

NP39

Phénomènes de Transport.

- Frédéric Zeggwagh

- Christophe Cayrols

I) - Introduction

II) - Diffusion eau-glycérol

III) - Diffusion thermique

IV) - Convection

V) - Rayonnement

Ref : Quaranta

Perez (Thermo)

I Introduction

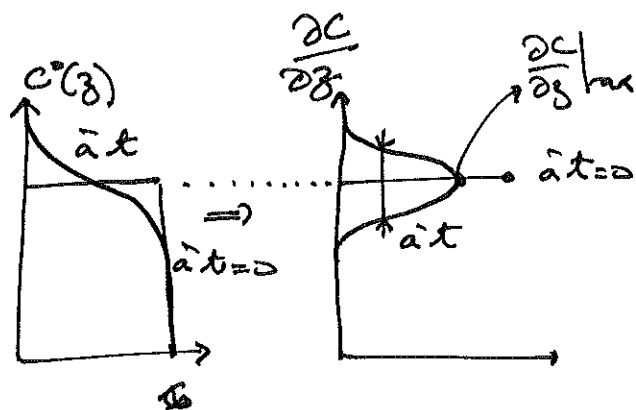
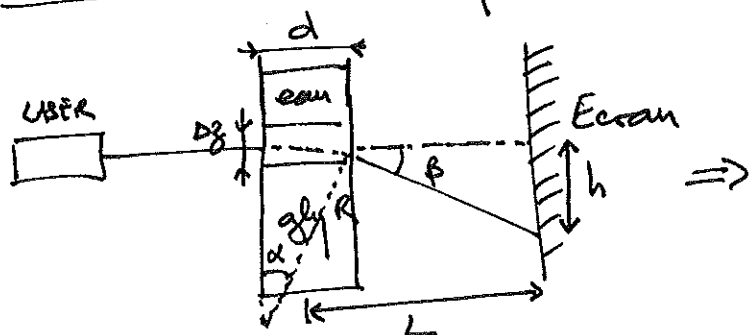
- Transport = terme général que l'on utilise pour décrire des phénomènes irréversibles se produisant dans des systèmes hors équilibre
- La cause de ce transport est de manière générale caractérisée par un gradient d'une grandeur intensive

Ex. ex.:

Diffusion: transport de matière dû à $\vec{\nabla} C^0$

Convection: ———— P.D.N. dû à $\vec{\nabla} p / \rho$

II - Diffusion: Glycérol-eau



- Fick: $\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$ ① on peut construire une épaisseur δ tq $\delta^2 \propto Dt \Rightarrow$ on pose $u = \frac{z^2}{4Dt}$

$$\text{on a alors } \begin{cases} \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial C}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial z} \Rightarrow \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} = \frac{C''(u)}{Dt} \\ \frac{\partial C}{\partial t} = C' \left(-\frac{z}{2\sqrt{Dt}} \right) \end{cases}$$

$$\text{et ① } \Rightarrow \frac{C''}{C'} = -\frac{u}{2} \quad \text{d'où} \quad \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-\frac{z^2}{4Dt}}$$

- Loi Ford. de l'optique: $\frac{dn \vec{u}}{ds} = \vec{\nabla} n$

• En ailleurs dans le cadre de l'approx. de petits angles on va pouvoir écrire

$$\begin{cases} R\alpha \approx d \\ n \sin \alpha = n \sin \beta \Rightarrow n\alpha = \beta \end{cases}$$

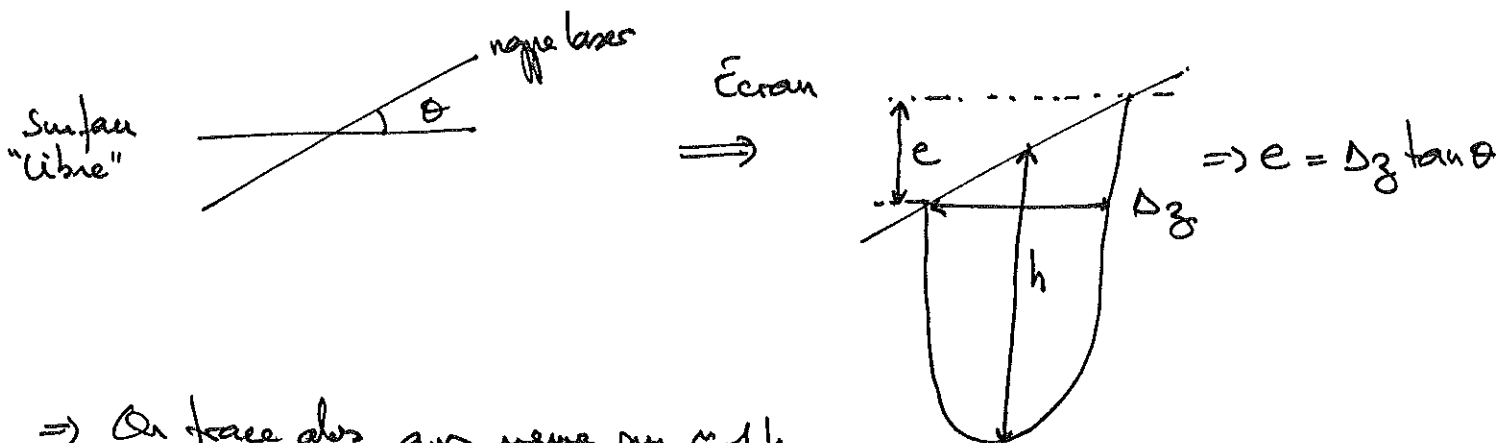
d'où $\frac{n}{R} = \frac{\partial n}{\partial z} = \Delta n \frac{\partial c}{\partial z} = \Delta n \frac{1}{\sqrt{4\pi D t}}$

et $\boxed{h = \frac{dL \Delta n}{\sqrt{4\pi D t}}}$

• D'autre part, la largeur à mi-hauteur de $\frac{\partial c}{\partial z}$ nous donne accès à :

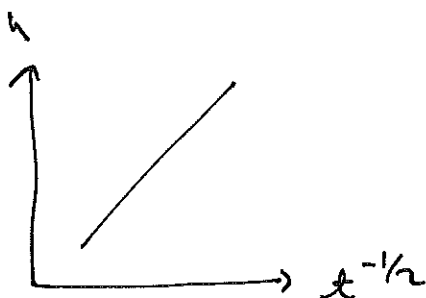
$$\boxed{\Delta z = 4 \sqrt{a z D t}}$$

Planip La largeur laser va nous permettre d'avoir accès aux gradients :



$\Rightarrow$ On trace des axes comme sur $\approx 1h$

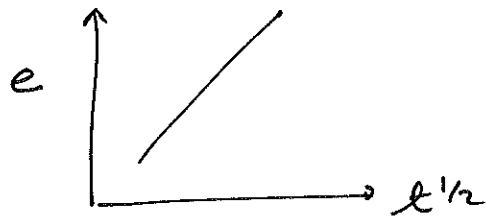
$\hookrightarrow$ qd θ va bien et avec un mélange de glycérol-eau à 50-50 au lieu d'un glycérol pur...



$$\Rightarrow a = \frac{dL \Delta n}{\sqrt{4\pi D}} \Rightarrow D = \frac{d^2 L^2 \Delta n^2}{4\pi a^2}$$

$$\frac{\Delta D}{D} \approx \frac{2\Delta a}{a}$$

De même en traçant



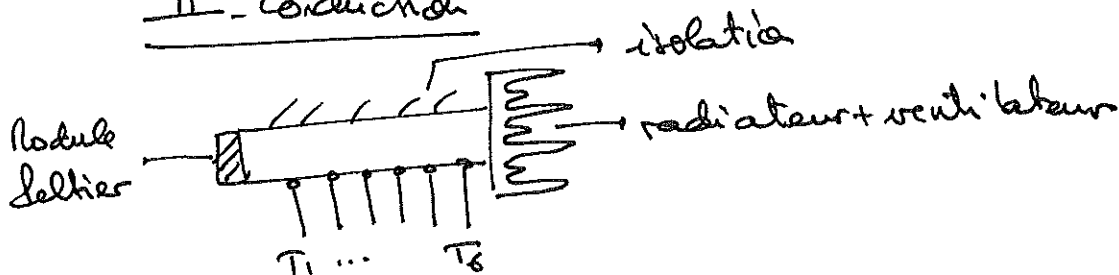
$$\Rightarrow D = \frac{a^2}{16 \ln 2}$$

↳ deux mesures permettent de remonter à 1 temps caractéristique de diffusion :

$$\tau = \frac{h^2}{D} \rightarrow \text{de l'ordre de plusieurs jours}$$

⚠ Note : Le piège majeur ici est d'utiliser du glycérol pur l'angle de déviation est trop grand et m'après plusieurs heures les mesures ne permettent pas d'obtenir une droite (m'avec les yeux de la foi ;-)) A priori une solution 50/50 est OK mais bien sûr, on ne l'a pas testée...

II - Conduction



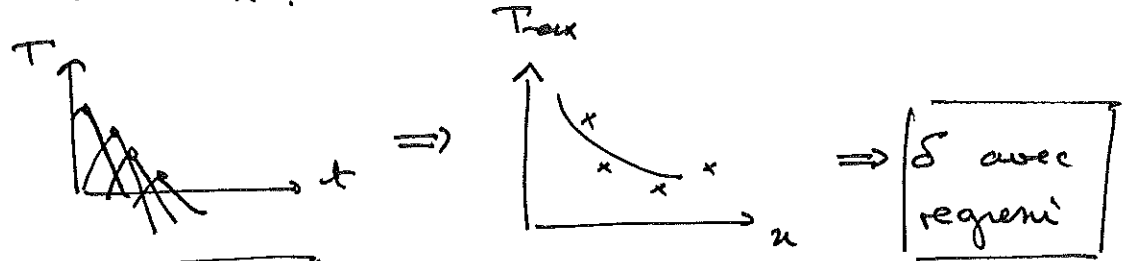
Le module Selhies impose un flux variable en sin ωt et on essaie de se placer dans le cadre de la barre infinie. Il faut donc essayer de diminuer la longueur de pénétration de T tout en gardant une mesure OK. $T = 3000$ m'y a pas suffi.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \Rightarrow T = \underbrace{T_0}_{\text{Amplitude}} e^{-x/\delta} \cdot \underbrace{\cos(\omega t - x/\delta)}_{\text{Phase}}$$

• Après avoir fait tourner le dispositif peut-être environ 1h pour passer le transitoire on peut effectuer 2 mesures :

- Evolution de l'amplitude d'un capteur à l'autre à iso phase.

⇒ Mesure de T_{aux} :



et

$$D = \frac{\omega \delta^2}{2}$$

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{2\delta}{\delta}$$

- Evolution de la phase

$$\omega t - \frac{x}{\delta} = \text{cte} \Rightarrow \omega \Delta t = \frac{\Delta x}{\delta} \Rightarrow \boxed{\delta = \frac{\Delta x T}{2\pi \Delta t}}$$

Après avoir recentré les mesures de 6 capteurs et "liné" le signal la mesure du déphasage se fait sur l'axe en intégrant plusieurs points

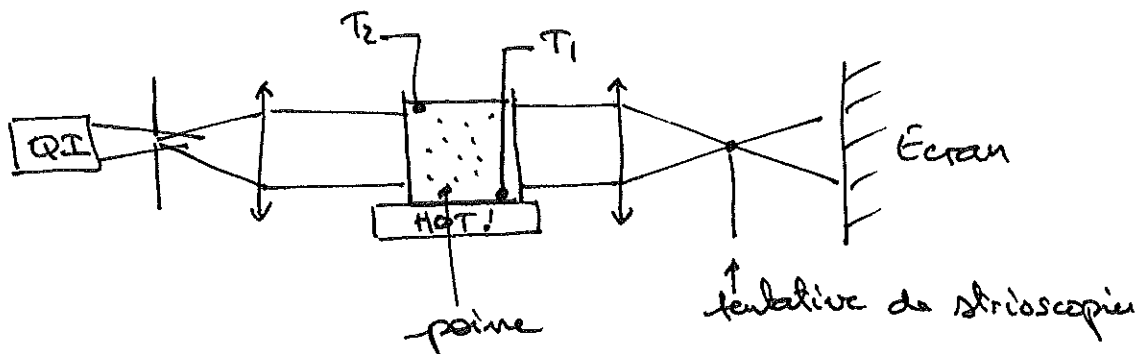
$$\boxed{D_{tabulé} = 114 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}}$$

Cette fois $\boxed{\tau = \frac{L^2}{D} \approx 10 \text{ min}}$

⚠ Note : Cette manip, quoique logique à mettre en œuvre car il faut chauffer peut-être env. 1h puis acquérir sur un temps tout aussi long, a le bon goût d'être "autonome". L'acquisition se fait via synchronie et quoi qu'on dise, ça se passe bien

quand on ne fait rien n'importe quoi...

III - Convection de Rayleigh - Bénard



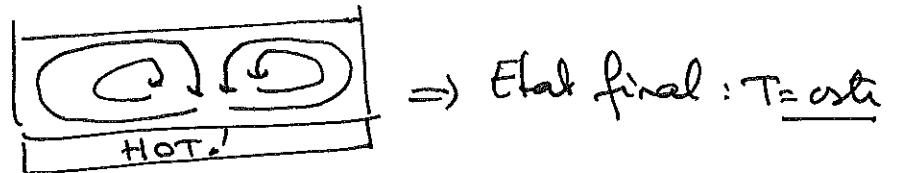
• $Ra = \frac{g\beta h^3}{\nu^2} \Delta T \propto Re^2$ avec $u = \sqrt{g\beta\Delta T L}$

donc $Ra \propto \left(\frac{\text{Inertie}}{\text{Diffusion}} \right)^2$

=> Existence d'un régime critique :

$Ra < Ra_c \approx 1700$ La diffusion domine et il n'y a pas de mouvement. L'état final se caractérise par un $\vec{\nabla}T$ de la cuve.

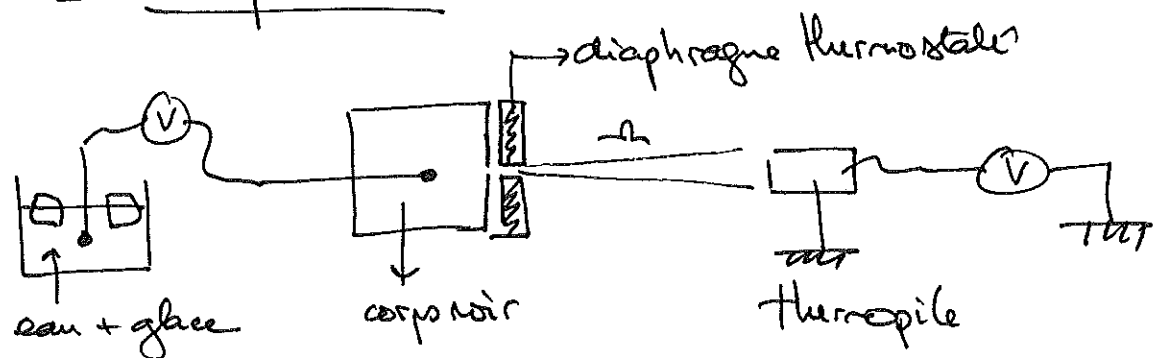
$Ra > Ra_c$ L'inertie domine et des rouleaux de convection naturels se mettent en place



Cette fois $\tau = \frac{L}{u} = \sqrt{\frac{L}{g\beta\Delta T}} = 99 \text{ seconds.}$

⚠ Loi de sécher oblige, cette manip a aussi foiré, pourtant on l'a faite 4,5 fois très proprement en préparation où la stio permettait de voir nettement les rouleaux. En tournant la cuve on peut même les voir apparaître dans la largeur de la cuve.

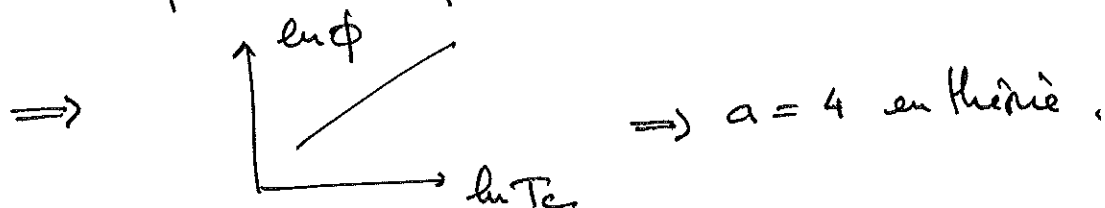
IV Rayonnement



Après avoir laissé le corps noir monter en température $T \approx 450^\circ\text{C}$ soit environ 1^h à 2^h on peut mesurer via le thermopile :

$$\Phi < \frac{R}{4\pi} S \sigma T^4$$

. Pour cela on éteint l'alimentation au four et on procède à l'acquisition sur Synchronie de $T_{\text{corps noir}}$ via le thermocouple et le flux reçue par le thermopile.



En pratique, on mesure moins d'une décade et le signal qu'il faut amplifier et le rendre exploitable est très bruité.

Bref modéliser par T^3 , T^4 ou T^5 marche très bien, d'autant qu'on n'a pas accès à $\frac{R}{4\pi} S \sigma \dots$ Tracer $\ln \Phi = f(\ln T_c)$ nous avait paru comme la démarche la plus propre...

Ceci étant dit on a fait la mesure 3-4 fois avec des coefficients toujours de l'ordre de 3,5 à 4.

Les acquisitions sont à faire dans un environnement où la température, le rayonnement lumineux restent constants au cours de l'acquisition.

⚠ Note : Une fois de plus l'acquisition ⊕ le chauffage sont des opérations longues MAIS autonomes...

BILAN: Le montage en "live" a bien foiré et la préparation a été longue... très longue...

• A refaire aujourd'hui j'enlèverai soit la diffusion du glycerol, soit la diffusion fluo pour avoir le temps de préparer/présenter soigneusement les manip.

• En fonction de vos goûts et votre foi en S⁺ Synchronisé ce montage allégé est tout à fait jouable et finalement pas si tardif que ça...