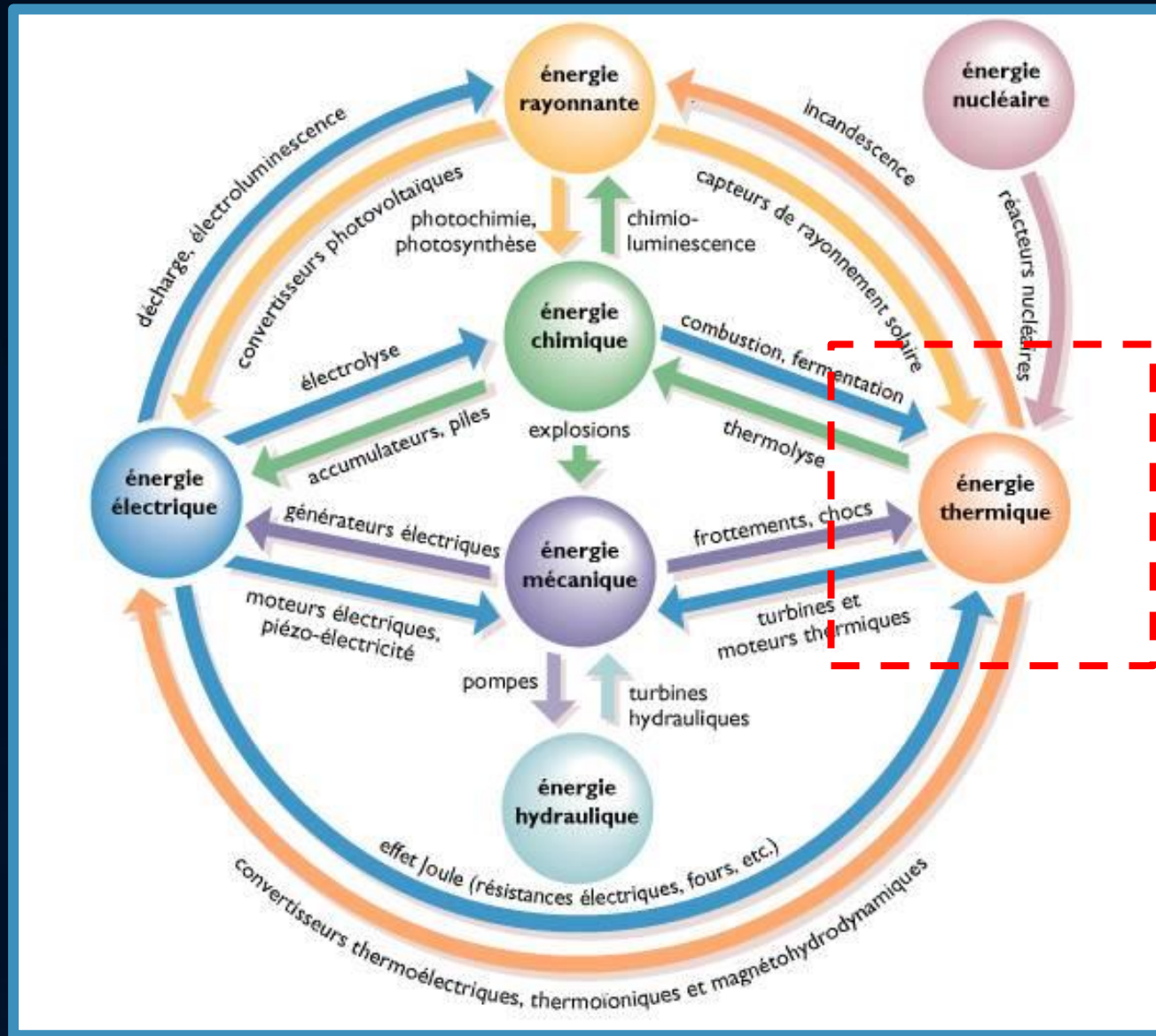


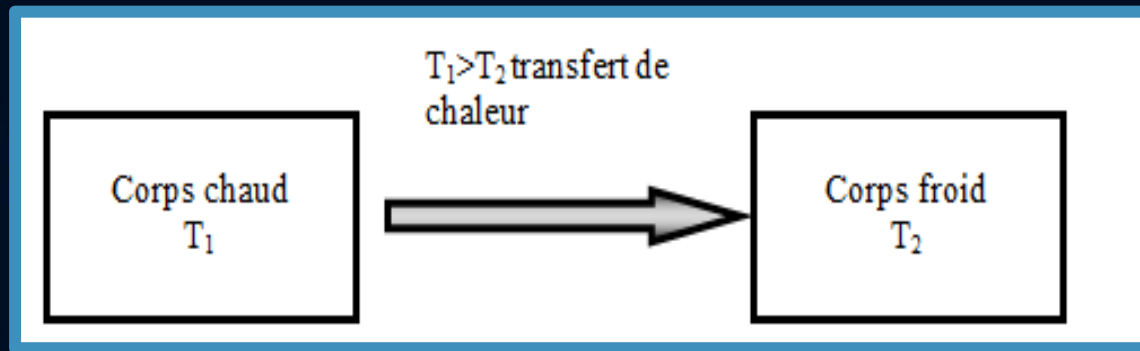
Les transferts thermiques

1^{ÈRE} STIDD - ETT



Les transferts thermiques sont très importants dans le domaine de l'énergie. Ils sont présents dans tous les systèmes thermiques (installations thermiques, PAC, chaudière, habitation).

1. Les différents modes de transferts de chaleur

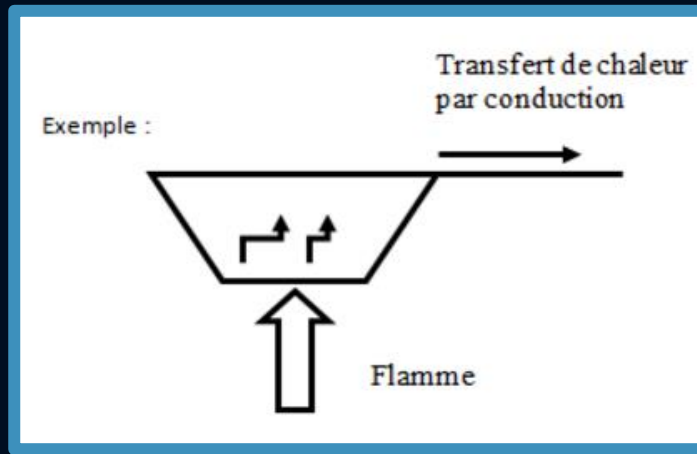


Tant que les 2 éléments sont en liaison entre eux, il y a échange de la chaleur jusqu'à ce que les 2 corps soient à la même température ($T_1 = T_2$).

Le transfert d'énergie ou de chaleur mentionné ci-dessus peut se produire selon 3 modes :

- Par contact : la conduction
- A distance : le rayonnement
- Mixte : la convection

1.1. La conduction :



Définition : La conduction est l'échange de chaleur entre 2 points d'un même solide (ou alors d'un même liquide au repos).

Le coefficient de conductivité thermique :

Définition : Le coefficient de conductivité thermique est une caractéristique physique du matériau qui exprime la capacité d'un corps à conduire la chaleur.

Il est noté λ et son unité est le $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

| Matériau | Conductivité thermique λ [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$] |
|---------------------|--|
| Béton armé | 1,75 |
| Laine de verre | 0,036 |
| Polystyrène extrudé | 0,035 |
| Verre | 1 |

La résistance thermique :

Définition : La résistance thermique d'un matériau exprime la capacité du matériau à s'opposer au flux de chaleur qui le traverse.

Elle est notée **R** son unité est $\text{m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$.

La résistance thermique pour la conduction est alors équivalente à : $R_{cd} = \frac{e}{\lambda}$

Le coefficient de transmission thermique surfacique :

Le coefficient de transmission thermique surfacique est l'inverse de la résistance thermique.

Ce coefficient est noté **U** son unité est le $\text{W}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

$$U = \frac{1}{R}$$

Le flux thermique par conduction :

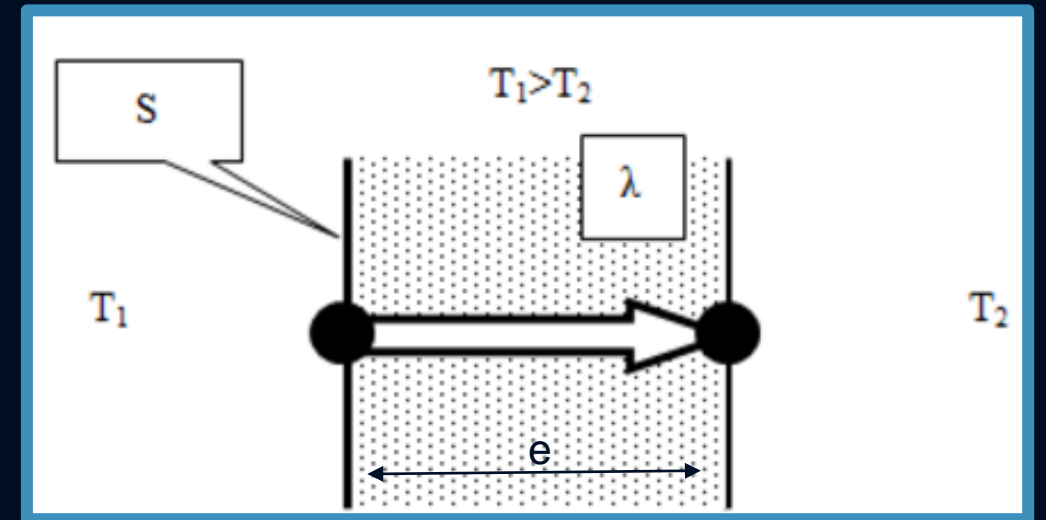
Il s'exprime en Watt :

$$\phi_{cd} = U \times S \times (T_1 - T_2)$$

Avec U le coefficient de transmission surfacique

S la surface d'échange en m^2 .

$T_1 - T_2$ l'écart de température entre les points 1 et 2.



Exercice 1 :

Soit un vitrage simple d'épaisseur 5 mm, de coefficient de conductibilité $\lambda = 1,15 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. La température de surface du vitrage intérieure est 22°C , la température de surface du vitrage extérieure 10°C .

- Calculer la résistance thermique du vitrage.
- Déterminer le flux thermique dissipé à travers ce vitrage pour une surface de 10 m^2 .

Exercice 2 :

La déperdition thermique d'un mur en béton de 30 m^2 de surface est 690 W . Le mur a une épaisseur de 10 cm et la température de sa face intérieure est 25°C .

- Calculer la température de la face extérieure. On donne $\lambda_{\text{béton}} = 1,75 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

1.2. Le rayonnement :

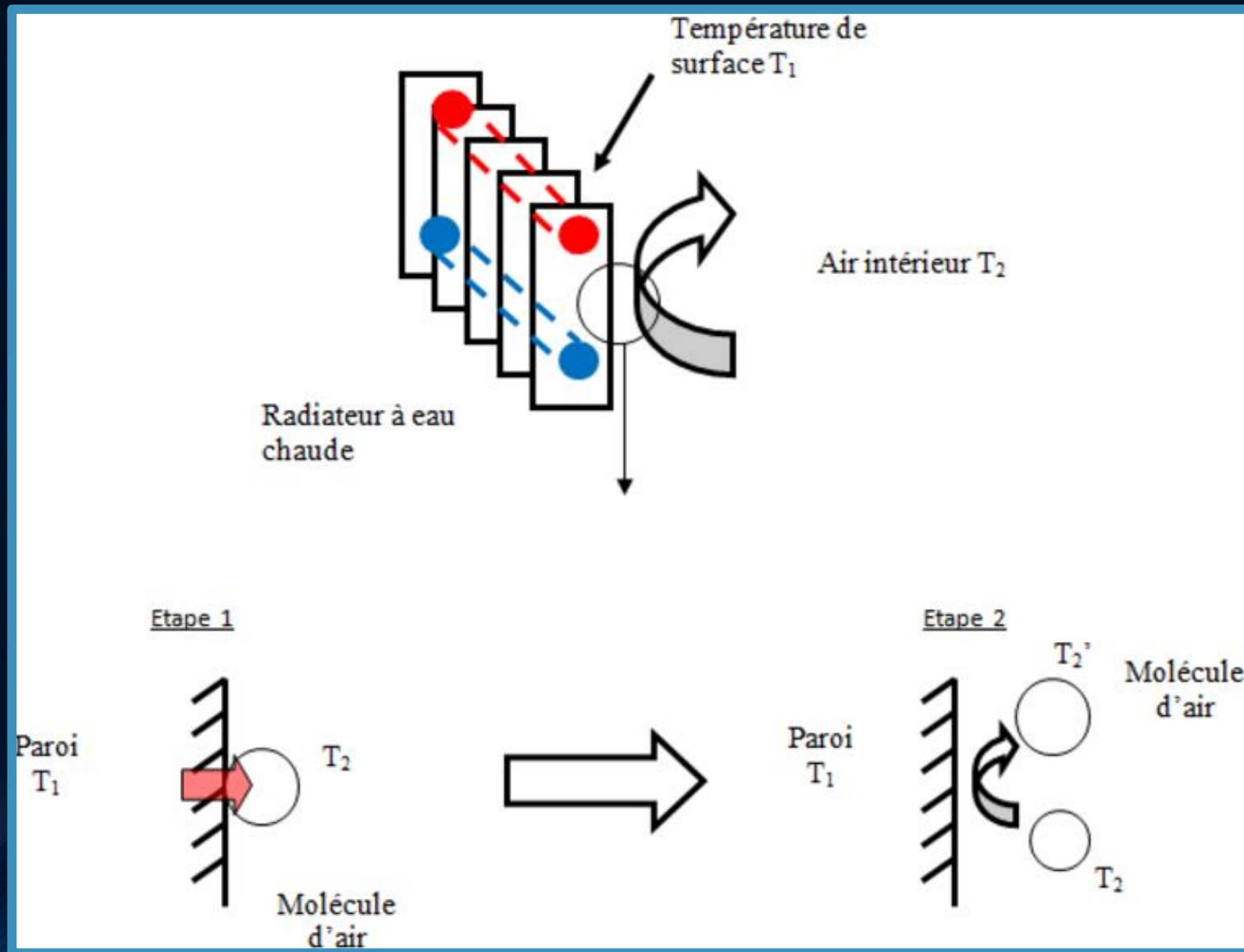
Définition : Quelle que soit sa température, un corps émet un rayonnement thermique.

Ce rayonnement (sous forme d'onde électromagnétique) est émis et reçu en permanence par plusieurs corps séparés entre eux par une ambiance transparente ou semi transparente (vide, gaz, air).

Les échanges thermiques par rayonnement entre plusieurs corps dépendent de :

- La température des corps.
- La géométrie des corps.
- La nature de l'ambiance qui les sépare.

1.3. La convection :



Définition : La convection est un transfert de chaleur entre un fluide et une paroi, l'échange de chaleur étant lié au mouvement du fluide.

On distingue 2 types de convection :

- **La convection naturelle** : Le mouvement du fluide est simplement la conséquence de la variation de la masse volumique du fluide.
- **La convection forcée** : Le mouvement de fluide est la conséquence d'une action extérieure (ventilateur ou pompe).

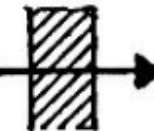

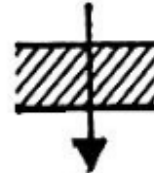
La résistance thermique d'échanges superficiels :

Définition : La résistance thermique d'échanges superficiels d'une paroi est l'inverse des coefficients d'échanges superficiels.

Elle est notée R_{se} pour l'extérieur et R_{si} pour l'intérieur et son unité est $m^2.K.W^{-1}$.

$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \quad \text{et} \quad R_{si} = \frac{1}{h_{si}}$$

h étant le coefficient d'échanges superficiels.

| | Paroi en contact avec : — l'extérieur, — un passage ouvert, — un local ouvert. | | | Paroi en contact avec : — un autre local, chauffé ou non chauffé, — un comble, — un vide sanitaire. | | |
|--|---|-----------------|---------------------------------|---|-----------------|---------------------------------|
| | $\frac{1}{h_i}$ | $\frac{1}{h_e}$ | $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$ | $\frac{1}{h_i}$ | $\frac{1}{h_i}$ | $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_i}$ |
| Paroi verticale ou faisant avec le plan horizontal un angle supérieur à 60°  | 0,11 | 0,06 | 0,17 | 0,11 | 0,11 | 0,22 |
| Paroi horizontale ou faisant avec le plan horizontal un angle égal ou inférieur à 60°, flux ascendant (toiture)  | 0,09 | 0,05 | 0,14 | 0,09 | 0,09 | 0,18 |
| flux descendant (plancher bas)  | 0,17 | 0,05 | 0,22 | 0,17 | 0,17 | 0,34 |

Le flux thermique par convection :

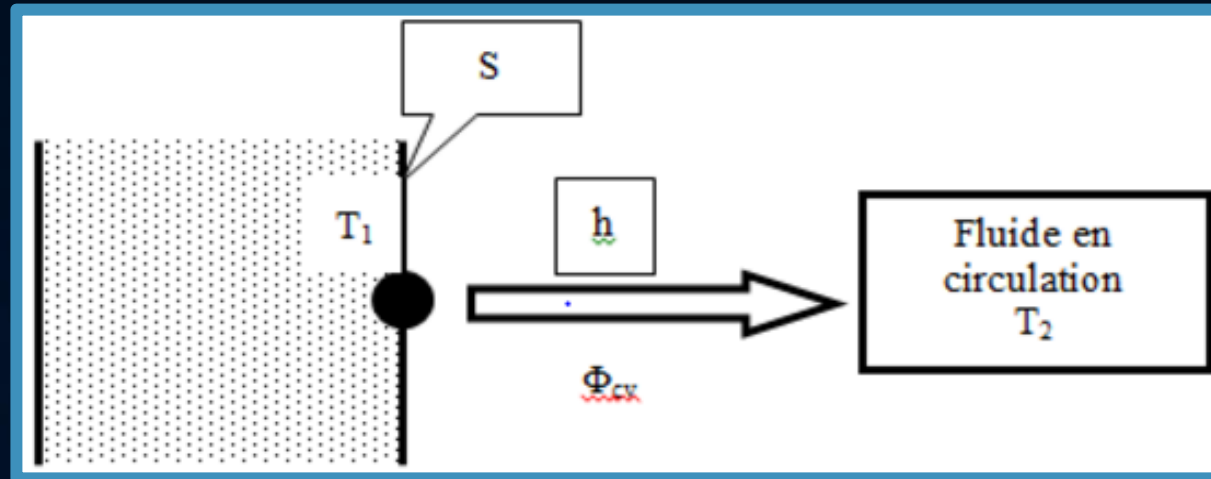
Il s'exprime en Watt :

$$\phi_{cv} = h \times S \times (T_1 - T_2)$$

Avec h le coefficient d'échanges superficiels.

S la surface d'échange en m².

T₁ – T₂ l'écart de température entre les points 1 et 2.



Les différents modes de transferts thermiques

La conduction



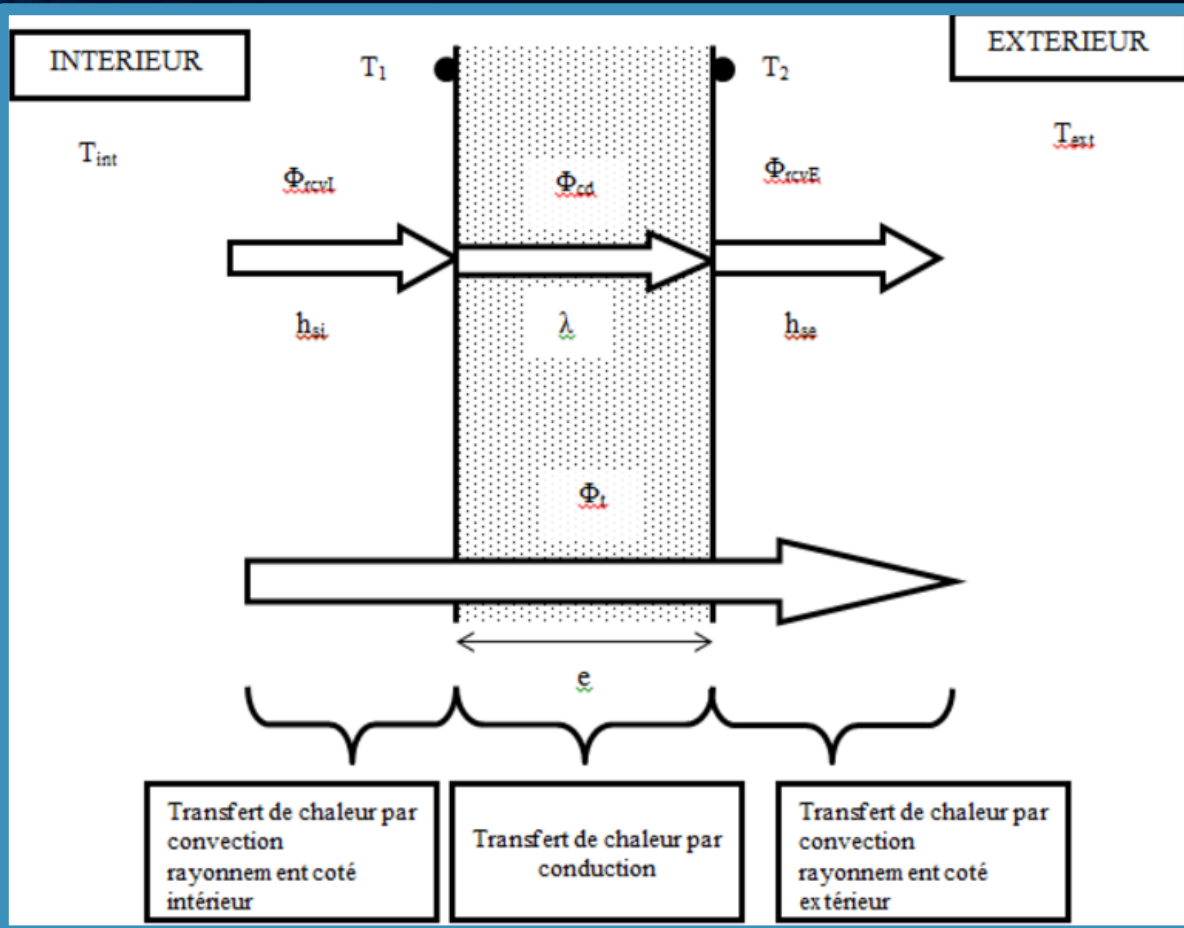
La convection



Le rayonnement



2. La résistance thermique globale d'une paroi



| | Convection rayonnement coté intérieur | conduction | Convection rayonnement coté extérieur |
|----------------------------|---|---|---|
| Flux de chaleur | $\Phi_i = h_{si} \times S \times (T_i - T_1)$ | $\Phi_{cd} = \frac{\lambda}{e} \times S \times (T_1 - T_2)$ | $\Phi_e = h_{se} \times S \times (T_2 - T_e)$ |
| Résistance thermique | $R_{thsi} = \frac{1}{h_{si}}$ | $R_{th} = \frac{e}{\lambda}$ | $R_{thse} = \frac{1}{h_{se}}$ |
| Densité de flux de chaleur | $\varphi_i = h_{si} \times (T_i - T_1)$ | $\varphi_{cd} = \frac{\lambda}{e} \times (T_1 - T_2)$ | $\varphi_e = h_{se} \times (T_2 - T_e)$ |

Conservation du flux thermique :

$$\phi_t = \phi_i = \phi_{cd} = \phi_e$$

$$\phi_t = \frac{1}{R_t} \times S \times (T_i - T_e)$$

Avec $R_t = R_{thsi} + R_{th} + R_{thse}$

Exercice 3 :

Les murs latéraux d'un local industriel maintenu à la température constante $\theta_i = 20^\circ \text{C}$ sont réalisés en béton banché d'épaisseur $e = 20 \text{ cm}$ et de conductivité thermique, $\lambda = 1,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Les résistances thermiques superficielles interne et externe ont respectivement pour valeur :

$$1/h_{si} = 0,11 \text{ W}^{-1}.\text{m}^2.\text{K} \text{ et } 1/h_{se} = 0,06 \text{ W}^{-1}.\text{m}^2.\text{K}$$

- Exprimer puis calculer la résistance thermique de la paroi.
- Exprimer puis calculer le flux thermique Φ , transmis lorsque la température extérieure est $\theta_e = 0^\circ \text{C}$.
- Calculer le flux thermique transmis par unité de surface de la paroi ϕ .
- Dessiner le mur à l'échelle 1:10 et tracer l'évolution de température.

3. Type de chaleur

3.1. La chaleur sensible :

Définition : Quand un corps est chauffé ou refroidi, l'augmentation ou la diminution de cette température sans changement d'état physique est appelée la chaleur sensible.

Expression de la chaleur sensible :

La chaleur sensible Q_{sensible} exprimée en Joule est fonction de :

- la variation de Température mesurée ΔT ,
- la masse du système M en kg,
- la capacité thermique massique du système C en $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$$Q_{\text{sensible}} = M.C.\Delta T$$

M.C correspond à l'inertie thermique du système.

| Matériau | C ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) |
|----------------|--|
| Air | ≈ 1000 |
| Eau | ≈ 4200 |
| Béton | ≈ 900 |
| Laine de verre | ≈ 670 |
| Bois | ≈ 2700 |
| Alu | ≈ 880 |
| Acier | ≈ 470 |

3.2. La chaleur latente :

Définition : Tous les corps purs ont la capacité de changer d'état physique, les solides peuvent devenir des liquides, les liquides peuvent devenir des gaz.

Ces changements d'état nécessitent l'ajout ou le retrait d'énergie sans modifier la température d'un corps.

Donc la chaleur qui permet un changement d'état sans modifier la température d'un corps se nomme la chaleur latente.

Une substance peut changer d'état physique de plusieurs façons, il existe donc plusieurs chaleurs latentes :

- **Chaleur latente de liquéfaction : quantité de chaleur pour passer de l'état solide à l'état liquide.**
- **Chaleur latente de vaporisation : quantité de chaleur pour passer de l'état liquide à l'état gazeux.**
- **Chaleur latente de condensation : quantité de chaleur pour passer de l'état gazeux à l'état liquide.**
- **Chaleur latente de solidification : quantité de chaleur pour passer de l'état liquide à l'état solide.**

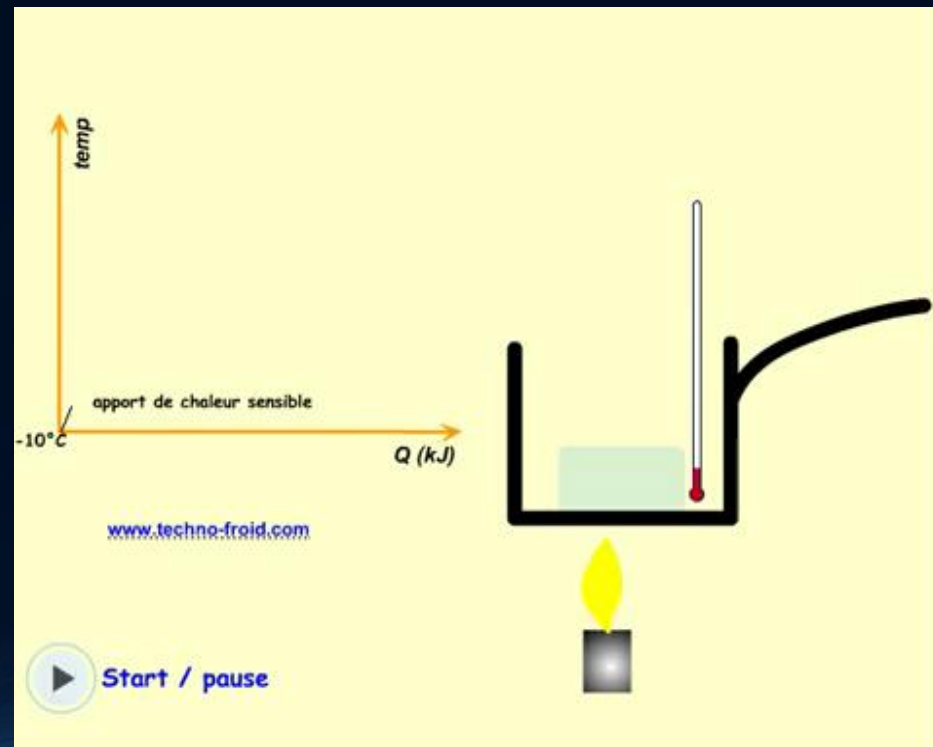
Expression de la chaleur latente :

La chaleur latente L (aussi appelée Enthalpie de changement d'état) est exprimée en J.kg^{-1} est fonction de :

- la masse du système M en kg,
- l'énergie nécessaire au changement d'état du système Q_L en Joule.

$$Q_L = M.L$$

| substance | Chaleur de fusion(cal/g) | Chaleur de fusion(J /g) |
|-----------|--------------------------|-------------------------|
| eau | 79.72 | 333,55 |
| méthane | 13.96 | 58.41 |



Exercice 4 :

Une bouilloire électrique a pour puissance $P \approx 1 \text{ kW}$ lorsqu'elle est alimentée par la prise secteur (tension efficace de 230V).

On y place 1 L d'eau à 10°C .

- Quelle est l'énergie nécessaire pour faire bouillir l'eau ?
- En combien de temps l'eau va bouillir ?



Exercice 5 :

Pour refroidir une boisson anisée de 10 cl à 20°C , on ajoute 2 glaçons de 8g chacun.

En faisant l'hypothèse que le verre n'échange pas de chaleur avec l'extérieur, déterminez la température de la boisson lorsque les glaçons ont fondu.

- Masse du verre $m_v = 200\text{g}$
- Capacité calorifique du verre $C_v = 700 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Capacité calorifique de l'eau $C_e = 4200 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Capacité calorifique de la glace $C_g = 2060 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Chaleur latente de fusion de la glace $L = 350.10^3 \text{ J.kg}^{-1}$