

PP02: Tension superficielle

- Bibli:
- Quarta I
 - Gouttes, bulles, perles et ondes
 - Guyon

Plan:

I - Découverte de la tension superficielle

- loi de Laplace
- mouillage

II - Mesures de tensions superficielles

- loi de Jurin
- balance d'annulation

III - Ondes gavitocapillaires

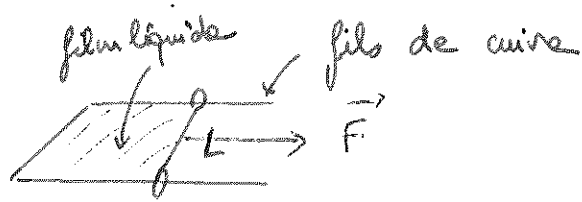
Intro: Lorsque 2 liquides non miscibles (ou liquide + air) sont mis en contact: phénomènes de tension superficielle apparaissent. Cette tension est associée aux forces de cohésion entre les molécules d'un fluide: une molécule en surface a moitié moins de voisines.

La capillarité (= étude des interfaces) joue un rôle majeur dans de nombreux domaines industriels (automobile, textile, sols, ...)

I) Découverte de la tension superficielle:

1) Dir en évidence:

exp:



en lâchant le côté mobile, il se déplace pour minimiser la surface du film. Pour accroître la surface de $dS = L \, dx$ il faut fournir une énergie dW :

$$dW = F \, dx = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{force à} \\ \text{appliquer}}}{2\gamma} L \, dx = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{2 interfaces}}}{2\gamma} dS$$

C'est la définition de γ : c'est une énergie par unité de surface (s'exprime en N/m).

Ordre: eau pure $\gamma \approx 70 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$
mercure $\gamma \approx 480 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$.

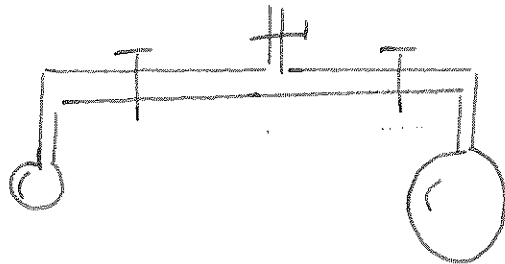
2) Forces de pression associées: loi de Laplace



$$p_{\text{int}} - p_{\text{ext}} = \frac{4\gamma}{R}$$

à la traversée de la bulle: discontinuité de la pression

exp:

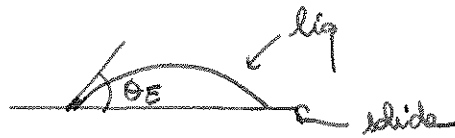


→ la petite bulle se vide de la grosse

Conséquence de la loi de Laplace: $\Delta p \text{ (petite)} = \frac{4\gamma}{R_{\text{petite}}} > \Delta p \text{ (grosse)} = \frac{4\gamma}{R_{\text{grosse}}}$

3) Phénomène de mouillage:

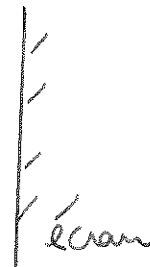
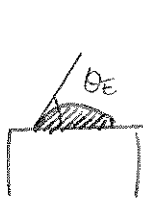
mouillage = états de l'étalement d'un liquide déposé sur un substrat solide.



pour $\theta_E < \frac{\pi}{2} \rightarrow$ surface hydrophile

ex: eau sur du verre

exp:

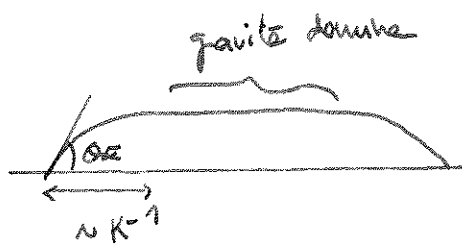


$\theta_E < \frac{\pi}{2}$: la surface est hydrophile

pour $\theta_E > \frac{\pi}{2}$: surface hydrophobe

ex: eau sur du téflon

Rem: 1)



on définit la longueur capillaire $K^{-1} = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$

(≈ 2 mm pour les liquides)

en dessous de K^{-1} : effets de tension superficielle dominant.

au dessus de K^{-1} : gravité domine

c) l'angle de la goutte posée est $\approx \theta_A$ (angle d'avancée)

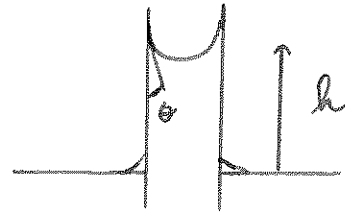
si on aspire la goutte : on mesure θ_R (angle de reculée)

II) Mesures de tension de surface

1) Loi de Jurin:

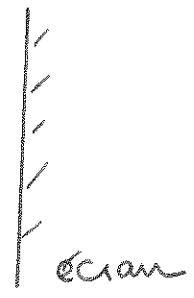
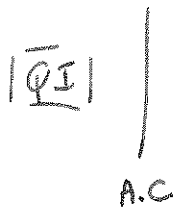
- On utilise 5 tubes de diamètres différents.
- " de l'éthanol.

loi de Jurin: $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$



hyp: mouillage total $\Rightarrow \cos \theta \approx 1$

dispositif:



on observe les tubes sur l'écran.

⚠ mesurer le grossissement du dispositif!

On mesure les h : on trace $h = f\left(\frac{1}{r}\right)$ ⚠ r est le rayon du tube

pente de la droite: $\frac{2\sigma}{\rho g} = \pm \text{m}^2$

$\Rightarrow \sigma = (\pm) \text{mN/m (éthanol)}$
 $\rho_{\text{éthanol}} =$

valeur calculée $\sigma_{\text{éthanol/air}} = 22 \text{ mN/m}$.

2) Balance d'arrachement:

principe:



quand ça lâche:
 $F = 2\sigma L$

balance de l'ENS: $L = 2 \text{ cm}$ (incertitude: 1 mm)

Il faut au préalable régler le zéro de la balance avec des petits poids.

Rem: la balance semble cassée, donc je fais un produit en croix pour avoir la vraie valeur.

$$F = \pm \text{ mN}$$

$$\Rightarrow \gamma = \frac{F}{2L} = (\pm) \text{ mN/m} \quad \text{pour l'eau}$$

valeur tabulée: $\gamma_{\text{eau (très propre)}} = 72 \text{ mN/m}$.

III) Ondes gravito-capillaires:

mécanismes qui conduisent au retour à l'équilibre de la surface libre (lorsque l'onde se propage) sont:

→ la gravité

→ la tension superficielle

On montre que la relation de dispersion de ces ondes est:

$$c^2 = \frac{g}{k} \tanh(hk) \left(1 + \frac{\gamma k^3}{\rho g}\right)$$

le terme $\tanh(hk)$ est ≈ 1 pour les ondes dites en "eau profonde"

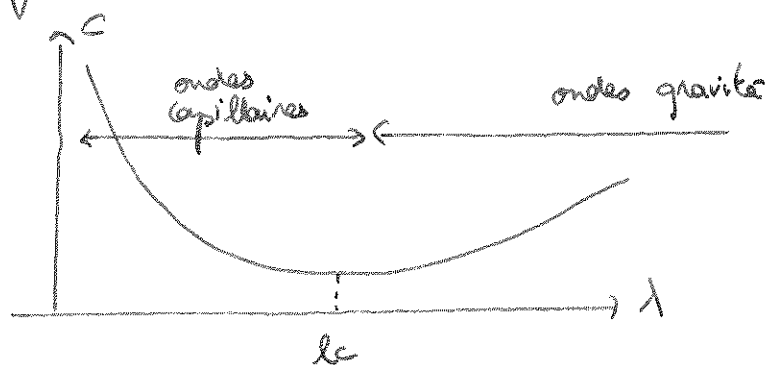
mais si $h \sim k$ (notre cas): $\tanh(hk) = 0,9996 \dots$

$$\text{on a donc } c^2 = \frac{g}{k} (1 + k^2 l_c^2) \quad (l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}})$$

$$\text{si } l \gg l_c: c^2 \approx \frac{g}{k}$$

$$\text{si } l \ll l_c: c^2 \approx g k l_c^2$$

graphiquement:



exp: Cerve à ondes (avec de l'eau)
pour $\neq$ es fréquences: on mesure λ
 $\rightarrow$ on calcule $c = \lambda f$

on trace $c^2 = \frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\gamma}{\rho\lambda}$

on peut remonter à γ_{eau} :

on trace: $c^2 - \frac{g\lambda}{2\pi} = f\left(\frac{1}{\lambda}\right)$

$\rightarrow$ droite de coefficient $\frac{2\pi}{\rho} = \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$

$\Rightarrow \gamma_{\text{eau}} = \text{mN/m}$

On compare les méthodes de mesure de γ ...

Cd: $\rightarrow$ on a plusieurs méthodes de mesure de γ .

mais il en existe d'autres (méthode de la "goutte pendante"
dont la forme est analysée $\rightarrow$ précision $\sim 1\%$)

$\rightarrow$ bcp de recherche sur les tensions superficielles; utilisé
en industrie : : ~