

TD 22 | T2- Premier principe de la thermodynamique

	I	II	III	IV
Gerer des calculs				✓
Faire preuve de sens physique	✓			
Analyser un schéma			✓	
Appliquer le premier principe	✓	✓	✓	✓
Evaluer un transfert thermique	✓	✓	✓	
Modeliser une compression			✓	✓
tracer une courbe	✓			

I Comparaison de différentes transformation (★)

On étudie une détente de n moles d'un gaz parfait de coefficient $\gamma = \frac{7}{5}$ d'un état $A(3p_0, V_0)$ à un état $B(p_0, 3V_0)$. On considère plusieurs chemins :

- *Chemin 1* : refroidissement isochore de l'état A à l'état A_1 puis une détente isobare le menant à l'état B .
- *Chemin 2* : détente isobare de l'état A à l'état A_2 puis un refroidissement isochore le menant à l'état B .
- *Chemin 3* : détente isotherme et quasi-statique de l'état A à l'état B .

1. Démontrez la relation de Mayer et rappeler la définition de γ . En déduire l'expression de C_V et C_P en fonction de γ .
2. Les transformations sont supposées quasi-statiques. Représentez ces trois chemins dans le diagramme de Watt (p en fonction de V). Déterminez en particulier les coordonnées des points A_1 et A_2 , ainsi que la température de l'isotherme du chemin 3, notée T_0 .
3. Calculez, pour chaque chemin, les travaux et transferts thermiques et faire les applications numériques avec $p_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ et $V_0 = 5,0 \text{ L}$.

Pour cette question, on pourra calculer le travail à l'aide d'intégrales : $W_i = -\int P_{ext} dV$, les variations d'énergie interne ΔU et en déduire la chaleur Q_i pour chaque transformation.

4. Interprétez graphiquement les résultats.

II Calorimétrie (★)

L'énergie interne des phases condensées (solides et liquides) ne dépend quasiment que de la température; la détermination de leur capacité calorifique est donc essentielle. On

utilise pour ce faire des récipients calorifugés type vases Dewar constitués d'une double paroi de verre contenant du vide et dont la face intérieure est recouverte d'une pellicule argentée.

1. Les parois du récipient sont alors athermanes : justifiez cette propriété vis-à-vis de la constitution du récipient. On rappelle cela signifie que la paroi empêche les transferts thermiques entre l'intérieur et l'extérieur du vase Dewar.

II.1 Méthode des mélanges

On considère un calorimètre contenant une masse m_1 d'eau à la température T_1 (Figure 1). La capacité thermique massique de l'eau c_e est connue. À l'instant initial, on plonge dans le calorimètre un corps (ou un liquide) de masse m_2 , porté à la température T_2 , dont on souhaite connaître la capacité thermique massique c . À l'équilibre la température finale est T_f . Le système considéré est l'ensemble {eau + corps}.

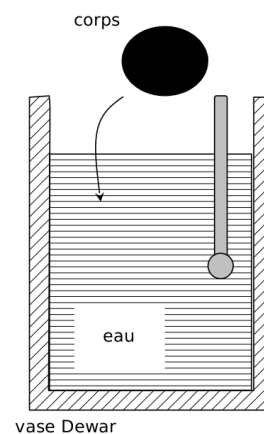


Figure 1

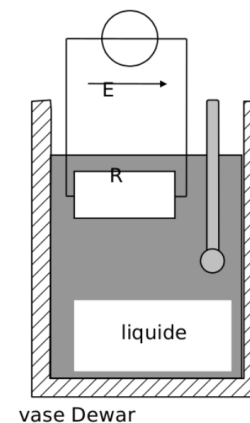


Figure 2

2. Décrire l'état initial et l'état final du système.
3. Exprimer ΔU , ΔE_c , W et Q et en déduire l'expression de c .
4. Effectuer l'application numérique sachant que pour du cuivre : $m_2 = 200 \text{ g}$, $T_2 = 100 \text{ °C}$, $m_1 = 1 \text{ kg}$, $T_1 = 20 \text{ °C}$, $T_f = 21,5 \text{ °C}$, $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

II.2 Méthode électrique

La détermination de la capacité thermique c (supposée indépendante de la température) d'un liquide peut se faire à l'aide de l'effet Joule. Une résistance de valeur R et de capacité thermique négligeable par rapport à celle du liquide, soumise à une tension de valeur

efficace E , est plongée dans une masse m_3 du liquide à étudier. À l'instant initial le liquide est à la température T_3 , après une durée Δt de chauffage, le liquide est à la température T_f . Le système considéré est uniquement le {liquide}.

5. Décrire l'état initial et l'état final du système.
6. Exprimer ΔU , ΔE_c , W et Q durant la transformation et en déduire l'expression de c en fonction des données.

On utilise une résistance de $50\ \Omega$ alimentée par une tension de $20\ \text{V}$.

7. Quelle est la puissance électrique dissipée par effet Joule?

Après 10 minutes de chauffage, on mesure une élévation de température de $5\ \text{K}$ dans les $200\ \text{g}$ d'huile introduits dans le calorimètre.

8. En déduire la capacité calorifique de l'huile étudiée.
9. Si l'on prend en compte le fait que le vase Dewar, le thermomètre et l'agitateur voient également leur énergie interne augmenter lors des mesures précédentes, comment faut-il modifier les relations obtenues pour en tenir compte? On notera C_M leur capacité calorifique.

III Evolutions monothermes (★★)

Un cylindre vertical, aux parois diathermes, c'est-à-dire parfaitement conductrices de chaleur, de section droite $S = 1,0 \times 10^{-2}\ \text{m}^2$, est séparé en deux compartiments identiques de volume $V_0 = 10\ \text{L}$ par un piston de masse négligeable.

Initialement le piston est retenu par une cale et le compartiment supérieur est vide. On supposera qu'initialement, le compartiment inférieur contient n mol de gaz parfait à la pression $P_0 = 1,0\ \text{bar}$ et est en équilibre avec l'atmosphère extérieure à la température $T_0 = 300\ \text{K}$ constante. Trois méthodes sont employées pour retirer la cale.

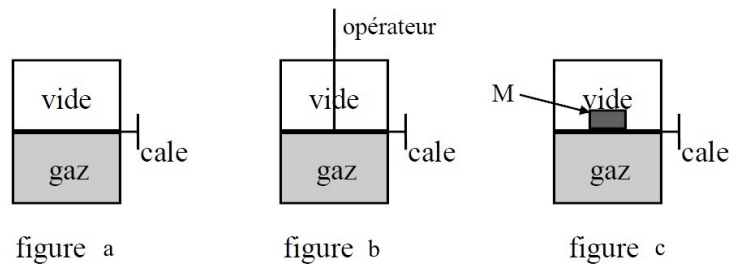


FIGURE 1 – Schémas associés aux trois transformations

1. Rappeler la définition d'un système fermé. Exprimez ensuite la quantité de matière n en fonction des autres données du problème puis effectuer l'application numérique.

2. Exprimer dans le cas d'une transformation monotherme d'un GP, le travail W en fonction du transfert thermique Q . Ce résultat pourra être ré-utilisé par la suite.
3. Pour la première méthode, le piston est simplement libéré (figure 1 a). Calculer le travail W_a et le transfert thermique Q_a échangés par le gaz au cours de la transformation puis réaliser les applications numériques.
4. Pour la deuxième méthode, le piston est libéré, mais un opérateur le retient au cours de la détente, la rendant ainsi quasi-statique (figure 1 b). Le gaz occupe la totalité du volume dans son état final. Évaluez le travail W_b et le transfert thermique Q_b échangés par le gaz au cours de la transformation puis réaliser les applications numériques.
5. Pour la dernière méthode, le piston supporte initialement une masse $M = 150\ \text{kg}$ (figure 1 c). Exprimer le travail W_c et le transfert thermique Q_c échangés par le gaz au cours de la transformation puis effectuer les applications numériques.

IV Transformation paramétrique (★★★)

La matière étudiée est un gaz parfait diatomique aux températures ordinaires.

1. Indiquer et justifier la valeur de la capacité calorifique molaire à volume constant $C_{V,m}$.
2. Les transformations, qui seront supposées réversibles, sont décrites par la relation $\delta Q = \lambda \delta W$ où λ est une constante. Dans la suite de l'exercice, on pourra utiliser les principes de la thermodynamique sous leurs versions différentielles.
 - (a) Montrer que, par intégration, on obtient, au cours de la transformation que $TV^{\alpha-1} = Cste$ avec α une constante à déterminer en fonction de λ et γ
 - (b) Déterminer les valeurs de λ correspondant aux transformations isotherme, isobare, isochore et adiabatique. Pour ces valeurs de λ , expliciter l'expression de α . Commentaires

Éléments de réponses :

E1 Q3 : $W_1 = -2p_0V_0$; $W_2 = -6p_0V_0$ et $W_3 = -3 \ln(3)p_0V_0$

E3 Q4 : $Q_b = nRT_0 \ln(2)$

E4 Q1 : On trouve $\alpha - 1 = (1 + \lambda)(\gamma - 1)$