

Institut des sciences et Technologie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie
Sciences de la Nature et de la Vie / Sciences biologiques, / Biotechnologies / Ecologie et environnement / Semestre 3 / Section A

1- Tension superficielle :

L'expérience montre quelques observations simples qui mettent en évidence ces phénomènes :

- 1- Formation de gouttes sur une feuille de plante
- 2- Ascension des liquides dans les tubes capillaires
- 3- Un corps solide peut flotter à la surface de l'eau.
- 4- Il existe un ménisque à la surface d'un liquide, au contact de la paroi du récipient.
- 5- La présence des bulles de savon

Ces expériences mettent en évidence l'existence d'une force f qui est présente à la surface d'un liquide. Ceci est une conséquence des propriétés propres à la surface du liquide qui sont différentes de celles du reste du liquide.

1-1 Définition :

A l'intérieur du liquide, chaque molécule est soumise à des forces d'attraction de type de Van der Waals d'origine électrostatique qui apparaissent à cause de la polarité de certaines molécules, la résultante des forces est nulle.

Par contre les molécules en surface sont essentiellement attirées vers l'intérieur du liquide, les molécules d'air étant trop peu nombreuses pour réaliser l'équilibre ; la résultante des forces d'attraction des molécules superficielles est donc dirigée vers l'intérieur du liquide, elle tend à comprimer le liquide et donc à réduire sa surface libre.

Par conséquent il existe une force, f , entre l'interface d'un liquide et un autre milieu. La tension superficielle σ est mesurée par le rapport de la force f et par la longueur l sur laquelle elle s'exerce.

$$\sigma = \frac{f}{l}$$

σ en N.m^{-1} ; f en N ; l en m .

La tension superficielle dépend du liquide et de la nature de l'autre partie de l'interface (gaz, air, verre, métal...)

Ex : eau / air, $\sigma = 73 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$. huile/air $\sigma = 32 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$.

1-2 Travail d'adhésion d'un liquide sur un solide :

C'est le travail qu'il faut fournir pour séparer un liquide du solide sur une surface de 1 m^2 . On appelle σ_L la tension superficielle du liquide ; σ_s la tension superficielle du solide et celle de la tension interfaciale liquide-solide σ_{sL} . En séparant le liquide du solide, sur 1 m^2 , on crée aussi 1 m^2 d'interface liquide-air, 1 m^2 d'interface solide-air ; l'énergie d'adhésion solide-liquide vaut donc :

Biophysique ; Cours et Exercices corrigés, 2^{ème} année Licence Biologie

$$W_{SL} = (\sigma_s + \sigma_L - \sigma_{SL})S$$

Dans cette équation, seul σ_L est connu. La différence $(\sigma_s - \sigma_{SL})$ peut être mesurée relativement facilement, alors que les deux termes ne peuvent l'être séparément

1-3 Angle de contact θ :

Considérant en effet l'équilibre d'une goutte liquide posée sur une surface horizontale du solide. La figure 3.1 montre bien l'existence des trois (03) phases.

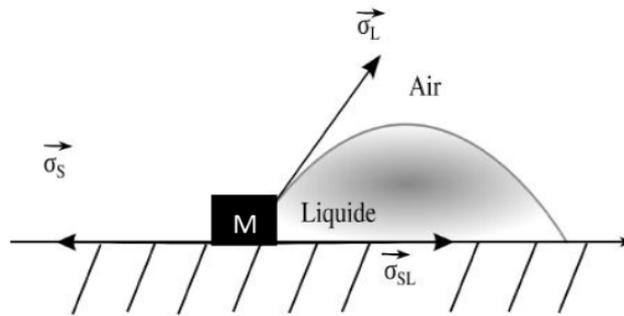


Figure 3.1

L'équilibre du point M s'écrit (composantes horizontales des forces superficielles) :

$$\sigma_s = \sigma_{SL} + \sigma_L \cos(\theta)$$

C'est-à-dire

$$\sigma_s - \sigma_{SL} = \sigma_L \cos(\theta) \implies \cos(\theta) = \frac{\sigma_s - \sigma_{SL}}{\sigma_L}$$

L'angle θ s'appelle angle de contact. Celui-ci est accessible à la mesure. Le travail d'adhésion peut s'écrire :

$$W_{SL} = \sigma_L (1 + \cos \theta) S .$$

On voit que plus l'angle θ est petit, plus le travail d'adhésion est grand. On considère les cas suivants :

- $\theta = 0^\circ$, $W_{SL} = 2 \sigma_L S = W_L$: le travail d'adhésion est égal au travail de cohésion du liquide. C'est le cas extrême de l'équilibre qui correspond à un étalement complet du liquide.

La condition $W_{SL} = W_L$ est le cas limite du mouillement parfait. A priori, le mouillement est parfait si $W_{SL} \geq W_L$.

- $\theta = 180^\circ$, $W_{SL} = 0$: le travail d'adhésion est nul. Le mouillement est nul.

- $0 < \theta < 90^\circ$ (aigu) à un mouillement bon mais non parfait.

- $90^\circ < \theta < 180^\circ$ à un mouillement mauvais mais non nul.

1-4 Exemples d'applications de mouilllements :

En phytopharmacie : Certains agents mouillants sont utilisés en pharmacie pour favoriser la pénétration des médicaments à travers la peau ou la muqueuse). A l'inverse on peut chercher des anti-mouillants pour réduire la pénétration cutanée des produits toxiques. Dans le cas des produits antiparasitaires, il faut que l'on ait une parfaite adhérence du liquide sur la surface pour boucher les pores de l'insecte ce qui l'empêche de respirer. Donc l'angle de contact $\theta=0$ nous avons un produit mouillant.

Dans le cas de désherbant au contraire il faut avoir un mauvais mouillement puisque ces produits ne doivent être nocifs pour les insectes donc on doit choisir des produits anti-mouillant. On peut avoir un mauvais mouillement du à une couche qui s'est formée sur la surface du solide donc cette surface doit être d'abord traitée (elle doit être bien polie).

Pour connaître l'adhérence d'un liquide , ou le mouillement, il est donc important de déterminer avec précision la tension superficielle.

Il ya plusieurs méthodes pour mesurer la tension superficielle parmi elles la méthode de l'ascension capillaire (loi de Jurin), la méthode de la lame immergée et la méthode des gouttes (Stalagmométrie), nous allons détailler dans ce qui suit la méthode de l'ascension capillaire

2- Phénomène de capillarité :

2-1 définition :

C'est le phénomène qui explique, entre autre, la montée (verticalité) des liquides, contre l'effet de la gravité, le long d'une surface du fait de leur tension superficielle.

2-2 Méthode de l'ascension capillaire(Loi de Jurin) :

Soit un tube fabriquer à partir d'un solide et dont la mouillabilité est définie par un angle θ , on le plonge dans un liquide. Pour un bon mouillement on constate que le niveau du liquide monte $h>0$ Figure3.2(a). Pour un mauvais mouillement le liquide descend Figure3.2(b).

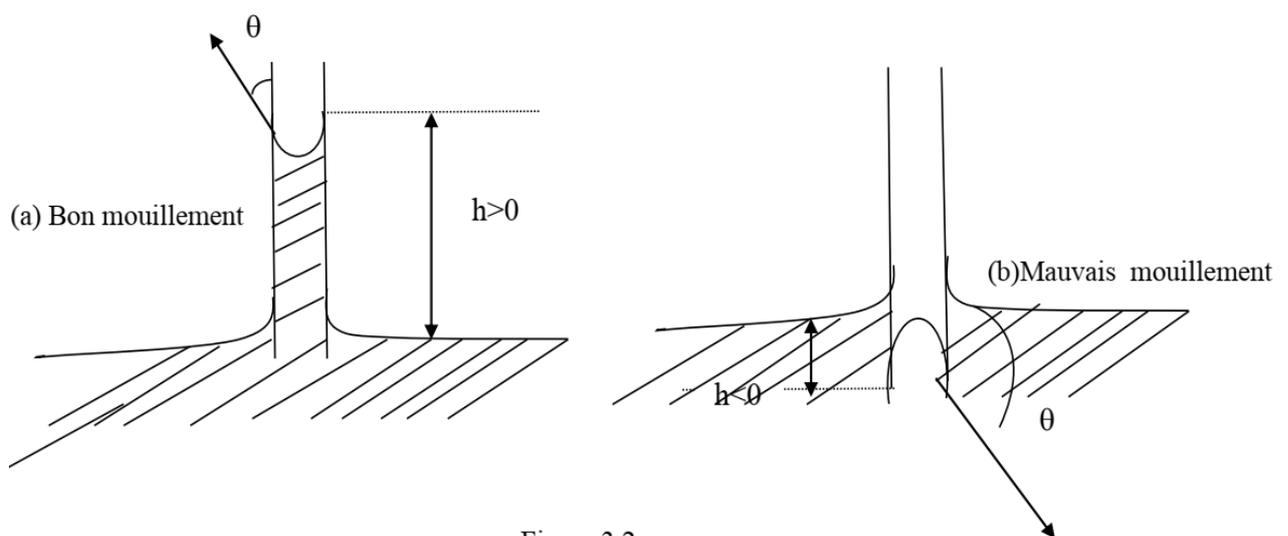


Figure 3.2

La dénivellation h est d'autant plus grande que le rayon ou ménisque est faible

Soit ΔF l'attraction exercée par le tube sur le liquide intérieur

$$\Delta F = 2 \pi r \sigma \cos\theta$$

L'équilibre s'établira lorsque l'attraction et le poids de la colonne se compense

Le poids du liquide dans la colonne

$$P = h \pi r^2 \rho g$$

g : intensité de la pesanteur

h : la hauteur en négligeant les ménisques

ρ : masse volumique du liquide

$h \pi r^2$: volume de la colonne liquide

En égalant les deux équations $\Delta F = P$ on aura :

$$\sigma \cos(\theta) = \frac{hr\rho g}{2} \quad \text{C'est la loi de Jurin}$$

2-3 Mesure de la tension superficielle (Méthode du capillaire)

En appliquant la loi de Jurin, on déduit une valeur de σ de la mesure de la dénivellation h et de la connaissance des autres paramètres.

3- Force de tension superficielle (Interfaces liquide-Gaz) :

Soit une molécule (A) à l'intérieur du liquide. Elle est entourée de tous les côtés par d'autres molécules. Si on néglige l'influence de l'agitation thermique, la résultante des forces d'attraction subies par la molécule (A) est en moyenne nulle puisque toutes les directions sont

équivalentes $\sum \vec{F} \equiv \vec{0}$

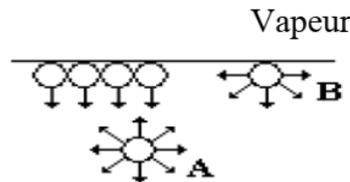


Figure 3.3

Pour une autre molécule (B) Figure 3.3 qui se trouve à la surface du liquide, si on néglige l'attraction des molécules gazeuses, cette molécule est attirée en moyenne vers l'intérieur perpendiculairement à la surface par les molécules liquides voisines. Il en est de même de toutes les molécules superficielles qui forment ainsi une sorte de pellicule tendue qui comprime l'intérieur du liquide. Pour amener la molécule (A) à la surface, c'est-à-dire augmenter la surface, il faut fournir une énergie nécessaire pour faire passer une molécule de la phase liquide à la phase vapeur, qu'on appelle l'énergie superficielle et elle est directement liée aux forces intermoléculaires

Toute augmentation de surface (ΔS) nécessite une énergie extérieure (ΔE), tel que $\Delta W = \Delta E = \sigma \Delta S$

Le coefficient de proportionnalité σ , toujours positif, est appelé *tension superficielle*. Son unité est : N/m ou bien J/m²

Une autre définition est toujours utilisée, elle consiste à représenter σ comme une force (F) tangente à la surface.

Quelques mesures de tension superficielle

Liquides (20°C)	σ (dynes/cm)
H ₂ O	72,8
Glycérine	60
Glycol	46
Benzène	28.5

Les métaux fondus ont des tensions superficielles de l'ordre de 500 dynes/cm. Le phénomène de tension superficielle liquide-gaz va créer une surpression à l'intérieur d'une goutte ou d'une colonne.

3-1 La surpression à l'intérieur d'une goutte :

Considérons une goutte sphérique figure 3.4, la membrane qui l'entoure exerce à l'intérieur une surpression δp

P_0 : pression atmosphérique extérieur à la goutte
 $= 1.013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ (pascals)

P : pression intérieure.

Pour calculer δp , il faut augmenter le volume de la goutte qui passe du rayon r au rayon $r + \Delta r$, donc il faut fournir une énergie extérieure, ΔE

Le travail fourni au système est $\Delta W = \frac{\delta F}{S} \Delta x = \delta p \Delta V$

$$\Delta W = \delta p \Delta V = \delta p \Delta \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) = \delta p 4\pi r^2 \Delta r \quad -1-$$

Ce travail augmente la surface de la goutte donc :

$$\Delta W = \sigma \Delta S = \sigma \Delta (4\pi r^2) = \sigma 8\pi r \Delta r \quad -2-$$

En égalisant entre -1- et -2- nous obtenons :

$$P - P_0 = \delta p = \frac{2\sigma}{r} \quad \text{Loi de Laplace pour une goutte.}$$

La loi de Laplace est une relation qui lie la différence de pression entre les 2 faces d'une membrane élastique ou d'un film liquide à la tension superficielle σ .

3-2 Surpression à l'intérieur d'une bulle de savon :

Soit une bulle de savon constituée par deux membranes intérieure de rayon r et extérieure de rayon $r + \delta r$ Figure 3.5

σ la tension superficielle de la solution de savon

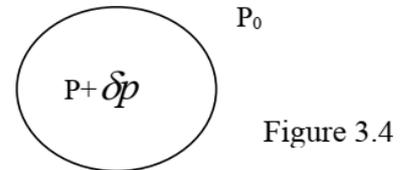


Figure 3.4

r : rayon de la membrane intérieure

$r + \delta r$ rayon de la membrane extérieure

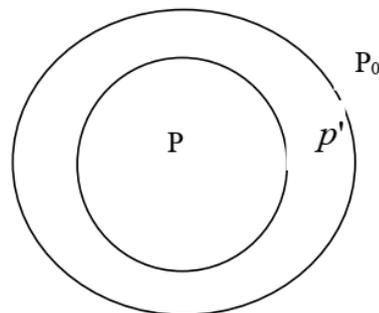


Figure 3.5

$$p - p' = \frac{2\sigma}{r} \quad \text{-1- surpression créée par la membrane intérieure}$$

$$p' - p_0 = \frac{2\sigma}{r + \delta r} \quad \text{-2- surpression créée par la membrane extérieure}$$

En ajoutant ces deux équations nous obtenons :

$$\delta p = p - p_0 = \frac{2\sigma}{r + \delta r} + \frac{2\sigma}{r} = \frac{4\sigma}{r} \quad \delta r \llllll$$

δp Surpression à l'intérieur de la bulle par rapport à l'extérieur. Donc la surpression dans une bulle de savon est 2 fois plus grande dans le cas d'une goutte.

3-3 Application en Biologie : la respiration chez les êtres vivants

La surface des poumons est augmentée par la présence des alvéoles. La dilatation des poumons requiert un travail considérable car la tension superficielle qui colle les membranes alvéolaires est élevée. Pour faciliter la ventilation, des surfactants réduisent la tension superficielle à la surface interne des alvéoles.

La présence de ces surfactants réduit le travail nécessaire à la dilatation des poumons :

Lorsque l'alvéole se dilate, la concentration des surfactants par unité de surface diminue, la tension superficielle augmente. La résistance à la dilatation augmente et protège les alvéoles contre l'éclatement [1].

P_0 : Pression du liquide

P_i : Pression à l'intérieure
de l'alvéole

4- Adsorption :

l'adsorption est un phénomène de surface par lequel des atomes, des ions ou des molécules (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant) depuis une phase gazeuse, liquide ou une solution solide