

We will be under the same roof

*Ingénierie des Procédés- Etudes Générales
Audits Energétiques- Cogénération*

GUIDE AIR COMPRIME

Date : 01/2008
Rév. : 0
Par : PARTNERS

18, rue Nelson Mandela 2045 L'Aouina-Tunis
Tél. : (00 216) 71 724 032/760 110 – Fax : (00 216) 71948 402/71 760 110/724 032
Mobile : (00 216) 98 270 992
e-mail : nejib.boujnah@partners-tun.com
Site web : partners-tun.com

SOMMAIRE

1-CARACTERISTIQUES DE L’AIR :	3
1.1. COMPOSITION :	3
1.2. MASSE VOLUMIQUE :	3
1.3. HUMIDITE :	3
1.4. ENTHALPIE SPECIFIQUE :	3
1.5. CONDUCTIVITE THERMIQUE :	4
2. THEORIE DE COMPRESSION :	4
3. PRODUCTION D’AIR COMPRIME :	5
3.1. CIRCUIT D’AIR COMPRIME :	5
3.2. LE FILTRE A PARTICULES :	6
3.3. LE COMPRESSEUR :	6
3.4. LE REFROIDISSEUR :	7
3.5. LE FILTRE SEPARATEUR D’HUILE :	7
3.6. LES PURGEURS:	7
3.7. LE RESERVOIR D’AIR :	7
3.8. LE SECHEUR D’AIR :	8
3.9. LE RESERVOIR TAMPON :	8
3.10. UNITE DE TRAITEMENT :	8
4. PARAMETRES ENERGETIQUES :	9
4.1. PUISSANCE D’UN COMPRESSEUR:	9
4.2. TEMPERATURE A LA FIN DE COMPRESSION:	10
4.3. PRESSION A LA FIN DE COMPRESSION:	10
5. OPTIMISATION D’UN CIRCUIT D’AIR COMPRIME :	11
5.1. REGULATION :	11
5.2. PERTES DE CHARGES :	12
5.3. LES FUTTES :	13
6. LA MAINTENANCE :	13
7. DIAGNOSTIC DES SYSTEMES D’AIR COMPRIME :	14

1-CARACTERISTIQUES DE L'AIR :

1.1. COMPOSITION :

- Azote (**N₂**) :78,08%
- Dioxyde de carbone **CO₂** : 0,03%
- Dioxygène (**O₂**) : 20,95%
- Argon (**Ar**) : 0,93%
- Néon (**Ne**), Krypton (**kr**), Hélium (He) :0,01%

1.2. MASSE VOLUMIQUE :

La masse volumique d'air sec (en kg/m³) sous pression atmosphérique est donnée par la relation suivante :

$$\rho = 1,293 \cdot 273 / (273 + T)$$

Avec T : La température d'air sec en [°C]

1.3. HUMIDITE :

Connaissant la pression de vapeur d'eau (P_{sat}) et le degré hygrométrique de l'air (%H) à une température donnée, on peut déduire l'humidité absolue r par la formule suivante :

$$r = 0,622 \times \frac{\%H \times P_{sat}}{100 \times P - \%H \times P_{sat}}$$

Avec :

- r : Humidité absolue [Kg/Kg_{as}],
- T : Température [°C] entre 0 et 60°C
- P_{sat} : Pression de vapeur saturante [Pas].

1.4. ENTHALPIE SPECIFIQUE :

C'est l'enthalpie d'une quantité d'air humide qui contient l'unité de masse d'air sec. Elle s'exprime en (Kcal/Kg_{as}) et donnée par la formule suivante :

$$h = 0,24 T + r (595 + 0,47 T)$$

Avec :

- r : humidité absolue [Kg/Kg_{as}],
- T : Température d'air humide [°C]

1.5. CONDUCTIVITE THERMIQUE :

À pression atmosphérique, la conductivité de l'air λ est donnée par la formule suivante :

$$\lambda = 6.10^{-5} T + 0,0258$$

Avec :

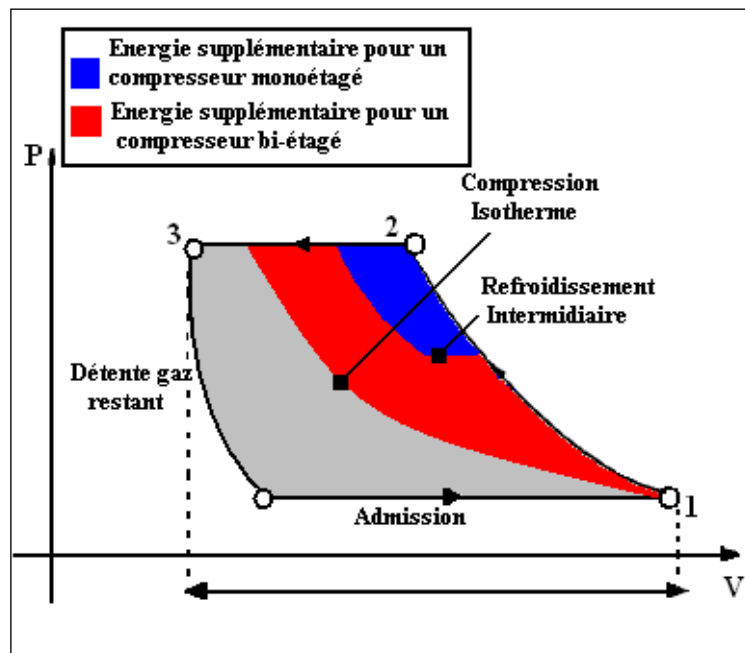
- λ : Conductivité de l'air [W/mK]
- T : Température d'air humide [°C]

2. THEORIE DE COMPRESSION :

Généralement on trouve 3 types de compression :

- Compression isothermique: optimum théorique, obtenue par succession de refroidissement.
- Compression adiabatique (sans échange de chaleur): consommation maximale d'énergie.
- Compression poly tropique: Cas réel où l'on s'efforce d'approcher l'isotherme par refroidissement

Le diagramme théorique de compression, ci-dessous, montre l'énergie consommée dans les différents types de compression:

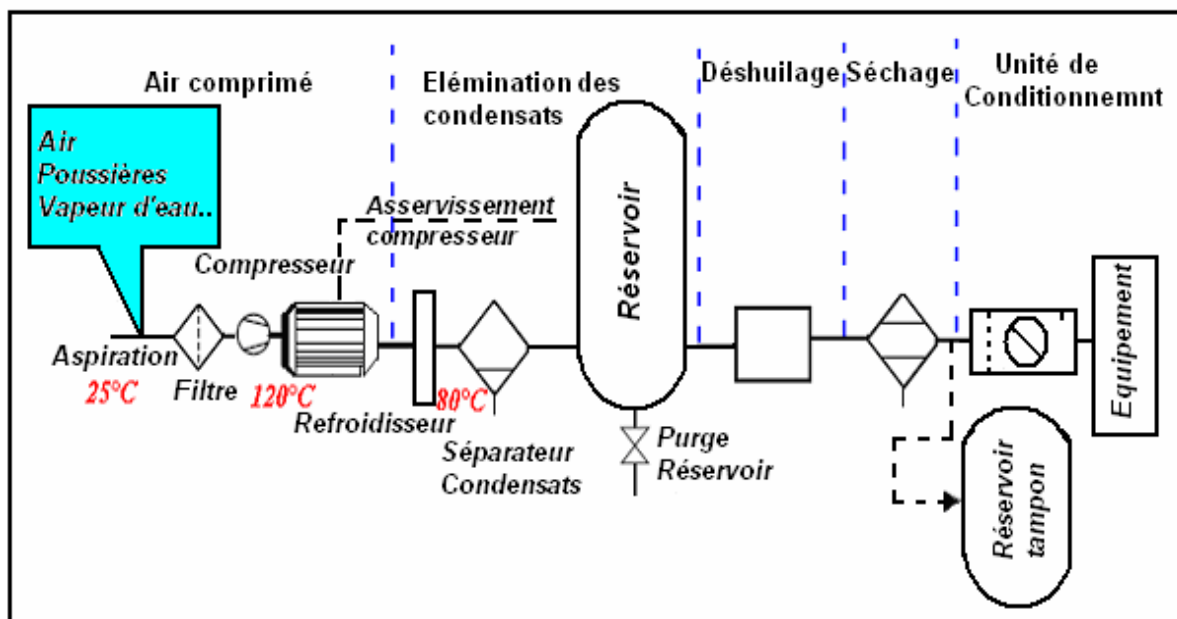


Cycle théorique de compression

3. PRODUCTION D'AIR COMPRIME :

3.1. CIRCUIT D'AIR COMPRIME :

Outre le compresseur, l'installation d'air comprimé comprend toute une chaîne d'éléments ayant chacun son importance :



Circuit d'air comprimé

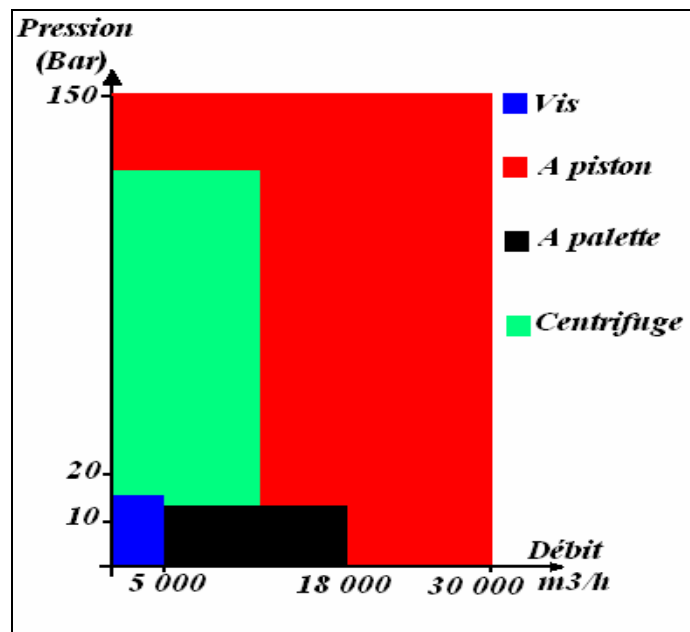
3.2. LE FILTRE A PARTICULES :

Il est constitué de couches de toile, feutre, matières synthétiques...

C'est le premier obstacle contre la poussière, les particules...

3.3. LE COMPRESSEUR :

C'est l'élément principal de la compression. Les compresseurs les plus utilisés sont : les compresseurs à vis, les compresseurs à pistons, les compresseurs à palette et les compresseurs centrifuges.



La sélection d'un compresseur peut être basée sur plusieurs paramètres : Sa puissance, son coût, son rendement...

	A piston	A palette	A vis	Centrifuge
Puissance	Petite Industrie	<100 KW	< 600 KW	-
Coût investissement	Moyen	Faible	Moyen	Moyen
Coût maintenance	Elevé	Faible	Moyen	Faible
Rendement à charge partielle	Bon	Moyen	Moyen	Excellent
Qualité d'air	Moyen	Moyen	Bon	Bon
Type de refroidissement	Air/Eau	Air	Air/Eau	Eau
Consommation spécifique (Wh/Nm³)	100 à 153	106 à 142	124 à 141	100 à 124

- Pression compresseur = $1,2 \times$ Pression maximale d'utilisation

- Débit compresseur = $k \times \Sigma$ consommations simultanées
Avec $k = 1,5$ si l'installation est bien connue ou si son évolution est bien prévisible ; $k = 2$ à 3 si l'évolution est mal connue.

3.4. LE REFROIDISSEUR :

Environ 90% de l'énergie consommée par le compresseur se transforme en chaleur, un refroidissement est donc nécessaire. Ceci offre une possibilité de récupération de chaleur (Chauffage, eau sanitaire...).

On rencontre 2 types de refroidissement :

- Le refroidissement à l'air (À travers des ventilateurs avec ou sans gaines d'évacuation)
- Le refroidissement à eau

	Refroidisseur à air	Refroidisseur à eau
Δ Entrée/Sortie	25 à 35°C	10 à 15°C

3.5. LE FILTRE SEPARATEUR D'HUILE :

Le rejet des condensats huileux issus des réseaux d'air comprimé lubrifiés ne peut être effectué sans traitement préalable puisque la teneur en huile d'un litre de condensats peut atteindre 4 grammes.

3.6. LES PURGEURS:

Le plus souvent, on utilise des purgeurs automatiques. Dès que le niveau de l'eau de condensation est assez élevé, le flotteur se soulève et permet l'évacuation des condensats.

3.7. LE RESERVOIR D'AIR :

Il permet d'atténuer les variations de pression du réseau jusqu'à les rendre négligeables. Il permet également de ménager des temps d'arrêt dans le fonctionnement du compresseur dont le nombre de démarrages ne doit pas dépasser une douzaine par heure.

Pour la sélection du réservoir on utilise généralement les formules suivantes :

- Pour un réservoir situé au refoulement d'un compresseur:

$$V = Q_1 / 200 \cdot \Delta P$$

Avec :

- Q1: Débit de compresseur en m³/h.
- ΔP: plage de régulation du compresseur en bar.
- V: Volume de réservoir en m³.

- Pour un réservoir situé à l'alimentation d'un appareil à fonctionnement cyclique:

$$V = V_u / \Delta P$$

Avec :

- V_u: Volume consommé pendant un temps T_u.
- ΔP: Chute de pression admissible dans le réservoir pendant le fonctionnement de l'appareil bar
- V: Volume de réservoir en m³.

3.8. LE SECHEUR D'AIR :

L'eau contenue dans l'air se condense et se mélange avec la rouille des tuyauteries et l'huile émise par le compresseur, ce qui engendre la corrosion des conduites et le colmatage des filtres, ainsi que des arrêts imprévus et des pertes énergétiques.

3.9. LE RESERVOIR TAMPON :

Un réservoir tampon est généralement situé à l'alimentation d'un appareil à fonctionnement cyclique. Prenons le cas d'un vérin pneumatique dont sa demande en air comprimé est de 30L pendant 2 seconde tous les 10 minutes → On doit donc maintenir un débit dans le réseau de 54 000 L/h afin d'éviter les pics engendrés par le vérin. Par contre si on utilise un réservoir dont le volume est de 30 L on aura un débit instantané de remplissage de 180 L/h seulement.

3.10. UNITE DE TRAITEMENT :

Malgré les précautions prises en amont, une partie des impuretés liquides et solides atteint les machines. Dans tous les cas, il y a donc lieu de filtrer l'air en entrée des machines et de retenir

les impuretés liquides. Le tableau ci-dessous définit les exigences de classes de qualité en fonction de quelques applications.

Utilisation	Particules solides		Point de Rosée		Teneur en Huile	
	Classe	µm	Classe	°C	Classe	Mg/m ³
Vérins	5	40	4	3	5	25
Distributeur air comprimé	3 à 5	5 à 40	4	3	5	25
Régulateur de pression	3	5	4	3	3	1
Air de mesure	2	1	4	3	3	1
Traitement photographique	1	0,01 à 0,1	2	-40	1	0,01

L'ensemble des moyens assurant le traitement d'air est appelé une Unité de Conditionnement d'Air (UCA). Généralement présente sur chaque machine elle est composée d'éléments modulaires remplissant chacun une fonction. Une UCA comporte au minimum un filtre et un manodétenteur, et un lubrificateur si nécessaire.

4. PARAMETRES ENERGETIQUES :

4.1. PUISSANCE D'UN COMPRESSEUR:

La puissance absorbée par un compresseur mesurée à son axe, pour un débit d'air massique Q, est donnée par la formule suivante :

$$W = n/(n-1) \cdot \rho_1 \cdot Q \cdot P_1 \cdot [(P_2/P_1)^{n/n-1} - 1]$$

-W : Puissance [W]

- n : Coefficient Polytropique.

-P₁ : Pression d'aspiration [Pas].

- Q : Débit massique [kg/s]

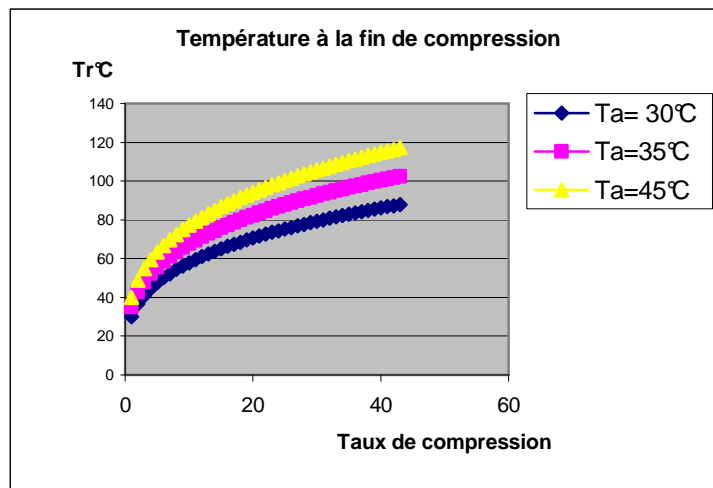
-P₂ : Pression de refoulement [Pas]

- ρ₁ : Volume massique [m³/kg]

4.2. TEMPERATURE A LA FIN DE COMPRESSION:

Cette température est mesurée à la sortie du compresseur. Elle est donnée par la relation suivante :

$$T_2 = T_1 (P_2/P_1)^{n-1/n}$$



La puissance peut être exprimée en fonction de la température :

$$W = n/(n-1) \cdot \rho_1 \cdot Q \cdot P_1 \cdot [(T_2/T_1)-1]$$

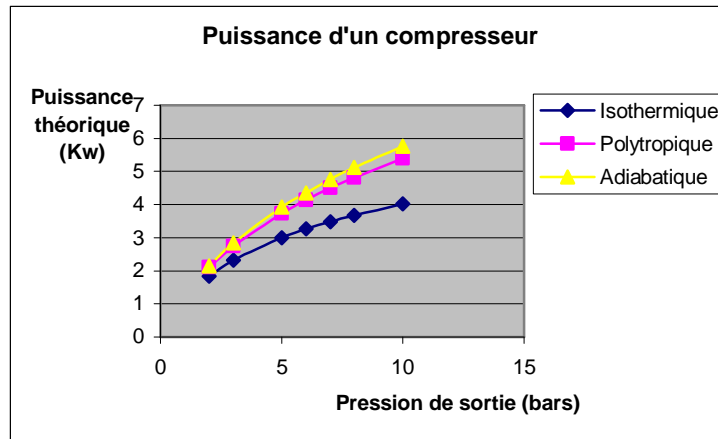
Ainsi il apparaît qu'aspirer un air plus frais de 5°C génère 1,7 % de gain énergétique à la compression.

4.3. PRESSION A LA FIN DE COMPRESSION:

Les compresseurs d'air fonctionnent souvent à la pression maximale exigée par les unités de production, qui peut ne concerner qu'une faible partie de débit d'air nécessaire.

A titre d'exemple, les vannes de régulation n'exigent que de 5 à 6 bars, contrairement aux empaqueteuses ou aux cabines de peinture qui nécessitent plus de 7 bars. Ces dernières peuvent être alimentées par des compresseurs adaptés à leurs besoins.

D'après la formule précédente, nous constatons qu'abaisser la pression de 1 bar, en passant de 8 bars à 7 bars, par exemple, permet d'envisager un gain énergétique proche de 8 % à la compression.



5. OPTIMISATION D'UN CIRCUIT D'AIR COMPRIME :

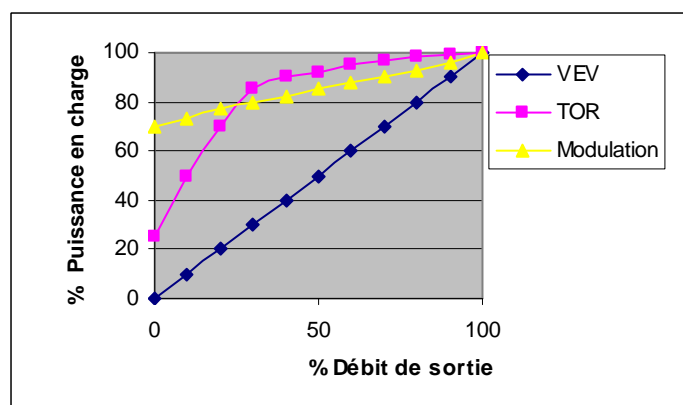
5.1. REGULATION :

Il existe plusieurs types de régulation :

- Régulation Tout ou Rien (TOR)
- Régulation par modulation
- Régulation à Vitesse Variable (VEV)

Avec la régulation VEV il est possible :

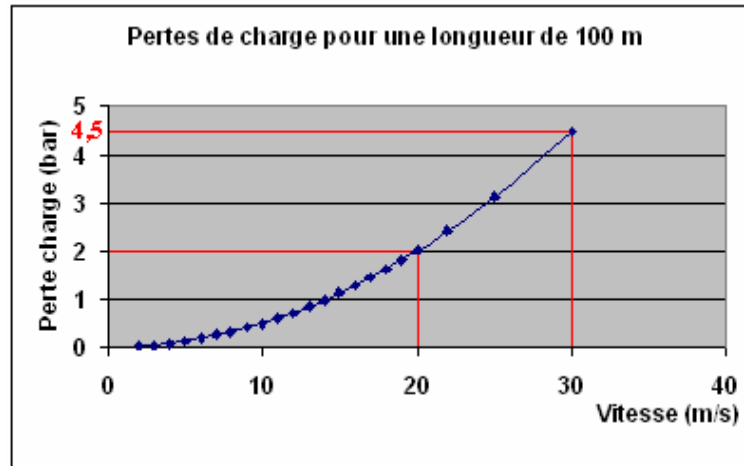
- De supprimer les pointes de courant au démarrage du moteur,
- D'avoir une parfaite compatibilité avec les automates de gestion.



5.2. PERTES DE CHARGES :

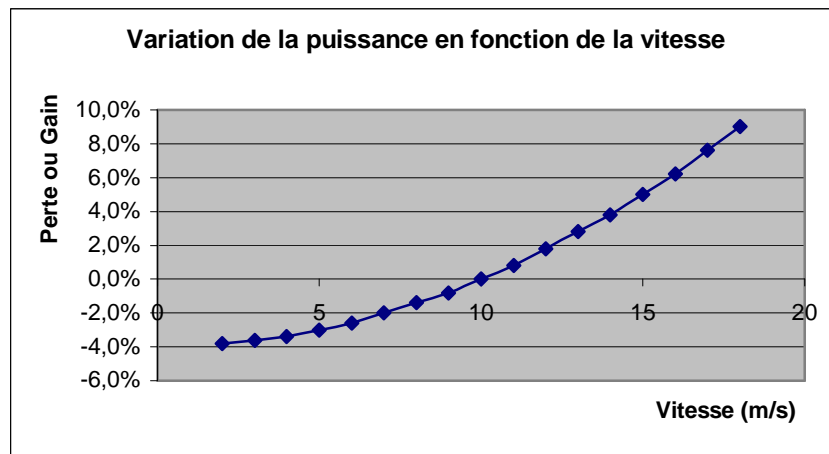
Les chutes de pression peuvent être calculées par la formule suivante:

$$\Delta H = 9,8 \times 10^{-5} \frac{\lambda \times L \times w \times V^2}{2 \times d \times g}$$



A titre d'exemple : Si on passe d'une vitesse de 20 m/s à 30 m/s ; les pertes de charge augmentent de 2,5 Bars ce qui correspond à une perte en énergie de 20%.

Les conduites de distribution d'air sont généralement dimensionnées pour une vitesse de 20 m/s, ce qui correspond déjà à une chute de pression, pour une longueur de 100 m, de 2 bars (Soit 16% de la consommation énergétique). Si on veut maintenir une pression de 8 Bars dans un réseau de 100 m de longueur, les variations de puissance (Gain ou Perte) seront comme suit :



Certains industriels ajoutent de nouveaux compresseurs sans modifier les conduites de distribution. Une augmentation de 50% du débit d'air se traduit par une augmentation de 50% de la vitesse et donc de 5 à 20% de la consommation énergétique.

5.3. LES FUITES :

Les campagnes de repérage et de réparation des fuites au niveau de canalisation sont nécessaires surtout pour des canalisations anciennes. Si on travaille à 6 bars effectifs, les dépenses annuelles en énergie dues aux fuites seront comme suit :

Diamètre de trou (mm)	Débit de fuite (l/s)	Puissance consommée par la fuite (kW)	Pertes en énergie (KWh)	Pertes Annuelles DT
1	1,1	0,34	2 791	212
3	9,7	3,07	24 620	1871
5	26,9	8,53	68 277	5 189

Une dizaine des trous de 1mm de diamètre sur un réseau d'air comprimé engendre près de 30 000 KWh de pertes énergétiques par an.

6. LA MAINTENANCE :

La maintenance doit concerner aussi bien les organes mécaniques que le réseau de distribution ceci peut comprendre :

- Les campagnes de repérage et de réparation des fuites :

Contrôler toutes les conduites (en particulier les raccords, les tuyaux coudés et les éléments en T) pour détecter les fuites éventuelles.

- Le changement régulier des filtres :

Les pertes de charge augmentent très rapidement sur un filtre utilisé.

L'efficacité du filtre à éliminer les particules diminue jusqu'à devenir inefficace.

- La purge des condensats.
- La maintenance propre au compresseur.

7. DIAGNOSTIC DES SYSTEMES D'AIR COMPRIME :

Le diagnostic des systèmes de production d'air comprimé doit comprendre au moins les éléments suivants :

- La quantification des besoins effectifs en air comprimé.
- La vérification de l'emplacement de la totalité du système de compression
- Le repérage des conditions d'aspiration.
- L'évaluation de la performance de l'installation d'air comprimé,
 - o Type de régulation
 - o Taux de charge
 - o Nature des filtres
 - o Type de refroidissement
 - o Canalisation...
- La vérification du dimensionnement de l'installation

Références :

- Perry's chemical engineers' handbook-6ème édition.
Robert H.Perry – Don Green
- North American Combustion handbook- Volume 1-3ème édition.
- Cours de climatisation 3ème édition - G.Porcher
- Piping handbook 5ème édition – Mc Graw Hill
- Documents Apave.
- Guide pratique de l'entreprise -ATEE-
- Intensiv filter

Sites Internet:

- www-air-comprime.ch
- www.ademe.fr
- <http://hlbmatos.free.fr/Stations/Conception>