

Examen	Université CHAHIDE HAMMA LAKHDAR EL-Oued	10/05/2016
Module : TUR MACH APP. .	Faculté de technologie	
1 ^{ère} Master Energétique	Département de génie mécanique	
1 mmHg = 0.001316 bar	1 in = 0,0254 m	1 gal = 0.00378541 m ³

Exo1 (6 pt): Dans un essai d'une pompe centrifuge, on prend les données suivantes: $p_1 = 100$ mmHg (vide) et $p_2 = 500$ mmHg (mesurer). Les diamètres des tuyaux sont $D_1 = 12$ cm et $D_2 = 5$ cm. Cette pompe délivrant l'eau à 180°F ($\rho = 961.1 \text{ kg/m}^3$ et $P_v = 0.766 \text{ bar}$) avec un débit est de 800 gal / min. Estimer (a) la hauteur manométrique, en mètres, et (b) la puissance d'entrée requise à 75% d'efficacité. Si cette pompe est considéré un modèle commence à cavité lorsque la pression et la vitesse d'entrée sont de 0.8274 bar absolue et 6.1 m / s, respectivement. Trouvez le NPSH requis d'un prototype qui ayant la même vitesse de rotation est 3 fois plus petite.

Exo2 (3 pt): Une pompe centrifuge a $d_1 = 7$ in, $d_2 = 13$ in, $b_1 = 4$ in, $b_2 = 3$ in, $\beta_1 = 25^\circ$, et $\beta_2 = 40^\circ$ et tourne à 1160 r / min dans le sens horaire. Si le fluide est de l'essence à 20°C de masse volumique de 690 kg/m³ et que l'écoulement pénètre dans les lames de la roue radialement,

1. Schématiser le triangle de vitesse à l'enter et sortie de la roue.
2. estimer : le débit en m³ / min, la puissance en watt, et la hauteur manométrique en m.

Exo3 (7 pt):

Une pompe centrifuge prototype donne 30 kW d'énergie de l'eau pour produise une hauteur manométrique de 40 m. Une pompe modèle doit être testée dans des conditions dynamiques similaires donne une puissance de 50 kW de l'eau pour produise une hauteur manométrique de 60 m. Calculez le :

1. Le rapport de vitesse entre le modèle et prototype.
2. Le rapport d'échelle entre le modèle et prototype.
3. Le rapport de débit entre le modèle et prototype.

On estime que la différence de pression entre l'aspiration et refoulement du prototype sera de 2.5 bar. Pour quelle différence de pression doit-il être conçu le modèle?

Question de cours (4 pt): Montrer que : $h_{02} - h_{01} = C_{2u} U_2 - C_{1u} U_1$



L'utilisation du téléphone portable est strictement interdite



Corrigé type de Turbomachine approfondie

1^{ère} année master Énergétique.

Exo1:

a) La H_m est calculer d'après la relation de BERNOULLI entre le ref et d'après:

$$H_m = [B]_2 - [B]_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \frac{z_2 - z_1}{g}$$

$$H_m = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

$$H_m = \frac{(1,658 - 0,868) \cdot 10^5}{10 \cdot 961,1} + \frac{25,46^2 - 4,42^2}{20}$$

1 bar = 760 mmHg
donc

$$P_{2ab} = P_2 + P_{atm} = 500 + 760 = 1260 \text{ mmHg}$$

donc $P_{2ab} = 1,658 \text{ bar}$

$$P_{1ab} = P_{atm} - P_1 = 760 - 100$$

$$P_{1ab} = 660 \text{ mmHg} = 0,868 \text{ bar}$$

$$v_2 = \frac{4Q}{\pi D_2^2}$$

avec $Q = 800 \text{ gal/min}$
 $Q = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$

$$v_2 = \frac{4 \cdot 0,05}{\pi (5 \cdot 10^{-2})^2} = 25,46 \text{ m/s}$$

$$v_1 = \frac{4 \cdot 0,05}{\pi (12 \cdot 10^{-2})^2} = 4,42 \text{ m/s}$$

$$v_1 = 4,42 \text{ m/s}$$

$$H_m = 8,22 + 31,43 = 39,654 \text{ m}$$

a) La puissance d'entrée requise

$$P_a = \frac{P}{\eta} = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

$$P_a = \frac{961,1 \cdot 10 \cdot 0,05 \cdot 39,654}{0,75} = 25,407 \text{ kW}$$

partie (2)

pompe modèle

$NPSH_m ?$
 $P_{re} = 0,766 \text{ bar}$
 $P_{asp} = 0,8274 \text{ bar}$
 $V_{asp} = 6,1 \text{ m/s}$

pompe prototype

$NPSH_p ?$

$D_m = 3 D_p$

(2)

$$NPSH_m = \frac{P_{asp} - P_{re}}{\rho g} + \frac{V_{asp}^2}{2g}$$

$$NPSH_m = \frac{(0,8274 - 0,766) \cdot 10^5}{961,1 \cdot 10} + \frac{6,1^2}{20} =$$

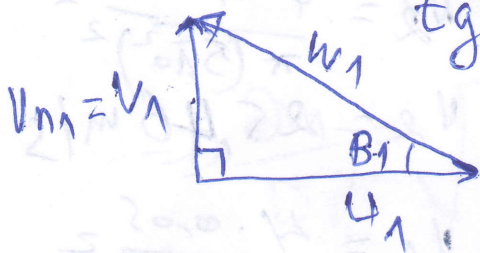
$$= NPSH_m = 0,639 + 1,865 = 2,499 \text{ m}$$

donc $\frac{g(NPSH_m)}{(N_m D_m)^2} = \frac{g(NPSH_p)}{(N_p D_p)^2}$

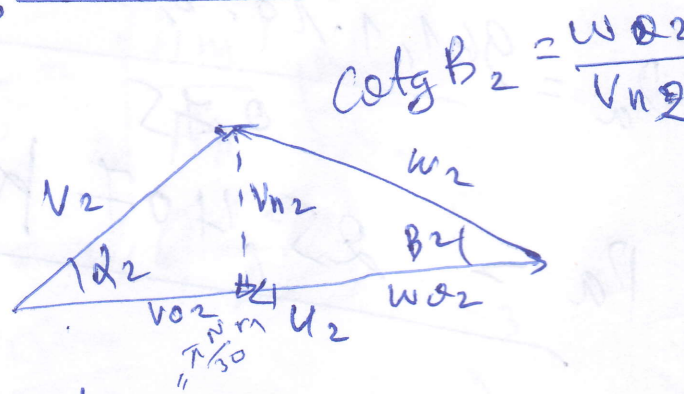
$$NPSH_p = NPSH_m \left(\frac{D_p}{D_m} \right)^2 = 2,499 \left(\frac{1}{3} \right)^2$$

$$NPSH_p = 0,2777 \text{ m}$$

EX02



$$\text{tg } B_1 = \frac{V_{n1}}{U_1}$$



$$1) \text{ } \dot{M} = 2\pi r_1 b_1 N V_{n1} = 2\pi r_1 b_1 U_1 \text{tg } B_1 =$$

$$= \frac{2^2 \pi r_1^2 b_1 N \text{tg } B_1}{15} = 0,286 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$0 = \frac{2^2 \pi (0,0889)^2 \cdot 0,1016 \cdot 1160 \cdot \text{tg } 25^\circ}{15}$$

* $P = \rho g g H = \rho g (u_2 v_{02} - u_1 v_{01})$ acase (3)
 et $\omega_2 = \frac{\pi N}{30} r_2$ de $v_{01} = 0$

$P = \rho g u_2 v_{02} = \rho g \frac{\pi N}{30} r_2 v_{02}$

d'après le triangle de vitesse de sortie en trouve =

$v_{02} = u_2 - \omega_2 r_2 = u_2 - v_{n2} \cot \beta_2$

$v_{n2} = \frac{Q_v}{2\pi r_2 b_2}$, d'où : $v_{02} = u_2 - \frac{Q_v}{2\pi r_2 b_2} \cot \beta_2$

d'où :

$P = \rho g v_{02} u_2 \left[u_2 - \frac{Q_v}{2\pi r_2 b_2} \cot \beta_2 \right]$

~~$u_2 = \frac{\pi \cdot 1160 \cdot 13}{30 \cdot 2}$~~

$u_2 = \frac{\pi \cdot 1160}{30} \cdot \frac{13 \cdot 0,0254}{2} = 20,055 \text{ m/s}$

d'où

* $P = 690 \cdot 9,286 \cdot 20,055 \left[20,055 - \frac{0,286}{\frac{\pi \cdot 13 \cdot 3 \cdot (0,0254)}{2}} \cot \beta_2 \right]$

$P \approx 62,31 \text{ kW} = 62,31 \text{ MW}$

* $H_m = \frac{P}{\rho g Q_v} = \frac{62,31 \text{ MW}}{690 \cdot 10^3 \cdot 9,286} = 31,57 \text{ m}$

EX03

prototype

$$P = 30 \text{ kW}$$

$$H_m = 40 \text{ m}$$

modele

$$N_{sp} = N_{sm}$$

$$P = 80 \text{ kW}$$

$$H_m = 60 \text{ m}$$

$$N_{sp} = \frac{N \sqrt{P}}{(gH)^{3/4}} \propto \frac{N \sqrt{\frac{P}{\rho g H}}}{(gH)^{3/4}} \propto \frac{N \sqrt{P}}{\sqrt{\rho} g^{5/4} H^{5/4}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} g = \text{cte} \\ \rho = \text{cte} \end{array} \right. \text{ (l'eau = fluide incompressible)}$$

donc $N_{sp} \propto \frac{N \sqrt{P}}{H^{5/4}}$

d'où le rapport de vitesse = $\frac{N_m}{N_p}$

$$N_{sp} = \frac{N_m \sqrt{P_m}}{H_m^{5/4}} = \frac{N_p \sqrt{P_p}}{H_p^{5/4}} \Rightarrow \frac{N_m}{N_p} = \sqrt{\frac{P_p}{P_m}} \left(\frac{H_m}{H_p} \right)^{5/4}$$

$$\frac{N_m}{N_p} = \sqrt{\frac{30}{80}} \cdot \left(\frac{60}{40} \right)^{5/4} = 1,285$$

2) le rapport d'échelle = $\frac{D_m}{D_p}$

$$\pi = \frac{g H_m}{(ND)_m^2} = \frac{g_p H_p}{(ND)_p^2} \Rightarrow \frac{D_m}{D_p} = \sqrt{\frac{H_m}{H_p}} \left(\frac{N_p}{N_m} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{D_m}{D_p} = \sqrt{\frac{60}{40}} \cdot \frac{1}{1,285} = 0,9531$$

3) le rapport de débit = $\frac{Q_{vm}}{Q_{vp}}$

$$\pi = \frac{Q_{vm}}{(ND^3)_m} = \frac{Q_{vp}}{(ND^3)_p} \Rightarrow \frac{Q_{vm}}{Q_{vp}} = \frac{N_m}{N_p} \left(\frac{D_m}{D_p} \right)^3 = 1,285 (0,9531)^3 = 1,12$$

$= 1,12$

$$\sigma_{na} = H_m = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

$$\pi = \frac{\rho g H}{(\text{ND})^2} = \rho \cdot \frac{\Delta P}{\rho g (\text{ND})^2}$$

$$\pi = \frac{\Delta P}{\rho (\text{ND})^2}, \quad \rho = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{g}$$

$$\pi \propto \frac{\Delta P}{(\text{ND})^2}$$

$$d'ou = \frac{\Delta P_m}{(\text{ND})_m^2} = \frac{\Delta P_p}{(\text{ND})_p^2}$$

$$\Delta P_m = \Delta P_p \left(\frac{N_m D_m}{N_p D_p} \right)^2$$

$$\Delta P_m = 2,5 (1,285 \cdot 0,9231)^2$$

$$\Delta P_m = 3,75 \text{ bar}$$

Question de cours : l'ont respire =

$$h_{O_2} - h_{O_1} = C_{24} U_2 - C_{44} U_1$$

d'après l'équation de conservation du moment cinétique :

$$M = \frac{d}{dt} \iiint_V \mathbf{r} \times \rho \mathbf{v} dV + \iint_S \mathbf{r} \times \rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} dS$$

l'écoulement permanent $= \frac{\partial}{\partial t} = 0$

$$M = \iint_S \mathbf{r} \times \rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} dS \quad \text{et}$$

$$\dot{m} = \rho_2 V_2 A_2 = \rho_1 V_1 A_1$$

$$M = \dot{m} (\mathbf{r}_2 \times \mathbf{v}_2 - \mathbf{r}_1 \times \mathbf{v}_1)$$

$$\mathbf{r} \times \mathbf{v} = r v \sin \theta = r C_u$$

donc $M = \dot{m} (r_2 v_2 \sin \theta_2 - r_1 v_1 \sin \theta_1)$

$$M = \dot{m} (r_2 C_{u2} - r_1 C_{u1})$$

$$U = r \omega$$

$$\dot{W} = P = M \omega = \dot{m} \omega (r_2 C_{u2} - r_1 C_{u1})$$

$$P = \dot{m} (C_{u1} U_2 - C_{u2} U_1)$$

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = (C_{u2} U_2 - C_{u1} U_1) \text{ travail spécifique [J/kg]}$$

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = \Delta h = h_{02} - h_{01}$$

conservation de l'énergie :

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho e dV + \iint_S (\rho e + p) \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS = \dot{Q} - \dot{W}$$

$$e = u + \frac{v^2}{2} + gz$$

$$\iint (\rho e + p) v dA = -\dot{W}$$

(7)

$$= (\rho v A e + p v A \rho / \rho)_2 - (\rho v A e + p v A \rho / \rho)_1 = -\dot{W}$$

$$\dot{m} = \rho_2 v_2 A_2 = \rho_1 v_1 A_1$$

$$\dot{m} \left(e_2 + \frac{p_2}{\rho_2} \right) - \dot{m} \left(e_1 + \frac{p_1}{\rho_1} \right) = \dot{W}$$

$$e = u + \frac{v^2}{2} + gz$$

$$h = u + \frac{p}{\rho}$$

$$\dot{m} \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2} \right) - \dot{m} \left(h_1 + \frac{v_1^2}{2} \right) = \dot{W}$$

$$\dot{m} (h_{o2} - h_{o1}) = \dot{W} = \dot{m} (\rho_2 c_{p2} - \rho_1 c_{p1})$$

$$c_{p2} h_{o2} - h_{o1} = \rho_2 c_{p2} - \rho_1 c_{p1}$$

Examen	Université CHAHIDE HAMMA LAKHDAR EL-Oued	08/10/2020
Module : TUR MACH APP. .	Faculté de technologie	
1 ^{ère} Master Energétique	Département de génie mécanique	
$1\text{mmHg} = 0.001316\text{ bar}$	$1\text{in} = 0,0254\text{ m}$	$1\text{gal} = 0.00378541\text{ m}^3$

Exo1 (10 pt): هذا التمرين يمثل كذلك نقطة التقييم المستمر

Dans un essai d'une pompe centrifuge, on prend les données suivantes: $p_1 = 150\text{ mmHg}$ (vide) et $p_2 = 550\text{ mmHg}$ (mesurer). Les diamètres des tuyaux sont $D_1 = 12\text{ cm}$ et $D_2 = 5\text{ cm}$. Cette pompe délivrant l'eau à 180° F ($\rho = 961.1\text{ kg/m}^3$ et $P_v = 0.766\text{ bar}$) avec un débit est de 800 gal/min . Estimer (a) la hauteur manométrique, en mètres, et (b) la puissance d'entrée requise à 75% d'efficacité.

Si cette pompe est considéré un modèle commence à cavité lorsque la pression et la vitesse d'entrée sont de 0.8274 bar absolue et 6.1 m/s , respectivement. Trouvez le NPSH requis d'un prototype qui ayant la même vitesse de rotation est 3 fois plus petite.

Exo2 (6 pt): Une pompe centrifuge a $d_1 = 7\text{ in}$, $d_2 = 13\text{ in}$, $b_1 = 4\text{ in}$, $b_2 = 3\text{ in}$, $\beta_1 = 25^\circ$, et $\beta_2 = 40^\circ$ et tourne à 1160 r/min dans le sens horaire. Si le fluide est de l'essence à 20° C de masse volumique de 690 kg/m^3 et que l'écoulement pénètre dans les lames de la roue radialement,

1. Schématiser le triangle de vitesse à l'enter et sortie de la roue.
2. estimer : le débit en m^3/min , la puissance en watt, et la hauteur manométrique en m.

Question de cours (4 pt): monter 2 nombres sans dimension pour une machine a fluide incompressible



L'utilisation du téléphone portable est strictement interdite



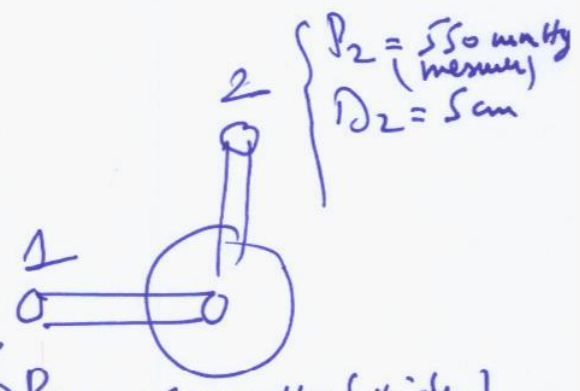
①

Solution de l'examen de Turbo-machines.

Exo 1 (10 P)

a) La hauteur manométrique :

$$H = P_2 R_2 - P_1 R_1 =$$



$$\left(\frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right) - \left(\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \right) \left\{ \begin{array}{l} P_1 = 150 \text{ mmHg (vide)} \\ D_1 = 12 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_2 = P_{\text{mesure}} + P_{\text{atm}} \\ P_1 = P_{\text{atm}} - P_{\text{vide}} \end{array} \right., \quad z_2 = 0$$

$$Q_v = 800 \text{ gal/min} = \frac{800 \cdot 0,00378541}{60} = 0,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_1 = \frac{Q}{S_1} = \frac{4 Q}{\pi D_1^2} = \frac{4 \cdot 0,05}{\pi (12 \cdot 10^{-2})^2} = 4,42 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{Q}{S_2} = \frac{4 Q}{\pi D_2^2} = \frac{4 \cdot 0,05}{\pi (5 \cdot 10^{-2})^2} = 25,46 \text{ m/s}$$

$$H = \left(\frac{550 + 150}{961,1 \cdot 10^6} \right) \cdot 0,001316 \cdot 10^5 + \frac{1}{2 \cdot 10} (25,46^2 - 4,42^2)$$

$$H = 9,58 + 31,43 = 41,01 \text{ m}$$

b) $\eta = \frac{P_u}{P_r} \Rightarrow P_r = \frac{P_u}{\eta} = \frac{\rho g Q H}{\eta}$

$$P_r = \frac{961,1 \cdot 10^6 \cdot 0,05 \cdot 41 \cdot 9}{0,75} = 26276,474 \text{ W}$$

② q NPSH requis d'un prototype qui ayant la même vitesse de rotation et 3 fois plus petite =
 * il faut calculer la $NPSH_r$ du Modèle (voir ML)

$$NPSH_{r,M} = \frac{P_e}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} = \frac{P_e}{\rho g} + \frac{v_e^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g}$$

$v_e + P_{te} =$ Pression total d'entrée

$$\frac{P_{te}}{\rho g} = \frac{P_e}{\rho g} + \frac{v_e^2}{2g}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{P_e - P_v}{\rho g} \right) + \frac{v_e^2}{2g} = \left(\frac{0,8274 \text{ bar} - 0,466 \text{ bar}}{1961,1 \cdot 10} \right) +$$

$$+ \frac{67^2}{2 \cdot 10} = 0,639 + 1,16$$

$$= 2,4995$$

d'où =

$$NPSH_{r,M} = 2,4995 \text{ m.}$$

* Le calcul de $NPSH_{r, \text{prototype}}$ est fait par l'analyse dimensionnelle = D

$$\pi_{NPSH} = \frac{[NPSH]}{[g][D][N]} = \frac{L}{(ML^{-3})^a \cdot L^b \cdot T^c}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 = -3a + b \\ 0 = a \\ 0 = c \end{array} \right\} b=1$$

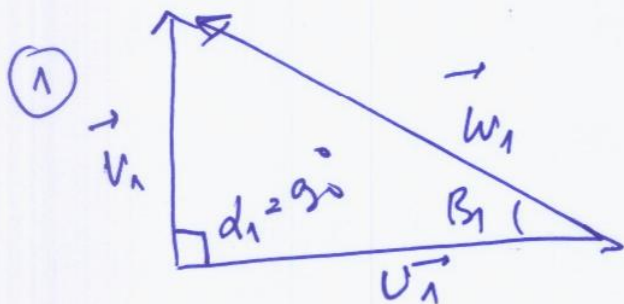
③ $\bar{\pi}_{NPSH} = \frac{NPSH}{D}$, donc $\Rightarrow \bar{\pi}_{NPSH}_r = \bar{\pi}_{NPSH}_M$

ou encore $D_M = \frac{1}{3} D_P$

$\frac{NPSH_P}{D_P} = \frac{NPSH_M}{D_M} \Rightarrow \frac{NPSH_P}{D_P} = \frac{NPSH_M}{\frac{1}{3} D_P}$

donc $\Rightarrow D \cdot NPSH_M = 3 NPSH_P$
 $NPSH_M = 3 \cdot NPSH_P = f_1, 4985 \text{ m}$

Exo 2 = (6p1)

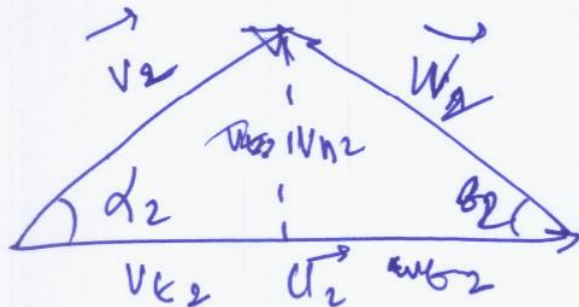


$Q_v = v_{n1} \cdot 2\pi r_1 b_1 = v_1 \cdot 2\pi r_1 b_1$



$\tan \alpha_1 = \frac{v_1}{u_1} \Rightarrow v_1 = \tan \alpha_1 \cdot u_1$

$Q_v = 2\pi r_1 b_1 \cdot u_1 \cdot \tan \alpha_1$



$\left(\cot \alpha_2 = \frac{w_{e2}}{u_{n2}} \right)$

$$\textcircled{1} U_1 = r_1 \omega_1 = r_1 \frac{2\pi N}{60} = \frac{\pi r_1 N}{30} = \frac{\pi \cdot 3,5 \cdot 0,0254 \cdot 1160}{30} =$$

$$U_1 = 10,799 \text{ m/s}$$

$$\textcircled{2} \varphi_2 = 2\pi \cdot 3,5 \cdot 4 (0,0254)^2 \cdot 10,799 \cdot \tan 25^\circ = 0,286 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P = \rho g \varphi H = \rho g U_2 V t_2$$

$$U_2 = r_2 \omega_2 = r_2 \frac{2\pi N}{60} = \frac{\pi r_2 N}{30} = \frac{\pi \cdot 6,5 \cdot 0,0254 \cdot 1160}{30}$$

$$= 20,06 \text{ m/s}$$

$\textcircled{3}$ d'après le triangle de vitesse dans le point (2) ;
on trouve =

$$V t_2 = U_2 - \omega t_2 = U_2 - V_{n2} \cot B_2$$

$$V_{n2} = \frac{\varphi}{2\pi r_2 b_2} = \frac{0,286}{2\pi \cdot 6,5 \cdot 3 \cdot (0,0254)^2} = 3,62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V t_2 = 20,06 - 3,62 \cot(40) = 15,74 \text{ m/s}$$

$$\text{So, } P = \rho g U_2 V t_2 = 690 \cdot 0,286 \cdot 15,74 = 62308,99 \text{ Watt}$$

⑧ Question de cours (4 p)

$$\pi_Q = \frac{Q}{ND^3}$$

$$\pi_H = \frac{gH}{N^2 D^2}$$

$$\pi_P = \frac{bHP}{JND^5}$$

Rattrapage S 2	2019/2020	Université CHAHIDE HAMMA LAKHDAR EL-Oued	Nom :
Module : TUR MACH APP.		Faculté de technologie	Prénom :
1 ^{ère} Master Energétique		Département de génie mécanique	
1 ft = 0.3048 m		1 in = 0,0254 m	1 gal = 0.00378541 m ³

Exo2 (8 pt):

Une pompe centrifuge a $r_2 = 9$ in, $b_2 = 2$ in et $\beta_2 = 35^\circ$ et tourne à 1060 r / min. Si elle génère une hauteur de 180 ft, déterminer le débit (a) en gal / min et (b) la puissance en Watt. Supposons un flux d'eau ($\rho = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$) d'entrée quasi radial.

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	Q_v			
2	P			

Exo3 (12 pt):

Une pompe prototype doit être conçue pour consommer une puissance de 27 MW à 93,7 tr / min pour une hauteur de 16,5 m. Une pompe modèle avec une puissance de 37,5 KW doit être testée dans des conditions dynamiques similaires avec une hauteur de 4,9 m. Calculez le rapport de vitesse et d'échelle entre le modèle et prototype. En supposant une efficacité du modèle de 88%, estimer le débit volumique à travers le modèle. On estime que la force sur le palier de poussée de la machine pleine grandeur sera de 7,0 GN. Pour quelle poussée le roulement du modèle doit-il être conçu?

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	N_m / N_p			
2	D_m / D_p			
3	Q_v			
4	F_m			



L'utilisation du téléphone portable est strictement interdite



Rattrapage S 2	31/05/2016	Université CHAHIDE HAMMA LAKHDAR EL-Oued	Nom :
Module : TUR MACH APP.		Faculté de technologie	Prénom :
1 ^{ère} Master Energétique		Département de génie mécanique	
1 ft = 0.3048 m		1 in = 0,0254 m	1 gal = 0.00378541 m ³

Exo1 (6 pt):

Un ventilateur prototype à flux axial de 1,83 m de diamètre est conçu pour fonctionner à une vitesse de 1400 t/min et une vitesse axiale moyenne de 12,2 m / s. Un modèle à quart d'échelle a été construit pour obtenir une vitesse de rotation de 4200 t/min. Déterminer la vitesse axial du modèle afin de préserver la similarité dynamique avec le ventilateur à grande échelle. Les effets du changement de nombre de Reynolds peuvent être négligés et la viscosité de l'air est maintenue constante. Calculer le rapport de pression entre le modèle et le prototype ?

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	C_x			
2	P_m / P_p			

Exo2 (6 pt):

Une pompe centrifuge a $r_2 = 9$ in, $b_2 = 2$ in et $\beta_2 = 35^\circ$ et tourne à 1060 r / min. Si elle génère une hauteur de 180 ft, déterminer le débit théorique (a) en gal / min et (b) la puissance en Watt. Supposons un flux d'eau ($\rho = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$) d'entrée quasi radial.

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	Q_v			
2	P			



Exo3 (8 pt):

Une turbine prototype à eau doit être conçue pour produire 27 MW en courant à 93,7 tr / min sous une hauteur de 16,5 m. Une turbine modèle avec une puissance de 37,5 KW doit être testée dans des conditions dynamiques similaires avec une hauteur de 4,9 m. Calculez le rapport de vitesse et d'échelle entre le modèle et prototype. En supposant une efficacité du modèle de 88%, estimer le débit volumique à travers le modèle. On estime que la force sur le palier de poussée de la machine pleine grandeur sera de 7,0 GN. Pour quelle poussée le roulement du modèle doit-il être conçu?

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	N_m / N_p			
2	D_m / D_p			
3	Q_v			
4	F_m			



Examen S 6	13/05/2016	Université CHAHIDE HAMMA LAKHDAR EL-Oued	Nom :
Module : TUR MACH 2 . .		Faculté de technologie	Prénom :
3 ^{ème} Licence Energétique		Département de génie mécanique	Groupe :

Exo1 (5 pt): une turbine à gaz mono-étagée reçoit le fluide aux conditions ($T_1=550\text{ °C}$, $P_1=4\text{ atm.}$). A la sortie de la turbine la pression est égale à 1 atm et la température est de 300 °C . En supposant $\gamma=1,4$.

On demande de calculer:

- 1- Le rendement isentropique de la turbine.
- 2- Le rendement polytropique de la turbine.

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	$\eta_{\text{isentropique}}$	$\frac{T_1 - T_2}{T_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}$	$\frac{550 - 300}{(550 + 273) \left[1 - \left(\frac{1}{4} \right)^{\frac{0,4}{1,4}} \right]}$	$\approx 93\%$
2	$\eta_{\text{polytropique}}$	$\frac{\ln(T_2/T_1)}{\ln(P_2/P_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$	$\frac{\ln(573/823)}{\ln(1/4)^{\frac{0,4}{1,4}}}$	$\approx 91\%$

Exo2 (7 pt):

Une turbine à basse pression contient Cinque étages identique, produise une puissance globale de 6.64 MW avec les conditions suivant $P_{01}=213\text{ kpa}$, $T_{01}=1200\text{ K}^\circ$, $Q_m=15\text{ kg/s}$, l'angle d'enter et sortie de stator sont $\alpha_1=15^\circ$, $\alpha_2=70^\circ$, respectivement. Le rayon moyen est de 0.46m et l'arbre tourne avec un angle de rotation w de 5600 rpm.

1. Calculer le coefficient de chargement ψ (loading coefficient) pour le premier étage.
2. Calculer le coefficient de débit ϕ (flow coefficient) pour le premier étage.
3. Calculer que le degré de réaction
4. Calculer la hauteur moyenne de la pale (b).

On donne $\gamma=1,333$; $r=287\text{ j/kj.k}$; $c_p=1150\text{ j/kg.k}$

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	ψ	$\frac{\Delta h_{\text{étage}}}{U^2} = \frac{a w_{\text{stage}}}{Q_m \cdot U^2} = \frac{\Delta h}{5 Q_m \cdot U^2}$	$\frac{6,64 \cdot 10^6}{5 \cdot 15 \cdot (269,75)^2}$	$\approx 1,216$
2	ϕ	$\phi = \frac{\psi}{[\tan \alpha_2 + \tan \alpha_1]}$ $\alpha_1 = \alpha_2$	$1,216 / [\tan 70 + \tan 15]$	$\approx 0,40325$
3	R	$R = 1 + \frac{\phi}{2} [\tan \alpha_3 - \tan \alpha_2]$	$1 + \frac{0,40325}{2} [\tan 15 - \tan 70]$	$\approx 0,5$
4	b	$b = \frac{A_x}{2\pi r m}$	$\frac{0,223}{2\pi \cdot 0,46}$	$77,15\text{ mm}$



Exo3 (8 pt):

Une turbine à gaz constituée d'un étage (stator et rotor) fonctionne avec des vitesses purement axiales à l'entrée et à la sortie. A l'entrée de la turbine la pression totale et la température totale sont 311 kPa et 850 °C, respectivement. A la sortie de stator l'écoulement fait un angle de 70° par rapport à la direction axiale. A la sortie de la turbine, la pression statique est de 100 kPa. Le rendement total à statique est estimé à 0,87 et la vitesse tangentielle du rotor au rayon moyen est de 500 m/s.

On donne $\gamma=1,33$ et $C_p=1,148 \text{ kJ/kg.K}$ et en supposant une vitesse axiale constante à travers l'étage, Ainsi le fluide est assimilé à un gaz parfait.

On demande de calculer ;

- 1- Le travail spécifique produit par la turbine.
- 2- Le nombre de Mach à la sortie de stator
- 3- La vitesse axiale
- 4- Le rendement isentropique total à total
- 5- Le degré de réaction

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	W	$W = ah = \eta_{TS} \cdot C_p T_{01} \left[1 - \left(\frac{P_3}{P_{01}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$	$0,87 \cdot 1,148 \cdot 1123 \left[1 - \left(\frac{100}{311} \right)^{\frac{1,33}{1,33}} \right]$	$275,2047 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
2	Ma	$\frac{C_2}{a_2} = \frac{C_2}{\sqrt{\gamma R T_2}} \quad \gamma = \frac{\gamma-1}{\gamma} C_p$ $C_2 = C_{p2} / a_{i2}$	$\frac{585,7}{\sqrt{1,33 \cdot 284 \cdot 973,57}}$	$0,946$
3	C_x	$C_x = C_2 \cos \alpha_2$	$585,7 \cdot \cos 70$	$200,324 \text{ m/s}$
4	η_{TT}	$\frac{1}{\eta_{TT}} = \frac{1}{\eta_{TS}} - \frac{C_x^2}{aW}$	$= \frac{1}{0,87} - \frac{(200,3211)^2}{2 \cdot 275,2010^3}$	$92,82\%$
5	R	$R = 1 + \frac{\phi}{2} (\tan^2 \alpha_3 - \tan^2 \alpha_2)$	$1 + \frac{200,32}{2 \cdot 500} [-\tan^2 70]$	$0,4494$

$$\phi = \frac{C_x}{u}$$



Rattrapage S6	03/06/2016	Université CHAHIDE HAMMA LAKHDAR EL-Oued	Nom :
Module : TUR MACH 2.		Faculté de technologie	Prénom :
3 ^{ème} Licence Energétique		Département de génie mécanique	Groupe :

Exo1 (8 pt):

Une turbine à écoulement axial fonctionnant avec une pression de stagnation de 8 à 1 et un rendement polytropique de 0,85. On suppose que le nombre de Mach et la vitesse à la sortie sont 0.3 et 160 m/s, respectivement.

- Déterminer le rendement total à totale de la turbine.
- Déterminer le rendement total à statique de la turbine.
- Déterminer la température totale de l'entrée.

Données : $C_p = 1.175 \text{ kJ / kg.k}$; $r = 0.287 \text{ kJ / kg.k}$

$$\frac{P_0}{P} = \left[1 + \frac{1}{2}(\gamma - 1)M^2 \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad \text{et} \quad \gamma = 1 / (1 - r / C_p) = 1,323$$

$$\frac{P_{03}}{P_3} = \left[1 + \frac{1}{2}(1,323 - 1)(0,3)^2 \right]^{\frac{1,323}{0,323}} = 1,0609$$

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	$\eta_{T.T}$	$1 - \frac{(P_{03}/P_{01})^{\frac{\gamma_p(\gamma-1)/\gamma}}{1 - (P_{03}/P_{01})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}}$	$\frac{1 - 0,6495}{1 - 0,6019}$	0,8804
2	$\eta_{T.S}$	$2\pi \frac{1 - (P_{03}/P_{01})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{1 - (P_{03}/P_{01})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \cdot (P_3/P_{03})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$	$\frac{P_{03} \cdot 0,8804(1 - 0,6019)}{1 - 0,6019/1,0609}$	0,8617
3	T_{01}	$\frac{h_{01}}{C_p} =$	$1375,5 / 1,175$	11706 K

Exo2 (3 pt): une turbine à gaz mono-étagée reçoit le fluide aux conditions ($T_1=550 \text{ °C}$, $P_1=4 \text{ atm.}$). A la sortie de la turbine la pression est égale à 1 atm et la température est de 300 °C. En supposant $\gamma=1,4$.

On demande de calculer:

- Le rendement isentropique de la turbine.
- Le rendement polytropique de la turbine.

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	$\eta_{isentropique}$	$T_1 T_2 / [T_1 (1 - (P_2/P_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}})]$	$(550 - 300) / [823 [1 - (1/4)^{\frac{0,4}{1,4}}]] \approx 93\%$	93%
2	$\eta_{polytropique}$	$\ln(T_2 - T_1) / \ln(P_2/P_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$	$\ln(550/823) / \ln(1/4)^{\frac{0,4}{1,4}} \approx 91\%$	91%



Exo3 (9 pt):

Dans un étage de turbine axiale, la vitesse axiale C_x est constante. Les vitesses absolues entrant et sortant de de l'étage sont dans la direction axiale. Si le coefficient de débit est de 0,6 et que le gaz quitte le stator à $68,2^\circ$ par rapport à la direction axiale, calculer

- 1- Schématiser le triangle de vitesse.
- 2- Le coefficient de charge ψ
- 3- L'angle relatif du rotor β_2
- 4- L'angle relatif du rotor β_3
- 5- Le degré de réaction

Solution		Relation mathématique finale (العلاقة الرياضية النهائية)	Application Numérique (التعويض العددي)	Résultat finale (النتيجة النهائية)
1	Triangle de vitesse			
2	ψ	$\psi = \Delta\varphi / u^2 = C_{u2} / u$ $= (C_x / u) \tan \alpha_2$	$0,6 \cdot \tan 68,2^\circ$	1,15
3	β_3	$\tan \beta_3 = u / C_x = 1 / 0,6$ $\beta_3 = \arctan(u / C_x)$	$\beta_3 = \arctan(1 / 0,6)$	1,667
4	β_2	$\tan \beta_2 = u / C_x$	$2,5 - 1,667$	0,8335
5	R	$(\tan \beta_3 - \tan \beta_2) C_x / (2u)$	$0,3 (1,667 - 0,8335)$	0,25

