



L'AIR COMPRIME

Vous n'avez jamais réellement fait attention à la consommation de votre système de production et de distribution d'air comprimé ? Alors il est probablement possible d'économiser 20 à 30% (voire même 50%) de la consommation de votre (vos) compresseur(s) par quelques mesures simples.

POINTS ABORDES DANS CE DOCUMENT

- Préambule : quelques chiffres intéressants
- La chasse aux fuites
- Le choix de la pression
- La gestion horaire du compresseur
- L'entretien du compresseur
- L'utilisation rationnelle de l'air comprimé
- L'emplacement du compresseur
- La régulation et la gestion du taux de charge du compresseur
- La gestion d'un système à plusieurs compresseurs
- Le choix d'un nouveau compresseur
- Le dimensionnement et le choix de la structure du réseau
- La récupération de chaleur

PREAMBULE : QUELQUES CHIFFRES INTERPELANTS

- 10% à 15% : c'est la part moyenne de la production d'air comprimé dans la facture d'électricité des entreprises wallonnes ;
- 30% : il arrive fréquemment que plus de 30% de l'air comprimé soit perdu sous forme de fuites avant même d'atteindre l'application dans laquelle il est utilisé ;
- 75% du coût de la production d'air comprimé provient de la consommation d'électricité (l'achat et l'installation du compresseur représentent 15% et l'entretien 10%) ;
- 50 € à 150 € : c'est le coût annuel d'un trou de ¼ mm² sur un réseau sous pression ;
- Un outil à air comprimé est 10 fois plus énergivore que son homologue électrique.

LA CHASSE AUX FUITES

L'air comprimé est un fluide qui se faufile partout. Il est par conséquent pratiquement impossible de posséder un circuit qui ne présente pas de fuite. Il est néanmoins important de s'assurer que les fuites ne représentent pas plus de 20% de la production. Avoir de meilleurs résultats est très difficile et surtout très coûteux.

Une façon aisée d'évaluer le débit de fuite d'un circuit d'air comprimé consiste à faire fonctionner le compresseur jusqu'à ce que la pression de consigne soit atteinte, puis de l'éteindre et de mesurer la chute de pression du circuit sur un laps de temps pendant lequel l'air comprimé n'est pas utilisé.

Le débit de fuite est alors donné par la formule suivante :

$$\dot{V}_{fuite} = \frac{V_{ballon} \times (P_{initiale} - P_{finale})}{laps\ de\ temps}$$

Où V_{ballon} est le volume du ballon de stockage d'air comprimé

$P_{initiale}$ est la pression de consigne du circuit d'air comprimé (exprimée en bar)

P_{finale} est la pression du circuit après le laps de temps de mesure (exprimée en bar)

Exemple fictif de calcul de débit de fuite :

Si un ballon de 300 litres perd 1 bar (passe de 8 bars à 7 bars) en 5 min, le débit de fuite est donné par :

$$\dot{V}_{\text{fuite}} = \frac{300l \times (8-7)}{5 \text{ min}} = 60l / \text{min} = 3,6m^3 / h$$

Sachant que pour produire 1 m³ d'air comprimé à 8 bars il faut environ 0,2 kWh, la puissance consommée pour compenser les fuites s'élève à 720 W. Cela représente une consommation annuelle de 1700 kWh (en considérant 2400 heures d'utilisation), soit une facture annuelle d'environ 230 €.

Si le taux de fuites ainsi défini est trop important, une campagne de localisation s'impose. Les fuites proviennent souvent des parties sensibles que sont les joints, les coudes, les raccords flexibles... Un peu d'eau savonneuse couplée à une oreille attentive devrait suffire à localiser une bonne partie des fuites.

Idéalement, cet exercice doit être répété régulièrement (au minimum trois fois par an) et doit être accompagné de la collaboration du personnel qui est le mieux placé pour détecter les fuites lors de leur apparition.

Pour information, un trou de ¼ mm² sur un réseau d'air comprimé à 6 bars est déjà responsable d'un débit de fuite de plus d'1 m³/h. Si on cumule ce débit de fuite sur le nombre d'heures de fonctionnement du circuit d'air comprimé sur une année (2400 h), on obtient un volume perdu de plus de 2400 m³, soit une facture annuelle d'environ 50 € (en considérant le kWh électrique facturé à 13 c€/kWh en heures pleines et une efficacité énergétique du compresseur de 130 Wh/Nm³).

De plus, si le compresseur n'est pas coupé les nuits et les week-ends, la facture correspondant à cette fuite s'élève alors à plus de 150 €.

LE CHOIX DE LA PRESSION

La consommation d'électricité liée à la production d'air comprimé évolue fortement avec la pression du circuit. En effet, plus la pression est élevée, plus le débit de fuites est important et moins bon est le rendement du compresseur.

Il convient dès lors de vérifier que la pression de consigne ne dépasse pas de plus de 0,5 bar la pression minimum nécessaire par les différents utilisateurs.

Réduire la pression de 1 bar permet d'économiser de 5 à 10% de la consommation du (des) compresseur(s). Une grande majorité des machines ne nécessitent que 6 bars de pression. Or il arrive fréquemment que la pression de consigne soit réglée à 7 à 9 bars par défaut sans tenir compte du besoin réel, ou parce qu'historiquement il y avait une machine qui demandait une pression élevée.

Notons que si une seule machine demande une pression plus élevée que les autres, il peut être intéressant de l'associer à un surpresseur ou de la déconnecter du réseau général d'air comprimé et de la connecter à un petit compresseur dédié.

LA GESTION HORAIRE DU COMPRESSEUR

Il est toujours plus intéressant d'éteindre (manuellement ou à l'aide d'un minuteur) les compresseurs pendant les périodes d'inoccupation plutôt que de laisser le circuit sous pression, et ce même si le compresseur semble consommer beaucoup pour remplir le circuit et le ballon de stockage. Cette consommation sera toujours inférieure à celle qui est nécessaire pour maintenir le circuit sous pression et compenser les fuites qui sont inévitables.

Il arrive également que certaines zones de l'entreprise alimentées en air comprimé aient des horaires de fonctionnement différents. Il est alors intéressant de procéder à un zonage du circuit et d'isoler certaines parties du réseau à l'aide de vannes (manuelles ou automatiques).

L'ENTRETIEN DU COMPRESSEUR

Un manque de maintenance peut être à l'origine d'un surcoût de 15% de la production d'air comprimé. Les éléments critiques à vérifier plus spécialement sont les suivants :

- **Les filtres à air** doivent être examinés suivant un programme régulier. Les éléments réutilisables doivent être nettoyés et les autres remplacés.
- **Les purgeurs** peuvent s'obstruer. Il convient de les inspecter régulièrement et de remplacer les éléments défectueux. On choisira alors préférentiellement des purgeurs dit « intelligents » qui détectent le niveau de condensat par mesure de niveau capacitifs.
- **Les échangeurs de chaleur** doivent être propres.
- La performance et la régulation **des sécheurs** doit être vérifiée. Une trop grande humidité de l'air va créer des problèmes de corrosion dans le réseau et peut être dommageable pour les machines qui y sont connectées. Néanmoins le fait de sécher l'air coûte cher en énergie et il n'est pas nécessaire d'avoir un air trop sec. Il convient dès lors de régler la consigne du sécheur de manière réfléchie éventuellement en fonction de la température extérieure.
- **L'aération du local** du (des) compresseur(s). Le rendement du compresseur est meilleur lorsque le compresseur est alimenté en air frais. L'aspiration de l'air extérieur permet d'abaisser la température de la prise d'air et de gagner plusieurs pourcents de consommation.

L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'AIR COMPRIME

Nous l'avons vu, l'air comprimé est un vecteur énergétique très coûteux. Il convient dès lors de l'utiliser de manière rationnelle.

Il faut notamment limiter au maximum l'utilisation des **soufflettes**. Si elles sont néanmoins nécessaires, il faut en abaisser la pression à moins de 4 bars (préférentiellement 2 bars) et préférer les soufflettes à venturi qui sont moins gourmandes.

Sachant qu'un appareil à air comprimé est au moins 10 fois plus énergivore que son homologue électrique, il faut limiter son utilisation au strict minimum.

L'EMPLACEMENT DU COMPRESSEUR

En cas d'installation d'un nouveau compresseur, il convient de le placer dans un local aéré. Plus l'air est frais et sec, meilleur est le rendement du compresseur. Idéalement, on puisera l'air d'aspiration à l'extérieur dans un endroit frais et ombragé (par exemple au Nord).

L'organisation du circuit a également son importance. Le mieux est de placer le compresseur le plus proche possible du poste qui consomme le plus d'air comprimé.

LA REGULATION ET LA GESTION DU TAUX DE CHARGE DU COMPRESSEUR

La consommation d'air comprimé n'est pas constante dans le temps, dès lors sa production doit être modulée/réglée pour correspondre au volume d'air consommé. Plusieurs systèmes de régulation sont possibles :

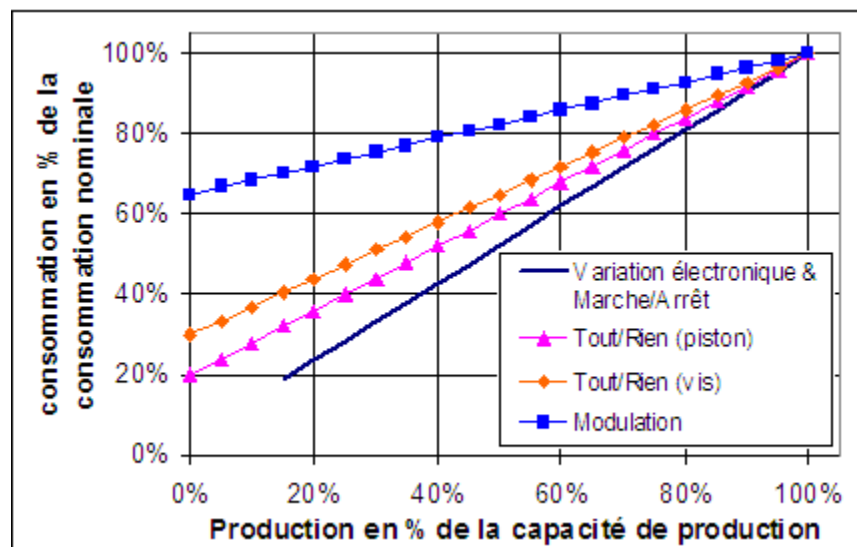
- **Le mode « Marche-Arrêt »** (pour les compresseurs à pistons, à vis et à palettes) : Deux valeurs de consigne de pression sont données au compresseur. Lorsque la pression du circuit descend en dessous de la consigne la plus basse (par exemple 7 bars) le compresseur se met en marche et produit de l'air comprimé jusqu'à atteindre la seconde consigne de pression (par exemple 8 bars). Lorsque cette seconde consigne est atteinte, le compresseur s'arrête jusqu'au moment où la pression redescend en dessous de la consigne basse (7 bars). Ce type de régulation est généralement associée à des petits compresseurs (<35m³/h). Elle présente un rendement relativement bon mais les séquences ON/OFF à répétition du moteur électrique présentent certains problèmes (usure du moteur, appel de puissance brusque sur le réseau, création d'harmoniques sur le réseau...). La consigne basse sera généralement choisie comme étant la pression minimum nécessaire du circuit et la consigne haute sera 0,5 à 1 bar plus élevée. En la choisissant plus basse, la fréquence de séquence ON/OFF du moteur sera plus élevée avec les problèmes que cela engendre. En la choisissant plus haute, on perdra en rendement de l'installation car la pression moyenne au sein du circuit d'air comprimé sera plus importante (le rendement du compresseur sera donc moins élevé et les fuites plus importantes).
- **Le mode « tout ou rien » par étranglement à l'aspiration** (pour les compresseurs à pistons, à vis et à palettes) : Le principe de fonctionnement de ce mode de régulation est similaire au mode Marche/arrêt, sauf qu'au lieu d'éteindre le moteur du compresseur lorsque la pression de consigne supérieure est atteinte, le moteur est maintenu en fonctionnement tandis qu'une vanne coupe l'alimentation en air neuf. Par conséquent le compresseur tourne dans le vide et ne consomme plus que 20 à 30% de sa puissance nominale (à comparer avec 0% de consommation pour le mode Marche/Arrêt). Ce mode permet donc d'éviter les séquences d'allumage du moteur électrique du compresseur, mais entraîne une consommation d'énergie supplémentaire.
Notons que pour ce type de régulation, le moteur est parfois complètement coupé si la période de marche à vide dépasse une certaine durée.

- **La régulation par modulation** (seulement pour les compresseurs à vis): Une vanne bypass modulante permet d'évacuer l'excès d'air comprimé et de l'injecter au niveau de l'alimentation du compresseur en fonction de la demande. Cette méthode de régulation offre un réglage assez fin de la pression. Mais le fonctionnement du compresseur en dehors de sa zone de fonctionnement optimale conduit à une efficacité énergétique assez faible (surtout pour des taux de charge faibles).
- **La variation électronique de vitesse** : Un variateur électronique de fréquence permet de faire varier la vitesse de rotation du moteur du compresseur en fonction du besoin réel en air comprimé sur une large plage de vitesse (de 15 à 100% de la vitesse nominale). Ce mode de régulation permet un réglage fin de la pression du circuit et offre un rendement presque optimal (la consommation électrique est quasi proportionnelle à la consommation d'air comprimé).

Le **taux de charge** d'un compresseur est la part d'air comprimé produit par rapport à la capacité de production du compresseur. Dans le cas d'une régulation par mode Marche/Arrêt, le taux de charge est donc la proportion de temps pendant laquelle le moteur du compresseur tourne.

Suivant le taux de charge du compresseur, la puissance absorbée par le compresseur peut fortement varier en fonction de la régulation choisie.

Le graphique suivant reprend la consommation électrique du compresseur en fonction du taux de charge pour les différentes régulations possibles.



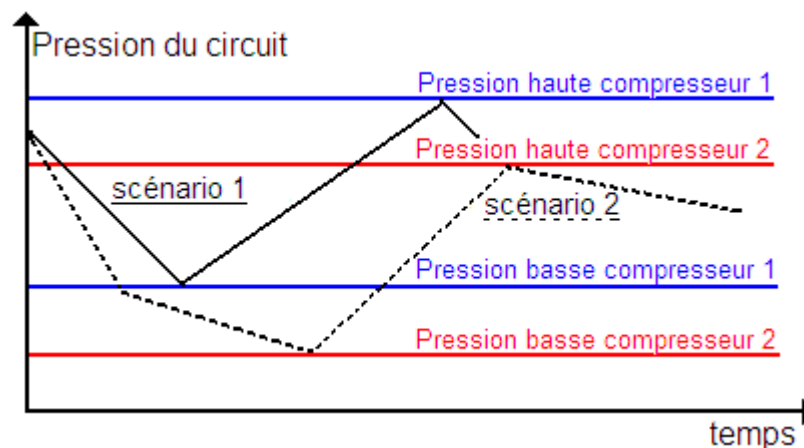
Nous constatons que pour une consommation assez constante avec un taux de charge proche du maximum, le choix de la régulation a peu d'influence sur la consommation électrique. Par contre, si le taux de charge est bas (ce qui est régulièrement le cas dans les entreprises où l'intensité de l'activité est variable), il faut privilégier la variation électronique de vitesse.

LA GESTION D'UN SYSTEME A PLUSIEURS COMPRESSEURS

La production d'air comprimé est souvent assurée par plusieurs petits compresseurs plutôt que par un unique gros compresseur. En effet, cette solution offre une plus grande sécurité de disponibilité d'air comprimé (en cas de panne), une plus grande souplesse pour l'organisation de la maintenance et permet aussi une optimisation de la production en fonction de la demande, ce qui est une source d'économies d'énergie.

Il y a différentes façons de réaliser la gestion de plusieurs compresseurs :

- **L'utilisation en cascade des compresseurs** : cette méthode très simple est utilisée avec une régulation Marche/Arrêt des compresseurs. Ces derniers travaillent sur des plages de pression qui se chevauchent mais qui sont décalées l'une par rapport à l'autre. Prenons l'exemple d'un système à deux compresseurs et considérons les cas où un compresseur suffit à produire la demande d'air comprimé, et le cas où il ne suffit pas.



Dans le scénario 1 (un seul compresseur suffit), on démarre avec une pression initiale qui diminue car il y a une demande d'air comprimé et les deux compresseurs sont à l'arrêt. Lorsque la pression atteint la consigne de pression basse du premier compresseur, ce dernier se met en marche et la pression augmente dans le circuit.

Dans le scénario 2 (un seul compresseur ne suffit pas), lorsque la pression de consigne basse du premier compresseur est atteinte, ce dernier se met en route, mais ne peut pas fournir suffisamment d'air comprimé pour compenser la demande. Par conséquent la pression continue de descendre jusqu'à atteindre la consigne basse du second compresseur qui se met alors en marche et qui permet de remonter la pression dans le circuit.

Un troisième compresseur aurait pu être utilisé avec une plage de pression légèrement inférieure à celle du deuxième compresseur si ça ne suffisait toujours pas, etc.

Les plages de pressions des différents compresseurs ne doivent pas être trop étroites pour éviter que les séquences ON/OFF des moteurs des compresseurs ne soient trop fréquentes. Elles ne doivent cependant pas être trop larges ni trop espacées pour éviter que la pression

moyenne du circuit ne soit trop élevée par rapport au besoin réel (qui correspondra à la pression de consigne basse du dernier compresseur de la cascade).

Pour cette méthode de mise en cascade des compresseurs, nous constatons qu'à faible charge, la pression est (beaucoup) plus élevée que la pression nécessaire, dès lors le rendement de compresseur est moins élevé et les fuites plus importantes.

- L'utilisation d'un compresseur à vitesse variable en appoint :** Cette méthode est plus complexe et un peu plus coûteuse, mais elle offre une très bonne efficacité énergétique. L'utilisation du compresseur à vitesse variable permet de faire fonctionner les autres compresseurs à pleine charge, et donc à leur rendement maximum.

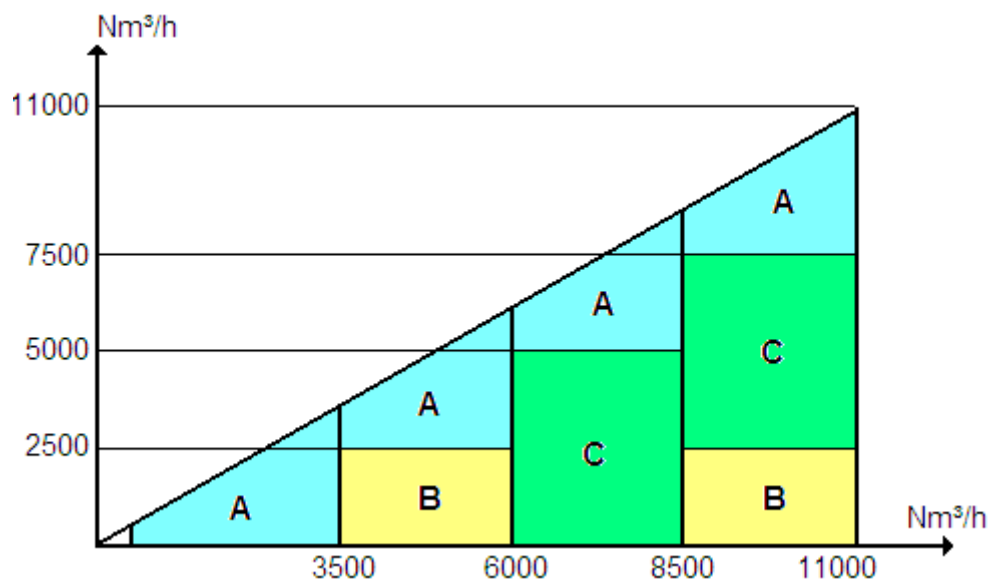
Imaginons le système constitué des compresseurs suivants :

Un compresseur **A** de débit maximal de 3500 Nm³/h à vitesse variable

Un compresseur **B** de débit maximal de 2500 Nm³/h utilisé en Marche/Arrêt

Un compresseur **C** de débit maximal de 5000 Nm³/h utilisé en Marche/Arrêt

Sur le graphique suivant, nous constatons que pour tous les débits d'air comprimé utilisé, il y a toujours la possibilité de ne travailler qu'avec des compresseurs en pleine charge ou à vitesse variable.



- La gestion centralisée du système d'air comprimé :** En réalité, les méthodes de gestion des systèmes à plusieurs compresseurs sont multiples et peuvent être assez complexes. Elles peuvent notamment intégrer le fait qu'un compresseur à vitesse variable présente un rendement optimal pour un débit bien précis. En combinant plusieurs compresseurs à vitesse variable, il est possible de répartir les débits à travers les différents compresseurs de telle sorte que le rendement global soit optimal. Il est également possible d'intégrer l'usure des compresseurs dans leur utilisation afin d'optimiser leur programme de maintenance...

LE CHOIX D'UN NOUVEAU COMPRESSEUR

Il existe de nombreux types de compresseurs. Pour ne citer que les plus souvent rencontrés en atelier, nous trouvons notamment les compresseurs à vis lubrifiées (qui représentent la plus grosse part de marché) et non lubrifiées, les compresseurs à pistons, les compresseurs à palettes et les compresseurs centrifuges radiaux.

De manière générale, il n'y a à priori pas un type de compresseur meilleur que les autres, chacun est justifié pour certaines applications.

Dans le choix d'un nouveau compresseur, les spécificités suivantes doivent être considérées :

- Les besoins minimum, maximum et moyen en air comprimé (et si disponible, le profil de consommation) ;
- La plage de pression du circuit ;
- Le type de régulation (Marche/Arrêt, Tout/Rien, Variation électronique de Vitesse) et l'association à d'éventuels autres compresseurs ;
- Le nombre d'heures de fonctionnement par an ;
- La qualité de l'air requise (humidité, présence d'huile,...) ;
- Le niveau de bruit ;
- L'endroit où il va être installé (température ambiante, humidité relative, altitude) ;

Dans l'étude des différentes offres, l'attention doit être portée tout particulièrement sur les paramètres suivants :

- Le coût d'investissement ;
- Le coût de fonctionnement sur 5 à 10 ans (coût de maintenance et efficacité énergétique à pleine charge et à charge partielle) du compresseur **ET** du système de traitement d'air pour le mode de régulation choisi ;
- La qualité de l'air ;
- La tolérance du débit et de la pression ;
- La possibilité de récupérer la chaleur dégagée par le compresseur.

LE DIMENSIONNEMENT ET LE CHOIX DE LA STRUCTURE DU RESEAU

Le dimensionnement et le choix de la structure du réseau d'air comprimé ne doivent pas être négligés.

Des **canalisations sous-dimensionnées** (reconnaissables par le sifflement de l'air au sein même des canalisations) sont responsables d'une surconsommation à la production. En effet, elles sont le siège de pertes de charge importantes qui obligent d'augmenter la pression à la production (et donc de réduire le rendement du compresseur et d'augmenter les pertes par fuites). Si le réseau

actuel est sous-dimensionné, il n'est pas forcément nécessaire de le remplacer. Des mesures moins coûteuses suffisent souvent : le doublage de certaines portions du réseau, le bouclage de certaines parties du réseau, la pose de petits réservoirs tampon...

Des **vannes** (manuelles ou automatiques) bien placées permettent un **zonage du réseau** d'air comprimé et de déconnecter les parties du réseau qui ne sont pas utilisées afin de limiter les fuites.

Le **ballon de stockage** doit être correctement dimensionné en fonction de la capacité de production des compresseurs, de l'évolution de la consommation d'air comprimé et du choix de la régulation. Un ballon de stockage sous-dimensionné aura pour conséquence une fréquence élevée de séquence Marche/Arrêt ou Charge/à vide.

Une règle de bonne pratique est de prendre comme capacité du ballon la capacité de production des compresseurs de la centrale en une minute.

LA RECUPERATION DE CHALEUR

La production d'air comprimé s'accompagne d'un dégagement important de chaleur. En effet, près de 90% de la consommation du compresseur est transformée en chaleur. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle les compresseurs sont munis d'un système de refroidissement.

En pratique, il est possible de récupérer 60% de la chaleur dégagée. Il est dès lors recommandé de la valoriser, notamment dans le système de chauffage ou de production d'eau chaude.



Dernière révision : avril 2011

Document réalisé par :



Union Wallonne des Entreprises

Chemin du Stocquoy 3

B-1300 WAVRE

Tél: 010/47.19.43

environnement@uwe.be

www.environnement-entreprise.be

Avec le soutien de :

