Cours 1 Généralités

I) Température, échelle de température

1°)Echelle Fahrenheit

Congélation de l'eau saturée en sel → 0°F

Congélation de l'eau pure → 32°F

Ébullition de l'eau pure → 212°F

2°)Echelle centigrade

Congélation de l'eau pure → 0°c

Ébullition de l'eau pure → 100°c

3°)Echelle Celsius

Gaz :

$v = v_0(1+\alpha t)$ et $p = p_0(1+\beta t)$ avec $\alpha = \beta = 1 / 273,15$

Cette échelle commune à tous les gaz a un caractère universel. Elle est appelée échelle centigrade du gaz parfait ou échelle Celsius.

4°)Echelle thermodynamique de Kelvin

Cette échelle (notée T) adoptée en 1954 est définie à partir de l'échelle centigrade du gaz parfait par la relation :

$$T = t + 1/\alpha = t + 273,15$$

5°) Mesure des températures et dilatation

<u>1°) Dilatation linéique</u>

Lorsqu'un solide est soumis à une élévation de température ΔT, son augmentation de longueur ΔL est en première approximation :

$$\Delta L = \alpha . L_0 . \Delta T$$

où α est le coefficient de dilatation linéique, L_0 la longueur initiale à la température T_0.

<u>2°) Dilatation surfacique</u>

$$\Delta S = \gamma . S_0 . \Delta T$$

avec $\gamma = 2\alpha$ pour les matériaux isotropes.

<u>3°) Dilatation volumique</u>

$$\Delta V = \beta . V_0 . \Delta T$$

avec $\beta = 3\alpha$ pour les matériaux isotropes.

II) Chaleur

La chaleur est équivalente à de l'énergie et se mesure donc en Joule (J)

Ancienne unité
La calorie est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1g d'eau pour passer sa température de 14,5°C à 15,5°C. Évidemment on peut convertir cette unité en Joule : 1 calorie = 4,1868 Joule.

Chaleur massique
On observe pratiquement qu' on a proportionnalité entre l'élévation de température et la chaleur reçue par un corps ce qui s'exprime par :

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

Le coefficient de proportionnalité c ainsi défini est appelé chaleur massique.
On rappelle que la notation ΔT désigne toujours T_{finale} -$T_{initiale}$ qui peut être positive ou négative. On rappelle la convention sur la chaleur : elle est considérée comme positive si elle est apportée au corps.
Pour un corps donné, cette chaleur massique peut dépendre de la température, elle est alors notée C_T. On exprime alors la relation de proportionnalité plutôt sous forme différentielle :

$$dQ=m.c_T.dT$$

Chaleur latente

$$l = dQ / dm = Q / m$$

<u>Exemple</u> :

III) Principes de la thermodynamique

1°) Energies et premier principe

On présente les différentes forme d'énergie et leur conversion

2°) Le deuxième principe

Les limites de la conversion des énergies.

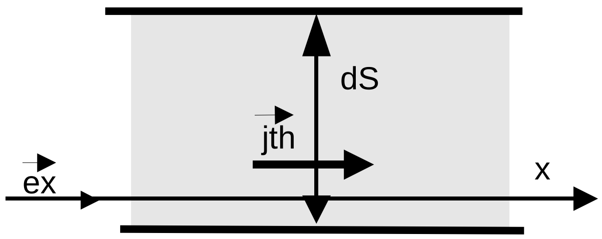
IV) Les transferts de chaleur

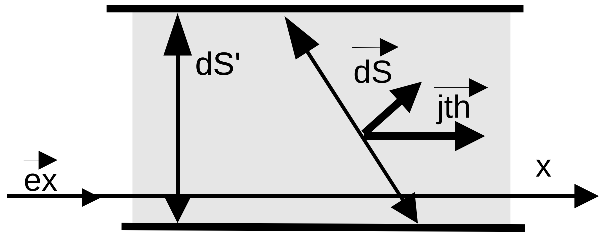
1°) La conduction thermique ou diffusion thermique

2°) La convection

3°) Le rayonnement

V) Conduction thermique : Loi de Fourier





La quantité d'énergie δQ, qui traverse par conduction thermique une surface élémentaire dS perpendiculaire à l'axe (Ox) pendant une durée dt, est d'autant plus importante que dS et dt sont grands : $\delta Q = j_{th}.dS.dt = d\Phi.dt$ avec $d\Phi = j_{th}.dS$.
Dans le cas plus général où la surface n'est pas perpendiculaire au flux thermique, on est obligé d'utiliser la notation vectorielle :

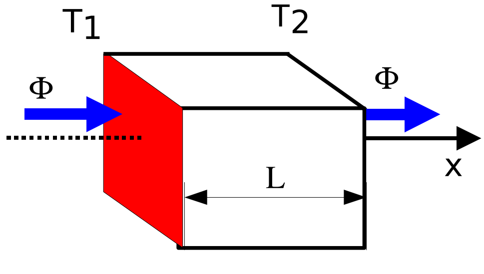
$$d\Phi = \vec{j}\,.\vec{dS}$$

Dans un milieu dont la température T(x,t) varie dans la direction de l'axe (Ox), la conduction se manifeste par l'existence d'un vecteur densité de flux thermique orienté dans le sens des températures décroissantes. Joseph Fourier a observé expérimentalement une relation de proportionnalité entre la densité de flux thermique et la dérivée spatiale de la température :

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} = -k \cdot S \cdot \frac{dT}{dx}$$

k est la conductivité thermique du milieu et se mesure en W/m.K. Φ est donc le flux thermique et se mesure en W.

1°) Résolution de l'équation de Fourier : résistance thermique



Par définition :

$R_{th} = (T_1 - T_2)/\Phi$ en [°C/W ou K/W]

Il vient :

$\Phi = k.S(T_1 - T_2)/L = k.S.(\Delta T/L)$

et surtout :

$R_{th} = (1/k)(L/S)$

$$\boxed{R_{th} = \frac{1}{k} \cdot \frac{L}{S}}$$

2°) Distribution des températures (si Φ se conserve)

L'équation qui régit la distribution de température peut être obtenue en remarquant la conservation du flux thermique Φ. Cela peut naturellement s'écrire :

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d\,\Phi}{dx}=0 \\ &\Phi=\frac{dQ}{dt}=-k\cdot S\cdot\frac{dT}{dx}\end{aligned}\right\} \text{ donne } \quad \frac{d\,\Phi}{dx}=\frac{-d}{dx}k\cdot S\cdot\frac{dT}{dx}=0$$

Attention : cette loi n'est pas générale (c'est l'énergie qui se conserve et non pas Φ).
Si S ne dépend pas de x (parallélépipède, cylindre ...) alors :

$$\frac{d\,\Phi}{dx}=-S\cdot\frac{d}{dx}k\cdot\frac{dT}{dx}=0$$

Si S ne dépend pas de x (parallélépipède, cylindre ...) ainsi que k alors :

$$\frac{d\,\Phi}{dx}=-S\cdot k\frac{d}{dx}\frac{dT}{dx}=0$$

Soit encore $\boxed{\frac{d^2T}{dx^2}=0 \quad \text{S et k indépendant de x et } \Phi \text{ constant}}$

Exemple : (à traiter en cours)
mur de four $k=1{,}7\,Wm^{-1}K^{-1}$, $H=0{,}5m$, $L=3m$, $e=0{,}15m$ $T_1=1400K$, $T_2=1150K$. Montrer $\Phi=4250W$

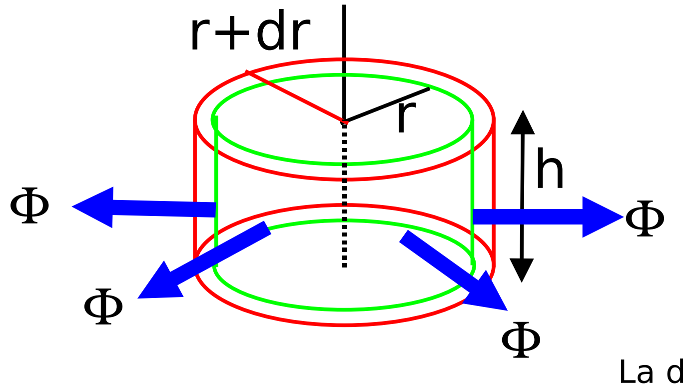
3°) Analogie électrique

4°) Loi de Fourier générale

$$\overrightarrow{grad}\,T=\frac{\partial T}{\partial x}\cdot\vec{i}+\frac{\partial T}{\partial y}\cdot\vec{j}+\frac{\partial T}{\partial z}\cdot\vec{k}$$

$$\vec{J}=\frac{d\,\Phi}{\vec{dS}}=-k\cdot\overrightarrow{grad}\,T \qquad \text{Soit encore} \qquad \Phi=\iiint -k\cdot\overrightarrow{grad}\,T\cdot\vec{dS}$$

Nous allons nous intéresser au cas particulier de cette loi lors d'une symétrie cylindrique



$$\Phi=\frac{dQ}{dt}=-k\cdot S(r)\cdot\frac{dT}{dr}$$

Se résoud

$$\int_{R_1}^{R_2}\Phi\cdot dr=-\int_{T_1}^{T_2}k\cdot 2\pi r\cdot h\cdot dT$$

La distribution de température satisfait :

$$\frac{d\,\Phi}{dr}=-\frac{d}{dr}k\cdot S(r)\cdot\frac{dT}{dr}=0$$

Exemple : (à traiter en cours)

Nous allons nous intéresser au cas particulier de cette loi lors d'une symétrie sphérique.

VI) La convection

La convection est le mode d'échange de chaleur privilégié dans un fluide. Si l'on met en contact un solide et un fluide des phénomènes convectifs vont apparaître. Il faut alors modéliser les échanges thermiques.
Loi de newton: l'échange thermique par convection est proportionnel à la différence de température et à la surface : $\Phi = h_c.S(T_2 - T_1)$ (A comparer à $\Phi = (1/k).S.(T_2 - T_1)/L$ pour la résistance thermique)
T_1: température du solide, T_2 : température du fluide loin de la paroi.
Pour cette loi, seule compte la différence de température et non plus le gradient de température.
h_c est un coefficient de convection qui dépend des matériaux en contact, de l'état de surface , du type d'écoulement fluide.
air en convection libre : h_c= 6 à 30 W/m^2.°C.
air en convection forcée : 30 à 300 selon la vitesse d'écoulement.
huile en convection forcée : 60 à 1 800.
eau en convection forcée : 300 à 12 000.
vapeur d'eau en condensation sur une surface froide : 6 000 à 120 000.

Loi générale: souvent la convection naturelle est mieux traduite par la formule suivante:
$\Phi = h_c.S\,(T_2 - T_1)^{1.25}$ mais on utilisera dans la suite toujours la loi de Newton.

Résistance thermique équivalente

VII) Le rayonnement

Les lois du rayonnement mettent en jeu aussi deux températures. La première sera Ts, la température de la surface qui nous intéresse et la deuxième sera Tsurf, température de la surface entourant notre surface.

$$\phi = \epsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_s^4 - T_{surf}^4)$$

Exemple

Un tuyau (Diamètre D=70mm) non isolé traverse pièce (mur et air T=25°C). Surface du tuyau, température T_S=200°C émissivité ε=0,8 Coefficient de convection h_{air}=15W/m^2. Quel est le flux d'émission par unité de longueur ?
(Rep=998 W/m)