Conduction thermique

Alexandre – Quentin – Hilary - Léandre

Révision

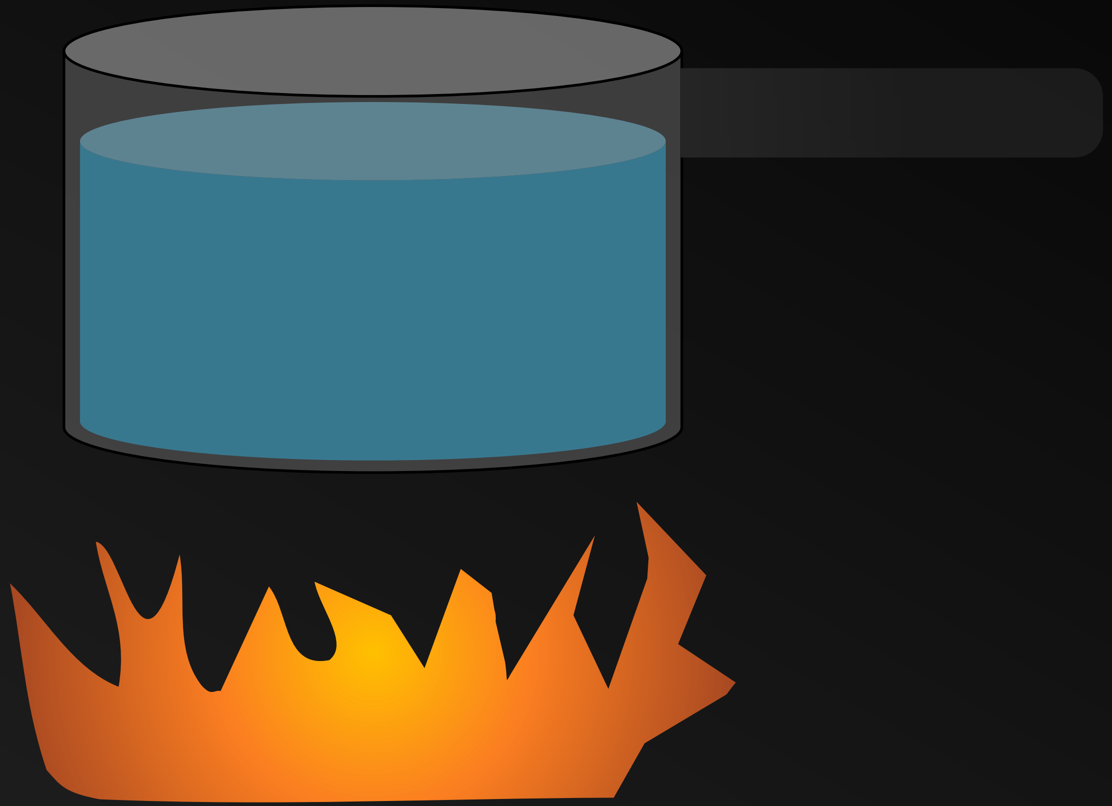
Au programme du jour:

- Flux thermique
- Equation de la chaleur
- Loi de Newton
- Résistance thermique
- Quiz de révision
- Analyse de sujets

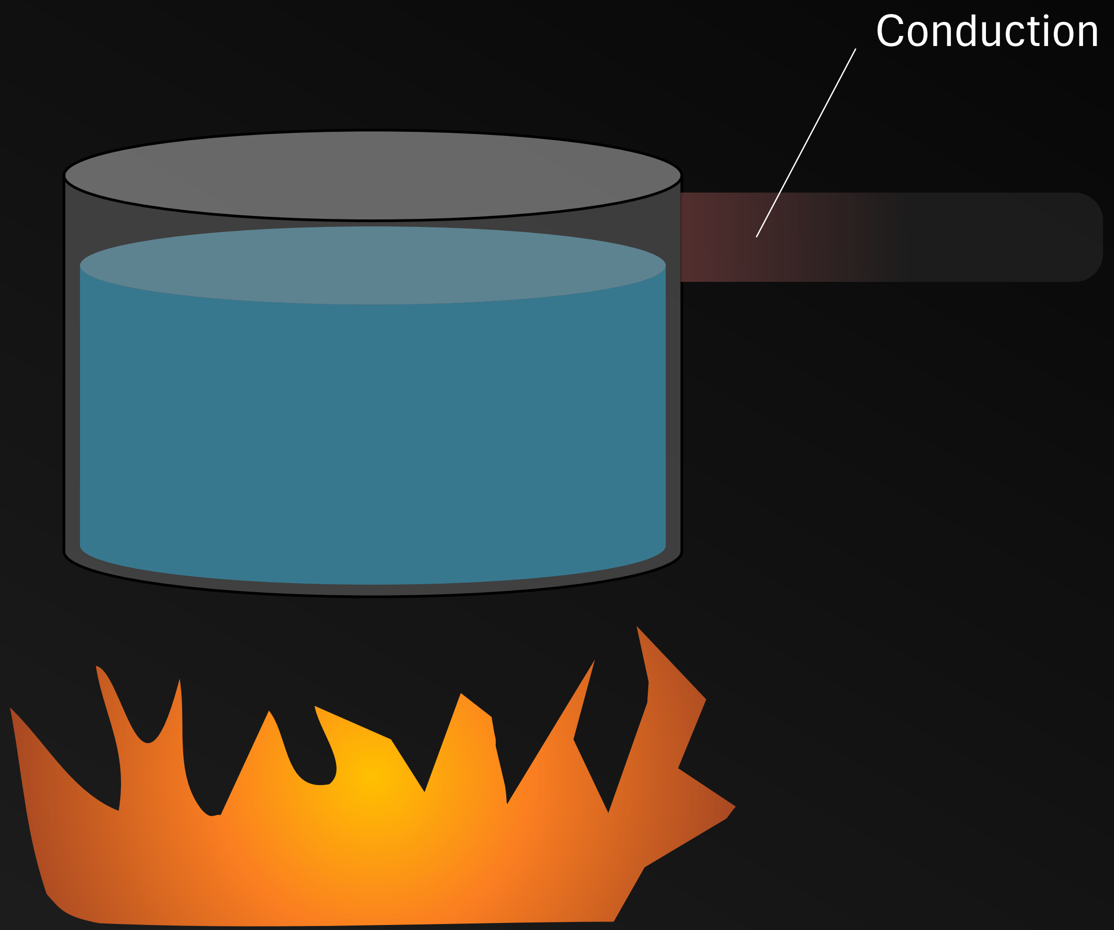
→ Tombe souvent:

CCINP: 2017-2020-2021-2024
CCS: 2022-2023-2025

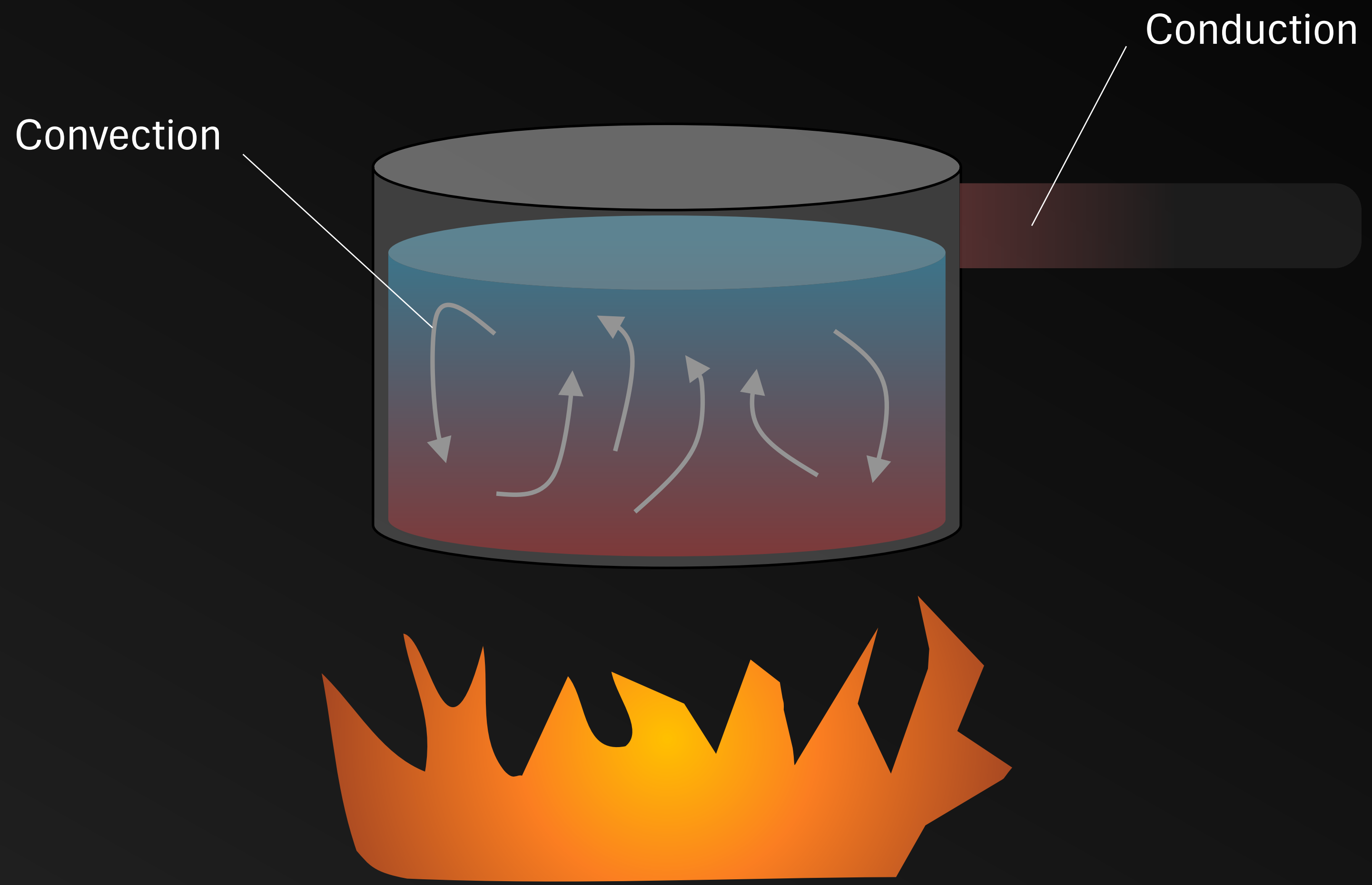
Introduction : Les 3 modes de transferts



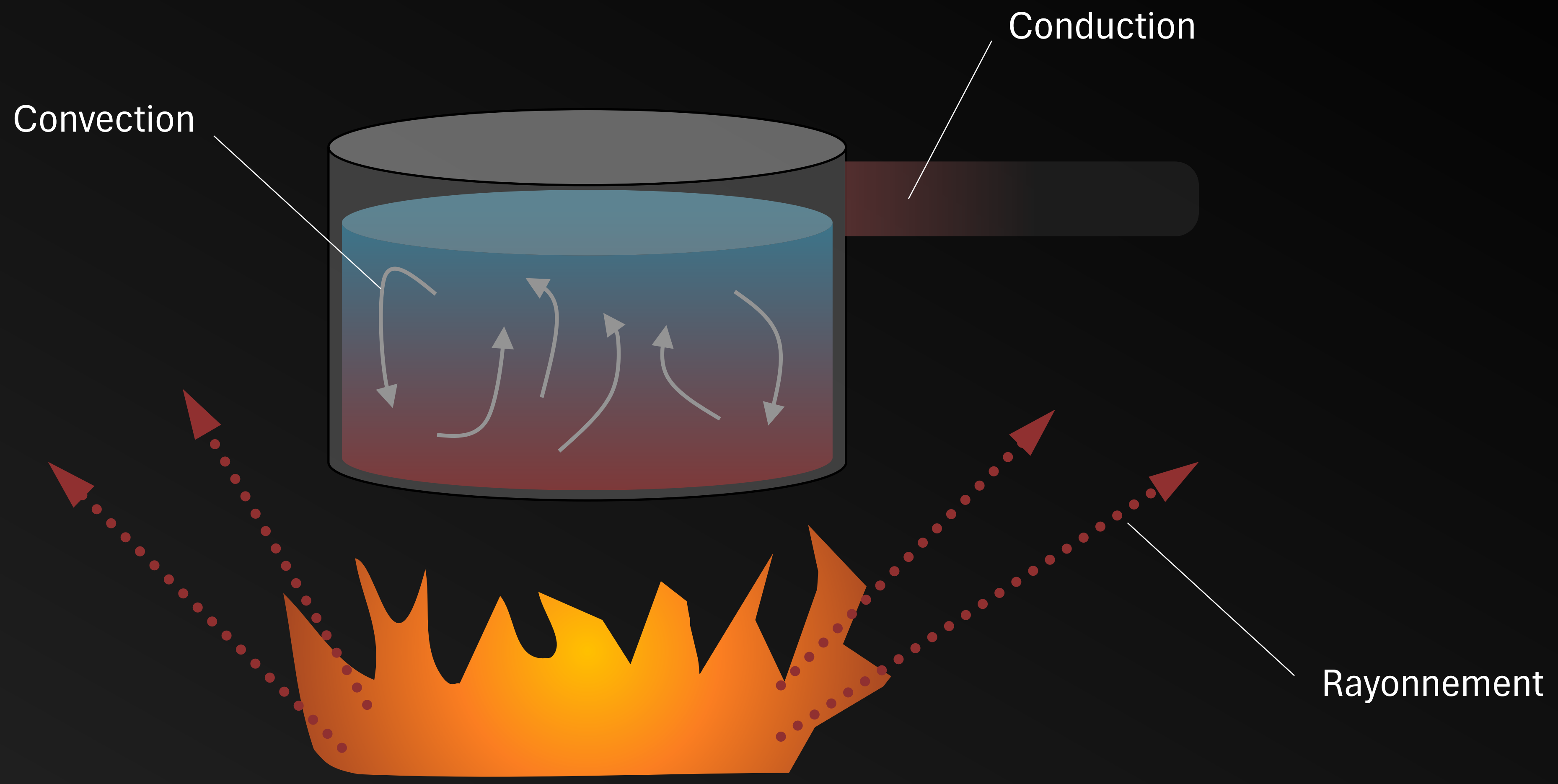
Introduction : Les 3 modes de transferts



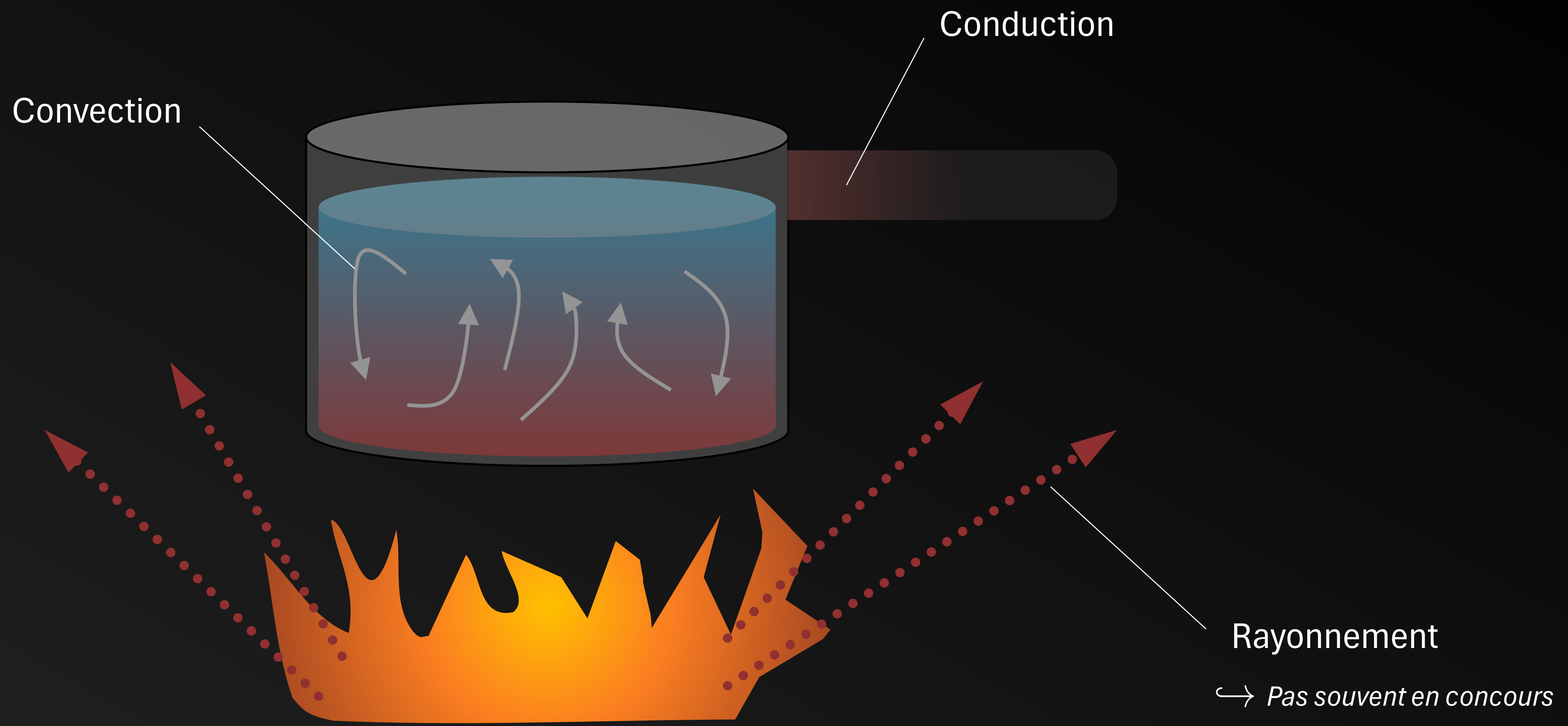
Introduction : Les 3 modes de transferts



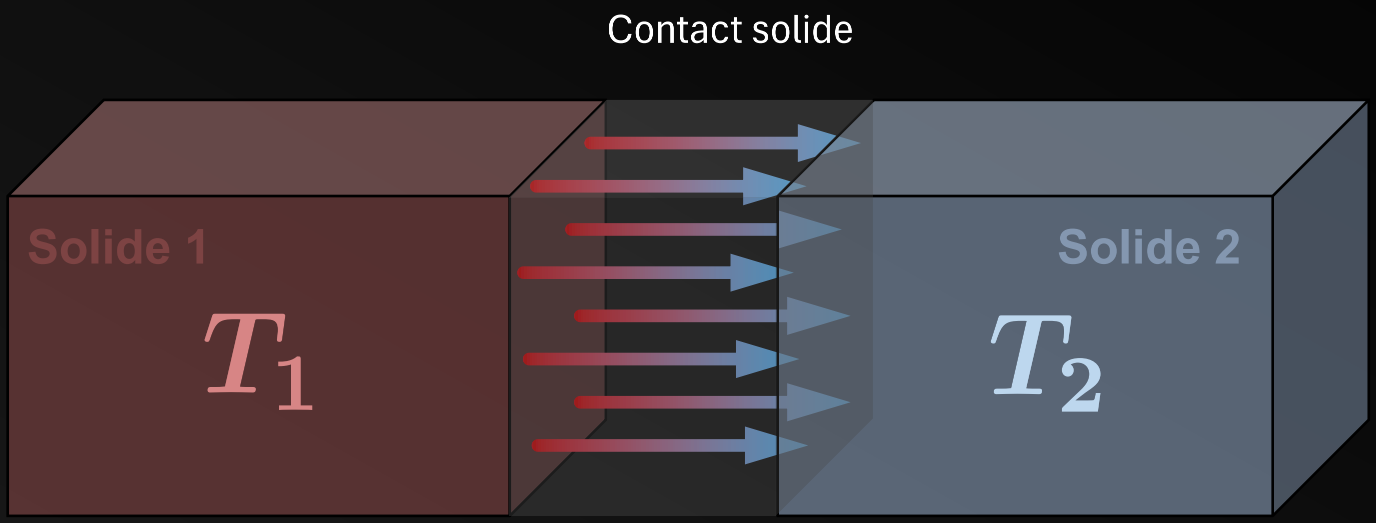
Introduction : Les 3 modes de transferts



Introduction : Les 3 modes de transferts

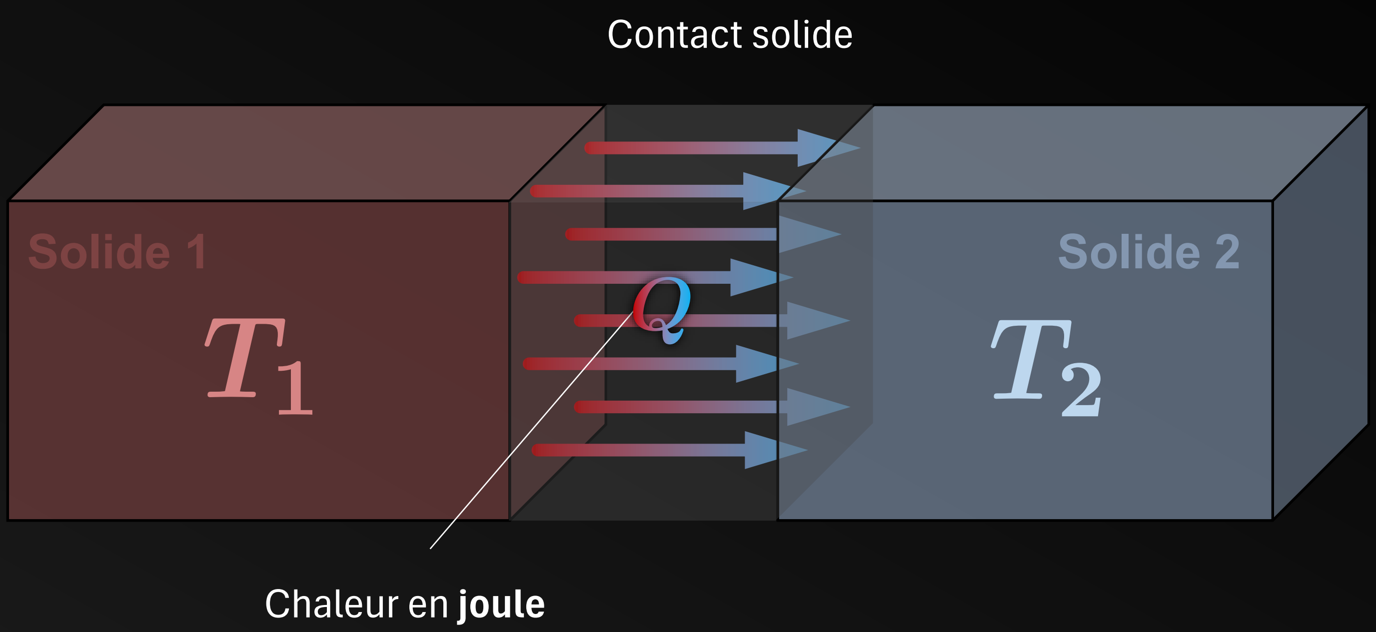


Flux thermique : Définitions



$T_1 > T_2$

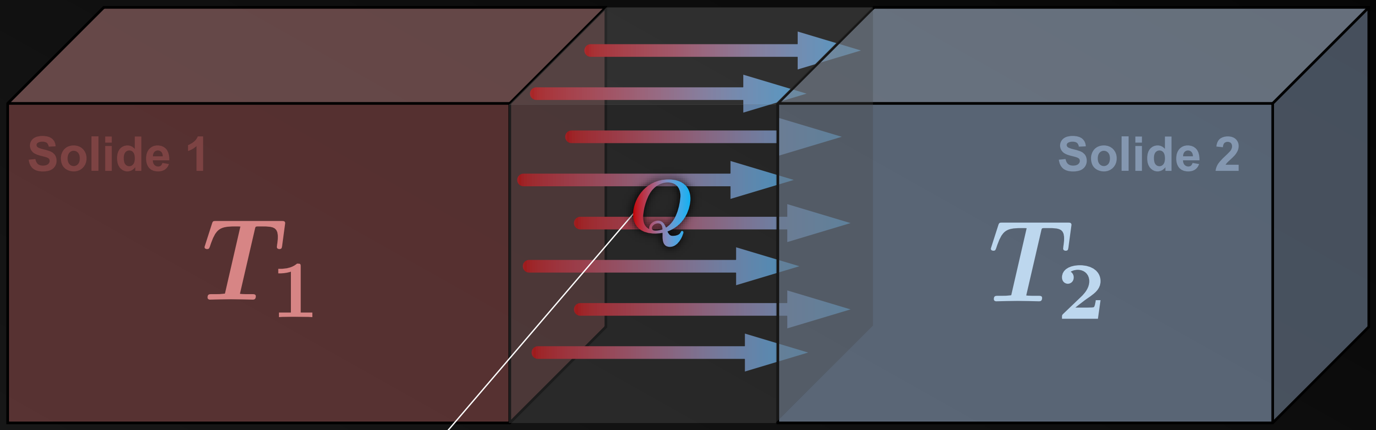
Flux thermique : Définitions



$T_1 > T_2$

Flux thermique : Définitions

Contact solide

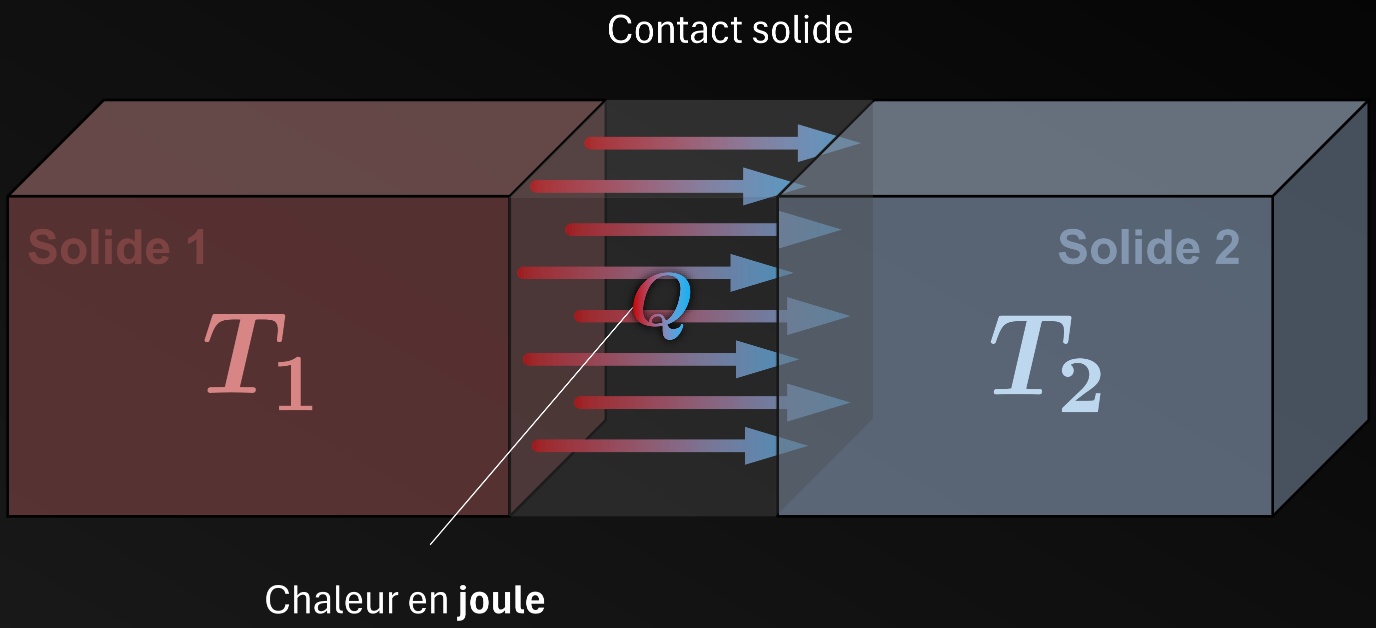


Chaleur en **joule**

$T_1 > T_2$

→ Conduction = irréversible

Flux thermique : Définitions



$T_1 > T_2$

→ Conduction = irréversible

Flux thermique

$$P_{th} = \Phi_{th} = \frac{\delta Q}{dt}$$

en Watts

Vecteur densité de courant thermique

$$\Phi_{th} = \iint_S \overrightarrow{j_{th}} \cdot \overrightarrow{d^2S}$$

en $W.m^{-2}$

Loi de Fourier

→ C'est la loi qui décrit que le transfert thermique se fait du **chaud vers le froid**

Énoncé

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\mathrm{grad}T}$$

en $W.m^{-2}$

en $W.m^{-1}.K^{-1}$

Loi de Fourier

→ C'est la loi qui décrit que le transfert thermique se fait du **chaud vers le froid**

Énoncé

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T$$

en $W.m^{-2}$

en $W.m^{-1}.K^{-1}$

Rappel:

$$\overrightarrow{\text{grad}} T = \vec{\nabla} T = \frac{\partial T}{\partial x}\vec{e_x} + \frac{\partial T}{\partial y}\vec{e_y} + \frac{\partial T}{\partial z}\vec{e_z}$$

Loi de Fourier

→ C'est la loi qui décrit que le transfert thermique se fait du **chaud vers le froid**

Énoncé

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}}T$$

$\overrightarrow{j_{th}}$ en $W.m^{-2}$

λ en $W.m^{-1}.K^{-1}$

Rappel:

$$\overrightarrow{\text{grad}}T = \vec{\nabla}T = \frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x} + \frac{\partial T}{\partial y}\overrightarrow{e_y} + \frac{\partial T}{\partial z}\overrightarrow{e_z}$$

→ Qlqs ordres de grandeurs de la **conductivité thermique** λ :

Matière	**Argent**	**Cuivre**	**Or**	**Aluminium**	**Verre**	***Air sec***
Conductivité en $W.m^{-1}.K^{-1}$	429	401	310	250	1	$\approx 0{,}024$

Loi de Fourier

→ C'est la loi qui décrit que le transfert thermique se fait du **chaud vers le froid**

Énoncé

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}T}$$

en $W.m^{-2}$

en $W.m^{-1}.K^{-1}$

Rappel:

$$\overrightarrow{\text{grad}}T = \vec{\nabla}T = \frac{\partial T}{\partial x}\vec{e_x} + \frac{\partial T}{\partial y}\vec{e_y} + \frac{\partial T}{\partial z}\vec{e_z}$$

→ Qlqs ordres de grandeurs de la **conductivité thermique** λ :

Matière	**Argent**	**Cuivre**	**Or**	**Aluminium**	**Verre**	***Air sec***
Conductivité en $W.m^{-1}.K^{-1}$	429	401	310	250	1	$\boxed{\approx 0{,}024}$

Très bon isolant

Quel transfert thermique se fait de proche en proche ?

A. Le rayonnement

B. La diffusion

C. La convection

Quizz

Quel transfert thermique se fait de proche en proche ?

A. Le rayonnement

B. La diffusion

C. La convection

Quizz

En quoi s’exprime le flux thermique ?

A. En $W.m^{-2}$

B. En $W.m^{-1}.K^{-1}$

C. En W

Qu¿zz

En quoi s'exprime le flux thermique ?

A. En $W.m^{-2}$

B. En $W.m^{-1}.K^{-1}$

C. En W

Bilan 1D

$\hookrightarrow$ Bcp de pts au concours

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Application du 1er principe en enthalpie:

$$d^2H = dH(t+dt) - dH(t)$$

Surfaces lat. étant calorifugé:

4- Expression de l'échange de chaleur:

a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t) \cdot dt$

b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$

c) Intégrale à résoudre

d) Faire de même en $x + dx$

e) Soustraction des deux et DL

5- Expression de l'énergie interne:

a) Développer d^2H

b) 2ème loi de Joule

$$d^2H = \delta m \cdot c_p(T(t+dt) - T(t))$$

c) DL à l'ordre 1

6- Egaliser les 2 termes + simplification

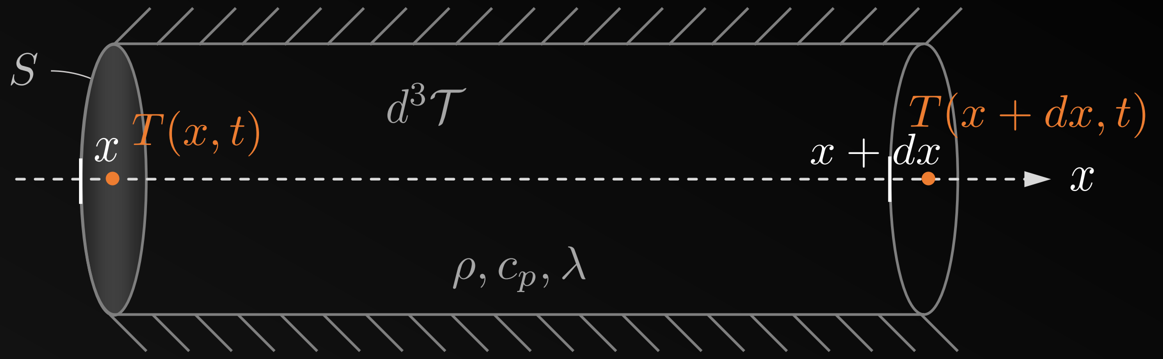
7- Loi de Fourier en 1D

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$$

(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\mathrm{grad}}(T)$)

Bilan 1D

$\hookrightarrow$ Bcp de pts au concours



Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Application du 1er principe en enthalpie:

$$d^2H = dH(t+dt) - dH(t)$$

Surfaces lat. étant calorifugé:

4- Expression de l'échange de chaleur:

a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t) \cdot dt$

b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$

c) Intégrale à résoudre

d) Faire de même en $x + dx$

e) Soustraction des deux et DL

5- Expression de l'énergie interne:

a) Développer d^2H

b) 2ème loi de Joule

$$d^2H = \delta m \cdot c_p(T(t+dt) - T(t))$$

c) DL à l'ordre 1

6- Egaliser les 2 termes + simplification

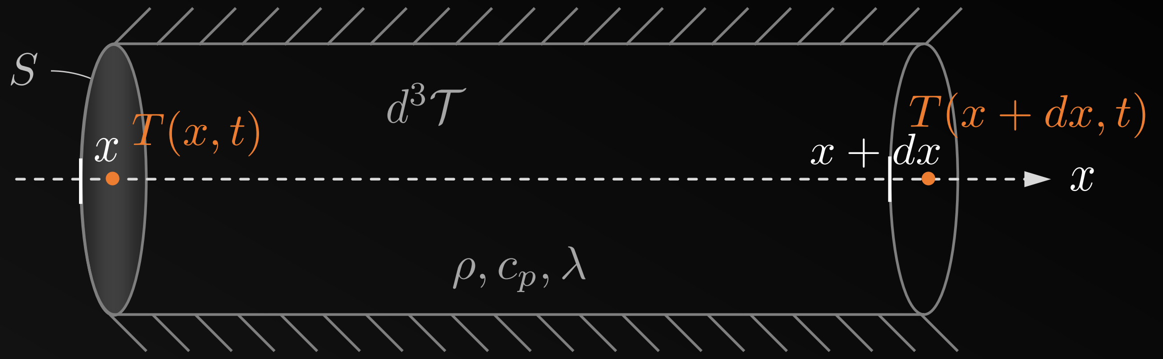
7- Loi de Fourier en 1D

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$$

(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\text{grad}}(T)$)

Bilan 1D

$\hookrightarrow$ Bcp de pts au concours



Hypothèses:

1- Pas de source d'énergie à l'intérieur du système élémentaire

2- Les transferts thermique avec le milieu extérieur sont uniquement dus à la diffusion thermique

3- Le système est une phase condensée et l'évolution est isobare

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Application du 1er principe en enthalpie:

$$d^2H = dH(t+dt) - dH(t)$$

Surfaces lat. étant calorifugé:

4- Expression de l'échange de chaleur:

a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t) \cdot dt$

b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$

c) Intégrale à résoudre

d) Faire de même en $x + dx$

e) Soustraction des deux et DL

5- Expression de l'énergie interne:

a) Développer d^2H

b) 2ème loi de Joule

$$d^2H = \delta m \cdot c_p(T(t+dt) - T(t))$$

c) DL à l'ordre 1

6- Egaliser les 2 termes + simplification

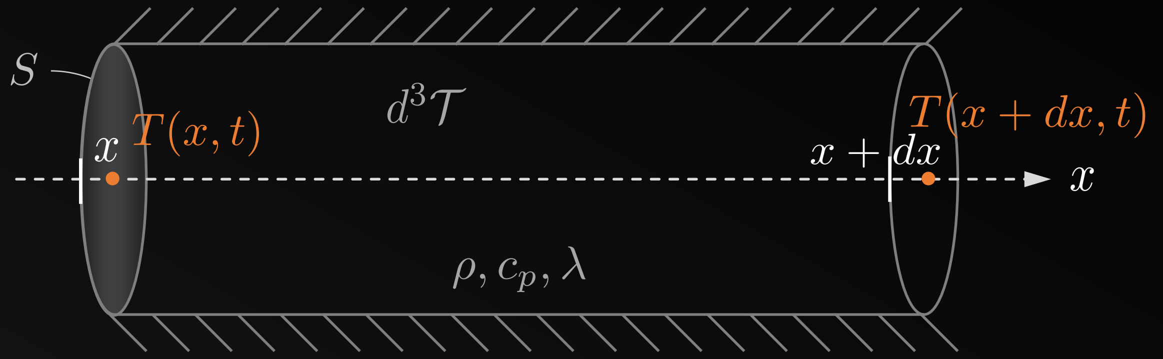
7- Loi de Fourier en 1D

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$$

(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\mathrm{grad}}(T)$)

Bilan 1D

$\hookrightarrow$ Bcp de pts au concours



Hypothèses:

1- Pas de source d'énergie à l'intérieur du système élémentaire

2- Les transferts thermique avec le milieu extérieur sont uniquement dus à la diffusion thermique

3- Le système est une phase condensée et l'évolution est isobare

Application du premier principe en enthalpie entre les instants t et $t+dt$ au système $d^3\mathcal{T}$ immobile et indéformable :

$$d^2H = \delta^2 Q$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Application du 1[er] principe en enthalpie:

$$d^2H = dH(t+dt) - dH(t)$$

Surfaces lat. étant calorifugé:

4- Expression de l'échange de chaleur:

a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t)\cdot dt$

b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$

c) Intégrale à résoudre

d) Faire de même en $x+dx$

e) Soustraction des deux et DL

5- Expression de l'énergie interne:

a) Développer d^2H

b) 2ème loi de Joule

$$d^2H = \delta m \cdot c_p(T(t+dt) - T(t))$$

c) DL à l'ordre 1

6- Egaliser les 2 termes + simplification

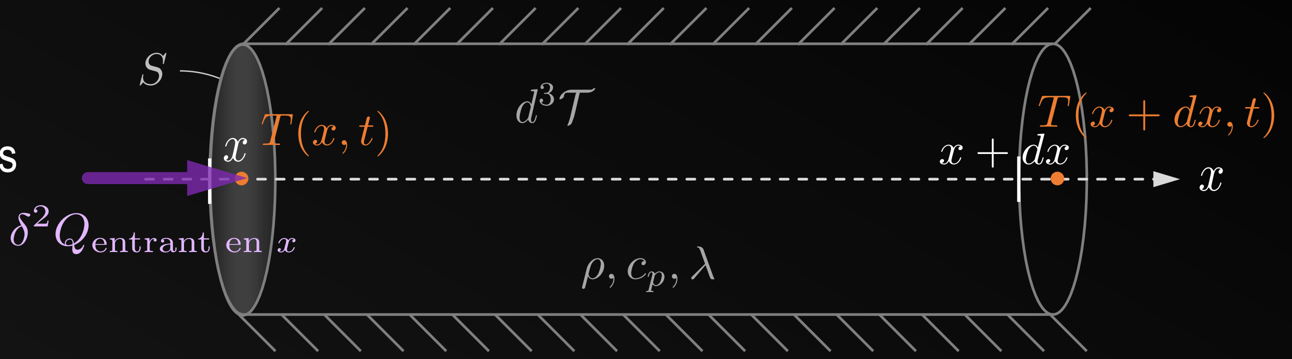
7- Loi de Fourier en 1D

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$$

(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\mathrm{grad}}(T)$)

Bilan 1D

$\hookrightarrow$ Bcp de pts au concours



Hypothèses:

1- Pas de source d'énergie à l'intérieur du système élémentaire

2- Les transferts thermique avec le milieu extérieur sont uniquement dus à la diffusion thermique

3- Le système est une phase condensée et l'évolution est isobare

Application du premier principe en enthalpie entre les instants t et $t+dt$ au système $d^3\mathcal{T}$ immobile et indéformable :

$$d^2H = \delta^2 Q$$

Or, il n'y a pas d'échange sur les surfaces latérales donc:

$$\begin{aligned}\delta^2 Q_{\text{entrant en } x} &= \Phi(x,t)dt \\ &= \iint_{S(x)} \overrightarrow{j_{th}}(x) \cdot \overrightarrow{d^2S} \cdot dt \\ &= +\overrightarrow{j_{th}}(x) \cdot S \cdot dt\end{aligned}$$

Le système gagne de l'énergie

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Application du 1er principe en enthalpie:

$$d^2H = dH(t+dt) - dH(t)$$

Surfaces lat. étant calorifugé:

4- Expression de l'échange de chaleur:

a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t) \cdot dt$

b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$

c) Intégrale à résoudre

d) Faire de même en $x+dx$

e) Soustraction des deux et DL

5- Expression de l'énergie interne:

a) Développer d^2H

b) 2ème loi de Joule

$$d^2H = \delta m \cdot c_p(T(t+dt) - T(t))$$

c) DL à l'ordre 1

6- Egaliser les 2 termes + simplification

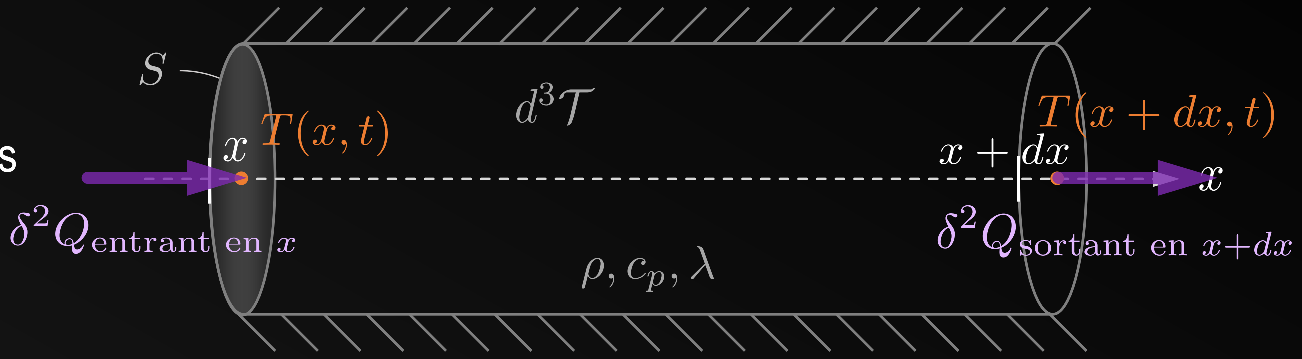
7- Loi de Fourier en 1D

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$$

(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\text{grad}}(T)$)

Bilan 1D

$\hookrightarrow$ Bcp de pts au concours



Hypothèses:

1- Pas de source d'énergie à l'intérieur du système élémentaire

2- Les transferts thermique avec le milieu extérieur sont uniquement dus à la diffusion thermique

3- Le système est une phase condensée et l'évolution est isobare

Application du premier principe en enthalpie entre les instants t et $t+dt$ au système $d^3\mathcal{T}$ immobile et indéformable :

$$d^2H = \delta^2 Q$$

Or, il n'y a pas d'échange sur les surfaces latérales donc:

$$\delta^2 Q_{\text{entrant en } x} = \Phi(x,t)dt$$

$$= \iint_{S(x)} \overrightarrow{j_{th}}(x) \cdot \overrightarrow{d^2S} \cdot dt$$

$$= + j_{th}(x) \cdot S \cdot dt$$

Le système gagne de l'énergie

De même:

$$\delta^2 Q_{\text{sortant en } x+dx} = - j_{th}(x+dx) \cdot S \cdot dt$$

Le système perd de l'énergie

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Application du 1er principe en enthalpie:

$$d^2H = dH(t+dt) - dH(t)$$

Surfaces lat. étant calorifugé:

4- Expression de l'échange de chaleur:

a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t) \cdot dt$

b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$

c) Intégrale à résoudre

d) Faire de même en $x+dx$

e) Soustraction des deux et DL

5- Expression de l'énergie interne:

a) Développer d^2H

b) 2ème loi de Joule

$$d^2H = \delta m \cdot c_p (T(t+dt) - T(t))$$

c) DL à l'ordre 1

6- Egaliser les 2 termes + simplification

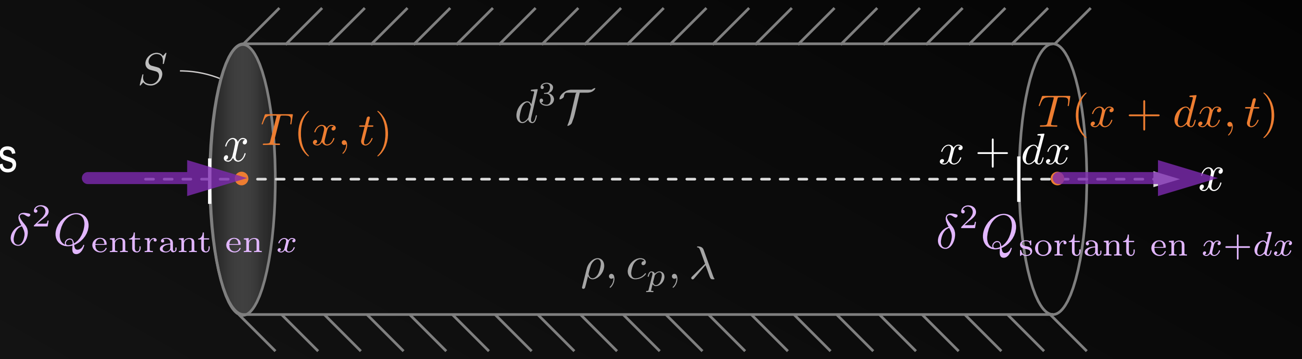
7- Loi de Fourier en 1D

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \overrightarrow{e_x}$$

(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\text{grad}}(T)$)

Bilan 1D

↪ Bcp de pts au concours



D'où,

$$\begin{aligned}
\delta^2 Q &= \delta^2 Q_{\text{entrant en } x} - \delta^2 Q_{\text{sortant en } x+dx} \\
&= j_{th}(x,t)\cdot S\cdot dt - j_{th}(x+dx,t)\cdot S\cdot dt \\
&= [j_{th}(x) - j_{th}(x+dx)]\cdot S\cdot dt \\
&\overset{DL}{=} -\frac{\partial j_{th}}{\partial x}dx\cdot S\cdot dt
\end{aligned}$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Application du 1er principe en enthalpie:

$$d^2H = dH(t+dt) - dH(t)$$

Surfaces lat. étant calorifugé:

4- Expression de l'échange de chaleur:

- a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t)\cdot dt$
- b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$
- c) Intégrale à résoudre
- d) Faire de même en $x+dx$
- **e) Soustraction des deux et DL**

5- Expression de l'énergie interne:

- a) Développer d^2H
- b) 2ème loi de Joule

$$d^2H = \delta m\cdot c_p(T(t+dt) - T(t))$$

- c) DL à l'ordre 1

6- Egaliser les 2 termes + simplification

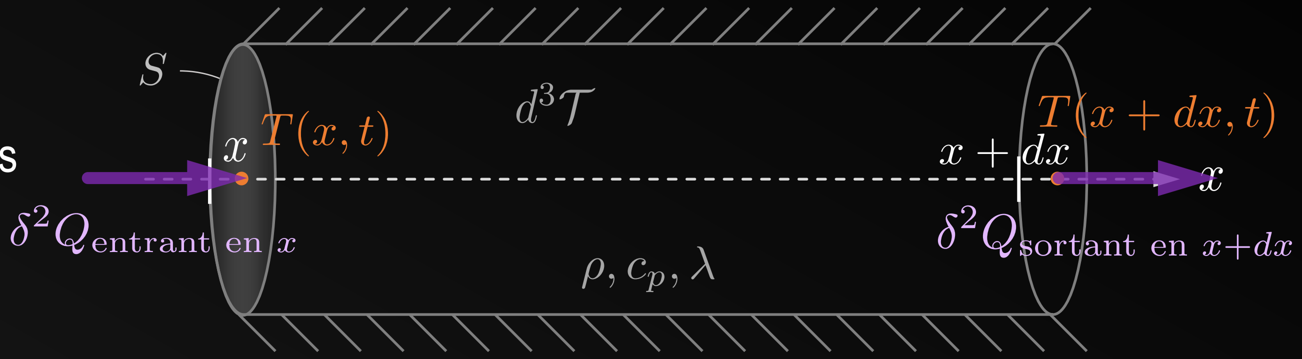
7- Loi de Fourier en 1D

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda\cdot\frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$$

(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\mathrm{grad}}(T)$)

Bilan 1D

$\hookrightarrow$ Bcp de pts au concours



D'où,

$$\begin{aligned}\delta^2 Q &= \delta^2 Q_{\text{entrant en } x} - \delta^2 Q_{\text{sortant en } x+dx} \\ &= j_{th}(x,t)\cdot S\cdot dt - j_{th}(x+dx,t)\cdot S\cdot dt \\ &= [j_{th}(x) - j_{th}(x+dx)]\cdot S\cdot dt \\ &\overset{DL}{=} -\frac{\partial j_{th}}{\partial x}dx\cdot S\cdot dt\end{aligned}$$

Exprimons l'énergie interne par la deuxième loi de Joule:

$$\begin{aligned}d^2H &= dH(t+dt) - dH(t) \\ &= \delta m\cdot c_p\,[T(t+dt) - T(t)] \\ &\overset{DL}{=} (\rho\cdot S\cdot dx)c_p\frac{\partial T}{\partial t}dt\end{aligned}$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Application du 1er principe en enthalpie:

$$d^2H = dH(t+dt) - dH(t)$$

Surfaces lat. étant calorifugé:

4- Expression de l'échange de chaleur:

a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t)\cdot dt$

b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$

c) Intégrale à résoudre

d) Faire de même en $x+dx$

e) Soustraction des deux et DL

5- Expression de l'énergie interne:

a) Développer d^2H

b) 2ème loi de Joule

$$d^2H = \delta m\cdot c_p(T(t+dt) - T(t))$$

c) DL à l'ordre 1

6- Egaliser les 2 termes + simplification

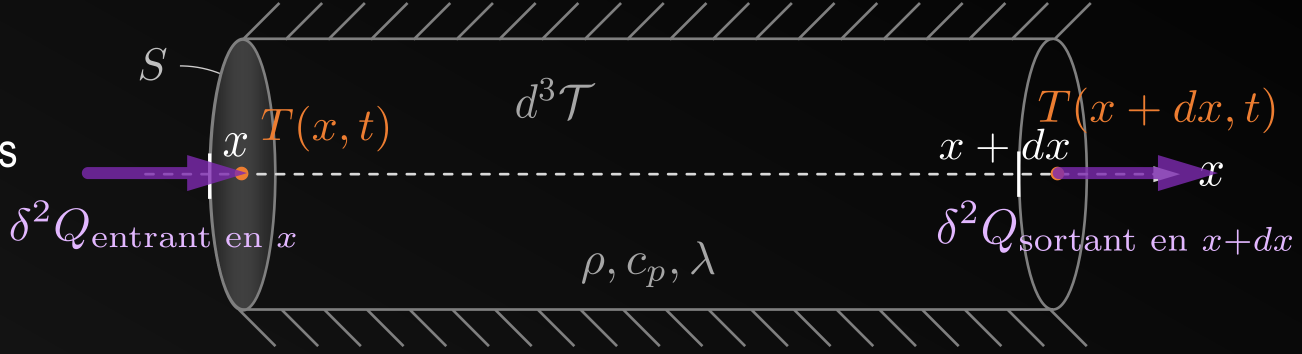
7- Loi de Fourier en 1D

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda\cdot\frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$$

(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\text{grad}}(T)$)

Bilan 1D

$\hookrightarrow$ Bcp de pts au concours



D'où,

$$\begin{aligned}
\delta^2 Q &= \delta^2 Q_{\text{entrant en } x} - \delta^2 Q_{\text{sortant en } x+dx} \\
&= j_{th}(x,t)\cdot S\cdot dt - j_{th}(x+dx,t)\cdot S\cdot dt \\
&= [j_{th}(x) - j_{th}(x+dx)]\cdot S\cdot dt \\
&\overset{DL}{=} -\frac{\partial j_{th}}{\partial x} dx\cdot S\cdot dt
\end{aligned}$$

Exprimons l'énergie interne par la deuxième loi de Joule:

$$\begin{aligned}
d^2 H &= dH(t+dt) - dH(t) \\
&= \delta m\cdot c_p\,[T(t+dt) - T(t)] \\
&\overset{DL}{=} (\rho\cdot S\cdot dx) c_p \frac{\partial T}{\partial t} dt
\end{aligned}$$

Par égalité des deux équations:

$$\rho\cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t}\cdot \cancel{S\cdot dx}\cdot dt + \frac{\partial j_{th}}{\partial x}\cancel{dx\cdot S}\cdot dt = 0$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Application du 1er principe en enthalpie:

$$d^2 H = dH(t+dt) - dH(t)$$

Surfaces lat. étant calorifugé:

4- Expression de l'échange de chaleur:

a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t)\cdot dt$

b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$

c) Intégrale à résoudre

d) Faire de même en $x+dx$

e) Soustraction des deux et DL

5- Expression de l'énergie interne:

a) Développer $d^2 H$

b) 2ème loi de Joule

$$d^2 H = \delta m\cdot c_p(T(t+dt) - T(t))$$

c) DL à l'ordre 1

6- Egaliser les 2 termes + simplification

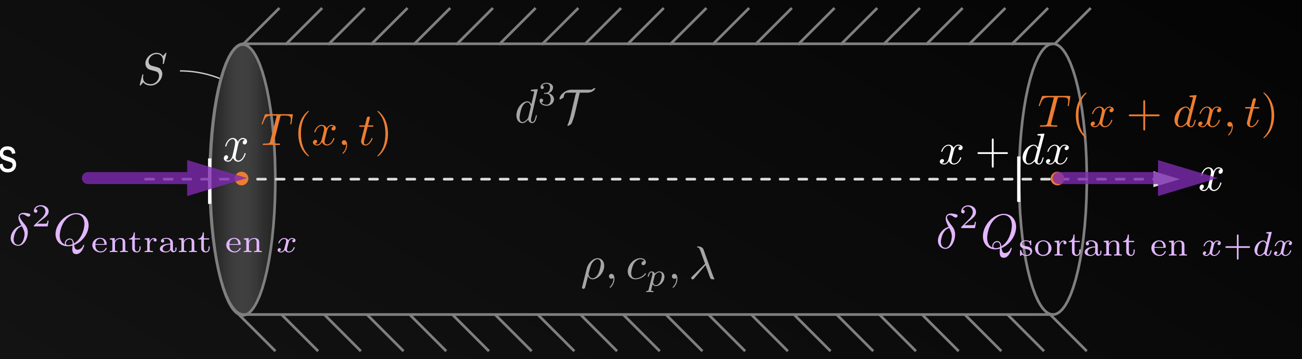
7- Loi de Fourier en 1D

$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda\cdot\frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$$

(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\mathrm{grad}}(T)$)

Bilan 1D

$\hookrightarrow$ Bcp de pts au concours



D'où,

$$\begin{aligned}\delta^2 Q &= \delta^2 Q_{\text{entrant en } x} - \delta^2 Q_{\text{sortant en } x+dx} \\ &= j_{th}(x,t)\cdot S\cdot dt - j_{th}(x+dx,t)\cdot S\cdot dt \\ &= [j_{th}(x) - j_{th}(x+dx)]\cdot S\cdot dt \\ &\overset{DL}{=} -\frac{\partial j_{th}}{\partial x}dx\cdot S\cdot dt\end{aligned}$$

Exprimons l'énergie interne par la deuxième loi de Joule:

$$\begin{aligned}d^2H &= dH(t+dt) - dH(t) \\ &= \delta m\cdot c_p\,[T(t+dt) - T(t)] \\ &\overset{DL}{=} (\rho\cdot S\cdot dx)c_p\frac{\partial T}{\partial t}dt\end{aligned}$$

Par égalité des deux équations:

$$\rho\cdot c_p\frac{\partial T}{\partial t}\cdot \cancel{S\cdot dx}\cdot dt + \frac{\partial j_{th}}{\partial x}\cancel{dx\cdot S}\cdot dt = 0$$

D'après la loi de Fourier:

$$\rho\cdot c_p\frac{\partial T}{\partial t} - \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \iff \boxed{\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}}$$

Coefficient de diffusion thermique
||
Vitesse de pénétration

Méthode / Protocole

1- Faire schéma
2- Dire les hypothèses
3- Application du 1er principe en enthalpie:
$d^2H = dH(t+dt) - dH(t)$
Surfaces lat. étant calorifugé:
4- Expression de l'échange de chaleur:
- a) $\delta^2 Q_{\text{en } x} = \Phi(x,t)\cdot dt$
- b) Apparition de $\overrightarrow{j_{th}}$
- c) Intégrale à résoudre
- d) Faire de même en $x+dx$
- e) Soustraction des deux et DL

5- Expression de l'énergie interne:
- **a) Développer d^2H**
- **b) 2ème loi de Joule**
$d^2H = \delta m\cdot c_p(T(t+dt) - T(t))$
- **c) DL à l'ordre 1**

6- Egaliser les 2 termes + simplification
7- Loi de Fourier en 1D
$$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda\cdot\frac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$$
(8- Généralisation en 3D car on reconnait le $\overrightarrow{\mathrm{grad}}(T)$)

Temps caractéristique

→ C'est une estimation de la **vitesse de réaction** pour qu'un système passe de son état initial à son nouvel état d'équilibre (permanent)

$$\tau \approx \frac{L^2}{\kappa}$$

On remarquera qu'il est visible sur l'équation de la chaleur:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Comment l'obtenir ?

- Analogie élec ↔ thermo:

$$\tau = RC \iff \tau = R_{th} \cdot C_{th}$$

- Graphe: comme en SI à 63%

- Equa diff à mettre de la forme:

$$\frac{df}{dt} + \frac{1}{\tau} f(t) = \text{cst}$$

- Analyse dimensionnel:

a) Identifier les cst de l'énoncé qui pilotent le phénomène
b) Trouver une combinaison qui donne du temps

Qu¿zz

Dans un bilan de chaleur juste après avoir développé le d^2H quel loi doit-on utiliser?

A. La loi de Fourier

B. La 2ème loi de Joule

C. Le principe de Néfario

Qu¿zz

Dans un bilan de chaleur juste après avoir développé le d^2H quel loi doit-on utiliser?

A. La loi de Fourier

B. La $2^{ème}$ loi de Joule

C. Le principe de Néfario

Que correspond κ dans l'équation de la chaleur?

A. Vitesse de pénétration

B. Conductivité thermique

C. Capacité thermique

Que correspond κ dans l'équation de la chaleur?

A. Vitesse de pénétration

B. Conductivité thermique

C. Capacité thermique

Pause sujet de concours

Physique 1 – 2022 : Etude de la température d'un cœur d'uranium

- Analyser des termes d'une équation:

$$dH = \Phi(r)dt - \Phi(r+dr)dt + P_v 2\pi r h dr dt$$

Variation de l'enthalpie pdt dt

Energie thermique entrante pdt dt

Energie thermique sortante pdt dt

Energie thermique créée

- Utiliser le régime stationnaire + maths:
  → **Les termes temporels sont nul**

- Rappeler la loi de Fourier et l'utiliser

- Utiliser la def de flux

- Intégration en laissant des constantes

- Comparaison

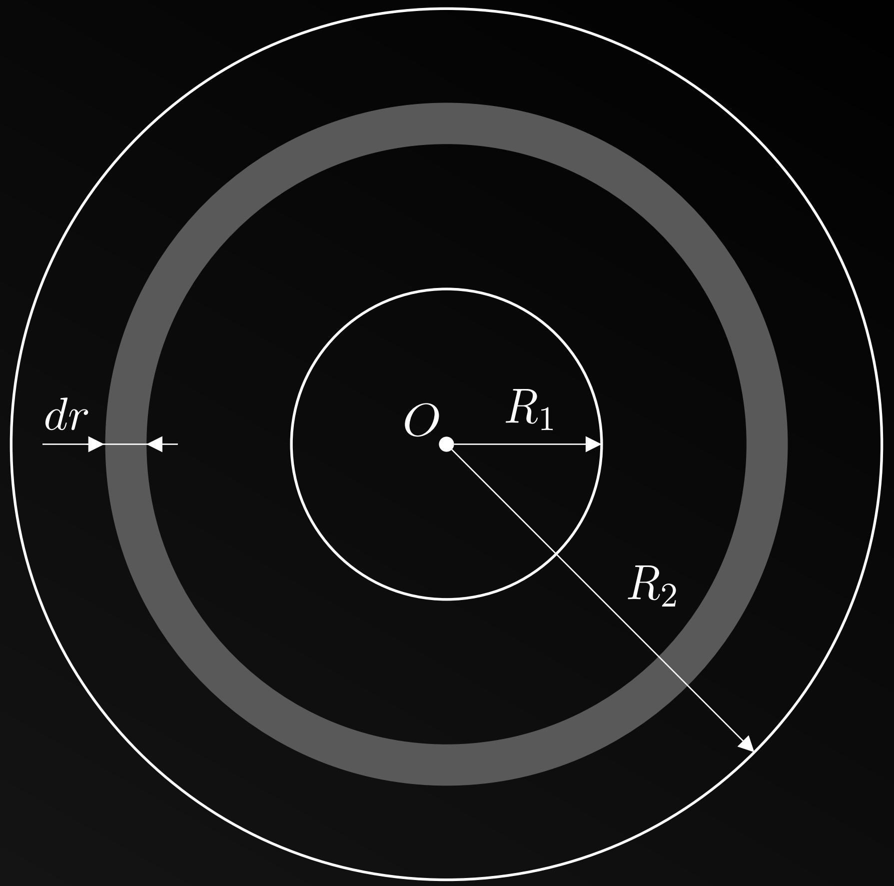
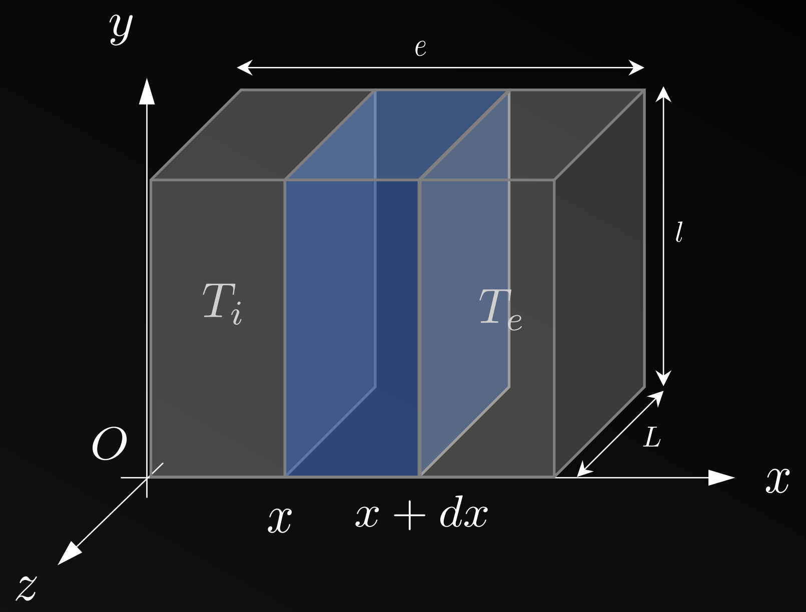


Schéma du système étudié vu de dessus. La zone grisée correspond à l'ensemble du coeur en uranium.

Pause sujet de concours

Physique 1 – 2023 : Etude thermique d'une serre

- Faire le bilan (sans utiliser la loi de Fourier
- Rappeler la loi de Fourier et l'utiliser dans le bilan
  → **Analyser le signe –**
- Utiliser le régime stationnaire + maths:
  → **Les termes temporels sont nul**
- Exprimer le temps caractéristique



Modélisation d'une paroi de polycarbonate d'une serre

Pause sujet de concours

Physique 2 – 2023 : Etude photothermique d'un laser

- Rappeler la loi de Fourier et dire les grandeurs
- Faire le bilan
- Exprimer le temps caractéristique
- Impulsion de 1ns → 0 effet sur la diffusion thermique
  → **Utiliser le temps caractéristique**
- Intégration en laissant des constantes
- Faire un mini-bilan

Pause sujet de concours

Physique – 2021 : Formation de calcaire à la surface d'un thermoplongeur

- Flux thermique
- Bilan mais que de dQ
- Loi de Fourier à donner
- Intégration d'une expression pour obtenir la température
- Temps caractéristique + Analyse physique

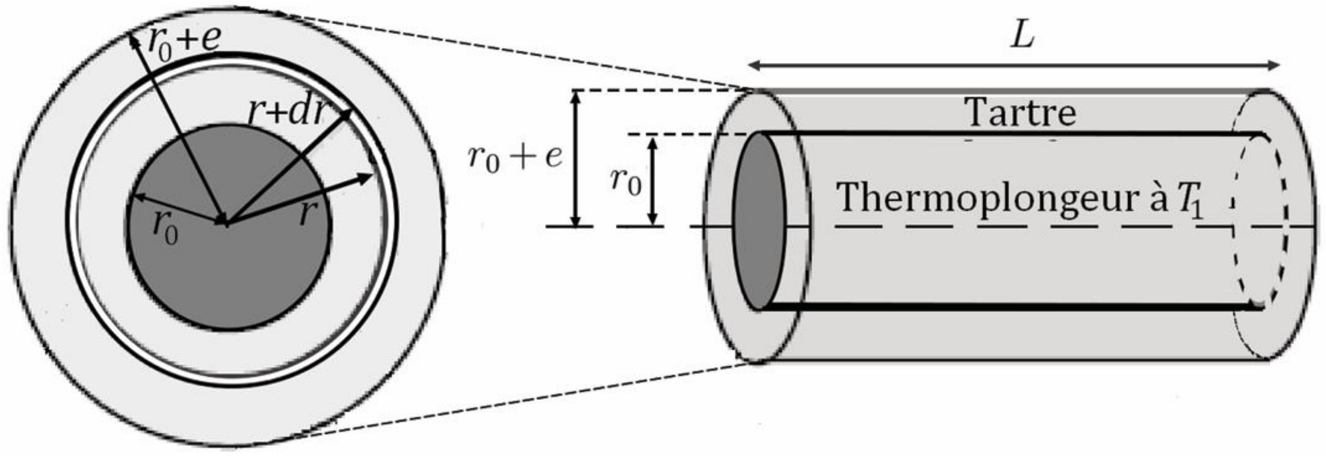
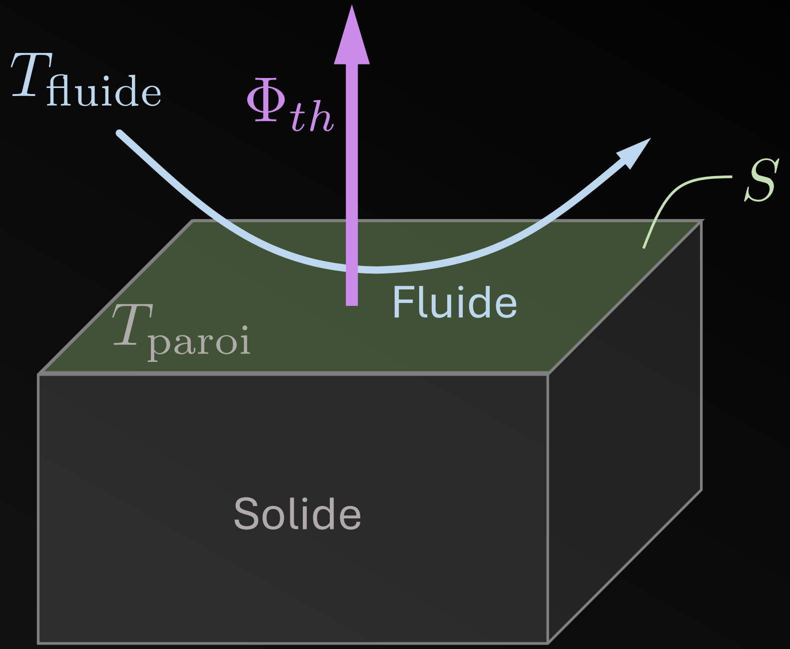


Figure 8 - Schéma du thermoplongeur recouvert de tartre

Loi de Newton et conducto-convection

Énoncé

$$\Phi_{th,\text{paroi}\to\text{fluide}} = \underbrace{h}_{\text{en } W.m^{-2}.K^{-1}} S(T_{\text{paroi}} - T_{\text{fluide}})$$



h est le coefficient de convection thermique.

HP: Il se retrouve avec des corrélations de Blasius

Ordres de grandeurs pour de **l'air**:

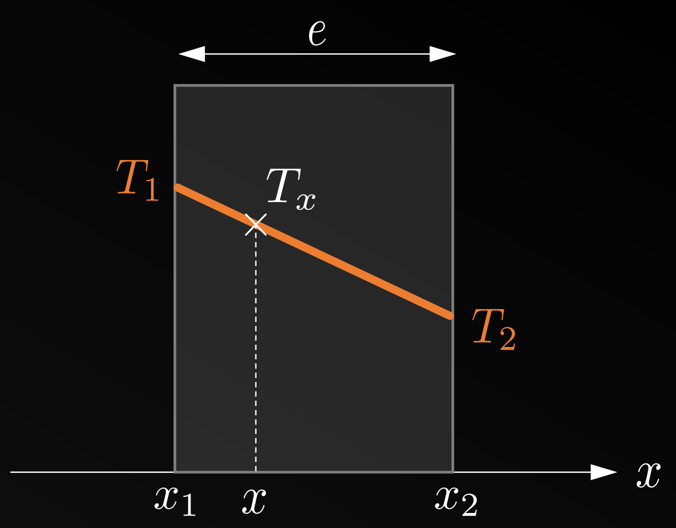
Type	**Convection naturelle**	**Convection forcée** *(ventilateur)*
Valeur de h	5-20 W/m².K	20-250 W/m².K

Régime stationnaire et analogie électrique

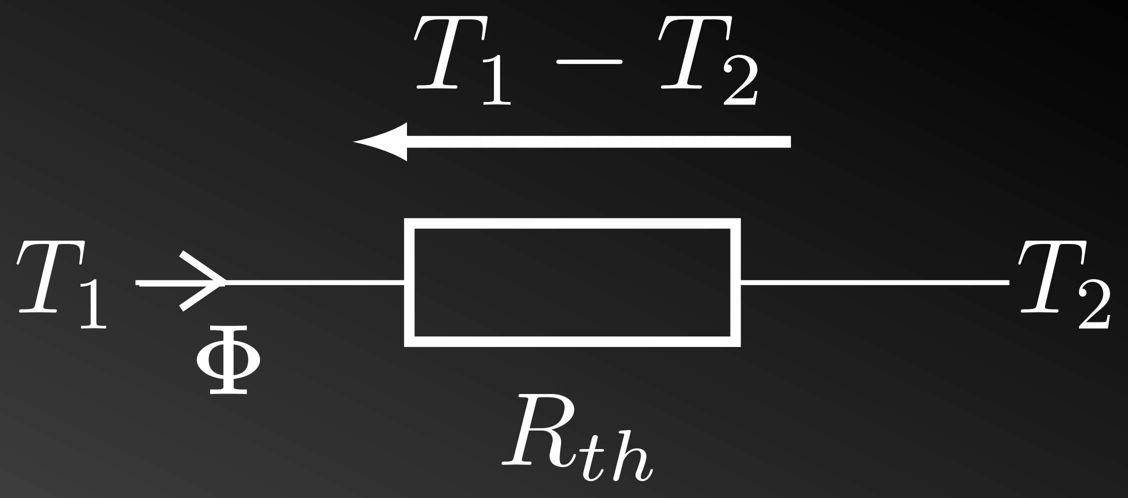
En régime stationnaire, la température ne dépend pas du temps

L’équation de la chaleur en 1D se simplifie alors en:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \iff T(x) = Ax + B$$



Analogie électrique



Loi d’Ohm

$$\Delta T = R_{th} \cdot \Phi$$

Cas d'une résistance en conduction

En régime stationnaire, on peut modéliser une phase condensée en une résistance thermique:

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Repartir de l'équation de la chaleur avec le vecteur densité (sans utiliser Fourier) pour prouver qu'il est uniforme

4- Utiliser la définition de flux, et utiliser le fait que ce soit uniforme et constant

5- Simplifier j_{th} dans la loi de Fourier

6- Utiliser la méthode de séparation de variable

→ Pour les bornes, utiliser le schéma

7- Calculer

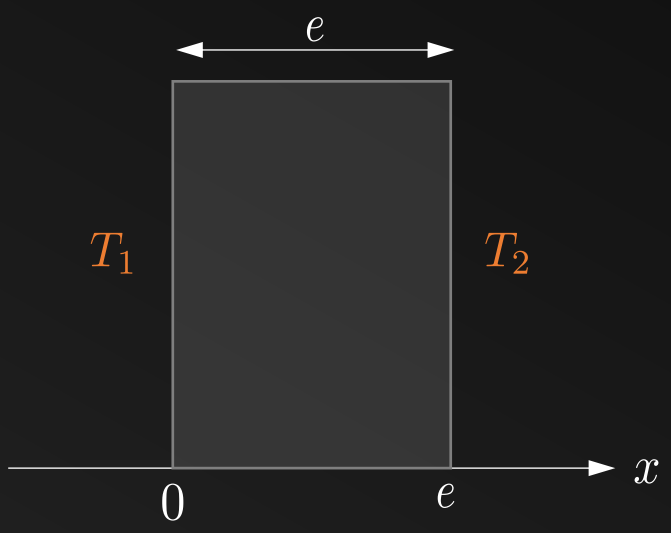
8- Utiliser la loi d'Ohm pour *invoquer* une résistance thermique

9- D'où $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$

Cas d'une résistance en conduction

En régime stationnaire, on peut modéliser une phase condensée en une résistance thermique:

Soit un mur plan, on suppose que le transfert thermique se fait uniquement selon l'axe x



De plus, on suppose qu'il n'y a **pas de source d'énergie** à l'intérieur du système

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Repartir de l'équation de la chaleur avec le vecteur densité (sans utiliser Fourier) pour prouver qu'il est uniforme

4- Utiliser la définition de flux, et utiliser le fait que ce soit uniforme et constant

5- Simplifier j_{th} dans la loi de Fourier

6- Utiliser la méthode de séparation de variable

→ Pour les bornes, utiliser le schéma

7- Calculer

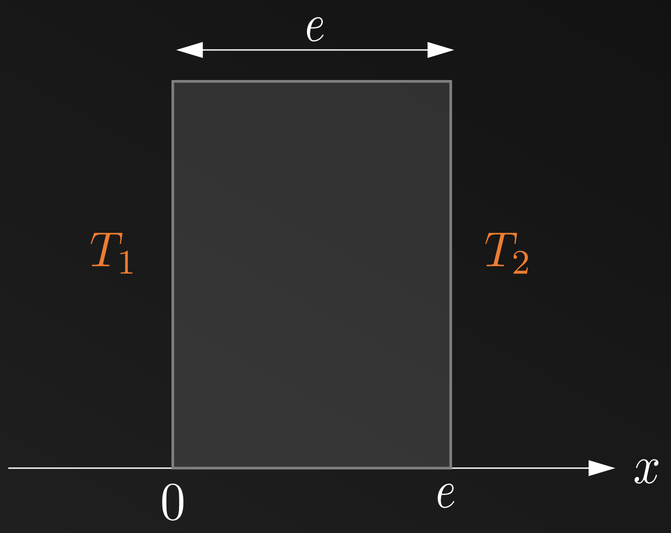
8- Utiliser la loi d'Ohm pour *invoquer* une résistance thermique

9- D'où $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$

Cas d'une résistance en conduction

En régime stationnaire, on peut modéliser une phase condensée en une résistance thermique:

Soit un mur plan, on suppose que le transfert thermique se fait uniquement selon l'axe x



De plus, on suppose qu'il n'y a **pas de source d'énergie** à l'intérieur du système

En repartant de l'équation de la chaleur, on a donc:

$$\cancel{\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t}} + \frac{\partial j_{th}}{\partial x} = 0$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Repartir de l'équation de la chaleur avec le vecteur densité (sans utiliser Fourier) pour prouver qu'il est uniforme

4- Utiliser la définition de flux, et utiliser le fait que ce soit uniforme et constant

5- Simplifier j_{th} dans la loi de Fourier

6- Utiliser la méthode de séparation de variable

→ Pour les bornes, utiliser le schéma

7- Calculer

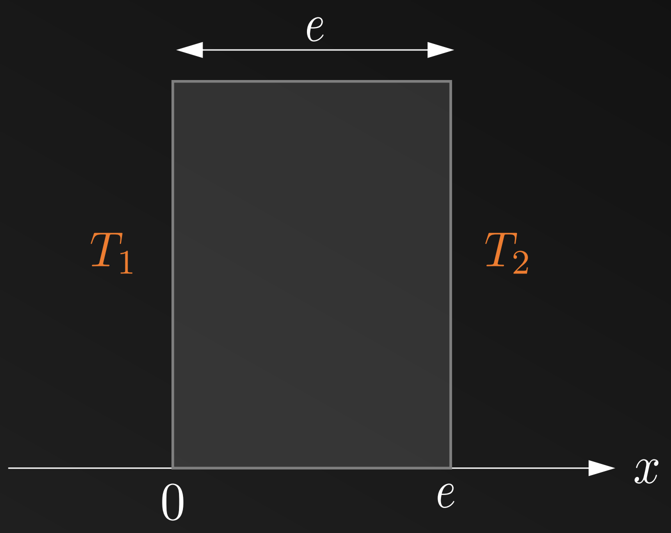
8- Utiliser la loi d'Ohm pour *invoquer* une résistance thermique

9- D'où $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$

Cas d'une résistance en conduction

En régime stationnaire, on peut modéliser une phase condensée en une résistance thermique:

Soit un mur plan, on suppose que le transfert thermique se fait uniquement selon l'axe x



De plus, on suppose qu'il n'y a **pas de source d'énergie** à l'intérieur du système

En repartant de l'équation de la chaleur, on a donc:

$$\cancel{\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t}} + \frac{\partial j_{th}}{\partial x} = 0$$

Or, comme j_{th} est uniforme et S est constante:

$$\Phi = \iint_S \overrightarrow{j_{th}} \cdot \overrightarrow{dS} = j_{th} \cdot S = \text{cst}$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Repartir de l'équation de la chaleur avec le vecteur densité (sans utiliser Fourier) pour prouver qu'il est uniforme

4- Utiliser la définition de flux, et utiliser le fait que ce soit uniforme et constant

5- Simplifier j_{th} dans la loi de Fourier

6- Utiliser la méthode de séparation de variable

→ Pour les bornes, utiliser le schéma

7- Calculer

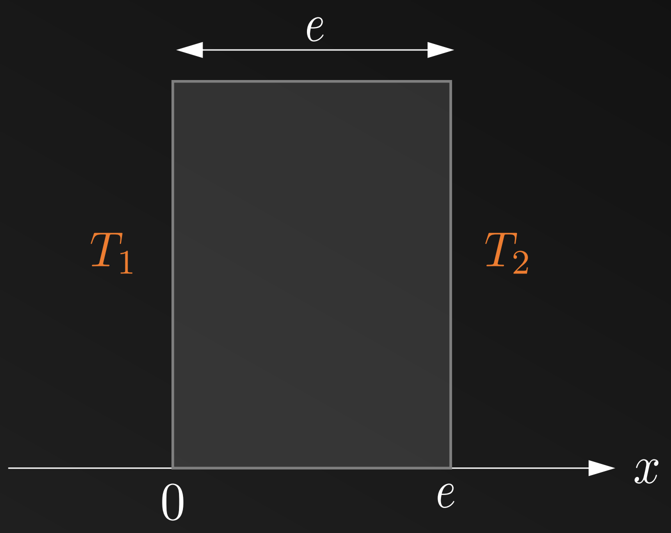
8- Utiliser la loi d'Ohm pour *invoquer* une résistance thermique

9- D'où $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$

Cas d'une résistance en conduction

En régime stationnaire, on peut modéliser une phase condensée en une résistance thermique:

Soit un mur plan, on suppose que le transfert thermique se fait uniquement selon l'axe x



De plus, on suppose qu'il n'y a **pas de source d'énergie** à l'intérieur du système

En repartant de l'équation de la chaleur, on a donc:

$$\cancel{\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t}} + \frac{\partial j_{th}}{\partial x} = 0$$

Or, comme j_{th} est uniforme et S est constante:

$$\Phi = \iint_S \overrightarrow{j_{th}} \cdot \overrightarrow{dS} = j_{th} \cdot S = \text{cst}$$

Donc d'après la loi de Fourier

$$j_{th} = -\lambda \frac{dT}{dx} \iff \Phi = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Repartir de l'équation de la chaleur avec le vecteur densité (sans utiliser Fourier) pour prouver qu'il est uniforme

4- Utiliser la définition de flux, et utiliser le fait que ce soit uniforme et constant

5- Simplifier j_{th} dans la loi de Fourier

6- Utiliser la méthode de séparation de variable

→ Pour les bornes, utiliser le schéma

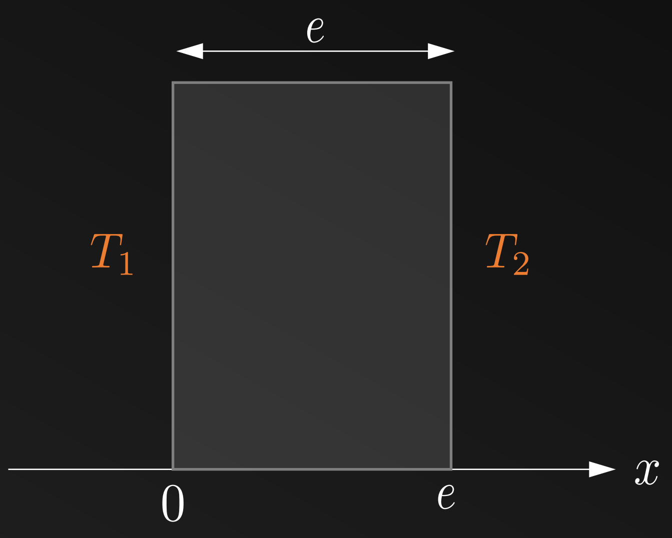
7- Calculer

8- Utiliser la loi d'Ohm pour *invoquer* une résistance thermique

9- D'où $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$

Cas d'une résistance en conduction

Par méthode de séparation de variable:



$$\Phi = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$

$$\Longleftrightarrow \Phi dx = -\lambda S dT$$

$$\Longleftrightarrow \int_0^e \Phi dx = \int_{T_1}^{T_2} -\lambda S dT$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Repartir de l'équation de la chaleur avec le vecteur densité (sans utiliser Fourier) pour prouver qu'il est uniforme

4- Utiliser la définition de flux, et utiliser le fait que ce soit uniforme et constant

5- Simplifier j_{th} dans la loi de Fourier

6- Utiliser la méthode de séparation de variable

→ Pour les bornes, utiliser le schéma

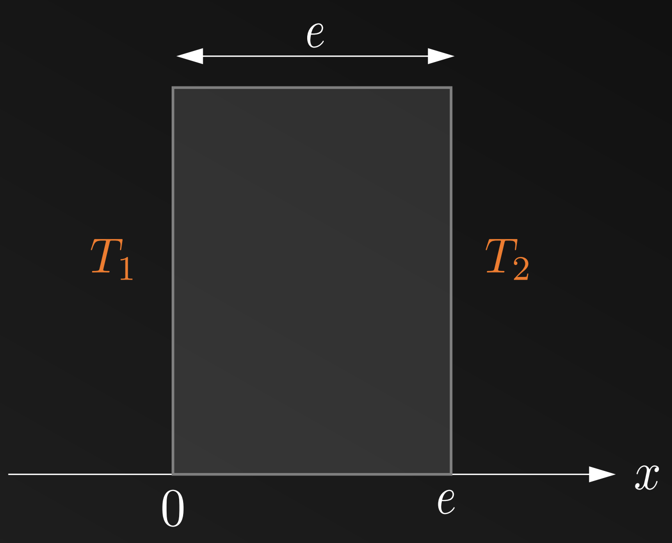
7- Calculer

8- Utiliser la loi d'Ohm pour *invoquer* une résistance thermique

9- D'où $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$

Cas d’une résistance en conduction

Par méthode de séparation de variable:



$$\Phi = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$
$$\iff \Phi dx = -\lambda S dT$$
$$\iff \int_0^e \Phi dx = \int_{T_1}^{T_2} -\lambda S dT$$
$$\iff \Phi \int_0^e dx = -\lambda S \int_{T_1}^{T_2} dT$$
$$\iff \Phi \cdot [x]_0^e = -\lambda S \cdot [T]_{T_1}^{T_2}$$
$$\iff \Phi \cdot e = -\lambda S \cdot (T_2 - T_1)$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Repartir de l’équation de la chaleur avec le vecteur densité (sans utiliser Fourier) pour prouver qu’il est uniforme

4- Utiliser la définition de flux, et utiliser le fait que ce soit uniforme et constant

5- Simplifier j_{th} dans la loi de Fourier

6- Utiliser la méthode de séparation de variable

→ Pour les bornes, utiliser le schéma

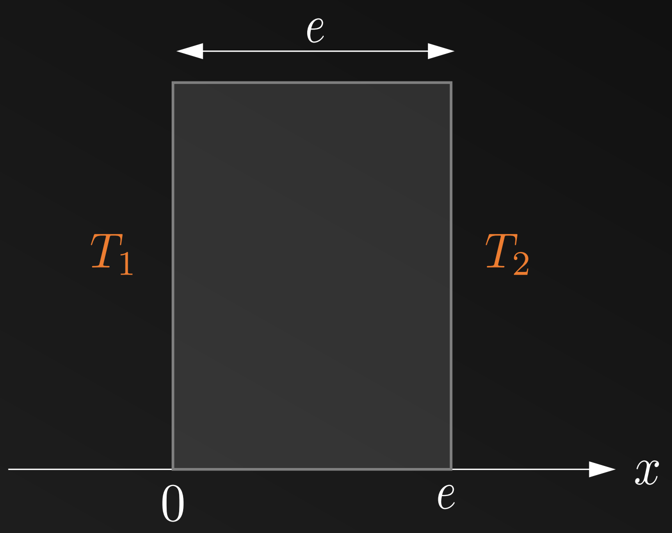
7- Calculer

8- Utiliser la loi d’Ohm pour *invoquer* une résistance thermique

9- D’où $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$

Cas d'une résistance en conduction

Par méthode de séparation de variable:



$$\Phi = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$

$$\iff \Phi dx = -\lambda S dT$$

$$\iff \int_0^e \Phi dx = \int_{T_1}^{T_2} -\lambda S dT$$

$$\iff \Phi \int_0^e dx = -\lambda S \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\iff \Phi \cdot [x]_0^e = -\lambda S \cdot [T]_{T_1}^{T_2}$$

$$\iff \Phi \cdot e = -\lambda S \cdot (T_2 - T_1)$$

$$\iff \frac{T_1 - T_2}{\Phi} = \frac{e}{\lambda S}$$

$$\iff \boxed{R_{th} = \frac{e}{\lambda S}}$$

Méthode / Protocole

1- Faire schéma

2- Dire les hypothèses

3- Repartir de l'équation de la chaleur avec le vecteur densité (sans utiliser Fourier) pour prouver qu'il est uniforme

4- Utiliser la définition de flux, et utiliser le fait que ce soit uniforme et constant

5- Simplifier j_{th} dans la loi de Fourier

6- Utiliser la méthode de séparation de variable

→ Pour les bornes, utiliser le schéma

7- Calculer

8- Utiliser la loi d'Ohm pour *invoquer* une résistance thermique

9- D'où $R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$

Cas d'une résistance en conducto-convection

D'après la loi de Newton

$$\Phi = h \cdot S \cdot (T_p - T_f)$$

Donc:

$$\frac{\Phi}{T_p - T_f} = h \cdot S$$

D'où d'après la loi d'Ohm

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

Méthode / Protocole

1- Partir de la loi de Newton

2- Isoler les termes de flux et de température

3- Utiliser la loi d'Ohm

4- D'où $R_{th} = \frac{1}{hS}$

Photographie d'un radiateur avec ses aillettes de refroidissement

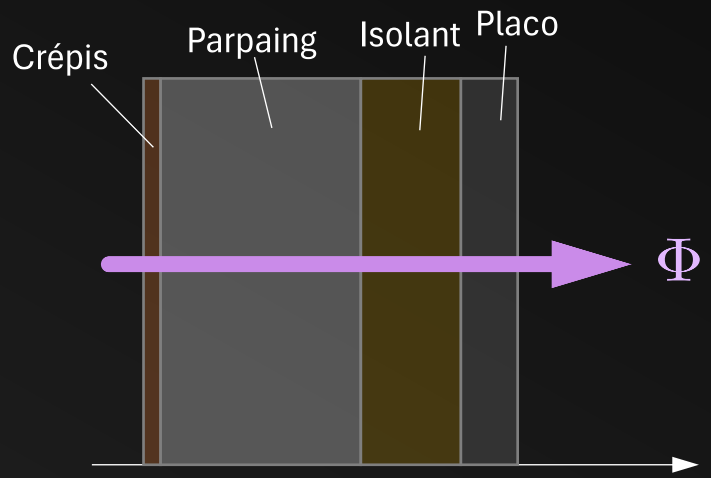
Association de résistances

Il est possible d’associer des résistances thermiques en série ou en parallèle comme en électronique

Association de résistances

Il est possible d'associer des résistances thermiques en série ou en parallèle comme en électronique

Cas de l'association en série

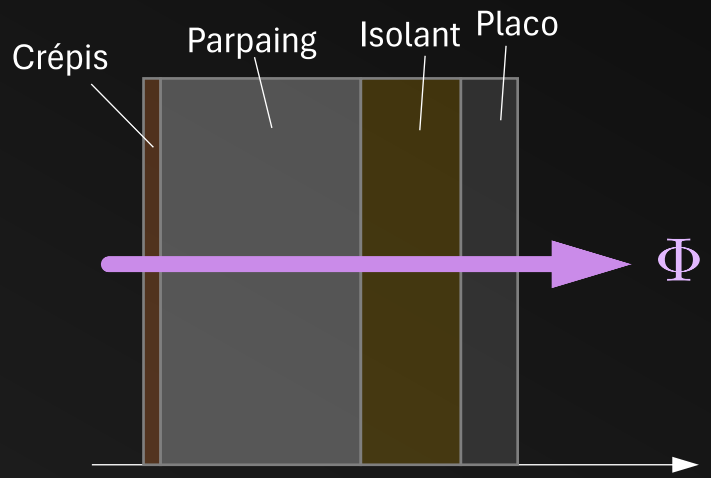


Cas d'un mur
(celui de la salle de concours en gros)

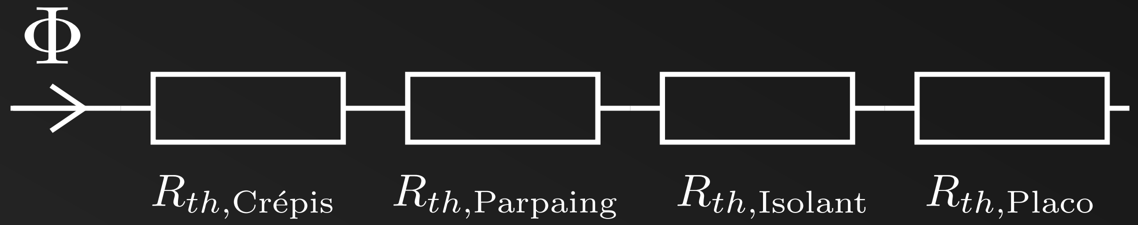
Association de résistances

Il est possible d'associer des résistances thermiques en série ou en parallèle comme en électronique

Cas de l'association en série



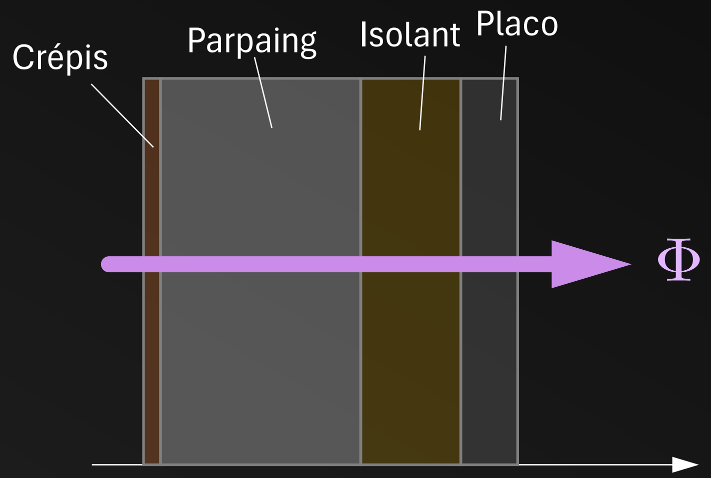
Cas d'un mur
(celui de la salle de concours en gros)



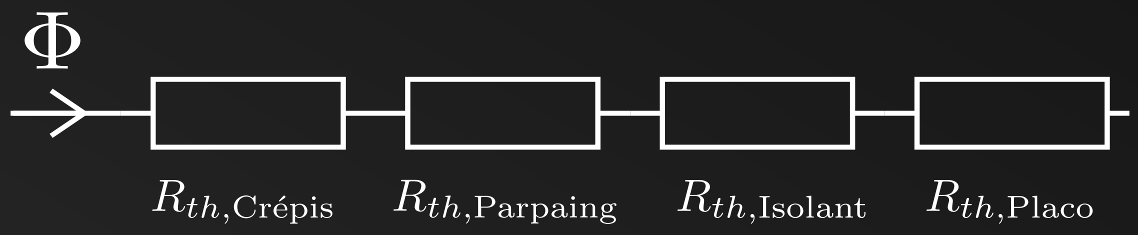
Association de résistances

Il est possible d'associer des résistances thermiques en série ou en parallèle comme en électronique

Cas de l'association en série

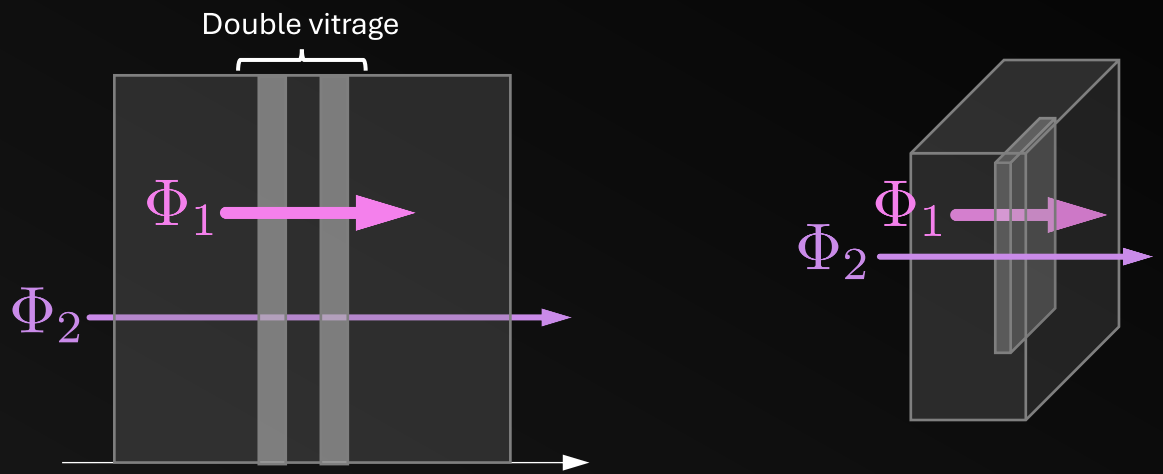


Cas d'un mur
(celui de la salle de concours en gros)



Cas de l'association en parallèle

La chaleur à plusieurs possibilités et passera mieux par un chemin que l'autre.

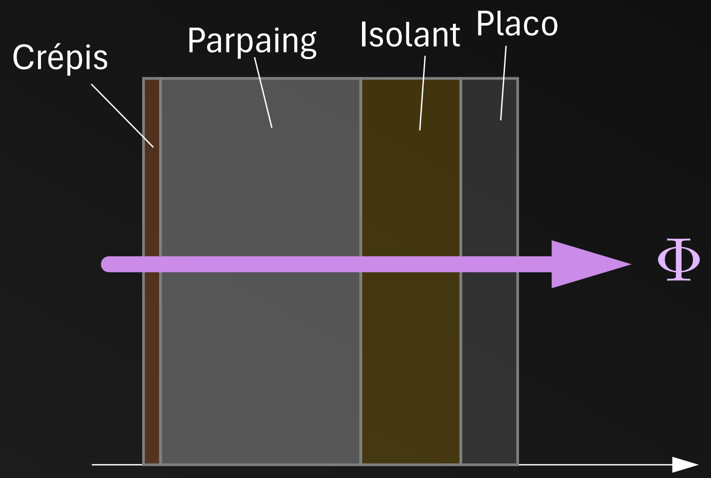


Cas d'un mur avec double vitrage

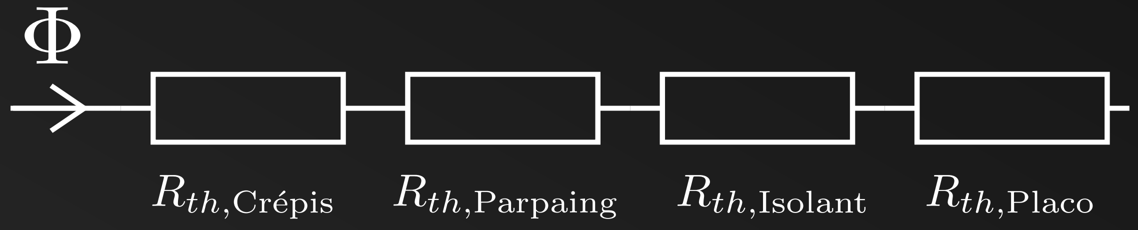
Association de résistances

Il est possible d'associer des résistances thermiques en série ou en parallèle comme en électronique

Cas de l'association en série

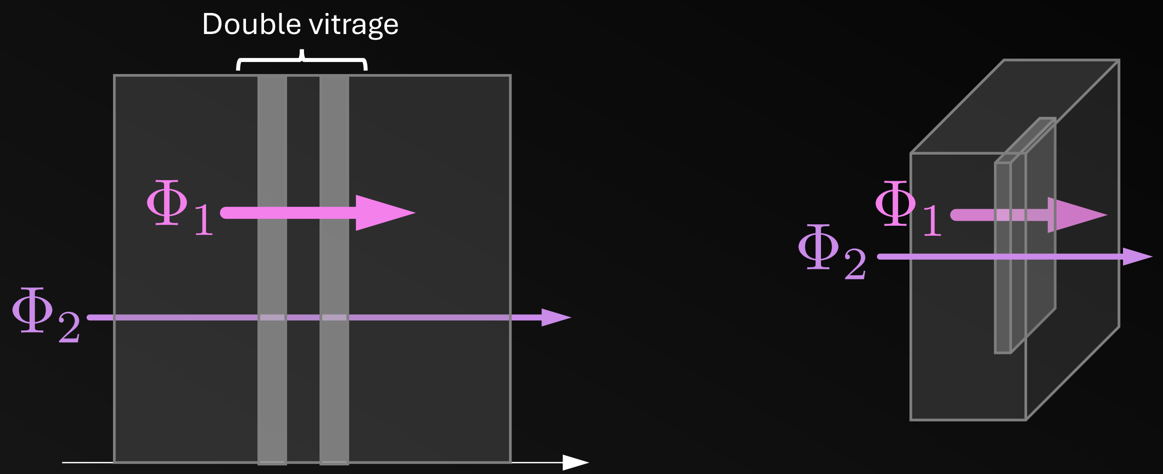


Cas d'un mur
(celui de la salle de concours en gros)

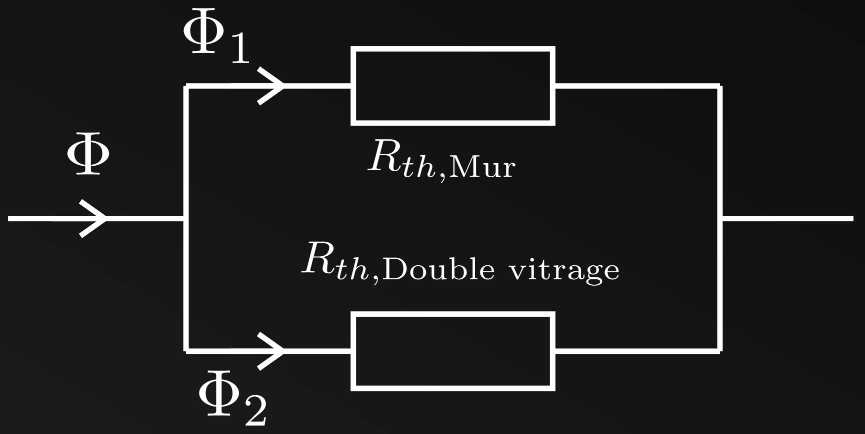


Cas de l'association en parallèle

La chaleur à plusieurs possibilités et passera mieux par un chemin que l'autre.



Cas d'un mur avec double vitrage



Quel est l'hypothèse principale pour utiliser des résistances thermiques

A. Régime critique

B. Régime permanent

C. Régime transitoire

Quizz

Quel est l’hypothèse principale pour utiliser des résistances thermiques

A. Régime critique

B. Régime permanent

C. Régime transitoire

Vrai ou faux, la loi de Fourier s’exprime ainsi:

$$\overrightarrow{j_{th}} = \lambda \overrightarrow{\mathrm{grad}} T$$

VRAI

FAUX

Quizz

Vrai ou faux, la loi de Fourier s'exprime ainsi:

$$\overrightarrow{j_{th}} = \lambda \overrightarrow{\mathrm{grad}} T$$

VRAI

FAUX

Analyse sujet de concours

Physique 1 – 2025 : Etude thermique d'une plaque d'un stator

- Redonner les expressions des résistances thermiques
- Bilan à faire
- Donner l'expression de T(t) et donner son allure
- Sens physique et conditions aux limites

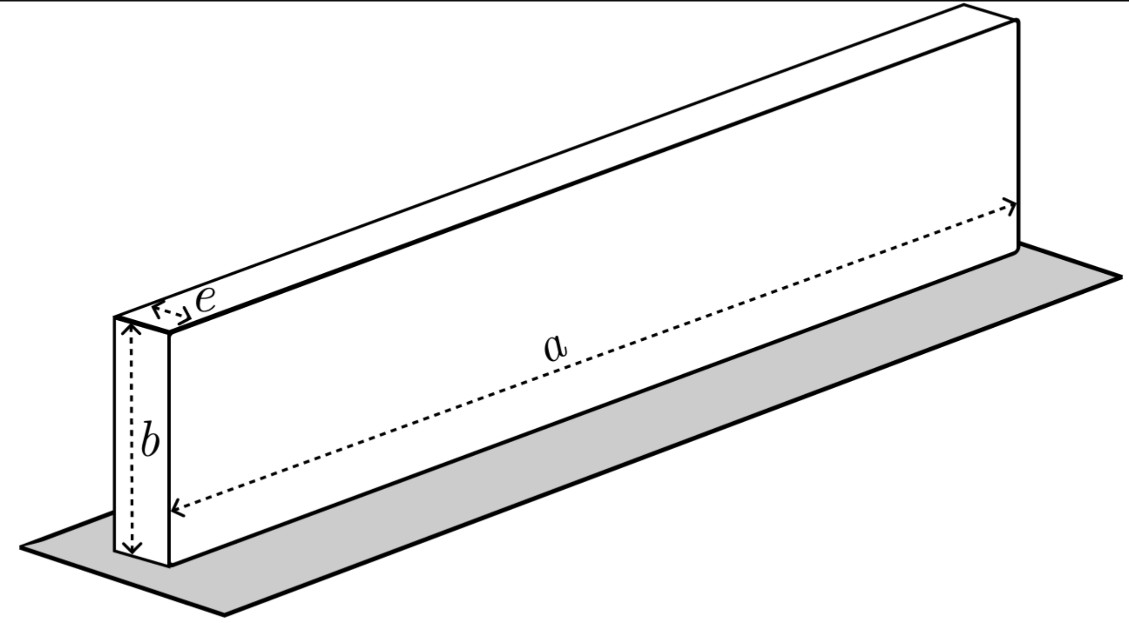
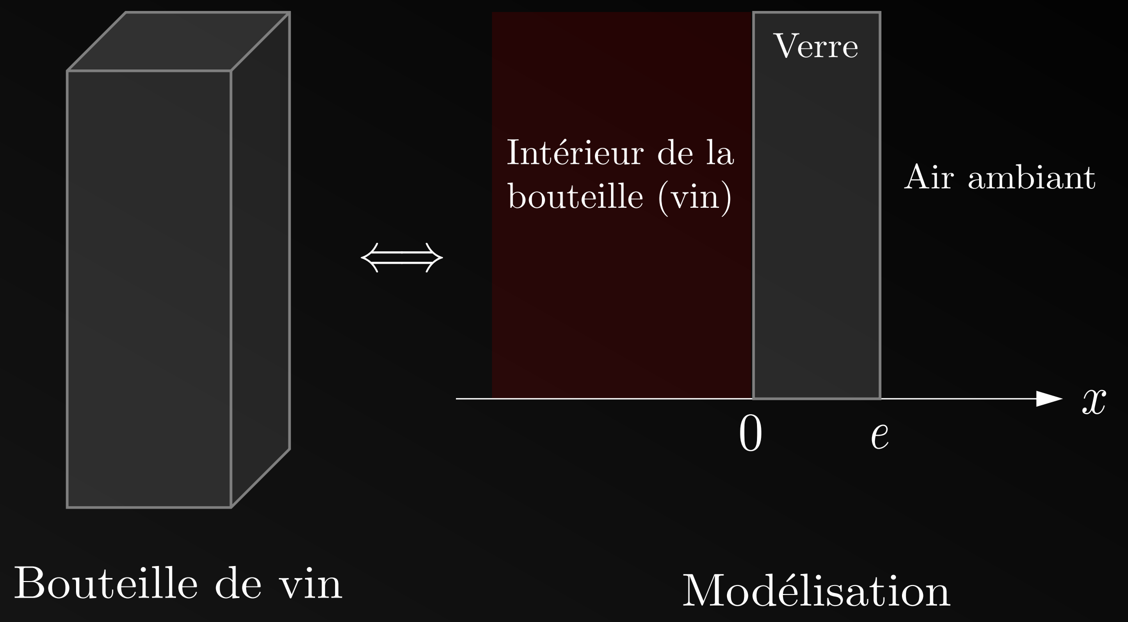


Figure 9 – Une plaque du stator

Analyse sujet de concours

Physique – 2024 : Bouteille de vin → Fait en DS

- Loi de Fourier
- Analogie à donner + celle de la résistance thermique
- Démo résistance thermique conduction
- Unité de h
- Démo résistance thermique conducto-convection
- Série puis parallèle
- Equa diff à déterminer



Analyse sujet de concours

Physique – 2021 : Formation de calcaire à la surface d'un thermoplongeur

- Résistance thermique équivalente
- Loi de Newton

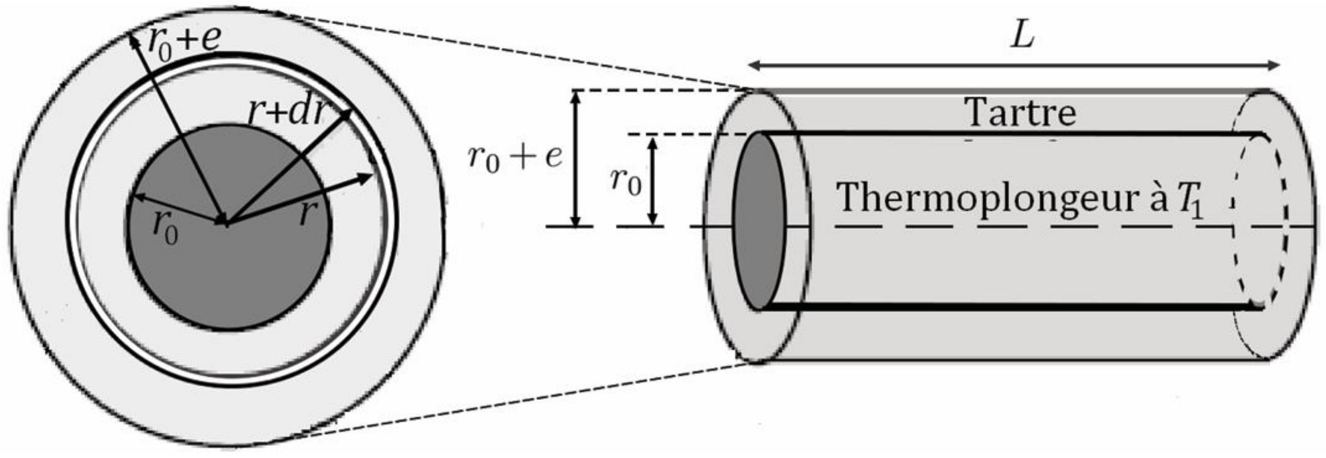


Figure 8 - Schéma du thermoplongeur recouvert de tartre

Merci de votre écoute