

Thermodynamique – Chapitre 3 : Transformations thermodynamiques d'un système et transferts associés

Questions de vérification des connaissances de cours

Questionnaire en ligne (il y a des questions en plus) :
<https://goo.gl/forms/xGkiUQQpN5xLLEmS2> ou via le
 flashcode ci-contre



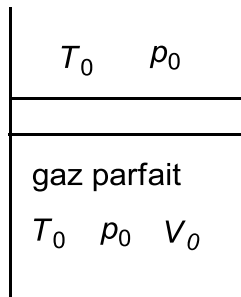
- Un gaz est introduit dans une enceinte aux parois athermanes, et un piston mobile (athermane) permet de le comprimer. À l'équilibre thermodynamique :
 - L'équilibre mécanique interne est-il atteint ?
 - L'équilibre thermique interne est-il atteint ?
 - Y-a-t-il équilibre mécanique avec l'extérieur ?
 - Y-a-t-il équilibre thermique avec l'extérieur ?
 - Dans le modèle incompressible et indilatable, un système en phase condensée peut-il recevoir un travail mécanique de la part des forces pressantes extérieures ? Comment peut-on qualifier toutes les transformations subies par une phase condensée dans ce modèle ?
 - Étude d'une transformation de deux gaz**
 Un cylindre fermé, horizontal, est divisé en deux compartiments A et B de même volume V_0 , par un piston coulissant librement sans frottements. A et B contiennent chacun une mole de gaz parfait à la pression p_0 et à la température T_0 .
 Le piston, la surface latérale du cylindre et la surface de base du compartiment A sont athermanes, le compartiment B reste à la température T_0 par contact thermique avec de la glace fondante à la pression atmosphérique.
 Dans le compartiment A une résistance chauffante est placée, elle permet d'amener de manière lente la température du compartiment A à la valeur T_1 .
- 3.1. Vrai/faux :**
 - Le gaz du compartiment A subit une transformation adiabatique car il est entouré de parois athermanes.
 - Le gaz du compartiment B subit une transformation monotherme
 - Le gaz du compartiment A subit une transformation monobare
 - Le gaz du compartiment B ne reçoit pas de transfert thermique (transformation adiabatique) car sa température reste constante (fixée par le thermostat).
 - Le piston au cours de la transformation se déplace de manière à comprimer le gaz du compartiment B .
 - 3.2.** À l'équilibre thermodynamique des deux gaz, l'équilibre thermique entre les deux gaz est-il atteint ? L'équilibre mécanique entre les deux gaz est-il atteint ? Que peut-on alors dire des valeurs de la pression du gaz A et du gaz B ? et des températures ?
 - 3.3.** Donner les signes des transferts (s'ils existent) thermiques et mécaniques de chaque gaz au cours de la transformation.
 - 4. Étude d'une transformation d'un solide**
 Un solide, initialement à la température T_1 est mis en contact avec un thermostat à la température T_0 par l'intermédiaire d'un matériau très mauvais conducteur thermique.
 - 4.1.** Que vaut la température du solide à l'équilibre thermodynamique ?
 - 4.2.** La transformation est-elle brutale ou quasi-statique ?
 - Un ballon de baudruche aux parois déformables rempli d'hélium à la pression $p_{\text{He}} = 2 \text{ bar}$ est introduit dans une enceinte dont la pression est maintenue constante et vaut $p_{\text{enceinte}} = 1 \text{ bar}$, la température est maintenue constante. Déterminer si le travail mécanique reçu par le système hélium dans le ballon est positif ou négatif.
 - Un radiateur permet de chauffer une pièce, il est défini par la puissance thermique qu'il fournit $\mathcal{P}_{\text{th}} = 1000 \text{ W}$. Calculer l'énergie thermique reçue par la pièce pendant 1,0 heure.
 - On utilise désormais une résistance chauffante parcourue par un courant continu d'intensité $I = 0,5 \text{ A}$, pendant la même durée. Quelle doit être la valeur de la résistance pour que le transfert d'énergie soit le même qu'à la question précédente ?
 - On approche une flamme qui effectue le même transfert d'énergie qu'aux questions précédentes. Sachant que la réaction chimique alimentant la flamme est une combustion libérant 45.10^3 kJ par litre de carburant consommé, calculer la quantité de carburant nécessaire.



Exercices d'entraînement

1 Compression d'un gaz parfait

De l'air, à la température T_0 , est contenu dans un cylindre, aux parois diathermanes, fermé par un piston également diathermane, de section S et de masse négligeable. L'ensemble est placé dans l'air à la pression p_0 . A chaque instant la température de l'air extérieur vaut T_0 et la pression de l'air extérieur p_0 .



1. Premier cas

On pose sur le piston la masse M . Une fois l'équilibre de nouveau atteint on note les nouveaux paramètres d'états du système : T_1 , p_1 et V_1 .

- 1.1. Donner toutes les caractéristiques de la transformation subit par le système gaz contenu dans le cylindre.
- 1.2. Déterminer l'expression des paramètres d'états du système à l'état final, en fonction des données de l'énoncé (paramètres initiaux, paramètres liés à l'extérieur).
- 1.3. Déterminer l'expression du travail des forces pressantes reçu par le système au cours de la transformation.

2. Deuxième cas

On reprend l'équilibre initial, on pose successivement sur le piston des masses m ($m \ll M$) en attendant à chaque fois que la température de l'air intérieure se stabilise et que le piston s'immobilise : c'est-à-dire que l'équilibre thermodynamique avec l'extérieur soit atteint. On répète l'opération jusqu'à ce que la surcharge totale soit égale à la masse M du cas précédent.

- 2.1. Donner toutes les caractéristiques de la transformation subit par le système gaz contenu dans le cylindre.
- 2.2. Déterminer l'expression des paramètres d'états du système à l'état final, en fonction des données de l'énoncé (paramètres initiaux, paramètres liés à l'extérieur).
- 2.3. Déterminer l'expression du travail des forces pressantes reçu par le système au cours de la transformation.

2 Dé détente d'un gaz parfait

Une quantité de matière n de gaz parfait enfermée dans un cylindre dont une paroi est un piston mobile. L'ensemble est en contact avec le milieu extérieur. On désire faire subir une transformation à ce gaz, en le faisant passer de l'état (p_0, V_0) à l'état (p_1, V_1) , selon deux méthodes différentes (on prendra $p_0 > p_1$).

1. Dans un premier temps, on réalise la transformation très lentement, de manière isotherme, en attendant à chaque instant qu'il y ait équilibre thermodynamique entre le système et le milieu extérieur.
 - 1.1. Que cela signifie-t-il pour la température et la pression du milieu extérieur ?
 - 1.2. Calculer le transfert d'énergie mécanique W_1 au cours de cette transformation en fonction de p_1 , V_0 et V_1 .
2. Une deuxième méthode consiste à placer le cylindre dans un milieu extérieur de pression p_1 . Initialement, on bloque le piston mobile par deux petites cales dans une position qui permet effectivement de placer le gaz intérieur dans les conditions (p_0, V_0) . On retire ensuite les cales sans fournir de travail (sans réaliser un transfert mécanique supplémentaire).
 - 2.1. La transformation est-elle lente ?
 - 2.2. Calculer le transfert d'énergie mécanique W_2 au cours de cette transformation en fonction de p_1 , V_0 et V_1 .
3. Comparer W_1 et W_2 . Expliquer pourquoi ce calcul permet de dire que le transfert d'énergie mécanique W n'est pas une fonction d'état.

Définition : une fonction d'état est une grandeur qui ne dépend que de l'état du système que l'on considère.

3 Étude d'une transformation cyclique

On imagine un cylindre aux parois diathermanes, fermé par un piston. Le piston, de masse négligeable, peut glisser sans frottement entre 2 cales A et B , sa section est S . Dans l'état initial, le piston est en A , le cylindre renferme un volume V_A d'air supposé gaz parfait, à la température de l'extérieur : T_0 , pression p_0 , (gaz dans l'état 0 : p_0, V_A, T_0).

On place une masse m sur le piston et on chauffe très doucement le gaz par un moyen approprié, non représenté sur le schéma, jusqu'à ce que le piston décolle juste de la cale A (gaz dans l'état 1 : p_1, V_A, T_1). Puis, on maintient le chauffage jusqu'à ce que le piston arrive juste en B (gaz dans l'état 2 : p_2, V_B, T_2), le chauffage est alors arrêté. On retire m et on laisse refroidir l'ensemble jusqu'à ce que le piston décolle juste de B (gaz dans l'état 3 : p_3, V_B, T_3). On laisse toujours refroidir jusqu'à la température T_0 , alors, le piston revient en A (gaz dans l'état 0), le cycle est terminé.

Données : $V_B = 1,0 \text{ L}$; $V_A = 330 \text{ mL}$; $T_0 = 300 \text{ K}$,
 $p_0 = 1,0 \text{ bar}$, $m = 10 \text{ kg}$, $S = 100 \text{ cm}^2$, $g = 10 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$,
 $R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. Quelle est la caractéristique commune à toutes les transformations ?

2. Transformation de 0 à 1

2.1. Quelle est la nature de la transformation de 0 à 1 subie par le gaz ?

2.2. Exprimer p_1 et T_1 en fonction des données de l'énoncé et faire l'application numérique.

2.3. Calculer le travail reçu par le système lors de cette transformation

3. Transformation de 1 à 2

3.1. Quelle est la nature de la transformation de 1 à 2 subie par le gaz ?

3.2. Que vaut la pression p_2 ? Exprimer la température T_2 en fonction T_1, V_A, V_B . Faire les applications numériques.

3.3. Calculer le travail reçu par le système lors de cette transformation

4. Transformation de 2 à 3

4.1. Quelle est la nature de la transformation de 2 à 3 subie par le gaz ?

4.2. Que vaut la pression p_3 ? La température T_3 ? Faire l'application numérique.

4.3. Calculer le travail reçu par le système lors de cette transformation

5. Transformation de 3 à 0

5.1. Quelle est la nature de la transformation de 3 à 0 subie ?

5.2. Calculer le travail reçu par le système lors de cette transformation

6. Cycle complet

6.1. Exprimer le travail reçu par le système au cours du cycle en fonction des données de l'énoncé.

6.2. Faire l'application numérique et commenter le signe.

6.3. Tracer l'allure du diagramme de Clapeyron de ce cycle.

6.4. Comment peut-on calculer le travail W au cours d'un cycle par simple analyse graphique ?

4 Perte thermique à travers un mur et isolation

On considère un mur extérieur d'une maison de dimensions $7,0 \text{ m} \times 10 \text{ m}$. Ce mur est fait en parpaing de conductivité thermique $\lambda = 1,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et possède une épaisseur $e = 20 \text{ cm}$.

1. Exprimer la résistance thermique du mur en fonction de ses caractéristiques.

2. Déterminer la puissance thermique perdue à travers ce mur si la température intérieure de la maison est constante et vaut $20 \text{ }^\circ\text{C}$, tandis que l'extérieur est à la température constante de $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Déterminer la puissance thermique perdue si on protège ce mur par des plaques de polystyrène de conductivité thermique $\lambda' = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et d'épaisseur $e' = 7,0 \text{ cm}$.

4. En déduire, en pourcentage, le gain énergétique effectué.