



## Epreuve de Physique B - Thermodynamique

Durée 2 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

---

**L'usage de calculatrices est interdit.**

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

### AVERTISSEMENT

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction**, la **clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

**De nombreuses parties sont indépendantes. Il est conseillé aux candidats de prendre connaissance rapidement de la totalité du texte du sujet.**

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

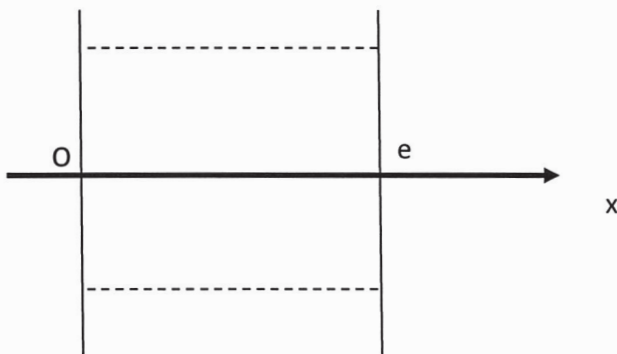
Les calculs numériques seront faits avec un ou deux chiffres significatifs à l'appréciation des candidats.

On donne l'intensité de la pesanteur  $g=9,8 \text{ m.s}^{-2}$  et  $\sqrt{3,6} = 1,9$

## I Problème d'isolation

1) Rappeler la loi de Fourier de la conduction thermique, en précisant les unités des différentes grandeurs impliquées. Commenter le signe.

2) On considère un matériau plan étendu, d'épaisseur  $e$ , mis en contact sur sa face  $x=0$  avec une source de chaleur à la température  $T_0$ , et sur sa face  $x=e$  avec une source à la température  $T_1$  ( fig 1).



fig(1)

En introduisant la masse volumique  $\mu$ , la chaleur massique  $c$  et la conductivité thermique  $\lambda$ , déterminer, en justifiant les étapes, l'équation différentielle vérifiée par la température  $T(x,t)$ . Quel est le temps caractéristique  $\tau$  pour que la chaleur diffuse sur une distance  $L$  ?

3) Déterminer  $T(x)$  en régime stationnaire.

4) Définir et exprimer la résistance thermique  $R$  pour une section de  $1\text{m}^2$ , ainsi que la résistance  $r$  d'une plaque de surface  $S$ .

5) On considère maintenant deux matériaux de conductivités différentes  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$ , d'épaisseurs respectives  $e_1$  et  $e_2$ , ayant une face commune (fig.2). Déterminer en régime permanent la température à l'interface  $T_0$  lorsque les faces externes sont à, respectivement,  $T_1$  et  $T_2$ . A quelle condition  $T_0$  est-elle proche de  $T_1$  ? de  $T_2$  ?

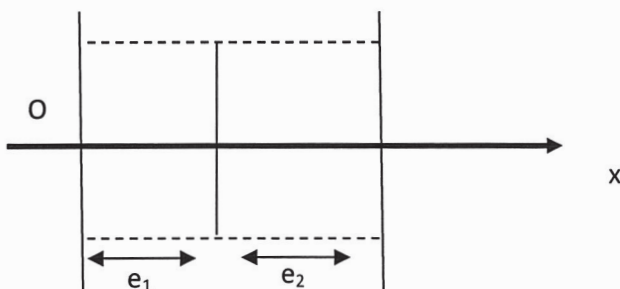


Fig.2

6) Donner l'ordre de grandeur de la conductivité thermique pour un gaz, un corps condensé non conducteur et un solide conducteur

7) Il est recommandé de revêtir les murs d'une maison d'une couche de polystyrène expansé. Justifier quantitativement cette assertion par estimation du flux thermique selon deux situations que l'on précisera.

8) On considère un matériau solide de température  $T_s$  au contact d'un gaz à la température  $T_e$ . Il existe alors une couche de faible épaisseur  $\delta$  de gaz accrochée à la surface du solide. La température varie de  $T_s$  à  $T_e$  sur cette couche. En considérant que la température ne varie qu'en fonction de  $z$  (cf fig .3), montrer que la puissance thermique transférée à travers la surface d'échange  $S$  vaut  $P=hS(T_s-T_e)$ ,  $h$  s'exprimant en fonction de la conductivité thermique du gaz et de  $\delta$ .

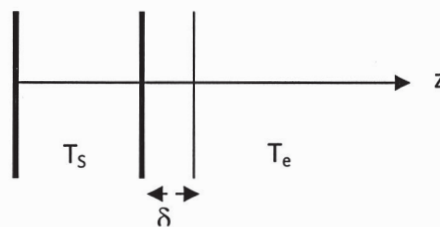


fig.3.

9) Déterminer la résistance thermique surfacique associée à ce processus. Que peut-on entreprendre pour diminuer  $h$  ?

## II) Etude de l'alimentation en eau d'une maison

On considère une alimentation domestique en eau via un château d'eau. Le réservoir a une section  $S_0=25\text{m}^2$  et est ouvert en haut sur l'atmosphère.

Celui-ci débouche sur une canalisation horizontale de section  $s=10^{-3}\text{m}^2$ . La hauteur de la surface libre de l'eau par rapport au sol est  $h=20\text{m}$  (fig 4)

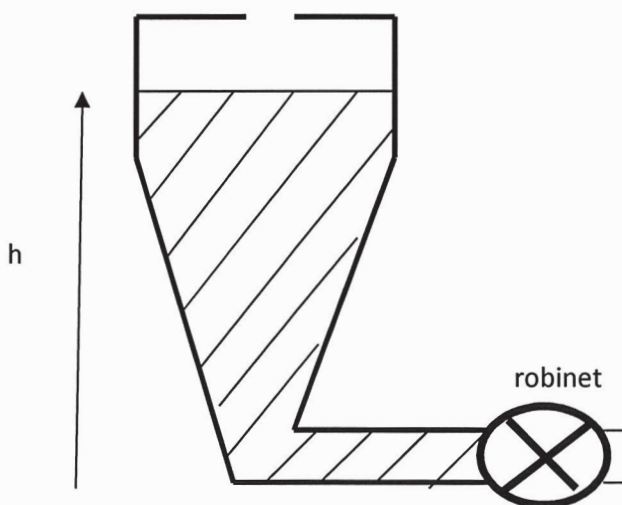


fig 4

On considère que cette canalisation alimente une installation domestique qui comporte un robinet ouvrant sur l'air atmosphérique via une ouverture de même section  $s$ .

10) Justifier que la vitesse d'écoulement de l'eau au niveau de la surface libre est négligeable devant la vitesse dans la canalisation.

11) Calculer numériquement la vitesse de l'eau en sortie du robinet en négligeant les pertes de charge.

12) Calculer numériquement le débit volumique

13) Au niveau de la canalisation horizontale il y a une perte de charge. Expliquer ce que cela signifie et en donner des causes. Exprimer alors le théorème de Bernoulli en introduisant une caractéristique des pertes de charge.

14) Sur la canalisation horizontale on place deux tubes verticaux remplis d'eau séparés de 10 m. On mesure une différence de hauteur de 2 cm. (fig 5)



fig 5

En déduire la perte de charge due au tuyau d'alimentation.

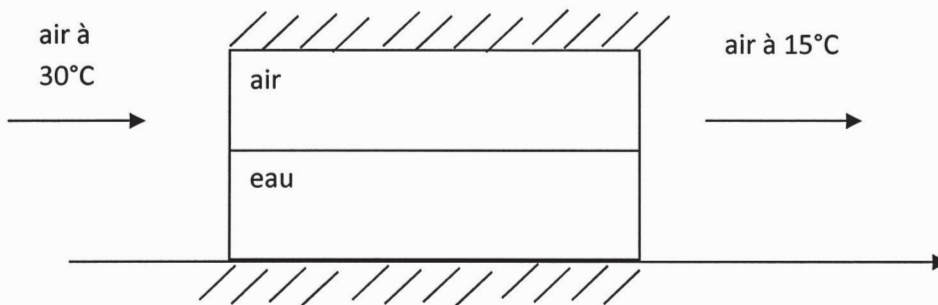
15) Quelle est désormais la vitesse de l'eau en sortie du robinet situé à 1 km du château d'eau ?

16) On souhaite trouver en sortie la vitesse déterminée à la question 11). Pour cela on installe avant le robinet une pompe dont on déterminera la puissance.

### **III Un dispositif original de climatisation**

Une possibilité de climatisation porte le nom de « déphaseur ». Elle est particulièrement efficace au printemps et en automne, lorsque, d'une part, la température en fin d'après-midi peut monter à des valeurs inconfortables, et que, d'autre part, la température à l'aube peut descendre à des valeurs très fraîches.

Le dispositif proposé a une enveloppe latérale adiabatique, contenant de l'eau immobile, de longueur 3m et traversé par de l'air sous 1 bar. Le volume d'eau est de 220L. Le volume d'air dans 1m de canal est de 50L.



Au début le dispositif est uniformément à 15°C. A l'aide d'un ventilateur on y fait passer de l'air atmosphérique à 30°C avec un débit de 30L.s<sup>-1</sup> à l'entrée. L'air ressort à 15°C pendant que, couche par couche, l'eau se réchauffe. On peut faire fonctionner le dispositif ainsi, par exemple, par forte chaleur, en cours d'après-midi, pour écrêter le pic de température.

L'eau a une chaleur massique  $c=4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  et l'air une masse volumique

$1\text{kg.m}^{-3}$ ; l'air une masse molaire  $M=30 \text{ g.mol}^{-1}$  et la constante des gaz parfait vaut  $R=8,32 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

17) Calculer  $c_p$ , la capacité calorifique massique de l'air à pression constante en justifiant les hypothèses faites.

Pour la suite on prendra  $c_p=1\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

18) Déterminer la différence relative de masse volumique de l'air entre les températures extrêmes. Commenter le résultat.

19) Quelle est la puissance thermique perdue par l'air ?

20) Estimer la durée maximale (en heures) pour laquelle le dispositif peut fonctionner selon le régime décrit ?

21) Calculer la puissance du ventilateur. Définir et calculer une efficacité pour ce dispositif.

22) Retrouver l'efficacité d'un réfrigérateur réversible fonctionnant entre deux sources. Estimer cette valeur pour un fonctionnement entre 15°C et 30°C ? Quelle serait, à votre avis, l'efficacité d'une machine réelle du commerce ? Pourquoi ?

23) Le fonctionnement du déphaseur est-il cyclique ? Comment peut-on ramener le dispositif à l'état initial à 15°C ? Quelle en est la conséquence sur l'efficacité ?

24) Justifier le nom de déphaseur.