

Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides.

①

Niveau : Licence

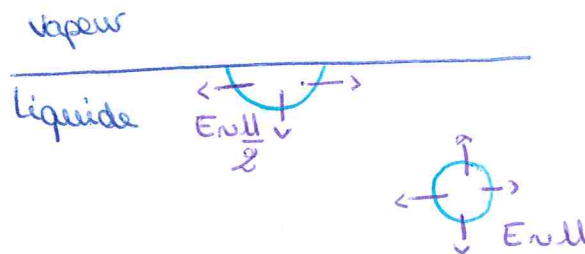
Prérequis : • Hydrodynamique.
• Travail force

I / Tension superficielle

Expérience du fil tiré par un film de savon.

Slide

1) Origine



→ : interactions intermolécul.

La particule à la surface perd en énergie d'interaction, il y a apparition d'une tension de surface. Elle est associée aux forces de cohésion internes qui s'exercent sur la particule, par la présence du fluide environnant :

- Van der Waals
- Liaisons H
- ⋮

Dans le volume, la résultante des forces est nulle, elles se compensent.

À la surface, il y a apparition de la tension superficielle γ .

Elle dépend de la température et de la nature des forces d'interaction entre les particules.

2) Interprétation énergétique

②

Il faut fournir de l'énergie mécanique pour augmenter la surface d'un fluide : Secouer une vinaigrette

Battre des œufs en neige.

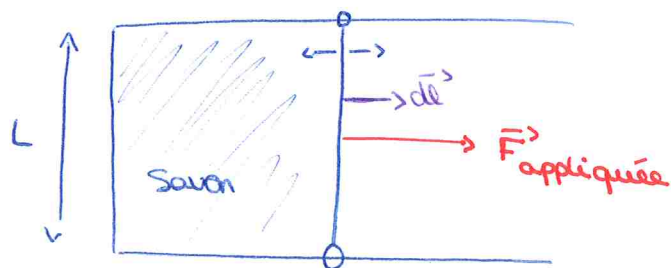
Soit σ et l'aire de la surface initiale d'un fluide.

On fournit un travail δW pour augmenter la surface de σ à $\sigma + d\sigma$: $\delta W = \gamma dA$

avec γ : coefficient de tension superficielle (J/m^2)

Ainsi, γ caractérise l'énergie à fournir pour augmenter la surface d'un fluide.

D'autre part, $\delta W = \vec{F} \cdot d\vec{l}$.



Ici $dA = L dl$

donc : $\vec{F}_{ap.} = \gamma L \vec{t}$

avec \vec{t} vecteur tgt à la surface

3) Facteurs influençant γ

- Les espèces de chaque côté de l'interface et leur énergie d'interaction entre elles
- La température.

Au niveau du point critique, γ s'annule.

II / Contact entre plusieurs phases

(3)

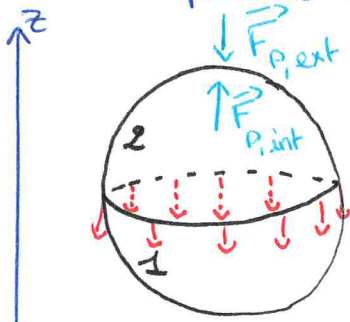
Liquide - vapeur: γ_{lv}

Solide - Vapeur: γ_{sv}

Solide - Liquide: γ_{sl}

1) 2 phases: L-V

Soit une goutte de rayon R supposée sphérique. (Surface minimale)
Découpée en 2 parties égales



\rightarrow : tension superficielle de 2 sur 1

$$\vec{F}_{p,ext} = -P_{ext} \pi R^2 \vec{e}_z$$

$$\vec{F}_{p,int} = P_{int} \pi R^2 \vec{e}_z$$

$$\vec{T} = -2\pi R \gamma_{lv} \vec{e}_z$$

Equilibre mécanique: $\vec{F}_{p,int} + \vec{F}_{p,ext} + \vec{T} = \vec{0} \rightarrow (P_{int} - P_{ext}) \pi R^2 = 2\pi R \gamma_{lv}$

Loi de Laplace:

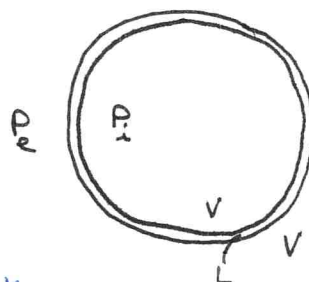
$$P_{int} - P_{ext} = \frac{2\gamma_{lv}}{R}$$

* $P_{int} > P_{ext}$

* P_{int} est donc proportionnelle à $1/R$, elle augmente quand la taille de la goutte diminue.

Pour une bulle de savon:

$$\vec{T} = -2\pi R \gamma_{lv} \times 2 \vec{e}_z$$



$$R_i \sim R_e \sim R$$

Loi de Laplace: $P_i - P_e = \frac{4\gamma_{lv}}{R}$

Expérience

donc



2) Contact à 3 phases - Capillarité

(4)

Remontée d'un fluide dans un tube de rayon r afin de déterminer la hauteur h d'ascension du fluide.

* Au niveau du ménisque :

$$\text{Loi de Laplace : } p_+(h) - p_-(h) = \frac{2\gamma_{lv} \cos\theta}{r} \quad (r = R \cos\theta)$$

$$\text{et } p_-(h) = p_{\text{atm}} - \rho_f g h \quad \text{et } p_+(h) = p_{\text{atm}}$$

$$\text{Donc : } h = \frac{2\gamma_{lv} \cos\theta}{r \rho_f g}$$

* Au niveau de la colonne ; lors de la remontée du fluide :

$$* \Delta E_{p,g} = \rho_f \times \pi r^2 h \times \frac{h}{2} \times g \quad \text{avec } \frac{h}{2} \sim \text{centre de gravité de la colonne.}$$

* Changement d'interface :

$$\Delta E_{p,s} = 2\pi h r \times (\gamma_{ls} - \gamma_{sv})$$

$$\text{L'énergie totale fournie est donc : } E_p = \rho_f g \times \frac{\pi r^2}{2} h^2 + 2\pi r (\gamma_{ls} - \gamma_{sv}) h.$$

$$\text{A l'équilibre, } \frac{dE}{dz}|_h = 0 \quad \text{donc} \quad \rho_f g r h = 2(\gamma_{sv} - \gamma_{ls})$$

$$\text{Finalement : } \boxed{h = \frac{2(\gamma_{sv} - \gamma_{ls})}{\rho_f g r}} \quad \text{Loi de Jurin}$$

En combinant les 2 expressions de h :

$$\boxed{\gamma_{sv} - \gamma_{ls} = \gamma_{lv} \cos\theta} \quad \text{Loi de Young-Dupré.}$$

+ Schéma avec forces pour expliquer.

3) Loi de Jurin, expérimentale

$$\gamma_{th} = (22,9 \pm 0,5) \times 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\gamma_{exp} = (48,4 \pm 0,7) \times 10^{-3} \text{ N/m}$$

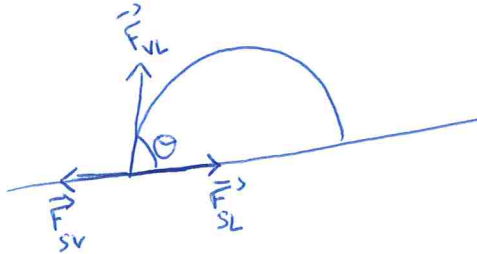
Conclusion.

Mouillabilité

θ = angle de contact.

$\theta = 180^\circ$ pas mouillable, $\theta = 0^\circ$ totalement ("parfait")

3 forces, tangentes aux interfaces



A l'équilibre:

$$\vec{F}_{SL} + \vec{F}_{VL} + \vec{F}_{VS} = \vec{0}$$

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{VL} \cos \theta$$

Longueur Capillaire : $l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$, Si $R \gg l_c$, la goutte est une flaque, la capillarité domine.

$$l_c, \text{ eau ds air} \approx 3\text{mm}$$

* Discuter minimisation surface

* Surfactant.

* Vagues petit λ : ressort tension surface (grand rayon courbure)