TP 3. Quelques expériences de mécanique des fluides

Les quatre expériences de ce TP sont indépendantes.

Tout le cours de mécanique des fluides n'ayant pas encore été vu, les formules à utiliser sont reprises dans l'énoncé afin qu'il soit possible de faire les calculs simplement.

I. Mesure de la masse volumique d'un objet

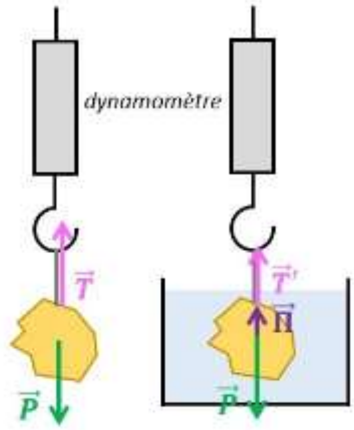
1. Principe de la mesure

Le principe de cette expérience a été étudié en TD de statique des fluides. Elle consiste à mesurer avec un dynamomètre la force de traction exercée par un objet suspendu :

1/ lorsque l'objet est dans l'air,

2/ lorsque l'objet est placé dans un liquide comme de l'eau.

On mesure F, la force exercée par l'objet sur le dynamomètre mais dans les calculs, on utilise T, la force exercée par le dynamomètre sur l'objet. Ces deux forces ont la même intensité (principe action-réaction), seul le sens change : $T = -F$



Lorsque l'objet est dans l'air, la force T que le crochet exerce sur l'objet compense exactement son poids $P = -\rho V g$ où ρ est la masse volumique de l'objet et V son volume, $g = 9{,}81\ \mathrm{m.s^{-2}}$ est l'accélération de la pesanteur et on prend un axe (Oz) dirigé vers le haut. On a donc $T = \rho V g$

Lorsque l'objet est plongé dans l'eau, le poids de l'objet est compensé à la fois par la force de traction du crochet et par la poussée d'Archimède $\Pi = +\rho_0 V g$ où ρ_0 est la masse volumique du liquide. Le poids vaut toujours $P = -\rho V g$ mais la traction du crochet a diminué et vaut $T' < T$. On a donc $T' + \rho_0 V g = \rho V g$

La résolution de ce système de deux équations à deux inconnues donne :

$$\boxed{\boldsymbol{\rho = \frac{T}{T - T'} \times \rho_0}}$$

2. Estimation de l'incertitude sur la mesure et présentation du résultat

Cette méthode de mesure n'étant pas d'une grande précision, la valeur obtenue ne sera pas, sauf coup de chance, très proche de la valeur tabulée. Toutefois, cela ne signifie pas que la mesure n'est pas compatible avec la valeur tabulée, cela dépend de l'intervalle d'incertitude qui lui est associé. On ne demande pas, au niveau L1, de connaître toutes les méthodes d'estimation des incertitudes, ni de savoir choisir laquelle utiliser ou de manipuler les règles de propagation des incertitudes, mais de savoir appliquer une méthode d'estimation quand elle vous est donnée. En effet, l'évaluation des incertitudes expérimentales est une compétence fondamentale dans les métiers scientifiques et techniques, et cette expérience est une bonne occasion de se familiariser avec certains des outils nécessaires.

Incertitude-type

Dans cette expérience, on réalise une estimation directe de l'incertitude (incertitude de type B). Lorsqu'on mesure une quantité X en lisant une position le long d'un axe gradué, comme c'est le cas sur un dynamomètre analogique, l'incertitude expérimentale σ_X sur la mesure ou incertitude-type vaut ±1 graduation divisé par $\sqrt{12}$.

Remarque. Au TP n°1, on n'avait pas appliqué ce facteur $\sqrt{12}$ car on ne peut pas lire la valeur de longueur d'onde correspondant à une position $x \pm 0{,}1/\sqrt{12}$ u.a. sur la courbe d'étalonnage.

Propagation des incertitudes, incertitude composée

Il faut ensuite estimer comment les incertitudes σ_T et $\sigma_{T'}$ associées aux valeurs de tension T et T' mesurées se répercutent sur la valeur de masse volumique calculée. Pour cela, on utilise les lois de composition des incertitudes :

$$a = b + c \;\Rightarrow\; \sigma_a = \sqrt{(\sigma_b)^2 + (\sigma_c)^2} \qquad \text{et} \qquad a = b \times c \;\text{ ou }\; a = \frac{b}{c} \;\Rightarrow\; \frac{\sigma_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_c}{c}\right)^2}$$

ρ_0 et g sont des constantes physiques supposées parfaitement connues ($\sigma_{\rho_0} = \sigma_g = 0$). On obtient alors l'incertitude composée sur la masse volumique :

$$\boxed{\sigma_{T-T'} = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_{T'}^2} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{\sigma_\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{T-T'}}{T - T'}\right)^2}}$$

Présentation du résultat

De façon générale, on présente le résultat de la mesure de X en donnant la valeur obtenue X_{exp} (ici $X = \rho$) et son incertitude σ_X sous une forme condensée, dans la même unité : $X = X_{\text{exp}} \pm \sigma_X$ unité
Lorsque X_{exp} et σ_X utilisent tous les deux une puissance de 10, il est d'usage de factoriser cette puissance afin de pouvoir mieux comparer X_{exp} et σ_X. Par exemple, on écrira :

$$\rho = (2{,}35 \pm 0{,}21).10^3 \;\text{ kg.m}^{-3} \qquad \text{plutôt que} \qquad \rho = 2{,}35.10^3 \pm 2{,}1.10^2 \;\text{ kg.m}^{-3}$$

Le nombre de chiffres significatifs de X_{exp} est fixé selon les règles habituelles : il est limité par l'élément ayant la moins bonne précision dans le calcul. Le nombre de chiffres significatif de σ_X doit alors être choisi de façon à donner X_{exp} et σ_X avec la même précision. Par exemple pour un volume :

$$V = 12{,}0 \pm 0{,}3 \;\text{ cm}^3 \;\rightarrow\; \text{OK}$$
$$V = 12 \;\pm\; 0{,}3 \;\text{ cm}^3 \;\rightarrow\; \text{non}$$
$$V = 12{,}0 \pm 0{,}27 \;\text{cm}^3 \;\rightarrow\; \text{non}$$

On arrondit toujours l'incertitude au supérieur car on considère qu'il est moins grave de surestimer l'incertitude que de la sous-estimer (surtout quand on calcule la masse que peut soulever une grue ou la résistance d'un pont…). Par exemple, si on trouve $\rho = 2{,}35.10^3$ kg.m^{-3} et $\sigma_\rho = 0{,}203.10^3$ kg.m^{-3}, on garde une incertitude $\sigma_\rho = 0{,}21.10^3$ kg.m^{-3}.

Niveau de confiance et incertitude-type élargie

Dans l'industrie, il est aussi d'usage de donner le niveau de confiance du résultat, c'est-à-dire la probabilité (en %) que la valeur réelle de X se trouve dans l'intervalle entre les valeurs $X_{\text{inf}} = X_{\text{exp}} - \sigma_X$ et $X_{\text{sup}} = X_{\text{exp}} + \sigma_X$. L'intervalle $[X_{\text{inf}} ; X_{\text{sup}}]$ constitue l'intervalle de confiance.

Avec des calculs de statistique, on peut montrer que l'incertitude-type σ_X est associée à un niveau de confiance de 68 %. Lorsque le niveau de confiance n'est pas précisé, c'est en général celui-là qui est utilisé. Dans l'industrie, on souhaite en général un niveau de confiance plus élevé, de 95 ou 99 %. Dans ce cas, on calcule l'incertitude-type élargie ΔX en appliquant un facteur d'élargissement k :

$$\boxed{\Delta X = k \times \sigma_X}$$

Pour une incertitude de type B comme ici, des calculs de statistique permettent de montrer qu'il faut prendre $k = 2$ pour un niveau de confiance à 95 % et $k = 3$ pour un niveau de confiance à 99 %. On écrit alors :

$X = X_{\mathrm{exp}} \pm \Delta X$ unité, niveau de confiance

En sciences, on dit qu'il y a accord entre deux valeurs si leurs intervalles de confiance se recouvrent. Lorsqu'on veut comparer sa mesure X_{exp} avec une valeur tabulée X_{tab} (sur laquelle l'incertitude est supposée nulle), il faut vérifier si X_{tab} se trouve dans l'intervalle de confiance $[X_{\mathrm{inf}}\,;X_{\mathrm{sup}}]$.

3. Matériel et protocole expérimental

On dispose du matériel suivant :

- Un objet de volume et de masse volumique inconnus (grosse bille métallique).
- Une cuve remplie d'eau de masse volumique $\rho_0 = 1000$ kg.m^{-3}.
- Un dynamomètre. Il est constitué par un ressort associé à une règle graduée : plus la force de traction exercée sur le crochet est importante, plus le ressort s'allonge et plus le repère se déplace le long de la règle, on peut ainsi mesurer la force de traction exercée sur le crochet.
- Un filet de masse et de volume négligeable permettant de suspendre la bille au crochet.

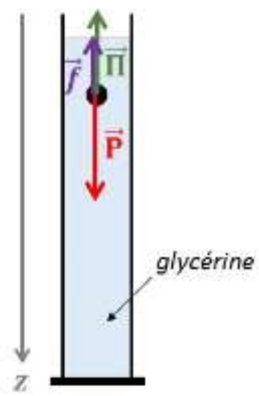
Mesurez la force de traction lorsque l'objet est dans l'air ou lorsqu'il est plongé dans l'eau. Reportez les valeurs de T et T' sur la feuille de réponse avec les incertitudes-type associées σ_T et $\sigma_{T'}$.

Calculez la masse volumique de l'objet en prenant garde aux unités. Calculez l'incertitude-type composée σ_ρ puis l'incertitude-type élargie $\Delta\rho$ pour un niveau de confiance de 95 %.

Présentez vos résultats sous forme scientifique puis discutez de l'accord de votre mesure avec la valeur tabulée : d'après la documentation, la bille est fabriquée dans un acier inoxydable (alliage fer-carbone-chrome) dont la masse volumique vaut 7,85.10^3 kg.m^{-3}.

II. Viscosimètre à bille

1. Principe de la mesure



Lorsqu'une bille sphérique de rayon R se déplace avec une vitesse v dans un liquide visqueux de viscosité dynamique η et que l'écoulement du liquide autour de la bille est laminaire, alors d'après la **loi de Stokes**, le liquide exerce sur la bille une force de frottement $f = -6\pi\,\eta R v$

On lâche une bille de masse volumique ρ dans le liquide de masse volumique $\rho_0 < \rho$. Dans ces conditions, on sait que la bille va couler. Celle-ci est soumise à trois forces pendant sa chute : son poids $P = \rho V g$, la poussée d'Archimède $\Pi = -\rho_0 V g$ et la force de Stokes $f = -6\pi\,\eta R v$. Attention : on prend ici un axe (Oz) orienté dans le sens du mouvement, donc vers le bas. Le frottement s'oppose au mouvement donc la force de Stokes est orientée vers le haut.

Au tout début, $v \approx 0$ donc la force de frottement est très faible et la bille est soumise à une force totale $P + \Pi = (\rho - \rho_0)Vg > 0$ orientée vers le bas qui la fait couler en accélérant. Cependant, lorsque v augmente, la force de frottement augmente aussi, jusqu'à compenser la force {poids + poussée d'Archimède}. La bille cesse alors d'accélérer et garde une vitesse constante appelée **vitesse limite** et notée v_L.

Lorsque la vitesse limite est atteinte, on a donc $P + \Pi + f = 0 \Leftrightarrow (\rho - \rho_0)Vg - 6\pi\,\eta R v_L = 0$

Le volume d'une sphère valant $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, on obtient pour la vitesse limite :

$$v_L = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)\, g\, R^2}{\eta}$$

Dans un fluide très visqueux comme la glycérine et pour de petites billes, la vitesse limite est atteinte très rapidement, en quelques dixièmes de secondes et quelques centimètres. Comme ensuite la chute se fait à vitesse constante, la hauteur H parcourue par la bille pendant une durée T vaut simplement

$H = v_L \times T$. En mesurant le temps de chute T entre deux points séparés par une distance H connue, on peut donc estimer la vitesse limite, puis la viscosité selon :

$$\boxed{v_L = \frac{H}{T}} \quad \Rightarrow \quad \eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)\, g\, R^2}{v_L}$$

Dans la pratique, les physiciens ont constaté que les vitesses limites mesurées étaient un peu inférieures à ce que prédit la théorie. Ce genre d'écart est fréquent en mécanique des fluides, où la théorie ne permet de décrire que des situations idéalisées (régime laminaire, canalisation cylindrique…). L'effet non pris en compte dans notre cas est l'interaction du fluide avec les parois du tube : on a supposé que le fluide déplacé par la bille avait tout l'espace nécessaire pour se réorganiser, c'est-à-dire que le tube avait une hauteur et un diamètre infini. En répétant l'expérience de nombreuses fois avec des billes et es tubes de différents diamètres, les physiciens ont développé une formule empirique pour corriger la vitesse limite mesurée dans un tube de diamètre et de hauteur finie :

$$\boldsymbol{v_C = v_L \times \left(1 + 2,105 \cdot \frac{d_{\text{bille}}}{d_{\text{tube}}} + 1,950 \cdot \frac{d_{\text{bille}}}{h_{\text{tube}}}\right)}$$

v_C est la vitesse limite corrigée tandis que v_L est la vitesse limite mesurée. d_{bille} désigne la diamètre de la bille et d_{tube} celui du tube. h_{tube} est la hauteur totale du tube (supérieur à la hauteur H sur laquelle on mesure le temps de chute).

On calculera donc la viscosité à partir de la vitesse limite corrigée :

$$\boldsymbol{\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)\, g\, R^2}{v_C}}$$

2. Matériel et protocole expérimental

On dispose du matériel suivant :

- Une bille de diamètre $d_{\text{bille}} = 2R = 3{,}175\ \text{mm}$ et de masse volumique $\rho = 7{,}85.10^3\ \text{kg.m}^{-3}$.
- Un chronomètre pour mesurer le temps de chute.
- Une aimant pour repêcher la bille au fond du tube.
- Un tube en plexiglass de diamètre intérieur $d_{\text{tube}} = 4{,}3\ \text{mm}$ et de hauteur $h_{\text{tube}} = 100\ \text{cm}$. La hauteur de chute séparant les deux repères (traits horizontaux) vaut $H = 90{,}0\ \text{cm}$.
- De la glycérine remplissant l'intérieur du tube, de masse volumique $\rho_0 = 1{,}26.10^3\ \text{kg.m}^{-3}$.

Réalisez une série de 6 mesures du temps de chute et notez vos résultats dans le tableau n°1 sur la feuille de réponse. Attention : placez bien la bille au centre du tube.

Calculez le temps de chute moyen $\bar{T}$ et reportez votre résultats sur la feuille de réponse.

Calculez la vitesse limite de chute v_L puis la vitesse corrigée v_C.

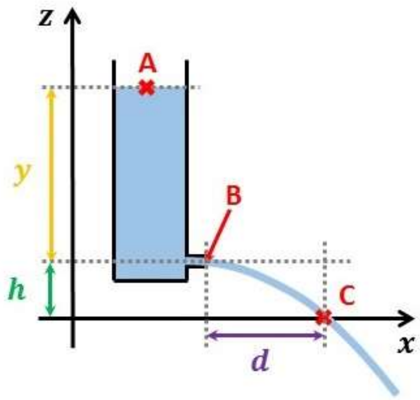
Calculez la viscosité η et comparez à la valeur de viscosité tabulée pour la glycérine, qui est de 1,49 Pa.s à 20°C. Quelles sont selon vous les principales sources d'erreur sur la mesure ?

III. Expérience du tonneau percé

Le but de cette expérience est de vérifier indirectement le théorème de Bernoulli.

1. Principe de la mesure

On considère un récipient rempli de liquide, dans la paroi duquel est percé un petit trou. Le liquide qui s'écoule par le trou crée un jet de forme parabolique. Plus la hauteur d'eau au-dessus du trou est grande, plus la pression augmente, donc plus le jet est fort et plus la parabole est aplatie. Attention cependant, la distance horizontale parcourue par le jet avant d'arriver dans le bac ne dépend pas que de la profondeur du trou mais aussi de la hauteur à laquelle est placée le récipient.



On veut utiliser le théorème de Bernoulli (voir chapitre 2 du cours). Pour cela, on place un point A à la surface du liquide et un point B à la sortie du trou. Attention, comme le diamètre du tuyau est petit – ce qui est nécessaire pour que la bouteille ne se vide pas trop vite – la perte de charge ΔP due à la viscosité n'est pas négligeable et il faut utiliser la forme généralisée du théorème de Bernoulli (voir chapitre 3 du cours). On a donc :

$$P_\mathrm{A} + \rho g z_\mathrm{A} + \frac{1}{2}\rho v_\mathrm{A}^2 = P_\mathrm{B} + \rho g z_\mathrm{B} + \frac{1}{2}\rho v_\mathrm{B}^2 + \Delta P$$

À partir du moment où le trou est débouché, la pression en B est égale à la pression atmosphérique, comme en A, et on a $P_\mathrm{A} = P_\mathrm{B} = P_0$, de sorte que les pressions s'éliminent de l'équation. On fait également apparaître la profondeur de B par rapport à la surface du liquide ($y = z_\mathrm{A} - z_\mathrm{B}$).

D'autre part, comme la section S_A correspond à la section de la bouteille tandis que la section S_B est égale à la surface du trou, on a $S_\mathrm{A} \gg S_\mathrm{B}$. La conservation du débit imposant $Q = S_\mathrm{A} v_\mathrm{A} = S_\mathrm{B} v_\mathrm{B}$, on a donc $v_\mathrm{A} \ll v_\mathrm{B}$ et on peut négliger v_A dans l'équation de Bernoulli. Il reste alors :

$$\rho g y = \frac{1}{2}\rho v_\mathrm{B}^2 + \Delta P$$

Pour calculer la perte de charge, on ne peut pas utiliser la loi de Poiseuille car l'écoulement n'est pas laminaire (cf. chapitre 3 du cours). Cependant, dans le cas de cette expérience, la perte de charge est constante et s'exprime sous la forme $\Delta P = \rho g\, y_r$, où y_r est une constante qui a la dimension d'une longueur et porte le nom de hauteur résiduelle (on verre plus loin pourquoi). On a donc :

$$\rho g y = \frac{1}{2}\rho v_\mathrm{B}^2 + \rho g y_r \quad \Leftrightarrow \quad g(y - y_r) = \frac{1}{2} v_\mathrm{B}^2 \quad \Leftrightarrow \quad v_\mathrm{B} = \sqrt{2g\,(y - y_r)}$$

La suite est un problème de chute libre (pas au programme) et on va donner directement la formule. On place un point C à l'endroit où le jet passe devant la règle. On appelle $h = z_\mathrm{B} - z_\mathrm{C}$ la hauteur de chute et $d = x_\mathrm{C} - x_\mathrm{B}$ la distance horizontale parcourue par le jet. h et d sont reliés par :

$$d = v_\mathrm{B}\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{2g(y - y_r) \times \frac{2h}{g}} \qquad \Leftrightarrow \qquad d = 2\sqrt{h\,(y - y_r)}$$

Pour vérifier que le théorème de Bernoulli fonctionne, il faut donc vérifier que la distance horizontale parcourue par le jet varie bien comme la racine carrée de la profondeur corrigée, c'est-à-dire vérifier qu'on a bien $d = 2\sqrt{h\,(y - y_r)}$. Pour cela, on va mesurer d pour différentes profondeurs y et tracer une courbe pour vérifier la relation entre y et d. On pourrait tracer la courbe $d = f(y)$ mais il est difficile de vérifier à l'œil si une courbe correspond bien à une fonction racine. À la place, on va plutôt tracer la courbe $y = f(d^2)$. En effet, si on prend le carré de la relation obtenue à la fin du 1, on a :

$$d^2 = 4h \cdot (y - y_r) \qquad \Leftrightarrow \qquad \boxed{\boldsymbol{y = y_r + \frac{1}{4h} \times d^2}}$$

Si le théorème de Bernoulli fonctionne, $y = f(d^2)$ devrait donc être une droite d'équation $y = p \times d^2 + q$ où $p = 1/4h$ est la pente et $q = y_r$ est l'ordonnée à l'origine.

2. Protocole expérimental et matériel

On dispose du matériel suivant :

- Une bouteille percée d'un petit tuyau bouché par de la pâte à modeler.
- Un entonnoir pour remplir la bouteille avec de l'eau du robinet.
- Un bac de récupération de l'eau.
- Deux règles graduées, l'une fixée à la bouteille et l'autre à fixer sur la tranche grise du bureau.
- Du papier millimétré pour tracer la courbe $y = f(d^2)$.

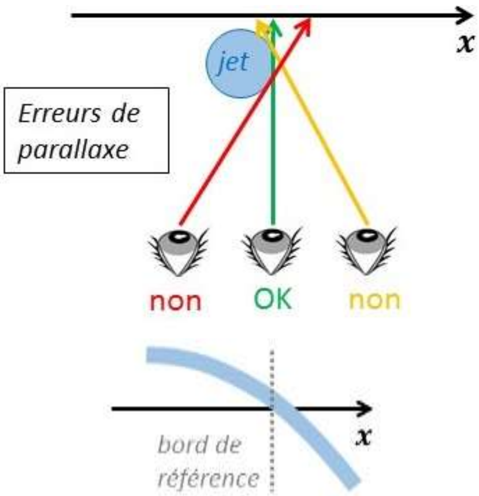
Pour commencer, installez la bouteille de façon à ce que l'extrémité du tuyau se situe au niveau de la graduation zéro de la règle horizontale. Cela permet d'avoir $x_{\mathrm{B}} = 0$ et de lire directement la valeur de d sur la règle.

Ensuite débouchez la bouteille et mettez-vous en place :

- Le premier membre du binôme se place devant la bouteille, tête au niveau de la surface de l'eau. Il indique le moment où le niveau de l'eau atteint les profondeurs y correspondant au tableau n°2.
- Le second membre du binôme se place devant la règle horizontale, tête au niveau de la règle. Il lit la distance d parcourue par le jet.
- Si vous fonctionnez en trinôme, le 3e étudiant sera secrétaire.

Attention !! Il est très important de se placer à la hauteur de la règle pour mesurer d, et de garder la même position pendant toute l'expérience afin de minimiser les erreurs de parallaxe.

D'autre part, il est préférable de toujours utiliser le même côté du jet comme référence (par exemple, le bord le plus proche de la bouteille) même si cela entraîne une petite erreur systématique (en utilisant le bord le plus proche de la bouteille, on sous-estime la distance d qui correspond au du centre du jet).



Quand vous êtes prêts, retirez le bouchon de pâte à modeler et commencez l'expérience. Notez dans le tableau n°2 de la feuille-réponse les mesures de d correspondant aux valeurs de y indiquées. Vous pouvez répéter l'expérience deux fois et remplir la première fois les mesures correspondant profondeurs paires puis la seconde fois les mesures correspondant aux profondeurs impaires (ou l'inverse).

Calculez les valeurs de d^2 et complétez la 3e colonne du tableau n°2. Tracez la courbe $y = f(d^2)$ sur papier millimétré en choisissant une échelle adaptée à vos valeurs de y et d^2. N'oubliez pas d'indiquer les titres, unités et graduations principales de vos axes. Pensez également à donner un titre à votre courbe et utilisez des symboles + plutôt que des x pour vos points (c'est plus précis).

À l'aide d'une règle, tracez la droite de régression linéaire. Il s'agit de la droite qui passe au plus près du maximum de points (mais ce n'est pas nécessairement la droite qui passe PAR le maximum de points…). Déterminez la pente et l'ordonnée à l'origine. Déduisez-en la valeur de la hauteur h ainsi que celle de la hauteur résiduelle y_r.

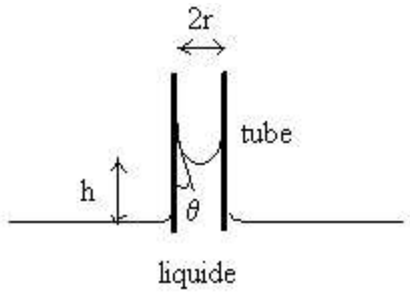
IV. Ascension dans les capillaires : loi de Jurin

1. Principe de la mesure

La but de cette manipulation est de vérifier que la hauteur d'ascension h d'un liquide dans un tube capillaire varie bien de façon proportionnelle à l'inverse du rayon r du tube, comme prédit par la loi de Jurin (voir chapitre 5 du cours) :

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho\, g\, r}$$

avec γ, la tension de superficielle du liquide, $g = 9{,}81\ \mathrm{m.s^{-2}}$ l'accélération de la pesanteur, ρ la masse volumique du liquide et θ l'angle de contact liquide-verre-air.



Pour vérifier que h varie bien comme l'inverse de r, on va mesurer la hauteur d'ascension dans des tubes capillaires de plusieurs rayons, puis tracer la courbe $h = f(1/r)$ afin de vérifier qu'il s'agit bien d'une droite passant par l'origine. D'après la loi de Jurin, la pente de cette droite vaut :

$$p = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g}$$

On va donc déterminer la valeur de la pente puis en déduire une estimation de γ.

2. Matériel et protocole expérimental

On dispose d'un support en plexiglas et de quatre tubes capillaires en verre, de diamètre intérieur respectifs 0,36, 0,50, 0,90 et 1,5 mm. Le remplissage de la cuve s'effectue en utilisant le gros tube situé sur le côté et le petit entonnoir.

Afin que la mesure soit correcte, il est nécessaire de « mouiller » le verre des capillaires. Pour cela, il faut aspirer le liquide dans chacun des capillaires au moyen de la petite seringue, puis le laisser redescendre avant de lire la hauteur d'ascension.

Pour faciliter la lecture de la hauteur d'ascension, vous pouvez accoler un papier millimétré sur le côté des tubes et éclairer l'ensemble par l'arrière (on ne peut pas utiliser de lampes de bureau en raison des fuites d'eau sur les paillasses mais vous pouvez utiliser votre téléphone en mode lampe de poche).

Reportez vos mesures dans le tableau n°3, tracez la courbe $h = f(1/r)$ ainsi que la droite de régression linéaire sur papier millimétré ou dans un tableur. Calculez la pente de la droite, déduisez-en la valeur de γ puis comparez à la valeur tabulée.

Le liquide utilisé est de l'eau distillée. On rappelle que l'eau mouille parfaitement le verre, soit $\theta = 0°$. La valeur tabulée de la tension superficielle de l'eau à 20°C est $\gamma = 7{,}28.10^{-2}\ \mathrm{N.m^{-1}}$.

NOM Prénom 1 :	Groupe de TP :
NOM Prénom 2 :	Note :
NOM Prénom 3 :	

TP 3. Quelques expériences de statique des fluides

Essayez de toujours justifier, même succinctement, vos réponses et détaillez un minimum vos calcul afin que l'enseignant puisse vous aider à identifier vos éventuelles erreurs.

I. Mesure du volume et de la masse volumique d'un objet

Q1. Donnez la valeur de la force de traction mesurée sur le dynamomètre :

Lorsque l'objet est dans l'air : $T =$

Lorsque l'objet est dans l'eau : $T' =$

Q2. Calculez la masse volumique de l'objet. Attention au nombre de chiffres significatifs.

$$\rho = \frac{T}{T - T'} \times \rho_0 =$$

Q3. Exprimez les incertitudes-type σ_T et $\sigma_{T'}$ associées au forces de traction, soit 1 graduation du dynamomètre divisé par $\sqrt{12}$.

$$\sigma_T = \sigma_{T'} =$$

Q4. Calculez les incertitude composées $\sigma_{T-T'}$ puis σ_ρ.

$$\sigma_{T-T'} = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_{T'}^2} =$$

$$\sigma_\rho = \rho \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{T-T'}}{T - T'}\right)^2} =$$

Q5. Calculez l'incertitude élargie $\Delta\rho$ pour un niveau de confiance de 95 %.

$$\Delta\rho = k \times \sigma_\rho =$$

Q6. Présentez votre résultat sous forme scientifique : $\rho = \rho_{\text{exp}} \pm \Delta\rho$ unité, niveau de confiance. Calculez l'intervalle de confiance $[\rho_{\text{inf}} ; \rho_{\text{sup}}]$ et discutez l'accord de votre mesure avec la valeur théorique.

Résultat final : $\rho =$

$\rho_{\text{inf}} = \rho_{\text{exp}} - \Delta\rho =$

$\rho_{\text{sup}} = \rho_{\text{exp}} + \Delta\rho =$

II. Viscosimètre à bille

Q7. Donnez vos mesures du temps de chute.

Tableau n°1. Série de mesures du temps de chute de la bille.

T_i (s)						

Q8. Calculez la moyenne T du temps de chute.

$T =$

Q9. Calculez la vitesse limite de chute.

$$v_L = \frac{H}{T} =$$

Q10. Calculez la vitesse limite corrigée des effets des parois du tube.

$$v_C = v_L \times \left(1 + 2{,}105 \cdot \frac{d_{\text{bille}}}{d_{\text{tube}}} + 1{,}950 \cdot \frac{d_{\text{bille}}}{h_{\text{tube}}}\right) =$$

Q11. Calculez la viscosité. Attention au nombre de chiffres significatifs.

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)\, g\, R^2}{v_C} =$$

Q12. Quelles sont selon vous les principales sources d'incertitude sur la mesure ?

III. Expérience du tonneau percé

Q13. Complétez le tableau n°2 (page suivante) avec vos mesures de la distance horizontale parcourue par le jet en fonction de la profondeur.

Q14. Tracez la courbe $y = f(d^2)$ sur papier millimétré ou avec un tableur en suivant les consignes de l'énoncé.

Q15. Tracez la droite de régression linéaire et déterminez la pente p et l'ordonnée à l'origine q de cette droite.

$$p = \frac{\Delta y}{\Delta(d^2)} =$$

$$q =$$

Q16. Calculez la valeur de la hauteur de chute h ainsi que celle de la hauteur résiduelle y_r.

$$p = \frac{1}{4h} \quad \Leftrightarrow \quad h = \frac{1}{4p} =$$

$$q = y_r =$$

IV. Ascension dans les capillaires : loi de Jurin

Q17. Donnez vos mesures de la hauteur d'ascension.

Tableau n°3. Hauteur d'ascension en fonction du diamètre des capillaires.

d (mm)	0,36	0,50	0,90	1,5
h (mm)				

Q18. Tracez la courbe $h = f(1/r)$ sur papier millimétré ou avec un tableur en suivant les consignes de l'énoncé.

Tableau n°2. Distance horizontale parcourue par le jet en fonction de la profondeur du tuyau.

Profondeur y (cm)	Distance horizontale d (cm)	Distance au carré d^2 (cm²)
22		
21		
20		
19		
18		
17		
16		
15		
14		
13		
12		
11		
10		
9		
8		
7		
6		
5		
4		
3		
2		
1		

Q19. Tracez la droite de régression linéaire et déterminez la pente p et l'ordonnée à l'origine q de cette droite.

$$p = \frac{\Delta h}{\Delta(1/r)} =$$

$$q =$$

Q20. Calculez la valeur de γ puis comparez le résultat à la valeur tabulée.

$$p = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g} \quad \Leftrightarrow \quad \gamma = \frac{\rho\, g}{2\cos\theta} \times p =$$