Des avions pas comme les autres

Bac S 2010 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 Quelle est la nature du mouvement du centre d'inertie G de l'avion lors du vol en palier ? Qu'en déduit-on pour la somme des forces exercées sur l'avion ?

Dans le référentiel terrestre, la trajectoire de G est une droite et la valeur de sa vitesse ne change pas : le mouvement de G est **rectiligne uniforme**.

Le référentiel terrestre étant galiléen, le principe d'inertie (première loi de Newton) impose alors que les forces se compensent :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} + \vec{\pi} = \vec{0}$$

COMPRENDRE
Le « centre d'inertie » de l'ancien programme s'appelle aujourd'hui centre de masse. Des forces qui se compensent ne signifient pas l'immobilité : la vitesse reste simplement constante en direction et en valeur.

1.1.2 Représenter en G, sans souci d'échelle, les forces s'exerçant sur l'avion. En remarquant qu'elles s'opposent deux à deux, déterminer leurs valeurs.

Données utiles $m = 1{,}5 \times 10^5$ kg ; $g = 9{,}78\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; $\pi = 5{,}0 \times 10^2$ kN

Voir le schéma : $\vec{P}$ vertical vers le bas, $\vec{R}$ vertical vers le haut, $\vec{\pi}$ horizontal vers l'avant, $\vec{T}$ horizontal vers l'arrière.

Verticalement, $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$, donc $R = P = m\,g$:

$$R = P = 1{,}5 \times 10^5 \times 9{,}78 = 1{,}5 \times 10^6\ \text{N}$$

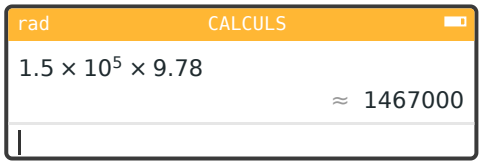
Horizontalement, $\vec{T} + \vec{\pi} = \vec{0}$, donc $T = \pi = 5{,}0 \times 10^2$ kN.

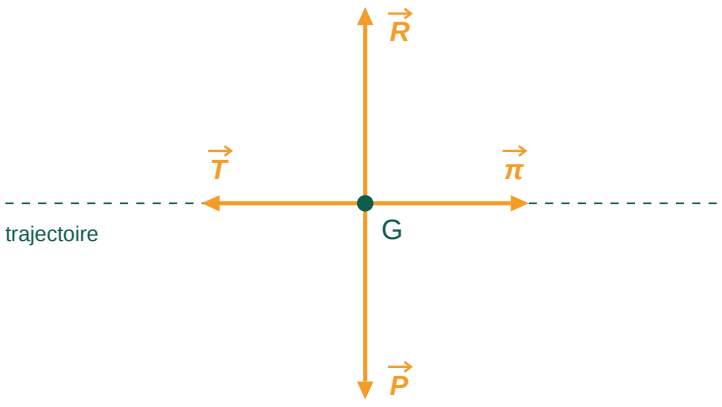
$$P = R = 1{,}5 \times 10^3\ \text{kN} \text{ et } T = \pi = 5{,}0 \times 10^2\ \text{kN}$$

PIÈGE
La masse doit être en kilogrammes : avec $1{,}5 \times 10^2$ tonnes, le poids serait mille fois trop petit. Sur le schéma, deux forces opposées se dessinent avec la même longueur.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse m, qui est la donnée la moins précise du calcul.

À LA CALCULATRICE





1.1.2 · Vol en palier : les quatre forces appliquées en G se compensent deux à deux

1.2.1 Énoncer la seconde loi de Newton, puis déterminer le vecteur accélération $\vec{a}$ du centre d'inertie G de l'avion pendant le vol parabolique.

Seconde loi de Newton : dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures appliquées à un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par l'accélération de son centre d'inertie : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$.

Pour l'avion : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} + \vec{\pi} = m\,\vec{a}$.

D'après le texte, la portance est nulle ($\vec{R} = \vec{0}$) et la poussée compense la traînée ($\vec{T} + \vec{\pi} = \vec{0}$). Il reste $\vec{P} = m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$.

$\vec{a} = \vec{g}$: accélération verticale, vers le bas, de valeur $g = 9{,}78\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

COMPRENDRE
L'avion se comporte comme s'il n'était soumis qu'à son poids : c'est la définition de la chute libre. Les passagers ont la même accélération que la cabine, d'où l'impesanteur.

1.2.2 a. Donner les expressions de a_x et a_z dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{k})$. b. En déduire les coordonnées v_x et v_z du vecteur vitesse de G.

Données utiles $\vec{a} = \vec{g}$ (1.2.1) ; à $t = 0$, vitesse $\vec{v}_A$ inclinée de α au-dessus de l'horizontale

a. L'axe Oz est vertical vers le haut et $\vec{g}$ est vertical vers le bas : $a_x = 0$ et $a_z = -g$.

b. Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives : $v_x = K_1$ et $v_z = -g\,t + K_2$.

Condition initiale : à $t = 0$, $\vec{v} = \vec{v}_A$, soit $v_x(0) = v_A\cos\alpha$ et $v_z(0) = v_A\sin\alpha$. Donc $K_1 = v_A\cos\alpha$ et $K_2 = v_A\sin\alpha$.

$v_x = v_A\cos\alpha$ et $v_z = -g\,t + v_A\sin\alpha$

PIÈGE
Oublier les constantes d'intégration, ou échanger sinus et cosinus. L'angle α est mesuré depuis l'horizontale : le cosinus va avec x, le sinus avec z.

MÉTHODE
Chute libre : 1) coordonnées de $\vec{a}$; 2) primitives pour obtenir $\vec{v}$; 3) constantes fixées par la vitesse initiale. On recommence ensuite pour la position.

1.2.3 Montrer que l'équation horaire selon Oz s'écrit $z(t) = C_1\,t^2 + C_2\,t + C_3$ et exprimer les constantes en fonction de v_A, α, g et z_A.

Données utiles $v_z = -g\,t + v_A\sin\alpha$ (1.2.2)

Comme $v_z = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$, $z(t)$ est une primitive de v_z :

$$z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + (v_A\sin\alpha)\,t + K_3$$

À $t = 0$, G est au point A d'altitude z_A : $z(0) = K_3 = z_A$. Donc

$$z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + (v_A\sin\alpha)\,t + z_A$$

Cette expression est bien de la forme demandée.

$C_1 = -\dfrac{g}{2}$; $C_2 = v_A\sin\alpha$; $C_3 = z_A$

PIÈGE
Écrire $C_3 = 0$ par habitude : l'origine du repère est au sol, alors que l'avion part de l'altitude z_A.

1.2.4 Sachant que $x(t) = v_A(\cos\alpha)\,t$, montrer que l'équation de la trajectoire est $z(x) = -\dfrac{g}{2\,v_A^2\cos^2\alpha}\,x^2 + (\tan\alpha)\,x + z_A$.

Données utiles $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + (v_A\sin\alpha)\,t + z_A$ (1.2.3)

On élimine le temps : $x = v_A(\cos\alpha)\,t$ donne $t = \dfrac{x}{v_A\cos\alpha}$.

On reporte dans $z(t)$:

$$z = -\frac{1}{2}\,g\left(\frac{x}{v_A\cos\alpha}\right)^2 + v_A\sin\alpha\times\frac{x}{v_A\cos\alpha} + z_A$$

Dans le deuxième terme, v_A se simplifie et $\dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha$.

$z(x) = -\dfrac{g}{2\,v_A^2\cos^2\alpha}\,x^2 + (\tan\alpha)\,x + z_A$: c'est l'équation attendue, celle d'une parabole.

MÉTHODE
Équation de trajectoire : isoler t dans l'équation horaire la plus simple (celle de x), puis le remplacer dans l'autre. Le temps ne doit plus apparaître.

1.2.5 a. Exprimer la projection v_{Bz} du vecteur vitesse en B sur l'axe Oz en fonction de v_A et α seulement. b. En déduire la date t_B et la comparer à l'ordre de grandeur donné dans le texte.

Données utiles $v_B = v_A = 145\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 49^\circ$; $g = 9{,}78\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $v_z(t)$ (1.2.2)

a. En B, le vecteur $\vec{v}_B$ pointe vers le bas, incliné de α sous l'horizontale : $v_{Bz} = -v_B\sin\alpha$. Comme $v_B = v_A$: $v_{Bz} = -v_A\sin\alpha$.

b. D'après 1.2.2, $v_z(t_B) = -g\,t_B + v_A\sin\alpha$. On égale les deux expressions :

$$-g\,t_B + v_A\sin\alpha = -v_A\sin\alpha \quad\text{donc}\quad t_B = \frac{2\,v_A\sin\alpha}{g}$$

$$t_B = \frac{2\times 145\times\sin 49^\circ}{9{,}78} = 22\ \text{s}$$

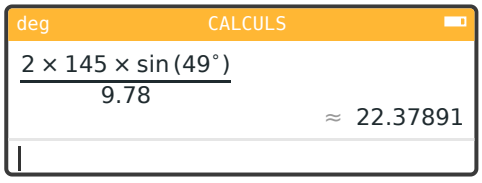
Le texte annonce une chute libre de 20 à 25 secondes : la valeur trouvée est cohérente.

$v_{Bz} = -v_A\sin\alpha$ et $t_B = \dfrac{2\,v_A\sin\alpha}{g} = 22\ \text{s}$

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\sin 49$ devient négatif et la durée aussi. Autre oubli fréquent : le signe « $-$ » de v_{Bz}, sans lequel on trouve $t_B = 0$.

COMPRENDRE
La durée est le double du temps de montée $\dfrac{v_A\sin\alpha}{g}$: la parabole est symétrique par rapport à son sommet.

À LA CALCULATRICE



2.1 Nommer les deux gaz qui alimentent la pile en continu, écrire les équations des réactions aux électrodes, puis l'équation de la réaction modélisant la transformation dans la pile.

Données utiles couples $\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$ et $\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

Les deux gaz sont le **dihydrogène** H_2 et le **dioxygène** O_2.

Électrode 1 (oxydation du dihydrogène) : $\text{H}_2(\text{g}) = 2\,\text{H}^+(\text{aq}) + 2\,\text{e}^-$

Électrode 2 (réduction du dioxygène) :
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\,\text{H}^+(\text{aq}) + 4\,\text{e}^- = 2\,\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

On multiplie la première demi-équation par 2 pour échanger 4 électrons, puis on additionne ; les H^+ se simplifient.

$2\,\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\,\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

PIÈGE
Additionner les demi-équations sans égaliser le nombre d'électrons échangés. Aucun électron ne doit rester dans l'équation finale.

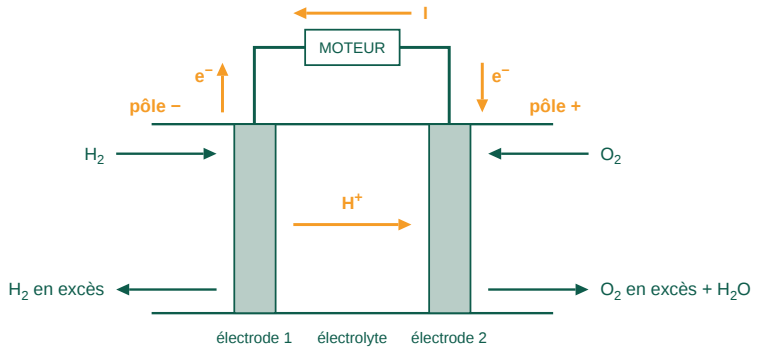
2.2 Indiquer sur la figure 2 de l'annexe le sens de circulation des électrons dans le circuit extérieur et le sens conventionnel du courant. Préciser quelle électrode est le pôle positif.

À l'électrode 1, l'oxydation de H_2 libère des électrons ; à l'électrode 2, la réduction de O_2 en consomme. Dans le circuit extérieur, les électrons vont donc de l'électrode 1 vers l'électrode 2, en traversant le moteur.

Le courant circule par convention en sens inverse des électrons : de l'électrode 2 vers l'électrode 1 à l'extérieur de la pile. Il sort de la pile par son pôle positif.

Le pôle positif est l'**électrode 2**, celle où arrive le dioxygène (voir l'annexe complétée).

MÉTHODE
Dans une pile, les électrons quittent l'électrode où a lieu l'oxydation (anode, pôle $-$) et arrivent à celle où a lieu la réduction (cathode, pôle $+$).



2.2 · Figure 2 de l'annexe complétée (en orange) : électrons, courant, pôles et protons

2.3 Indiquer sur la figure 2 de l'annexe le sens de circulation des protons H^+ dans l'électrolyte.

Les ions H^+ sont produits à l'électrode 1 et consommés à l'électrode 2.

Dans l'électrolyte, les protons vont de l'électrode 1 vers l'électrode 2 (flèche tracée sur l'annexe complétée, question 2.2).

COMPRENDRE
Les charges positives se déplacent dans le sens du courant, qui va de l'électrode 1 à l'électrode 2 à l'intérieur de la pile : le circuit est ainsi fermé.

2.4 Définir un catalyseur.

Un catalyseur est une espèce chimique qui augmente la vitesse d'une réaction sans figurer dans son équation : il est régénéré en fin de transformation.

PIÈGE
Un catalyseur ne change pas l'état final du système : il permet seulement de l'atteindre plus vite.

2.5 Que signifie le terme hydrophile ? Citer une autre espèce chimique usuelle possédant le caractère amphiphile.

Hydrophile : qui a de l'affinité pour l'eau. Un groupe hydrophile, chargé ou polaire, établit facilement des interactions avec les molécules d'eau.

Autre espèce amphiphile usuelle : le **savon**. Un ion carboxylate $R-COO^-$ possède une tête $-COO-$ hydrophile et une longue chaîne carbonée hydrophobe.

2.6 Du point de vue de l'environnement, quel avantage présente une pile à combustible par rapport à un moteur d'avion alimenté au kérosène, au regard des produits formés ?

La pile à combustible ne produit que de l'eau. La combustion du kérosène, mélange d'hydrocarbures, forme en plus du dioxyde de carbone, gaz à effet de serre, ainsi que des polluants comme les oxydes d'azote.

Avantage : la pile ne rejette ni dioxyde de carbone ni polluant en fonctionnement, seulement de l'eau.

COMPRENDRE
Le bilan ne porte ici que sur le fonctionnement. La fabrication du dihydrogène peut, elle, émettre du dioxyde de carbone selon le procédé utilisé.