1

Turbomachine ⇒ Définition :

Sont des machines transformatrices d'énergie, qu'elle soit motrice ou réceptrice, comprenant un rotor animé d'une vitesse de rotation uniforme. Elle est traversée par un fluide (liquide ou gaz) qui s'écoule de façon permanente.

* vitesse de rotation uniforme et écoulement permanent du fluide sont les caractéristiques essentielles des Turbo-machines.

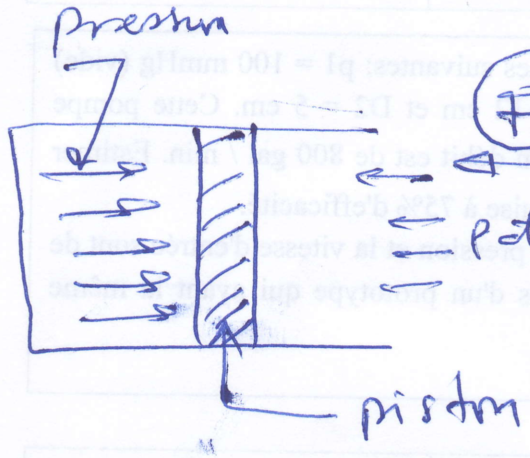
Avantage des Turbo machine :

* suppression des force d'inertie ~~par~~ alternative toujours génante
* couple moteur constant et non plus très variable comme dans la machine alternative.
* réduction notable des pertes par frottement mécanique, elle sont localisées uniquement dans les paliers guides du rotor
* possibilité de construire des machine de très grandes puissance sous un encombrement acceptable, Turbine à vapeur de 250000 kW ...

(La vitesse moyenne du piston d'un moteur à explosion atteint difficilement 20 m/s, par contre la vitesse circ~~onférentielle~~ circonférentielle des aubes d'une T-G dépasse 300 m/s.

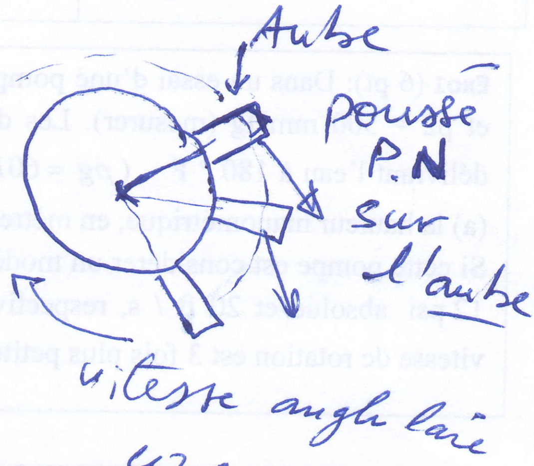
* Echange de travail : turbomachine - fluide :

machine alternative (piston)



on conçoit facilement l'effet de la pression du fluide sur un piston mobile ; nous savons qu'il se traduit simplement par un travail produit de la poussé par le chemin parcouru

turbomachine



L'aube d'une turbomachine reçoit elle aussi de la part du fluide une poussée P.N, le couple moteur qui en résulte est : $C = P.r\,N$, si la vitesse angulaire est ω rd/s la puissance fournie est alors : $P = C.\omega$ N.m/s ou J/s ou W ;

Mais cette poussée sur l'aube P.N a pour origine deux causes = la pression du fluide qui s'écoule (énergie potentielle) et sa vitesse (énergie cinétique), c'est ce que nous faisons apparaître dans le paragraphe

* Equation générale dans des Turbo machines :

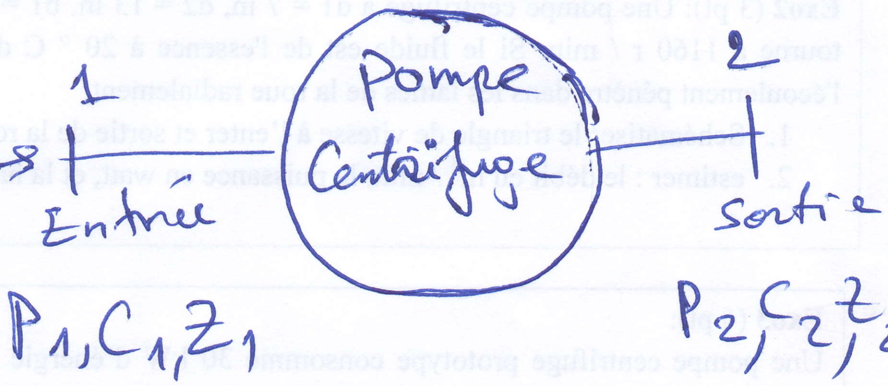
→ Deux cas sont à envisager :

① Le fluide est incompressible (liquide

② Le fluide est compressible (air, vapeur

* Soit une masse de 1 kg de fluide, qui traverse la machine :

→ * fluide incompressible ($\rho = cte$)



$$W_{12} = \underbrace{\frac{P_2 - P_1}{\rho}}_{} + \underbrace{\frac{1}{2}\left(C_2^2 - C_1^2\right)}_{} + \underbrace{g(z_2 - z_1)}_{}$$

Travail échangé avec le milieu extérieur

variation de l'énergie cinétique

V. E potentielle due à la variation d'altitude

Variation d'énergie potentielle due à la variation de pression

* Remarque : $|z_2 - z_1|$ est le plus souvent négligeable
* $W_{12} > 0$; le fluide a reçu le travail, la machine est réceptrice.

• En divisant cette relation par g [g m/s²], chacun des termes représente des ~~mètres~~ mètres de hauteur de fluide, on obtient ainsi la hauteur théorique :

$$\cancel{H_{th} = \frac{W_{th}}{g}}$$

• W_h : Le travail utile reçu par la masse fluide de 1 kg et par $H_h = \frac{W_h}{g}$ m, la hauteur manométrique,

$$W_h = gH_h = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2}\left(C_2^2 - C_1^2\right) + g(z_2 - z_1)$$

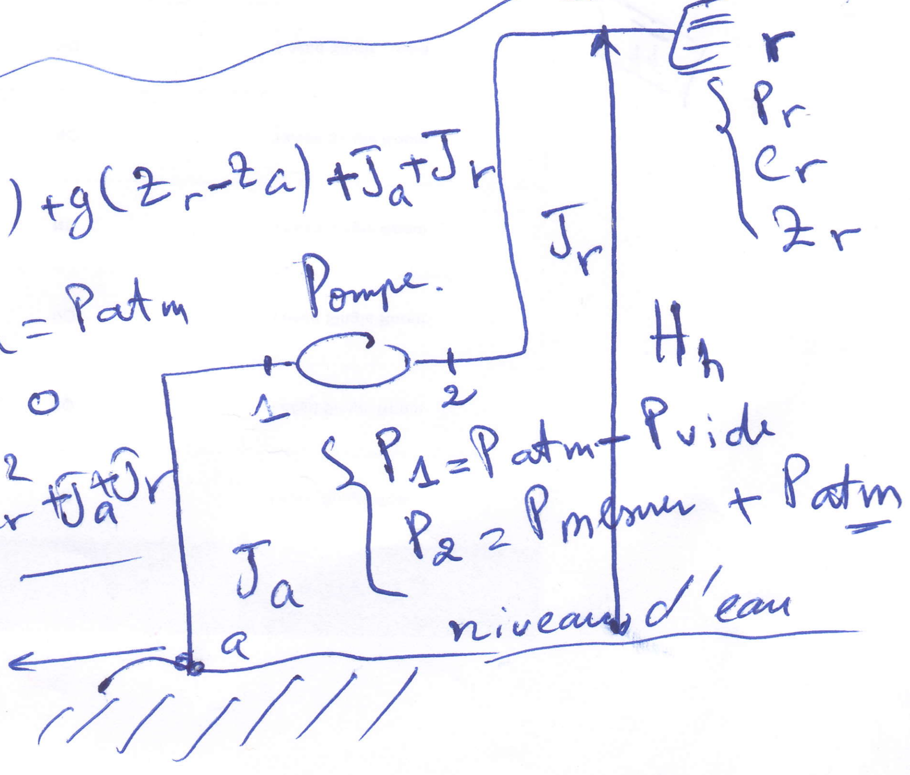
$$H_h = \frac{W_h}{g} = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g}\left(C_2^2 - C_1^2\right) + (z_2 - z_1)$$

$W_h = gH_h \rightarrow$ (J/kg)

$$gH_h = \left(\frac{P_r - P_a}{\rho}\right) + \frac{1}{2}\left(C_r^2 - C_a^2\right) + g(z_r - z_a) + J_a + J_r$$

* cas général : $\begin{cases} P_r = P_a = P_{atm} \\ C_a \approx 0 \end{cases}$

$$W_h = gH_h = g(z_r - z_a) + \frac{1}{2}C_r^2 + J_a + J_r$$



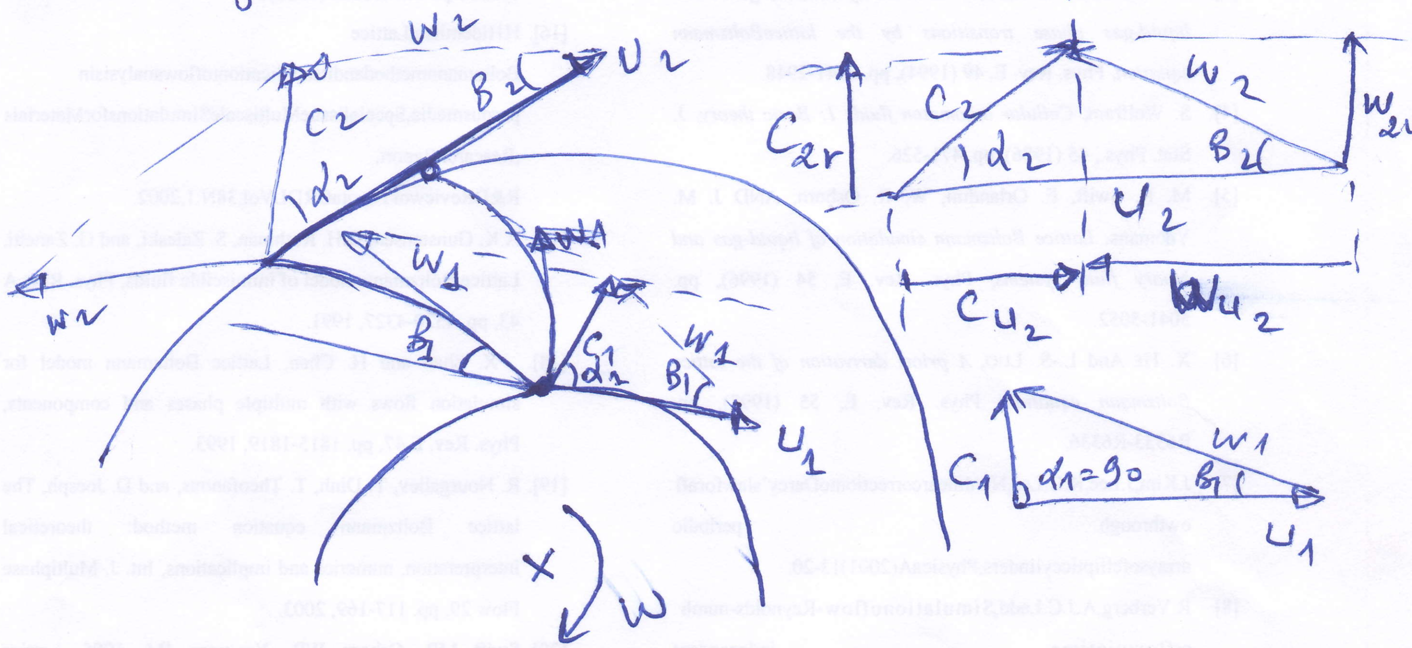
* Puissance utile $\Rightarrow P_u = q_m W_h = q_m g H_h$ (W)

Rendement manométrique (hydraulique) : 5

$$\eta_h = \frac{W_h}{W_e} = \frac{H_h}{H} = \frac{P_h}{P} \quad \begin{cases} P = \dot{Q}_m \cdot W \\ = g H \cdot \dot{Q}_m \end{cases}$$

représente la dépense d'énergie qu'il faut consentir pour obtenir un effet utile.

* Triangle de vitesse de la pompe :



$$U = \omega r \quad \begin{cases} U_1 = \omega r_1 \\ U_2 = \omega r_2 \end{cases}$$

• Nous savons que le fluide doit recevoir, dans la traversée 1.2 de la roue $W = \frac{W_h}{\eta_h}$; équation d'Euler

$$W = \frac{W_h}{\eta_h} = U_2 C_{2u} - U_1 C_{1u} \, ,$$

puisque ⇒ $C_{1u} = 0$ ⇒

$$W = U_2 C_{2u} \rightarrow [J/kg]$$

d'après le triangle de vitesse :

• $tg\,\alpha_2 = \frac{C_{2r}}{C_{2u}} \Rightarrow C_{2r} = C_{2u} \cdot tg\,\alpha_2$

• $C_2 = \sqrt{C_{2r}^2 + C_{2u}^2}$

• $\cancel{C_{2r}}\; tg\,\beta_2 = \frac{C_{2r}}{u_2 - C_{2u}}$ $\left\{ 15° \le \beta_2 < 30° \right\}$

$W_2 = \sqrt{C_{2r}^2 + (U_2 - C_{2u})^2}$

S_1 = section d'entrée de fluide

S_2 = section de sortie de fluide

$* \; S_1 = 2\pi r_1 b_1$ $b_1 = b_2$ l'épaisseur de la roue

$= S_2 = 2\pi r_2 b_2$

$q_V = S_1 C_{1r} = S_1 C_1 = S_2 C_{2r}$

$C_{2u} = u_2 - W_{2u}$; $tg\,\beta_2 = \frac{C_{2r}}{W_{2u}}$

$C_{2u} = u_2 - \frac{C_{2r}}{tg\,\beta_2}$

$H = \frac{W}{g} = \frac{1}{g}(u_2 C_{2u}) = \frac{u_2}{g}\left(u_2 - \frac{C_{2r}}{tg\,\beta_2}\right)$

7

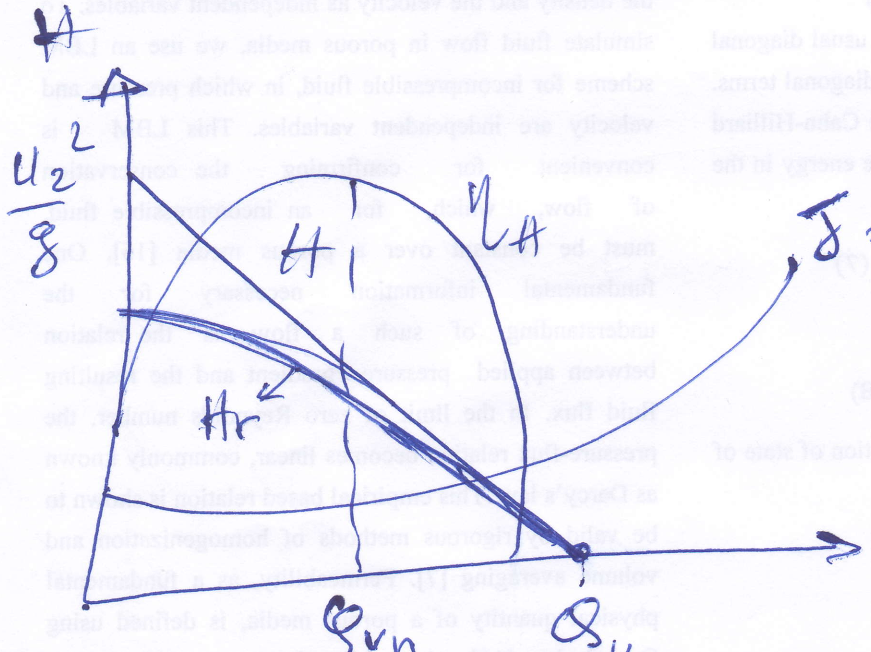
$$H = \frac{W}{g} = \frac{1}{g}(u_2 C_{2u}) = \frac{u_2}{g}\left(u_2 - \frac{C_{2r}}{\mathrm{tg}\,\beta_2}\right)$$

$$= \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 Q_r}{2\pi r_2 b_2 g}$$

$Q_v = C_{2r} \cdot S_2$

$Q = 2\pi r_2 b_2 C_{2r}$

$$H = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 \cot \beta_2}{2\pi r_2 b_2 g} Q_v$$



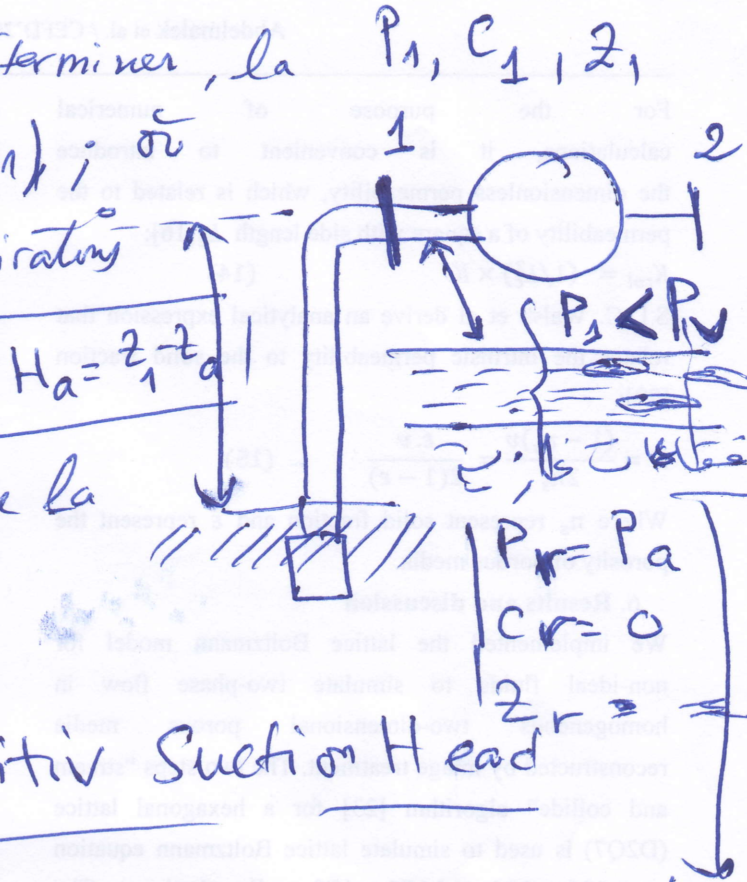
J = perte de charge

débit nominal

H – caractéristique de la pompe

(*) problème de l'aspiration de la pompe = (8)

• Nous nous proposons de déterminer, la différence d'altitude $(z_2 - z_1)$, ou hauteur géométrique d'aspiration H_a qui permet un fonctionnement correct de la pompe. (NPSH)



NPSH = Net positiv Suction Head

* Appliquons l'équation de Bernoulli compte tenu de la perte de charge ?

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{C_a^2}{2} + g z_a = \frac{P_1}{\rho} + \frac{C_1^2}{2} + g z_1 + J_a$$

$$\begin{cases} C_a \simeq 0 \\ z_1 - z_a = H_a \\ P_a = P_{atm} \end{cases}$$

$$\frac{P_1 - P_a}{\rho} + \frac{1}{2}\left(C_1^2 - C_a^2\right) + g(z_1 - z_a) + J_a = 0$$

$$H_a = (z_1 - z_a) = \frac{P_a - P_1}{\rho g} - \frac{C_1^2}{2g} - \frac{J_a}{g}$$

$$\cancel{\frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_a}{\rho g} - H_a - \frac{C_1^2}{2g} - \frac{J_a}{g}}$$

* Pression total à l'entrer

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{C_1^2}{2g} = \frac{P_a}{\rho g} - \frac{J_a}{g} - H_a > \frac{P_v}{\rho g}$$

$$NPSH_r = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{C_1^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g} = \frac{P_a}{\rho g} - \frac{J_a}{g} - H_a - \frac{P_v}{\rho g}$$

* Propriétés statique et Propriétés de stagnation (totale) :

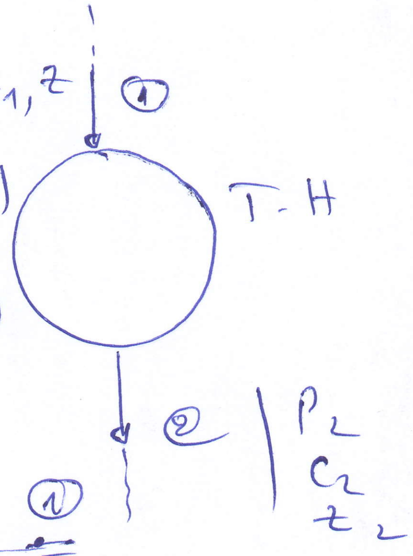
* on appelle etat d'arrêt, total, ou de stagnation, l'état que prend variable de l'écoulement si on L'amenait au repos de manière adiabatique et réversible :

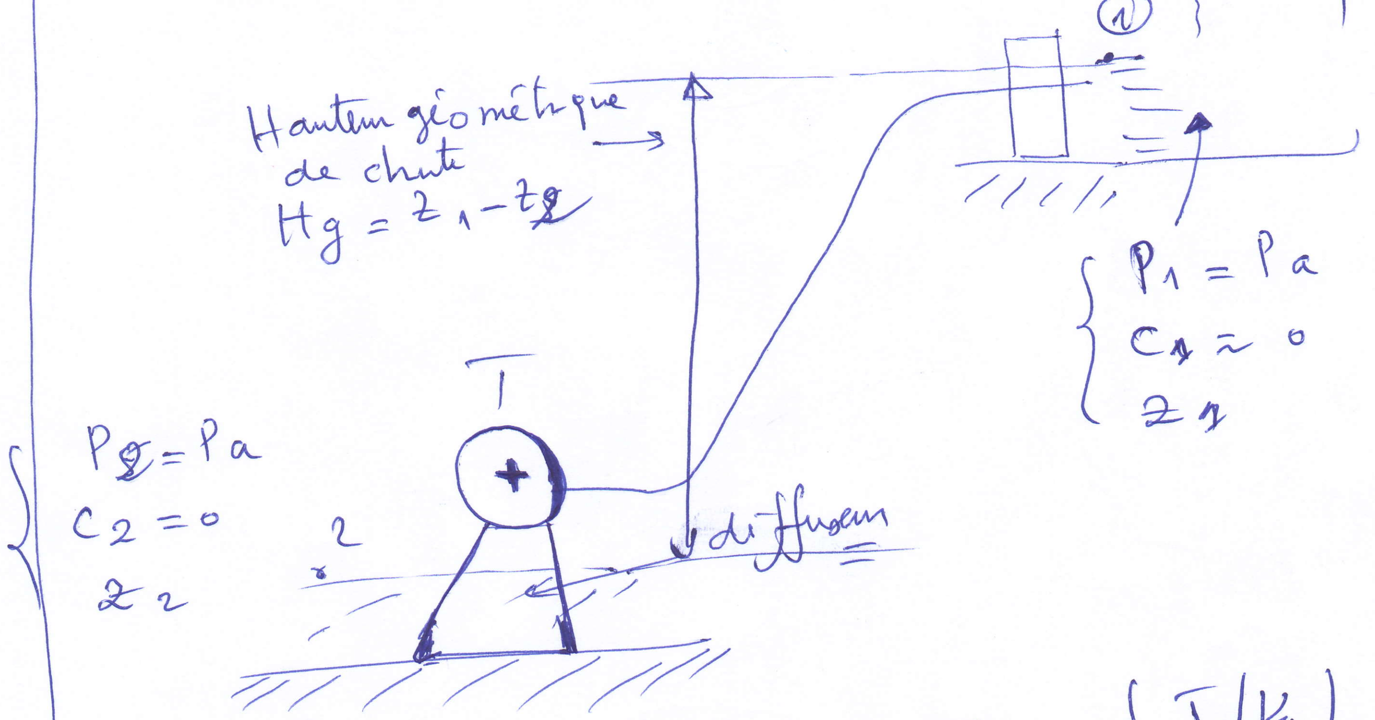
$$\begin{cases} h_0 = h + \dfrac{C^2}{2} \\ C_p T_0 = C_p T + \dfrac{C^2}{2} \\ T_0 = T + \dfrac{C^2}{2C_p} \\ P_0 = P + \rho \dfrac{C^2}{2} \end{cases}$$

* Turbomachine => Turbine hydraulique :

→ Turbine françis

$$W_{12} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2}\left(c_2^2 - c_1^2\right) + g\left(z_2 - z_1\right) + J_{12} \quad (J/kg)$$





$$W_{12} = g\left(z_2 - z_1\right) + J_{12} \quad (J/kg)$$

* $z_2 - z_1 = -H_g$

donc => $\boxed{W_{12} = -gH_g + J_{12}} = W_n$

W_{12} = c'est le travail utile fournit par l'eau au milieu exterieure.

* La hauteur de chute nette est alors :

$$H_n = \frac{W_n}{g} = H_g - \frac{J_{12}}{g} \quad (m)$$

* donc le rendement hydraulique ou manométrique de la turbine =

$$\eta_H = \frac{W_u}{W_n} = \frac{H_u}{H_n} ;$$

* W_u = fonction des vitesse , u , c , w

W_u = équation d'Euler, obtenue à partir des triangle de vitesse.

$$W_u = u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}$$