

CHAP. 4

LES PHENOMENES DE SURFACE

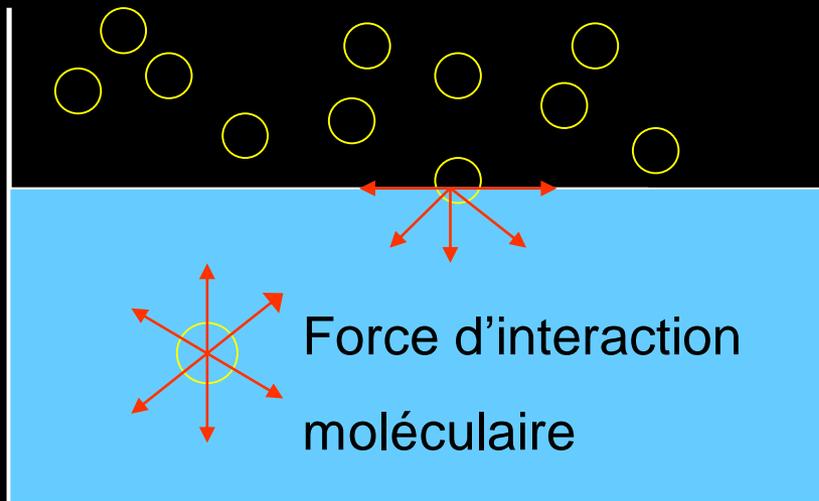
Tension superficielle - Capillarité

1

Tension superficielle des liquides

Energie de cohésion-
Energie d'adhésion

Forces intermoléculaires



Energie de surface

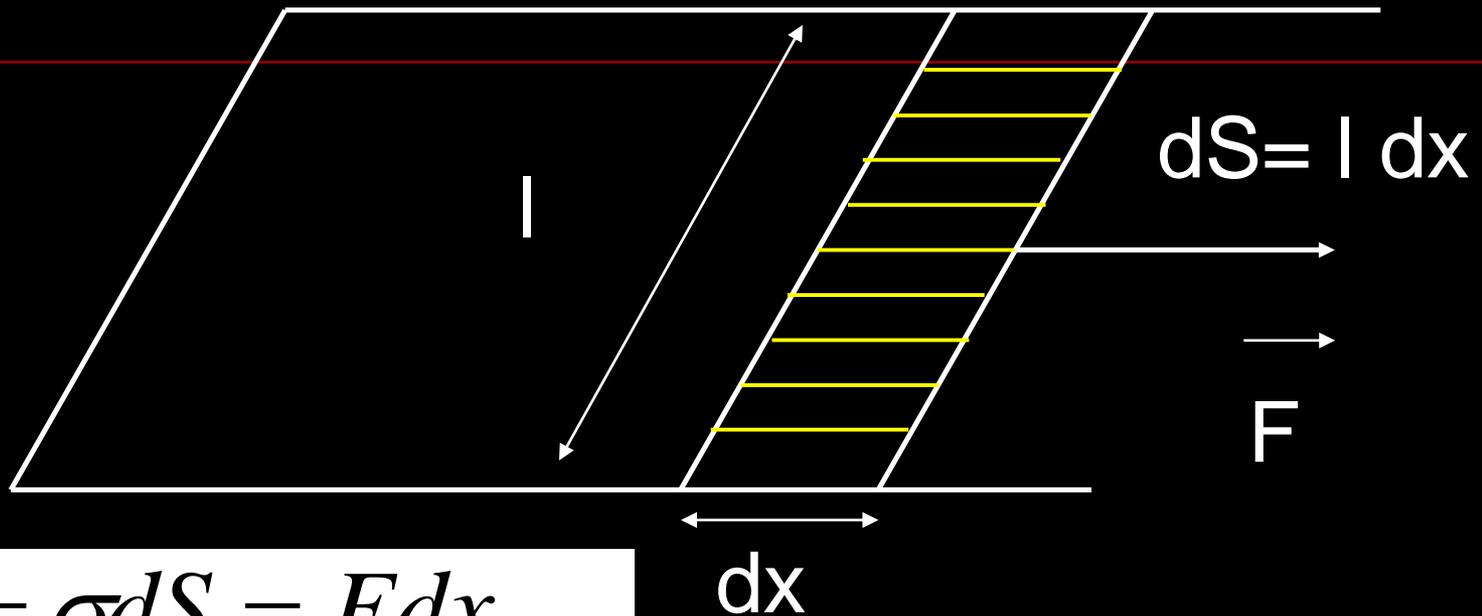
$$\delta W = \sigma \delta S$$

$$(\sigma > 0)$$

σ = Tension superficielle

\Rightarrow S minimum (Ex : bulle, goutte ...)

Autre définition de σ



$$dW = \sigma dS = F dx$$

$$\Rightarrow F = \sigma l \quad \text{ou} \quad \sigma = \frac{F}{l}$$

σ de quelques liquides/air

Liquide	σ = Tension superficielle
H ₂ O à 20°C	76. 10 ⁻³ N.m ⁻¹
Alcool	22. 10 ⁻³ N.m ⁻¹
Mercure	500. 10 ⁻³ N.m ⁻¹
H ₂ O à 100°C	59. 10 ⁻³ N.m ⁻¹

Propriétés de σ

Elle **dépend** de :

1. la nature du liquide
2. la température ($\sigma \downarrow$ quand $T \uparrow$)
3. de la nature du gaz ou du solide en contact avec le liquide
4. $[\sigma]_{SI} = \text{J.m}^{-2}$ ou N.m^{-1} ; $[\sigma]_{CGS} = \text{erg.cm}^{-2}$;
 Dyne.cm^{-1} .
5. de l'agent **tensio-actif** (ex: surfactant pulmonaire) \Rightarrow Diminution

Energie de cohésion

Travail à fournir pour **vaincre** les forces de cohésion.

Il est proportionnel à σ et à la **surface** créée.

Exemple 1

Quel travail faut-il fournir pour pulvériser une goutte d'eau de surface S en n gouttelettes de surface s ? On donne σ_E de l'eau

Exemple 1

~~Surface initiale = $S_i = S$~~

Surface finale = $S_f = n.s$

$$W_c = \sigma_E(S_f - S_i)$$

Energie d'adhésion

C'est le travail à fournir pour **séparer** deux phases (liquide-solide par exemple) de surface S

$$W_a = (\sigma_L + \sigma_S - \sigma_{L/S}) S$$

σ_L = Tension superficielle du liquide

σ_S = Tension superficielle du solide

$\sigma_{L/S}$ = Tension interfaciale

Ne pas confondre **adhésion** et **adhérence**

Exemple 2

A l'air libre, la peau présente un $\sigma_1 = 90 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$. On applique une pommade qui présente un $\sigma_2 = 75 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ et une tension inter faciale $\sigma_{12} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$.

Quelle est l'énergie d'adhésion par unité de surface de la pommade?

$$\begin{aligned} W_a / S &= \sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_{12} \\ &= 125 \text{ J.m}^{-2} \end{aligned}$$

Condition d'étalement

Un liquide s'étale sur un solide si

$$W_a > W_c$$

$$\Rightarrow \sigma_s > \sigma_L + \sigma_{L/S}$$

Exemple 3

D'après l'exemple 2, la pommade s'étale-t-elle correctement sur la peau?

$$\sigma_1 = 90 \text{ J. m}^{-2} < \sigma_2 + \sigma_{12} = 115 \text{ J. m}^{-2}$$

⇒ Pas d'étalement

2

Loi de Laplace

Formule de Laplace

$$\Delta P = P_i - P_e = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

R_1, R_2 = Rayons de courbure de la surface

Cas particuliers

Surface plane : $R_1, R_2 = \infty \Rightarrow \Delta P = 0$

Surface sphérique : $R_1 = R_2 = R \Rightarrow \Delta P = \frac{2\sigma}{R}$

(Ex : bulle d'air) \Rightarrow Ménisque convexe = dépression

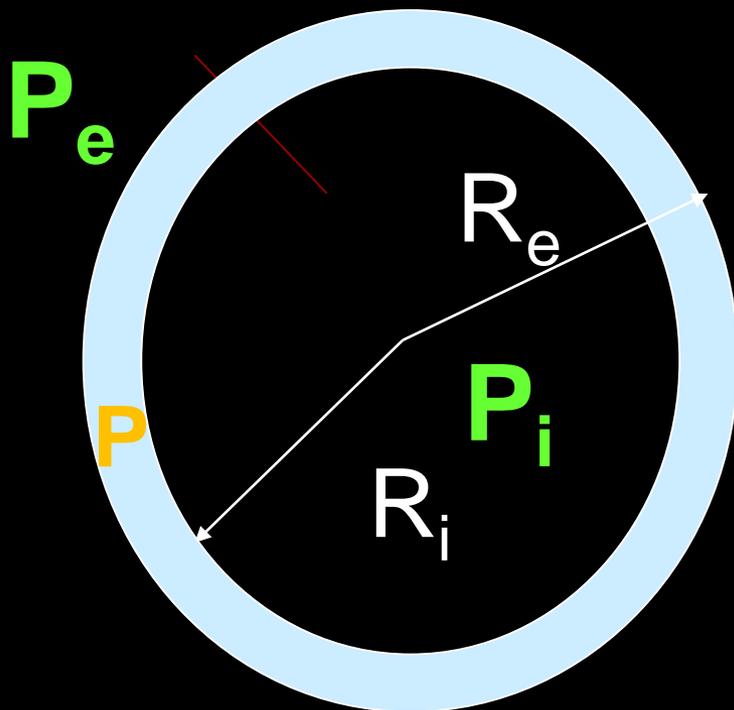
Surface cylindrique e : $R_1 = R, R_2 = \infty \Rightarrow \Delta P = \frac{\sigma}{R}$

(Ex : Vaisseaux sanguins)

Exemple 3

Soit une bulle de savon de rayon externe R_e et de rayon interne R_i .
Quel est le ΔP entre l'intérieur de la bulle et l'air?

Exemple 3



On traverse deux fois un interface air - liquide

$$\Delta P = P_i - P_e$$
$$= (P_i - P) + (P - P_e)$$

$$\text{Laplace : } \Delta P = \frac{2\sigma}{R_i} + \frac{2\sigma}{R_e}$$

$$R_i \approx R_e \Rightarrow \Delta P = \frac{4\sigma}{R}$$

3

Loi Tension-Pression dans les structures élastiques de l'organisme

Tension superficielle- rayon artériel

La tension superficielle d'une artère **varie** avec son rayon. Cette variation **dépend** de la nature, c'est-à-dire du **constituant** de cette lame (Elastine, collagène, fibres musculaires) et de son épaisseur.

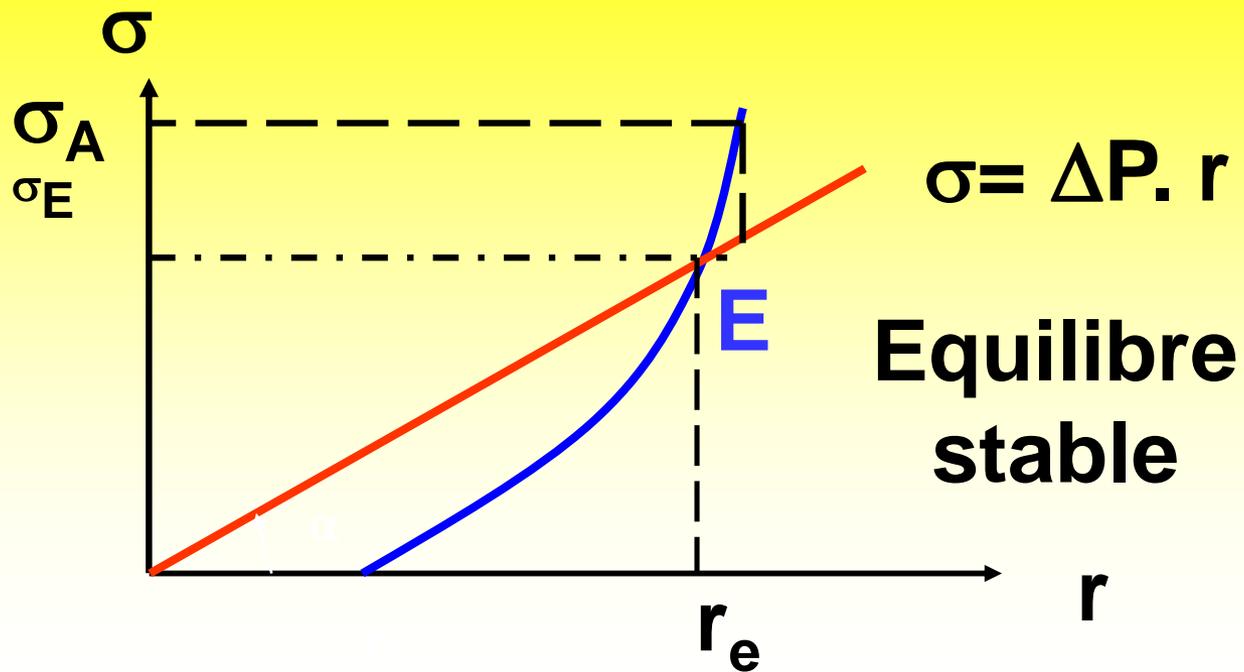
⇒ Phénomène de **vasomotricité** (vasodilatation, vasoconstriction)

Surpression artérielle

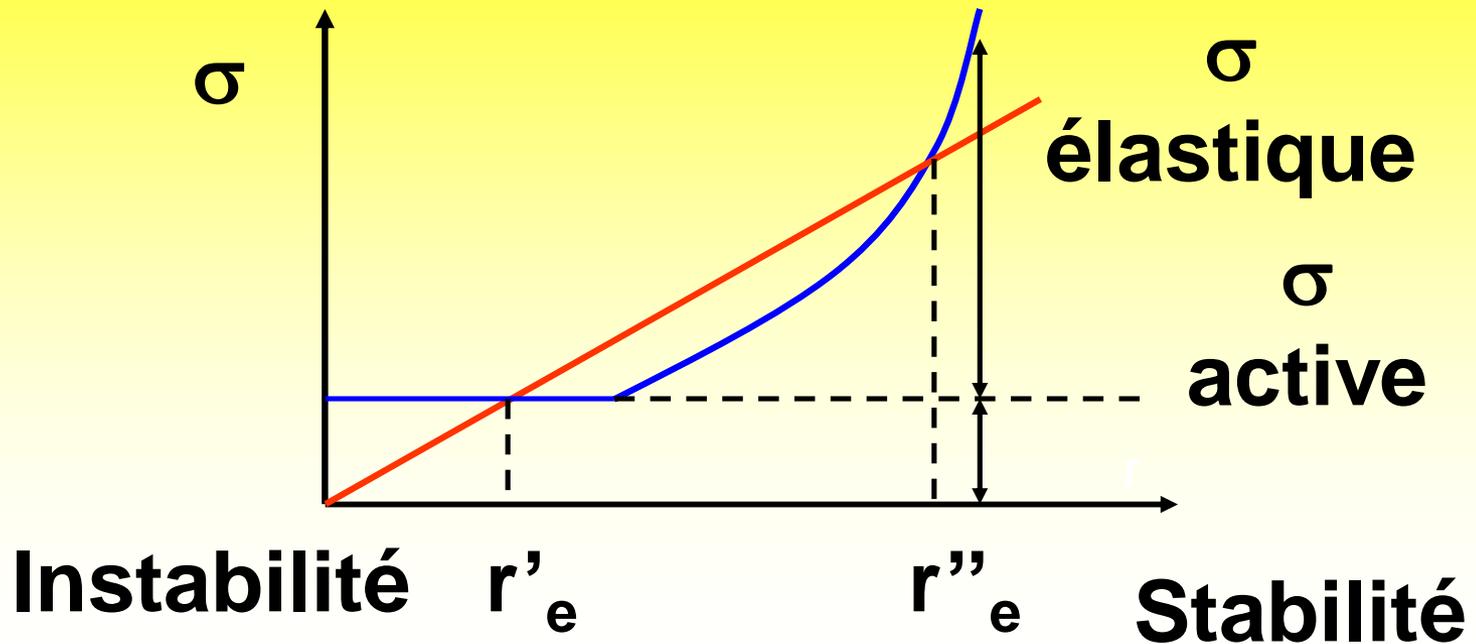
Si pour un certain rayon r , une artère a une certaine tension σ ,
 \Rightarrow il faut une surpression ΔP nécessaire et suffisante pour maintenir ce rayon.

ΔP = Pression artérielle ou pression transmurale

Surpression et équilibre



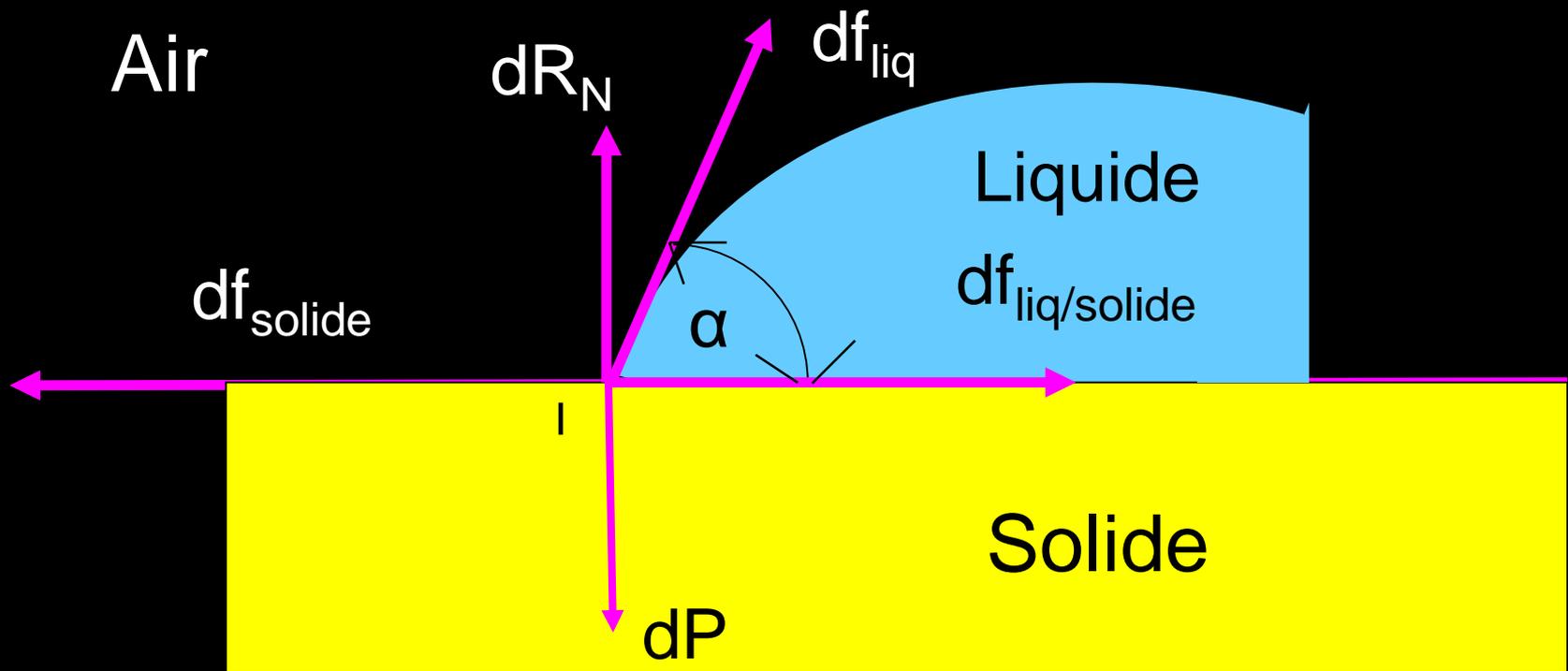
Artère mixte



4

Mouillabilité

Interface solide-liquide-air



Angle de raccordement

$\alpha = \text{angle}$ de raccordement ou angle de mouillage

Projection selon un axe horizontal :

$$\sigma_{\text{liq}} \cos \alpha + \sigma_{\text{liq/solide}} - \sigma_{\text{solide}} = 0$$

$$\cos \alpha = \frac{\sigma_{\text{solide}} - \sigma_{\text{liq/solide}}}{\sigma_{\text{liq}}}$$

Conditions d'étalement

- $0 < \cos \alpha < 1 \Rightarrow 0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$: mauvais étalement

- $-1 < \cos \alpha < 0 \Rightarrow \frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$: pas d'étalement

- $\cos \alpha \geq 1 \Rightarrow$ coexistence 3 phases liquide - solide - air impossible
 \Rightarrow étalement parfait

$$\sigma_S - \sigma_{L/S} \geq \sigma_L \Rightarrow \sigma_S + \sigma_L - \sigma_{L/S} \geq 2\sigma_L$$

Surface super hydrophobe



Coefficient d'étalement

$$S = \sigma_S - (\sigma_{S/L} + \sigma_L) = W_a - W_{co}$$

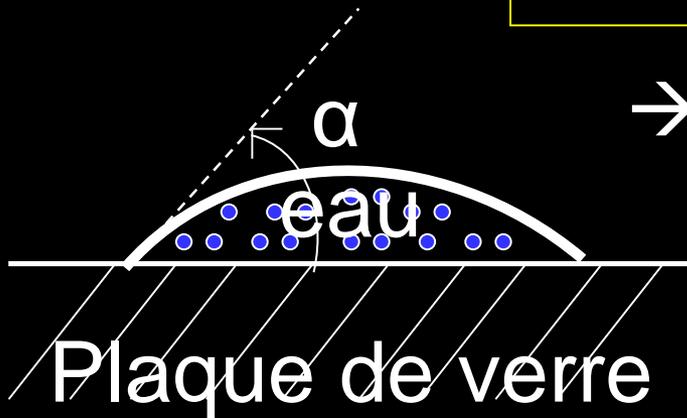
$$\sigma_S - \sigma_{S/L} = \sigma_L \cos \alpha$$

$$\Rightarrow S = \sigma_L (\cos \alpha - 1)$$

$$W_a = \sigma_L (\cos \alpha + 1) \Rightarrow \alpha \downarrow W_a \uparrow$$

Mouillabilité parfaite

$$0 \leq \alpha \leq \pi/2$$



$$\alpha < \pi/2$$

Mauvais étalement

→ f_{solide} prépondérante

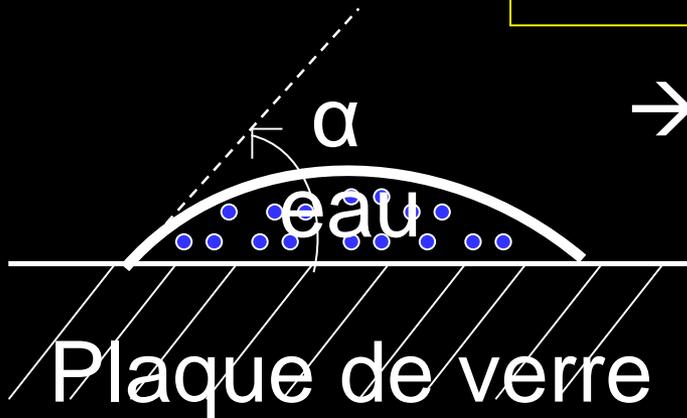


$$\alpha \approx 0^\circ$$

Mouillabilité parfaite

Mouillabilité parfaite

$$0 \leq \alpha \leq \pi/2$$



$$\alpha < \pi/2$$

Mauvais étalement

→ f_{solide} prépondérante



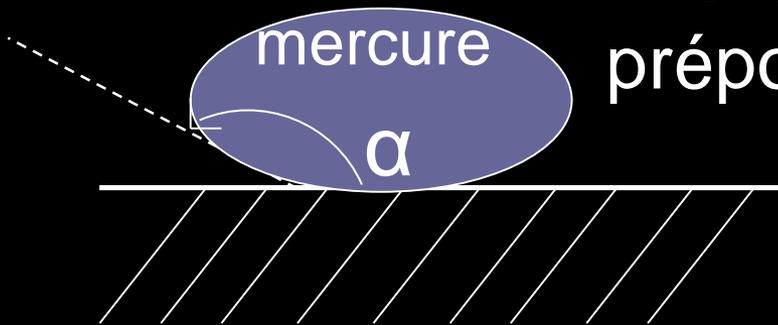
$$\alpha \approx 0^\circ$$

Mouillabilité parfaite

Mouillabilité imparfaite

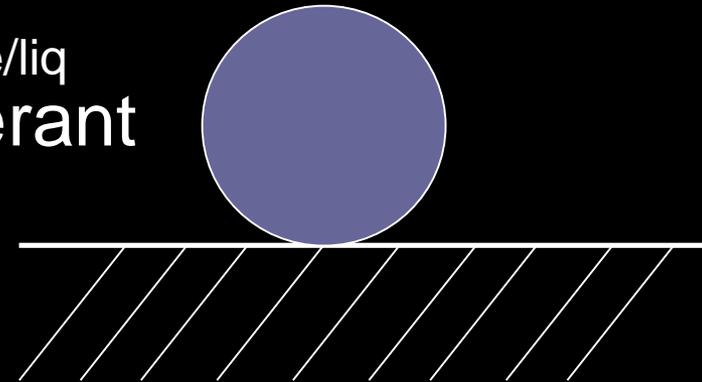
$$\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$$

$\rightarrow f_{\text{solide/liq}}$
prépondérant



$$\alpha > \pi/2$$

Pas d'étalement



$$\alpha \approx \pi$$

Mouillabilité nulle

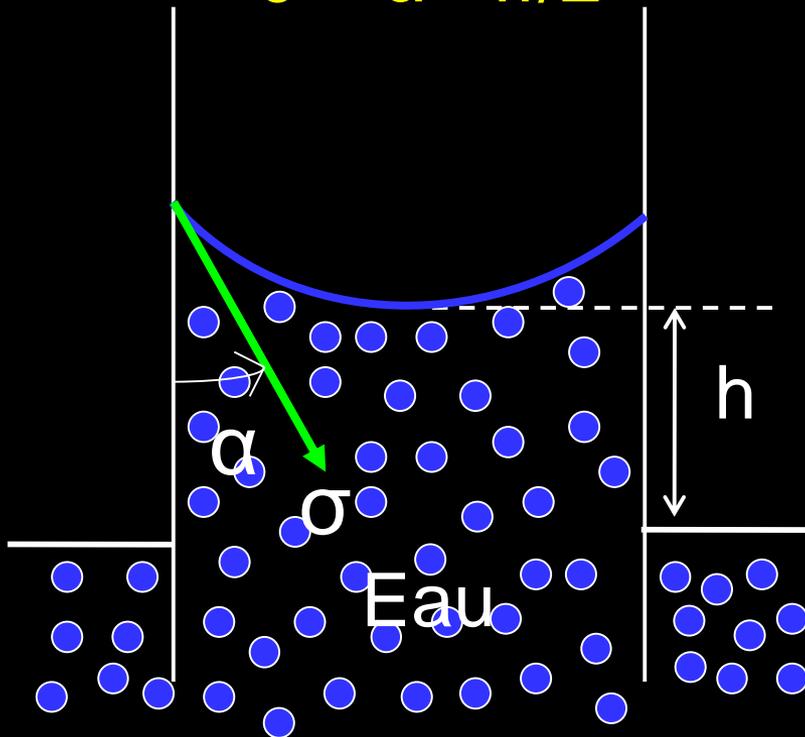
5

Capillarité - Loi de Jurin

Phénomène de capillarité

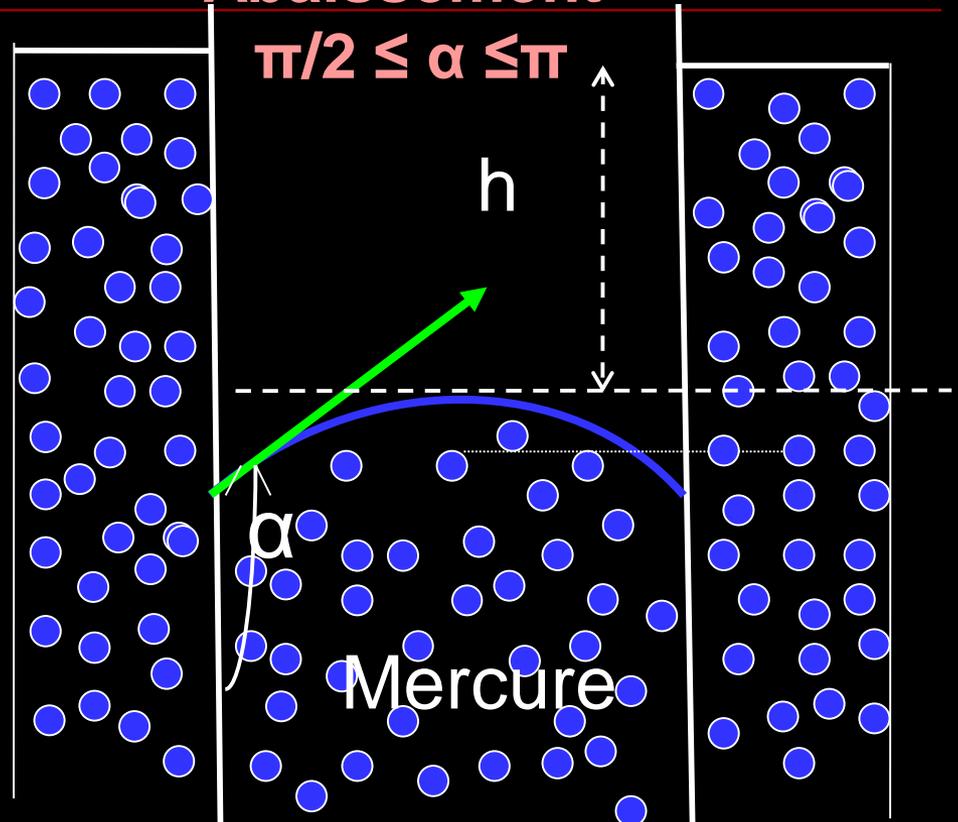
Ascension

$$0 \leq \alpha \leq \pi/2$$

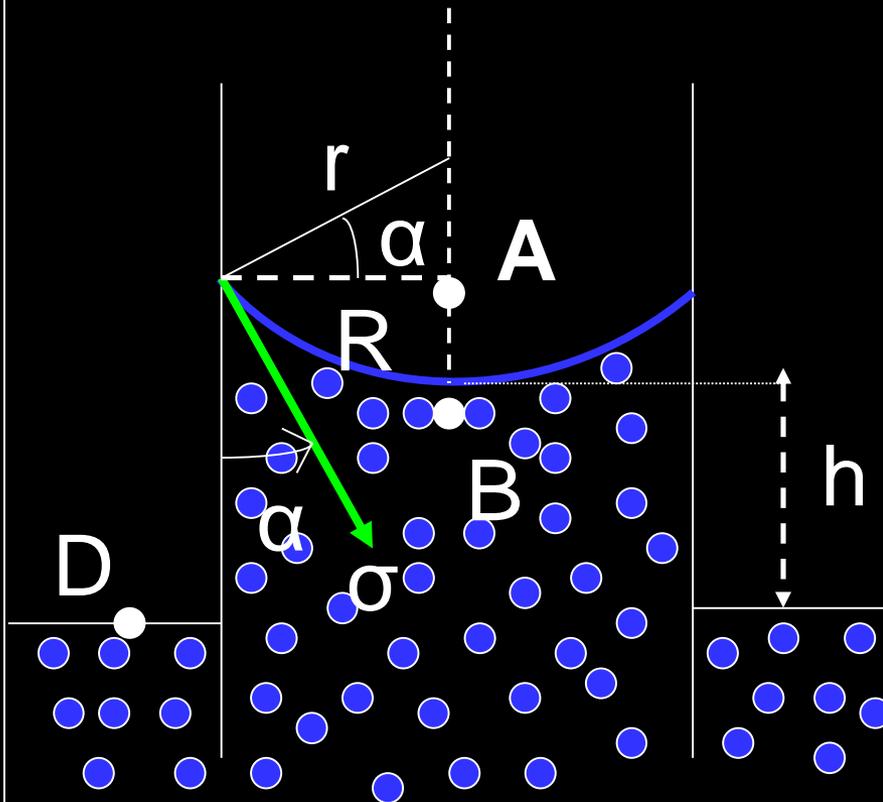


Abaissement

$$\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$$



Loi de Jurin



$$P_A - P_B = P_0 - P_B = \frac{2\sigma}{r} \quad (\text{Laplace})$$

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

$$P_0 = P_B + \rho g h \quad (\text{Pascal})$$

$$P_0 - P_B = \rho g h = \frac{2\sigma \cos \alpha}{R}$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \alpha}{\rho g R} \quad (\text{Loi de Jurin})$$

$\alpha < \frac{\pi}{2}$: le liquide s'élève (eau - verre)

$\alpha > \frac{\pi}{2}$: le liquide descend (mercure - verre)

Exemple 4

Quelle est la hauteur atteinte dans un tube capillaire de diamètre intérieur = 0,2 mm plongé verticalement dans du mercure propre et non mouillant ?

$$\sigma(\text{Hg}) = 420 \text{ mJ.m}^{-2}$$

Exemple 4

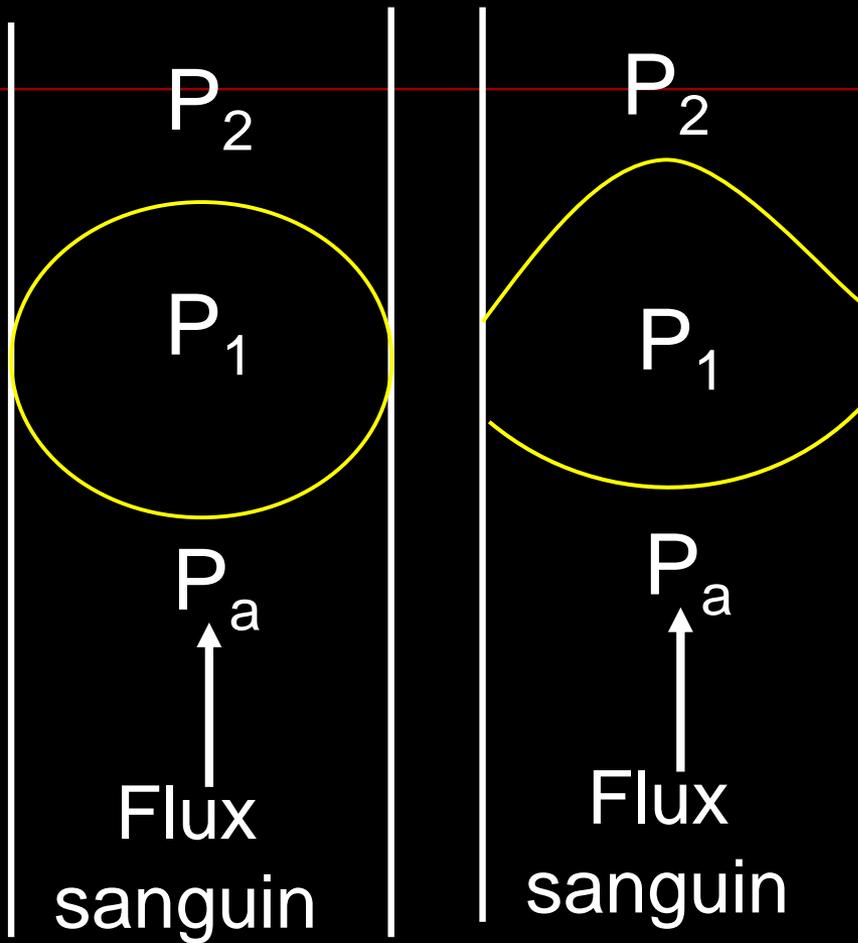
Le mercure n'étant pas mouillant : $\cos \alpha = -1$

$$h = \frac{2\sigma \cos \alpha}{\rho g r} = -\frac{4\sigma}{\rho g d} =$$

$$-\frac{4.420.10^{-3}}{13600.9,8.0,2.10^{-3}} = -0,0628m = -6,28 \text{ cm}$$

Le niveau de Hg dans le capillaire est à 6,28 cm en dessous de celui contenu dans le récipient

L'embolie capillaire



$$P_1 = P_a + \frac{2\sigma}{r_1}$$

$$P_2 = P_a - \frac{2\sigma}{r_2}$$

6

Mesure de la tension superficielle

Mesure de la tension superficielle

1. Stalagmométrie de Quincke (Compte gouttes) : Loi de Tate
2. Capillarité (Loi de Jurin)
3. Méthode de la balance (ou de l'arrachement)