

MP39 : PHÉNOMÈNES DE TRANSPORT

Lauron et
Catherine

Bibliographie :

- Quaranta Thermo et Applications
- Goring. Ondes méca et Diffusion
- Cap prépa / Tec & Doc PC-PC*

Plan :

Intro: convection (qualitatif)

I - Diffusion de quantité de matière

diffusion du glycérol dans l'eau

II - Diffusion d'énergie thermique

barre de cuivre en régime permanent sinusoïdal

III - Diffusion de quantité de mouvement

chute de billes d'acier dans du glycérol

IV - Transport par rayonnement

corps gris: la lampe à filament de Tungstène
étude qualitative, voire quantitatif avec la relation
de $R(T)$ tirée du Quaranta.

À propos des rappels de jury

- pas que des lois en flux $= - \nabla$ potentiel
- bien avoir en tête les modèles (en particulier barre de cuivre)
- plusieurs types de transports: convection, diffusion, conduction...

Autre manip' possibles

- la cage noir avec la four et la thermopile: si quelqu'un arrive à le mettre en place: chapeau bas!
- conduction dans métaux
- barre de cuivre sous d'autres régimes

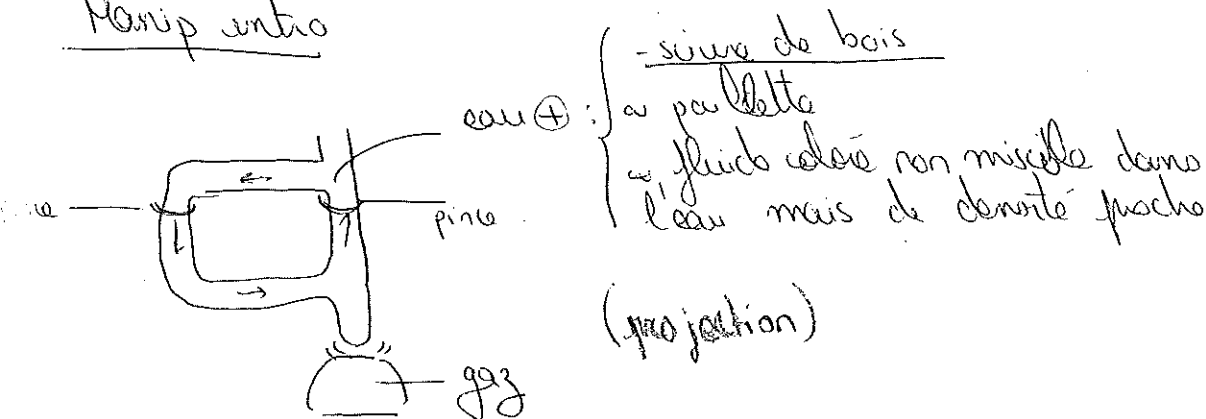
Intro: on appelle phénomène de transport le déplacement d'une grandeur d'un lieu à un autre sans qu'il y ait création ou disparition de celle-ci.

Le déplacement peut se faire par convection, diffusion ou rayonnement, et les grandeurs transportées sont diverses: quantité de matière, énergie thermique, énergie électrique, quantité de mouvement...

Dans ce montage, j'illustrerai la convective des grandeurs transportées en présentant, (tout d'abord) la diffusion de la matière (pencher un point), puis la diffusion d'énergie thermique (lancer une acquisition de ~5 min pour la barre de cuivre) et de la quantité de mouvement. J'exposerais enfin a autre type de transport pour l'énergie thermique: le transport par rayonnement.

Avant cela: convection

Montage intro



L'eau, en chauffant (densité ↓) monte dans la colonne, entraînant les particules de bois. arrivées en haut, se refroidie et perd la place laissée par le fluide qui l'a remplacé sous le gaz.

CONVECTION: transport (ici de matière) associé à un mouvement macroscopique dans le fluide.

I - Diffusion de quantité de matière

Matériel : - laser + pied + noix + pince
 - lentille cylindrique
 - boy rect.
 - cuve rectangulaire
 - écran

- glycérol 50% en masse

- chrono

- eau distillée

- burette + pied + noix + pince

- papier millimétré

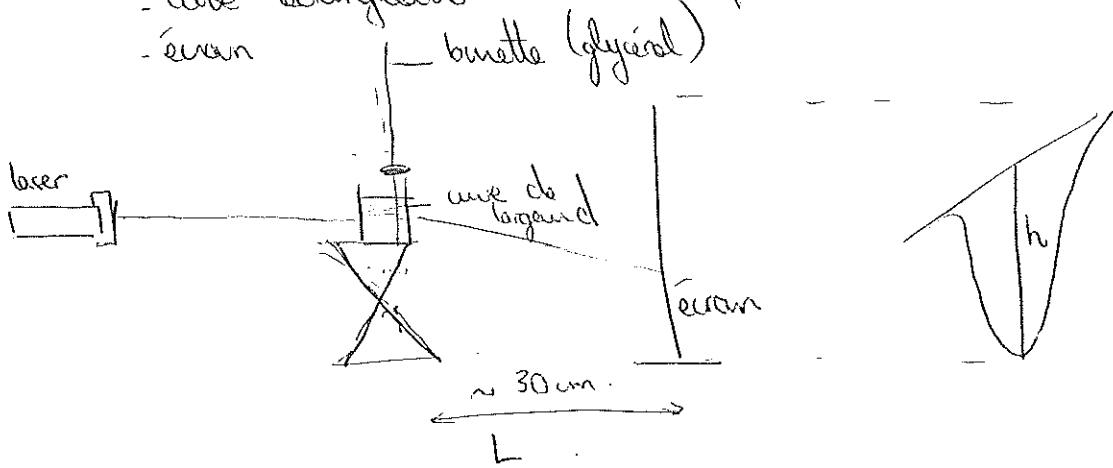


Tableau : $D_{\text{glycérol pur}} = 1,06 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
 Eau

$$n_{\text{glycérol}} = 1,47$$

$$n_{\text{eau}} = 1,33$$

$$\rightarrow n_{\text{glycérol 50\%}} \approx 1,40$$

Précisions : - burette dépose le glycérol au fond, et y reste!

Cuve avec glycérol et eau : inhomogénéité de concentration qui induit un flux de quantité de matière tendant à l'homogénéiser

On peut relier le grad n (et donc le grad c) à l'angle de déviation, donc à la hauteur h .

On veut étudier le transport de matière en fonction du temps.

On trace $t = f(h^2)$: droite : phénomène de diffusion.

Grâce à la relation :
$$h = \frac{Ld(n_g - n_e)}{2\sqrt{\pi Dt}}$$

(qui néglige la gravité : fluides de densité proche)

on a pente $a = \pm$

et on peut remonter au coefficient de diffusion:

$$D = \frac{L^2 d^2 (n_g - n_e)^2}{4\pi a}$$

$$D = \pm$$

Mais... pourquoi ça ne marche pas ???

- origine de la pente et points bizarres au début :
- peut venir de la façon dont on dépose le glycérol :
- mouvement de convection forcée dû à ma manipulation.

Démo de la relation : mix Quvaranta Graving

$$\frac{\partial n}{\partial z} = - \frac{n_g - n_e}{2\sqrt{\pi} D t} e^{-\frac{z^2}{4Dt}} \text{ en } z$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{n_0} \frac{\partial n}{\partial z} \quad (\text{optique})$$

indice du milieu $\approx$ moyenne des 2 fluides.

déviaton par le fluide

$$\sin \alpha \approx \frac{d}{R}$$

$$\sin \alpha' \approx \frac{d}{n_0 R}$$

en lo. de descentes fluide - air

$$\text{et enfin } \tan \alpha' \approx \sin \alpha' \quad \tan \alpha' = \frac{h}{L}$$

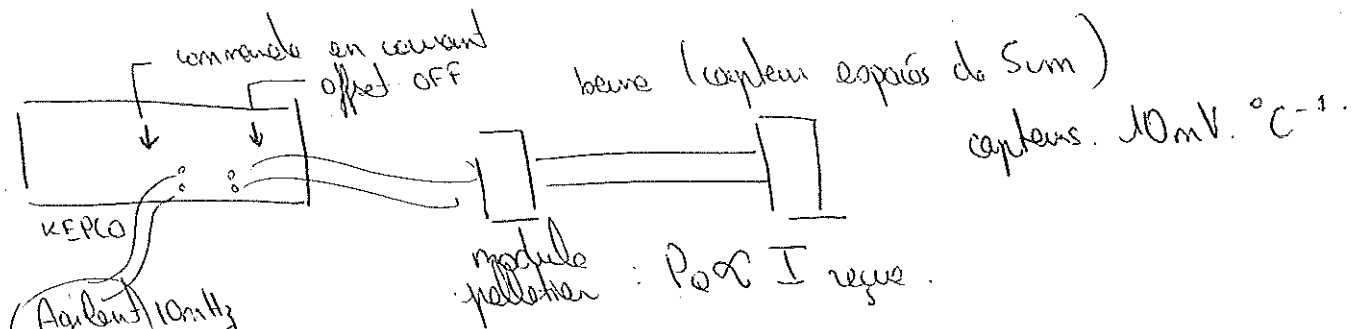
en $z=0$ ($h \equiv h_{\max}$) $\rightarrow$ on a QAFD.

Diffusion de matière vient de phénomènes microscopiques (chocs entre particules)

$\rightarrow$ Diffusion d'énergie thermique $\equiv$ transport d'agitation thermique de proche en proche (également microscopique)

II - Diffusion d'énergie thermique

- Matériel :
- barre de cuivre calorifugée (j'ai utilisé la petite)
 - amplif. KEPCO (le gros! P 53.9) : gain en I = 9,8
 - Synchronie
 - pleins de fils
 - alim 15 V et 12 V
 - Agilent ou GBF qui peut délivrer du 10 mHz.



$V_{pp} : 10 \text{ V} \rightarrow$ ça fait $5 \times 9,8 \text{ A} \approx 50 \text{ A}$ - à ne pas dépasser!

- Précautions :
- ne PAS oublier les ventilos
 - ne pas triturer les vis, elles sont réglées pour pas dépasser les SA du KEPCO

Tabulé : $D = 114 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

cuivre = copper en anglais
(pour le Handbook "C")

$$\begin{aligned} \lambda &= 390 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ \rho &= 8,93 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \\ c &= 380 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

- Hyp du modèle :
- barre infinie
 - parfaitement calorifugée
 - module pelletier délivre une P_Q sinusoïdale centrée autour de la T_{amb} .

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \rightarrow \text{coeff de diffusivité thermique}$$

$$D = \frac{\lambda}{\rho c}$$

↳ solution $T(x,t) = A e^{-\alpha_1 x} \sin(\alpha_2 x - \omega t) + T_{amb}$
 $\alpha_1 = \alpha_2$ dans le modèle.

où $D = \frac{\omega}{2\alpha^2}$

on trace $\ln(2(T_{\max} - T_{\min})) = f(x)$ distance au noyau
pelletier.

↳ droite de pente $\alpha = \pm \quad m^{-1}$

$D = \pm \quad m^2 \cdot s^{-1}$

Vérif des hyp et discussion

- barre os : distance caractéristique d'amortissement
des oscillations : $\frac{1}{\alpha} \approx < 25 \text{ cm}$.

- barre calorifugée :

si le modèle est le bon, on doit pouvoir trouver α
directement en regardant le retard de phase

$$\alpha = \omega \frac{\Delta t}{\Delta x} =$$

si OK dans les bandes d'erreur ϵ

il peut également être pris en compte des pertes
par convection d'énergie
thermique par l'air sur la barre :

- $T(x)$: sinusoidal autour de T_{amb} :

on voit clairement que ce n'est pas le cas.

pertes par effet Joule dans le module Pelletier en RI^2
(toujours positives) $\rightarrow$ sorte de rampe s'additionnant
à l'oscillation : c'est ce qu'on voit.

On a vu que les transports diffusifs de quantité de matière et d'énergie thermique ont pour origine l'inhomogénéité d'une grandeur scalaire.

III - Diffusion de quantité de mouvement ! grandeur vectorielle !

Matériel : viscosimètre à billes
- chrono
- billes



La bille acquiert une certaine quantité de mouvement dû à la résultante poids - poussée d'Archimède
inhomogénéité de vitesse $\rightarrow$ transport par diffusion des zones rapides vers des zones lentes,
du fait de cette diffusion, une force s'exerce sur la bille s'opposant à sa chute. $F_{\text{Stokes}} = -6\pi\eta R \vec{v}_{\text{bille}}$

elle dépend des caractéristiques du fluide, du rayon de la bille, et de sa vitesse.

On se propose d'étudier la chute de ses billes, pour, indirectement mesurer le coefficient de diffusion / viscosité cinématique
 $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ du fluide (glycérol)

Tableau :

$$\rho_{\text{glycérol}} = 1,26 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \rho_{\text{glycérol}} \text{ \%} = 1,23$$

$$\eta_{\text{glycérol}} (20^\circ \text{C}) = 1,18 \text{ Pa} \cdot \text{s (pu)}$$

$$\hookrightarrow \nu_{\text{glycérol}} (20^\circ \text{C}) = 9,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

billes : $\rho_{acier} = 7,8 \pm 0,2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

	1	2	3
$m(\text{mg})$	$4,1 \pm 0,1$	$43,9 \pm 0,1$	$32,6 \pm 0,1$
$R(\text{mm})$	$0,5 \pm 0,01$	$0,75 \pm 0,01$	$1,0 \pm 0,01$

équations $\frac{dv}{dt} = - \frac{6\pi\eta R v}{\rho_{acier} V_{bille}} - g \frac{\Delta\rho}{\rho_{acier}}$

en régime permanent

$$\boxed{v_L = \frac{2}{9} \frac{R^2}{\eta} \Delta\rho g} = \frac{2}{9} \frac{R^2}{\nu} \frac{\Delta\rho}{\rho_{acier}} g$$

hyp : - $Re \ll 1$ on néglige les mouvements convectifs
 - colonne suffisamment grande pour considérer que la bille tombe dans un fluide ∞
 - régime permanent atteint lors de la mesure.

on lance pls fois le même type de bille
 on trace $v_L = f(R^2)$

$$\nu = \frac{2}{9a_{\text{pente}}} \frac{\Delta\rho}{\rho_{acier}} g$$

$$\nu = \frac{+}{-}$$

Vérification des hypothèses :

- $Re = \frac{UL\rho}{\eta} =$

- influence des parois

$$\frac{F_{\text{pau}}}{F_{\text{stokes}}} \sim \frac{R_{\text{billes}}}{6\pi R_{\text{viscosite}}} \sim$$

pour les
+ grosses billes

- régime permanent atteint
au bout de $d \sim 15 \times T_{\text{transit}}$

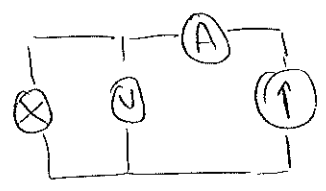
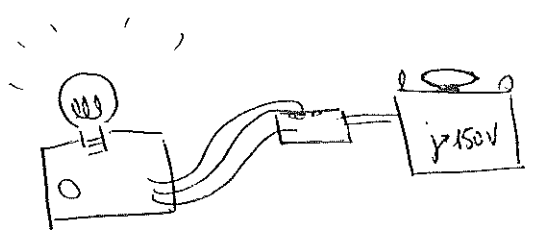
$$d \sim \frac{20 \times R^2}{g \nu} \frac{\Delta \rho}{\rho} \sim$$

pour les +
grosses billes.

Autre type de transport, sans support matériel :

IV - Transport par rayonnement

Matériel : - grosse ampoule à tungstène + support
- transformateur à tension variable (bleu) 150V et boîte prise secteur → câble élec.
- multimètres (qui supportent de 150V !)

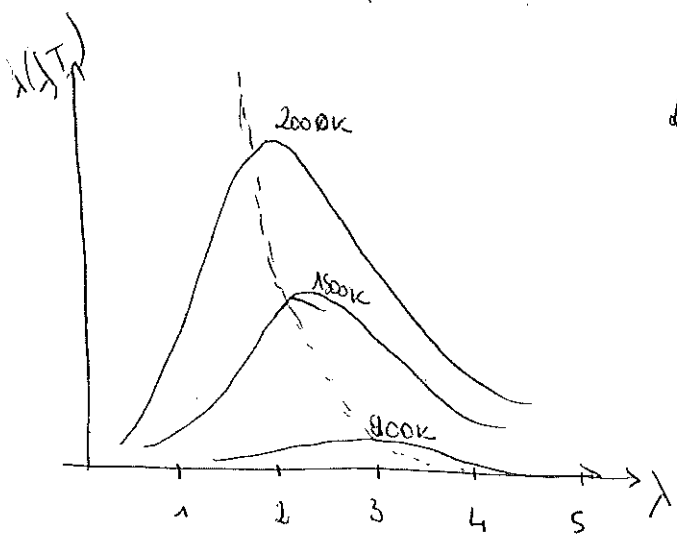


Mesurer la $R(T_a) \rightarrow$ en fonction R_0

$$R(T) = R_0 [1 + \alpha(T - 273) + \beta(T - 273)^2]$$

$$\alpha = 4,8 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot K^{-1}$$

$$\beta = 6,8 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot K^{-2}$$



loi de Planck $\rightarrow 3,75 \cdot 10^{-16}$

$$\phi(\lambda, T) = \frac{2\pi^5 k^4}{15} \frac{1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

$$h = 6,61 \cdot 10^{-34}$$

$$h_e = 1,38 \cdot 10^{-23}$$

$$c = 3 \cdot 10^8$$

$$\lambda_{\text{max}} = 680 \text{ nm.}$$

$$\lambda_{\text{cut}} = 530 \text{ nm.}$$

Ampoule : corps gris (filament) loi de Stefan $P = \sigma T^4$

Observations: $T \uparrow$, max de la densité spectrale $\rightarrow$ à basse T couleur rouge orangée, part de luminosité dans le visible
à hautes T , le spectre s'enrichit en λ + basses et la lumière blanchit.

Notes: on a accès à T grâce à la relation du Quercus

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta} \left(\sqrt{\alpha^2 + 4\beta \left(\frac{R(T)}{R_0} - 1 \right)} - \alpha \right); R = \frac{U}{I}$$

et on suppose $P_e = P_{emis}$ par rayonnement $= U \times I$

on trace $\ln P$ en fonction de $\ln T$.

$\rightarrow$ pente de 4?

$$a = \pm$$

Le corps noir est un objet idéal qui rayonne de l'énergie électromagnétique. La puissance émise est liée à la T du CN par la loi de Stefan

$\rightarrow$ Transport sans support Matériel

Conclusion:

Tout au long de ce montage: 3 types de gradients, 3 types de transports. Il en existe d'autres: conduction.

Ces phénomènes sont présents dans tous les domaines de la physique, et de la chimie

Il existe également des phénomènes moins connus, comme par exemple l'effet Peltier (phénomènes couplés)

$$\vec{J}_e \Rightarrow \vec{J}_{th} \rightarrow \text{module peltier}$$

ou effet Seebeck $\vec{grad} T \rightarrow \vec{grad} V$ (thermocouples)