

Thermodynamique

Révisions page 428

I. Loi des gaz parfaits

1. Description d'un gaz

À l'échelle microscopique, l'état d'un gaz est décrit à l'aide de trois grandeurs : la pression P , la température T et la masse volumique ρ .

2. Le modèle du gaz parfait

On appelle gaz parfait, un gaz pour lequel la relation suivante est vérifiée :

$$p \times V = n \times R \times T$$

Cette relation est appelée **équation d'état du gaz parfait**.

Pour de nombreux gaz, l'étude des variations des grandeurs macroscopiques montre que cette relation est quasiment vérifiée.

3. Limite du modèle

À de faibles pressions (quelques bars), les molécules qui constituent le gaz sont très éloignées les unes des autres, un gaz réel se comporte comme un gaz parfait.

4. Exploitation de l'équation d'état du gaz parfait

e. Loi de Mariotte

Lorsqu'un système de gaz parfait évolue à température constante, l'équation d'état s'écrit :

$$p \times V = \text{constante}$$

f. Loi d'Avogadro-Ampère

« pris dans les mêmes conditions de température et de pression, tous les gaz ont le même volume molaire »

Le volume molaire est :

$$V_m = \frac{V}{n}, \text{ soit } V_m = \frac{R \times T}{p}$$

Par exemple dans les conditions habituelles de température T et de pression p (20°C et 1,0 bar), le volume molaire d'un gaz vaut :

$$V_m = \frac{8,314 \times 293,15}{1,0 \times 10^5} = 2,4 \times 10^{-2} m^3 \cdot mol^{-1} = 24L \cdot mol^{-1}$$

P	pression	Pa
V	Volume	m^3
T	Température	K
ρ	Masse volumique	$kg \cdot m^{-3}$
n	Quantité de matière	Mol
R	Constante du gaz parfait	$R = 8,314 J \cdot K^{-1} mol^{-1}$

Exercices : 24 page 446 ; 36 et 37 page 447

II. Bilan d'énergie thermique

1. Premier principe

a. Notion d'énergie interne

Lorsqu'on effectue une étude énergétique, il est nécessaire de définir l'objet sur lequel porte l'étude. Cet objet est appelé système.

L'énergie interne d'un système correspond à la somme de toutes les énergies qui existent, à l'intérieur de ce système, au niveau microscopique du fait de ses constituants. Les contributions à l'énergie interne d'un système sont les énergies cinétiques microscopiques des constituants et les énergies potentielles d'interactions microscopiques des constituants.

Étant donné la complexité d'appréhender le comportement de toutes les particules qui constituent un système, l'énergie interne n'est pas directement calculable. On pourra néanmoins déterminer sa variation.

L'énergie interne, notée U , ou sa variation notée ΔU , s'exprime en joule (J).

b. Énergie totale d'un système

Un système peut aussi, s'il est en mouvement, posséder une énergie cinétique ou s'il est en hauteur une énergie potentielle de pesanteur. L'énergie totale d'un système est la somme de son énergie cinétique E_C , de son énergie potentielle de pesanteur E_{pp} et de son énergie interne U :

$$E_{tot} = E_C + E_{pp} + U$$

Un système au repos a une énergie macroscopique constante : $E_C + E_{pp} = cste$

La variation d'énergie totale d'un système au repos à l'échelle macroscopique est égale à sa variation d'énergie interne : $\Delta U = \Delta E_{tot}$

c. Premier principe de la thermodynamique

Le premier principe de la thermodynamique indique que si un système fermé au repos a son énergie qui varie c'est qu'il échange avec l'extérieur de l'énergie soit sous forme de travail (W) soit sous forme de transfert thermique (Q) :

$$\Delta U = W + Q$$

Quand les transferts d'énergie conduisent à une augmentation d'énergie du système, on a $\Delta U > 0$, le système gagne de l'énergie interne. Dans le cas contraire on a $\Delta U < 0$, le système perd de l'énergie.

Exercices : 29 et 30 page 446



FIG. 4 W_e correspond à l'énergie reçue du réseau électrique par une bouilloire et Q l'énergie fournie à l'eau par celle-ci. Pour la bouilloire : $W_e > 0$ et $Q < 0$.

4. Transferts et flux thermiques

a. Capacité thermique

La capacité thermique C d'un système est une grandeur qui traduit l'énergie qu'il faut transférer à celui-ci pour augmenter sa température de 1 kelvin.

b. Transfert thermique

Un transfert thermique est un transfert d'énergie entre le système et l'extérieur qui se traduit par une variation de température ΔT du système :

$$Q = C \times \Delta T$$

On utilisera également la capacité thermique massique :

$$C = m \times c$$

Ainsi,

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Exercices : 27 et 28 page 446 ; 43 page 448

c. Modes de transferts thermiques

La conduction est un transfert thermique par contact entre le système et l'extérieur.

La convection est un transfert thermique entre le système et l'extérieur par mouvement de matière au sein du système.

Le rayonnement est l'échange de photons par émission et absorption, entre deux corps. C'est le seul mode de transfert thermique possible dans le vide.

d. Sens de transfert thermique

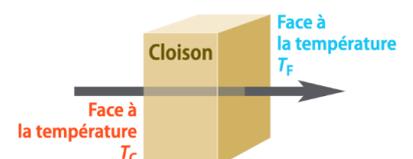
Le sens du transfert thermique ne peut se faire que d'un milieu qui a la température la plus élevée (la source chaude), vers un milieu qui a la température la plus faible (la source froide), jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint (les températures sont égales).

e. Flux thermique

Le flux thermique Φ correspond au transfert thermique Q qui s'écoule entre deux milieux par unité de temps :

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

Q	Transfert thermique	J
C	Capacité thermique	$J \cdot K^{-1}$
c	Capacité thermique massique	$J \cdot kg^{-1} K^{-1}$
ΔT	Variation de température	K



f. Résistance thermique

La résistance thermique R_{th} traduit l'opposition plus ou moins forte du système ou du matériau au flux thermique Φ . Plus elle est élevée, plus le flux thermique sera faible.

$$\Phi = \frac{T_c - T_f}{R_{th}}$$

Il existe une relation entre la résistance thermique d'un matériau et de ses caractéristiques.

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

Exercices : 31 et 32 page 446 ; 41 page 447

Φ	Flux thermique	W
Δt	Durée	s
T_c	Température source chaude	K
T_f	Température source froide	K
R_{th}	Résistance thermique	$K \cdot W^{-1}$
λ	Conductivité thermique de la paroi	$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$
e	Épaisseur de la paroi	m
S	Aire de la paroi	m^2

7. Deux lois thermiques

a. Loi de Stephan-Boltzmann

Tout corps de température non nulle perd de l'énergie par rayonnement. La loi de Stephan-Boltzmann définit la relation qui existe entre le flux thermique Φ d'un objet de surface S et la température T de l'objet considéré comme un corps noir ¹.

$$\Phi = \sigma \times T^4 \times S$$

Attention cette formule sera donnée (parfois avec des notations différentes, dans votre livre Φ est noté $P_{th,ray}$ pour puissance thermique rayonnée), vous devez savoir l'exploiter.

σ	Constante de Stephan-Boltzmann	$5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$
----------	--------------------------------	---

Exercices : 33 et 34 page 446 ;

Activité : Effet de serre & Albédo

La Terre reçoit un rayonnement solaire dont le flux thermique surfacique moyen est de l'ordre de $\phi = \frac{\Phi}{S} = 340 W \cdot m^{-2}$. Environ $\alpha = 30\%$ de ce rayonnement est réfléchi par l'atmosphère sans être absorbé par l'atmosphère : cette proportion est appelée albédo.

Si une partie du rayonnement émis par la Terre n'était pas absorbée par l'atmosphère (essentiellement en infrarouges), la température à la surface de la Terre serait d'environ $-18^\circ C$. Cette absorption essentiellement due à la présence d'eau H_2O et de dioxyde de carbone CO_2 dans l'atmosphère s'appelle effet de serre.

¹ En physique, un corps noir désigne un objet idéal qui absorbe parfaitement toute l'énergie électromagnétique (toute la lumière quelle que soit sa longueur d'onde) qu'il reçoit. Cette absorption se traduit par une agitation thermique qui provoque l'émission d'un rayonnement thermique, dit rayonnement du corps noir.

b. Loi thermique de Newton

Un thermostat est un objet dont la température est constante.

Le milieu extérieur peut souvent jouer le rôle de thermostat pour un système étudié.

Newton avait remarqué qu'un objet se refroidissait d'autant plus rapidement que la différence de température entre ce corps et l'extérieur était importante.

La loi de Newton indique que le taux de variation de la température d'un système incompressible échangeant de l'énergie par un transfert thermique, est proportionnel à la différence entre les températures du corps T . Cette loi phénoménologique peut s'écrire ainsi :

$$\Phi = P_{th,cc} = hS(T_{th} - T) = hS(\theta_{th} - \theta)$$

$\frac{dT}{dt}$	Taux de variation de la température du système	$K \cdot s^{-1}$
τ	Temps caractéristique	s
T	Température du système	K
T_{th}	Température du thermostat	K
T_0	Température du système à l'instant $t = 0$	K
h	Coefficient de transfert conducto-convectif	$W.K^{-1}.m^{-2}$
S	Aire de la surface d'échange entre le fluide et le solide	m^2

Or le flux est $\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{C \times \Delta T}{\Delta t}$ ce qui conduit pour Δt qui tend vers zéro à l'expression suivante

$$\Phi = C \frac{dT}{dt}$$

Ainsi la Loi de phénoménologique de Newton devient : $C \frac{dT}{dt} = hS(T_{th} - T)$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{hS}{C}(T_{th} - T)$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{hS}{C}(T - T_{th}), \text{ on peut noter } \tau, \text{ la constante homogène à une durée } \tau = \frac{C}{hS}.$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{1}{\tau}(T - T_{th})$$

La loi de Newton est une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants

avec second membre : $\frac{dT}{dt} + \frac{1}{\tau}T = \frac{1}{\tau}T_{th}$

La résolution de cette équation admet une solution du type :

$$T(t) = (T_0 - T_{th}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{th}$$

Exercices : 35page 446 ; 44 page 448 et 56 page 451 ;

Exercice 22 page 441 (Corrigé)

Attention dans le livre dans l'exercice **44 page 448**, il y a une erreur dans l'expression de la loi de Newton il faut prendre celle donnée dans le livre page 439, c'est à dire : $P_{th,cc} = hS(\theta_{th} - \theta(t))$

Pour l'exercice **56 page 451**, prendre $h = 250 W \cdot K^{-1}m^{-2}$