

MP 02 – SURFACES ET INTERFACES

8 avril 2015

Grimaud Pillet & Jason Reneuve

"Partout où le hasard semble jouer à la surface, il est toujours sous l'empire de lois internes cachées, et il ne s'agit que de les découvrir."

FRIEDRICH ENGELS

Commentaires du jury

2014 : 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.

2013 : 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

- ↗ *Tec & Doc MP*, **More, Augier** → Exo sur le stick-slip
- ↗ *Gouttes, bulles, perles et ondes*, **De Gennes** → Pour la loi de Young Dupré et l'instabilité de Rayleigh-Plateau.
- ↗ *Hydrodynamique Physique*, **Guyon, Hulin, Petit** → Pour la cuve à ondes.
- ↗ *Mécanique (I)*, **Quaranta** → Pour la loi de Jurin et des rappels succincts.

Expériences

- ☞ Mise en évidence du coefficient de frottement
- ☞ Stick-Slip
- ☞ Balance d'arrachement
- ☞ Loi de Jurin
- ☞ Ondes Gravito-Capillaires
- ☞ (Instabilité de Rayleigh-Plateau)
- ☞ (Instabilité de Faraday)

Table des matières

| | |
|---|----------|
| 1 Surfaces Solides | 2 |
| 1.1 Mise en évidence du coefficient de frottement | 2 |
| 1.2 Coefficient de frottement statique et dynamique | 2 |
| 2 Mesure de tensions de surfaces | 3 |
| 2.1 Balance d'arrachement | 3 |
| 2.2 Loi de Jurin-Hauksbee | 4 |
| 3 Surfaces et Ondes | 5 |
| 3.1 Ondes Gravito-Capillaires | 5 |
| 3.2 Instabilité de Rayleigh-Plateau | 5 |
| 3.3 Instabilité de Faraday | 5 |
| 4 Compléments | 6 |

Introduction

Souvent en physique on néglige les interactions à l'interface entre deux systèmes. Pourtant dans de très nombreux phénomènes les actions de surfaces sont dominantes. Citons simplement le fait que certains insectes peuvent marcher sur l'eau grâce à la tension de surface et que nous pouvons marcher au sol grâce au frottement de nos chaussures sur celui-ci (sinon on glisse et on avance pas).

1 Surfaces Solides

1.1 Mise en évidence du coefficient de frottement

Mesure de l'angle limite de glissement

Incliner un plan sur lequel on a posé deux mobiles.
Mesurer l'angle pour lequel chacun des mobiles tombe.

Lorsqu'on est à la limite du glissement, $\tan(\alpha) = f$.

On trouve de manière très qualitative les valeurs de f (feutre/plastique) et f (acier/plastique).

On voit que le coefficient de frottement dépend des phases en contact. C'est quelque chose de très générale au phénomènes de surfaces, et on prendra garde dans tout le montage à préciser à chaque fois quelles interfaces on étudie et quels coefficients on mesure.

On a vu que les mobiles accélèrent brutalement dès qu'on passe l'angle limite. De même lorsqu'on pousse une armoire sur le sol, on s'aperçoit que celle-ci se met à glisser "d'un coup" et on a pas une vitesse quasi nulle proche du seuil. Cela laisse penser que les coefficients de frottement statique et dynamique sont différents. Faisons une expérience pour s'en convaincre

1.2 Coefficient de frottement statique et dynamique

On réalise l'expérience dite de Stick-Slip (ou collé-glissé en français), qui consiste à entraîner un mobile accroché à un ressort fixe. Si le coefficient de frottement statique et le même qu'en dynamique, le mobile va glisser jusqu'à ce que la force exercée par le ressort soit suffisante pour empêcher le glissement. Ce n'est pas ce qu'on observe.

Étalonnage du ressort

On mesure d'élongation en fonction de la masse.

On obtient $k = (63 \pm 3)10^{-3} N.m^{-1}$ et $l_0 = (76 \pm 1)10^{-3} m$

Penser à peser les masses, c'est ce qui donne l'incertitude prépondérante sur k .

Stick-Slip

↻ Tec & Doc p 101

⊖ 5 - 10 minutes / Long à régler

Matériel :

- Table traçante
- Mobile avec surface en mousse P82.8 intitulé "ressort et mobile pour stick slip".
- Le bon ressort
- Caméra VidéoCom non cassée et son trépied

On leste la feuille de la table traçante pour qu'elle ne fasse pas de plis en défilant.

On positionne le mobile au début à la longueur l_0 du ressort.

On acquiert le déplacement du mobile sur le logiciel VidéoCom.

On mesure la distance entre la position initiale et les deux positions extrêmes de la trajectoires, que l'on note L_+ et L_- ¹.

1. Bien que non quantifié

On a $f_s = \frac{kL_+}{mg}$ et $f_d = \frac{kL_-}{2mg} + \frac{f_s}{2}$

Discussion sur les incertitudes : On prend plusieurs valeurs de L_+ et L_- ce qui permet de calculer la moyenne et d'avoir un écart-type. Si on trouve une incertitude plus faible que celle sur l_0 , on doit prendre celle sur l_0 pour δL_+ , car ces valeurs dépendent de la façon dont on a placé le ressort à la longueur à vide.

En négligeant les incertitudes sur la masse, on obtient pour f_s :

$$\frac{\delta f_s}{f_s} = \sqrt{\left(\frac{\delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\delta L_+}{L_+}\right)^2} \quad (1)$$

Ces coefficients ne sont pas vraiment comparable à quoi que ce soit et surtout que si on refait l'expérience, on ne va pas forcément avoir les mêmes coefficients, c'est principalement dû à la grande variabilité de l'état de surface du mobile.

Ce phénomène de stick-slip se retrouve dans plein de situations de la vie courante, comme par exemple lorsqu'on fait glisser un mobile lié à un ressort sur une feuille de table traçante lesté.

↓ On a vu le frottement solide, voyons maintenant les cas plus généraux d'interface fluide/fluide et fluide/solide.

2 Mesure de tensions de surfaces

Mise en évidence de la tension de surface

Dispositif avec la ficelle accrochée à un anneau. On montre qualitativement la tendance qu'a le liquide à minimiser sa surface, qui est coûteuse énergétiquement.

La tension superficielle dépend des deux milieux, ici l'air et l'eau.

2.1 Balance d'arrachement

On va essayer de remonter à la tension superficielle de l'eau dans l'air en utilisant la balance d'arrachement.

Ici on a trois milieux : L'air, l'eau et le métal. La loi de Young-Dupré donne les rapport des tensions de surface dans ce cas :

$$\gamma_{LG} \cos(\theta) + \gamma_{SL} = \gamma_{SG} \quad (2)$$

Cette loi fait apparaître trois inconnues. Dans le cas de la balance d'arrachement, on arrive à simplifier cette expression : On mesure la force à la limite de l'arrachement, dans ce cas, l'angle que fait le fluide avec le métal est très proche de π , c'est à dire dans le cas où $\theta \simeq 0$. De plus, lors de l'arrachement, le métal n'est plus en contact avec l'eau, la force qui s'exerce "juste avant" est uniquement dû à l'interface eau/air qui à été créée (grâce au métal mais celui-ci n'intervient plus). En faisant un schéma, on voit qu'il y a deux interfaces eau/air, d'où le facteur 2 dans la formule.

Balance d'arrachement

🔧 Gouttes perles bulles

⌚ 5 min

Matériel :

- Anneau + Dynamomètre 0.1 N P105.22
- Un support boy avec une vis de réglage fin

Nettoyer la surface de l'anneau à l'alcool juste avant de faire la mesure

Mesure du poids de l'anneau seul.

Mesure du poids de l'anneau à la limite de l'arrachement.

Mesure du diamètre extérieur L_+ et intérieur L_- de l'anneau avec un pied à coulisse (pas obligé de faire 2 mesures, l'incertitude sur le diamètre est négligeable).

On a alors $\gamma(\text{eau/air}) = \frac{\Delta F}{2\pi L}$. On a un facteur 2 car on a deux interfaces liquide/solide, une de chaque côté de la tranche de l'anneau.

2. Bien que n'ayant rien à voir avec le Stick-slip

Discussion sur les incertitudes :

$$\frac{\delta\gamma}{\gamma} = \frac{\delta\Delta F}{\Delta F} \quad (3)$$

On trouve $\gamma(\text{eau/air}) = (56 \pm 3)10^{-3} \text{N.m}^{-1}$ pour une valeur tabulée de $(72.8 \pm 0.3)10^{-3} \text{N.m}^{-1}$

Ici l'incertitude majoritaire provient des impuretés des deux surfaces.

Si on a le temps, on peut refaire des mesures en rajoutant progressivement un surfactant qui va diminuer la tension de surface et montrer que la tension de surface sature à une valeur limite.

On a vu que le liquide avait une interaction défavorable avec l'air, il tend donc à réduire sa surface de contact. Mais quand on trempe l'anneau dans le fluide, on voit que celui-ci tend à rester coller à la surface, malgré l'augmentation d'énergie potentielle. On a donc une interaction favorable pour le fluide dans le cas du contact avec ce métal. Étudions plus en détail ce phénomène dans le cas d'une interaction eau/verre.

2.2 Loi de Jurin-Hauksbee

...Ou montée capillaire. Ce phénomène se produit lorsque le solide a des interactions plus faible avec l'air qu'avec le liquide, on a alors un gain d'énergie si le liquide mouille la surface. On a ici compétition entre cette énergie et l'énergie potentielle de pesanteur du liquide.

Loi de Jurin-Hauksbee

🔗 Quaranta et Gouttes, Perles,...

⌚ 5 minutes

Matériel :

- Capillaires pour la loi de Jurin P105.16/1
- Webcam ou appareil photo
- Éthanol pur

Nettoyer préalablement les capillaires à l'alcool pour enlever au maximum les impuretés.

Remplir la cuve d'éthanol et immerger le dispositif. Attention aux bulles d'air, agiter bien les tubes. Attention aussi à l'évaporation de l'éthanol.

Prendre une photo (avec un repère de distance) et mesurer les distances sous imageJ. (prendre une référence quelconque, ce qui importe c'est la différence de hauteur).

Tracer $H = f(1/R)$

La minimisation de l'énergie se traduit par la loi (en négligeant le volume des ménisques) :

$$H = \frac{2\gamma \cos(\theta)}{\rho g R}$$

Il est intéressant de remarquer que l'on s'affranchit la encore de la complexité de la loi de Young-Dupré pour ne garder que la mesure de $\gamma(\text{alcool/air})$.

On voit encore une fois apparaître l'angle de mouillage. Avec ce dispositif, c'est difficile de le mesurer précisément. C'est pour ça qu'on a fait l'expérience avec de l'alcool, pour pouvoir dire que $\theta \simeq 0$.

On trouve alors $\gamma(\text{alcool/air}) = (2.3 \pm 0.4)10^{-2} \text{N.m}^{-1}$ pour une valeur tabulée de $(2.2)10^{-2} \text{N.m}^{-1}$.

On peut tenter de justifier cette hypothèse $\theta \simeq 0$:

Angle de mouillage

On place une goutte d'alcool sur une plaque de verre et on projette l'image avec une lentille.

On constate que l'angle de mouillage est très faible, ce qui n'est pas le cas avec l'eau (mettre une goutte d'eau et voir la différence).

On a vu dans cette loi apparaître la compétition entre la capillarité et la gravité, on peut alors introduire une longueur capillaire qui traduit à partir de quand on va pouvoir négliger l'un ou l'autre des effets. Voyons si l'on peut négliger la capillarité dans le cas banal d'un vibreur à la surface d'une flaque d'eau de l'ordre de 1cm de profondeur.

3 Surfaces et Ondes

3.1 Ondes Gravito-Capillaires

On a ici à faire à deux types d'interfaces : L'interface liquide/solide en bas de la cuve et l'interface air/liquide en haut. La première interface est caractérisée par l'épaisseur d'eau et la seconde est caractérisée par la longueur capillaire $l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$. Faisons un rapide ordre de grandeur pour cette manip : $l_c = \sqrt{\frac{70 \cdot 10^{-3}}{9.81}} \simeq 8 \text{ cm}$. A priori, dans cette expérience, la capillarité est prépondérante.

Cuve à Ondes

➤ Guyon Hulin Petit

⊖ 5 minutes

Matériel

- Cuve à onde rouge ENS avec son pot vibrant et ses râpeaux.
- Un GBF (pas besoin d'ampli³)

Pour différentes fréquences (entre 10 Hz et 70 Hz), mesurer la longueur d'onde avec le strobo intégré au dispositif. Ne pas oublier le facteur de grandissement de la cuve (qui vaut environ 1.7) à mesurer avec une référence.

Tracer $c^2 = \lambda^2 f^2 = f(k)$

Dans le cas des eaux profondes, on peut négliger l'interface solide/liquide du fond de la cuve. On a alors la relation de dispersion suivante :

$$c^2 = \frac{g}{k}(1 + k^2 l_c^2) \quad (4)$$

Dans le cas des ondes que nous avons formés, on voit que $c^2 \propto k$, on retrouve bien le cas $k^2 l_c^2 \gg 1$ donc des ondes capillaires.

On trouve alors $\gamma(\text{eau/air}) = (45 \pm 7) 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$. Même problème que précédemment, on salit facilement l'eau, ce qui diminue sa tension de surface. Ce dispositif est moins précis que la balance d'arrachement, car mesurer la longueur d'onde sur ce dispositif, c'est pas évident.

3.2 Instabilité de Rayleigh-Plateau

(probablement non présenté)

On trempe des fils de diamètre différents dans un liquide, et à la sortie, on a un réseau de gouttes qui se forme. La longueur d'onde du réseau de gouttes formées ne dépend pas du liquide mais seulement du diamètre des fils.

On peut faire une mesure quantitative mais ça marche pas.

3.3 Instabilité de Faraday

(très probablement non présenté)

Instabilité de Faraday

➤ Experimental study of the Faraday instability, **J · Fluid Mech. (1990), vol. 221, pp. 383-409** ⊖ Plus rapide qu'on ne le croit

Matériel :

- Pot Vibrant sur pieds réglable pour faire la planéité.
- Cuve et Accéléromètre qui peut se visser à la cuve.
- Ampli pour alimenter le pot, GBF, et Oscillo.
- Pipette 10mL pour contrôler le volume d'eau qu'on met

On mesure pour une fréquence fixée (J'ai testé à 20Hz mais je pense qu'il faudrait le faire à 10Hz comme ça le régime met moins longtemps à s'établir), l'accélération nécessaire pour faire apparaître des ondes à la surface de la cuve.

On fait ça plus plusieurs hauteurs d'eau (on connaît la hauteur en sachant exactement quel volume on met), et on trace amplitude de seuil = f(h)

3. Pas vrai Ralbert ?

On pourrait penser que plus on rajoute d'eau, plus il y a de dissipation de la part des parois et donc on devrait avoir une amplitude de seuil qui croit avec la hauteur d'eau. En fait, non. Les ondes que l'on crée sont des ondes de surfaces, donc la surface des parois mise en mouvement est globalement toujours la même. Par contre le fond de la cuve intervient : La viscosité fait que la vitesse tangentielle au fond de la cuve est nulle. On cherche à créer des ondes qui vont se propager à une certaine vitesse. Plus le fond de la cuve est loin, plus on peut avoir une grande amplitude à la surface.

(cette manip peut aussi se mettre dans phénomènes non linéaire et instabilités!)

Conclusion

En conclusion, en rédigeant ce poly, j'ai augmenté de façon alarmante mon rapport du nombre de leçons à faire/jour. En ouverture, il faut donc demander à Arnaud sa technique⁴ pour dormir que 3 heures par nuit.

4 Compléments

D'autres manips possibles ? :

- Mesure de γ par stalagmométrie : Fait dans le poly de l'an dernier. L'incertitude de la mesure dépend ici beaucoup de la vitesse à laquelle on fait tomber les gouttes.
- Loi de Laplace : Former des bulles de taille différentes et mesurer la pression interne avec un manomètre ?
- Angle de mouillage : (fait l'an dernier aussi) On peut faire des mesures quantitative des angles de mouillage, mais l'angle dépend de la façon dont on a déposé la goutte !
- Loi de Réfraction ! On l'a appris trop tard, mais il existe un dispositif pour faire des mesure de l'angle de déviation d'un laser quand il change de milieu eau/air air/verre...Ca semble être une très bonne manip et qui plus est original.
- Instabilité de Kelvin-Helmholtz : Si on est chanceux, le jour de l'oral, on peut observer une instabilité de Kelvin-Helmholtz entre l'air et les nuages et faire une mesure de longueur d'onde. Pour avoir une échelle, il faut attendre qu'un avion de marque connu passe pas loin.

D'autres citations possibles ? :

- Notre moi est fait de la superposition de nos états successifs. Mais cette superposition n'est pas immuable comme la stratification d'une montagne. Perpétuellement des soulèvements font affleurer à la surface des couches anciennes. MARCEL PROUST
- Il vient à la surface des coeurs les plus nobles et les plus purs des boues soulevées par les ouragans. HONORÉ DE BALZAC
- Le mensonge comme l'huile flotte à la surface de la vérité. HENRYK SIENKIEWICZ
- Et la politique, c'est ce qu'il y a dans la vie de moins essentiel et de moins précieux. La politique, c'est l'écume sale sur la surface de la rivière, alors qu'en fait la vie de la rivière s'accomplit à une bien plus grande profondeur. MILAN KUNDERA
- Enfin, dans l'idée de surface, je fais encore abstraction d'une des deux dimensions qui la composent, et il me reste l'idée de ligne.⁵ JEAN LE ROND D' ALEMBERT
- En opposant la haine à la haine, on ne fait que la répandre, en surface comme en profondeur. MOHANDAS GANDHI

4. Le sommeil polyphasique, ça ne marche pas super.

5. On attend donc avec impatience le montage "Ligne et interligne".