

# Phénomènes de transport dans différents domaines de la physique

Niveau : L2

## Intro

Diffusion magnétique  
éconophysique  
pandémie

NATURELLE  
→ diff densité  
T

SALINE  
→ diff densité  
convection forcée  
→ advection  
souvent liée  
à la gravité

Advection : général

convection : circulation à grande échelle

## I - Vue d'ensemble sur les phénomènes de transport

### 1) Définition

Par "phénomène de transport", on entend tout phénomène irréversible de transfert d'une grandeur physique initialement inhomogène dans un milieu.

ex: transfert de charge dans un circuit électrique  
conduction/diffusion thermique  
diffusion de particules

Apparition d'un flux pour pallier l'inhomogénéité et revenir à l'équilibre.

Deux hypothèses:

- équilibre thermodynamique local;
- réponse linéaire.

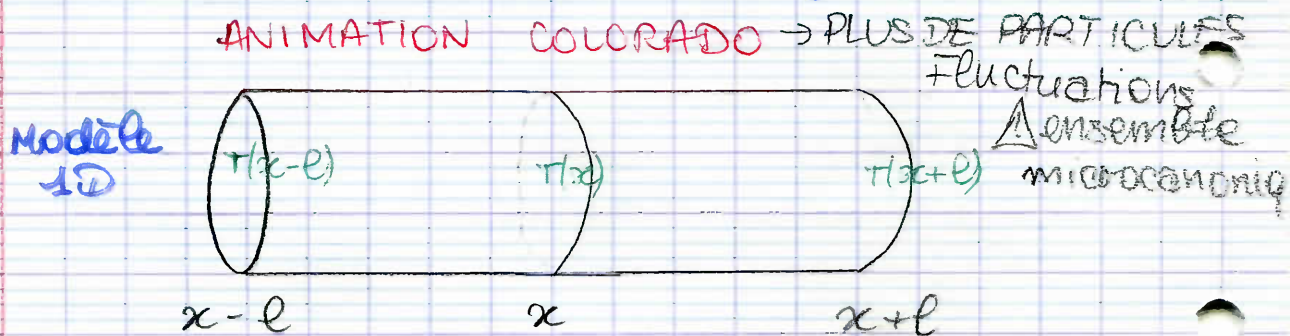
## 2) Différents modes de transport

convection: mode de transport qui implique un déplacement macroscopique de matière

conduction: transfert de proche en proche sans déplacement macroscopique de matière.

rayonnement: met en jeu l'absorption et l'émission de photons.

## 3) Lois phénoménologiques, origine microscopique



Théorème d'équipartition de l'énergie:

$$\frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle \quad u = \sqrt{\langle v^2 \rangle} \text{ vitesse quadratique moyenne}$$

Hypothèse d'isotropie,  $m \mathbf{v}^2$  rectiligne uniforme entre chocs  
 $n$  et  $u$  indépendants de  $x$

Flux surfacique entrant:  $\Phi_e = \frac{1}{6} n \cdot u \cdot E(x-l)$   
3 directions  
sens  $\pm$

Flux surfacique sortant:  $\Phi_s = \frac{1}{6} n \cdot u \cdot E(x+l)$

$$\begin{aligned} E(x+l) &\approx E(x) + l \frac{\partial E}{\partial x} \\ &= E(x) + l \frac{\partial E}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \end{aligned}$$

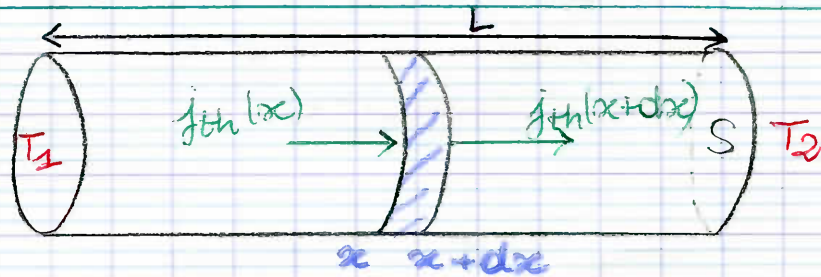
⚠ ne pas écrire  $x \gg l$

$$j_{th} = \phi_e - \phi_s = \underbrace{-\frac{1}{3} \cdot n \cdot u \cdot \frac{\partial E_d}{\partial T}}_{\lambda_{th}} \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

→ loi de Fourier

## I - Équations de diffusion

### 1) Conduction dans une barre de cuivre



système : élément de matériau entre \$x\$ et \$x+dx\$

Appliquons le premier principe de la thermodynamique :

$$H(t+dt) - H(t) = S (j_{th}(x) - j_{th}(x+dx)) dt$$

$$\rho S dx c \frac{\partial T}{\partial t} = -S dx \frac{\partial j}{\partial x}$$

D'après la loi de Fourier:  $j_{th}(x) = -\lambda_{th} \frac{\partial T}{\partial x}$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda_{th}}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Reprendre l'exemple du barbecue

Généralisation en 3D:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \Delta T$$

Remarques:

- $D$  coefficient de diffusion en  $m^2.s^{-1}$
- linéarité  $\rightarrow$  le théorème de superposition s'applique
- $\frac{\partial}{\partial t}$  pas invariante par renversement du temps ( $t \rightarrow -t$ )

IRRÉVERSIBILITÉ

Ordre de grandeur:

$$\begin{cases} \lambda_{th} = 386 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ c_p = 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ \rho = 8,96 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \end{cases}$$

$$D = \underline{1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}}$$

$$D = \frac{L^2}{\tau_{diff}}$$

$$L = 1\text{m} \rightarrow \tau_{diff} = 9 \cdot 10^3 \text{ s} \approx 2\text{h}30$$

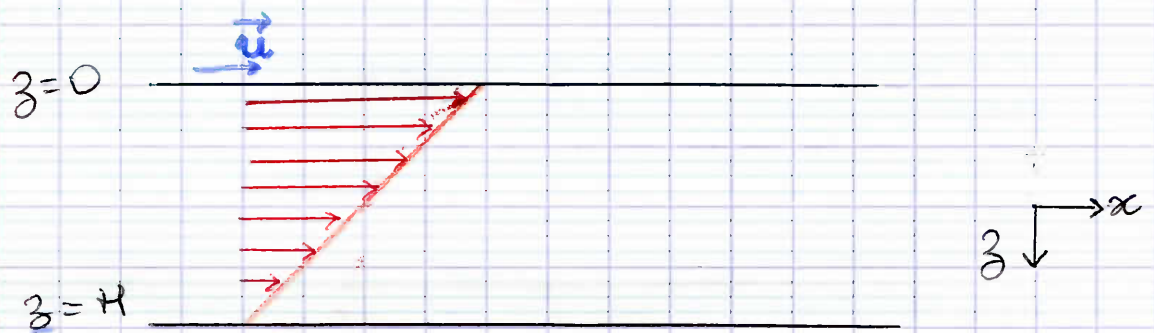
Analogie diffusion de charge  $\tau = RC$   
 $= \underline{1,1 \cdot 10^{-4} \text{ s}}$

Résolution en régime stationnaire:

$$u_n = u_0 \left(1 - \frac{n}{21}\right)$$

Montrer  
gaz  
liquide  
solide  
 $\rightarrow$  10 026  
sur  $D$

## 2) Écoulement Couette plan



Equation de Navier-Stokes

$$\rho \left[ \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \right] = \rho \vec{g} - \text{grad}(p) + \eta \Delta \vec{v}$$

$$\vec{v} = v(z) \vec{u}_x$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} = \vec{0} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{on néglige } \rho \vec{g}, \text{ grad}(p) = \vec{0} \end{array} \right.$$

$$\boxed{\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \frac{\eta}{\rho} \Delta \vec{v}}$$

$\eta = \nu$  viscosité cinématique en  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .  
 e ODE :  $10^{-6}$  pour de l'eau à  $20^\circ\text{C}$

Résolution en régime stationnaire :  $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \vec{0}$

$$\frac{d^2 v}{dz^2} = 0$$

$$v(z) = Az + B$$

$$\text{En } z=0, \quad v(0) = u$$

$$\text{En } z=H, \quad v(H) = 0$$

$$v(z) = u \left( 1 - \frac{z}{H} \right)$$

Dessin du profil affine

### 3) Résolution en régime sinusoïdal forcé

Analogie diffusion de charge