Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides

June 7, 2025

Référence

Expérience :
Livre :

- Physique PC/PC* Tout-en-un, Dunod, 2022

Prérequis :

- Blop

Niveau :

Introduction

Phénomènes observables dans la vie courante quotidiennement

- Gouttes d'eau sur une toile d'araignée (régularité ?)
- Bulles (Pourquoi rajouter du savon ?)
- Forme d'un ménisque (Pourquoi la surface est courbé ?))
- Surface hydrophobe (comment ça marche ?)

Un premier élément de réponse à ces questions se trouve dans la tension superficielle

1 Tension superficielle

1.1 Origine physique

Faire un schéma avec une interface liquide gaz et deux molécules.

Un liquide est un état condensé où les molécules s'attirent. Deux types de molécules : celles dans le coeur du liquide où les interactions cohésives sont maximales et celles à une interface où les interactions cohésives sont plus faibles avec le liquide. Ce deuxième état est énergétiquement défavorable donc le liquide va chercher à minimiser cet état et donc à minimiser les surfaces.

Manip qualitative avec les structures de film de savon. Prévoir un petit calcul de surface pour montrer la minimisation de surface.

Première définition de la tension superficielle : Défaut d'énergie de cohésion par unité de surface. Si la molécule de coeur a pour énergie de cohésion U alors celle à l'interface a pour énergie U/2. Pour une molécule de taille caractéristique a, sa surface caractéristique est de l'ordre de a**²**. Ainsi $\gamma \sim \frac{U}{2a^2}$.

Pour des interactions de type Van Der Walls, on a $U \sim k_B T$ et donc $\gamma \sim 20 mJ.m^{-2}$.

Cela correspond à des huiles ou des solvants organiques

Tableau de valeurs typiques de tension superficielle (Acétone, Eau, Verre fondu (à 1300°C))

1.2 Définition macroscopique

De manière macroscopique, on définit la tension superficielle comme $\delta W_\gamma = \gamma dA$ où δW_γ le travail à fournir pour créer un élément dA de surface.

Elle s'exprime comme une énergie par unité de surface.

On peut aussi l'exprimer comme une force par unité de longueur (expérience qualitative du déplacement d'un fil après avoir percé un film de savon)

2 Phénomènes capillaires

2.1 Bulles

Expérience qualitative de la petite bulle qui se vide dans la grosse

On en déduit que $P_{int,petite} > P_{int,grosse}$

Schéma de la bulle avec deux interfaces.

Pour l'interface intérieur-eau : La bulle est à l'équilibre mécanique, donc $\delta W = 0$ Or la bulle subit les travaux de forces de pression et de la tension superficielle. Donc $\delta W = \delta W_{pression} + \delta W_\gamma = -(P_{eau} - P_{ext})dV + \gamma dA$

Pour une bulle sphérique, $dV = 4\pi R_1^2 dR$ et $dA = 8\pi R_1 dR$

Finalement, on obtient que $P_{eau} - P_{ext} = \frac{2\gamma}{R_1}$ (Loi de Laplace)

De même pour l'interface eau-extérieur, on a $P_{int} - P_{eau} = \frac{2\gamma}{R_2}$

Comme $R_1 \simeq R_2 = R$, on obtient $\Delta P = P_{int} - P_{ext} = 2\gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \simeq \frac{4\gamma}{R}$

Retour sur l'expérience qualitative

Expérience quantitative de la loi de Laplace

2.2 Mouillage

Schéma d'une goutte sur une surface

Définition de l'angle de mouillage θ_e sur le schéma

Cette angle dépend de trois tensions de surface : liquide-solide, liquide-gaz et solide-gaz

Cependant on peut observer qu'une goutte en mouillage partiel n'est pas bombée lorsqu'elle dépasse une certaine taille. Cela est dû à une compétition entre capillarité et pesanteur.

On utilise le nombre de Bond pour caractériser cela :
$Bo = \frac{\rho g h}{\frac{2\gamma}{R}} = \frac{\rho g h R}{2\gamma} = \frac{gravit}{capillarit}$

Comme hR a la dimension d'une surface, on définit la longueur capillaire $l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$. En fonction de la taille caractéristique du système, on peut donc déterminer si les effets capillaires sont prédominants sur les effets de pesanteur ou vice-versa.

Longueur capillaire caractéristique pour différents fluides : huile, eau et verre fondue

2.3 Ascension capillaire

Faire schéma de l'ascension capillaire

On se place dans le cas où $R \ll l_c$. On définit $R_C = \frac{R}{\cos\theta_e}$ comme le rayon de courbure du ménisque.

Au niveau de l'interface dans le tube, on a $\Delta P = P_{ext} - P_A = \frac{2\gamma}{R_C} = \frac{2\gamma\cos\theta_e}{R}$

Or par l'hydrostatique, $P_B = P_A + \rho g H$ et $P_B = P_{ext}$

Donc $\rho g H = \frac{2\gamma\cos\theta_e}{R} \Leftrightarrow H = \frac{2\gamma\cos\theta_e}{\rho g R}$ (Loi de Jurin)

Expérience quantitative

Objectif de l'expérience

Vérifier la loi de Laplace

Matériels

- Montage Loi de Laplace
- Liquide pour capillarité
- Manomètre
- Scotch
- Tube en caoutchouc
- Voltmètre

Protocole

Faire une bulle et mesurer diamètre de la bulle et tension.

Précautions expérimentales

Bien mettre un tube en caoutchouc pour faire le lien entre le manomètre et le tube en verre. Mettre du scotch au niveau de l'embout du manomètre pour l'étanchéité.