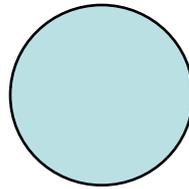


Biophysique

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

Chapitre 3

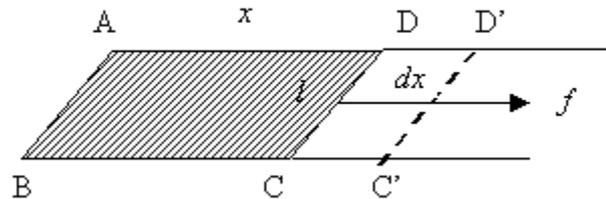
La tension superficielle



Vidéo tension superficielle

La tension superficielle

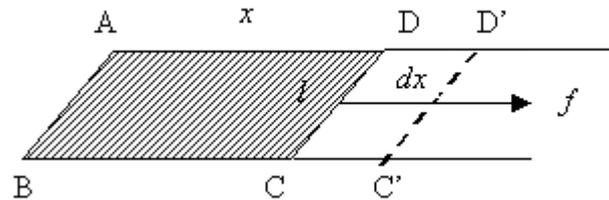
Supposons une lame (film) de savon formée dans un fin cadre métallique ABCD dont l'un des côtés CD est mobile.



La surface totale de la lame, compte tenu de ses deux faces est $2 \cdot x \cdot l$. La lame a tendance à se rétracter ; pour maintenir sa surface constante, il faut exercer sur CD une force f . $f = 2 \sigma l$ (N),

La tension superficielle est définie de façon statique par : $\sigma = f / 2l$ (N/m)

La tension superficielle



Pour déplacer le coté CD d'une longueur dx il faut fournir le travail dW

$$dW = F \cdot dx$$

Ce déplacement correspond à un accroissement de la surface de liquide de:

$$dS = 2 \cdot l \cdot dx$$

Le travail fourni par unité de surface sera donc:

$$\frac{dW}{dS} = \frac{F \cdot dx}{2 \cdot l \cdot dx} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot l \cdot dx}{2 \cdot l \cdot dx} = \sigma$$

$$\sigma = W/S \text{ (J/m}^2\text{) ou (N/m)}$$

La tension superficielle

$$\sigma = W/S \text{ (J/m}^2\text{) ou (N/m)}$$

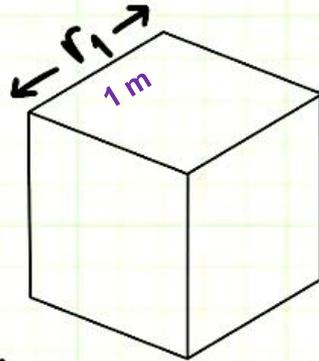
$$\sigma \cdot S = W$$

Or une condition de stabilité d'équilibre est que l'énergie potentielle soit la plus basse possible Il s'ensuit que:

La surface libre d'un liquide se place naturellement pour être la plus petite possible.

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

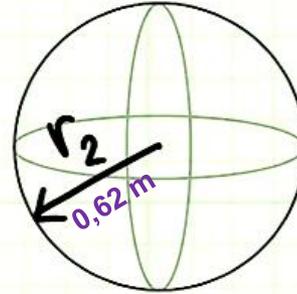
La tension superficielle



$$V_c = r_1^3$$

$$V_c = 1^3 = \underline{1\text{ m}^3}$$

$$S_c = r_1 \cdot r_1 \cdot 6 = 1 \cdot 1 \cdot 6 = \underline{6\text{ m}^2}$$



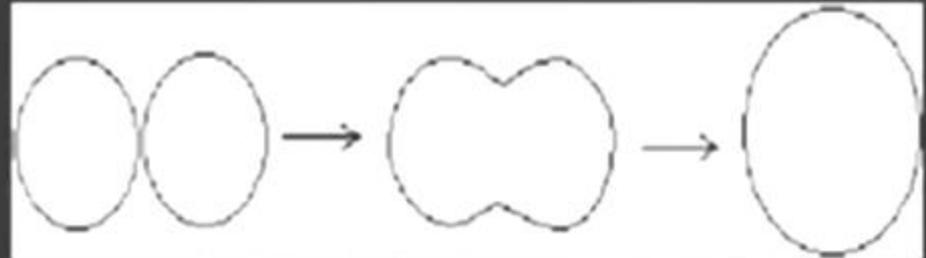
$$V_s = \frac{4}{3} \pi r_2^3$$

$$V_s = (4/3) \cdot 3,14 \cdot (0,62)^3 = \underline{1\text{ m}^3}$$

$$S_s = 4 \pi r_2^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot (0,62)^2 = \underline{4,83\text{ m}^2}$$

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

La tension superficielle



Réunion de deux gouttes pour réduire la surface et donc l'énergie

Exemple 1 : *Pourquoi les gouttes sont-elles sphériques?*

Parce que, pour un volume de liquide donné, c'est cette forme qui donne une enveloppe de surface minimale.

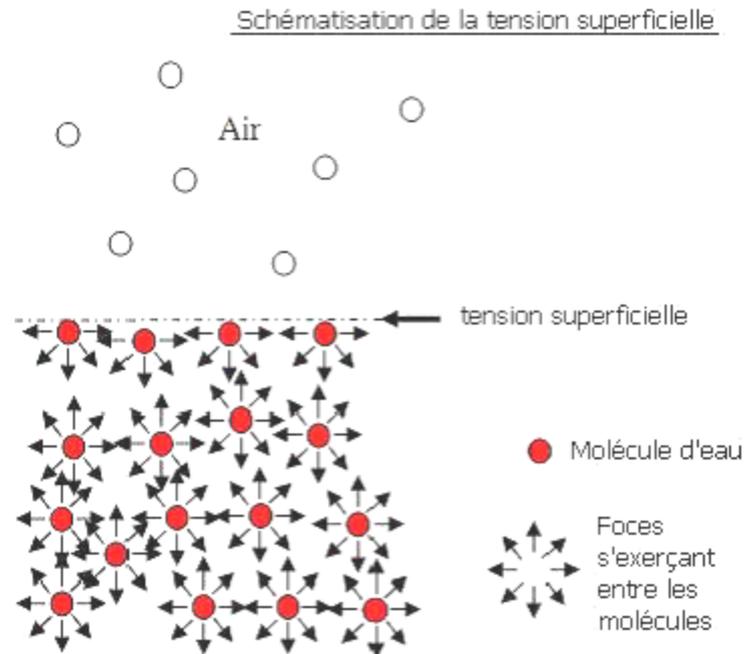
Exemple 2 : *pourquoi, lorsqu'on rapproche deux gouttes d'eau, celles-ci se fondent-elles en une seule ?*

Si les deux gouttelettes se rencontrent, elles ont donc tendance à fusionner pour minimiser leur surface.

La tension superficielle

La tension superficielle est une propriété des liquides qui permet de maintenir en équilibre leur surface libre.

La tension superficielle



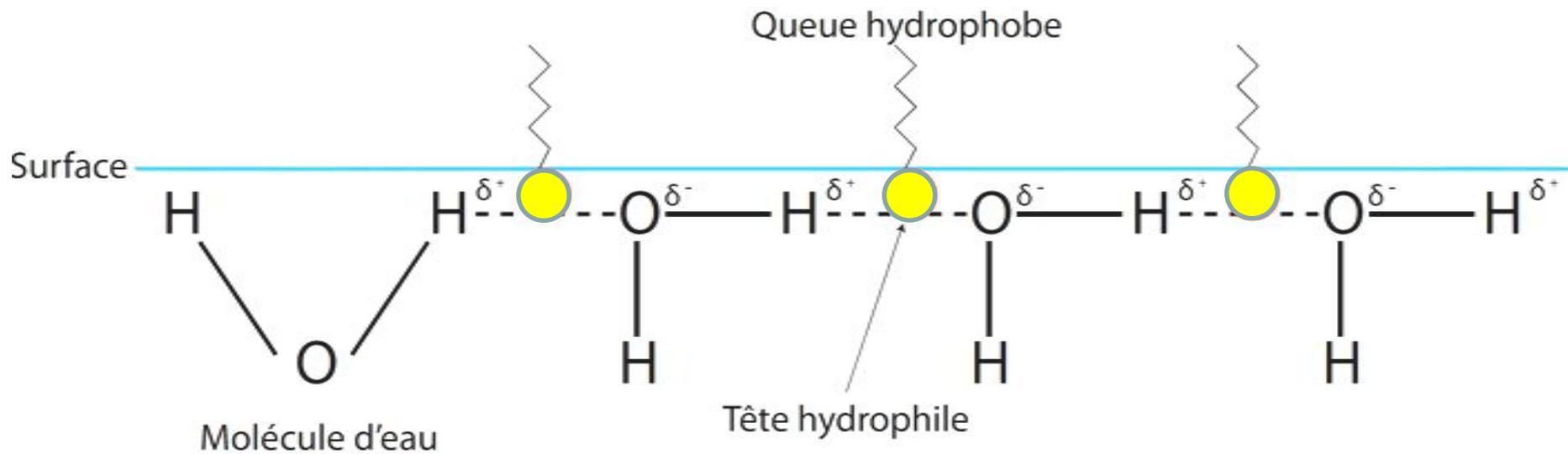
Ces molécules de surface se comportent donc comme une membrane tendue sur les autres molécules, comme pour les retenir, membrane qui comprime le liquide dans certains cas. D'où le terme de tension superficielle. L'épaisseur de cette couche superficielle de molécules varie entre 1 et 100nm

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

La tension superficielle

Liquide	T(°C)	Tension superficielle σ (N.m ⁻¹)
Alcool éthylique	20	$2,23 \cdot 10^{-2}$
Huile d'olive	20	$3,20 \cdot 10^{-2}$
Glycérine	20	$6,31 \cdot 10^{-2}$
Eau	0	$7,56 \cdot 10^{-2}$
Eau	20	$7,28 \cdot 10^{-2}$
Eau	100	$5,89 \cdot 10^{-2}$
Eau savonneuse	20	$2,50 \cdot 10^{-2}$
Mercure	20	$4,65 \cdot 10^{-1}$

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ



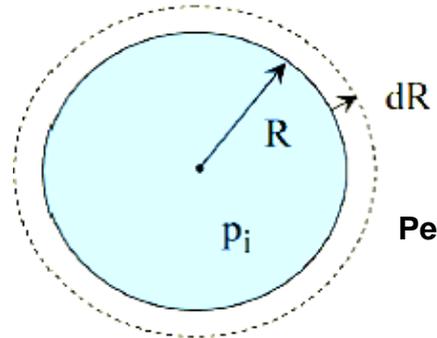
ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

La tension superficielle

Loi de LAPLACE

Soit une membrane sphérique remplie d'un liquide. La résultante de toutes les forces de tension superficielle a pour effet d'exercer une compression de façon à réduire la surface de la sphère. Il existe donc une **surpression** à l'intérieur de la sphère

L'existence de cette bulle suggère que la pression interne P_i est supérieure à la pression externe P_e . Calculons **$P_i - P_e$** en prenant un **élément de surface** de la bulle.



ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

La tension superficielle

Loi de LAPLACE

La loi de Laplace permet de calculer la différence $P_i - P_e = \Delta p$ en fonction de R et de σ .
Si on augmente le rayon R de la goutte de dR , son volume augmente de $S \cdot dR = 4\pi R^2 dR$
où S est la surface de la goutte.

Travail des forces de pression au cours de cette opération :

$$dW_e = - P_e 4\pi R^2 dR$$

$$dW_i = P_i 4\pi R^2 dR$$

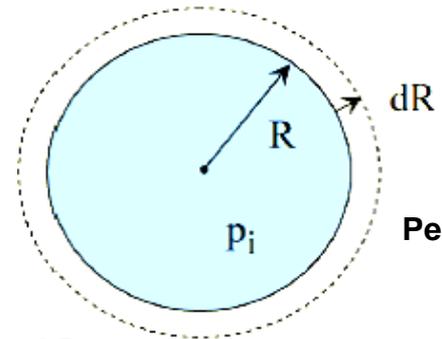
Le travail total est donc : $dW = (P_i - P_e) 4\pi R^2 dR$

Ce travail est égal à celui des forces de tension de surface : $dW = \sigma dS$

La surface d'une sphère vaut : $S = 4\pi R^2$

Son augmentation dS est égale à : $dS = 8\pi R dR$.

$$\text{Il s'ensuit } \Delta p = P_i - P_e = \frac{2\sigma}{R}$$



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

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

La tension superficielle

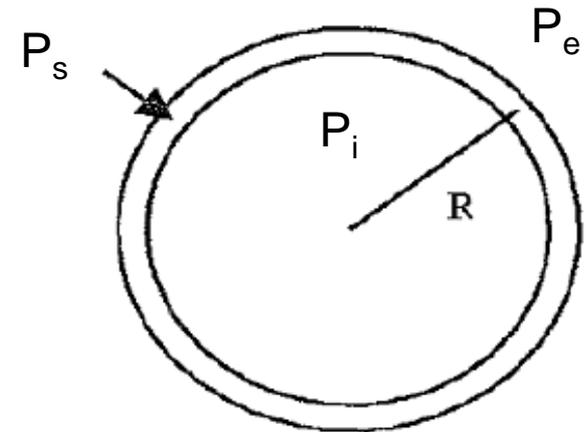
Application : Bulle de savon

Une bulle de savon est un film sphérique mince possédant deux surfaces de séparation

$$P_i - P_s = \frac{2\sigma}{R} \dots\dots\dots(1)$$

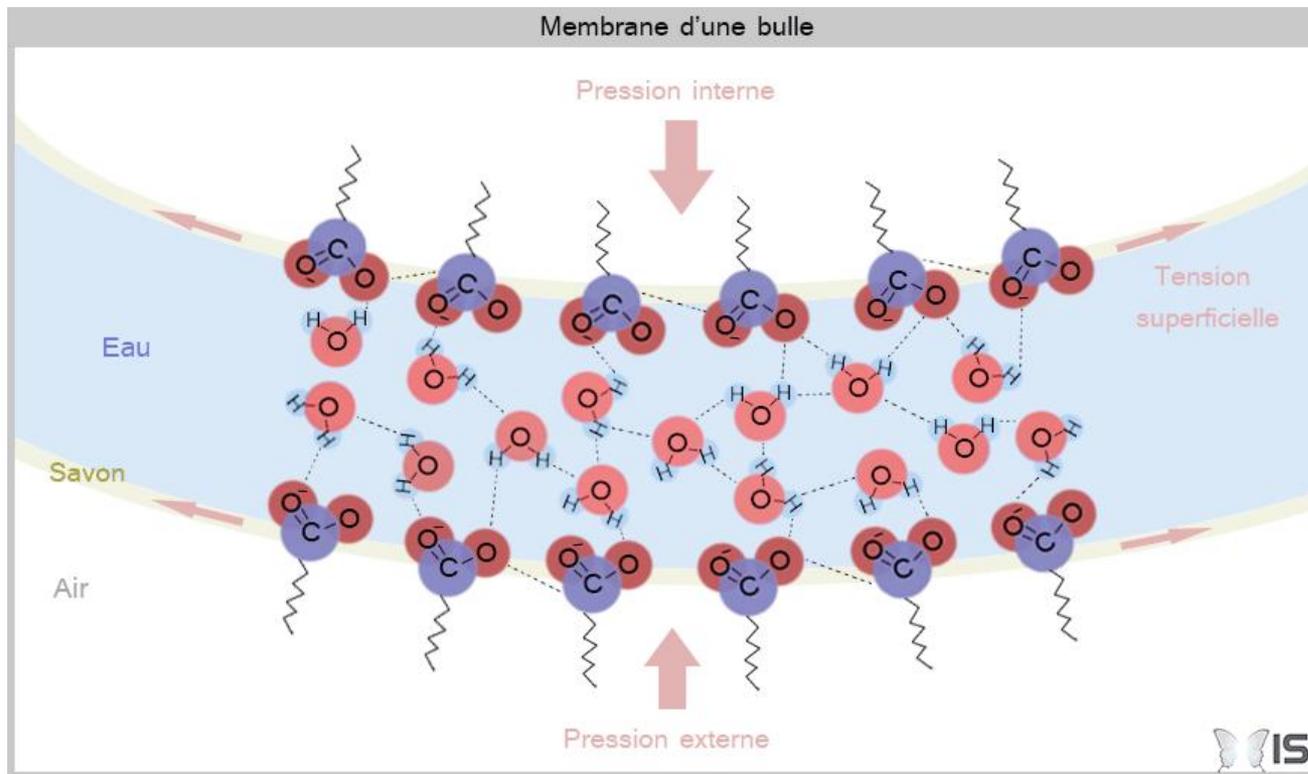
$$P_s - P_e = \frac{2\sigma}{R} \dots\dots\dots(2)$$

$$P_i - P_e = \frac{4\sigma}{R}$$



Si R augmente, $P_i - P_e$ diminue : la pression est plus grande dans une petite bulle que dans une grande. En conséquence, si on met deux bulles en contact, la plus petite va se dégonfler dans la plus grande

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ



Exercice

La tension superficielle

Un liquide a une tension superficielle $\sigma = 25 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$. Avec ce liquide, on souffle une bulle de savon de rayon $R = 2,5 \text{ cm}$.

- Calculer la surpression à l'intérieur de cette bulle.
- Calculer le travail dépensé pour souffler la bulle de savon.

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

Exercice

Loi de Laplace appliquée à une interface sphérique : $P_i - P_e = \gamma \frac{2}{R}$

avec $R = R_1 = R_2$ pour une surface sphérique.

Loi de Laplace appliquée à une interface sphérique double : cas de la bulle de savon.

Soit P_L la pression à l'intérieur du liquide

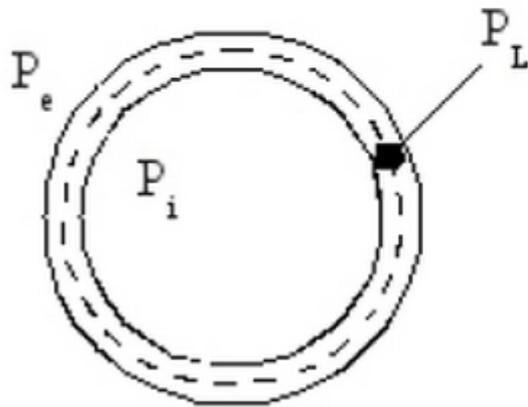
$P_i - P_L = \gamma \frac{2}{R}$ pour l'interface séparant l'intérieur du liquide.

$P_L - P_e = \gamma \frac{2}{R}$ pour l'interface séparant le liquide de l'extérieur.

Les rayons ont été supposés identiques (ils sont très peu différents)

En sommant ces deux équations :

$$P_i - P_e = \gamma \frac{4}{R} = 25 \cdot 10^{-3} \frac{4}{25 \cdot 10^{-2}} = 4 Pa$$



La tension superficielle

dW = travail pour créer une surface dS

$$dW = \gamma \cdot dS \text{ donc } W = \gamma \cdot S$$

Surface de la sphère = $4\pi R^2$

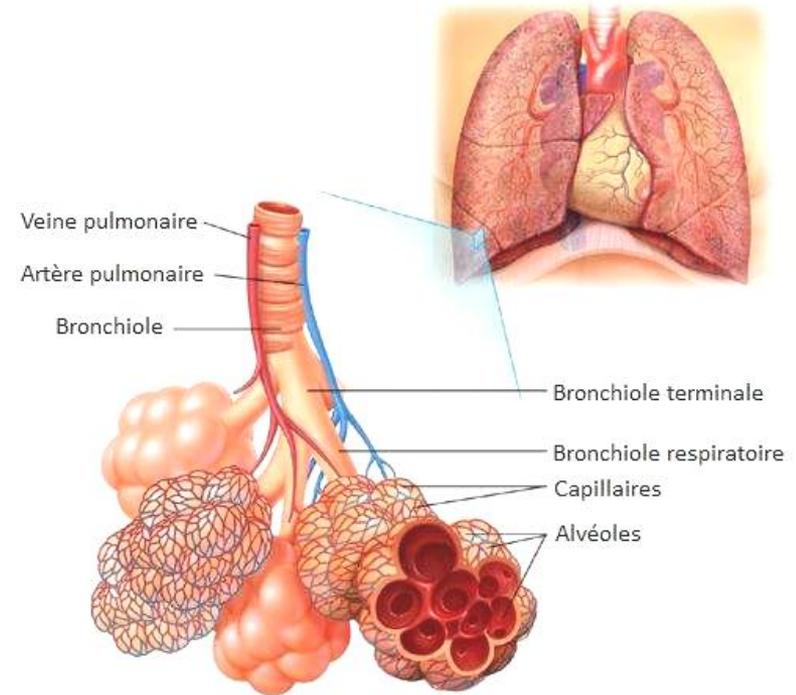
La bulle de savon est constituée de 2 interfaces donc $S = 2 * 4\pi R^2$

$$W = \gamma \cdot 8\pi R^2 = 25 \cdot 10^{-3} * 8\pi * (2,5 \cdot 10^{-2})^2 = 3,93 \cdot 10^{-4} J$$

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

La tension superficielle

La surface des poumons est augmentée par la présence des alvéoles.



Si on dépliait toutes ces **alvéoles** pour les étaler cela représenterait la surface d'un **terrain de tennis**

La tension superficielle

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 :

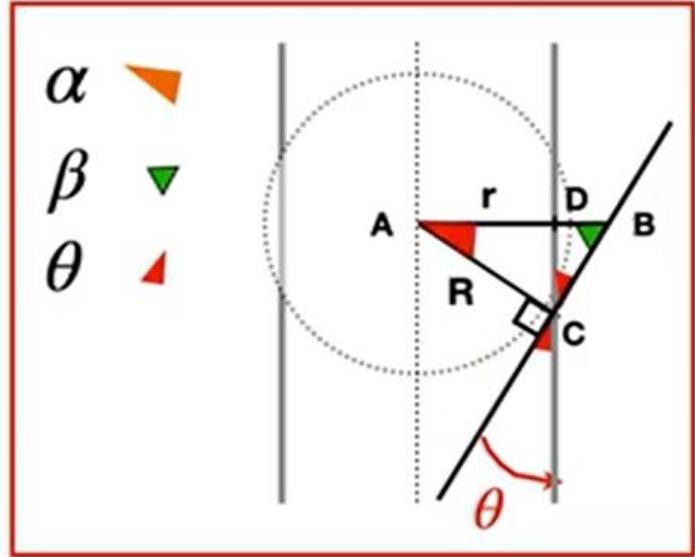
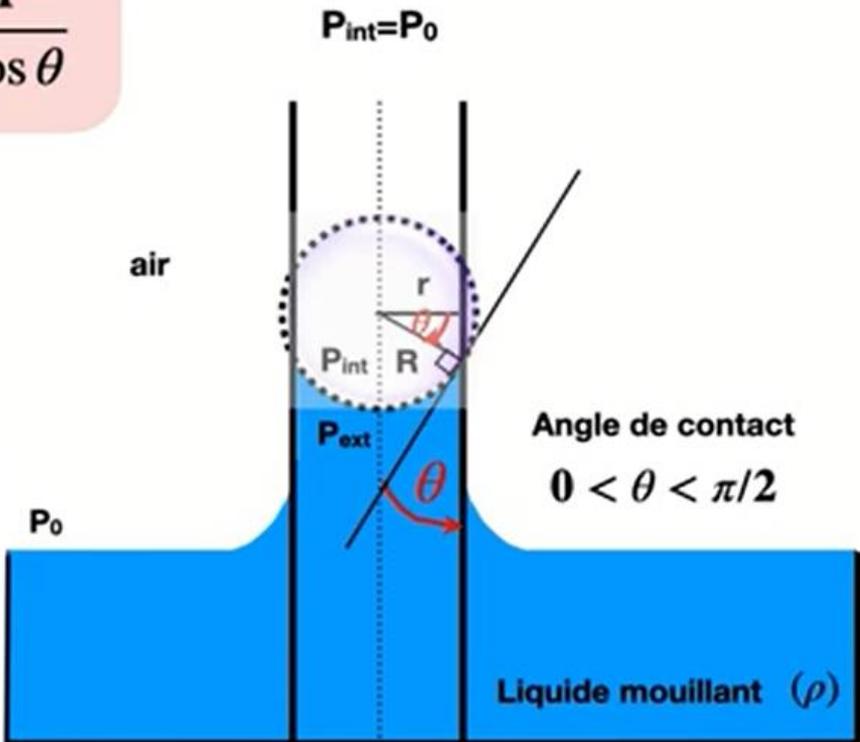
Lorsque l'alvéole se dilate, la concentration des surfactants par unité de surface diminue, la tension superficielle augmente. La résistance à la dilatation augmente et protège les alvéoles contre l'éclatement.

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

LOI DE JURIN

Expérience pour un liquide mouillant

$$R = \frac{r}{\cos \theta}$$



Triangle (D, B, C) $\beta + \theta = \pi/2$

Triangle (A, B, C) $\beta + \alpha = \pi/2$

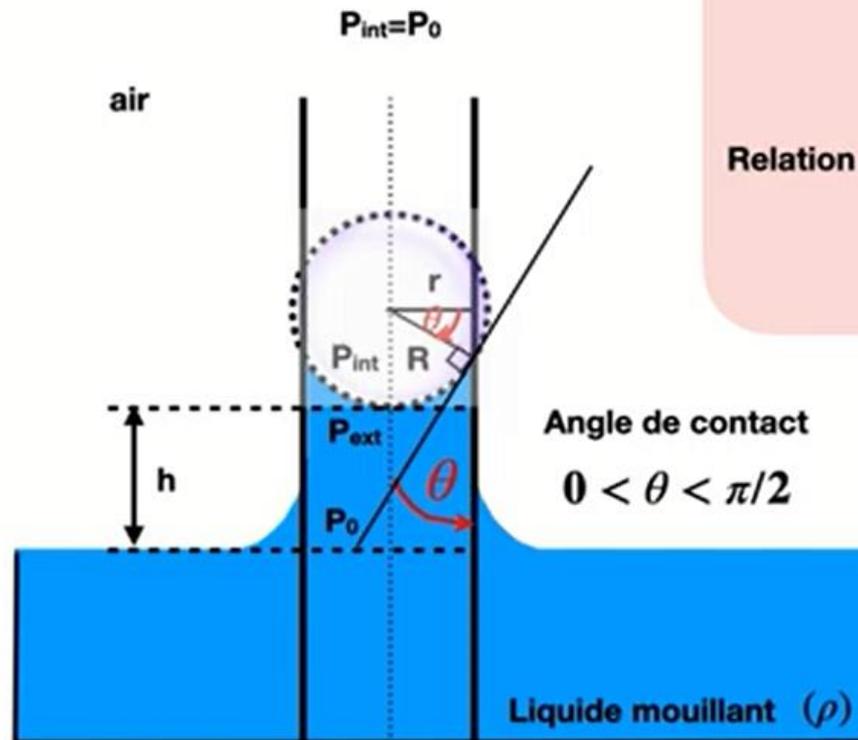
$$\theta = \alpha$$

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

LOI DE JURIN

Expérience pour un liquide mouillant

$$R = \frac{r}{\cos \theta}$$



Loi de l'Hydrostatique $P_0 = P_{\text{ext}} + \rho gh$

$$P_{\text{int}} = P_{\text{ext}} + \rho gh$$

Relation de Laplace $P_{\text{int}} - P_{\text{ext}} = \frac{2\sigma}{R}$

$$\rho gh = \frac{2\sigma}{R}$$

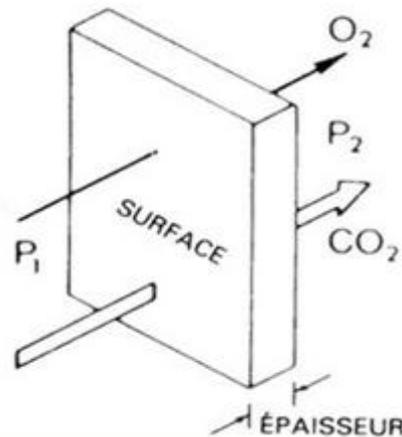
$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho g}$$

Loi de Jurin

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

Loi de Fick

La vitesse de transfert d'un gaz à travers une couche d'un tissu est proportionnelle à la surface et à la différence de concentration du gaz de part et d'autre du tissu et inversement proportionnel à l'épaisseur.



$$\dot{V}_{\text{gaz}} = \frac{S}{E} D (P_1 - P_2)$$

$$D = \frac{\text{Sol}}{\sqrt{PM}}$$

D = coefficient de diffusion

Le CO₂ à une plus grande solubilité que l'O₂

ETUDE DES INTERFACES LIQUIDES-GAZ

