

## Chapitre 20: 1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique.

### I. Rappel : loi des gaz parfait :

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

Pa      m<sup>3</sup>      mol      K

Rq:  $V = \frac{n \times R \times T}{P}$

Si P est très grand alors  $V \rightarrow 0$ , ce qui est faux en réalité : car quand la pression devient importante le gaz change d'état et devient liquide. Le liquide possède un certain volume.

Donc cette loi n'est valable que si la pression n'est pas grande.

### II. Énergie interne U d'un système:

C'est l'énergie microscopique du système, chaque particule du système est en mouvement (agitation thermique= énergie cinétique microscopique) et est attiré ou repoussée par une particule voisine (énergie potentielle microscopique : ex: 2 cations d'un solide ionique se repoussent).

### III. Modification de l'énergie interne d'un système:

Il y a 2 possibilités :

- Par le travail d'une force , ex : le travail de la force exercée par une règle qui frotte sur la main augmente la température de la main (donc l'énergie cinétique microscopique de la main).
- Par transfert thermique : apport de chaleur « directement » (conduction, convection ou rayonnement).

Rq: **conduction**: mode de transfert thermique **SANS transport de matière**; la chaleur se propage par propagation des vibrations d'atomes , ex: une barre de fer que l'on chauffe à son extrémité.

Mode de propagation des transferts thermiques **dans les solides**.

**Convection**: mode de transfert thermique **AVEC transport de matière** : chauffage par VMC (ventilation mécanique contrôlée)

Mode de propagation des transferts thermiques **dans les liquides et dans les gaz**.

**Rayonnement:** des **ondes électromagnétiques** peuvent transmettre de la chaleur.

**IV. Variation d'énergie interne  $\Delta U$  d'un système (corps) immobile :**

1.  $\Delta U = U_{\text{final}} - U_{\text{initial}}$  (U et  $\Delta U$  en J)

2.  $\Delta U = W_{\text{nc}} + Q$  (1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique)

-  $W_{\text{nc}}$  : travail des forces extérieures au système (en J), ils s'agit des forces non-conservatives ; ce sont elles qui modifient l'énergie interne d'un système.

- Q : transfert thermique ou chaleur transférée (en J) .

Q est >0 si on apporte de la chaleur au système, chaleur reçue par le syst

Q est <0 si c'est le système qui fournit de la chaleur à l'extérieur.



**3. Les solides et les liquides :**

Si la température d'un solide ou d'un liquide varie alors son énergie interne varie :

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

$$\Delta U = m.C.(T_f - T_i)$$

m : masse du système en kg

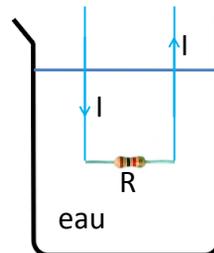
C: capacité thermique massique en J/(kg.K) ou J/(kg.°C), sa valeur dépend de la nature du système. (eau, fer, ...)

$\Delta T$  : variation de température du système (en K ou °C)

V. **Exercice :** **Données :**  $m_{\text{résistance}} \approx 0$   $C_{\text{eau}} = 4185 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$   $C_{\text{verre}} = 720 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

On chauffe 350g d'eau - placée dans un récipient en verre de masse 122 g - à l'aide d'une résistance électrique. La résistance R de 12  $\Omega$  est traversée par un courant d'intensité I de 0,85 A pendant 10,0 minutes .

On souhaite déterminer l'augmentation de température  $\Delta T$  de l'eau.



Document 1: Travail  $W_{el}$  d'une force électrique:

Les électrons traversent la résistance et ils exercent une force sur elle donc cette force travaille, on dit qu'un travail électrique  $W_{el}$  est apporté à la résistance. Ce travail modifie l'énergie interne de la résistance : sa température va augmenter.

Document 2: Expression de  $W_{el}$  en fonction de la durée  $\Delta t$ :

$$W_{el} = U.I.\Delta t$$

U: tension résistance en  $\Omega$   
I: intensité en A  
 $\Delta t$ : durée en s

Document 3: Transfert d'énergie entre résistance et eau+récipient :

La résistance chauffée va fournir de la chaleur à l'eau et au récipient initialement à température ambiante.

1. Compléter le schéma ci-dessous avec des flèches montrant les transferts d'énergie concernant le système { résistance }.
2. Appliquer le 1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique au système {résistance} puis en déduire la relation entre Q et  $W_{el}$  (Q: transfert thermique fourni par la résistance vers l'eau+récipient)

3. Compléter le schéma ci-après avec une (des) flèche(s) montrant le(s) transfert(s) d'énergie concernant le système { eau + récipient }.

4. Appliquer le 1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique au système {eau + récipient } puis en déduire l'expression de l'élévation de température  $\Delta T$  de l'eau et du récipient en fonction de R, I,  $\Delta t$ ,  $m_{eau}$ ,  $m_{verre}$ ,  $C_{eau}$  et  $C_{verre}$ .



2.

$$\Delta U_{résistance} = W + Q$$
$$\Delta U_{résistance} = W_{el} + Q$$
$$m_{résis} \cdot C_{résis} \cdot (T_{final} - T_{initial}) = W_{el} + Q$$
$$0 = W_{el} + Q \quad \text{car } m_{résis} \approx 0$$
$$Q = -W_{el}$$

3.  $Q' > 0$  → eau + verre  $Q' = -Q$  : la chaleur fournie par la résistance est reçue par l'eau et le récipient

4.  $\Delta U_{\text{eau+verre}} = W_{\text{nc}} + Q'$

$$\Delta U_{\text{eau}} + \Delta U_{\text{verre}} = 0 + Q'$$

$$m_{\text{eau}} \times C_{\text{eau}} \times \Delta T + m_{\text{verre}} \times C_{\text{verre}} \times \Delta T = -Q = -(-W_{\text{el}}) = U \cdot I \cdot \Delta t$$

$$\Delta T = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{m_{\text{eau}} \times C_{\text{eau}} + m_{\text{verre}} \times C_{\text{verre}}}$$

## VI. Puissance et énergie:

### 1. Définition générale :

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

P: puissance en W  
E: énergie en J  
 $\Delta t$ : durée en s

### 2. Cas d'une puissance électrique :

$$P_{\text{el}} = \frac{W_{\text{el}}}{\Delta t}$$

$W_{\text{el}}$ : travail force électrique en J

### 3. Cas d'une «puissance thermique» :

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

$\phi$ : flux thermique en W («puissance thermique»)

Q: transfert thermique en J

$\Delta t$ : durée en s

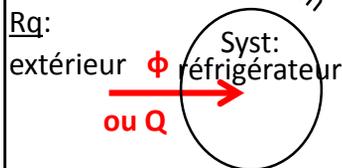
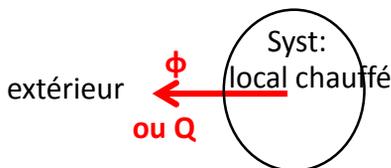
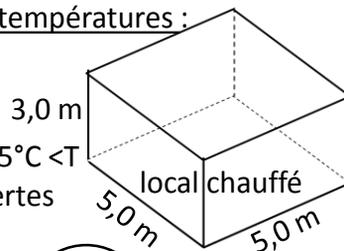
### 4. Loi de Newton : Flux thermique et écart de températures :

#### Exemple :

Température murs du local  $T \approx 20^\circ\text{C}$

Température extérieur (thermostat)  $T_{\text{ext}} = \text{cste} = 5^\circ\text{C} < T$

Le flux thermique  $\phi$  exprime dans ce cas les pertes thermiques des murs du local.



$Q < 0$  (ou  $\phi < 0$ ) : perte de chaleur

$Q > 0$  (ou  $\phi > 0$ ) : apport de chaleur de l'air extérieur.

La valeur du flux thermique est d'autant plus grande :



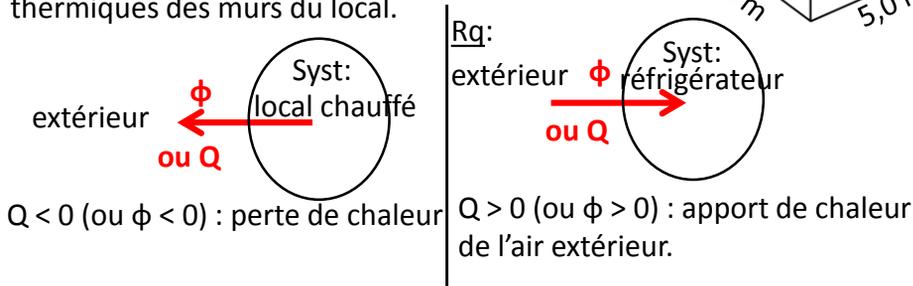
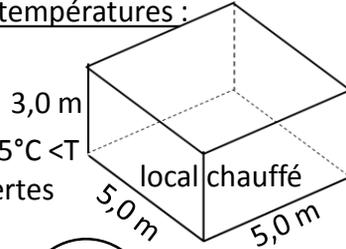
#### 4. Loi de Newton : Flux thermique et écart de températures :

##### Exemple :

Température murs du local  $T \approx 20^\circ\text{C}$

Température extérieure (thermostat)  $T_{\text{ext}} = \text{cste} = 5^\circ\text{C} < T$

Le flux thermique  $\phi$  exprime dans ce cas les pertes thermiques des murs du local.



La valeur du flux thermique est d'autant plus grande :

- que l'écart entre  $T$  et  $T_{\text{ext}}$  est grand.
- que la surface  $S$  d'échange entre le système et le thermostat est grande.  
(  $S$  : surfaces des murs et plafond dans le local)

$$\phi = h \cdot S \cdot (T_{\text{ext}} - T)$$

$\phi$  en **W** (J/s) ( $\phi$  : flux thermique entre un système incompressible (murs local) et un fluide en mouvement (l'air extérieur))

$S$  : surface d'échange en **m<sup>2</sup>**

$(T_{\text{ext}} - T)$  en **K ou °C** ( **$T$  : température de la surface du système étudié**)

$h$  : constante appelée coefficient de transfert thermique (en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ), sa valeur dépend du fluide en contact avec la surface.

#### VII. Évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat: $T(t) = ?$

1. Système étudié : {murs, plafond, sol du local} : à  $t=0^\circ\text{C}$ , la température du système est de  $20^\circ\text{C}$  puis on coupe le chauffage.

2. 1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique :  $\Delta U_{\text{local}} = W + Q$   
 $\Delta U_{\text{local}} = Q$

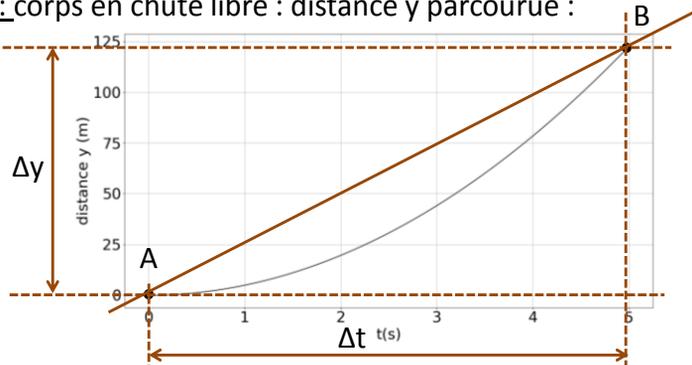
(pour simplifier on suppose que les murs, plafond et sol sont constitués de briques)

$$m_{\text{brique}} \times C_{\text{brique}} \times \Delta T = \phi \times \Delta t$$

$$m_{\text{brique}} \times C_{\text{brique}} \times \Delta T = h \times S \times (T_{\text{ext}} - T) \times \Delta t$$

### 3. Taux d'accroissement et dérivée:

Exemple : corps en chute libre : distance y parcourue :



vitesse moyenne :  $V = \frac{\Delta y}{\Delta t}$  : taux d'accroissement = coeff. dir droite (AB)

vitesse instantané :  $v = \frac{\Delta y}{\Delta t}$  avec  $\Delta t \rightarrow 0$

Les très petites variations sont notées  $dt, dx, dy, \dots$

donc  $v = \frac{dy}{dt}$  : v est la dérivée de  $y(t)$

Conclusion : un **taux d'accroissement** dont les **variations sont très petites** est égal à une **dérivée**.

### 4. Équation différentielle régissant la diminution de température du local:

$$m_{\text{brique}} \times C_{\text{brique}} \times \Delta T = h \times S \times (T_{\text{ext}} - T) \times \Delta t$$

$$m_{\text{brique}} \times C_{\text{brique}} \times \frac{\Delta T}{\Delta t} = h \times S \times (T_{\text{ext}} - T)$$

On choisit deux dates très proches l'une de l'autre :  $\Delta t \rightarrow 0$

L'équation devient :

$$m_{\text{brique}} \times C_{\text{brique}} \times \frac{dT}{dt} = h \times S \times (T_{\text{ext}} - T)$$

L'inconnue de cette équation est la fonction  $T(t)$ , l'équation possède des constantes et la dérivée de la fonction  $T(t)$ , c'est donc une équation différentielle.

### 5. Résolution de l'équation différentielle :

On sait que l'ED:  $y'(x) = a \cdot y(x) + b$  admet pour solution :  $y(x) = K \cdot e^{ax} - \frac{b}{a}$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{h \times S}{m_{\text{brique}} \times C_{\text{brique}}} \times (T_{\text{ext}} - T)$$

$$\frac{dT}{dt} = a \times (T_{\text{ext}} - T) = -a \cdot T + a \cdot T_{\text{ext}}$$

Par identification :  $T(t) = K \cdot e^{-at} - \frac{a \cdot T_{\text{ext}}}{-a} = K \cdot e^{-at} + T_{\text{ext}}$

6. Valeur de la constante d'intégration K :

Condition initiale : à  $t=0s$ ,  $T(0)=T_0=20^\circ\text{C}$   
or  $T(0)= K.e^{-a.0} + T_{\text{ext}} = K + T_{\text{ext}}$  }  $T_0 = K + T_{\text{ext}}$        $K = T_0 - T_{\text{ext}}$

7. Expression de T(t) :

$$T(t) = (T_0 - T_{\text{ext}}).e^{-a.t} + T_{\text{ext}}$$

8. Graphe de T(t) :  $T(0) = T_0 = 20^\circ\text{C}$

$$T(t_\infty) = T_{\text{ext}} = 5^\circ\text{C}$$

