

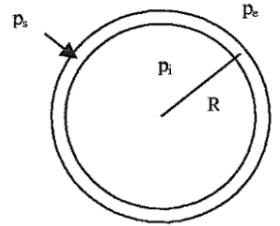
TD Physique n°9 : Phénomènes de tension superficielle

Exercice 1 : Réalisation d'une émulsion.

Sur une surface $S_0 = 2 \text{ cm}^2$, on étale un volume $V_0 = 1 \text{ cm}^3$ d'huile. Par agitation, on émulsionne cette couche d'huile qui se disperse en petites sphères de diamètre $d = 0,1 \text{ mm}$. Quelle est l'énergie nécessaire pour effectuer cette dispersion ? On donne le coefficient de tension superficielle de l'huile $\gamma_h = 50 \text{ mN.m}^{-1}$.

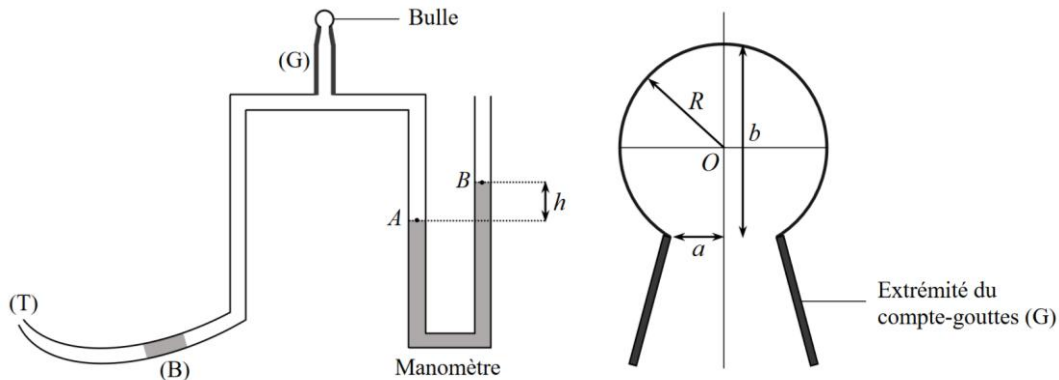
Exercice 2 : Autour des bulles de savon.

- Rappeler l'expression de la loi de Laplace donnant la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur d'une sphère de liquide de rayon R . On notera γ la tension superficielle pour l'interface considérée.
- On considère une bulle de savon modélisée par une membrane comportant deux surfaces (interne et externe) supposées de même rayon R . On note P_i la pression intérieure, P_s la pression dans le film de savon et P_e la pression extérieure.



Montrer que la différence $P_i - P_e$ est donnée par la relation suivante : $P_i - P_e = \frac{4\gamma}{R}$

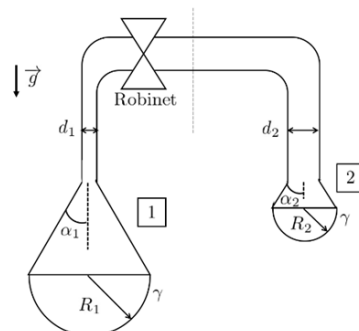
- À l'intérieur de toute bulle, le coefficient de tension superficielle γ de l'interface entre le liquide et le gaz est à l'origine d'une surpression ΔP donnée par $\Delta P = \frac{4\gamma}{R}$ où R est le rayon de la bulle. La mesure de la surpression dans une bulle peut être mise à profit pour déterminer la tension superficielle de l'interface entre l'eau savonneuse et l'air, comme cela a été proposé par F. et P.S. Behroozi. Leur dispositif est constitué d'un mini compte-gouttes en verre vertical (G), relié d'un côté à un tuyau flexible (T) rempli en partie par un bouchon d'eau mobile (B) et de l'autre côté à un manomètre à eau



L'expérience consiste à couvrir l'extrémité du compte-gouttes d'un film d'eau savonneuse, la dénivellation h du manomètre étant nulle, puis à déplacer doucement le bouchon d'eau en élevant ou en abaissant l'extrémité du tuyau flexible de façon à générer une bulle de taille millimétrique. Une fois la bulle formée, on bouche l'extrémité du tuyau flexible de façon à maintenir constante la surpression ΔP dans la bulle. On mesure alors la dénivellation h dans le manomètre à eau et, à l'aide d'une caméra, la hauteur b de la bulle assimilée à une portion de sphère.

- Exprimer le rayon R de la bulle en fonction du rayon d'ouverture a du compte-gouttes et de la hauteur b de la bulle.
 - Relier la surpression ΔP dans la bulle à la dénivellation h dans le manomètre à eau, de masse volumique ρ_e .
 - En déduire l'expression du coefficient de tension superficielle γ de l'interface entre l'eau savonneuse et l'air en fonction de h , a , b , ρ_e et de l'intensité de la pesanteur g . Calculer γ . On donne $b = 2a = 2,0 \text{ mm}$ et $h = 9,0 \text{ mm}$. Comparer au coefficient de tension superficielle γ_e de l'interface eau/air, égal à $0,073 \text{ N.m}^{-1}$ à 20°C et proposer une explication.
- Un liquide savonneux a une constante de tension superficielle liquide-air $\gamma = 25 \times 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$. Avec ce liquide, on souffle une bulle de savon de rayon $R = 3 \text{ cm}$. Calculer la surpression à l'intérieur de la bulle formée. Comment varie la pression dans la bulle au cours du soufflage ? Calculer le travail dépensé pour souffler la bulle de rayon R .

5. On considère deux bulles de savon demi-sphériques (de rayons $R_1 > R_2$) suspendues dans le champ de pesanteur terrestre à des entonnoirs. Le robinet positionné du côté de la première bulle 1 est initialement fermé. Que se passe-t-il quand on ouvre le robinet ?



Exercice 3 : Alvéoles pulmonaires

- 1- Calculer la surface d'échange totale moyenne des alvéoles pulmonaires chez une personne dont les deux poumons ont un volume total de 8 litres et une moyenne de $8 \cdot 10^7$ alvéoles par litre de poumon et dont toutes les alvéoles sont supposées sphériques de diamètre moyen de 0.2mm.
- 2- Lorsque nous respirons, nos alvéoles sont directement en contact avec l'air extérieur par l'intermédiaire des voies respiratoires. Si le liquide physiologique (surfactant) qui recouvre nos membranes alvéolaires était purement aqueux (eau pure), quelle est la différence de pression de part et d'autre de chacune des membranes alvéolaires ?
- 3- Quel serait le travail nécessaire à chaque inspiration si la surface alvéolaire totale varie de 5% ?
- 4- Grâce aux surfactants, l'énergie de surface n'est plus que de 35mJ/m². Que devient ce travail ? Expliquer le rôle des surfactants.

On donne : $\sigma_{\text{eau}} = 73 \text{ mJ/m}^2$.

Exercice 4 : Ascension capillaire.

1. Rappeler l'expression de la loi de Jurin. Proposer deux démonstrations : l'une utilisant la loi de Laplace et l'autre à partir de considérations énergétiques.
2. Un liquide mouillant parfaitement le verre et de masse volumique $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$, s'élève à une hauteur moyenne $h = 1,5 \text{ cm}$ dans un tube capillaire en verre, vertical et de diamètre intérieur $d = 1 \text{ mm}$. Calculer la constante de tension superficielle du liquide ($g = 10 \text{ m.s}^{-2}$).
3. Soit un tube de diamètre intérieur plongeant verticalement dans un liquide de tension superficielle γ et de masse volumique ρ . On suppose la mouillabilité parfaite et on désigne par h la dénivellation du liquide dans le tube. Avec l'eau, on trouve $h_0 = 92,3 \text{ mm}$ ($\rho_0 = 1,00 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$, $\gamma_0 = 72,0 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$). Pour le benzène, on trouve $h = 42,4 \text{ mm}$. En déduire la constante de tension superficielle du benzène sachant que sa masse volumique ρ a pour valeur $0,884 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

Exercice 5 : Montée de la sève dans les végétaux

La circulation de la sève se fait à travers des conduits, analogues aux vaisseaux sanguins, dont le rayon varie entre 20 et 200 μm . On désire examiner diverses causes qui pourraient expliquer la montée de la sève dans des arbres pouvant atteindre 100 m de hauteur, comme les séquoias Américains. On assimilera les caractéristiques physiques de la sève à celle de l'eau pure à 300 K. Donnée à 300 K : $\gamma_{\text{eau}} = 75 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$

1. En appliquant le principe fondamental de l'hydrostatique, à quelle hauteur maximale s'élève la sève, si l'on suppose que la pression qui s'exerce au niveau du sol et des racines superficielles est égale à la pression atmosphérique.
2. A quelle hauteur maximale la sève peut-elle s'élever par ascension capillaire (on suppose que la tension superficielle de la sève est très proche de celle de l'eau). On prendra pour l'angle de mouillage $\theta = 0^\circ$.
3. Quelle devrait être le rayon des conduits pour que la sève atteigne 100 m par le phénomène de capillarité ?

Exercice 6 : Détermination d'un coefficient de tension superficielle

Pour déterminer le coefficient de tension superficielle de l'eau γ (eau/air), on attache un anneau de platine de rayon $R = 3,0 \text{ cm}$ et de masse $m = 6,5 \text{ g}$ à une potence à l'aide d'un dynamomètre. Cet anneau est plongé dans de l'eau. En relevant très lentement le cylindre, on mesure la force $F = 90 \text{ mN}$ qu'il faut exercer pour arracher l'anneau du liquide.



1. Considérons que l'anneau est soulevé d'une hauteur dz sous l'effet de la force F . Quel est le travail δW fourni par cette force ?
2. Donner l'expression de l'énergie de surface nécessaire lors de la montée de l'anneau d'une hauteur dz
3. A l'aide d'un bilan d'énergie, exprimer γ en fonction des données de l'énoncé.

Exercice 7 : Coalescence et loi de Laplace

1. Quelles sont les forces intermoléculaires responsables de la cohésion d'un liquide à molécules aprotiques ? Quelle est leur origine ? Préciser leur caractère attractif ou répulsif.
2. On considère deux molécules du liquide : la molécule **A** est au cœur du liquide et la molécule **B** à la surface du liquide et du gaz le surplombant (Figure 1). On a représenté également les molécules plus proches voisines de **A** et de **B**, avec lesquelles elles sont en interaction. Reproduire la figure 1 et représenter les différentes forces intermoléculaires s'appliquant sur chaque molécule et en déduire l'origine de la tension superficielle.

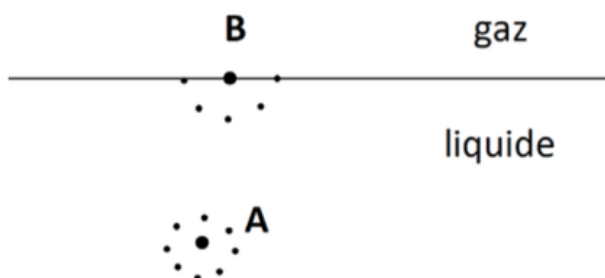


Figure 1 : schéma d'une interface liquide / gaz

3. Exprimer l'énergie potentielle élémentaire dE_p associée à la surface élémentaire dS de l'interface liquide-gaz en fonction du coefficient de tension superficielle γ . Donner l'unité S.I de γ ?

La coalescence est la fusion de deux gouttes lorsque celles-ci entrent en contact. Le processus est favorable s'il induit une diminution globale de l'énergie du système, ici une diminution de l'énergie de surface. Supposons qu'on étudie la coalescence de deux gouttes de liquide identiques de rayon R pour donner une goutte de rayon R' comme représenté sur la figure 2.

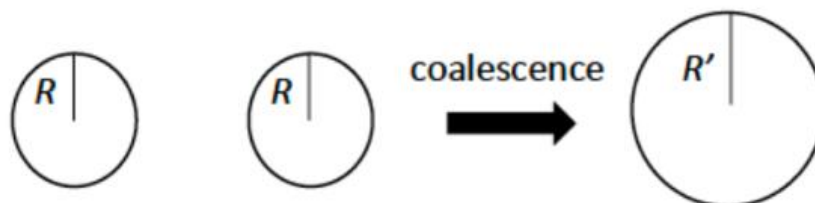


Figure 2 : coalescence des gouttes

4. En supposant le liquide incompressible, déterminer la surface S' de la goutte issue de la coalescence et la comparer à la surface des gouttes de départ. Conclure sur le caractère favorisé ou non de la coalescence.

Il existe une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur d'une gouttelette liquide due à l'existence de la tension superficielle qui tend à courber la gouttelette. On considère une gouttelette liquide sphérique (Figure 3, à gauche) de rayon R et de pression intérieure P_i en équilibre avec le milieu extérieur de pression P_e . On note $\Delta P = P_i - P_e$ la différence de pression avec $\Delta P > 0$.

5. Donner la loi de Laplace exprimant ΔP en fonction de γ et R . Calculer ΔP dans le cas d'une gouttelette d'eau en suspension dans l'air, de rayon $R = 50 \mu\text{m}$ pour laquelle $\gamma_{\text{eau}} = 73 \times 10^{-3} \text{ S.I.}$ (à 20°C).

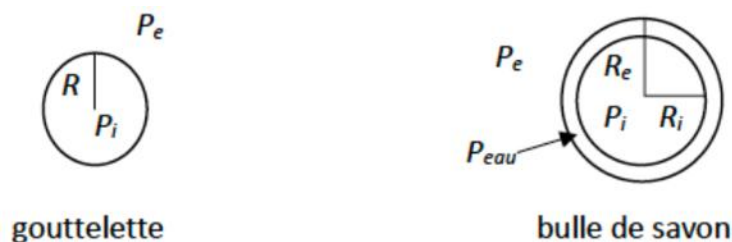


Figure 3 : schéma d'une gouttelette et d'une bulle de savon

Dans le cas d'une bulle de savon (Figure 3 à droite), il y a deux interfaces air – eau liquide : on note P_i la pression de l'air à l'intérieur, P_{eau} la pression de l'eau dans le film de savon et P_e la pression de l'air extérieur. On note R_i le rayon intérieur, R_e le rayon extérieur du film et $\gamma_s = 25 \times 10^{-3} \text{ S.I.}$ (à 20°C) la tension superficielle de l'interface air – eau savonneuse.

6. Écrire les lois de Laplace pour les deux surfaces intérieure et extérieure puis en déduire l'expression de $\Delta P = P_i - P_e$ en fonction de γ_{savon} , R_i et R_e . Calculer ΔP dans le cas d'un film mince pour lequel $R_i = R_e = R$ avec $R = 100 \mu\text{m}$.