

Épreuve écrite (40 points)
lundi 7 janvier 2019

Durée : 3 heures. Sans document. Calculatrice autorisée.

REDIGER PARTIE 1 ET PARTIE 2 SUR DEUX COPIES SEPAREES

On demande de bien justifier les réponses aux questions (nom des relations, théorèmes, hypothèses d'applicabilité...).

PARTIE 1 : Aérodynamique incompressible (1h30, 20 points)

Portance et traînée du Chipmunk

On se propose d'évaluer les performances du DHC-1 (DeHavilland Canada 1, voir figure ci-contre). Ce monoplan biplace monomoteur, surnommé Chipmunk, a été conçu pour l'entraînement de l'Aviation Royale du Canada (ARC), de la Royal Air Force (RAF) et de plusieurs autres forces aériennes pendant la guerre froide. Il a été produit en 1283 exemplaires, parmi lesquels 350 environ seraient encore en état de navigabilité. L'avion était motorisé par un moteur Gipsy Major 4 cylindres de 145 chevaux (108 kW).

Dans les questions 1 et 2, on se place en écoulement incompressible non visqueux.



FIGURE 1 : le DHC-1 en vol.

1. Profil et coefficient de portance 2D (10 points)

- (a) L'aile du Chipmunk est basée sur le profil NACA 1415. Décrivez ce profil.
- (b) Pour simplifier l'étude, on remplace le NACA par un profil dont la ligne de cambrure moyenne est donnée par la fonction

$$z(x) = a x \left(1 - \frac{x}{c}\right)^2,$$

où a est une constante positive. Calculer $z'(x)$ et en déduire l'abscisse du point de cambrure maximale. Commenter.

- (c) En utilisant le changement de variable de Glauert ainsi que la relation $\cos^2 \theta = \frac{1}{2}[1 + \cos(2\theta)]$, montrer que $z'(x)$ se met sous la forme

$$f(\theta) = \frac{f_0}{2} + f_1 \cos(\theta) + f_2 \cos(2\theta),$$

et déduire par identification les coefficients f_n .

- (d) Déduire l'expression du coefficient de portance $C_{L'}(\alpha)$ en fonction de l'angle d'incidence dans l'approximation des profils minces. Pour quelles épaisseurs cette approximation est-elle vraiment justifiée ?
- (e) Pour obtenir une flèche identique à celle du NACA 1415, on adopte la valeur $a = 27/400$. Que valent alors l'angle de portance nulle $\alpha_{L'=0}$ et le coefficient de portance en incidence nulle $C_{L'}(\alpha = 0)$?

2. Portance de l'avion (4 points)

La voilure du Chipmunk est une aile à bords droits (voir figure ci-contre). On donne les grandeurs suivantes relatives à l'avion et aux conditions d'un vol de croisière :

- envergure totale $b_0 = 10$ m
- corde minimale $c_t = 1$ m
- corde maximale $c_r = 2.2$ m
- longueur de l'avion $\ell = 8$ m
- masse de l'avion $m = 800$ kg
- altitude de vol $z = 2000$ m
- masse volumique de l'air $\rho = 1$ kg/m³
- vitesse de l'avion $V_\infty = 60$ m/s.

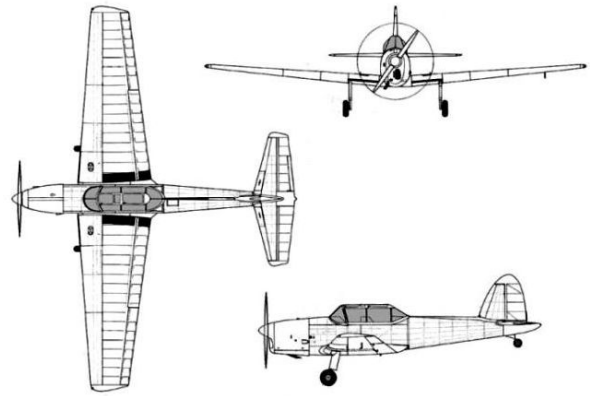


FIGURE 2 : vues du DHC-1.

- (a) Donner l'expression littérale et la valeur numérique de la corde moyenne \bar{c} , puis de la surface alaire S_a et du rapport de forme A_R de l'aile.
- (b) L'aile n'est pas vrillée, et on néglige les effets de vitesse induite qui modifieraient l'angle d'incidence α . Exprimer la portance totale L de l'aile à l'aide de la distribution de corde $c(y)$, et montrer que le coefficient de portance de l'aile 3D est alors égal au coefficient de portance du profil 2D.
- (c) Quelle incidence doit-on imposer à l'aile pour compenser le poids de l'avion en vol de croisière ? Si l'on n'est pas parvenu à trouver $\alpha_{L'=0}$ dans la question 1, on pourra utiliser l'approximation $\alpha_{L'=0} \approx -0.5^\circ$.

3. Traînée de l'avion (6 + 3 points)

On souhaite maintenant estimer d'une part la traînée visqueuse de l'avion, en prenant en compte la voilure (voir question précédente) ainsi que le fuselage de surface $S_f = 25$ m², et d'autre part la traînée induite.

- (a) Pour les conditions de vol précisées plus haut, calculer le nombre de Reynolds $Re_{\bar{c}}$ basé sur la corde moyenne. À l'altitude de vol, la viscosité cinématique de l'air est $\nu = 1 \cdot 10^{-5}$ m²/s.
- (b) En déduire une estimation de la traînée due à la voilure.
- (c) Calculer le nombre de Reynolds Re_ℓ basé sur la longueur de l'avion.
- (d) En déduire une estimation de la traînée due au fuselage.
- (e) (facultatif) Tracer l'allure de l'intensité de la nappe tourbillonnaire $\gamma_x(y)$ générée par la voilure.
- (f) Expliquer brièvement pourquoi cette nappe tourbillonnaire est à l'origine d'une traînée induite. Comment la traînée induite est-elle reliée à la portance ?
- (g) (facultatif) Estimer la traînée induite pour un angle d'incidence de l'aile $\alpha = 2^\circ$.
- (h) (facultatif) Faire le bilan des forces de traînée. Commenter.

Annexe partie incompressible : traînée visqueuse d'une face de plaque plane de longueur L

- en laminaire : $C_{D'_v} = \frac{1.328}{\sqrt{Re_L}}$,
- en turbulent avec $Re_L < 10^7$: $C_{D'_v} \simeq \frac{0.074}{Re_L^{1/5}}$,
- en turbulent avec $Re_L > 10^7$: $C_{D'_v} \simeq \frac{0.455}{(\log_{10} Re_L)^{2.58}}$.