

Phénomènes de transport

Matériel

- laser
- lentille cylindrique
- support élévateur
- écran
- glycérol
- eau distillée
- réfractomètre
- burette ou pipette jaugée + potence + noix
- cuve (1 cm d'épaisseur)
- baguette en verre pour mélanger
- bain thermostaté
- bobine de cuivre immergeable avec branchements 4 fils
- multimètre de précision
- pied à coulisse
- barre calorifugée
- boîtier d'acquisition « TC-08 » des thermocouples
- boîtier PicoLog
- GBF

Introduction

Il existe différents modes de transport en physique : conduction, convection, rayonnement. Dans ce montage, on va s'intéresser à la diffusion dans différents domaines de la physique.

Lancement de la manip sur la conductivité du cuivre (dure longtemps)

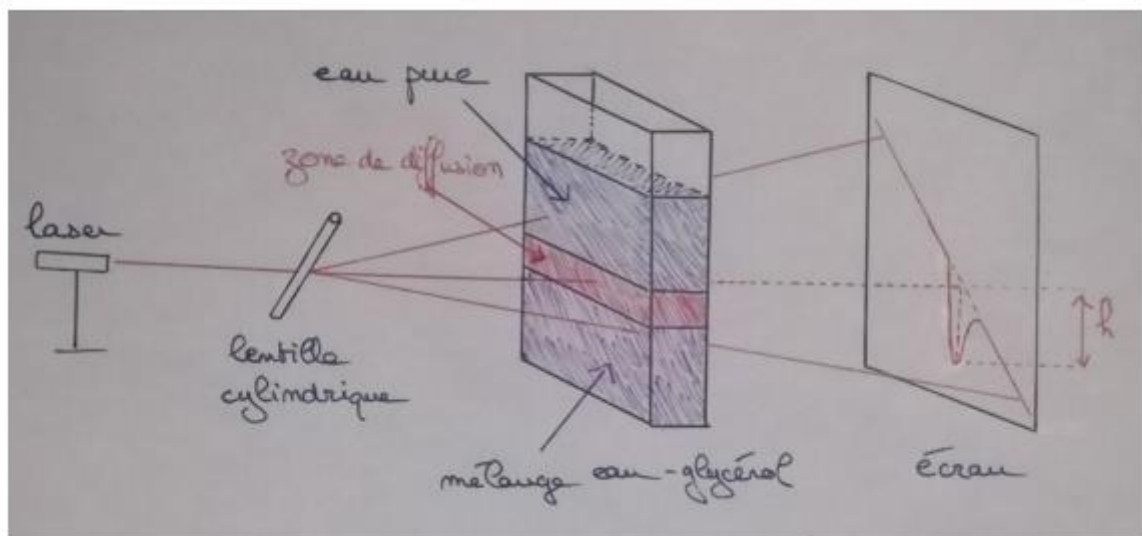
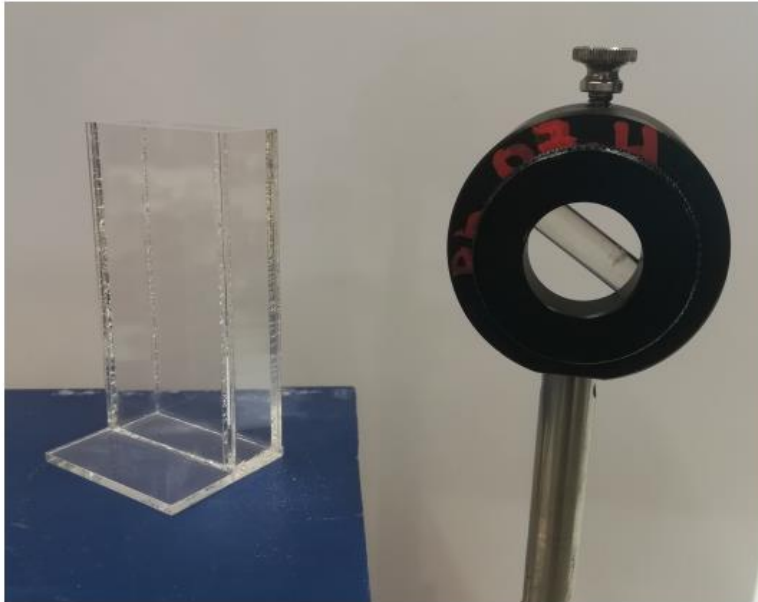
I Diffusion du glycérol dans l'eau

Le but est de caractériser la diffusion d'un mélange eau-glycérol en mesurant le coefficient de diffusion.

Attention ! Manip très longue, à faire en fin de préparation, prévoir 2h.

On remplit à moitié une petite cuve transparente (1cm d'épaisseur) avec de l'eau. On vient ensuite déposer au fond de la cuve un mélange eau-glycérol à 50/50 sur une épaisseur d'environ 1cm. On note c la densité volumique du mélange.

$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$, D est le coefficient de diffusion et z est la coordonnée verticale.



L'indice optique n au sein de la cuve dépend du fluide présent localement, ainsi si on envoie un faisceau laser transformé en nappe laser par un éclateur de faisceau (un petit barreau de verre fait pour ça), la nappe rectiligne incidente est déformée en sortie de la cuve du fait de la déviation inégale selon le milieu traversé par le faisceau. L'éclateur de faisceau permet de bien visualiser cette déviation puisqu'il permet de voir l'état de la lumière en sortie de la cuve pour chaque type de fluide présent dans la cuve.

La déviation est maximale quand on a $\frac{\partial n}{\partial z} = \frac{h}{dl}$

Or, on peut montrer que $\frac{\partial n}{\partial z} = \frac{n_1 - n_2}{2\sqrt{\pi D(t - t_0)}}$

On a alors : $\frac{1}{h^2} = \frac{4\pi D(t-t_0)}{d^2 l^2 (n_2 - n_1)^2}$

Aligner le laser, la lentille cylindrique, la cuve (posée sur le support élévateur) et l'écran. Tourner la lentille cylindrique pour faire une nappe laser inclinée à 45° environ. Préparer un mélange 50/50 en volume de glycérol et d'eau distillée, et mesurer son indice au réfractomètre. Remplir la cuve avec un peu plus d'1/3 d'eau distillée. Remplir la pipette avec le mélange, la fixer sur la potence. Faire rentrer la pipette dans la cuve, elle doit quasiment toucher le fond et être collée à l'un des bords de la cuve. Verser doucement le mélange eau-glycérol au fond de la cuve, en évitant au maximum les mouvements de convection. Il doit y avoir à peu près autant d'eau que de mélange. Idéalement on ne retire pas la pipette, mais la cuve n'étant pas très large, on peut l'enlever délicatement pour laisser plus de place à la nappe laser. La nappe laser doit traverser les trois zones : eau pure, zone de diffusion, mélange eau-glycérol. Les rayons qui traversent la zone de diffusion sont déviés à cause du gradient d'indice optique. Lancer un chronomètre une fois le mélange eau-glycérol versé dans la cuve et mesurer h toutes les 10-15 min (mettre l'écran assez loin pour avoir une bonne incertitude).

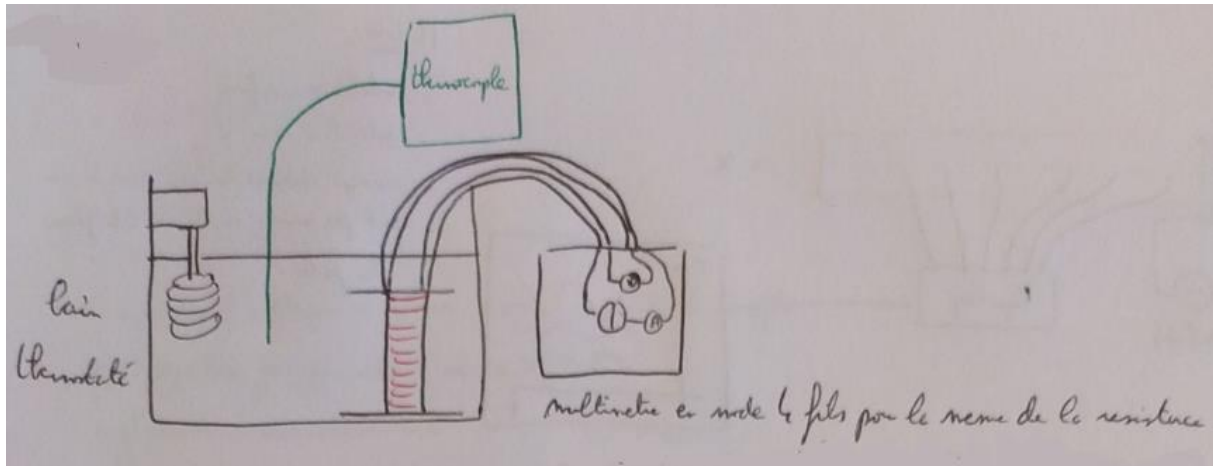
On trace $\frac{1}{h^2}$ en fonction du temps, la valeur de la pente permet de remonter à D.

II Dépendance en température de la résistivité du cuivre

On mesure la résistance de la bobine de cuivre à différentes températures, on peut aller de 15°C à 65°C par exemple. Faire les mesures en augmentant la température, car le thermostat chauffe beaucoup plus vite qu'il ne refroidit. La mesure de résistance se fait avec un montage quatre fils (bouton Ω 4W du multimètre de précision).

La longueur du fil de cuivre est indiquée sur la bobine, on peut calculer sa section avec une mesure du diamètre au pied à coulisse. Ainsi on remonte à la résistivité (ou la conductivité) du cuivre.





$\rho = \rho_0(1 + \alpha_0(T - T_0))$, ρ est la résistivité, T_0 est la température ambiante, α est un coefficient intrinsèque au cuivre.

On constate que σ diminue avec T car on a : $\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$ (modèle de Drude), plus T est élevée, plus τ est faible.

On sait que la conductivité électrique est liée à la conductivité thermique par la loi de Wiedemann-Franz : $L = \frac{\lambda}{\sigma T} = \frac{\pi^2 k_B^2}{3e^2} = 2,44 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \Omega \cdot \text{K}^{-2}$

III Ondes thermiques

Avec la loi de Fick et l'équation locale du flux thermique, on obtient : $\frac{\partial T}{\partial t} = D \Delta T$, avec $D = \frac{\lambda}{\rho c}$, avec λ la conductivité thermique.

A partir de cette équation différentielle, on peut trouver l'équation des ondes thermiques dans la barre de cuivre : $T_i(z, t) = T_{i0} + ae^{-\frac{z}{\delta}} \cos\left(\omega t - \frac{z}{\delta}\right)$, avec $\delta = \sqrt{\frac{2D}{\omega}}$ et i le numéro du capteur, avec pour condition aux limites : $T(z = 0, t) = T_0 + a \cos(\omega t)$. Il nous suffit donc de mesurer δ pour remonter à la conductivité thermique.

Penser à allumer le banc 1h30 avant de prendre des mesures pour que le régime permanent soit atteint.

On impose grâce à un module Peltier une oscillation de température d'un côté de la barre de cuivre. Le module Peltier est lui-même commandé par un GBF qui envoie une sinusoïde de tension de fréquence 2mHz (amplitude entre 0 et 500 mV) afin que l'onde thermique puisse quand même pénétrer dans le barreau de cuivre. On choisit f de façon à ce que le temps d'acquisition ne soit pas trop long mais aussi pour que tous les thermocouples puissent mesurer une sinusoïde avec une amplitude mesurable : il faut que 5δ environ égal à la longueur de la barre (le calcul théorique utilise une barre semi-infinie, donc l'onde thermique doit être suffisamment atténuée à l'extrémité de la barre).

Des thermocouples sont placés le long de la barre de cuivre afin de suivre l'évolution de la température à différentes positions de la barre (cf notice pour connaître la position précise des thermocouples). Il suffit donc de lancer une acquisition d'environ 2 périodes (environ 20 minutes pour une fréquence de

2mHz). On peut remonter au δ de deux manières différentes : soit avec la décroissance exponentielle, soit avec la phase des sinusoides, ensuite on en déduit D.

On peut tracer la phase en fonction de z, la pente est $1/\delta$.

En direct : mesurer les déphasages des 4-5 premiers capteurs directement sur le logiciel Picolog avec le pointeur et en zoomant sur les courbes.

Pour le cuivre, $\lambda = 390 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $\rho = 8920 \text{ kg.m}^{-3}$, $c = 385 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

Conclusion

Dans ce montage, nous avons mis en évidence le phénomène de diffusion en étudiant différents systèmes physiques.

Bibliographie

-Physique expérimentale, De Boeck

Questions

- D'où vient l'ordonnée à l'origine de la courbe $1/h^2$ en fonction du temps ?
 - ➔ Une fois le glycérol déposé au fond de la cuve, il y a eu un peu de convection, ce qui fait qu'on s'est déjà éloigné de la condition initiale utilisée pour le calcul théorique. Donc l'instant initial est impossible à repérer.
- Conditions de validité de la loi de Fick ?
 - ➔ Variations temporelles et spatiales de la concentration suffisamment faibles, milieu isotrope. Lorsque la concentration est élevée, le coefficient de diffusion dépend de cette concentration.
- Pourquoi les rayons sont déviés vers le bas ?
 - ➔ Le gradient d'indice est orienté vers le bas.
- Qu'est-ce qu'une lentille cylindrique ?
 - ➔ C'est un tube de verre cylindrique, qui fonctionne en gros comme une lentille épaisse convergente.
- Qu'est-ce que le montage à 4 fils, quel est l'intérêt ?
 - ➔ On s'affranchit de la résistance des fils de mesure et de l'ampèremètre.
- Quelle est l'impédance d'entrée du voltmètre ?
 - ➔ De l'ordre du $G\Omega$
- Thermomètre utilisé ?
 - ➔ Thermomètre à platine : sa plage d'utilisation et sa précision étaient adéquates pour cette manip. La mesure de température se fait par une mesure de la valeur de la résistance de platine, qui est une fonction quasi linéaire de la température.