

Centrale Physique et Chimie 2 PSI 2020 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Alexandre Herault (professeur en CPGE) et Jérôme Lambert (enseignant-chercheur à l'université) ; il a été relu par Jacques Ding (École Polytechnique), Vincent Freulon (professeur en CPGE) et Stéphane Ravier (professeur en CPGE).

Ce sujet est consacré à l'étude de différents domaines de la physique et de la chimie qui entrent en compte lors du vol d'un airbus A320.

- Dans la partie I, on caractérise la portance et la traînée d'une aile symétrique dans les conditions de vol, en examinant en particulier la notion de finesse et la question du décrochage.
- La partie II est consacrée à l'étude thermodynamique d'un turboréacteur à double flux en régime stationnaire. On étudie dans un premier temps l'élévation de température du gaz due à la combustion du carburant (du décane) avant de caractériser les variations de température aux différents étages du turboréacteur. En dernier lieu, on s'intéresse à la poussée du réacteur en considérant celui-ci comme un ensemble de deux systèmes ouverts correspondant aux flux chaud et froid qui le traversent.
- La partie III s'intéresse aux oxydes d'azote NO et NO₂. Les questions traitent essentiellement de thermodynamique et de cinétique.
- Dans la partie IV, on étudie un alliage d'aluminium et de cuivre utilisé en aéronautique. Une première sous-partie présente un diagramme binaire avec composé défini qu'il convient de lire et d'utiliser. Une seconde sous-partie aborde les courbes courant-potentiel. Questionnement quantitatif et raisonnement qualitatif sont utilisés.

Les deux parties de physique donnent une bonne idée des notions associées à la portance d'une aile et au fonctionnement d'un turboréacteur. L'ensemble respecte bien le programme et les questions, classiques, correspondent à ce qui est généralement attendu au concours dans la filière PSI. Ce problème constitue donc un très bon entraînement pour les sessions futures.

INDICATIONS

Partie I

- 3 L'A320 possède deux ailes et l'angle α n'est pas nul en vol horizontal.
- 13 Remarquer que pour tout point M de coordonnées (C_x, C_y) sur la courbe de la figure 6, l'angle θ entre l'axe horizontal et \overrightarrow{OM} vérifie $\tan \theta = C_y/C_x = f$.
- 14 L'abscisse de la figure 6 doit être multipliée par un facteur 10^{-2} et l'origine de son ordonnée est décalée au milieu de l'axe.

Partie II

- 17 L'air est constitué à 80 % de diazote. La température de ce gaz et des produits de la réaction de combustion s'élève suite à l'énergie libérée par celle-ci.
- 18 Une erreur s'est glissée dans l'énoncé : il faut exprimer P_j en fonction de P_i , T_i , T_j et γ et supposer la transformation isentropique.
- 19 L'énoncé omet de préciser que l'étape $1 \rightarrow 2$ est adiabatique et réversible. Le couplage mécanique permet de déterminer T_5 .
- 20 Aucun travail massique utile n'est échangé dans les étages du turboréacteur qui ne comportent pas de pièce mobile, en particulier dans la tuyère.
- 22 Prendre un volume de contrôle englobant tout le gaz impliqué dans le flux chaud (resp. froid) depuis l'entrée dans la soufflante jusqu'à la sortie de la tuyère. Faire un bilan de quantité de mouvement sur le système fermé défini par la réunion de le gaz contenu dans ce volume de contrôle et celui y entrant entre t et $t + dt$. La troisième loi de Newton permet d'en déduire la force de poussée exercée sur le réacteur.

Partie III

- 29 Calculer dans un premier temps la valeur de la constante d'équilibre à l'aide des grandeurs standard de réaction. Utiliser ensuite la relation fondamentale de l'équilibre.
- 31 Supposer que la réaction admet un ordre. Utiliser la pente des droites pour déterminer un premier ordre partiel puis les ordonnées à l'origine pour déterminer le second et la constante de vitesse. Il est commode d'exprimer toutes les concentrations en $\mu\text{mol.L}^{-1}$.
- 33 Lorsque le rendement quantique s'approche de 1, on fournit toujours suffisamment d'énergie pour rompre la liaison, ce qui correspond à l'énergie de liaison.

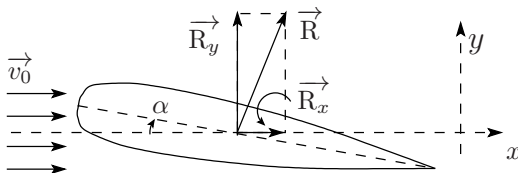
Partie IV

- 34 Le composé défini correspond à la frontière verticale. Calculer la fraction molaire en cuivre pour déterminer la formule brute.
- 37 Considérer que la phase α est constituée d'aluminium pur à 300 K puis appliquer le théorème des moments chimiques.
- 40 La valeur de \mathcal{F} donnée dans l'énoncé est fautive, il faut lire $\mathcal{F} = 9,64 \cdot 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$. Le potentiel standard apparent est le potentiel rédox du couple lorsque toutes les espèces, sauf H^+ , sont dans l'état standard.
- 42 Le potentiel de corrosion est le potentiel pris par l'anode et la cathode simultanément. Comment doivent être les courants anodique et cathodique ?
- 43 Complexer l'oxydant d'un couple rédox a pour effet de baisser le potentiel standard du couple.

ÉTUDE SIMPLIFIÉE DU VOL D'UN AIRBUS A320

I. L'AIRBUS A320 EN VOL

1 L'axe (Ox) coïncide avec la direction de la vitesse du vent relatif. La projection de \vec{R} sur cette direction donne la force de traînée \vec{R}_x . La composante orthogonale à \vec{v}_0 est la portance \vec{R}_y .



2 Effectuons un bilan des forces s'exerçant sur l'avion lorsque celui-ci est en vol horizontal dans le référentiel terrestre supposé galiléen, c'est-à-dire lorsque l'axe (Ox) est perpendiculaire à l'accélération de la pesanteur :

- La réaction de l'air sur chacune des deux ailes de l'A320. Pour une aile de surface S_{aile} , $\vec{R}_{\text{aile}} = \vec{R}_x + \vec{R}_y$. Puisque l'A320 possède deux ailes et qu'on néglige la réaction sur les autres éléments constitutifs de l'avion, la réaction totale de l'air sur l'avion est $\vec{R} = 2\vec{R}_x + 2\vec{R}_y$.
- Le poids $\vec{P} = -mg\vec{e}_y$.
- La poussée des réacteurs $\vec{F} = F\vec{e}_x$.

Le théorème de la résultante dynamique appliqué à l'avion en translation rectiligne uniforme dans le référentiel terrestre s'écrit

$$2\vec{R}_x + 2\vec{R}_y + F\vec{e}_x - mg\vec{e}_y = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{0}$$

Projetons cette relation sur les vecteurs \vec{e}_x et \vec{e}_y . Il vient

$$2R_x = F \quad \text{et} \quad 2R_y = mg$$

D'après l'énoncé, les coefficients aérodynamiques de l'avion sont assimilables à ceux des ailes. Substituons les expressions de R_x et R_y pour obtenir, d'une part, l'équation de propulsion

$$\rho S_{\text{aile}} v_0^2 C_x = F$$

et, d'autre part, l'équation de sustentation

$$\rho S_{\text{aile}} v_0^2 C_y = mg$$

3 L'équation de sustentation permet d'exprimer la vitesse v_0 en fonction de C_y :

$$v_0 = \sqrt{\frac{mg}{C_y \rho S_{\text{aile}}}}$$

Sur la figure 2, on lit $C_y = 0,4$ pour $\alpha = 3^\circ$, d'où

$$v_0 = \sqrt{\frac{mg}{C_y \rho S_{\text{aile}}}} = \sqrt{\frac{60.10^3 \times 9,8}{0,4 \times 1,2 \times 3 \times 12}} = 2.10^2 \text{ m.s}^{-1} = 7.10^2 \text{ km.h}^{-1}$$

Injectons ce résultat dans l'équation de propulsion pour obtenir la force de poussée F . La figure 2 donne $C_x = 0,02$ pour $\alpha = 3^\circ$, si bien que

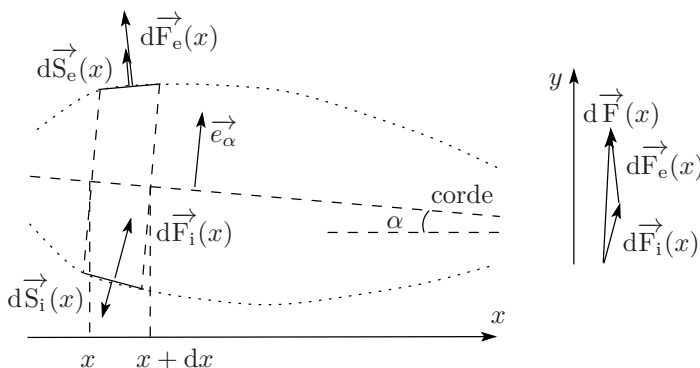
$$F = \rho S_{\text{aile}} v_0^2 C_x = 1,2 \times 3 \times 12 \times (2.10^2)^2 \times 0,02 = 3.10^4 \text{ N}$$

4 Par définition,
$$K_p = \frac{P - P_0}{P_t - P_0}$$

La surpression en tout point d'abscisse x à la surface de l'aile :

$$\Delta P(x) = P - P_0 = (P_t - P_0) K_p = \frac{1}{2} \rho v_0^2 K_p(x)$$

La surpression ΔP est proportionnelle à K_p et ces deux grandeurs sont du même signe. Pour $\alpha \neq 0^\circ$, les courbes de la figure 4 montrent que le coefficient de pression de l'intrados est supérieur au coefficient de pression de l'extrados en tout point de la corde. La figure ci-dessous montre deux éléments de surface symétriques $d\vec{S}_e(x)$ (pour l'extrados) et $d\vec{S}_i(x)$ (pour l'intrados) à l'abscisse x de la corde ainsi que les forces qui s'appliquent. On y introduit le vecteur normé \vec{e}_α perpendiculaire à la corde.



La figure 2 montre en outre que $C_x \ll C_y$, donc que la résultante des forces hydrodynamiques est principalement la portance. Par conséquent, les éléments de surface de l'aile sont faiblement inclinés par rapport à \vec{e}_α si bien qu'on considère qu'ils sont orientés suivant ce vecteur. Ainsi,

$$d\vec{S}_e(x) = dS \vec{e}_\alpha \quad \text{et} \quad d\vec{S}_i(x) = -dS \vec{e}_\alpha$$

Dès lors, la résultante des forces de pression sur un élément de surface dS de l'aile, correspondant à une portion de la corde située entre x et $x+dx$, découle de la pression exercée sur chaque côté de l'aile, d'où

$$d\vec{F}_\alpha = d\vec{F}_e + d\vec{F}_i = -\left(P_0 + \frac{1}{2} \rho v_0^2 K_{p,e}(x)\right) dS \vec{e}_\alpha + \left(P_0 + \frac{1}{2} \rho v_0^2 K_{p,i}(x)\right) dS \vec{e}_\alpha$$

soit
$$d\vec{F}_\alpha = \frac{1}{2} \rho v_0^2 (K_{p,i}(x) - K_{p,e}(x)) dS \vec{e}_\alpha$$

D'après la figure 4, $K_{p,i}(x) > K_{p,e}(x)$, donc

$$d\vec{F}_\alpha \cdot \vec{e}_\alpha > 0$$

pour tout élément de surface de l'aile. Il en résulte que la force totale \vec{F}_α est dans le même sens que \vec{e}_α . Projétons cette force sur \vec{e}_y pour obtenir la force de portance :

$$F_y = \vec{F}_\alpha \cdot \vec{e}_y = F_\alpha \cos \alpha$$

L'angle α est petit donc $\cos \alpha > 0$, si bien que **la force de portance est positive.**