

MP 34 : Phénomènes de transport

Charles Goulas, Patrick Banon

17 janvier 2021

Contents

1	Diffusion du glycérol dans l'eau	1
1.1	Biblio	1
1.2	Matériel	2
1.3	Protocole	2
1.4	Résultat et interprétations	3
1.5	Questions	4
2	Dépendance en température de la résistivité du cuivre	5
2.1	Biblio	5
2.2	Matériel	5
2.3	Protocole	5
2.4	Résultats et interprétations	6
2.5	Questions	6
3	Ondes thermiques	6
3.1	Bibliographie	6
3.2	Matériel	6
3.3	Protocole	7
3.4	Résultats et interprétations	7
3.5	Questions	7
4	Autres manips possibles	7

1 Diffusion du glycérol dans l'eau

Remarque : liens cliquables en [bleu](#), points importants en **rouge**.

1.1 Biblio

Sommerfeld, Optics, page 347 à 351 : théorie sur la manip (le bouquin est sur le drive)

[Rapport d'étudiants qui ont réalisé cette expérience](#) : pages 7 et 8, calcul de la déviation du rayon lumineux dans la zone de diffusion, à partir de l'équation des rayons.

Le compte-rendu de 2013 sur ce montage détaille beaucoup cette manip aussi.

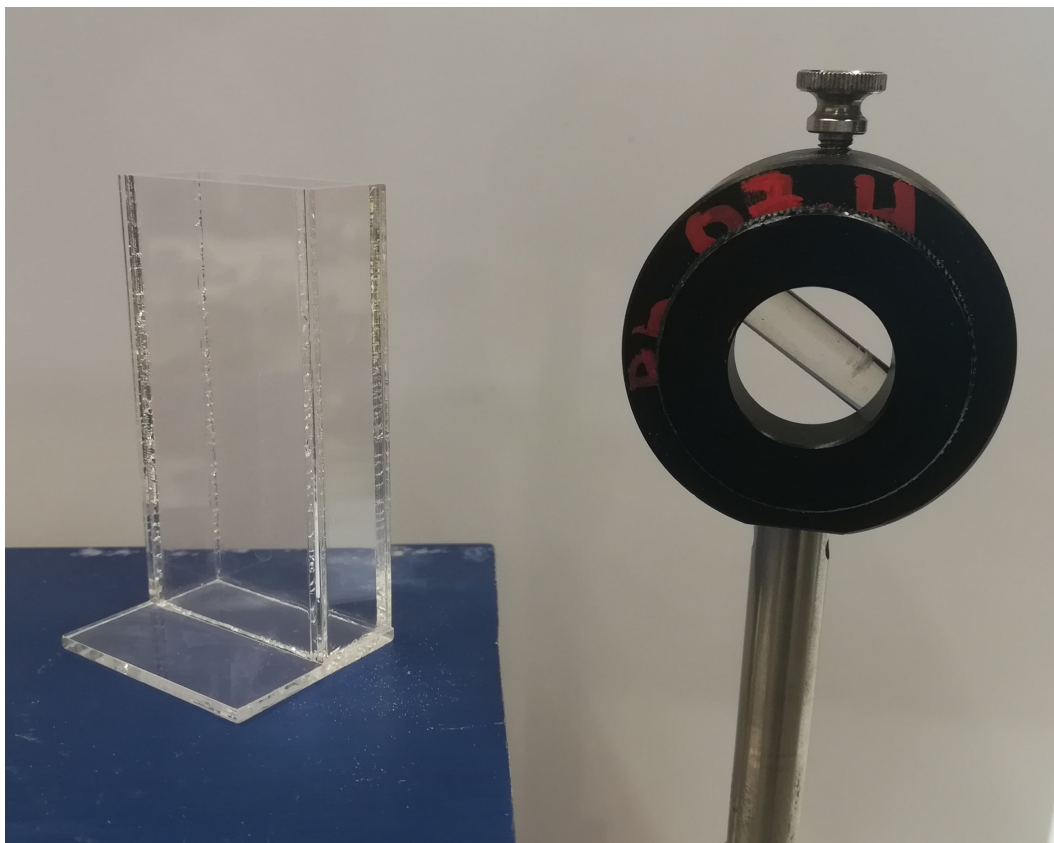


Figure 1: cuve utilisée et lentille cylindrique

1.2 Matériel

- laser, lentille cylindrique, boy, écran
- cuve : elle doit être haute et fine, celle qu'on a utilisé faisait 1 cm d'épaisseur
- burette ou pipette jaugée (20mL suffisent) **qui rentre dans la cuve jusqu'au fond**, potence, noix et pinces pour la fixer pendant qu'on verse le mélange eau-glycérol
- eau distillée, glycérol, pipette, bécher et baguette en verre pour mélanger
- réfractomètre

1.3 Protocole

Aligner le laser, la lentille cylindrique, la cuve (posée sur le boy) 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. Une fois que vous êtes sûrs d'être prêt à commencer les mesures, verser doucement le mélange eau-glycérol au fond de la cuve, **en évitant au maximum les mouvement de convection**. Il doit y avoir à peu près autant d'eau que

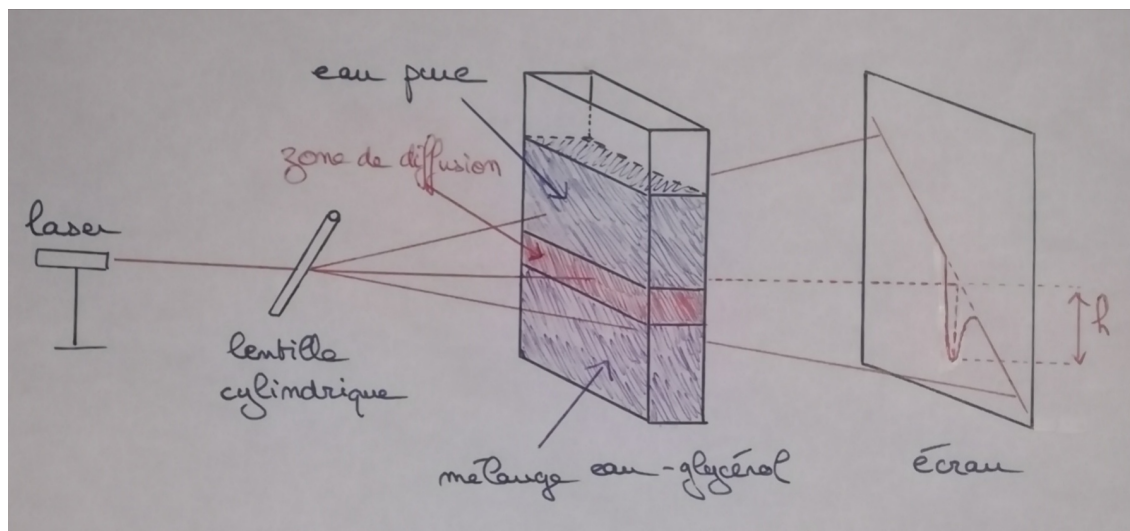


Figure 2: Déviation des rayons dans la zone de diffusion

de mélange. Idéalement, on ne retire pas la pipette, mais la cuve n'étant pas très large, j'ai préféré l'enlever délicatement pour laisser plus de place à la nappe laser, et ça a quand même marché. 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.

On va tracer la courbe $\frac{1}{h^2}$ en fonction du temps t , où h est la profondeur du pic inversé formé par la nappe laser sur l'écran, profondeur prise par rapport à la nappe non déviée. Lancer un chronomètre une fois le mélange eau-glycérol versé dans la cuve. L'instant $t = 0$ n'a pas d'importance, il y aura de toute façon une ordonnée à l'origine dans la courbe qu'on va tracer (cf les questions). Pour mesurer h , on a utilisé la méthode suivante :

- poser une règle sur l'écran, à la verticale en partant du bas du pic inversé
- prolonger avec une autre règle ou une feuille la nappe non déviée
- lire la profondeur h sur l'intersection entre la règle et la nappe prolongée

Je conseille de verser le mélange eau-glycérol dans la cuve environ 1h30 avant le début du montage, de faire une mesure toutes les 10-15 minutes environ et une dernière devant le jury.

Une dernière remarque : prendre un écran assez grand et le mettre plutôt loin pour limiter l'incertitude relative sur la mesure de h . Une astuce possible est de commencer les mesures avec un écran relativement proche de la cuve, puis dès qu'on peut doubler la distance cuve écran et mesurer $2h$.

1.4 Résultat et interprétations

D'après les calculs théoriques, $\frac{1}{h^2}$ en fonction du temps est une droite de pente $\frac{4\pi D}{(dl\Delta n)^2}$ où d est la distance cuve écran, l la largeur de la cuve et $\Delta n = n_{\text{mélange}} - n_{\text{eau}}$ la différence entre l'indice du mélange eau-glycérol et l'indice de l'eau. On remonte alors au coefficient de diffusion D du glycérol. Il n'y a pas de valeur tabulée. L'ordre de grandeur à trouver est

autour de $5.10^{-10} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ d'après les différents compte-rendus qu'on peut trouver sur cette expérience. On a trouvé $(6.7 \pm 0.8).10^{-10} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$.

Ce qui pose problème, c'est quel coefficient de diffusion mesure-t-on, ou autrement dit quel milieu support considère-t-on pour la diffusion du glycérol. En effet, la concentration en glycérol dans l'eau étant ici très élevée, D dépend de cette concentration en glycérol. D'après le correcteur, Frédéric Restagno, on mesure donc une sorte de coefficient de diffusion moyenné sur une certaine gamme de concentration en glycérol, sans pouvoir en dire beaucoup plus. Frédéric Restagno dit aussi que la dépendance du coefficient de diffusion avec la concentration en glycérol se comprend bien grâce à la formule de Stokes-Einstein, $D = \frac{k_B T}{6\pi\eta a}$ où a est le rayon de la particule diffusante. La viscosité η du milieu dépend bien de la concentration en glycérol, puisqu'il y a un facteur 1000 entre la viscosité de l'eau et celle du glycérol pur.

Il faut aussi avoir conscience que la mesure de l'indice $n_{\text{mélange}}$ du mélange eau-glycérol avec le réfractomètre donne la valeur de l'indice à 589nm, le doublet jaune du sodium. Qu'on utilise un laser rouge ou un laser vert, l'indice sera légèrement différent.

Enfin, cette manip est très classique, mais c'est la seule dont on dispose pour une mesure quantitative sur de la diffusion de particules. Le jury le sait donc pas d'inquiétude pour le manque d'originalité, mais il faut s'appliquer lors de la manip pour se distinguer des autres candidats.

1.5 Questions

D'où vient l'ordonnée à l'origine de la courbe $\frac{1}{h^2}$ 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.*

Comment fonctionne un réfractomètre ? *Voir le poly de geste.*

Pourquoi les rayons sont déviés vers le bas ? *Le gradient d'indice est orienté vers le bas.*

Peut-on ne pas faire l'approximation des petits angles lors du calcul de l'angle de déviation du rayon lumineux ? *Peut-être, mais déjà que le calcul est chiant la formule va être bien dégueu.*

Qu'est-ce que la lentille cylindrique ? *C'est un tube de verre cylindrique, qui fonctionne en gros comme une lentille épaisse convergente.*



Figure 3: Les bobines immergeables de la collection

2 Dépendance en température de la résistivité du cuivre

2.1 Biblio

Physique expérimentale

Ashcroft, Physique des solides, chapitres 1 et 2

2.2 Matériel

- thermostat
- bobine de cuivre immergeable, avec branchement 4 fils
- multimètre de précision
- pied à coulisse

2.3 Protocole

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.

2.4 Résultats et interprétations

On trouve que la résistance de la bobine en fonction de la température est une droite, avec une ordonnée à l'origine non nulle. Plusieurs résultats peuvent être présentés :

- Une mesure de résistivité ou de conductivité à une température donnée
- Les valeurs numériques des coefficients d'une loi de la forme $\rho = a(T - T_0) + \rho_0$. a est alors un coefficient intrinsèque au cuivre, T_0 une température ambiante qu'on choisit, 20°C par exemple, et ρ_0 la résistivité à 20°C.
- Une vérification de la loi de Wiedmann Franz. Il faut avoir dans ce cas plusieurs valeurs de conductivité thermique à différentes températures.

2.5 Questions

Qu'est-ce que le montage à quatre 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 $G\Omega$*

Quel type de thermomètre avez-vous utilisé, pourquoi, comment fonctionne-t-il ? *Un thermomètre à résistance de platine, car sa plage d'utilisation et sa précision était 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.*

Comment choisir le courant pour mesurer la résistance de la bobine ? *Le multimètre choisit tout seul le courant une fois qu'on lui a donné le calibre. Mais il faut faire attention à ne pas faire circuler un courant trop élevé qui pourrait chauffer la bobine par effet Joule.*

Pourquoi la conductivité diminue avec la température ? *Dans le modèle de Drüde, $\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$. Le temps de relaxation τ vient de l'interaction des électrons avec les phonons et les défauts cristallins. Plus la température est élevée, plus ce temps est faible.*

3 Ondes thermiques

3.1 Bibliographie

Physique expérimentale

[Notice d'utilisation de la base de données du matériel](#)

3.2 Matériel

- la barre calorifugée
- boîtier d'acquisition "TC-08" des thermocouples
- logiciel picolog
- un GBF

3.3 Protocole

La biblio décrit bien la manip. Seul un point a changé par rapport à la notice de la base de matériel, c'est l'alimentation du module Peltier et des ventilateurs. Il n'y a plus besoin d'une alim +15/-15 V, il faut juste un câble d'alim et le GBF. Le signal délivré par le GBF doit être un sinus **positif**, ne dépassant pas 500 mV en valeur maximale. Par exemple, nous avons choisis une sinusoïde de fréquence 2,9 mHz, variant de 0 à 400 mV. Le choix de la fréquence (voir la biblio pour plus de détails) se fait de telle sorte que la profondeur de pénétration δ de l'onde dans la barre soit environ égal à un cinquième de la longueur L de la barre, soit $5\delta \simeq L$. La raison est que le calcul théorique utilise une barre semi-infinie, donc l'onde thermique doit être suffisamment atténuée à l'extrémité de la barre.

Bien penser à lancer l'excitation sinusoïdale au moins deux heures avant les mesures, pour être en régime permanent. Ensuite on lance une acquisition sur quelques périodes. Elle peut se faire en live, en choisissant deux périodes ça fait en gros 15 min d'acquisition. On peut exporter les données dans un fichier texte (voir la notice). Attention : le logiciel ne se rouvre pas correctement si on ferme l'une de ses fenêtres. Si cela arrive, arrêter le processus depuis le gestionnaire des tâches ou bien redémarrer le logiciel.

Pour le traitement, on a ajusté la courbe de température de chaque thermocouple par un sinus. Ensuite on a tracé la phase de chaque ajustement en fonction de la position du thermocouple dans la barre. La pente vaut alors $1/\delta$ ce qui permet de remonter au coefficient de diffusion thermique.

3.4 Résultats et interprétations

On en déduit la valeur de la conductivité thermique du cuivre, à "environ" 25°C, la température n'étant pas homogène dans la barre.

Les courbes de température n'ont pas toute la même valeur moyenne. Je pense que ceci est dû à une solution affine de l'équation de la chaleur en régime permanent, qui se superpose au régime sinusoïdal.

3.5 Questions

Comment ça marche un module Peltier ?

Impose-t-on un flux ou une température en $x = 0$? *Difficile à dire. C'est pas important en tout cas, ça donne la même solution à un déphasage constant près.*

4 Autres manips possibles

Il y a la diffusion de quantité de mouvement en méca flu. On fait alors une mesure de viscosité avec un écoulement de Poiseuille ou avec le viscosimètre à bille.

On peut aussi faire une mesure de conductivité avec le barreau percé qu'on a utilisé en semaine marathon, l'avantage est qu'on peut faire varier la longueur utilisée. Ou encore la chute de l'aimant dans les tubes en cuivre et en aluminium.