

MP 02 : Phénomènes de surface

VAILLANT Timothée
GHERSON David

Bibliographie :

- Physique Cont-m-ou PC-PC* [A]
- Écoules, bulles, tubes et ondes, [23]
- P-6 de Gennes [33]
- Gervais I
- Hydrodynamique fluide, [43]
- Exercices, Rubin, Paris

Rapports des jurys

[2012, 2011] "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."

[2009] "Ce montage est choisi par de nombreux candidats et donne lieu, le plus souvent, à des prestations décevantes lorsque les candidats ignorent la difficulté des mesures de tension superficielle³."

[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."

[2007] "Si le candidat souhaite utiliser une balance d'arrachement, il est invité à en choisir une dont il maîtrise le fonctionnement. L'utilisation d'une webcam pour la loi de Jurin donne de meilleurs résultats qu'une projection à l'aide d'une lentille."

[2006] "Ce sujet, souvent choisi, cette année a été réussi de manière inégale. Il demande un soin expérimental tout particulier. Les mesures nécessitent de se placer en régime statique."

[2005] "Dans la détermination de tensions superficielles par arrachement, une meilleure maîtrise du protocole de mesure permettrait une discussion des incertitudes."

[2000] "Les modes à la surface libre d'un liquide sont rarement évoqués⁴."

[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

On peut observer de nombreux phénomènes de surface dans la vie quotidienne, mais sont-ils tous de même nature?

Lorsqu'on pose une armoire, il est difficile de la mettre en mouvement, mais lorsqu'elle commence à glisser, il peut paraître même d'inertie pour la déplacer.

→ frottements entre 2 solides

Lorsqu'on trempe un papier dans l'eau, on observe que l'eau monte sur le papier et imprègne des zones pourtant non immergées.

→ tension superficielle

Lorsque l'on sort de la douche, on sèche par évaporation mais il se peut aussi que des zones sèches paraissent et disparaissent sur la peau

→ maillillage

Dans ce montage, nous allons illustrer et quantifier ces trois phénomènes.

Frottements entre deux solides

Les frottements entre solides sont régis par les lois de Coulomb. Soient un solide Σ_1 et un solide

Σ_2 .

Lorsque Σ_1 ne glisse pas sur Σ_2 , on a

$$\|\vec{T}\| \leq \mu_s \|\vec{N}\| \quad \text{où } \mu_s \text{ est le coefficient de frottement statique}$$

Lorsque Σ_1 glisse sur Σ_2 : $\|\vec{T}\| = \mu_d \|\vec{N}\|$

où μ_d est le coefficient de frottement dynamique.

μ_d et μ_s sont différents.

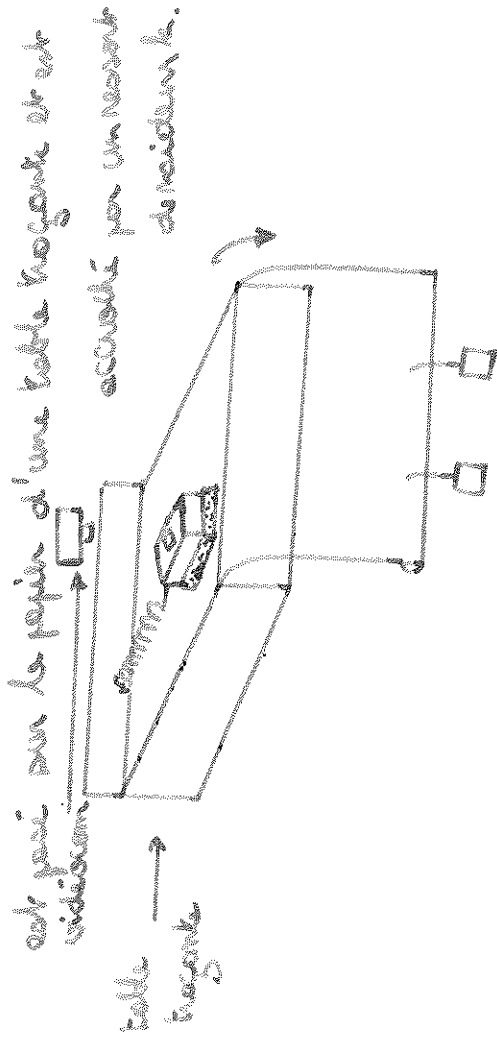
expériences 1: mobile sur plan incliné

On met en évidence que la mobile glisse pour un angle $\alpha_s = \arctan(\mu_s)$ et ne glisse

plus pour un angle $\alpha_d = \arctan(\mu_d) \leq \alpha_s$.

On met maintenant plus précisément μ_s et μ_d pour la monnaie qui glisse sur le papier (où μ_s et μ_d sont suffisamment différents) à l'aide du montage suivant.

expérience 2: mouvement "free-glass" ([1] p 983)
 Un bloc de masse M avec un morceau de masse m

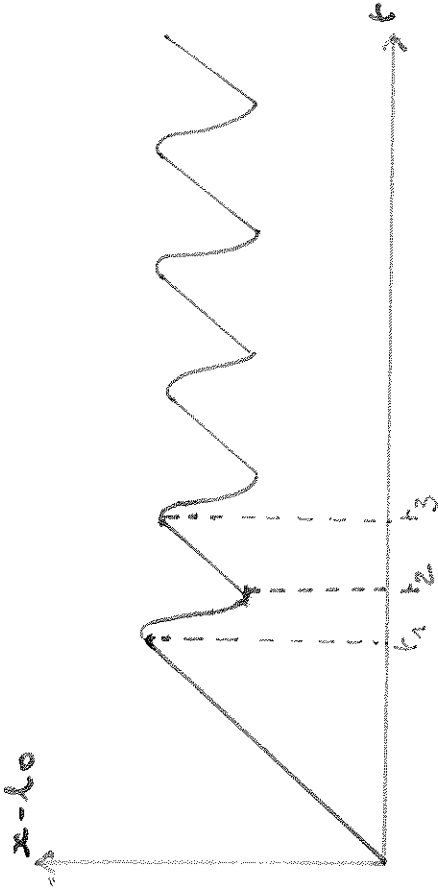


lorsque l'on déplace le papier de la table horizontale, le bloc est entraîné par le papier jusqu'à ce que la force exercée par le ressort soit supérieure aux frottements statiques. La masse est alors entraînée par le ressort et peut glisser sur le papier jusqu'à un moment où la tension exercée par le ressort devient inférieure aux frottements dynamiques. La masse est alors immobile par rapport au papier et ne glisse plus. On retrouve donc dans cette configuration

résultante et ainsi de suite. On obtient donc un mouvement périodique sinusoïdal.

L'évolution en fonction du temps de la position x de la masse par rapport à la longueur l_0 à vide du ressort peut être représentée à l'aide d'une fonction périodique telle que le bloc se déplace par la même et la longueur variable.

On obtient donc la courbe suivante:



On peut exprimer t_1, t_2, t_3 en fonction des coefficients de frottements statique et dynamique:

$$t_1 = \frac{Mg}{k}$$

$$t_3 - t_2 = 2 \left(\mu_s - \mu_d \right) \frac{Mg}{k}$$

Le temps entre t_2 et t_1 correspond à une demi-période d'oscillation de la masse d'où: $t_2 - t_1 = \pi \sqrt{\frac{M}{k}}$

Le mouvement se décompose en deux parties

à l'intérieur d'une période :

- le collage : $x - x_0$ est linéaire en suite rapport à la vitesse v

- le glissement : $x - x_0$ est sinusoidal à la

relation $\sqrt{\frac{k}{m}}$

On pose la valeur initiale à la longueur à vide du ressort $x_0 = (6,7 \pm 0,1) \text{ cm}$

On peut mesurer la constante de raideur du ressort en lui accrochant différentes masses.

On trouve : $k = (6,3 \pm 0,3) \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$

On peut mesurer la vitesse de déplacement

du papier : $v = (\quad) \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

On peut mesurer la masse du bloc

$m = (59,86 \pm 0,01) \text{ g}$

On mesure $t_1 = (\quad) \text{ s}$

$t_3 = (\quad) \text{ s}$

d'où $\mu_s = \frac{t_1 k v}{m g}$

$$\frac{\Delta \mu_s}{\mu_s} = \sqrt{\left(\frac{\Delta t_1}{t_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2}$$

$\mu_s =$

$$t_3 - t_1 = 2 \left(\mu_s \cdot m g \right) \frac{m g}{k v} - \pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\mu_d = \mu_s - \frac{1}{2} \left(t_3 - t_1 + \pi \sqrt{\frac{m}{k}} \right) \frac{k v}{m g}$$

$T = t_3 - t_1 =$ période des oscillations.

Pour améliorer la précision, on mesure plusieurs périodes.

On trouve $T =$

$$\text{d'où } \mu_d = \mu_s - \frac{1}{2} \left(T + \pi \sqrt{\frac{m}{k}} \right) \frac{k v}{m g}$$

$\mu_d =$

Le mouvement n'est pas toujours périodique, car le coefficient de frottement de la mesure sur le papier n'est pas toujours bien défini.

II La capillarité

La capillarité est un phénomène de surface que l'on rencontre tous les jours et qui est notamment responsable de la formation des gouttes.

Elle peut s'expliquer simplement: en air et un liquide, les molécules s'attirent d'intensité égale et s'équilibrent. Mais, les molécules à la surface ne peuvent pas s'attirer de toutes les directions. Ainsi, les molécules à la surface tendent à se rapprocher les unes des autres pour former une surface de contact avec l'air et le liquide soit minimale.

On peut exprimer le travail nécessaire pour augmenter la surface entre l'air et un liquide de dA :

$$\delta W = \gamma dA \quad \text{où } \gamma \text{ est la tension superficielle.}$$

On peut aussi exprimer la tension superficielle entre un solide et un liquide et entre un solide et l'air:

expérience 3: support milligramme dans l'eau savonneuse.

→ La surface du liquide prend une forme de fr à cheval pour limiter la tension superficielle.

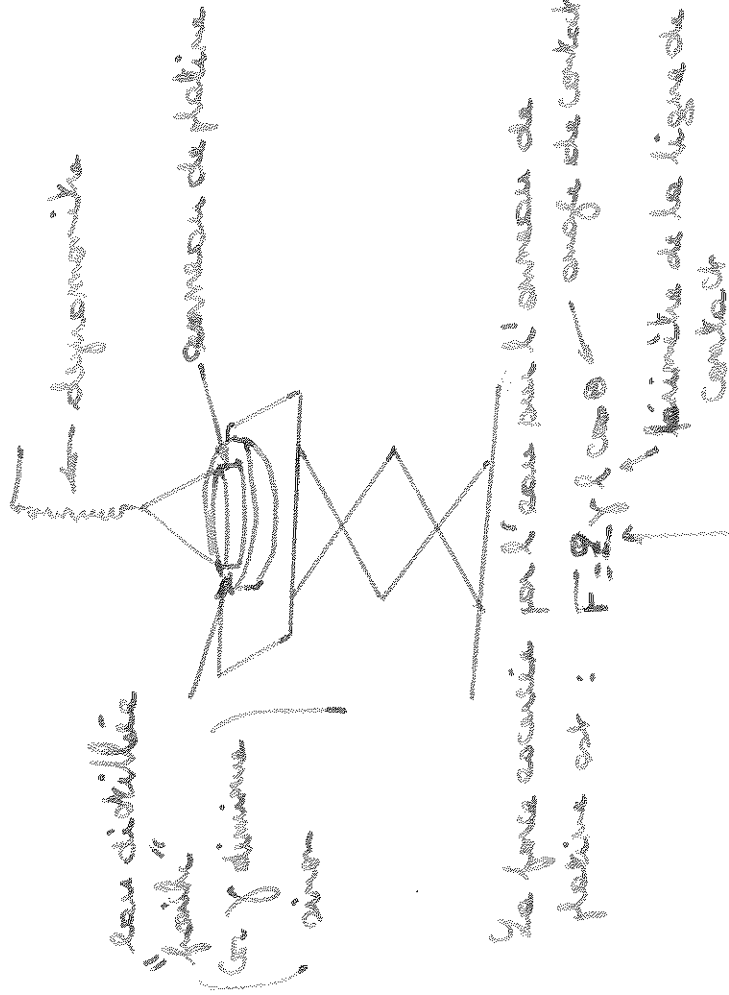
On peut aussi exprimer la capillarité sous la forme d'une force:

$$F = \gamma L$$

où L la longueur du film que l'on cherche à étirer.

Pour mesurer cette force et remonter à la tension superficielle nous allons procéder à plusieurs expériences.

expérience 4: méthode de Wilhelmy avec une balance d'oscillement ([2] p 63)



En utilisant le platine en solide de haute énergie qui peut être facilement mouillé, on a donc θ faible.

Pour avoir $\theta = 0$, on travaille à l'équilibre.

En baissant lentement le support élastique pour éviter toute contribution dynamique, la force passe par un maximum qui correspond au moment où la force capillaire est dirigée selon la verticale.

La force exercée par le ressort est donc égale au poids + tension superficielle $\times$ pour être lus sur la dynamomètre.

On mesure le poids car l'anneau n'est immergé, puis la force.

$$P = (\quad) \quad N \quad \text{et} \quad F = (\quad) \quad N$$

$$\text{d'où} \quad F_{\gamma} = F - P =$$

$l = \pi d$ avec $d =$ diamètre de l'anneau

$$d = (6,2 \pm 0,1) \text{ cm}$$

$$\text{d'où} \quad \gamma = \frac{F_{\gamma}}{2 \cdot \pi d}$$

$$\frac{P_{\gamma}}{\gamma} = \sqrt{\left(\frac{P_{\gamma}}{F_{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{A d}{d}\right)^2}$$

$$\gamma = \gamma_{\text{distillée}} \approx 20^{\circ} \text{C} = 72 \text{ mN/m}$$

Né pas oublier de vérifier la ligne du dynamomètre et de noter l'anneau à l'échelle.

On peut aussi mesurer la tension superficielle d'autres liquides comme l'ithand.

En préparation $\gamma_{\text{ithand}} = (26 \pm 3) \text{ mN.m}^{-1}$

L'incertitude est supérieure à 10%.

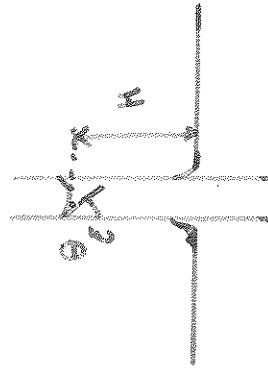
La balance d'équilibre est peu adaptée pour des liquides à faible γ .

On va utiliser donc un autre phénomène la méthode capillaire, phénomène analogue à celui du papier dans l'eau

expérience 5: (C23 p 50, C33 p 48)

On dispose d'une série de fines capillaires.

La montée vérifie la loi de Jurin



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

On fait monter puis redescendre l'ithand dans les tubes, on a alors $\theta = 0$ approximativement.

$$\ln h = \ln \left(\frac{1}{R} \right) = -\ln R + \ln 1$$

$$a =$$

$$b =$$

$$\gamma = \frac{\rho g a}{2} \quad \frac{\Delta \gamma}{\gamma} = \frac{\Delta a}{a}$$

$$\gamma_{\text{ithand}} = 0,7823 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3} (\text{voir handbook})$$

$$\text{d'où } \gamma_{\text{ithand}} =$$

$$\gamma_{\text{ithand}} = 26 \text{ mN.m}^{-2}$$

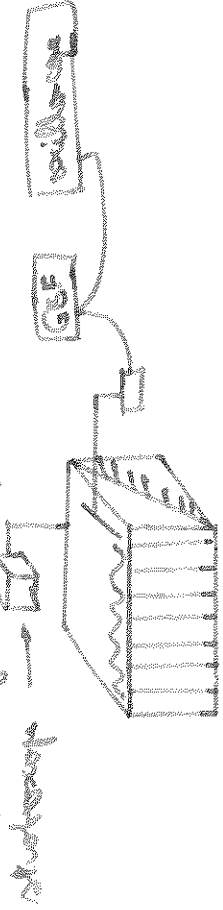
On trouve une valeur avec une incertitude plus faible.

(Cela marche mieux bien pour l'eau.)

La capillarité est causée par la tension superficielle d'un autre phénomène observé tous les jours: la montée à la surface de l'eau liquide.

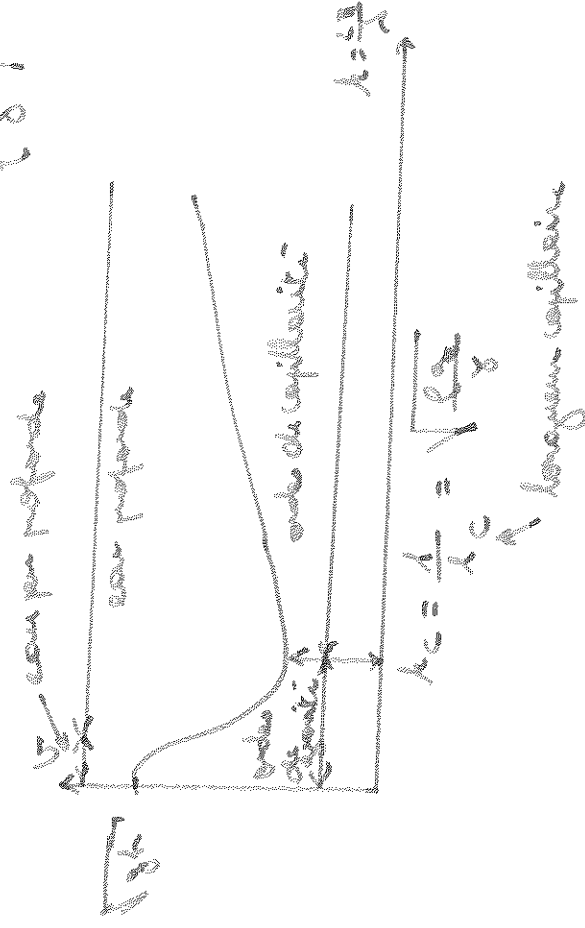
expérience 6: (C33 p 53, C33 p 46, C43 p 255)

ondes gravito-capillaires



lorsqu'on excite la surface d'un fluide, on observe des ondes qui obéissent à la relation de dispersion suivante:

$$v^2 = \frac{g}{k} - kh \left(1 + \frac{g k^2}{g} \right)$$



λ = épaisseur d'eau dans la cuve ≈ 1 cm
On mesure la fréquence des vagues à l'oscilloscope et on règle le stroboscope pour avoir les raies lumineuses fixes.
La fréquence du stroboscope est alors égale à elle de l'excitation.

On mesure dans 10 longueurs d'onde λ pour avoir une plus grande précision car $\lambda \approx 1$ cm ici.

On cherche principalement la grandissement de la cuve à ondes: $g = (165 \pm 0,01)$

On en déduit donc $\lambda = \frac{g}{g}$

On remarque: $kh(kh) = kh \left(\frac{2\pi k}{\lambda} \right) \approx 1$
car λ entre 0,5 et 2 cm.

d'où $0,926 \leq kh(kh) \leq 1$ car
la relation de dispersion devient alors:

$$v^2 k = g + \frac{g k^2}{k}$$

On trouve $v^2 k = k(k^2) = \omega^2 k^2$

$$\omega =$$

$$\omega =$$

$$g = \omega \left(\frac{g}{g} \right) \approx \frac{\Delta g}{\omega}$$

$$g = \left(\right) \text{ en } \text{N.m}^{-1}$$

d'où g plus précise.

III Moulage

Il s'agit d'un autre phénomène de surface qui dépend de la capillarité.

Soit une goutte d'un liquide L sur un solide S. La loi de Young-Dupré donne :

$$\gamma_{SL} - \gamma_{SL} = \gamma \cos \theta$$


On peut chercher dans l'industrie soit :

- à diminuer θ pour avoir $\cos \theta = 1$ et $\theta = 0^\circ$

$\Rightarrow$ moulage totale

(insecticide sur les feuilles, moulage pour les câbles, ...)

- à augmenter θ pour avoir $\theta = 180^\circ$

$\Rightarrow$ moulage nul

(pore - brique pour caoutchouc, ...)

Le moulage dépend du matériau qui compose le solide mais aussi de l'état de sa surface

exercice 7 : 130946

Comme l'angle de contact de l'eau sur

le verre $\theta = 0^\circ$

le cuivre $\theta = 0^\circ$

le teflon $\theta = 120^\circ$

On trouve aussi que l'angle de contact dépend de la taille de la goutte.

On trouve aussi qu'il existe un angle

d'écoulement d'un angle de recul

$\Rightarrow$ phénomène d'hystérésis, comme observé précédemment pour les phénomènes solides

Conclusion

Fluidifier les phénomènes de surface est essentielle :

- finissage d'une voiture sur une route

- chromatographie est chimie

- rien des surfaces hydrophobes (pore - brique, ...)

ou hydrophiles

On peut aussi diminuer le contact mouillant

d'un fluide en ajoutant des tensioactifs.