

Chapitre 4 : La Turbine à fluide compressible.

4.1 Généralités.

Une turbine est un moteur rotatif qui convertit l'énergie d'un courant d'eau (fluide incompressible), de vapeur d'eau (fluide compressible) ou de gaz (fluide compressible) en énergie mécanique. Plus généralement, c'est un organe permettant la détente d'un fluide en recueillant son énergie sous forme mécanique.

L'élément de base d'une turbine est une roue ou un rotor à ailettes, à hélice, à lames, à aubes ou à augets disposés sur sa circonférence, de façon que le fluide en mouvement exerce une force tangentielle qui fait tourner la roue et lui confère de l'énergie. Cette énergie mécanique est ensuite transmise par un arbre qui fait tourner une turbo pompe, un turbo compresseur, un générateur (production de l'électricité), une hélice ou un rotor (propulsion). On distingue les turbines hydrauliques ou à eau, les turbines à vapeur et les turbines à gaz.

Dans le langage courant, le terme turbine désigne une installation de production d'énergie, la turbine étant parfois constituée de plusieurs étages. Aujourd'hui, les générateurs à turbine produisent la plus grande partie de l'énergie électrique dans le monde. Les premières turbines connues sont des roues à eau sous formes **d'éoliennes**, utilisées pour l'irrigation les cultures.

Une turbine à fluide compressible est une turbomachine réceptrice fonctionnant avec la vapeur d'eau ou encore le gaz issue de la combustion par exemple. Dans laquelle le transfert d'énergie s'effectue du fluide vers le rotor de la turbomachine.

Les turbines à fluide compressible sont le siège d'une transformation thermodynamique de détente adiabatique qui transforme l'énergie disponible dans le fluide actif (vapeur d'eau ou gaz) en énergie mécanique il en existe plusieurs types.

Cas où le fluide est un gaz de combustion qu'on nomme turbine à gaz.

A ne pas confondre avec installation de turbine à gaz ou turbomoteur, c'est turbomachine pour laquelle on distingue deux types:

- Turbine axiale : Le fonctionnement de la turbine axiale doit être conçu de deux manières:

Dans le premier cas la détente a lieu dans l'aubage fixe (distributeur ou tuyères de détente), l'énergie cinétique acquise par détente est transformée en énergie mécanique (travail mécanique) communiqué à l'aubage mobile (rotor), c'est le cas d'une turbine à action.

Dans le deuxième cas la détente l'aubage fixe, le reste de la détente ayant lieu dans l'aubage mobile, c'est le cas d'une turbine à réaction.

- Turbine centripète ou radiale : Ce type de turbines est de faibles puissances, dues à la direction centripète de l'écoulement du fluide à travers la turbine.

Cas où le fluide est de la vapeur d'eau qu'on nomme Turbine à vapeur.

A ne pas confondre avec installation de turbine à vapeur qui d'un point de vue thermodynamique, existe deux grandes classes:

Turbines à action d'une part.

Turbine à action monocellulaire

Elle comprend un seul étage; on dit aussi qu'elle est à une chute de pression (une seule détente) et à un étage de vitesse (une seule roue dans laquelle se fait la transformation de l'énergie cinétique en travail mécanique).

Turbine Curtis ou roue Curtiss (à action)

Dans cette turbine à action, très utilisée, la détente se fait en une seule fois; c'est donc une turbine à une chute de pression, mais l'énergie cinétique acquise dans cette détente est communiquée à une roue garnie de deux couronnes d'aubes, on dit qu'il y a deux étages. Entre les deux couronnes d'aubes mobiles on remarque des aubes fixes, elles ne nous jouent aucun rôle thermodynamique; elles guident simplement (sans détente) la vapeur vers les aubes mobiles de la deuxième couronne.

Turbine multicellulaire à action

C'est une turbine multicellulaire à l'image d'un turbo compresseur axial à n étages qui comprend très souvent, en tête une roue Curtiss, puis la série des étages précédents; c'est le cas de toutes les grosses turbines de centrales thermiques. On remarque la hauteur radiale croissante des aubes; le volume massique de la vapeur croît au cours de la détente, d'où la nécessité d'augmenter la section de passage.

Turbine à réaction d'autre part.

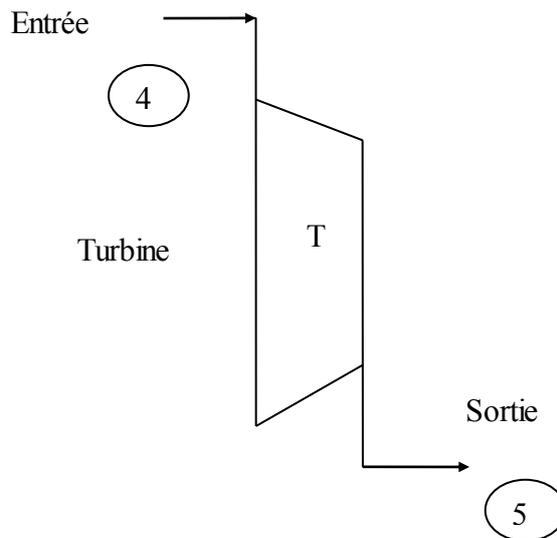
Dans cette turbine on distingue plusieurs étages de détente élémentaires disposés en série. Notons qu'il arrive souvent qu'une turbine multicellulaire à action ait ses derniers étages à réaction. Elle comprend :

- Un rotor, sorte de tambour à la périphérie duquel sont fixes des aubes; les intervalles compris entre les aubes constituent les canaux mobiles dans lesquels s'écoule la vapeur.
- Un bâti ou stator; il porte des directrices qui forment les canaux fixes chargés de diriger convenablement la vapeur vers les canaux mobiles.

La vapeur venant du générateur est admise dans le collecteur ou tore d'admission; elle s'écoule ensuite dans les canaux fixes et mobiles en se détendant et en fournissant du travail à l'arbre de la turbine, donc au milieu extérieur. A la sortie de la turbine elle est dirigée vers le condenseur; l'eau est ensuite refoulée à la chaudière.

4.2 Equations générales.

On schématise généralement une turbine par:



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

$$\begin{array}{l} \text{- à l'entrée:} \\ \left\{ \begin{array}{l} p_4, p_{t4}, T_4, T_{t4} \\ S_4, H_4, H_{t4}, C_4, \dots \end{array} \right. \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{- à la sortie:} \\ \left\{ \begin{array}{l} p_5, p_{t5}, T_5, T_{t5} \\ S_5, H_5, H_{t5}, C_5, \dots \end{array} \right. \end{array}$$

Le taux de compression est donné par: $r_T = \frac{P_{t4}}{P_{t5}} = \frac{P_4}{P_5}$

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

$$H_4 - H_5 + \frac{1}{2}(C_4^2 - C_5^2) = W_T + Q_{45}, \text{ sachant qu'une turbine est pratiquement adiabatique et si}$$

on note W_T le travail de détente qui représente le travail technique on a:

$$W_T = H_4 - H_5 + \frac{1}{2}(C_4^2 - C_5^2), \text{ ou encore: } W_T = H_{t4} - H_{t5}$$

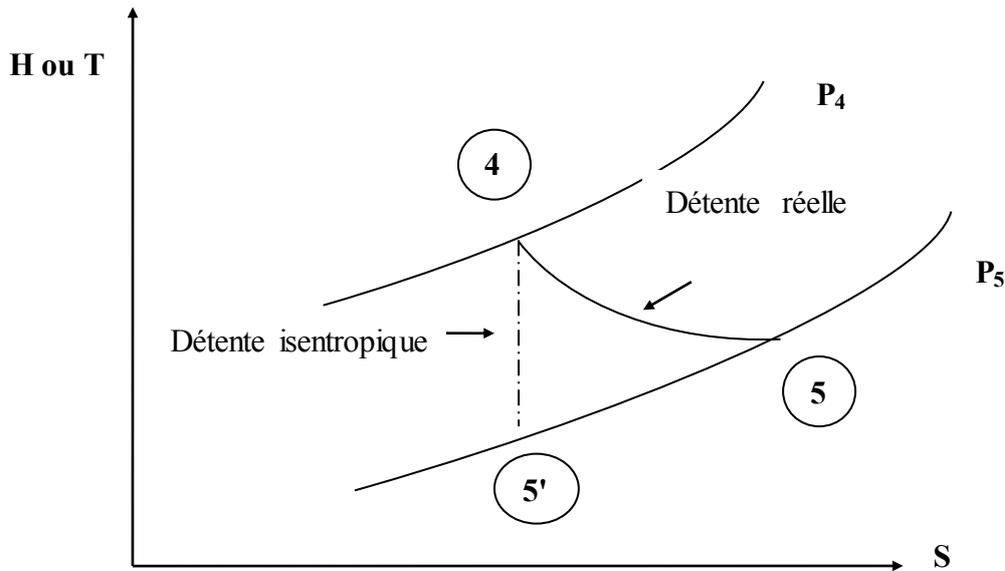
On a donc:

$$W_T = C_P (T_{t4} - T_{t5})$$

Si on néglige la variation de l'énergie cinétique:

$$W_T = C_P (T_4 - T_5).$$

Représentation de la transformation thermodynamique de détente dans un digramme Enthalpique (H,S) ou Entropique (T,S) dans le cas d'une turbine à gaz. sachant qu'on utilise le diagramme de Mollier dans le cas d'une turbine à vapeur.



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

$$\eta_T = \frac{W_{Tréelle}}{W_{Tisentropique}}, \text{ si on néglige la variation de l'énergie cinétique.}$$

On a:

$$\eta_T = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_{5'}}$$

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:

$$\eta_v = \frac{q_v}{q_v + q_{vfuites}}$$

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

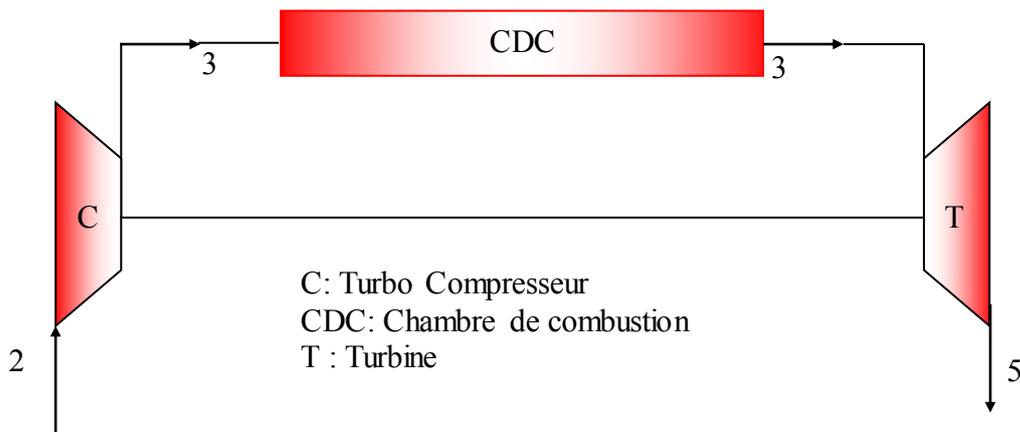
$$\eta_m = \frac{W_{Teffective}}{W_{Tréelle} \cdot \eta_v}$$

Comme pour un turbocompresseur axial à n étages, l'étude énergétique consiste à étudier le diffuseur d'entrée ou encore le tore d'admission (collecteur d'admission), on enchaîne avec les étages l'un après l'autre ou un étage (turbine élémentaire) dans le cas où les étages sont identiques. On prend le soin d'étudier séparément l'écoulement dans les canaux fixes (stator) et les canaux mobiles (rotor). Enfin, on étudie le diffuseur de sortie ou encore le tore d'échappement (collecteur d'échappement).

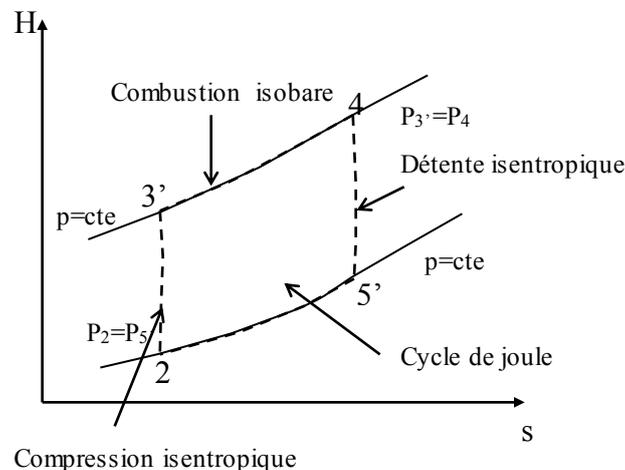
4.3 La Turbine à gaz (Installation de turbine à gaz)

La turbine à gaz est une installation de production d'énergie, constituée dans le cas d'un circuit ouvert de trois éléments principaux : un turbo compresseur, un chambre de combustion (foyer des gaz chauds), une turbine, une machine réceptrice et un moteur de lancement. Dans la majorité des cas des turbine à gaz à circuit ouvert. L'aspiration du compresseur et l'échappement de la turbine sont reliés directement à l'atmosphère.

Exemple d'une installation de turbine à gaz simple à circuit ouvert.



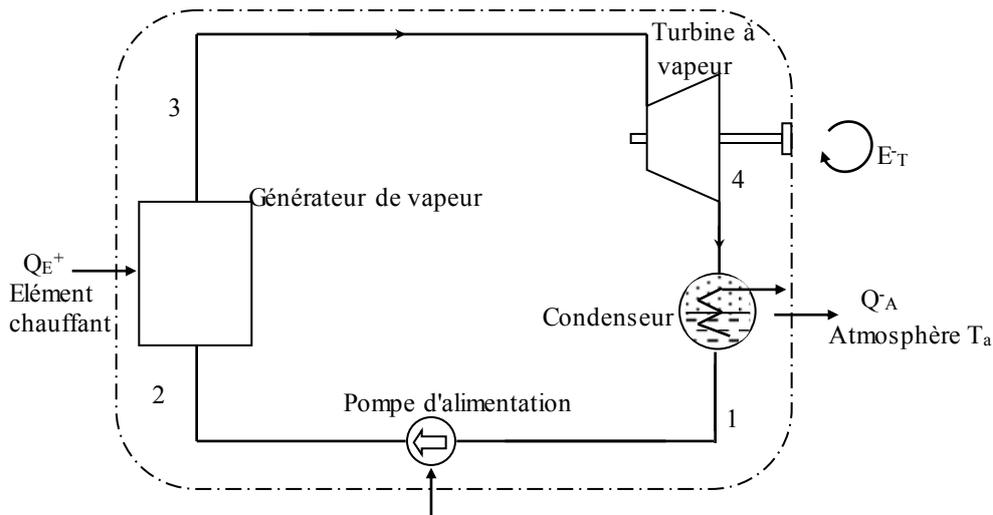
Parmi les applications on cite : la production d'électricité, la production combinée chaleur force, le pompage, la compression et la propulsion aéronautique. L'installation d'une turbine à gaz à circuit ouvert, fonctionnant suivant le cycle de Joule ci dessous. Le travail utile de l'installation, c'est-à-dire la différence entre le travail fourni par la détente et celui qui est absorbé par la compression, sert à l'entraînement, par exemple, d'une génératrice électrique. Pour améliorer le rendement du cycle on utilise diverses combinaisons.



4.4 La Turbine à vapeur (Installation de turbine à vapeur)

Une installation de turbine à vapeur comporte généralement un générateur à vapeur et un condenseur qui constituent respectivement la source chaude et la source froide du cycle. Une turbine produit le travail utile et une pompe comprime le condensat pour l'amener au générateur à la pression voulue. En outre l'installation à vapeur peut être équipée de surchauffeurs de vapeur et de réchauffeurs de l'eau d'alimentation pour améliorer le rendement du cycle (cycle à surchauffé ou à resurchauffé).

Exemple d'une installation de turbine à vapeur:



Le cycle de Rankine peut être considéré comme le cycle de base des installations à vapeur. Il est constitué par deux isobares et par deux isentropiques dans le diagramme entropique (T,S) ou de Mollier (H,S).

Exemple de cycle à surchauffé:

