

Ecoulements multiphasiques

TDI: tension de surface: Correction

UMPC. NSF I 6. 2009-2010

Jérôme Hoepffner & Arnaud Antkowiak

Ex I: Variation de la tension de surface et mouvements

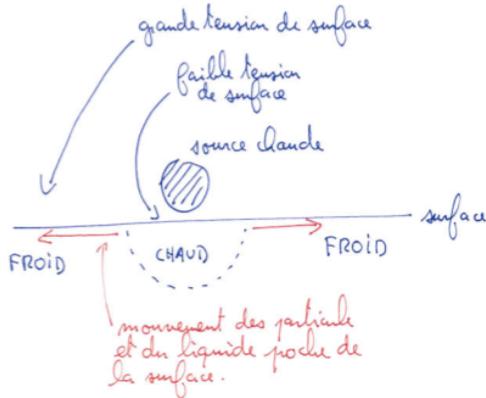


Film 1: On chauffe la surface localement. Les particules servent juste à visualiser le mouvement de la surface du liquide.

- Décrivez en un paragraphe ce que vous observez (décrire sans expliquer!)
- En déduire comment la tension de surface dépend de la température.
- Tracez un schéma qui décrit le processus, avec les forces en actions.

Description: On dépose des petites particules à la surface d'une couche de liquide. Ces particules sont passives: elles n'induisent pas de mouvement. On approche une source chaude de différents points de la surface. On observe que les particules s'éloignent de la source chaude, entraînées par le mouvement du fluide qui les supporte.

Schéma:



Analyse: Nous avons vu en cours que la tension de surface pouvait varier en fonction de différents effets, comme la nature des molécules du liquide ou bien comme ici à cause de la température. Ici le mouvement est du chaud vers le froid, donc la surface froide tire plus fort que la surface chaude. Le gradient de température entre le liquide chauffé localement et le reste du bain induit un gradient de tension de surface et donc une force. En général, comme ici, la tension de surface décroît avec la température.

Posez-vous la question: Dessinez le champs de vitesse dans le liquide juste sous la surface: quel est le rôle joué par la viscosité? Que se passerait-il si la viscosité n'existait pas?

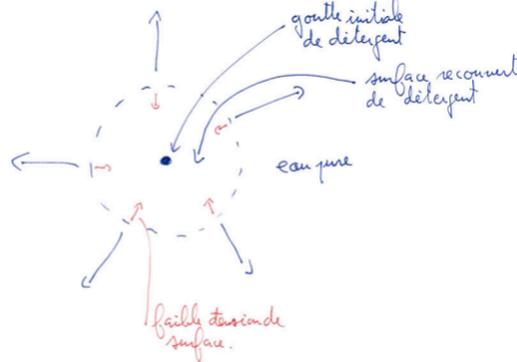


Film 2: On dépose une goutte de détergent. Les particules servent juste à visualiser le mouvement de la surface du liquide.

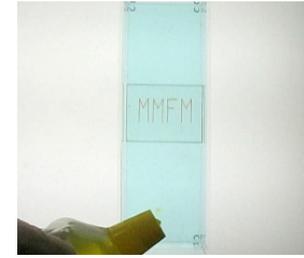
- Décrivez en un paragraphe ce que vous observez (décrire sans expliquer!)
- En déduire si la tension de surface du savon est plus grande ou plus petite que celle de l'eau.
- Tracez un schéma qui décrit le processus, avec les forces en actions.

Description: On dépose de nouveau des petites particules qui restent posées à la surface d'un bain liquide. Ces particules jouent ici le rôle de "traceurs" puisqu'elles nous permettent de voir les mouvements du liquide à la surface. On dépose une goutte de détergent et on observe une fuite radiale des particules.

Schéma:



Analyse: Si le liquide à la surface est attiré loin de la goutte, c'est parce que la tension de surface du détergent est plus faible que celle de l'eau.

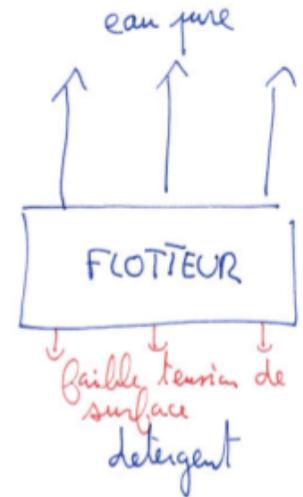


Film 3: On dépose une goutte de détergent.

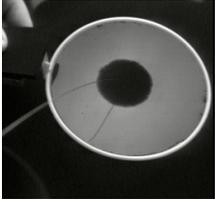
- Décrivez en un paragraphe ce que vous observez.
- Tracez un schéma qui décrit le processus, avec les forces en actions.

Description: On a déposé à la surface d'un bain liquide un solide qui flotte (MMFM= multi-media fluid mechanics...). On dépose une goutte de détergent d'un côté du flotteur, et on observe le mouvement du flotteurs vers l'autre côté.

Schéma:



Analyse: Ici, au lieu d'avoir un cas de gradient de tension de surface, nous avons un cas plus simple de *différence* de tension de surface, entre les deux côtés du flotteur.

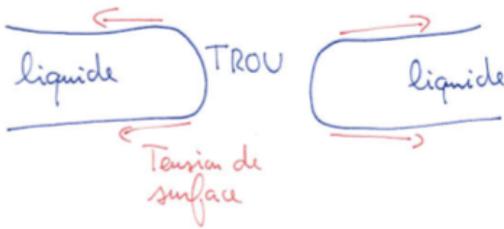


Ex2: Un film liquide percé par une aiguille.

- Décrivez ce que vous observez en un paragraphe.
- Faire un schéma qui montre ce qui se passe, qui explique pourquoi le trou grandit.

Description: Un film de savon est établi sur un anneau, que l'on perce avec une aiguille. Le film est présenté au ralenti: ce phénomène est extrêmement rapide. On observe que le petit trou initialement créé par le contact de l'aiguille et du film grandit en adoptant la forme d'un disque, jusqu'à la disparition complète du film de savon.

Schéma:



Analyse: Une fois qu'un trou est créé, il n'y a plus de force vers le centre pour équilibrer la tension de surface du film de savon: le liquide est tiré vers l'anneau. Le mouvement est très rapide parce que l'accélération du liquide est égale à la tension de surface fois le périmètre du trou, et le poids du liquide est très faible puisque le film est très mince. Nous verrons plus tard comment quantifier la vitesse de récession du film: loi de Taylor-Culick.

Posez-vous la question: Ou est passé le fluide qui était à la place du trou? Refaites le schéma pour un temps plus avancé.

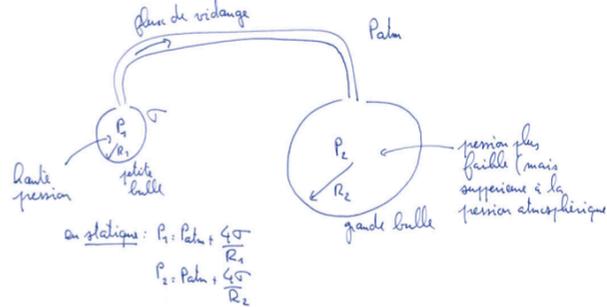


Ex3: Deux bulles sont reliées par un tube.

- Décrivez ce que vous observez en un paragraphe.
- Faire un schéma qui montre ce qui se passe, qui explique pourquoi la petite bulle se vidange dans la grande.

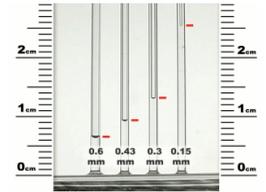
Description: On observe que la bulle qui était initialement plus petite se vidange dans la bulle qui était initialement plus grande: le gaz passe de la petite vers la grande.

Schéma:



Analyse: Nous avons vu en cours que la courbure d'une interface induit un saut de pression, c'est la loi de Laplace. Plus la bulle est petite, plus la courbure est grande, donc plus la pression interne est grande. Si l'on connecte deux bulles de différentes tailles: la différence de pression va induire un flux de la petite bulle vers la grande, donc la petite bulle devient plus petite, et la grande devient plus grande.

Posez-vous la question: Nous avons vu en cours la notion d'énergie de surface. Expliquez le phénomène observé grâce à ce type d'argument: exprimez la conservation du volume de gaz contenu dans les deux bulles, et exprimez la variation de la surface totale: quelle configuration a la plus faible énergie de surface? Qu'est devenue l'énergie totale initiale au cours de la vidange?

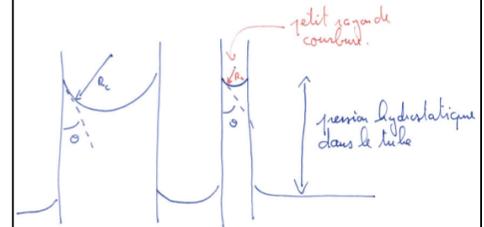


Ex4: Loi de Jurin: l'interface est sous la forme d'une calotte sphérique.

- Décrivez ce que vous observez en un paragraphe.
- Faire un schéma qui montre ce qui se passe, qui explique pourquoi l'eau monte dans le tube capillaire (indice: la courbure de la surface est de signe opposée à celle d'une bulle)

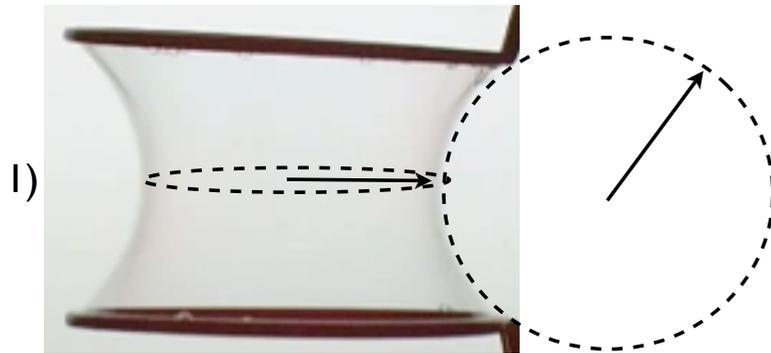
Description: Quatre tubes de verre ont une extrémité immergée dans un bain liquide. On observe que le liquide monte dans les tubes, d'autant plus haut que le tube a un diamètre intérieur faible.

Schéma:



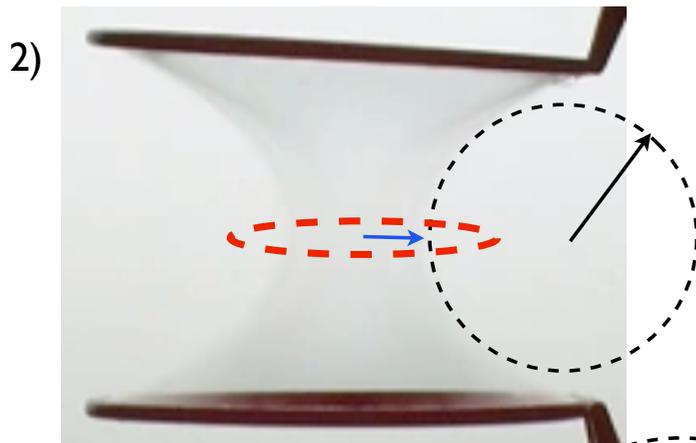
Analyse: Nous avons vu en cours que l'angle de contact est imposé par les interactions entre le liquide, le solide et le gaz au niveau de la ligne de contact. Ici l'angle de contact est donc le même pour les quatre tubes. Du coup, le rayon de courbure ne sera pas le même, puisque les diamètres intérieurs diffèrent. La courbure induit un saut de pression à l'interface, qui doit être équilibré par la pression hydrostatique. Ce phénomène de montée capillaire est responsable de la montée du café dans le sucre ou encore de l'imbibition d'un buvard par de l'encre, il est utilisé en chimie pour l'analyse chromatographique.

Posez-vous la question: On observe que la vitesse de montée est plus faible dans le tube le plus mince: à quoi est dû cet effet? (Loi de Washburn)



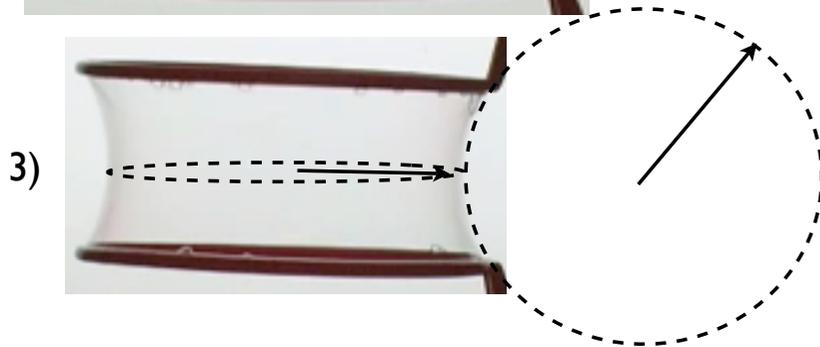
Ex5: Catenoïde de savon

- Décrivez en un paragraphe ce que vous observez sur le film.
- Expliquez pourquoi la surface de ce film de savon a une courbure nulle
- Donnez une méthode graphique pour la photo 1, pour vérifier que la courbure est nulle: faire un schéma.
- Une de ces trois surfaces n'est pas à courbure nulle, laquelle? Que se passe-t'il?



Réponse partielle: On peut mesurer graphiquement les rayons de courbures sur les photos pour les points qui sont sur le plan de symétrie horizontal comme ici avec des cercles en pointillés. Pour l'image 2), on voit bien que le rayon de courbure dans le plan horizontal est plus faible que le rayon de courbure dans le plan vertical.

Ainsi, la force de tension de surface vers l'extérieur dans le plan vertical, ne peut plus équilibrer la force vers l'intérieur due à la courbure dans le plan horizontal: on observe une accélération vers l'intérieur jusqu'à ce que le film de savon se reconnecte en deux films qui finiront tendus sur chacun des anneaux.



Écoulements multiphasiques

TD2: capillarité/gravité, quantification, angle de contact

UMPC. NSF16. 2009-2010

Jérôme Hoepffner & Arnaud Antkowiak



Ex1: 1) Microgravité et angle de contact: ce que le capitaine Haddock observe respecte-t'il les lois de la physique? Faites un schéma du verre de Whisky en apesanteur.

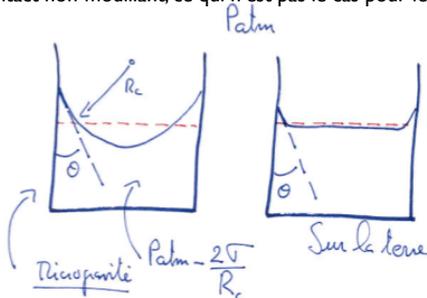
2) Donnez l'expression de l'énergie qu'il faut fournir pour extraire le whisky du verre (création de surface). Définissez les paramètres dont vous avez besoin.

3) Tracez le schéma de ce qui se passerait si on faisait l'expérience de Jurin en microgravité

1) Nous avons vu en cours la définition de la longueur capillaire: lorsque la tension de surface est en compétition avec la gravité, la tension de surface gagne lorsque les dimensions du système sont plus petites, ou de l'ordre de grandeur de cette longueur. En microgravité, le longueur capillaire est très grande, bien plus grande que le verre du capitaine, pareil que dans les tubes capillaires que nous avons vu pour la loi de Jurin.

l'angle de contact est imposé par les conditions d'attraction du solide, du liquide et du gaz, et ne dépend pas de la présence ou absence de force de gravité. Le saut de pression à travers l'interface est décrit par la loi de Laplace. Dans le liquide, la pression doit être constante puisqu'il n'y a pas de variation hydrostatique. Ceci implique que la courbure de l'interface est partout constante. La surface est au repos sous la forme d'une calotte sphérique qui satisfait l'angle de contact.

Ainsi, un liquide ne peut sortir du verre sous la forme d'une sphère que si l'angle de contact est égal à 2π : contact non-mouillant, ce qui n'est pas le cas pour le whisky dans un verre.



2) Selon ce que nous avons vu dans le cours pour la détermination de l'angle de contact:

énergie fournie = énergie finale - énergie initiale

$$= (\text{surface de la sphère} \times \text{tension de surface whisky-air}) - (\text{surface whisky-verre} \times \text{tension de surface whisky-verre}) - (\text{surface de la calotte} \times \text{tension de surface whisky-air})$$

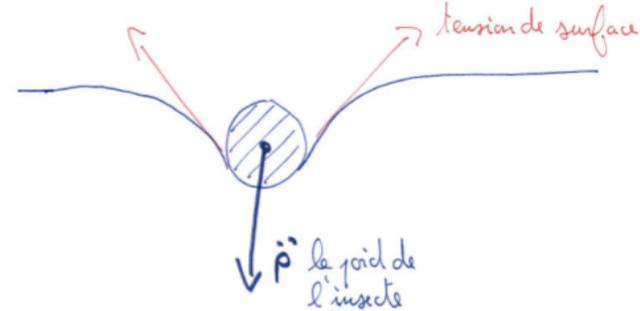
3) La montée n'est plus contrée par la gravité: le tube se remplit entièrement.



Ex2: Comment flotte le Gerris? tracez un schéma qui montre comment cet insecte se maintient à la surface de l'eau



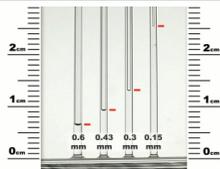
Le poids de l'insecte tend à le faire s'enfoncer dans l'eau et donc à courber l'interface, puisque ses pattes sont non-mouillantes: il se crée un ménisque inversé qui tire vers le haut. Si les pattes étaient mouillantes, le ménisque tirerait vers le bas. Si on dépose du détergent à la surface de la marre, la tension baisse, et il risque de couler... Sur la photo de gauche, on peut voir la manière dont la surface de l'eau est défléchie.



Ex3: Étalement de gouttes: Discutez les différences entre la figure 1 et la figure 2.

Pour les deux images l'étalement change, mais pour deux raisons différentes:

En haut, le volume est constant mais l'étalement varie à cause de la variation de l'angle de contact des trois liquides différents. En bas l'angle de contact est constant parce que le liquide n'est pas changé, mais l'étalement augmente lorsqu'on augmente le volume.



Ex4: Loi de Jurin:
 1) Quelles grandeurs physiques du liquide pouvez vous déterminer à partir de la photo (ou relation entre les grandeurs physiques)?
 2) que se passe-t'il si l'angle de contact est plus grand que 90 degrés? Faites le schéma qui correspond à la photo dans ce cas.

$$\rho g z = \frac{2\sigma \cos \theta}{R}$$

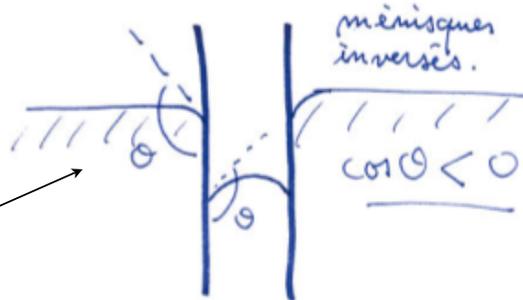
Nous avons vu dans le cours que le poids du liquide est équilibré par la traction de la surface le long de la ligne de contact:

Les inconnues sont la tension de surface et l'angle de contact, qui ne varient pas pour les quatre tubes. Donc il suffit de la mesure d'un seul tube pour connaître sigma fois cos theta, mais on ne peut pas les connaître séparément.

On peut quand même vérifier que la hauteur fois le rayon est une constante pour les quatre tubes:

Lorsque l'angle de contact est plus grand que 90 degré, le liquide descend au lieu de monter (et le ménisque est inversé)

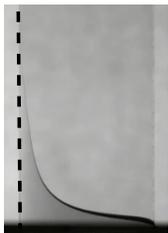
[0.6	6.7,	0.43	9.3,	0.3	13.1,	0.15	25.5]
ans =							
4.0200		3.9990		3.9300		3.8250	



Ex6: La pièce qui flotte: tracez un schéma qui montre l'équilibre des forces qui permet à la pièce de flotter à la surface de l'eau. Définissez les paramètres importants et écrivez les équations d'équilibre.



Indication: Ici, c'est le même problème que pour le Gerris, sauf que il y a une force de flottaison en plus due à la pression hydrostatique sous la pièce. Ce problème est un "problème surfacique", alors que le problème du Gerris est un "problème linéique" pour lequel la résultante de pression est faible.



Ex5: Montée capillaire entre deux plaques: donner l'expression de la hauteur de l'interface entre deux plaques de verres (les deux plaques sont presque parallèles, elles font un petit angle alpha et sont en contact le long de la ligne pointillée).

Si on appelle L la distance entre les deux plaques:

$$L = x \cos \theta$$

L'équilibre des forces:

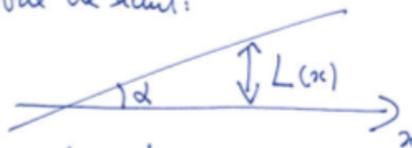
$$\rho g z = \sigma \cos \theta / L \quad \text{Attention, pas de facteur 2! Savez-vous pourquoi?}$$

Donc on a:

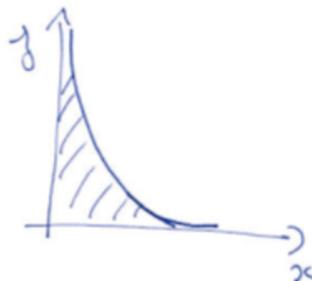
$$z = \frac{\sigma \cos \theta}{\rho g \sin \alpha} \times \frac{1}{x}$$

La seule variable est x, donc la surface décrit une hyperbole (théoriquement, la hauteur tend vers l'infini lorsque x tend vers zéro).

vue de haut:



vue de côté:



Ex7: Energie de surface: Calculer l'énergie de surface à fournir pour obtenir un litre de vinaigrette (émulsion de gouttelettes d'huile dans du vinaigre; deux tiers d'huile, un tiers de vinaigre). Tension de surface huile/vinaigre: 50mJ. On veut obtenir des gouttelettes d'huile de rayon un dixième de millimètre.



Indication: l'énergie à fournir c'est l'énergie finale: surface des petites sphères d'huile fois la tension de surface, moins l'énergie initiale: surface sous la forme d'un disque entre l'huile et le vinaigre fois la tension de surface. Dans ce calcul il faudra prendre en compte la conservation du volume d'huile lorsqu'on passe d'un cylindre aux gouttelettes.