

Dans le fonctionnement d'un compresseur, il existe un phénomène destructeur qu'il est absolument impératif d'éviter : le "pompage".

Définition :

Par principe, le compresseur est relié à deux réseaux aux pressions différentes, l'aspiration (basse pression) et le refoulement (haute pression).

Le pompage d'un compresseur se produit lorsque le réseau à haute pression du refoulement se vide dans le réseau à basse pression de l'aspiration par un débit à contre courant dans le compresseur.

Ce phénomène, qui peut avoir plusieurs causes, provoque une instabilité momentanée du réseau d'aération (cas où le gaz est de l'air).

Quand le réseau de refoulement s'est suffisamment vidé dans l'aspiration, le compresseur retrouve des conditions de fonctionnement lui permettant de rétablir le débit dans la bonne direction, jusqu'à ce qu'un nouveau cycle d'instabilité recommence.

Ces grandes fluctuations de débit portent donc le nom de pompage, en raison de la nature oscillatoire du phénomène de va-et-vient du débit.

Conséquences :

Chaque inversion de sens du débit d'air représente un choc violent pour la chaîne cinématique du compresseur, et pour l'alimentation électrique du moteur principal.

Les constructeurs prévoient donc des coefficients de sécurité en conséquence et des capteurs de pompage, mais les effets du pompage sont rapidement destructeurs, soit immédiatement, soit progressivement par fatigue des éléments soumis au chocs répétés.

Conséquences : ruptures d'ailettes sur les compresseurs, fortes vibrations radiales et destruction des paliers, usure prématurée des moteurs électriques, éclatement de tyauteries du réseau d'aération.

Pour éviter les destructions, les constructeurs prévoient des capteurs de pompage, ou de retour de débit, qui coupent l'alimentation générale du moteur principal. Ainsi le pompage est moins long et les pièces mécanique sont moins sollicitées. Mais ces capteurs n'anticipent pas le problème puisqu'ils sont déclenchés par lui.

Les autres sondes de protection (température, pression différentielle...) permettent en théorie d'anticiper le phénomène, en maintenant le compresseur dans sa plage normale de fonctionnement, mais le pompage se produit par définition lorsque le compresseur est utilisé dans des conditions qui dépassent ses limites de performances.

Conditions déclenchant le pompage :

Des conditions de fonctionnement qui dépassent les limites de performances des compresseurs arrivent en pratique relativement fréquemment :

- pas minimum de fermeture de vanne de régulation trop important, générant une onde de surpression dans le refoulement, qui sera détectée par le capteur de pompage déclenchant un arrêt de la puissance : un pompage « léger » se produit alors. La puissance du moteur étant coupée, les dommages sur le compresseur sont rares.
- fermeture totale ou trop rapide de la vanne de régulation (cellule en lavage, perte de réseau par l'automate des vannes, etc.) qui entraîne une surpression au-delà de la pression différentielle maximum du turbo : dans ce cas le pompage est inévitable par dépassement de la puissance maximum de construction du turbo.
- fonctionnement en été par des températures d'air dépassant la température maximum de calcul du turbo : depuis quelques années, notamment en 2003, le nord de la France connaît parfois des journées à 36 ou 38 °C, pour des machines auparavant conçues pour 35 °C maximum. Le fonctionnement du compresseur ne peut plus être assuré, quel que soit son débit.
- fonctionnement avec des pertes de charges croissantes au fil des années du fait du colmatage progressif des aérateurs de bassins. Il arrive un moment où le compresseur est sollicité avec une contre-pression supérieure à sa pression différentielle maximum. Le pompage peut alors se produire à tout moment, en fonction du débit demandé et de la température d'air d'aspiration. Le danger pour l'exploitation est de

s'habituer à ce fonctionnement décalé pendant les mois les plus frais de l'année, car dès l'arrivée des premières températures élevées, le pompage sera inévitable et se répètera tant que les aérateurs n'auront pas été décolmatés. De même, les filtres à air à l'aspiration doivent être souvent vérifiés et changés.

- démarrages d'extracteurs d'air trop puissants dans les salles de machines. Ces extracteurs sont parfois calculés trop largement, afin d'assurer une bonne réfrigération, et cela peut conduire à une dépression importante des salles si les entrées d'air ne sont pas dimensionnées convenablement (ouverture des portes difficiles). Cela conduit aussi à des conflits dans le cas de turbos aspirant dans la salle, si le débit d'air extracteur est supérieur au débit d'air turbo.

Chacune de ces conditions peut à elle seule déclencher le pompage, mais en exploitation il arrive souvent que ces problèmes se cumulent, augmentant d'autant le risque de faire survenir le phénomène.

En pratique, dans les cas où la température maximum de l'air aspiré et les pertes de charges nominales sont respectées, 99% des cas de pompage de compresseurs sont dus à la régulation des vannes de bassins ou à des problèmes de communication entre automates.

Pourquoi le pompage est-il destructeur :

Pour bien comprendre l'origine de la destruction des pièces lors du pompage, il faut garder à l'esprit que la puissance du moteur est ajustée au point de fonctionnement maximum du compresseur, soit au point réunissant les 4 paramètres suivants :

- Température d'aspiration maximum
- Hygrométrie maximum
- Pression différentielle maximum
- Débit d'air maximum

La puissance du moteur électrique sera calculée pour répondre à ce point de fonctionnement extrême, plus une légère marge de sécurité de construction, pour éviter toute surconsommation d'énergie inutilement coûteuse. Les turbos étant à l'origine d'environ 50 % de la consommation énergétique des usines d'épuration, on comprend l'intérêt de les calculer strictement pour les besoins de chaque usine.

Si le point de fonctionnement imposé au compresseur est supérieur à son point de calcul maximum (marge de sécurité incluse), la puissance de la poche d'air "sur-compressé" par une fermeture rapide de vanne devient alors supérieure à la puissance du compresseur. La détente de l'air vers le réseau d'aspiration est alors inévitable.

Dans le pire des cas, si l'étanchéité de la chambre de compression est très élevée, ce qui est en général le cas pour assurer un bon rendement de compression, la détente peut bloquer brièvement le la roue et l'arbre grande vitesse du compresseur (rotor). La denture de l'engrenage du multiplicateur entre arbre d'entrée et arbre grande vitesse encaisse alors la totalité du couple maximum du moteur, la vitesse de rotation étant nulle.

Le moteur subit un violent appel de courant identique à un démarrage jusqu'au dépassement de sa puissance maximum.

Dans ce cas il est fréquent que la totalité de l'énergie se libère par la casse des dents de l'engrenage.

Entre temps, compte tenu de la vitesse de rotation de la roue (15 000 à 20 000 t/mn) et de la durée du pompage ($1/10^{\text{ème}}$ de secondes minimum), le rotor aura effectué au moins 25 à 30 tours dans des conditions de chocs mécaniques. Il s'en suit fréquemment une rupture des paliers et des chocs de la roue à aubes contre son carter. Le compresseur est alors détruit.

Mais ce n'est pas fini :

Après cette détente violente, si le compresseur n'est pas arrêté ou détruit, il retrouve des conditions de pression favorables et refoule à nouveau l'air aspiré, pour bloquer à nouveau si la vanne de régulation continue de se fermer. Et ainsi de suite !

C'est ce va-et-vient d'air au refoulement qui a donné ce terme de « pompage » des compresseurs.

Il est clair que si le pompage dure plusieurs secondes et que le multiplicateur ne casse pas, c'est le moteur électrique qui pourra flasher du fait des contraintes électriques imposées au bobinage par les blocages successifs, assimilables à des démarrages en cascade.

Ce pompage peut aussi seulement fragiliser le bobinage et générer un flash du moteur ultérieurement, sans raison apparente au moment où il survient : il faudra alors se souvenir des pompages pour en comprendre la cause.

Comment éviter les pompages :

On voit qu'il est impératif de ne pas soumettre les compresseurs centrifuges à des conditions de fonctionnement supérieures à leur point de calcul maximum, car la casse est alors inévitable avec des conséquences financières importantes.

Quelques recommandations :

- une régulation la plus lente possible en fonction du process pour éviter les a-coups
- une fermeture lente (3 minutes mini) et progressive des vannes de bassin
- une maintenance rigoureuse des sites et des machines pour garantir le fonctionnement nominal.

Enfin l'une des solutions préconisées par ASSET et HV-TURBO pour éviter ces pompages est de confier à un automate intégré la gestion des vannes de bassin et des turbos.

Voir notre descriptif du **système ABC (Air Bio Control)** sur notre site Web [www:http://assetcomp.com](http://assetcomp.com)

Les compresseurs HV-TURBO sont conçus pour fonctionner plus de 40 ans si nos recommandations sont suivies et nos documents d'exploitation respectés.

Il y a à ce jour plus de 7000 compresseurs HV-TURBO en service dans le monde.