

# MP 02 - SURFACES ET INTERFACES

Justin Péméja

*S'il y a un montage à ne pas prendre, c'est le MP02*  
SYLVAIN JOUBAUD

## Commentaires du jury

**2016 :** 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.

**2010 à 2015 :** Ne pas se limiter à des mesures de tension superficielles, ni se réfugier trop facilement derrière les impuretés dans ses solutions.

## Bibliographie

- ✦ *Mécanique Pérez* : première partie sur le frottement
- ✦ *Hydrodynamique, GHP* : Loi de Jurin, ondes de surface
- ✦ *Gouttes, Bulles, Perles, ondes, PGDG* : Tensiométrie
- ✦ *Handbook* : la base en MP

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Le contact solide : mesure d'un coefficient de frottement statique</b>	<b>2</b>
1.1	Introduction . . . . .	2
1.2	Mise en oeuvre . . . . .	2
<b>2</b>	<b>L'ascension capillaire : vérification de la loi de Jurin</b>	<b>2</b>
2.1	Introduction . . . . .	2
2.2	Mise en oeuvre expérimentale . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Influence d'un surfactant sur la tension superficielle, micellisation</b>	<b>3</b>
3.1	Introduction . . . . .	3
3.2	Mise en oeuvre . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Ondes et interfaces</b>	<b>4</b>
4.1	Relation de dispersion des ondes gravito-capillaires . . . . .	4
4.2	Un dioptré optique . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Quelques conseils pour faire un montage badass</b>	<b>6</b>

## Introduction

- Surfaces/interfaces : zones séparant deux phases physico-chimiques de différentes natures.
- La présence de ces zones donne naissance à des phénomènes variés exploités dans de nombreux domaines de la physique : matériaux composites, matière molle, catalyse, micro-fluidique... Ce montage a pour but de présenter des expériences étudiant quelques un de ces phénomènes via la caractérisation des interfaces mises en jeu.
- Un point commun à ces phénomènes est la difficulté de la modélisation microscopique au niveau moléculaire. On a ainsi recours à des lois et des grandeurs macroscopiques issus de l'observation ou de la thermodynamique.

## 1 Le contact solide : mesure d'un coefficient de frottement statique

### 1.1 Introduction

Les lois régissant les frottements entre deux surfaces solides sont un exemple emblématique de lois phénoménologiques (issus de l'observation). Elles font intervenir des coefficients de frottement qui contiennent implicitement les interactions entre les 2 matériaux, intégrées sur la surface de contact.

La première loi de Coulomb introduit le coefficient de frottement statique de la façon suivante :

$$\text{S'il n'y a pas de frottement, alors } T < f_S N,$$

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.

#### Remarque

Cette expérience est vraiment simple, et pas très précise. Mais c'est assez bien de commencer son montage par quelque chose qu'on ne peut pas rater. Par ailleurs, je trouve que beaucoup de choses de la physique du frottement peut être discutées sur un truc aussi bête alors il faut en profiter. Le jury m'a d'ailleurs posé pas mal de questions de culture plutôt faciles là-dessus, ça met en confiance.

### 1.2 Mise en oeuvre

Voir par exemple Pérez p 311 pour le "calcul" et les ODG des  $f_S$

**Matériel** : : Un plan inclinable équipé d'un rapporteur et au moins un pavé fait d'un matériau quelconque (de préférence pas trop exotique).

**Déroulement** : On incline à vitesse lente et constante la rampe, et on prend la tangente de l'angle pour lequel le pavé glisse. On moyenne deux mesures faites devant le jury.

Il y a pleins de ramrques qualitatives intéressantes à faire : la définition du phénomène n'est pas évidente, le pavé peut tourner, ou glisser par à-coups. La surface n'est forcément pas tout à fait homogène, et le fluage présente une certaine hystérésis.

**Exploitation** : On peut comparer deux coefficients  $f_S$ , un autre ayant été fait en préparation. Comparer à des ordres de grandeurs. Dire qu'on aurait pu vérifier ce qu'on a dit sur l'aire de contact.

↓ *Rajoutons des fluides.*

## 2 L'ascension capillaire : vérification de la loi de Jurin

### 2.1 Introduction

Lorsque les interfaces étudiés impliquent des fluides, les molécules proches de cette interface sont dans un environnement défavorable puisque moins bien entourées par leur congénères. Ainsi, former cette interface représente un coût énergétique, traduit thermodynamiquement par la tension de surface.

On va alors exploiter dans la suite le phénomène de mouillage d'un liquide sur un solide. Les trois interfaces mises en jeu son liées par un angle de mouillage.

Les expériences qui suivent 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-nulle.

Ainsi, dans un capillaire le liquide mouille les paroi, et crée une dépression faisant monter le fluide. La loi de Jurin donnant la hauteur  $h$  d'ascension du liquide très mouillant s'écrit :

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

où  $\gamma$  est la tension de surface,  $\rho$  la masse volumique du liquide,  $d$  le diamètre du capillaire. Nous allons vérifier cette loi avec de l'éthanol, et en déduire sa tension superficielle.

## 2.2 Mise en oeuvre expérimentale

Voir le GHP p 60

**Matériel** : : Ethanol (absolu, c'est mieux pour être sûr de la masse volumique), Tubes capillaires équipés de papier millimétré (à bien nettoyer!), Webcam ou appareil photo.

**Déroulement** : Plonger les capillaires, commenter ce qu'il se passe.

Faire monter puis redescendre le liquide (son poids l'aidera à moins s'accrocher sur des impuretés restées dans les tubes).

Prendre une photo, utiliser ImageJ pour fixer une échelle et mesurer les longueurs.

**Exploitation** : Modélisation affine. L'ordonnée à l'origine n'a pas trop signification physique (à moins que ce ne soit la longueur capillaire?). Il faut aussi penser à une erreur systématique d'alignement de l'appareil photo. 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 20°C. En cas d'échec : on peut penser l'angle de contact n'est pas si négligeable que ça? Donner aussi 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.

↓ *Utilisons le mouillage pour faire des mesures rapides de tension de surface!*

## 3 Influence d'un surfactant sur la tension superficielle, micellisation

### 3.1 Introduction

Voir le chapitre du PGDG sur les surfactants

Nous aimerions à présent connaître l'influence d'un tensio-actif sur la tension superficielle de l'eau, celle-ci valant 71.9 mN/m pour de l'eau pure. Le soluté utilisé ici est le très académique SDS (Sodium Dodecyl Sulfate), un très bon amphiphile avec une chaîne aliphatique hydrophobe et une super tête polaire et ionique.

A faible concentration, les molécules de SDS forment une couche organisée à l'interface eau/air, qui diminue l'effet différentiel responsable de la tension superficielle. En augmentant la concentration, l'organisation des molécules de SDS évolue de façon à maximiser l'interface tête hydrophile/eau tout en minimisant le volume occupé : l'agrégat sphéroïdal ainsi formé spontanément est nommé micelle. Cette évolution de l'organisation des tensio-actifs se voit sur la courbe  $\gamma(c)$ , que nous allons tracer dans l'expérience qui suit.

En utilisant le fait que la solution mouille un anneau (élegamment baptisé anneau de du Nouy), on va pouvoir mesurer sa tension de surface grâce à la force d'attraction qu'elle exerce sur lui. C'est une méthode offrant un très bon compromis précision/rapidité avec le matériel disponible dans un laboratoire de lycée.

#### Remarque

La tensiométrie par arrachement est une expérience très classique dans ce montage. D'autres méthodes (stalagmométrie, pesée de gouttes...) sont possibles mais plus pénibles, il faut en montrer une. Le gros intérêt de prendre la plus rapide c'est de pouvoir regarder  $\gamma(c)$ . Ca demande beaucoup d'organisation et une sollicitation active des techniciens pour avoir suffisamment de points avec une précision acceptable. Mais ça vaut le coup, car c'est l'occasion de discuter (avec les mains bien entendu) d'un problème d'interface riche avec un lien macro/micro. Même si je n'ai pas obtenu un résultat final très convaincant, les questions du jury m'ont laissé croire qu'ils étaient très intéressés.

## 3.2 Mise en oeuvre

Voir le GHP p 62

**Matériel** : : eau distillée, SDS, balance de précision (au moins 0.1 mg près), boîte de pétri, anneau de du Nouy, dynamomètre (penser à vérifier l'étalonnage), support-boy, potence, tige métallique. J'ai utilisé des solutions dont la concentration variait de 0 à 2.5 g/L, je pense en avoir fait 8 le jour de l'oral.

**Déroulement** : Il faut prendre beaucoup de précaution sur la propreté des instruments. Nettoyer régulièrement la boîte de pétri et l'anneau à l'éthanol.

Plonger l'anneau, montrer que le liquide le retient.

Faire descendre la solution doucement, sans à-coups, noter la force maximale indiquée par le dynamomètre, continuer jusqu'à l'arrachement, et re-noter la force. Je conseil de regarder la fiche manip' de M. Fruchart et P. Lidon pour une discussion très instructive sur ce protocole de mesure!

**Exploitation** : Effectuer la mesure au moins 5 fois par solution. En montrer une au jury pour une des solutions, et regarder la dispersion statistique des résultats. Insérer la moyenne et l'incertitude dans un autre tableau et tracer  $\gamma(c)$ . L'effondrement de la courbe ne fait aucun doute, mais elle a une allure assez étrange que nous avons observé plusieurs fois pour ce SDS. Voir la discussion du PGDG à ce sujet (c'est compliqué, moi j'avais rien pigé à l'époque, c'est de toute façon au dessus du niveau attendu à l'agreg). On peut y voir une concentration micellaire critique, nettement inférieure à celle tabulée de 2.1 g/L pour le SDS à 20°C.

Une interface, c'est une discontinuité d'un certain champ. Elle peut donc donner donc une condition aux limites bien particulière pour un phénomène propagatif. Or, les conditions aux limites conditionnent drastiquement la propagation, il n'y a qu'à voir par exemple toutes les conséquences du guidage sur la structure d'une onde! Mais on va se contenter de plus simple ici.

## 4 Ondes et interfaces

### 4.1 Relation de dispersion des ondes gravito-capillaires

Voir le GHP p 329, ainsi que le très bon article du BUP 649

On s'intéresse à présent à l'excitation d'ondes à la surface d'un liquide.

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

Le problème se met en équation assez facilement par un traitement hydrodynamique sous les hypothèses : écoulement parfait, irrotationnel, faible amplitude, eau profonde ( $th(kh) \approx 1$ ). on obtient alors la RDD suivante que l'on va chercher à vérifier :

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

**Matériel** : : cuve adaptée nettoyée à l'éthanol, fréquencemètre, règle, eau distillée

**Déroulement** : Très simple, on fait varier la fréquence excitatrice et on mesure la longueur d'onde. Il faut quand même se familiariser avec les réglages du stroboscope (et bien les expliquer au technicien...) mais c'est peinar. On prend bien entendu un maximum de  $\lambda$  pour moyenner.

Ne pas oublier de prendre en compte le grossissement du système!

**Exploitation** : On trace la relation de dispersion. Une modélisation affine permet de retrouver la tension superficielle de l'eau et l'accélération de la pesanteur.

### 4.2 Un dioptré optique

La discontinuité de l'indice optique provoque la réfraction d'un rayon lumineux qui satisfait la loi de Descartes. D'après l'optique géométrique, le rapport des deux sinus des angles est le rapport de deux indices optiques, donc un rapport de deux impédances propagatives si on pousse un peu le bouchon, ce qui pour moi fait de cette manip' une caractérisation d'interface...

**Matériel** : un laser, une lentille cylindrique si on veut être un peu bling-bling, une cuve graduée en forme de rapporteur avec une étiquette jaune, un support-boy.

On peut faire remarquer que les tailles caractéristiques mises en jeu en matière molle (échelle colloïdale de l'ordre du  $\mu\text{m}$ ) font de l'optique visible une méthode d'investigation expérimentale privilégiée encore actuellement pour étudier et caractériser les phénomènes interfaciaux.

## Conclusion

Si jamais un jour, je devais décider entre assister à un montage (même s'il y a un anneau de du Nouy dedans), et aller au WEI, je pense que ce serait vite vu bien vu.

**Commentaires, questions, ou brouillon pour le DM de méca**

## 5 Quelques conseils pour faire un montage badass

### Rappel des modalités de l'épreuve :

Tu pioches 2 sujets, il faut se décider vite sur celui que tu choisis. Tu pars choisir tes livres puis ton matériel avec des techniciens. 4 heures de préparation, avec sollicitation indispensable des techniciens pour t'aider à mener tes expériences, ou prendre des mesures s'il s'agit d'un geste répétitif que tu lui as montré auparavant. Le jury entre 1 min avant la fin des 4 heures, et selon son humeur, exigera que tu commences entre 0 min et 3 min après son arrivée. Tu présentes pendant 40 minutes. Le jury est très actif pendant l'oral de MP, ils discutent de ce qu'il est en train de se passer, ils se lèvent pour regarder de près tes expériences, ta mesure, et ce que tu rentres dans ton tableau de donnée. Une fois que tu as fini avec le dispositif ils peuvent y toucher, refaire une mesure, changer les réglages, même si tu commences à parler d'autres choses. Il est important de ne pas être perturbé et de continuer ton discours. A la fin la séance de question dure environ 20 min. Elles portent beaucoup sur les expériences (justification des protocoles, fonctionnement des appareils, estimation des erreurs), mais ils vérifieront aussi que tu as un minimum de recul sur la physique impliquée dans ce que tu présentes ( hypothèses pour arriver à la formule utilisée, validité, des ODG, techniques modernes pour ce type mesure...)

### Qu'est ce qui est attendu dans un montage ?

Il faut montrer que tu es capable de mener une démarche scientifique expérimentale de A à Z et de l'expliquer au jury pour chacune de tes manips. Je ne vais rien vous apprendre mais c'est important d'avoir les différentes étapes de cette démarche en tête car elles doivent clairement toutes apparaître dans le discours :

- Tu constates un phénomène physique.
- Tu mets alors en place un protocole de caractérisation quantitative de ce phénomène, optimisé dans la mesure où il isole ce phénomène d'autres "parasites", il fait intervenir des instruments/capteurs adaptés choisis pour des propriétés particulières, il donne des barres d'erreurs quantifiables et les plus petites possibles.
- Tu exécutes ce protocole avec toute la dextérité qu'il mérite.
- Tu traites tes données pour arriver à ton résultat, tu le confrontes à une loi qui modélise (sous certaines hypothèses...) le phénomène, où à des valeurs tabulées.
- Tu commentes, tu proposes des explications rationnelles en cas d'échec (valeur attendue en dehors des barres d'erreur) et des solutions d'amélioration du protocole.

Il ne faut pas barratiner, être concis sur tes introductions et transitions, donner une place importantes aux manips. N'hésite pas à intégrer un passage pénible et/ou difficile de l'expérience à ta présentation. Le jury aimera te voir les mains dans le camboui, à te battre pour que l'expérience fonctionne. Celles-ci doivent être pour la plupart quantitative, une expérience qualitative peut tout à fait faire office de transition ou intro/conclu mais ne doit donc pas te prendre plus de 3min. Utilise entièrement tes 40 minutes, s'il te reste du temps a la fin c'est forcément qu'il y a un truc que t'aurais pu mieux faire quelque part dans le montage : reviens sur ton résultat, reprends un point...

### Comment choisir un plan de montage ?

Il faut choisir un nombre d'expériences adapté : les 40 min doivent être denses et on voudra te voir dynamique, mais il ne faut pas être ambitieux. Le bon ODG c'est 3/4 "grosses" expériences + éventuellement une petite manip. Idéalement, tu peux suivre un fil conducteur et une progression logique, mais tu ne seras pas pénalisé si tu ne le fais pas car c'est pas demandé explicitement par le jury. C'est mieux car c'est plus agréable à suivre, toi tu es plus confiant et concis dans ta présentation, et c'est plus facile de retenir ton plan.

La prépa de L'ENS Lyon envoie son matériel aux oraux, tu peux donc faire la manip le jour J exactement comme tu l'as préparé pendant l'année ! L'énorme avantage c'est de pouvoir reprendre des plans de montage des années précédentes, ainsi que la façon dont sont faites les expériences. Ce n'est pas par hasard que ces expériences ont été choisies, et il faut donc regarder les anciens polys ainsi que les fiches manips rédigées par M Fruchart, P Lidon et compagnie. Cela dit, il est essentiel de réfléchir à une façon personnelle d'aborder le sujet, de vous approprier une expérience ou du nouveau matériel. Le jury saura par les étiquettes jaunes sur votre paillasse que vous venez de Lyon, il faut essayer de montrer que tu lui fais ton montage, et pas celui que la préparation t'a imposé. D'ailleurs fais attention à certains titres qui ont pu changer, ou des rapports de jury récents, car certaines expériences sont présentées depuis des années mais ne sont plus suffisamment dans le sujet.

Le choix des expériences doit te permettre de montrer la diversité de tes compétences expérimentales au jury. Il faut donc travailler sur plusieurs dispositifs différents et varier les démarches au cours du montage. Par exemple si tu peux mettre un manip courte qui te permet de montrer que tu sais évaluer ton erreur de façon statistique, fais-le, car le jury en voit rarement et y sera donc sensible.

### Qu'est ce qu'une expérience quantitative ?

C'est une question autour de laquelle on a beaucoup débattu l'an dernier.

A priori, c'est une expérience qui aboutie à la mesure d'une grandeur comparable à des données théoriques ou tabulées. L'idéal étant souvent de faire varier un paramètre expérimental, et d'ajuster tes points sur un modèle, ce qui permet de vérifier à la fois le modèle et d'en déduire une grandeur d'intérêt avec une meilleure précision. Ainsi tu es vivement encouragé à tracer des droites, et on peut dire qu'il en faut au moins une dans un MP, mais il ne faut pas faire que ça ! C'est assez chiant pour un jury de voir tout le temps la même chose, et il sera particulièrement exaspéré s'il estime qu'il y avait un traitement plus judicieux que le tracé de droite ou que tu ne sais pas expliqué pourquoi tu le fais ou comment procède ton logiciel.

### **Que sont les montages de métrologie ?**

Capteurs mécaniques, thermométriques, photorécepteurs, spectrométrie, mesure de longueurs, mesure de champs magnétiques.. Ces montages ont pour particularité d'être orientés métrologie. Il faut donc absolument éviter les expériences qualitatives et centrer la discussion sur les différents moyens d'accéder à une grandeur pour les comparer. Il faut fixer une échelle pour cette grandeur, exploiter et caractériser un autre phénomène physique qui permet de la mesurer, utiliser le vocabulaire propre aux capteurs, et soigner à tout prix l'estimation des erreurs. Montrer des applications n'est pour moi pas essentiel, mais en connaître servira au moment des questions.

### **Comment bien utiliser ses techniciens le jour J ?**

Les techniciens ont été adorables dans mon cas. Il faut faire attention à eux dès le début, être précis sur le matériel que l'on recherche, et leur accorder des sourires ne peut qu'être bénéfique par la suite. Ils m'ont beaucoup aidé pour installer les manips et m'ont même proposé des idées d'amélioration. Ils m'ont dit que c'était "agréable d'avoir quelqu'un de sympathique qui leur demandait de faire beaucoup de choses", et l'un d'eux a discuté avec le jury en entrant de comment ça s'était passé avec moi. Donc oui, c'est très important de faire semblant d'être gentil pendant 4 heures ;)

### **Que faire pour préparer cette épreuve avant les écrits ?**

Profite au maximum des séances de TP et de leurs encadrants pour préparer les montages, et ce dès le début. Regarde la liste des MP, ce qui a été fait par tes prédécesseurs, les retours du book. Il n'est jamais trop tôt pour commencer à sélectionner tes expériences préférées, en imaginer de nouvelles, et ainsi travailler sur tes plans.

### **Faut-il s'inquiéter ?**

NON ! L'épreuve de MP est, malgré ce qu'on peut se dire pendant l'année, la plus facile !

Le jury sait bien que 4 heures, ce n'est pas des conditions normales pour préparer de belles expériences de physique, donc tout va vite et on peut faire des erreurs. Le jury est là pour évaluer des compétences, il souhaite que les erreurs soient corrigées et ses questions iront principalement dans ce sens. En fait, avec le niveau que tu as en physique, tu as déjà ces compétences, il ne reste qu'à réfléchir à tes manips et te familiariser avec le matériel pour réussir l'épreuve de montage. En étant sérieux, et un peu imaginatif pendant l'année pour préparer tes montages, tu as juste à être lucide, serein, et à garder ton bon sens le jour J.

J'espère que cette séance vous aidera un peu. On sera pas mal d'agrégatifs de l'an dernier à traîner dans le coin, en amphi C, en BU agreg ou au foyer, et on se retrouvera de toute façon en tutorats. N'hésitez pas à nous écrire si vous avez des questions ou des idées de plans et de manips, on sera bien contents d'en discuter avec vous !

Profitez à fond de cette belle année (si, si, franchement c'est stylé l'agreg), et bon courage !