

# Système respiratoire – Cours-TD1

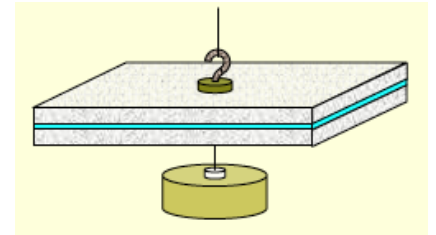
## Introduction : l'eau élastique ?

Parmi les autres aspects mis en évidence en cours et en séance info, nous allons maintenant nous concentrer sur cette question du surfactant pulmonaire et son rôle, à partir de la notion, à préciser, de **tension superficielle**. C'est une notion qui fait vraiment partie de notre quotidien et, pour commencer, nous pouvons faire quelques **observations**.

1) Deux plaques de verre entre lesquelles on a déposé un mince film d'eau semblent collées l'une à l'autre. La plaque inférieure peut supporter une masse de plusieurs centaines de grammes avant de tomber.

<http://phymain.unisciel.fr/coller-avec-de-leau/>

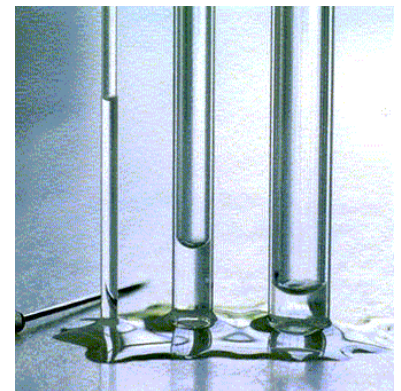
L'eau fonctionne ici comme une colle : ça veut dire qu'il y a une interaction attractive entre l'eau et le verre.



C'est cette même interaction qui explique pourquoi l'eau a tendance à remonter le capillaire en verre (plus ou moins selon le diamètre, mais c'est un aspect que nous n'aborderons pas directement) :

(voir aussi [https://www.canal-u.tv/video/tele2sciences/capillarite\\_entre\\_deux\\_plaques\\_de\\_verre.15174](https://www.canal-u.tv/video/tele2sciences/capillarite_entre_deux_plaques_de_verre.15174))

L'effet ne serait pas du tout le même si le capillaire était en plastique, (ou bien si l'eau était remplacée par du mercure) : Penser au comportement d'un fond d'eau dans un verre plastique ou dans un verre en verre. Qu'avez-vous remarqué ?



La différence visible entre eau-verre et eau-plastique ça vient du fait que l'eau « aime » se coller au verre, alors qu'elle « n'aime pas » se coller au plastique. Plus précisément, l'eau préfère être à côté du verre que d'une autre portion d'eau, mais préfère l'eau au plastique. Ses **interactions physiques** avec l'eau sont plus favorables qu'avec le plastique, moins qu'avec le verre.



Sur le plastique, comme sur une feuille, l'eau cherche alors à minimiser la surface d'interaction : la compétition entre le poids et cette tendance à « ne pas mouiller » donne lieu à une forme finale qui dépend de la masse de la goutte.

Mais c'est plus que ça : la goutte, même en absence de toute surface solide, a envie d'être ronde :

Tout se passe comme si sa surface était une sorte de membrane « élastique », qui a tendance à renfermer le volume à l'intérieur de manière à ce que la surface soit la plus petite possible (la sphère est le solide de surface minimale, à volume donné).



La même « élasticité » est à l'origine de la possibilité de faire flotter des objets sur l'eau même s'ils ont une masse volumique plus importante que celle de l'eau :

C'est vraiment comme s'il y avait une « pellicule » d'eau, sur laquelle on peut appuyer en la déformant un peu mais qui résiste !

Nous allons aujourd'hui juste essayer de comprendre comment décrire ce comportement de la surface de l'eau, en quoi il ressemble à celui d'une membrane élastique, et en quoi elle ne lui ressemble pas.



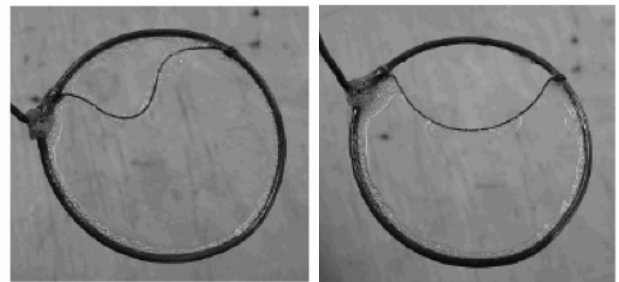
Dans le TP, nous compléterons cette description en y rajoutant un côté plus quantitatif, jusqu'à retrouver cette fameuse loi de Laplace dont on a parlé à propos des poumons.

### Tension de surface : la force

Pour vérifier que l'interface entre le liquide et l'air a effectivement cette sorte de propriété élastique, on peut faire une expérience qui permet de voir plus précisément ce qui se passe le long de cette même surface.

Pour avoir des surfaces qui durent plus longtemps, on peut utiliser de l'eau savonneuse.

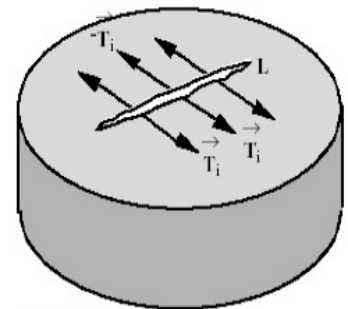
**Expérience** : un fil de coton est placé sur un anneau que l'on plonge dans de l'eau savonneuse. Si le film de savon remplit tout l'anneau, le fil reste détendu. Si on perce l'un des deux côtés, le fil se tend.



(voir <https://www.youtube.com/watch?v=DZOB5GVAXJg>)

L'expérience montre clairement que l'interface (qui est double ici car il y a une surface de chaque côté) exerce une **force sur le bord**.

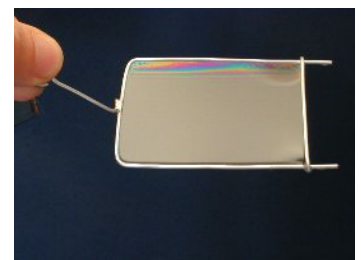
C'est cette même force qui explique la résistance offerte par la surface du liquide, sa tendance à minimiser la surface : imaginons qu'on veuille créer à la surface libre d'un liquide une ouverture en forme de fente, de longueur  $L$  et de largeur  $\Delta x$  très petite : il faut pour cela exercer en plusieurs points de l'ouverture des forces  $T_i$ , qui doivent être des forces de traction : En effet, le liquide tend à s'opposer à cette opération en développant une force de norme  $F$  qui s'oppose aux forces  $T_i$ .



**Expérience** : On peut alors imaginer un dispositif qui permet de mesurer cette force, avec un côté mobile :

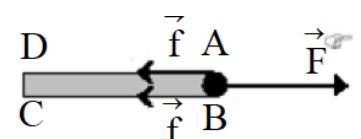
(voir à nouveau <https://www.youtube.com/watch?v=DZOB5GVAXJg>)

Si on fait l'expérience avec des géométries différentes, on s'aperçoit que la force qu'il faut contrer est **proportionnelle à la longueur du bord mobile** :



$$F = 2 \sigma L$$

où le 2 vient de la présence de deux faces.



Et donc pour une seule interface, plus généralement, on écrira

$$F = \sigma L \quad \text{pour une interface}$$

La constante de proportionnalité,  $\sigma$ , dépend du liquide : c'est ce qu'on appelle le **coefficient de tension superficielle**.

$$[\sigma] = [F/L] = \text{MLT}^{-1}, \quad \text{unités N/m.}$$

Voyons des ordres de grandeurs, en ordre croissant :

**Tension superficielle pour différents liquides en contact avec l'air**

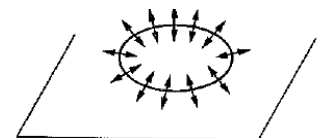
Liquide	Température (°C)	Tension de surface $s$ ( $10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ )
Éthanol	20	22,27
Méthanol	20	22,6
Eau savonneuse	20	~ 25
Eau	50	67,91
Eau	20	72,8
Eau	0	75,64
Glycérol	20	63
Mercure	20	436

**Exercice :**

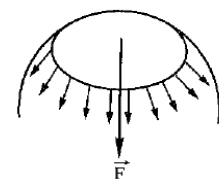
- 1) Quelle force faut-il contrer pour pouvoir déplacer le bord libre, si sa longueur est de 5 cm ?
- 2) Comparer au poids d'une masse  $m$ .
- 3) Qu'aurait-on obtenu avec le d'eau ? Comparer.
- 4) La force dépend-t-elle de l'état d'étirement de la surface ? L'analogie avec une membrane élastique vous semble-t-elle pertinente ?

**Gouttes et bulles**

Si on considère une ligne le long d'une interface plane, cette ligne sera en équilibre dans le sens où les forces qui agissent sur chaque segment de part et d'autre s'équilibrent.



Maintenant, si on prend une goutte, ou une quelconque interface courbée, les forces de tension que tirent sur la surface de la bulle « poussent » vers l'intérieur : cela résulte en une **pression que l'interface exerce vers l'intérieur**.



On peut calculer cette pression de deux manière : soit en calculant la force par unité de surface, assez compliqué, soit en considérant le travail (énergie, on en reparlera plus tard) nécessaire lorsque on fait augmenter le diamètre de la goutte et en le comparant avec le travail de ces forces de pression.

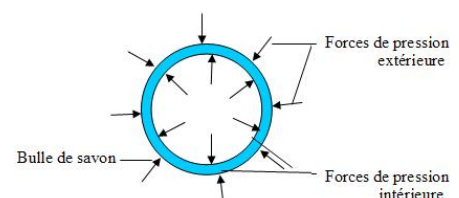
Les deux sont un peu compliqués et nous ne le faisons pas mais nous pouvons donner le résultat, sur lequel nous reviendrons en TP :

On trouve que **la surpression due à la tension superficielle dans une goutte (ou dans une bulle à l'intérieur d'un liquide) est inversement proportionnelle à son rayon** : c'est la fameuse

$$\Delta P = 2\sigma / R \quad \text{Loi de Laplace (une interface)}$$

Pour une **bulle** de savon, **2 interfaces, pression double** :

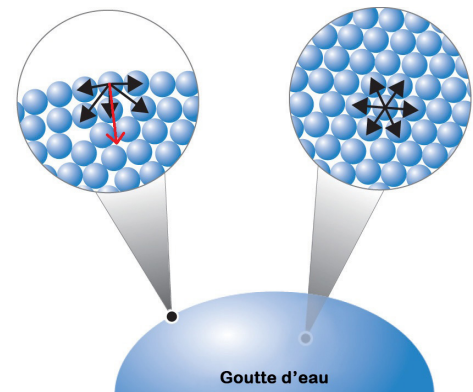
$$\Delta P = 4\sigma / R \quad \text{Loi de Laplace pour deux interfaces (bulle)}$$



## Point de vue microscopique

D'un point de vue microscopique, d'où vient cette force ?

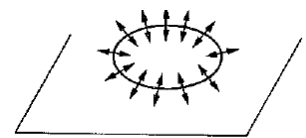
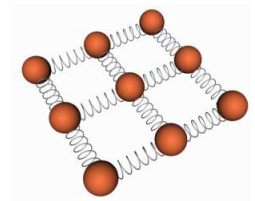
Dans un liquide, on peut imaginer que les molécules qui sont à l'intérieur du liquide sont soumises à des forces différentes de celles subies par les molécules qui sont situées à la surface du liquide. Bien souvent, ces molécules ne sont pas neutres sur le plan électrique. C'est le cas tout particulièrement de l'eau qui porte un moment dipolaire important. Ces moments dipolaires interfèrent les uns avec les autres de telle sorte qu'au sein du liquide une molécule est l'objet de tensions orientées dans toutes les directions de la sphère qui l'entoure. Sur la surface du liquide, ces tensions sont limitées à la demi sphère située sous la surface. Il s'ensuit que la résultante de ces forces ne peut pas être nulle.



Cette résultante est nécessairement dirigée vers le bas, puisque le liquide ne s'échappe pas du récipient. Ce phénomène se traduit par l'apparition d'une tension de surface caractéristique de chacun des liquides. On peut dire qu'il se forme un film de molécules en surface qui n'a pas plus tout à fait la même structure que celle que l'on retrouve au sein du liquide.

Remarquons alors une **différence** importante par rapport à ce qui se passe dans une **membrane élastique** : dans ce cas, les forces sont plutôt orientées le long de la surface, et non pas vers l'intérieur !

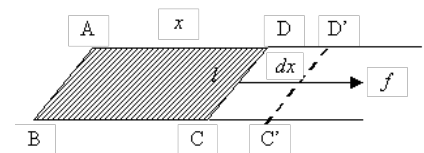
On peut donc effectivement s'attendre à un comportement qualitativement différent, même si, au final, lorsqu'on regarde une interface plane, les forces résultantes sont le long de la surface et tendent à la faire rétrécir, le mécanisme moléculaire sous-jacent est très différent, d'où par exemple cette différence que nous avons déjà remarquée sur le fait que la force le long d'un bord reste la même lorsque on déplace ce bord.



## Tension de surface : énergie

*Exercice :*

Quelle énergie faut-il fournir pour déplacer le bord libre du cadre métallique de  $\Delta x$  ?



Conséquence : la relation  $\Delta E = \sigma \Delta S$  peut aussi s'écrire

$$E = \sigma S$$

L'énergie potentielle de surface d'un liquide est proportionnelle à la surface libre de ce liquide

Ainsi la tension superficielle peut aussi se définir comme **l'énergie (libre) de surface par unité de surface**. La tension superficielle peut donc aussi se mesurer en Joules / m<sup>2</sup>.

Donc, plus la tension de surface est élevée, plus il coûte de l'énergie de créer de la surface : on retrouve, de manière même plus directe, la tendance à minimiser la surface dont nous avons parlé.