

Série TD N°1 de Turbomachines II : L 3^{ème} AN Energétique

Resp-Module : Mr Bouaouina-L

Exercice n°1

Un planeur en descente stationnaire, dont la masse (avec son pilote) est de 300 kg, a une surface d'ailes de 15 m². Le planeur se trouve initialement à une hauteur de 1000 m dans un air sans courants verticaux ou horizontaux.

1°)-Déterminer le point de fonctionnement sur la polaire du planeur (figure1), l'incidence de l'aile, les vitesses horizontale et verticale, le trajet parcouru et le temps de vol dans les deux situations suivantes:

- le pilote désire poser son planeur le plus loin possible,
- le pilote désire avoir la vitesse absolue minimale sans le décrochage.

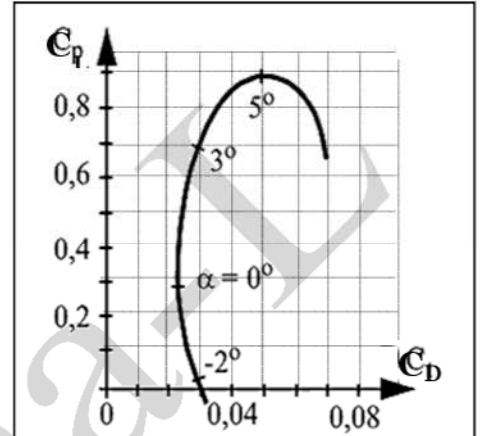


Fig.1-Polaire

Exercice n°2

Pour une grille d'aube travaillant dans les conditions nominales et dont la ligne de cambrure est un arc circulaire, de rapport (pas/corde) égale à 0.8 et l'angle d'entrée et de sortie de l'air respectivement 40° et 52,5°, assumant une incidence zéro sur l'aube et que $\delta = 0,23\theta$, calculer alors:

- l'angle nominale de deflexion ?
- l'angle de cambrure de l'aube ?
- l'angle de déviation ?
- l'angle de calage de l'aube si en on donne $\theta_1 = \frac{\theta}{2}$?

Exercice n°3

Une turbine Kaplan a quatre lames sur le rotor (Voir fig.2), chacun d'envergure 0,62 m fonctionnant à avec un angle de perte 3,9° et une vitesse de 75 tr/min. Le diamètre moyen du cercle primitif est de 3,5 m. La corde de la pale à une longueur de 2,5 m et son inclinaison vers la tangente de la pale est de 30° dans une condition où la vitesse d'écoulement axial est de 5,3 m.s⁻¹. Le coefficient de portance est de 0,76, Calculez :

- La composante tangentielle de la force sur l'aube ?
- La puissance développée par la turbine en kW?
- Le rendement de la turbine ?

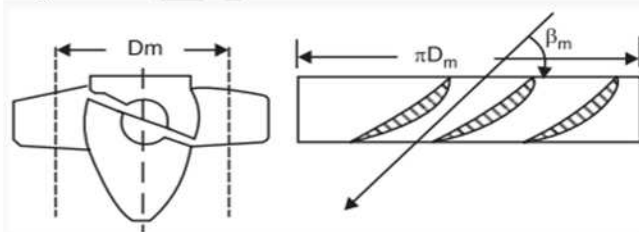
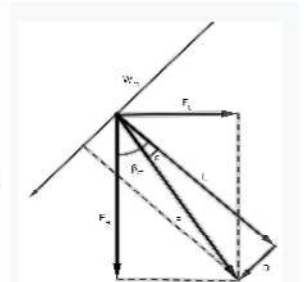
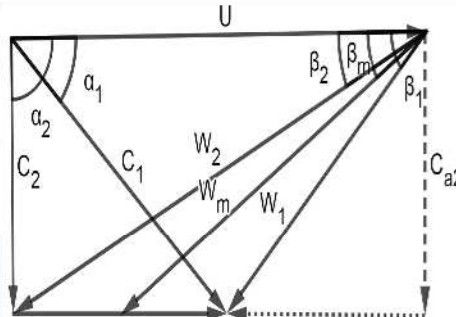


Fig.2-Turbine Kaplan



Solution de l'Exercice n°1

1°)- Le point de fonctionnement sur la polaire du planeur (voir figure.1) dans les deux situations suivantes:

a)- Pour aller le plus loin possible il faut que ϵ soit minimal.

• Le point de fonctionnement sur la polaire correspond à l'angle minimal

$\epsilon_{\min}$:

Ici: $\alpha = 3^\circ$; $C_L = 0,7$ et $C_D = 0,03 \Rightarrow \epsilon_{\min} = 2,45^\circ$

• Les vitesses horizontale et verticale :

$$v = \sqrt{\frac{2mg \cos \epsilon}{\rho S C_L}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 300 \cdot 9,81 \cdot \cos(2,45)}{1,23 \cdot 15 \cdot 0,7}} = 21,33 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow v_{\text{hor}} = v \cos \epsilon_{\min} \approx 21,3 \text{ m/s} \quad v_{\text{ver}} = v \sin \epsilon_{\min} \approx 0,9 \text{ m/s}$$

• La distance horizontale parcourue vaut ainsi: $D = \frac{h}{\tan \epsilon} = \frac{h C_L}{C_D} \approx 23,3 \text{ km}$

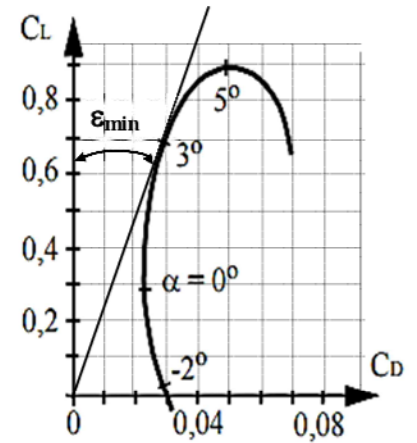
• Le temps de vol $t = \frac{D}{v_{\text{hor}}} \approx 18 \text{ minutes}$.

b)- Pour obtenir la vitesse absolue minimale pour des conditions normales de vol sans décrochage,

$$\alpha = 5^\circ; C_L = 0,9; C_D = 0,05; \epsilon = 3,18^\circ; v_{\text{hor}} \approx 18,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}; v_{\text{ver}} \approx 1,05 \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

l'angle ϵ est petit $\Rightarrow \cos \epsilon \approx 1 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2mg}{\rho S C_p}} = 18,82 \text{ m/s}$ et donc v est minimal pour C_p maximal:

$$D \approx 18 \text{ km et } t \approx 15,95 \text{ min} = 15 \text{ min } 57 \text{ s.}$$



Solution de l'Exercice n°2

$$\frac{t}{l} = 0,8 \quad \alpha_1 = 40^\circ \quad \alpha_2 = 52,5^\circ$$

(a)- l'angle de deflexion: $\varphi = \varphi_n = \alpha_1 + \alpha_2 = 40^\circ + 52,5^\circ = 92,5^\circ$

(b)- l'angle de cambrure de l'aube :- Puisque : $\delta = 0,26\theta(0,8)^{1/2} = 0,233\theta$

Angle de cambrure : $\theta = \beta_1 + \beta_2 = \theta_1 + \theta_2 \rightarrow \beta_2 = \theta_2 + \phi = \delta + \alpha_2$ et $\beta_1 = \theta_1 - \phi = \alpha_1 - i$

Puisque l'incidence $i=0$ donc $\beta_1 = \alpha_1 \rightarrow \theta = \alpha_1 + \alpha_2 + 0,233\theta \rightarrow \theta = \frac{40^\circ + 52,5^\circ}{1 - 0,23} = 120,13^\circ$

Ou on peut le résoudre autrement :

-Angle de déflexion : $\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 = \theta + i - \delta = \theta + i - 0,233\theta \Rightarrow \theta = \frac{\varphi}{1 - 0,23} = 120,13^\circ$

(c)- l'angle de déviation : $\delta = 0,233\theta = 0,233 \cdot 120,13^\circ = 27,99^\circ$

(d)- l'angle de calage de l'aube ϕ : puisque l'arc de la cambrure est circulaire

$$\phi = -\beta_1 + \frac{\theta}{2} = -\alpha_1 + \frac{\theta}{2} = -40^\circ + \frac{120,13^\circ}{2} = 20^\circ$$

Solution de l'Exercice n°3

1°)- D'après la Fig. 2, Triangles de vitesse, on voit que : $W_m = W_{a2} / \sin \beta_m = 5,3 / \sin 30 = 10,6 \text{ m. s}^{-1}$

-La composante tangentielle de force sur l'aube vaut : $F_u = C_L A \frac{\rho W_m^2 \sin(\beta_m - \epsilon)}{2 \cos \epsilon} = 29180,18 \text{ N}$

2°)- La vitesse tangentielle:

$$u = \pi D_m N / 60 = (\pi)(3,5 \times 75) / 60 = 13,74 \text{ m. s}^{-1}$$

-La puissance développée :

$$P = Z * u * F_u = (4)(13,74)(29180,18) = 1603742,7 \text{ W} = 1603,7 \text{ kW}$$

3°)- Le rendement de la turbine :

$$\eta_a = \frac{1 - \tan \epsilon \cdot \tan \beta_m}{1 + \tan \epsilon \cdot \cot \beta_m} = \frac{1 - \tan(3,9) \cdot \tan(30)}{1 + \tan(3,9) \cdot \cot(30)} = \frac{0,96}{1,118} = 0,8586 = 85,8\%$$