

THERMODYNAMIQUE

Soignez la présentation et la rédaction, qui doit être complète et concise. Tout résultat doit être justifié, et mis en valeur. Les résultats doivent d'abord être écrits sous forme littérale et doivent être homogènes. Les résultats numériques doivent avoir un nombre de chiffres significatifs vraisemblable. Les schémas doivent être clairs, suffisamment grands et lisibles. Si vous n'arrivez pas à montrer un résultat, admettez-le clairement et poursuivez.

CALCULATRICES AUTORISÉES

I. Fuites thermiques par les vitres d'une maison

On donne la capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$. On rappelle que la masse volumique de l'eau est $\rho_{eau} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

On désire tout d'abord mesurer la capacité thermique massique du verre constituant les vitres, par une expérience de calorimétrie à pression constante.

On place $N = 40$ petites billes de verre identiques dans un four maintenant une température $T_1 = 80^\circ\text{C}$. Chaque petite bille a un diamètre $\delta = 1,0 \text{ cm}$. La densité du verre est $d = 2,5$. On plonge ces petites billes dans un calorimètre de masse équivalente en eau $m_{eq} = 20 \text{ g}$ (masse d'eau ayant la même capacité thermique que le calorimètre) dans lequel on a placé initialement une masse $M = 100 \text{ g}$ d'eau à $T_2 = 20^\circ\text{C}$. La température du mélange à l'équilibre est $T_{eq} = 25^\circ\text{C}$.

1. On néglige toute fuite thermique. Établir un bilan énergétique adapté à l'expérience entre l'état initial et l'état final.
En déduire l'expression littérale et la valeur numérique de la capacité thermique massique du verre, que l'on notera c_{verre} .
2. Établir le bilan entropique de cette transformation pour le système total {verre + eau + calorimètre}.
Donner l'expression littérale et la valeur numérique de l'entropie créée. Commenter.

Soit une pièce d'habitation de capacité thermique totale C , de température supposée uniforme en tout point de la pièce, température notée $T(t)$ à l'instant t . Les fuites thermiques sont supposées se faire uniquement par l'intermédiaire d'une fenêtre en simple vitrage de surface Σ . La température de l'extérieur est constante de valeur $T_{ext} = 273 \text{ K}$. On suppose que la puissance \mathcal{P}_{th} des fuites thermiques est proportionnelle à la surface de la vitre et à l'écart de température entre la pièce et l'extérieur. On appellera k le coefficient de proportionnalité, avec $k > 0$.

La pièce est chauffée par un radiateur électrique de résistance R alimenté par le secteur, avec une tension sinusoïdale de valeur efficace U_{eff} égale à 230 V . Initialement la pièce est à une température $T(0) = 283 \text{ K}$ et on met en route le chauffage.

3. Écrire l'expression littérale de la puissance des fuites thermiques \mathcal{P}_{th} algébriquement reçue par la pièce.
4. Déterminer l'expression littérale de la puissance électrique moyenne \mathcal{P}_J cédée par effet Joule par le radiateur ?
5. Écrire le bilan énergétique de la pièce entre deux instants infiniment voisins t et $t + dt$ et en déduire l'équation différentielle vérifiée par $T(t)$.
Identifier une constante de temps τ . Quelle est sa signification physique ?
6. Quelle est la valeur numérique de τ si $C = 100 \text{ kJ.K}^{-1}$?
7. Tracer l'allure de l'évolution de la température T de la pièce au cours du temps t .
8. Quelle valeur faut-il donner à R pour qu'en régime stationnaire la température de la pièce soit de $T_p = 293 \text{ K}$? Pour l'application numérique, on prendra $\Sigma = 1,00 \text{ m}^2$ et $k = 5,60 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.
9. Connaissez-vous un moyen de réduire ces pertes thermiques ? Lequel ?

II. Bilans énergétiques d'un gaz parfait et réversibilité

Données numériques :

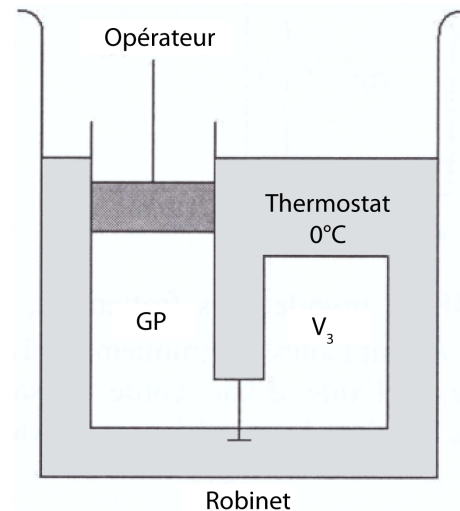
- constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$;
- norme du champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$;
- rapport des capacités thermiques du gaz parfait : $\gamma = C_p/C_V = 1,4$.

1. Qu'est-ce que la première loi de Joule ? En donner une justification succincte.
2. Établir la relation de Mayer pour un gaz parfait. En déduire l'expression des capacités thermiques à volume constant (C_V) et à pression constante (C_P) en fonction de γ , de R et de la quantité n de gaz parfait.

II.1. Transformation isotherme

Un gaz parfait est placé dans un cylindre fermé par un piston de masse négligeable et se déplaçant sans frottements. Le cylindre communique par un robinet avec le récipient rigide de volume V_3 (cf. figure ci-contre).

L'appareil est plongé dans un thermostat à $T_0 = 0^\circ\text{C}$ constitué par un mélange d'eau et de glace en équilibre. Par sa face supérieure, le piston reste en contact avec l'atmosphère. Pendant les transformations suivantes, la pression atmosphérique est constamment égale à $P_0 = 1,00 \text{ bar}$, et la température du gaz parfait à T_0 .



3. Le robinet étant fermé, le gaz est dans le cylindre aux conditions d'équilibre (1) : pression $P_1 = 2,72 \text{ bar}$ et volume V_1 . La partie de volume V_3 est vide.

Un opérateur agit sur le piston mobile pour détendre le gaz de manière infiniment lente, mécaniquement quasi-statique, jusqu'à la pression $P_2 = P_0$ à laquelle correspond le volume $V_2 = 22,41 \text{ L}$ (état d'équilibre (2)).

 - a) Quelle est la quantité de matière n de gaz contenue dans le cylindre ? Faire l'application numérique.
 - b) Que vaut le volume V_1 ?
 - c) Déterminer le travail W_{op} fourni par l'opérateur au piston, et le travail W_{12} reçu par le gaz durant cette détente. Faire l'application numérique.
 - d) Quel est le transfert thermique Q_{12} reçu par le gaz parfait durant cette détente (transfert thermique échangé avec le thermostat) ?
 - e) Exprimer la variation d'entropie ΔS_{12} du gaz sur cette transformation.
 - f) En déduire l'entropie produite lors de la transformation du gaz, notée S_{p12} . Commenter.
4. Le gaz dans le cylindre étant ramené aux conditions (1) (P_1 et V_1), l'espace au-delà du robinet (de volume V_3) étant vide, on immobilise le piston et on ouvre le robinet de communication. Un nouvel état d'équilibre thermodynamique s'établit et la pression du gaz devient $P_3 = P_0$.
 - a) Déterminer le volume V_3 . Faire l'application numérique.
 - b) Déterminer le transfert thermique Q_{13} reçu par le gaz durant cette détente.
 - c) Exprimer la variation d'entropie du gaz, ΔS_{13} , durant cette détente. Faire l'application numérique.
 - d) En déduire l'entropie produite S_{p13} pendant cette transformation. Commenter.

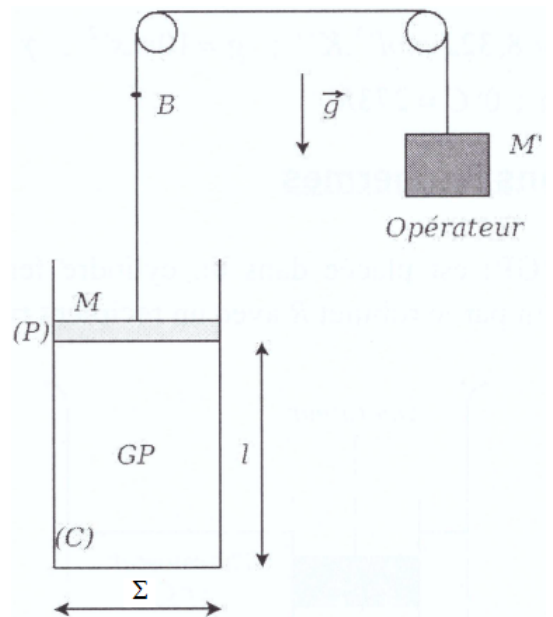
II.2. Transformation adiabatique

Une certaine masse de ce gaz parfait (quantité de matière notée n') est ensuite placée dans un autre cylindre (C) d'axe vertical, de section droite constante $\Sigma = 16 \text{ cm}^2$ (cf. figure ci-dessous).

Un piston (P) de masse $M = 48 \text{ kg}$, mobile sans frottement, isole ce gaz dans une colonne cylindrique (C) de longueur ℓ . (C) et (P) sont isolés thermiquement (i.e. calorifugés). La masse M est reliée à une autre masse M' de valeur variable (sable dans un récipient), à l'aide d'une corde passant sur deux poulies. Ce système mécanique est sans frottement. Pendant les expériences suivantes, la pression atmosphérique reste égale à $P_0 = 1,00 \text{ bar}$.

5. Le gaz est en équilibre ($1'$) caractérisé par les valeurs $\ell'_1 = 1,0 \text{ m}$, $P'_1 = P_0$ et $T'_1 = 300 \text{ K}$. En ouvrant un petit orifice sous le récipient qui se vide lentement, on diminue progressivement la masse M' , dont la valeur passe de $M' = M$ à zéro. Le gaz subit alors une compression adiabatique mécaniquement quasi-statique, et atteint un nouvel état d'équilibre ($2'$) : (P'_2, V'_2, T'_2) .

- Déterminer l'état d'équilibre ($2'$) : exprimer littéralement puis numériquement la pression P'_2 du gaz, son volume V'_2 et sa température T'_2 .
- Exprimer le travail $W_{1'2'}$ reçu par le gaz pendant cette transformation. Faire l'application numérique.
- Représenter cette compression ($1'$) \rightarrow ($2'$) sur un diagramme de Watt (P, V).
- Faire un bilan entropique de la transformation ($1'$) \rightarrow ($2'$) et le commenter.



6. On remet le gaz dans les conditions d'équilibre ($1'$), c'est-à-dire (P'_1, V'_1, T'_1) avec les masses précédentes M et $M' = M$ en équilibre. On brûle le fil en B . Après quelques oscillations du piston, un nouvel état d'équilibre ($3'$) s'établit, caractérisé par P'_3, V'_3 et T'_3 .
- En appliquant le théorème de l'énergie mécanique au système {Piston}, établir l'expression du travail $W_{1'3'}$ reçu par le gaz. On l'exprimera notamment en fonction de la pression P'_3 .
 - En déduire les expressions littérales puis numériques de T'_3 et V'_3 .
 - Faire un bilan entropique de la transformation ($1'$) \rightarrow ($3'$). Interpréter.

* * * FIN DE L'ÉPREUVE * * *