

LP5 : Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides

Alexandre Fafin

26/04/18

Références

- [1] B. Diu. *Thermodynamique*. Hermann, 2007.
- [2] M. Fruchart, P. Lidon, E. Thibierge, M. Champion, and A. Le Dif-fon. *Physique expérimentale. Optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique*. deboeck, 2016.
- [3] E. Guyon, J.-P. Hulin, and L. Petit. *Hydrodynamique physique, 3eme édition*. EDP Sciences, 2012.
- [4] M.-N. Sanz. *Physique tout-en-un, PC, PC**. Dunod, 2014.

Niveau

L2

Prè-requis

- Physique des fluides (hydrostatique)
- Thermodynamique
- Ondes, phénomène de dispersion

Objectifs

- Comprendre l'origine des phénomènes interfaciaux, comment les dé-crire et leurs conséquences.
- Mesure de la tension de surface de l'eau

Table des matières

1	Tension de surface	2
1.1	Mise en évidence expérimentale	2
1.2	Origine microscopique	2
1.3	Loi de Laplace	2
2	Ondes gravito-capillaires	2
2.1	Longueur capillaire[4]	2
2.2	Expérience de la cuve à onde[2], [3]	3
3	Contact à trois phases	3
3.1	Mouillabilité des surfaces	3
3.2	Loi de Jurin [3]	3

Introduction

Les fluides sont au cœur de problématiques importantes dans l'industrie et dans la chimie. Généralement, l'écoulement fluide est simulé et calculé à partir des équations de Navier-Stokes qui permet de rendre compte des mouvements macroscopiques. Pour des problématiques plus fines, comme l'écoulement d'encre dans les imprimantes ou dans un stylo plume, il faut considérer de nouvelles problématiques dues aux tensions de surfaces. Cet effet est en particulier visible lors de l'utilisation des pipettes jaugées en chimie où il reste toujours du liquide au bout de celle-ci.

Manip Verre d'eau qui déborde un peu. Ou trombone qui flotte et qui coule avec du détergent

1 Tension de surface

1.1 Mise en évidence expérimentale

Manip : Cadre rectangulaire avec film de savon. Diminution de l'aire de la surface du film de savon.

Maintenant on considère une seule partie du cadre avec de l'eau savonneuse. La force exercée sur chaque face du film pour minimiser la surface est proportionnelle à la longueur L de l'interface :

$$\vec{F} = \gamma L \quad (1)$$

Dans le cas du film de savon on a deux interfaces, pour revenir à la position initiale de la tige mobile on devrait donc appliquer une force :

$$F_{op} = 2\gamma L \quad (2)$$

Le travail fourni par l'opérateur pour tirer la barre sur une longueur dx s'écrit :

$$\delta W = \vec{F} \cdot d\vec{x} = 2\gamma dA \quad (3)$$

avec $A = Ldx$. La tension de surface s'exprime en N/m, ou encore J/m². La tension de surface est l'énergie à fournir pour augmenter la surface d'une unité.

1.2 Origine microscopique

Interactions cohésives au sein d'un liquide. Molécules à l'interface en déséquilibre. Ordres de grandeur pour différentes espèces et interprétation microscopique des différences.

La tension de surface est une manifestation macroscopique de phénomènes microscopiques.

1.3 Loi de Laplace

Démonstration avec la loi de Laplace avec le potentiel thermodynamique[1].

La pression à l'intérieur de la bulle est supérieure à la pression à l'extérieur. En effet, la tension superficielle tend à réduire la surface de la bulle. Pour que la bulle existe, il faut donc que sa pression intérieure soit supérieure à la pression extérieure. Les petites gouttes se vident donc dans les grosses. **Manip** Expérience des bulles de savon reliées par un tube.

2 Ondes gravito-capillaires

2.1 Longueur capillaire[4]

Manip Gouttes de tailles différentes : aplatissement

Il y a compétition entre les forces capillaires et les forces gravitationnelles. Définition de la longueur capillaire.

$$l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu g}} \quad (4)$$

C'est la longueur caractéristique pour laquelle les forces capillaires sont égales aux forces gravitaires. Pour l'eau, à 20 degrés, on a $l_c = 2,7$ mm pour une tension superficielle de $70 \cdot 10^{-3}$ N.m⁻¹

2.2 Expérience de la cuve à onde[2], [3]

Ne pas chercher à démontrer la relation de dispersion. Donner les principales étapes du calcul. Montrer la vitesse en fonction du nombre d'onde et discuter des différents régimes.

- On a une onde de gravité lorsque $kl_c \ll 1$. Dans ce cas la vitesse s'exprime simplement par $c = \sqrt{\frac{g}{k}}$. Cette onde correspond à la houle à la surface de la mer.
- On a une onde capillaire lorsque $kl_c \gg 1$, soit pour des courtes longueurs d'onde. Dans ce cas la vitesse s'exprime par $c \approx \sqrt{\frac{\gamma k}{\rho}}$. Le minimum de vitesse correspond au cas où les effets de la capillarité et de la gravité sont du même ordre de grandeur. La longueur capillaire sépare donc approximativement les domaines où la gravité et la capillarité sont respectivement dominants.

On se place en eau profonde. Relation de dispersion des ondes gravito-capillaires :

$$\omega^2 = gk(1 + l_c^2 k^2) \tanh(kh) \quad (5)$$

Exemple de l'eau dans le geyser. On trouve $h = 20 \text{ mm} \gg l_c$. Les effets capillaires dominent.

3 Contact à trois phases

3.1 Mouillabilité des surfaces

Manip Goutte sur plusieurs surfaces.

Démonstration de la relation de Young-Dupré. Classement des mouillages. Si le temps le permet prendre une photo des différentes gouttes et analyser l'angle.

3.2 Loi de Jurin [3]

Utilisation de la loi de Laplace et de la loi de l'hydrostatique. On obtient que la hauteur h vaut :

$$h = 2 \frac{l_c^2}{r} \cos \theta \quad (6)$$