

Problème 1 : Changement d'état (extrait CCP DEUG 2003)

Le changement d'état réversible solide-liquide (S-L) du corps pur eau (H_2O) intervient à la température T_0 sous la pression d'équilibre P_0 . Sauf indications contraires, toutes les expériences décrites dans cette partie se déroulent sous la pression P_0 .

Données numériques :

$T_0 = 273 \text{ K}$; $P_0 = 1,01 \text{ bar}$;

$L_f(T_0) = 334 \text{ kJ.kg}^{-1}$: chaleur latente massique de fusion de l'eau à T_0 ;

$c_{pL} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.K^{-1}$: coefficient thermique massique (constant) de l'eau liquide ;

$c_{pS} = 2,09 \text{ kJ.kg}^{-1}.K^{-1}$: coefficient thermique massique (constant) de la glace ;

$u_L = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$: volume massique (constant) de l'eau liquide ;

$u_S = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$: volume massique (constant) de la glace.

A. Transferts de chaleur

1. Une masse M_S de glace, initialement à la température T_1 ($T_1 < T_0$), est placée au contact d'une source de chaleur (thermostat) maintenue à la température T_0 . En fin de transformation, la masse M_S est entièrement liquide à T_0 .

1.1. Déterminer l'expression littérale de la variation d'enthalpie ΔH de la masse M_S au cours de cette évolution.

1.2. Application numérique : Calculer ΔH avec $M_S = 1,00 \text{ kg}$; $T_1 = 253 \text{ K}$.

2. Un calorimètre, thermiquement isolé et de capacité thermique négligeable, contient une masse M_L d'eau liquide, initialement à la température T_2 ($T_2 > T_0$). Une masse M_S de glace, initialement à la température T_1 ($T_1 < T_0$), est ajoutée dans le calorimètre.

2.1. Déterminer l'expression littérale de la température initiale minimale $T_{2,\min}$ de la masse M_L au-dessus de laquelle, à l'équilibre, la masse totale ($M_S + M_L$) d'eau est liquide.

2.2. Application numérique : Calculer $T_{2,\min}$ avec $M_S = M_L = 1,00 \text{ kg}$; $T_1 = 253 \text{ K}$.

B. Cessation d'un état métastable

Dans un calorimètre thermiquement isolé et de capacité thermique négligeable, on place une masse M_L d'eau en état surfondu, c'est-à-dire liquide à une température T_3 inférieure à la température de changement d'état réversible ($T_3 < T_0$). L'introduction d'un germe cristallisé de glace, de masse négligeable, provoque la solidification partielle de l'eau.

B.1. Quelle est la température finale T_f , à l'équilibre ?

B.2. Déterminer l'expression littérale de la masse m_S d'eau solidifiée.

B.3. Déterminer l'expression littérale de la variation d'entropie ΔS de l'eau.

B.4. Application numérique : avec $M_L = 1,00 \text{ kg}$ et $T_3 = 263 \text{ K}$:

- Calculer la masse d'eau solide m_S .
- Calculer la variation d'entropie ΔS .
- La transformation est-elle réversible ?

C. Diagramme $P = f(T)$ du corps pur

C.1. Dessiner l'allure générale du diagramme $P = f(T)$ de l'eau. Annoter le schéma en identifiant les courbes représentatives des équilibres de changement d'état et les différents domaines d'existence des phases. Quelle est la particularité de l'eau concernant ce diagramme ?

C.2. Dans ce diagramme, la courbe de fusion est la courbe représentative de l'équilibre solide-liquide.

On réalise une compression isotherme (température T_0) d'une masse d'eau, à partir de la pression d'équilibre P_0 . Préciser l'état du corps pur, en justifiant qualitativement la réponse, dans les deux cas suivants :

- l'eau est initialement solide à T_0 et P_0 ;
- l'eau est initialement liquide à T_0 et P_0 .

C.3. Application pratique : Lors d'une randonnée pédestre sur glacier, l'utilisation de chaussures à crampons métalliques est-elle raisonnable ? Expliquer brièvement.

Problème 2 : Cycle moteur Diesel (extrait petites Mines 2007)

L'ingénieur allemand Rudolf Diesel (1858-1913) inventa un moteur à combustion interne par auto-allumage en 1893. Le cycle thermodynamique associé à ce moteur est représenté figure 6 en coordonnées de Watt $P = f(V)$:

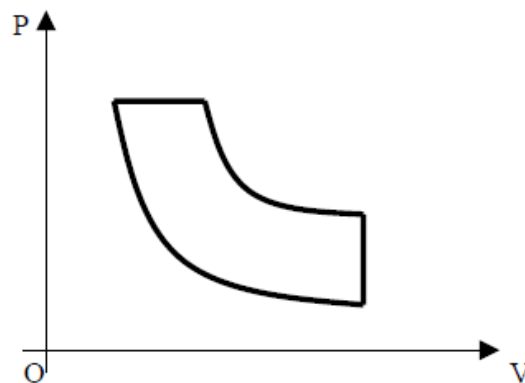


Figure 6

Les moteurs Diesel actuels fonctionnent suivant un cycle théorique modifié appelé cycle de Sabathé : il diffère du précédent par une combustion en deux étapes. Il est constitué des transformations suivantes (figure 7) :

- A-B : compression adiabatique réversible
- B-C : combustion isochore
- C-D : combustion isobare réversible
- D-E : détente adiabatique réversible
- E-A : détente isochore

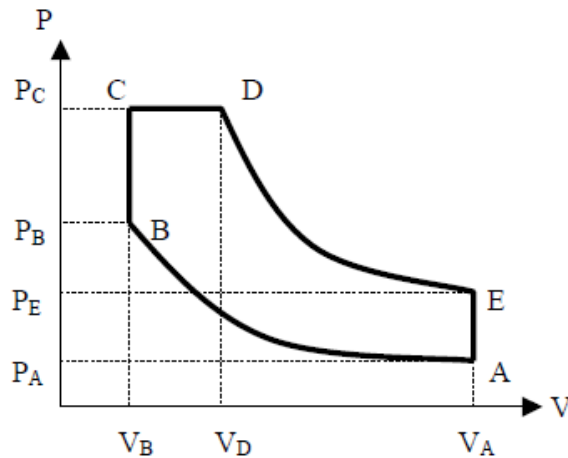


Figure 7

On considère n moles de gaz supposé parfait décrivant le cycle et on pose :

$\gamma = C_{p,m}/C_{v,m}$ avec $C_{p,m}$ et $C_{v,m}$ les capacités thermiques molaires à pression et volume constants

$\alpha = V_A/V_B$: rapport volumétrique de compression

$\beta = V_D/V_C$: rapport volumétrique de combustion

$\delta = P_C/P_B$: rapport de surpression de combustion

Chaque état i sera caractérisé par P_i , V_i et T_i respectivement pression, volume et température.

Q26. Exprimer P_B et T_B en fonction P_A , T_A , α et γ .

Q27. Déterminer les transferts thermiques échangés par n moles de gaz au cours de chaque transformation Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CD} , Q_{DE} , Q_{EA} en fonction des températures T_A , T_B , T_C , T_D , T_E , des capacités thermiques molaires $C_{v,m}$, $C_{p,m}$ et de n .

Q28. Après avoir défini le rendement thermodynamique (ou efficacité thermodynamique) pour un moteur que l'on notera η , l'exprimer en fonction des températures et de γ .

Q29. Montrer que η peut se mettre sous la forme :

$$\eta = 1 - \frac{\delta \cdot \beta^\gamma - 1}{\left[\delta - 1 + \delta \cdot \gamma \cdot (\beta - 1) \right] \cdot \alpha^{(\gamma-1)}}.$$