

Chapitre 2 : Le turbo compresseur

2.1 Généralités.

Le turbo compresseur est une turbo machine motrice dans laquelle le transfert d'énergie s'effectue de la roue vers le fluide c'est une turbomachine muni d'une roue rotative à aubes.

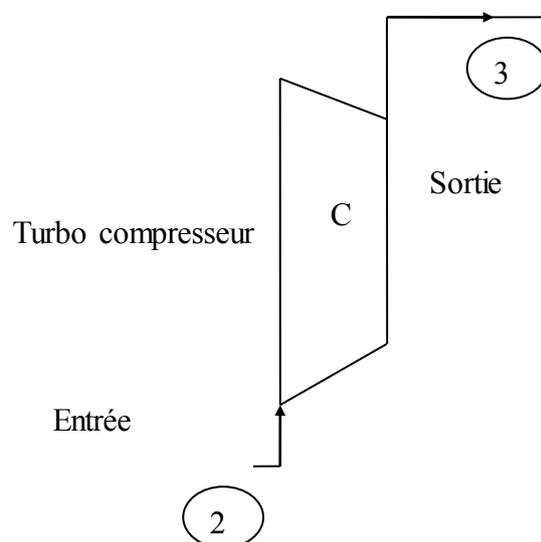
La roue dans son mouvement de rotation donne de l'énergie cinétique qui sera transformée en énergie de pression dans la partie immobile de la turbomachine.

On distingue deux types principaux de turbo compresseurs :

- le turbo compresseur centrifuge (T.C.C): le plus ancien, muni d'une roue radiale très utilisé dans les centrales de production d'électricité dont le rapport de pression sortie entrée (taux de compression) peut aller jusqu'à 7.
- le turbo compresseur axiale: muni d'une roue axiale très utilisé dans l'industrie Aéronautique dont le taux de compression est relativement faible de l'ordre de 1,5 mais la facilité de conception et de mettre plusieurs étages en série permet d'atteindre un taux de compression assez élevé.

2.2 Equations générales.

On schématise généralement un turbo compresseur par:



Les caractéristiques physiques à l'entrée et à la sortie sont données par:

$$\begin{array}{l} \text{- à l'entrée: } \left\{ \begin{array}{l} p_2, p_{t2}, T_2, T_{t2} \\ S_2, H_2, H_{t2}, C_2, \dots \end{array} \right. \quad \text{- à la sortie: } \left\{ \begin{array}{l} p_3, p_{t3}, T_3, T_{t3} \\ S_3, H_3, H_{t3}, C_3, \dots \end{array} \right. \end{array}$$

Le taux de compression est donné par: $r_c = \frac{P_{t3}}{P_{t2}} = \frac{P_3}{P_2}$

L'équation de l'énergie entre l'entrée et la sortie donne le travail de compression.

$H_3 - H_2 + \frac{1}{2}(C_3^2 - C_2^2) = W_T + Q_{23}$, sachant qu'un turbo compresseur est pratiquement adiabatique et si on note W_C le travail de compression qui représente le travail technique on a:

$$W_C = H_3 - H_2 + \frac{1}{2}(C_3^2 - C_2^2) \quad , \text{ ou encore: } W_C = H_{t3} - H_{t2}$$

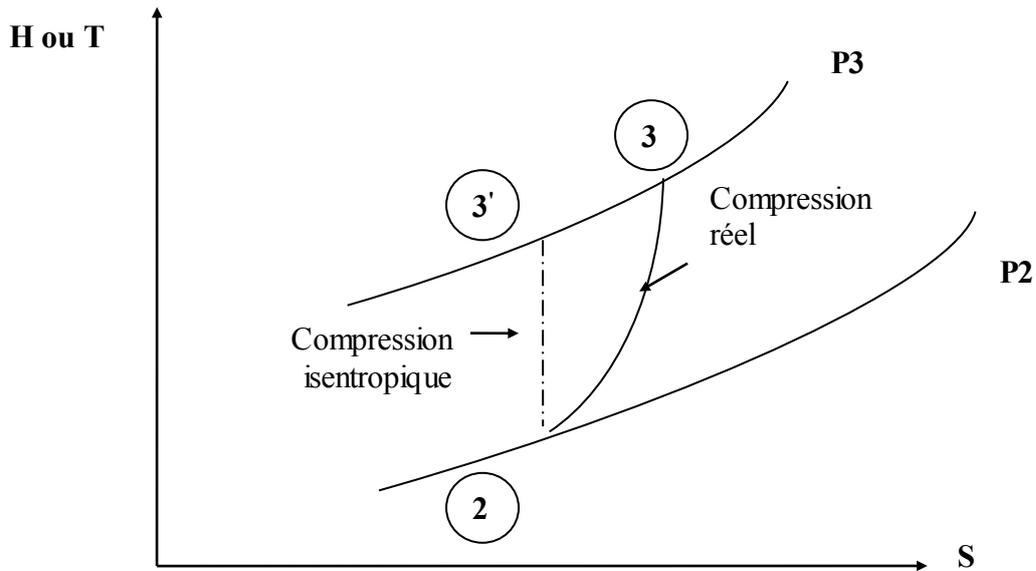
On a donc:

$$W_C = C_P (T_{t3} - T_{t2})$$

Si on néglige la variation de l'énergie cinétique:

$$W_C = C_P (T_3 - T_2).$$

Représentation de la transformation thermodynamique de compression dans un digramme Enthalpique (H,S) ou Entropique (T,S)



Le rendement isentropique appelée rendement de compression, caractérise les pertes par frottements visqueux, est donné par:

$$\eta_c = \frac{W_{\text{isentropique}}}{W_{\text{créé}}}, \text{ si on néglige la variation de l'énergie cinétique.}$$

On a:

$$\eta_c = \frac{T_3' - T_2}{T_3 - T_2}$$

Le rendement volumétrique caractérise les pertes par fuites. C'est le rapport entre le débit mesuré à la sortie de la roue et le débit réellement traversant la roue, il est donnée par:

$$\eta_v = \frac{q_v}{q_v + q_{\text{fuites}}}$$

Le rendement mécanique caractérise les pertes mécaniques au niveau des paliers, il est donné par:

$$\eta_m = \frac{W_{\text{réelle}}}{W_{\text{effective}} \cdot \eta_v}$$

2-3 le turbo compresseur centrifuge.

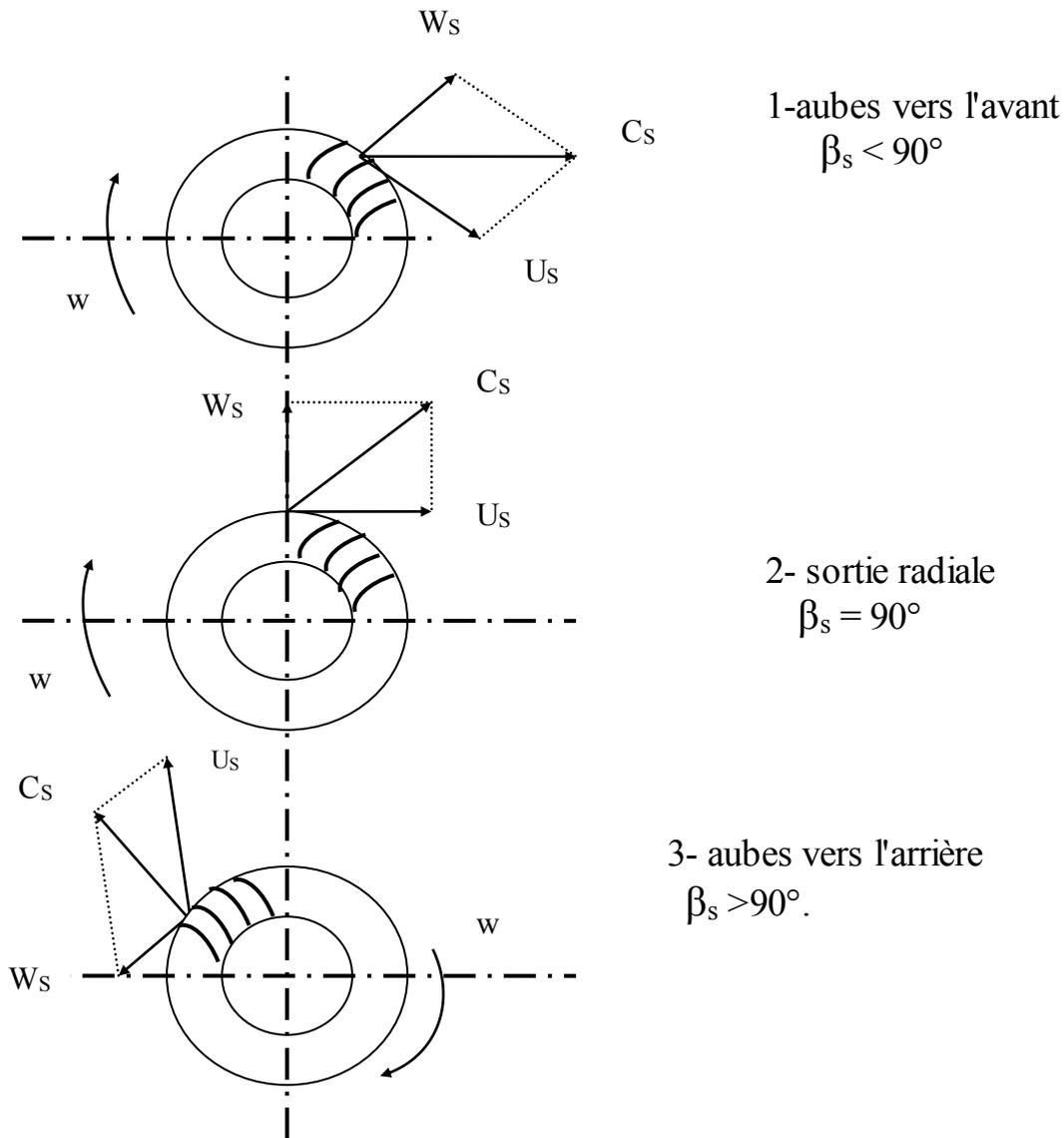
On rappelle qu'un turbo compresseur centrifuge est turbomachine muni d'une roue radiale qu'on peut classer:

- Selon la trajectoire de l'écoulement à la sortie ou à l'entrée de la roue.

- Roue à entrée axiale: On a admission axiale dans la quel $\alpha_e = 90^\circ$, le fluide ne subit pas près rotation a l'entrée de la roue.
- Roue à entrée radiale: On a aussi $\alpha_e = 90^\circ$.
- Roue à sortie radiale: On a dans ce cas $\beta_s = 90^\circ$. Ce type de turbo compresseur est très utilisé dans l'industrie.

- Selon l'orientation des aubes:

On peut distinguer trois (3) types de roues schématisés ci-dessous:



Le débit masse traversant la roue d'un turbo compresseur est donné par:

$$q_m = \rho_{er} S_{er} C_{err} = \rho_{sr} S_{sr} C_{srr}$$

Avec C_{err} et C_{srr} représentent respectivement les projections des vitesses absolues sur le rayon. Si b_{er} et b_{sr} représentent les largeurs de la roue à l'entrée et à la sortie, on a:

$$S_{er} = 2\pi r_{er} b_{er}$$

$$S_{sr} = 2\pi r_{sr} b_{sr}$$

Composants et fonctionnement d'un turbo compresseur centrifuge:

Comme pour l'organisation une turbopompe centrifuge, un turbo compresseur centrifuge comporte successivement depuis l'entrée jusqu'à la sortie: un diffuseur d'entrée (Ouïe d'aspiration), une roue radial à aubes, un diffuseur fixe, une volute spirale et un diffuseur de sortie.

- Le diffuseur d'entrée appelé aussi le distributeur qui peut être à aubes ou lisse a pour rôle d'orienter correctement le fluide vers l'entrée de la roue. Il n'existe que dans le cas des turbo compresseurs à étages.
- La roue à aubes radiale appelé aussi rotor transforme l'énergie mécanique en énergie cinétique thermique et en énergie de pression du fluide.
- Le diffuseur fixe appelé aussi stator lui aussi lisse ou à aubes permet de transformer l'énergie cinétique en énergie de pression. Il joue un rôle très important parce qu'il permet une augmentation d'environ 50% à 60% de la pression statique dans le turbo compresseur.
- La volute spirale qui a pour rôle de transformer le mouvement de rotation du fluide en un mouvement de translation. Elle a la forme d'une spirale logarithmique.
- Le diffuseur de sortie appelé aussi divergent. En ralentissant le fluide, il transforme l'énergie cinétique restante du fluide en l'énergie de pression. Ce qui permet de minimiser les pertes de charges dans la conduite à l'aval.

Pré Etude énergétique:

Pour faire la pré étude énergétique d'un turbo compresseur centrifuge on doit étudier successivement tous les éléments qui le composent dans le but est de déterminer les grandeurs physiques à l'entrée et à la sortie de chaque composant. en vue de calculer les performances ou les caractéristiques tels que le travail, la puissance, le couple mécanique pour ainsi choisir le moteur électrique adéquat.

Le diffuseur d'entrée (distributeur), le diffuseur fixe lisse ou à aube, la volute et le cône diffuseur de sortie (divergent) sont des stators pour lesquels, il faut écrire l'équation d'énergie et l'équation de continuité.

La roue est du type radial est un rotor. On lui admet la théorie de Euler, équation de continuité et l'équation de l'énergie sans oublier les triangles des vitesses (diagramme des vitesses) pour déterminer les différents paramètres.

Enfin il faut tenir compte de tous les coefficients mis en jeu pour l'étude énergétique d'un turbo compresseur.

2-4 le turbo compresseur axial.

Un turbo compresseur axial est muni d'une roue à passage axial qui peut être conçu facilement avec n étages, chacun des étages comprend une couronne d'aubes fixes et une couronne d'aubes mobiles.

Le taux de compression est donné par:

$$r_c = r_{et1} \cdot r_{et2} \cdot r_{et3} \dots \dots \dots r_{etn}$$

Si les étages sont identiques, on a:

$$r_c = r_{et}^n$$

Le débit masse traversant la roue du turbo compresseur est donné par:

$$q_m = \rho_{er} S_{er} C_a = \rho_{sr} S_{sr} C_a$$

Avec C_a représente vitesse axiale (projection de la vitesse absolue sur l'axe).

$$S_{er} = \pi(r_{ext}^2 - r_{int}^2) = S_{sr}$$

Composants et fonctionnement d'un turbo compresseur axial à n étages :

Un turbo compresseur axial à n étages dans sa version la plus complète comporte successivement depuis l'entrée jusqu'à la sortie: un diffuseur d'entrée, une grille d'entrée (aubes fixes du premier étage), des étages de compression, une grille de sortie (aubes fixes redresseurs à la sortie) et un diffuseur de sortie. Un étage de compression constitue un turbo compresseur élémentaire composé d'un couronne fixe et d'une couronne mobile. Les autres composants du turbo compresseurs constituent tous des stators sachant que le diffuseur d'entrée et la grille d'entrée jouent pratiquement le rôle inverse d'un stator. On remarque une diminution de pression qui paraît paradoxale.

Pré Etude énergétique:

Pour faire la pré étude énergétique d'un turbo compresseur axial à n étages on doit étudier successivement tous les éléments qui le composent dans le but est de déterminer les grandeurs physiques à l'entrée et à la sortie de chaque composant. en vue de calculer les performances ou caractéristiques tels que le travail, la puissance, le couple mécanique.

La méthode à suivre pour faire la pré étude énergétique ou bien l'avant projet ou bien encore l'étude préliminaire d'un turbo compresseur axial, consiste à :

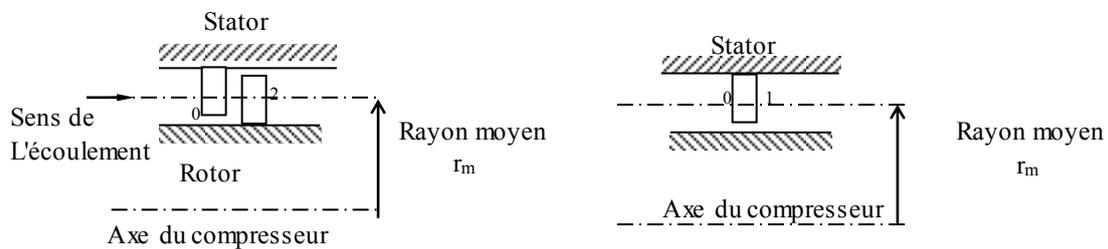
- étudier l'écoulement de l'air dans le diffuseur d'entrée pour ainsi déterminer les paramètres physiques à la sortie et calculer la hauteur des aubes à l'entrée de la grille d'entrée (Les aubes fixes du premier étage, seules sont différentes des autres) en se fixant une vitesse axiale c_a qui restera constante dans le turbo compresseur tout entier.
- vérifier que le rapport hauteur des aubes rayon moyen est inférieur ou égal à 0,4 pour s'assurer que les aubes ne soient pas trop longues et lourdes, avec la force centrifuge leurs fixation devient difficile donc peu sûre.
- déterminer le nombre des étages en se fixant une valeur du coefficient manométrique μ et une vitesse circonférentielle (d'entraînement) U , on obtient ainsi l'augmentation d'enthalpie $\Delta H_{\text{étage}}$ (travail de compression de l'étage $W_{\text{cétage}}$) par étage et le nombre des étages $n = \frac{\Delta H_{\text{compresseur}}}{\Delta H_{\text{étage}}} = \frac{H_3 - H_2}{W_{\text{cétage}}}$. Sachant que un grand nombre d'étages rend la construction onéreuse (couteuse), si on veut réduire le nombre d'étages, on calcule $\Delta H_{\text{étage}}$ en gardant le coefficient manométrique à une valeur acceptable entre 0,25 et 0,4 en faisant attention à ne pas avoir une vitesse de rotation très élevée.
- Traiter le problème de l'étage de la turbomachine est périodique, c'est-à-dire que tous les étages sont égaux au point de vue thermodynamique (mêmes triangles des vitesses)

- Prévoir des aubages fixes redresseurs à la sortie du dernier étage (grille de sortie) et l'étudier.
- Traiter le problème de l'écoulement dans le diffuseur de sortie et calculer la hauteur des aubes à la sortie du compresseur si les étages ne sont pas identiques.

Etude du turbo compresseur axial élémentaire:

Pour étudier le turbocompresseur axial élémentaire ou l'étage de compression, on doit étudier séparément le rotor et le stator ou seulement le rotor en fonction des données. On utilise pour cela le diagramme des vitesses et le degré de réaction:

$$\sigma = \frac{H_{srotor} - H_{erotor}}{H_{sétage} - H_{eétage}}$$



On peut enfin calculer les performances ou les caractéristiques de notre turbomachine tels que le travail, la puissance et le couple mécanique.