

Chapitre 6 Capillarité ou Phénomènes capillaires

Chapitre 6 Capillarité

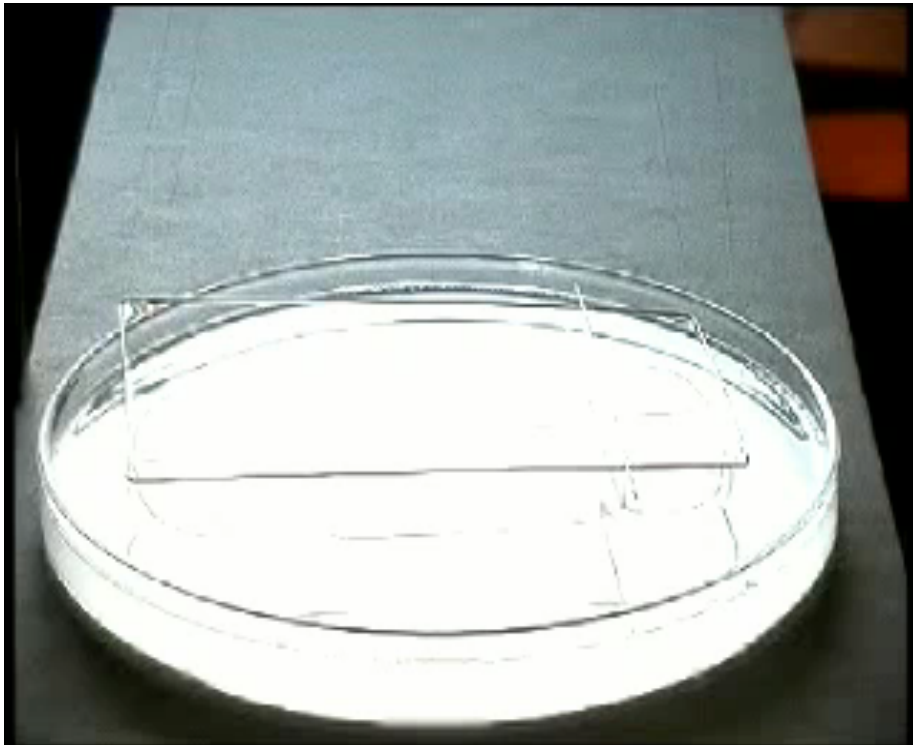
Notion de *tension de surface* ou *tension superficielle*
ou *énergie de surface* ou *énergie interfaciale*

Qu'est-ce ?

Chapitre 6 Capillarité

Notion de *tension de surface* ou *tension superficielle*
ou *énergie de surface* ou *énergie interfaciale*

C'est l'énergie liée à l'existence d'une surface (ou interface)



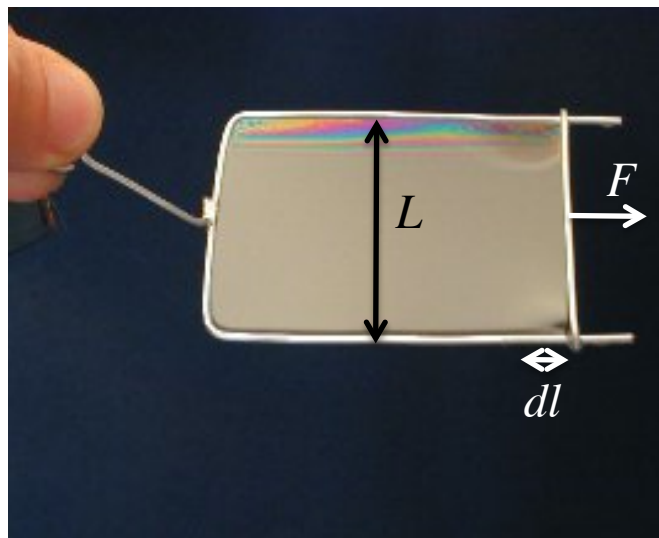
Chapitre 6 Capillarité



Notion de *tension de surface* ou *tension superficielle* ou *énergie de surface* ou *énergie interfaciale*

C'est l'énergie liée à l'existence d'une surface (ou d'une interface)

Cette énergie est associée à une force



Exemple d'un film de savon

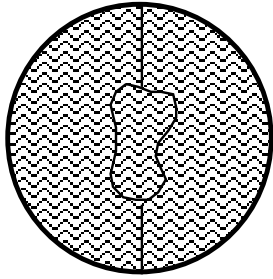
La variation d'énergie W correspond au travail de la force F correspondante

$$dW = Fdl = 2\gamma Ldl = 2\gamma dS$$

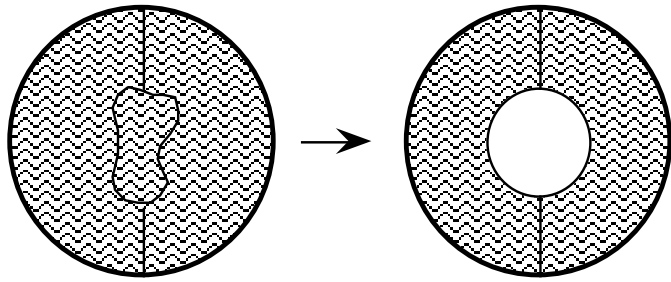
Le paramètre γ est la **tension de surface** ! C'est une énergie par unité de surface ou une force par unité de longueur Elle s'exprime donc en $J.m^{-2}$ ou $N.m^{-1}$

NB : Le facteur 2 vient ici de l'existence de 2 surfaces, l'une en dessus l'autre en dessous du film de savon (eau savonneuse)

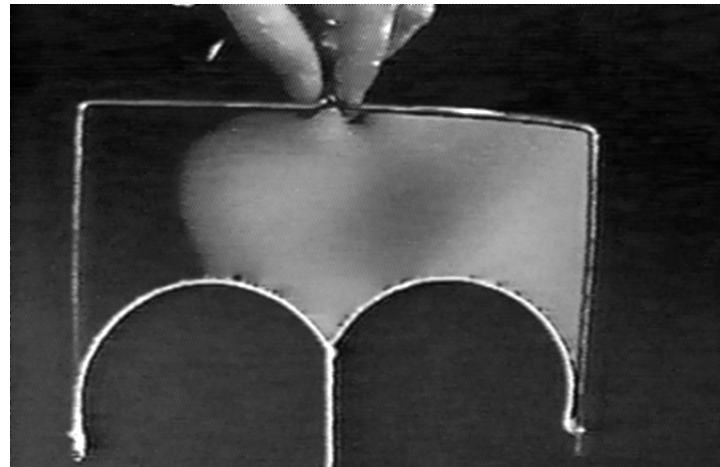
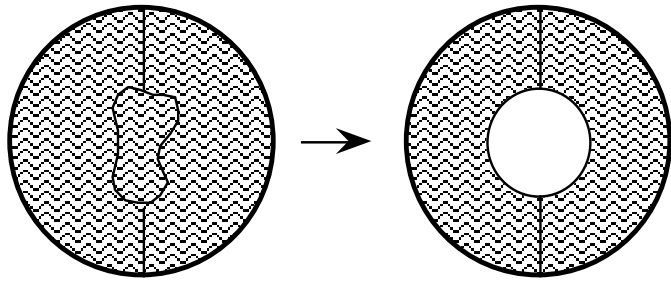
Manifestation de la tension de surface



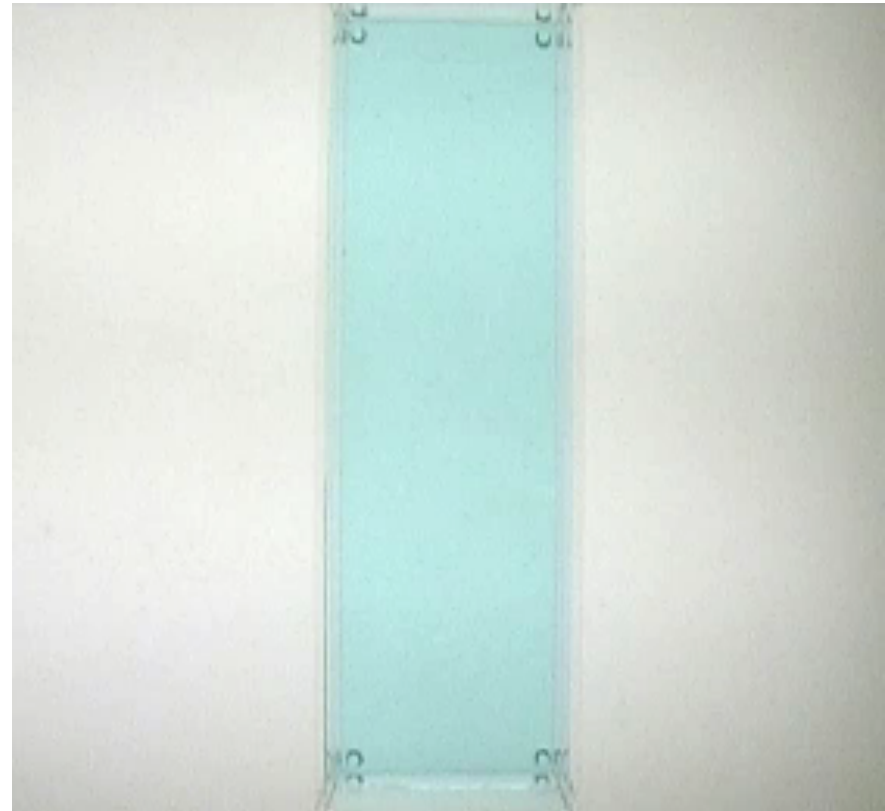
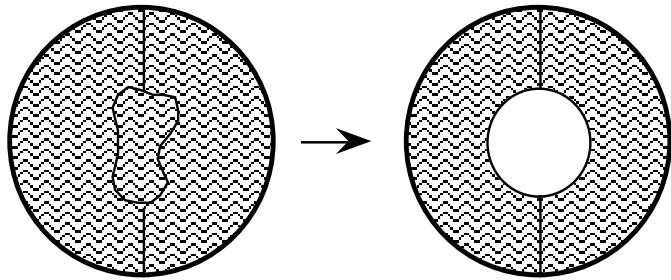
Manifestation de la tension de surface



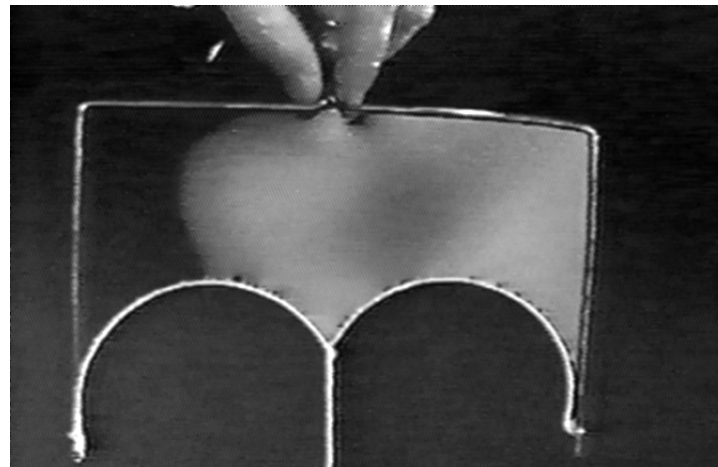
Manifestation de la tension de surface



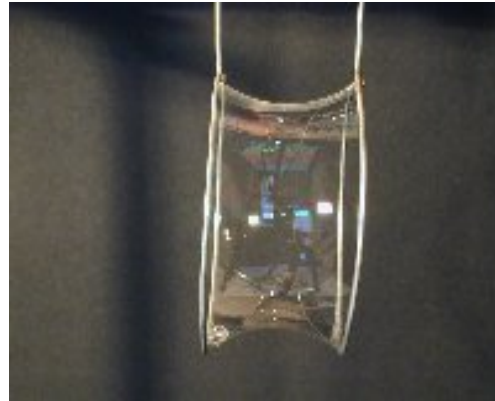
Manifestation de la tension de surface



Le film de savon tend à minimiser sa surface (en contact avec l'air) pour minimiser son énergie (d'interaction avec l'air)



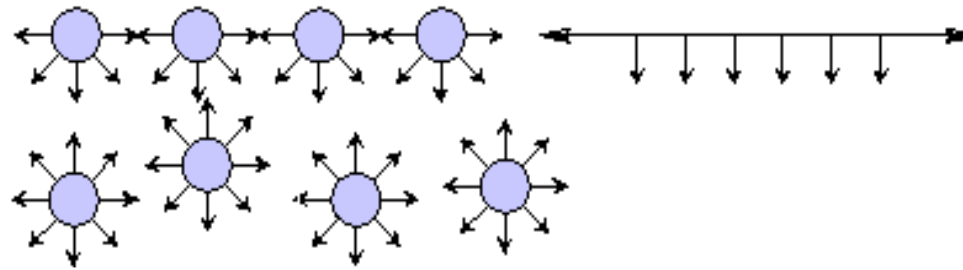
surfaces minimales



origine de la tension de surface ?

origine de la tension de surface ?

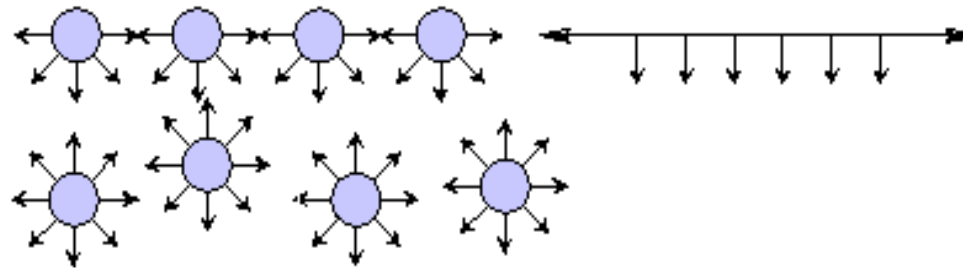
L'origine de la tension de surface réside dans les forces intermoléculaires de van der Waals : les molécules à la surface ont un déficit de voisins, ce qui augmente leur énergie



Qu'est-ce qu'un tensioactif?

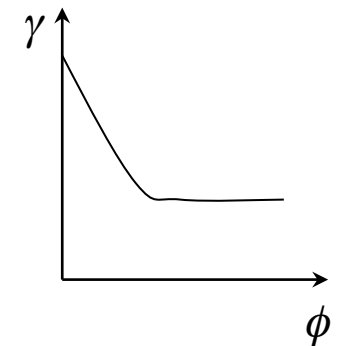
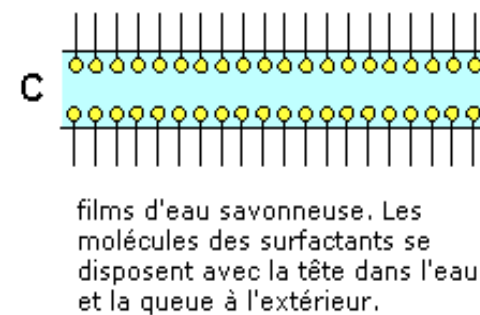
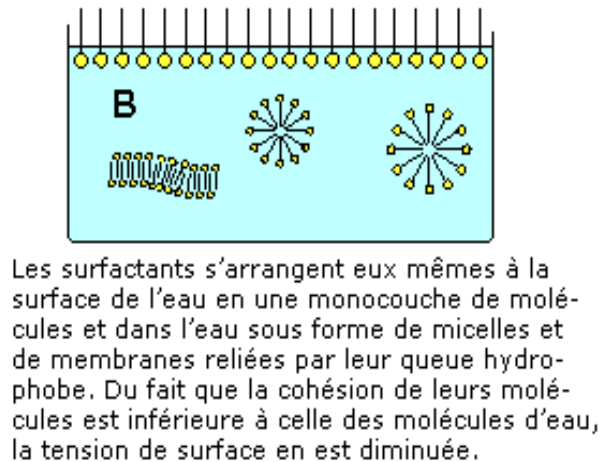
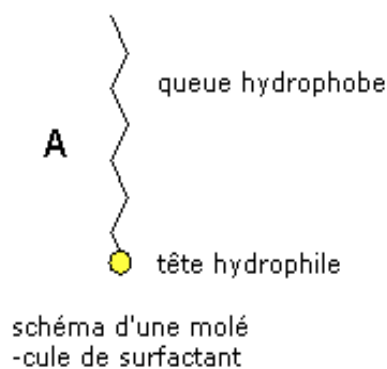
origine de la tension de surface ?

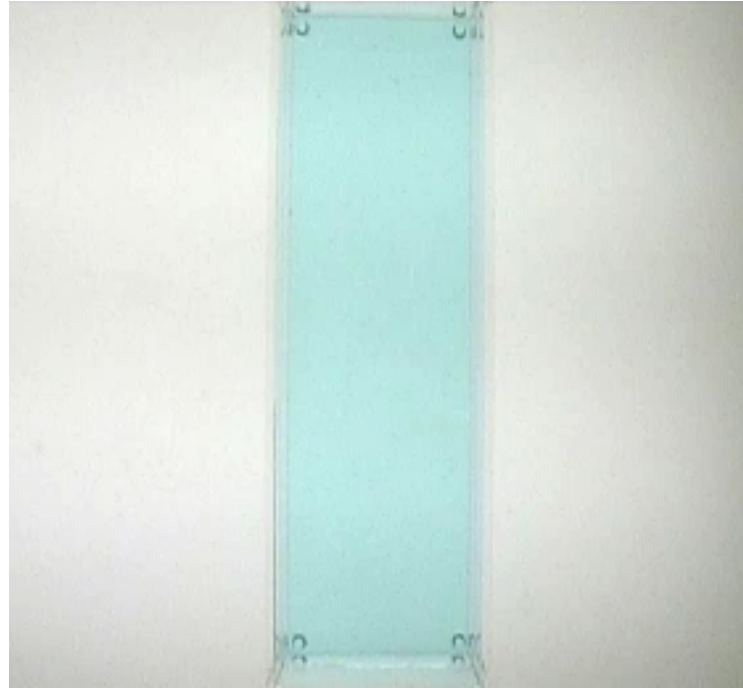
L'origine de la tension de surface réside dans les forces intermoléculaires de van der Waals : les molécules à la surface ont un déficit de voisins, ce qui augmente leur énergie



Les tensioactifs

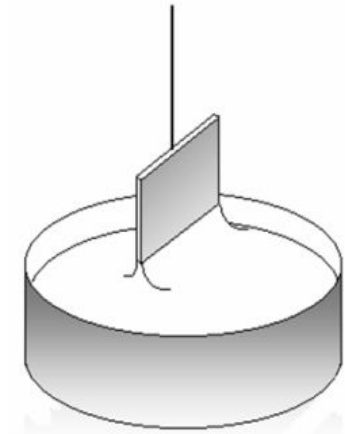
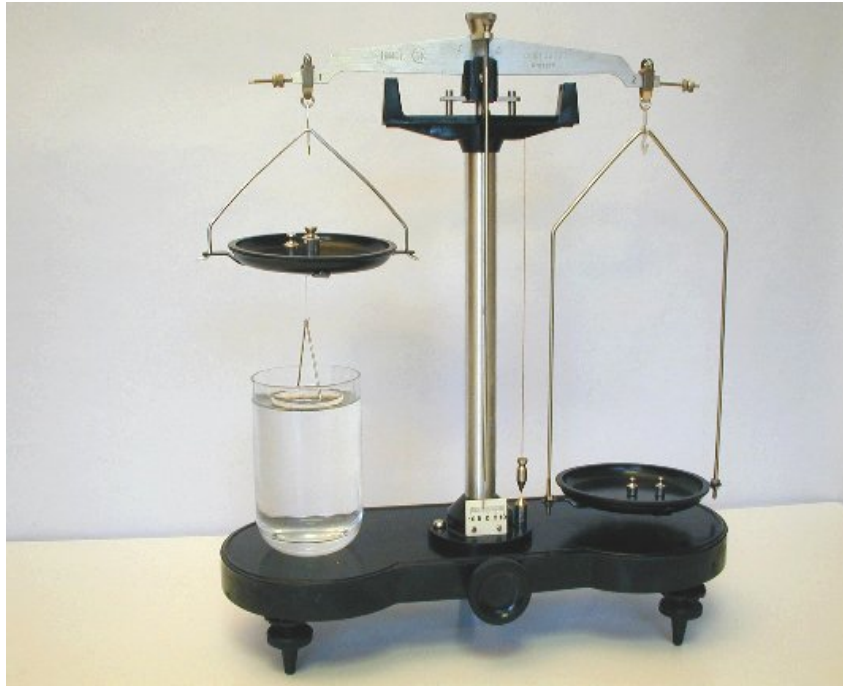
L'ajout dans l'eau de molécules bipolaires, avec une extrémité hydrophile et une extrémité hydrophobe, a pour conséquence d'abaisser la tension de surface. C'est le cas des savons, détergents... qui sont des "tensioactifs"



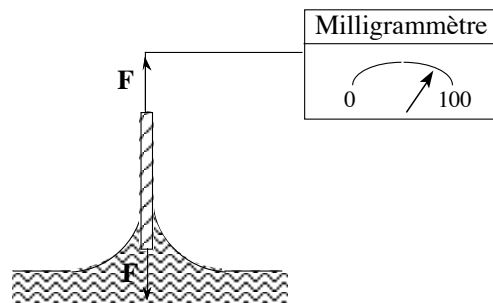


Mesure de la tension de surface

Mesure de la tension de surface

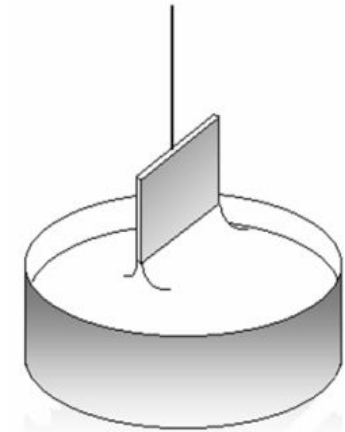
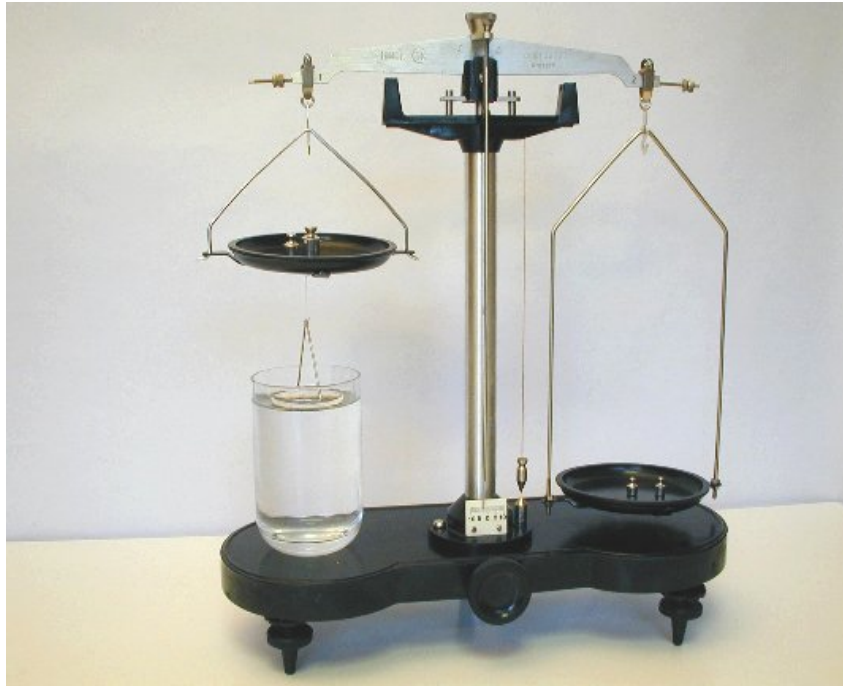


Méthode de la lame de Wilhelmy ou de l'anneau du Noüy



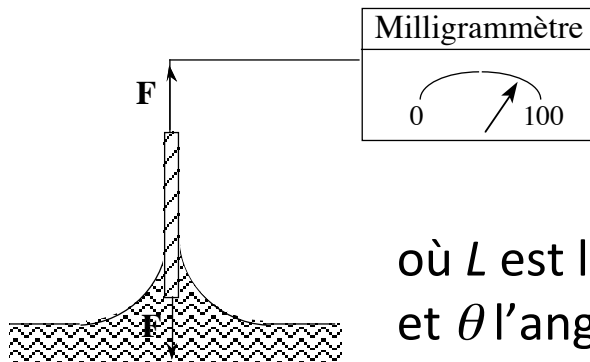
Force mesurée ?

Mesure de la tension de surface



Méthode de la lame de Wilhelmy (ou de l'anneau du Noüy)

à l'arrachement (quasi-statique) :



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

où L est la longueur de la lamee
et θ l'angle de raccordement liquide sur la lame

Exemple : $\gamma = 73 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ pour l'eau pure
 $\gamma = 22 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ pour l'éthanol pur

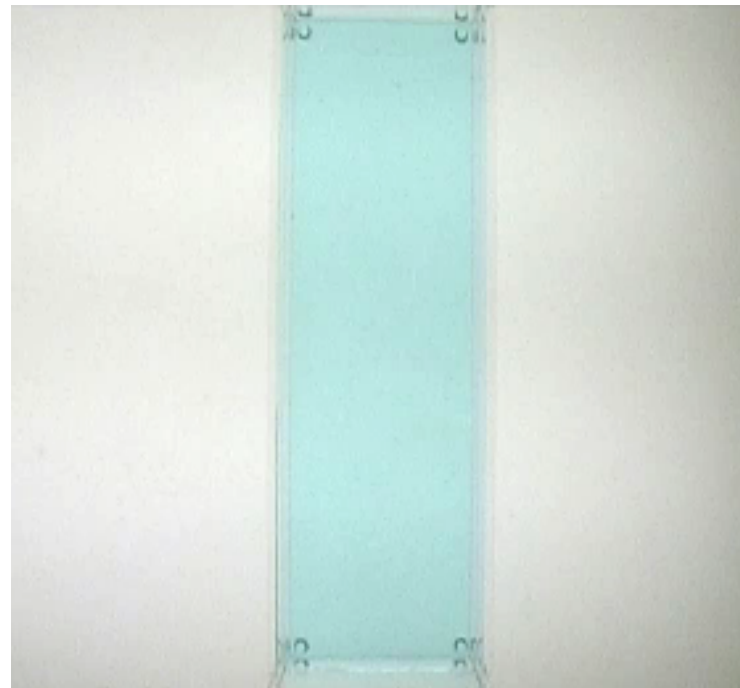


Tensiomètre commercial

Conséquence de la tension superficielle



araignée d'eau
(gerridés)



Loi de Laplace

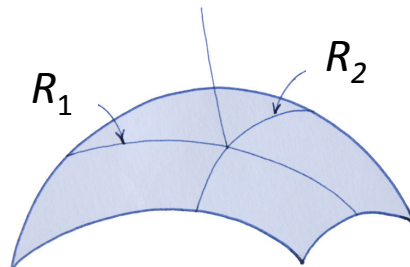
La loi de Laplace exprime le saut de pression à la traversée d'une interface courbe due à l'existence de la tension interfaciale

à la traversée d'une interface de rayon de courbure R

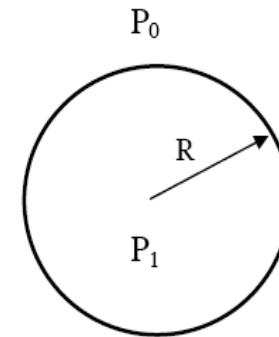
$$\Delta p = \frac{\gamma}{R}$$

Plus généralement, à la traversée d'une interface quelconque caractérisée par ses 2 rayons de courbure R_1 et R_2

$$\Delta p = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



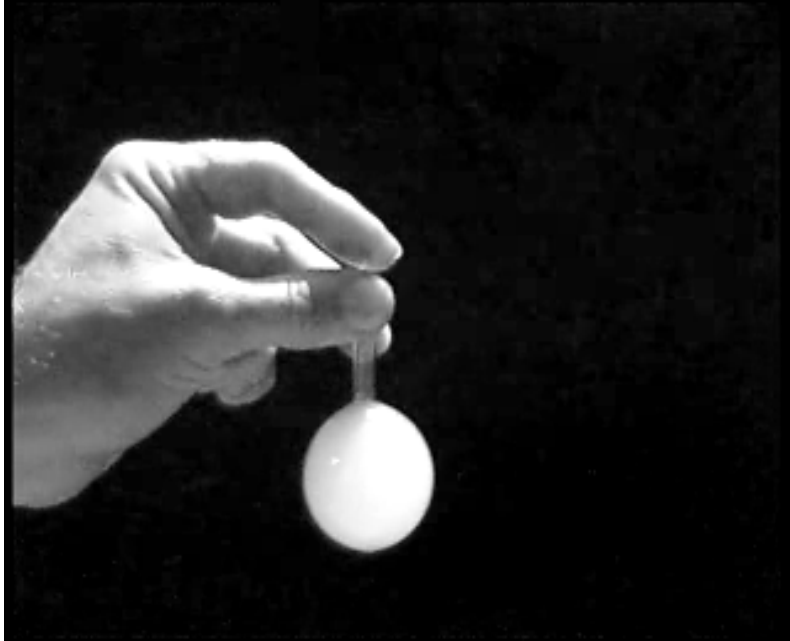
Pierre Simon Laplace
mathématicien français
(1749-1827)



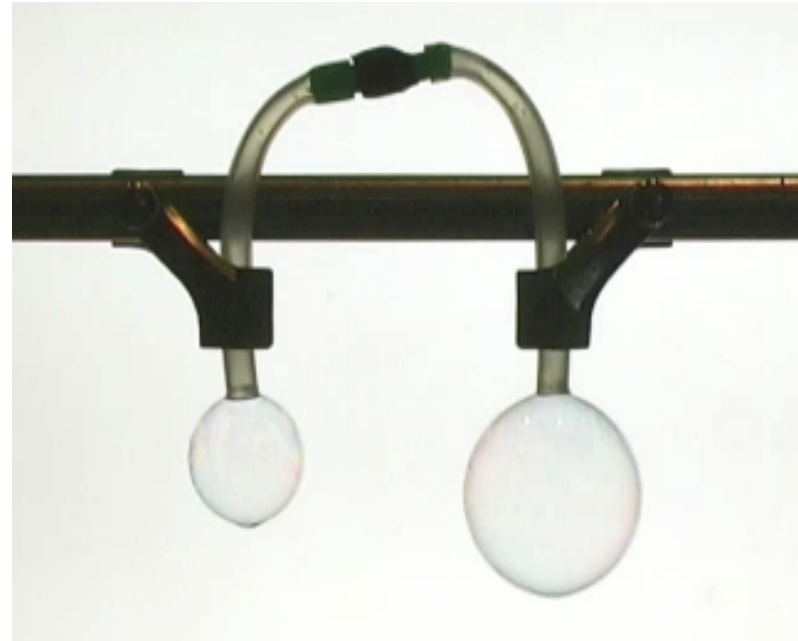
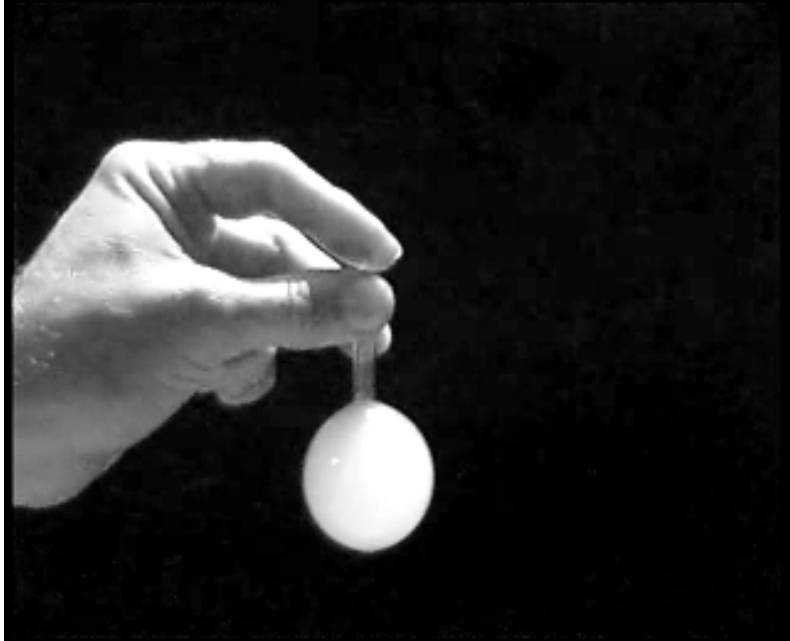
En particulier, pour une sphère de rayon R (goutte ou bulle)

$$\Delta p = \frac{2\gamma}{R}$$

Manifestations de la loi de Laplace



Manifestations de la loi de Laplace



la petite bulle se vide dans la grosse,
l'écoulement d'air allant des hautes
pressions (régnant dans la petite bulle)
vers les basses pressions (régnant dans la
grosse bulle)

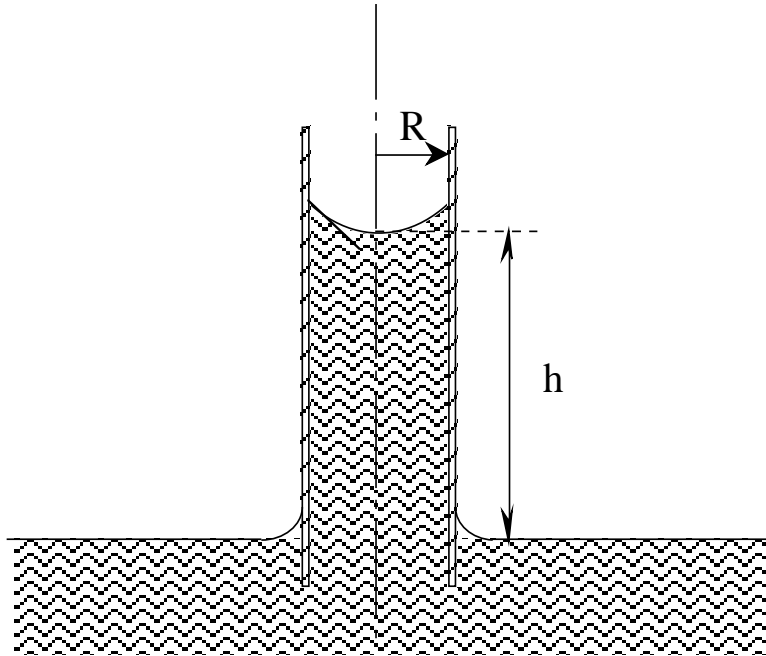
Ascension capillaire et forces capillaires



Ascension capillaire : Loi de Jurin (1718)

James Jurin
médecin anglais
(1684-1750)

Loi régissant la hauteur d'ascension capillaire d'un liquide dans un tube fin

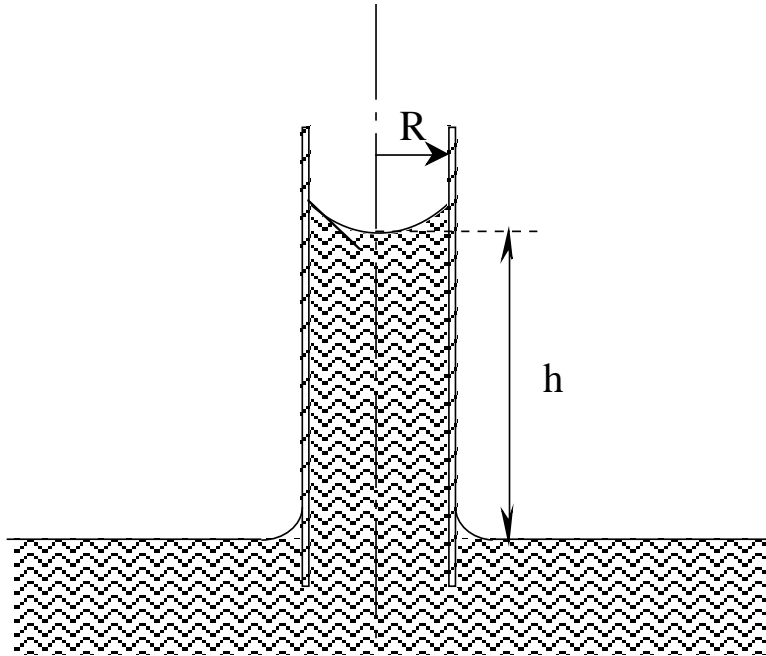


Quelle est cette loi ?

Ascension capillaire : Loi de Jurin (1718)

James Jurin
médecin anglais
(1684-1750)

Loi régissant la hauteur d'ascension capillaire d'un liquide dans un tube fin



Quelle est cette loi ?

La pression qui règne dans l'air est la pression atmosphérique p_{at}

La pression juste en dessous du ménisque est donc d'après la loi de Laplace $p_{at} - 2\gamma\cos\theta/R$ où $R/\cos\theta$ est le rayon de courbure du ménisque, pour un angle de raccordement liquide θ sur les parois du tube.

Cette pression doit par ailleurs être égale à la pression $p_{at} - \rho gh$ correspond à la pression atmosphérique à la surface du bain diminuée de la quantité correspondant à la hauteur de liquide montée dans le tube

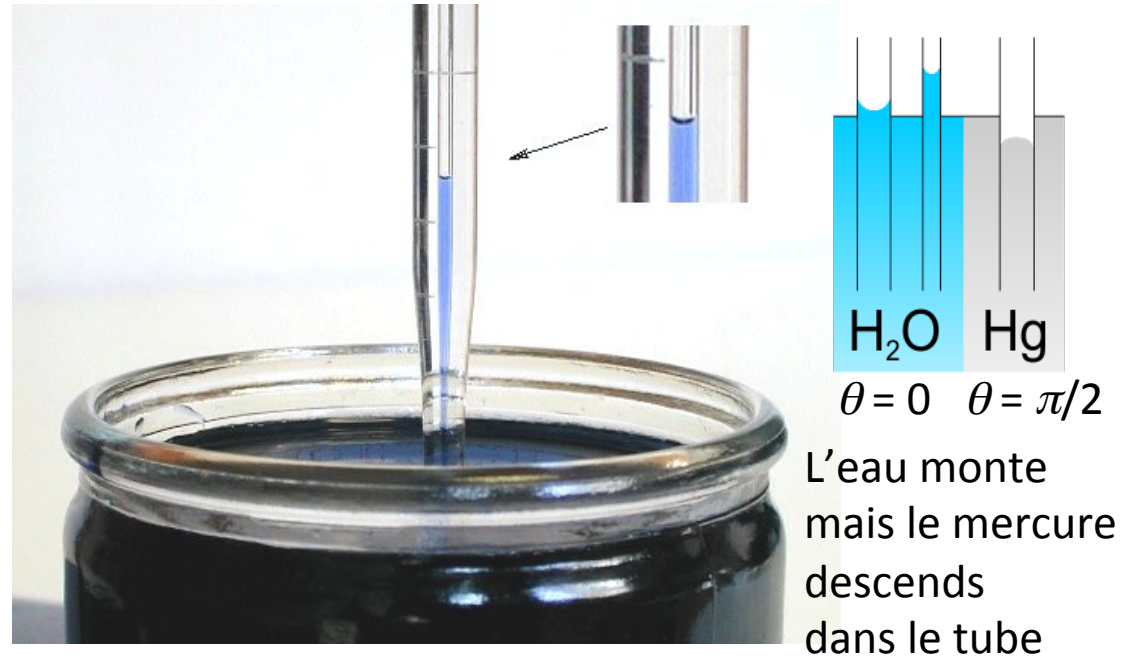
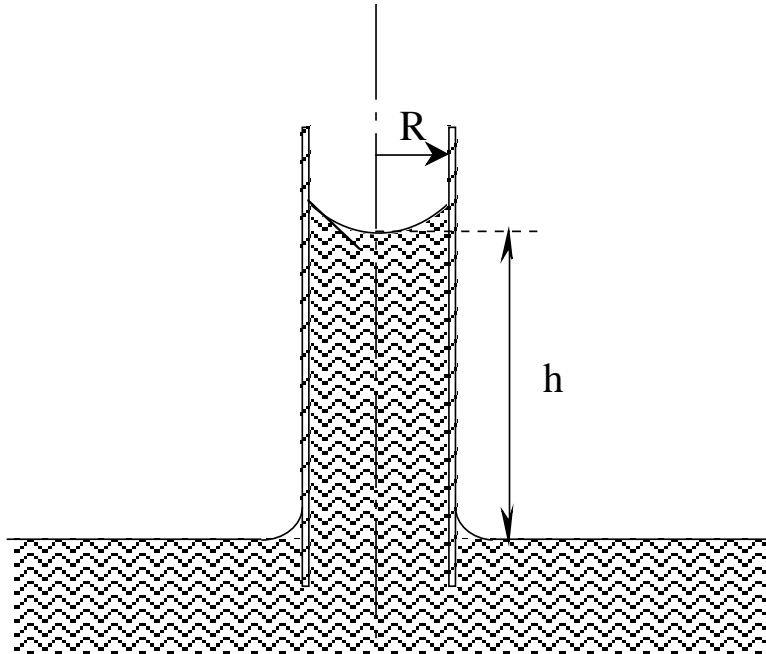
On a donc la relation

$$\rho gh = \frac{2\gamma\cos\theta}{R} \quad \text{soit} \quad h = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho gR}$$

Ascension capillaire : Loi de Jurin (1718)

James Jurin
médecin anglais
(1684-1750)

Loi régissant la hauteur d'ascension capillaire d'un liquide dans un tube fin



$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g R} = \frac{2l_c^2 \cos \theta}{R} \quad \text{où } l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}} \text{ est la longueur capillaire qui caractérise le liquide}$$

La hauteur d'ascension est d'autant plus grande que le tube est fin

$R/\cos \theta$ est le rayon de courbure du ménisque dans le tube

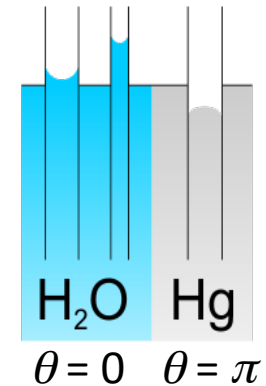
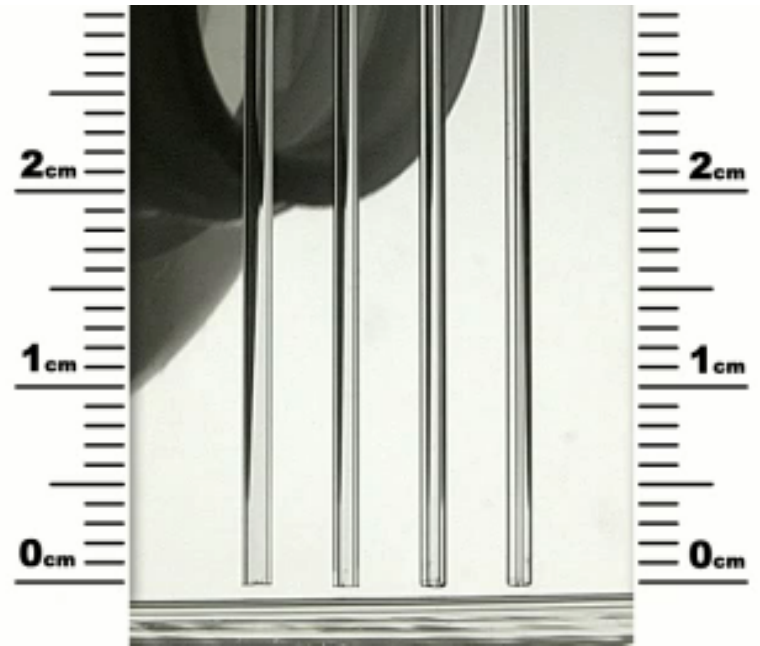
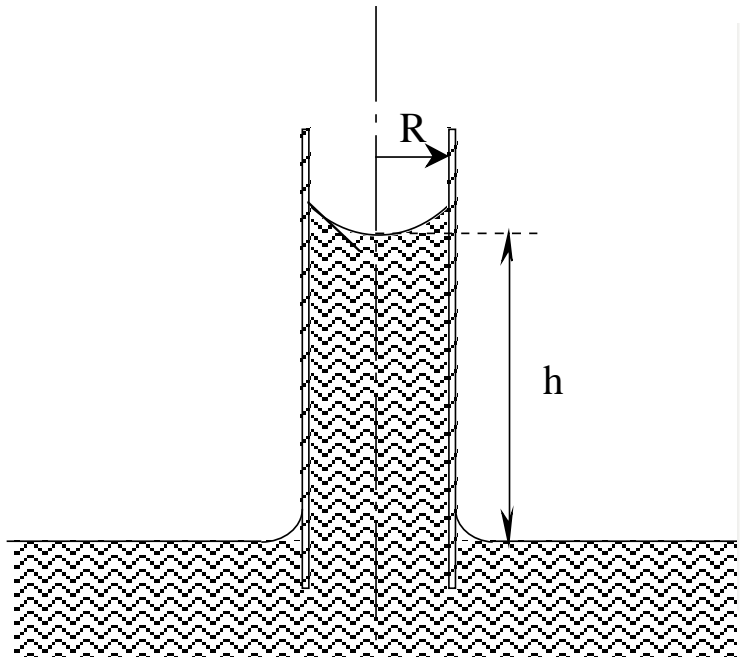
$\theta = 0$ pour un liquide totalement mouillant (cas de l'eau sur du verre propre)

$\theta = \pi$ pour un liquide totalement non mouillant (cas du mercure sur du verre)

Ascension capillaire : Loi de Jurin (1718)

James Jurin
médecin anglais
(1684-1750)

Loi régissant la hauteur d'ascension capillaire d'un liquide dans un tube fin



L'eau monte
mais le mercure
descends
dans le tube

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g R} = \frac{2l_c^2 \cos \theta}{R}$$

où $l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$ est la longueur capillaire

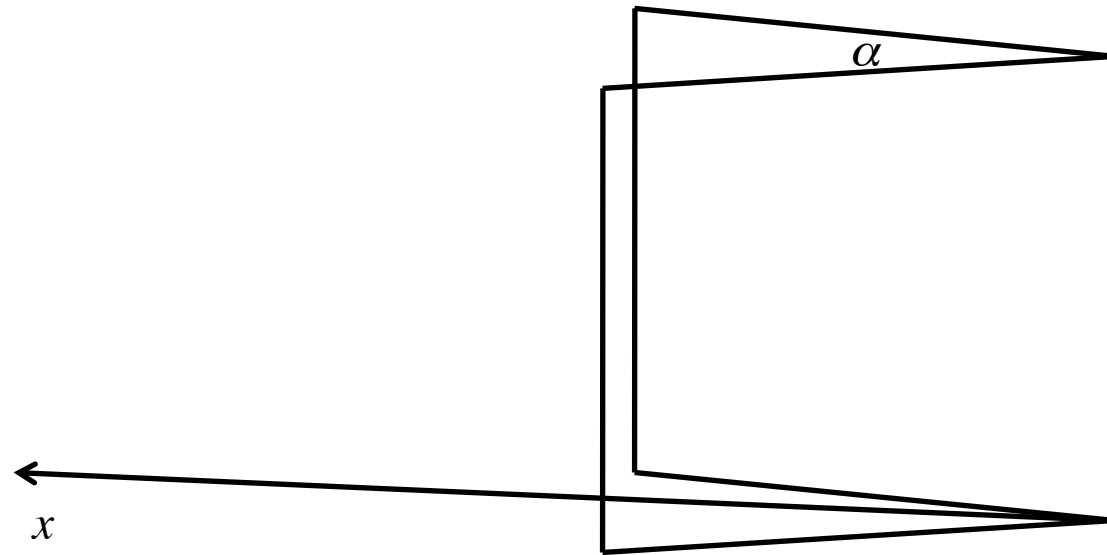
La hauteur d'ascension est d'autant plus grande que le tube est fin

$R/\cos \theta$ est le rayon de courbure du ménisque dans le tube

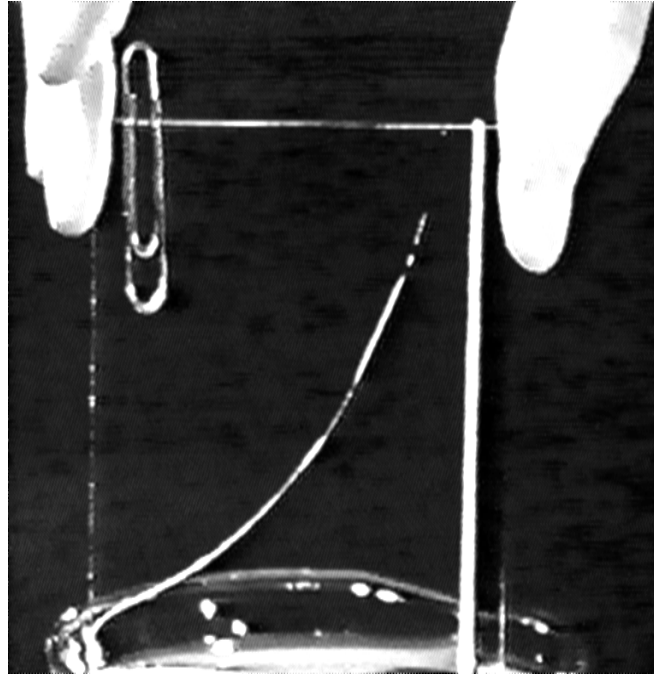
$\theta = 0$ pour un liquide totalement mouillant (cas de l'eau sur du verre propre)

$\theta = \pi$ pour un liquide totalement non mouillant (cas du mercure sur du verre)

Forme d'ascension d'un liquide totalement mouillant dans un dièdre ?
(Cf TD 6)



Forme d'ascension d'un liquide totalement mouillant dans un dièdre ?
(Cf TD 6)



$$h(x) = \frac{\gamma}{\rho g b(x)}$$

avec

$$b(x) = \alpha x$$

si l'angle α du dièdre est petit

$$h(x) = \frac{\gamma}{\rho g \alpha x}$$

La forme est hyperbolique

La longueur capillaire

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

A.N. pour l'eau ?

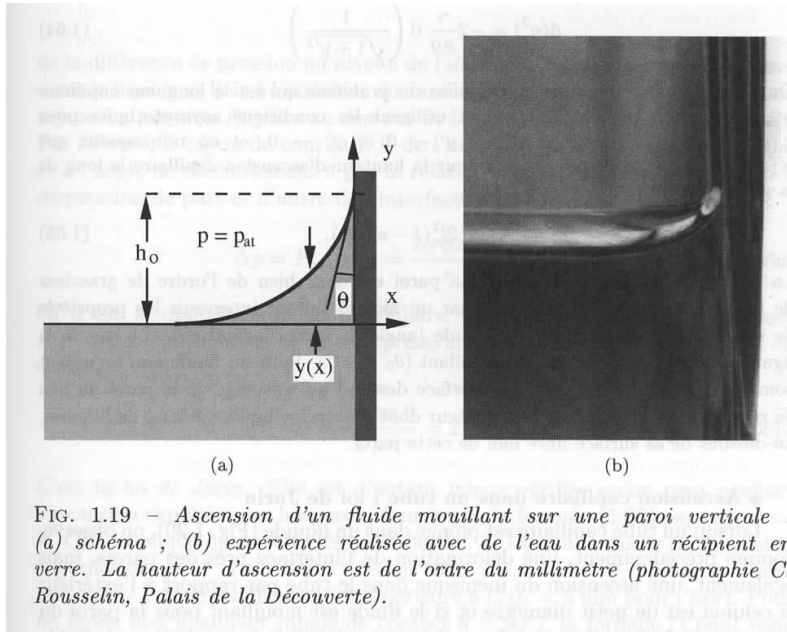
La longueur capillaire $l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$

A.N. pour l'eau $l_c \approx 3 \text{ mm}$

La longueur capillaire

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

A.N. pour l'eau $l_c \approx 3 \text{ mm}$



ménisque de mouillage vertical

La loi de Jurin est-elle valable quelque soit le rayon du tube ?

La longueur capillaire

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

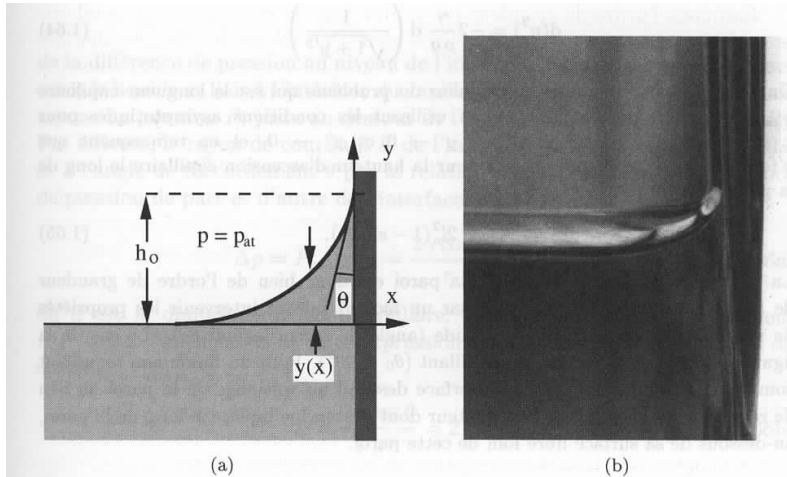


FIG. 1.19 - Ascension d'un fluide mouillant sur une paroi verticale : (a) schéma ; (b) expérience réalisée avec de l'eau dans un récipient en verre. La hauteur d'ascension est de l'ordre du millimètre (photographie C. Rousselin, Palais de la Découverte).

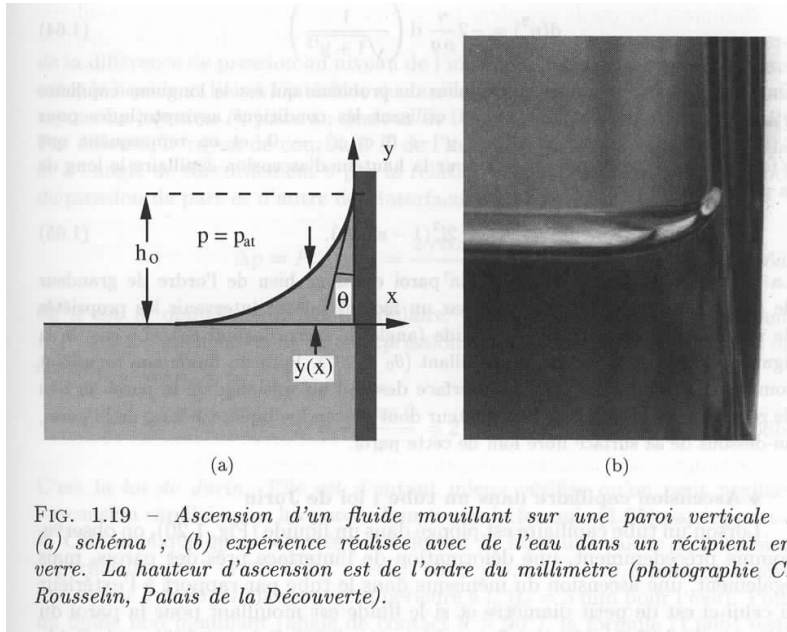
ménisque de mouillage vertical

La loi de Jurin est valable
pour des tubes suffisamment fins
($R < l_c$)

La longueur capillaire

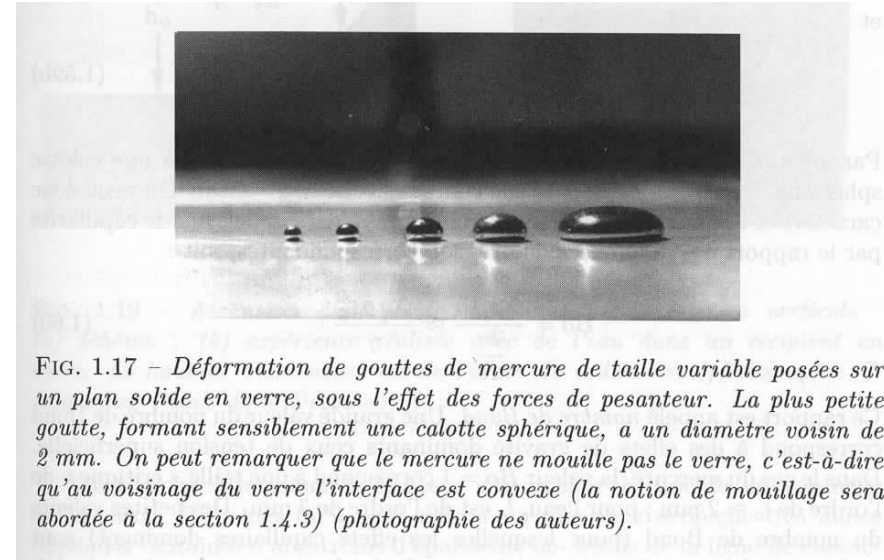
$$l_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$$

A.N. pour l'eau $l_c \approx 3 \text{ mm}$



ménisque de mouillage vertical

La loi de Jurin est valable pour des tubes suffisamment fins
 $(R < l_c)$



ménisque de mouillage horizontal

Les gouttes posées sont-elles toujours (hémi)sphériques ?

La longueur capillaire

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

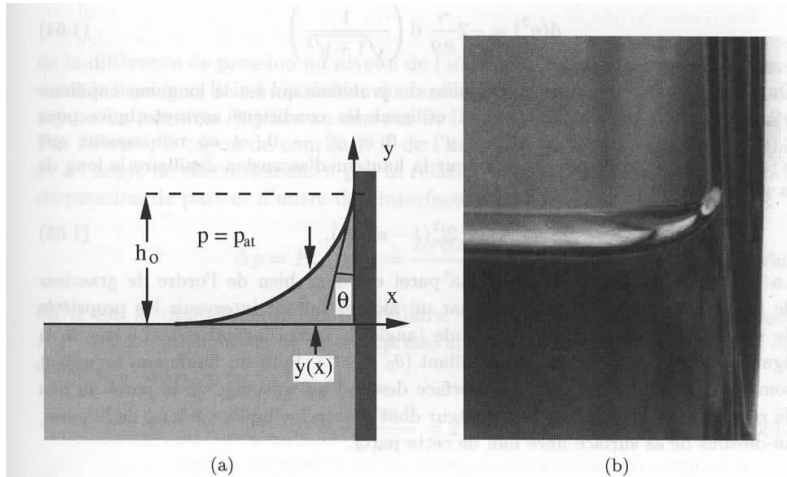


FIG. 1.19 - Ascension d'un fluide mouillant sur une paroi verticale : (a) schéma ; (b) expérience réalisée avec de l'eau dans un récipient en verre. La hauteur d'ascension est de l'ordre du millimètre (photographie C. Rousselin, Palais de la Découverte).

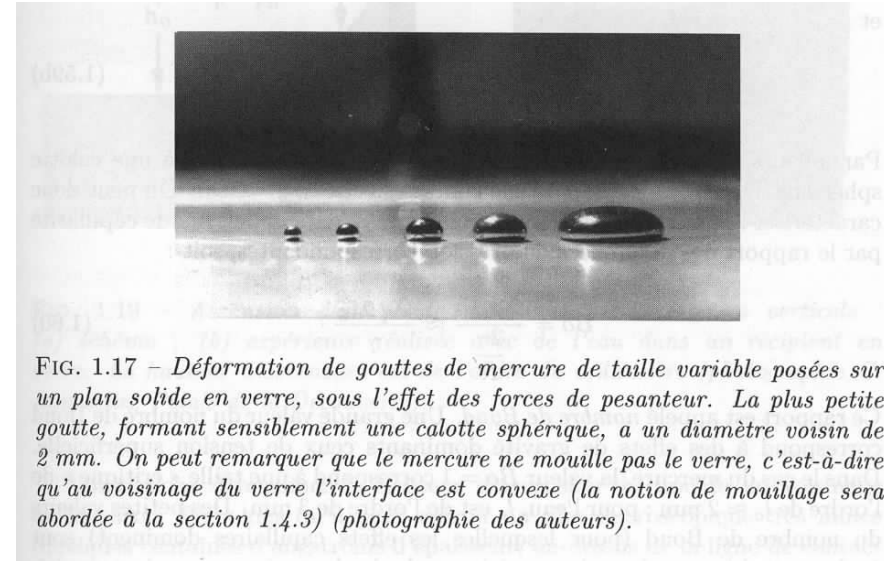


FIG. 1.17 - Déformation de gouttes de mercure de taille variable posées sur un plan solide en verre, sous l'effet des forces de pesanteur. La plus petite goutte, formant sensiblement une calotte sphérique, a un diamètre voisin de 2 mm. On peut remarquer que le mercure ne mouille pas le verre, c'est-à-dire qu'au voisinage du verre l'interface est convexe (la notion de mouillage sera abordée à la section 1.4.3) (photographie des auteurs).

ménisque de mouillage vertical

La loi de Jurin est valable pour des tubes suffisamment fins
 $(R < l_c)$

ménisque de mouillage horizontal

Les gouttes posées sont (hémi)sphériques si elles sont suffisamment petites
 $(V^{1/3} < l_c)$

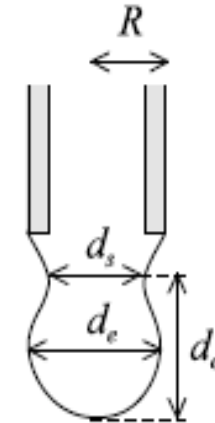
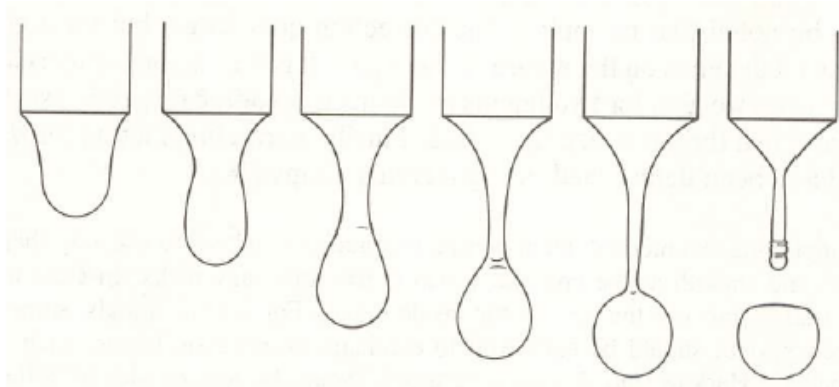
Sinon $(V^{1/3} > l_c)$, elles sont aplaties
 (de hauteur l_c et diamètre V/l_c)

Gouttes « pendantes »
formation et chute de gouttes



Gouttes tombantes : Loi de Tate

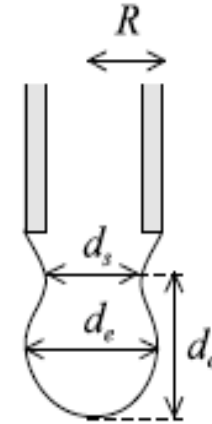
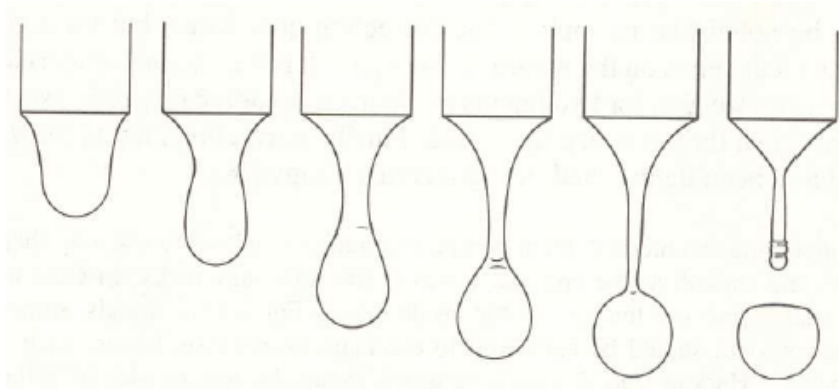
Loi régissant la taille d'une goutte tombante



Quels sont le poids et la taille des gouttes qui tombent d'un tube de rayon R ?

Gouttes tombantes : Loi de Tate

Loi régissant la taille d'une goutte tombante



$$Mg = \gamma \pi d_s$$

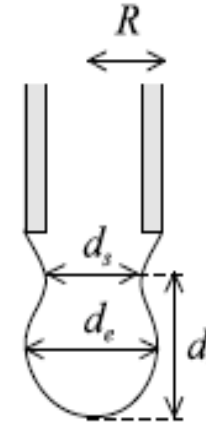
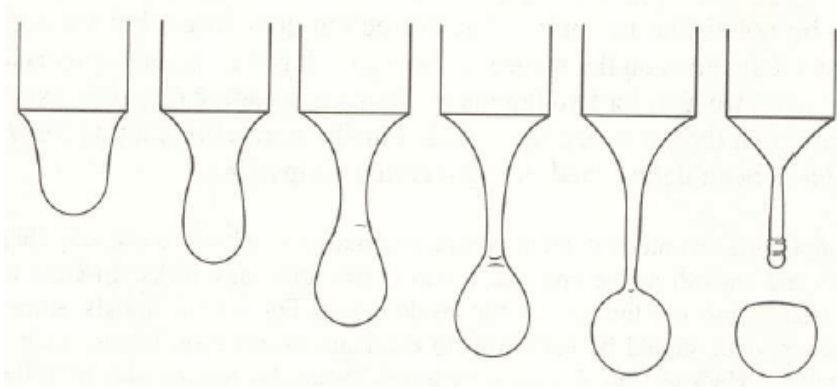
$$M = k \frac{\gamma R}{g}$$

La goutte qui tombe est d'autant plus grande que le rayon de l'extrêmité du tube est grand

Cette loi est-elle valable quelque soit le rayon du tube ?

Gouttes tombantes : Loi de Tate

Loi régissant la taille d'une goutte tombante

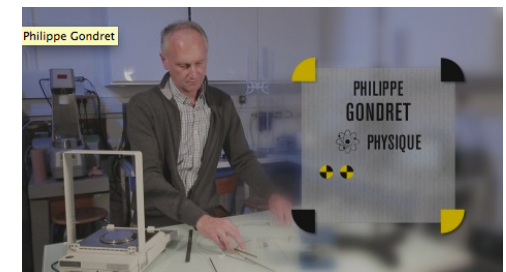


$$Mg = \gamma \pi d_s$$

$$M = k \frac{\gamma R}{g}$$

La goutte qui tombe est d'autant plus grande que le rayon de l'extrêmité du tube est grand

Cette loi n'est valable que si $R \leq l_c$



Mouillage

Notion de *ligne triple* :
c'est la ligne qui sépare les 3 phases en présence
(liquide, solide, gaz)



Thomas Young
physicien et médecin britannique
(1773-1829)



Mouillage



Thomas Young
physicien et médecin britannique
(1773-1829)

Notion de *ligne triple* :

c'est la ligne qui sépare les 3 phases en présence
(liquide, solide, gaz)

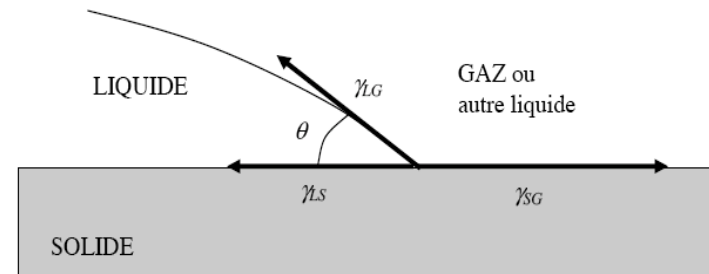
Notion d'*angle de contact* (θ) :

sa valeur est régie par les valeurs des 3 tensions de surface
 γ_{SL} , γ_{SG} et γ_{LG} (loi d'Young-Dupré en statique)



$$\gamma_{SL} - \gamma_{SG} + \gamma_{LG} \cos \theta = 0$$

loi d'Young-Dupré



Mouillage



Thomas Young
physicien et médecin britannique
(1773-1829)

Notion de *ligne triple* :
c'est la ligne qui sépare les 3 phases en présence
(liquide, solide, gaz)

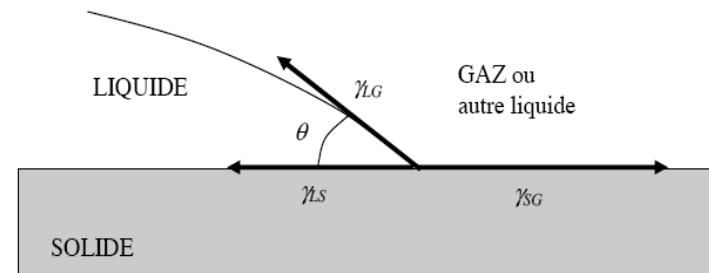
Notion d'*angle de contact* (θ) :
sa valeur est régie par les valeurs des 3 tensions de surface
 γ_{SL} , γ_{SG} et γ_{LG}

Notion de *mouillabilité* : mouillant ($\theta < \pi/2$) ou non mouillant ($\theta > \pi/2$)
totalement mouillant ($\theta = 0$), partiellement mouillant ($\theta \neq 0$)

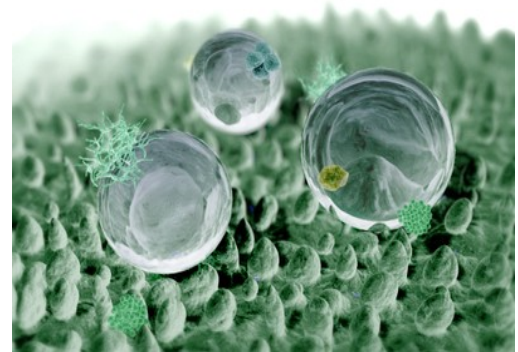
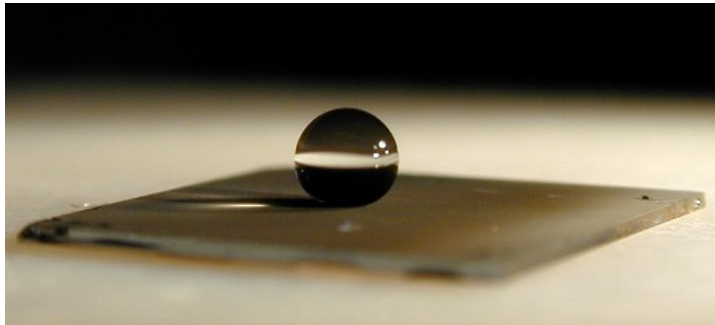


$$\gamma_{SL} - \gamma_{SG} + \gamma_{LG} \cos \theta = 0$$

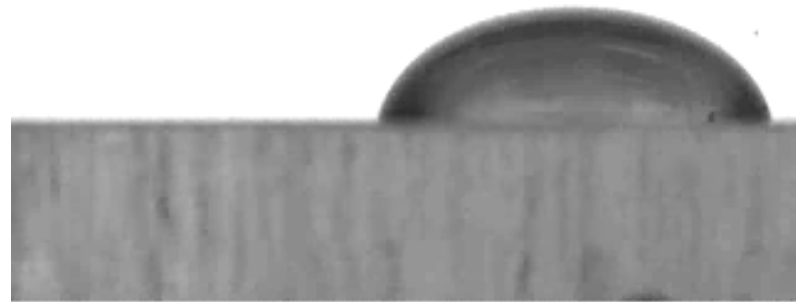
loi d'Young-Dupré



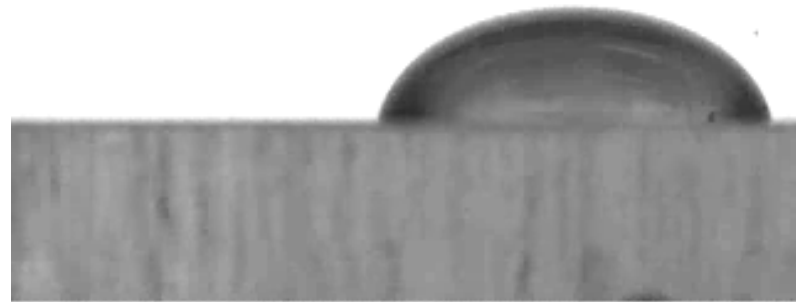




Angle de contact : valeur unique ?



**Angle de contact en dynamique :
sa valeur dépend de la valeur de la vitesse**



Mousses



Pour en savoir plus

