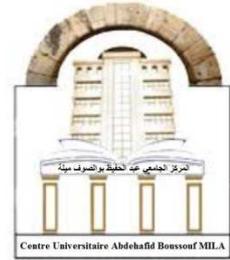




République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique  
**Centre Universitaire Abdel Hafid Boussouf**  
**Mila**



# Cours de Turbomachines

## Chapitre VI : Turbines à Vapeur

Présenté par : Dr. ZEGHBID Ilhem



Année universitaire 2019-2020

**I- Introduction :**

La turbine à vapeur est un moteur thermique à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique dit de Clausius-Rankine. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau. Elle transforme l'énergie thermique de la vapeur d'eau pendant la détente en énergie mécanique de rotation d'arbre pour entraîner un dispositif mécanique tournant. Le rôle de la turbine à vapeur est de transformer en énergie mécanique l'énergie contenue dans la vapeur d'eau sous la forme d'énergie thermique et d'énergie de pression.

La somme de ces deux formes d'énergie, exprimée en kcal par kg de fluide, est caractérisée par l'enthalpie de la vapeur, fonction de la pression et de la température.

En créant une différence de pression et une chute de température on réalise une chute d'enthalpie entre la source chaude (générateur de vapeur) et la source froide (condenseur, atmosphère). La turbine placée entre ces deux sources assure la transformation en énergie mécanique de rotation avec le minimum possible de pertes.

Une turbine à vapeur comprend un ou plusieurs étages assurant chacun deux fonctions :

- La détente de la vapeur qui correspond à la conversion de l'énergie potentielle en énergie cinétique.
- La conversion de l'énergie cinétique en couple de rotation de la machine par le biais des aubages mobiles.



**Rotor d'une turbine à vapeur**

La figure 1.1 montre la disposition générale d'une centrale thermique et la manière dont la turbine est incluse dans celle-ci. L'eau d'alimentation refoulée par la pompe 5 traverse les régulateurs 7 et 8 dont le but est de régler le débit de celle-ci en vue d'assurer un fonctionnement correct de la chaudière. L'eau se réchauffe ensuite dans l'économiseur 1, est vaporisée dans le faisceau 2.

La vapeur séchée en 12, surchauffée en 3 et 4 passe à travers la soupape de réglage 21 et, après travail dans la turbine 22, se trouve condensé en 23. L'eau de condensation est reprise par la pompe 24, passe dans les réchauffeurs 25.

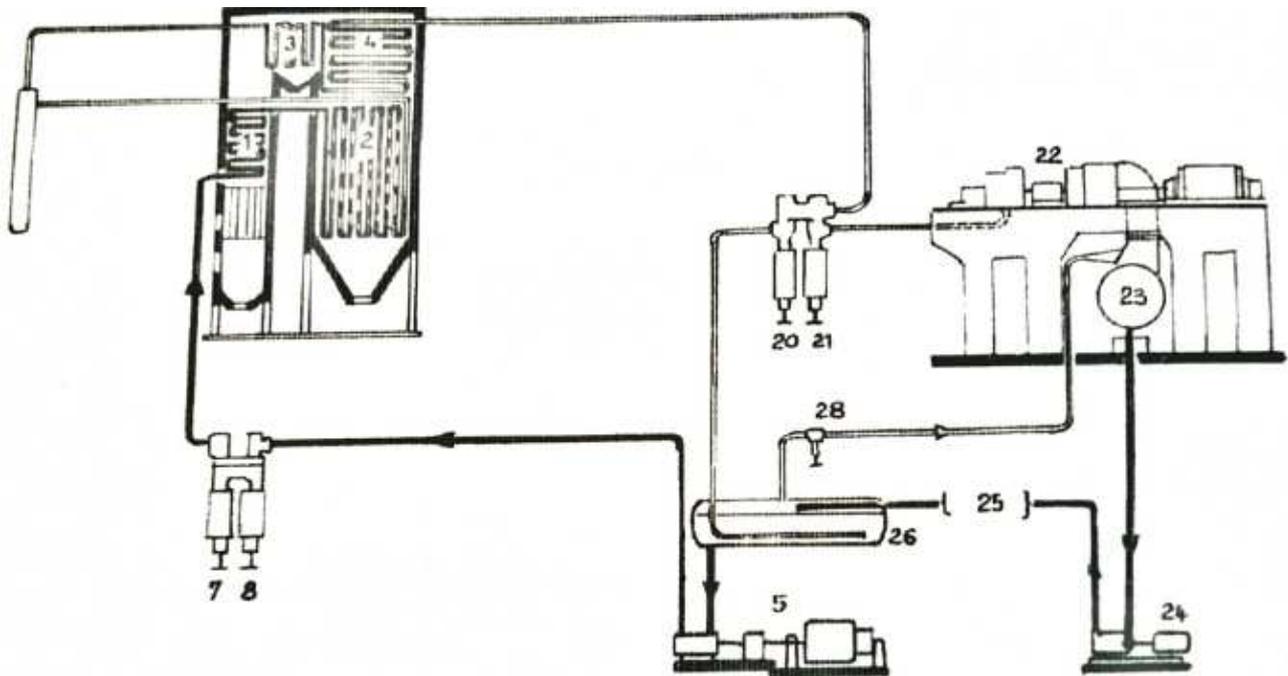


Fig. 1.1. — Schéma simplifié d'une centrale thermique.

1, Économiseur. 2, Faisceau vaporisateur. 3 et 4, Surchauffeurs. 5, Pompe alimentaire. 7 et 8, Soupapes de réglage d'alimentation. 12, Séparateur d'eau. 20, Soupape de by-pass. 21, Soupape de débit de vapeur. 22, Turbine. 23, Condenseur. 24, Pompe d'extraction. 25, Réchauffeurs d'eau d'alimentation. 26, Ballon de démarrage. 28, Soupape de décharge.

## 1- Cycles et Rendement des Turbines à vapeur

### 1-1- Cycle de Carnot

L'avantage des machines frigorifiques ou des pompes à chaleur à vapeur par rapport aux machines à gaz du fait de la possibilité dans ces machines de réaliser des échanges thermiques avec les sources chaude et froide à la fois isobares et isothermes, l'isothermicité des échanges avec les sources est une condition nécessaire au fonctionnement d'une machine de Carnot dont l'efficacité est maximale. Le cycle de Carnot est composé de deux isothermes 4-1 et 2-3 qui correspondent respectivement aux échanges thermiques avec les sources chaude (GV) et froide (condenseur) et deux isentropiques, l'une pour la compression adiabatique réversible dans la pompe 3-4, l'autre pour la détente adiabatique réversible dans la turbine 1-2, voir (figure)

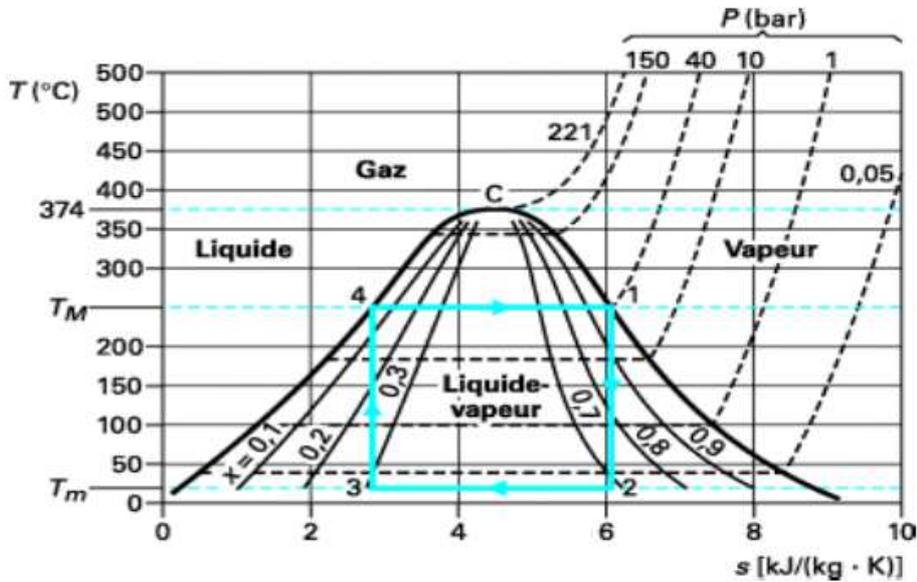


Figure 1: cycle de Carnot

Le rendement d’une machine fonctionnant selon ce cycle est le rendement de Carnot donné par :

$$\eta_{th} = - \frac{W_{t12} - W_{t34}}{q_{41}} = \frac{t_M - t_m}{t_M}$$

**1-2- Cycle de Rankine et de Hirn, Rendement Thermique**

Dans le cycle de Carnot en particulier, il n’est pas envisageable de pratiquer une compression sur un fluide diphasique (mélange liquide-vapeur), dans une pompe. Pour éviter cette situation, on est conduit à prolonger la condensation 2-3 jusqu’à obtenir le liquide seul (figure). Le pompage a lieu alors dans la zone du liquide selon la transformation 3-4 et le liquide est envoyé dans le ballon. Le cycle ainsi obtenu est le cycle de Rankine, utilisé couramment dans les petites installations de l’ordre de quelques centaines de kilowatts à quelques mégawatts et pour des pressions maximales inférieures à 50 bars.

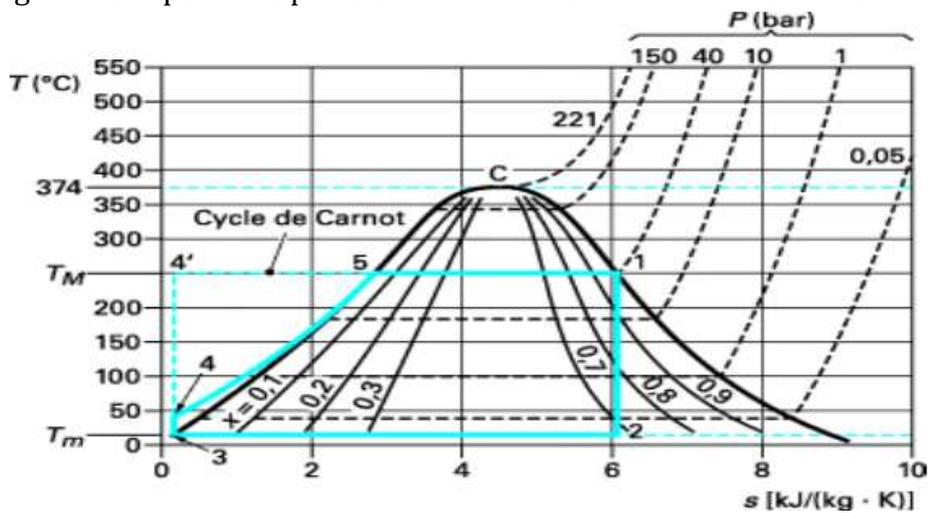


Figure 2: cycle de Rankine

Pour ce type de cycles, le rendement théorique  $\eta_{th}$  est calculé à partir des valeurs des enthalpies massiques  $h$  de l'eau aux divers points caractéristiques du cycle (fig). Ainsi, on notera que :

$$\eta_{th} = - \frac{W_{t12} - W_{t34}}{q_{41}} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)}$$

L'eau décrit un cycle en circuit fermé, représenté sur les diagrammes thermodynamiques par une évolution mettant en présence les phases vapeur et liquide.

Figure 1.2. Cycle de Rankine sans surchauffe, AB compression adiabatique en phase liquide (pompe alimentaire). BC, échauffement (isobare). CD, vaporisation (isobare). DF, détente supposée adiabatique dans la turbine. FA, condensation (isobare)

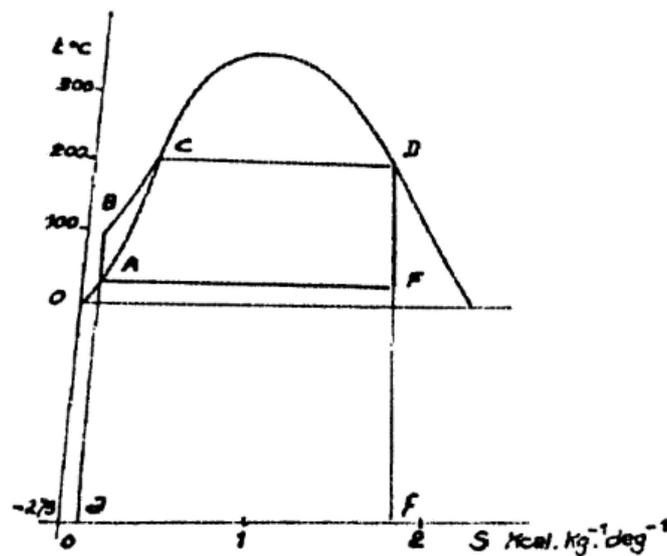


Figure 3.3: Représentation du cycle de la vapeur, coordonnées (t, S)

Le rendement du cycle a pour définition :

$$\eta = \frac{\text{travail récupéré}}{\text{chaleur dépensée}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Le rendement volumétrique ;

$$\eta_{vol} = 1 - \frac{g}{G}$$

$g$  : débit de fuite

$G$  : débit poids,

Le rendement mécanique ;

$$\eta_{méc} = \frac{W - W_f}{W}$$

$W_f$ , pertes purement mécaniques dans lesquelles on comprend souvent la puissance nécessaire au fonctionnement des auxiliaires : pompes à huile, régulateur, pompe alimentaires, etc. Le rendement global de la turbine a encore pour expression :

$$\eta = \frac{W}{W_{th}} = \frac{C \cdot \omega}{G \cdot H_{th}}$$

C, couple utile sur l'arbre,

$\omega$ , vitesse angulaire de rotation

G, débit poids,

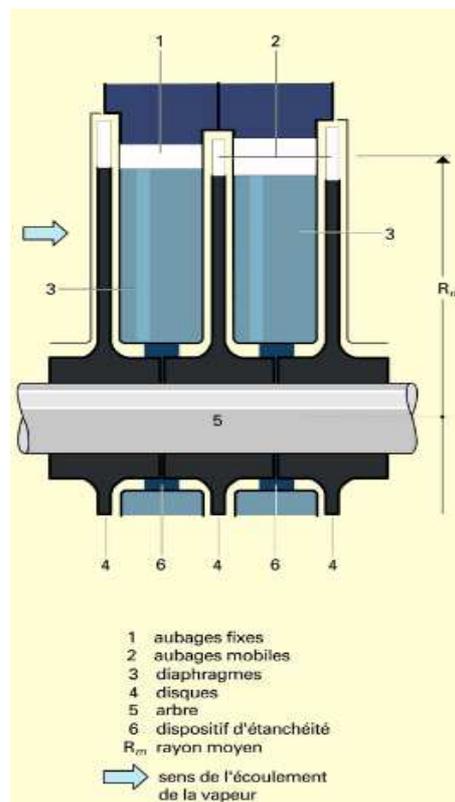
$H_{th}$ , chute d'enthalpie exprimée en unités de travail par kg de fluide.

Ce rendement est généralement peu inférieur au rendement thermodynamique : 1 à 3%.

## 2- Principe de fonctionnement et classification des turbines à vapeur

Une turbine à vapeur comporte un ou plusieurs *étages*, composés chacun de deux *aubages*, ou grilles d'aubes, dont l'un est fixe et l'autre mobile. Le plus souvent, la direction générale de l'écoulement de la vapeur est parallèle à l'axe de la turbine ; celle-ci est alors du type *axial*. Dans certains cas, cette direction est perpendiculaire à l'axe (habituellement, dans le sens centripète) ; la turbine est alors du type *radial*.

La figure représente une coupe longitudinale partielle d'une turbine axiale. La vapeur se détend dans les aubages fixes (1), qui sont montés sur des diaphragmes (3) ; toutefois, pour l'aubage fixe du premier étage (qui n'est pas représenté dans la figure), des dispositions spéciales facilitent l'admission de vapeur et le réglage de la turbine. Chacun des aubages fixes est suivi d'un aubage mobile (2) monté sur un disque (4) ; les différents disques sont fixés sur l'arbre (5), qui transmet la puissance développée par la turbine à l'appareil entraîné par celle-ci (par exemple, à une génératrice électrique). Pour réduire les fuites de vapeur entre la partie centrale des diaphragmes et les moyeux des disques, on munit les diaphragmes de lamelles métalliques (6) dont l'ensemble forme un labyrinthe.



On a plusieurs critères pour la classification de la turbine à vapeur :

- **selon l'utilisation**

**Turbine à condensation** : dans laquelle la pression de la vapeur à la sortie est très proche de vide (0,03 à 0,055bars) cette pression correspond à la température de la vapeur saturée à la sortie de la turbine et elle dépend de la température de l'eau froide qui passe par le condenseur. Les turbines à condensation sont utilisées pour la fabrication simultanée de l'énergie électrique et de la chaleur par exemple pour le chauffage urbain elle entraîne les bateaux, les turbocompresseurs et les turbosoufflantes.

B. **Turbine à contre pression** : dans laquelle la pression à la sortie est bien supérieur à la pression atmosphérique, produise de l'électricité, et la vapeur d'échappement est utilisée pour les différentes lignes technologiques (fabriques de papier, textiles...etc.).

- **Selon la forme de la veine de vapeur**

**Turbine axiale** : L'écoulement de la vapeur se fait selon un cône ayant même axe que la turbine c'est les turbines les plus utilisées.

**Turbine radiale** : L'écoulement de la vapeur se fait dans toutes les directions perpendiculaires à l'axe de la turbine.

- **Par le nombre d'étages de rotor**

-Turbine élémentaire ou à une seule roue ou mono étagée.

- Turbines à éléments multiples ou à plusieurs roues ou multi étagée.

- **Par le mode d'action**

**Turbine à action** : Dans laquelle la transformation thermodynamique (la détente) se fait uniquement dans les canaux fixes, les canaux mobiles jouent le rôle de transformer l'énergie cinétique acquise par la détente en travail mécanique communiqué au rotor.

**Turbine à réaction** : Dans laquelle la détente se fait dans les canaux fixes et les canaux mobiles, Le rotor se présente en générale sous la forme d'un tambour sur lequel sont fixées les aubes mobiles.

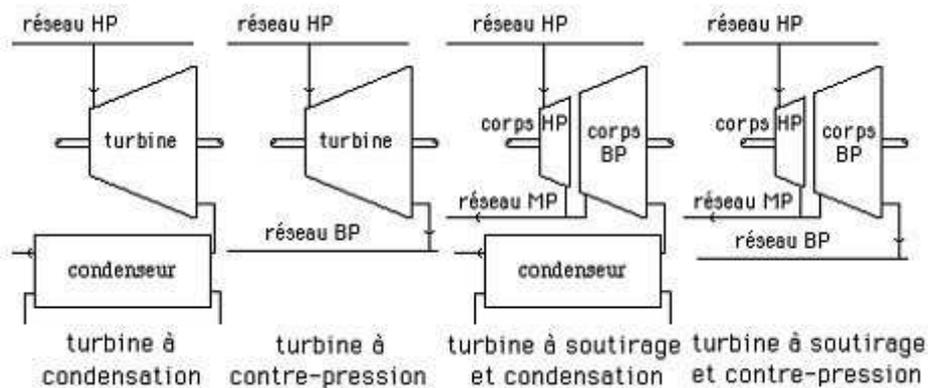
Généralement, les derniers étages de la turbine multicellulaire à action sont à réaction.

### 3- Différents types de turbines à vapeur

En fonction de leur utilisation, on distingue quatre grandes catégories de turbines à vapeur :

- les turbines à **condensation**, dans lesquelles la vapeur est complètement détendue jusqu'à une pression voisine de 0,02 à 0,04 bar, puis liquéfiée dans un condenseur refroidi soit par l'air ambiant, soit par de l'eau. Ce type de turbine est surtout utilisé dans les installations de production de force motrice ;
- les turbines à **contre-pression**, dans lesquelles la vapeur est détendue de la pression HP (> 40 bars) jusqu'à une pression BP (de l'ordre de 4 bars). Ce type de turbine permet de produire de la puissance mécanique ou de l'électricité grâce aux hautes température et pression que l'on peut obtenir dans une chaudière, tout en utilisant l'enthalpie résiduelle pour des procédés divers ;

- les turbines à **soutirage et condensation**, dans lesquelles la vapeur subit une détente partielle jusqu'à une moyenne pression (environ 20 bars) dans un corps haute pression. Une partie est dirigée vers un réseau d'utilisation, tandis que le reste de la vapeur est détendu dans un corps basse pression, comme dans une turbine à condensation. Ce type de turbine trouve un champ d'application important dans les usines de cogénération dont les demandes de chaleur sont susceptibles de varier fortement au cours du temps ;
- les turbines à **soutirage et contre-pression**, dont la vapeur s'échappe à basse pression dans un réseau BP au lieu d'être condensée.



## II - Turbine à vapeur à soutirages.

Le principe des soutirages dans une machine à vapeur est d'utiliser de la vapeur qui a déjà travaillé dans la turbine pour réchauffer l'eau d'alimentation.

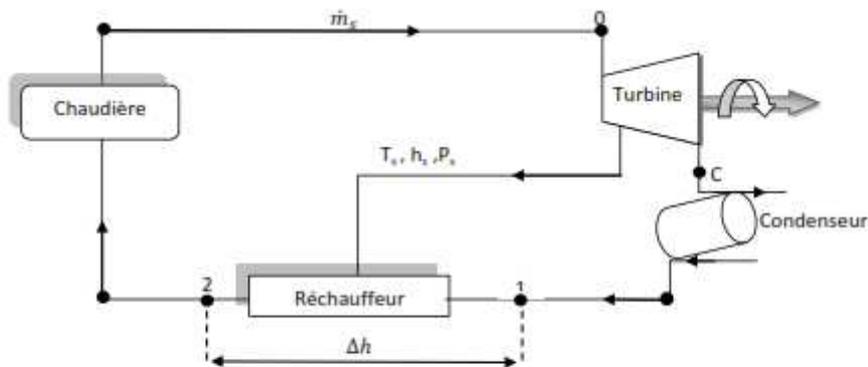


Figure II.1: Installation avec un soutirage.

Soutirage : la masse de vapeur soutirée ne va pas "se perdre" dans l'échange avec la source froide. La chaleur ainsi soutirée circule sans sortir du système thermodynamique.

Comparaison avec une turbine sans soutirage.

- On diminue la masse de vapeur au condenseur. Il en résulte une diminution de la "perte au condenseur". Le condenseur est plus petit.

- La chaudière doit fournir plus de vapeur mais elle reçoit une eau réchauffée. Le débit de vapeur soutirée est égal à 30% du débit vapeur total.
- Le corps HP de la turbine est plus gros, son rendement étant meilleur que les corps MP et BP, on améliore le rendement propre à la turbine. (ce gain est minime )

Il est connu que la substitution d'un cycle sans soutirage par un autre avec soutirage, engendre un bénéfice thermique. L'optimisation des soutirages repose principalement sur la recherche de la quantité globale de vapeur admise dans la turbine fonctionnant avec des soutirages ainsi que sur la connaissance des débits de vapeur soutirés, qui permettent alors d'aboutir à un maximum de bénéfice thermique par cycle équivalent (donnant la même quantité de travail) sans soutirage.

La quantité de chaleur nécessaire pour produire une certaine quantité de travail dans le cycle avec soutirage ( $Q_s$ ). Est nettement inférieure à celle qu'exige un cycle équivalent sans soutirages ( $Q_0$ ). Ainsi, l'économie  $E$  s'exprime par :

$$E = \frac{Q_0 - Q_s}{Q_0} \cdot 100\%$$

$Q_0$  On remarque qu'une économie maximale, correspond à une consommation d'énergie ( $Q_s$ ) minimale, dans le cycle avec soutirage.