

# MP02 - SURFACES ET INTERFACES

3 avril 2017

Amélie CHARDAC & Balkis DOHNI

*You are, all of you, vermin. Cowering in the dirt,  
thinking... what? That you might escape the coming  
fire? Your world will burn until its surface is but  
glass!*

PROPHET OF THE TRUTH, HALO 3.

## Commentaires du jury

2015 : 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. Une alternative à laquelle les candidats pourraient penser serait d'utiliser des fluides de plus basse tension superficielle que l'eau et donc moins sensibles aux pollutions.

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

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.

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 : L'utilisation d'une webcam pour la loi de Jurin donne de meilleurs résultats qu'une projection à l'aide d'une lentille.

## Bibliographie

- ↗ *Handbook*, → Toujours utile dans un montage
- ↗ *Mécanique, Pérez* → Partie sur le frottement solide
- ↗ *Physique expérimentale, Jolidon* → Tout le reste!

## Expériences

- ☞ Mesure d'un coefficient de frottement statique
- ☞ Mesure d'une tension de surface par arrachement
- ☞ Vérification de la loi de Jurin
- ☞ Vérification de la loi de la réfraction de Snell-Descartes avec de l'eau
- ☞ Ondes gravito-capillaires en eau profonde

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Contact solide-solide : mesure d'un coefficient de frottement statique</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Tension superficielle</b>	<b>3</b>
2.1	Mesure d'une tension de surface par arrachement . . . . .	3
2.2	Loi de Jurin . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Ondes et interface</b>	<b>5</b>
3.1	Réfraction sur un dioptré optique . . . . .	5
3.2	Ondes gravito-capillaires . . . . .	6

## Introduction

L'objectif de ce montage est d'illustrer différents phénomènes interfaciaux à la fois sur des solide, des liquides et pour des ondes. Pour cela nous proposons de vérifier différentes lois en remontant à des coefficients tabulés comme la tension de surface ou des coefficients de frottements solides.

## 1 Contact solide-solide : mesure d'un coefficient de frottement statique

Un premier type d'interfaces et de phénomènes interfaciaux est celui entre deux solides. Quand nous faisons glisser un solide sur un autre, les contacts (sous forme de frottements) à leur surface commune influent sur la dynamique. Phénoménologiquement, les frottements sont caractérisés par des coefficients de frottements qui suivent les lois de Coulomb. En particulier, la première loi de Coulomb introduit le coefficient de frottement statique de la façon suivante :

S'il n'y a pas de frottement, alors  $T < f_s N$ , où T et N représentent les normes des réactions tangentielles et normales s'exerçant sur le pavé. Le coefficient  $f_s$  ne dépend que des surfaces, et pas de l'aire. On se propose de le mesurer pour un contact bois/bois sur une manip très simple.



### Mesure d'un coefficient de frottement statique

🔧 Pérez (pour les ODG)

⌚ 5 minutes

Matériel :

- Un plan inclinable (en bois) équipé d'un rapporteur
- Un pavé en bois
- Un pavé recouvert d'un autre matériau que du bois

Méthode : On incline à vitesse lente et constante le plan inclinable, dès que le solide se met à glisser (attention il ne faut pas qu'il roule ou parte sur le côté!) on relève l'angle limite. Par la tangente de cet angle (cf calcul simple de méca) on a immédiatement la mesure du coefficient  $f_s$ . On fait rapidement deux mesures devant le jury afin de faire une moyenne.

Exploitation : on compare la valeur trouvée à une valeur tabulée (en pratique à un ordre de grandeur car on ne connaît pas précisément la nature des solides mis en contact).

Valeur théorique :  $f_s(\text{bois/bois}) = 0.5$

Incertitudes : c'est la détermination de l'angle de glissement qui est limitante ici. On peut aisément estimer l'incertitudes à 2 degrés. Par formule des incertitudes on obtient l'incertitude sur le coefficient  $f_s$ . Il est aussi possible ici de prendre seulement la demi-différence de nos deux mesures comme incertitude puisqu'il s'agit d'une manip assez qualitative et qu'on veut seulement montrer un ordre de grandeur.

On peut discuter de pas mal de choses qualitatives : la surface n'est forcément pas tout à fait homogène, le solide peut se mettre en rotation, existence d'une certaine hystérésis.

**Remarques** :

On peut montrer qualitativement que ce coefficient dépend de la nature des solides, en mettant deux pavés différents sur le même plan et en constatant qu'un se met à glisser avant l'autre. On peut aussi vérifier ce qu'on a dit sur l'aire de contact en prenant deux pavés de même nature mais de surfaces différentes.

↓ Transition : solide-solide c'est assez restreint comme interface, et si on introduisait des contacts air-liquide ?

## 2 Tension superficielle



### Mise en évidence qualitative de la tension de surface

🔗 l'imagination de l'expérimentateur

⌚ 2min

Faire une belle bulle de savon (il faut souffler pour étendre la surface!) ou montrer la manip avec le cadre métallique et la tige qui se déplace quand on casse une partie du film sa savon.

Lorsque les interfaces étudiées impliquent des fluides, les molécules proches de cette interface sont dans un environnement défavorable puisqu'elles sont entourées de moins de voisines. La formation de l'interface est donc couteuse énergétiquement, ce qui se traduit thermodynamiquement par la tension de surface. On exploite dans cette partie le phénomène de mouillage d'un liquide sur un solide. Les trois interfaces mises en jeu impliquent un solide, un liquide et l'air, et sont liées par un angle de mouillage noté  $\theta$  dans la suite. Les expériences proposées font intervenir des fluides communs (eau et éthanol), qui sont considérés comme on va le voir comme très mouillant, c'est à dire à angle de contact quasi-nul.

### 2.1 Mesure d'une tension de surface par arrachement

🔗 Jolidon (explications + manip)

Objectif : ce qui caractérise les phénomènes de surface ici est la tension superficielle, elle dépend des milieux mis en présence. Il est donc primordial de savoir mesurer des tensions superficielles.

Ici on s'intéresse à l'interface entre trois milieux : l'air, l'eau et un solide (anneau métallique). La loi de Young-Dupré donne une relation entre les différentes tensions de surface dans ce cas :

$$\gamma_{LG}\cos(\theta) + \gamma_{SL} = \gamma_{SG} \quad (1)$$

Cette loi fait apparaître trois grandeurs a priori inconnues. Dans le cas de l'anneau de de Nouy (ou mesure par arrachement), on peut simplifier cette expression : on mesure la force à la limite de l'arrachement ( $F_{max}$ ), dans ce cas, l'angle que fait le fluide avec le métal est très proche de 0, c'est à dire que  $\cos(\theta) = 1$ . En faisant un schéma, on voit qu'il y a deux interfaces eau/air, d'où le facteur 2 dans la formule :

$$\gamma_{eau/air} = \frac{F_{max} - F_0}{2\pi R} \quad (2)$$

où R est le rayon de l'anneau de de Nouy (mesuré au Palmer en faisant la moyenne entre le diamètre extérieur et intérieur de l'anneau).

But : appliquer cette méthode pour mesurer le coefficient de tension superficielle de l'eau.



### Mesure d'une tension superficielle par arrachement

🔗 Jolidon

⌚ 8 minutes

Matériel :

- eau distillée
- boîte de pétri

- anneau de du Nouy
- dynamomètre (0.1N)
- support-boy, potence, tige métallique

Méthode : Il faut prendre beaucoup de précaution sur la propreté des instruments en nettoyant préalablement la boîte de pétri et l’anneau à l’éthanol puis en rinçant à l’eau distillée. On note la force à vide de l’anneau, puis on le plonge dans l’eau. A ce moment là on montre que le liquide le retient et on fait descendre la solution doucement, sans à-coups (pour ça prendre un support-boy qui ne soit pas grippé!). On relève la force maximale indiquée par le dynamomètre qui s’obtient juste au moment de l’arrachement. On répète la mesure au moins 10 fois pour réduire les incertitudes et on fait un traitement statistique.

Exploitation des données : on effectue un traitement statistique en calculant la moyenne et l’écart-type des mesures répétées (incertitude de type statistique).

On obtient donc :

$$\gamma_{eau/air} = \dots \pm \dots \tag{3}$$

Or :  $\gamma_{eau/air}(tabulé) = 72mN.m^{-1}$  à 25°C.

**Remarque :**

On aurait pû également présenter l’influence d’un surfactant sur la tension superficielle en faisant des mesures pour des concentrations croissantes de SDS et montrer que la tension de surface sature a une valeur limite. Théoriquement, c’est une belle manip pour illustrer la tension micellaire critique, en pratique c’est assez difficile d’en faire une manip quantitative satisfaisante (on trouve toujours une tension micellaire critique beaucoup plus faible que celle attendue et l’allure de la courbe ne correspond pas). Peut-être que c’est seulement le SDS du labo qui est un peu vieux et pollué...

↓ *Maintenant que nous avons vu comment mesurer une tension superficielle nous allons essayer de vérifier une loi qui fait intervenir le mouillage et qui est en jeu dans les phénomènes de capillarité.*

## 2.2 Loi de Jurin

⚡ Jolidon Dans un capillaire le liquide mouille les parois, et crée une dépression faisant monter le fluide. La loi de Jurin donne la hauteur h d’ascension du liquide très mouillant dans le capillaire :

$$h = \frac{4\gamma}{\rho g d} \tag{4}$$

où  $\gamma$  est la tension de surface entre le fluide et l’air,  $\rho$  est la masse volumique du liquide et d le diamètre du capillaire.

But : Nous allons vérifier cette loi avec de l’éthanol (moins soumis aux impuretés que l’eau), et en déduire sa tension superficielle.



### Vérification de la loi de Jurin

⚡ Jolidon ☹ 10min

Matériel :

- Ethanol (le plus pur possible pour se ramener aux valeurs tabulées)
- Colorant alimentaire (pour mieux voir)

- Tubes capillaires équipés de papier millimétré (de la collection) préalablement nettoyés
- (facultatif) Webcam ou appareil photo pour traitement sur Image J

Méthode : Plonger les capillaires dans le mélange éthanol+colorant, commenter ce qu’il se passe. Faire monter puis redescendre le liquide avec une petite propipette pasteur (son poids l’aidera à moins s’accrocher sur des impuretés restées dans les tubes). On relève à l’oeil la hauteur du liquide dans chaque tube. (Pour être encore plus précis on peut aussi prendre une photo et traiter l’image sur Image J (attention à la parallaxe). Nous avons choisi d’aller au plus rapide ici, ce qui si on se concentre un minimum donne des résultats aussi cohérents).

Exploitation : on trace la hauteur de liquide en fonction de l’inverse du diamètre du capillaire puis on effectue une modélisation affine. L’ordonnée à l’origine correspond à une erreur systématique suivant d’où on a commencé à mesurer la hauteur de liquide dans les capillaires (pas forcément le fond de la cuve). On déduit de la pente de la droite  $h = f(1/d)$  la tension superficielle de l’éthanol qu’on compare à la valeur tabulée à 20degrés.

Ici on trouve :

$$\gamma_{\text{éthanol/air}} = \dots \pm \dots mN.m^{-1} \tag{5}$$

La valeur tabulée à 20degrés est :  $\gamma_{\text{éthanol/air}}(tab) = 22.27mN.m^{-1}$

**Remarque :**

On peut donner un ODG typique de la variation de  $\gamma$  avec la température : 0.1 mN/m par degré, ce qui est peu, et pas visible avec notre précision, donc s’il y a un problème ça ne peut pas être à cause de ça. Par contre en cas de grand écart avec la valeur attendue on peut invoquer des impuretés dans les capillaires ou dans l’éthanol (même si ce n’est pas une raison pour se cacher derrière cette excuse devant le jury si vous avez mal manipulé!).



### 3 Ondes et interface

Objectif : étudier la modification du comportement d’une onde à l’interface entre différents milieux en mesurant l’indice de réfraction de l’eau.

#### 3.1 Réfraction sur un dioptre optique



##### Réfraction d’un faisceau laser sur un dioptre air/eau



⌚ 5 minutes

Matériel :

- Laser + potence pour le fixer
- Eau
- Dioptre en plastique (demi-disque) avec graduations d’angle (P. ???)

Méthode : on fait pointer le laser sur un angle du rapporteur du dioptre à vide. On relève cet angle ( $i_1$ ) puis on verse de l'eau dans le dioptre et on relève le nouvel angle ( $i_2$ ). En effectuant ceci pour différents angles d'incidence, on peut tracer  $\sin(i_2) = f(\sin(i_1))$  (cf loi de Snell-Descartes).

Analyse : on modélise par une droite, on attend une pente de coefficient directeur  $a = \frac{n_{air}}{n_{eau}}$  et d'ordonnée à l'origine  $b = 0$ .

On obtient :

$$a = \dots \pm \dots \quad b = \dots \pm \dots \quad (6)$$

Connaissant l'indice optique de l'air  $n_{air} = 1$  on en déduit l'indice de réfraction de l'eau :

$$n_{eau} = a.n_{air} = \dots \pm \dots \quad (7)$$

Or  $n_{eau}(\text{tabulé}) = 1.33298$  (à  $20^\circ\text{C}$ ).

Incertitudes : mesure des angles estimées à  $1^\circ\text{C}$  à cause de l'étalement du faisceau laser et de la précision du rapporteur.

## 3.2 Ondes gravito-capillaires

↗ Jolidon

But : étudier la compétition entre tension de surface et gravité.

La théorie est très bien détaillée dans le Jolidon. Il convient de connaître les approximations effectuées pour obtenir la relation de dispersion ainsi que les hypothèses de travail pour laquelle elle est valable.

Nous vous renvoyons à la référence pour la théorie et pour le détail du protocole.

En résumé, la manip devant le jury consiste à vérifier la relation de dispersion des ondes suivante :

$$\frac{\omega^2}{k} = g + \frac{\gamma}{\rho}k^2 \quad (8)$$

Attention, cette relation n'est valable que pour une condition d'eau "profonde" (voir Jolidon pour plus d'info). Pour cela, exciter l'eau à sa surface pour une fréquence imposée (vérifiée plus précisément à l'oscilloscope, ce n'est pas l'incertitude majoritaire ici), régler le stroboscope pour que les franges paraissent immobiles. Relever les distance entre 10 franges brillantes par exemple afin de diminuer les incertitudes sur la mesure de la longueur d'onde. On mesure ainsi la longueur d'onde en fonction de la fréquence d'excitation.

En tracant  $\omega^2/k = f(k^2)$  on attend une droite de coefficient directeur  $a = \gamma/\rho$  et d'ordonnée à l'origine  $b = g$ .

Il faut savoir que les valeurs trouvées sont souvent du bon ordre de grandeurs mais assez peu précises.

Ici on trouve :

$$g = \dots \pm \dots \quad \gamma_{eau} = \dots \pm \dots \quad (9)$$

Cela est dû à plusieurs choses : le fait qu'il est difficile de se placer vraiment dans le régime en eaux profondes (il faut mettre beaucoup d'eau dans la cuve et exciter vraiment à la surface et se limiter aux longueurs d'ondes qui vont bien), l'horizontalité de la cuve et les nombreuses impuretés qui peuvent polluer l'eau au cours de la manip dans la cuve.

## Conclusion

Questions, remarques...