

TD Physique n°9 : Phénomènes de tension superficielle - Correction

Exercice 1 : Réalisation d'une émulsion.

Création de $N_{sphères}$ interfaces huile-air et perte de l'interface huile-air d'aire S_0 :

$$W = N_{sphères} \times \gamma_h \times 4\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 - \gamma_h S_0 \quad \text{avec } N_{sphères} = \frac{V_0}{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3} \quad \text{AN: } W = 3 J$$

Exercice 2 : Autour des bulles de savon.

1. Loi de Laplace : $P_i - P_e = \frac{2\gamma}{R}$

2. Interface intérieure : $P_i - P_S = \frac{2\gamma}{R}$ Interface extérieure : $P_S - P_e = \frac{2\gamma}{R}$

On en déduit : $P_i - P_e = \frac{4\gamma}{R}$

3. a. $R^2 = a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 \Rightarrow R = \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}$

b. $\Delta P = P_i - P_e = P_A - P_B = \rho_e g h$

c. $\Delta P = \frac{4\gamma}{R} \Rightarrow \rho_e g h = \frac{4\gamma}{\sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{4} \rho_e g h \times \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}$

AN: $\gamma = 0,031 N \cdot m^{-1}$

voir cours : la présence de tensioactifs abaissent la tension superficielle

4. $\Delta P = P_i - P_e = \frac{4\gamma}{R}$ AN: $\Delta P = 3,3 Pa$

Au cours du soufflage : $R \nearrow \Rightarrow \Delta P \searrow$

$W = 2 \times 4\pi R^2 \times \gamma$ AN: $W = 5,7 \times 10^{-4} J$

5. Bulle de rayon R_1 : $P_1 - P_{atm} = \frac{4\gamma}{R_1}$ Bulle de rayon R_2 : $P_2 - P_{atm} = \frac{4\gamma}{R_2}$

$R_1 > R_2 \Rightarrow P_1 < P_2$: en ouvrant le robinet, la bulle de rayon R_2 se dégonfle au profit de la bulle de rayon R_1 .

Exercice 3 : Alvéoles pulmonaires

1. Nombre d'alvéoles : $N = 8 \cdot 10^7 \times 8 = 6,4 \cdot 10^8$ Surface totale des alvéoles : $S = N \times 4\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 80 m^2$

2. Voir exercice précédent (deux interfaces eau - air) : $\Delta P = P_i - P_{ext} = \frac{4\sigma_{eau}}{R} = \frac{8\sigma_{eau}}{d}$. AN : $\Delta P = 2,9 \times 10^3 Pa$

(en notant σ_{eau} le coefficient de tension superficielle eau liquide - air)

3. Si la surface totale varie de 5% à chaque inspiration, elle passe de $S = 80 m^2$ à $S' = 84 m^2$. Le travail nécessaire vaut alors : $W = 2\sigma_{eau} \times (S - S')$ (deux interfaces eau - air)

AN : $W = 0,58 J$

4. En présence de surfactants : $W' = 2\sigma'_{eau} \times (S - S') \Rightarrow W' = 0,28 J$: le travail nécessaire est moins important (voir cours pour le rôle des surfactants).

Exercice 4 : Ascension capillaire.

1. Loi de Jurin : $h = \frac{2\gamma_{LG}\cos\theta}{\rho_L g r}$

Démonstration à partir de la loi de Laplace : $P_A - P_B = P_0 - P_B = \frac{2\gamma_{LG}}{R} = \frac{2\gamma_{LG}\cos\theta}{r}$

Statique des fluides : $P_C - P_B = P_0 - P_B = \rho_L g h$

$$\Rightarrow \frac{2\gamma_{LG}\cos\theta}{r} = \rho_L g h \Rightarrow h = \frac{2\gamma_{LG}\cos\theta}{\rho_L g r}$$

Démonstration énergétique :

Référentiel : terrestre (galiléen)

Système : liquide + vapeur

$$E_p = E_{pp} + E_S \Rightarrow \frac{dE_p}{dz} = \frac{dE_{pp}}{dz} + \frac{dE_S}{dz}$$

avec : $E_{pp} = \frac{1}{2}\pi r^2 \rho_L z^2 + cste \Rightarrow \frac{dE_{pp}}{dz} = \pi r^2 \rho_L z$ et

$$dE_S = (\gamma_{LS} - \gamma_{SG})2\pi r dz \Rightarrow \frac{dE_S}{dz} = (\gamma_{LS} - \gamma_{SG})2\pi r$$

$$\Rightarrow \frac{dE_p}{dz} = \pi r^2 \rho_L z + (\gamma_{LS} - \gamma_{SG})2\pi r$$

A l'équilibre : $\left(\frac{dE_p}{dz}\right)_{z=h} = 0 \Rightarrow \pi r^2 \rho_L h + (\gamma_{LS} - \gamma_{SG})2\pi r = 0$

$$\Rightarrow \pi r^2 \rho_L h = (\gamma_{SG} - \gamma_{LS})2\pi r \Rightarrow h = \frac{(\gamma_{SG} - \gamma_{LS})2\pi r}{\pi r^2 \rho_L} = \frac{2(\gamma_{SG} - \gamma_{LS})}{\rho_L r} = \frac{2\gamma_{LG}\cos\theta}{\rho_L g r} \quad \text{d'après la loi de Young}$$

2. Mouillage parfait $\Rightarrow \theta = 0 \Rightarrow \gamma_{LG} = \frac{h\rho_L g r}{2}$ AN : $\gamma_{LG} = 39 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$

3. $\gamma_0 = \frac{h_0 \rho_0 g r}{2}$ $\gamma_{\text{benzène}} = \frac{h\rho g r}{2} \Rightarrow \frac{\gamma_{\text{benzène}}}{\gamma_0} = \frac{h\rho}{h_0 \rho_0} \Rightarrow \gamma_{\text{benzène}} = \frac{h\rho}{h_0 \rho_0} \times \gamma_0$ AN : $\gamma_{\text{benzène}} = 29,1 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$

Exercice 5 : Montée de la sève dans les végétaux

1. D'après la loi de la statique des fluides : $P_{atm} = P_{sat} + \rho_{eau} g h \Rightarrow h = \frac{P_{atm} - P_{sat}}{\rho_{eau} g} \approx \frac{P_{atm}}{\rho_{eau} g}$ en négligeant P_{sat} devant P_{atm} .
L'AN donne : $h = 10 \text{ m}$ (en prenant $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ et $\rho_{eau} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

2. D'après la loi de Jurin : $h' = \frac{2\gamma_{eau}\cos\theta}{\rho_{eau} g r} = \frac{2\gamma_{eau}}{\rho_{eau} g r}$ (pour un angle de mouillage $\theta = 0$)

L'AN donne pour le plus petit rayon ($r = 20 \mu\text{m}$) : $h'_{max} = 0,75 \text{ m} = 75 \text{ cm}$

3. Pour que la sève atteigne $h_0 = 100 \text{ m}$ par ascension capillaire : $r_0 = \frac{2\gamma_{eau}}{\rho_{eau} g h_0} \Rightarrow r = 0,15 \mu\text{m}$, ce qui est improbable. Le seul phénomène de capillarité ne peut expliquer l'ascension de la sève.

Exercice 6 : Détermination d'un coefficient de tension superficielle

1. $\delta W = F dz$

2. $dE_S = 2 \times \gamma \times 2\pi R dz$ (deux interfaces eau-air créées)

3. Référentiel : terrestre (galiléen)

Système : anneau + liquide

TEM : $dE_m = dE_c + dE_p = \delta W$

Avec $dE_c = 0$ et $dE_p = dE_{pp} + dE_S = mg dz + 2 \times \gamma \times 2\pi R dz$

$$\Rightarrow mg dz + 2 \times \gamma \times 2\pi R dz = F dz \Rightarrow \gamma = \frac{F - mg}{4\pi R} \quad \text{AN : } \gamma = 70 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$$

