Renaud POCHET
Pierrick CHEINEY

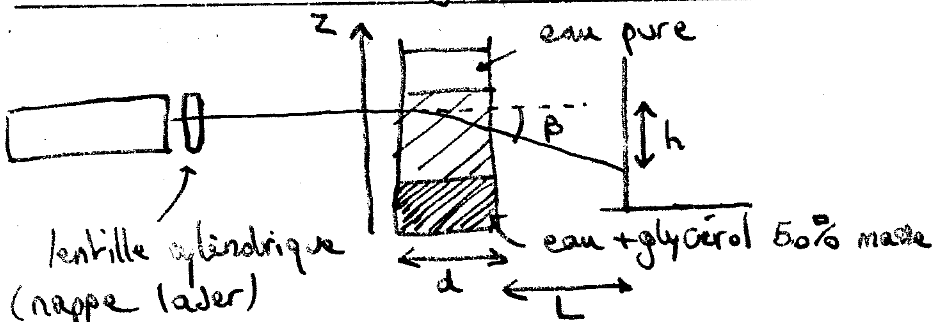
MP 39 : Phénomènes de transport

Rapports de Jury : 2006 : Les candidats doivent impérativement mesurer une diffusivité et un tps caractéristique.

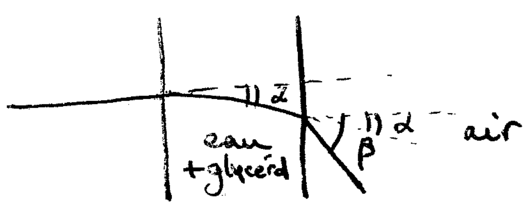
2000 : Les candidats doivent garder à l'esprit que les phénomènes de transport ne se limitent pas aux phénomènes diffusifs.

Intro : Un système comportant des inhomogénéités ne peut être à l'équilibre thermo. Il va y avoir spontanément un flux qui va tendre à homogénéiser le système. On va voir dans ce montage plusieurs type d'inhomogénéité (énergie, particule) et les différents types de transport (diffusion, convection, rayonnement) observables dans la vie courante.

I Diffusion du glycérol dans l'eau   Quaranta



gradient de glycérol → gradient d'indice → rayon courbé vers le bas

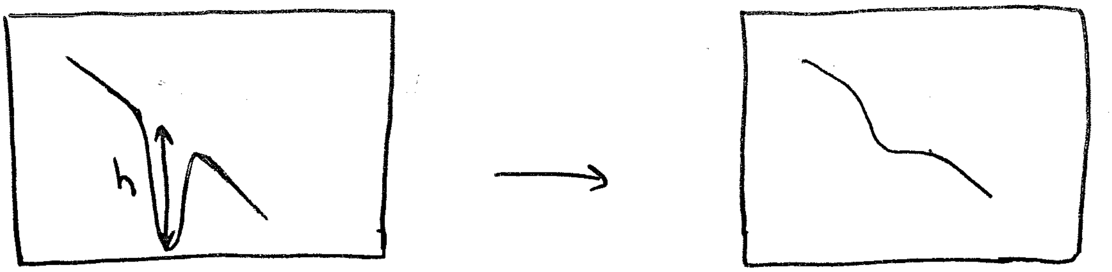


$$h(t) = \frac{dL\,(n_0 - n_e)}{\sqrt{4\pi D t}}$$ (preuve derrière)

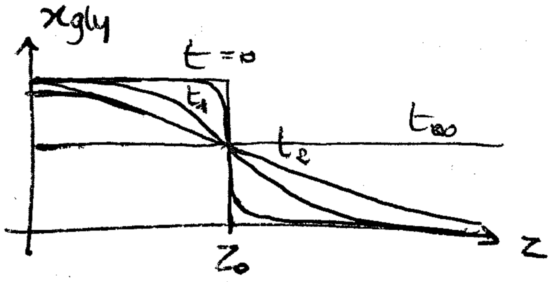
on trace $\frac{1}{h^2} = at + b$

↳ $D = 1{,}7 \cdot 10^{-8}\ m^2 s^{-1} \pm \quad m.s^{-1}$

tps caractéristique de traversée de la cuve $\tau \sim \frac{h^2}{D} =$



- le pic est d'autant plus grand que le gradient est élevé.



calcul de h : calcul ⊕ rigoureux

CI $\quad x_{glycérol} \begin{cases} 0 & z > z_0 \\ x_0 & z < z_0 \end{cases}$

$$\hookrightarrow \quad \frac{\partial x_{gly}}{\partial z}(z,t) = -\frac{1}{\sqrt{4\pi D t}}\, e^{-\frac{(z-z_0)^2}{4\pi D t}}$$ (marche au hasard)

gradient max pour $z = z_0$ $\rightarrow$ $\left(\frac{\partial x_{gly}}{\partial z}\right)_{max} = -\frac{1}{\sqrt{4\pi D t}}$

on suppose que l'indice d'un mélange eau-glycérol varie linéairement avec x_{gly}

$$* \Rightarrow n = n_e + (n_0 - n_e)\, x_{gly}$$

$n_e = 1.33$ indice eau pure

n_0 = indice mélange eau + glycérol 50%

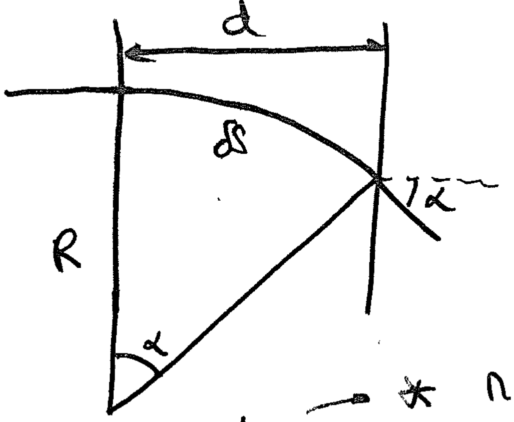
$= n_e + (n_g - n_e)\, C_{glycérol} = 1.39$

$n_g = 1,47$ = indice glycérol pur

$$* \quad \frac{\partial n}{\partial z} = (n_0 - n_e)\frac{\partial x_{gly}}{\partial z}$$

gradient d'indice $\rightarrow$ rayons courbés

rayon de courbure R tq $\frac{1}{R} = \frac{1}{n}\frac{\partial n}{\partial z}$



traversée de la couche de verre

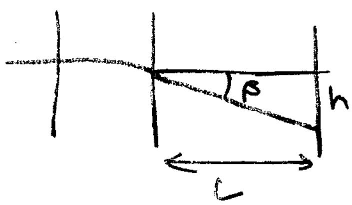
$$\delta S \sim d = R\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{d}{R}$$

$$\alpha = \frac{d}{n}\frac{\partial n}{\partial z}$$

$\begin{cases} \alpha \ll 1 \\ \beta \ll 1 \end{cases}$

$\ast$ $n \sin\alpha = \sin\beta \rightarrow n\alpha = \beta$

$$\Rightarrow \beta = d\frac{\partial n}{\partial z}$$



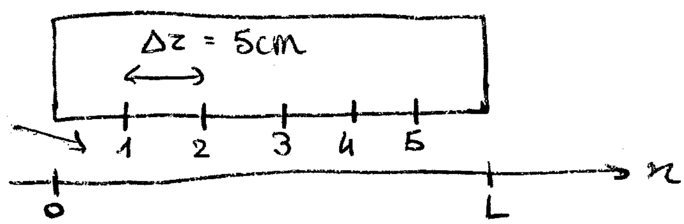
$$h = L\beta = dL\frac{\partial n}{\partial z} = dL(n_o - n_e)\frac{\partial x}{\partial z}$$

$$\Rightarrow \boxed{h = dL(n_o - n_e)\frac{1}{\sqrt{4\pi D t}}}$$

$\ast$ incertitude surtout sur la lecture de h

II Diffusion thermique dans une barre de cuivre

thermocouples



barre de cuivre chauffée en $x = 0$ par effet Peltier $T(0,t) = T_0 + \Delta T \cos\omega t$ $\quad T(L) = T_0$

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

$$\Rightarrow T(x,t) = T_0 + \Delta T e^{-x/\delta}\cos(\omega t - x/\delta)$$

$\delta = \sqrt{\frac{2D}{\omega}}$ $\quad$ δ apparaît 2 fois : – amplitude
– déphasage

$\Rightarrow$ on peut mesurer D de 2 manières

$w = 2{,}1.10^{-2}$ rad.s^{-1} ($T = 300$ s)

mesures par déphasage : $D = 1{,}1.10^{-4}$ $m^2.s^{-1} \pm 0{,}1.10^{-4}$ $m^2.s^{-1}$

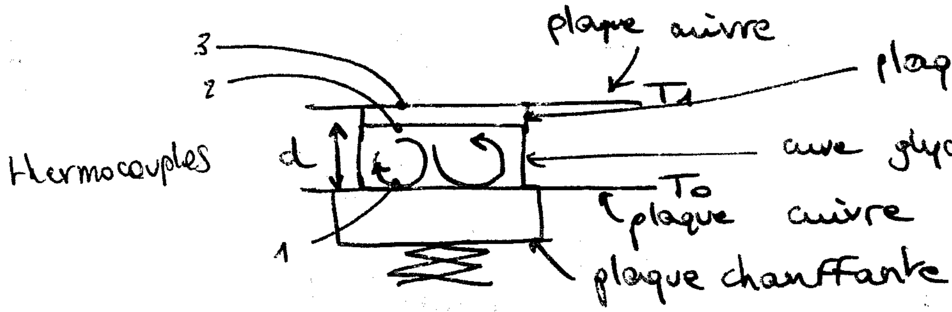
amplitude : $D = 1.3.10^{-4}$ $m^2.s^{-1} \pm$ $m^2.s^{-1}$

tps caractéristique pour traverser la barre :

$$\tau = \frac{(\Delta z)^2}{D} =$$

III Instabilité de Rayleigh - Bénard

Guyon Hydrodynamique physique



$\Delta T = T_0 - T_1$

Si ΔT suffisant, la diffusion n'arrive pas à homogénéiser la température suffisament rapidement ⇒ convection.
compétition quantifiée par le nombre de Rayleigh

$$Ra = \frac{g \alpha d^3}{D \nu} \Delta T$$

$g = 9{,}1$ m.s^{-2}
$\alpha = \frac{1}{V}\frac{\partial V}{\partial T}$ coeff de compressibilité thermique
D : diffusivité
ν : coeff de viscosité cinématique

Si $Ra > Ra_c = 1700$ → convection
pour glycérol pur, cuve $d = 3.3$ cm → $\Delta T = 1{,}8$ K
convection prend rapidement le pas sur la diffusion.

$T_1 = 110$ K
$T_2 = 108$ K
$T_3 = 56$ K

$$\rightarrow \quad \phi = \frac{\lambda_{téflon}\, S}{d} \Delta T$$

(mesure du flux grâce à la plaque de téflon de λ connu) $\lambda_{téfl} = 2{,}5$ W.m^{-1}.K^{-1}

$$\phi = \frac{2{,}5 \times 2{,}4.10^{-4}}{0{,}01} \times 52$$

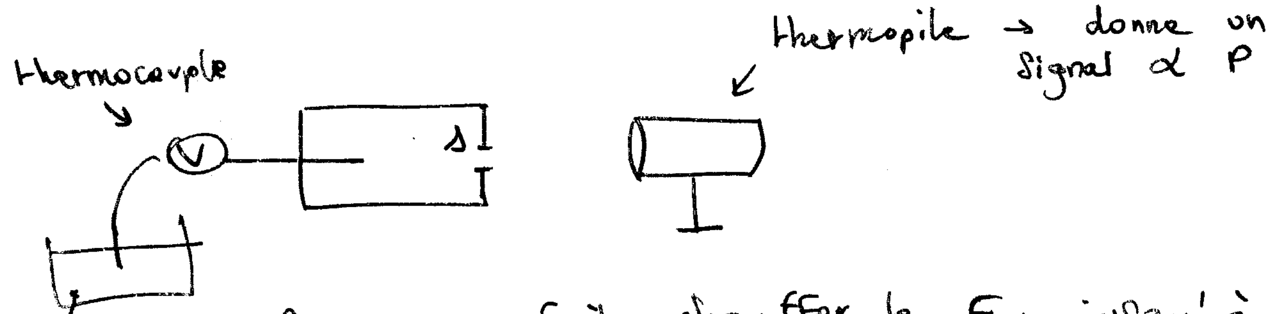
$$\underline{\phi = 3{,}1 \text{ W}}$$

$T_1 \sim T_2$: dans la cuve température homogène ⇒ on voit bien qu'il y a convection (si diffusion on aurait vu un $\vec{grad}\,T$).

IV Rayonnement du corps noir

Le transport par rayonnement se produit dès qu'un corps est chaud ($T \neq 0K$). Le corps noir est un modèle idéal, corps qui absorbe toutes les radiations. Dans une boîte, équilibre thermique du corps avec un gaz de photons. Si on fait une petite ouverture s dans la boîte, le gaz de photon va s'échapper, transportant une puissance $P = s\sigma T^4$

on va essayer de retrouver cette loi par l'expérience.



bain de glace 0°C

on fait chauffer le four jusqu'à $\sim 400°C$ (⚠ au moins 1 h) puis on laisse refroidir en acquierant $\begin{cases} P = f(t) \\ T = g(t) \end{cases}$

on trace $\ln P = a \ln T + b$

→ $\boxed{a = 4,0 \pm 0,3}$

incertitudes :
- four pas exactement corps noir
- ouverture pas ∞^t petite (four pas à l'éq. thermo)
- tps de réponse des capteurs pas nul ($\sim 1s$ thermocouples, plusieurs secondes thermopile)

Commentaires : ⚠ au temps

- four chauffe pendant 1 heure puis se refroidit pendant ~ 1 heure
- diffusion glycérol : plus d'une heure avec un point tt les 10 mn.
- barre de cuivre : il faut attendre ~ 1 heure avant de quitter le régime transitoire.
- convection : attendre d'atteindre le régime stationnaire.
  - ⚠ si cuve entièrement rempli de glycérol jusqu'à ras-bord, qd T↗, glycérol se dilate et ça coule de tout les côtés ! mais s'il y a de l'air → isolant thermique ⇒ chute de T