Quelques aspects de la physique du vol avec l'A380

Bac S 2015 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Calculer la variation d'énergie cinétique ΔE_C de l'avion entre le début et la fin de la phase de roulage.

Données utiles $m = 560$ t ; $v_A = 0$; $v_B = 320$ km · h^{-1}

Système {avion}, étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

L'avion part du repos en A : $E_C(A) = 0$, donc $\Delta E_C = E_C(B) - E_C(A) = \dfrac{1}{2} m v_B^2$.

Conversions : $m = 560 \times 10^3$ kg et $v_B = \dfrac{320}{3{,}6} = 88{,}9$ m · s^{-1}.

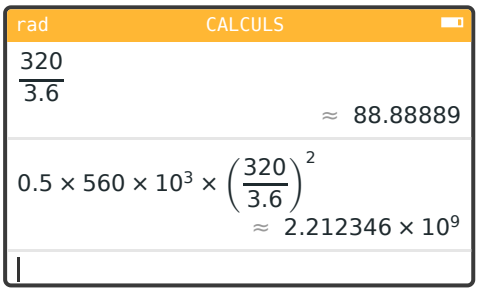
$$\Delta E_C = \frac{1}{2} \times 560 \times 10^3 \times \left(\frac{320}{3{,}6}\right)^2$$

$\Delta E_C = 2{,}21 \times 10^9$ J

PIÈGE
Laisser la masse en tonnes ou la vitesse en km · h^{-1} : le résultat n'est en joules que si m est en kg et v en m · s^{-1}.

COMPRENDRE
Les données (560 t, 320 km · h^{-1}) ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. On conserve la valeur non arrondie en mémoire pour la question suivante.

À LA CALCULATRICE



1.2 Calculer la valeur de la force de poussée $F_{\text{poussée}}$ lors du roulage, puis dire si le fonctionnement des quatre réacteurs est nécessaire.

Données utiles $AB = 1{,}8$ km ; $\Delta E_C = 2{,}21 \times 10^9$ J (1.1) ; poussée maximale d'un réacteur : 310 kN

Forces prises en compte sur le trajet AB : le poids $\vec{P}$, la réaction de la piste $\vec{R}$ (normale, car sans frottement), la portance et la poussée ; la traînée est négligée.

Le poids, la réaction et la portance sont perpendiculaires au déplacement horizontal : leur travail est nul.

La poussée est constante, de même direction et de même sens que le déplacement : $W_{AB}(\vec{F}_{\text{poussée}}) = F_{\text{poussée}} \times AB \times \cos 0 = F_{\text{poussée}} \times AB$.

La relation donnée devient $\Delta E_C = F_{\text{poussée}} \times AB$, d'où

$$F_{\text{poussée}} = \frac{\Delta E_C}{AB} = \frac{2{,}21 \times 10^9}{1{,}8 \times 10^3} = 1{,}2 \times 10^6 \text{ N}$$

Nombre de réacteurs à pleine puissance : $\dfrac{1{,}2 \times 10^6}{310 \times 10^3} \approx 4{,}0$. Trois réacteurs ne fourniraient au plus que $3 \times 310 = 930$ kN.

$F_{\text{poussée}} = 1{,}2 \times 10^6$ N : les quatre réacteurs doivent fonctionner, pratiquement à leur poussée maximale.

PIÈGE
Oublier de justifier que trois travaux sont nuls, ou laisser AB en kilomètres. Le travail s'exprime en joules avec une force en newtons et une distance en mètres.

COMPRENDRE
AB n'a que deux chiffres significatifs : la force est donnée avec deux chiffres.

MÉTHODE
Théorème de l'énergie cinétique : 1) système et référentiel ; 2) bilan des forces ; 3) travail de chacune (nul si elle est perpendiculaire au déplacement) ; 4) isoler la grandeur cherchée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.5 \times 560 \times 10^3 \times \left(\frac{320}{3.6}\right)^2}{1.8 \times 10^3} \approx 1229081$$

$$\frac{0.5 \times 560 \times 10^3 \times \left(\frac{320}{3.6}\right)^2}{\frac{1.8 \times 10^3}{310 \times 10^3}} \approx 3.964777$$

2.1 Représenter, sans souci d'échelle et en justifiant, les forces appliquées sur l'avion en vol de croisière. Indiquer le sens de déplacement.

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, l'avion a un mouvement rectiligne uniforme. D'après le principe d'inertie, les forces qu'il subit se compensent :

$$\vec{P} + \vec{F}_{\text{portance}} + \vec{F}_{\text{traînée}} + \vec{F}_{\text{poussée}} = \vec{0}$$

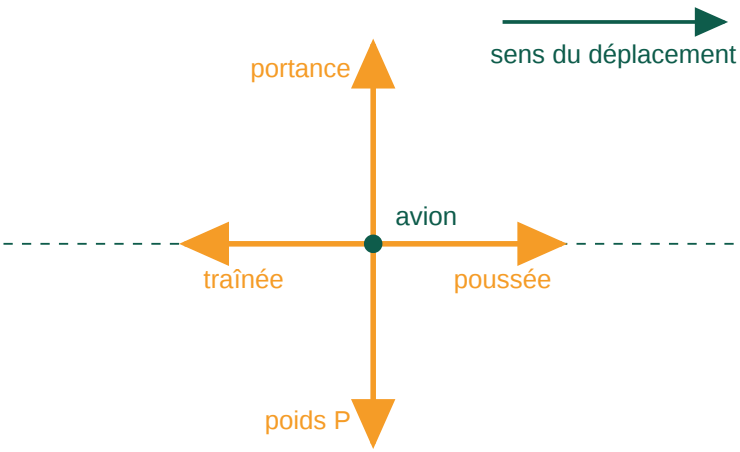
Le mouvement est horizontal : le poids et la portance sont verticaux, la poussée et la traînée horizontales. La somme est donc nulle sur chaque direction :

- verticalement, la portance (vers le haut) et le poids (vers le bas) ont la même longueur ;
- horizontalement, la poussée (sens du mouvement) et la traînée (sens opposé) ont la même longueur.

$\vec{F}_{\text{portance}} = -\vec{P}$ et $\vec{F}_{\text{poussée}} = -\vec{F}_{\text{traînée}}$: vecteurs opposés deux à deux, tracés depuis le point représentant l'avion.

PIÈGE
Tracer une poussée plus longue que la traînée « parce que l'avion avance ». À vitesse constante, la somme des forces est nulle ; une poussée supérieure ferait accélérer l'avion.

COMPRENDRE
« Tenir compte de la réalité physique » signifie ici : même longueur pour deux forces opposées, même point d'application, directions et sens corrects.



2.1 · Forces sur l'avion en croisière : elles se compensent deux à deux

2.2 Déterminer la valeur de la force de poussée et la comparer à la poussée maximale des quatre réacteurs.

Données utiles $v = 945\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$; altitude $10\ \text{km}$; $S = 845\ \text{m}^2$; $C_x = 0{,}020$; poussée maximale d'un réacteur : $310\ \text{kN}$

D'après 2.1, la poussée et la traînée ont la même valeur : $F_{\text{poussée}} = F_{\text{traînée}} = \frac{1}{2}\rho v^2 C_x S$.

L'atmosphère étant immobile, la vitesse de l'air par rapport à l'avion vaut la vitesse de croisière : $v = \frac{945}{3{,}6} = 262{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Lecture sur la figure 1, à l'altitude $h = 10\ \text{km}$: $\rho \approx 0{,}40\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

$$F_{\text{poussée}} = \frac{1}{2} \times 0{,}40 \times \left(\frac{945}{3{,}6}\right)^2 \times 0{,}020 \times 845 = 2{,}3 \times 10^5\ \text{N}$$

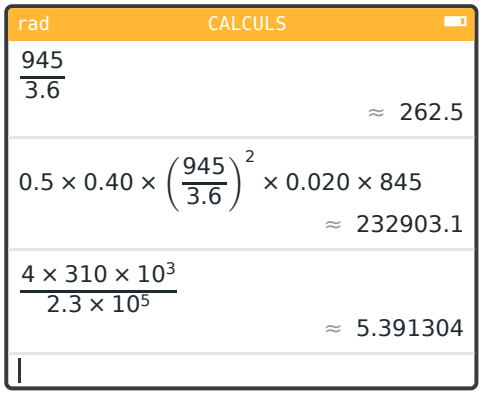
Poussée maximale des quatre réacteurs : $F_{\max} = 4 \times 310 \times 10^3 = 1{,}24 \times 10^6\ \text{N}$, soit $\frac{F_{\max}}{F_{\text{poussée}}} \approx 5$.

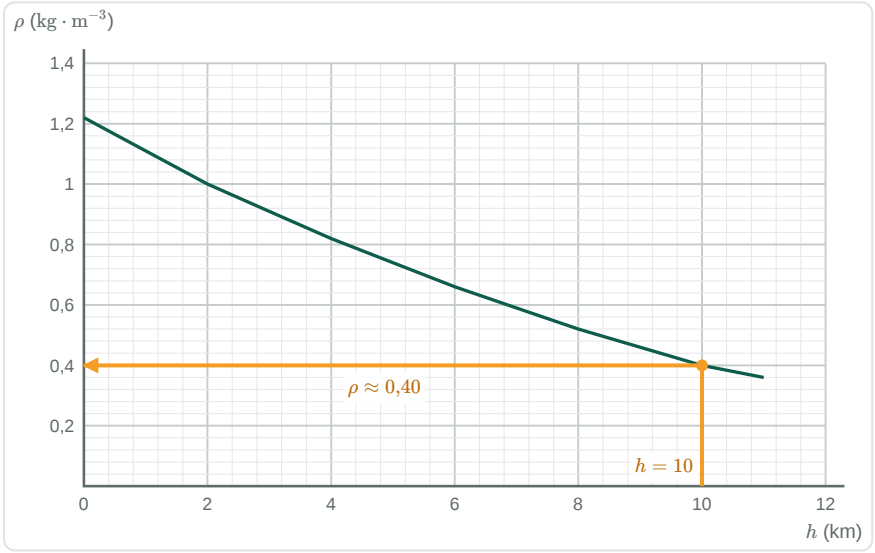
$F_{\text{poussée}} = 2{,}3 \times 10^5\ \text{N}$, environ cinq fois plus faible que la poussée maximale des quatre réacteurs.

PIÈGE
Prendre la masse volumique de l'air au sol (environ $1{,}2\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) au lieu de la lire à 10 km, ou oublier de convertir la vitesse.

COMPRENDRE
La lecture graphique et C_x limitent la précision à deux chiffres significatifs. Une lecture $\rho = 0{,}41\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ est acceptable et donne $2{,}4 \times 10^5\ \text{N}$.

À LA CALCULATRICE





2.2 · Figure 1 du sujet, avec la lecture à 10 km d'altitude

2.3 Pourquoi est-il pertinent de voler à haute altitude en vol de croisière ?

La figure 1 montre que la masse volumique ρ de l'air diminue quand l'altitude augmente : elle est environ trois fois plus faible à 10 km qu'au niveau du sol.

Or la traînée $F_{\text{traînée}} = \frac{1}{2}\rho v^2 C_x S$ est proportionnelle à ρ. À vitesse donnée, elle est donc plus faible en altitude, et la poussée qui doit la compenser aussi.

À haute altitude, les réacteurs fournissent une poussée plus faible pour la même vitesse : l'avion consomme moins de carburant.

COMPRENDRE
La portance est elle aussi proportionnelle à ρ : on ne peut pas monter indéfiniment, car elle doit continuer à compenser le poids.

2.4 Calculer la masse de l'Airbus A380 sur cette portion de vol et commenter la valeur obtenue.

Données utiles $C_z = 0{,}32$; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $\rho \approx 0{,}40\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et $v = 262{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (2.2) ; masse au décollage : 560 t

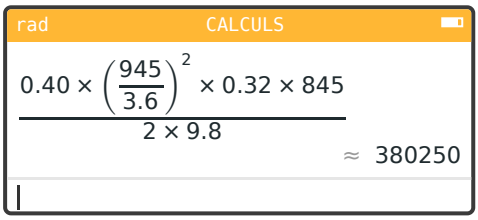
D'après 2.1, le poids et la portance ont la même valeur : $P = F_{\text{portance}}$, soit $m\,g = \dfrac{1}{2}\,\rho\,v^2\,C_z\,S$.

$$m = \frac{\rho\,v^2\,C_z\,S}{2\,g} = \frac{0{,}40 \times \left(\dfrac{945}{3{,}6}\right)^2 \times 0{,}32 \times 845}{2 \times 9{,}8} = 3{,}8 \times 10^5\ \text{kg}$$

Cette masse est inférieure aux 560 t du décollage. C'est cohérent : entre le décollage et cette portion du vol, l'avion a brûlé une partie de son carburant, donc sa masse a diminué.

$m = 3{,}8 \times 10^5$ kg, soit environ 380 t : valeur plausible, inférieure à la masse au décollage.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
S'arrêter au calcul : « commenter » est noté. Il faut comparer à la masse au décollage du texte et expliquer l'écart par le carburant consommé.

COMPRENDRE
Le résultat dépend de la lecture de ρ : avec $0{,}41\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ on obtient 390 t. L'ordre de grandeur et la conclusion ne changent pas.