Tension superficielle

Tension superficielle

La tension superficielle est un phénomène d'augmentation de l'énergie à la surface d'un fluide et qui en augmente localement la cohésion. Cet effet permet par exemple aux insectes de marcher sur l'eau, à un objet léger de se maintenir à la surface d'un liquide, à la rosée de ne pas s'étaler sur les pétales de fleurs, et explique la **capillarité**.

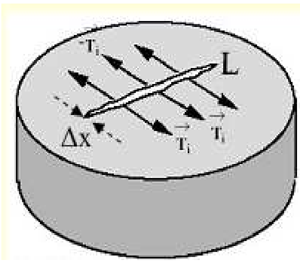
La capillarité est le phénomène d'interaction qui se produit aux interfaces entre deux liquides non miscibles, entre un liquide et l'air ou entre un liquide et une surface. Elle est due aux forces de tension superficielle entre les différentes phases en présence. Effet capillaire : l'eau monte dans les tubes, d'autant plus hauts qu'ils sont étroits (loi de Jurin).

Force de tension superficielle

Si on veuille créer à la surface libre d'un liquide une ouverture en forme de fente, de longueur L et de largeur Δx très petite : il faut pour cela exercer en plusieurs points de l'ouverture des forces Ti, qui doivent être des forces de traction : En effet, le liquide tend à s'opposer à cette opération en développant une force F de norme F qui s'oppose aux forces Ti. La norme F de la force est proportionnelle à la longueur L de la fente : $\boxed{\mathbf{F = \gamma L}}$

Le coefficient γ s'appelle tension superficielle et se mesure en N/m.

Energie potentielle de surface



Cette énergie est mesurée au signe près par le travail de Fau cours de l'accroissement de surface. Au signe près, car F effectue un travail résistant et que ceci accroît l'énergie du liquide.

on peut simplement écrire l'augmentation d'énergie apporté à la surface comme

$\Delta E = F.\Delta x = \gamma L.\Delta x$, soit $\Delta E = \gamma . \Delta S$

Ainsi $\gamma = \Delta E/\Delta S$

Ainsi la tension superficielle γ peut aussi se définir comme le rapport de l'augmentation d'énergie potentielle de surface par unité de surface accrue.

La tension superficielle peut donc aussi se mesurer en Joules/m2.

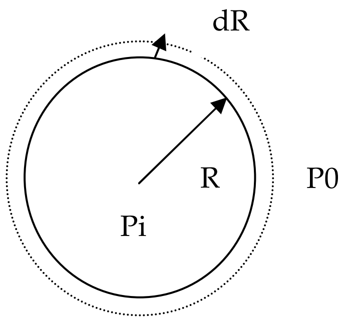
Surpression dans les gouttes – Loi de Laplace (1749 – 1827)

Soit une goutte sphérique de rayon R : les forces de tension superficielle, qui sont dirigées vers l'intérieur de la goutte, exercent une compression à l'intérieur de celle-ci. La pression pi dans la goutte est donc supérieure à celle du milieu extérieur, p0. Cette compression est, bien sûr, d’autant plus grande que les forces superficielles sont grandes, donc que la tension superficielle γ est élevée.

La loi de Laplace permet de calculer la différence $\boxed{pi - p0 = \Delta p}$ en fonction de R et de γ .

Si on augmente le rayon R de la goutte de dR, son volume augmente de S.dr = 4 πR2dR, où S est la surface de la goutte.

Travail des forces de pression au cours de cette opération :



dW0= - p04π R2Dr

dWi= pi 4π R2dR

Le travail total est donc : dW = (pi -p0)4 πR2 dR

Ce travail est égal à celui des forces de tension de surface :

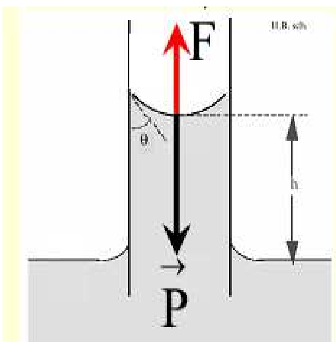
dW = γ d S

La surface d’une sphère vaut : S = 4π R2. Son augmentation dS

est égale à : dS = 8 π RdR. Il s’ensuit : Δp= pi – p0 = 4γ /R

La surpression Δp est une fonction inverse du rayon de la goutte.

Ascension capillaire



Un tube de verre de faible diamètre est plongé dans un liquide mouillant, de l’eau par exemple. Dans le tube, le niveau du liquide est supérieur au niveau de la surface libre du récipient.

Le ménisque concave fait un angle θ avec la surface du tube.

L’ascension capillaire est due aux forces superficielles appliquées en tout point du contour du ménisque. La résultante F de ces forces équilibre le poids P du liquide soulevé.

L’élévation du liquide dans le tube compense la différence de pression entre les deux côtés de la paroi. (Loi de Laplace).

Le poids de la colonne de liquide dans le tube $P = mg = \pi R^2 h \rho g$

est équilibré par la force de tension superficielle $F = 2\pi R \gamma \cos\theta$

s'exerçant sur la ligne de raccordement entre le liquide et la paroi du tube.

On obtient ainsi la relation $h = \dfrac{2\gamma\cos\theta}{R\rho g}$ que l’on appelle Loi de Jurin.

R :rayon intérieur du tube, ρ : masse volumique du liquide, g : accélération de la pesanteur,

γ : tension superficielle du liquide, θ : angle de raccordement liquide/solide

cos θ : parce que seule la composante verticale contribue à la résultante F.

Dans le cas du mouillage parfait, cos θ = 1, Si l'angle θ dépasse 90°, la loi de Jurin donne h négatif. On parle alors de dépression capillaire. C'est le cas du mercure au contact du verre et de tous les liquides non mouillants.

Exercices

I : Un liquide a une constante de tension superficielle $\gamma = 25.10^{-3}$ N.m^{-1}. Avec ce liquide, on souffle une bulle de savon de rayon R = 3 cm.
Calculer la surpression à l'intérieur de cette bulle.

La pression extérieure étant égale à 10^5 Pa, calculer le travail total dépensé pour souffler la bulle.

Correction

I : $P_i - P_e = 4\gamma/R = 4\times25.10^{-3}/3.10^{-2} = 10/3$

$$P_i - P_e = 3,3 \text{ Pa}$$

Travail pour créer une surface dS :
$dW = \gamma.dS$
$W = \gamma.S$
Surface d'une sphère : $4\pi R^2$ mais ici la paroi de la bulle est constituée de 2 surfaces, donc la surface est $8\pi R^2$.
$W = A.8\pi R^2 = 25.10^{-3}\times8\pi\times(3.10^{-2})^2$

$$W = 5,7.10^{-4} \text{ J}$$

II : Un liquide mouillant parfaitement le verre et de masse volumique $\rho = 1,05.10^3$ kg.m^{-3}, s'élève à une hauteur moyenne h = 1,5 cm dans un tube capillaire en verre, vertical et de diamètre intérieur d = 1 mm.

Calculer la constante de tension superficielle du liquide (g = 10 m.s^{-2}).

Correction

$h = 2\gamma/\rho gr$
$\gamma = h\rho gr/2$
$\gamma = 1,5.10^{-2}\times1,05.10^3\times10\times0,5.10^{-3}/2 = 3,9375.10^{-2}$

$$A = 3,9.10^{-2} \text{ N.m}^{-1}$$

III : Soit un tube de diamètre intérieur plongeant verticalement dans un liquide de tension superficielle A et de masse volumique ρ . On suppose la mouillabilité parfaite et on désigne par h la dénivellation du liquide dans le tube.
Avec l'eau, on trouve h_0 = 92,3 mm ($\rho_0 = 0,9973.10^3$ kg.m^{-3}, $A_0 = 71,93.10^{-3}$ N.m^{-1}).
Pour le benzène, on trouve h = 42,4 mm.

En déduire la constante de tension superficielle du benzène sachant que sa masse volumique ρ a pour valeur $0,8840.10^3$ kg.m^{-3}.

Correction

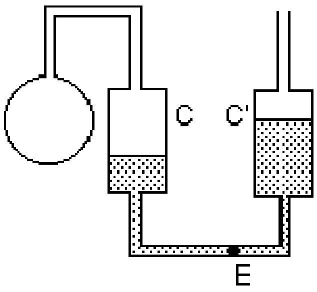
Pour le benzène, on a : $h = 2\gamma/\rho gr$, Pour l'eau, on a : $h_0 = 2\gamma_0/\rho_0 gr$

En faisant le rapport : $h/h_0 = (\gamma/\gamma_0)\times(\rho_0/\rho)$

$$\gamma = hA_0\rho/h_0\rho_0$$

$\gamma = 42{,}4\times71{,}93.10^{-3}\times0{,}884.10^{3}/92{,}3\times0{,}9973.10^{3}$ $\gamma = 29{,}29.10^{-3}\ N.m^{-1}$

IV.: Le liquide dans C et C' a comme masse volumique $\rho = 0{,}800\ g.cm^{-3}$.



La section S de C et de C' est de 5,70 cm^2.
La section s du tube capillaire est de 3,20 mm^2.
On prendra $g = 9{,}80\ m.s^{-2}$.
Le diamètre D de la bulle est égal à 4,20 cm. L'index E se déplace de l = 6,50 cm à cause de la surpression régnant dans la bulle.

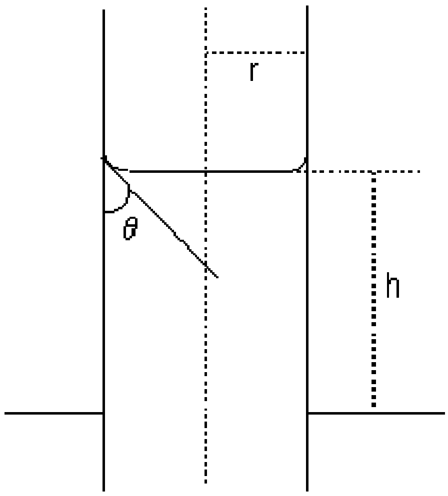
Déterminer la constante capillaire A du liquide constituant la bulle.

Les nombres de chiffres significatifs des données précédentes fixant les incertitudes des mesures, déterminer celle sur A.

V : Un cadre métallique carré de 5 cm de coté est déposé dans un bain de mazout. Pour séparer le cadre du liquide, il faut exercer une force de $7{,}32.10^{-3}$ N. Calculer la tension superficielle du mazout.

II : a)

b)



Si $\theta = 45$ ° par exemple, la constante A serait alors égale à :

$A = h\rho gr/2.\cos\theta = 3{,}9.10^{-2}/0{,}707 = 5{,}5.10^{-2}$ N.m^{-1}

III :

IV : Volume du liquide déplacé : $V = ls = hS$

h : hauteur de laquelle est descendu le niveau dans C. Mais le liquide est monté de la même valeur dans C', donc la dénivellation H dans les deux récipients vaut :

$H = 2h = 2ls/S$

Pression en un point de C' situé dans la même plan horizontal que le niveau dans C :

$P = H\rho g + P_e = 2ls\rho g/S + P_e$

Pression à la surface du liquide dans C :

$P = P_i$

d'où :

$P_i - P_e = 2ls\rho g/S = 4A/R$

$A = ls\rho gR/2S$

$$A = ls\rho gD/4S$$

$A = 6{,}50.10^{-2}\times 3{,}2.10^{-6}\times 0{,}8.10^{3}\times 9{,}8\times 4{,}2.10^{-2}/4\times 5{,}7.10^{-4} = 6{,}849.10^{-5}/4\times 5{,}7.10^{-4}$

$$A = 3{,}004.10^{-2}\text{ N.m}^{-1}$$

b) $\Delta A/A = \Delta l/l + \Delta s/s + \Delta\rho/\rho + \Delta g/g + \Delta D/D + \Delta S/S$

$\Delta A/A = 0{,}01/6{,}5 + 0{,}01/3{,}2 + 0{,}001/0{,}8 + 0{,}01/9{,}8 + 0{,}01/4{,}2 + 0{,}01/5{,}7$

$\Delta A/A = 1{,}5385.10^{-3} + 3{,}125.10^{-3} + 1{,}25.10^{-3} + 1{,}0204.10^{-3} + 2{,}381.10^{-3} + 1{,}7544.10^{-3}$

$\Delta A/A = 1{,}1069.10^{-2}$

$\Delta A = 3{,}3.10^{-4}$ N.m^{-1}

$$\Delta A = 0{,}04.10^{-2}\text{ N.m}^{-1}$$

$$A = 3{,}00.10^{-2} \pm 0{,}04.10^{-2}\text{ N.m}^{-1}$$

V : La force exercée par le mazout sur le cadre est :

$F = A.L$

L étant la longueur sur laquelle s'exerce cette force. Elle est égale à deux fois le périmètre du cadre car il y a deux faces.

$F = 8Ad$

d étant la longueur du coté du cadre.

$$A = F/8d$$

$A = 7{,}32.10^{-3}/8\times5.10^{-2}$

$$A = 1{,}83.10^{-2}\ N.m^{-1}$$