

L1 Santé

Tension superficielle - Capillarité



Pr ABGRAL Ronan
PU-PH Biophysique

02/09/2024

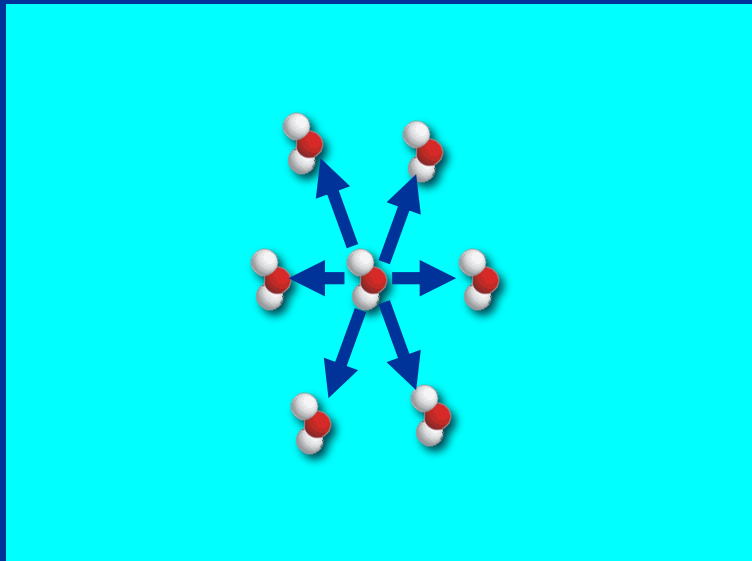
Tension superficielle

Tension superficielle

■ Introduction

■ Forces intermoléculaires d'un fluide

- Une molécule à l'intérieure d'un liquide est en équilibre grâce aux force exercées sur elle dans toutes les directions par les molécules voisines



$$\Sigma \vec{F} = \vec{0}$$

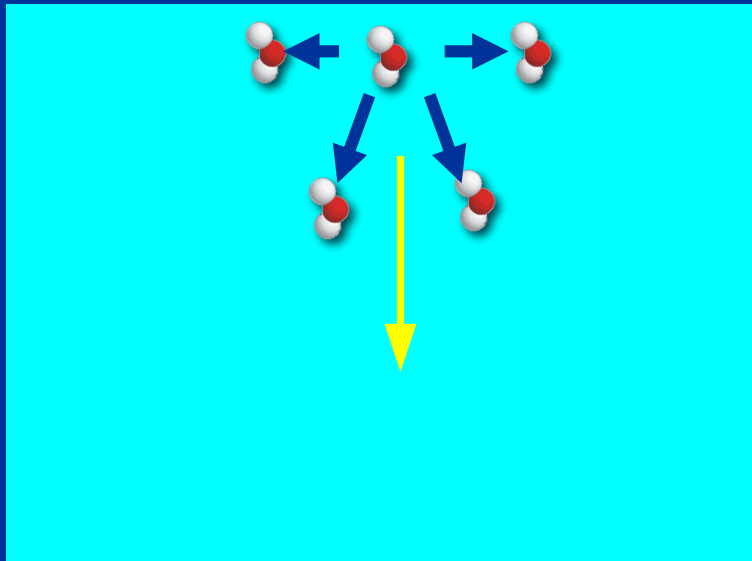
Van der Waals

Tension superficielle

■ Introduction

■ Forces intermoléculaires d'un fluide

- Les molécules de surface (interface air-liquide) sont soumises à une force dirigée vers l'intérieure, ayant tendance à comprimer la surface

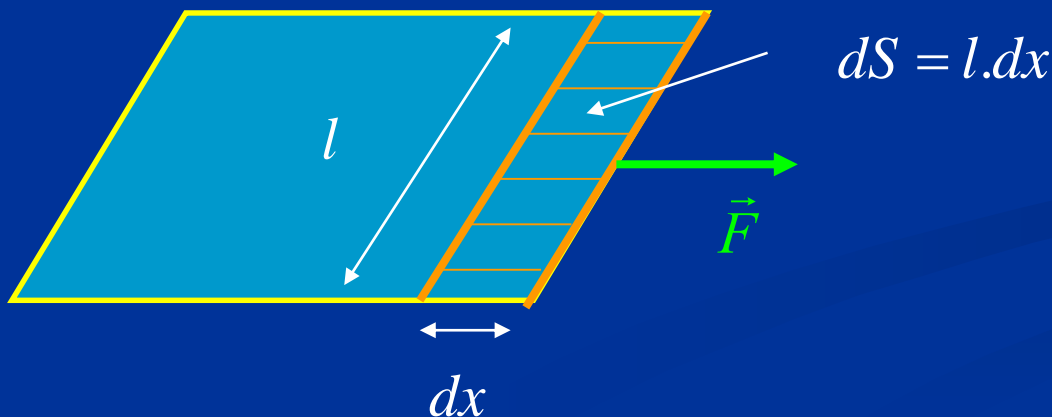


$$\Sigma \vec{F} \neq \vec{0}$$

Tension superficielle

■ Définition

- Considérons une fine pellicule de liquide de largeur l et de longueur L (mb rectangulaire élastique), tendue entre 2 tiges dont l'une est fixe.
- Pour agrandir sa surface, il faut appliquer une force \vec{F} sur l'extrémité mobile.



Tension superficielle

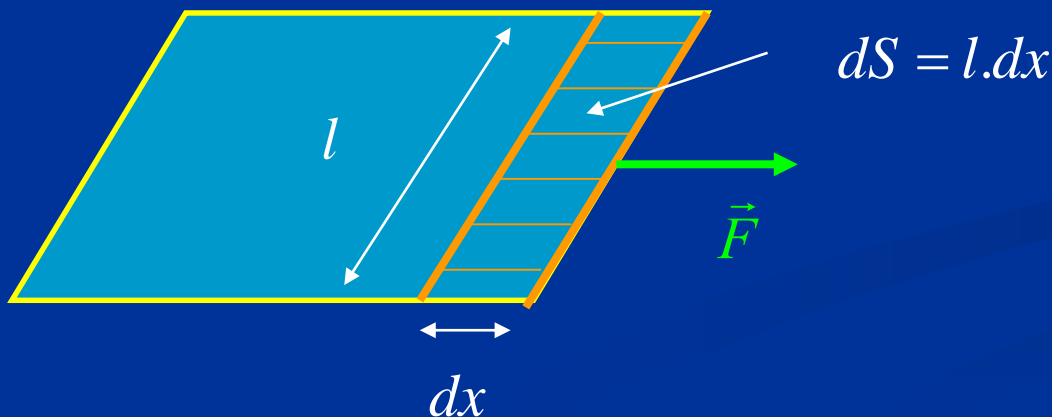
■ Définition

■ Energie surfacique

- L' énergie dépensée pour accroître sa surface est proportionnelle à cette variation de surface

$$dE = \gamma \cdot dS = \gamma \cdot l \cdot dx \quad \gamma = \frac{dE}{dS} \quad \text{Énergie surfacique en } \text{J} \cdot \text{m}^{-2}$$

- La constante de proportionnalité γ est appelée constante de tension superficielle



Tension superficielle

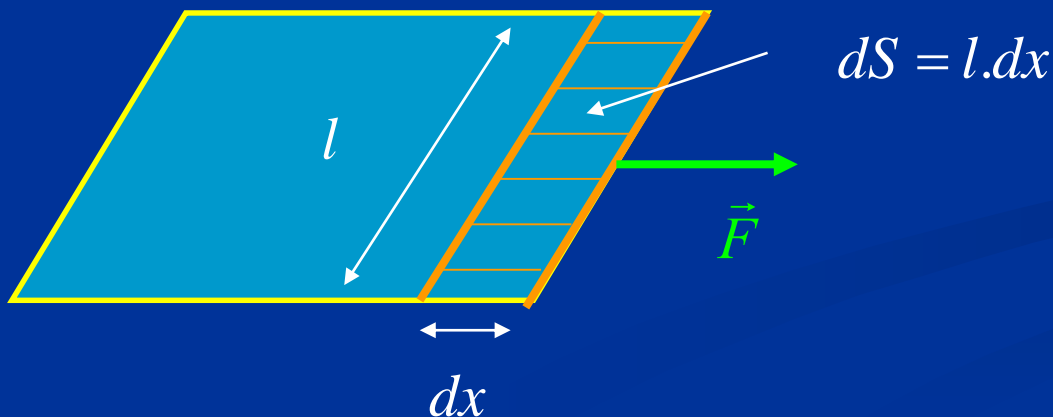
■ Définition

■ Force linéique

■ Pour un faible allongement dx , on peut supposer $\vec{F} = cste$

■ Donc, le travail exercé $\delta W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot (dx \vec{u})$ par cette force vaut

$$\delta W(\vec{F}) = F \cdot dx$$



Tension superficielle

■ Définition

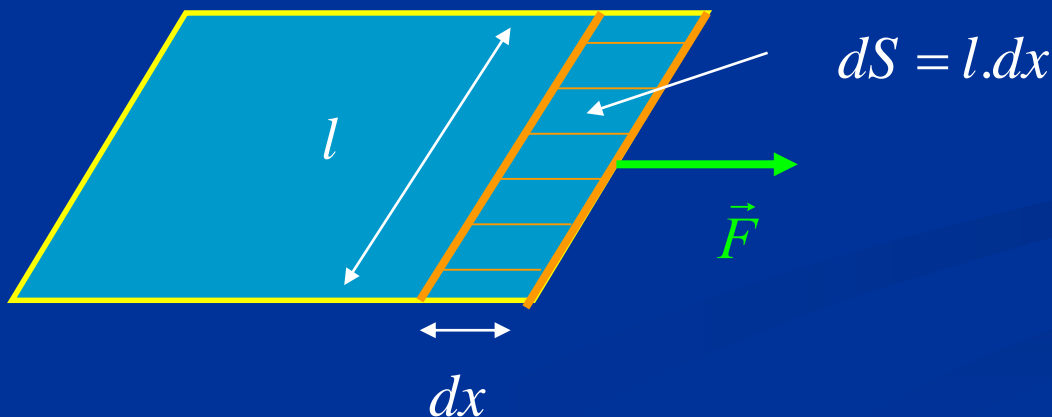
■ Force linéique

■ Comme $dE = \delta W(\vec{F})$

■ Alors $g.l dx = F.dx$

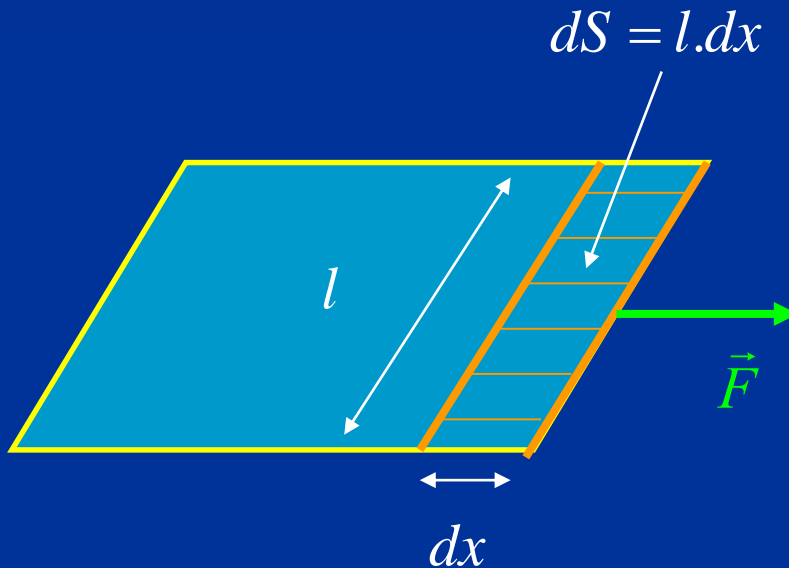
$$\gamma = \frac{F}{l}$$

Force linéique en N.m^{-1}



Tension superficielle

■ Définition



$$dE = \gamma . dS = \gamma . l dx$$

$$\gamma = \frac{dE}{dS} \quad (\text{en J.m}^{-2})$$

$$\delta W(\vec{F}) = \vec{F} . (dx \vec{u})$$

$$\vec{F} = cste$$

$$\delta W(\vec{F}) = F . dx$$

$$dE = \delta W(\vec{F})$$

$$g . l dx = F . dx$$

$$\gamma = \frac{F}{l} \quad (\text{en N.m}^{-1})$$

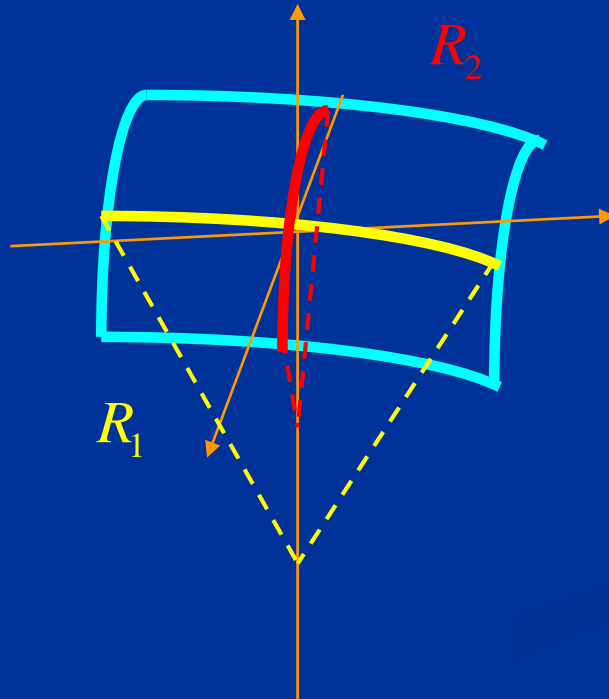
Tension superficielle

- Exemples

Liquide	γ (N.m ⁻¹)	T° (° C)
eau	0,076	0
	0,073	20
	0,059	100
mercure	0,45	20

Tension superficielle

- Loi de Laplace
 - Différence de pression à l'interface de 2 milieux
 - Interface non sphérique (2 rayons de courbure)

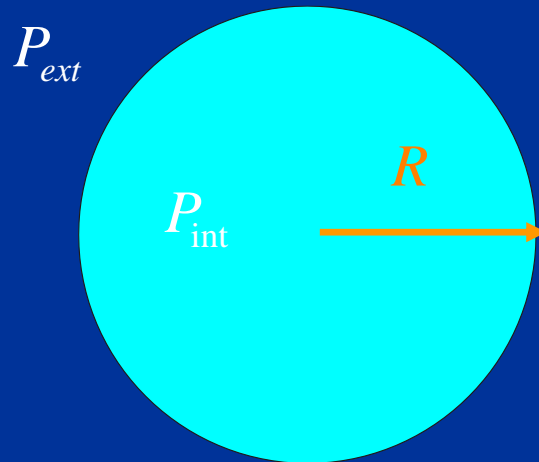


$$\Delta P = P_{\text{int}} - P_{\text{ext}}$$

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

Tension superficielle

- Loi de Laplace
 - Différence de pression à l'interface air-liquide
 - Cas d'une goutte liquide



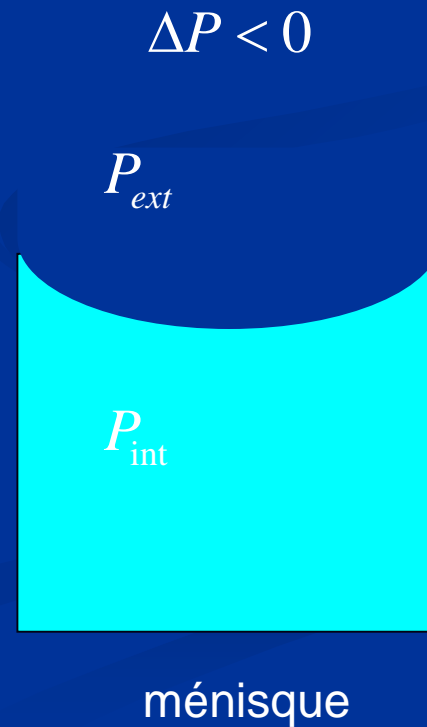
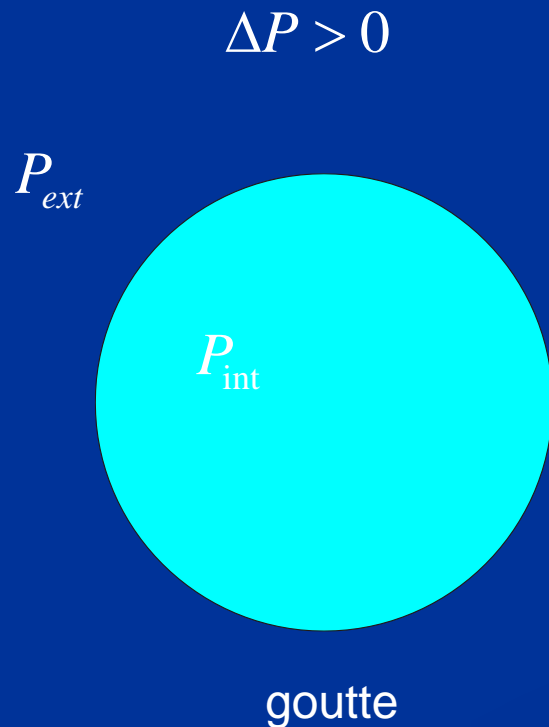
$$\Delta P = P_{int} - P_{ext}$$

$$R_1 = R_2 = R$$

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

Tension superficielle

- Loi de Laplace
 - Différence de pression à l'interface air-liquide
 - Remarque



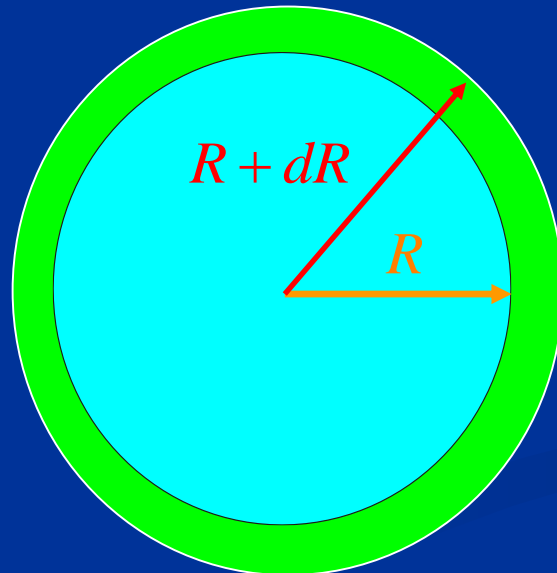
Tension superficielle

■ Loi de Laplace

- Différence de pression à l'interface air-liquide
 - Cas d'une goutte liquide

$$dE = \delta W(\vec{F})$$

$$g \cdot dS = \Delta P dV$$



$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad dV = 4\pi R^2 dR$$

$$S = 4\pi R^2 \quad dS = 8\pi R dR$$

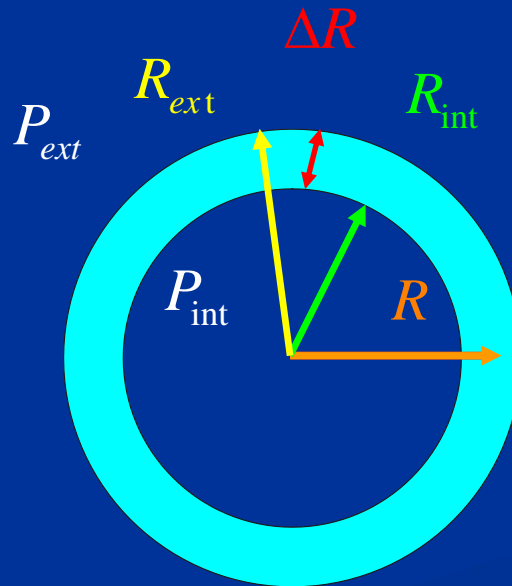
$$\Delta P \cdot 4\pi R^2 dR = \gamma \cdot 8\pi R dR$$

$$\Delta P \cdot R = 2\gamma$$

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

Tension superficielle

- Loi de Laplace
 - Différence de pression pour 2 interfaces air-liquide
 - Cas d'une bulle de savon



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

$$R_{int} \approx R_{ext}$$

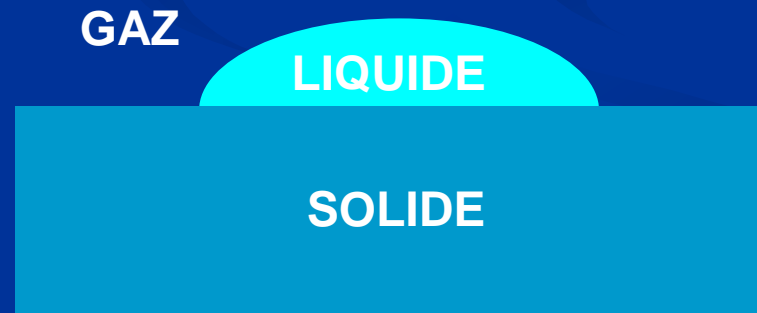
$$\Delta R \ll e$$

$$\Delta P = 2 \cdot \frac{2\gamma}{R}$$

$$\Delta P = \frac{4\gamma}{R}$$

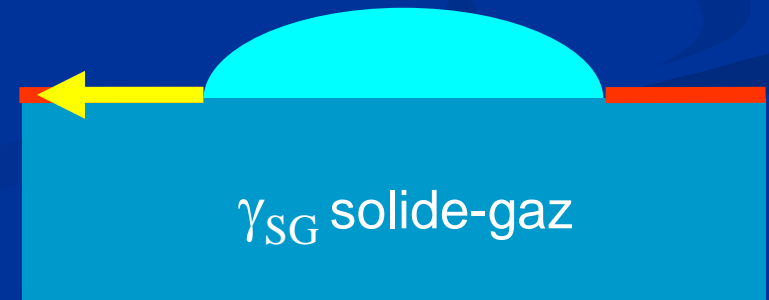
Tension superficielle

- Angle de raccordement
 - Interface solide-liquide-gaz
 - Si on pose une goutte liquide sur une surface solide horizontale il faut considérer 3 interfaces



Tension superficielle

- Angle de raccordement
 - Interface solide-liquide-gaz

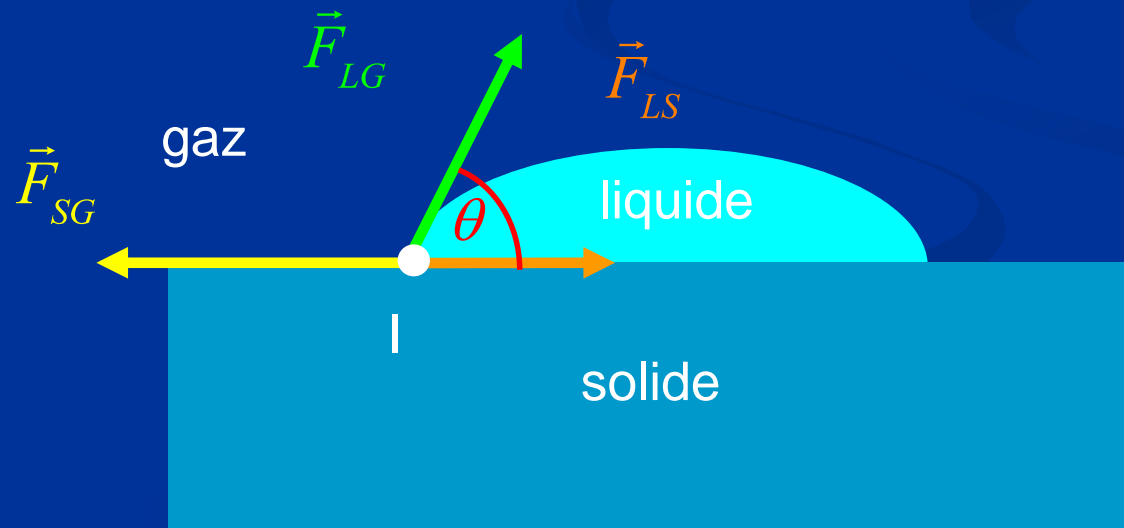


Tension superficielle

- Angle de raccordement

- Interface solide-liquide-gaz

- Au point I de contact, la surface libre du liquide fait un angle avec la paroi.
 - L'angle de raccordement traduit l'équilibre entre les forces de tension superficielle dues aux interactions des molécules aux différentes interfaces.

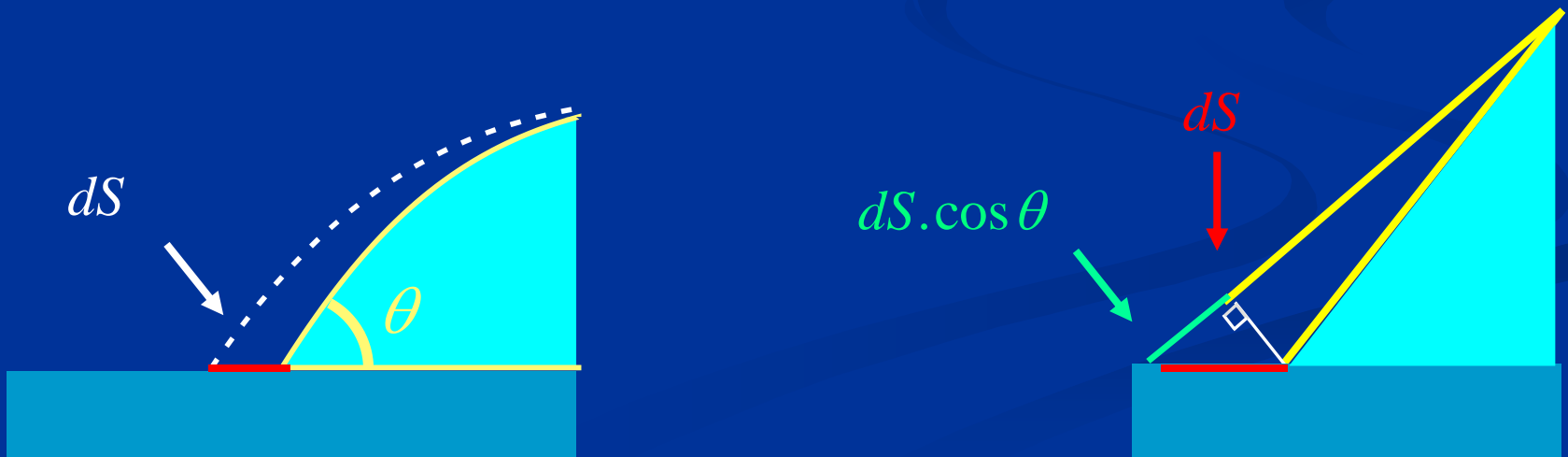


Tension superficielle

■ Angle de raccordement

- Interface solide-gaz diminue de dS
- Interface liquide-solide augmente de dS
- Interface liquide-gaz augmente de $dS \cdot \cos \theta$

$$dE = -\gamma_{SG} \cdot dS + \gamma_{LS} \cdot dS + \gamma_{LG} \cdot dS \cdot \cos \theta$$



Tension superficielle

- Angle de raccordement
 - Relation de Young

$$dE = -\gamma_{SG} \cdot dS + \gamma_{LS} \cdot dS + \gamma_{LG} \cdot dS \cdot \cos \theta$$

- A l' équilibre

$$\frac{dE}{dS} = 0$$

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

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{LS}}{\gamma_{LG}}$$

$$\theta = \arccos \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{LS}}{\gamma_{LG}}$$

Tension superficielle

- Angle de raccordement
 - Liquide mouillant ou surface hydrophile

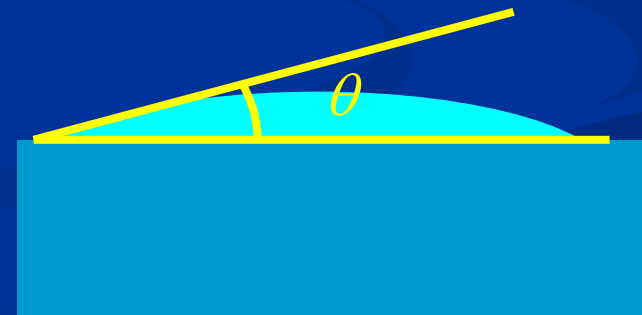
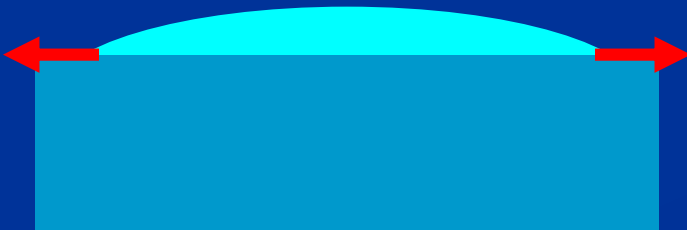
$$\theta = \arccos \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{LS}}{\gamma_{LG}}$$

$$\gamma_{SG} > \gamma_{LS}$$

$$\gamma_{SG} > \gamma_{LS}$$

$$\theta \rightarrow 0^\circ$$

angle aigu



Tension superficielle

- Angle de raccordement
 - Liquide non mouillant ou surface hydrophobe

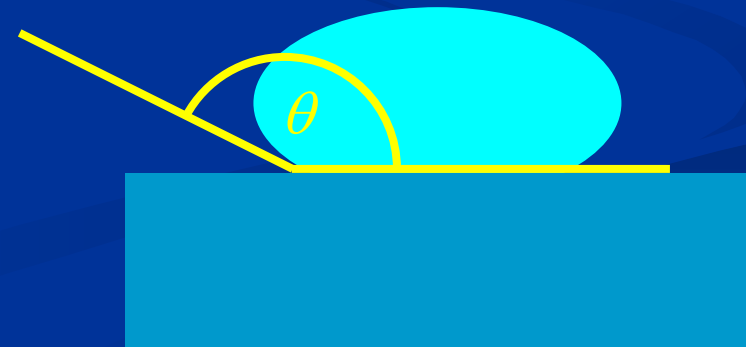
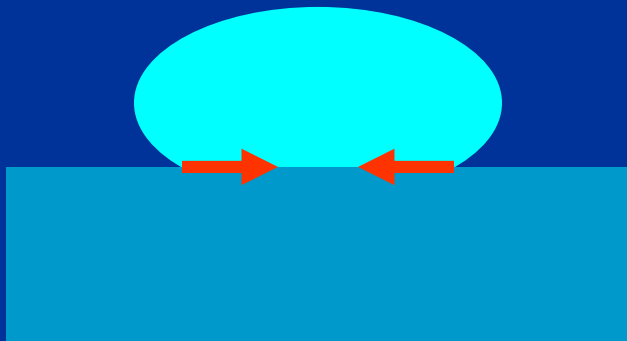
$$\theta = \arccos \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{LS}}{\gamma_{LG}}$$

$$\gamma_{SG} < \gamma_{LS}$$

$$\gamma_{LS} < \gamma_{LG}$$

$$\theta \rightarrow 180^\circ$$

angle obtus



Tension superficielle

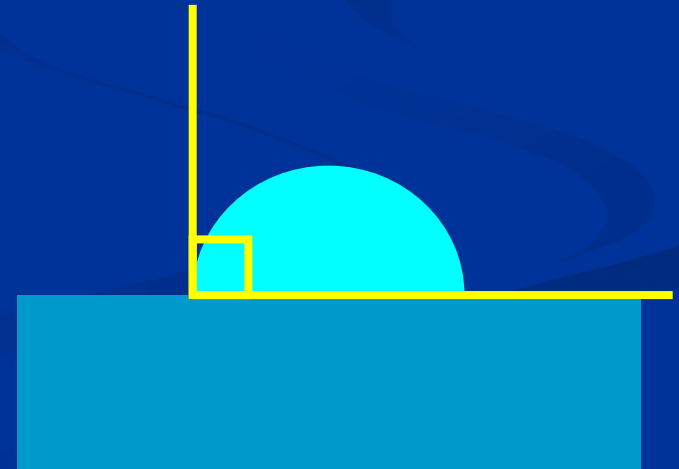
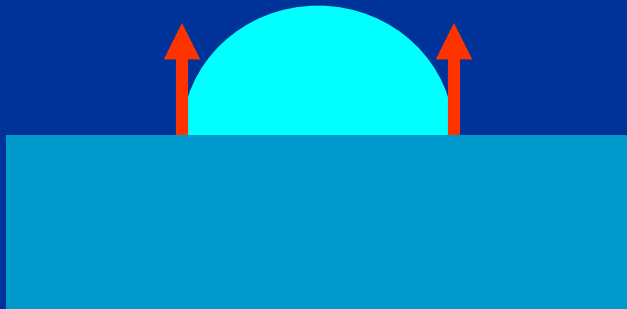
- Angle de raccordement
 - Cas intermédiaire

$$\theta = \arccos \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{LS}}{\gamma_{LG}}$$

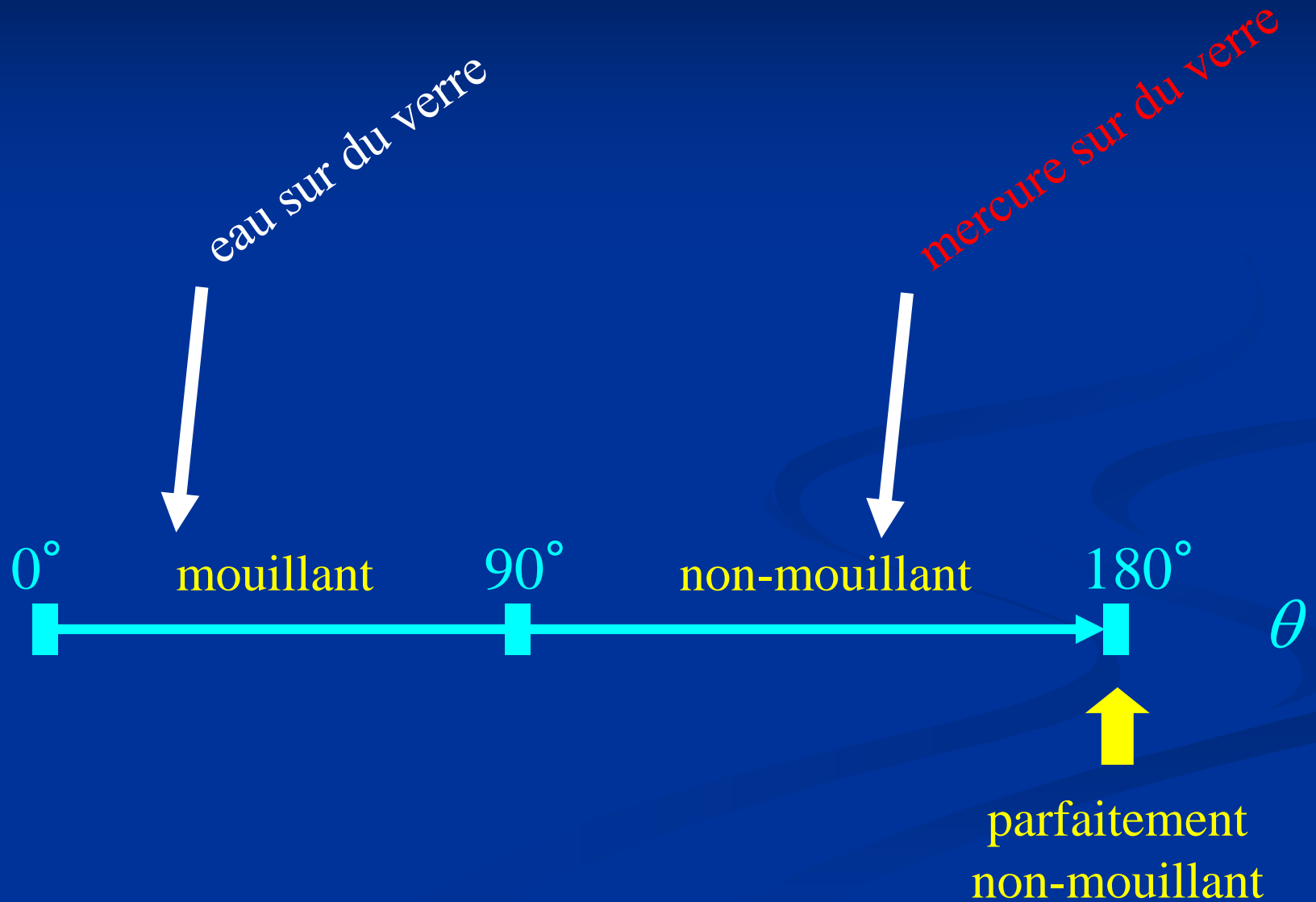
$$g_{LG} \square \theta \rightarrow 90^\circ$$

$$g_{LG} \square g_{LS} \text{ et } g_{SG}$$

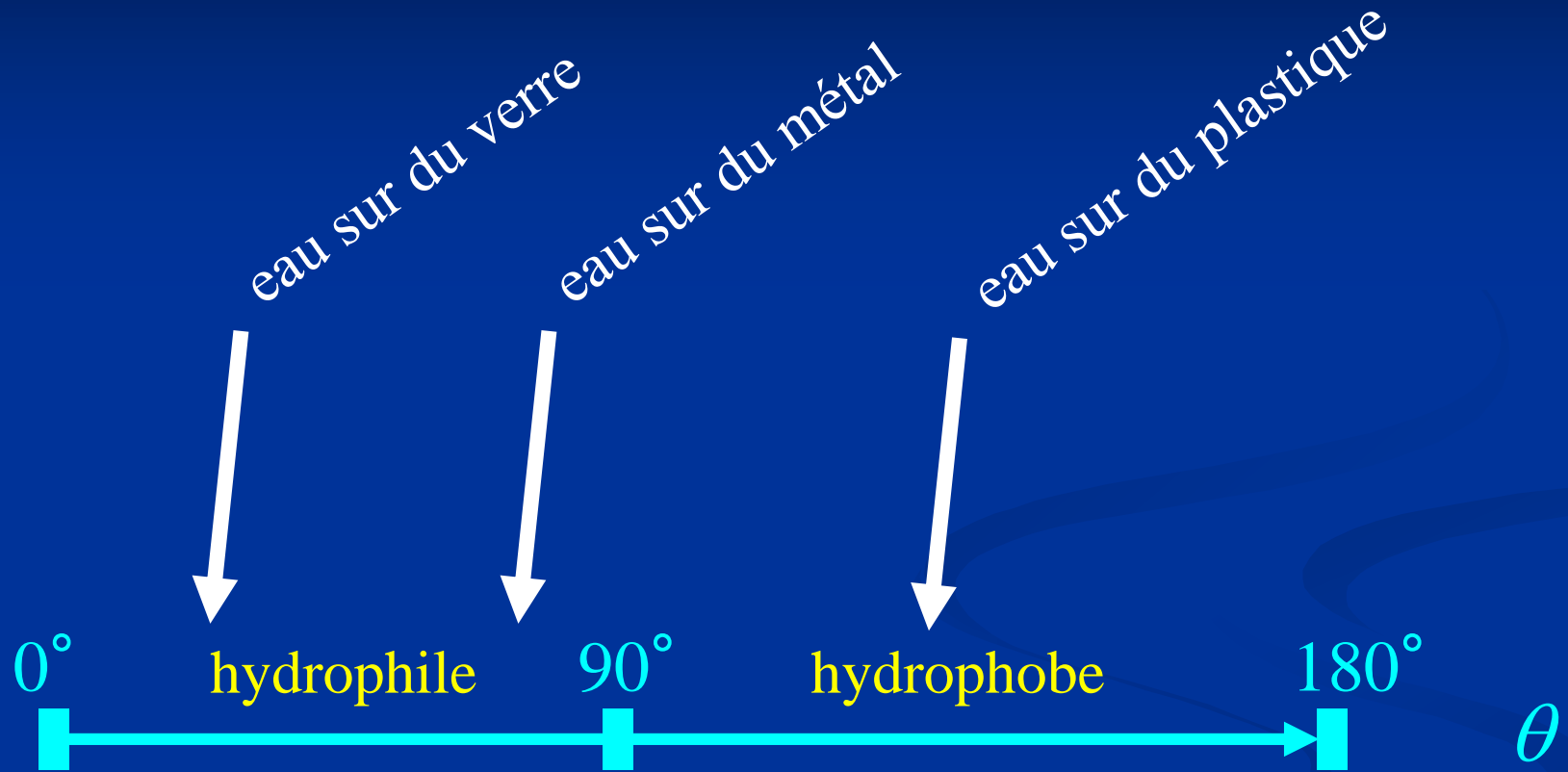
$$\theta \rightarrow 90^\circ$$



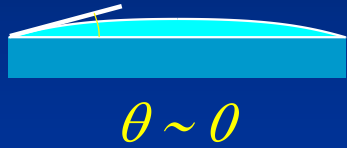
Tension superficielle



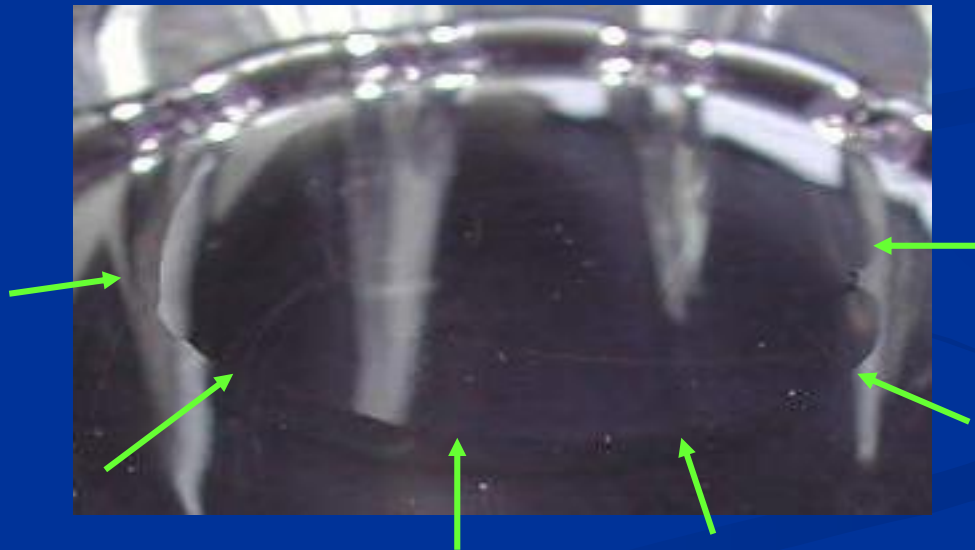
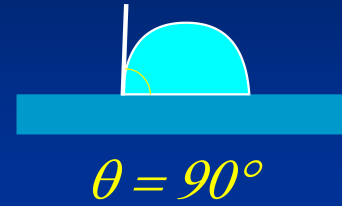
Tension superficielle



Tension superficielle



mouillage

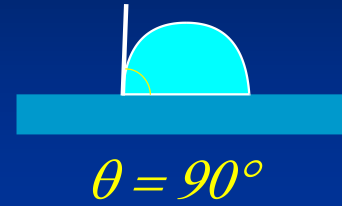


eau / verre = mouillage presque parfait

Tension superficielle

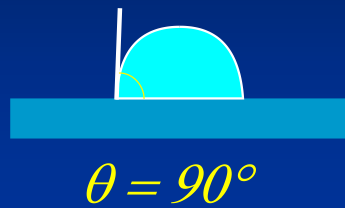


mouillage

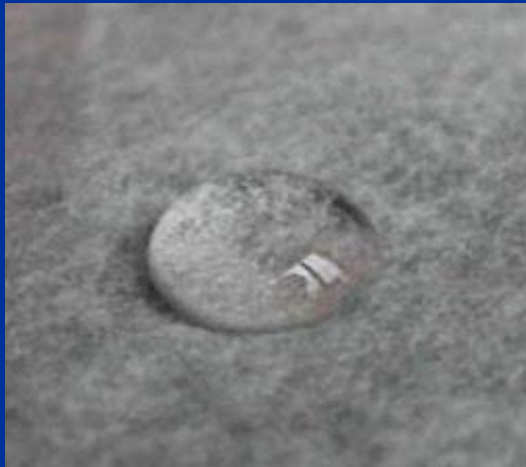
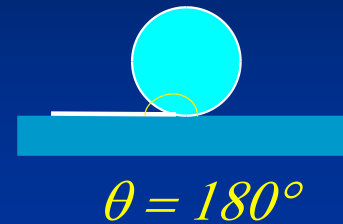


eau / aluminium = mouillage intermédiaire

Tension superficielle

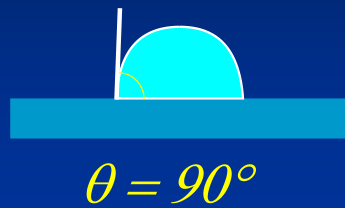


non
mouillage

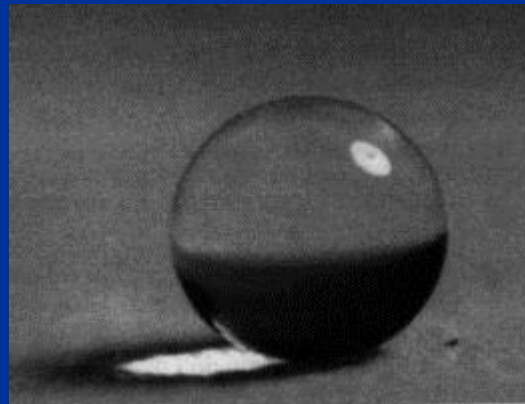
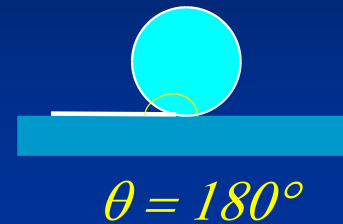


eau / papier sulfurisé = résistant au mouillage

Tension superficielle

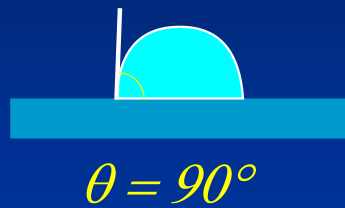


non
mouillage

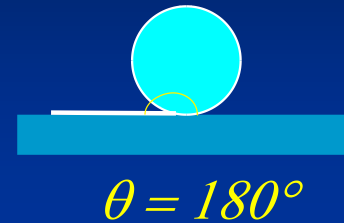


eau / surface parfaitement non mouillante

Tension superficielle



non
mouillage



mercure / verre = non mouillant

Tension superficielle

■ Remarques

■ Intérêt du mouillage

- Larmes et œil
- Médicaments cutanés
- Répulsifs contre insectes
- Encres, peintures...

■ Intérêt du non mouillage

- Imperméables
- Toiles de tente
- Téflons et cathéter...

Capillarité



Capillarité

■ Définition

- Le phénomène d'ascension ou d'abaissement des liquides dans des tubes capillaires est appelé capillarité
 - Exemple : eau = ascension ; mercure = abaissement
- Elle est liée à la tension superficielle γ ainsi qu'à l'angle de raccordement θ liquide-verre dans l'air.
 - Loi de Jurin

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

r rayon du tube

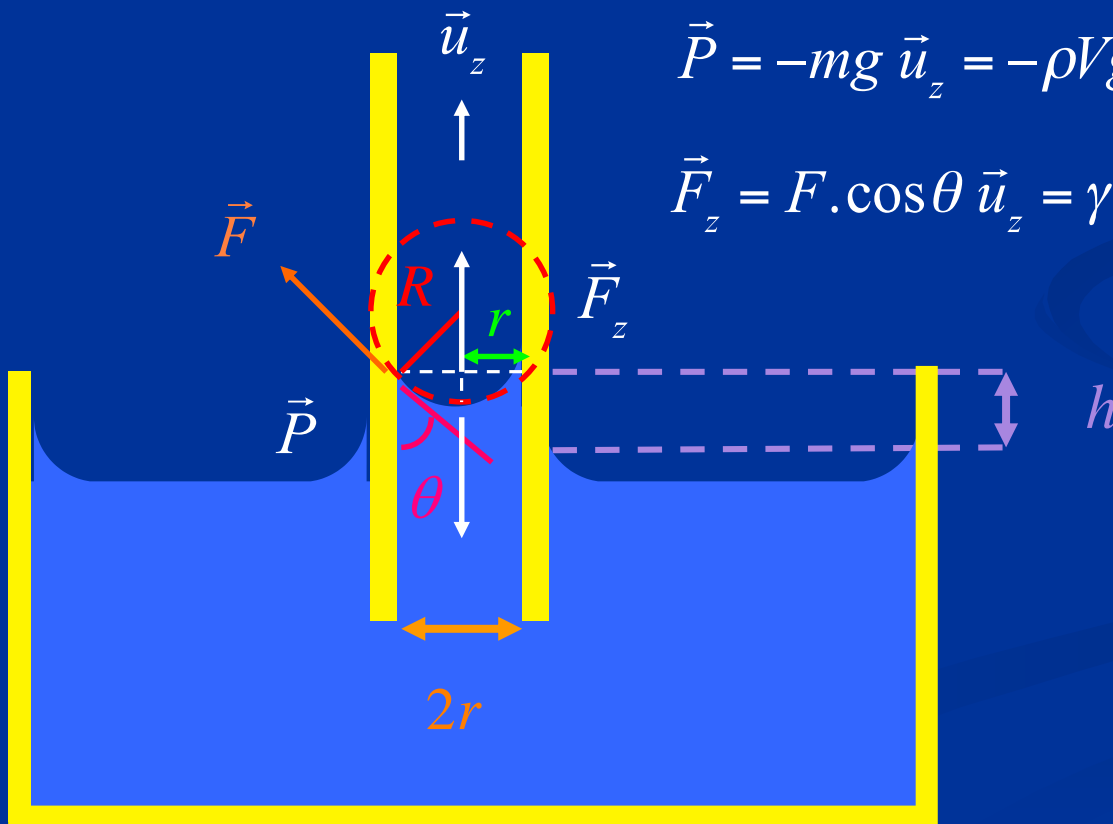
ρ masse volumique du liquide

g accélération de la pesanteur

Capillarité

- Loi de Jurin

- Utilisation tension superficielle $\vec{P} + \vec{F}_z = 0$



$$\vec{P} = -mg \vec{u}_z = -\rho Vg \vec{u}_z = -\rho Shg \vec{u}_z = -\rho\pi r^2 hg \vec{u}_z$$

$$\vec{F}_z = F \cdot \cos\theta \vec{u}_z = \gamma l \cdot \cos\theta \vec{u}_z = \gamma \cdot 2\pi r \cdot \cos\theta \vec{u}_z$$

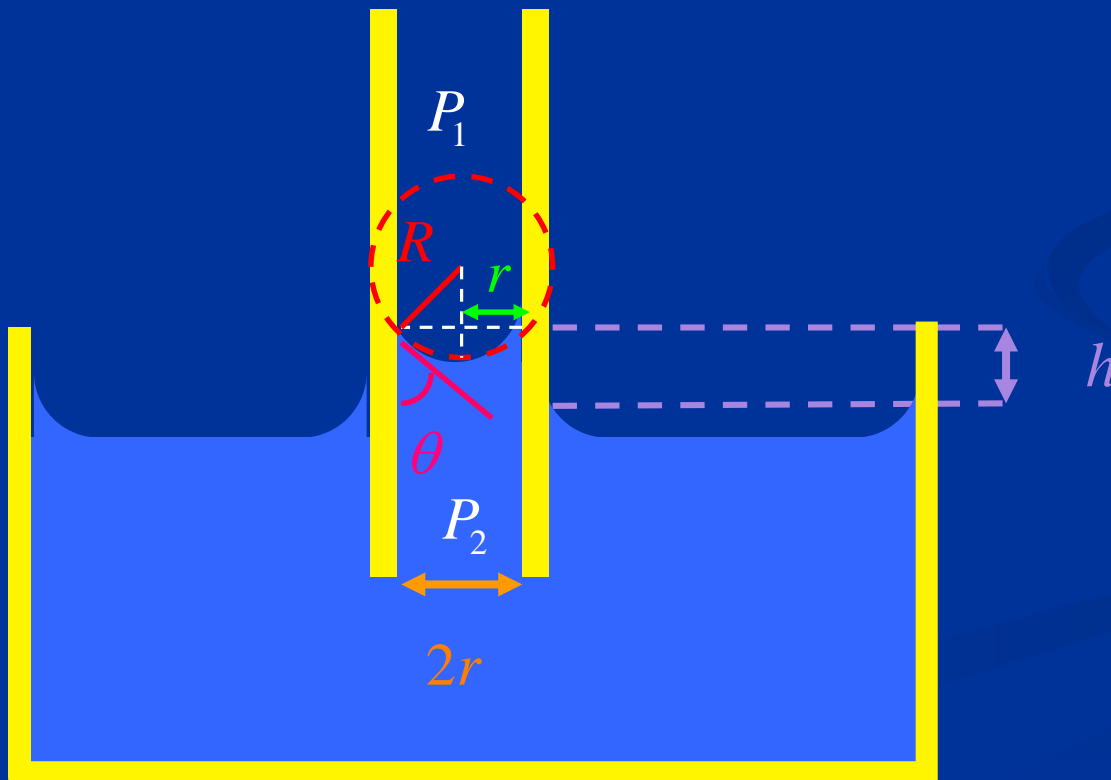
$$\rho\pi r^2 hg = \gamma \cdot 2\pi r \cdot \cos\theta$$

$$r \cdot h \rho g = 2\gamma \cdot \cos\theta$$

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

Capillarité

- Loi de Jurin
 - Démonstration selon loi de Laplace



$$P_1 - P_2 = \frac{2\gamma}{R} = \frac{2\gamma \cdot \cos \theta}{r}$$

$$P_1 - P_2 = \rho g h$$

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

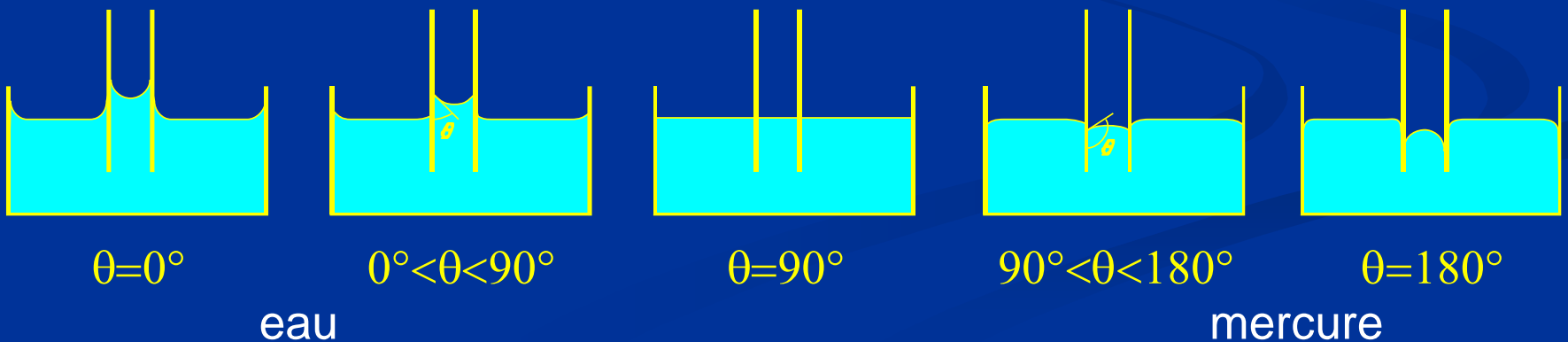
$$h = \frac{2\gamma \cdot \cos \theta}{\rho g \cdot r}$$

Capillarité

- Loi de Jurin
 - Capillarité dépend angle raccordement

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

$q \square$ $h \square$



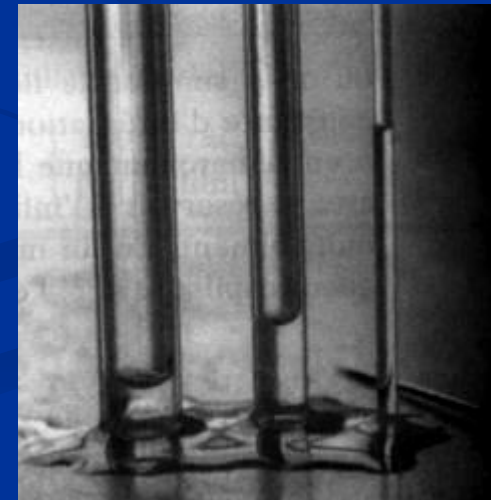
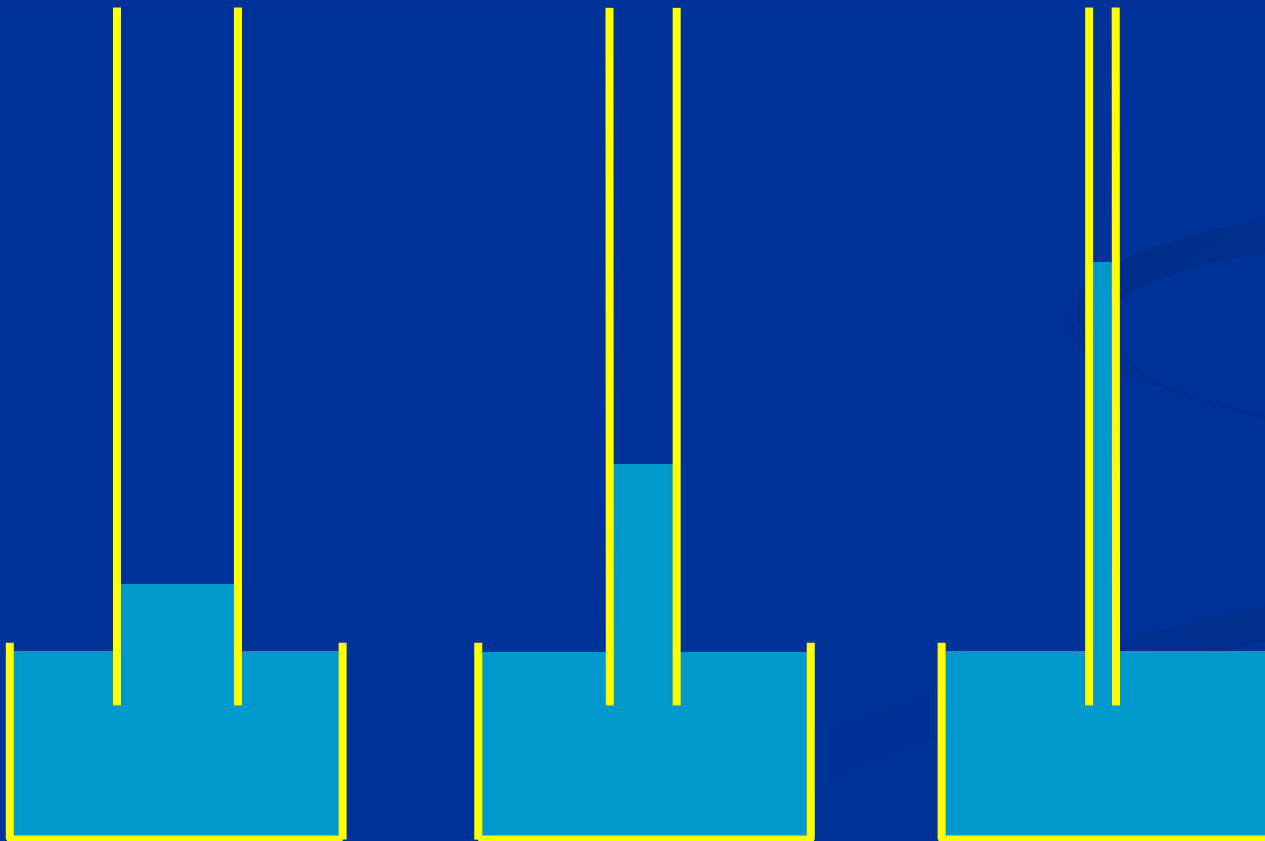
Capillarité

- Loi de Jurin
 - Capillarité dépend du rayon du tube

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

$r \square$

$h \square$



Conclusion

