

MP 34 : PHÉNOMÈNES DE TRANSPORTS

April 9, 2018

Contents

1	Transport de particules	2
1.1	Convection dans un liquide	2
1.2	Diffusion de particules	3
2	Conduction thermique	4
3	Diffusion de quantité de mouvement	5

Biblio - Prérequis

- Dictionnaire de la physique expérimentale Tome 2, Quaranta
- Optics, Sommerfeld
- Physique expérimentale: Optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique (Le bouquin d'ALD)

Introduction

Définition des phénomènes de transports

Définition de la convection, diffusion et rayonnement

1 Transport de particules

1.1 Convection dans un liquide

Expérience 1 (qualitative) : Convection dans une conduite

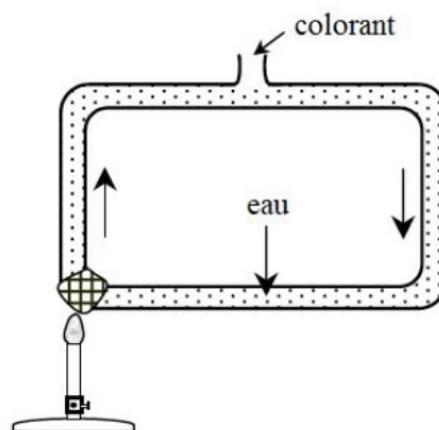


Figure 1: Mise en évidence de la convection avec du colorant

Protocole

On utilise la conduite carrée remplie d'eau, qu'on chauffe à une des extrémités avec un bec bunsen. On ajoute alors du colorant afin d'observer un mouvement de convection.

Résultats et commentaires

Expérience qualitative simple et rapide pour illustrer la convection. L'eau au niveau du bec bunsen se dilate, sa masse volumique diminue. C'est pourquoi elle remonte, se refroidit, et entraîne un mouvement de convection.

1.2 Diffusion de particules

Expérience 2 : Mesure de la diffusivité du glycérol dans l'eau

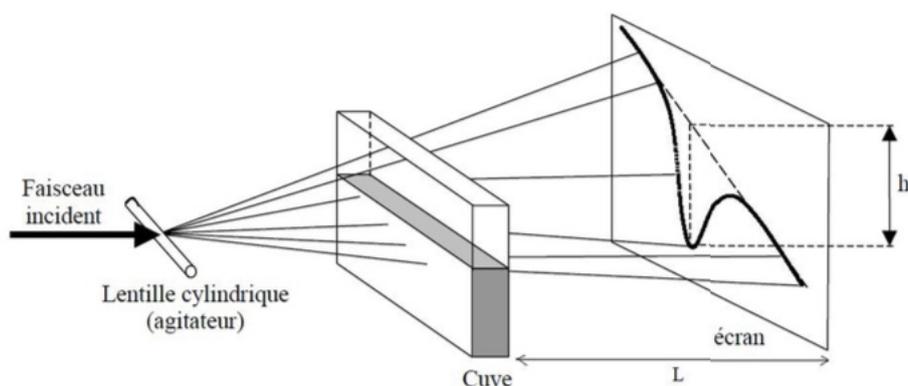


Figure 2: Mesure de la diffusivité du glycérol dans l'eau

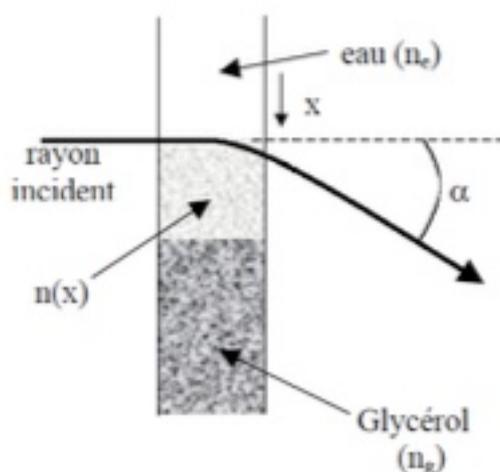


Figure 3: Trajectoire du rayon lumineux dans la cuve

Protocole

- Commencer par positionner le laser, la lentille cylindrique à 45 degrés, la cuve (vide) et l'écran. Il faut que le faisceau laser traverse toute la cuve. On trace ensuite la ligne du faisceau non dévié sur l'écran au crayon gris. J'avais également scotché du papier millimétré sur l'écran pour faciliter les mesures.
- Remplir la cuve à moitié d'eau et préparer un mélange eau-glycérol 50%-50% (On a $n_{mélange} \simeq \frac{n_g + n_e}{2}$). Il faut ensuite le déposer tout doucement à l'aide d'une petite pipette au fond de la cuve, afin de limiter les mouvements de convection.
- Lancer le chronomètre et mesurer régulièrement la hauteur maximale de la déviation du faisceau

Exploitation des mesures

Les rayons lumineux qui traversent la cuve sont déviés autour de l'interface à cause du gradient d'indice. La taille de la gaussienne de diffusion permet ensuite de remonter au coefficient de diffusion D .

La déviation maximale du faisceau vaut $\alpha \simeq \frac{h}{L}$ (approximation des petits angles) et est reliée au gradient d'indice par $\alpha \simeq e \|\vec{grad}(n)\|$. Par ailleurs, $\|\vec{grad}(n)\| \simeq \frac{n_{mélange} - n_e}{\Delta z}$ où Δz est l'épaisseur de l'interface, donnée par l'équation de diffusion : $\Delta z = 2\sqrt{\pi D(t - t_0)}$. On a ainsi :

$$h \simeq \frac{Le(n_{mélange} - n_e)}{2\sqrt{\pi D(t - t_0)}} \quad (1)$$

On peut ainsi remonter à D en traçant $1/h^2$ en fonction de t .

Résultats et commentaires

L'expérience, si elle est bien effectuée, fonctionne très bien et permet de remonter à des résultats intéressants. Il est bien sûr nécessaire de refaire toute l'expérience devant le jury, on ne peut pas se contenter de rajouter 1 ou 2 points devant le jury puisqu'elle n'est pas reproductible. J'ai cependant fait le choix de lancer l'expérience 20-30 minutes avant le début de mon exposé afin d'avoir suffisamment de points au moment où j'arrivais à l'exploitation des résultats. Certains rapports des années précédentes disent qu'il faut normalement faire le mélange devant le jury mais j'ai préféré gagner un peu de temps et expliquer juste comment j'avais procédé. Mon correcteur ne m'a rien dit à propos de cela donc j'imagine que ça ne pose pas vraiment de problème.

Il peut être intéressant de revenir sur certaines approximations effectuées, la plus grosse étant l'approximation des petits angles puisqu'on en est assez loin. De toute façon, la manip ne prétend pas calculer un coefficient de diffusion précis, mais plutôt un ODG ($\sim 10^{-10}$ m²/s). De plus, la valeur tabulée semble assez incertaine au vu des rapports précédents.

2 Conduction thermique

Expérience 3 : Mesure de la conductivité thermique d'une barre métallique

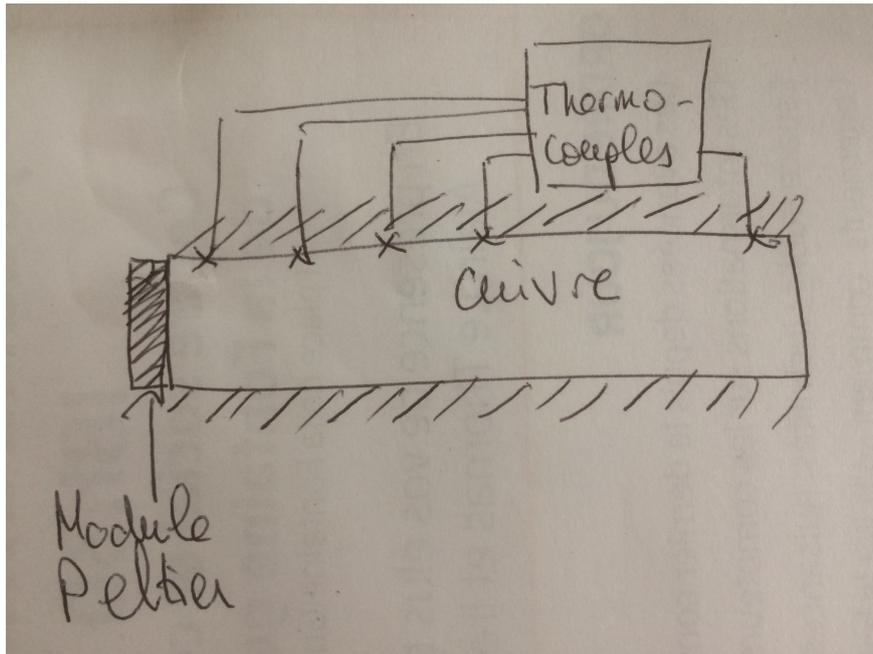
Protocole

On utilise ici la grosse barre en cuivre calorifugée. L'une des extrémités est chauffée par un module Peltier asservi par un GBF. On envoie donc une commande sinusoïdale ($f \simeq 5$ mHz) et on observe l'effet de peau thermique grâce aux thermocouples disposés le long de la barre. Les valeurs sont récupérées sur Picolog puis traitées sur Igor.

Si on considère une commande sinusoïdale, le profil de température est donné par la loi de Fourier :

$$T(x, t) = T_0 + \Delta T \exp(x/\delta) \sin(\omega t - x/\delta) \quad (2)$$

$$\text{où } \delta = \sqrt{\frac{2\lambda}{\rho c \omega}}$$



Il est donc possible de trouver δ en mesurant soit la décroissance exponentielle, soit la phase, et ainsi de remonter à λ .

Résultats et commentaires

- Il est absolument nécessaire d'allumer la barre au moins 2h avant le passage pour être en régime permanent. C'est ce que j'avais fait mais malheureusement quelqu'un a ouvert la fenêtre au moment où il est entré dans la salle ce qui a pas mal refroidi la barre. J'ai donc dû exploiter des courbes où le régime permanent n'était pas complètement atteint et ça a un peu faussé les résultats.
- Il faut aussi avoir fait cette expérience au moins une fois complètement car Picolog peut être assez capricieux et il y a toute une méthode pour récupérer correctement toutes les courbes (cf. Notice). Le traitement des données prend pas mal de temps donc je pense qu'il faut vraiment expliquer l'expérience pendant qu'on rentre toutes les valeurs dans Igor.
- Le dernier thermocouple ($x = 49$ cm) doit absolument rester constant car la résolution de l'équation de diffusion admet qu'on est dans un milieu semi-infini. Il faut donc choisir intelligemment la fréquence pour avoir $5\delta < 50$ cm.

3 Diffusion de quantité de mouvement

Expérience 4 : Viscosimètre à bille

Protocole

Le principe est très simple : on lance des billes de différents rayons dans de l'huile de silicone et on mesure le temps qu'elle met à parcourir une certaine distance L au chronomètre pour remonter à sa vitesse. On répète ceci plusieurs fois par rayon de bille.

En régime permanent la bille est soumise à 3 forces :

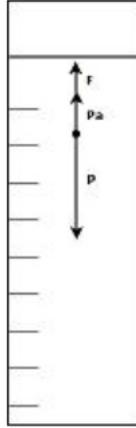


Figure 4: Forces s'exerçant sur la bille

- Son poids $P = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_b g$
- La poussée d'Archimède $\Pi_A = -43\pi R^3 \rho_h g$
- La force de Stokes $F_S = 6\pi R \eta v_{lim}$

$$\implies v_{lim} = \frac{2(\rho_b - \rho_h)gR^2}{9\eta} \quad (3)$$

En traçant v_{lim} en fonction de R^2 , on remonte donc facilement à η (viscosité dynamique) puis ν (viscosité cinématique, homogène à un coefficient de diffusion).

Résultats et commentaires

- Il faut attendre que la bille atteigne sa vitesse limite pour déclencher le chronomètre. Le régime permanent est très vite atteint mais il ne faut bien sûr pas commencer à mesurer au moment où la bille rentre dans l'huile.
- Il y a plusieurs grosses incertitudes pour les billes de grands rayons. Tout d'abord, on se rend compte que les effets de bords ne sont plus vraiment négligeables. Il existe des modèles pour essayer de les prendre en compte, je les ai mentionnés sans les exploiter. Il faut aussi prendre en compte le fait que c'est vous qui appuyez sur le chronomètre, du coup il y a une certaine incertitude sur le temps de réaction.
- Dans cette expérience, la diffusion peut paraître plus compliquée à voir que dans les autres de par son côté un peu abstrait, c'est pourquoi il est intéressant de vraiment insister sur le mécanisme diffusif qu'est la viscosité (entraînement de proche en proche des couches de fluides)

Questions et remarques

- Exp1 : Pourquoi le mouvement de convection tourne-t-il dans un sens et pas dans l'autre? C'est le chemin le plus rapide (minimise l'énergie)
- Exp2 : Que représente l'ordonnée à l'origine (terme avec le t_0)? C'est la taille du pic au moment où j'ai lancé le chrono

- Il aurait fallu faire un mélange équi-molaire et non pas équi-volumique, ce qui fait qu'on avait probablement plus d'incertitudes sur $n_{mélange}$
- Exp3 : On voit que la valeur moyenne diminue au fur et à mesure, donc plutôt que de mesurer $T_{max} - T_0$ il fallait mesurer $(T_{max} - T_{min})/2$
- Exp4 : Est-ce normal que le point de la courbe pour R grand soit en-dessous du fit ? Oui, le profil de vitesses est en fait "coupé" par les effets de bords, ce qui a pour effet de ralentir la bille
- Commentaire général : J'ai pas mal dépassé le temps imparti pour diverses raisons (le vidéoprojecteur buguait, j'ai du récupérer des anciennes données Picolog etc) mais il faudrait aussi que je gagne en efficacité et que j'essaie d'optimiser les moments où je rentre des mesures car il y avait quelques temps morts au cours de la présentation.