

A SAVOIR :

- Définir un système ouvert, fermé, isolé
- Utiliser le vocabulaire usuel : transformations adiabatique, isochore, monotherme, isotherme, monobare, isobare.
- Connaître l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.
- Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique/ diatomique/ quelconque. Exprimer l'énergie interne d'un solide/liquide
- Relier pour un système fermé la variation d'énergie interne, le travail W et le transfert thermique Q .
- Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare.
- Exprimer l'enthalpie H du gaz parfait à partir de l'énergie interne U
- Calculer le travail par découpage en travaux élémentaires. Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.

A SAVOIR FAIRE :

- Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique (SII). Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique.
- Calculer un transfert thermique.

Exemples de cours (à maîtriser)

Exemple 14.1 : Déperditions thermiques d'un local

On coupe le chauffage dans un local (60 m² et hauteur sous plafond 2,40 m) initialement à la température $T_i = 294,0$ K. La température extérieure étant « faible » $T_e = 281,0$ K, la température dans le local diminue à cause des déperditions thermiques. Après 8 heures, la température vaut $T_f = 286,0$ K.

A savoir : On considère l'air comme un mélange de gaz parfait diatomique et sa masse molaire moyenne vaut : $M_{\text{air}} = 20\% M_{\text{O}_2} + 80\% M_{\text{N}_2} = 29,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

- 1) Déterminer la valeur de la capacité thermique C_V de l'air contenu dans le local. (Données : $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ supposée constante).
- 2) Déterminer la variation d'énergie interne ΔU donc le transfert thermique $Q (< 0)$ reçu par le local en 8 heures.
- 3) Quelle puissance de chauffe est nécessaire pour maintenir le local à la température T_i ?

Exemple 14.2 : Pour le gaz parfait SF_6 , on a $\gamma = 1,06$, $M = 146 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$. En utilisant la relation de Mayer, déterminer l'expression des capacités thermiques C_V et C_P . En déduire la valeur de la capacité thermique massique c_V .

1. Comment effectuer un bilan d'énergie pour un système thermodynamique?

a) Principe de conservation de l'énergie :

Il a été vu en CPGE1 :

- la définition de l'énergie totale d'un système : $E = U + E_p + E_c$ avec E_p énergie potentielle
 E_c énergie cinétique
 U énergie interne
- si l'énergie totale d'un système augmente (ou diminue), c'est qu'il reçoit (ou donne) de l'énergie sous forme de travail ou de transfert thermique.
- en l'absence de transfert thermique et de travail, l'énergie totale du système est constante.

b) Enoncé du premier principe de la thermodynamique pour un solide ou un liquide

ATTENTION !!! Le premier principe de la thermodynamique ne s'applique qu'aux systèmes FERMES.

Système ouvert	Echange possible de matière et d'énergie avec l'extérieur
Système fermé	Echange d'énergie possible mais échange de matière impossible avec l'extérieur.
Système isolé	Echange impossible de matière et d'énergie avec l'extérieur

La conservation de l'énergie sous toutes ses formes s'écrit alors :

$$\Delta E = \Delta E_m + \Delta U = W + Q$$

avec :

$\Delta U = U_2 - U_1$ variation d'énergie interne

$\Delta E_m = E_{m2} - E_{m1}$ variation d'énergie mécanique macroscopique du système (*souvent = 0*)

W travail reçu par le système (transfert lié à des déplacements macroscopiques)

Q transfert thermique reçu par le système (transfert du chaud vers le froid lié à une différence de température)

Pour les systèmes globalement immobiles, on utilisera la version simplifiée : $\Delta U = W + Q$

Dans la suite de cette partie, nous allons voir différentes manières de simplifier ou d'exprimer ces termes.

c) Cas des transformations des solides et des liquides

Il sera vu au chapitre prochain que les solides et les liquides, appelés **phases condensées**, ne voient pas (ou peu) leur volume changer au cours d'une transformation thermodynamique ; cela simplifie considérablement les raisonnements.

- Simplification sur ΔU (ne dépendant donc que la température) :

$$\Delta U = m.c.\Delta T$$

(en l'absence de changement d'état)

avec c capacité thermique massique du solide/liquide en $J.K^{-1}.kg^{-1}$

ou $C = m.c$ capacité thermique en $J.K^{-1}$

- Simplification sur W : si le volume du système ne varie pas, il n'y a pas de déplacement des parois donc :

$$W = 0$$

d) Cas des transformations en calorimètre

Le système présent à l'intérieur de cette enceinte est alors **isolé** \Rightarrow transfert thermique $Q = 0$

Vocabulaire : la transformation en calorimètre, interdisant les transferts thermiques, est dite « **adiabatique** ».

e) Cas d'une transformation non adiabatique

Le transfert thermique reçu par le système grâce, par exemple, à un système de chauffage vaut :

$$Q = P_{th} \cdot \Delta t$$

Avec P_{th} puissance thermique (en Watt (W)) reçue et Δt temps d'utilisation (en s)

f) Vocabulaire associé aux différentes transformations particulières

Transformation à température T constante	Isotherme
Transformation à pression P constante	Isobare
Transformation à volume V constant	Isochore
Transformation sans transfert thermique	Adiabatique
Transformation à pression extérieure constante	Monotherme

2. Comment effectuer un bilan d'énergie pour les gaz ?

Le premier principe reste valide (tant que le système est fermé) mais deux termes sont modifiés :

- ΔU se calcule toujours à partir de la capacité thermique C_V mais celle-ci n'est pas une donnée du problème.
- la variation du volume du système n'est pas négligeable au cours de la transformation donc il se déforme donc le travail reçu W devra comporter un terme supplémentaire dû aux forces de pression

a) Calcul de la capacité thermique C_V d'un gaz

- L'énergie interne une expression caractéristique du type de système modèle étudié.

Système modèle	Energie interne	Capacité thermique $C_V = \frac{dU}{dT}$
Rappel : Phases condensées	$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$	$C = m \cdot c = \frac{dU}{dT}$ en $J \cdot K^{-1}$
Gaz parfait monoatomique (GPM)	En l'interprétant comme l'énergie cinétique d'agitation des particules, $U = \frac{3}{2} nRT$	Pour un GPM, $C_V = \frac{3}{2} nR$ donc la capacité thermique massique $c_V = \frac{3}{2} \frac{n}{m} R = \frac{3}{2} \frac{R}{M}$ indépendante de la taille du système (grandeur intensive)
Gaz parfait diatomique (GPD)	Avec plus de degré de libertés : $U = \frac{5}{2} nRT$	Pour un GPD, $C_V = \frac{5}{2} nR$ (grandeur extensive) donc $c_V = \frac{5}{2} \frac{R}{M}$ (grandeur intensive)
Gaz parfait quelconque	Il y a plus de degrés de liberté donc l'expression de U dépend du gaz concerné (nombre d'atomes et position dans l'espace) U fonction de n et T uniquement	C_V a une expression compliquée mais on a toujours $C_V = \frac{dU}{dT}$ C_V est obtenue grâce à la loi de Mayer.

Le point sur les unités:

- énergie interne U en J
- capacité thermique C_V en $J.K^{-1}$
- capacité thermique massique c_v en $J.K^{-1}.kg^{-1}$

Remarque : on écrit en minuscules les grandeurs massiques

Exemple 14.1

• Relation de Mayer : Valable pour tous les gaz parfaits (monoatomique, diatomique ou polyatomique)
Pour les gaz, il existe une autre capacité thermique, notée C_p , utile uniquement pour les transformations à pression P constante.

Les 2 capacités thermiques sont différentes mais toujours liées de la même manière :

$$\begin{cases} C_p = C_v + nR \text{ (relation de Mayer)} \\ \gamma = \frac{C_p}{C_v} \end{cases}$$

Le coefficient γ (appelé coefficient adiabatique ou coefficient isentropique) est caractéristique du gaz étudié.
Par résolution de ce système, on obtient l'expression de la capacité thermique C_v (et de C_p).

Exemple 14.2

3 QCM d'entraînement sur les formules de cette 1^e partie :

<https://forms.gle/bajY9ifv83xnWLkY7>

<https://forms.gle/oXrGVXMgZ2RngQB78>

<https://forms.gle/1aHx3ELzECazVzoi9>