

bibliographie : - Dictionnaire de Physique expérimentale - La mécanique - Tome Lucien Quaranta  
 - Gouttes, bulles, perles et ondes - Pierre-Gilles de Gennes  
 - Emmanuelle Brochard-Wyart - David Quéré

Introduction : Dès lors qu'il existe une frontière nette entre 2 milieux non miscibles, des phénomènes de tension superficielle apparaissent aux interfaces. Les phénomènes trouvent leur origine dans les forces intermoléculaires attractives qui existent dans toutes phases condensées de la matière. En effet, une molécule loin de toute surface a de nombreuses voisines donc une forte énergie d'interaction. Par contre, une molécule en surface a moitié moins de voisines donc moitié moins d'énergie d'interaction. Tout se passe comme si il avait fallu casser un certain nombre de liaisons, ce qui a un coût en énergie. L'énergie  $E_s$  pour fabriquer une surface  $S$  s'écrit :

$$E_s = \gamma S$$

$\gamma$  tension superficielle.

La tension superficielle peut être interprétée comme une énergie par unité de surface ou comme une force par unité de longueur. Elle s'exprime donc indifféremment en  $J/m^2$  ou en  $N/m$ .

ordres de grandeurs : (à 20°C)  $\gamma_{eau/air} = 72 \text{ mJ/m}^2$   
 $\gamma_{Hg/air} = 480 \text{ mJ/m}^2$   
 $\gamma_{ethanol/air} = 22 \text{ mJ/m}^2$

## I) Observations

### 1) Minimisation de la surface.

cadres métalliques - triangle dans liquide à bulles



$\hookrightarrow$  il se crée une membrane plane de savon.

- tétraèdre dans liquide à bulles.

$\hookrightarrow$  figure qui fait apparaître la plus petite surface possible de film de savon.

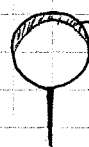
création d'une surface coûte de l'énergie  $\Rightarrow$  pour minimiser cette énergie, un fluide va avoir tendance à minimiser sa surface.

En l'absence d'autres contraintes comme la gravité, un fluide va prendre une forme sphérique  $\rightarrow$  whisky du capitaine Haddock dans la fusée.

### 2) forces de tensions

cadre métallique dans liquide à bulles :

surface minimale, si on essaye d'étendre cette surface  $\Rightarrow$  force qui résiste.

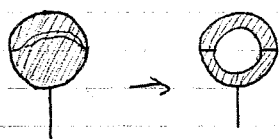


film de savon

Pour augmenter la surface, il faut fournir un travail :

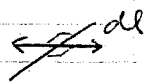
$$dW = f dl = 2 \gamma dS$$

(bulle de savon (2 interfaces :  $\frac{air}{liquide}$ ))

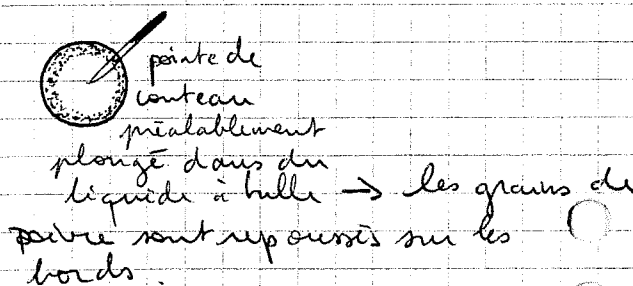
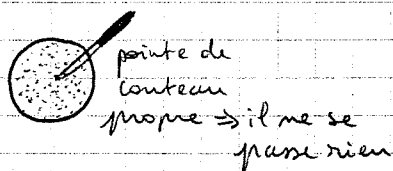
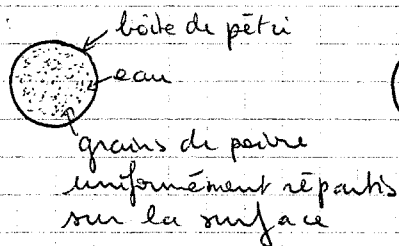


⇒ forces de tensions tendent à minimiser la surface de la membrane de savon.

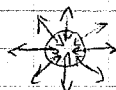
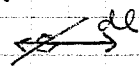
surface d'un liquide = lien de contrainte. Tout segment  $dl$  de cette surface est soumis dans une direction  $\perp$  à  $dl$  mais tangente à la surface à des forces opposées et égales si la surface est à l'équilibre.



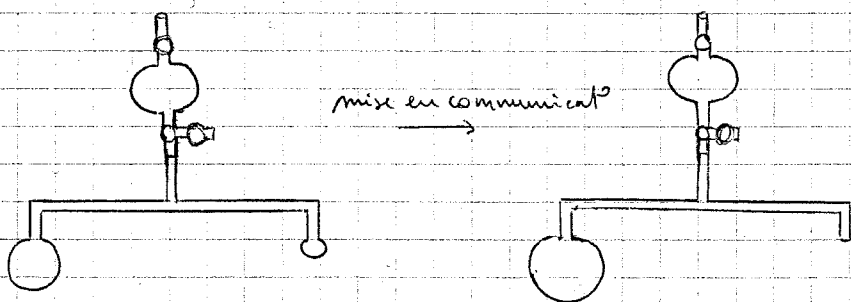
### 3) rupture de l'équilibre



L'apport de liquide à bulles diminue localement la tension de surface. Les forces ne sont plus égales de part et d'autre de  $dl$ .



### 4) Loi de Laplace



La petite bulle se vide dans la grosse  
⇒ pression dans la petite supérieure à pression dans la grosse.

La pression à l'intérieur d'une surface courbée est supérieure à la pression extérieure:

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

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

Pour une surface quelconque, la surf. de pression quand on la traverse s'écrit:

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext} = \gamma \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right) = \gamma C$$

C courbure

Loi de Laplace

$R$  et  $R'$  sont les rayons de courbure principaux de l'interface



Pour une goutte sphérique,  $R' = R \Rightarrow P_{int} - P_{ext} = \frac{2\gamma}{R}$

Pour une bulle de savon:  $P_{int} - P_{ext} = \frac{4\gamma}{R}$  (2 interfaces)

$$P_{int} = P_{ext} + \frac{4\gamma}{R} \Rightarrow \text{qd } R \uparrow, P_{int} \downarrow$$

$\Rightarrow$  plus une bulle est petite, plus la pression à l'intérieur de la bulle est élevée.

## II) Mesures de tensions superficielles

### 1) Loi de Jurin

5 tubes capillaires de diamètres  $\neq$  sont plongés dans une cuve d'éthanol. La hauteur  $h$  dont l'éthanol est monté dans chaque tube dépend du rayon  $r$  du tube capillaire. La loi de Jurin donne la relation:



$$h = \frac{2\gamma \cos \alpha}{\rho g r}$$

hyp: mouillage total  
 $\cos \alpha \approx 1$

$$\Rightarrow \boxed{h = \frac{2\gamma}{\rho g r}}$$

On relève les  $\neq$  valeurs de  $h$  pour les  $\neq$  rayons  $r$  puis on trace  $h = f\left(\frac{1}{r}\right) \rightarrow$  droite de pente  $a = \frac{2\gamma}{\rho g}$

$$a = 6,79 \cdot 10^{-6} \pm 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\gamma_{\text{exp}} = \frac{\rho g a}{2} = \frac{789 \times 9,81 \times 6,79 \cdot 10^{-6}}{2} = 26,3 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\Delta \gamma = \frac{\Delta a}{a} \times \gamma = \frac{0,35 \cdot 10^{-6}}{6,79 \cdot 10^{-6}} \times 26 \cdot 10^{-3} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

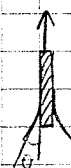
$$\gamma_{\text{exp}} = 26,3 \pm 1,4 \text{ mN/m}$$

valeur tabulée:  $\gamma_{\text{éthanol, air}} = 22 \text{ mN/m}$

### 2) Méthode d'arrachement

balance d'arrachement: - description  
- étalonnage.

force exercée par l'interface sur la lame de platine:



$$F = 2L\gamma \cos \theta$$

à l'arrachement,  $\theta \approx 0 \Rightarrow \cos \theta \approx 1$

$$\boxed{F = 2L\gamma}$$

sur la balance (1 dyne =  $10^{-5}$  N)  $\nearrow$  largeur de la lame de platine:  $L = 2 \text{ cm}$  (notée)

$$\text{eau: } \gamma_{\text{eau}} = \frac{F}{2L} = \frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{2 \times 2 \cdot 10^{-2}} = 67,5 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\Delta \gamma = \frac{\Delta F}{F} \times \gamma = \frac{20 \cdot 10^{-5}}{270 \cdot 10^{-3}} \times 67,5 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

$$\gamma_{\text{exp}} = 67,5 \pm 5 \text{ mN/m}$$

valeur tabulée:  $\gamma_{\text{eau, air}} = 72 \text{ mN/m}$

éthanol:  $\gamma_{exp} = \frac{F}{2L} = \frac{100 \cdot 10^{-5}}{2 \times 2 \cdot 10^{-2}} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$

$\Delta\gamma = \frac{\Delta F}{F} \times \gamma = \frac{20 \cdot 10^{-5}}{100 \cdot 10^{-5}} \times 25 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$

$\gamma_{exp} = 25 \pm 5 \text{ mN/m}$

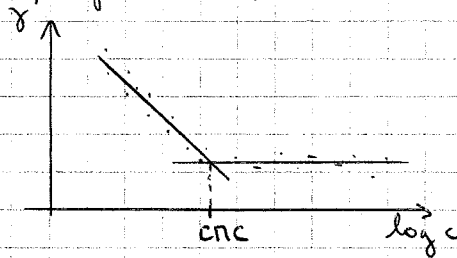
valeur tabulée:  $\gamma_{éthanol/eau} = 22 \text{ mN/m}$

application: Détermination de la concentration micellaire critique d'un tensioactif  
concentration micellaire critique = concentration en tensioactif à partir de laquelle des micelles peuvent se former.

ici tensioactif utilisé: SDS (Sodium Dodecyl Sulfate)

On mesure la tension superficielle pour  $\neq$  concentration et on trace

$\gamma = f(\log c)$



modélisation

$cmc_{exp} = 10,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$

$cmc_{th} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$

### 3) Ondes capillaires

une à onde: description

on mesure la longueur d'onde pour  $\neq$  fréquences.

on en déduit la vitesse  $V = \lambda f$

formule de Kelvin:  $V = \sqrt{\frac{g}{2\pi} \lambda + \frac{2\pi\gamma}{\rho} \frac{1}{\lambda}}$

$\Rightarrow V^2 - \frac{g\lambda}{2\pi} = \frac{2\pi\gamma}{\rho} \frac{1}{\lambda}$

On trace  $V^2 - \frac{g\lambda}{2\pi} = f\left(\frac{1}{\lambda}\right) \rightarrow$  droite de pente  $a = \frac{2\pi\gamma}{\rho}$

$a = 449 \cdot 10^{-6} \pm 130 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{s}^{-2}$

$\gamma = \frac{a\rho}{2\pi} = \frac{1000 \times 449 \cdot 10^{-6}}{2\pi} = 71,5 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$

$\Delta\gamma = \frac{\Delta a}{a} \times \gamma = \frac{130}{449} \times 71,5 \cdot 10^{-3} = 21 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$

$\gamma_{exp} = 71,5 \pm 21 \text{ mN/m}$

valeur tabulée:  $\gamma_{eau} = 72 \text{ mN/m}$

Conclusion:  $\neq$  méthodes pour mesurer la tension superficielle présentent avantages/inconvénients et sont  $\neq$  précises

loi de Jurin: meilleurs résultats avec l'éthanol qu'avec l'eau (pb de mouillage)

balance d'arrachement: - tous liquides

- requiert bcp de minutie

onde à onde: nécessite une quantité assez conséquente de liquide que de l'eau distillée.

(suite conclusion) - surfaces hydrophiles / hydrophobes  
↳ industrie traitement des surfaces.

(5)

(pare brise : hydrophobe  
fongicides : hydrophiles)

- minimisation de surface → industrie du bâtiment  
et des travaux publics.

Questions / remarques :

- "rupture de l'équilibre" ? "segment imaginaire" ? quelle interface ?

- loi d'Young, angle de mouillage (Jurin  $\alpha = f(\gamma)$ ).

- savon : modifie localement  $\gamma$  (gradient de  $\gamma$ ) → effet Marangoni  
(dynamique)

-  $\Delta$  valeur théorique + valeur tabulée.

- rapport entre mouillage et tension superficielle ?

-  $\Delta$  Loi de Jurin  ~~$\alpha \neq 0$~~  →  $\cos \alpha \sim 1$   
hypothèses derrière loi de Jurin ? ménisque sphérique + Laplace

- CRC ? sens physique ?

- d'où viennent les orisations des bulles de savons ?

-  $V$  dans Kelvin ? vitesse des ondes, laquelle ? vitesse de phase.

- onde à bord : pas des ondes stationnaires car bord ~~absorbe les ondes~~ ou mousse

Pour qu'elles soient " $\infty$ " (empêche les réflexions → adapté d'impédance)

Kelvin : 3 facteurs  $\tan h$  (eau profonde / peu profonde)  
ellipses d'inertitudes : suppose que  $\frac{\Delta x}{x}$  et  $\frac{\Delta y}{y}$  sont d'unités  
ce n'est pas le cas ici ( $x$  et  $y$  dépendent de  $\lambda$ )

- importance relative des ondes capillaires / gravitationnelles ?

- micror de fonde  $V^2 = f(\lambda)$  et modéliser que la partie où les  
ondes capillaires dominent.

- loi de Jurin : éthanol pur ? pourrait expliquer l'écart à la valeur  
tabulée

- inertitudes : convergences statistiques

si bcp de pts : inertitude statistique  $\Rightarrow$  don = par  $\sqrt{N}$  si  $N$  nombre de mesures

L'inertitude suppose tjrs que le modèle est juste (ici on a majoré  
l'inertitude)

- minimisation de surface : faux



- Régressi : écart des moindres carrés



→ mouillage, accrochage, angles, ondes capillaires.