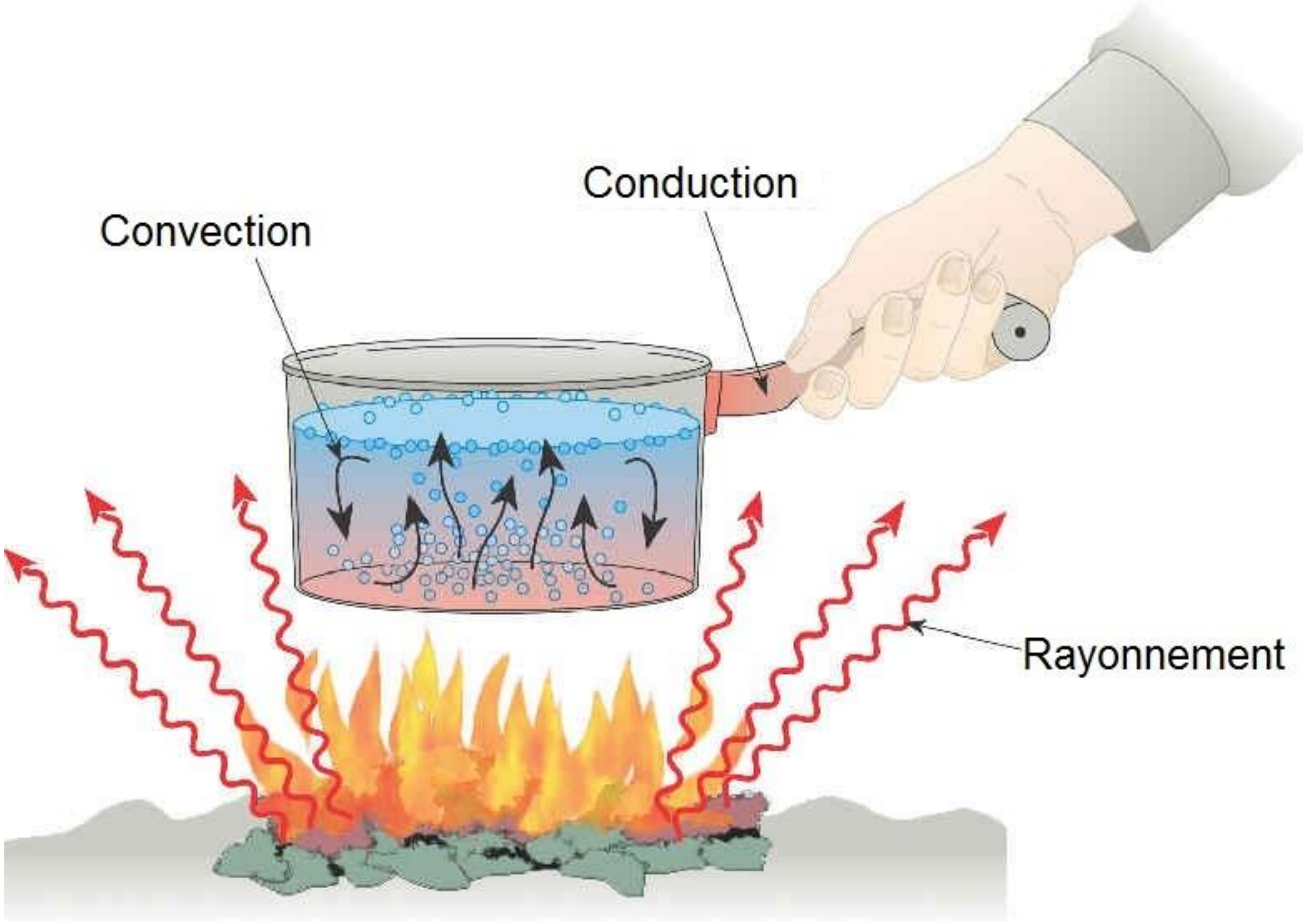
LP 18 : Phénomènes de transport

Les modes de transfert thermique



La conductivité thermique *λ*

Retour sur l'expérience :

Matériau	**λ ($W.m^{-1}.K^{-1}$) à 300K**
Fer	50
Laiton	120
Aluminium	0.6
Cuivre	390

Conducteurs thermiques:
Cuivre>>Aluminium>Laiton>Fer

La conductivité thermique λ

Matériau	λ ($W.m^{-1}.K^{-1}$) à 300K
Cuivre	390
Béton	1
Eau	220
Air	0.026

λ est caractéristique de chaque matériau , c’est leur aptitude à transférer de la chaleur.

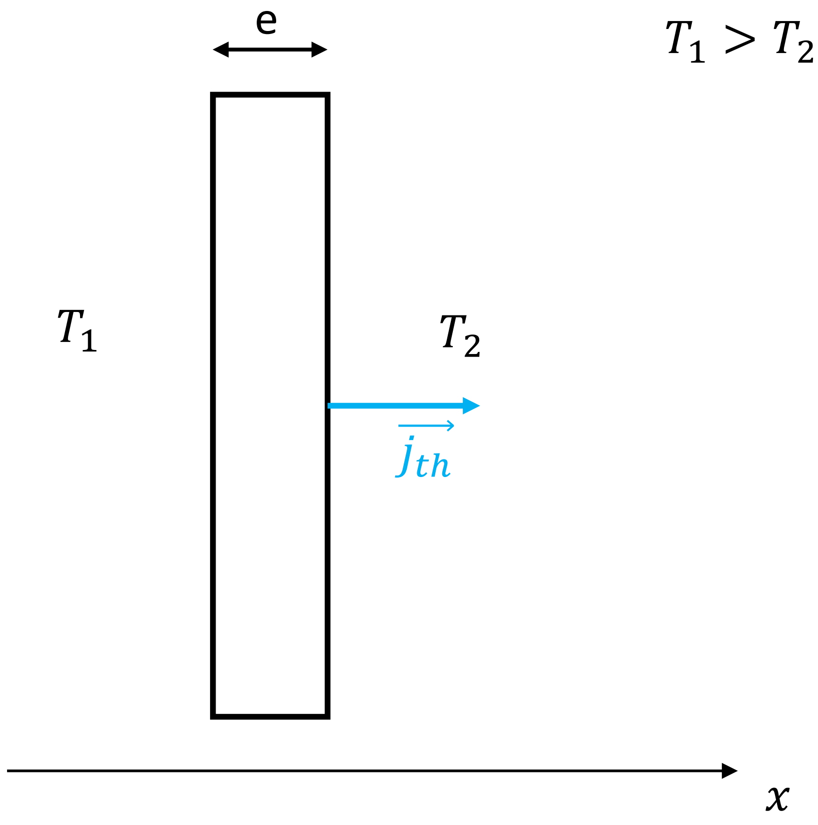
Le coefficient de diffusion thermique a

Matériau	**$a.10^{-6}$ (m²/s)**
Cuivre	117
Béton	0,54
Glace (0°C)	1,203
Air	20

Résistance thermique

$$R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\phi_{th1\to2}}$$

$T_1 > T_2$



$$\phi_{th1\to2} = \iint \overrightarrow{j_{th}}.\overrightarrow{dS}$$

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda\frac{T_2 - T_1}{e}\overrightarrow{u_x} = \lambda\frac{T_1 - T_2}{e}\overrightarrow{u_x}$$

$$\phi_{th1\to2} = \frac{S\lambda}{e}(T_1 - T_2)$$

$$R_{th} = \frac{e}{s\lambda}$$

Si paroi adiabatique $R_{th} \rightarrow \infty$

Pour une vitre d'épaisseur $e = 5\ mm$ avec $\lambda_{vitre} = 7{,}8.10^{-1}\ W.m^{-1}.K^{-1}$ et $S = 1\ m^2$

$R_{th} = 6{,}4.10^{-3} K.W^{-1}$ → Beaucoup de pertes

Si on double l'épaisseur : $2e = 10\ mm$, alors $R_{th} = 1{,}28.10^{-2} K.W^{-1}$ → Encore beaucoup de pertes

Double vitrage : entre les 2 plaques de verre d'épaisseur e, on ajoute une épaisseur d'air d'épaisseur e.

On a $\lambda_{air} = 0{,}02\ W.m^{-1}.K^{-1}$. On trouve alors : $R_{th} = 0{,}2628\ K.W^{-1}$ → équivalent à $20{,}5\ cm$ d'épaisseur de verre.

Application numérique : onde de chaleur

En moyenne, $a = 6{,}5.\,10^{-7}\ m^2.\,s^{-1}$ (variable avec la nature du sol et l'humidité)

On modélise les variations annuelles par une sinusoïde car

- le 1er janvier (le plus froid) → -10°C

- le 1er juillet (le plus chaud) → 30°C

Conditions initiales : Soit $T(0{,}0) = T_0 + T_1 = -10°C$ et $T\left(0, \frac{\tau}{2}\right) = T_0 - T_1 = 30°C$

On a donc $T_0 = 20°C$ et $T_1 = -20°C$

Pour une cave, on souhaite que les variations annuelles de température aient une amplitude inférieure à 2°C.

Pour $\tau = 1\ an \quad \rightarrow \quad \delta = 2{,}5\ m$

On veut que $\left|T_1 \exp(\frac{-x}{\delta})\right| < 2$, il faut que $x > 5{,}75\ m$

→ Dans l'idéal, une cave doit être creusée à environ 6m de profondeur pour que la température reste constante tout au long de l'année.

Diffusion thermique	Conduction électrique	Diffusion de particules	Diffusion quantité de mouvement
Transport d'énergie	Transport de charges dû à l'action d'une force électromagnétique	Transport de particules	Transport de quantité de mouvement dû à une force tangentielle
$j_{th} = \frac{dQ}{dS}$	$j = \frac{di}{dS}$	$j_N = \frac{dQ}{dS}$	
Loi de Fourier : $\vec{j}_{th} = -\lambda \overrightarrow{grad} T$	Loi d'Ohm : $\vec{j} = -\sigma \vec{E} = -\sigma \overrightarrow{grad} V$	Loi de Fick : $\vec{j}_n = -D \overrightarrow{grad}(n)$	La loi de Newton: $\vec{j}_p = -\nu \overrightarrow{grad}(p)$
$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \mathrm{div}(\vec{j}_{th}) = 0$	$\frac{\partial p}{\partial t} + div(\vec{j}) = 0$ p : densité de charges	$\frac{\partial n}{\partial t} + div(\vec{j}_n) = 0$	$\frac{\overrightarrow{\partial p}}{\partial t} + div(\vec{j}_p) = 0$
$R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\phi_{th1\rightarrow 2}}$	$R = \frac{U}{I} = \frac{V_1 - V_2}{I}$	$R_{th} = \frac{n_1 - n_2}{\phi_{n1\rightarrow 2}}$	
$\frac{\partial T}{\partial t} - a\,\Delta T = 0$	Equation de d'Alembert $\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - c^2 \Delta \vec{E} = 0$	$\frac{\partial n}{\partial t} - D\,\Delta n = 0$	$\frac{\overrightarrow{\partial p}}{\partial t} - \nu \Delta \vec{p} = 0$ $\vec{p}$: quantité de movement par unite de volume

Autres transferts thermiques

Convection thermique	**Rayonnement thermique**
<u>Loi de Newton :</u> Au voisinage d'un solide (température Ts), le fluide (température Tf) reçoit : $$\vec{J}_{th} = \mathrm{h}(T_s - T_f)\vec{n}$$ Avec h : coefficient de transfert thermique	Tout corps porté à une température T émet un rayonnement EM où l'intensité augmente avec T. Loi de Stefan-Boltzmann : $$P_{rayonnée} = \sigma T^4$$ σ : constante de Stefan-Bolztmann