
PHÉNOMÈNES DE TRANSPORT

Niveau

Commentaires du jury

- 2014-2017 : 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.
- 2010-2013 : Le choix des expériences doit veiller à souligner l'aspect transport.
- 2012 : 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.
- 2009 : La mesure de la conductivité thermique d'un métal par sa réponse en température à une excitation alternative a posé problème à de nombreux candidats par suite de l'analyse des mesures à l'aide d'une loi non valide avec les conditions aux limites concernées. Le régime permanent implicitement mis en jeu doit être précisé, de même que son temps d'établissement.
- 2000 : Connaître a priori l'ordre de grandeur de quelques coefficients de diffusion est indispensable. Les dispositifs dédiés permettant d'étudier l'effet Hall sur des échantillons sélectionnés semblent poser, malgré leur simplicité, de gros problèmes d'utilisation.

Bibliographie

—

pré-requis

Expériences

- Diffusion de chaleur dans une barre de cuivre
- Diffusion du glycérol dans l'eau
- Ascension capillaire sur une plaque de silice
- Diffusion de charge dans des cellules RC
- Transport d'énergie par rayonnement
- chute de bille dans un fluide visqueux

—

Table des matières

1	Transport de matière	2
	1.1 Principe	2
	1.2 Expérience	3
2	Transport d'énergie	3
3	Loi de stefan	4
4	Diffusion de quantité de mouvement	4

Introduction

Les phénomènes de transport désignent les situations de un déplacement d'une grandeur, scalaire ou vectorielle, sans disparition ou création de celle-ci, dans un système hors équilibre. Ils sont généralement classés en quatre catégories : la convection lorsqu'il y a déplacement macroscopique de matière, la diffusion due à l'inhomogénéité d'un paramètre intensif, la dérive sous l'action d'un champ de force et le rayonnement lorsque le transport ne nécessite pas de milieu matériel. Les phénomènes de transport mettent en jeu une grande diversité de grandeurs comme la quantité de matière, l'énergie thermique ou la quantité de mouvement.

1 Transport de matière

1.1 Principe

Le principe de cette expérience est d'étudier le temps caractéristique de diffusion du glycérol et de l'eau. On va le caractériser en remontant au coefficient de diffusion.

Pour repérer la diffusion on utilise le fait que l'indice optique de la solution dépend de la concentration en glycérol dans l'eau :

$$n_{\text{Mélange}} = (1 - c)n_{\text{eau}} + cn_{\text{glycérol}}$$

On part d'une situation initiale avec un mélange 50/50 de glycérol et d'eau en bas et de l'eau en eau. L'indice optique dépend alors de la hauteur. Un rayon incident est alors dévié vers les zone de fort n . Aussi en envoyant une nape laser à 45° , seul les zones où il y a diffusion sont déviés et les rayon sont d'autant plus déviés que le gradient d'indice est fort.

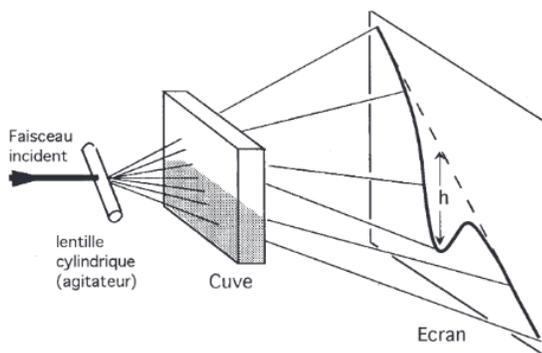


FIGURE 1 – BUP 819

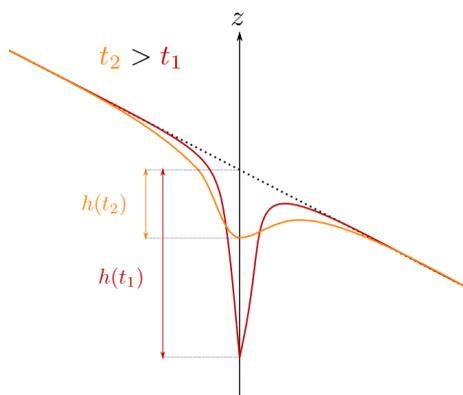


FIGURE 2 – Observation (schéma des Cléments)

Pour mettre le problème en équation on utilise la de Fick : Une inhomogénéité de concentration en glycérol entraîne :

$$\vec{j} = -D\nabla c$$

L'équation de conservation des particules en l'absence de vitesse d'ensemble est :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$$

Dans la limite où l'épaisseur de la cuve e est petite on a : $\theta = e \frac{\partial n}{\partial z}$. Ceci couplé avec le temps de réponse de la diffusion donne :

$$\theta = -e(n_{\text{eau}} - n_{\text{glycerol}}) \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{z^2}{4Dt}\right)$$

Ainsi ce qu'on observe à l'écran ressemble à une gaussienne qui s'étale au cours du temps. On peut alors repérer bas du pic (dans l'approximation où $\tan(\theta) = \theta$) :

$$h = eL \frac{n_{\text{eau}} - n_{\text{glycerol}}}{\sqrt{4\pi Dt}}$$

1.2 Expérience

Diffusion de glycérol :

- Introduire de l'eau à mi-hauteur dans une cuve
- Introduire à l'aide d'une burette du glycérol au fond. Ne pas essayer d'enlever la burette une fois l'opération réalisée
- Faire une nappe laser à 45° avec une lentille sphérique ou une fente.
- Réaliser un trait pour repérer la pente de la nappe laser. on repère ensuite les distances verticalement par rapport à cette pente.
- Prendre régulièrement des h pour différents temps.

On trace

$$\left(\frac{eL(n_{\text{eau}} - n_{\text{glycérol}})}{h\sqrt{4\pi}}\right)^2 = f(t)$$

On attends une droite de pente D

On attends $D = 1.06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ à 25°

2 Transport d'énergie

On considère une barre de métal (cuivre) soumise à une excitation sinusoïdale en température.

La température de la barre est régit par l'équation de la chaleur :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

avec $\kappa = \frac{\lambda}{\mu c}$, λ est la conductivité thermique, μ est la masse volumique, c est la capacité thermique massique.

Nous nous plaçons dans l'approximation d'un milieu semi-infini, excité sinusoïdalement à la pulsation ω . Pour que l'hypothèse semi-infini soit valide, il faut que la longueur de pénétration $\delta = \sqrt{\frac{2\kappa}{\omega}}$ soit petite devant la longueur de la barre. On veut pouvoir utiliser le maximum de capteur quand même donc nous faisons un compromis : $5\delta \simeq L$.

Mesure de la conductivité thermique du cuivre en l'excitant sinusoïdalement avec un module Peltier. Le code python se charge du reste. Expression du modèle :

$$T_i(t) = T_{0i} + T_{1i} \cos(\omega t + \phi_{1i}) + T_{2i} \cos(2\omega t + \phi_{2i}) \quad (2)$$

Données pour le cuivre :

Conductivité de d'autres matériaux

Bois de chêne : $\lambda = 0.16 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Laine : $\lambda = 0.05 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

Le cuivre n'est donc pas un bon isolant thermique. Ca permet de faire des marmites pour cuire la confiture...

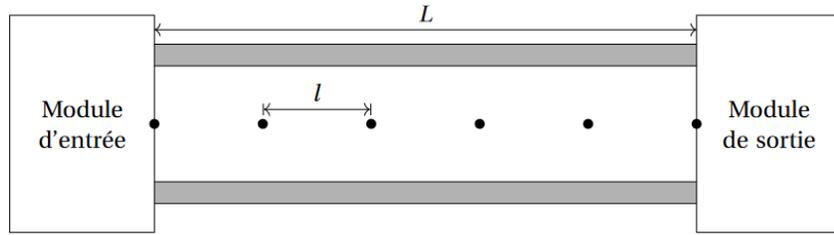


FIGURE 3 – Schéma du dsipositif.

λ	$390 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
ρ	$8.96 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
c	$380 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
κ	$1.145 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

TABLE 1 – Valeurs tabulé pour les cuivre

3 Loi de stefan

Voir montage émission et absorption

4 Diffusion de quantité de mouvement

En fonction du temps on peut rajouter cette manip pour parler de diffusion de quantité de mouvement. Voire montage Dynamique des fluides

5 Remontée sur une plaque de silice

L'ascension d'un liquide le long d'une plaque de silice pour CCM peut être modélisée par 2 modèles : l'un de type loi de Washburn, et l'autre diffusif.

Loi de Washburn : La loi de Washburn décrit la dynamique de l'ascension capillaire d'un liquide dans un tube ; d'après le physicien Len Fisher (vulgarisateur australien, qui adore les sujets du quotidien), on peut très bien l'appliquer à un biscuit, par exemple.

On suppose donc que la silice se comporte comme plein de petits tubes de rayon r . On note θ l'angle de mouillage eau/silice, et γ la tension de surface de la solution. La force de mouillage que subit le fluide, qui le tire vers le haut, s'écrit :

$$F_t = 2\pi r \gamma \cos \theta$$

Par ailleurs, le fluide subit une force de frottements visqueux que l'on met sous la forme :

$$dF_v = \eta \frac{\partial v_z}{\partial x} dS$$

On a donc supposé un comportement newtonien. Pour un capillaire, on a

$$dS = 2\pi r dz_{front}$$

où $z_{front}(t)$ est la hauteur maximale atteinte par le liquide à t .

On approxime :

$$\frac{\partial v_z}{\partial x} \approx \frac{1}{r} \frac{dz_{front}}{dt}$$

La force intégrée sur la hauteur s'écrit alors :

$$F_v \approx 2\pi r z_{front} \frac{dz_{front}}{dt}$$

On néglige enfin l'inertie du fluide, et on suppose que la quantité de fluide qui monte est faible, si bien que l'influence de la pesanteur est négligeable. Il vient :

$$z_{front}^2 \approx \frac{2r\gamma \cos \theta}{\eta} t$$

Modèle diffusif : un modèle diffusif donne la même évolution ! ON écrit l'équation de diffusion à 1D :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$$

Une solution satisfaisant les conditions limites $c(z=0, t) = c_0$ et $c(z \rightarrow \infty, t) = 0$ s'écrit avec la fonction erf :

$$c(z, t) = c_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{z}{\sqrt{2Dt}} \right) \right)$$

Ce qui donne une évolution de la forme :

$$z_{front} \approx 2\sqrt{2Dt}$$

en notant que $\operatorname{erf} 2 \approx 0.995$.

On utilise une solution de permanganate de potassium de concentration $C_0 = 0.1 \text{ mol/L}$. Lancer le film avant de placer la plaque dans la solution de permanganate. Il faut mesurer la largeur de la plaque pour la conversion distance-pixel. On acquiert en filmant la plaque, durant une dizaine de minutes ?

Conclusion

Nous avons étudié différents phénomènes de transport en détaillant particulièrement la diffusion. Le couplage entre les dérivées temporelles et spatiales nécessite à la fois des conditions aux bords et des conditions initiales, ce qui permet d'avoir une dynamique riche pourtant toutes commandées par le coefficient de diffusion. Nous avons également illustré un autre phénomène de transport : l'ascension capillaire sur une plaque de CCM qui est un phénomène essentiel pour la caractérisation en chimie. Il existe deux autres types de transports canoniques : Le transport par rayonnement et par convection (ou advection en fonction des lettres disponibles au scrabble). La prise en compte de ces phénomènes est également essentielle dans la vie courante. En effet pour faire cuire des pâtes par exemple, il y a des échanges thermiques par conduction dans l'épaisseur de la casserole et dans l'épaisseur des pâtes, mais c'est la convection qui domine au sein de l'eau et en fonction de la méthode de chauffage, on peut imaginer un mode de chauffage par rayonnement (vitro céramique ? pas sûr)