

Thème III. L'énergie : conversions et transferts (Thermodynamique)

TD n°20 Énergie échangée par un système.

Premier principe. Bilans d'énergie.

💡 Méthode : Comment travailler des exercices ?

Avant la séance de TD :

- ★ Sur une feuille de brouillon, avec un crayon à la main et le chapitre ouvert sous les yeux.
- ★ Essayer des « trucs » même si cela n'aboutit pas.
- ★ Faire des schémas complets et suffisamment grands.
- ★ Ne rien écrire sur l'énoncé de TD afin de pouvoir refaire les exercices après la correction en classe.
- ★ Réfléchir environ 10 à 15 min sur chaque exercice demandé. Si vous bloquez complètement sur une question/un exercice, passez à la suite au bout de 10 min, et me poser des questions soit directement soit par mail nvalade.pcsi@gmail.com.

Après la séance de TD :

- ★ Refaire les exercices corrigés ensemble, sans regarder le corrigé dans un premier temps.
- ★ Une fois l'exercice terminé ou si vous êtes totalement bloqué, reprendre avec le corrigé.

I Exercices d'application directe du cours

Exercice n°1 Calorimétrie

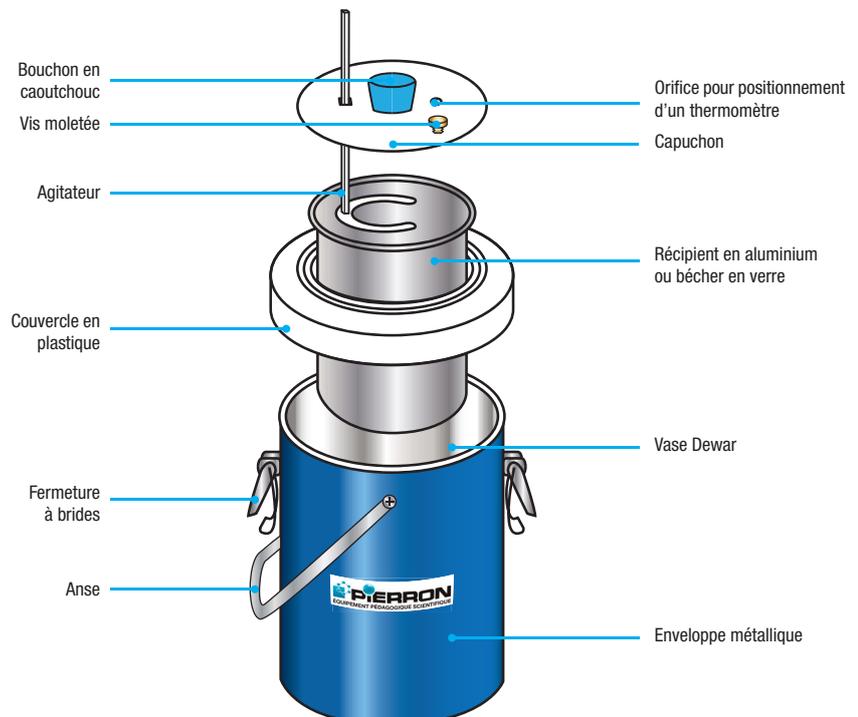
Capacités exigibles :

- ✓ Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail et transfert thermique.
- ✓ Exprimer le premier principe sous la forme d'un bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et l'état final.
- ✓ Réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phase.

La calorimétrie est l'étude des propriétés calorimétriques des corps, en particulier les capacités thermiques et les enthalpies de changement d'état.

Le calorimètre est un récipient composé d'une paroi extérieure et d'une cuve intérieure, fermé par un couvercle percé de petites ouvertures permettant d'introduire un agitateur, un thermomètre, une résistance chauffante. La cuve intérieure étant séparée de la paroi extérieure par de l'air, le système Σ constitué de la cuve intérieure et de son contenu est relativement bien isolé et on peut négliger sur la durée d'une expérience de travaux pratiques les échanges thermiques avec l'extérieur.

On devra tenir compte de la capacité thermique du calorimètre parce qu'elle n'est pas négligeable en général devant la capacité thermique de ce qu'il contient.



Les expériences dans un calorimètre se font à pression extérieure constante, le système étant en contact avec l'atmosphère par les petites ouvertures laissant passer le thermomètre et l'agitateur.

On donne la capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Mesure de la capacité du calorimètre

Avant toute mesure, il est nécessaire de déterminer la capacité thermique du calorimètre C_{calo} , c'est-à-dire du vase et des instruments (thermomètre et agitateur). Pour cela, on utilise souvent la méthode dite « des mélanges ». On place $m_1 = 95 \text{ g}$ d'eau dans le calorimètre et on attend que l'équilibre thermique ait lieu avec le vase intérieur et les instruments à $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Puis on ajoute $m_2 = 69 \text{ g}$ d'eau à $T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ dans le calorimètre et on mesure la température du système.

Expérimentalement on mesure la température d'équilibre $T_F = 31,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Q1. Par application du premier principe déterminer la valeur de la variation de la fonction d'état utilisée.
- Q2. Exprimer la variation de la fonction d'état en fonction des masses m_1 et m_2 , de la capacité thermique massique de l'eau, de la capacité thermique du calorimètre et des températures T_1, T_2, T_F .
- Q3. En déduire l'expression puis la valeur de C_{calo} .

Parfois on donne plutôt la valeur en eau du calorimètre, notée μ , souvent donnée en grammes, définie comme la masse d'eau qui aurait la capacité thermique totale C_{calo} , ainsi on écrit $C_{\text{calo}} = \mu c_\ell$.

- Q4. En déduire la valeur en eau du calorimètre ici utilisé.

Mesure de la capacité thermique massique d'un solide

On souhaite déterminer la capacité thermique massique c_{Fe} d'un échantillon de fer.

Le principe de l'expérience consiste à mesurer la température obtenue en mettant en contact thermique l'échantillon et une quantité connue d'eau.

On verse dans le calorimètre $m_{\text{eau}} = 400 \text{ g}$ d'eau très froide et on mesure la température qui se stabilise après quelques instants. On trouve $T_0 = 2,0 \text{ }^\circ\text{C}$. On introduit dans le calorimètre l'échantillon de fer, que l'on a préalablement pesé (sa masse est $m_{\text{Fe}} = 200 \text{ g}$) et qui est initialement à la température d'une étuve thermostatée, $T_1 = 85,0 \text{ }^\circ\text{C}$. On vérifie que l'échantillon est bien entièrement recouvert d'eau. On attend que la température se stabilise et on mesure la température finale $T_F = 6,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Q5. Établir l'expression de la capacité thermique massique du fer en fonction de la masse d'eau, de la masse du fer, des températures, de la capacité thermique massique de l'eau et de la capacité thermique du calorimètre.

Exercice n°2 Café buvable ?

Capacités exigibles :

- ✓ Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan énergétique faisant intervenir travail et transfert thermique.
- ✓ Exprimer le premier principe sous la forme d'un bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et l'état final.

Je viens de préparer 50 cL de café soluble à partir d'eau bouillante. Je voudrais le boire tout de suite, mais il est trop chaud.

- Q1. J'ajoute 20 cL d'eau du robinet à $20 \text{ }^\circ\text{C}$. On suppose que cet ajout est assez rapide. Déterminer la température finale du mélange en effectuant les hypothèses nécessaires sur la transformation. On prendra $c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ pour l'eau liquide.
- Q2. Pour pouvoir boire sans se brûler, il faut que la température du breuvage ne dépasse pas les $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Quelle quantité d'eau du robinet faut-il ajouter ?

Exercice n°3 Compression d'un gaz

Capacités exigibles :

- ✓ Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.
- ✓ Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné.

Un gaz, supposé parfait, de capacité thermique molaire à volume constant $C_{V_m} = \frac{5}{2}R$ est enfermé dans une enceinte. Il est comprimé brutalement en enfonçant le piston, de $h = 30$ cm en exerçant une force $F_0 = 800$ N constante.

- Q1. Comment peut-on modéliser la transformation subie par le gaz ?
- Q2. Exprimer le travail W_0 exercé par l'opérateur au cours de la compression.
- Q3. En déduire la température finale et l'estimer numériquement.

Afin d'obtenir le même état final, la compression est effectuée en ajoutant grain de sable par grain de sable. L'enceinte est en contact avec l'atmosphère extérieure assimilée à un thermostat.

- Q4. Comment peut-on modéliser la transformation subie par le gaz ? Que peut-on dire de la température finale du système ?
- Q5. Exprimer le travail W exercé par l'opérateur au cours de la compression.
- Q6. Déterminer le transfert thermique Q reçu par le gaz. Commenter le signe.

Exercice n°4 Mélange eau/glace (d'après Oral CCP)

Capacités exigibles :

- ✓ Exprimer le premier principe sous la forme d'un bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et l'état final.
- ✓ Réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phase.

Dans un récipient parfaitement calorifugé, on place une masse $M = 1$ kg d'eau liquide à $T_1 = 293$ K et une masse $m = 500$ g de glace à $T_2 = 273$ K. On travaille à la pression constante de 1 bar.

- Q1. Donner le principe de fonctionnement, faire un schéma, décrire le protocole expérimental et le dispositif pour réaliser des mesures par calorimétrie.
- Q2. Donner la définition d'une transformation adiabatique. Quelle fonction d'état faut-il utiliser pour étudier la transformation ? Justifier.
- Q3. Déterminer la composition et la température du mélange à l'équilibre.
- Q4. Reprendre la question pour $M = 4,0$ kg.

On donne :

- Enthalpies massiques de changement d'état : $\Delta h_{\text{fusion}} = 3,36 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$; $\Delta h_{\text{vaporisation}} = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,20 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2,06 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de la vapeur d'eau : $c_v = 1,85 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

II Exercices d'approfondissement

Exercice n°5 Apport d'énergie électrique

Capacités exigibles :

- ✓ Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.
- ✓ Calculer le transfert thermique Q sur un chemin donné.

On considère une étuve calorifugée fermée et indéformable, de volume $V_0 = 10,0$ L. L'enceinte contient $n = 2$ moles d'un gaz parfait monoatomique. La température initiale est $T_0 = 20$ °C et la pression initiale est $P_0 = 1,0$ bar.

Il y a dans l'enceinte une résistance $R_0 = 100$ Ω , alimentée par un générateur de courant idéal, de courant $I = 0,25$ A, pendant 10 minutes.

- Q1. Donner l'expression de la puissance thermique dissipée par la résistance.
- Q2. Déterminer l'expression de la température finale atteinte.

III Résolutions de problème

Exercice n°6 Estimation de la capacité thermique massique de l'eau liquide

J'utilise ma bouilloire de puissance 2300 W pour porter à ébullition 1 L d'eau liquide qui était initialement à 17 °C. Cela prend 2 minutes et 55 secondes.

En déduire une estimation de la capacité thermique massique de l'eau. On fera clairement apparaître les hypothèses effectuées.

Exercice n°7 Jus de fruit frais

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 °C : $\Delta_{\text{fus}}h = 3,3 \cdot 10^2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- capacité thermique massique de l'eau liquide $c_\ell = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- capacité thermique massique de l'eau solide $c_g = 2,1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Exercice n°8 Transpiration

Quel volume d'eau devez-vous éliminer par transpiration pour débarrasser votre corps des 75 W de puissance thermique correspondant à votre métabolisme lorsque vous êtes au repos ?

On prendra la température de la peau égale à 33 °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 L d'eau par jour. Le fait de s'essuyer avec une serviette aide-t-il au refroidissement du corps ?