

# M34 : Phénomènes de transport

## Rapport jury :

Des transports autres que diffusifs peuvent faire l'objet de ce montage. Lors de la mesure du coefficient de diffusion du glycérol, par la déviation d'une nappe laser, les candidats doivent être à même d'expliquer précisément la nature de l'image observée sur l'écran et son origine physique. Le choix des expériences doit veiller à souligner l'aspect transport. Il existe d'autres phénomènes de transport que ceux régis par une équation de type  $j = \alpha \text{ grad } V$ . Ce montage est ouvert à de nombreux domaines, pouvant donner lieu à des études comparées ; on pensera à exploiter les régimes transitoires et les régimes permanents. Le choix des expériences doit veiller à souligner l'aspect transport.

## **Introduction:**

Les phénomènes de transport sont omniprésents dans notre quotidien. Dès que nous voulons ajouter du sucre dans notre café, nous touillons avec une cuillère afin de répartir les morceaux de sucre dans toute la solution. Il existe une diversité des phénomènes (convection = déplacement de matière, conduction, rayonnement).

## **I - Conduction électrique dans le cuivre : transport de charges.**

### **1) Mesure de la conductivité électrique du cuivre**

On souhaite étudier le transport de charges dans un métal en mesurant la conductivité électrique d'un fil de cuivre.

-Utiliser rhéostat à 10 Ohm fixé (attention au branchement à vérifier avec multimètre)

Le rhéostat permet de réguler le courant et sert de résistance protectrice

-Fil de 3m dénudé tous les 40 cm.

-Le fil est alimenté par un courant continu de 2A (et d'une tension de 20V).

-On relie des pinces croco à un Keithley.

-On mesure la tension entre le point de départ et les points successifs (x est la distance par rapport au 1er point.)

-On trace U en fonction de x

→ Droite conforme à la Loi d'Ohm : On en déduit conductivité électrique du cuivre  $\sigma$  à l'aide de la pente de la droite linéaire:  $\alpha = I/\pi R^2 \sigma$  (R, rayon du fil déterminé avec pied à coulisse)

Comparer à la valeur tabulée.

### Discussion sur les incertitudes :

-On peut calculer l'incertitude sur  $\sigma$ .

On compare l'incertitude quand on prend en compte  $\alpha$ , I et R et celle quand on prend uniquement en compte R.

→ On conclut que l'incertitude est essentiellement due au diamètre du fil

**Voir Excel**

### **2) Influence température sur résistance**

M34 - II.2

→ On plonge fil dans un bécher rempli d'eau dont on va faire varier la température et on va observer l'influence sur sa résistance.

-On prend un fil de cuivre de 15 m.

-Utiliser un Keithley pour pouvoir faire branchement 4 fils.

-Pour savoir l'incertitude sur le thermomètre, on peut prendre la température dans un mélange eau-glace et voir quel est le décalage par rapport à 0 (pour avoir l'erreur systématique). Ne pas utiliser un thermocouple car trop imprécis.

-On cherche à minimiser la distance des fils hors de l'eau + on évite que le fil ne touche les parois (on peut le surélever avec pinces + élastique)

-Prendre gros bécher rempli d'eau chaude, et on ajoute de la glace progressivement + agitateur magnétique pour homogénéiser.

-Attendre que T soit stabilisée avant de faire une mesure.

-On arrête l'agitation quand on veut relever R. (agitation crée un champ magnétique)

-Pas prendre des points trop rapprochés.

-On trace R en fonction de la température.

→ On en déduit la résistivité du fil à l'aide de la pente de la droite affine obtenue ( $= a \pi R^2/L$ ).

→ Vérification de la loi de Wiedmann-Franz (relie conductivité thermique et électrique) :

$\lambda/\sigma = \pi^2 k_b^2 T / (3e^2)$ . Loi valable uniquement si le transport thermique dans le métal est assuré par les électrons de conduction.

Le rapport  $\lambda/\sigma$  est calculé avec la valeur tabulée de  $\lambda$  (à 20°C) et le  $\sigma$  obtenu précédemment, comparer avec la valeur théorique.

-La loi de Wiedemann-Franz est donc correctement vérifiée avec le cuivre.

voir Excel

**Attention :** Tous les résultats sont à discuter, car les valeurs tabulées sont obtenus pour la température ambiante.

Discussion: La conductivité thermique est liée à la conductivité électrique. Généralement un bon conducteur électrique, est un bon conducteur thermique, car comme la conductivité électrique, la conductivité thermique est dû aux mouvements des électrons libres. En revanche la réciproque n'est pas vraie : un bon conducteur thermique n'est pas nécessairement un bon conducteur électrique (comme le diamant par exemple). Ceci est dû au fait que le transport thermique peut aussi être assuré par les phonons se propageant dans le réseau cristallin. La rigidité des systèmes dépend de la cohésion (liaison covalente, métallique) du cristal.

## II - Transport de quantité de mouvement par convection forcée : Loi de Poiseuille

Quaranta tome I p.138 + M3 - II.3 + M34-III.2.1

Lorsque le tube dans lequel se passe l'écoulement est assez fin pour avoir un débit assez faible pour rester en régime laminaire, il s'établit à l'intérieur de la conduite un régime laminaire particulière, l'écoulement de Poiseuille.

**IMPORTANT:** La loi de Poiseuille n'est valide seulement si le régime d'écoulement est laminaire –c'est à dire si la vitesse du fluide est toujours parallèle à la paroi-. Ce constat exclue la présence de turbulence et est donc relatif à des vitesses de fluide plutôt faible.

Mesure préalables:

-Mesure rayon du tube (mesure + précise que pied à coulisse) :

$V = \pi R^2 L$  avec  $V = m/\rho \rightarrow$  Donc on remplit le tube, on mesure la masse que ça représente pour avoir V et on en déduit R.

-Calcul pour voir si on peut négliger la partie du tube qui n'a pas le même diamètre (au début) :  $R'/R$ .

Manipulation:

-Balance (bien la régler avec le niveau à bulles intégré)

-Bien aligner le tuyau de sortie.

-Prendre référence pour avoir la hauteur h dans le vase de Mariotte : on prend la référence au niveau du haut du vase Mariotte et pas en haut du bouchon (comme ça référence fixe).

-On prend 2 gros bécher ; un qui sert de "poubelle" et l'autre pour la mesure, afin de faire la mesure il faut laisser quelque temps couler dans le bécher "poubelle" afin d'être en régime stationnaire. On sait qu'on est en régime permanent quand on voit des bulles apparaître au niveau du tube donc on mesure pas la masse avant d'être dans cette situation. (Les bulles sont signe qu'on est bien à la pression atmosphérique à la surface.)

-On met un volume dans le vase de Mariotte (volume inconnu).

-On règle le tube de Mariotte à différentes hauteurs (attention pour la mesure de h, ne pas enlever bouchon et le remettre car cela peut donner des différences de qqes mm).

-On pèse à chaque fois la masse de liquide récupérée en sortie (attention bien faire la tare à chaque fois sur la balance) pendant une durée t afin d'obtenir le débit massique en fonction de h.

-On trace  $Dm$  en fonction de h (loi de Poiseuille) on peut ainsi avoir une droite.

Incertitudes à mettre sur Regressi :

-temps : 0.5 s (incertitude systématique)

-Attention pour l'incertitude sur h !! On a bien environ 2 mm avec le mètre ruban mais on a aussi une incertitude sur la hauteur en sortie du tuyau (hauteur pas très constante quand ça coule) donc on prend : 1 cm.

- Incertitude sur la masse : ce n'est pas au niveau de la balance que ça va poser problème mais + le fait qu'1 ou 2 gouttes aient pu être ajoutées/enlevées à l'arrêt/lancement du chronomètre. On mesure donc la masse d'une seule goutte pour avoir incertitude sur la masse.

→ Le coefficient directeur va nous permettre de déduire la viscosité.

(Comparer à valeur attendue) voir Excel

-On peut mesurer la température (salle/liquide) car la viscosité dépend de T (la viscosité diminue avec la température pour un liquide -pour un gaz c'est l'inverse-).

**Attention**, on est peut être limite pour Poiseuille, il faut vérifier le nombre de Reynolds : peut être qu'il n'est pas négligeable ce qui explique pourquoi on obtient une viscosité + haute que celle de l'eau.

Poiseuille uniquement valable pour les régimes visqueux !!!

Pour vérifier Re :

On veut la vitesse → On relève  $D_m$  max, d'où  $D_v$  max et on a :  $v = D_v/\pi R^2$

Voir Excel

On vérifie qu'on a  $Re < 2000$ .

Si on est à la limite du régime turbulent, il est possible que le capillaire soit trop grand.

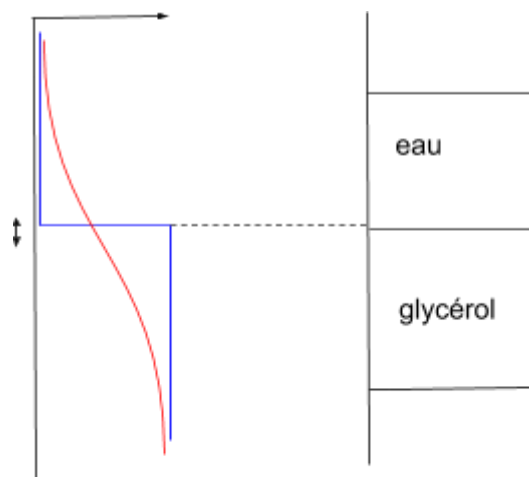
### III- Diffusion de particule : glycérol dans l'eau

Voir poly M34 pour le protocole + Quaranta, Tome II nouvelle édition (Thermodynamique et Applications) p.468.

On étudie la déviation du faisceau lumineux par le gradient d'indice imposé par la diffusion du glycérol dans l'eau.

#### Important lors de la réalisation de l'expérience :

- Bien chronométrer le début de la manipulation pour chaque mesure.
- Il est mieux de se placer dans un endroit sombre.
- La cuve est placée en hauteur du fait de la déviation très forte et elle doit se trouver au bord du support pour pas que le pic soit coupé par le support.
- La lentille et le laser doivent être placés assez proches de la cuve. On repère le faisceau de base sur la feuille.
- On réalise un mélange 50/50 d'eau et de glycérol dans une éprouvette. On fixe la burette sur une tige lourde et grande pour plus de stabilité et une pince prise plate.
- Remplissage de la burette : On la remplit, on enlève toutes bulles d'air en la vidant rapidement, puis on la remplit jusqu'en haut. On peut utiliser un mouchoir pour essuyer l'extrémité de la burette. On remplit la cuve d'eau (mais pas trop non plus!) : Il faut que l'épaisseur d'eau soit quasi identique à celle de de glycérol/eau dans la cuve.
- On plonge l'extrémité de la burette au fond de la cuve (car le mélange est + dense que l'eau). On verse lentement le glycérol.
- On observe au départ un pic très fin qui descend bas, ce qui est normal car on a au début une importante variation d'indice sur une petite interface, puis le pic s'étale et se raccourcit au cours du temps.



On relève toutes les 15 minutes la position du minimum du pic. On a  $\operatorname{tg}\alpha_{\max} = h_{\max}/L$  (L = distance cuve/écran)

Puis, on trace  $1/\alpha_{\max}^2$  en fonction du temps. On doit obtenir une droite.

Au début : non linéaire parce que l'équation de diffusion est une loi phénoménologique ; c'est une approximation valable pour des petits gradients donc non valable au départ.

On passe par un modèle :  $1/\alpha^2 = a(t + t_0)$  (car temps initial mal défini puisqu'on verse lentement le mélange). L'obtention de a permettra d'obtenir le coefficient de diffusion D (d = largeur de la cuve dans poly). **voir Excel**

(Comparer à une valeur tabulée)

On peut alors en déduire le temps que mettra la glycérine à diffuser sur une distance de l'ordre du cm.  $\tau = L^2/D$ . Il n'est pas utile d'avoir une valeur précise de L, on ne peut qu'obtenir une estimation du temps (à peu près 2 jours). Donc ne pas mettre d'incertitude car ODG.

Bilan: on est parti d'un état d'équilibre que l'on perturbe et on a un régime transitoire vers un nouvel état d'équilibre, on remarque ici que le régime transitoire est plutôt long.

### **Conclusion:**

**Manip qualitative** : Faire QI + lentille convergente sur miroir concave + thermomètre dans la salle → augmentation température → illustre le rayonnement.

Au cours de ce montage, on a pu illustrer différents types de transports.

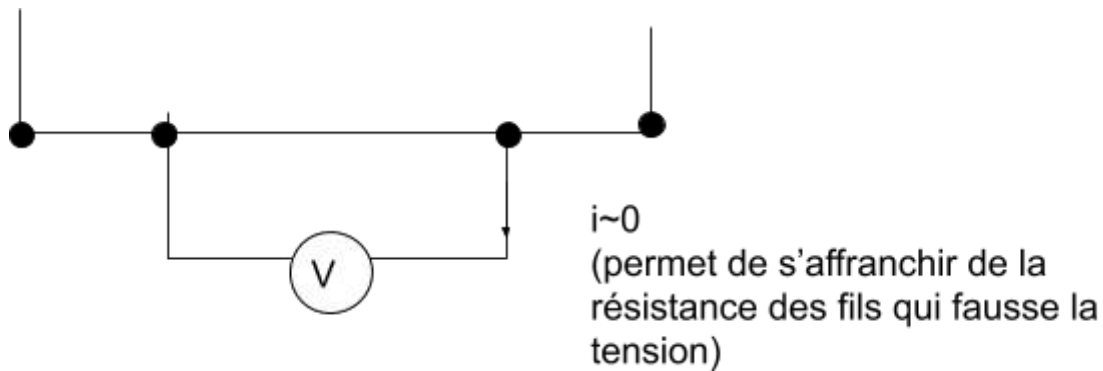
### **Questions**

-Connaître les différents modes de transferts thermiques

-Différences expérimentales entre la diffusion et la convection :  
→ Diffusion met beaucoup de temps par rapport à convection.

-Manip conduction électrique :

C'est quoi une mesure 4 points ? (pour moi c'est comme le montage à 4 fils du coup!)



-Manip Poiseuille : Comment varie la pression entre 2 bulles ?  
Pour moi elle diminue (car pertes de charge) mais pas sure ...

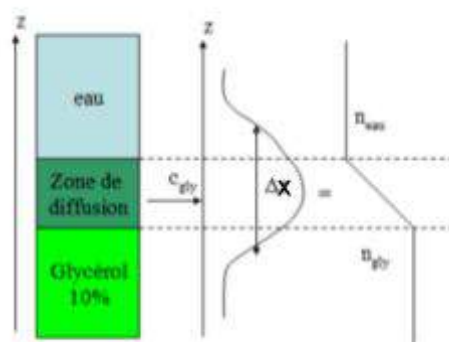
-Manip Poiseuille : Pourquoi prendre un tube avec un fin diamètre ?  
→ Le nombre de Reynolds dépend du diamètre  $R = \rho v d / \eta$ , un petit diamètre permet de s'assurer qu'on est en régime laminaire.

-Manip Glycérol : Conditions de validité de la loi de diffusion ?  
→ Milieu assez dilué pour exprimer le flux de particules au premier ordre en gradient d'indice.

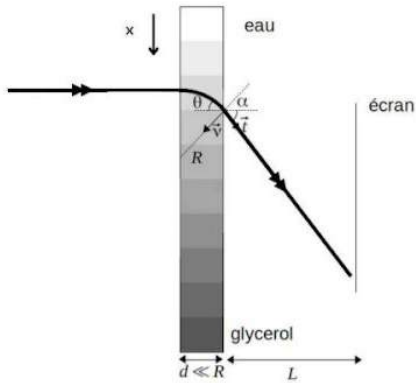
-Glycérol : Expliquer d'où vient la loi de la déviation qui relie l'angle au gradient d'indice pour la diffusion du glycérol. Comment est relié l'indice aux concentrations ?  
Voir poly M34 p10

[https://physique-sciences.univ-amu.fr/sites/physique-sciences.univ-amu.fr/files/ue\\_34\\_travaux\\_pratiques\\_1.pdf](https://physique-sciences.univ-amu.fr/sites/physique-sciences.univ-amu.fr/files/ue_34_travaux_pratiques_1.pdf) (p18)

En utilisant l'équation de diffusion pour la concentration (ou fraction molaire), en la résolvant en passant par l'espace de Fourier de la variable de l'espace  $z$  et en posant la condition initiale donnée par :  $c(z, 0) = 0$  si  $z > 0$  et  $c(z, 0) = 1$  si  $z < 0$  (soit une marche, qui en dérivant nous donne un pic de Dirac en 0), nous pouvons montrer après intégration que le gradient de concentration a la forme d'une gaussienne (concentration de la forme erf(x)) de largeur à mi hauteur :  $\Delta z = 2\sqrt{\pi Dt}$ .



A cause du gradient de concentration en glycérol, nous obtenons un gradient d'indice de réfraction dans la cuve (le glycérol et l'eau ayant des indices de réfraction différents). Ce gradient d'indice est donné par :  $gradn \approx \Delta n / \Delta x$ , avec  $\Delta n = n_g - n_e$  où  $n_g$  et  $n_e$  sont respectivement les indices de réfraction du glycérol et de l'eau.



Le trajet d'un rayon lumineux dans un milieu dont l'indice varie est donné par l'équation:

$$grad(n) = \frac{d(n,t)}{ds}$$

où s est l'abscisse curviligne le long du rayon, et t est le vecteur unitaire tangent à la trajectoire. En projetant sur la direction normale on obtient donc :

$$grad(n) = \frac{dn}{dx} e_x \cdot v = n/R$$

$$e_x \cdot v = \cos\theta \quad (\text{on suppose } \theta \sim 0) \quad \text{d'où } grad(n) = n/R$$

$$\text{D'après la figure : } \cos(\pi/2 - \theta) = d/R$$

$$\text{d'où : } \sin(\theta) = d/R \rightarrow \theta = d/R$$

$$\text{La loi de Snell Descartes nous donne : } n\theta = \alpha$$

$$\text{d'où } \alpha/n = d/R \quad \text{finalement on trouve que } grad(n) = \alpha/d$$

La déviation  $\alpha$  (si elle est petite) est donc :  $\alpha = d \cdot gradn$

$$\text{D'où } \alpha_{max} = \frac{(n_g - n_e) c_0 d}{2 \sqrt{\pi} D t}$$

Plaçons un écran à une distance L fixée de la cuve. En relevant l'abscisse  $h_{max}$  du point d'impact du laser après traversée de la cuve de largeur d, on peut obtenir  $\alpha_{max}$  ( $\tan(\alpha_{max}) = h_{max}/L$ )