

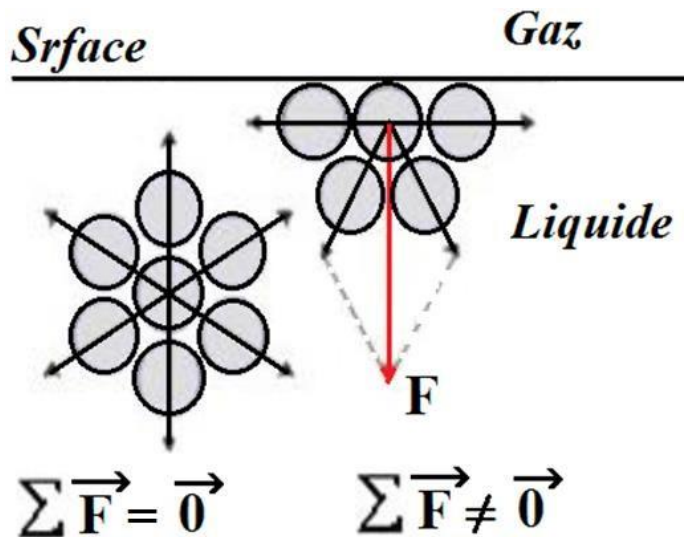
## IV-1 Introduction

La cohésion des liquides est due aux forces d'attraction intermoléculaires. Ces phénomènes de cohésion tendent à minimiser la surface libre d'un liquide, cette surface semble se comporter comme une membrane élastique tendue, où il existe un phénomène de tension superficielle (phénomène de surface) ; est les forces qui en sont responsables s'appelant forces de tension superficielle. A cet égard, plusieurs exemples permettent d'illustrer l'influence de la tension de surface tels que: la formation des gouttes et des bulles de liquide.

## IV-2 Interface liquide-gaz:

Au niveau microscopique, chaque molécule est soumise à des forces attractives de la part de toutes celles qui l'entourent. La résultante de ses forces agissant sur la molécule située à l'intérieur de liquide ou de gaz est nulle. Il y a alors un équilibre statistique des forces  $\sum \vec{F} = \vec{0}$ .

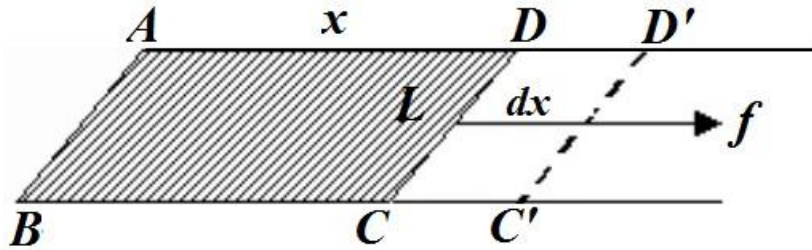
Au contraire, pour les molécules situées à l'interface du liquide (i.e. à une distance de la surface inférieure au rayon moléculaire), elles sont soumises à des forces d'attraction dont la résultante n'est pas nulle  $\sum \vec{F} \neq \vec{0}$ . Car la répartition autour n'est pas isotropique. Ainsi, le liquide exerce donc sur ces molécules de surface une force de rappel vers l'intérieur du liquide. Afin de minimiser la surface de séparation (l'interface liquide-gaz).



### IV-3 La tension superficielle

#### a- Force de tension superficielle

Afin d'obtenir l'expression de la force de tension superficielle, nous supposons une lame savonneuse rectangulaire de longueur ( $L$ ) et de largeur ( $x$ ) formée dans un fin cadre métallique  $ABCD$  dont l'un des côtés ( $CD$ ) est mobile.



On note ici que la surface totale de la lame, compte tenu de ses deux faces est ( $2.x.L$ ). La lame a tendance à se rétracter, pour maintenir sa surface constante, il faut exercer sur ( $CD$ ) une force ( $f$ ) qui est évidemment proportionnelle à sa longueur.

Cette force est appelée: Force de tension superficielle :  $f = \sigma.2L$  (N)

Ou :  $\sigma$  (N/m), constant de tension superficielle.

#### Remarque :

- Quand la température d'un liquide augmente, la tension superficielle  $\sigma$  diminue.

liquide	0°C	20°C	40°C
Eau	75.64	72.75	69.56
Ethanol	24.05	22.27	20.60

- De point de vue énergétique: pour déplacer le côté ( $CD$ ) d'une longueur ( $dx$ ) dans l'exemple précédent il faut fournir le travail ( $dw = f.dx$ ). Ce déplacement, à température et volume constant, correspond à un accroissement de la surface de liquide ( $dS = 2L.dx$ ), donc :  $\sigma = \frac{dw}{dS}$  (J/m<sup>2</sup>).

- L'énergie de tension superficielle est donnée par :  $E_s = \sigma.S$

**b- Energie de cohésion**

Dans un liquide pur, les forces d'attractions intermoléculaires sont appelées, forces de cohésion. Si on veut séparer un ensemble de molécules, on doit fournir une énergie. Cette énergie s'appelle : énergie de cohésion qui est égale à :

$$w = E_{S_f} - E_{S_i} = \sigma(S_f - S_i)$$

$S_f$ : La surface de liquide (ensemble de molécules) à l'état final.

$S_i$ : La surface de liquide (ensemble de molécules) à l'état initial.

**IV-4 Phénomènes superficiels dans les gouttes liquides :**

**a- Loi de Laplace (les bulles d'air dans un liquide) :**

Pour former une bulle d'air de rayon ( $R$ ) à l'intérieur d'un liquide de tension superficielle ( $\sigma$ ), il faut que la surpression s'exerçant sur la membrane sphérique de la bulle d'air soit positive. C'est à dire, la pression interne ( $P_{int}$ ) dans la bulle soit supérieure à celle du milieu externe ( $P_{ext}$ ).

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext}$$

La loi de Laplace, nous permet de donner l'expression de cette surpression ( $\Delta P$ ) en fonction de ( $R$ ) et ( $\sigma$ ). En effet, d'une part, pour augmenter le volume ( $V$ ) de la goutte de  $dV = S \cdot dR = 4\pi \cdot R^2 dR$ , (on augmente le rayon  $R$  de la goutte de  $dR$ ), on doit fournir un travail des forces de pression au cours de la variation de volume telle que :  $dW = \Delta P \cdot dV = \Delta P \cdot 4\pi \cdot R^2 dR$

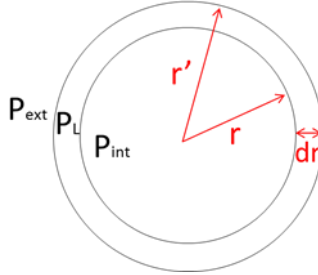
D'autre part, on note que cette expression de travail est toute à fait semblable (égale) à celle de travail des forces de tension superficielle :  $dW = \sigma \cdot dS = \sigma \cdot 8\pi \cdot R \cdot dR$

Finalement, après comparaison, on constate que l'expression de la surpression à l'intérieur d'une bulle d'air dans un liquide est donnée par :

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$$

**b- Application de la loi de Laplace (Les bulles de savon dans l'air) :**

Soit une bulle savonneuse de tension superficielle ( $\sigma$ ) et de rayon ( $r$ ) sur la couche intérieure et de rayon ( $r' = r + dr$ ) sur la couche extérieure. On peut écrire la surpression due à la couche extérieure comme :  $P_L - P_{ext} = \frac{2\sigma}{r'}$ , et la surpression due à la couche intérieure par :  $P_{int} - P_L = \frac{2\sigma}{r}$ .



Donc, la surpression finale de la bulle de savon dans l'air est donnée par la relation suivante :

$$\Delta P = \frac{4\sigma}{r}$$

Où nous avons supposé que :  $r' \cong r \Rightarrow dr \ll r$

**IV-5 Loi de Jurin :**

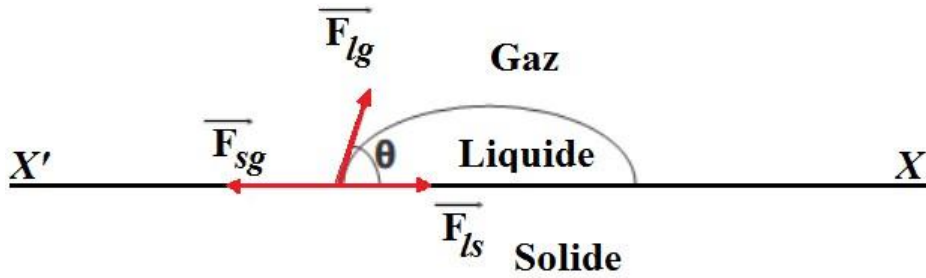
**a- l'angle de contact:**

Pour comprendre le rôle de l'angle de contact ou de raccordement liquide-solide. A cet égard, on note qu'il est bien connu que lorsqu'on dépose une goutte de liquide sur une plaque solide plane ou horizontale, il existe trois forces de tension superficielles agissant sur les surfaces de séparation qui se rejoignent à la périphérie de la goutte:

$F_{lg}$  : est la force exercée sur les molécules de liquide situées sur le pourtour de la goutte par les autres molécules de gaz située sur la surface de séparation liquide-gaz.

$F_{sg}$  : est la force exercée sur les molécules de liquide situées sur le pourtour de la goutte par les autres molécules de solide située sur la surface de séparation solide-gaz.

$F_{ls}$  : est la force exercée sur les molécules de liquide situées sur le pourtour de la goutte par les autres molécules de solide située sur la surface de séparation liquide-solide.



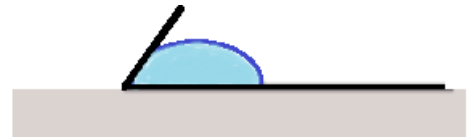
Au point d'équilibre la résultante de ces forces s'écrit:  $\vec{F}_{lg} + \vec{F}_{sg} + \vec{F}_{ls} = \vec{0}$ . Après une simple projection sur l'axe (xx'), on obtient la condition d'équilibre suivante :  $F_{sg} = F_{lg} \cos \theta + F_{ls}$ , qui peut être réécrite sous la forme :  $\sigma_{sg} = \sigma_{lg} \cos \theta + \sigma_{ls}$

**Remarque :**

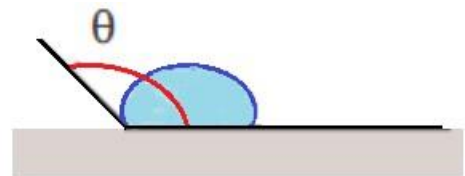
- Si l'angle de raccordement  $\theta=0^\circ$ , le liquide mouille parfaitement le solide (par exemple de l'eau sur du verre propre).



- Si  $\theta < 90^\circ$ , le liquide mouille imparfaitement le solide (par exemple l'eau sur du verre sale).



- Si  $\theta > 90^\circ$ , le liquide ne mouille pas le solide (par exemple le mercure sur du verre).



- On remarque aussi, que ce phénomène de mouillage se produit également dans le cas d'une paroi de solide verticale (tube capillaire), où l'on observe une ascension (avec un ménisque concave vers l'extérieur) ou une descente (avec un ménisque convexe vers l'intérieur).

En 1717 le médecin anglais **James Jurin** a montré que lorsqu'on plonge un tube capillaire de rayon ( $R$ ), ouvert aux deux extrémités, dans un liquide de tension superficielle, celui-ci monte ou descend dans le tube d'une hauteur ( $h$ ). Où il a constaté que la pression dans le liquide situé juste en dessous du ménisque (courbure de liquide) obéit simultanément à deux lois :

- La loi hydrostatique dans le liquide s'écrivant la relation de l'écart de pression sous le ménisque :

$$\Delta P = P_{atm} - P_{ext} = \rho \cdot g \cdot h$$

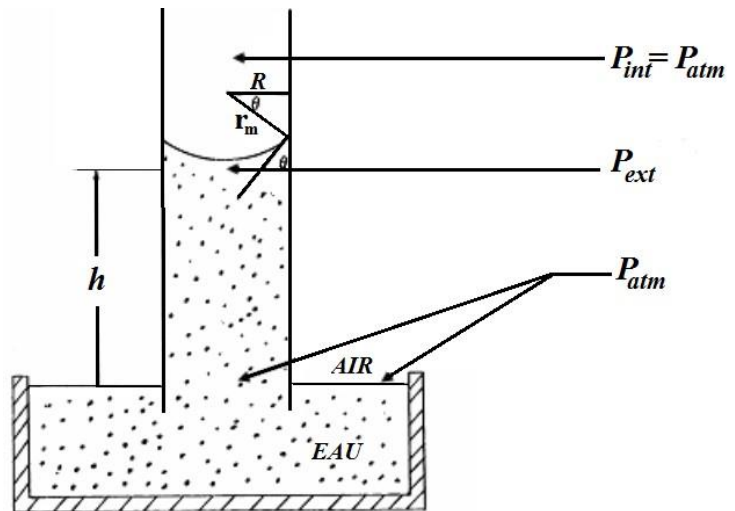
- La loi de Laplace à travers l'interface constituant le ménisque, qui nous permet de donner l'expression de la surpression :

$$\Delta P = P_{int} - P_{ext} = P_{atm} - P_{ext} = \frac{2\sigma}{r}$$

Avec ces expressions, Jurin a énoncé la relation de la hauteur  $h$  avec le rayon  $R$  de tube :

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{R \cdot \rho \cdot g}$$

Où il a utilisé la relation suivante :  $\cos \theta = \frac{R}{r}$



Où :

$R$ : Rayon intérieur du tube.

$\rho$  : Masse volumique du liquide.

$g$  : Intensité de la pesanteur.

$\sigma$  : Tension superficielle du liquide.

$\theta$  : Angle de raccordement liquide- solide.

**Remarque :**

- Si  $\theta$ : aigu: le liquide mouillant et s'élève dans le tube capillaire,  $h > 0$ .

- Si  $\theta$ : obtus: le liquide non mouillant et descend dans le tube capillaire,  $h < 0$ .



**b- Mesure et applications biologiques (L'appareil respiratoire) :**

Dans le corps humain la respiration se fait au niveau des voies aériennes et les poumons, nous pouvons absorber (inspirer) l'oxygène contenu dans l'air et éliminer (expirer) le gaz carbonique du corps. Plus précisément, la respiration se fait exactement au niveau des alvéoles pulmonaires qui se situent aux extrémités des bronchioles (voir la figure ci-dessous), cela va permettre à l' $O_2$  et au  $CO_2$  de passer à travers la membrane des alvéoles (couche de liquide) puis de passer dans les vaisseaux sanguins (artérioles).

Ces échanges vont s'effectuer par diffusion entre l'air alvéolaire et le sang des capillaires pulmonaire. L'oxygène diffusant vers le sang et le gaz carbonique vers l'alvéole passant de la région où leur pression partielle est la plus élevée vers celle où elle est la plus basse.

