

Tout résultat d'un calcul devra présenter le bon nombre de chiffres significatifs. La notation tiendra largement compte du soin apporté à la rédaction. La calculatrice est autorisée. Les deux problèmes sont indépendantes, et peuvent être traitées dans n'importe quel ordre. **Rendre les 2 problèmes sur des copies séparées.** Encadrer les résultats.

Problème 1 : Une histoire de pistons

1) Compression d'un gaz parfait monoatomique

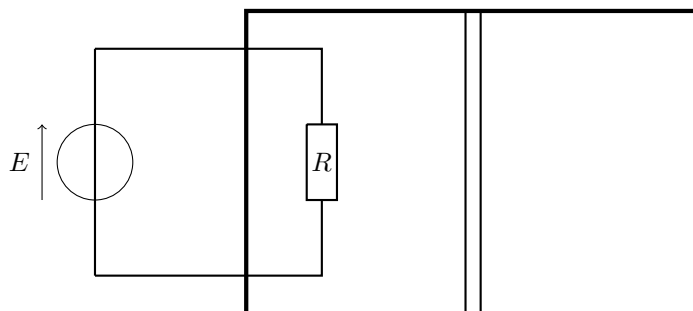
On considère une mole de gaz parfait monoatomique (GPM) placé dans un cylindre vertical de section s , fermé par un piston horizontal mobile sans frottements. Le cylindre, aux parois diathermanes, est plongé dans un thermostat de température uniforme et constante T_0 . À l'état initial, le gaz est en équilibre thermodynamique avec le milieu extérieur et sa pression est notée P_0 .

1. On ajoute très progressivement de toutes petites masselottes sur le piston, jusqu'à ce que la masse finale déposée soit égale à M .
 - (a) Comment peut-on qualifier cette transformation ?
 - (b) Déterminer la température T_i et le volume V_i du GPM dans l'état initial.
 - (c) Déterminer la pression P_f , la température T_f et le volume V_f du gaz dans son état d'équilibre final.
 - (d) Déterminer la variation d'énergie interne du gaz, ainsi que le travail W et le transfert thermique Q reçus par le gaz lors de cette transformation.
2. À partir du même état initial, on ajoute brutalement l'intégralité de la masse M . Reprendre toutes les questions précédentes et commenter les résultats.
3. À partir du même état initial (pression P_0 et température T_0), on ajoute l'intégralité de la masse M . Cette fois-ci, les parois sont supposées athermanes. Reprendre les mêmes questions qu'au 1. et commenter les résultats.

2) Chauffage d'un gaz parfait dans une enceinte fermée par un piston

On considère une enceinte de volume $2V_0$ contenant un gaz supposé parfait. Un piston sépare cette enceinte en deux. Dans le réservoir de gauche, il y a une résistance qui va permettre de chauffer le gaz parfait de ce réservoir. Avant chauffage, le piston est au milieu de l'enceinte (les deux réservoirs possèdent donc le même volume V_0). La température est T_0 et la pression P_0 .

Ce piston est de volume négligeable et on négligera ses frottements sur le cylindre (ou presque). Toutes les parois (cylindre ou piston) sont supposées calorifugées. On soumet la résistance R à une tension E pendant un intervalle de temps Δt . On notera $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$



1. Exprimer l'énergie électrique transférée par la source de tension E à la résistance R , alors qu'il y a apparition d'un courant $i(t)$ dans le circuit. Cette énergie est intégralement transmise au gaz sous forme de transfert thermique par effet Joule. Montrer que $Q = \frac{E^2}{R} \Delta t$ (reçu par le gaz).
2. Après le chauffage, on attend que l'équilibre thermodynamique soit atteint. On veut caractériser l'état final (température, pression, volume) de chacun des deux réservoirs.
 - (a) Déterminer le nombre d'inconnues du système. En déduire le nombre d'équations à déterminer pour espérer résoudre ce système linéaire.
 - (b) Écrire l'équilibre mécanique au niveau du piston. Déterminer également une équation liant les volumes finaux entre eux.
 - (c) Écrire le premier principe au système total. Quel est le transfert thermique reçu par le système total, constitué de tout le gaz ? Utiliser également l'hypothèse d'extensivité de l'énergie interne pour trouver un lien entre les températures finales des deux compartiments.

(d) On supposera que la transformation subie par le gaz de droite est réversible. En déduire un lien entre les variables d'état de ce compartiment.

3. Résoudre le système linéaire lorsque toutes les équations ont été listées.

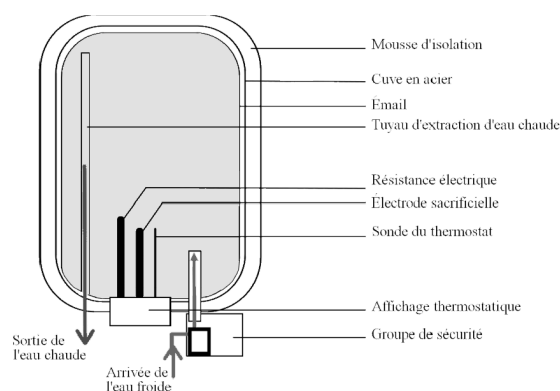
Problème 2 : Chauffe-eau (d'après CCINP)

Un chauffe-eau est composé d'une cuve cylindrique fermée généralement en acier émaillé, dans laquelle se trouve un dispositif de chauffage piloté par un thermostat (figure 1). La cuve est en permanence remplie d'eau. En effet, lorsqu'on puise de l'eau chaude, de l'eau froide remplace au fur et à mesure la quantité d'eau chaude utilisée. Le dispositif de chauffage réchauffe l'eau jusqu'à une température de consigne préalablement définie, puis s'arrête. Si de l'eau est puisée, il se remet en fonctionnement.

Il existe plusieurs types de chauffe-eau. Cce sujet s'intéresse plus particulièrement :

1. aux chauffe-eaux électriques à résistance thermoplongée (figure 1) ;
2. aux chauffe-eaux thermodynamiques faisant appel à une pompe à chaleur (figure 2).

3) Chauffe-eau électrique



Ce chauffe-eau a une puissance électrique égale à $P = 2000 \text{ W}$ et sa cuve contient un volume $V = 200 \text{ L}$ d'eau. Cette cuve est remplie avec de l'eau froide à $T_{e1} = 288 \text{ K}$ ($\theta_{e1} = 15^\circ \text{C}$). Grâce à une résistance chauffante, cette eau est chauffée à $T_{e2} = 338 \text{ K}$ ($\theta_{e2} = 65^\circ \text{C}$).

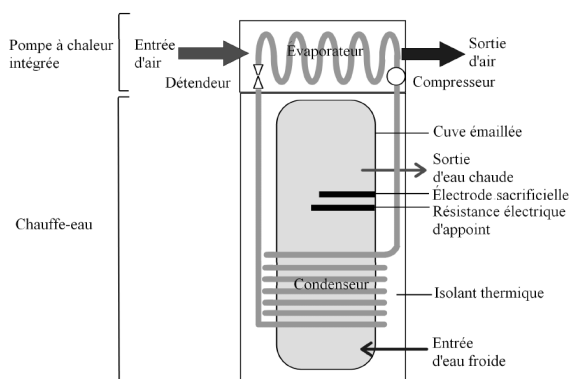
1. Déterminer la valeur du transfert thermique Q nécessaire pour chauffer l'eau.
2. En déduire le temps nécessaire Δt pour chauffer l'eau. On précisera le résultat en heures.

Données :

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4180 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$
- Masse volumique de l'eau : $\rho_e = 1,0 \text{ kg.L}^{-1}$

4) Chauffe-eau thermodynamique

Dans cette partie, on s'intéresse à la pompe à chaleur d'un chauffe-eau thermodynamique schématisé ci dessous.



Cette pompe à chaleur est située dans une pièce dont l'air environnant est à la température $T_a = 280 \text{ K}$ ($\theta_a = 7^\circ \text{C}$) que l'on suppose constante. Elle est destinée à maintenir l'eau du chauffe-eau à la température $T_{e2} = 338 \text{ K}$ ($\theta_{e2} = 65^\circ \text{C}$) en prélevant de l'énergie thermique à l'air environnant, grâce à un fluide frigorigène qui circule en circuit fermé dans la machine.

On suppose que la pompe à chaleur fonctionne de manière réversible selon un cycle de Carnot.

Au cours d'un cycle, on note W le travail reçu par le fluide de la part du compresseur, Q_f le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source froide et Q_c le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source chaude. On désigne par T_c la température de la source chaude et T_f la température de la source froide.

3. Rappeler le schéma de principe d'une pompe à chaleur ditherme et préciser le signe des échanges d'énergie W , Q_f et Q_c .
4. Quel élément joue le rôle de source froide et quel élément joue le rôle de source chaude ?

On rappelle que le cycle de Carnot se compose de deux transformations isothermes aux températures T_c et T_f et de deux transformations adiabatiques réversibles.

5. Définir une transformation isotherme et une transformation adiabatique.
6. Schématiser ce cycle en diagramme de Clapeyron(P, v). Justifier le sens du cycle.
7. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au fluide au cours d'un cycle réversible.
8. Appliquer le second principe de la thermodynamique au fluide au cours d'un cycle réversible.
9. Définir le coefficient de performance (ou efficacité) d'une pompe à chaleur.
10. En déduire l'expression du coefficient de performance maximal COPmax en fonction de T_c et T_f .
11. Effectuer l'application numérique.
12. Dans ces conditions d'utilisation ($T_a = 280 \text{ K}$ et $T_{e2} = 338 \text{ K}$), le constructeur annonce un COP=3,6. Pour quelle raison est-il différent du COPmax ?
13. Commenter la recommandation suivante du constructeur : "le chauffe-eau thermodynamique trouvera sa place dans une pièce de la maison dont la température n'est pas trop faible notamment en hiver, comme un cellier ou une lingerie."

Lors de l'utilisation de l'eau du chauffe-eau, de l'eau froide remplace l'eau chaude utilisée. L'eau à l'intérieur du chauffe-eau doit alors être ramenée à 338 K .

Au cours du chauffage, la température $T_e(t)$ de la masse m_e d'eau, thermiquement isolée dans la cuve, varie.

On s'intéresse à un cycle provoquant la variation élémentaire dT_e de température de l'eau de la cuve. Ce cycle est supposé réversible et au cours de ce cycle, on note δW le travail élémentaire reçu par le fluide de la part du compresseur, δQ_f le transfert thermique élémentaire reçu par le fluide de la part de la source froide et δQ_c le transfert thermique élémentaire reçu par le fluide de la part de la source chaude.

L'air environnant est toujours à la température $T_a = 280 \text{ K}$ ($\theta_a = 7^\circ \text{C}$) que l'on suppose constante.

14. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au fluide au cours de ce cycle.
15. Appliquer le second principe de la thermodynamique au fluide au cours de ce cycle et en déduire une relation liant les transferts thermiques δQ_c et δQ_f aux températures T_a et $T_e(t)$.
16. Exprimer le transfert thermique δQ_c en fonction de m_e , de la capacité thermique massique de l'eau c_e et de la variation élémentaire dT_e de température de l'eau.
17. En déduire les expressions du transfert thermique δQ_f et du travail δW en fonction de m_e , c_e , dT_e , T_a et $T_e(t)$.

On suppose initialement que cette masse d'eau est à la température $T_{e1} = 288 \text{ K}$ ($\theta_{e1} = 15^\circ \text{C}$) et qu'elle est chauffée jusqu'à atteindre $T_{e2} = 338 \text{ K}$ ($\theta_{e2} = 65^\circ \text{C}$).

18. Déterminer alors l'expression du travail W reçu par le fluide de la part du compresseur pour faire évoluer la température de l'eau de la cuve de T_{e1} à T_{e2} en fonction de m_e , c_e , T_a , T_{e1} et T_{e2} .
19. L'application numérique donne $W = 4,33 \text{ MJ}$. Quelle serait l'élévation de température si la même énergie W avait été fournie par un chauffe-eau électrique ? Commenter.

FIN DE L'ÉNONCÉ