

# Thermodynamique

## SF de base - Caractériser une transformation

Pour chaque transformation décrite, proposer le modèle le plus adapté. (*On pourra découper la transformation en différentes étapes et proposer un modèle pour chacune*)

- ▷ **Expérience 1** : de la vapeur d'eau est contenue dans un cylindre calorifugé et fermé par un piston mobile. Initialement, elle se trouve dans un état d'équilibre de paramètres d'état ( $P_I = 1,00$  bar,  $T_I = 400$  K,  $V_I = 1,8$  L). On déstabilise le système en poussant brutalement le piston qui se met à exercer instantanément sur le gaz une pression extérieure  $P_{ext} = 5,00$  bar.
- ▷ **Expérience 2** : de la vapeur d'eau est contenue dans un cylindre non calorifugé, en contact avec un thermostat de température  $T_C = 500$  K et fermé par un piston mobile. Initialement, elle se trouve dans un état d'équilibre de paramètres d'état ( $P_I = 1,00$  bar,  $T_I = 500$  K,  $V_I = 2,3$  L). On déstabilise le système en poussant brutalement le piston qui se met à exercer instantanément sur le gaz une pression extérieure  $P_{ext} = 5,00$  bar. Le système se trouve d'abord dans un état d'équilibre mécanique, mais on constate une évolution ensuite lente de la hauteur du piston, jusqu'à arriver à un état final.
- ▷ **Expérience 3** : de la vapeur d'eau est contenue dans un cylindre non calorifugé, en contact avec un thermostat de température  $T_C = 500$  K et fermé par un piston mobile. Initialement, elle se trouve dans un état d'équilibre de paramètres d'état ( $P_I = 1,00$  bar,  $T_I = 500$  K,  $V_I = 2,3$  L). On déstabilise le système en ajoutant très progressivement du sable sur le piston. On s'arrête lorsque le piston exerce sur la vapeur d'eau une pression extérieure  $P_{ext} = 5,00$  bar.

## 1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique

---

### SF 1 - Effectuer un bilan énergétique en calorimétrie

Soit une masse  $m_{eau}$  d'eau à la température  $T_{eau}$  que l'on place dans un calorimètre. On y ajoute un morceau de fer chaud de masse  $m_{Fe}$  à la température  $T_{Fe}$ .

La température finale est  $T_f$ . Établir l'expression de la capacité thermique du fer.

*On supposera les phases condensées idéales.*

### Exercice 1 - Comparaison entre deux transformations

On considère un système composé d'une quantité de matière  $n$  de gaz parfait diatomique enfermée dans une enceinte. Cette enceinte est fermée par un piston de surface  $S$  et dont on

négligera la masse, pouvant coulisser sans frottement. L'ensemble est situé dans l'atmosphère, dont on note  $T_0$  et  $P_0$  la température et la pression. On note  $I$  l'état initial. L'objectif est de comparer deux transformations du système : l'une brutale et l'autre lente.

Commençons par la transformation brutale : on lâche brusquement une masse  $M$  sur le piston, qui se stabilise en un état intermédiaire 1, qu'on supposera pour l'instant état d'équilibre.

1. Le meilleur modèle pour la transformation est-il isotherme ou adiabatique ? Peut-on en déduire un résultat sur la température  $T_1$  ?
2. Déterminer la pression  $P_1$ .
3. Établir le bilan énergétique de la transformation en explicitant chacun des termes.
4. En déduire les caractéristiques  $T_1$  et  $V_1$  de l'état 1.

On observe qu'en fait l'état 1 n'est pas un réel état d'équilibre : le piston continue de bouger, mais beaucoup plus lentement, jusqu'à atteindre l'état 2 qui est l'état final.

5. Quel phénomène, négligé précédemment, est responsable de cette nouvelle transformation du système ?
6. Déterminer les caractéristiques  $T_2$ ,  $P_2$ ,  $V_2$  de l'état 2.
7. Déterminer le travail reçu par le système, puis sa variation d'énergie interne et en déduire le transfert thermique reçu au cours de la transformation  $1 \rightarrow 2$ . En déduire le travail total et le transfert thermique total reçus au cours de la transformation brusque.

Comparons maintenant à une transformation lente : la même masse  $M$  est lâchée très progressivement sur le piston, par exemple en ajoutant du sable « grain à grain ».

8. Comment qualifie-t-on une telle transformation ? Que peut-on en déduire sur la température du système au cours de la transformation ?
9. Déterminer la pression dans l'état final et en déduire le volume. Commenter.
10. Établir le bilan énergétique de la transformation en explicitant chaque terme. Comparer à la transformation brutale. Commenter.

## Exercice 2 - La thermodynamique de la tisane

Vous souhaitez vous préparer une tisane, et vous remplissez donc votre bouilloire avec 500 mL d'eau et lancez le chauffage.

1. On considère que l'eau dans la bouilloire immerge une résistance  $R = 22 \Omega$  parcourue par une intensité  $I = 10 \text{ A}$ . En combien de temps la tisane sera-t-elle prête ?
2. Vous êtes très pressé d'aller dormir, mais les 200 mL d'eau de votre tisane sont à  $95^\circ \text{ C}$  et il est donc très difficile de boire. L'idéal serait que l'eau soit à  $70^\circ \text{ C}$ . Vous pensez donc à ajouter de l'eau du robinet à  $T_{rob} = 6^\circ \text{ C}$  afin de rafraîchir la tisane. Quel volume d'eau devez-vous ajouter dans la tasse pour que vous puissiez boire rapidement votre tisane et aller vous coucher ?

*On supposera que l'on peut négliger les échanges thermiques entre l'eau et l'atmosphère*

Donnée : capacité thermique massique de l'eau  $c_{eau} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

## 2<sup>nd</sup> principe de la thermodynamique

---

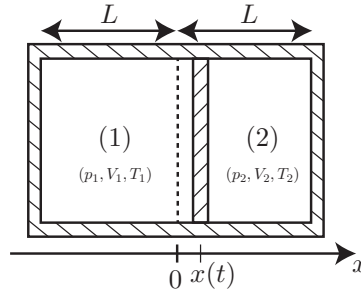
### Exercice 3 - Contact entre deux solides

Deux blocs de cuivre identiques (1) et (2) de même masse  $m = 200$  g sont placés en contact dans une enceinte indéformable adiabatique. ils sont considérés comme indilatables et incompressibles, et peuvent échanger un transfert thermique entre eux. Leur températures initiales sont  $T_{i,1}$  et  $T_{i,2}$ . On donne la capacité thermique massique du cuivre  $c = 385 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ .

- Déterminer la température finale  $T_f$  des deux corps.
- Effectuer un bilan d'entropie pour le système  $\{(1)+(2)\}$  et discuter du caractère réversible ou non de la transformation.
- Application numérique. Calculer l'entropie créée au sein du système  $\{(1) + (2)\}$  dans les cas suivants :
  - $T_{i,1} = 20,0^\circ\text{C}$  et  $T_{i,2} = 50,0^\circ\text{C}$  ;
  - $T_{i,1} = 20,0^\circ\text{C}$  et  $T_{i,2} = 25,0^\circ\text{C}$ .

### Exercice 4 - Oscillation d'un piston

Un cylindre calorifugé de section  $S$  et de longueur  $2L$  est séparé en deux compartiments par un piston calorifugé de masse  $m$  pouvant se déplacer sans frottements. À l'équilibre, chaque compartiment contient un gaz considéré comme parfait, à la température  $T_0$ , sous la pression  $p_0$ , le piston étant situé en  $x = 0$ .



À l'instant  $t = 0$ , on écarte le piston en  $x = b$  et on le lâche avec une vitesse initiale nulle.

- Prévoir qualitativement l'évolution du système.
- Établir l'équation différentielle vérifiée par  $x(t)$ .
- Dans le cas où  $b \ll L$ , la résoudre et décrire le mouvement. On rappelle que pour  $|\epsilon| \ll 1$ , on a  $(1 + \epsilon)^\alpha \sim 1 + \alpha\epsilon$ .

## Changements d'état

---

### SF 2 - Imaginer un chemin fictif pour déterminer un état final \*\*\*

Vous recevez des amis, mais avez oublié de mettre le soda au frigo avant leur arrivée. Pour leur servir un verre bien frais, vous ajoutez des glaçons, mais vous n'en avez pas énormément : il faut donc mettre la bonne quantité exactement !  
Combien de glaçons devez-vous mettre dans chaque verre afin que le soda soit aussi frais que s'il sortait du réfrigérateur ?

### Exercice 5 - Mélange eau/glace

Dans une enceinte adiabatique déformable, on place une masse  $m_1 = 500$  g d'eau liquide à la température  $T_1 = 15,0^\circ\text{C}$  et une masse  $m_2 = 150$  g de glace à la température  $T_2 = -5,00^\circ\text{C}$ . La capacité thermique massique de l'eau est  $c_l = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  et celle de la glace  $c_s = 2,06 \text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ . L'enthalpie massique de fusion de l'eau est  $\ell_{\text{fus}} = 330 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  et la température de fusion  $T_{\text{fus}} = 273 \text{ K} = 0,00^\circ\text{C}$ .

1. Quels sont les états finaux possibles ?
2. On suppose dans un premier temps que toute la glace a fondu. Calculer la température finale  $T_F$ . Conclure.
3. Calculer le titre massique de glace dans le cas où il reste de l'eau sous forme de glace.
4. Calculer la variation d'entropie  $\Delta S$  du système global.