

# LPOB : Tension de surface. Phénomènes capillaires

Géraud Dupuy

**Niveau : L3**

**Prérequis :**

- Mécanique des fluides : fluide parfait, écoulement visqueux
- Interactions de Van der Waals, liaisons hydrogène
- Potentiel thermodynamique : enthalpie libre
- Notion de courbure d'une surface : rayon de courbure
- Instabilités

## **Introduction**

Si on avait juste des écoulements, comment peut on expliquer certaines structures particulières comme celles-ci (sur diapo) : bulle de savon, gouttes sur une toile d'araignée.

## **1 Notion de tension de surface**

### **1.1 Mise en évidence expérimentale**

- Faire l'expérience du barreau sur un rail
- Montrer qu'on peut mettre en évidence une force tangentielle à l'interface

### **1.2 Origine microscopique**

- Faire l'explication à base d'interaction attractives (sur diapo)
- Montrer l'idée de minimisation de surface, d'où la sphère.
- On peut effectuer le calcul en ordre de grandeur. Rapporter ça aux ordres de grandeurs des interactions :

- énergie de stabilisation  $U \sim k_B T \sim \frac{1}{40} eV$ , déstabilisation de  $\frac{U}{2}$
- Surface en  $a^2$
- on en déduit  $\gamma \frac{U/2}{a^2} \sim 20 mJ/m^2$
- Valeurs de tension de surface (sur diapo) pour différents liquides cohérentes avec calcul ODG (eau au dessus car liaisons H, mercure car liaisons métalliques)

### 1.3 Description thermodynamique

- Montrer que cela revient à prendre en compte un terme en plus dans l'identité de thermo avec G.
- En redéduire la force.

## 2 Discontinuité de la pression

### 2.1 Loi de Laplace

- Système { goutte de liquide de rayon  $r$  ( $P, T$ ) + gaz ( $P_0, T_0$ ) }
- $G = U - T_0 S + P_0 V$   
 $dG = \dots = (P_0 - P)dV + \gamma dA + (T - T_0)dS$   
 $dG = (P_0 - P)4\pi r^2 dr + \gamma 8\pi r dr + (T - T_0)dS$   
 $dG = (P_0 - P + \frac{2\gamma}{r})4\pi r^2 dr + (T - T_0)dS$
- A l'équilibre :  
 $P = P_0 + \frac{2\gamma}{r}$   
 $T = T_0$
- (Démonstration dans le cas général avec Green Ostrogradski)
- Explicitation dans le cas général avec les rayons de courbure. Cas de la goutte, cas de la bulle.

### 2.2 Adhesion capillaire

- Bien setup le problème (schéma avec hauteur  $H$  entre les deux lames, rayons de courbure  $R_{c,1}$ , et  $R_{c,2}$ , angle à l'horizontale  $\theta_e$ , différence de pression (loi de Laplace)). Bien expliquer les rayons de courbures et les hypothèses.
- Faire des ordres de grandeur :  $H \sim 5 \mu m$ ,  $R \sim 1 cm$ ,  $\theta_e \sim 0 rad$
- Sous l'hypothèse  $R \gg H$ , on aboutit à  $\delta P \approx 0,3 bar$ , soit pour une surface de  $1 cm^2$ , une force de l'ordre de  $10 N$ .
- Manip : le mettre en évidence avec les lames de microscope.

## 3 Instabilités et capillarités

### 3.1 Longueur capillaire, nombre de Bond

- Poser le problème d'une goutte d'eau juste soumise à la gravité et à la tension de surface
- Montrer les deux termes de surpressions  $\Delta P_{grav} \sim \rho g l$  et  $\Delta P_{cap} \sim \frac{\gamma}{l}$
- Les comparer. Faire ressortir la longueur capillaire  $l_c$  et le nombre de Bond  $Bo$

### 3.2 Instabilité de Rayleigh-Plateau (sur diapo)

- Poser le problème sur un fil de 100  $\mu\text{m}$  d'épaisseur.
- Donner le nombre de Bond :  $Bo \sim 0,01$  : gravité négligable.
- Faire les calculs du gain d'énergie d'une instabilité sinusoïdale
- Donner l'évolution de l'instabilité
- Manip : Le montrer sur l'exemple d'un écoulement d'un robinet avec un stroboscope.

## 4 Conclusion

On a des très belles structures, qui ne demande qu'à être détaillées. La beauté de ces phénomènes, c'est que ça touche à la physique du quotidien, et que de nombreuses questions peuvent se poser.

## Bibliographie

- Pierre Gilles de Genes; Gouttes, bulles, perles, et ondes
- Diu, Thermo

## Questions

- Choix du niveau L3 ? Abordable niveau L2/CPGE.
- Prérequis instabilités ? être capable d'identifier système instable si  $\frac{d\delta x}{dt} > 0$
- Autres types d'instabilité ? Rayleigh Bénard (convection), Kelvin-Helmoltz, modèles climatiques ...

- Que doit un élève retenir sur  $\gamma$  ? Dimension : force linéique (N/m) et énergie surfacique (J/m<sup>2</sup>), signe, odg. Tableau récapitulatif ?
- Qu'est-ce qui se passerait si  $\gamma < 0$  ? Système qui se fractionnerait spontanément.  $\gamma = 0$  ? Point triple de l'azote.
- Choix des manip : vidéo du rail qui montre l'existence de la force ; possibilité de tremper un cube dans de l'eau savonneuse pour montrer la minimisation de la surface.
- Plus insister sur l'idée de minimisation de surface ; de façon générale, mettre un peu plus de liant au sein des parties.
- Facteur deux pour la force : 2 surface pour l'énergie, deux lignes de contact pour la force.
- Mesure de  $\gamma$  ?
- Commenter le résultat de la loi de Laplace (calcul qui prend du temps, voir s'il faut le faire au tableau ; peut-être l'amener avec une manip et la poser ad hoc ?) : qu'est ce que ça signifie que la pression est différente des deux côtés ? Possibilité de le montrer avec la stabilisation des mousses (mûrissement d'Oswald : petites bulles qui se déversent dans les grosses bulles car la pression y est moindre.)
- Schéma avec rayons de courbure sur diapo.
- Exemples d'adhésion capillaire au quotidien ? Poils de pinceau, insectes sur les murs (humidité au bout des pattes)
- Manip d'adhésion capillaire : améliorer avec un système de masse qu'on accrocherait à la lame pour caractériser la force nécessaire à appliquer ?
- Choix des ODG : mieux les justifier (montrer  $R$ , justifier  $\theta_e \sim 0$  car eau liquide mouillant. Commenter la valeur de la force trouvée !
- Commenter la longueur capillaire : goutte vs flaque.
- Si erreur sur slide, la corriger au tableau.
- Dégager plus de temps pour cette partie.
- Diapo d'intro : s'efforcer de reboucler sur les exemples présentés au début de la leçon.
- Ajustation de la fréquence du stroboscope ? Dire qu'on est limité techniquement (débit du robinet pas contrôlable, et fin de gamme du strobo). Sinon prendre un vase de Mariotte pour gérer le débit.
- Autres questions et notions : forme des ménisques, loi de Jurin (si hauteur de Jurin > hauteur du capillaire, kespasstil ?), application au sopalin, Young-Dupré.