

TD21 - PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE : BILANS D'ÉNERGIE

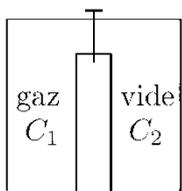
On donne pour tout le TD : $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}$, $\theta(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

$R = 8,31 \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$; $c_{\text{eau liquide}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Exercice 1 : Questions de cours (à savoir faire sans le cours sous les yeux)

- Définir rapidement une transformation isochore, monotherme, isotherme, monobare, isobare, quasi-statique, mécaniquement réversible, réversible.
- Qu'est-ce qu'un thermostat en thermodynamique ? En donner un exemple.
- Etablir l'expression du travail élémentaire δW des forces de pression extérieures s'exerçant sur un piston mobile d'une enceinte cylindrique horizontale contenant un gaz. Commenter.
- Généralisation : donner l'expression du travail W des forces de pression au cours d'une transformation d'un état initial i à un état final f .
- Donner l'expression de W dans le cas :
 - D'une transformation isochore ;
 - D'une transformation monobare ;
 - D'une transformation mécaniquement réversible ;
 - D'une transformation isobare mécaniquement réversible.
- Etablir l'expression du travail des forces de pression lors d'une transformation isotherme mécaniquement réversible d'un gaz parfait d'un volume V_i à un volume V_f .
- Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.
- Comment appelle-t-on un cycle parcouru dans le sens trigonométrique dans le diagramme de Clapeyron ? Comment appelle-t-on un cycle parcouru dans le sens horaire dans le diagramme de Clapeyron ? Justifier.
- Quels sont les trois types de transferts thermiques ? Les expliquer très rapidement (schéma).
- Qu'est-ce qu'une transformation adiabatique ?
- Corriger les phrases : « On ressent plus la chaleur en été » et « le pic de chaleur de l'été nous permettra-t-il de venir à bout du coronavirus ? ».
- Énoncer très clairement et de façon complète le premier principe de la thermodynamique.
- Comment s'exprime (simplement) le transfert thermique Q lors d'une transformation isochore d'un système thermodynamique macroscopiquement au repos, les seules forces extérieures étant les forces de pression ?
- Définir l'enthalpie H d'un système thermodynamique.
- Comment s'exprime (simplement) le transfert thermique Q lors d'une transformation « à pression constante » les seules forces extérieures étant les forces de pression ? *N.B. : par « pression constante », on entend soit isobare mécaniquement réversible, soit monobare avec, à l'état initial et l'état final, $P_{\text{int}} = P_{\text{ext}}$.*
- Montrer que, pour un gaz parfait, $H_m = H_m(T)$ (deuxième loi de Joule).
- Expliquer pourquoi, pour les phases incompressibles et indilatables, on peut considérer que $H_m = H_m(T)$.
- À 100°C et à pression atmosphérique, l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau liquide est $L_V = \Delta h_{l \rightarrow v} = 2257 \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Qu'est-ce que cela signifie ?
- Définir la capacité thermique à pression constante C_p , la capacité thermique molaire à pression constante $C_{p,m}$, et la capacité thermique massique à pression constante c_p . On donnera à chaque fois les unités.
- Etablir la relation entre $C_{v,m}$ et $C_{p,m}$ pour un gaz parfait (relation de Mayer).
- En déduire l'expression de $C_{p,m}$ pour un gaz parfait monoatomique en fonction de R . Même question pour un gaz parfait diatomique.
- On pose $\gamma = \frac{C_{p,m}}{C_{v,m}}$. Que vaut γ pour un gaz parfait monoatomique ? Pour un gaz parfait diatomique ?
- Exprimer, pour un gaz parfait, C_v et C_p en fonction de n , R et γ .
- Que dire de $C_{v,m}$ et $C_{p,m}$ pour une phase incompressible et indilatable ?
- Pour une phase incompressible et indilatable, comment calculer ΔH connaissant ΔT et la capacité thermique C ? Même question connaissant ΔT et C_m . Même question connaissant ΔT et c_{masse} .
- Donner la valeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
- Exprimer le premier principe dans le cas général d'un système thermodynamique fermé subissant une transformation monobare, avec à l'état initial et à l'état final, $P_{\text{ext}} = P_{\text{int}}$.

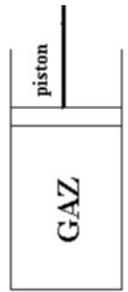
Exercice 2 (très important) : Détente de Joule Gay Lussac (extrait Mines Ponts PSI 2002)



On considère deux récipients C_1 de volume V_1 et C_2 de volume V_2 aux parois athermanes et indéformables pouvant communiquer au moyen d'un robinet. Le premier C_1 contient un gaz parfait à la pression P_1 et de température T_1 , le deuxième récipient C_2 est initialement vide. On ouvre le robinet : le gaz se répartit alors dans les deux compartiments jusqu'à atteindre un nouvel état d'équilibre (état final). Déterminer la température T_f à l'état final. Justifier.

Exercice 3 : Piston et travail des forces de pression (extrait CCP 2006)

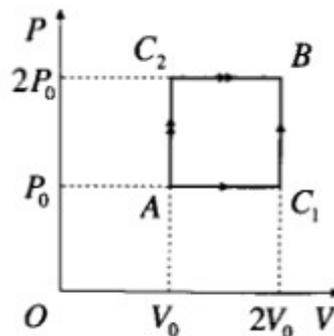
On considère un cylindre vertical contenant un gaz dont le volume est limité par un piston de masse m et de section S , initialement bloqué tel que la pression du gaz à l'intérieur soit P_1 , son volume étant V_1 . L'expérience est réalisée à pression atmosphérique $P_0 > P_1$. On débloque le piston. Le système atteint alors un état d'équilibre final où il occupe un volume V_2 . Déterminer le travail des forces de pression entre l'état initial et l'état d'équilibre final en fonction de m, g, P_0, S, V_1 et V_2 .



Exercice 4 : Application du premier principe

Un gaz parfait contenant une quantité de matière n , subit deux transformations différentes d'un même état initial $A(P_0, V_0)$ vers un même état final $B(2P_0, 2V_0)$.

- La transformation AC_1B est constituée d'une isobare AC_1 et d'une isochore C_1B .
 - La transformation AC_2B est constituée d'une isochore AC_2 et d'une isobare C_2B .
- Toutes les transformations sont considérées mécaniquement réversibles.



- 1 Calculer pour chaque transformation l'énergie reçue par le gaz sous forme de travail et de transfert thermique de la part du milieu extérieur en fonction de P_0, V_0 et $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$. Conclure.
- 2 Dédire de la question précédente ΔU_{AB} pour la transformation 1 puis pour la transformation 2. Conclure.

Exercice 5 : un ptit jaune

Il fait chaud (30°C !) et on a malheureusement oublié de mettre la bouteille de jus d'orange au frais.

Q1 Quelle masse de glaçons faut-il ajouter dans la bouteille pour que le jus d'orange soit à 0°C (entièrement liquide et sans reste de glace) ? On prendra $c = 4.18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ pour l'eau liquide et $c = 2.06 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ pour la glace. On donne également l'enthalpie massique de fusion de l'eau sous 1 bar $l_{\text{fus}} = 330 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, et l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau sous 1 bar $l_{\text{vap}} = 2265 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Q2 Calculer également la variation d'entropie au cours de la transformation. La transformation est-elle irréversible ? On rappelle que dans le modèle de la phase condensée incompressible indilatable, la variation d'entropie entre des états de températures T_i et T_f est $\Delta S = mc \ln(T_f / T_i)$, avec m la masse et c la capacité thermique massique du matériau considéré.

Exercice 6 : Travail et transfert thermique

Une mole de dioxygène se détend d'un volume $V_1=10\text{L}$ (température $T_1=298\text{K}$) à un volume $V_2=50\text{L}$ (température $T_2=373\text{K}$). On considèrera que le dioxygène est un gaz parfait diatomique ($\gamma=1,4$), et que toutes les transformations sont mécaniquement réversibles. On considère que la détente s'effectue par un échauffement isochore suivi d'une détente isotherme.

- 1 Représenter la transformation dans le diagramme de Clapeyron.
- 2 Exprimer puis calculer le l'énergie reçue par le gaz sous forme de travail.
- 3 Exprimer puis calculer l'énergie reçue par le gaz sous forme de transfert thermique.

Exercice 7 : Détente de gaz parfaits

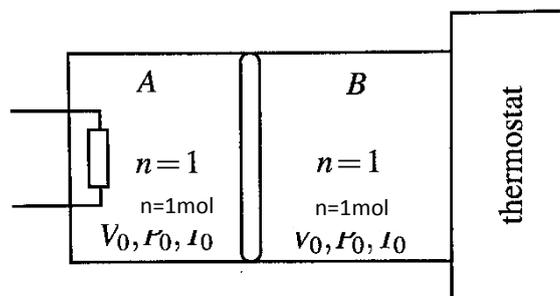
Une enceinte indéformable, dont les parois sont athermanes, est séparée en deux compartiments par une cloison également athermane. Initialement, le compartiment A contient du dioxygène ($\gamma_1=\frac{7}{5}$) dans l'état $\{P_1=3,0\text{bar} ; V_1=1,0\text{L} ; T_1=293\text{K}\}$, et le compartiment B contient du néon ($\gamma_2=\frac{5}{3}$) dans l'état $\{P_2=2,0\text{bar} ; V_2=2,0\text{L} ; T_2=323\text{K}\}$. Les deux gaz sont assimilés à des gaz parfaits, et leur mélange aussi. A $t=0$, on ouvre brusquement la cloison entre les deux gaz.

- 1 Trouver un ou plusieurs qualificatifs pour la transformation subie par l'ensemble des deux gaz.
- 2 Exprimer puis calculer le volume V_0 , la température T_0 et la pression P_0 du mélange à l'équilibre.

Exercice 8* : Chauffage d'une enceinte

On étudie le système ci-contre. On suppose que les enceintes contiennent des gaz parfaits et que l'enceinte A est parfaitement calorifugée. On note $\gamma=\frac{c_p}{c_v}$. On chauffe

l'enceinte A jusqu'à la température T_1 à l'aide d'une résistance chauffante. Les transformations seront considérées comme réversibles.



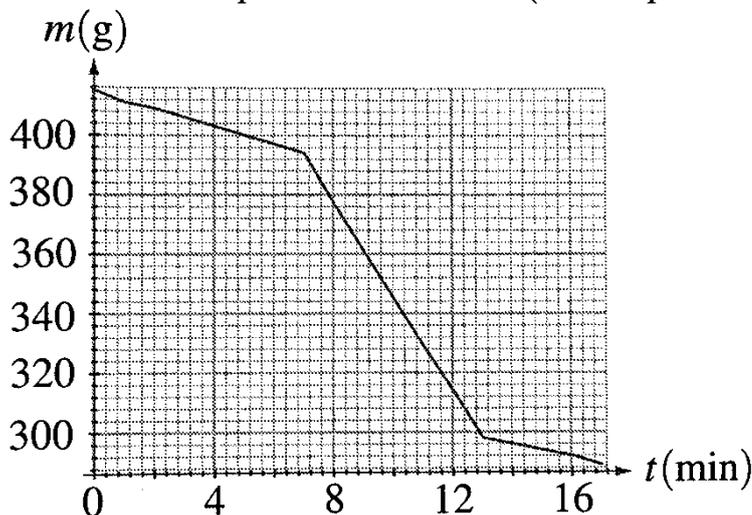
- 1 Déterminer les volumes finaux des deux enceintes ainsi que la pression finale.
- 2 Exprimer la variation d'énergie interne de chacune des enceintes A et B ainsi que celle de l'ensemble $\{A+B\}$, en fonction de n , γ , R , T_1 et T_0 .
- 3 Quelle est la nature de la transformation de l'enceinte B ? En déduire l'énergie échangée W sous forme de travail entre les enceintes A et B en fonction de R , T_1 et T_0 , puis l'énergie échangée sous forme de transfert thermique entre B et le thermostat, toujours en fonction de n , R , T_1 et T_0 .
- 4 Déterminer l'énergie échangée Q sous forme de transfert thermique entre la résistance et l'enceinte A en fonction de n , γ , R , T_1 et T_0 .

Exercice 9 (important) : Calorimétrie (extrait épreuve orale TP concours Centrale Supélec)

- 1 Montrer que, si on réalise en TP une transformation thermodynamique dans un calorimètre, on peut considérer très raisonnablement qu'il y a conservation de l'enthalpie.
- 2 Un calorimètre contient une masse $m_0=200\text{g}$ d'eau liquide à la température $T_0=20,0^\circ\text{C}$. On introduit ensuite dans ce calorimètre une masse $m_1=300\text{g}$ d'eau liquide à la température $T_1=40,0^\circ\text{C}$. A l'équilibre thermique la température a pour valeur $T_f=31,5^\circ\text{C}$.
 - a Exprimer la capacité thermique C du calorimètre en fonction de m_0 , m_1 , T_0 , T_1 , T_f et la capacité thermique massique de l'eau liquide c_{eau} .
 - b En déduire la « valeur en eau » μ du calorimètre. Faire l'application numérique en prenant $c_{\text{eau}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Quelle est la dimension et signification physique de μ ?
N.B. : par définition, $C = \mu c_{\text{eau}}$.
- 3 A partir de l'équilibre précédent, on introduit ensuite dans le calorimètre une pièce en aluminium de masse $m_2=50,0\text{g}$ et de température $T_2=90,0^\circ\text{C}$. La température atteinte à l'équilibre thermique a pour valeur $T_f=32,7^\circ\text{C}$. Déterminer la capacité thermique massique c_{Al} de l'aluminium.

Exercice 10 : Calorimétrie (2) (extrait épreuve orale TP concours Centrale Supélec)

Dans un calorimètre dont la valeur en eau est de 41g, on verse 100g d'eau liquide. Une fois l'équilibre thermique atteint, on mesure une température de 20°C. On plonge alors une barre métallique dont la masse est 200g et dont la température initiale est de 60°C. A l'équilibre, on mesure une température de 30°C. Déterminer la capacité thermique massique du métal.

Exercice 11* : Vaporisation de l'Azote (extrait épreuve orale TP concours Centrale Supélec)

A $t=0$, On place de l'azote liquide (de température d'ébullition -196°C à pression atmosphérique) dans un récipient posé sur une balance dans un laboratoire de chimie. On mesure alors l'évolution de la masse de l'azote liquide au cours du temps (courbe ci-contre). A $t=7\text{min}$ environ, on apporte de l'énergie au diazote liquide sous forme de transfert thermique à l'aide d'une résistance parcourue par un courant d'intensité de 2,95A et soumise à une tension de 16,5V. A $t=13\text{min}$, on retire la résistance chauffante.

Déterminer l'enthalpie massique de vaporisation du diazote.

Exercice 12 : Inspiré de faits réels

Corriger (ou pas !) **en justifiant rigoureusement** ces phrases entendues à la télévision, dans le métro, dans des magazines, sur les réseaux sociaux ou dans la vie de tous les jours.

- « La chaleur de l'été va-t-elle arrêter l'épidémie de coronavirus ? », titre d'un article sur Sciences et Vie, 30 mars 2020.
- « Les pâtes Al bronzo de Panzani sont fabriquées selon une technique traditionnelle de tréfilage au bronze, ce qui signifie qu'elles sont fabriquées à travers un moule en bronze, lui-même fabriqué dans un métal, chauffé à une température de 1985 degrés fahrenheit, soit 1085 degrés Celsius, soit 27 fois la chaleur maximale d'un grille-pain. Mais tout ça foncièrement, on s'en fout. Ce qu'il faut retenir, c'est qu'elles déchirent. » publicité pour Panzani, vue à la télévision le 22 février 2019.
- Le nouveau Dyson Supersonic est équipé d'un microprocesseur pour protéger des dégâts causés par une chaleur excessive et préserver la brillance naturelle », publicité pour le sèche-cheveux Dyson Supersonic

Exercice 13 (Problème) : Vous achetez six bouteilles de 1L de jus de fruit que vous rangez dans votre réfrigérateur. Une heure plus tard, elles sont à la température du réfrigérateur.

Proposez une estimation du coût, en euros, de ce refroidissement sur votre facture EDF.

Données :

-Votre réfrigérateur, d'une qualité correcte, possède une isolation imparfaite qui se traduit par des fuites thermiques de puissance 10W. $Q_{\text{perdue}} = -P \Delta t$

-Tarifs EDF : 1kWh coûte 0,15 euros.

- $c = 4.18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ pour l'eau liquide