

Chapitre .6- Roue Curtis, turbine a réaction, turbines multicellulaire

6-1-Turbine à action à double roue (turbine CURTIS) :

➤ C'est un étage à action dans lequel l'intégralité de la détente s'effectue à la traversée des aubages distributeurs ou tuyères (T), mais qui se distingue de la roue simple en ce qu'elle comporte deux couronnes d'aubes mobiles (M1 et M2) séparées par une couronne d'aubes fixes dites redresseurs (R) (figure 1).

On a donc : $p_1 = p_2 = p_3 = p_4$

■ Cas où on ne tient pas compte des pertes aérodynamiques :

➤ Le travail recueilli, égal à la somme des travaux développés sur chaque couronne mobile, s'écrit : $\tau = U(C_{1u} - C_{2u}) + U(C_{3u} - C_{4u})$

En supposant l'écoulement isentropique, on sait que, en l'absence de pertes, la vitesse se conserve à la traversée d'un aubage :

$W_{2s} = W_{1s}$; $C_{3s} = C_{2s}$; $W_{4s} = W_{3s}$ et qu'en supposant constante la hauteur des aubes mobiles et du redresseur : $\beta_2 = \beta_1$; $\alpha'_1 = \alpha_3 = \alpha_2$; $\beta'_2 = \beta_4 = \beta_3 = \beta'_1$

On trouve d'après les triangles de vitesses (voir Fig.6-1) :

$$\Delta C_{ul} = C_{1su} - C_{2su} = 2(C_{1su} - U) ; \quad \Delta C_{uII} = C_{3su} - C_{4su} = (C_{1su} - C_{2su}) - 4U$$

Le rendement lié à la perte de l'énergie cinétique de sortie, c'est-à-dire le rapport de τ_s à la chute disponible $\frac{C_d^2}{2}$ a alors pour expression : $\eta = 8\xi(\cos\alpha_1 - 2\xi)$ maximal, quand α_1 est fixé, pour $\xi = \frac{\cos\alpha_1}{4}$

■ Cas où on tient compte des pertes aérodynamiques : (voir Fig.6-1)

➤ **Hypothèses :** Vitesse de sortie entièrement perdue ; angles égaux : $\beta_1 = \beta_2$, $\alpha'_1 = \alpha_2$, $\beta'_2 = \beta'_1$

$$C_1 = \phi C_{1th} , \quad W_2 = \psi W_1 , \quad C'_1 = \phi' C_2 = C_3 , \quad W'_2 = \psi' W_3 = W_4$$

$$\eta = \frac{2U}{C_{1th}^2} (\Delta C_{ul} + \Delta C_{uII}) = 2\phi^2 \frac{U}{C_1^2} (\Delta C_{ul} + \Delta C_{uII})$$

$$\Delta C_{ul} = W_1 \cos\beta_1 + W_2 \cos\beta_2 = (C_1 \cos\alpha_1 - U) \left(1 + \frac{W_2}{W_1}\right) = (C_1 \cos\alpha_1 - U)(1 + \psi)$$

$$\Delta C_{uII} = (C'_1 \cos\alpha'_1 - U)(1 + \psi')$$

➤ Il faut relier $C_1 \cos\alpha_1$ à $C'_1 \cos\alpha'_1$ avec les relations dans les triangles.

$$\eta = 2\phi^2 \frac{U^2}{C_1^2} \left[\left(\frac{C_1}{U} \cos\alpha_1 - 1 \right) (\psi + 1) + \left[\psi \phi' \frac{C_1}{U} \cos\alpha_1 - \phi' (\psi + 1) - 1 \right] (1 + \psi') \right]$$

$$\Rightarrow \eta = 2\phi^2 \xi^2 \left[\left(\frac{\cos\alpha_1}{\xi} - 1 \right) (\psi + 1) + \left[\psi \phi' \frac{\cos\alpha_1}{\xi} - \phi' (\psi + 1) - 1 \right] (1 + \psi') \right] \text{ avec : } \xi = \frac{U}{C_1}$$

6-2-Etage d'une turbine à réaction: $R=1/2$:(voir Fig.6-2 et 6-3)

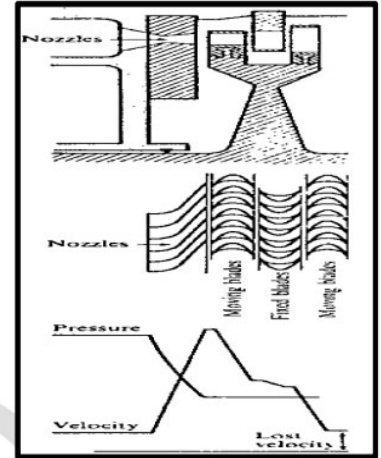
➤ **Hypothèses :** Vitesse de sortie récupérée il n'y a pas de diaphragme

$$C_1 = \phi C_{1th} = \phi \sqrt{C_0^2 + 2q_1} , \quad W_2 = \psi W_{2th} = \psi \sqrt{W_1^2 + 2q_2} , \quad R = \frac{1}{2} \Rightarrow q_1 = q_2$$

Aubages mobiles et distributeurs identiques : $\alpha_1 = \beta_2$, $\beta_1 = \alpha_2$: $\phi = \psi$

Des triangles de vitesses égaux à l'entrée et à la sortie du mobile, on tire : $W_1 = C_2$, $W_2 = C_1$

$$\text{Il vient : } 2q_1 = \frac{C_1^2}{\phi^2} - W_1^2 \Rightarrow \eta = \frac{U(2C_1 \cos\alpha_1 - U)}{\frac{C_1^2}{\phi^2} - W_1^2}$$



Mais : $W_1^2 = C_1^2 + U^2 - 2UC_1 \cos \alpha_1$ d'où finalement : $\Rightarrow \eta = \frac{U(2C_1 \cos \alpha_1 - U)}{C_1^2 \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) + U(2C_1 \cos \alpha_1 - U)}$

en posant $\xi = \frac{U}{C_1} \Rightarrow$ il vient : $\eta = \frac{\xi(2 \cos \alpha_1 - \xi)}{\left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) + \xi(2 \cos \alpha_1 - \xi)}$

Le rendement sera maximum en même temps que l'expression : $\xi(2 \cos \alpha_1 - \xi)$ c'est-à-dire pour

$\rightarrow \xi_{opt} = \cos \alpha_1 \Rightarrow$ Le rendement vaut alors : $\eta_{max} = \frac{\cos^2 \alpha_1}{\left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) + \cos^2 \alpha_1}$

6.3- Rendement d'une turbine multi étages :

➤ Du point de vue rendement, un premier avantage d'une turbine multiétages est de pouvoir **récupérer**, contrairement à l'étage isolé, **l'énergie cinétique sortante**, sauf bien entendu dans le dernier étage.

➤ Un deuxième avantage va être de **récupérer** une petite **partie des pertes de chaque étage** par réchauffage du fluide, ce qui permet de mettre à disposition de l'étage suivant une chute un peu plus importante.

Coefficient de réchauffe :

$$RF = \frac{\text{la chute cumulative d'enthalpie}}{\text{la chute isentropique d'enthalpie}} = \frac{\Delta h_{12s} + \Delta h_{23s} + \Delta h_{34s} + \Delta h_{45s} + \dots}{\Delta h_{15ss}} = \frac{\Delta h_c}{\Delta h_{Rankine}}$$

Efficacité interne d'une turbine :

$$\eta_{int} = \frac{\text{la chute réelle d'enthalpie}}{\text{la chute isentropique d'enthalpie}} = \frac{\Delta h_{réel}}{\Delta h_{Rankine}} = \frac{\Delta h_{12} + \Delta h_{23} + \Delta h_{34} + \Delta h_{45}}{\Delta h_{15ss}} = \frac{\Delta h_{15}}{\Delta h_{15ss}}$$

Si l'efficacité d'étages est la même pour chaque étage :

$$\eta_e = \frac{\Delta h_{12}}{\Delta h_{12s}} = \frac{\Delta h_{23}}{\Delta h_{23s}} = \frac{\Delta h_{34}}{\Delta h_{34s}} = \frac{\Delta h_{45}}{\Delta h_{45s}}$$

Si la chute d'enthalpie est la même pour chaque étage :

$$\Delta h_{12s} = \Delta h_{23s} = \Delta h_{34s} = \Delta h_{45s} = \Delta h_{etage}$$

$$\text{Donc : } \Delta h_{12} = \eta_e \Delta h_{etage} = \Delta h_{23} = \Delta h_{34} = \Delta h_{45}$$

$$\Rightarrow \text{pour une turbine à } n \text{ étages : } \Delta h_{15} = \eta_e \Delta h_{etage} \cdot n$$

$$\Rightarrow \eta_{int} = \frac{\eta_e \Delta h_{etage} \cdot n}{\Delta h_{15''}} = \frac{\eta_e \Delta h_{etage} \cdot n}{\Delta h_{Rankine}}$$

$$\text{or : } \Delta h_{Rankine} = \frac{\Delta h_c}{RF} \Rightarrow \eta_{int} = \eta_T = \frac{\eta_e \Delta h_{etage} \cdot n \cdot RF}{\Delta h_c}$$

► Donc pour une turbine à un seul étage : $\eta_{int} = \frac{\Delta h_{12} \cdot RF}{\Delta h_{12s}}$

► Et pour quatre étages : $\eta_{int} = \frac{\Delta h_{15} \cdot RF}{\Delta h_{15ss}}$

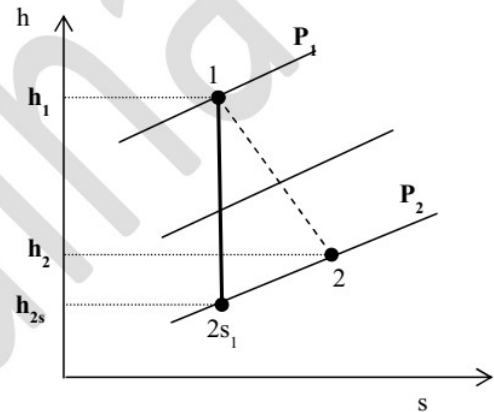


Fig.6-4-Turbine à un seul étage

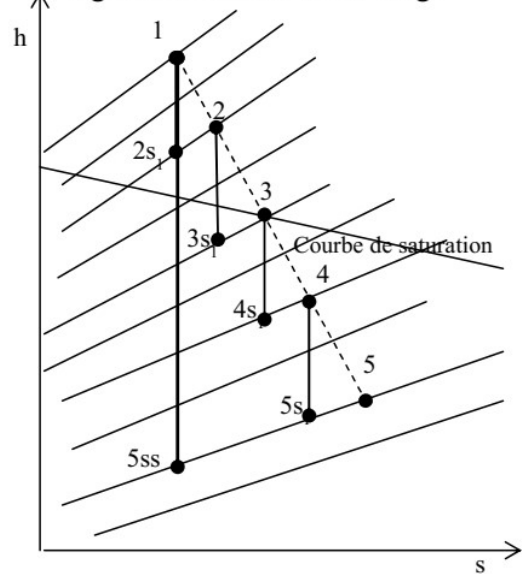


Fig.6-5--Turbine multi étage

