BANQUE D'EPREUVES G2E

PHYSIQUE

Durée : 3 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont autorisées.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est strictement interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il en fait mention dans sa copie et poursuit sa composition. Dans ce cas, il indique clairement la raison des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

Une grande attention sera apportée à la clarté de la rédaction et à la présentation des différents schémas.

Le repère d'étude est galiléen.
Le champ de pesanteur terrestre est supposé uniforme et on prendra $g = 10$ m/s².

1. L'EXPLORATION D'UN LAC

On considère un lac, en équilibre, de profondeur $h = 50$ m.
L'axe Oz est vertical descendant. L'origine O est prise sur la surface libre.
On donne $\mu = 1000$ kg/m^3 pour la masse volumique de l'eau et $P_0 = 1$ bar pour la pression atmosphérique. La composition molaire de l'air est $x_{O2} = 20$ % et $x_{N2} = 80$ %.
Pour sonder le lac on fait appel à un plongeur. Le plongeur sondant le lac respire un mélange gazeux dont la pression totale est égale à la pression de l'eau à la profondeur z.

1.1. Montrer que la pression à la profondeur z s'écrit : $P(z) = P_0 + \mu g z$.

1.2. L'oxygène inhalé devient toxique si sa pression partielle augmente ; il existe même un risque d'œdème pulmonaire quand elle atteint 1,5 bar.
En déduire la profondeur maximum pouvant être atteinte sans danger par le plongeur, s'il respire de l'air.

1.3. Lorsque la pression partielle de l'azote atteint 4 bars, le plongeur est victime de « l'ivresse des profondeurs » se manifeste. En déduire la nouvelle profondeur maximum.

1.4. On équipe le plongeur de bouteilles contenant de l'héliox, mélange d'oxygène et d'hélium.
On donne : $x_{O2} = 15$ % et $x_{He} = 85$ %.
Muni de ces bouteilles, le plongeur pourra-t-il atteindre sans risques le fond du lac ?

2. UN TOUR EN BALLON

L'air atmosphérique est considéré comme un gaz parfait de masse molaire $M_a = 29$ g/mol.
On prend l'axe Oz vertical ascendant. Son origine est prise au niveau du sol.
On donne la constante des gaz parfaits $R = 8{,}314$ J/K. Au niveau du sol, la température de l'air est $T_0 = 290$ K, sa pression est $P_0 = 1$ bar, sa masse volumique est $\mu_0 = 1{,}3$ g/L.

2.1. Selon le modèle standard, on admet que dans la troposphère, partie de l'atmosphère comprise entre 0 et 11 km, la température vérifie la relation :

$$T(z) = T_0\,[1 - az] \text{ avec } a = 22{,}5\,.10^{-6}\ \text{m}^{-1}.$$

Etablir la relation liant la pression et l'altitude. On posera : $\alpha = gM_a/(RaT_0)$.

2.2. Quelle est l'expression de $\mu_a(z)$, masse volumique de l'air à l'altitude z ?

2.3. Un ballon, de volume maximal V_{max} = 1000 m^3, est partiellement gonflé au sol avec un volume V_0 = 500 m^3 d'hélium. La masse totale de l'enveloppe et de la nacelle est m = 500 kg.
L'enveloppe est munie d'une soupape qui assure l'équilibre mécanique et thermique entre l'hélium et l'air extérieur.

2.3.1. Montrer que la densité de l'hélium par rapport à l'air : $d = \mu_{He} / \mu_a$ est constante lors de l'ascension. On donne la masse molaire de l'hélium : M_{He} = 4 g/mol. Calculer d.

2.3.2. On appelle force ascensionnelle la somme des forces extérieures s'exerçant sur le ballon, en mouvement rectiligne le long de l'axe Oz.
Déterminer l'expression de cette force au sol, en fonction de m, g, d et μ_0.

2.3.3. A quelle condition le ballon s'élève-t-il ?
Exprimer le volume V(z) au cours de l'ascension tant que $V(z) < V_{max}$.
Calculer l'altitude maximale, z_{max}, lorsque le volume atteint sa valeur maximale.
Quel est le rôle de la soupape ?

3. LA CHUTE D'UN FLOCON DE NEIGE

On s'intéresse à la chute dans l'air d'un flocon de neige, supposé sphérique, de rayon
R = 0,5 mm et de masse volumique μ, dans l'air.
La viscosité de l'air est η, sa masse volumique μ_a .On suppose ces grandeurs constantes.
Du fait de la viscosité de l'air, le flocon est soumis à une force de frottement proportionnelle à sa vitesse v : $6\pi\eta$ R v (formule de Stockes).
On peut considérer, qu'un fois formé dans le nuage, le flocon commence son mouvement de chute sans vitesse initiale.

3.1. Dresser le bilan des forces qui s'exercent sur le flocon.
Exprimer la résultante des forces en fonction de η, μ, μ_a, R, g et v.

3.2. Montrer que la vitesse du flocon obéit à l'équation différentielle suivante : $\frac{dv}{dt} + \alpha v = \beta$.

Expliciter les constantes α et β.

3.3. En déduire la vitesse limite, v_∞ , acquise par ce flocon lors de sa chute.
AN : μ = 100 g/L, μ_a = 1,3 g/L et η = 20 μPl. Calculer cette vitesse limite.

3.4. Montrer que la puissance développée par la force de Stockes est : $P = 6\pi\eta R\, v^2$.
En supposant que le flocon acquiert instantanément sa vitesse limite, exprimer l'énergie thermique, notée Q, dissipée par les frottements en fonction des données et de la durée de la chute τ.
Calculer Q si τ = 1000 s.

3.5. Il faut approximativement 15 mJ pour liquéfier un flocon de cette taille.
Comparer cette valeur à Q. Conclusion ?

4. ETUDE D'UNE PILE THERMO-ELECTRIQUE

Un générateur thermoélectrique de fém E, constante, et de résistance interne R est modélisé par un boîtier AB (figure 1).
Une face, du boîtier, est au contact d'une source chaude (SC) de température T_C et l'autre face est au contact d'une source froide (SF) de température T_F (figure 2).
Les autres faces ne participent pas aux échanges thermiques.
On admettra les hypothèses suivantes, concernant la conversion thermo-électrique de l'énergie :
- Une fém E_C est engendrée au contact de la face chaude et une fém E_F est engendrée au contact de la face froide. On pose $E_C = \alpha T_C$ et $E_F = \alpha T_F$ où α est une constante positive.
- $R_C = R_F = R/2$.
- La puissance thermique échangée avec (SC) : $\Phi_C = U_C I$.
- La puissance thermique échangée avec (SF) : $\Phi_F = - U_F I$.

Un récepteur de résistance r est connecté aux bornes AB du générateur.

4.1. Exprimer la puissance, P, dissipée dans le résistor de résistance r, en fonction de :

4.1.1. E_C, E_F, r et R.

4.1.2. E, r et R.

4.2. Donner en fonction de I, α, des résistances et des températures les expressions de Φ_C et Φ_F.

4.3. Montrer que $\Phi_C + \Phi_F = P$.

4.4.1. Définir le rendement η du générateur par analogie avec le rendement d'un moteur thermique.

4.4.2. Trouver l'expression de ce rendement en fonction des résistances et des températures.

4.4.3. Que vaut η si R = 0 ?

On notera η_C le rendement de Carnot associé au cycle ditherme réversible fonctionnant entre les mêmes sources de chaleur. Le résultat était-il prévisible ?

4.5. On fixe la valeur de la résistance R.
Trouver la valeur de r qui optimise la puissance reçue par le résistor r.

5. VIDANGE D'UN RECIPIENT

Un récipient de grande section S, ouvert à l'air libre et contenant de l'eau se vide par un petit orifice de section s << S (figure 2).
La pression atmosphérique est notée P_0, la masse volumique de l'eau, supposée constante, μ.
On supposera que la hauteur d'eau h reste constante et que l'écoulement est permanent.
On négligera la viscosité de l'eau.

5.1. Montrer que la vitesse en A est négligeable devant la vitesse d'éjection de l'eau en B.

5.2. Déterminer l'expression v_B vitesse en B ainsi que celle du débit volumique *D* à la sortie.
Faire les applications numériques.

5.3. On cherche à ralentir la vidange du réservoir.
Pour cela on utilise le dispositif représenté par la figure 3 ; BC est un cylindre horizontal de section s et de longueur L.
On suppose toujours que le régime d'écoulement est permanent mais on tient compte de la viscosité de l'eau dans la portion BC.

5.3.1. Les forces de viscosité dans le tube, entraînent une perte de charge définie par

$\Delta P/\Delta x = (P_B - P_C) / L = \frac{8}{s}\pi\eta \langle v\rangle$ avec η la viscosité de l'eau et $\langle v\rangle$ la vitesse moyenne du fluide dans le tube BC.

Préciser la dimension de la viscosité et son unité dans le Système Internationnal.

5.3.2. Déterminer la pression P_B de l'eau lorsqu'elle pénètre dans le tube en fonction de P_0, s, L, $\langle v\rangle$ et η.

5.3.3. En appliquant le théorème de Bernoulli dans le réservoir, déterminer P_B en fonction de g, h, $\langle v\rangle$ et P_0. On supposera que la vitesse dans le réservoir est négligeable devant $\langle v\rangle$ et que $v_B = \langle v\rangle$.

5.3.4. En déduire l'équation du deuxième degré que vérifie $\langle v\rangle$.
AN : h = 15 cm, $\mu = 1000\ kg/m^3$, $\eta = 10^{-3}$ SI, L = 2 m et s = 50 mm².
Calculer $\langle v\rangle$ et le nouveau débit *D'*. Conclure ?

Figures

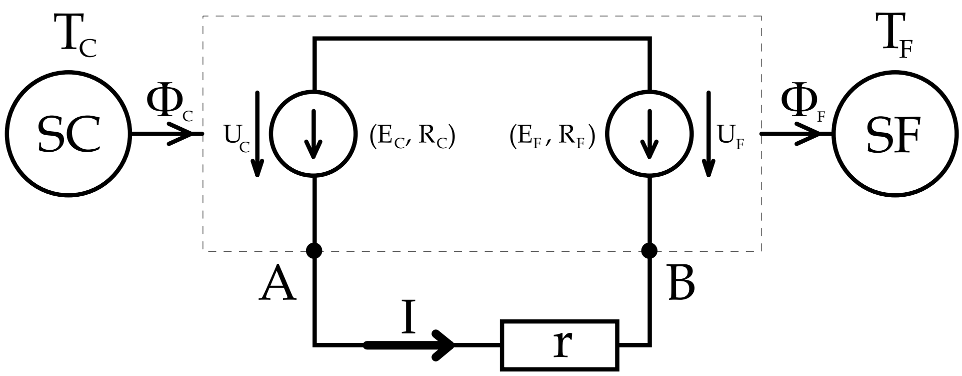

Figure 1

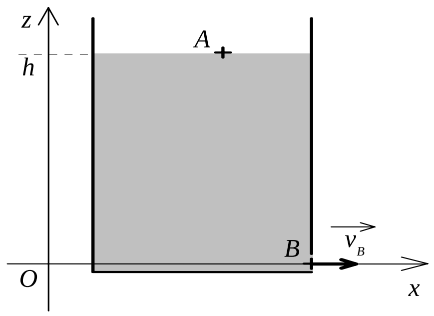

Figure 2

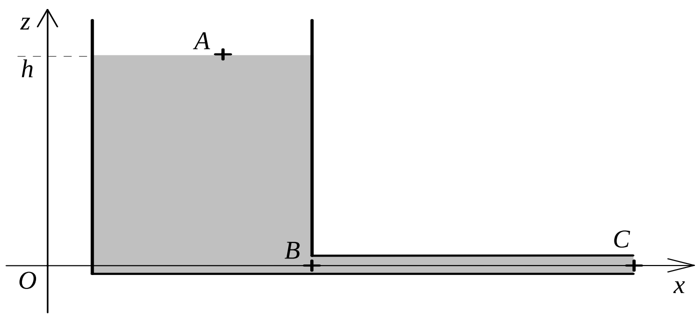

Figure 3