Exercices – Ecoulements I. H. autour d'un obstacle

Exercice 1 : Chute d'une bille dans un fluide très visqueux

Cet exercice correspond à la partie théorique d'une expérience de TP que vous réaliserez cette année. L'objectif est d'observer la chute de billes de différents diamètres dans un fluide très visqueux pour en déduire une mesure de la viscosité du fluide. L'ordre de grandeur de la viscosité du fluide est $1\ Pl$. Sa densité vaut 1.

Les billes sont en acier, de densité d'environ 8. Les vitesses sont de l'ordre de qq $cm.s^{-1}$ pour des billes de diamètre qq mm.

1. Pour tenir compte simplement de la poussée d'Archimède dans les calculs, on définit un « champ de pesanteur apparent » g' tel que le poids associé est égal au « vrai poids » de la bille auquel a été soustrait la poussée d'Archimède. Déterminer numériquement la valeur de g'.

2. Quelle expression de la force de traînée doit-on utiliser ?

3. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par la bille lors de sa chute dans le fluide. On précise que la bille est lâchée sans vitesse initiale à la surface du fluide.

On réalise un film d'un essai (une bille donnée) à l'aide d'une caméra rapide. L'observation de la phase transitoire de la chute montre que le régime permanent est atteint en quelques centièmes de seconde.

4. A l'aide d'un chronomètre et de marques au feutre réalisée sur l'éprouvette contenant le fluide, il est possible de mesurer la vitesse en régime permanent v_∞. On réalise cette mesure pour les différentes billes. On trace cette vitesse en fonction du carré du rayon des billes $v_\infty(r^2)$. On obtient une droite passant par l'origine. Justifier théoriquement cette observation expérimentale et en déduire une mesure du coefficient de viscosité dynamique du fluide.

Exercice 2 : Chute de boules dans l'air

On lâche une boule de pétanque et une balle de tennis (de même rayon) sans vitesse initiale d'une hauteur H au-dessus du sol.
NB : On pourra se reporter aux documents du cours si nécessaire.

1. Dans le vide, comparer les temps de chute des deux boules.
2. Idem dans l'air.

Exercice 3 : Puissance d'un cycliste

On considère un cycliste roulant à $v = 36\ km.h^{-1}$ dans l'air. Sa masse $m = 100\ kg$.

1. En modélisant le cycliste de manière très simple, montrer que la puissance P_v nécessaire pour contrer la résistance de l'air est proportionnelle au cube de sa vitesse.

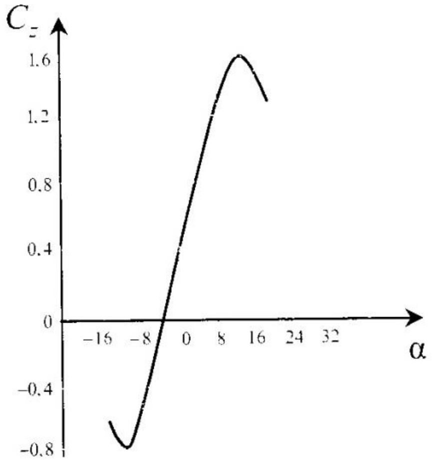
2. De combien augmente cette puissance si la vitesse augmente de 10 % ?

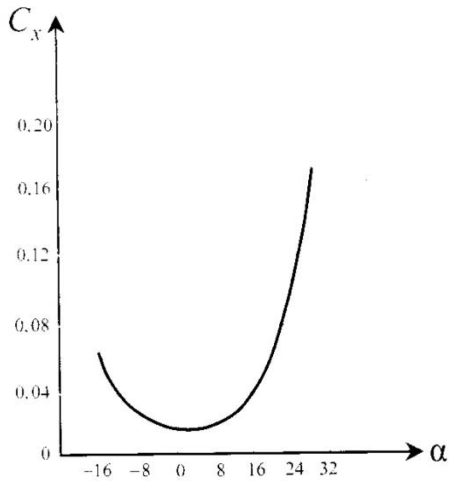
3. Ce cycliste gravit une pente de 2,5 % (élévation de 2,5 m tous les 100m parcourus). On considère que le coefficient de traînée vaut $C \sim 1$.
La puissance P_v est-elle supérieure à la puissance du poids ?

Exercice 4 : Décollage avion

❑ Exercice 8.7. Portance et traînée d'un avion de tourisme léger

Les courbes ci-dessous, obtenues par des essais en soufflerie à l'aide d'une balance aérodynamique, représentent l'évolution des coefficients de portance C_z et de traînée C_x en fonction de l'angle d'incidence α pour un profil d'aile.



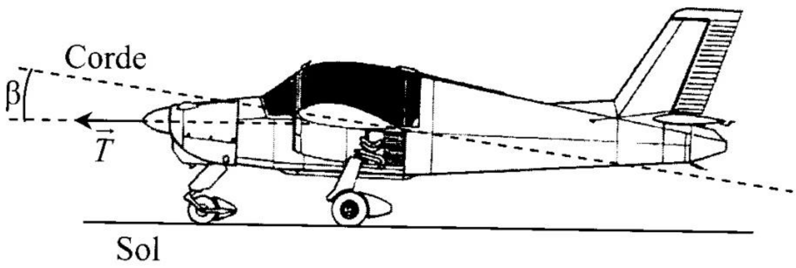


1. Rappeler l'expression des forces de portance et de traînée en fonction de la masse volumique de l'air ρ, de la surface alaire de référence S et de la vitesse v du vent relatif.

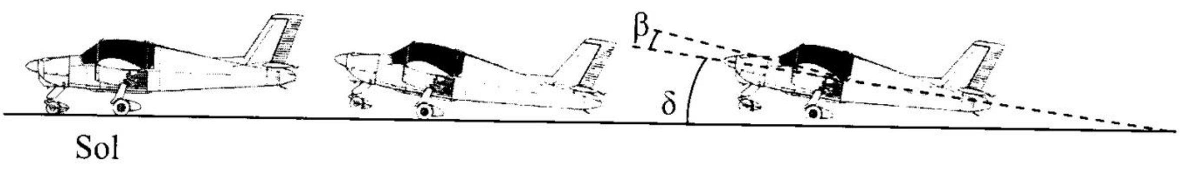
2. a) Commentez l'allure des courbes ainsi que les ordres de grandeur des valeurs respectives de C_z et C_x pour une incidence donnée. Discuter l'intérêt de ce profil d'aile.

b) À partir de quelle incidence l'aile est-elle potentiellement en situation de décrochage (perte de portance plus ou moins brutale) ?

Dans toute la suite, on assimilera, pour simplifier, les coefficients de portance et de traînée de l'aile à ceux de l'avion et on supposera que le pilote ne fait pas usage des volets pour décoller. La corde fait avec l'axe longitudinal de l'avion un angle β de 4° (angle de calage). La force de traction $\vec{T}$ qu'exerce le moteur de l'avion sera prise de même support que son axe longitudinal.



3. a) Dans la phase de roulage précédant l'instant du décollage, le pilote tire momentanément sur le manche de sorte que la queue de l'avion s'enfonce. L'avion étant à charge maximum, à quel angle δ le pilote doit-il choisir de placer l'axe longitudinal de l'avion par rapport au sol ? Faire un schéma en représentant les forces s'exerçant sur l'avion et le vent relatif à l'infini. Quelle est la vitesse minimum à l'instant où les roues quittent le sol ?



Exercice 5 : Gouttes de pluie

On étudie le mouvement de gouttes de pluie. On rappelle la viscosité de l'air $\eta = 2.10^{-5}\ Pl$.

1. En choisissant le meilleur modèle pour la traînée subie par la goutte, calculer la vitesse de chute v d'une goutte de rayon $r = 1\ mm$ et v' d'une goutte de rayon $r' = 0{,}01\ mm$.

2. Dans un nuage, les grosses gouttes absorbent les petites gouttes chaque fois qu'elles en touchent une. En supposant que le nombre de microgouttes par unité de volume est uniforme et égale à n' dans le nuage, exprimer la variation dr du rayon d'une grosse goutte de rayon initial $r \gg r'$ lorsqu'elle tombe d'une hauteur $dz = v\ dt$.
En déduire comment évolue le rayon $r(t)$ au cours du temps.
Calculer la durée nécessaire pour que le rayon passe de $r_0 = 0{,}5\ mm$ à $2\ r_0$ en supposant que les petites gouttes occupent une fraction du volume du nuage $f = 10^{-6}$.

Exercice 6 : Atterrissage d'un avion

Un avion de chasse en panne de freins atterrit à une vitesse de $240\ km.h^{-1}$. Une fois au sol, il est freiné en secours par un parachute de diamètre $D = 3\ m$ déployé instantanément par le pilote au moment où les roues de l'avion touchent le sol. On néglige la traînée de l'avion et les forces de frottement des roues sur le sol par rapport à la force de traînée du parachute. On considère que le réacteur ne délivre plus aucune poussée.

1. Etablir l'équation différentielle à laquelle obéit la vitesse v de l'avion. En déduire l'expression de v en fonction du temps. On prendra comme origine des temps la date à laquelle les roues de l'avion touchent le sol.

2. Dans le cas où les freins fonctionnent, la distance d'atterrissage de l'avion est de l'ordre de 1400 m. Déterminer la vitesse atteinte par l'avion après avoir été freiné uniquement par le parachute sur cette distance. Faire l'application numérique.

Données : le coefficient de traînée du parachute vaut $C = 1{,}5$.