

Thermodynamique – Chapitre 4 : Bilans d'énergie pour un système thermodynamique – Premier principe de la thermodynamique – Energie interne et enthalpie



Exercices d'application

1 Transformation isochore d'un gaz parfait

On considère une quantité de matière $n = 2,00$ mol de monoxyde carbone CO, considéré comme un gaz parfait, de capacité thermique molaire à volume constant $C_{V,m}$ constante valant $5R/2$.

Déterminer le transfert thermique reçu par le gaz lors d'une transformation isochore lorsque sa température passe de $T_0 = 273$ K à $T_1 = 373$ K

2 Transformation monobare d'un gaz parfait

On considère une quantité de matière $n = 2,00$ mol de monoxyde carbone CO, considéré comme un gaz parfait, avec $C_{p,m} = \frac{7}{2}R$ et $C_{V,m} = \frac{5}{2}R$.

On fait varier sa température de $T_0 = 273$ K à $T_1 = 373$ K de manière monobare avec $p_0 = p_1 = p_{\text{ext}}$.

- Déterminer le transfert thermique reçu par le gaz lors de cette transformation, en utilisant la variation d'enthalpie
- Même question en utilisant la variation d'énergie interne.

3 Faites chauffer le fer !

Un maréchal-ferrant plonge un fer à cheval porté au rouge ($\theta' = 300$ °C) de masse $m = 500$ g dans une bassine d'eau froide. Il mesure alors la température finale de la bassine et trouve $\theta_e = 45,0$ °C.

Calculer le transfert d'énergie thermique fourni par l'eau.

Données : capacité thermique molaire du fer $C_m = a + bT$ avec $a = 17,50$ J. K⁻¹. mol⁻¹ et $b = 24,78 \cdot 10^{-3}$ J. mol⁻¹ K⁻², masse molaire du fer $M = 55,8$ g. mol⁻¹

4 « Équilibre thermique » du corps humain

Dans le cas d'un être humain au repos, la température corporelle reste à 37 °C (régime stationnaire) sous l'effet de nombreux phénomènes dont les fondamentaux sont :

- Puissance thermique due au métabolisme $\mathcal{P}_{\text{méta}}$
- Puissance perdue par convection $\mathcal{P}_{\text{conv}}$
- Puissance perdue par rayonnement \mathcal{P}_{ray}
- Puissance perdue par évaporation de la sueur $\mathcal{P}_{\text{sueur}}$
- Puissance perdue par évaporation dans les poumons \mathcal{P}_{pou}

À 37 °C, pour un être humain de surface corporelle 1 m², on prendra les valeurs approximatives suivantes : $\mathcal{P}_{\text{conv}} = 70$ W, $\mathcal{P}_{\text{ray}} = 65$ W, $\mathcal{P}_{\text{sueur}} = 100$ W, $\mathcal{P}_{\text{pou}} = 10$ W.

Calculer le transfert thermique créé par le métabolisme sur 4 heures.

Remarque : on parle d'équilibre thermique du corps humain mais ce terme est mal employé, l'état est stationnaire ($T = \text{cste}$) mais non à l'équilibre puisque le système (corps humain) est siège de transferts et sa température n'est pas égale à celle de l'extérieur.

5 Vaporisation d'un liquide

- Calculer le transfert thermique reçu par une masse $m = 2,00$ kg d'eau lorsqu'on la vaporise complètement à la température $\theta = 100$ °C et sous la pression $p = 1,01$ bar. On assimilera la vapeur d'eau à un gaz parfait.
- En déduire la variation d'énergie interne ΔU de cette masse d'eau

On assimilera la vapeur d'eau à un gaz parfait.

Données : enthalpie massique de vaporisation de l'eau à $p = 1,01$ bar $\ell_{\text{vap}} = 2260$ kJ. kg⁻¹

6 Vaporisation à différentes températures

1. Dans une coupelle, on introduit 36 g d'eau, soit $n = 2,0$ mol. On laisse la coupelle dans une pièce à 25 °C. Après quelques heures, l'eau s'est entièrement évaporée. Calculer le transfert thermique fourni par l'air de la pièce pour réaliser cette transformation
2. La même quantité de matière d'eau est maintenant portée à ébullition à 100 °C sous la pression atmosphérique. Calculer le transfert thermique qu'il faut fournir à l'eau pour réaliser sa vaporisation complète.
3. Comparer les deux résultats et conclure.

Données : enthalpie molaire standard de vaporisation de l'eau à différentes température : $\Delta H^\circ(100\text{ °C}) = 40,65\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, $\Delta_{\text{vap}}H^\circ(25\text{ °C}) = 43,98\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$



Exercices d'entraînement : Application du premier principe lors d'une transformation d'un état d'équilibre à un autre

7 Transformation adiabatique d'un gaz parfait

On considère une quantité de matière $n = 3,00$ mol de gaz diatomique supposé parfait, de capacité thermique molaire isochore $C_{V,m} = 5R/2$ constante. Ce gaz subit une transformation adiabatique de manière infiniment lente faisant varier sa température de $\Delta T = 100$ K.

Lors d'une transformation de ce type on peut montrer que le produit pV^γ reste constant avec $\gamma = 7/5$ la constante de Laplace pour les gaz parfaits diatomiques/

Calculer le transfert d'énergie mécanique W reçu par le gaz au cours de cette transformation grâce à deux méthodes différentes.

8 Transfert thermique et température

Le but de cet exercice est de montrer que la température d'un gaz parfait peut rester constante bien qu'il reçoive un transfert thermique.

On analyse une transformation isotherme (température $T_0 = 300$ K) lente et conduite de manière à ce que $T = T_{\text{ext}}$ et $p = p_{\text{ext}}$ à chaque instant, d'une quantité de matière $n = 2,50$ mol de gaz parfait faisant évoluer son volume de la valeur V_0 à la valeur $V_1 = 2V_0$

1. Pour cette transformation, calculer la variation d'énergie interne ΔU , le transfert mécanique W et le transfert thermique Q .
2. Expliquer qualitativement pourquoi la température de ce système ne varie pas bien qu'il reçoive un transfert d'énergie thermique.

9 Transfert thermique et température

Le but de cet exercice est de montrer que la température d'un gaz parfait peut varier sans pour autant qu'il ne reçoive un transfert thermique.

On analyse une transformation adiabatique lente d'une quantité de matière $n = 2,00$ mol d'un gaz parfait de capacité thermique molaire isochore $C_{V,m} = 5R/2$ constante, le faisant passer d'un volume V_0 à $2V_0$. Sa température évolue alors de la température $T_0 = 300$ K à la température T_1 .

1. Calculer T_1 en fonction des données de l'énoncé
2. A quel type de transfert est due la variation de température ?

Pour qu'il y ait une augmentation de température, faut-il une compression ou une dilatation du gaz ?

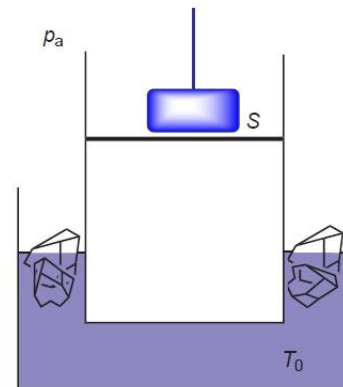
10 Transformations brutale et lente

Une quantité de matière $n = 1,00$ mol d'un gaz parfait est enfermée dans un cylindre de surface d'une section droite $S = 100$ cm², dont les parois sont diathermanes. La paroi supérieure du cylindre est mobile et de masse négligeable, pouvant évoluer sans frottement. L'ensemble est plongé dans un bain d'eau et de glace à la température constante $T_0 = 273$ K. La pression de l'air extérieur est notée p_{atm} , dont la valeur numérique est $p_{\text{atm}} = 1,013$ bar.

Données : l'accélération de la pesanteur sera notée g et prise égale à $g = 9,81$ m.s⁻², $R = 8,31$ J.K⁻¹.mol⁻¹

1. Pose d'une masse

A 1 mm au dessus du cylindre, est attaché un objet de masse $m = 1,00$ kg au bout d'un fil. On coupe le fil, et le gaz se comprime.



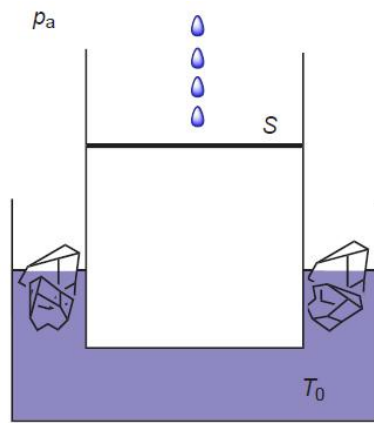
Dispositif pour la première transformation

Exprimer littéralement, en fonction des données de l'énoncé, le transfert mécanique W_1 reçu par le système une fois l'état d'équilibre thermodynamique final atteint. On notera V_f et V_i les volumes dans les états final et initial.

2. Goutte à goutte

On reprend le système dans l'état d'équilibre initial précédent. Cette fois-ci, on fait tomber en goutte à goutte lent la même masse m que précédemment d'un liquide, de manière à ce que l'équilibre thermodynamique avec l'extérieur soit établi à chaque instant.

- 2.1. Exprimer littéralement, en fonction des données de l'énoncé, le transfert mécanique W_2 reçu par le système une fois l'état d'équilibre thermodynamique final atteint.



Dispositif pour la deuxième transformation

- 2.2. Comparer W_1 et W_2 , en analysant le signe de $W_1 - W_2$. Donner un raisonnement général et non une application numérique.
- 2.3. Calculer numériquement W_1 et W_2

3. Analyse énergétique

- 3.1. Quelle est la variation d'énergie interne du système lors de ces deux transformations ?
- 3.2. Calculer les transferts thermiques Q_1 et Q_2 reçus par le système lors de chacune de ces deux transformations. En déduire si lors des transformations on observe une fonte où une formation de glace.

11 Contact thermique de deux solides

Deux solides homogènes de capacités thermiques C_1 et C_2 initialement aux températures $T_{1,0}$ et $T_{2,0}$, sont placés en contact dans une enceinte calorifugée.

Calculer la température finale du système constitué des deux solides.

12 Transfert thermique via une résistance électrique

Dans un récipient parfaitement calorifugé, une masse $m_0 = 200$ g d'eau liquide à $\theta_0 = 20,0$ °C et de capacité thermique massique $c_0 = 4,18$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹ est mise en contact avec un filament de cuivre initialement à 20 °C, de masse $m = 30$ g, de capacité thermique massique $c = 0,39$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹, et de résistance $R = 30$ Ω, parcouru par un courant d'intensité $I = 10$ A pendant un temps $\tau = 5$ s.

Déterminer la température finale de l'eau.

13

Fusion puis vaporisation

On sort du congélateur un glaçon d'eau de masse $m = 20,0$ g et on attend que sa température atteigne 0 °C. On le dépose alors sur une plaque chauffante, jusqu'à observer sa vaporisation complète. Calculer l'énergie thermique Q que la plaque chauffante a fournie au glaçon lors de cette opération.

Données et approximation :

- On négligera l'évaporation à température inférieure à 100 °C
- Enthalpie massique de vaporisation de l'eau à 100 °C et sous 1 atm : $\ell_{\text{vap}} = 2,26$ kJ.g⁻¹
- Enthalpie massique de fusion de l'eau à 0 °C et sous 1 atm : $\ell_{\text{fus}} = 334$ J.g⁻¹
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4,18$ J.g⁻¹

14

Réduire un bouillon

Une recette de cuisine pour réaliser un bouillon de légume demande de réduire de moitié le volume de bouillon par vaporisation. Une casserole contient un volume $V = 1,5$ L de bouillon (assimilable à de l'eau). Elle est placée sur une plaque chauffante d'une puissance $P = 1000$ W. Calculer le temps Δt nécessaire à la réduction de moitié du bouillon à partir de l'instant où le liquide atteint la température de 100 °C.

Donnée : enthalpie standard de vaporisation de l'eau $\Delta_{\text{vap}}H^\circ(\text{H}_2\text{O}) = 40,65$ kJ.mol⁻¹. Les autres grandeurs caractéristiques de l'eau (masse volumique, masse molaire...) sont censées être connues.



Exercices d'entraînement : Utilisation du premier principe en termes de puissance

15 Qui du bois ou de l'acier, à la même température, semble le plus chaud ?

Deux cylindres, isolés latéralement, de même section S , de même axe Ox , de conductivités thermiques λ_1 et λ_2 , de longueurs identiques $L_1 = L_2 = L$, sont mis bout à bout. Le contact s'établit en $x = 0$. L'étude est faite en régime stationnaire ce qui suppose un régime forcé où les extrémités $x = -L_1$ et $x = L_2$ sont maintenues aux températures respectives T_1 et T_2 .

1. Montrer que le régime dit stationnaire impose que le flux thermique traversant le cylindre 1 est égal au flux traversant le cylindre 2.

On rappelle que la résistance thermique d'un tronçon de longueur L et de section S est donnée par $R_{th} = L/\lambda S$.

2. Déterminer la température T_i à l'interface (en $x = 0$)
3. Calculer T_i pour un contact main – bois puis pour un contact main – acier. Commentaire

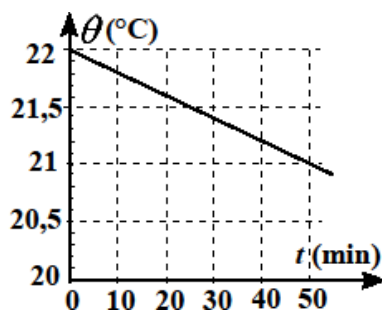
Données : $T_1 = 37^\circ\text{C}$ (main), $T_2 = 20^\circ\text{C}$ (bois ou acier) ; conductivités thermiques (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) : $\lambda_1 = 10$ (main), $\lambda_2 = 1$ (bois) et $\lambda'_2 = 100$ (acier).

16 Pertes thermiques d'une bouteille thermos

On introduit une masse $m_e = 200\text{ g}$ d'eau, à la température supérieure à celle de la température ambiante, dans une bouteille thermos.

La pression du système est imposée par la pression atmosphérique p_0 supposée constante.

Après une durée suffisante pour pouvoir considérer que l'ensemble du système (parois internes de la bouteille et contenu) est à l'équilibre thermique interne, on déclenche le chronomètre afin de suivre l'évolution de la température du système liée aux fuites thermiques uniquement : l'évolution est représentée ci-après.



Appliquer le premier principe en termes de puissance et déterminer la puissance thermique \mathcal{P}_{th} que reçoit le système de la part de l'extérieure. Conclure.

Données :

Capacité thermique des parois internes du calorimètre et de la sonde : $C = 0,200\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}$.

Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

17 Ventilation d'un composant électronique

Un composant électronique de conductivité thermique $\lambda = 4,0\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a deux faces F_1 et F_2 de même surface S et séparées par une épaisseur $d = 2\text{ cm}$. Un ventilateur refroidit la surface F_1 grâce à un courant d'air à la température $T_a = 20^\circ\text{C}$ tandis que l'autre face F_2 est maintenue du fait de son utilisation à la température $T_2 = 50^\circ\text{C}$. En régime stationnaire, la température de F_1 ne doit pas dépasser $T_1 = 30^\circ\text{C}$.

On rappelle la loi de Newton donnant le transfert thermique conducto-convectif entre le composant et l'air :

$$\Phi_{th\ CV} = hS(T_1 - T_a)$$

Quelle doit être la valeur de h pour ne pas dépasser la valeur indiquée ?

18**Température dans un igloo**

Pour passer la nuit, un inuit dort dans un igloo constitué de neige compactée de surface $S_i = 4,0 \text{ m}^2$ de surface, la neige compactée est un bon isolant de conductivité thermique $\lambda = 0,25 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-1}$. L'épaisseur de l'igloo est notée e .

La température extérieure $T_{\text{ext}} = -40 \text{ °C}$ est constante. Tous les points de l'air intérieur et des parois de glace sont à la même température T . Pendant son sommeil, l'inuit dégage $0,50 \text{ MJ}$ d'énergie par heure. Pendant la nuit, quand le feu à l'intérieur de l'igloo s'est éteint, la température intérieure est $T = 20 \text{ °C}$.

1. On suppose, dans un premier temps, que la conduction thermique à travers les murs de l'igloo est le facteur dominant dans les pertes thermiques. Quelle valeur doit avoir l'épaisseur e pour que l'intérieur de l'igloo ne se refroidisse pas ?
2. Quel serait le schéma d'association de résistances (en utilisant les notations des schémas électriques) si on devait considérer aussi les pertes thermiques dues à la porte d'entrée en peau de phoque et au fait que la paroi externe de l'igloo est recouverte d'une couche de neige fraîche dont la conductivité thermique est différente de celle de la neige compactée ? Quel est l'inconvénient de la porte d'un point de vue transfert thermique ?
3. Sachant que les expressions vues sur les associations de résistances électriques sont aussi valable pour les résistances thermique, donner l'expression de la résistance équivalente à cette association en fonction de la résistance de la porte R_{porte} , de la résistance de la neige compactée R_i et de la résistance de la neige fraîche $R_{\text{neige fraîche}}$.



Exercices d'entraînement : Calorimétrie

19

Calorimétrie : fonte d'un glaçon

Dans un calorimètre parfait de capacité thermique notée C_{calo} pour la transformation considérée, on introduit une masse m_1 d'eau liquide à la température T_1 . On attend l'équilibre thermique entre le calorimètre et l'eau, puis on additionne une masse m_2 de glace initialement à la température T_2 . A l'équilibre thermodynamique, on n'observe que de l'eau liquide dans le calorimètre. Calculer la température finale T du système. On note c_ℓ et c_s les capacités thermiques massiques respectivement de l'eau et de la glace, ℓ_{fus} l'enthalpie massique de fusion de la glace à la pression de l'expérience (1 atm) et $T_{\text{fus}} = 273$ K la température de fusion de la glace à cette pression.

Calculer T pour $m_1 = 100$ g, $m_2 = 10,0$ g, $T_1 = 300$ K, $T_2 = 255$ K, $c_\ell = 4,18 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$, $c_s = 2,10 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$ et $\ell_{\text{fus}} = 334 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$, $C_{\text{calo}} = 150 \text{ J.K}^{-1}$

20

Calorimétrie : formation de glace

Dans un calorimètre parfait de valeur en eau égale à μ , on introduit une masse m_1 d'eau liquide à la température T_1 . On attend l'équilibre thermique entre le calorimètre et l'eau, puis on additionne une masse m_2 de glace initialement à la température T_2 . A l'équilibre thermodynamique, on n'observe que de la glace dans le calorimètre. Calculer la température finale T du système. On note c_ℓ et c_g les capacités thermiques massiques respectivement de l'eau et de la glace, ℓ_{fus} l'enthalpie massique de fusion de la glace à la pression de l'expérience (1 atm) et $T_{\text{fus}} = 273$ K la température de fusion de la glace à cette pression.

Calculer T pour $m_1 = 100$ g, $m_2 = 2,00$ kg, $T_1 = 300$ K, $T_2 = 255$ K, $c_\ell = 4,18 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$, $c_s = 2,10 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$ et $\ell_{\text{fus}} = 334 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$, $\mu = 45$ g

21

Calorimétrie : entre les deux

Dans un calorimètre parfait de capacité thermique négligeable pour la transformation considérée, on introduit une masse m_1 d'eau liquide à la température T_1 . On attend l'équilibre thermique entre le calorimètre et l'eau, puis on additionne une masse m_2 de glace initialement à la température T_2 . A l'équilibre thermodynamique, on observe un mélange d'eau liquide et de glace dans le calorimètre. Calculer la masse m de glace dans le calorimètre. On note c_ℓ et c_g les capacités thermiques massiques respectivement de l'eau et de la glace, ℓ_{fus} l'enthalpie massique de fusion de la glace à la pression de l'expérience (1 atm) et $T_{\text{fus}} = 273$ K la température de fusion de la glace à cette pression.

Calculer m pour $m_1 = 100$ g, $m_2 = 1000$ g, $T_1 = 300$ K, $T_2 = 255$ K, $c_\ell = 4,18 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$, $c_s = 2,10 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$ et $\ell_{\text{fus}} = 334 \text{ J.g}^{-1}$