

	Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable		
	Cours Thermique		
	Champs Commun	Cours 01	Terminale

## 1. Introduction

L'objectif de cette séquence est d'étudier la manière dont est transmise l'énergie de manière à optimiser l'efficacité des systèmes. L'énergie est présente sous plusieurs formes, nous nous intéresserons plus particulièrement ici à l'énergie Thermique.

## 2. Les notions de la thermique

### 2.1. La chaleur

La chaleur est l'énergie liée à l'agitation des molécules constituant la matière.

Cette agitation se mesure par la température, et la chaleur est reliée à l'énergie fournie ou reçue lors de la modification de l'état de la matière.

Deux modifications d'état sont à distinguer :

#### ➤ L'augmentation de température associée à la chaleur sensible.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [J]$$

- m la masse de matière [kg];
- Cp la chaleur spécifique ou capacité calorifique massique [J/(kg.K)]
- ΔT la variation de température subie [K]

#### ➤ Le changement de phase associé à la chaleur latente [L].

$$Q = m \cdot L \quad [J]$$

- L [J/kg] la chaleur latente associée au changement de phase - m la masse de matière [kg]

### 2.2. La température

La température se déplace toujours de la source chaude vers la source froide.

Il existe différentes échelles pour exprimer la température, voici les principales :

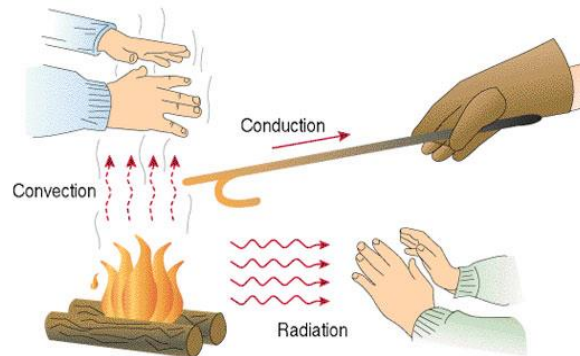
- Le degré Celsius (°C)    0 °C .....
- Le kelvin (K)    0 °C = + 273,15 K .....
- Le degré fahrenheit (°F) 0 °C = 32 °F (expression : °F = 1,8 x °C + 32)



### 3. Modes de transfert de chaleur

La chaleur passe naturellement de zones chaudes aux zones froides, en utilisant essentiellement quatre modes de transport :

- Conduction
- Convection
- Rayonnement



#### 3.1. Conduction

Transmission de proche en proche de l'agitation moléculaire par chocs entre molécules

$$\Phi = \frac{\lambda}{e} * S * (T1 - T2) \text{ [W]}$$

$\Phi$ : Flux de chaleur ou la puissance [W]

$\lambda$ : Est la conductivité du matériau [W/(m\*K)]

$e$  : la distance entre les deux points considérés [m]

$S$  : surface de contact [m<sup>2</sup>]

$T1$  et  $T2$  : température des points en [K]

#### 3.2. Convection

Transport de chaleur par transport (naturel ou forcé) de matières chaudes vers une zone froide ou vice versa. Transfert entre un solide et un fluide.

$$\Phi = hc * S * (T1 - T2) \text{ [W]}$$

$\Phi$ : Flux de chaleur [W]

$hc$ : Est le coefficient d'échange (fonction de la nature du fluide, des températures  $T1$   $T2$ ...) conductivité du matériau [W/(m<sup>2</sup>\*K)]

$e$  : la distance entre les deux points considérés [m]

$S$  : surface de contact [m<sup>2</sup>]

$T1$  et  $T2$  : température des points en [K]

### 3.3. Rayonnement

Transport de chaleur par émission et absorption de rayonnement électromagnétique par les surfaces des corps. Transfert à distance dit instantané (car à vitesse de la lumière dans le vide soit  $3 \cdot 10^8$  [m/s]) sans contact (propagation dans le vide possible).

$$\Phi = \varepsilon * \sigma * S * (T_1^4 - T_2^4) \text{ [W]}$$

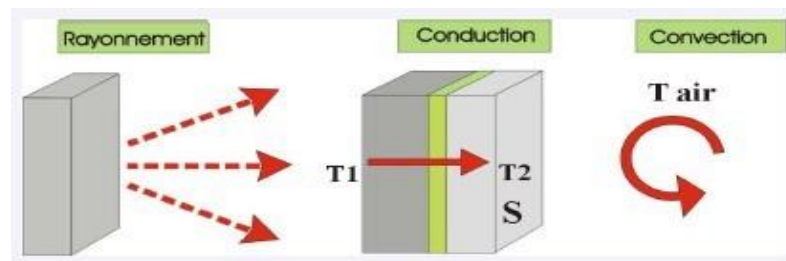
$\Phi$ : Flux de chaleur [W]

$\varepsilon$ : Émissivité équivalente entre les parois 1 et 2 [sans unité ; varie de 0 à 1]

$\sigma$ : Constante de Boltzmann  $K_b = 1,38064852 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$

$S$ : surface de contact [ $\text{m}^2$ ]

$T_1$  et  $T_2$ : température des points en [K]



## 4. Résistance thermique

### 4.1. La résistance thermique par conduction

$$R = \frac{e}{\lambda} \text{ [(m}^2\text{*K)/W]}$$

$\lambda$ : Est la conductivité du matériau [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]

$e$ : la distance entre les deux points considérés [m]

### 4.2. La résistance thermique par convection

$$R = \frac{1}{h} \text{ [(m}^2\text{*K)/W]}$$

$h$ : Coefficient d'échange thermique par convection ( $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ).

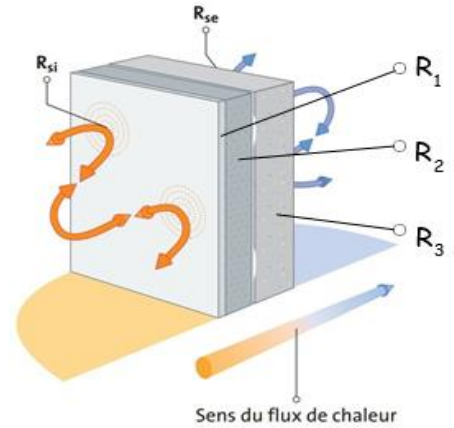
### 4.3. Coefficient de transmission surfacique

$$U = \frac{1}{R} \text{ [W}/(\text{m}^2\text{*K})]$$

#### 4.4. Résistance thermique totale : Rt

La résistance thermique totale d'un élément exprime sa **résistance** au passage d'un flux de conduction **thermique**.

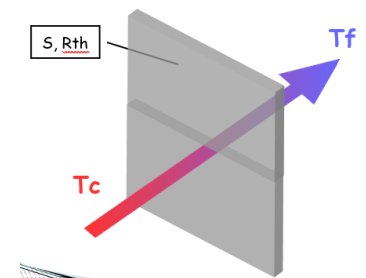
$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se}$$



### 5. Le flux thermique

Est le flux traversant une paroi de surface S, de résistance thermique Rth située entre 2 locaux dont les températures sont respectivement Tc et Tf

$$\Phi = \frac{S}{R_{th}} (T_c - T_f) \text{ [W]}$$



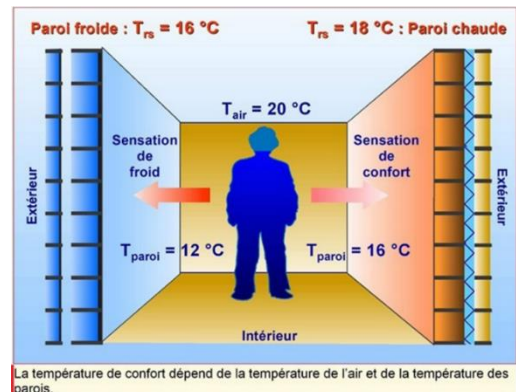
5.1. La densité de flux thermique  $\phi$  est le flux surfacique traversant une paroi.

$$\phi = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{R_{th}} \cdot (T_c - T_f) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

### 6. Le confort thermique

Le confort thermique peut se définir comme la sensation de bien-être ressentie dans une ambiance donnée.

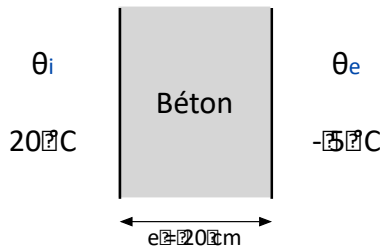
$$T_{confort} = \frac{T_{air} + T_{paroi}}{2}$$



## 7. Application

### Exercice 01 :

-Déterminez la densité de flux thermique  $\phi$  (flux surfacique) perdu par la paroi suivante :



Nature du corps	Masse volumique	Chaleur massique	Conductivité thermique
Notation	$\rho$	$C$	$\lambda$
Unité	$\text{kg} / \text{m}^3$	$\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$	$\text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
Argent	10500	230	418
Cuivre	8940	380	389
Aluminium	2700	860	200
Acier	7850	490	46
Béton	2300	960	0,92
Verre	2530	840	1,20
Polystyrène	44		0,025
Laine de verre	200	0,67	0,040

$$\phi = \Delta\theta \cdot \lambda / e$$

$$\phi = (\theta_i - \theta_e) \cdot \lambda / e \quad \phi = (20 + 5) \cdot 0,92 / 0,2 \quad \phi = 115 \text{ W/m}^2$$

On suppose qu'il s'agit d'un appartement de  $70 \text{ m}^2$  situé dans les étages (avec aucune perte par le plancher ni par le plafond) et présentant un contact avec l'extérieur de  $17 \text{ m}$  de long (on néglige l'effet des fenêtres ou portes fenêtres et les ponts thermiques) et de  $2,7 \text{ m}$  de hauteur.

-Calculer la puissance totale du dispositif de chauffage qu'il faut installer afin de maintenir la température intérieure à  $20^\circ\text{C}$ .

$$\phi = \Phi / S$$

$$\Phi = \phi \cdot S \quad \Phi = 115 \cdot 17 \cdot 2,7 \quad \Phi = 5278,5 \text{ W}$$

On isole les parois donnant sur l'extérieur à l'aide d'un polystyrène de  $10 \text{ cm}$  d'épaisseur placé sur l'extérieur (diminution des ponts thermiques).

- Déterminer la résistance thermique de l'ensemble béton et polystyrène.

$$R_{th} = e_B / (\lambda_B \cdot S) + e_P / (\lambda_P \cdot S) \quad R_{th} = (1 / S) \cdot [(e_B / \lambda_B) + (e_P / \lambda_P)]$$

$$R_{th} = (1 / (17 \cdot 2,7)) \cdot [(0,2 / 0,92) + (0,1 / 0,025)] \quad R_{th} = 91,9 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

- Déterminer la puissance de chauffage nécessaire afin de maintenir la température ambiante à  $20^\circ\text{C}$  dans ces nouvelles conditions ?

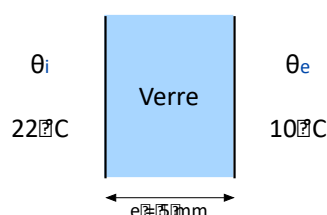
$$\phi = \Delta\theta / R_{th} \quad \phi = 25 / (91,9 \cdot 10^{-3}) \quad \phi = 272 \text{ W}$$

### Exercice 2 :

Soit un vitrage simple d'épaisseur  $e = 5 \text{ mm}$ , de coefficient de conductibilité  $\lambda = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ .

La température de surface du vitrage intérieure est  $\theta_i = 22^\circ\text{C}$ , la température de surface du vitrage extérieure  $\theta_e = 10^\circ\text{C}$ .

- Réaliser un schéma explicatif.



- Calculer la résistance thermique du vitrage d'une surface de  $S = 10 \text{ m}^2$ .

$$R_{th} = e / (\lambda \cdot S) \quad R_{th} = 0,005 / (1,15 \cdot 10) \quad R_{th} = 0,4348 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

- Déterminer le flux thermique  $\phi$  dissipé à travers la paroi d'une surface de  $S = 10 \text{ m}^2$ .

$$\phi = (\theta_i - \theta_e) / R_{th} \quad \phi = (22 - 10) / (0,4348 \cdot 10^{-3}) \quad \phi = 27,6 \text{ kW}$$

- Réaliser le schéma pour une vitre double vitrage d'épaisseurs ( $e_{\text{verre}} = 5 \text{ mm}$  et  $e_{\text{Argon}} = 8 \text{ mm}$ ).



- En déduire l'expression de la résistance totale.

$$R_{th\text{totale}} = R_{th\text{verre}} + R_{th\text{Argon}} + R_{th\text{verre}}$$

- Calculer sa valeur sachant que  $\lambda_{\text{Argon}} = 0,01772 \text{ W/(m.K)}$ .

$$R_{th\text{verre}} = e / (\lambda \cdot S) \quad R_{th\text{verre}} = 0,005 / (1,15 \cdot 10) \quad R_{th\text{verre}} = 0,4348 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

$$R_{th\text{argon}} = e / (\lambda \cdot S) \quad R_{th\text{argon}} = 0,008 / (0,01772 \cdot 10) \quad R_{th\text{argon}} = 45,1 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

$$R_{th\text{totale}} = 0,4348 \cdot 10^{-3} + 45,1 \cdot 10^{-3} + 0,4348 \cdot 10^{-3} \quad R_{th\text{totale}} = 46 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

.....

- Déterminer le flux thermique nécessaire au maintien d'une température intérieure de  $20^\circ\text{C}$

$$\phi = (\theta_i - \theta_e) / R_{th} \quad \phi = (20 - 10) / (46 \cdot 10^{-3}) \quad \phi = 217,4 \text{ W}$$

.....

- Conclure sur la nécessité de bien étudier l'isolation d'un habitat.

Pour maintenir la température intérieure au sein de l'appartement à  $20^\circ\text{C}$  avec une température extérieure de  $10^\circ\text{C}$ , il serait nécessaire sans aucune isolation et avec de simples vitrages d'avoir un flux permanent de  $27,6 \text{ kW}$ , alors qu'avec une isolation extérieure, une température intérieure abaissée à  $20^\circ\text{C}$  et des doubles vitrages de qualité, il ne faudra plus  $217,4 \text{ W}$  soit une réduction énergétique de  $126$ .