Tanguy Fardet, Quentin Ficheux

MP 02 – Surfaces et interfaces

27 février 2014

"You went up to the surface again, didn't you ? *Didn't you ? !*"
Triton, *The Little Mermaid*.

Table des matières

Introduction 3

1 Interfaces solides/solides : expériences sur les frottements 3
1.1 Mise en évidence des coefficients de frottement . . . 3
1.2 Le phénomène de Stick-Slip . . . 5

2 Un exemple de dioptre : le film de savon 5

3 Mesures de tension de surface 7
3.1 Mesure par stalagmométrie . . . 7
3.2 Loi de Young et mouillage . . . 7

4 Cuve à onde 9

Conclusion 9

Références

[1] C. More, D. Augier, *Physique MP-MP**, Tec&Doc
[2] L. Quaranta, *Mécanique*, Pierron
[3] P.-G. de Gennes, *Gouttes, bulles, perles et ondes*, Belin.
[4] E. Guyon, J.-P. Hulin, L. Petit *Hydrodynamique Physique*, EDP Sciences.

Commentaires extraits des rapports de jury

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

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.

2011, 2012 : La tension superficielle (intitulé 2010) n'est pas le seul phénomène de surface pouvant être mis en évidence.

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. L'intitulé devient « phénomènes de surface » en 2011. Le jury espère ainsi augmenter la variété des expériences possibles.

Jusqu'en 2009, le titre était : *Tension superficielle.*

2007, 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. L'utilisation d'une webcam pour la loi de Jurin donne de meilleurs résultats qu'une projection à l'aide d'une lentille. Les mesures nécessitent de se placer en régime statique.

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

2000 : Les modes à la surface libre d'un liquide sont rarement évoqués.

1999 : La notion de longueur capillaire semble inconnue à la plupart des candidats. De simples considérations dimensionnelles permettent d'en retrouver l'expression.

1997 : Dans le montage sur la tension superficielle, il est dommage de se limiter à des mesures en régime statique. peut élargir l'étude à la propagation des ondes de surface (relation de dispersion, atténuation).

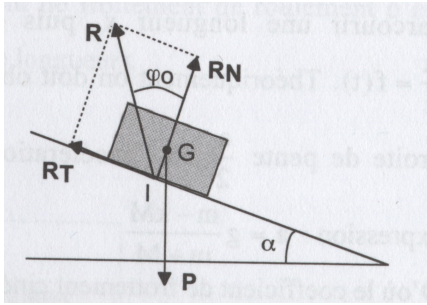
Introduction

Assez souvent et au moins en thermodynamique on néglige les phénomènes de surface devant le reste du le volume de l'objet (quantité de matière beaucoup plus importante), pourtant ils jouent souvent un rôle primordial dans les problèmes ondulatoires (conditions aux limites), de mécanique (dissipation quand on se frotte les mains), de tension superficielle (qui expliquent la forme des gouttes de pluie).

1 Interfaces solides/solides : expériences sur les frottements

1.1 Mise en évidence des coefficients de frottement

Manip 1 [Quaranta Méca] : On incline un plan sur lequel repose des solides (surface en bois, en feutrine, en métal) à l'aide d'un support boy. On évalue l'angle critique à partir duquel le mobile se met à glisser. On peut noter que une fois que le solide démarre, il accélère, ce qui corrobore l'existence de deux coefficients de frottement de valeur très proche : le coefficient de frottement dynamique qui est plus petit que le coefficient de frottement statique. Il y discontinuité de l'accélération au démarrage selon les lois d'Amontons Coulomb. On peut donner un ordre de grandeur en évaluant l'angle, ce qui permet de remonter au coefficient de frottement qui dépend beaucoup de la nature de la surface de contact.



Matériau	Coefficient de glissement
chêne sur chêne	$0,3$ à $0,5$
métal sur métal	$0,2$
bois sur métal	$0,2$ à $0,6$

Transition : Après avoir mis en évidence l'existence de différents coefficients de frottement qui dépendent des surfaces, on va s'attacher à réaliser une mesure quantitative des coefficients de frottement sur un phénomène de la vie de tous les jours, le stick-slip.

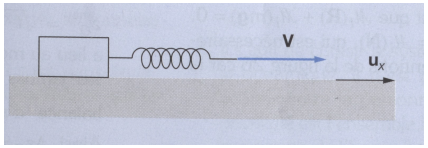
1.2 Le phénomène de Stick-Slip

Manip 2 [Tec&Doc] MP pp. 101, 108 : Il faut commencer par étalonner le ressort (en s'en servant comme dynamomètre), on en déduit sa longueur à vide et sa raideur

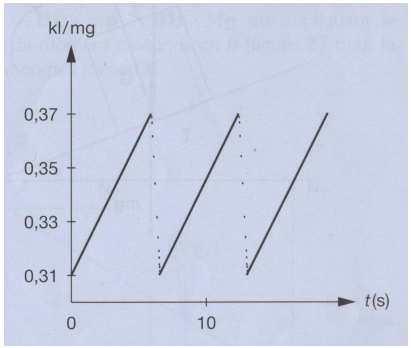
$$l_0 = (... \pm ...)m$$

$$k = (... \pm ...)N/m$$

On mesure la masse du solide $m = ... \pm ...g$.



On utilise ensuite une table traçante pour faire dérouler un papier millimétré à vitesse constante qui entraîne le solide. Il faut lester le papier avec une barre métallique et s'assurer que le papier est bien orienté dans la direction de déroulement pour éviter son décalage ultérieur. Il faut ensuite repérer la position du mobile grâce à VidéoCom fixé sur une potence que l'on doit étalonner en distance réelle via le logiciel.



L'élongation du ressort à la fin de la phase de stick est donné par

$$l_1 = \frac{f_s mg}{k} = ... \pm ...m$$

D'où $f_s = ... \pm ....$

A la fin d'une phase slip, on a

$$l_2 = \frac{2f_d - f_s}{k} mg = ... \pm ...m$$

D'où

$$f_s = ... \pm ...$$

.

Evaluation des incertitudes : On applique la formule de propagation des erreurs

$$\frac{\sigma f_s}{f_s} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2}$$

Il s'avère que l'incertitude prépondérante vient de la mesure de la raideur du ressort.

On prendra bien garde que avant de lancer la table traçante, le ressort doit être à sa longueur au repos qui est connue.

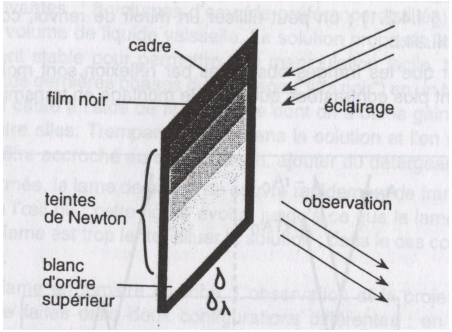
Applications : Le stick-slip permet d'expliquer le mouvement d'un archet sur une corde de violon, le grincement des gonds d'une porte, le crissement d'une craie sur un tableau (manip optionnelle), le crissement des pneus au démarrage d'une voiture, ...

Transition : On vient de voir des expériences qui mettent en évidence ce qui a lieu à des interfaces solides/solides mais on traite aussi des problèmes d'interfaces dans l'étude des phénomènes ondulatoire (loi de Descartes pour la lumière) et on sait que l'on peut voir de jolies couleur lorsque l'on regarde une bulle de savon, d'où l'étude de la prochaine interface.

2 Un exemple de dioptre : le film de savon

Manip 3 [Sextant p.155] : On mélange du liquide à bulle avec du glycerol dans les bonnes proportions (cf sextant) pour pouvoir créer un film de savon d'une espérance de vie suffisante sur un anneau métallique. On éclaire l'anneau à l'aide d'une lampe quartz-iode et on projette en réflexion les interférences localisées sur le film à l'aide d'une lentille (l'image est donc à l'envers). Les interférences sont aussi visibles en transmission mais elles sont beaucoup moins contrastées.

Le liquide dans le film circule sous l'effet de la pesanteur et ce dernier constitue donc un « coin d'air »d'épaisseur variable au cours du temps. Etant donné la faible valeur du coefficient de réflexion d'une interface liquide/air, il s'agit bien d'interférence à 2 ondes comme pour un Michelson et le film de savon ne constitue pas un Fabry-Perot (infinité d'ondes).



Lorsque la différence de marche est importante (film épais), malgré l'extinction de nombre longueur d'ondes, il reste suffisamment de composante des trois couleurs fondamentales pour que l'impression visuelle soit identique au blanc de la lumière incidente : il s'agit d'un blanc d'ordre supérieur. Pour des valeurs de $\delta \sim p\lambda$ de l'ordre du micromètre, on observe des interférences à 2 ondes en lumière blanche, il s'agit des teintes de Newton à centre noir. Pour des valeurs de $\delta \ll \frac{\lambda}{2}$, on observe un film noir qui correspond aux interférences destructives entre deux ondes dont une à subit une réflexion sur un milieu plus réfringent (déphasage de π). L'épaisseur du film est alors inférieure à $40nm$.

Transition : On peut maintenant se demander qu'est-ce qui fait tenir le film de savon à la verticale ? C'est le phénomène de tension de surface, que nous allons étudier maintenant.

3 Mesures de tension de surface

3.1 Mesure par stalagmométrie

On peut commencer par calculer un ordre de grandeur de la tension superficielle :

$$\gamma \sim \frac{E_{liaison}}{a^2} \sim ...$$

La stalagmométrie est la mesure de la tension superficielle d'un liquide par la mesure du nombre de goutte correspondant à un volume donné.

Manip 4 [cf PGDG] : On forme des gouttes à l'aide d'une burette qui tombent sous l'action de la pesanteur dans un bécher posé sur une balance préalablement étalonnée. Chaque goutte qui tombe coupe le faisceau d'un système diode/photodiode (ceux utilisés pour la chute libre) relié à un compteur. Pour que la formule soit valable, il faut faire attention à ce que les gouttes se forment lentement (une goutte toute les $5s$ pas plus).

On utilise la formule suivante avec R_g le rayon de la goutte $\alpha \sim 0,6$ (valeur exacte déterminée numériquement à 1% près, R le rayon intérieur du compte goutte (ici la burette)

$$R_g^3 = \frac{3}{2\alpha}\frac{\gamma R}{\rho g}$$

Ce qui nous permet d'écrire avec N le nombre de gouttes et m la masse de liquide que l'on a fait goutter

$$\frac{\gamma(eau)\rho(ethanol)}{\gamma(ethanol)\rho(eau)} = \frac{R_g^3(eau)}{R_g^3(ethanol)} = \frac{m(eau)N(ethanol)}{N(eau)m(ethanol)}$$

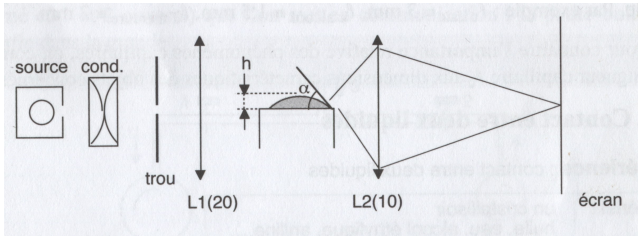
On mesure pour l'eau

$$\gamma = ... \pm ...mN/m$$

Liquide	$\gamma(mN/m)$
Éthanol	23
Acétone	24
Glycérol	63
Eau	72

3.2 Loi de Young et mouillage

Manip 5 [Quaranta] : On dispose d'eau et d'éthanol. On fait tomber une petite goutte sur une surface de métal et une surface de Teflon, on définit les notions de mouillage partiel, mouillage total et absence de mouillage. Il est convenable de projeter la surface sur un écran à l'aide d'une lentille pour pouvoir déterminer l'angle de mouillage d'une liquide sur une surface. En calculant l'ordre de grandeur du grandissement d'une lentille, on peut obtenir un ordre de grandeur de la longueur capillaire du fluide (hauteur d'une grosse goutte).



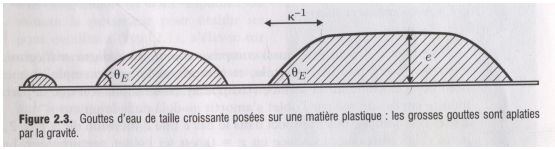


Figure 2.3. Gouttes d'eau de taille croissante posées sur une matière plastique : les grosses gouttes sont aplaties par la gravité.

On peut aussi évaluer différents coefficient de capillarité grâce à la loi de Young-Dupré (bilan de force sur un poids de contact de la ligne triple)

$$\gamma(air/liquide)cos(\theta) = \gamma(solide/air) - \gamma(solide/liquide)$$

Pour $\theta < \frac{\pi}{2}$, on dit que le liquide est plutôt mouillant sur le substrat, pour $\theta > \frac{\pi}{2}$ on dit que le liquide est plutôt non mouillant sur le substrat.

On met de l'eau sur des spores de lycopodes, on observe une absence totale de mouillage et que la « boule d'eau »se recouvre de spores.

Bilan : Les propriétés de mouillage sont très importante dans l'industrie : comment faire tenir un insecticide sur des feuilles sans qu'il tombe par terre et pollue le sol inutilement ? Comment éviter les instabilités de Rayleigh-Plateau sur un plafond que l'on vient de peindre ?

Autre exemples bonus : Ensimage des fibres textiles, de verre ou de carbone, gouttes d'eau sur les toiles d'araignées, dépôt de mascara, zones sèches de démouillages sur la peau lorsque l'on sort de la douche, gouttes qui accrochent, roules ou « en escargot »à la surface d'un pare-brise (les industriels optimisent l'angle du pare-brise pour améliorer l'évacuation de l'eau), mouillages total des milieux granulaires par un liquide partiellement mouillant, minimisation du démouillage des fongicides sur les feuilles, maximisation de la création de mousse d'un champooing, diminution des bulles dans un lave-vaisselle, ...

Transition : La capillarité intervient dans les ondes de surface. Par exemple lorsque l'on lance un caillou dans l'eau, on voit des ondes de surface se propager, on va essayer de caractériser ces ondes dans la prochaine expérience.

4 Cuve à onde

Manip 6 [cf Guyon] : On dispose d'une cuve contenant une faible épaisseur d'eau. Un pot vibrant relié à un râteau créé des ondes de surface dans la cuve. Un stroboscope projette l'image de ces ondes sur un verre dépoli grâce à un miroir orienté à $\frac{\pi}{4}$. Pour mesurer une longueur d'onde, on stabilise les ondes grâce au stroboscope puis on mesure à la règle sans oublier le facteur de grandissement $\sim 1,7$ de la cuve à onde.

Dans le problème deux interfaces interviennent, l'interface air/eau est caractérisée par la longueur capillaire du liquide et l'interface solide/liquide qui intervient via l'épaisseur h d'eau.

Courbe de la vitesse en fonction de k du guyon hulin petit.

Pour une onde plane de pulsation ω se propageant à la surface d'une couche de liquide d'épaisseur h, de masse volumique ρ et de tension superficielle γ, la vitesse c vérifie :

$$c^2 = \frac{g}{k} tanh(kh) \left(1 + \frac{\gamma k^2}{\rho g}\right)$$

Dans le domaine des ondes capillaires, $kl_c \gg 1$ donc $c \simeq \sqrt{\frac{\gamma k}{\rho}}$.

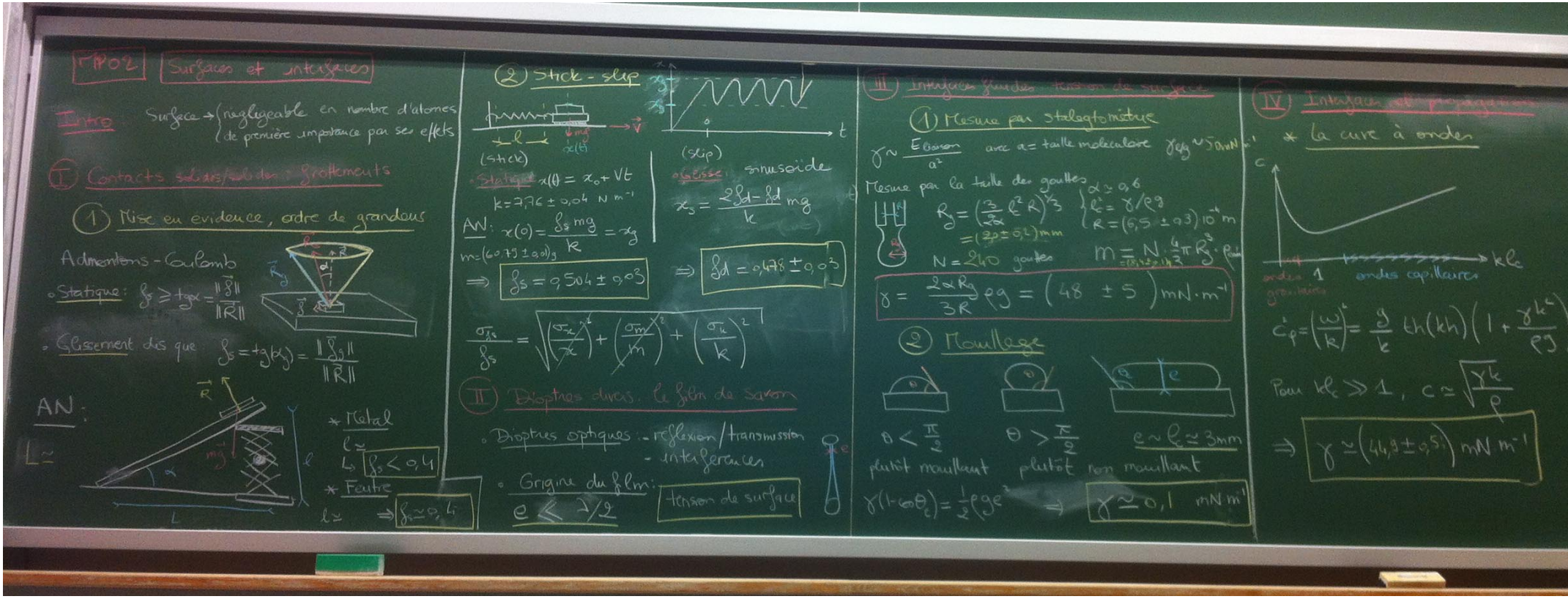
En traçant c en fonction de $\sqrt{k}$, on trouve

$$\gamma = ... \pm ...mN/m$$

On retrouve une valeur de la tension superficielle inférieure à celle théorique de $72mN/m$ pour de l'eau pure. Cela est du à la présence d'impureté dans l'eau et le fait que l'eau se salit si facilement est causé par la grande valeur de la tension superficielle de l'eau qui diminue son énergie de surface en piégeant les impuretés et donc sa tension de surface.

Conclusion

On a pu voir à travers ce montage l'importance des phénomènes de surface (frottement, dioptre, conditions aux limites). Ces phénomènes deviennent prépondérants pour les systèmes pour lesquels la quantité de matière à l'interface n'est plus négligeable devant la quantité de matière du système (Catalyseurs en surface) ou en matière condensée avec l'apparition des domaines de Weiss qui coutent une certaine énergie par unité de surface.

Proposition de tableau

Il s'agit d'une variable aléatoire dépendant autant du taux d'humidité de l'air que du cours du Dollar Canadien ... désolé pour les écarts entre ce que l'on a préparé et ce que Tanguy présentera effectivement.