

**T20. Compression d'un solide.**

Un solide a un coefficient de compressibilité isotherme  $\chi_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$  qu'on supposera constant, (c'est-à-dire

indépendant de  $V, p$ , et  $T$ ). Il subit une transformation isotherme telle que la pression passe des valeurs  $p_1$  à  $p_2$ .

1) Pourquoi peut-on supposer que la transformation est mécaniquement réversible ?

2) Calculer le travail reçu par ce solide. Application numérique :  $\chi_T = 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$  ;  $p_1 = 1 \text{ bar}$ ,  $p_2 = 100 \text{ bar}$ ,  $V = 1 \text{ L}$ .

Note : on supposera la variation de volume du solide suffisamment faible pour être négligée devant le volume lui-même. Vérifier cette hypothèse.

3) Comparer au travail que recevrait un gaz parfait de même volume initial sous la pression  $p_1$ , lors d'une augmentation identique de la pression.

**T22. Puissance d'une pompe.**

Calculer la puissance d'une pompe servant à comprimer de 1 bar à 3,5 bar, 1 m<sup>3</sup> d'air par minute, à la température constante de 0 °C. La compression sera supposée mécaniquement réversible et l'air sera assimilé à un gaz parfait.

Rép : 2,1 kW

**T24. Calculs de différents travaux reçus par un gaz parfait**

On comprime une masse de 1 kg d'air, de température  $T_i = 300 \text{ K}$  et de pression  $p_i = 2,0 \text{ bar}$ , de telle sorte que son volume initial soit réduit de moitié. Sachant que l'air peut être considéré comme un gaz parfait, de masse molaire  $M = 29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ , calculer le travail qu'il reçoit dans les évolutions mécaniquement réversibles suivantes.

On donne  $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$  et  $\gamma = 7/5$ .

1) La compression se fait à la pression constante  $p_i$ .

2) La compression est isotherme à la température  $T_i$ .

3) La compression est adiabatique. Justifier l'emploi de la loi de Laplace ( $pV^\gamma = \text{cste}$ ). En déduire  $T_f$ .

Montrer que  $W = \frac{5}{2} nR\Delta T$

4) La compression suit la loi :  $pV^k = \text{cste}$ , dite loi des transformations polytropiques.

Comparer graphiquement ce cas aux précédents en supposant  $1 < k < \gamma$

**T25. Elle est fraîche !**

Un corps solide indéformable (donc considéré comme indilatable et incompressible) de masse  $m = 1 \text{ kg}$ , de capacité thermique massique  $c = 460 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ , à la température  $T_1 = 350 \text{ K}$ , est placé dans un lac de montagne à la température  $T_0 = 280 \text{ K}$ .

1) Pourquoi peut-on considérer le lac comme un thermostat ?

2) Quelle est la température du corps lorsque celui-ci a atteint son nouvel état d'équilibre ?

3) Déterminer la variation d'énergie interne  $\Delta \mathcal{U}$  du corps lors de ce refroidissement.

**T26. Chauffage d'un gaz parfait**

Un échantillon gazeux de diazote, de formule  $\text{N}_2$ , assimilé à un gaz parfait, de masse  $m = 56 \text{ g}$ , à la température  $T_i = 0^\circ\text{C}$ , voit son énergie interne s'accroître de 4 kJ sous l'effet de différents apports extérieurs. Calculer la température  $T_f$  atteinte à la fin du processus.

Données :  $M(\text{N}) = 14 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $C_{vm} = \frac{5}{2}R$  ;  $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Rép : 96 °C

**T27. Capacités thermiques d'un gaz parfait**

Exprimer les capacités thermiques  $C_V$  et  $C_P$  d'un gaz parfait en fonction de  $R$  et  $\gamma$

**T28. Mélange de deux liquides**

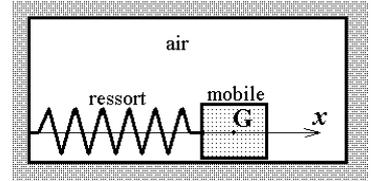
On mélange un volume  $V_1 = 50 \text{ cm}^3$  d'éthanol à la température  $T_1 = 20^\circ\text{C}$  avec un volume  $V_2 = 100 \text{ cm}^3$  d'eau à la température  $T_2 = 60^\circ\text{C}$ . On donne les capacités thermiques massiques des deux liquides :  $c_1 = 2460 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  et  $c_2 = 4185 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

1) On donne la masse volumique de l'éthanol  $\rho_1 = 789 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , celle de l'eau est supposée connue. Déterminer les capacités thermiques de l'éthanol et de l'eau.

2) Déterminer la température finale du mélange. On admettra que les échanges thermiques se font uniquement entre les deux liquides, autrement dit que l'ensemble des deux liquides constitue un système isolé : on lui appliquera donc  $\Delta \mathcal{U} = 0$ .

**T 29. Bilan d'énergie et introduction à la thermodynamique.**

Considérons le système ci-contre, délimité par une paroi rigide et atherme (c'est-à-dire thermiquement isolante) constitué d'un ressort, d'un mobile solide de masse  $m$  et de barycentre G, et de l'air contenu dans le volume fermé. Caractéristiques du ressort : masse négligeable, raideur  $k$ , longueur à vide  $l_v$ . La masse de l'air est négligée ; sa viscosité provoque des frottements fluides sur le ressort et le mobile.



Nous ferons l'étude énergétique de ce système dans le référentiel lié à la paroi, supposé galiléen.

À  $t = 0$ , on écarte le mobile de  $x_0$  vers la droite, et on le lâche sans vitesse initiale.

- 1) Quel est le barycentre du système {ressort + mobile + air} ?
- 2) Effectuer le bilan des actions extérieures puis intérieures au système {ressort + mobile + air}. En déduire l'énergie potentielle du système. On en prendra l'origine dans la position d'équilibre, c'est-à-dire lorsque l'allongement du ressort est nul.
- 3) Montrer sans calcul que l'énergie mécanique du système diminue (on utilisera le théorème de l'énergie mécanique). Exprimer sa variation entre  $t = 0$  et  $t = +\infty$ .
- 4) Interprétation thermodynamique.  
On pose  $\mathcal{E}_\mu$  : énergie cinétique microscopique de l'air. Cette énergie non prise en compte en mécanique est proportionnelle à la température absolue du fluide.  
En admettant que la quantité  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m + \mathcal{E}_\mu$  est constante, montrer que la température de l'air augmente.
- 5) Application numérique :  $x_0 = 10 \text{ cm}$  ;  $k = 100 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$  ;  $\mathcal{E}_\mu = 2T$ . Calculer  $\Delta T$ .

**T30. Détente adiabatique mécaniquement réversible d'un gaz parfait diatomique**

- 1) Établir la relation, traduisant la loi de Laplace, entre la température et la pression d'un gaz parfait au cours d'une évolution adiabatique mécaniquement réversible. On partira de la relation  $pV^\gamma = \text{cste}$ .
- 2) Un gaz parfait diatomique subit une détente adiabatique mécaniquement réversible entre l'état initial ( $p_i = 5 \text{ bar}$ ,  $T_i = 323 \text{ K}$ ) et l'état final à la pression de  $1 \text{ bar}$ . On donne  $\gamma = 7/5$ . Calculer sa température finale.

Rép : 204 K

**T31. Étude d'un gaz réel.**

Les transformations adiabatiques d'une masse constante d'un certain gaz obéissent à la relation :  $pV^B = \text{constante}$ ; où  $B$  est une constante caractéristique du gaz considéré. On n'utilisera pas le modèle du gaz parfait.

1) Soient alors deux états ( $p_1, V_1$ ) et ( $p_2, V_2$ ) sur une même adiabatique.

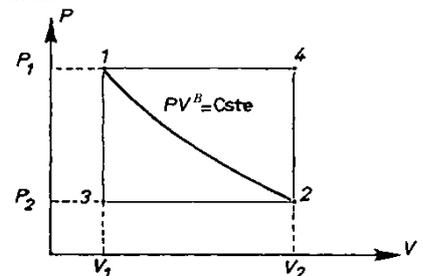
Application numérique :  $B = 5/3$  ;  $V_1 = 1 \text{ L}$  ;  $p_1 = 32 \text{ bar}$  ;  $V_2 = 8 \text{ L}$ .

- 1-a) Calculer la pression  $p_2$ , sans calculatrice.
- 1-b) Exprimer la différence d'énergie interne entre les deux états 1 et 2. Montrer que  $\Delta \mathcal{U}(1 \rightarrow 2) = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{B - 1}$ . Application numérique.

1-c) Calculer le travail  $W$  et la chaleur  $Q$  échangés par le système dans la transformation  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$ , le travail et la chaleur échangés sur  $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2$ .

2) L'énergie interne du gaz étudié est de la forme :  $\mathcal{U} = A.p.V$  (où  $A$  est une constante). Calculer :

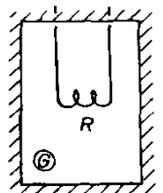
- 2-a) la constante  $A$ .
- 2-b) la chaleur échangée par le système lors des processus  $1 \rightarrow 3$  ;  $3 \rightarrow 2$  ;  $1 \rightarrow 4$  ;  $4 \rightarrow 2$ .
- 2-c) On pose  $H = \mathcal{U} + pV$  (fonction enthalpie). Calculer  $\Delta H(3 \rightarrow 2)$  et  $\Delta H(1 \rightarrow 4)$ . Commenter.



**T32. Chauffage d'un gaz.**

Un gaz G dont l'énergie interne est de la forme :  $\mathcal{U} = A.p.V$  (où  $A$  est une constante) est maintenu dans une enceinte atherme rigide de volume  $V$ . Une résistance  $R$ , de capacité calorifique négligeable y est immergée; elle est parcourue par un courant d'intensité  $I$  constante.

- 1) Effectuer le bilan énergétique (expressions de  $\Delta \mathcal{U}$ ,  $W$  et  $Q$  pendant une durée  $\Delta t$ ) du gaz G, puis de la résistance  $R$ , et enfin de l'ensemble {R+G}. On regroupera les résultats dans un tableau.
- 2) On note  $p_0$  la pression à  $t = 0$ . Donner l'expression de la pression  $p$  en fonction du temps  $t$ .  
On donne  $R = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $I = 1 \text{ A}$ ,  $V = 10 \text{ L}$ ,  $A = 3/2$  et  $p_0 = 1 \text{ bar}$ . Au bout de combien de temps la pression a-t-elle doublé ?



**T33. Travail reçu par un gaz parfait diatomique au cours d'une évolution adiabatique**

Une masse de  $1 \text{ kg}$  d'air, assimilé à un gaz parfait diatomique, subit une compression adiabatique qui fait rapidement passer sa température de  $T_i = 293 \text{ K}$  à  $T_f = 333 \text{ K}$ . Trouver l'expression du travail nécessaire à la compression. Application numérique : on donne :  $C_{vm} = 5R/2$  ;  $M(\text{air}) = 29 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Note : on n'utilisera pas la loi de Laplace.

**T34. Étude de différentes transformations subies par un gaz.**

On considère une masse de dioxygène  $m = 50$  g à la température de  $-15$  °C et à la pression de 1,2 bar. On donne la masse molaire du dioxygène  $M = 32$  g.mol<sup>-1</sup> ;  $C_{vm} = 20,8$  J.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup> ;  $C_{pm} = 29,1$  J.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup>. Le gaz est considéré comme parfait.

- 1) a) On donne la définition de l'enthalpie :  $H = \mathcal{U} + pV$ . Montrer que pour un gaz parfait  $\Delta H = C_p \Delta T$ .  
b) Calculer  $C_v$ ,  $C_p$  et  $nR$  par la relation de Mayer.
- 2) On chauffe lentement ce gaz jusqu'à la température de 50 °C, à pression constante. Calculer :  
a) la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie du système.  
b) la quantité de travail échangée.  
c) la quantité de chaleur échangée. Comparer à  $\Delta H$ .
- 3) On chauffe ce gaz jusqu'à la température de 50 °C, en maintenant son volume constant. Calculer :  
a) la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie du système.  
b) les quantités de travail et de chaleur échangées.
- 4) On comprime ce gaz jusqu'à ce que sa pression atteigne 3,5 bar, en maintenant sa température constante. Calculer :  
a) la variation d'énergie interne et la variation d'enthalpie du système.  
b) les quantités de travail et de chaleur échangées.

**T35. Compression adiabatique mécaniquement réversible d'1 litre d'azote**

On fait subir une compression adiabatique mécaniquement réversible, avec un rapport volumétrique de 1,9, à 1,0 L d'azote considéré comme parfait ( $\gamma = 1,4$ ) pris dans les conditions normales de température et de pression.

- 1) Donner la température initiale  $T_i$  et la pression initiale  $p_i$ , et en déduire  $n$ . On donne  $R = 8,314$  J.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup>.
- 2) Calculer la pression finale, la température finale et le travail reçu par le gaz.

**T36. Détente adiabatique d'un gaz monoatomique**

Un gaz monoatomique, considéré comme parfait, est maintenu à une pression de 3 bar et à une température 300 K, dans une enceinte cylindrique de volume  $V_i = 1$  L, grâce à une force  $F$  appliquée sur un piston de masse  $m_p = 1$  kg. Le piston est à une hauteur  $h_i = 30$  cm. On supprime la force  $F$ , ce qui permet au gaz de se détendre, de façon adiabatique, jusqu'à la pression finale d'équilibre  $p_f$ ; le volume est alors  $V_f$ . On désigne par  $p_a = 1$  bar la pression atmosphérique.

Application numérique :  $C_{vm} = 3R/2$  ;  $g = 9,8$  m.s<sup>-2</sup>.

- 1) Calculer la surface du piston.
- 2) Calculer l'intensité de la force  $F$  et la pression finale  $p_f$ .
- 3) Effectuer le bilan énergétique de la transformation.

*NB : la transformation ne pouvant pas a priori être considérée comme mécaniquement réversible, on n'appliquera pas la loi de Laplace. On exprimera indépendamment  $W$  et  $\Delta \mathcal{U}$  en fonction de  $p_i$ ,  $p_f$ ,  $V_i$  et  $V_f$ .*

- 4) Trouver les rapports  $a = V_f/V_i$  et  $b = T_f/T_i$ .
- 5) Calculer  $p_i V_i^\gamma$  et  $p_f V_f^\gamma$ .

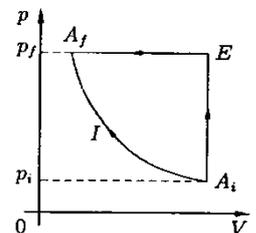
**T38. Calculs de différents travaux reçus par un gaz parfait entre des états extrêmes identiques**

On comprime une mole de dioxygène, assimilé à un gaz parfait diatomique de température  $T_i = 300$  K et de pression  $p_i = 1$  bar, jusqu'à une température  $T_f = T_i$  et une pression  $p_f = 5$  bar.

La compression peut se produire de deux façons différentes (voir figure) : la première  $A_i I A_f$  est isotherme et la seconde suit le chemin  $A_i E A_f$ .

- 1) Calculer le travail reçu par ce gaz au cours de l'évolution  $A_i I A_f$ . En déduire la chaleur reçue.
- 2) Mêmes questions au cours de l'évolution  $A_i E A_f$ .

On donne :  $R = 8,314$  J.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup> ;  $C_{vm} = (5R)/2$ .



**T39. Détente de Joule / Gay-Lussac**

Un gaz contenu dans un récipient A se détend dans le récipient B, initialement vide, après ouverture du robinet R. L'ensemble est thermiquement isolé de l'extérieur. Quel travail reçoit-il de l'extérieur ? Y a-t-il une différence suivant que la détente est brusque ou lente, (R étant très peu ouvert)?