Exercice 01 :

La température d'un corps est 20 °C. Quelle est sa température en °K et en °F ?

La température en degré Kelvin :

T(K°) = T(°C) + 273

T(K°) = 20 + 273 = 293K°

La température en degré Fahrenheit :

$$T(°F) = \frac{9}{5}T(°C) + 32$$

$$T(°F) = \frac{9}{5}.20 + 32 = 68°F$$

Exercice 02 :

Quelle est la quantité de chaleur équivalente à 8,3 KJ ?
Exprimer 1 Kcal/heure en Watts.

Conversion du Joule au calorie :

Q = 8,3 KJ

1 cal = 4,18 J

Alors 8,3 KJ = 8,3. 1000 KJ = 8300 /4,18 cal = 1985 cal = 1,985 Kcal ≈ 2 Kcal
1 Kcal /heure = 1000/3600 (cal/s) = 1000.4,18 /3600 (J/s) = 4180/3600 watts = 1,16 watts.

Exercice 03 :

Déterminer la chaleur massique d'un corps de masse 10 Kg, si pour élever sa température de 10 °C, il faut une quantité de chaleur de 100 Kcal ?

Rappel :

La chaleur massique, chaleur spécifique, chaleur spécifique thermique ou encore capacité calorifique, désignée par C, par C_p à pression constante ou C_v à volume constant.
On définit la quantité de chaleur apportée à un corps par :

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

M : Masse du corps.

C : Capacité calorifique ou Chaleur massique.

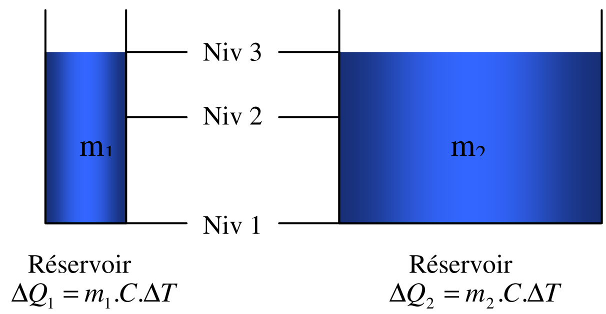
ΔT : Ecart de température.

Remarque :

La température *est le niveau auquel se trouve l'agitation thermique d'un corps.*

La Chaleur *est l'énergie (apportée ou enlevée) (à/d'un) corps pour (augmenter/diminuer respectivement) sa température.*

C'est comme le cas de deux réservoirs d'eau de capacités différentes et de même hauteur. Pour avoir le même niveau d'eau dans les deux réservoirs, on doit apporter différentes quantités d'eau dans les deux. Donc, le réservoir de grande capacité nécessite une grande quantité pour atteindre le même niveau que dans le petit réservoir.
De la même façon, si on veut augmenter la température (de T à T') des deux quantités d'eau dans les deux réservoirs, on doit apporter beaucoup plus de la chaleur au contenu du deuxième réservoir que celle apportée au petit (premier réservoir).



Dans l'exercice :

$$\Delta Q = m.C.\Delta T \Rightarrow C = \frac{\Delta Q}{m.\Delta T} = \frac{100.1000}{10.10} = 1000\frac{cal}{Kg.°C} = 1\frac{Kcal}{Kg.°C}$$

Exercice 4 :

Déterminer la quantité de chaleur ΔQ échangée par heure à travers une paroi de surface S=1 m^2, sou un écart de température de 20 °C.

Le coefficient de transmission de la chaleur de la paroi $k = 1{,}5\frac{W}{m^2.°C}$

Rappel :

Flux de chaleur :

On définit le flux par la loi suivante :

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = k.S.\Delta T \text{ en (J/s) ou Watt.}$$

Avec, K : Coefficient de transmission de la chaleur, S : la surface d'échange et ΔT : Ecart de température.

Rapporté à la surface, on définit la densité du flux :

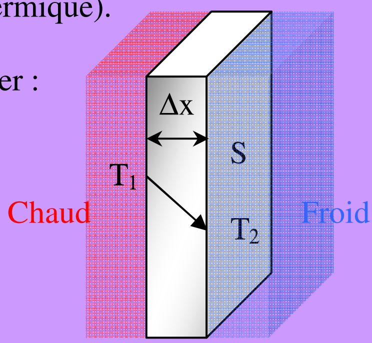
$$\varphi = k.\Delta T \text{ en W/m}^2.$$

Le transfert thermique s'effectue par trois modes :

1. Par conduction : La chaleur se transmet du corps chaud au corps froid par le contact direct : Molécules et atomes (en agitation thermique ou vibration thermique).

La loi de transfert de chaleur par conduction ou loi de Fourrier :

$$\Phi = -\lambda.S.\frac{\Delta T}{\Delta x}$$



λ : Coefficient de conductibilité thermique en $\frac{W}{m.°C}$.

$\Delta T = T_2 - T_1$. Cette différente est négative, ce qui explique le signe de Φ dans la loi de Fourrier.

En comparaison avec la loi de transfert de la chaleur universelle : $\varphi = k.\Delta T$, on conclut que : $K = \frac{\lambda}{\Delta x}$ est exprimé en $\frac{W}{m^2.°C}$.

2. Par convection : La chaleur se transmet du corps chaud au corps froid par un fluide. Pour la convection, on définit la loi de Newton :

$\Phi = h.S.\Delta T$, h : Coefficient de transmission de la chaleur par convection, exprimé en $\frac{W}{m^2.°C}$. Il dépend du fluide et de l'orientation du jet par rapport à la surface.

3. Par rayonnement : A travers les photons ou ondes électromagnétiques de différentes longueur d'ondes. Tout corps, à une température supérieur à 0 K°, émet un rayonnement et donc, une chaleur. Exemple : rayonnements solaires.

Pour étudie le phénomène, on doit définir le corps noir, opaque et transparent. Et on étudie les rayons lumineux : incidents, réfléchis, absorbés et émis. Pour cela, ils existent différentes lois qu'on trouve dans la littérature scientifique.

Dans l'exercice :
Le flux de la chaleur échangée :
$\Phi = k.S.\Delta T = 1{,}5.1.20 = 30$ W.
La puissance ou énergie échangée par heure :
$\Delta Q = \Phi.\Delta T = 30.3600 = 108000$ J= 108 KJ.

Exercice 05 :
Quelles longueurs initiales l_{01} et l_{02} à 0 °C doivent avoir respectivement une tige d'acier et une tige de cuivre pour que leur différence de longueur Δl soit toujours égale à 10 cm et ce quelque soit leur température ?
On donne $\alpha_{acier} = 1{,}2.10^{-5}\left(\frac{1}{°K}\right)$ et $\alpha_{cuivre} = 1{,}7.10^{-5}\left(\frac{1}{°K}\right)$.

Rappel :
Dilatation et compression :
Les corps se dilatent et se compriment avec l'augmentation ou la diminution de la température selon les lois suivantes :
Dilatation linéaire :
$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} = \alpha_l.\Delta T$ ou $l - l_0 = l_0.\alpha_l.\Delta T$ ou encore : $l = l_0(1 + \alpha_l.\Delta T)$, avec l_0, l : longueurs avant et après dilatation. α_l : Coefficient de dilatation linéaire, dépendant du matériau.
Dilatation surfacique :
$\frac{\Delta s}{s_0} = \frac{s - s_0}{s_0} = \alpha_s.\Delta T$ ou $s - s_0 = s_0.\alpha_s.\Delta T$ ou encore : $s = s_0(1 + \alpha_s.\Delta T)$, avec s_0, s : surfaces avant et après dilatation. α_s : Coefficient de dilatation surfacique, dépendant du matériau.
Dilatation volumique :
$\frac{\Delta v}{v_0} = \frac{v - v_0}{v_0} = \alpha_v.\Delta T$ ou $v - v_0 = v_0.\alpha_v.\Delta T$ ou encore : $v = v_0(1 + \alpha_v.\Delta T)$, avec v_0, v : volumes avant et après dilatation. α_v : Coefficient de dilatation volumique, dépendant du matériau.

Dans l'exercice :
Avant de formuler les équations, il est important de réfléchir à la façon avec laquelle les deux tiges d'acier doivent avoir la même longueur à n'importe quelle température. Alors, qu'on sait que le cuivre se dilate plus rapidement que l'acier, donc, il est évident que le choix s'effectue dans la logique d'avoir la tige d'acier, initialement plus longue que celle du cuivre. Et donc, la quantité : $\Delta l = l_{Ac} - l_{Cu} = l_{0Ac} - l_{0Cu}$ sera positive.
On travaille avec la dilatation linéaire, puisque, il s'agit de déterminer les longueurs.

$$l_{Ac} - l_{0Ac} = l_{0Ac}.\alpha_{lAc}.\Delta T \qquad (1)$$
$$l_{Cu} - l_{0Cu} = l_{0Cu}.\alpha_{lCu}.\Delta T \qquad (2)$$

Faisons la soustraction : (1) – (2) :
$(l_{Ac} - l_{Cu}) - (l_{0Ac} - l_{0Cu}) = (l_{0Ac}.\alpha_{lAc} - l_{0Cu}.\alpha_{lCu})\Delta T = 0$, car : $l_{Ac} - l_{Cu} = l_{0Ac} - l_{0Cu}$
D'où, d'une part :

$$l_{0Ac}.\alpha_{lAc} - l_{0Cu}.\alpha_{lCu} = 0 \text{, soit : } \frac{l_{0Ac}}{l_{0Cu}} = \frac{\alpha_{lCu}}{\alpha_{lAc}} \qquad (3)$$

Et d'autres part :

$$\Delta l = l_{0Ac} - l_{0Cu} = \frac{\alpha_{lCu}}{\alpha_{lAc}}.l_{0Cu} - l_{0Cu} \Rightarrow l_{0Cu} = \frac{\alpha_{lAc}}{\alpha_{lCu} - \alpha_{lAc}}.\Delta l \qquad (4)$$

De même (d'après l'équation (3) , on trouve :

$$l_{0Ac} = \frac{\alpha_{lCu}}{\alpha_{lCu} - \alpha_{lAc}}.\Delta l \qquad (5)$$

A.N. :

$$l_{0Cu} = \frac{\alpha_{lAc}}{\alpha_{lCu} - \alpha_{lAc}}.\Delta l = \frac{1{,}2.10^{-5}}{1{,}7.10^{-5} - 1{,}2.10^{-5}}.0{,}01 = 0{,}075m = 75cm$$

$$l_{0Ac} = \frac{\alpha_{lCu}}{\alpha_{lCu} - \alpha_{lAc}}.\Delta l = \frac{1{,}5.10^{-5}}{1{,}7.10^{-5} - 1{,}2.10^{-5}}.0{,}01 = 0{,}085m = 85cm$$

Vérification : $\Delta l = l_{0Ac} - l_{0Cu} = 0{,}085 - 0{,}075 = 0{,}01m$

Exercice 06 :

Un bidon métallique de volume 20l, de coefficient de dilatation linéaire $\alpha = 1{,}2.10^{-5}\left(\frac{1}{°K}\right)$ est totalement rempli d'un liquide ayant coefficient de dilatation volumique $\alpha_v = 10^{-3}\left(\frac{1}{°K}\right)$. Le remplissage du bidon s'est fait à une température de 10 °C. On déplace le bidon vers un endroit où la température est de 30 °C.

Déterminer la variation de transmission de masse du bidon rempli.

En supposant pour faciliter le calcul, que le bidon a une forme d'un cube, de côté a, initialement a_0 et d'un coefficient de dilatation linéaire α_b, la dilatation linéaire du coté du bidon est :

$$a - a_0 = a_0.\alpha_b.\Delta T \text{ ou } a = a_0(1 + \alpha_b.\Delta T) \qquad (1)$$

D'où, la dilatation en volume pour le bidon, et donc, pour sa capacité, sera :

$$a^3 = (a_0)^3(1 + \alpha_b.\Delta T)^3 \qquad (2)$$

Le volume du liquide que contient le bidon est v, initialement v_0. Alors, sa dilatation volumique est :

$$v = v_0(1 + \alpha_v.\Delta T) \qquad (3)$$

Initialement, le volume du bidon est égal au volume du liquide :

$$v_0 = (a_0)^3 \qquad (4)$$

Après dilatation, le volume du liquide déversé est :

$$v_{dév} = v - a^3 = v_0(1 + \alpha_v.\Delta T) - (a_0)^3(1 + \alpha_b.\Delta T)^3$$

$$v_{dév} = v_0(1 + \alpha_v.\Delta T) - v_0(1 + \alpha_b.\Delta T)^3$$

$$v_{dév} = v_0\left[(1 + \alpha_v.\Delta T) - (1 + \alpha_b.\Delta T)^3\right] \qquad (6)$$

A.N. :

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 30 - 10 = 20°C = 303 - 393 = 20K°$$

$$v_{dév} = v_0\left[(1 + \alpha_v.\Delta T) - (1 + \alpha_b.\Delta T)^3\right] = 20.10^{-3}\left[(1 + 10^{-3}.20) - (1 + 1{,}2.10^{-5}.20)^3\right]$$

$v_{dév}$ =0,000385597 m^3=0,38 l.

Exercice 07 :

Déterminer le coefficient de transmission thermique K d'un mur constitué de :

- Plâtre : e = 1,5 cm ; λ = 0,52 $\left(\dfrac{W}{m.°K}\right)$.
- Isolation : e = 4 cm ; λ = 0,04 $\left(\dfrac{W}{m.°K}\right)$.
- Briques pleines (1700 Kg/m^3) : e = 9 cm ; λ = 0,66 $\left(\dfrac{W}{m.°K}\right)$.

On donne : $\alpha = 23\left(\dfrac{W}{m^2.°K}\right)$ et $\alpha = 8\left(\dfrac{W}{m^2.°K}\right)$.

Rappel

Transfert thermique dans le cas multicouches :

Dans le cas du transfert thermique à travers plusieurs couches, on procède au calcul de la densité du flux couche par couche.

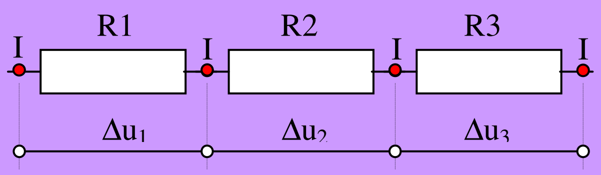
La convection est un échange de l'énergie entre la surface d'un mur, par exemple, et le fluide. Cet échange est caractérisé par un coefficient d'échange *h*. C'est dire que la surface externe du mur extérieur atteint le niveau de température T_1, alors que le fluide ou l'air à l'extérieur est caractérisé par un niveau T_{ext} de température. De la même façon, Le fluide ou l'air à l'intérieur du local reçoit une température T_{int} alors que la température de la surface interne du mur est T_4.

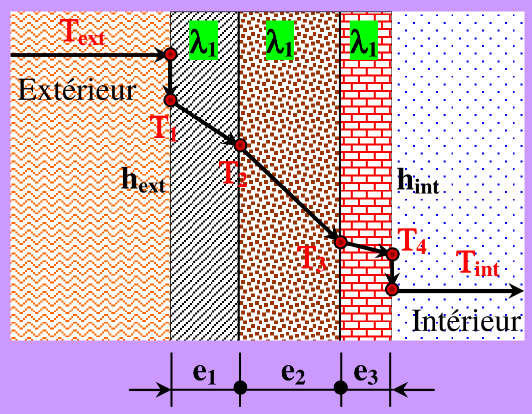
Le coefficient de transmission de chaleur de l'ensemble est K. Alors, la densité du flux est :

$$\varphi = K.\Delta T \qquad (1)$$

$$\Delta T = T_{ext} - T_{int}$$

Comme dans l'électricité, le courant électrique traversant un conducteur qui contient plusieurs résistance en série est le même dans n'importe quel point du conducteur. Alors, que la différence de potentiel est différente d'un point à un autre (fig).





$$\Delta u = \Delta u_1 + \Delta u_2 + \Delta u_3$$

$$I = \frac{\Delta u_1}{R1} = \frac{\Delta u_2}{R2} = \frac{\Delta u_3}{R3}$$

$$\Delta u = R.I = I.(R1 + R2 + R3) \Rightarrow I = \frac{\Delta u}{R} = \frac{\Delta u}{R1 + R2 + R3}$$

De même en thermique :

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = (T_1 - T_2) + (T_2 - T_3) + (T_3 - T_4) = T_1 - T_4$$

$\varphi = \dfrac{\Phi}{S} = \dfrac{\Delta Q}{S.\Delta t} = h.\Delta T$ pour la convection $\varphi = \dfrac{\lambda}{e}.\Delta T$ pour la conduction.

$\varphi = \dfrac{\Delta T1}{R_{th1}} = \dfrac{\Delta T2}{R_{th2}} = \dfrac{\Delta T3}{R_{th3}}$, avec $R_{thi} = \dfrac{e_i}{\lambda_i}$ pour la conduction et $R_{thi} = \dfrac{1}{h_i}$ pour la convection.

R_{th} : appelé résistance thermique.

Alors :

$$\Delta T = \varphi.(R_{th1} + R_{th1} + R_{th1}) \ \Rightarrow \ \varphi = \frac{\Delta T}{R_{th1} + R_{th1} + R_{th1}}.$$

Dans le cas de la fig. :

Nous avons deux échanges en convection et trois échanges en conduction :

$$\varphi = h_{ext}.\Delta T_e = \frac{\lambda_1}{e_1}.\Delta T_1 = \frac{\lambda_2}{e_2}.\Delta T_2 = \frac{\lambda_3}{e_3}.\Delta T_3 = h_{\text{int}}.\Delta T_i \text{, avec : } \Delta T_e = T_{ext} - T_1 \text{ et } \Delta T_i = T_4 - T_{\text{int}}$$

D'où :

$$\varphi = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{\lambda_1}{e_1} + \frac{\lambda_2}{e_2} + \frac{\lambda_3}{e_3} + \frac{1}{h_{\text{int}}}} \text{, avec } \Delta T = \Delta T_e + \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_i = T_{ext} - T_{\text{int}}$$

Alors : $\varphi = K.\Delta T = \dfrac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{\lambda_1}{e_1} + \frac{\lambda_2}{e_2} + \frac{\lambda_3}{e_3} + \frac{1}{h_{\text{int}}}}.(T_{ext} - T_{\text{int}})$

$K = \dfrac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{\lambda_1}{e_1} + \frac{\lambda_2}{e_2} + \frac{\lambda_3}{e_3} + \frac{1}{h_{\text{int}}}}$: Le coefficient de transmission de chaleur équivalent.

A.N. :

$K = \dfrac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0,52}{1,5.10^{-2}} + \frac{0,04}{4.10^{-2}} + \frac{0,66}{9.10^{-2}} + \frac{1}{8}} = 0,023 \ \dfrac{W}{m^2.K}$ (A vérifier).

Document en ébauche. Prière m'aider à corriger les erreurs.

Chargé du module : OMAR El-Hadj
www.hajomar.com/jpa