

Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides

Niveau : Licence 3

Pré-requis :

- Hydrostatique
- Mécanique : Forces, travaux de force, énergie
- (Thermodynamique)

Bibliographie :

- Gouttes bulles perles et ondes, De Gennes / Quéré / Brochard-Wuyart, Belin
- Hydrodynamique physique (CNRS éditions), Guyon / Hulin / Petit, EDP sciences
- Capillarité (cours), P. Lidon, <https://cel.hal.science/cel-01332274>

Introduction

Experience qualitative : effet marangoni (eau + poivre et goutte savon)

[Explication des tension-actifs à la fin du pdf](#)

Si on considère deux phases qui coexistent elles sont nécessairement séparées par une zone qui délimite ces deux phases homogènes. Cette zone est appelée une interface. Il s'agit d'une frontière physique entre deux phases considérées (ex : solide-solide, liquide-liquide) ou entre une phase condensée et un gaz.

Capillarité : Etude de l'interface de 2 liquides non miscibles ou liquide-air

Phénomènes capillaires :

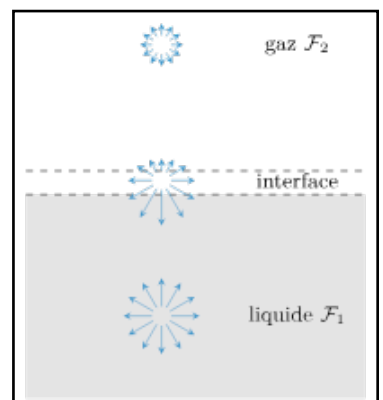
- Rosée sur Toiles d'araignée : pourquoi c'est périodique ?
- Bulles de savon : pourquoi c'est stable ?
- Goutte d'eau sur une table n'a pas la même forme que sur une feuille d'arbre
- Ménisque

Tous ces phénomènes sont pilotés par la tension de surface.

L'étude des phénomènes interfaciaux permet de répondre à un certain nombre de questions comme : pourquoi est-ce que insectes marchent sur l'eau, pourquoi les gouttes et les bulles ont la forme qu'elles ont, ou encore pourquoi en TP de chimie, lorsqu'on met un liquide dans un tube, on voit la formation d'un ménisque ?

I. Tension superficielle

Un liquide coule, et pourtant il adopte des formes géométriques très stables. Une petite goutte de pluie, un globule d'huile dans l'eau, une bulle de savon forment une sphère parfaite, lisse à l'échelle atomique, et très peu déformable. Ces exemples nous montrent que la surface d'un liquide est donc comme une membrane tendue, caractérisée par une tension superficielle (ou "tension de surface"), qui s'oppose à ses déformations.

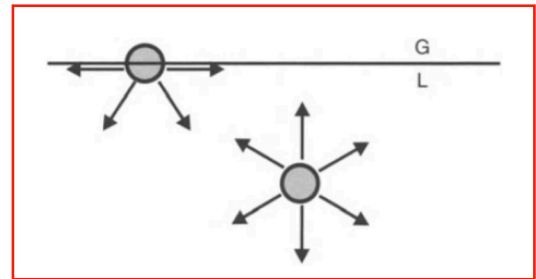


A. Origine physique

Liquide = état condensé où les molécules s'attirent. Lorsque cette attraction l'emporte sur l'agitation thermique, les molécules passent d'une phase gazeuse à une phase dense mais encore désordonnée : un liquide.

Les molécules au sein du liquide bénéficient d'interactions attractives avec toutes leurs voisines et sont dans un état "heureux". Au contraire, à la surface du liquide, elles perdent la moitié des interactions cohésives et sont "malheureuses".

C'est pour cette raison que les liquides vont ajuster leur forme pour exposer le minimum de surface : vos cheveux secs sont volumineux, mais une fois mouillés, ils collent ensemble tristement.



- Molécules immergées : ont une force de cohésion maximale
- Molécules immergées à moitié : Les interactions de cohésion valent la moitié. C'est un état d'énergie défavorable.

Donc à la surface de séparation, il y aura un défaut d'énergie de cohésion. Si U est l'énergie de cohésion par molécule, une molécule à la surface perd $\frac{1}{2}U$.

La tension de surface mesure directement ce défaut d'énergie par unité de surface. C'est la 1ère définition de la tension superficielle.

Dans le liquide : Chaque molécule est entourée de toutes parts donc elle subit des forces d'attraction dans toutes les directions. Ces forces s'équilibrent ce qui diminue l'énergie potentielle de la molécule.

A la surface, moins de voisins donc moins stabilisée donc son énergie de potentiel est plus élevée.

Si a est la dimension moléculaire et a^2 la surface exposée par molécule, la tension de surface est donc $\gamma \sim \frac{U}{2a^2}$ (donc $[\gamma] = J/m^2$)

Plus les interactions attractives sont fortes, plus la tension de surface est grande. Pour la plupart des huiles, où les interactions sont de type van der Waals, $U \sim kT$ l'agitation thermique. A 25°C : $U = \frac{1}{40}eV$, et par $a \sim 10^{-10} m$ donc $\gamma \sim 20 mJ.m^{-2}$

Si cohésion $U \lesssim kT$ donc molécules peuvent s'échapper → évaporation ou état gazeux

Si cohésion $U \gg kT$ donc molécules restent liées → état liquide stable

Et là on compare U à kT même dans un liquide, pour donner un ordre de grandeur

La valeur de la tension superficielle sera très variable suivant la nature des forces qui s'exercent entre les atomes ou les molécules (forces de van der Waals, liaisons hydrogène, liaisons ioniques, ...)

Liquide	Éthanol	Glycérol	Eau	Mercure	Hélium (4K)	Eau (100°C)
$\gamma (mJ/m^2)$	23	63	72	485	0,1	58

La tension superficielle du mercure est plus de 6 fois celle de l'eau car Les atomes de mercure sont liés par des liaisons métalliques, bien plus fortes que les Van der Waals de l'eau ou des huiles. Ces liaisons créent une cohésion extrêmement forte, donc une énergie de surface élevée. Le nuage électronique du mercure est fortement lié au noyau (effet relativiste), donc il interagit peu avec l'extérieur, renforçant le repli sur soi. Pas de liaison hydrogène, Le mercure n'adhère pas aux parois en verre ou métal comme l'eau le ferait. Cela amplifie la forme sphérique (minimisation de surface), car il évite tout contact inutile

Une goutte d'eau s'étale mais une goutte de mercure est quasi-sphérique → effet direct de la tension superficielle énorme

B. Définition macroscopique

On sait qu'il faut fournir de l'énergie mécanique pour créer de la surface. Déformons le liquide de manière à augmenter sa surface A de dA . Le travail est proportionnel au nombre de molécules qu'il faut amener à la surface, donc à dA :

$$\delta W = \gamma dA$$

γ est l'énergie à fournir pour augmenter la surface d'une unité : $[\gamma] = EL^{-2}$

Puisque $[\gamma] = EL^{-2} = FL^{-1}$, la tension superficielle est une force par unité de longueur.

Donc $[\gamma] = Nm^{-1}$. C'est la 2ème interprétation : $\vec{F} = \gamma d\vec{l}$ avec \vec{F} parallèle à la surface. On peut voir la manifestation de ce phénomène dans la manip qualitative suivante.

[Expérience qualitative] Un anneau en métal dans du savon. Montrer d'autres formes comme le cube et la pyramide triangulaire.

Les phénomènes de tension superficielle ont pour effet de minimiser l'aire de l'interface, compte tenu des contraintes imposées par ailleurs au système (gravité, pression...). En particulier, en l'absence de gravité, une goutte prend une forme sphérique car celle-ci assure une surface minimale pour un volume donné.

Vidéo https://www.youtube.com/watch?v=g4c_tj1CccE. Permet de répondre à pourquoi le gerris peut marcher sur l'eau : les pattes hydrophobes du gerris déforment la surface de l'eau qui va chercher à retrouver sa forme en appliquant une force capillaire sur les pattes. Comme l'insecte est suffisamment léger, la force arrive à compenser le poids.

Autres video sur YouTube : "Tension superficielle d'un film de savon"

II. Phénomènes capillaires

[Expérience qualitative] Générateur de bulles. On forme une petite bulle d'un côté et une grande bulle de l'autre côté. En reliant les 2 côtés, la grande "mange" la petite.

la pression est donc plus grande dans les petites bulles : on peut le démontrer mathématiquement via la Loi de Laplace.

A. Interface à deux fluides : Loi de Laplace

Nous examinons ici une bulle de savon, et cherchons son équilibre dans l'atmosphère,

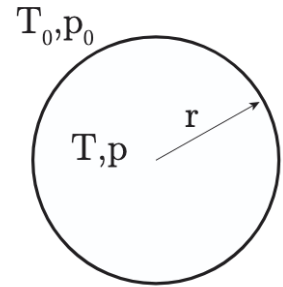
thermostaté à la température T_0 et réservoir de volume à la pression p_0 . Le degré hygrométrique de l'air est supposé suffisant pour que l'évaporation de la bulle (principale cause de son éclatement) soit négligeable pendant l'expérience. On néglige aussi les effets de la pesanteur.

Le degré hygrométrique (ou humidité relative) :

$$HR = \frac{p_{\text{vapeur eau}}}{p_{\text{saturation}}} \times 100 \quad \text{avec } p_{\text{sat}} \text{ est la pression maximale que}$$

la vapeur d'eau peut avoir à la température T avant de se condenser. Si $HR=100\%$ donc l'air est saturé et aucune évaporation possible. Alors la bulle ne s'éclate pas. Si $HR=0\%$ alors air parfaitement sec.

Là on suppose que l'air est suffisamment saturé en vapeur d'eau pour que la bulle reste stable.



On considère une bulle sphérique avec de l'air à l'extérieur et de l'eau à l'intérieur une membrane de liquide (film) de tension superficielle γ . On imagine que l'on déforme une bulle de dr . Pour cela, on applique le principe des travaux virtuels. La bulle est en équilibre mécanique donc les travaux que subissent la goutte se compensent : $\delta W = 0$.

Le travail virtuel est le travail théorique (infinitésimal) que feraient les forces appliquées sur un système, lors d'un déplacement fictif et infiniment petit compatible avec les contraintes, alors que le système est à l'équilibre. On n'observe pas un vrai mouvement, mais on imagine un petit déplacement dr , puis on calcule le travail infinitésimal $\delta W = \vec{F} \cdot d\vec{r}$ pour toutes les forces extérieures.

$$-P_{\text{air,ext}} dV_1 - P_{\text{eau,int}} dV_2 + \gamma dA = 0$$

$dV_2 = 4\pi R^2 dR$ et $dV_1 = -dV_2$ car la surface n'est pas la même (une est concave et l'autre est convexe). La variation de volume de l'air est opposée à celle de l'eau.

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad \text{donc } dV = 4\pi R^2 dR \quad \text{et } A = 4\pi R^2 \quad \text{donc } dA = 8\pi R dR$$

Par $dA = 8\pi R dR$ on trouve la **Loi de Laplace (1805)** :

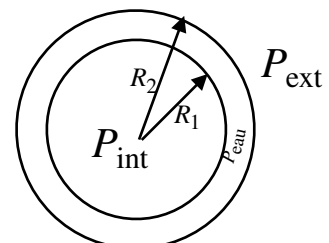
$$P_{\text{eau}} - P_{\text{air}} = \frac{2\gamma}{R}$$

- Plus R est petit, plus la pression à l'intérieur est grande
- Lorsque $R \rightarrow \infty$ (surface plane), on a continuité de la pression ($\Delta P = 0$)
- Cette loi nous permet de mesurer γ expérimentalement

Ce calcul est pour une goutte donc une seule interface liquide-air. La surface extérieure seule est concernée. Mais dans la bulle de savon c'est un film liquide très mince qui sépare deux milieux gazeux (air intérieur et extérieur). Ce film a deux interfaces.

Pour une bulle de savon, deux interfaces donc :

$$P_{\text{int}} - P_{\text{eau}} = \frac{2\gamma}{R_1} \quad (\text{en additionnant avec celle d'en haut})$$



$$P_{\text{int}} - P_{\text{ext}} = 2\gamma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\text{Par } R_2 \approx R_1 : P_{\text{int}} - P_{\text{ext}} = \frac{4\gamma}{R}$$

[Expérience quantitative]

On génère une bulle, on mesure son rayon et la pression à l'intérieur grâce à un manomètre différentiel qui permet de mesurer la différence de pression entre l'intérieur de la bulle et l'extérieur à travers une mesure de tension (piézo)

On forme une bulle de 31mm qui correspond à 2.33V par le manomètre.

En ajoutant ce point aux mesures déjà faites en préparation, on trouve $\gamma = 31,7 \text{ mJ.m}^{-2}$

Le liquide savon qu'on a utilisé contient que 10% du savon, (+10% glycérol) et 80% d'eau mais ces 10% baisse beaucoup la tension de surface (plus que 10% !) et c'est à cause de la molécule du savon (un tensioactif) qui est à partie hydrophobe et partie hydrophile qui va baisser beaucoup plus la tension de surface.

Par ailleurs, on retrouve le bon ordre de grandeur pour une eau savonneuse (internet donne 25 mJ.m^{-2}).

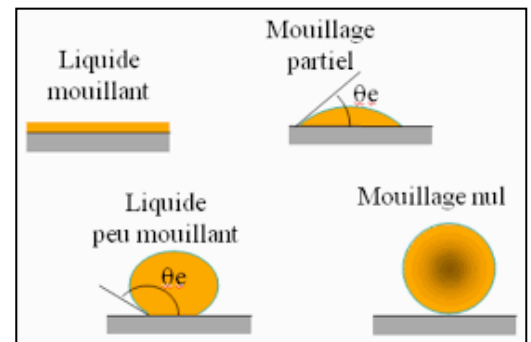
B. Contact à trois phases : le mouillage

Mouillage : étude de l'étalement d'un liquide sur un substrat solide (ou liquide).

Lorsque l'on pose une goutte d'eau sur du verre très propre, on la voit s'étaler complètement. En revanche, sur une feuille de plastique, le liquide reste rassemblé en goutte. Il y a donc deux régimes de mouillage.

Les facteurs qui influent la forme de la goutte du liquide sur le solide :

- La nature du liquide
- La nature du solide



θ_e est l'angle de contact, qui permet de savoir si un liquide mouille plus ou moins bien un substrat. Résulte d'une compétition entre les tensions de surface intervenant dans les trois interfaces (L/G, L/S, S/G).

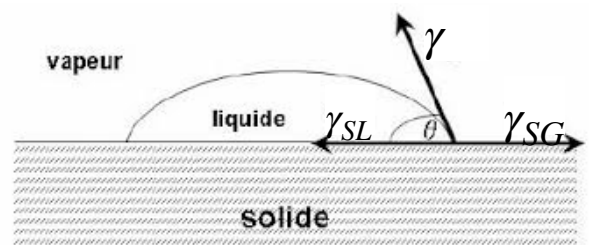
La grandeur qui les distingue est le paramètre d'étalement S , qui mesure la différence entre l'énergie de surface du substrat sec et mouillé (par unité de surface) :

$$S = E_{\text{sec}}^{\text{substrat}} - E_{\text{mouille}}^{\text{substrat}}$$

$$S = \gamma_{SG} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LG})$$

où les trois tensions sont successivement la tension superficielle solide/gaz, solide/liquide et liquide/gaz.

- $S > 0$: mouillage total, le liquide s'étale complètement pour abaisser l'énergie superficielle (l'angle de contact est nul : $\theta_e = 0$).
- $S < 0$: mouillage partiel, la goutte ne s'étale pas et forme à l'équilibre une calotte sphérique qui s'appuie sur le substrat en faisant un angle de contact θ_e



Dans ce cas on dit que le liquide est plutôt mouillant si $\theta_e \leq \pi/2$ et "plutôt non mouillant" si $\theta_e > \pi/2$.
 $\theta_e = \pi/2$ ne joue aucun rôle particulier contrairement à $\theta_e = 0$

L'angle de mouillage peut facilement être obtenu en équilibrant les forces capillaires agissant sur la ligne de contact (appelé ligne triple) : par unité de longueur, ces forces sont les tensions interfaciales entre les trois phases S/L/G. En projetant l'équilibre des forces sur le plan solide, on obtient la relation de Young :

$$\gamma_{LG} \cos \theta_e = \gamma_{SG} - \gamma_{SL}$$

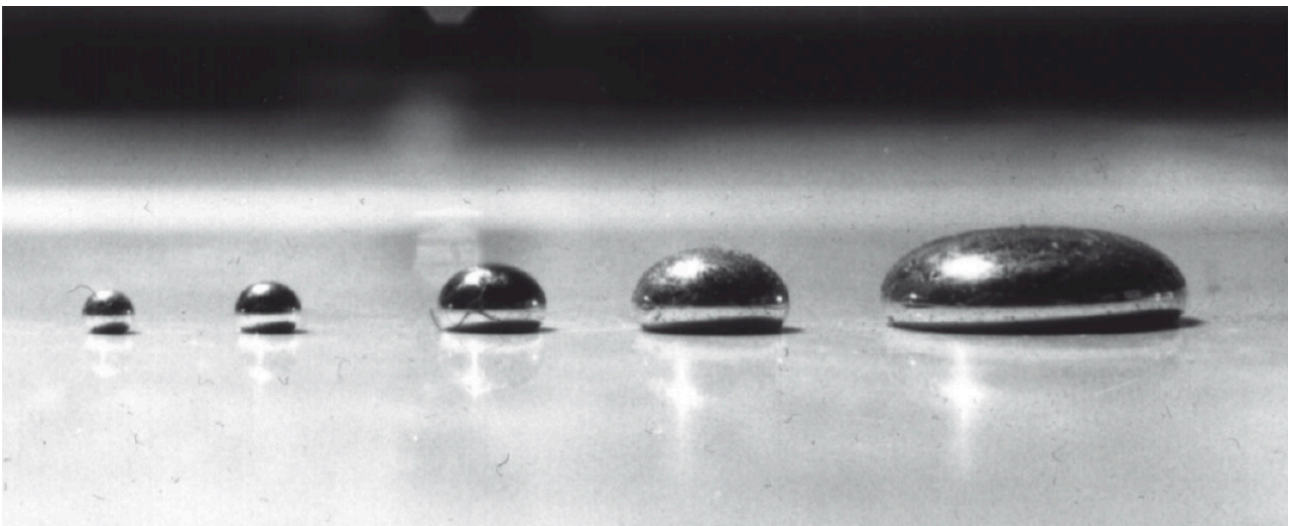
donc $S = \gamma_{LG} (\cos \theta_e - 1)$

On ne peut définir un angle θ_e que si la goutte ne s'étale pas entièrement (sinon $\theta_e = 0$), donc si $S < 0$.

L'angle θ_e est d'autant plus grand que le liquide est non mouillant

Au point de contact (triple) des 3 tensions, il y a une composante verticale ($\gamma_{LG} \sin \theta_e$) vers le haut. Elle est inobservable si le solide est rigide. Sur un solide mou (caoutchouc, peinture fraîche), le solide se déforme localement. Cette force soulève légèrement le bord du solide s'il est mou. C'est pour cette raison qu'une petite goutte d'eau sur de la peinture encore fraîche laisse une trace circulaire (la déformation du solide mou peut laisser une empreinte même après évaporation de la goutte)

III. Influence de la gravité



Les gouttes de mercure de tailles différentes sont posées sur une surface horizontale. Les plus petites ont une forme de calotte sphérique, tandis que les plus grosses sont aplaties sous l'effet de la gravité.

il y a un effet de gravité qui n'est plus négligeable à partir d'une certaine taille : laquelle ?

A. Nombre de Bond

Compétition entre gravité et tension de surface est donnée par le nombre de Bond :

$$B_0 = \frac{\rho g h}{2\gamma/R} \approx \frac{\rho R^2 g}{\gamma}$$

La longueur capillaire L_c est telle que : $B_0 = \frac{\rho L_c^2 g}{\gamma} = 1$ (frontière entre les deux régimes).

Soit $L_c = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho g}}$ donc pour l'eau, $L_c = 3mm$.

Deux régimes :

- $R \gg L_c$: la gravité domine : goutte plate.
- $R \ll L_c$: la tension de surface domine, la bulle est sphérique

Photo ménisque : résulte de cette compétition entre tension de surface responsable de sa formation et gravité qui s'y oppose. Ménisque concave pour un fluide mouillant (ex : eau dans tube en verre) et convexe pour un fluide peu mouillant (ex : mercure dans tube en verre)

L'angle de contact θ_e détermine si le liquide adhère bien à la paroi ou non. Si $\theta_e < 90^\circ$ donc bon mouillage et liquide adhère au solide et on a donc ménisque concave (vers le haut sur les bords). Si $\theta_e > 90^\circ$ alors mauvais mouillage et ménisque convexe (bombé). L'eau adhère aux parois et le mercure évite les parois.

B. Ascension dans un tube

Vidéo de l'ascension d'un liquide dans différents tubes capillaires. Plus le tube est fin, plus le liquide monte haut. Schéma liquide dans un tube de rayon r , rayon de courbure du ménisque R , angle de contact θ . On applique la loi de Laplace entre A et B :

$$\Delta P = P_A - P_B = \frac{2\gamma}{R} = \frac{2\gamma \cos(\theta)}{r}$$

Puis $r = R \cos \theta$ donc $\Delta P = \frac{2\gamma \cos(\theta)}{r}$

En appliquant l'équation de l'hydrostatique :

$$P_C = P_B + \rho_f g h$$

$$P_D = P_A + \rho_g g h$$

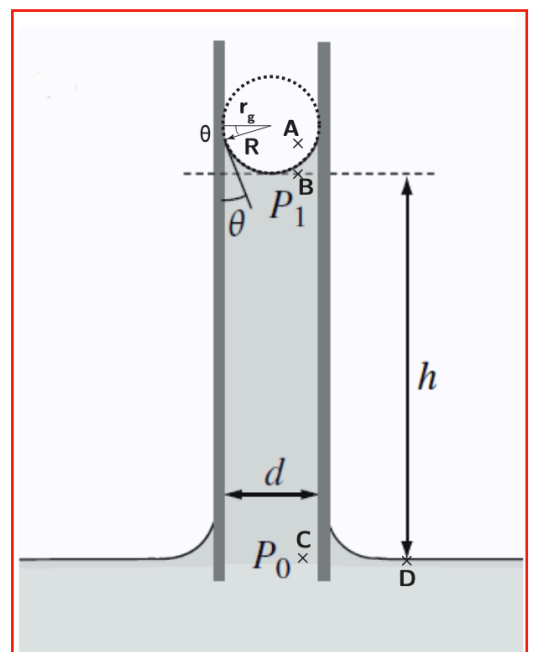
Ainsi on a en supposant que $P_C = P_D$ et $\rho_f \gg \rho_g$:

$$P_D - P_C = P_A - P_B + (\rho_g - \rho_f) g h$$

$$0 = \Delta P - \rho_f g h$$

$$\text{Donc } \Delta P = \rho_f g h = \frac{2\gamma \cos(\theta)}{r}$$

$$\text{on obtient la Loi de Jurin : } h = \frac{2\gamma \cos(\theta)}{\rho_f g r}$$



En effet, plus r est petit, plus h est grand. Cette loi permet de mesurer γ (en supposant un mouillage idéal $\theta = 0$: $\gamma = \frac{h\rho_f r}{2}$)

Conclusion

Expérience : Pince à nourrice flotte dans eau, puis coule avec tensioactif (savon).

Questions

Pour les toiles d'araignées, pourquoi l'eau n'entoure pas entièrement les fils ?

instabilité plateau Rayleigh. Si on prend un fil, le liquide fera une ondulation autour du fil car la tension de surface tend à minimiser la surface du liquide.

Faire le calcul pour le cube en métal (qu'on immerge dans le savon) pour montrer que le cube de savon formé sera plus petit que le cube en métal

Réponse :

"phénomène capillaire" Pourquoi cette nomenclature ?

car ce sont des phénomènes qu'on voit à faible dimension notamment dimension cheveux d'où le mot capillaire

Expérience générateur bulles : pourquoi ça ne fonctionne pas bien tout le temps ?

L'intérieur du tube n'est pas complètement sec. Il y a des traces de savon.

Incertitude dans l'expérience quantitative

$\chi^2 = 0.69$. On ne peut pas vraiment estimer la bonne valeur de γ dans ce mélange.

Pourquoi les bulles explosent dans le générateur de bulles ?

aspect drainage par la gravité. Il y a aussi une influence par la température, l'humidité et la pression dans la salle.

Pourquoi on ajoute du glycérol dans l'eau savonneuse ?

pour rendre le liquide un peu plus visqueux.

Plus on met savon, plus ça baisse la tension de surface du liquide savonneux ?

Non car à un moment il y a un effet de seuil

Les molécules du savon vont se mettre à la surface de l'eau ?

ils vont former des micelles

Paramètre d'étalement

$$S = E_{\text{substrat}}^{\text{sec}} - E_{\text{substrat}}^{\text{mouille}} = \gamma_{SG} - (\gamma_{SL} + \gamma)$$

Si on incline le solide, comment sera la forme de la goutte liquide ? Est-ce que ça dépend de la vitesse du mouvement du solide ? Ça correspond à quel nombre sans dimension ?

Les 2 angles des 2 côtés de la goutte liquide ne seront pas symétriques tel que celui qui est vers le bas sera le plus grand. Oui ça dépend de la vitesse. Puisqu'il y a un lien avec la vitesse v donc le nombre sans dimension est lié à viscosité η et c'est le nombre capillaire $\eta v / \gamma$.

Elle est comment la bulle d'air dans l'eau ?

Même critères de stabilité. Par loi de Laplace, il y a surpression à l'intérieur de la bulle d'air d'une valeur $2\gamma/R$. Par loi d'Archimède, la bulle d'air remonte vers le haut et sera donc déformée et perdra son allure sphérique parfaite. Elle aura une forme aplatie dans le sens du mouvement.

Supposons une grosse bulle dans l'eau dans le cas statique et pas déformée par la gravité. Durant son déplacement, comment on sait si elle garde sa forme sphérique ou pas.

La capillarité sera proportionnelle à l'opposé de la vitesse de l'écoulement du liquide. Si les effets inertiels dominant sur les effets de viscosité, le terme $\rho(\vec{v} \cdot \vec{\nabla})\vec{v}$ équivaut à la tension de surface donc on peut correspondre à un nombre sans dimension : $\rho v^2 L / \gamma$ (nombre de Weber).

Si les effets de viscosité qui dominant, c'est le nombre capillaire $\eta v / \gamma$.

Peut-on obtenir une différence de pression nulle à travers une surface courbe ?

oui si les rayons de courbure (en norme) sont égaux et les 2 courbures sont de courbures orthogonales.

La tension de surface évolue avec la température ? Est-ce qu'elle peut être nulle ?

Pour l'eau, la tension surface à T ambiante est 74 mJ/m^2 . Quand on élève la température, elle diminue. Car on augmente l'agitation thermique donc on diminue la cohésion du liquide. Selon le diagramme (P,T) de l'eau, dans la région super-critique, il n'y a pas d'interface entre la phase liquide et vapeur donc il n'y a plus de tension de surface.

Méthodes de mesure de γ ?

Plusieurs tube et étudier la capillarité par Loi de Jurin ou la méthode de la goutte pendante (mesure de la forme de la goutte) ou la mesure des formes de gouttes en rotation

Le château de sable sur la plage avec du sable humide est un effet capillaire ? Explication par loi de Laplace.

Oui car le sable mouillé est plus cohésif donc le château tiendra sans tomber par l'effet de la gravité. Il est plus cohésif par la formation des ponts capillaires entre les grains de sable. L'eau a tendance à minimiser la surface donc elle rapproche les 2 grains. Par Laplace, pression de la surface d'eau entre les grains est P_{int} et pression hors des 2 grains est P_{ext} . Pour que ça fonctionne il faut que P_{int} soit $> P_{ext}$ donc rayon courbure eau est plus petit. Mais cela ne marche pas si on fait les calculs .. Il faut donc que l'air soit humide pour que cela fonctionne.

équilibre des γ entre les interfaces S-G-L suivant \vec{e}_z

Réponse :

C'est quoi un tensioactif ?

Élément qui diminue la tension de surface. Il est composé d'une tête hydrophile et d'une queue hydrophobe. La tête va se mettre à l'interface du côté de l'eau tandis que la queue sera du côté de l'air, faisant le lien entre l'eau et l'air. Cette configuration permet de diminuer l'énergie de l'interface, et donc diminue la tension de surface.

La dynamique de l'ascension dans la loi de Jurin semble différente en fonction du diamètre du tube? Pouvez-vous discuter des éléments à prendre en compte pour essayer de comprendre pourquoi ça monte plus vite ou plus lentement ?

Plus le rayon est grand, plus la vitesse est grande. Peut se comprendre en ordre de grandeur via $\nabla P \sim \eta \Delta v$ soit $\frac{\Delta P}{h} \sim \eta \frac{v}{r^2}$ avec $\Delta P = \frac{2\gamma}{r}$ d'où $v \sim \frac{2\gamma r}{\eta}$.

Où placeriez-vous cette leçon dans le cours global de mécanique des fluides ?

Après l'équation de Navier-Stokes. C'est presque une domaine un peu à part.

Peut-on imaginer qu'on n'ait pas de saut de pression à travers une surface courbe?

En utilisant l'équation de Laplace pour une surface quelconque, $\Delta P = \gamma(1/R + 1/R')$, R et R' sont les deux rayons de courbures de la surface en un point donné et sont algébriques (compté positivement si le centre de la courbure est à l'intérieur de la surface, négativement sinon). Par exemple, pour un point selle, on a $R' = -R$ impliquant une continuité de la pression.

Dans l'équation de Young-Dupré, vous avez dessiné 3 forces qui ne faisait pas apparaître d'équilibre suivant la normale à la surface. Il n'y a pas équilibre ?

Si, la force de réaction du support compense la composante normale de la force de tension de surface.

D'autres façon pour déterminer γ ?

Tensiomètre à plaque de Wilhelmy : on mesure la force exercée sur la plaque par le liquide grâce à une microbalance, et on peut en déduire γ .

Dessin d'une goutte sur un plan incliné ? De quoi dépendrait l'angle ou les angles de contact ? En statique (immobile) ou dynamique ?

L'angle de contact en statique n'a pas une valeur unique mais une gamme de valeurs possibles qui explique le fait qu'une goutte puisse tenir sur un plan incliné. Cette gamme de valeur possible est réduite (de l'ordre de 5°) pour une surface lisse et propre, mais peut être très large (de l'ordre de 50°) pour une surface rugueuse ou malpropre. En mouvement, l'angle de contact dépendra du nombre Capillaire, nombre sans dimension exprimant l'importance des forces visqueuses par rapport aux forces de tension de surface, correspondant au rapport du produit vitesse x viscosité sur le coefficient de tension de surface.

Pouvez-vous expliquer pourquoi on peut faire des châteaux de sables avec du sable mouillé ?

La présence d'eau va créer un pont capillaire entre deux grains qui va augmenter la force de cohésion entre les grains. Cette cohésion se fait sur une surface beaucoup plus grande pour le grain mouillé grâce au pont capillaire alors que pour un grain sec, cette cohésion se fait au niveau d'une rugosité (très petite surface) et donc insuffisante pour maintenir un château de sable.

Pourquoi les serviettes sont-elles rêches quand elles sèchent ? Quel est le principe d'un adoucissant ?

Lorsqu'une serviette est mouillée, l'eau va chercher à minimiser son interface avec l'air en rassemblant par petit paquet les fibres de la serviette (c'est aussi pour ça que nos cheveux sont collés en sortant de la douche). En séchant, ces petits paquets de fibres restent et sont plus rigides qu'une fibres isolés ce qui donne une texture rêche. L'adoucissant agit par sa tension de surface faible en amoindrissant le rassemblement des fibres par paquets.

 $\gamma(T)$? Que se passe-t-il s'il y a des endroits du fluide qui sont plus chauds que d'autres ?

la tension de surface diminue lorsque la température augmente. Création d'un gradient de tension de surface qui va causer un déplacement du liquide des zones de plus faibles γ (plus forte température) vers les zones de γ élevée (plus faible température), c'est l'effet Marangoni.

On parle parfois de liquide mouillant et de liquide non-mouillant. Valeurs de θ ?

Mouillage total : $\theta = 0$, non-mouillage total : $\theta = \pi$. On parle de surfaces mouillantes quand $0 \ll \theta < \pi/2$ et de surface non-mouillantes quand $\pi/2 < \theta \leq \pi$.

Questions sur la Manip

D'où viennent les incertitudes sur l'expérience?

Incertitudes dominantes sur la mesure du rayon avec le pied à coulisse que j'ai pris de 0.5mm, ce qui est une grande incertitude.

Principe du manomètre ?

Un piézoélectrique subit une contrainte mécanique sous l'effet de la différence de pression, générant une tension que l'on mesure. Le constructeur nous donne la relation de conversion entre tension et pression.

Tensio-actifs :

Les tensioactifs sont constitués de molécules amphiphiles c'est-à-dire munies d'un pôle hydrophile et d'une longue chaîne hydrophobe.

Lorsqu'un tensioactif est ajouté à de l'eau il vient se placer immédiatement à la surface, avec la queue hydrophobe pointant à l'extérieure de la surface. Ce processus s'accompagne d'une stabilisation de la surface et donc d'une chute de la tension superficielle.

Ce n'est qu'une fois la surface saturée, et n'ayant plus d'espace disponible à de nouvelles molécules amphiphiles, que les tensioactifs vont former des structures organisées au sein du liquide : ce sont les micelles.

Les micelles sont des structures sphériques ou ellipsoïdales dont la surface est constituée des têtes hydrophiles des tensioactifs, alors que les queues hydrophobes de ces derniers sont regroupées à l'intérieur.

L'effet nettoyant des tensioactifs découle du fait que les substances hydrophobes, telles que les matières grasses, peuvent être contenues à l'intérieur des micelles.

La concentration de tensioactifs au-dessus de laquelle les micelles commencent à se former est connue comme la concentration micellaire critique (CMC). Elle s'obtient en déterminant la concentration à partir de laquelle la tension superficielle cesse de chuter