

# TD 12

## Premier principe de la thermodynamique

---

### Exercice 1 : Questions de cours

1. Définir le travail des forces de pression. De quelle pression s'agit-il ? Que vaut-il pour une transformation isochore ? pour une transformation avec équilibre mécanique interne à tout instant ? pour une transformation monobare ? isobare ?
2. Énoncer le principe 0 de la thermodynamique. Que signifie-t-il et quel est son intérêt ?
3. Définir une transformation monobare, isobare, monotherme, isotherme, adiabatique, isochore.
4. Définir la notion de thermostat.
5. Définir l'enthalpie d'un système. Énoncer le premier principe pour un système subissant une transformation monobare.
6. Définir les capacités thermiques à pression constante, à volume constant.
7. Énoncer les relations de Mayer.

### Exercice 2 : Travail reçu le long d'un chemin donné

Un système constitué de  $n$  moles de gaz parfait subit une transformation d'un état initial A ( $p_1 = 4,0$  bars,  $V_1 = 10$  L,  $T_1 = 600$  K) vers un état final B ( $p_2 = 1,0$  bar,  $V_2 = 20$  L,  $T_2$ ).

1. Déterminer  $T_2$ .

Cette transformation est constituée de deux étapes : une transformation isobare de A vers C puis une transformation isochore de C vers B.

2. Représenter la transformation sur un diagramme de Clapeyron.
3. Déterminer le travail  $W_{AB}$ .
4. On considère un autre chemin : une transformation isochore de A vers D puis une transformation isobare de D vers B. Mêmes questions.

### Exercice 3 : Évolution isobare d'un gaz parfait

Une quantité  $n = 0,05$  mol de gaz parfait monoatomique subit une transformation isobare réversible à la pression  $P = 10^5$  Pa entre les volumes  $V_1 = 1$  L et  $V_2 = 1,5$  L. Le seul travail échangé est celui des forces de pression.

1. Représenter la transformation dans un diagramme de Clapeyron.
2. Expliquer pourquoi le volume du gaz peut augmenter alors que la pression est inchangée.
3. Quel est l'échange thermique reçu par le système ? Commenter le sens dans lequel il a lieu.

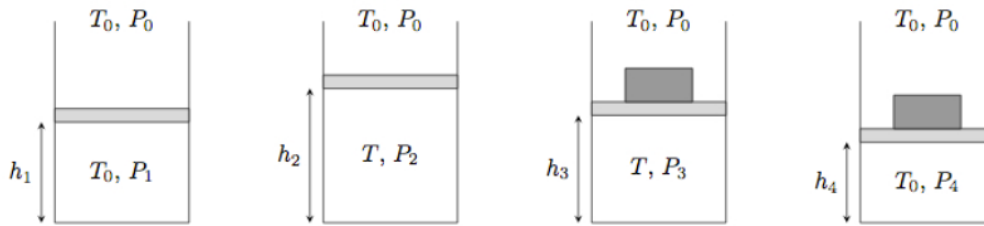
### Exercice 4 : Freinage d'une voiture

Une automobile et ses occupants ont une masse  $M = 1,2$  tonnes. Le conducteur de cette automobile freine brusquement alors qu'il roule à une vitesse  $v$ . Les roues se bloquent et glissent sur la route sur une distance de 100 mètres avant l'arrêt total du véhicule. Le coefficient de frottement solide entre la route vaut 0,55. La capacité thermique des pneus vaut  $30 \text{ kJ.K}^{-1}$ . Que vaut la température finale des pneus sachant qu'ils ont à l'origine une température de  $40$  °C (on supposera que toute l'énergie thermique créée par le freinage est dissipée dans les pneus) ?

### Exercice 5 : Gaz parfait dans une enceinte

Une quantité de matière  $n$  de gaz assimilé à un gaz parfait est enfermée dans une enceinte de surface de base  $S$ . Cette enceinte est fermée par un piston de masse  $m$  pouvant glisser sans frottement et autorisant les transferts thermiques. Le milieu extérieur se trouve à température et pression constante  $T_0$  et  $p_0$ . On fait subir au gaz la série de transformations suivantes :

- Initialement dans l'état (1), le système est au repos depuis suffisamment longtemps pour avoir atteint l'équilibre thermique et mécanique ;
- Le gaz est chauffé jusqu'à atteindre la température  $T > T_0$  plaçant le système dans l'état (2) ;
- Une masse supplémentaire  $M$  est brusquement placée sur le piston : avant tout transfert thermique, le système atteint l'état (3) ;
- Un nouvel état d'équilibre thermique est atteint en (4).



Déterminer les quatre positions du piston  $h_1$  à  $h_4$ .

### Exercice 6 : Cycle parcouru par un gaz parfait

On fait subir à une mole de gaz parfait monoatomique un cycle en quatre étapes :

- Initialement, le gaz est dans l'état A à la pression  $P_A = 1$  atm et son volume  $V_A = 22,4$  L. On le réchauffe de manière isochore pour le porter à la pression  $P_B = 5$  atm (état B),
- Il est ensuite détendu de façon isobare jusqu'à un volume  $V_C = 44,8$  L (état C),
- Il subit alors un refroidissement isochore qui le ramène à la pression  $P_D = P_A = 1$  atm,
- Enfin, il subit une compression isobare qui le ramène dans l'état A.

1. Représenter le cycle parcouru par le gaz sur un diagramme de Clapeyron. Ce cycle est-il moteur ou récepteur ? Justifier.
2. Calculer :
  - a) Les températures aux points A, B, C, D.
  - b) L'échange thermique réalisé par le gaz au cours du cycle.
  - c) La variation d'énergie interne  $U_C - U_A$ .
  - d) L'échange thermique réalisé par le gaz au cours de la transformation BC.

### Exercice 7 : Capacité calorifique du cuivre

On verse  $m_{eau} = 100$  g d'eau dans un calorimètre. Une fois l'équilibre thermique atteint, la température mesurée est de  $T_i = 20$  °C. On plonge alors un barreau métallique de cuivre de masse  $m_c = 200$  g à une température initiale de  $T_c = 60$  °C. A l'équilibre final, la température est de  $T_f = 25$  °C.

On note  $c_c$  la capacité calorifique massique du cuivre, inconnue, et  $c_{eau}$  la capacité calorifique massique de l'eau. On supposera dans tout l'exercice que le calorimètre est idéal. Le but est de calculer la capacité thermique massique du métal.

1. On souhaite travailler sur le système {calorimètre + eau + cuivre}. Quelle est la transformation subie par le système ? Que vaut alors le transfert thermique ? Le travail des forces de pression ? Y a-t-il une autre source fournissant du travail ?

- Appliquer le premier principe sur le système. On l'exprimera en fonction des capacités calorifiques massiques et des températures.
- En déduire l'expression analytique de la capacité calorifique du cuivre.
- Faire l'application numérique.

**Données :** La capacité thermique massique de l'eau vaut  $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  ; on suppose que toutes les capacités thermiques sont constantes dans le domaine de température considéré.

### Exercice 8 : Chauffage d'un gaz par effet Joule

On considère  $n = 2,00$  moles de dihydrogène, supposé assimilable à un gaz parfait, enfermé dans un cylindre horizontal fermé par un piston de masse négligeable capable de se mouvoir horizontalement. Le gaz est initialement à l'équilibre à une température  $T_0 = 293 \text{ K}$  et une pression  $P_0 = 1,00 \text{ bar}$ . Une résistance de  $R_{\text{th}} = 500 \text{ m}\Omega$  est incluse dans le cylindre. Son volume est supposé négligeable devant celui occupé par le gaz, et sa capacité calorifique négligeable devant celle du gaz.

Le cylindre est dans un premier temps entièrement calorifugé. A l'instant  $t = 0$  on le place dans une atmosphère à température  $T_1 = 328 \text{ K}$  et pression  $P_0$  on fait circuler un courant  $I = 1,00 \text{ A}$  constant dans la résistance, et ce pendant une durée  $\Delta t = 10 \text{ min}$ . La transformation est suffisamment lente pour qu'on puisse considérer l'équilibre mécanique atteint à chaque instant.

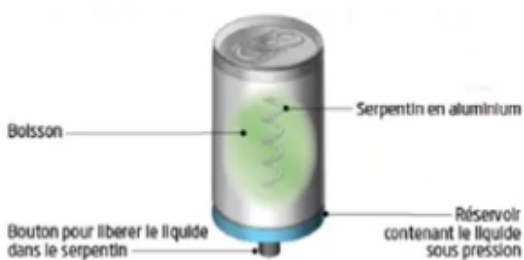
- Quel est le type de transformation subi par le système ? Comment s'écrit le premier principe dans ce cas ?
- En déduire la température finale du gaz.
- Calculer la variation de volume du cylindre.

On effectue la même expérience mais cette fois sans paroi calorifugée. On suppose qu'au bout du temps  $\Delta t$  l'équilibre thermodynamique est bien vérifié.

- Quel est le type de transformation subi par le système ? Comment s'écrit le premier principe dans ce cas ?
- En déduire la température finale du gaz et le transfert thermique. La transformation est-elle endothermique ou exothermique ? Etait-ce attendu ?

Rappel : pour un gaz parfait diatomique  $\gamma = 7/5$ .

### Exercice 9 : Canette autoréfrigérante



Une canette autoréfrigérante comprend un réservoir en acier contenant un liquide réfrigérant. Lorsque l'on ouvre la canette, ce liquide se détend brusquement et se vaporise à l'air libre après avoir traversé une spirale en aluminium qui serpente dans la boisson à refroidir. Le volume de la boisson à refroidir est  $V = 33 \text{ cm}^3$ , et l'on considérera pour simplifier qu'il s'agit d'eau, de capacité thermique massique  $c = 4,2 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ . On considère que le corps réfrigérant est constitué d'une masse  $m_r = 60 \text{ g}$  de  $\text{N}_2$

dont l'enthalpie massique de vaporisation est  $L_v = 200 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Après avoir correctement défini le système dont on qualifiera la transformation d'isobare et adiabatique (à justifier), calculer la variation de température de la boisson.

## Exercice 10 : Formation de la neige artificielle

La neige artificielle est obtenue en pulvérisant, à l'aide de canons à neige, de fines gouttes d'eau liquide à  $T_0 = 10\text{ °C}$  dans l'air ambiant à  $T_a = -15\text{ °C}$ . On se propose de déterminer le temps mis par une goutte d'eau pour passer de l'état liquide à l'état solide. Dans un premier temps, la goutte d'eau, supposée sphérique de rayon  $R = 0,2\text{ mm}$ , se refroidit en restant liquide. Elle reçoit de l'air extérieur un transfert thermique  $h \cdot [T_a - T(t)]$  par unité de temps et de surface, où  $T(t)$  est la température de la goutte à l'instant  $t$ . On rappelle que la masse volumique de l'eau est  $\rho = 1,0 \cdot 10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  et sa capacité thermique massique est  $c = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Le coefficient  $h$  est une caractéristique du transfert thermique, et vaut :  $h = 65\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .

1. Établir l'équation différentielle vérifiée par  $T(t)$ . On pourra supposer la goutte indéformable est à l'équilibre mécanique avec le milieu ambiant.
2. En déduire le temps  $t_1$  tel que  $T(t_1) = T_1 = -5\text{ °C}$ . On suppose que la goutte est toujours liquide : elle est dans un état de surfusion, état liquide pour  $T < T_{\text{fus}}$ . Effectuer l'application numérique.

Lorsque la goutte atteint la température de  $-5\text{ °C}$ , il y a rupture de la surfusion : la goutte est partiellement solidifiée et la température devient égale à  $0\text{ °C}$ .

3. Calculer la fraction  $x$  de liquide restant à solidifier en supposant la transformation très rapide, donc adiabatique. On néglige également la variation de volume due au changement de masse volumique. L'enthalpie massique de fusion de la glace (ou chaleur latente de changement de phase solide-liquide) vaut  $L_f = 333\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .
4. La solidification continue. Montrer qu'à chaque durée infinitésimale  $dt$ , une masse  $dm$  proportionnelle se solidifie. Au bout de combien de temps la goutte est-elle totalement solidifiée ?

## Exercice 11 : Quand il fait vraiment trop chaud (résolution de problème)

Par une chaude journée d'été, vous avez oublié de mettre au frigo le jus de fruits de l'apéritif. Combien de glaçons devez-vous y ajouter pour qu'il soit aussi rafraîchissant ?

Données :

- enthalpie massique de fusion de l'eau à  $0\text{ °C}$  :  $\Delta_{\text{fus}}h(\text{eau}) = 336\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- masse volumique de la glace :  $\rho_g = 0,9 \cdot 10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- capacité thermique massique de la glace :  $c_p(\text{eau}, s) = 2,1\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c_p(\text{eau}, l) = 4,2\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

## Exercice 12 : Transpiration (résolution de problème)

Quel volume d'eau devez-vous éliminer par transpiration pour débarrasser votre corps des  $75\text{ W}$  de puissance thermique correspondant à votre métabolisme lorsque vous êtes au repos ? On prendra la température de la peau égale à  $33\text{ °C}$  et l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau à cette température égale à  $2420\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Commenter, sachant qu'un être humain évacue en moyenne par transpiration environ  $0,5\text{ L}$  d'eau par jour. Le fait de s'essuyer avec une serviette aide-t-il au refroidissement du corps ?