

MP02 – SURFACES ET INTERFACES

10 février 2016

"Aujourd'hui, faute de mieux, on se contentera du slip"
JAMY

Binôme du Chignon : Alex T & Justin P

Commentaires du jury

Ne pas se limiter à la tension de surface. Balance d'arrachement : bien expliquer, ne pas se réfugier derrière la "pollution" du fluide.

Bibliographie

- ⚡ *Dico mécanique*, Quaranta
- ⚡ *Tec&Doc*, Olivier-méthodes
- ⚡ *Hydrodynamique physique*, Guyon, Hulin, Petit
- ⚡ *Mécanique*, Perez
- ⚡ *Gouttes, Bulles, Perles, Ondes*, PGDG

Table des matières

1	Le contact solide	2
1.1	Estimation d'un coefficient statique	2
1.2	Mesure d'un coefficient de frottement dynamique	2
2	La tension de surface	3
2.1	Mise en évidence	3
2.2	Loi de Jurin	3
2.3	Influence d'un tensio-actif	3
3	Ondes et interfaces	4
3.1	Un exemple de dioptré optique	4
3.2	Ondes capillaro-gravitationnelles	4

Introduction

Dans différents domaines de la physique (méca, thermo, électromag) il est possible de se ramener à l'étude d'un point ou d'un volume, négligeant ainsi les phénomènes de surfaces. Pourtant, nous présentons dans ce montage des expériences où ce qu'il se déroule en surface joue un rôle essentiel :

- du point de vue énergétique : pertes mécaniques par frottement, coût de formation d'une interface entre des fluides,
- et des conditions aux limites imposées à un phénomène propagatif : dioptrique optique, ondes mécaniques de surface.

1 Le contact solide

Modéliser le contact est très complexe. On va s'appuyer sur les lois phénoménologiques du frottement (Coulomb) pour étudier les transferts énergétiques à l'interface entre 2 solides.

1.1 Estimation d'un coefficient statique

Il n'y a pas de glissement tant que la composante tangentielle de l'action de contact n'est pas suffisante. On fait le choix de présenter la manip' la plus visuelle qu'il soit pour mettre en évidence cette loi : le palet sur le plan incliné. Cette manip' est vraiment pas top du point de vue de la précision sur le coefficient statique f_s , mais qu'elle permet de bien voir pleins de choses qualitativement.

Angle de glissement d'un palet

➤ Perez méca p311



Un bloc de bois est posé sur un plan incliné d'un angle α . On augmente progressivement α : le solide glisse lorsque $\tan \alpha = f_s$. Mesure de α à moyenner sur 10 essais.

Grosse difficulté à mettre en évidence : la définition du phénomène ! La glissade ne se fait pas forcément d'un coup. Le fluage n'est pas homogène sur toute la surface, il peut y avoir des à-coups.

Une fois que la glissade est bien partie, il faut baisser la planche jusqu'à un angle $\beta < \arctan(f_s)$ pour qu'il s'arrête complètement. On voit l'hystérésis du frottement, si f est le coefficient dynamique, alors $f < f_s$.

Une application : Quand on veut faire glisser un truc lourd, le plus dur est d'amorcer la glissade.

On peut mesurer f_s de pleins d'autres façons plus précises y compris avec le matériel de la collection, ce choix est purement pédagogique. On peut utiliser par exemple la jauge de contrainte (ou un dynamomètre mais c'est moins swag/précis) et la plaque tirée par un petit moteur, voir dans le placard mécanique.

1.2 Mesure d'un coefficient de frottement dynamique

Lorsqu'il y a glissement, la loi de Coulomb nous la force de frottement. La méthode présentée ici est assez astucieuse, je l'ai trouvée bien traitée dans le TetD "méthodes et annales", disponible en BU du haut.

Distance de freinage d'un palet

➤ Tec&Doc exercices p632



Une masse M tombe d'une hauteur h et est reliée via ficelle+poulie à un palet de masse m sur la table : le palet est entraîné ($0 \leq x \leq h$) puis freiné par frottement ($h \leq x \leq L = h + d$). Film de la trajectoire (50 fps) pour pointage sous LatisPro.

En zone de freinage, $x(t) = x_0 + v_0 t - \frac{f g}{2} t^2$: on modélise la fin de la courbe par une parabole pour estimer f . Attention : ici le film n'a été fait qu'une seule fois, ce qui est la principale source d'incertitudes.

Méthode plus rapide et plus simple qui prend en compte tout le mouvement : On obtient en théorie la loi : $L = ah$ avec

$$a = \frac{M(1+f) + m'f}{(m+M)f + m'f}$$

m' masse de la corde : termes de correction. Mesures à la règle à moyenner sur 10 essais. Ajustement par une droite : on remonte à $f < f_s$.

Remarques :

- Le calcul qui est fait dans le TetD ne prend pas en compte la masse de la corde. Vu qu'il n'est pas du tout intuitif que la correction due à cette masse m' prend cette forme, il faut faire le calcul, ce qui n'est pas souhaitable le jour de l'oral. Je me suis rendu compte trop tard que la corde utilisée n'était pas assez légère, mais en prenant par exemple du fil de pêche, il n'y a plus aucun risque.
- Vous l'aurez compris on a pas mis de stick-slip dans ce montage. C'est le classique de l'ENS de Lyon qui est sorti chaque année et qui amuse bien le jury. Je vous dirais bien d'essayer, mais j'y ai passé un moment, et c'est pas très fiable. Ça peut se mettre à marcher des fois mais sans raison particulière.

2 La tension de surface

La création d'une interface délimitant deux phases fluides représente un coût énergétique qu'il convient de minimiser.

2.1 Mise en évidence

Très rapide, facultatif : On peut montrer le fil qui est tiré par le film de savon, ou des bulles qui sont sphériques.

2.2 Loi de Jurin

Expliquer la physique de la formule : on considère un liquide (éthanol) en contact avec une surface qu'il mouille bien comme il faut (du verre). En compensant le gain d'énergie surfacique du mouillage par l'énergie de pesanteur, on obtient la loi de Jurin

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

On veut la vérifier et en tirer une mesure de la tension superficielle.

Montée capillaire

⚡ GHP p60



Matériel : capillaires de différents diamètres, éthanol, webcam, ImageJ.

Manipuler vite : évaporation, impuretés...

Penser à mettre une longueur de référence sur la photo, veiller à ce qu'elle soit dans le même plan que les capillaires (parallaxe). La qualité de la photo n'est pas capitale, l'erreur est gouvernée par la taille du ménisque, 1mm.

Avec une poire, pomper le liquide pour le laisser redescendre ensuite (sinon il reste accroché aux impuretés de la paroi). Prendre une photo et la traiter devant le jury : $h = f(1/r)$ ajusté par une droite.

La masse volumique de l'éthanol dépend bien sûr de sa concentration, mais peut aussi légèrement augmenter après quelques semaines dans une pissette, à cause de l'eau qui s'y dissout. Le jour de l'oral, sa concentration sera probablement 95.6 %, ce qui est stupide car l'éthanol est un des rares produits qui soit plus cher dans ses proportions azéotropiques que pur, juste parce qu'il est alors considéré comme buvable, donc taxé par l'état. Nous crions au scandale. Mais moins fort que jflm.

2.3 Influence d'un tensio-actif

Nous présentons ici une méthode de tensiométrie dont le principe est utilisé même par des gens pour qui c'est vraiment important d'avoir un résultat précis (genre des industriels, mais avec de véritables balances d'arrachement plus sophistiquées).

C'est l'occasion d'étudier un autre phénomène interfacial intéressant : l'influence d'un tensio-actif sur la tension superficielle. Nous utilisons le SDS (un classique, c'est dans le placard produit de la collection, sous forme solide), et étudions la tension superficielle sur une plage de concentration en SDS variant de 0 à 5 g/L.

Comme le dit PGDG, l'allure de la courbe $\gamma(c)$ obtenue est complexe et dépend beaucoup du tensio-actif utilisé. En revanche, il est possible, même avec de la thermo basique, d'évaluer la concentration critique à partir de laquelle l'organisation micellaire du surfactant devient favorable. Au delà de cette concentration, les micelles grossissent et le surfactant ne s'accumule plus en solution, la tension de surface est donc constante.

Tensio-métrie par arrachement

⚡ GHP p62



Anneau de Nouy dans une des solutions de SDS, pendu à un dynamomètre. On baisse la solution avec le support boy, doucement et sans à-coups : on mesure $F_{\max} = mg + 2(2\pi R)\gamma$, puis mg lorsqu'on est sorti du fluide. Après moyenne sur 10 essais, on en déduit γ pour chaque concentration, et on trouve la concentration micellaire critique. La valeur tabulée est de 2.1 g/L.

Précautions :

Penser à étalonner, ou au minimum à vérifier le calibrage du dynamomètre. Celui que j'ai utilisé avait une constante de raideur de 0.99 au lieu de 1.00.

Bien nettoyer le récipient de la solution et l'anneau, il faut essayer d'être propre, ou du moins montrer qu'on tente de l'être. Il faut bien avoir en tête que la capillarité ça marche rarement et que tout le monde dira au jury "fatalement, ça s'est pollué, je ne pouvais pas réussir cette manip". Donc si jamais ça marche, en étant soigneux (et chanceux), c'est jackpot.

Evidemment, il ne faut pas se contenter d'une seule mesure. Profiter que ce soit rapide pour évaluer l'erreur statistique, même si on reste limité par la précision du dynamomètre.

3 Ondes et interfaces

Une interface, c'est aussi une discontinuité d'une grandeur quelconque, pouvant alors constituer une condition aux limites pour un phénomène propagatif. Les conditions aux limites conditionnent la propagation, il n'y a qu'à voir toutes les conséquences du guidage sur la structure de l'onde ! Mais on va se contenter de plus simple ici.

3.1 Un exemple de dioptré optique



La discontinuité de l'indice optique provoque la réfraction d'un rayon lumineux qui satisfait la loi de Descartes.

Mesure de l'angle de déviation

⚡



Un plan laser pénètre dans l'eau et est dévié : estimation rapide et grossière de l'indice optique $n = \sin(i_1)/\sin(i_2)$ (tabulé 1.33).

3.2 Ondes capillaro-gravitationnelles

La loi de Laplace donne la pression à la surface libre, donc la C.L nécessaire pour expliquer les ondes de surface. On a un effet de rappel capillaire qui s'ajoute à celui de la gravité.

Hypothèses : écoulement parfait, irrotationnel, faible amplitude eau profonde :

$$\omega^2 = gk + \frac{\gamma}{\rho}k^3$$



Cuve à ondes

⚡ GHP p329



Ondes excitées à la surface d'une nappe d'eau. Mesures de la longueur d'onde pour différentes fréquences (mesurées à l'oscillo). Attention au facteur de grandissement du système. Ajustement affine de $\omega^2/k = f(k^2)$.

Conclusion

Insister sur les applications dans la vie quotidienne et industrielle des deux premières sections du montage : ce sont des problématiques omniprésentes ! Par exemple si on dispose d'un anneau de du Nouy, et qu'on veut connaître, la concentration micellaire critique du SDS, hop, il n'y a plus qu'à.

À propos des ondes de surfaces, on peut ouvrir sur les instabilités hydrodynamiques car il y en a moult et qu'elles sont principalement motorisées par la compétition entre la capillarité et d'autres trucs. Souvent, la moitié de leur nom c'est "Rayleigh", et l'autre moitié permet de les différencier.

Commentaires et schéma du slip