

INTERROGATION - PHYSIQUE

Mecredi 3 Avril 2024

*Durée : 1h30 (2h pour les tiers-temps).*

**Exercice 1 : Vrai ou Faux (~ 4 points)**

Dire si les énoncés suivants sont vrais ou faux. Justifier brièvement les réponses (surtout si vous pensez qu'ils sont faux).

- 1/ La loi fondamentale de l'hydrostatique s'écrit toujours  $P = P_0 - \rho gz$ , lorsque l'axe  $z$  est orienté positivement vers les hautes altitudes.
- 2/ La loi des gaz parfaits s'écrit  $PV = NRT$ , où  $P$  est la pression,  $V$  le volume,  $N$  le nombre de molécules,  $R$  la constante des gaz parfaits et  $T$  la température.
- 3/ L'enthalpie vaut  $H = U + PV$  où  $U$  est l'énergie interne.
- 4/ Pour une réaction réversible, la variation d'entropie s'écrit  $\delta S = \frac{\delta Q}{T}$ .
- 5/ La différentielle totale de  $f(x, y)$  s'écrit  $df = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y}$ .
- 6/ Calculer le gradient d'un scalaire a un sens.
- 7/ Calculer la divergence d'un scalaire a un sens.
- 8/ On peut avoir de la convection dans le vide.
- 9/ Si tous les éléments d'un système sont à la même température, il n'y a pas de rayonnement.
- 10/ En régime stationnaire (indépendant du temps) et sans source locale de chaleur, on a  $\text{div } \vec{j}_Q = 0$  où  $\vec{j}_Q$  est la densité de flux de chaleur.
- 11/  $\|\vec{j}_Q\|$  s'exprime en  $\text{J.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .
- 12/ Un coefficient de diffusion thermique s'exprime en  $\text{s.m}^{-2}$ .

**Exercice 2 : Dérivées partielles, gradient, divergence (~ 3 points)**

Dans tout l'exercice, on considérera le repère orthonormé cartésien  $(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ .

- 1/ Soit  $f(x, y, z) = \cos(5xy) - 2x + 2y^2z^7$ . Calculer  $\frac{\partial f}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial f}{\partial y}$  et  $\frac{\partial f}{\partial z}$ .
- 2/ Donner la différentielle totale de  $f$ .
- 3/ Calculer le gradient de  $f$ .
- 4/ Calculer le laplacien de  $f$ .
- 5/ Soit  $\vec{A} = e^{3x}\vec{u}_x - e^{-2x^2}\vec{u}_y + e^z\vec{u}_z$ . Calculer la divergence de  $\vec{A}$ .
- 6/ Calculer  $\overrightarrow{\text{grad}}(\text{div } \vec{A})$ .

**Exercice 3 : Qu'aurait fait Pascal? (~ 4 points)**

liquide	eau	huile d'olive	gazole	acétone	sang
$\rho$ ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	1000	920	850	790	1050

TABLE 1 – Densité de différents liquides

- 1/ Soit un tube en U rempli de deux liquides non miscibles de densité  $\rho_1$  et  $\rho_2$  placés à l'air libre ( $P_{\text{ext}} = P_0$ ). On cherche à déterminer la densité du second liquide grâce à Pascal. Le tube de section  $S$  constante est représenté sur la figure 1 et des densités vous sont donnés dans le tableau 1. (2 pts)
- Donnez la valeur de la pression à la surface du liquide  $P_1(h_1)$  et  $P_2(h_2)$  en fonction de  $P_0$ . Que valent-elles en  $z=0$ , c'est-à-dire  $P_1(z=0)$  et  $P_2(z=0)$ ? (1 pt)
  - En déduire la valeur de  $\rho_2$  en fonction de  $\rho_1$ ,  $h_1$  et  $h_2$ . (0,5 pt)
  - Si le premier liquide est de l'eau ( $\rho_1 = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ), et qu'on mesure  $h_1 = 8 \pm 0.1 \text{ cm}$ ,  $h_2 = 8.8 \pm 0.1 \text{ cm}$ , identifiez le second liquide. Êtes-vous sûr de votre réponse?
- 2/ Soit une presse de Pascal comme illustrée en figure 1. Si le liquide utilisé est de l'eau (incompressible), que la force  $F_1$  s'exerce sur une surface  $S_1$  ( $25 \text{ cm}^2$ ) et  $F_2$  s'exerce sur une surface  $S_2$  ( $1 \text{ m}^2$ ). Soit une voiture de 1500 kg qu'on souhaite soulever en laboratoire.
- Donnez la valeur minimale de  $F_1$  nécessaire à l'élévation de la voiture. (1 pt)
  - Quel déplacement  $d_1$  est-il nécessaire pour lever la voiture de 1 cm ( $d_2=1 \text{ cm}$ )? (0,5 pt)
  - Si on veut réaliser cette action en 10 s. quelle puissance est-elle nécessaire? On négligera les frottements (0,5 pt)

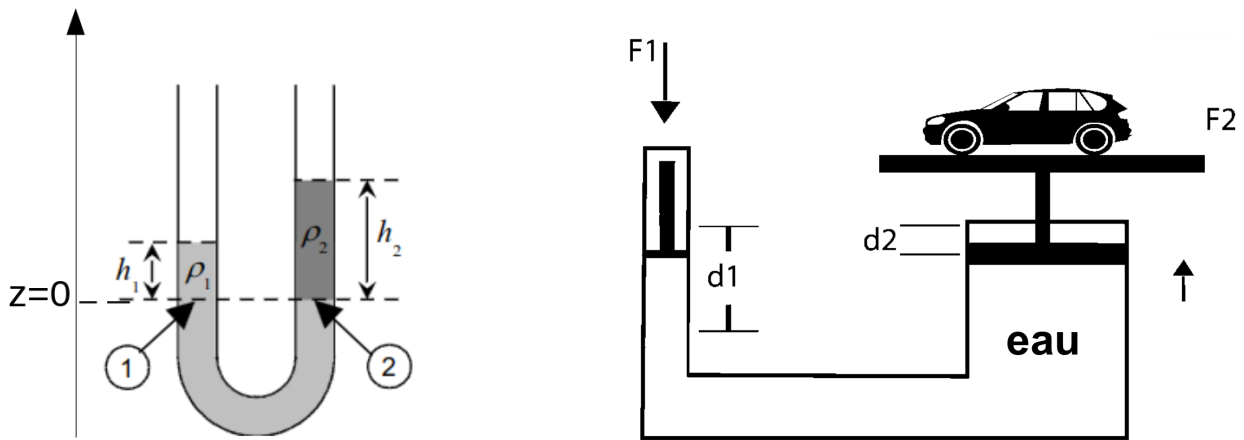


FIGURE 1 – a. Tube de Pascal ©juggling.ch, b. Presse de Pascal

## Exercice 4 : Isolez-vous qu'ils disaient (~ 4 points)

Soit une maison typique. Un chauffage central fournit 5.6 kW afin de maintenir la maison de  $80 \text{ m}^2$  à la bonne température. La maison contient 5 fenêtres de  $1 \text{ m}^2$  chacune. On supposera initialement les pertes thermiques par les murs, le toit, la porte et le sol négligeables.

- 1/ Dans un premier cas, si on considère un simple vitrage :
- Calculer la résistance thermique d'une vitre carrée de côté  $a = 1,0 \text{ m}$ , d'épaisseur  $e = 5,0 \text{ mm}$ . ( $\lambda_{\text{verre}} = 1,0 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) (0,5 pt)
  - Si la température extérieure tombe à  $0^\circ\text{C}$ , et que le chauffage est à son maximum ( $\phi_{\text{chauffage}} = 5600 \text{ W}$ ), que vaut la température à l'intérieur de la maison? (1 pt)
- 2/ Soit l'usage du double vitrage. On s'intéresse désormais à un double vitrage carré de côté  $a = 1,0 \text{ m}$ . Ce double vitrage est constitué de 3 milieux consécutifs de même épaisseur  $e = 5,0 \text{ mm}$ . Les milieux extrêmes sont en verre et entre les deux plaques de verre, on emprisonne de l'air de conductivité thermique  $\lambda_{\text{air}} = 2,6 \times 10^{-2} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .
- Calculer la résistance thermique de l'ensemble verre/air/verre d'une fenêtre. (1 pt)
  - En déduire, à flux thermique constant, la température à l'intérieur de la maison. Est-ce bien réaliste? Qu'avons-nous négligé abusivement? Sachant que l'estimation de la puissance nécessaire au chauffage d'une maison est, elle, bien réaliste, pouvez-vous estimer un ordre de grandeur de ce qui a été négligé? Conclure tout de même quant à l'intérêt de cette technologie. (1 pt)
  - Quelle est l'analogie électrique avec cette situation? (0,5 pt)

## Exercice 5 : Comparaison de différents modes de refroidissement d'une pièce (~ 5 points)

Dans cet exercice, on va comparer plusieurs modes de refroidissement pour une pièce vide de  $20 \text{ m}^2$  au sol et avec  $3 \text{ m}$  de hauteur. On négligera la conduction de chaleur par les murs. On considérera que le mode de refroidissement ne sert qu'à abaisser la température de l'air. Vous trouverez des données numériques en fin d'énoncé. **Les questions 1 et 2 sont indépendantes.**

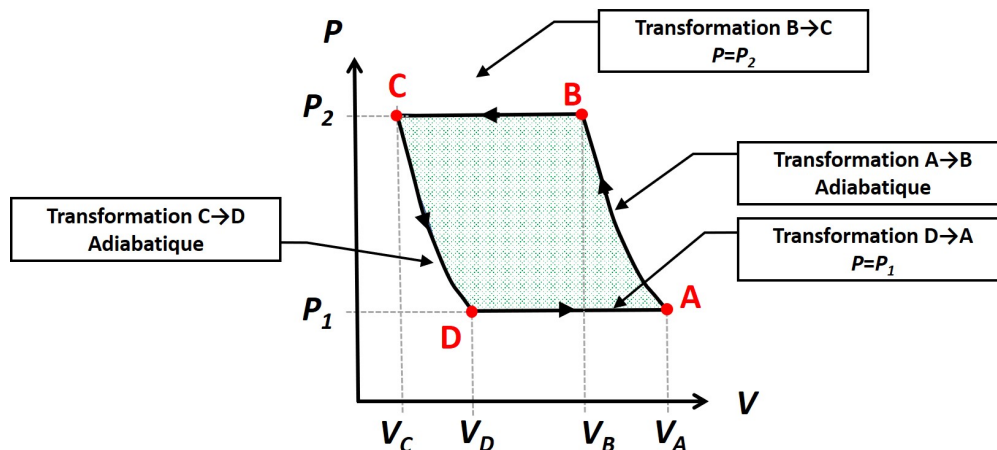


FIGURE 2 – Cycle thermodynamique d'une pompe à chaleur.

- 1/ **Pompe à chaleur** - Dans cette question, on va voir à quelle température une pompe à chaleur peut refroidir la pièce. Le cycle thermodynamique d'une pompe à chaleur est représenté figure 2. La source froide est ici la pièce à une température  $T_f$  que l'on cherche à déterminer. La source chaude est l'air extérieur supposé à une température  $T_c = 35^\circ\text{C}$ . Le cycle est réversible sans changement d'état. Pendant la transformation isobare de B à C, le moteur échange une chaleur  $Q_f$  avec la source froide (la pièce). Pendant la transformation isobare de D à A, le moteur échange une chaleur  $Q_c$  avec la source chaude (l'extérieur). Pour ce cycle, l'efficacité est définie comme  $e = \frac{-Q_c}{W}$  :  $Q_c$  est la quantité de chaleur froide fournie par la pompe à chaleur, et  $W$  est le travail que l'opérateur fournit à la pompe à chaleur pour qu'il marche.
- Énoncer le premier principe de la thermodynamique en identifiant tous les termes.
  - Déterminer la relation entre  $W$ ,  $Q_f$  et  $Q_c$ .
  - Énoncer le second principe de la thermodynamique et déterminer la variation d'entropie au cours du cycle thermodynamique de la pompe à chaleur.
  - Déterminer la relation entre  $Q_c$ ,  $T_c$ ,  $Q_f$  et  $T_f$ .
  - En déduire l'expression de l'efficacité  $e$  en fonction de  $T_c$  et  $T_f$ .
  - L'efficacité d'une pompe à chaleur commerciale est typiquement de 400%. Que vaut la température  $T_f$  de la pièce refroidie par la pompe à chaleur ?



FIGURE 3 – a. Refroidissement par eau liquide. © 2022 The Associated Press. b. Un bloc de glace pour refroidir les rues de Tokyo. © OutlookIndia.

2/ **Refroidissement par évaporation** - Dans cette question, on va examiner un mode alternatif de refroidissement qui est parfois utilisé pour baisser la température des rues de New York (figure 3.a) ou de Tokyo (figure 3.b) : asperger d'eau liquide les rues, ou mettre un bloc de glace sur les trottoirs. On va voir si cette solution est efficace pour refroidir une pièce. Dans cette question, vous pourrez utiliser la figure 4, et vous ferez ATTENTION AUX UNITÉS!

- Rappeler la définition de la capacité thermique massique à pression constante.
- À partir de la figure 4, déterminer la capacité thermique massique de la glace et de l'eau liquide.
- À partir de la figure 4, déterminer la chaleur latente de fusion et la chaleur latente de vaporisation de l'eau.
- Déterminer l'expression littérale de l'énergie qu'il faut fournir à 1 kg d'eau pour le faire passer de  $13^{\circ}\text{C}$  (la température typique de sortie de robinet) à une température finale  $100^{\circ}\text{C} > T_f > 0^{\circ}\text{C}$ .
- Déterminer l'expression littérale de l'énergie qu'il faut fournir à 1 kg de glace pour le faire passer de  $-20^{\circ}\text{C}$  (la température typique d'un congélateur) à une température finale  $100^{\circ}\text{C} > T_f > 0^{\circ}\text{C}$ .
- Déterminer l'expression littérale de l'énergie qu'il faut fournir pour abaisser la température de l'air contenu dans la pièce ( $20\text{ m}^2$ ,  $3\text{ m}$  de hauteur) de  $35^{\circ}\text{C}$  à une température finale  $T_f$ .
- Déterminer la température  $T_f$  qu'aura la pièce si on la refroidit avec 1 kg d'eau à  $13^{\circ}\text{C}$ . Même question si on met de la glace à  $-20^{\circ}\text{C}$ .
- Commenter les résultats obtenus.

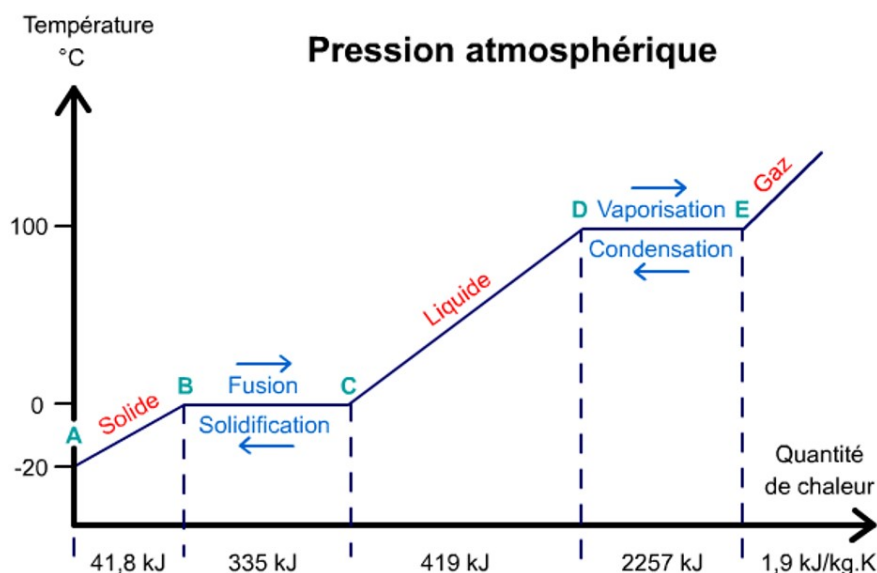


FIGURE 4 – Température de 1 kg d'eau, initialement sous la forme de glace, en fonction de la quantité de chaleur apportée. La pression est maintenue constante. © Joho.

Données (attention, toutes les données ne servent pas forcément!) :

- Capacité thermique massique de l'air :  $1000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .
- Capacité thermique molaire de l'air :  $75,2\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .
- Volume molaire de l'air :  $V_a = 22,4\text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- Masse molaire de l'air :  $M_a = 29\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$