Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

Bac 2024 Septembre Métropole Jour 2 **Correction © https://labolycee.org**

Exercice 1 – Vol en montgolfière (11 points)

1. L'envol de la montgolfière

Q1. Montrer que la valeur de la masse molaire M_{air} de l'air est voisine de 29×10^{-3} kg·mol^{-1}.

L'air est composé de 80% de diazote et 20% de dioxygène,

ainsi $M_{air} = \frac{80}{100}\times M(N_2)+\frac{20}{100}\times M(O_2) = \frac{80}{100}\times 2M(N)+\frac{20}{100}\times 2M(O)$

$M_{air} = \frac{80}{100}\times 2\times14\times10^{-3}+\frac{20}{100}\times 2\times16\times10^{-3} = 2{,}88\times10^{-2}$ kg $= 28{,}8\times10^{-3}$ kg

La masse molaire de l'air est bien voisine de 29×10^{-3} kg·mol^{-1}.

Q2. En exploitant l'équation d'état des gaz parfaits, exprimer littéralement la masse m_{int} de l'air contenu à l'intérieur de l'enveloppe en fonction de la pression p_{int} de l'air à l'intérieur, du volume V de l'enveloppe, de la masse molaire M_{air} de l'air, de la constante R des gaz parfaits et de la température T_{int} de l'air situé à l'intérieur de l'enveloppe.

D'après la loi des gaz parfaits $p_{int}.V = n_{air}.R.T_{int}$

$$p_{int}.V = \frac{m_{int}}{M_{air}}.R.T_{int}$$

$$m_{int} = \frac{p_{int}.V.M_{air}}{R.T_{int}}$$

Q3. Exprimer le poids total du système {montgolfière + air intérieur}, noté P_{total}, en fonction des masses m_{ens} et m_{int}.

$P_{total} = (m_{ens} + m_{int}).g$

Q4. Calculer la valeur de la poussée d'Archimède π_A qui s'exerce sur le système {montgolfière + air intérieur}, au niveau du sol.

$\pi_A = \rho_{ext}\cdot V\cdot g$

$\pi_A = 1{,}2$ kg.m^{-3} × $2{,}5\times10^3$ m^3 × 9,81 m.s^{-2} $= 2{,}943\times10^4$ N (= kg.m.s^{-2}) $= 2{,}9\times10^4$ N

Q5. Montrer que l'expression de la valeur de la température minimale T_{min} de l'air à l'intérieur de l'enveloppe pour que la montgolfière puisse décoller est :

$$T_{min} = \frac{p_{int}.V.M_{air}}{R.\left(\frac{\pi_A}{g}-m_{ens}\right)}$$

Calculer la valeur de T_{min}. On admet que la pression p_{int} de l'air à l'intérieur de l'enveloppe est égale à la pression atmosphérique $p_{atm} = 1{,}0\times10^5$ Pa.

Pour que la montgolfière puisse décoller il faut que $\pi_A \geq P_{total}$.

$\pi_A \geq (m_{ens} + m_{int}).g$

$\pi_A \geq (m_{ens} + \frac{p_{int}.V.M_{air}}{R.T_{int}}).g$

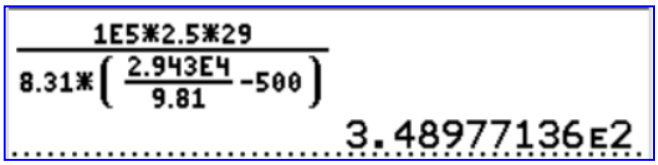
$\frac{\pi_A}{g} \geq (m_{ens} + \frac{p_{int}.V.M_{air}}{R.T_{int}})$

$\frac{\pi_A}{g} - m_{ens} \geq \frac{p_{int}.V.M_{air}}{R.T_{int}}$

$R.(\frac{\pi_A}{g} - m_{ens}) \geq \frac{p_{int}.V.M_{air}}{T_{int}}$

$T_{int} \geq \frac{p_{int}.V.M_{air}}{R.\left(\frac{\pi_A}{g}-m_{ens}\right)}$ On retrouve bien $T_{min} = \frac{p_{int}.V.M_{air}}{R.\left(\frac{\pi_A}{g}-m_{ens}\right)}$

$$T_{min} = \frac{1{,}0\times10^{5}\times2{,}5\times10^{3}\times29\times10^{-3}}{8{,}31\times\left(\frac{2{,}943\times10^{4}}{9{,}81}-500\right)} = 349 \text{ K}$$



T_{min} = 349 – 273 = 76°C

Q6. Déterminer la valeur de l'accélération du système {montgolfière + air intérieur}. Calculer ensuite la valeur de sa vitesse au bout de 10 s puis au bout de 1 minute d'ascension.

D'après la deuxième loi de Newton appliquée au système {montgolfière + air intérieur}.

$\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = m_{tot}.\vec{a}$

$\vec{P} + \overrightarrow{\pi_A} = m_{tot}.\vec{a}$

$\vec{a} = \frac{\vec{P} + \overrightarrow{\pi_A}}{m_{tot}}$

Par projection suivant l'axe vertical Oz

$$a_z = \frac{P_z + \pi_{Az}}{m_{tot}} = \frac{-P + \pi_A}{m_{tot}} = \frac{-m_{tot}.g + \pi_A}{m_{tot}} = -g + \frac{\pi_A}{m_{tot}}$$

$$a_z = -9{,}81 + \frac{2{,}9\times10^{4}}{2{,}8\times10^{3}} = 0{,}5 \text{ m.s}^{-2}$$

$$a = \sqrt{a_z^2} = 0{,}5 \text{ m.s}^{-2}$$

Comme $a_z = \frac{dv_z}{dt}$, on primitive a_z pour exprimer v_z.

$v_z(t) = 0{,}5\,t$ + Cte

La vitesse initiale est nulle $v_z(t = 0) = 0{,}5\times0$ + Cte donc Cte = 0.

$v_z(t) = 0{,}5\,t$

Au bout de 10 s, $v_z(t = 10) = 0{,}5\times10 = 5$ m.s^{-1}.

Au bout d'une minute, $v_z(t = 60) = 0{,}5\times60 = 3\times10^{1}$ m.s^{-1}

Q7. Commenter les résultats obtenus à la question précédente et proposer une piste d'amélioration du modèle. On pourra s'appuyer sur les vitesses exprimées en km·h^{-1}.

On convertit les vitesses calculées en km.h^{-1}.

Au bout de 10 s, $v_z(t = 10) = 0{,}5\times10\times3{,}6 = 18$ km.h^{-1} $= 2\times10^{1}$ km.h^{-1}

Au bout d'une minute, $v_z(t = 60) = 0{,}5\times60\times3{,}6 = 108$ km.h^{-1} $= 1\times10^{2}$ km.h^{-1}

Ces vitesses semblent beaucoup trop élevées donc en réalité l'accélération doit être plus faible.

Le modèle choisi donne : $a_z = -g + \frac{\pi_A}{m_{tot}}$.

Étudions les paramètres qui jouent un rôle sur l'accélération.

Si l'altitude augmente alors g diminue alors a_z est plus grande (si la poussée d'Archimède est constante). Cette évolution ne va pas dans le sens attendu. On ne garde pas cette hypothèse.

Concernant la poussée d'Archimède, $\pi_A = \rho_{ext}\cdot V\cdot g$, le modèle considère que sa valeur est constante. Mais la masse volumique de l'air diminue quand l'altitude augmente. Ainsi la poussée d'Archimède est de moins en moins grande et l'accélération diminue au cours de la montée.

Ceci est en accord avec des vitesses plus faibles.

Enfin le modèle n'a considéré que la poussée d'Archimède et le poids, mais les forces de frottement de l'air jouent surement un grand rôle et ainsi l'accélération est moins forte.

2. Une enveloppe de montgolfière plus performante

Q8. Préciser, en justifiant, le sens du flux thermique à travers l'enveloppe simple couche du ballon.

Le flux thermique va du milieu le plus chaud vers le milieu le plus froid, donc de l'intérieur de l'enveloppe vers l'extérieur.

Q9. Calculer la valeur du flux thermique ϕ_1 à travers une enveloppe simple couche.

$$\phi_1 = \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_{th,1}}$$

$$\phi_1 = \frac{106 - 21}{3{,}0 \times 10^{-4}} = 2{,}8 \times 10^5 \text{ W} = 2{,}8 \times 10^2 \times 10^3 \text{ W} = 2{,}8 \times 10^2 \text{ kW}$$

Remarque : inutile de convertir les températures en Kelvins

$$\phi_1 = \frac{106 + 273 - (21 + 273)}{3{,}0 \times 10^{-4}} = \frac{106 + 273 - 21 - 273}{3{,}0 \times 10^{-4}} = \frac{106 - 21}{3{,}0 \times 10^{-4}}$$

Q10. Le flux thermique ϕ_2 à travers l'enveloppe à double paroi est ϕ_2 = 165 kW. Commenter.

ϕ_2 est très inférieur à ϕ_1 donc grâce à la double paroi, le transfert thermique est fortement réduit. Ce qui est bien en accord avec l'énoncé.

3. Une gourde en aluminium à bord de la montgolfière

La loi de Newton donne l'expression du flux thermique ϕ (en W) reçu par le système {gourde + boisson}, à la température $\theta(t)$, de la part de l'air extérieur, à la température θ_{ext} : $\phi = h.S.(\theta_{ext} - \theta(t))$.

Q11. Montrer que la température du système vérifie la relation :

$$\theta(t + \Delta t) - \theta(t) = \frac{h.S.(\theta_{ext} - \theta(t)).\Delta t}{C}.$$

$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$: le flux représente la quantité de chaleur échangée par unité de temps.

Or $Q = C.(\theta(t + \Delta t) - \theta(t))$, donc $\phi = \frac{C.(\theta(t + \Delta t) - \theta(t))}{\Delta t}$

ainsi $h.S.(\theta_{ext} - \theta(t)) = \frac{C.(\theta(t + \Delta t) - \theta(t))}{\Delta t}$

Et finalement $\theta(t + \Delta t) - \theta(t) = \frac{h.S.(\theta_{ext} - \theta(t)).\Delta t}{C}$

À partir du résultat précédent, on montre que la température $\theta(t)$ du système lors de son refroidissement vérifie l'équation différentielle suivante : $\frac{d\theta(t)}{dt}+\frac{\theta(t)}{\tau}=\frac{\theta_{ext}}{\tau}$ avec $\tau=\frac{C}{h.S}$ le temps caractéristique du système.
L'équation différentielle précédente admet des solutions générales de la forme $\theta(t)=A.e^{-\frac{t}{\tau}}+B$.

Q12. Déterminer les expressions littérales des constantes A et B en fonction de θ_0 et θ_{ext} puis calculer leurs valeurs. Commenter.
À la date t = 0 s, $\theta = \theta_0$.
Et $\theta(t=0)=A.e^{-\frac{0}{\tau}}+B = A + B$ donc $A + B = \theta_0$.
Pour une durée très longue, le système est à la même température que le milieu extérieur donc $\theta = \theta_{ext}$.
$\theta(t\to\infty)=A.e^{-\frac{\infty}{\tau}}+B = B$
Ainsi $B = \theta_{ext}$.
B = 21°C
On avait $A + B = \theta_0$.
$A + \theta_{ext} = \theta_0$
$A = \theta_0 - \theta_{ext}$
A = 48 – 21 = 27 °C

La modélisation numérique présentée sur le document 2 est en accord avec ces valeurs.
$\theta(t) = 27\times e^{(-0{,}000196\times t)} + 21$

Q13. Déterminer la valeur du temps caractéristique à partir de la modélisation numérique de la figure 2.
Par analogie entre $\theta(t)=A.e^{-\frac{t}{\tau}}+B$ et la modélisation, on en déduit que $-0{,}000196 = -\frac{1}{\tau}$
Donc $\tau = \frac{1}{0{,}000196}$ = 5,10×10^3 s

Q14. En déduire la valeur du coefficient *h* d'échange thermique surfacique, puis commenter le résultat obtenu avec les valeurs données dans le tableau ci-dessous.

Conditions environnementales	Coefficient d'échange thermique surfacique entre l'air et une paroi solide en W·K^{-1}·m^{-2}.
Sans courant d'air	de 5 à 10
Avec courant d'air	de 10 à 500

$\tau=\frac{C}{h.S}$
$h=\frac{C}{\tau.S}$
$h=\frac{2{,}1\times10^3}{5{,}10\times10^3\times0{,}042}$ = 9,8 W.K^{-1}.m^{-2}
Cette valeur comprise entre 5 et 10 est donc en accord avec les données du tableau pour des conditions environnementales sans courant d'air.
Si vous avez repéré une erreur, merci de nous la signaler à labolycee@labolycee.org

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.