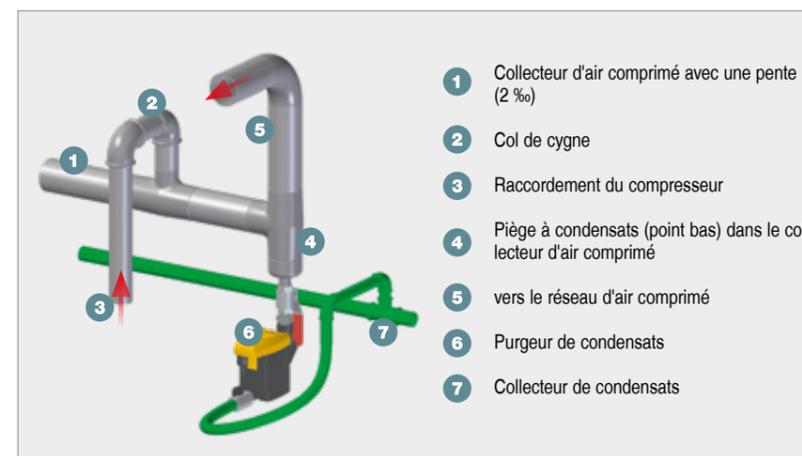


Fig. 3 : Point bas avec purgeur de condensats dans la partie humide du circuit d'air comprimé

trisé 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.

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

- 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 Purgeur de condensats
- 7 Collecteur de condensats

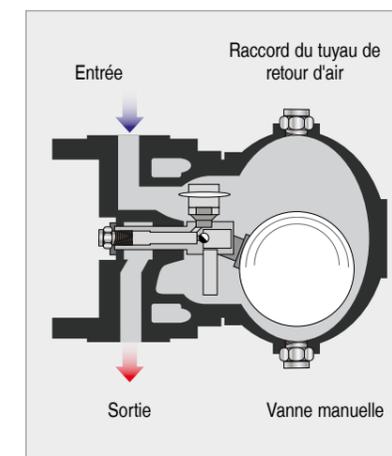


Fig. 4 : Purgeur de condensats à flotteur

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 pannes et nécessite un entretien très fréquent.

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 intervalles d'ouverture de vanne peut causer des pertes d'air comprimé et par conséquent une surconsommation d'énergie.

Le purgeur de condensats capacitif

Aujourd'hui, la plupart des purgeurs disposent d'une commande capacitive intelligente (fig. 5). Un capteur de niveau électronique remplace avantageusement le flotteur sensible aux pannes, en excluant les problèmes d'encrassement ou d'usure mécanique.



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

Les temps d'ouverture de la vanne adaptés et calculés avec précision évitent avec fiabilité les pertes d'air comprimé. Entre autres avantages, le purgeur capacitif possède une fonction d'auto-surveillance automatique et permet la transmission de signaux à une commande prioritaire ou 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. 2a, 2b et 3). 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 sans huile.

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 des condensats (fig. 2)

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 considéré comme 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



Fig. 1 : La purge fiable des condensats doit être assurée en tous points du circuit d'air comprimé où s'accumulent des condensats. Les meilleurs résultats sont obtenus par des purgeurs de condensats à commande électronique.

ne se sépare pas en deux phases, même après plusieurs jours. 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.



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



- 1 Chambre de détente
- 2 Réservoir de préséparation
- 3 Collecteur amovible
- 4 Réservoir collecteur d'huile
- 5 Préfiltre
- 6 Cartouche de filtre principal
- 7 Sortie d'eau
- 8 Sortie pour contrôle de turbidité

Fig. 3 : Système de séparation gravitaire des condensats issus de l'air comprimé

3. L'élimination par un prestataire

L'exploitant peut évidemment collecter les condensats et les faire éliminer par une entreprise spécialisée. Les coûts de cette élimination peuvent atteindre, voire dépasser les 500 €/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 1 % 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. 3 et 4). 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 coûts d'élimination des



Fig. 4 : Système de séparation des condensats KAESER AQUAMAT

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 100m³/min. Il est évidemment possible de monter plusieurs séparateurs en parallèle pour répondre à des débits plus importants.

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

1. Commande interne

a) Régulation charge/M. à vide

La plupart des compresseurs sont équipés de moteurs asynchrones tri-

Par conséquent, les commutations du compresseur ne déchargent que les parties sous pression.

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 % environ 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. 3), la régulation Dynamic qui gère les durées de marche à vide en fonction de la température du moteur (fig. 4) et la régulation Vario avec des durées de marche à vide calculées de manière variable (fig. 5).

Les régulations progressives par étranglement de l'aspiration ne sont pas recommandées car à 50 % du débit, le compresseur consomme 85 % 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. 6) n'ont pas un rendement constant sur leur plage de réglage. Le rendement d'un moteur de 90 kW tombe par exemple de 96 % à 88 % 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

Fig. 2 : Les systèmes de commande modernes permettent jusqu'à 20 % d'économie d'énergie

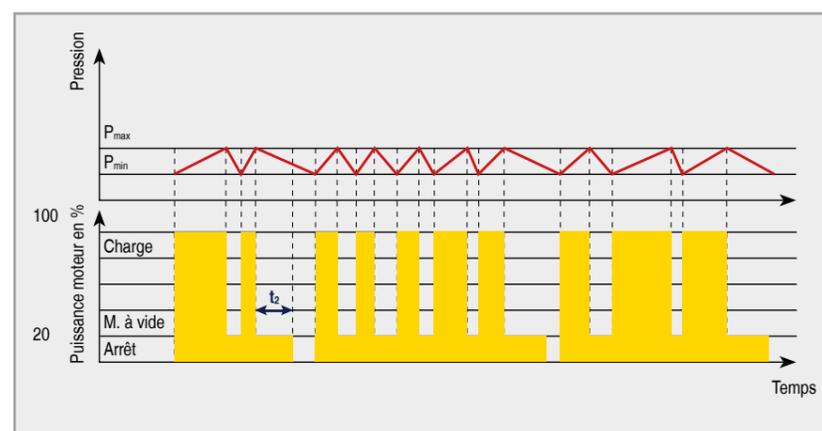


Fig. 1 : Mode Dual : régulation charge-marche à vide-arrêt avec des temps de marche à vide fixes

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.

phasés. Or plus ces moteurs sont puissants, plus leur fréquence de démarrage admissible est basse. Elle ne répond pas à la fréquence nécessaire pour démarrer et arrêter les compresseurs en fonction de la consommation réelle d'air comprimé, lorsque l'écart de régulation est faible.



de 40-80 % car c'est généralement là qu'ils sont le plus économiques.

Les 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 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.

Les compresseurs peuvent répondre au mieux à ces différentes charges lorsqu'ils possèdent plusieurs modes de régulation.

Les commandes internes doivent être en mesure de maintenir le fonctionnement du compresseur pour assurer la continuité de l'alimentation en air comprimé en cas de défaillance du système de gestion prioritaire.

3. Commande prioritaire

Les commandes prioritaires modernes avec leur logiciel basé sur le 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 l'efficacité de l'alimentation en air comprimé. En transmettant les données process au constructeur, elles créent les conditions d'une gestion moderne de la station avec la surveillance, l'analyse et la maintenance préventive.

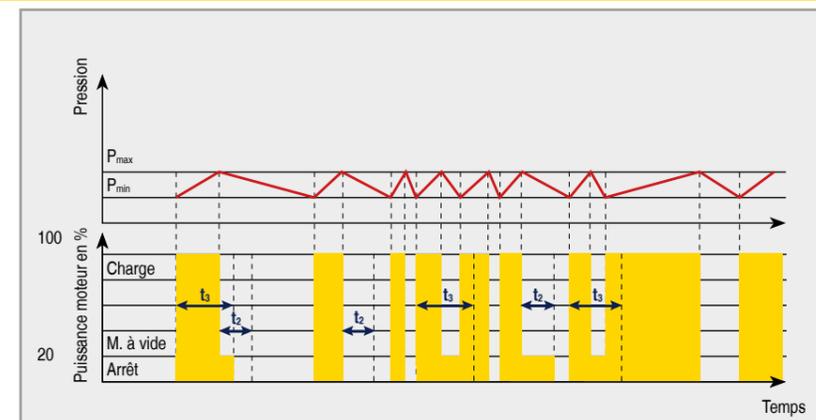


Fig. 3 : Mode Quadro : régulation charge-marche à vide-arrêt avec sélection automatique du mode de fonctionnement optimal

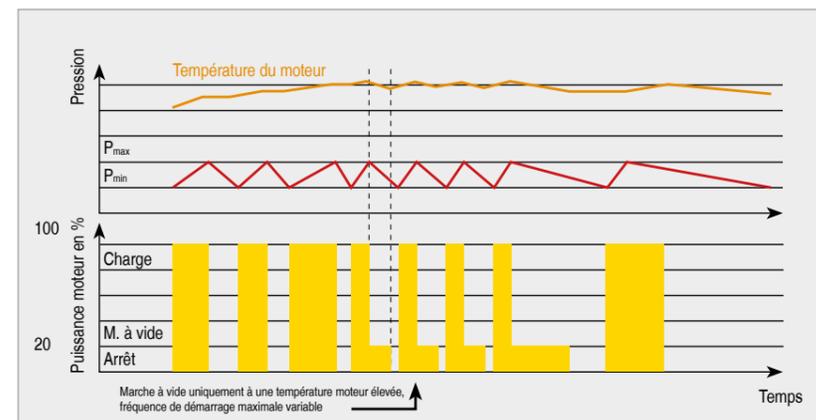


Fig. 4 : Régulation Dynamic basée sur le mode Dual, avec des temps de marche à vide gérés en fonction de la température du moteur

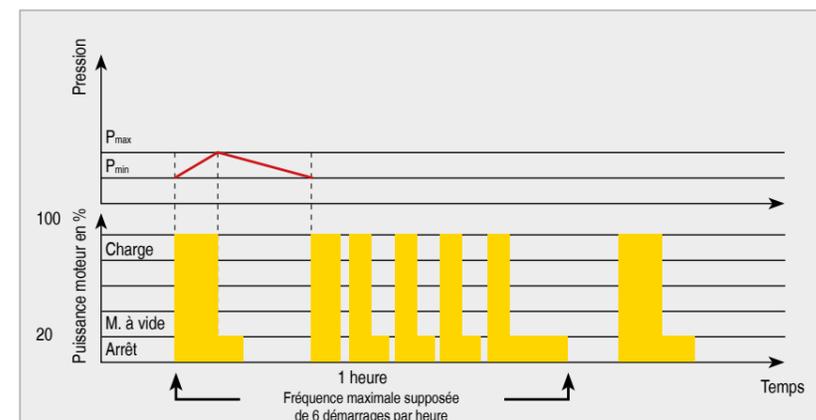


Fig. 5 : Régulation Vario avec des temps de marche à vide calculés de manière variable

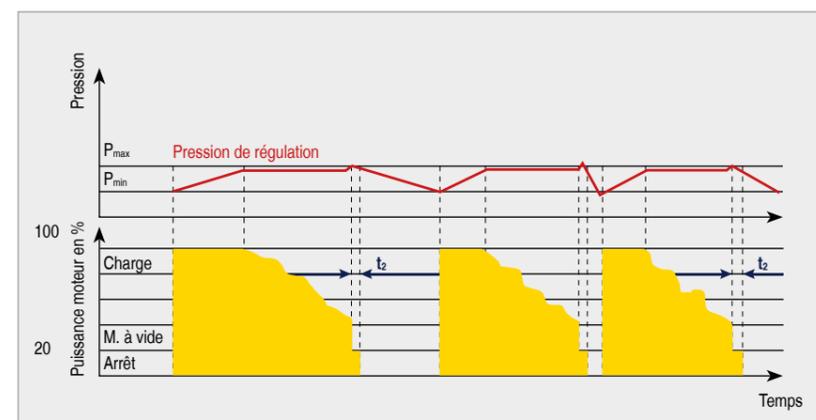


Fig. 6 : Régulation continue du débit par la vitesse moteur (variation de fréquence)

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. 7).

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 coûts d'entretien de la station d'air comprimé et améliorer sa sécurité de fonctionnement.

c) L'échelonnement des débits

Pour être efficace, 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 total des débits des machines pour la charge de pointe doit être supérieur au débit du prochain compresseur 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 une condition essentielle pour le bon fonctionnement et l'efficacité de la commande prioritaire.

Cette fiabilité est indispensable aussi bien pour l'émission des signaux internes aux compresseurs que pour la transmission des signaux 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 Profibus DP, Modbus ou Ethernet. L'Ethernet industriel est la technique la plus avancée pour transmettre rapidement de grandes quantités de données sur de longues distances. Grâce à des moyens de connexion modernes, la commande prioritaire

Répartition des compresseurs en fonction des besoins

1 ^{ère} équipe	15 m³/min
2 ^e équipe	9 m³/min
3 ^e équipe	4 m³/min

16 m³/min +
16 m³/min en veille



Proportion de marche en charge
~ 40 %

2 x 8 m³/min +
8 m³/min en veille



~ 60 %

2 x 4,5 m³/min + 8 m³/min +
8 m³/min en veille



~ 95 %

1,6-6,3 m³/min + 3,9 m³/min + 5,7 m³/min +
5,7 m³/min en veille



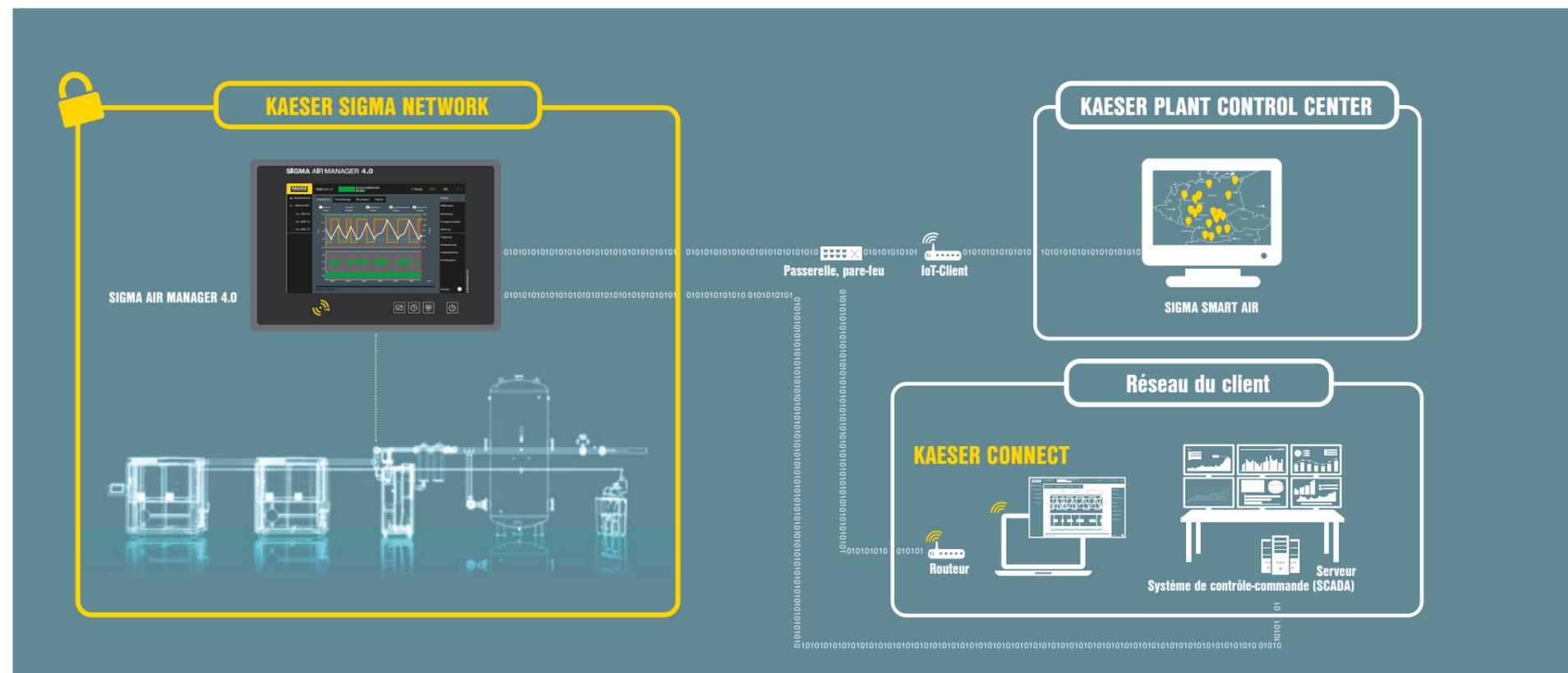
~ 95 %

Fig. 7 : Répartition de la charge entre des compresseurs de différents débits, en fonction de la consommation d'air

permet la visualisation et le raccordement à des systèmes informatiques et des systèmes de surveillance standard. Les systèmes de contrôle-commande n'ont donc pas forcément besoin d'être

implantés dans la station d'air comprimé. (fig. 8).

Fig. 8 : La connectivité de la commande prioritaire contribue au rendement de la station d'air comprimé



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 la meilleure efficacité 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 la pression minimale (p_{min}) et maximale (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 ; en revanche, 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

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 moyenne prescrite dans des tolérances définies tout en surveillant la courbe de pression dans des limites étroites, et elle peut gérer des compresseurs de différents débits 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 et de points de commutation fixes, mais uniquement la pression de service minimale admissible au point de mesure du capteur. La commande surveille et enregistre la courbe de consommation d'air comprimé et les commutations pour analyser les événements qui surviennent dans le système d'air comprimé. Elle apprend ainsi à reconnaître les principaux facteurs qui influent sur le comportement de la station et de ses composants. Grâce au procédé d'optimisation basé sur la simulation, la commande prioritaire SIGMA AIR MANAGER 4.0 anticipe les commutations les plus efficaces en tenant compte de toutes les pertes possibles dues à l'élévation de pression, aux temps de démarrage, de réaction et de marche à vide (fig. 3). Le critère déterminant est la réduction des coûts de production de l'air comprimé dans le respect de la pression requise définie (fig. 4).

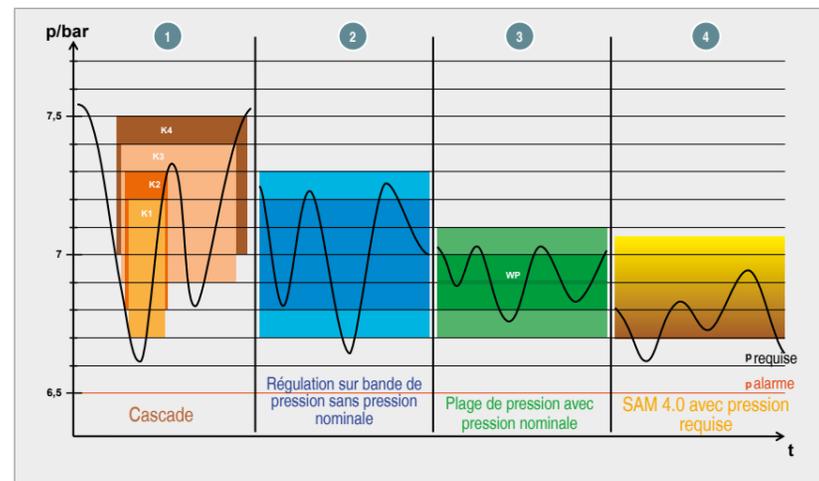


Fig. 1 : Différentes variantes de régulation des compresseurs par une commande prioritaire

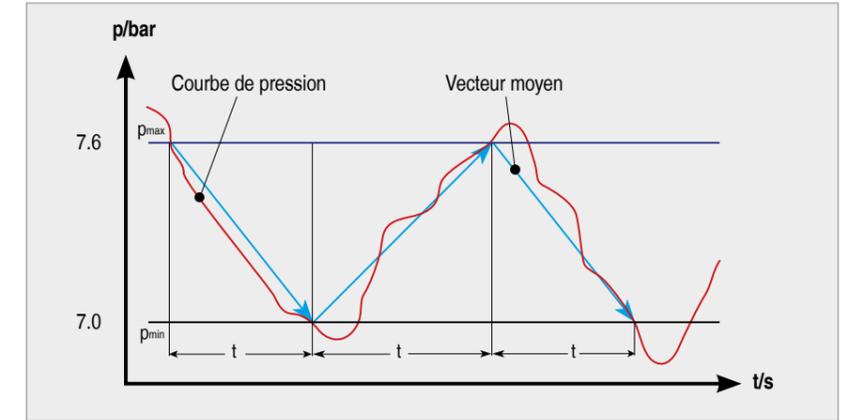


Fig. 2 : Régulation simple sur une bande de pression avec analyse moyenne de la courbe pression-temps et bande de pression large

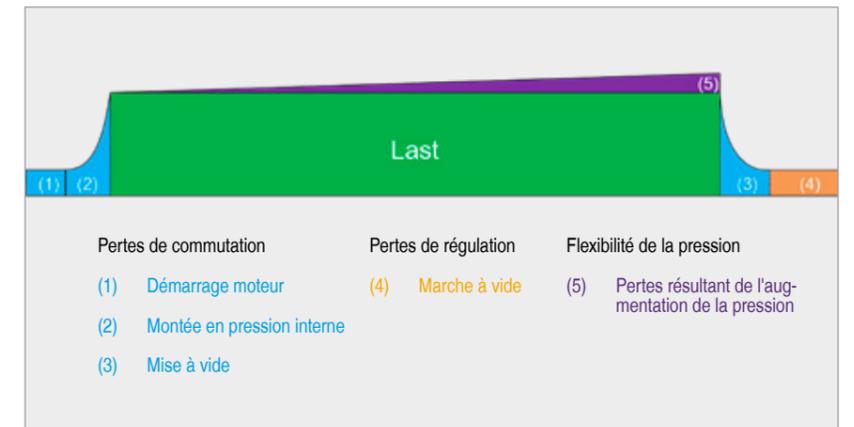


Fig. 3 : Cycle de commutation d'un compresseur à vis

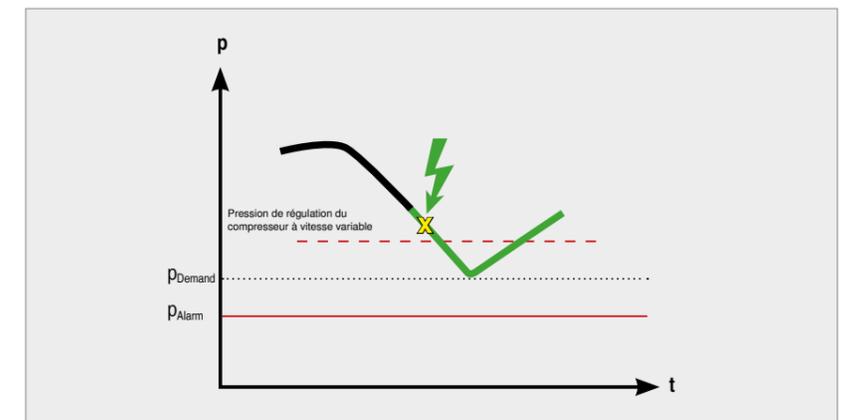


Fig. 4 : Le système met un compresseur en service en temps utile pour éviter toute baisse de la pression sous le seuil de pression requise défini

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 environnemental 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

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

2. Les possibilités de récupération des 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 des process 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. Une régulation thermostatique des registres permet d'adapter exactement 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 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 pour différents usages. Les échangeurs de chaleur utilisés sont généralement des échangeurs à plaques mais l'échange thermique peut aussi être

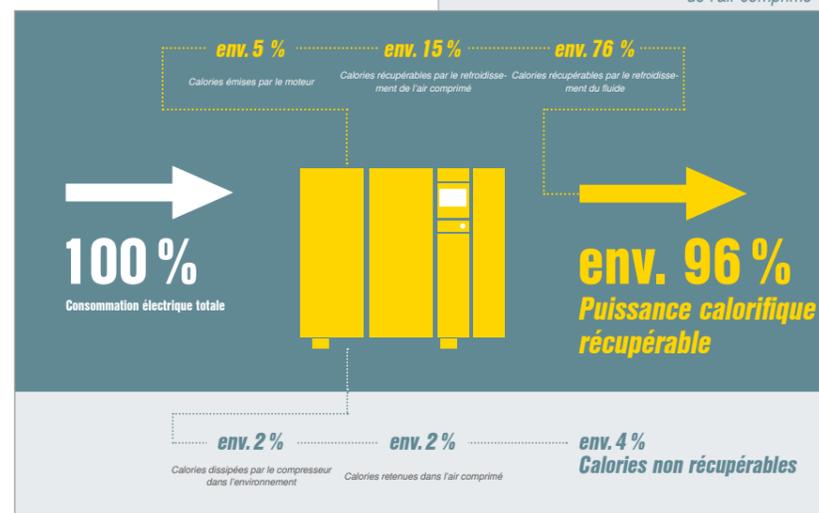
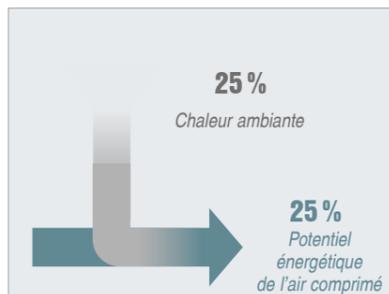


Fig. 1 : Diagramme de répartition

réalisé par des échangeurs de sécurité ou par un circuit intermédiaire selon la destination de l'eau chaude ainsi produite : injection dans un système de chauffage, usages sanitaires ou alimentation de process de production ou de lavage (fig. 3).

Les échangeurs de chaleur permettent de produire de l'eau à 70 °C maxi. Pour des compresseurs à partir de 7,5 kW, les coûts d'installation du système de récupération de calories sont généralement amortis en deux ans, pour autant que le système ait été correctement planifié (fig. 2).

Fig. 2 : Raccordement des compresseurs à un système de récupération des calories



3. Respecter la sécurité

Les calories ne doivent jamais être récupérées sur le circuit de refroidissement primaire du compresseur car une éventuelle défaillance du système de récupération des calories compromettrait le refroidissement du compresseur et par conséquent la production d'air comprimé. Il faut équiper le compresseur d'échangeurs de chaleur dédiés à la récupération des calories. En cas de défaut, le compresseur assurera sa propre sécurité de fonctionnement : si l'échangeur huile-eau du système de récupération des 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.

4. Jusqu'à 96 % d'énergie récupérable

La plus grosse part, à savoir 76 % de l'énergie consommée et récupérable sous forme de chaleur 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. Seuls 2 % des calories sont dissipés par rayonnement et 2 % sont retenus dans l'air comprimé. (fig. 1).

5. Conclusion

La récupération des calories est un moyen très intéressant pour rendre la station d'air comprimé plus économique tout en réduisant son empreinte environnementale. L'investissement nécessaire est relativement faible et varie selon les caractéristiques du lieu d'installation, l'utilisation prévue et le mode de récupération des calories choisi (fig. 4).

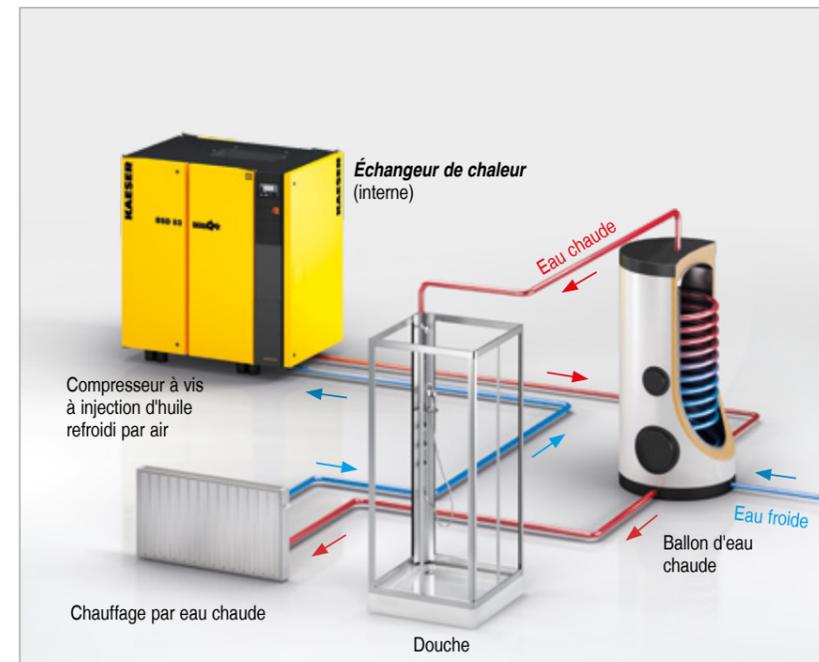


Fig. 3 : Schéma de la récupération des calories pour la production d'eau chaude

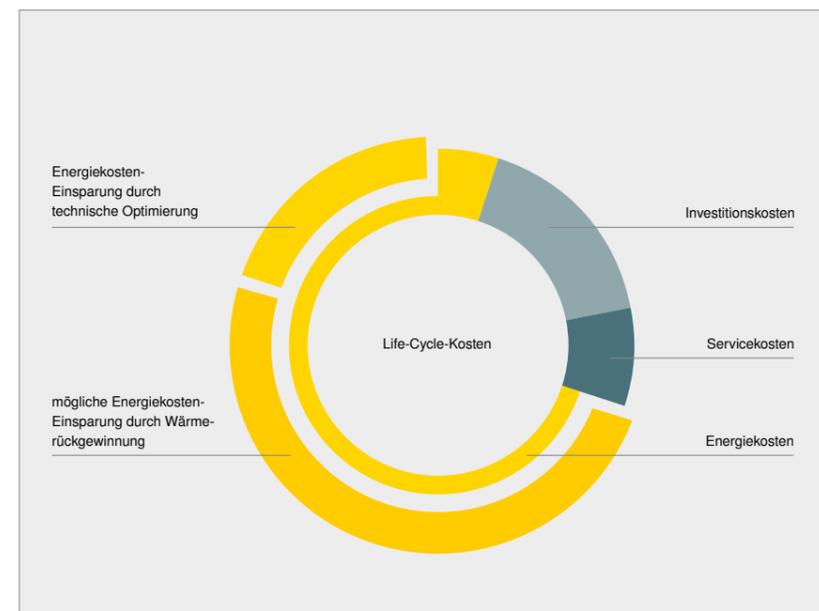


Fig. 4 : La récupération des calories permet d'importantes économies de coûts énergétiques

Création d'un réseau d'air comprimé

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

1. Production économique de l'air comprimé

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 1 et 3 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 coûts 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 représentent 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 charge importante due à la longueur des tuyauteries.

a) Bien dimensionner le réseau

Le dimensionnement du réseau de tuyauterie nécessite un calcul soigneux



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

sur la base d'une perte de charge maximale de 0,1 bar entre le compresseur et les outils pneumatiques, et compte tenu du traitement d'air comprimé standard (sécheur frigorifique) et de l'écart de régulation du compresseur.

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

Conduite principale (1)	0,03 bar
Conduite de distribution (2)	0,03 bar
Descente (3)	0,04 bar
Sécheur (4)	0,20 bar
Unité d'entretien et tuyau (5)	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)

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 (m³/min)
 Δp = perte de charge (Pa)

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

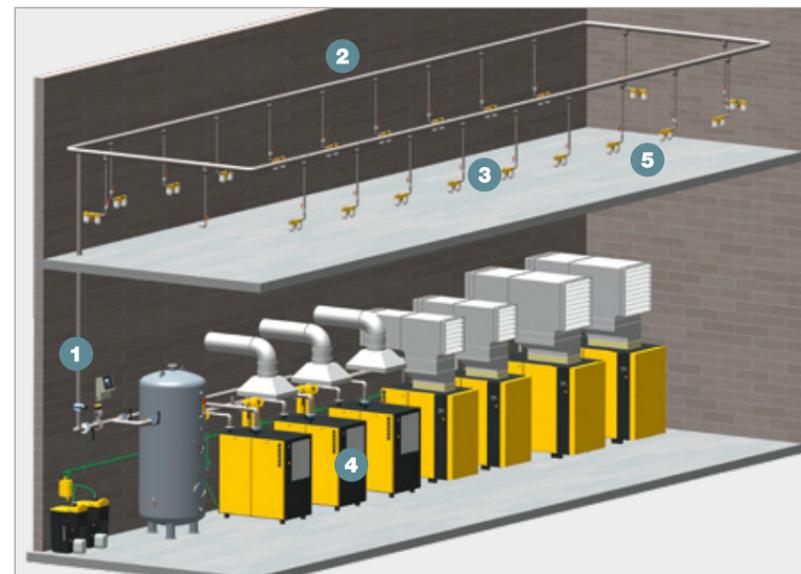


Fig. 2 : Les principaux composants du circuit de distribution d'air comprimé : conduite principale (1), conduite de distribution (2), descente (3), sécheur (4), unité d'entretien et tuyau (5)

ou des nomogrammes permettent de déterminer facilement le diamètre des tuyauteries.

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

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. Il convient d'utiliser des vannes à boisseau sphérique ou des soupapes à clapet à passage intégral plutôt que les vannes d'arrêt d'eau encore très répandues. 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

Traditionnellement, les éléments de tuyauterie sont 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. Aujourd'hui, les liaisons serties sont très répandues pour les tubes en cuivre, en inox ou en acier au carbone. Le matériau du joint torique utilisé pour l'étanchéité dépend du fluide qui circule dans la tuyauterie et des conditions de service. La qualité de la liaison sertie dépend essentiellement de l'outil utilisé, le sertissage ne nécessite pas de matières auxiliaires.

Modernisation du 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

Si la création d'un tout nouveau réseau d'air comprimé permet d'éviter de nombreuses erreurs et les problèmes qui en découlent, 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.



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

2. Comment remédier à une perte de charge anormale dans le réseau ?

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 décapier 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.

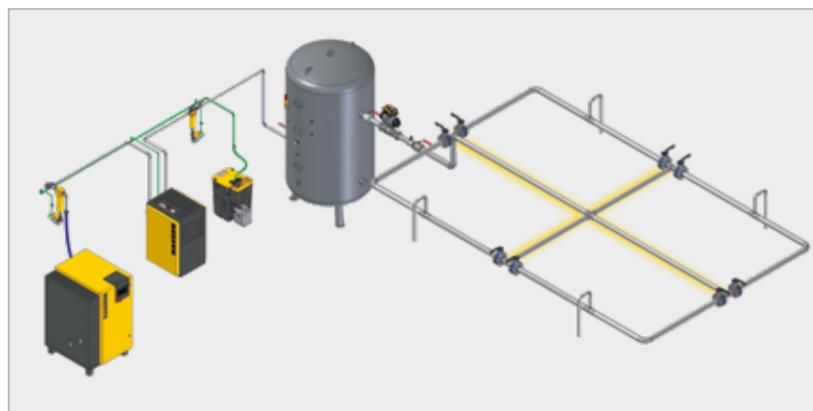


Fig. 2 : Augmentation de la capacité des tuyauteries par un maillage

b) Poser des tuyauteries complémentaires

Un excellent moyen de résoudre le problème de conduites de dérivation devenues trop étroites consiste à poser une tuyauterie parallèle reliée aux conduites de dérivation. De même, si une boucle 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 conduites de dérivation ou de double boucle améliore la fiabilité de la distribution d'air comprimé.

Un autre moyen de moderniser une boucle consiste à la 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 :

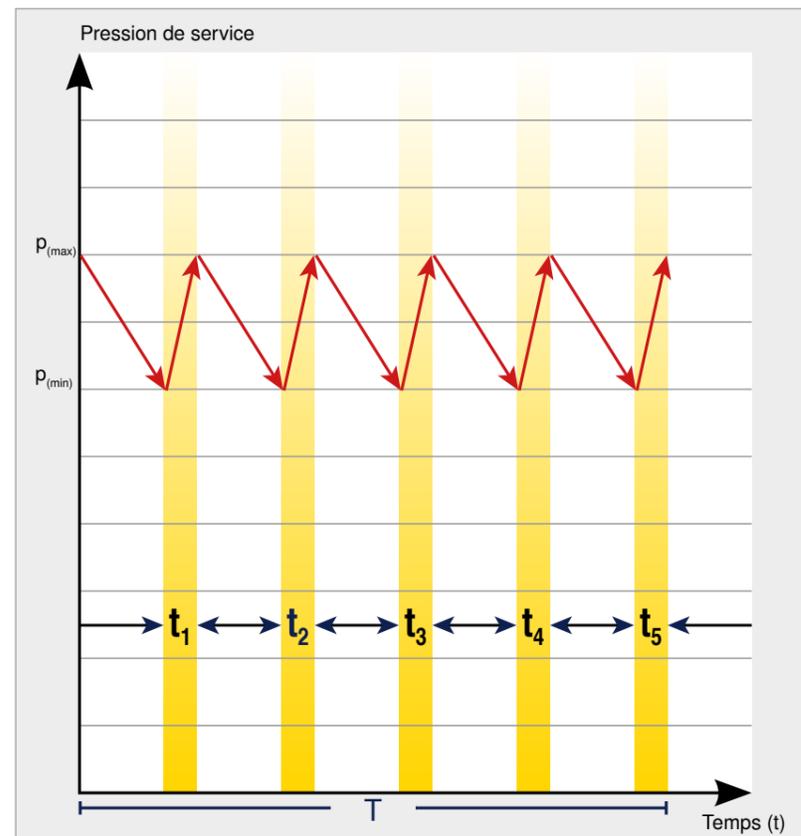


Fig. 3 : Calcul des fuites à partir des temps de fonctionnement du compresseur, tous les équipements pneumatiques étant débranchés

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

Légende :

VL = débit de fuite (m³/min)

VK = débit du compresseur (m³/min)

∑ tx = t1 + t2 + t3 + t4 + t5

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.

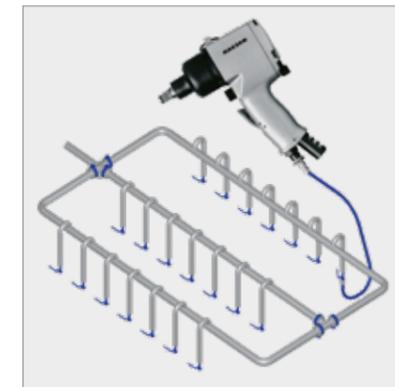


Fig. 4 : Mesure des fuites sur les équipements pneumatiques + tuyauteries

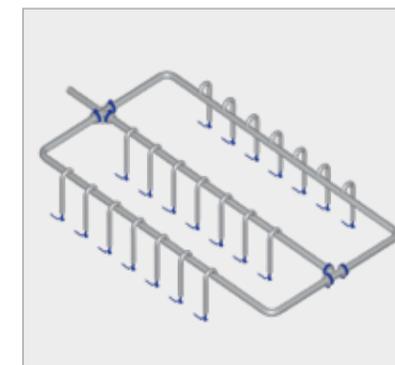


Fig. 5 : Mesure des fuites des tuyauteries

4. Où se trouvent la plupart des fuites ?

Nous savons par expérience qu'à peu près 70 % des fuites se situent en bout 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 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) L'état des lieux

mande et de surveillance utilisés est indispensable car le rendement de la station est déterminé non seulement par les caractéristiques de chacune des centrales mais aussi, et surtout, par leur bonne coordination.

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

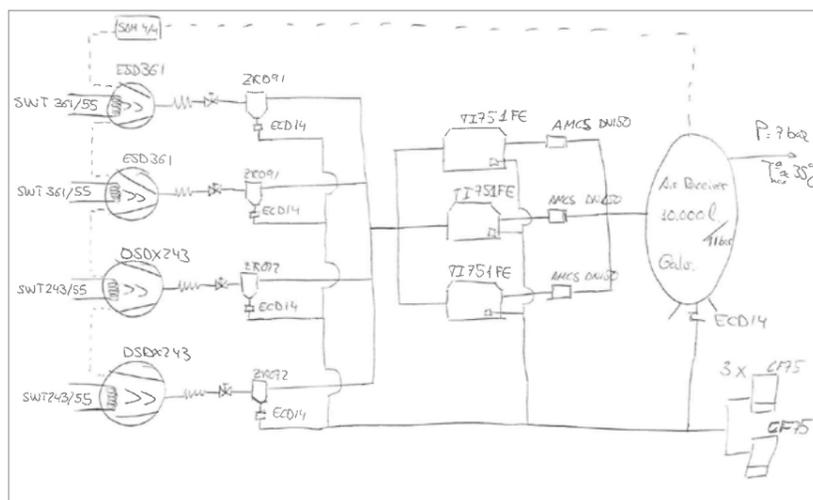


Fig. 4 : Schéma fonctionnel d'une station, tracé à la main

5. L'état des lieux du réseau

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) Raccords de tuyaux, manodétendeurs, décanteurs

Les raccords de tuyaux au niveau des outils pneumatiques sont très souvent

sujects aux fuites. Il faut donc contrôler leur état et leur étanchéité. Si des manodétendeurs sont utilisés, vérifier également leur réglage (pression d'admission et pression de refoulement) en conditions de charge (fig. 6). Contrôler les décanteurs en amont des manodétendeurs pour rechercher du liquide ou

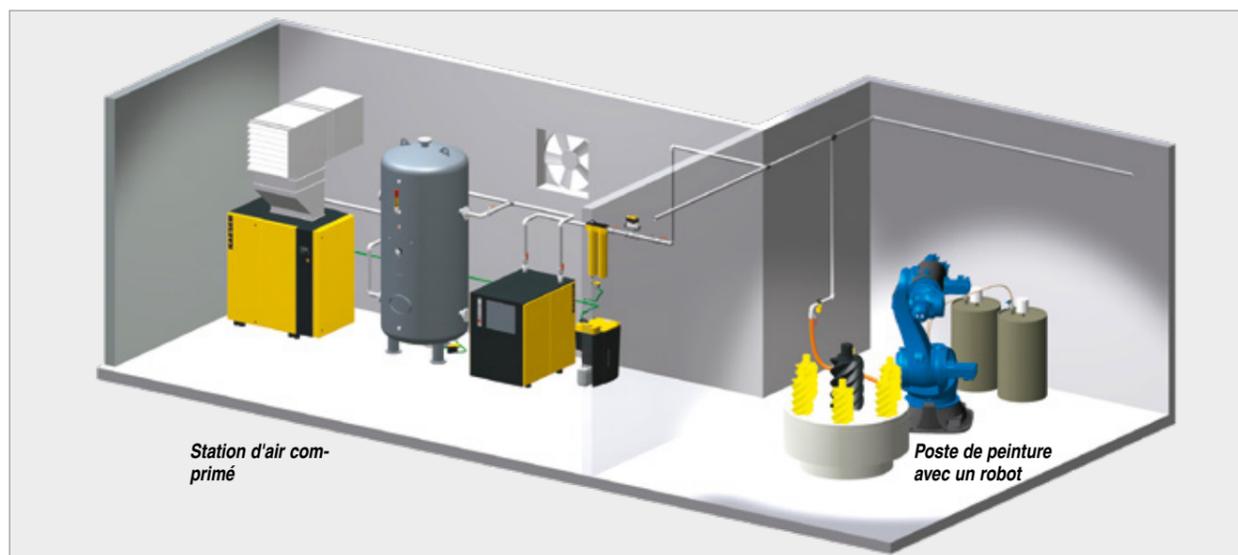


Fig. 5 : Très instructif : l'état des lieux du réseau



Fig. 6 : Unité d'entretien avec manodétendeur

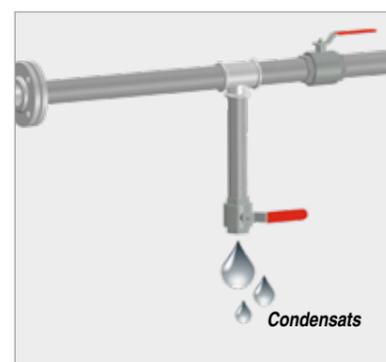


Fig. 7 : Rechercher la présence d'humidité dans la conduite de sortie d'air comprimé

des impuretés. Vérifier également les tuyaux de sortie vers le bas (fig. 7).

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-équarres 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 liée au système de traitement et le point de rosée sous pression (degré de séchage). D'autres contrôles de qualité peuvent être nécessaires selon le cas.

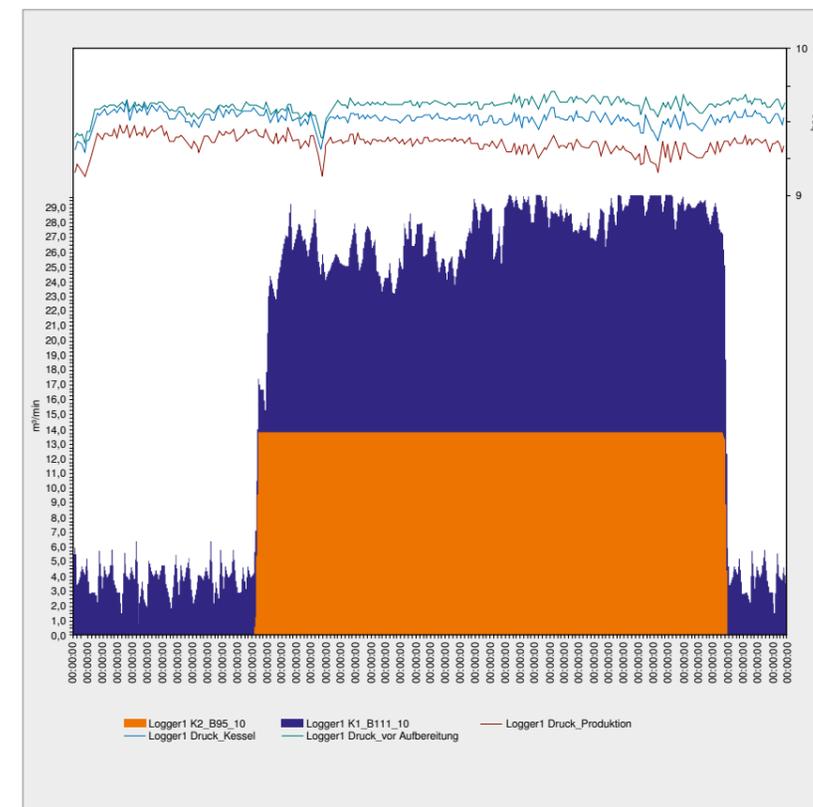


Fig. 8 : Profil de la pression et de la consommation d'air comprimé d'une entreprise industrielle

e) La station

La station d'air comprimé elle-même peut évidemment présenter aussi 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.

6. Mesure de la pression et de la consommation 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 (fig. 8). Celui-ci montre les baisses et les variations 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. 26-27. 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 coûts d'air comprimé moyens. 70 à 90 % des coûts d'air comprimé sont imputables à la consommation d'énergie. Face à l'évolution des prix, l'efficacité du système d'air comprimé est un enjeu majeur pour l'utilisateur.

Les calculs d'optimisation effectués par le simulateur d'économies d'énergie (KESS) de KAESER permettent de déterminer, parmi plusieurs variantes d'alimentation en air comprimé, la configuration la mieux adaptée à 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 fig. 8, p. 31).

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 le programme. 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 nécessaire entre les 16 centrales pouvant être prises en charge au maximum. Il doit donc être en mesure de sélectionner automatiquement les compresseurs pour la charge de base et la charge de pointe afin d'obtenir une combinaison optimale sur le plan énergétique tout en respectant une plage de variation de pression la plus faible possible au-dessus de la pression requise, sans jamais descendre au-dessous. Les systèmes de commande intelligents comme le SIGMA

AIR MANAGER 4.0 répondent à cette exigence. Cette commande prioritaire peut échanger des données avec les compresseurs et d'autres équipements (purgeurs de condensats, sécheurs, etc.) par un réseau KAESER spécifique. Elle peut également transférer toutes les données de fonctionnement 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 conception modernes, comme ceux qu'utilise

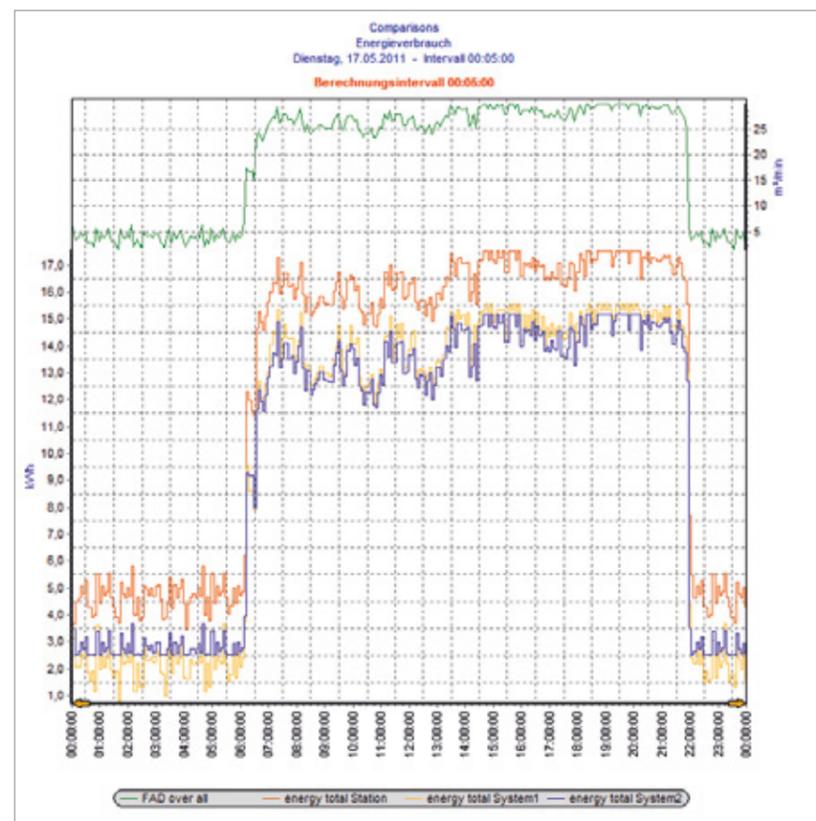


Fig. 1 : Comparaison de la consommation d'énergie entre une station existante et plusieurs nouvelles variantes, sur une journée de travail, en fonction de la consommation d'air comprimé

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

4. Optimisation du fonctionnement et gestion de l'air comprimé

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 et la possibilité de collecter et de transmettre les données à une commande prioritaire par un réseau. La commande prioritaire, le SIGMA AIR MANAGER 4.0 mentionné plus haut (cf. schéma p. 18-19), est elle aussi équipée d'un PC industriel qui assure des fonctions analogues à l'échelle de la station. En plus de la régulation et de la surveillance optimisée de la station, elle collecte et traite toutes les données importantes et le cas échéant, elle les transmet à un système de contrôle-commande centralisé. Le SIGMA AIR MANAGER 4.0 permet également de visualiser l'état de tous les équipements de la station et leurs principales données de fonctionnement grâce à une connexion internet. Il connaît immédiatement la pression de service et voit si la station tourne normalement, si des entretiens arrivent à échéance ou si des défauts sont signalés. La norme DIN EN ISO 50001 définit un cadre pour permettre aux entreprises d'améliorer systématiquement, en permanence leur efficacité énergétique afin de réduire leur empreinte environnementale et leurs coûts. Les systèmes de gestion d'air comprimé comme le SIGMA AIR MANAGER 4.0 facilitent l'établissement de rapports de certification. Ils

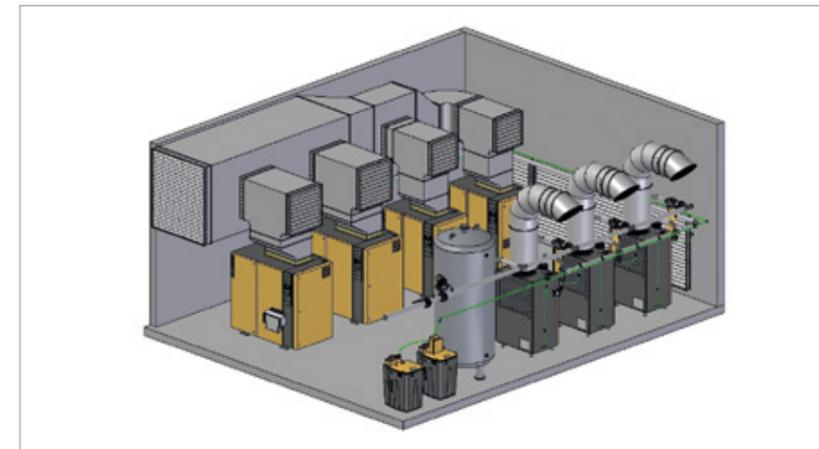


Fig. 2a : Étude en 3-D d'une station d'air comprimé, optimisée par CAO

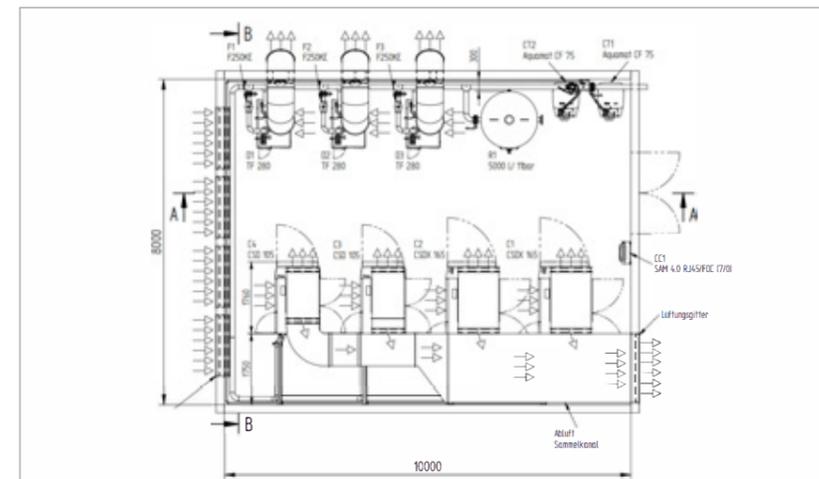


Fig. 2b : Plan d'ensemble d'une station d'air comprimé

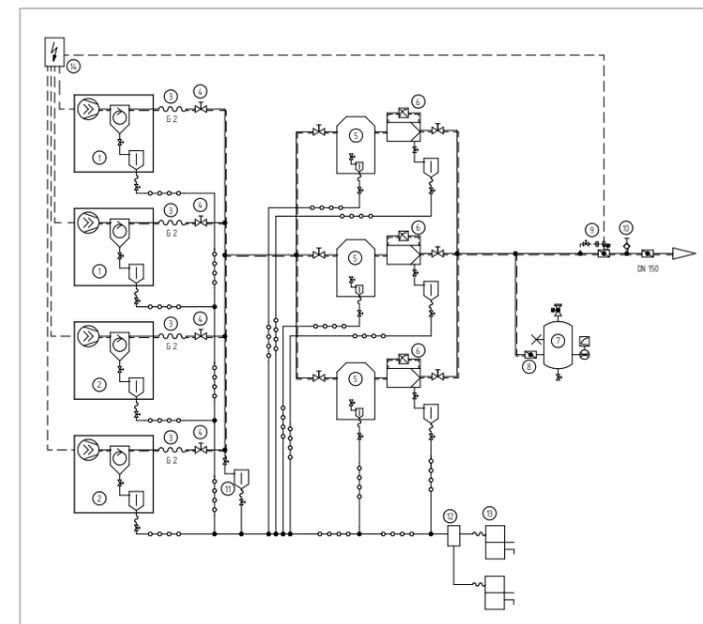


Fig. 2c : Schéma tuyauterie et instrumentation d'une station d'air comprimé

assurent l'enregistrement sécurisé des données de fonctionnement de la station d'air comprimé et fournissent des indicateurs ainsi que des analyses et des bilans énergétiques détaillés.

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 7,5 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 des calories permettent d'utiliser jusqu'à 96 % de l'énergie consommée et d'abaisser fortement les coûts de production de l'air comprimé (voir chapitre 8, p. 22). 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

Le décret sur l'exploitation des équipements de travail (règlement de prévention des accidents DGUV 100-500 / BGR 500, chapitre 3) stipule que la température ambiante ne doit en général pas dépasser 40 °C pour les compresseurs d'air stationnaires avec des chambres de compression lubrifiées et un refroidissement par air. Il indique également que les ouvertures d'aspiration d'air doivent être disposées de manière à exclure l'aspiration de mélanges dangereux. Il s'agit là d'exigences minimales visant à réduire le risque d'accidents. Bien d'autres conditions sont encore nécessaires pour assurer le fonctionnement économique des compresseurs et réduire l'entretien.

1.2 Le local compresseurs n'est pas un débarras

Le local 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

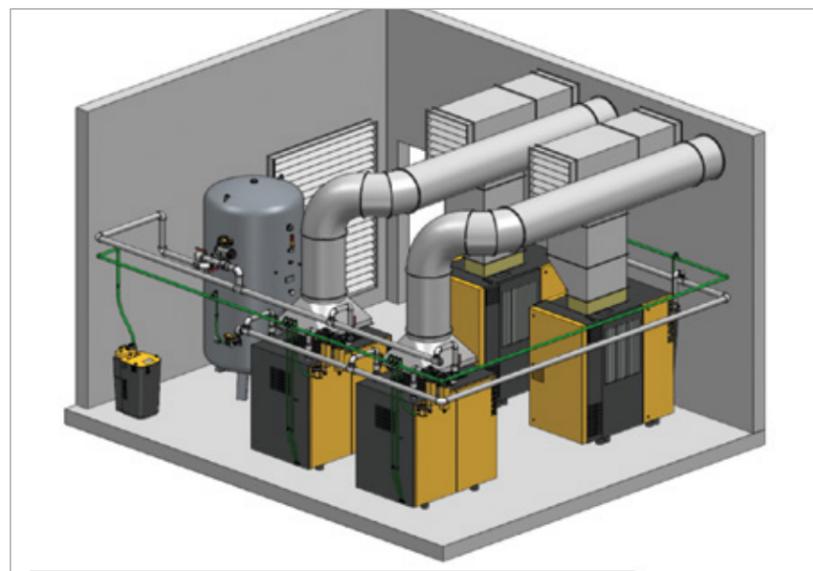


Fig. 1 : Exemple d'une station avec un système d'évacuation d'air chaud et une ventilation thermostatée supplémentaire pour le sécheur frigorifique

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 (<+3 °C) ni trop chaud (>+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 7 % de la puissance motrice du compresseur.

3. Les différents types de ventilation

3.1 La ventilation naturelle

L'air de refroidissement est aspiré par le compresseur et réchauffé par la compression. Sous l'effet de la surpression, cet air chaud s'élève et sort du local par une ouverture située en hauteur (fig. 2). Mais cette convection naturelle idéale ne fonctionne qu'exceptionnellement et pour des compresseurs jusqu'à 5,5 kW. Le rayonnement solaire ou le vent qui souffle sur l'ouverture d'évacuation de l'air chaud 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 artificielle 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. 3) 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 10 K ou n'excède pas la température ambiante admissible. 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. 4). Ce système offre l'avantage d'autoriser un plus grand échauffement de l'air de refroidissement. L'élévation de température 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 dépendent 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. 5) 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 en plus un ventilateur externe ou un système d'évacuation d'air thermostaté pour augmenter le débit d'air de refroidissement du sécheur frigorifique (fig. 1).

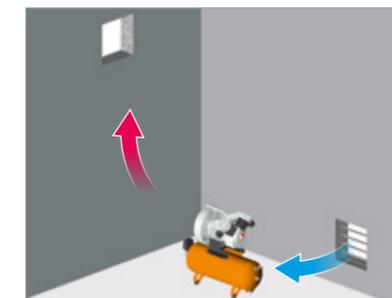


Fig. 2 : Ventilation naturelle pour les centrales jusqu'à 5,5 kW

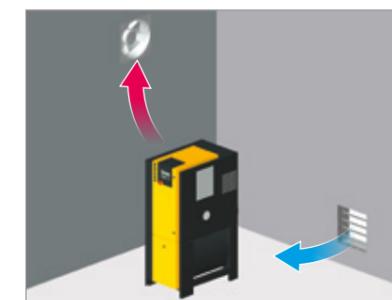


Fig. 3 : Ventilation forcée avec un ventilateur externe pour les centrales de 5,5 à 11 kW

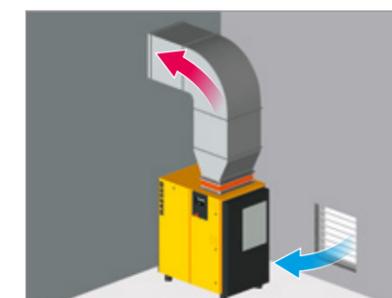


Fig. 4 : Ventilation forcée avec une gaine d'évacuation d'air chaud pour les centrales à partir de 11 kW

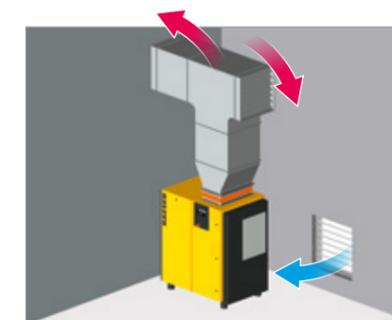


Fig. 5 : Un registre de circulation d'air thermostaté assure l'équilibre thermique

Pérenniser la fiabilité et l'optimisation des coûts

Les pages 24 à 27 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 l'efficacité du système.

L'utilisateur a intérêt à assurer une efficacité maximale 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 d'efficacité sont importants : selon une estimation, les compresseurs d'air européens ont consommé 133 milliards de kilowatts-heure en 2020, dont 30 % pourraient être économisés (fig. 1).

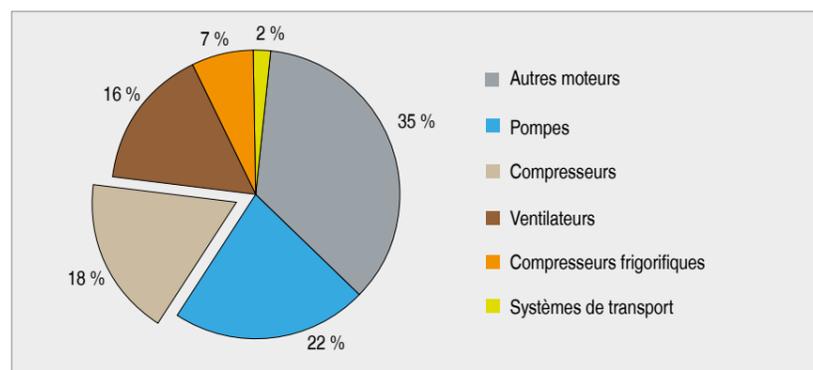


Fig. 1 : Estimation de la part des compresseurs dans la consommation énergétique des systèmes d'entraînement électrique industriels

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 0,15 €/kWh, taux d'intérêt 6 %, pression de service 7 bar, qualité d'air comprimé selon ISO 8573-1 : classe 1 pour la poussière, classe 4 pour l'humidité et classe 1 pour la teneur en huile

résiduelle. 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 par l'institut universitaire de technologie de Coburg dans le cadre de l'initiative « Efficacité de l'air comprimé » a recensé les anomalies dans les stations d'air comprimé d'Allemagne (fig. 3).

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 2 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 équipements 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 choisir 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 liées à la production

2.3.1 Consommation d'air comprimé

a) Réorganisation de la production

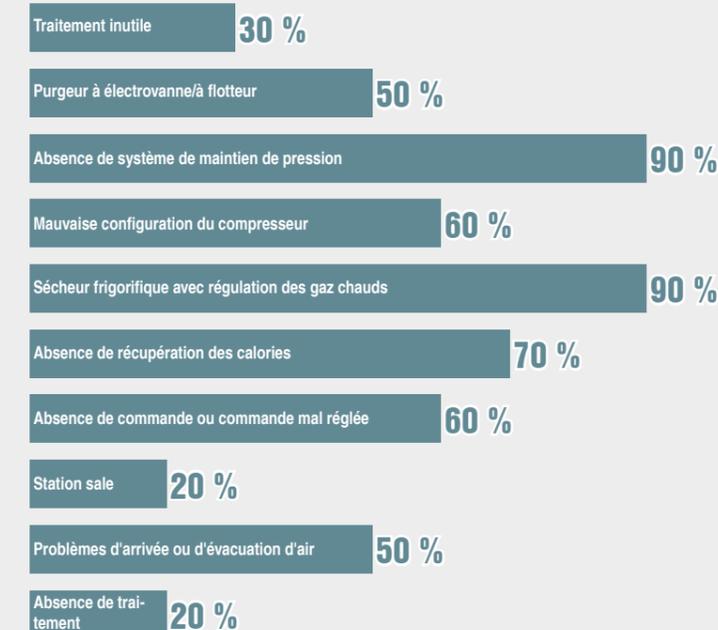
Beaucoup d'entreprises ont des consommations variables. Or ces variations sont souvent mal prises en compte et à l'issue d'une réorganisation de la production certains compresseurs peuvent se retrouver sous-utilisés alors que d'autres doivent répondre à une demande d'air comprimé qui épuise les réserves 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 mesurer au préalable la consommation d'air comprimé de la machine existante

Anomalies recensées dans les stations d'air comprimé et les ateliers de production

Station d'air comprimé



Production

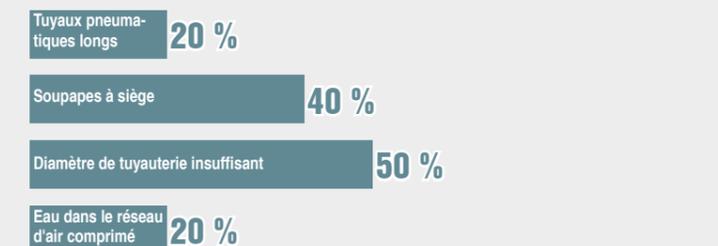


Fig. 3 : Récapitulatif des résultats des audits d'air comprimé réalisés par KAESER KOMPRESSOREN pour une étude de l'institut universitaire de technologie de Coburg « Efficacité de l'air comprimé »

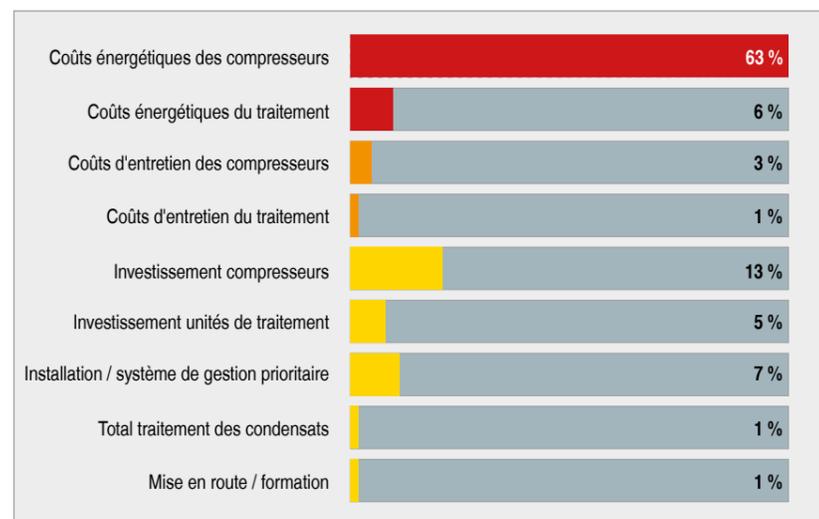


Fig. 2 : Structure des coûts d'un système d'air comprimé optimisé

Pérenniser la fiabilité et l'optimisation des coûts

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



Fig. 4 : Recherche de fuites par ultrasons

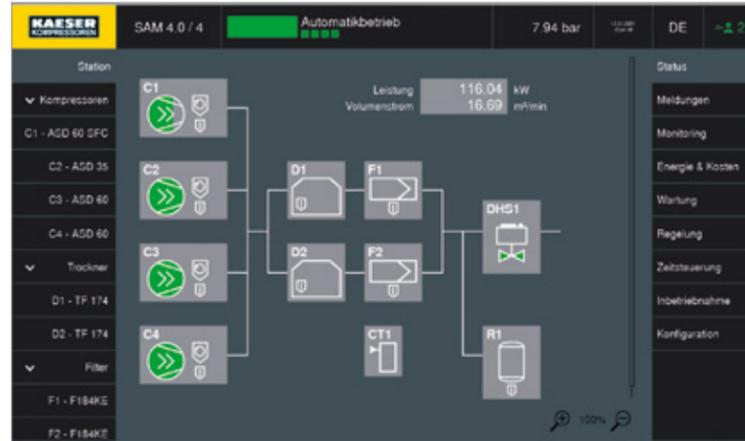


Fig. 5a : Système de gestion : aperçu général de la station et statut

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. Elles peuvent parfois entraîner des pertes d'énergie considérables. L'usure des outils, des raccords de tuyaux et des pièces mécaniques

est la première cause de fuite. 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 4.0 par exemple. S'il fait apparaître une augmentation des fuites, il faut les rechercher et les éliminer (fig. 4).

3. Gérer les coûts

Les données issues de l'analyse des

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, il est recommandé d'installer un système de traitement séparé qui fournira la qualité d'air comprimé demandée. Il faudra prévoir un régulateur de débit

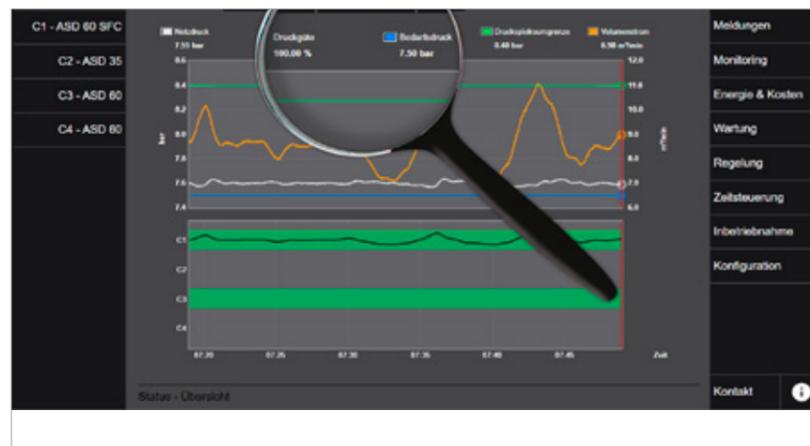


Fig. 5b : Courbes de débit et de pression avec surveillance de la stabilité de la pression



Fig. 5c : Suivi de la puissance spécifique

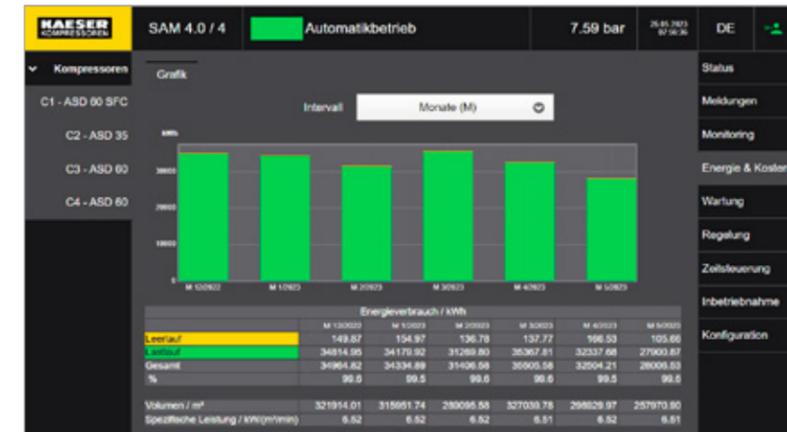


Fig. 5d : Comparaison énergie et coûts sur des périodes définies



Fig. 5e : Aperçu général de l'entretien

besoins pendant la phase d'étude sont intéressantes pour l'exploitation ultérieure. Après réactualisation, elles peuvent être utilisées par des systèmes tels que le SIGMA AIR MANAGER 4.0, 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 l'efficacité énergétique dans 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 l'empreinte environnementale.

Conseils pratiques

Conseils n° 1 - 7

40-51

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.

Perte de pression 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.

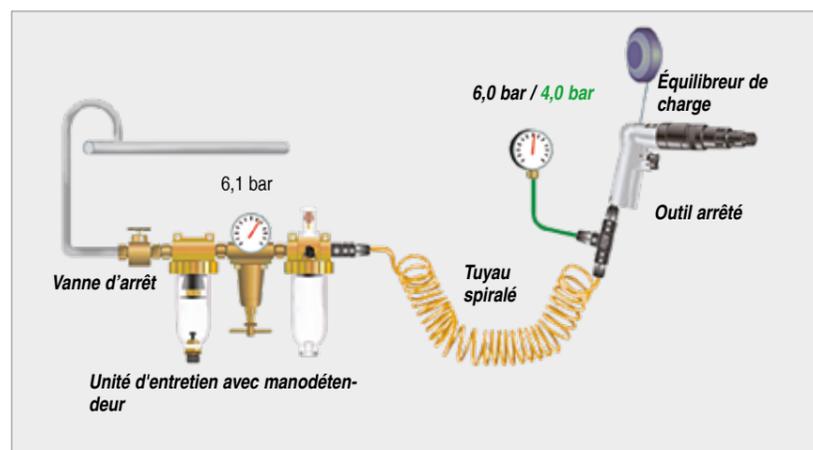
Les causes sont souvent simples à éliminer :

- 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).

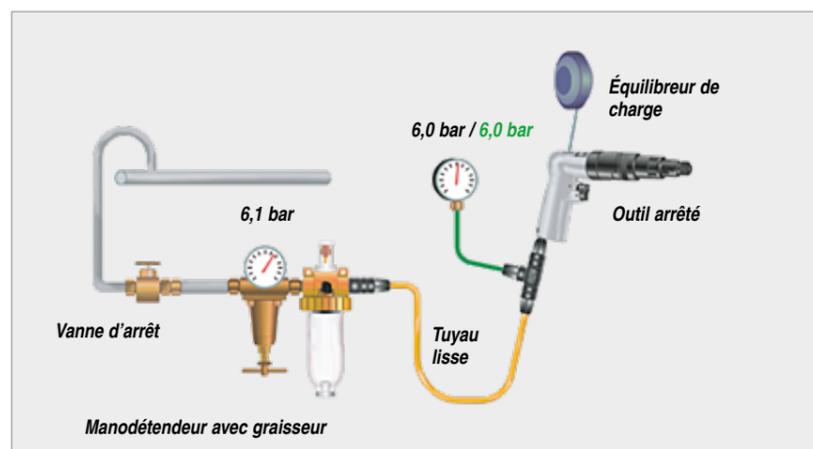
Les mesures ci-dessus permettent d'obtenir la pression optimale (en l'occurrence 6 bar) sur l'outil pneumatique qui développera 100 % de sa puissance.

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



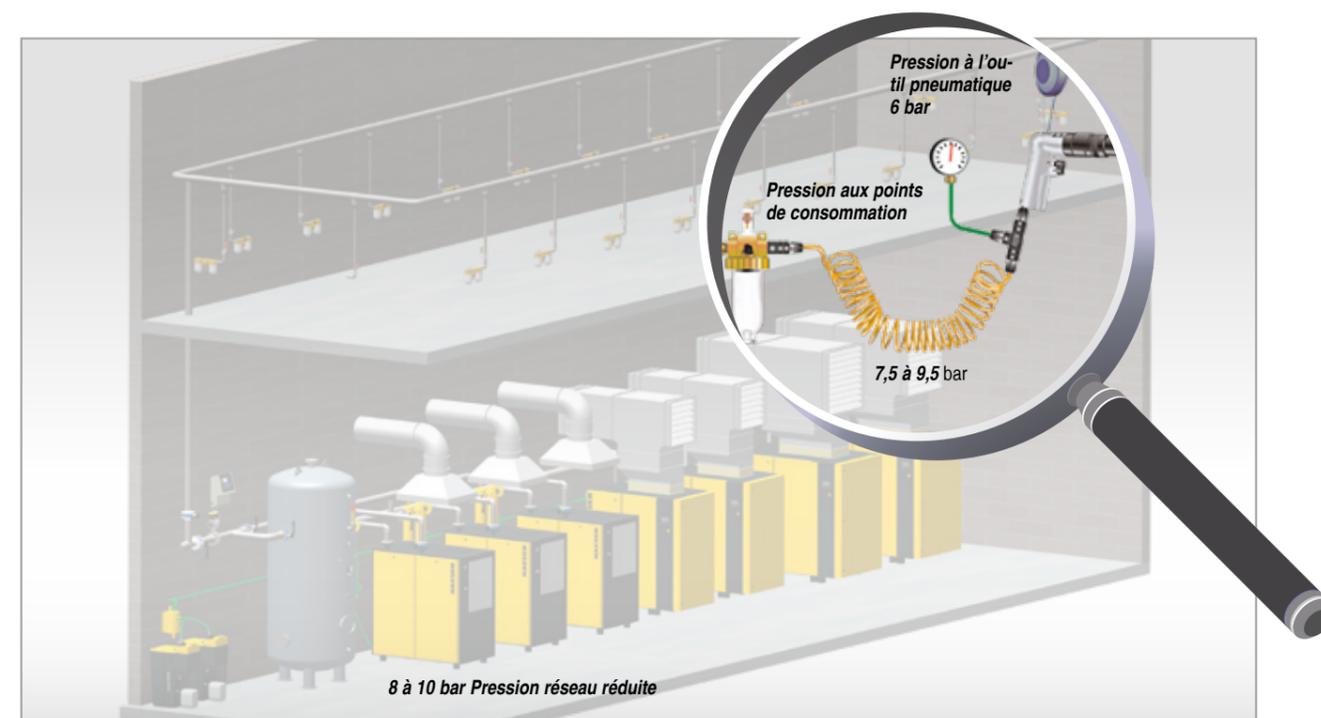
Outil raccordé par un tuyau spiralé – pression 6,0 bar en l'absence de consommation d'air 4,0 bar pendant le fonctionnement de l'outil = perte de charge de 2 bar : plus que 54 % de puissance !



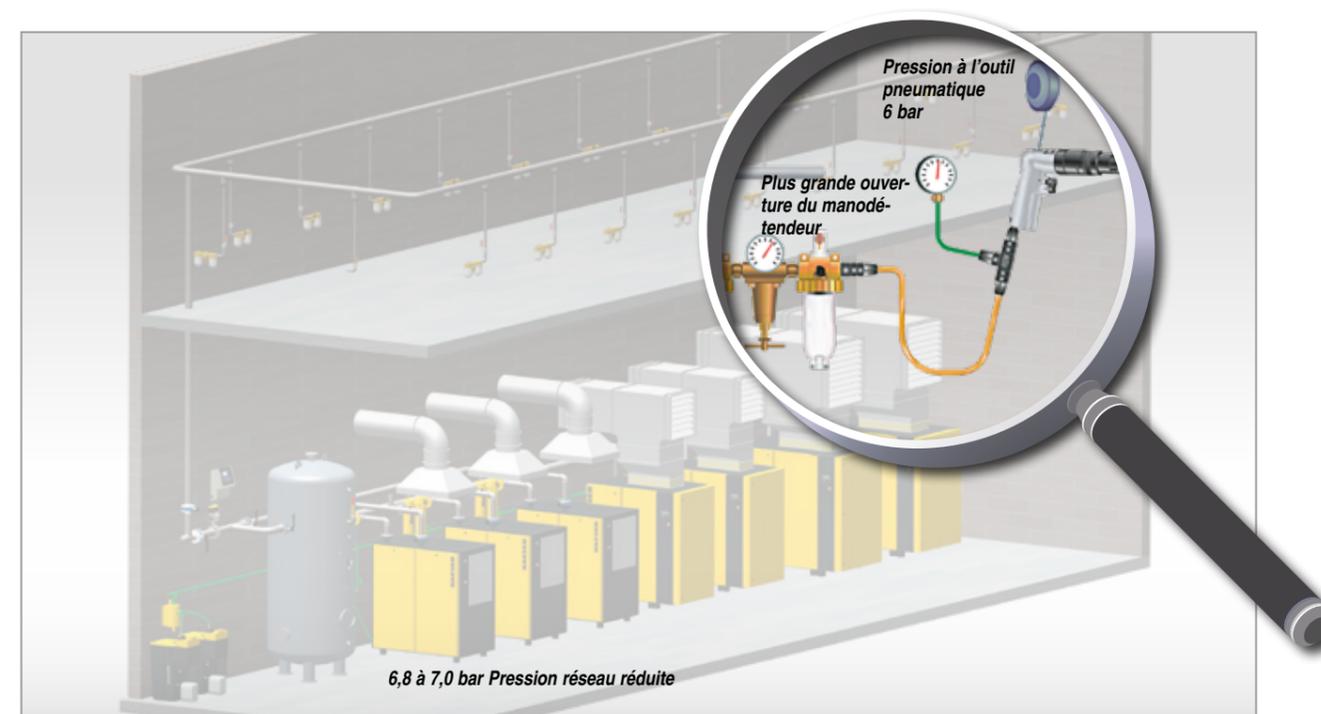
Les décanteurs et les tuyaux spiralés sont énergivores : centraliser le séchage de l'air comprimé et utiliser des tuyaux lisses – 6,0 bar pendant le fonctionnement de l'outil, 100 % de puissance

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 tuyaux 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



Au lieu de cela : abaisser la pression réseau et ouvrir plus grand les manodétendeurs

La bonne pression à l'utilisation

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

La cause se situe souvent au niveau des tuyaux, des raccords rapides ou des manodétendeurs. Mais il est également fréquent que la pression soit déjà insuffisante au niveau de la 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/ tuyau (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 :

<https://fr.kaeser.com/services/partage-de-connaissances/calculateur/perte-de-charge/>
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. Les pages 42/43 montrent un exemple de raccordement optimisé qui limite à 1 bar maxi la perte de charge entre la sortie du compresseur et l'outil pneumatique.

Consommation d'air soudaine

Lorsque des consommateurs d'air comprimé ne fonctionnent pas en permanence mais nécessitent ponctuellement un débit d'air comprimé important, un réservoir d'air comprimé décentralisé peut permettre de compenser une baisse de pression momentanée en servant de volume tampon (fig. 4). Le site Web KAESER COMPRESSEURS propose un outil de calcul des réservoirs : <https://fr.kaeser.com/services/partage-de-connaissances/calculateur/tailles-de-cuves/>

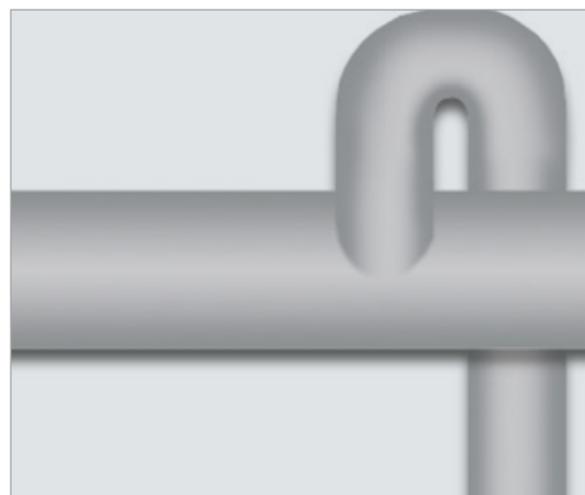


Fig. 2 : Col de cygne



Fig. 3 : Descente droite

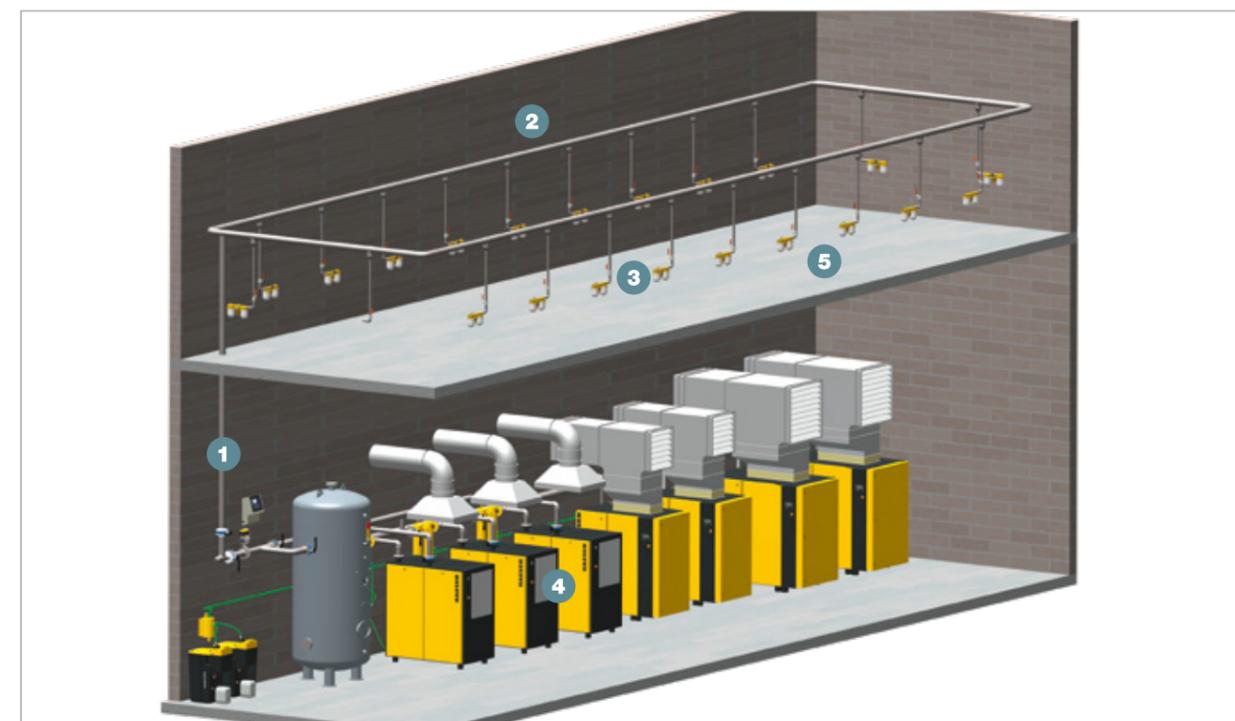


Fig. 1 : Les principaux composants du circuit de distribution d'air comprimé : conduite principale (1), conduite de distribution (2), descente (3), sécheur (4), unité d'entretien/tuyau (5)



Fig. 4 : Réservoir d'air comprimé servant de volume tampon

Distribuer efficacement 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.

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 une boucle complétée par des conduites longitudinales et transversales (**fig. 3**). De tous les types de réseaux, le réseau maillé est le plus compliqué à mettre en

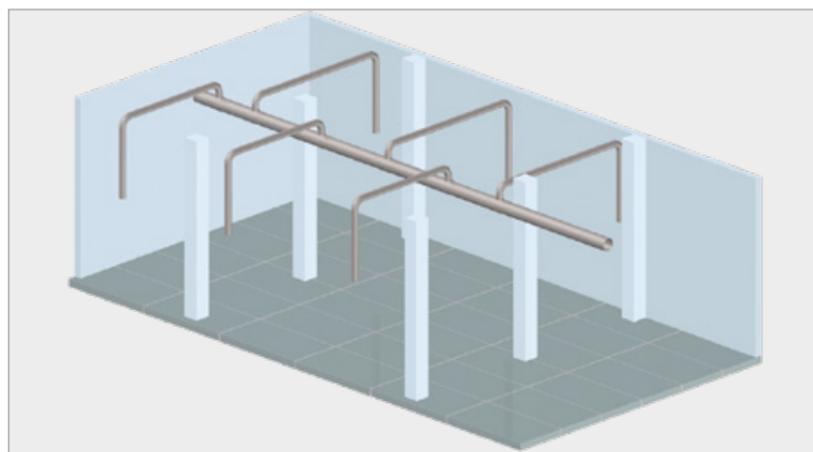


Fig. 1 : Réseau en peigne

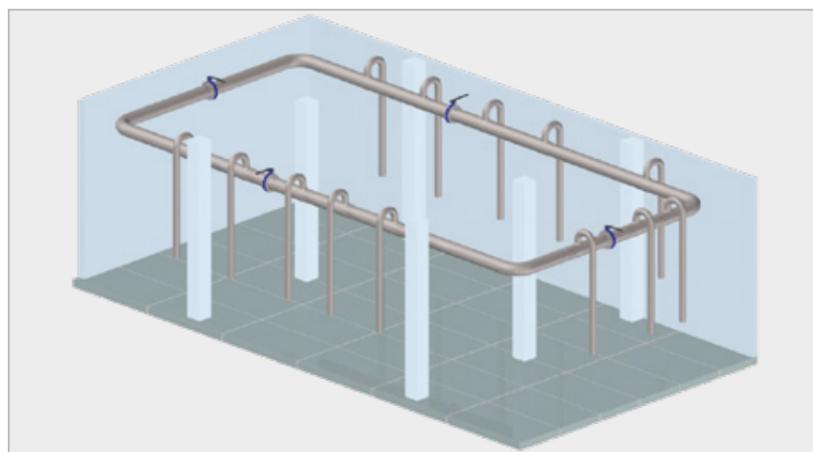


Fig. 2 : Boucle

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 autorise des sections relativement faibles, comme pour le réseau circulaire dans une petite ou moyenne entreprise. Au besoin, le réseau maillé 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**).

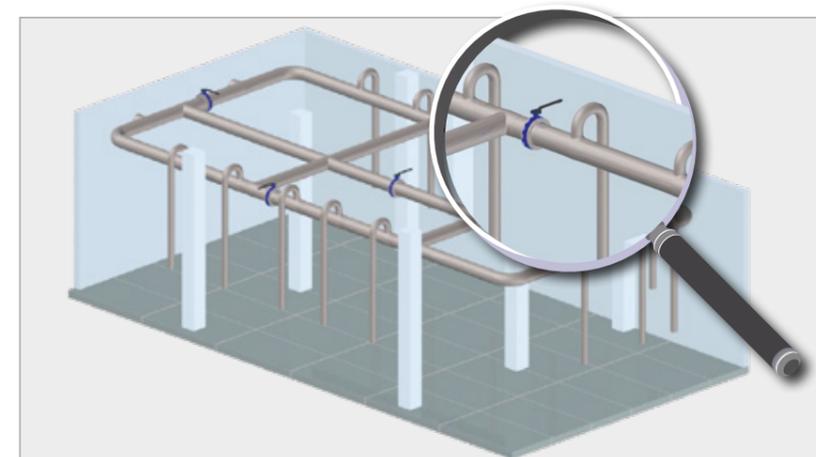


Fig. 3 : Réseau maillé

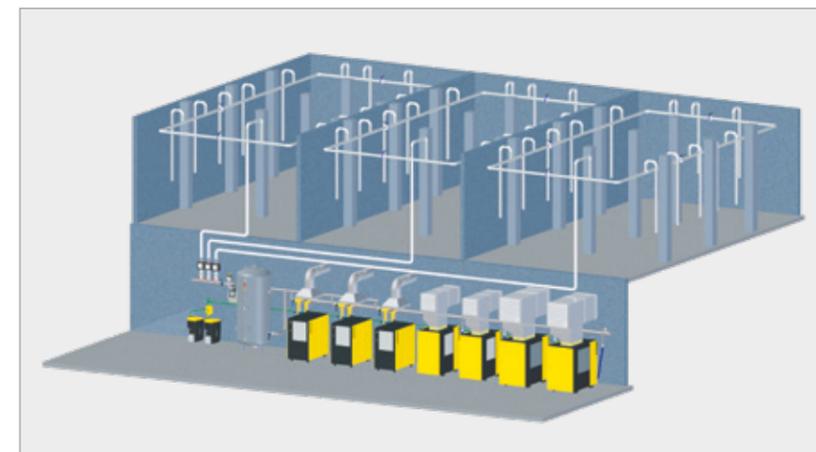


Fig. 4 : Alimentation en air comprimé avec une station centrale pour plusieurs ateliers

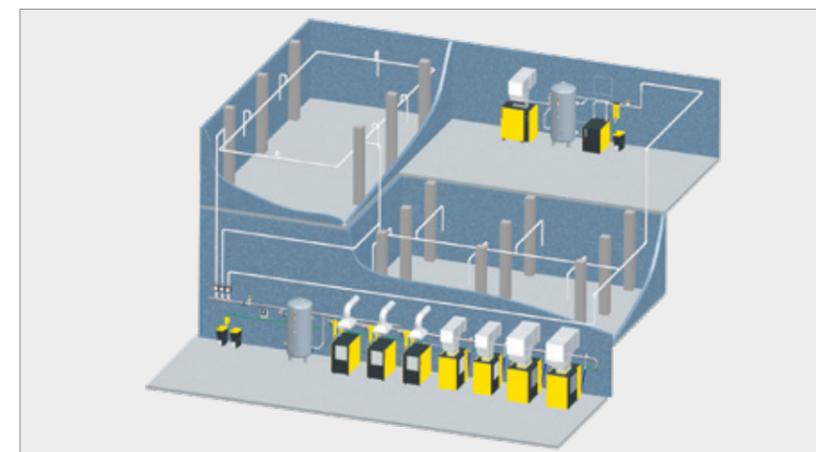


Fig. 5 : Alimentation en air comprimé avec deux stations et une régulation centralisée pour plusieurs ateliers

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 à l'installation pour assurer une sécurité de fonctionnement et une efficacité 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). Cela permet d'isoler des secteurs précis de l'entreprise en cas de besoin.

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 (fig. 3a, 3b). Les tuyaux à partir de DN 100 peuvent aussi être raccordés latéralement si le diamètre de la conduite principale est supérieur d'au moins 2 tailles au diamètre de la conduite de distribution (par exemple DN 100/DN 65).

Raccordement des compresseurs

Les compresseurs doivent être raccordés au réseau de tuyauterie avec des compensateurs élastiques pour éviter la propagation des vibrations. Pour les dimensions < DN 65, le rac-

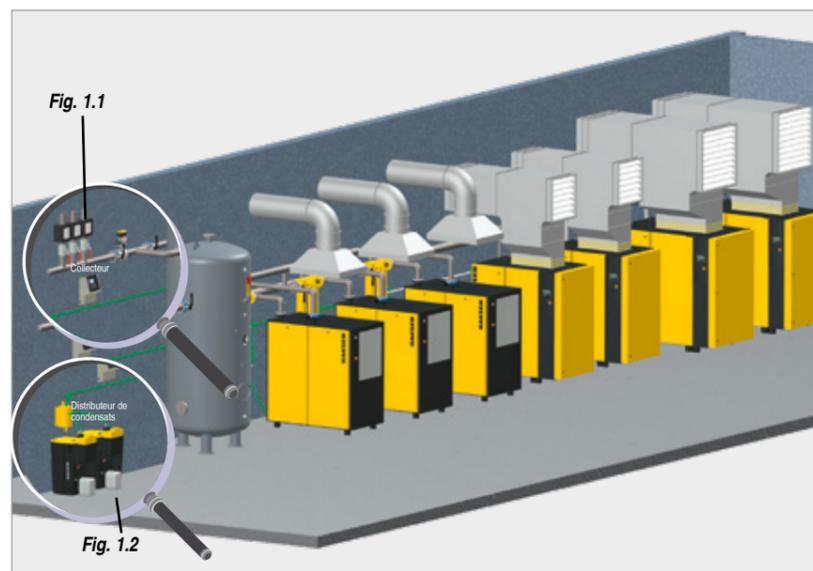


Fig. 1 : Station d'air comprimé avec collecteur

cordement élastique peut être réalisé avec des tuyaux (fig. 4). Une fixation sera prévue entre le tuyau 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 dimensions > DN 65, le raccordement antivibratoire du compresseur au réseau de tuyauterie doit être réalisé avec un compensateur axial (fig. 3b) et non avec un tuyau.

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 :

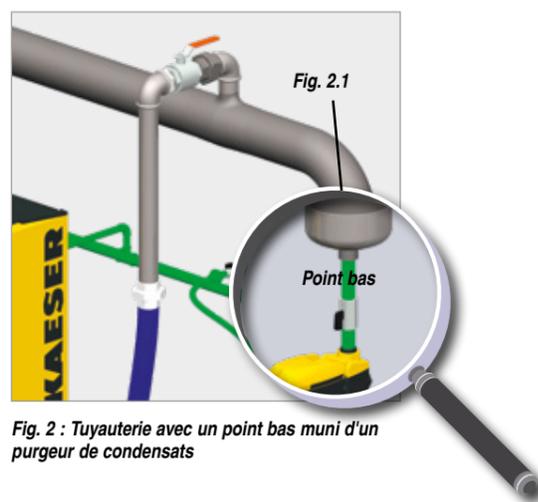


Fig. 2 : Tuyauterie avec un point bas muni d'un purgeur de condensats

Isoler les purgeurs de condensats

Les purgeurs de condensats doivent être équipés d'une vanne de part et d'autre 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 1/2 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 des 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 différents 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 16 bar

Pour les systèmes dont le niveau de pression est supérieur à 16 bar, une chambre de détente séparée est à prévoir avant l'entrée des condensats dans l'appareil de traitement.

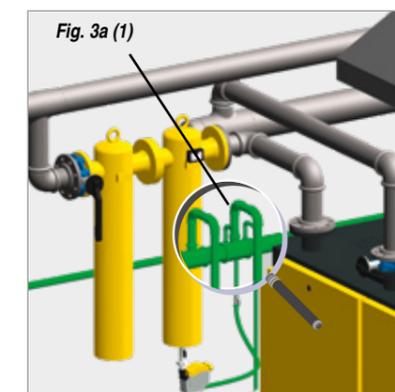


Fig. 3a : Raccordement (par le haut) du sécheur frigorifique et du purgeur de condensats



Fig. 3b : Raccordement du compresseur avec un compensateur axial

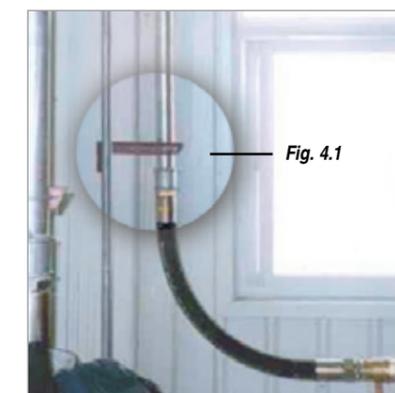


Fig. 4 : Raccordement du compresseur avec un tuyau

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 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



Fig. 1 : Une station mal entretenue

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 nattes filtrantes ou des systèmes de filtration de l'air de refroidissement (**fig. 2a, 2b**) qui ne doivent toutefois pas occasionner une perte de charge trop importante à l'aspiration.

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 sys-

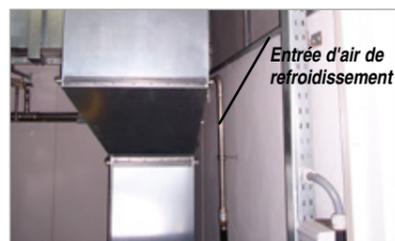


Fig. 2a : Nattes filtrantes centralisées pour l'air de refroidissement

tème. Par ailleurs, le pouvoir lubrifiant des huiles et de la graisse des roulements des compresseurs diminue 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 et une évacuation d'air insuffisantes du local compresseurs conduit à l'arrêt complet des



Fig. 2b : Système de filtration de l'air de refroidissement

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

Ventiler la station d'air comprimé

Une ventilation bien étudiée contribue à la disponibilité de l'air comprimé et permet de réduire les coûts 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. Selon le système de ventilation, la réduction peut aller de 20 à 60 %, d'où

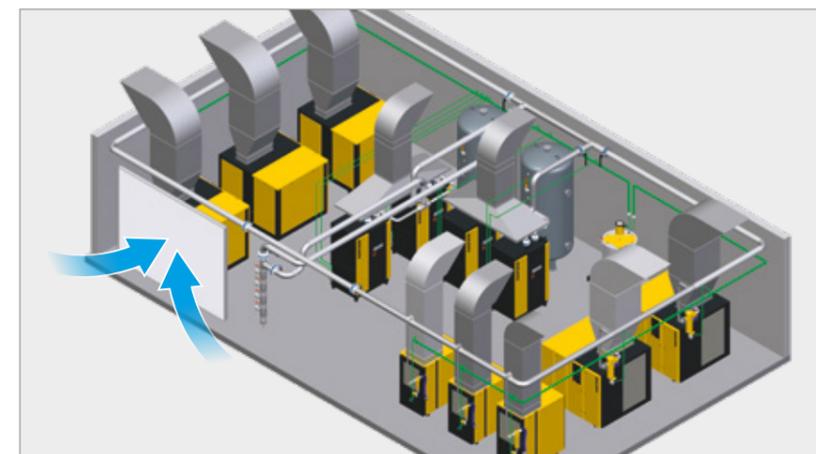


Fig. 2 : Arrivée d'air dans la station d'air comprimé

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 com-

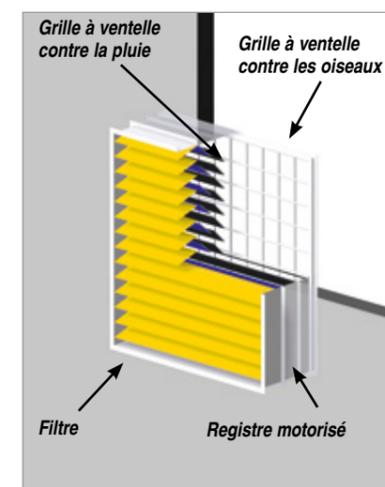


Fig. 1 : Structure du système d'arrivée d'air

mande 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 10 % de la puissance installée d'un compresseur refroidi par eau. Il faut donc veiller là aussi au dimensionnement approprié des prises d'air.

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 recirculation 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 des 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, loupe) qui est raccordée à la gaine d'évacuation par un manchon en toile (fig. 2). Ce système permet d'évacuer 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 tournant ». Des déflecteurs dans la

gaine collectrice réduisent les pertes de charge.

3. Limiter le refroidissement du local par la recirculation

Pour des températures extérieures inférieures à +5 °C, il faut installer des registres motorisés qui doivent être actionnés et s'ouvrir plus ou moins à partir d'une température de +10 °C (fig. 1). Lorsque la station toute entière est temporairement arrêtée, un chauffage d'appoint doit maintenir la température du local compresseurs à plus 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. Comme ce système d'évacuation d'air ne fonctionne pas en permanence, la gaine d'évacuation d'air ne doit pas être posée directement sur le sécheur, sauf si le sécheur est équipé d'un ventilateur intégré puissant qui dispose d'une réserve de surpression suffisante.

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 surpression 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 surpression est insuffisante, il faut prévoir des ventilateurs supplémentaires. Les registres doivent être commandés automatiquement par des thermostats d'ambiance et par les compresseurs. La surveillance des registres par une commande prioritaire (par exemple le SIGMA AIR MANAGER 4.0) est recommandée pour que leurs défauts de fonctionnement puissent être détectés rapidement et transmis à au système de contrôle-commande.

6. Le cas particulier du refroidissement par eau

Les compresseurs refroidis par eau transforment environ 10 % de leur puissance installée en chaleur et ils nécessitent donc aussi un système d'évacuation d'air chaud approprié.

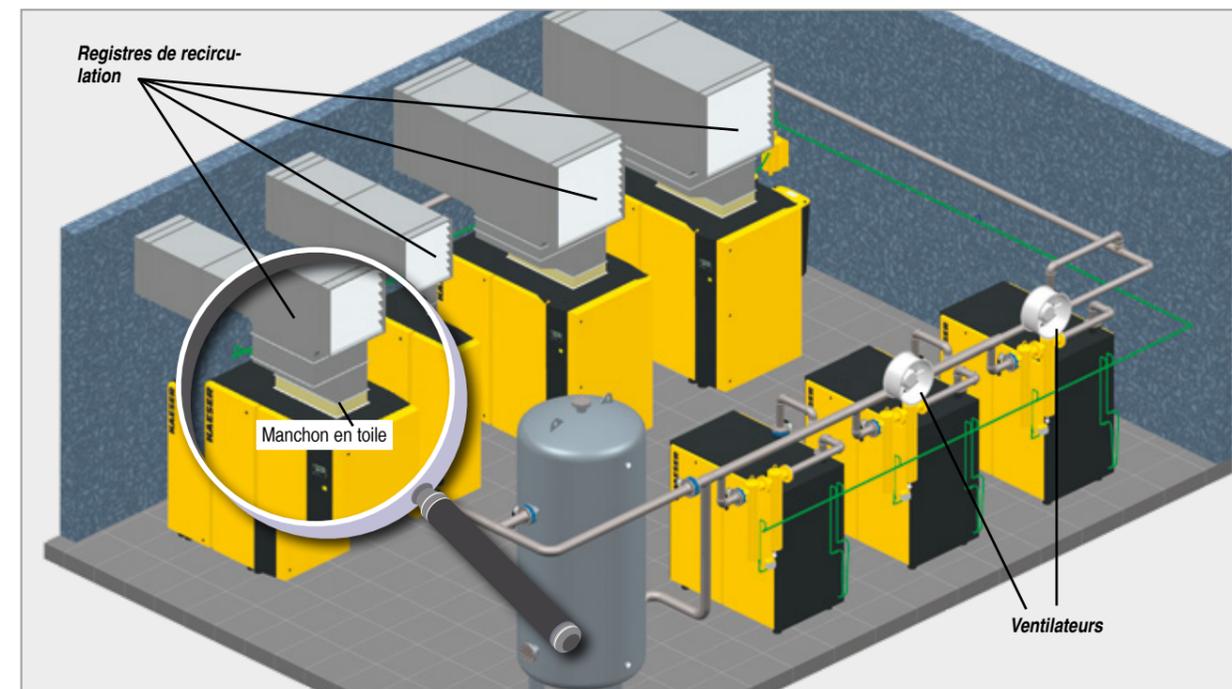


Fig. 1 : Système d'évacuation d'air avec une gaine par compresseur

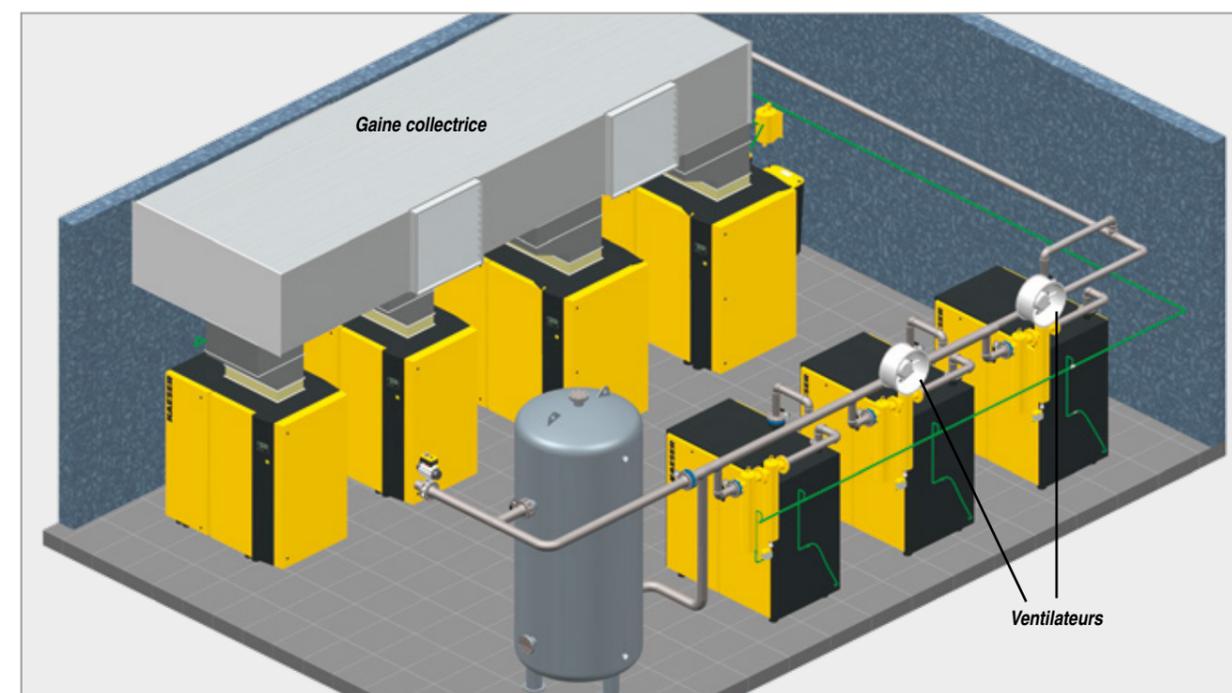


Fig. 3 : Système d'évacuation d'air avec une gaine collectrice pour tous les compresseurs

Annexe

Questionnaires
Notes

54-57

Questionnaires sur la station d'air comprimé

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 1 / 6

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"

Questionnaires sur la station d'air comprimé

Système d'économie d'énergie



3. Des compresseurs de secours (réserve de sécurité) étaient-ils utilisés précédemment ?

- oui, combien ?
- non prévus ultérieurement

4. Existe-t-il une commande prioritaire ?

- oui, laquelle ?
- non
- prévus ultérieurement :**
- Permutation de la charge de base
- Commande prioritaire SAM _/_
- Système de gestion VESIS

5. Existe-t-il un système de récupération de calories ?

- oui, usage :
- non prévu ultérieurement :

6. Quelle est la qualité d'air requise ?

(voir fiches techniques sur le traitement de l'air et le traitement des condensats)

Centrale Consommation d'air m³/min	Locale Consommation d'air m³/min	Classe de qualité d'air comprimé selon ISO/DIS 8573-1		
		Teneur résiduelle en huile	Poussière résiduelle	Eau résiduelle
<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>

Système d'économie d'énergie



7. Quelle doit être la pression maximale des compresseurs ?

7.1 Pression de travail mini nécessaire pour les outils p_{Wmin} bar_(eff.)

7.2 Pertes de charge

du réseau de tuyauterie

Matériau de la tuyauterie ou :
longueur du réseau de tuyauterie m

+
 p_R bar

de la colonne à charbon actif

p_{AKmin} bar

+
 p_{AKmax} bar

du filtre pour air stérile

p_{FSTmin} bar

+
 p_{FSTmax} bar

du filtre micronique

p_{FXamin} bar

+
 p_{FXamax} bar

des filtres combinés submicronique
et charbon actif

p_{FXmin} bar

+
 p_{FXmax} bar

d'un autre filtre

p_{FVmin} bar

+
 p_{FVmax} bar

du sécheur

+
 $p_{séch}$ bar

7.3 Écart de régulation des compresseurs

+
 $p_{Régul}$ bar

Pression maximale nécessaire des compresseurs

= $p_{maxnéc}$ bar_(eff.)

Pression minimale des compresseurs ($p_{maxnéc} - p_{Régul}$)

p_{min} bar_(eff.)

Questionnaires sur la station d'air comprimé

Système d'économie d'énergie



8. Conditions environnementales

8.1 Température d'aspiration maximale

t_{Amax} °C

8.2 Pression atmosphérique minimale (à la température d'aspiration maximale)

P_{Amin} bar

8.3 Humidité relative maximale (à la température d'aspiration maximale)

$F_{relAmax}$ %

8.4 Température d'aspiration minimale

t_{Amin} °C

8.5 Refroidissement

par air

par eau

Circuit de refroidissement fermé

Températures d'entrée d'eau de refroidissement

t_{entmax} °C

Circuit de refroidissement ouvert

t_{entmin} °C

Qualité d'eau de refroidissement : selon standard KAESER

Températures de retour d'eau de refroidissement

t_{retmax} °C

t_{retmin} °C

Pression d'eau de refroidissement

$p_{Eaurefr}$ bar_(eff.)

5 / 6

Système d'économie d'énergie



8.6 Récupération de calories

Utilisation de l'air chaud Usage :

Production d'eau chaude Usage :

Température aller

$t_{allerRC}$ °C

Température retour

$t_{retourRC}$ °C

Débit d'eau

V_{eauRC} m³/h

8.7 Conditions d'installation dans le local compresseurs

Teneur en poussière

faible

forte

Propreté

faible

forte

Ouverture de prise d'air

existante, m²

inexistante

Ouverture d'évacuation d'air

existante, m²

inexistante

6 / 6

Plus d'air comprimé avec encore moins d'énergie

Une présence globale

KAESER, l'un des plus grands fabricants de compresseurs, de surpresseurs et de systèmes d'air comprimé, est présent partout dans le monde.

Grâce à ses filiales et à ses partenaires répartis dans plus de 140 pays, les utilisateurs d'air comprimé en haute et basse pression sont assurés de disposer d'équipements de pointe fiables et efficaces.

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

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



KAESER COMPRESSEURS SRL

Heiveldekens 7A – B-2550 Kontich – Tél: +32 (0)4 222.95.41
info.belgium@kaeser.com – www.kaeser.com