

THÈME 3

ENERGIE : CONVERSIONS ET TRANSFERTS

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers de Strasbourg

Septembre 2020

CHAPITRE 2 : PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE ET BILANS D'ÉNERGIE

I. Premier principe de la thermodynamique

1. Énergie interne
2. Aux frontières du système...
3. Modes de transfert d'énergie

II. Transferts thermiques

1. Variations d'énergie interne d'un système incompressible
2. Mécanisme du transfert thermique
3. Trois modes de transfert thermique

CHAPITRE 2 : PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE ET BILANS D'ÉNERGIE

III. Flux thermique

1. Définition
2. Cas d'une paroi plane
3. Résistance thermique

IV. Bilan thermique du système {Terre ; atmosphère}

1. Loi de Stefan-Boltzmann
2. Application au système {Terre ; atmosphère}
3. Conséquences

CHAPITRE 2 : PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE ET BILANS D'ÉNERGIE

V. Évolution temporelle de la température d'un système

1. Notion de transformation élémentaire
2. Loi phénoménologique de Newton
3. Application

EXERCICES CONSEILLÉS :
PP371-385 n°12, 14 et 20

EXERCICES CORRIGÉS EN CLASSE :
PP371-385 n°36, 38, 41, 43 et 44

I. Premier principe de la thermodynamique

1. Énergie interne

- **Définition** : on appelle énergie interne l'ensemble des formes d'énergie microscopiques présentes au sein d'un système. On la note U et son unité est le joule de symbole J .
- L'énergie interne est due, en particulier, aux interactions existant entre les particules qui constituent le système (énergies potentielles microscopiques) et à l'énergie cinétique microscopique des particules qui constituent le système.

$$U = E_{C,micro} + E_{P,micro}$$

I. Premier principe de la thermodynamique

1. Énergie interne

- La température est la mesure de l'énergie cinétique moyenne des particules qui constituent un système (agitation thermique). Si la température d'un système augmente, alors l'énergie cinétique microscopique des particules augmente et par conséquent, l'énergie interne U augmente elle aussi.
- Les énergies potentielles microscopiques sont dues aux interactions gravitationnelle, électromagnétique, forte et faible entre les particules constituant le système. On distingue les énergies potentielles microscopiques chimique, électrique, magnétique et nucléaire notamment.

I. Premier principe de la thermodynamique

2. Aux frontières du système...

- Lorsque l'on s'intéresse à un système en thermodynamique, il importe de clairement définir le système étudié et d'en identifier les frontières qui représentent la limite entre le système et le reste de l'Univers, appelé milieu extérieur.
- Le système est dit **isolé** s'il ne peut échanger ni énergie, ni matière avec le milieu extérieur.
- Le système est dit **fermé** s'il peut échanger de l'énergie mais pas de matière avec le milieu extérieur.
- Le système est dit **ouvert** s'il peut échanger de l'énergie et de la matière avec le milieu extérieur.
- Dans le cadre de cours, nous allons nous limiter à des **systèmes fermés dont l'énergie mécanique macroscopique est conservée**.

I. Premier principe de la thermodynamique

3. Modes de transfert d'énergie

- Le travail W et le transfert thermique Q sont deux modes de transfert d'énergie : leur signe dépend du sens du transfert entre le système et l'extérieur.
- La variation d'énergie interne ΔU d'un système est la conséquence d'échange d'énergie avec le milieu extérieur par travail W et/ou transfert thermique Q .
- Si l'énergie mécanique du système est conservée, alors :

$$\Delta U = Q + W$$

- Cette relation constitue le **premier principe de la thermodynamique**
- Si $\Delta U > 0$, alors le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur.
- Si $\Delta U < 0$, alors le système fournit de l'énergie au milieu extérieur.

II. Transferts thermiques

1. Variations d'énergie interne d'un système incompressible

- Un système incompressible ne subit pas de variations de volume ; c'est souvent le cas des états condensés de la matière (liquide ou solide).
- Un système incompressible, de par sa nature, ne peut pas échanger d'énergie sous forme de travail avec le milieu extérieur. Pour un tel système, on a donc $\Delta U = Q$
- Lorsqu'un système incompressible évolue d'un état initial vers un état final, la variation de son énergie interne ΔU est proportionnelle à sa variation de température ΔT

II. Transferts thermiques

1. Variations d'énergie interne d'un système incompressible

- On a alors : $\Delta U = C \times \Delta T = C \times (T_f - T_i)$ où

C : capacité thermique du système en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$

ΔT : variation de température en K

ΔU : variation d'énergie interne en J

- Parfois on écrit aussi $\Delta U = m \times c \times (T_f - T_i)$ où

c : capacité thermique massique du système en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

m : masse du système en kg

T : température absolue en K

II. Transferts thermiques

2. Mécanisme du transfert thermique

- Lors d'un transfert thermique entre deux systèmes, la température du corps chaud diminue et la température du corps froid augmente.
- Lorsque $T_{\text{corps chaud}} = T_{\text{corps froid}}$, on dit que les deux objets sont à l'équilibre thermique.
- Le transfert spontané d'énergie thermique (chaleur) s'effectue toujours du corps chaud vers le corps froid.
- Les transferts thermiques sont une cause d'irréversibilité : un système évoluant par transfert thermique vers un état final ne puisse pas spontanément revenir à son état initial.

II. Transferts thermiques

3. Trois modes de transfert thermique

a. Conduction

- **Définition** : le transfert thermique par conduction est produit au niveau microscopique par des interactions entre des entités en contact direct. Il s'opère de proche en proche.
- **Exemple** : le manche d'une casserole sur le feu finit par devenir chaud au bout d'un certain temps ; l'agitation thermique se propage de proche en proche dans le métal.

II. Transferts thermiques

3. Trois modes de transfert thermique

b. Convection

- **Définition** : le transfert thermique par convection est généré par un mouvement global des entités microscopiques à l'intérieur d'un système. Ce mode de transfert thermique est spécifique des systèmes fluides (gaz ou liquides).
- **Exemple** : dans une pièce équipée d'un chauffage au sol, l'air chaud, moins dense que l'air froid, monte dans la pièce alors que l'air froid descend vers le sol pour s'y réchauffer, ce qui permet de chauffer l'ensemble de la pièce.

II. Transferts thermiques

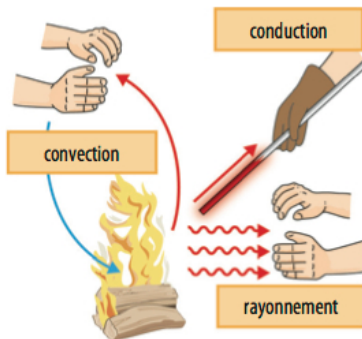
3. Trois modes de transfert thermique

c. Rayonnement

- **Définition** : le transfert thermique par rayonnement est généré par émission ou absorption d'un rayonnement électromagnétique (il n'a donc pas besoin d'un milieu matériel pour se dérouler).
- **Exemple** : les lampes à infrarouges que l'on trouve sur les quais de gare ou sur les terrasses chauffées ou encore dans certains panneaux rayonnants.

II. Transferts thermiques

3. Trois modes de transfert thermique



III. Flux thermique

1. Définition

- Le flux thermique Φ caractérise la vitesse du transfert thermique Q , pendant une durée Δt , au sein d'un système ou entre différents systèmes.
- Il est donné par la relation : $\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$ où

Q : énergie thermique échangée en J

Δt : durée du transfert thermique en s

Φ : flux thermique en W

III. Flux thermique

2. Cas d'une paroi plane

- À travers une paroi plane de surface S et d'épaisseur e , constituée d'un matériau de conductivité thermique λ , le flux thermique est proportionnel à l'écart de température entre les deux faces A et B de la paroi.

- On a alors la relation : $\Phi = \frac{\lambda \times S}{e} \cdot (T_A - T_B)$ où

Φ : flux thermique en W

S : surface de la paroi en m^2

e : épaisseur de la paroi en m

T_A et T_B : températures de chaque côté de la paroi en K

λ : conductivité thermique de la paroi en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

III. Flux thermique

3. Résistance thermique

- Définition : on appelle résistance thermique, notée R_{th} , la grandeur

définie par :
$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$
 où

R_{th} : résistance thermique en $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

e : épaisseur de la paroi en m

S : surface de la paroi en m^2

λ : conductivité thermique de la paroi en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$