

MP02 – SURFACES ET INTERFACES

14 mai 2019

Lagoïn Marc & Ramborghi Thomas

Commentaires du jury

- Le jury a vu de bons montages dans ce domaine. La notion d'hystérésis 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. De plus il faut être chaux sur la théorie notamment sur le bilan des forces sur l'expérience de la balance d'arrachement.
- Il faut préciser clairement l'interface étudié lorsqu'une expérience fait intervenir plus de 2 phases.
- Il faut faire attention à la propreté des surfaces étudiées pour ne pas sortir qu'elle est sale après manipulation et justifier ainsi un mauvais résultat.
- 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

✦ *Physique expérimentale*, **Jolidon** Voir page p472 pour la Loi de Jurin, page 466 pour la balance d'arrachement et page 503 pour les ondes gravito-capillaires en eaux profondes.

Les milieux granulaires, **B. Andreolli, Y. Forterre et O. Pouliquen** page 20 pour la théorie sur la friction solide.

Gouttes, bulles, perles et ondes **Pierre-Gilles de Gennes, F. Brochard-Wyart et D. Quéré** chapitre 1 pour un récap sur la capillarité, page 52 pour la loi de Jurin et le I du chapitre 3 page 69 pour les phénomènes hystérésis.

Expériences

- ☞ mesure des coefficients de frottement statique et dynamique de 2 solides en contact
- ☞ vérification de la loi de Jurin
- ☞ calcul de la tension de surface de l'eau avec une balance d'arrachement
- ☞ détermination de la relation de dispersion d'ondes capillaires à la surface d'un liquide

Table des matières

1	Contact entre deux solides : mesure des coefficients de frottement	2
1.1	Mesure du coefficient de frottement statique	3
1.2	Mesure du coefficient de frottement dynamique	3
2	Contact à trois phases : loi de Jurin	4
3	Mesure de la tension de surface : balance d'arrachement	4
4	Ondes capillaires à la surface d'un liquide :	4

Introduction

On s'intéresse ici à la manifestation de forces s'exerçant à une interface, c'est à dire à la surface entre deux phases distinctes. Ces phénomènes sont ultra-variés : mécanique du solide, électromagnétique et optique (loi de Snell-Descartes), mécanique des fluides,... et ultra-courantes dans la vie de tous les jours : les frottements solides nous permettent de marcher et à pour voiture de freiner, la tension de surface fait tomber la pluie en gouttes (des micro-gouttes s'agglomèrent pour diminuer leur tension de surface). Souvent, c'est l'occasion d'explorer des grands principes physiques énoncés il y a quelques siècles, mais surtout de présenter une loi macroscopique qui rend compte d'interactions microscopiques difficiles à modéliser.

Pour un système présentant plusieurs phases (deux liquides non miscibles, liquide/gaz, liquide/solide, etc.), la création d'interface a un coût énergétique.

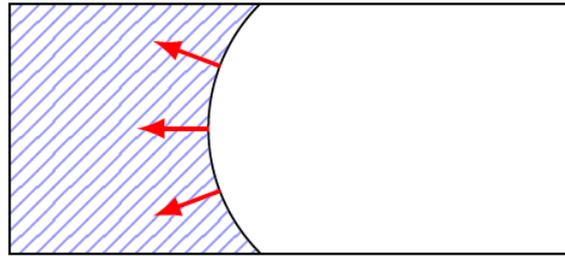


FIGURE 1 – Fil tendu par les forces de tension superficielle. Cette figure a été prise du poly de Jérémy Ferrand.



Fil tendu par les forces de tension superficielle



⊙ 30 secondes

Prendre un cadre rectangulaire ou circulaire d'environ 5 cm (boîte P105.15). Nouer un fil de part et d'autre du cadre, comme schématisé sur la 1. Tremper le rectangle en entier dans un béccher de liquide à bulles P76 (flacon liquide à bulles) : on forme deux films de savons. Percer l'un des deux films : le fil se tend de façon à minimiser l'aire du film de savon restant.

Transition :

Nous allons commencer notre études sur les surfaces et les interfaces par l'étude des frottements existant entre 2 solides. Cette force apparaissant dès lors que l'on essaye de mettre en mouvement un objet sur le sol fait partie de notre quotidien. L'homme dû vite trouver des moyens de réduire cette perte d'énergie irréversible ou au contraire en tirer profit.

1 Contact entre deux solides : mesure des coefficients de frottement

Nous allons mettre en évidence expérimentalement quelques aspects des lois d'Amontons-Coulomb. Celles-ci déterminent le comportement d'un patin glissant sur un substrat solide :

- Partant du repos, il faut exercer une force tangentielle $|\vec{T}|$ supérieur ou égale à $\mu_s |\vec{N}|$ pour mettre en mouvement le patin. $|\vec{N}|$ est la réaction normal à la surface de contact, μ_s est appelé coefficient de frottement statique et dépend de la nature des deux surfaces en contact. Tant que le patin est immobile, la réaction tangentielle est a priori indéterminée.
- Une fois le patin en mouvement, la norme de la force de frottement $|\vec{T}|$ est égale à $\mu_d |\vec{N}|$, où μ_d désigne le coefficient de frottement dynamique. La force de frottement est alors dirigée dans le sens opposé de la vitesse.

μ_d et μ_s ont des valeurs comprises typiquement entre 0,1 et 1 et $\mu_d \leq \mu_s$.

Nous allons commencer par vérifier les lois d'Amontons-Coulomb. Nous allons tirer avec un capteur de force sur un bloc de bois jusqu'à sa mise en mouvement. Le capteur délivre une tension U proportionnelle à la force F qu'il

applique telle que $F = kU$. On utilise le dispositif P82.14 qui permet de tracter à vitesse constante le bloc, tout en mesurant la force exercée sur celui-ci.

On utilise le bloc P82.10/3 (recouvert d'adhésif noir et d'une bande réfléchissante) que l'on fait glisser sur une feuille de papier pour assurer une meilleure homogénéité de la surface.

1.1 Mesure du coefficient de frottement statique

Pour mesurer le coefficient de frottement statique, on désire augmenter progressivement la force de traction grâce à un ressort que l'on va tendre progressivement. La force exercée sur le bloc croît alors progressivement jusqu'à sa mise en mouvement. L'expérience est représentée en figure 2.

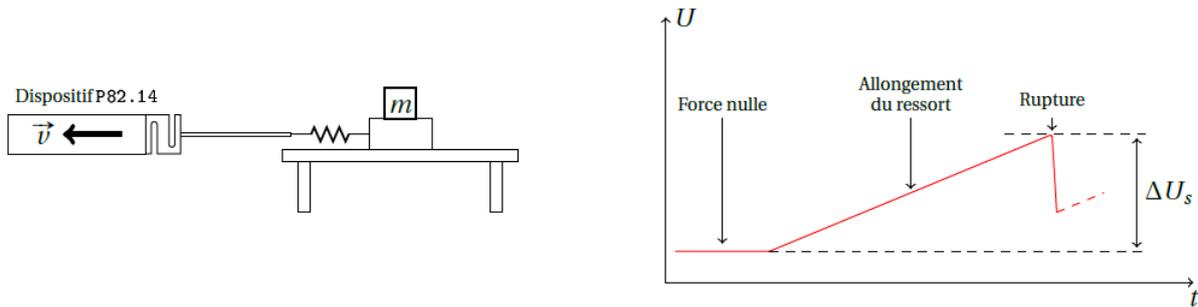


FIGURE 2 – À gauche, schéma de l'expérience de mesure de coefficient statique. À droite, allure de la courbe obtenue. Ces figures sont prises du poly de Jérémy Ferrand (comme le texte d'ailleurs).

Mesure du coefficient de frottement statique



⊖ 3 min

Scotcher sur une cale en bois P25 une feuille de papier. Peser le patin P82.10/3 de masse m_{Ab} . Relier le patin par un ressort (même sachet) au dispositif P82.14. Alimenter le moteur avec un module Hameg P28.1. On choisira pour commencer une tension proche de 1 V. Un interrupteur permet de changer le sens de rotation du moteur.

Mettre en route le moteur de façon à tendre le ressort et observer à l'oscilloscope en mode Défilement la tension U délivrée par le boîtier de conditionnement (en jaune et rouge). La forme du signal observé est représentée sur la figure 2 à droite. On en déduit une différence de tension ΔU_s correspondant à la rupture du contact.

Pour différentes masselottes de masse m entre 0 et 200 g posées sur le bloc, mesurer ΔU_s à l'aide des curseurs de l'oscilloscope. Tracer $F_s = k \Delta U_s$ en fonction de $N = (m + m_g)$ et réaliser une régression linéaire.

k désigne le coefficient d'étalonnage du capteur de force : il est inscrit sur le boîtier. En déduire le coefficient de frottement statique μ_s qui correspond au coefficient directeur de la droite.

1.2 Mesure du coefficient de frottement dynamique

Pour mesurer le coefficient de frottement dynamique, on mesure la force exercée sur le bloc pour le tracter à vitesse constante. L'expérience est représentée en figure 3 à gauche.

Mesure du coefficient de frottement dynamique



⊖ 3 min

Relier le bloc de bois directement au dispositif P82.14. On pourra choisir une tension d'alimentation du moteur de 4 V. Mettre en route le moteur de façon à tirer le bloc et observer à l'oscilloscope en mode Défilement la tension U délivrée par le boîtier de conditionnement.

La forme du signal observé est représentée sur la figure 3 à droite. On en déduit une différence de tension ΔU_d

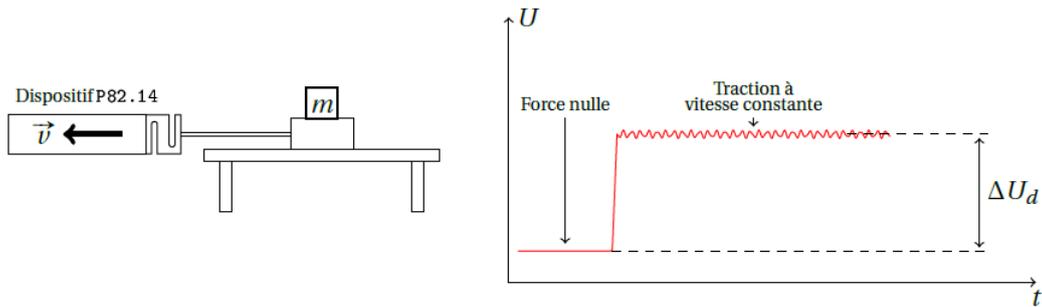


FIGURE 3 – À gauche, schéma de l'expérience de mesure de coefficient dynamique. À droite, allure de la courbe obtenue. Ces figures sont prises du poly de Jérémy Ferrand (comme le texte d'ailleurs).

correspondant à la force de frottement dynamique.

Pour différentes masselotte de masse m entre 0 et 200 g posées sur le bloc de bois, mesurer ΔU_d à l'aide des curseurs à l'oscilloscope. Évaluer la dispersion des mesures. Tracer $F_d = k \Delta U_d$ en fonction de $N = (m + m_g)$ et réaliser une régression linéaire.

En déduire le coefficient de frottements dynamique μ_d qui correspond au coefficient directeur de la droite.

Transition :

Après avoir vérifié une loi importante en mécanique du solide, nous allons nous intéresser à un tout autre domaine : celui de la capillarité. Nous allons voir avec une expérience visuelle, une nouvelle manifestation de la tension de surface à travers sa mise en compétition avec la gravité.

2 Contact à trois phases : loi de Jurin

Cette expérience est très bien décrite dans le Jolidon p472 et nous la recopierons pas ici inutilement !

NB : je pense qu'il ne faut pas remonter à la valeur de la tension de surface qui fait déjà l'objet de la partie suivante. On peut se contenter de montrer que la loi de Jurin est bien vérifiée dans notre montage.

Transition :

Nous allons maintenant montrer une expérience permettant de mesurer la tension de surface à l'aide d'un montage simple encore utilisé de nos jours.

3 Mesure de la tension de surface : balance d'arrachement

Cette expérience est également bien décrite dans le Jolidon p466 et nous la recopierons pas ici inutilement !

Transition :

Nous allons finir en étudiant un type d'onde particulier dont la propagation dans un milieu, donné par la relation de dispersion, est en partie caractérisé par la capillarité.

4 Ondes capillaires à la surface d'un liquide :

Cette expérience est de nouveau bien décrite dans le Jolidon p503 et nous la recopierons pas ici inutilement !

conclusion

Au cours de ce montage, nous avons étudié le contact entre 2 solides dont la dynamique et le cas statique diffère en raison d'un enclage au points de contact. Nous avons pu déterminer à partir de quelle force un solide pouvait être mis en mouvement et quelle force il fallait pour entretenir se mouvement.

Puis notre étude s'est penchée sur la tension de surface que nous avons mise en compétition avec d'autre forces, nous permettant ainsi d'estimer sa valeur. Se faisant nous montrions par la même occasion qu'il s'agit bien d'un cout énergétique.

Enfin, nous avons vu un type particulier d'onde dont la caractérisation nécessite l'introduction de la capillarité.

La notion de mouillage rencontré aujourd'hui est le sujet de nombreuses recherches. Nous pouvons notamment parler des surfaces superhydrophobes qui permettraient la création de structure autonettoyante sur des immeubles ou le part-brise de nos voiture. Il nous faudra pour cela étudier l'angle de contact prise par une goutte d'eau positionner sur une structure solide.

NB : Voir le livre Gouttes, bulles, perles et ondes page 23 pour un récap sur le mouillage au besoin qui les questions éventuelles.

Annexes

Limites de la validité de la loi de Jurin (Wikipédia)

- Rayon du tube et longueur capillaire :

Dans la limite d'un tube très large, un ménisque se forme sur tout le périmètre intérieur (et extérieur) du tube. Hormis dans ce ménisque, la surface du liquide est plane et horizontale presque partout à l'intérieur du tube. Cette surface intérieure plane est au même niveau que la surface du liquide à l'extérieur du tube. Autrement dit, le liquide ne monte pas dans le tube.

Cette situation se produit lorsque la largeur du ménisque est très inférieure au rayon du tube. Or, la largeur d'un ménisque est de l'ordre de la longueur capillaire, qui vaut $l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$. Ainsi, la loi de Jurin est valide uniquement si :

$$r \ll \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}} \quad (1)$$

- Forme sphérique du ménisque :

Dans un tube circulaire, le ménisque est de forme sphérique uniquement si sa courbure est partout la même. Or, selon la loi de Laplace-Young, cela signifie que la différence de pression entre l'air et le liquide est partout la même. L'air étant beaucoup moins dense que le liquide, cela signifie plus précisément que la pression dans le liquide immédiatement sous la surface du ménisque est partout la même.

Cela n'est évidemment pas rigoureusement le cas puisque le bord du ménisque (autrement dit la ligne triple) est situé à une distance δ au-dessus du centre du ménisque, donnée par :

$$\delta = R(1 - \sin \theta) = r, \frac{1 - \sin \theta}{\cos \theta} \quad (2)$$

La courbure peut être considérée comme constante si cette différence de hauteur δ est négligeable devant la différence de hauteur avec la surface à l'extérieur de tube, autrement dit si l'on a :

$$\delta \ll h \quad (3)$$

Autrement dit :

$$r \ll \frac{\cos \theta}{\sqrt{1 - \sin \theta}} \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}} \quad (4)$$

- Forme du tube et inclinaison :

Si le tube n'est pas circulaire ou s'il est penché, la surface du ménisque n'a plus la symétrie de révolution. La loi de Laplace-Young demeure valide mais permet alors seulement d'exprimer la courbure totale de la surface en chaque point du ménisque. La forme exacte du ménisque doit alors être calculée entièrement, en tenant compte des conditions de raccordement à la paroi du tube.

Limites des lois de frottements de Coulomb (Les milieux granulaire p 23)

- lorsque la charge normal est trop importante :

La proportionnalité entre la force de frottement et la charge normal n'est plus vérifiée lorsque cette dernière prend des valeurs trop élevées. Dans ce cas la force de friction sature vers une valeur constante. Dans ce cas, la rugosité de la surface est alors totalement écrasée. L'aire réelle de contact est donc égale à l'air apparente et ne dépend donc plus de la charge.

- lorsque nous considérons que les coefficient μ_s et μ_d sont des constantes.

Les phénomènes comme le vieillissement statique (augmentation de μ_s avec l'âge du contact) ou l'affaiblissement cinétique (diminution de μ_d avec la vitesse de glissement) sont observés et viennent à l'encontre de cette hypothèse.