MP 2 - Surfaces et interfaces

04 / 04 / 18

Maxime Martinez & Elise Camus

« Principe d'Archimède : tout corps plongé dans un liquide, s'il n'est pas revenu à la surface au bout d'une demi-heure, doit être considéré comme perdu. » Jean-Charles, écrivain

Commentaires du jury :

2017 : La notion d'hystérèse de l'angle de contact pour améliorer la mesure de la tension de surface par l'étude de la loi de Jurin a été appréciée.
2014 - 2015 : Le principe de certaines mesures est mal maîtrisé. Par exemple, la mesure de la tension de surface par la balance d'arrachement nécessite d'avoir compris avec précision la nature des forces en jeu lors de la rupture du ménisque pour pouvoir justifier la formule qui est utilisée. Plus généralement, il convient de préciser clairement l'interface étudiée lorsqu'une expérience fait intervenir plus de deux phases. Enfin, il faut veiller à nettoyer le mieux possible les surfaces étudiées plutôt que de justifier de mauvais résultats par une « saleté » sensée excuser des écarts parfois excessifs aux valeurs tabulées. Une alternative à laquelle les candidats pourraient penser serait d'utiliser des fluides de plus basse tension superficielle que l'eau et donc moins sensibles aux pollutions.

Jusqu'en 2013, le titre était : *Phénomènes de surface.*

2011/12/13 : Ce montage se limite trop souvent aux liquides et à l'étude de la tension superficielle. Le titre est pourtant large et n'exclut pas les surfaces solides.

Jusqu'en 2010, le titre était : *Tension superficielle*

2010 : Ce montage comporte des mesures délicates qui, si elles sont bien exécutées avec un protocole précis, peuvent mettre en valeur l'habileté expérimentale du candidat. Il peut par contre donner lieu à des prestations décevantes si les candidats ignorent les difficultés de ces mesures.
2009 : Ce montage est choisi par de nombreux candidats et donne lieu, le plus souvent, à des prestations décevantes lorsque les candidats ignorent la difficulté des mesures de tension superficielle.
2008 : Les balances d'arrachement sont délicates à utiliser, il est nécessaire de bien comprendre leur fonctionnement. Les ondes capillaires ne s'observent que pour un certain domaine de longueurs d'onde.
2007 : Si le candidat souhaite utiliser une balance d'arrachement, il est invité à en choisir une dont il maîtrise le fonctionnement. L'utilisation d'une webcam pour la loi de Jurin donne de meilleurs résultats qu'une projection à l'aide d'une lentille.
2006 : Ce sujet, souvent choisi, demande un soin expérimental tout particulier. Les mesures nécessitent de se placer en régime statique.
2005 : Dans la détermination de tensions superficielles par arrachement, une meilleure maîtrise du protocole de mesure permettrait une discussion des incertitudes.

Jusqu'en 2000, le titre était : *Tension superficielle : mise en évidence. Mesures.*

1999 : La notion de longueur capillaire semble inconnue à la plupart des candidats. De simples considérations dimensionnelles permettent d'en retrouver l'expression.
1997 : Il est dommage de se limiter à des mesures en régime statique. On peut élargir l'étude à la propagation des ondes de surface (relation de dispersion, atténuation).

Bibliographie :

- **Physique-chimie, 1ère S, Sirius**, nouveau programme → Vérification de la loi de Snell-Descartes
- **Jolidon** → Loi de Jurin
- Le **poly de TP** et votre mémoire → Stalagmométrie et détermination des coefficients de frottement statique et dynamique

Table des matières :

1. **Propriété générale des interfaces** : réfraction d'une onde électromagnétique à la surface d'un dioptre
2. **Propriété des interfaces solide – solide** : détermination de coefficients de frottement (statique et dynamique)
3. **Propriété des interfaces liquides – fluides**
    a. Loi de Jurin et ascension capillaire
    b. Stalagmométrie

Introduction :

Interface : lieu de séparation entre 2 ou plusieurs phases ayant des propriétés physico-chimiques différentes. On parle de surface pour des liquides ou des solides.

Quel intérêt ? Il existe des forces agissant à distance (gravité, force de Lorentz…), mais ce ne sont finalement pas celle que l'on appréhende le plus au quotidien. La plupart des interactions de ce bas monde se fait par contact :

- Solide solide quand on marche, par exemple
- Solide liquide quand de la pluie perle sur la fenêtre
- Solide gaz pour une balle de tennis en vol

Le but de ce montage est donc de dégager quelques propriétés des surfaces et des interfaces. Premièrement, étudions le comportement général d'une interface (quelle qu'elle soit) vis-à-vis des ondes électromagnétiques.

1. Propriété générale des interfaces : réfraction d'une o.em à la surface d'un dioptre

Les interfaces forment des conditions aux limites particulières pour les ondes électromagnétiques. Elle subit réfraction et/ou réflexion. On appelle dioptre une interface entre 2 milieux d'indices optiques différents (séparant donc 2 milieux où la lumière peut se propager).

Descartes publie en 1637 une relation reliant l'angle d'incidence d'une o.em sur un dioptre et l'angle de réfraction en sortie de celui-ci :

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$$

Nous allons vérifier cette loi et déterminer l'indice de réfraction du plexiglas. Cette expérience est réalisable dès la 1ère S (année où l'on introduit les lois de la réflexion / réfraction).

Matériel : laser Jeulin P.4.13, disque gradué en angle + demi-disque de plexi P.4.4

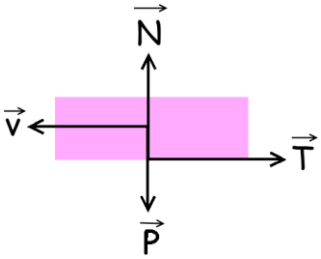
Protocole : pour différents angles d'incidence (positifs et négatifs), mesurer l'angle en sortie sur les graduations (wahou !)

Tracer $\sin(i_1) = f(\sin(i_2))$. La valeur de la pente nous donne n_{plexi}/n_{air} .

Remarques : Les angles sont définis par rapport à la normale au dioptre. Attention deg / rad sur Regressi. On peut illustrer l'importance des CL aux interfaces dioptriques pour les o.em en présentant une fibre optique (ou assimilé). On peut aussi faire la loi de réfléxion (pour exploiter la manip' à fond)e

2. Propriété des interfaces solide – solide : coefficients de frottement (statique et dynamique)

Voir la LP 01 pour la théorie.



On utilise le dispositif tout prêt P.82.14 alimenté avec un module Hameg, ainsi qu'un patin en bois que l'on fait glisser sur une feuille de papier. On regarde la tension (proportionnelle à la force) sur l'oscillo.

Loi d'Amontons-Coulomb pour le frottement solide :

- $\|\vec{T}\| \leq \mu_s \|\vec{N}\|$ tant que le patin est au repos
- $\vec{T} \parallel \vec{v}, \quad \vec{T} \cdot \vec{v} \leq 0, \quad \|\vec{T}\| = \mu_d \|\vec{N}\|$ lorsque le mobile est en mouvement à la vitesse v

Hypothèses de travail : μ_d indépendant de v[1], on néglige les frottements fluides, support rigoureusement horizontal, pas d'effet de vieillissement sur les coefficients…

a. Détermination de μ_s

On relie la tige (liée à l'arbre moteur) au patin avec un ressort à spire non jointive. On part d'une position telle que la tension sur le patin (donc sur le ressort) soit nulle puis on met en route. Le ressort s'étire, la force croit et le patin reste immobile jusqu'à ce qu'on atteigne $F = T = \mu_s N = \mu_s mg$ où d'un coup il se met à bouger. Or F = k*U, avec U la différence de tension en sortie du capteur entre l'état initial (le zero, qui ne vaut pas zero attention, il existe un offset) et le moment où ça bouge, et k une constante de proportionnalité donnée dans la notice.

Ainsi, en traçant F=k*U en fonction de $(m_{patin} + m_{ajoutee}) * g$ pour différentes masses ajoutées sur le patin (entre 50 et 200 g ici), on obtient une droite de pente μ_s.

Remarque : attention aux CI qui doivent être les mêmes (installer toujours le patin en le faisant glisser dans le même sens), veillez à l'alignement et à ce que ni le capteur, ni la tige ne touchent ni la plaque de bois support ni la butée (vous allez créer d'autres frottements solides sinon). A priori, μ_s dépend (au moins) des deux matériaux en présence (ici bois/papier) et de l'état de leur surface.

b. Détermination de μ_d

On fait de même mais cette fois-ci on relie directement (sans ressort) le patin à la tige. Lorsqu'on met en route le moteur on a : $F = T = \mu_d N = \mu_d mg$. En traçant F=k*U en fonction de $(m_{patin} + m_{ajoutee}) * g$ pour différentes masses ajoutées sur le patin (entre 100 et 500 g ici), on obtient une droite de pente μ_d.

Remarque : attention à ne pas saturer le capteur de force (il ne supporte pas plus que 10 N).

Normalement, on doit trouver $\mu_d \leq \mu_s$. Justifie qu'on freine mieux lorsque les roues tournent et adhèrent à la route qu'en cas de glissement… De fait, on peut aussi illustrer le stick-slip qualitativement (explique crissement porte ou craie, faille sismique, archer de violon…).

3. Propriété des interfaces liquides – fluides

a. Loi de Jurin et ascension capillaire

Capillaire : tube dont le diamètre est comparable à la longueur capillaire du fluide. Loi de Jurin : $H = \frac{2\gamma \cos(\theta_E)}{\rho g r}$.

But : vérifier cette loi et l'utiliser pour déterminer la tension de surface de l'éthanol.

Pour rappel, domaine de validité de la loi : fluide newtonien, épaisseur ménisque << hauteur de montée, aire de contact liquide/gaz non modifiée par l'ascension…

Protocole : détaillé dans le Jolidon. Vous pouvez au choix, utiliser le support millimétré intégré à la manip' et faire des mesures visuelles ou bien prendre des photos et utiliser ImageJ pour le traitement (méthode choisie). Dans ce cas, nous avons choisi d'ôter le support millimétré car il n'est pas dans le même plan que les ménisques et avoir des effets de parallaxe qui biaisent les mesures de longueur, c'est caca. Nous avons préféré mettre une règle à côté des tubes.

Notes : Veillez à ce qu'il n'y est pas de bulles dans les capillaires. Pour cela, nettoyez les bien et utiliser une propipette ou une pipette pasteur et aspirez/déspirez (euh… vous auriez dit comment vous ?) plusieurs fois pour minimiser les effets d'hystérésis de mouillage et enlever les saletés.

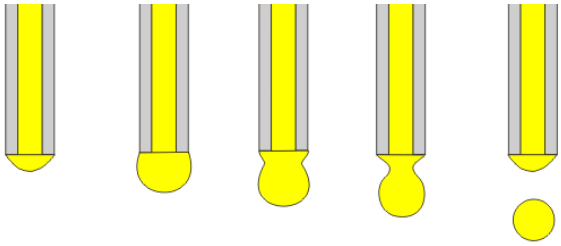
On s'en fiche de la référence des hauteurs. Le but n'étant pas ici de faire des prédictions quantitatives sur la hauteur absolue (on pourrait imaginer avoir un capillaire de diamètre inconnu et utiliser cette loi pour le déterminer, mais là non). Du coup normalement, on prend comme référence tous les bas de ménisque (pour cuve et capillaire, cf figure 1.a du Jolidon). Mais ne

[1] Pour les plaquettes de freins, disque d'embrayage etc. on cherche plutôt des couples de fluides tels que μ_d augmente avec v.

vous prenez pas la tête : a priori (peut-être que je vais me faire taper sur les doigts… wait and see) tant que vous prenez la même convention pour chaque tube, alors ce défaut de zéro n'engendrera qu'une ordonnée à l'origine non nulle dans votre modélisation. Même avec une forte erreur systématique, tant que celle-ci demeure « constante », alors vous pourrez quand même vérifier la loi et mesurer $\gamma_{éthanol}$.

On prend de l'éthanol et non de l'eau car celui-ci est plus mouillant, et donc l'hypothèse $\cos(\theta_E)$ = 1 que nous sommes contraints de faire est d'autant mieux vérifiée.

b. Stalagmométrie



La précédente expérience n'est en pratique pas trop utilisée pour déterminer une tension de surface. Une méthode envisageable est la stalagmométrie, qui tire profit de la compétition entre tension de surface et gravité (ah bah super la compétition entre deux grandeurs non homogènes !).

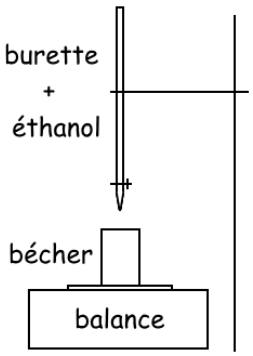
Schématiquement, lorsque l'on laisse s'écouler lentement (de sorte à avoir quasiment un équilibre statique ; si on est trop rapide, cela devient un problème d'écoulement dynamique où intervient la viscosité), elle va grossir selon le schéma de la figure ci-dessus. Lorsqu'elle se rompt, la force de pesanteur qui tire la goutte vers le bas égalise (en 1ère approximation) la force surfacique qui maintenait la goutte sphérique et suspendue. Cependant, on constate que seule une fraction α de la goutte tombe. De fait on peut écrire, avec R le rayon extérieur du compte-goutte (approximativement égal au rayon de la goutte) :

$$m_g g = 2\pi\alpha R\gamma$$

Le coefficient α dépend peu du fluide utilisé. Concrètement, α est proportionnel au rapport d'aspect $\frac{R}{V^{1/3}}$, où V est le volume de la goutte formée. Certes, ce dernier dépend de la tension de surface du fluide, mais expérimentalement, on constate que α varie peu. Pour un rapport d'aspect de 0.3 (petite goutte), α est de l'ordre de 0.72. Pour un rapport d'aspect de 0.95 (goutte qui se détache quasi entièrement), α vaut 0.6. Pour l'éthanol et l'eau, on estimera α constant.

But : déterminer la tension de surface inconnue (lolilol) de l'eau en ayant préalablement étalonné la manip' avec un fluide de tension de surface connue (l'éthanol #Jurin).

Pour cela, il vous faut : une burette + son support, une balance de précision et son alim', un bécher, de l'eau distillée et de l'éthanol.



Protocole : rincer la burette à l'éthanol pour enlever les saletés (si vous avez bien lu les commentaires du jury, saleté = le mal -et balance d'arrachement = enfer héhé). Puis installer le montage ci-contre. Laisser tomber une cinquantaine de gouttes (compter au minimum 2 ou 3 s / gouttes), peser la masse correspondante pour en déduire la masse d'une goutte. En déduire le rapport αR connaissant $\gamma_{éthanol}$.

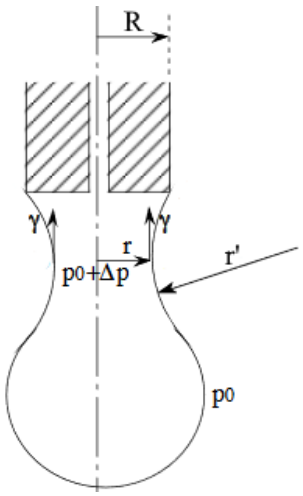
L'idéal le jour J sera de faire répéter cette manip' environ 5 fois (#TechniciensWillLoveU), pour minimiser l'incertitude et l'erreur sur la valeur de αR.

Puis refaire l'expérience avec cette fois de l'eau (en ayant bien bien rincer la burette avant) puis en déduire γ_{eau} connaissant αR.

Normalement, ça ne marche pas trop mal si :

- Vous y allez mollo sur la vitesse des gouttes. Il faut vraiment que cela soit lent.
- Vous nettoyez bien la burette lorsque vous changez de fluide

- Vous ne vous trompez pas à compter 50 gouttes



C'est cheap mais ça fonctionne car le modèle est adapté. En vrai, il faut tenir compte de l'écart de masse volumique entre le fluide test et le fluide environnant (prise en compte de la poussée d'Archimède dans le bilan des forces), mais là ça va (c'est l'air, dont la masse volumique est négligeable devant celle d'un liquide). Par ailleurs, il y a simplification de la force due à la surpression de Laplace au niveau du goulot (existence de 2 rayons de courbure r et r'). En vrai, il faut compter une force $\gamma\pi r^2(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'})$ supplémentaire (formule de Guglielmo) mais ici r' >> r d'où $\gamma\pi r$ en plus (et dirigée vers le bas). Donc normalement, le bilan des forces devrait être $m_g g = 2\pi R\gamma - \pi r\gamma$. En estimant r=R, on a $m_g g = \pi R\gamma$. Le fait est que cela ne prend toujours pas en compte la partie de la goutte qui ne se détache pas et il faut quand même introduire un facteur géométrique f = $\alpha/2$ tel que $m_g g = \pi f R\gamma$. Et on retrouve donc la même loi.

Plus de détails : http://www.meca.u-psud.fr/cours/L3_TP_Tensiometrie.pdf

Note : ça ne marche (entre autres) plus avec fluide viscoélastique

Manips' qualitatives à caser par ci par là en fonction du temps :

Visualiser la forme de goutte d'eau sur différente surface (Téflon, bois, surface traitée hydrophobe, carrelage…)

Question / remarque / commentaire / opinion / objection / note / planning de la semaine prochaine :