

- Biblio :
- Gouttes bulles perles et ondes
 - Guyon-Kulin-Petit
 - Quaranta méca ("capillarité)
 - Notice cuve à ondes

Plan :

I - Mise en évidence qualitative des phénomènes de surface.

I.1 - Tension superficielle

I.2 - Discontinuité de pression : loi de Laplace.

I.3 - phénomène de mouillage

II - Mesures de tension de surface.

II.1 - Montée capillaire : loi de Jurin.

II.2 - Balance d'auvernement

II.3 - Ondes gravito-capillaires

III - Modification de la tension de surface : tensio-actifs

Intro :

On va s'intéresser dans ce montage à : les phénomènes qui apparaissent à la surface d'un liquide.

on peut pour introduire ce montage penser à quelques observations que l'on peut faire dans la vie de tous les jours (ou presque) :

- Un trombone flotte sur l'eau (de même que certaines araignées savent marcher sur l'eau).
- Il doit exister une force à la surface. c'est la notion de tension superficielle.
- Sur un rémouleur les gouttes d'eau "roulent"
- Il y a apparition d'un ménisque aux bords d'un récipient rempli d'eau.
- la forme du liquide sur un solide est différente selon les liquides et la surface considérée - c'est le phénomène de mouillage.

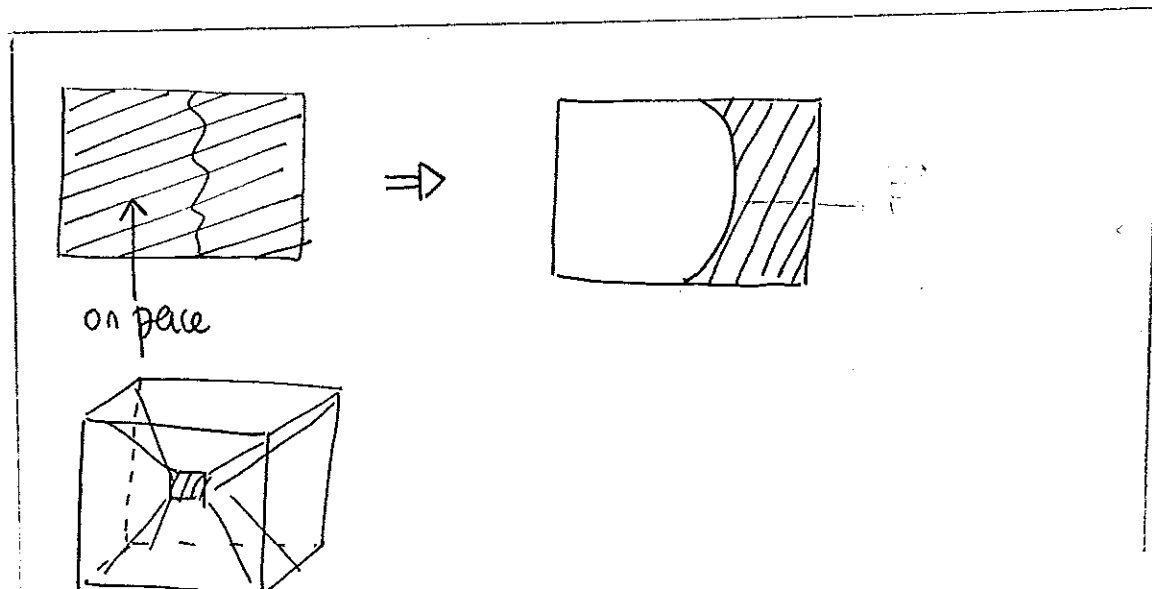
On appelle capillarité l'étude des interfaces.

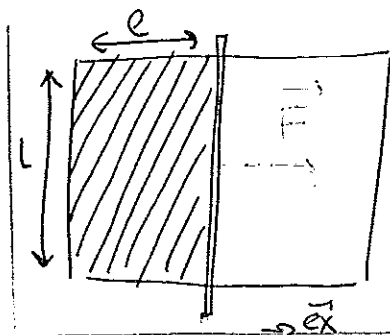
on va mettre en évidence de manière qualitative ces phénomènes, via différents techniques permettant de mesurer la tension de surface, et étudier l'influence des tensions - actifs.

I - Mise en évidence qualitative des phénomènes de surface

I. 1 - Tension superficielle [Gouttes p. 11] [Q p. 40]

Manip.





Il faut exercer une force pour augmenter l'aire du film de savon.

Donc: il faut fournir une énergie pour créer de la surface (ex: oeufs en neige, mayonnaise).

explication: lorsqu'elle est exposée à la surface une molécule est dans un état énergétique défavorable puisqu'elle perd en gros la moitié de l'énergie de cohésion qu'elle a lorsqu'elle est en volume.

La def: la tension de surface σ est l'énergie à fournir pour augmenter la surface d'une unité:

$$\delta W = \sigma dA$$

C'est aussi une force par unité de longueur:

$$\vec{F} = \sigma \vec{L}$$

$$[\sigma] = \text{J} \cdot \text{m}^{-2} = \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Dans l'ex de la tige: $\delta W = 2\sigma L d\ell$ ^{2 interfaces}

$$\vec{F} = 2\sigma L \vec{ex}$$

ODG: eau: 72 mJ/m^2 ; éthanol: 22 mJ/m^2 ; glycérol: 63 mJ/m^2

I.2 - Discontinuité de pression: loi de Laplace.

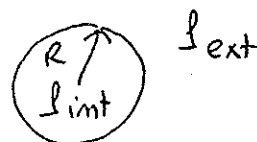
[Gouttes p.16] [Q p.44] [Gtl p.40]

La tension de surface est à l'origine de la surpression à l'intérieur des gouttes et des bulles.

Dans une bulle la différence de pression est donnée par la loi de

Laplace:

$$\Delta p = p_{\text{int}} - p_{\text{ext}} = \frac{2\sigma}{R}$$



démo: le rayon de la goutte correspond à l'équilibre entre les effets de tension de surface (minimisation de l'aire de l'interface) et de pression à l'intérieur de la goutte.

Imaginons un accroissement de r de la bulle

$$dW_\sigma = d(2 \times 2\pi R^2 \times \sigma) = 8\pi \sigma R dR$$

$\uparrow$ 2 interfaces $\uparrow$ Aire d'une sphère...

$$dW_p = -\Delta p dV = -\Delta p d\left(\frac{4}{3}\pi R^3\right) = -4\pi R^2 dR \Delta p$$

A l'équilibre: $dW_\sigma + dW_p = 0$

$$\Rightarrow 8\pi \sigma R dR - 4\pi R^2 dR \Delta p = 0$$

$$\Rightarrow 2\sigma - R \Delta p = 0$$

$$\Rightarrow \Delta p = \frac{2\sigma}{R}$$

Rq: Dans le cas gel on a $\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$

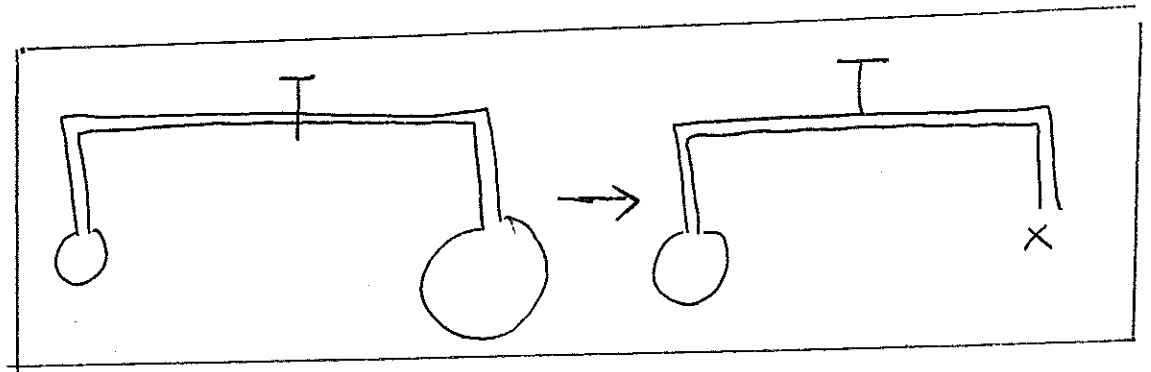
$\uparrow$ $\uparrow$
 2 rayons de courbure.

Une conséquence de la loi de Laplace est que les petites bulles se vident dans les grosses:

$$R_{\text{petite}} < R_{\text{grosse}}$$

$$\Rightarrow \Delta p_{\text{petite}} > \Delta p_{\text{grosse}}$$

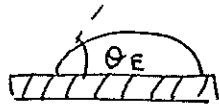
Manip:



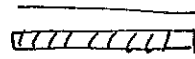
I.3 - phénomène de mouillage (Gouttes p.23)

Le mouillage est l'étude de l'étalement d'un liquide déposé sur un substrat solide (ou liquide).

Selon le substrat et le liquide considéré, on peut observer la formation de gouttes presque sphériques, ou au contraire un étalement du liquide:



mouillage partiel



mouillage total

$$\theta_E = 0$$

on attribue aux solides une tension critique de surface σ_c telle que

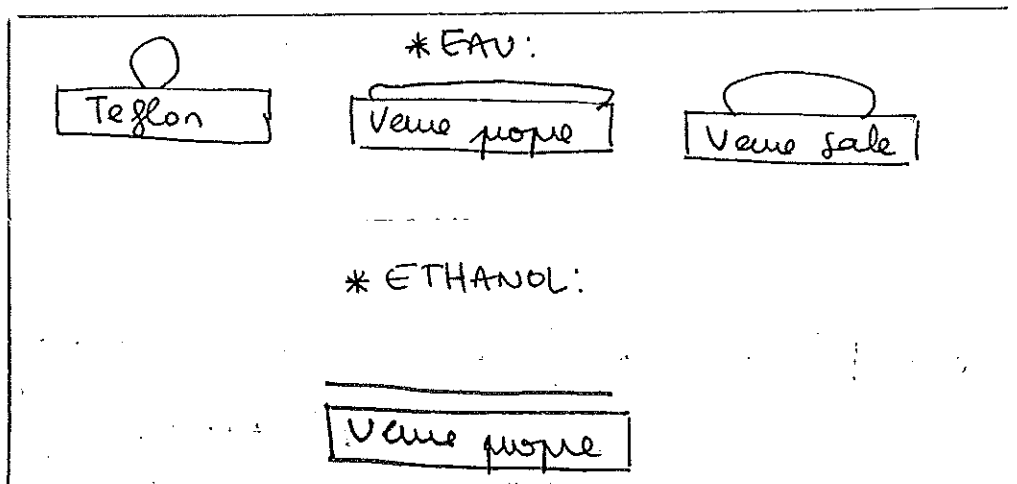
$\sigma > \sigma_c \rightarrow$ mouillage partiel

$\sigma < \sigma_c \rightarrow$ mouillage total.

ODG: verre propre: $\sigma_c \sim 150 \text{ mJ/m}^2 > \sigma_{\text{eau}}, \sigma_{\text{éthanol}}$

teflon: $\sigma_c \sim 15 \text{ mJ/m}^2 < \sigma_{\text{eau}}, \sigma_{\text{éthanol}}$

Manip:



II - Mesures de tension de surface :

II. 1 - Pontée capillaire : loi de Jurin. [Gouttes p. 52]

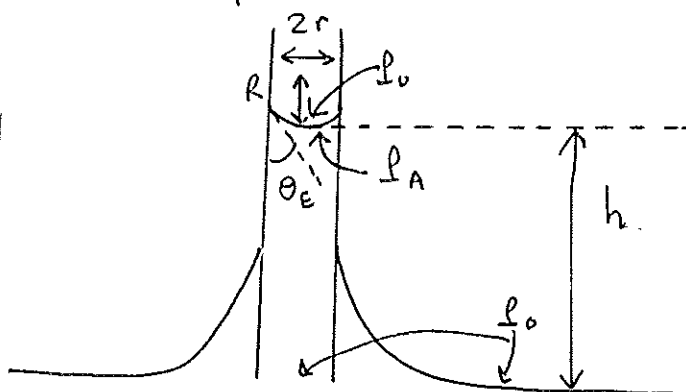
Le phénomène d'ascension capillaire ou le puits est une observation quotidienne : menisques ou les veines par ex.



Si un petit tube est mis en contact avec un liquide mouillant, du liquide s'élève dans le tube.

Loi de Jurin :

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta_E}{\rho g r}$$



$$\Delta p = p_o - p_A = \frac{2\sigma}{R} \quad (\text{loi de Laplace})$$

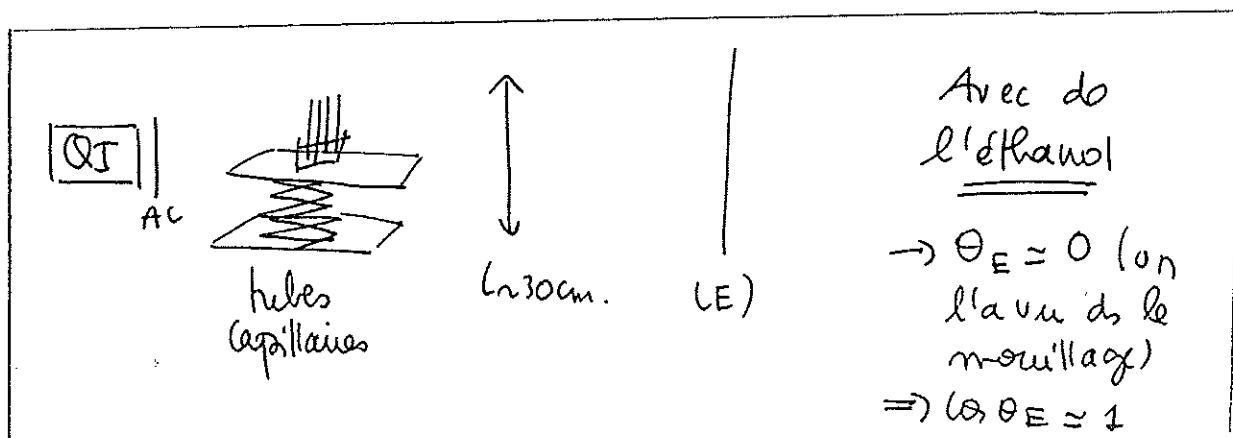
$$R = \frac{r}{\cos \theta_E}$$

$$\Delta p = p_o - p_A = \frac{2\sigma \cos \theta_E}{r}$$

$$\text{et } \Delta p = \rho g h \quad (\text{hydrostatique})$$

$$\text{donc } \rho g h = \frac{2\sigma \cos \theta_E}{r} \rightarrow \text{loi de Jurin.}$$

Manip :



On focalise sur les tubes et après on bauge la lentille pour voir préférentiellement l'un ou l'autre.

1^{ère} étape: déterminer le grandissement.

on s'intéresse au diamètre du gros tube: on le mesure au pied à coulisse ($\rightarrow D$) et on mesure son image sur l'écran ($\rightarrow D'$).

$$D = (\quad \pm \quad)$$

$$D' = (\quad \pm \quad)$$

$$G = \frac{D'}{D} \text{ et } \Delta = G \left[\frac{\Delta D'}{D'} + \frac{\Delta D}{D} \right]$$

$$G = (\quad \pm \quad)$$

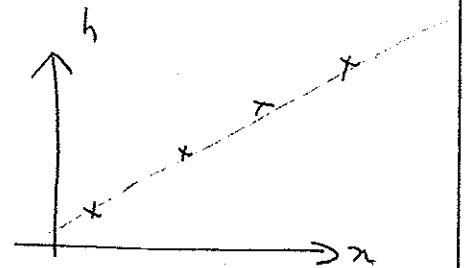
2^{ème} étape: on trace la ligne horizontale correspondant à la surface libre d'équilibre de la cuve et on repère la position du ménisque de chaque tube ($\rightarrow h'$ pour chaque tube).

$$h' = (\quad \pm \quad)$$

$$r = (\quad \pm \quad)$$

Dans ce qui suit on calcule $h = \frac{h'}{\sigma}$
 $x = \frac{2}{\rho g}$

on trace h en fonction de x .



modélisation par une droite affine $h = \sigma x + b$.

$$\sigma = (\quad \pm \quad)$$

$$b = (\quad \pm \quad)$$

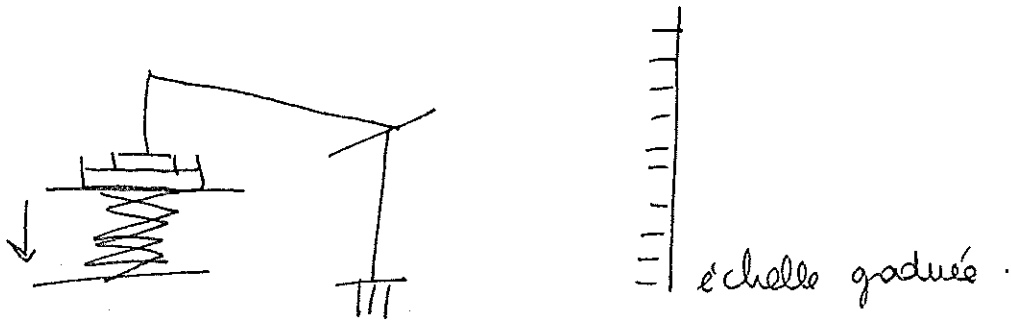
$$\gamma_{\text{eau}} = 22 \text{ m N/m}$$

II. 2 - Balance d'auachement

Principe: la balance d'auachement permet de mesurer une force (en faisant un étalonnage, qu'on va faire).

on y accroche une très fine plaque de métal de longueur L .

on fait plonger cette plaque dans un liquide puis on l'en détache progressivement en variant le boy.



La plaque est alors soumise à son poids et à la tension de surface $F_s = 2\sigma L$, qui reste prépondérante tant que la plaque ne se détache pas. Quand ça lâche, c'est que le poids est juste égale à la tension de surface.

• Etalonnage:

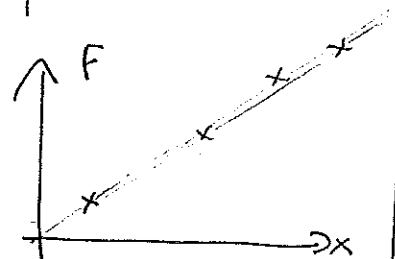
- on place la petite plaque et on règle à zéro (vis sur le côté).

- on accroche successivement différentes masses m et on lit la position x du curseur.

On a alors que la position x du curseur correspond à une force mg .

Dans notre cas: on calcule $F = mg$.

on trace F en fonction de x



on a notre étalonnage: une position x du curseur correspond à une force F .

$$k = \frac{F}{x} = (\quad \pm \quad) \text{ N/div.}$$

Grâce à cet étalonnage on lit directement la force de tension de surface quand ça bouge.

on en déduit $\gamma = \frac{F}{2L} = \frac{\alpha x}{2L}$; $\Delta\gamma = \gamma \left(\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta L}{L} \right)$

Méthode:

- On mesure $L = (\quad \pm \quad)$
- Détermination de γ pour différents liquides:

	x	γ
eau	$\pm$	$\pm$
éthanol	$\pm$	$\pm$
glycérol	$\pm$	$\pm$

II. 3- ondes gravito-capillaires [GHP] [Notice avec d'ondes]

Pour les ondes à la surface de l'eau on a la relation de dispersion suivante:

$$v^2 = \frac{g}{k} \tanh(kh) \left(1 + \frac{\gamma k^2}{\rho g} \right) \quad \text{avec} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

h = hauteur d'eau.

$v = \lambda f$ célérité des ondes

L'influence relative de la capillarité et de la gravité fait intervenir une longueur spécifique = longueur capillaire l_c .

$$l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$$

on peut écrire:

$$v^2 = \frac{g}{k} \tanh(kh) [1 + l_c^2 k^2]$$

* simplifications:

on utilise la cuve à ondes avec de l'eau.

$$\cdot \sigma \sim 72 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$$

$$\cdot \rho \sim 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\cdot h \sim 10^{-2} \text{ m}$$

$$\cdot \lambda \sim 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{donc } hk \sim \frac{2\pi \cdot 10^{-2}}{10^{-2}} \sim 2\pi.$$

$$k(2\pi) = 0,999993 \approx 1.$$

$$\cdot (hk)^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \frac{\sigma}{\rho g} \sim \frac{4\pi^2 \cdot 72 \cdot 10^{-3}}{10^{-4} \cdot 10^3 \cdot 10} \sim 0,8 \text{ pas négligeable devant 1.}$$

$$\text{on a donc } v^2 = \left(g \frac{2\pi}{k}\right)^2 = \frac{g}{k} \left[1 - \frac{\sigma}{\rho g} k^2\right] = \frac{g}{k} - \frac{\sigma}{\rho} k$$

$$\Rightarrow \boxed{\rho \left(v^2 - \frac{g}{k}\right) = -\sigma k}$$

Bq: ici $\lambda_c = 2\pi k_c \sim 1,7 \cdot 10^{-2} < \lambda \rightarrow$ ondes de gravité.

(mais c'est limite pour les
gds longueurs d'ondes).

Manip:

- relever f en branchant un fréquence-mètre à la sortie du "générateur de vent".
- relever λ à l'œil... c'est difficile. Il faut stabiliser au mieux l'image en réglant le stroboscope, et après, se trouver un critère pour compter et mesurer les longueurs d'ondes. Nous on a mis un transparent sur la cuve pour pouvoir marquer rapidement les positions des longueurs d'ondes, et mesurer tranquillement après.

- On calcule avec regroupement:

$$v = f \lambda$$

$$h = 2\pi / \lambda$$

$$y = \rho(v^2 - g/h)$$

Et on trace y en fonction de h .

on modélise par une droite qui doit avoir γ comme coeff directeur.

$$\gamma = (\quad \pm \quad)$$

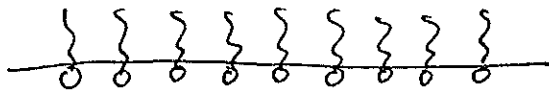
III - Modification de la tension de surface: tension-actifs.

[CQ p.40] [GHP p.44] [Bouttes p.171]

Un tensio-actif (ou surfactant) est un corps qui a la propriété de faire diminuer la tension de surface.

Ex: savon.

On se sert souvent de composés amphiphiles qui se placent donc à la surface:



Cette interposition de surfactant diminue les interactions directes entre les molécules.

* Manip

mesurer la tension de surface γ (à la balance d'annulation) pour des mélanges eau-SDS à différentes concentrations.

SOS = lauryl sulfate de sodium $\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$ 

Rq: c'est difficile de faire les solutions parce que ça mousse.

On trace $\gamma = f(\log c)$



Rq: ça marche pas super...

* à partir d'une certaine concentration c_{mc} = concentration micellaire critique, γ ne varie plus car le surfactant forme des micelles en volume.

Dans le SDS: $c_{mc} = 8,08 \text{ mol.L}^{-1}$.

on doit pouvoir le montrer mais on n'a pas réussi à montrer que γ est constant aux fortes concentrations.

Conclusion:

- On a vu plusieurs méthodes de mesure de γ mais il y en a d'autres (notamment l'étude des gouttes).
- La valeur de γ est très sensible (impuretés, T, tensio-actifs), surtout pour l'eau.
- Importance de l'étude de phénomènes de surface:
 - surfaces non mouillantes (revêtements hydrophobes)
 - adhésion capillaire
 - formulation en pharmacologie.
 - etc.