

MP n°11 : Transferts thermiques

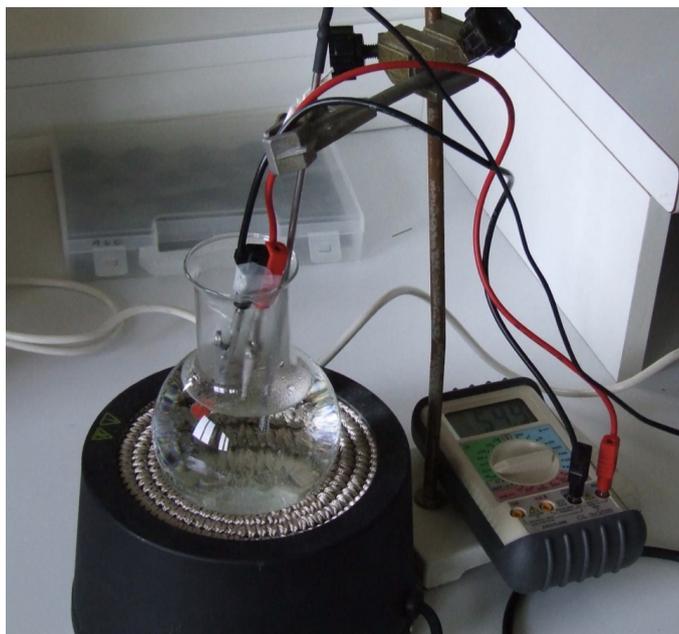
Bibliographie :

- *Optique expérimentale*, Sextant
- *Expériences de physique : Capes de sciences physiques*, Duffait, Bréal
- *Expériences de physique : optique, mécanique, fluides, acoustique*, Bellier, Dunod
- *Montages de physique : optique, mécanique, statique des fluides, calorimétrie*, Bellier, Bouloy, Guéant, Dunod
- *Optique : une approche expérimentale*, Houard, De Boeck
- *Les montages à l'agrégation interne de sciences physiques*, Dumont, Ellipses
- *Physique expérimentale : Optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique*, Fruchart, Lidon, Thibierge, Champion, Le Diffon, De Boeck

Introduction

Ce montage a pour objectif de mieux comprendre la formation des images. On partira de l'étude de la propagation des rayons lumineux d'un milieu transparent à un autre en s'appuyant sur la loi de Snell-Descartes. Puis, on étudiera la formation des images à travers des lentilles minces convergentes en déterminant leurs distances focales par différentes méthodes. On discutera des limitations liées aux aberrations géométriques et chromatiques. Et, enfin, on terminera par la formation des images au niveau de l'œil qui nous permet de voir.

1 Etude d'une thermistance



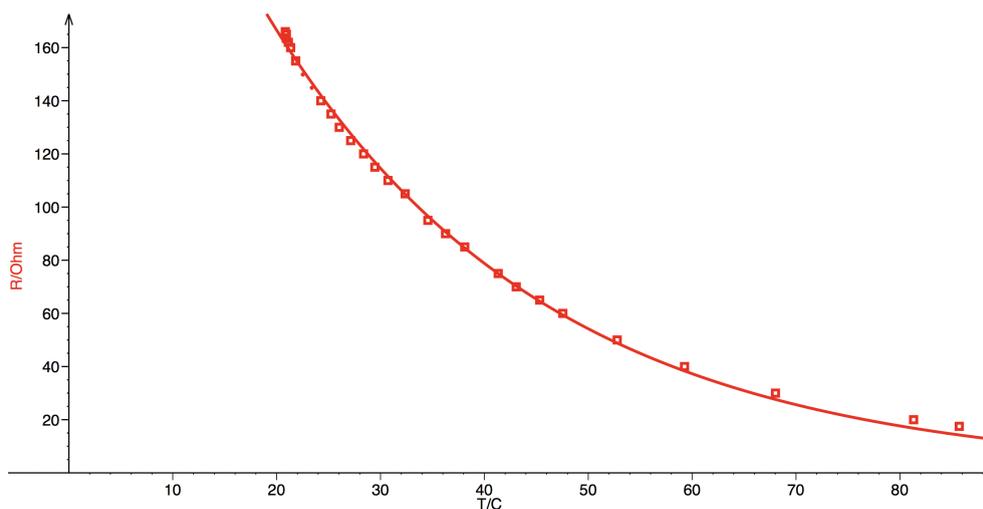
On fait tourner la demi-lune et le cercle gradué d'un angle i_1 et on relève un angle i_2 . On relève deux points devant le Jury et on complète la courbe tracée en préparation.

Angle incident i_1 (°)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
Angle réfracté i_2 (°)	0	3	6	10	13	16	19	22,5	25	27,5	30	33	35	37	38,5	40	42	44

La valeur de la résistance varie avec la température selon la loi :

$$R = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

R_0 est la résistance nominale (à 25 °C ou 298 K, connue à 20 %) et B coefficient caractéristique de la CTN.



Le passage des températures Celsius θ (en $^{\circ}\text{C}$) en température Kelvin (K) se fait à partir de la relation $T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$.

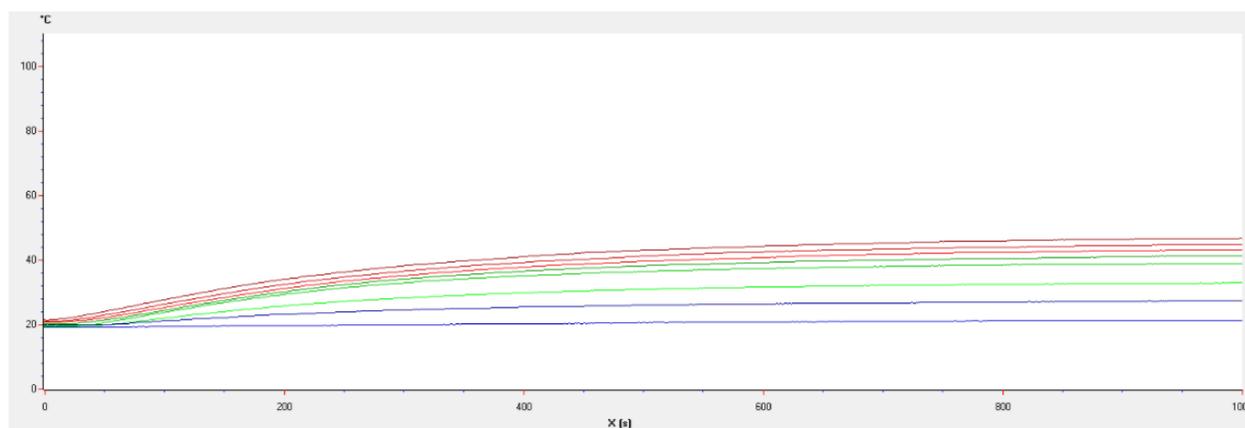
2 Conduction thermique dans une barre métallique

Nous avons étudié, lors d'une expérience, la conduction thermique à travers une barre d'aluminium. Il nous a donc été donné un dispositif composé de capteurs, d'une barre d'aluminium de 15,4 cm de longueur, d'un générateur et d'un système de refroidissement à eau. Les capteurs étaient disposés à 2,2 cm les uns des autres. Le générateur était branché sur un circuit qui permettait de chauffer la barre à flux constant. Le système de refroidissement était disposé à l'autre bout de la barre d'aluminium afin de garder l'une des extrémités à température constante (19°C). Un ordinateur était branché aux capteurs afin de récolter les informations de température nécessaires à l'élaboration des courbes. Chaque courbe correspondait à un capteur.



On place la barre à étudier dans le boîtier. On ferme celui-ci avec les vis de serrage de manière à se rapprocher au maximum des conditions adiabatiques. On lance la chauffe ainsi que le refroidissement. Les températures des 8 capteurs s'affichent ainsi que le flux thermique. Au bout d'une quinzaine de minutes, le régime permanent est atteint : la température est constante en fonction du temps en tout point de l'espace. On affiche la droite représentant le gradient de température, c'est-à-dire la température en fonction de la position de chaque capteur. En exploitant le coefficient directeur ou l'ordonnée à l'origine de cette droite, on retrouve la valeur de la conductivité du matériau grâce à la loi de Fourier.

On voit que, au tout début, les capteurs enregistrent tous plus ou moins la même température (autour de 20°C). Ce qui correspond à la température ambiante. Puis, à mesure que le temps défile, nous remarquons une augmentation de température pour toutes les courbes sauf pour la plus basse, en bleu, qui correspond au capteur situé à l'extrémité de la barre. Celui-ci bénéficie du refroidissement par l'eau et reste à 19°C tout au long de l'expérience. On peut également observer un écartement progressif des courbes puisque les capteurs les plus proches du refroidissement vont être plus affectés



que ceux les plus éloignés. On peut voir que la température semble se stabiliser à partir de 800 secondes, ce qui correspond à la fin du régime transitoire et au début du régime permanent. La dernière courbe a été faite par le professeur, qui a regardé comment réagissaient les capteurs lorsque l'on branchait puis débranchait la source de chaleur.

On cherche ici à calculer le coefficient de diffusion pour l'aluminium. D'après les propriétés de conduction de ces matériaux, il devrait être inférieur au 1,55 du cuivre (399 W/(m.K) de conductivité thermique pour le cuivre et 237 W/(m.K) pour l'aluminium). À partir des 3 expériences différentes, on a tracé l'évolution de la température sur la longueur de la barre à un temps fixé (on a choisi 600 secondes après le début de l'expérience). Une régression linéaire permet alors de récupérer le coefficient directeur de cette droite. On obtient 3 valeurs soient : 2,12 ; 1,39 et 1,48. La moyenne est donc de 1,67.

Différentes sources d'erreurs seraient à corriger. Par exemple, un plus grand nombre d'expériences permettrait d'étouffer les erreurs, et un traitement informatique augmenterait la précision de la mesure faite à la main. Toutefois, afin d'obtenir un résultat final, on poursuit avec la moyenne 1,67 et également le 1,39 ; cette valeur étant bien inférieure à 1,55 et donc potentiellement plus proche de la solution réelle.

3 Calorimétrie

3.1. Quelques aspects théoriques

Généralités

La calorimétrie repose sur les lois de la thermodynamique et permet de mesurer des capacités thermiques, des chaleurs latentes et des chaleurs de réaction.

En calorimétrie, les transformations se font à pression constante (elles sont isobares). Dans ce cas, le transfert thermique (ou chaleur) que reçoit un liquide ou un solide lorsque sa température varie T_i à T_f , s'écrit

$$Q_P = \int_{T_i}^{T_f} n c_{pm}(T) dT$$

où n désigne le nombre de mole, c_{pm} la capacité thermique molaire (J.K-1.mol-1) et T la température en kelvin (K). Dans le domaine des températures explorées, on peut considérer les capacités thermiques constantes. On aura donc

$$Q_P = n c_{pm} (T_f - T_i)$$

Il existe d'autres capacités thermiques :

La capacité thermique massique c_p exprimée en joule par kelvin par kilogramme (J.K-1.kg-1)

La capacité thermique (tout court) : $C_p = m c_p = n c_{pm}$ en joule par kelvin (J.K-1).

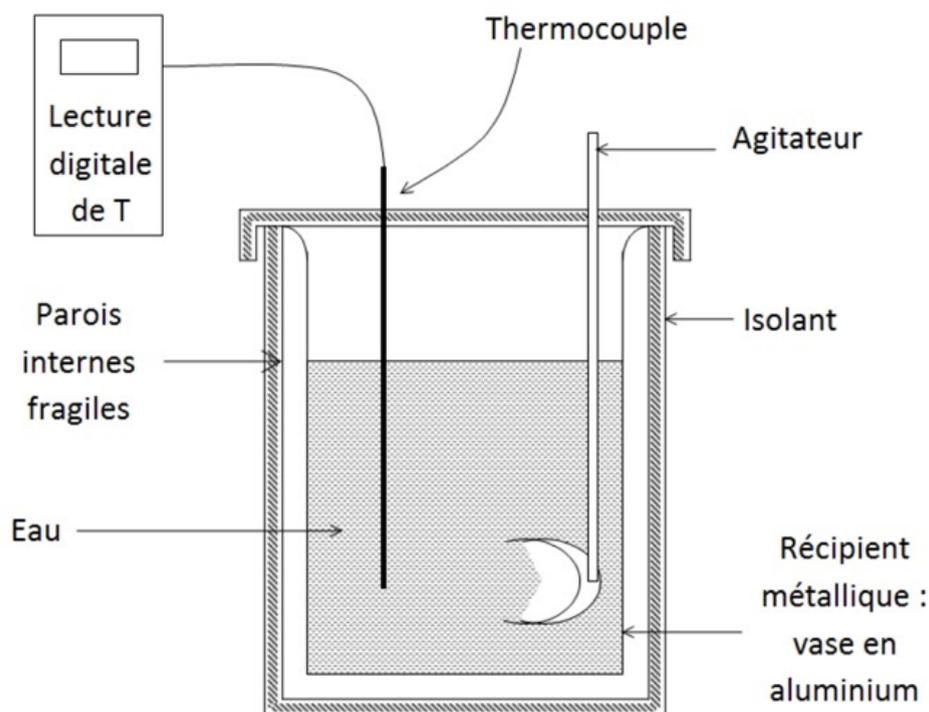
Par la suite on omettra les indices et on ne parlera que de capacité thermique massique, notée c .

Il arrive que le liquide ou le solide change d'état (solidification, fusion). Ce changement d'état (ou transition de phase) s'accompagne d'un transfert thermique sans changement de température. Par exemple, pour transformer un solide en un liquide, il faut amener le solide à la température de fusion, puis lui apporter la quantité de chaleur

$$Q_P = m L_f$$

où L_f représente la chaleur latente de fusion (en J.kg-1). Cette grandeur dépend de la nature du corps pur.

L'instrument utilisé pour mesurer échanges de chaleur et capacités thermiques est un calorimètre. Un calorimètre idéal est adiabatique : il n'y a pas d'échange thermique (de chaleur) entre lui et le milieu extérieur. Ainsi, dans un calorimètre idéal



contenant deux systèmes, l'un ayant reçu une chaleur Q_1 et l'autre ayant reçu une chaleur Q_2 , on aura

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

On fera l'hypothèse que le calorimètre est parfaitement adiabatique.

Les mesures calorimétriques étant basées sur des échanges thermiques entre sous-systèmes dans le calorimètre, il faut prendre aussi en compte les échanges thermiques entre ce que contient le calorimètre et le calorimètre lui-même. On introduit alors ce que l'on appelle la valeur en eau du calorimètre que l'on note μ . On considère, qu'en ce qui concerne les échanges thermiques, le calorimètre et ses accessoires sont équivalents à une masse d'eau, μ . Ainsi, lorsque la température du calorimètre passe de T_1 à T_2 , on devra prendre en compte le fait qu'il a reçu une chaleur

$$Q_{\text{cal}} = \mu \times c_e (T_2 - T_1)$$

avec c_e la capacité thermique massique de l'eau liquide, soit $4180 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ et μ la masse équivalente en eau du calorimètre (kg).

3.2. Dispositif expérimental

Le calorimètre est comme une bouteille thermos ceci afin de diminuer les pertes thermiques : l'instrument devient alors presque un calorimètre adiabatique. Il est constitué d'une paroi isolante, d'un récipient dans lequel on versera les liquides, d'un couvercle qu'on veillera à bien fermer et d'un agitateur permettant d'accélérer l'équilibre thermique.

La qualité des résultats dépendra de la façon dont vous mettrez tout en $\frac{1}{2}$ uvre pour diminuer les pertes thermiques avec l'extérieur.

Pour chauffer les liquides, on utilise une bouilloire ou une plaque électrique. La température est relevée à l'aide d'un thermomètre à thermocouple avec lecture digitale sur un boîtier : utiliser la précision $0,1^\circ\text{C}$.

Enfin, attention aux appareils et instruments : ils sont coûteux et fragiles !

Manipulation

3.2.1. Détermination de la capacité calorifique du calorimètre

Dans le calorimètre, introduire m grammes (pas plus de 100 g environ) d'eau à la température ambiante.

♠ Noter la température d'équilibre T_i .

♠ Préparer une masse m (pas moins de 200 g) d'eau tiède à une température T_0 comprise entre 25°C et 40°C . Noter T_0 puis verser dans le calorimètre.

Homogénéiser le mélange en l'agitant.

♠ Noter la nouvelle température d'équilibre T_f (elle correspond à la température minimale atteinte dans le calorimètre) et déterminer la masse totale d'eau pour connaître précisément la masse d'eau tiède versée

À préparer

Exprimer la quantité de chaleur Q_1 reçue par l'eau chaude

Exprimer la quantité de chaleur Q_2 reçue par le calorimètre et l'eau à température ambiante ;

Le calorimètre étant supposé idéal, en déduire l'expression de la valeur en eau du calorimètre μ .

Calculer μ . La détermination de μ est importante pour la suite, c'est pourquoi, on vous demande de réaliser deux mesures de μ (étapes 1, 2, 3 et 4) puis de faire la moyenne des 2 résultats pour la suite du TP. Si nécessaire, éliminer un des deux résultats.

3.2.2. Détermination de la capacité thermique d'un métal

Choisir un morceau de métal et déterminer sa masse M . Le porter à la température $T_0 = 100^\circ\text{C}$ en le mettant dans l'eau bouillante de la casserole (attendre suffisamment longtemps). Il ne faut pas que ce morceau de métal touche le fond de la casserole (qui n'est pas à 100°C).

♠ Mettre une masse m d'eau dans le calorimètre. Noter la température T_i de l'eau.

Immerger le morceau de métal dans l'eau du calorimètre.

Homogénéiser en agitant.

♠ Relever T_f à l'équilibre thermique.

À préparer

exprimer la quantité de chaleur Q_1 reçue par le métal ;

exprimer la quantité de chaleur Q_2 reçue par le calorimètre et l'eau à température ambiante ;

le calorimètre étant supposé idéal, en déduire l'expression de la capacité thermique massique du métal c en fonction de T_f , T_0 , T_i , m , μ et M .

♠ Calculer

3.2.3. Détermination de la chaleur latente de fusion de la glace

♠ Mettre une masse m d'eau chaude dans le calorimètre. Noter T_i . Choisir T_i d'autant plus grande que la masse de glace sera grande.

Prélever une masse M de glace à la température $T_0 = 0^\circ\text{C}$.

Important : il ne faut pas que la glace ait commencé à fondre avant son utilisation. Plonger cette glace dans le calorimètre. Homogénéiser en agitant.

♠ Relever la température T_f à l'équilibre thermique : la glace doit être entièrement fondue et la température ne doit plus varier beaucoup.

♠ Déterminer la masse de glace en pesant la masse totale de liquide dans le calorimètre.

À préparer

exprimer la quantité de chaleur Q_1 nécessaire pour faire fondre la glace

exprimer la quantité de chaleur Q_2 nécessaire pour réchauffer la glace fondue de 0°C à T_f

exprimer la quantité de chaleur Q_3 reçue par l'eau et le calorimètre initialement à la température T_i

en déduire l'expression de la chaleur latente massique de la glace.

Déterminer la chaleur latente de fusion de la glace L_F à partir de vos mesures

Conclusion