

M2 : Surfaces et interfaces

Rapport de jury: Le jury a vu de bons montages dans ce domaine. 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. 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. 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.

Bibliographie:

[1] Quaranta Tome I - Mécanique

[2] Expérience de physique (Optique, Mécanique, Fluide..) - Bellier

Introduction:

La surface d'un solide ou d'un fluide désigne une couche peu profonde et la partie extérieure. Le terme d'interface désigne quant à lui la couche limite entre deux éléments par laquelle ont lieu des interactions. A l'interface entre 2 milieux, le comportement du fluide est bien différent qu'en son sein. Le système tend vers un équilibre qui correspond à la configuration de plus basse énergie, il modifie donc sa géométrie pour diminuer l'aire de cette interface. La force qui maintient le système dans cette configuration est la tension superficielle. L'origine est dû à un déficit d'énergie à la surface, les molécules à l'interface n'ont pas assez d'énergie pour être dans le liquide et pas assez d'entropie pour être dans le gaz. Ces phénomènes d'interactions sont très importants et explique un certain nombre de phénomène que l'on peut observer tous les jours, la difficulté de pousser un meuble par exemple, la forme d'une goutte de liquide sur une surface solide...

Manip qualitatives avec film savonneux:

M2 - II.2

Faire un mélange d'eau, de liquide vaisselle, de glycérine + utilisation de différents objets.

- Les forces de tension superficielle tendent à diminuer l'aire de la surface liquide. Le liquide va avoir tendance à minimiser sa surface pour diminuer son énergie.
- Influence courbure /pression: fil avec courbure moyenne nulle : 2 rayons de courbures \rightarrow la somme est nulle. La loi de Laplace est illustré.
- Comment montrer la force ? manip le film de savon, quand on tire sur le fil : on voit une autre force qui s'oppose : tension superficielle (elle dépend du liquide, du fluide qui le surmonte et de la température).

Une conséquence est que pour augmenter l'aire de l'interface, il faut appliquer une force suffisante, sinon le système reste dans sa configuration de surface minimale.

Cet effet permet par exemple à certains insectes de marcher sur l'eau, à un objet léger de se maintenir à la surface d'un liquide, à la rosée de ne pas s'étaler sur les pétales de fleurs, et explique la capillarité.

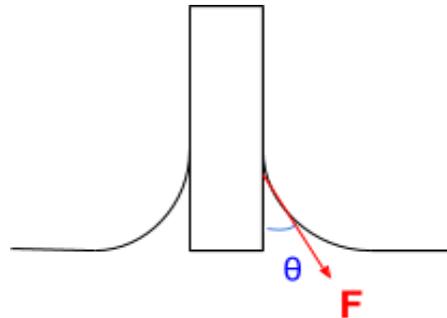
Attention: il est important d'utiliser du matériel propre, car très sensibles aux impuretés. Alcool permet de dissoudre les graisses. Ne pas s'affoler si le résultat est loin de ceux tabulés.

I - Mesure du coefficient γ de deux fluides.

M2 - III.1

Mesure du coeff de tension superficielle avec la méthode de Wilhelmy.

Balance de Wilhelmy : on va faire affleurer l'anneau à la surface, une force va le retenir. En égalisant avec le poids de la chaînette (dynamomètre) on va pouvoir déterminer γ .



-Pour cela on nettoie bien l'anneau avant à l'éthanol pour avoir un mouillage total car lors d'un mouillage non total il y a dans la force un $\cos(\theta)$, cela va fausser la manip, on veut donc le supprimer en utilisant un mouillage total afin d'avoir $\cos(\theta)=1$.

On a un mouillage total grâce à une surface en dépôt (monocouche) ou en sablant la surface car la rugosité augmente les propriétés de mouillage si la surface initiale est hydrophile elle devient super hydrophile.

-Il faut mesurer la température de l'éthanol et on compare à la valeur tabulée de la tension superficielle à cette température. De plus, fluide est non pur, et donc la tension superficielle dépend des impuretés.

Manip:

-On place l'anneau (sans qu'il touche le bécher) et on équilibre le dispositif et on attend que les oscillations s'amortissent.

-On monte le bécher, et on le fait affleurer à la surface, pour pouvoir négliger la poussée d'archimède : au moment de l'affleurement, l'anneau va couler juste après (illustration de la force qui attire l'anneau vers le bas).

-On relève la masse (en mg) qu'il faut appliquer pour équilibrer.

-On en déduit γ : $mg = 2\pi d\gamma$ (avec d le diamètre, $d=1,8$ cm d'après poly)

Il faut faire la manip plusieurs fois, avec 2 liquides (eau, éthanol) ou en changeant la température.

Voir Excel.

Incertitudes :

-On fait plusieurs mesures du diamètre et de la masse.

→ incertitude sur d : écart-type

→ incertitude sur m : écart-type + erreur systématique (10 mg)

-Plus de dispersion pour l'éthanol du faite que la force avec l'éthanol soit plus importante.

-Problème de mouillage total si la surface n'est pas parfaitement nettoyée.

Méthode pour avoir γ : on a utilisé la tension superficielle avec la définition de la force.

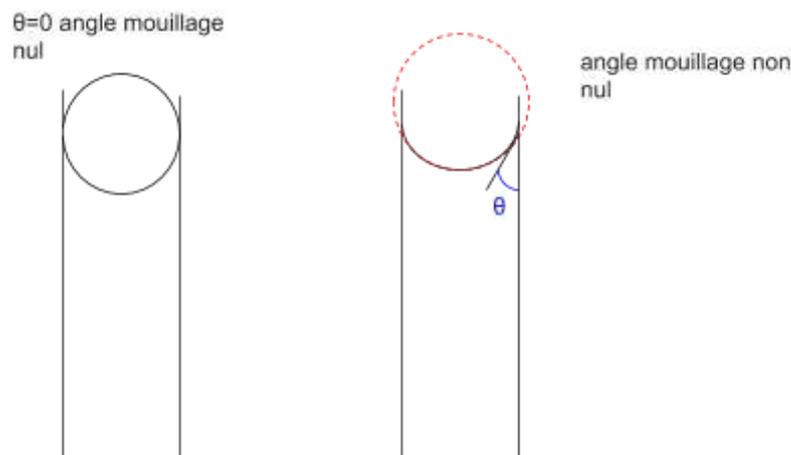
II - Ascension capillaire dans une cuve en coin - Loi de Jurin

Cf [1] p.44, [2] p.458 → On utilise une cuve en coin et non les tubes de Jurin.

Montage : fond blanc + cuve rectangulaire pas trop haute remplie d'éthanol + lame en coin + webcam + QI sans condenseur (possible d'éclairer avec un dépoli).

La courbure dépend de l'angle de contact et l'épaisseur entre les 2 plaques.

On suppose ici que l'angle de mouillage est nul, ainsi $R=d/2$, donc on peut utiliser la formule donnée.



Utiliser une webcam pour directement fitter sur Regressi. Bien nettoyer la lame en coin d'air avec de l'éthanol (car son mouillage est meilleur) et bien attendre qu'elle sèche avant de réaliser la manipulation. Bien prendre une mesure d'étalon.

Possibilité d'utiliser ImageJ mais vu la forme de la courbe, mieux d'utiliser Regressi, ouvrir l'image, faire l'étalonnage, et pointer quelques points : comme ça, l'incertitude aura un sens contrairement à la méthode sur ImageJ qui à une infinité de points.

(Methode sur ImageJ: process→ Find edges puis Binary→ Make binarize

On sélectionne la zone puis Edit → Clear Outside et Edit → Invert ; Analyze → Tools → Save XY coordinates.)

-Il faut mesurer l'angle du coin d'air α grâce à pied à coulisse (attention incertitudes) on mesure l'épaisseur intérieure entre les 2 plaques d et la distance x : $\alpha = d/x$ (Pour info, on a trouvé $\alpha = 0,88^\circ$) → ou utiliser imageJ pour plus de précision .

-Loi de Jurin : $h = 2\gamma / (\rho g \alpha x)$

On rentre dans Regressi pour le modèle : $h = a + 2\gamma / (\rho g \alpha (x_0 - x))$ ou on peut fitter avec une loi de puissance.

x_0 paramètre ajustable, signe négatif car la courbe est inversée et a car on est pas tout à fait à 0 suivant y .

Regressi nous donne une valeur de γ .

Incertitudes : mesure de l'angle α

III - Mouillage

M2 - V

Comment se comporte un liquide sur un solide?

Ligne triple (liquide, solide, gaz)

Montage de projection : Lampe QI + Surface avec goutte + lentille + écran

Eau sur du téflon et sur du verre: on remarque que l'eau mouille le verre (angle inférieur à $\pi/2$) = surface hydrophile alors qu'elle ne mouille pas le Téflon (angle supérieur à $\pi/2$) = surface hydrophobe. On va réaliser les mesures pour l'eau sur le Téflon, car il est compliqué de réaliser les mesures avec l'eau sur le verre du fait du mouillage important.

Bien expliquer pourquoi on a une image nette, les réglages, etc...

-Conditions de Gauss : focaliser la lumière (le filament) sur la lentille, pour avoir des rayons faiblement inclinés par rapport à l'axe pour avoir une jolie image.

-Eclairage rasant à la surface pour observer réellement la goutte (éviter les rayons parasites faussant les mesures)

-Incertitude sur la goutte, car on observe pas parfaitement le plan centrale de la goutte, il ne faut donc pas prendre une goutte trop grosse, car cela augmente l'incertitude.

-Attention, pour avoir le grossissement du montage, prendre une règle graduée comme référence.



Prendre plutôt mesure
ici et pas au point le +
haut

Petite goutte → Forme d'équilibre : calotte sphérique ce qui permet de minimiser sa surface.
Si on augmente la quantité d'eau : perte de la demi-sphère → aplatissement de la goutte : la gravité domine par rapport à la capillarité qui elle veut minimiser sa surface.

On va chercher la longueur capillaire, longueur à partir de laquelle la gravité domine.

ImageJ:

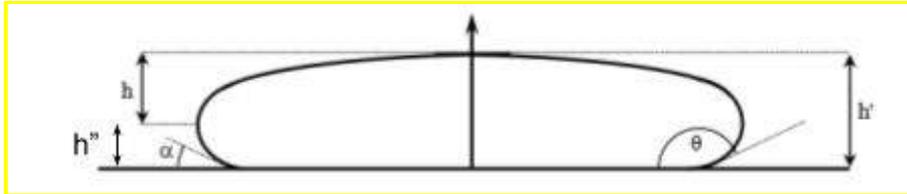
- Pied à coulisse pour avoir référence
- Mesure de l'angle de contact

On en déduit la longueur capillaire

On peut vérifier la longueur trouvée sur ImageJ (ne pas oublier de tracer la ligne de surface)

Dans poly :

Cas d'une goutte de mercure sur du verre.



On relève h' et h'' avec Image J (ou main levée avec grossissement)

(+ facile de mesurer h'' que h , on aura moins d'incertitude)

On en déduit γ (avec $h=h'-h''$) et α (avec h') (voir formules poly p14)

Pour les incertitudes :

-On réalise plusieurs mesures de h'' et h' → Ecart type

-On considère aussi une erreur systématique

Voir Excel.

On peut comparer avec la valeur de α relevée avec la projection de la goutte avec lentille (obtenue avec un rapporteur)

Phénomène d'hystérésis : Si on dépose la goutte sur le téflon, angle d'environ angle de 84° et si on aspire un peu la goutte, l'angle devient inférieur à 90° → phénomène d'hystérésis dû probablement à l'énergie que cela coûtera à la goutte de se recontracter pour avoir un angle à 90° , vu qu'elle a déjà mouillé elle reste comme ça.

IV - Frottement solide (statique ou dynamique)

Si le temps:

http://www.etienne-thibierge.fr/agreg/fiches_agreg.pdf

Plan Mickaël Melzani

<https://cahier-de-prepa.fr/mp-charlemagne/download?id=424>

https://uhincelin.pagesperso-orange.fr/montages/M02_surfaces_interfaces/M2_surfaces_et_interfaces.pdf

-Comment on retrouve la formule du coefficient de frottement dynamique ?

-Lequel est le plus grand, le coefficient de frottement statique ou dynamique ? Statique

- Aire du solide a une influence ? Et le temps depuis lequel le solide est posé ? C'est plus facile de bouger un meuble qui est là depuis 1 min ou depuis 10 ans ? Quelle interprétation microscopique ?

-Le coefficient de frottement dépend t'il de la vitesse ?

Conclusion:

On a pu voir la tension superficielle par différentes méthodes : Manifestation en terme de force, manifestation par ascension, et mouillage → Phénomènes de surfaces en applications industrielle importante (peinture, traitement des pare brises..)

Questions :

-Connaître OdG de quelques tensions superficielles : Attention : valeurs différentes si ce n'est pas dans l'air!!

Quelques valeurs de γ pour un liquide placé dans l'air :

| liquide | γ (N·m ⁻¹) à 20 °C |
|----------------|---------------------------------------|
| eau (à 20 °C) | $73 \cdot 10^{-3}$ |
| eau (à 0 °C) | $75,6 \cdot 10^{-3}$ |
| huile végétale | $32 \cdot 10^{-3}$ |

| liquide | γ (N·m ⁻¹) à 20 °C |
|---------|---------------------------------------|
| éthanol | $22 \cdot 10^{-3}$ |
| éther | $17 \cdot 10^{-3}$ |
| mercure | $480 \cdot 10^{-3}$ |

-Comment varie la tension superficielle avec la température? Elle augmente quand T diminue

-Quels autres facteurs sont à prendre en compte dans la mesure de la tension superficielle? Essentiellement les impuretés, qui ont un effet important.

-Bien définir l'angle de contact : L'angle θ s'appelle angle de contact. Il dépend à la fois du liquide, du solide qui le supporte ou le contient, et du gaz qui environne les deux. Trois paramètres sont donc à prendre en compte : • La tension superficielle γ_{sl} entre le solide et le liquide ; • La tension superficielle γ_{lv} entre le liquide et sa phase vapeur ; • La tension superficielle γ_{sv} entre le solide et la vapeur. Faire un schéma.

-En termes d'interaction entre molécules, qu'est ce qui est responsable de la tension de surface ? (Faire un schéma) Dans un liquide, on peut imaginer que les molécules qui sont à l'intérieur du liquide sont soumises à des forces différentes de celles subies par les molécules qui sont situées à la surface du liquide : en effet, dans la phase liquide contrairement à ce que l'on a vu en phase gazeuse, les molécules se touchent. Bien

souvent, ces molécules ne sont pas neutres sur le plan électrique. C'est le cas tout particulièrement de l'eau qui porte un moment dipolaire important. Ces moments dipolaires interfèrent les uns avec les autres de telle sorte qu'au sein du liquide une molécule est l'objet de tensions orientées dans toutes les directions de la sphère qui l'entoure. Sur la surface du liquide, ces tensions sont limitées à la demi sphère située sous la surface. Il s'ensuit que la résultante de ces forces ne peut pas être nulle. Cette résultante est nécessairement dirigée vers le bas, puisque (sauf s'il y a évaporation) le liquide ne s'échappe pas du récipient. Ce phénomène se traduit par l'apparition d'une tension de surface caractéristique de chacun des liquides. On peut dire qu'il se forme un film de molécules en surface qui n'a pas plus tout à fait la même structure que celle que l'on retrouve au sein du liquide.

-Loi de Laplace : Soit une goutte sphérique de rayon R : les forces de tension superficielle, qui sont dirigées vers l'intérieur de la goutte, exercent une compression à l'intérieur de celle-ci. La pression p_i dans la goutte est donc supérieure à celle du milieu extérieur, p_0 . Cette compression est, bien sûr, d'autant plus grande que les forces superficielles sont grandes, donc que la tension superficielle γ est élevée. La loi de Laplace permet de calculer la différence $p_i - p_0 = \Delta p$ en fonction de R et de γ . $\Delta p = 2\gamma/R$.

Attention, pour une bulle $\Delta p = 4\gamma/R$ car une bulle est formée de 2 surfaces (interne et externe) supposées de même rayon R , chacune étant le siège d'une tension superficielle. (La pression est d'autant plus grande que la bulle est petite).