

LP 26 - Mouillage

Niveau : L2

Prerequis

- * Principe fondamental de la dynamique
- * Forces de pression
- * Description microscopique de la matière
- * Forces intermoléculaires
- * Notion de travail et de forces

Bibliographie

- * Frochard
- * Gouttes, bulles, pélois et ondes - De Gennes

Expérience : mesure d'angle avec caméra par mouillage
Mesure tension superficielle par arrachement

Introduction Pédagogique

- * Ce cours se place au niveau L2 car il aborde des notions avancées de mécanique des fluides, et il nécessite donc un gros bagage scientifique
- * Il vient en fin de grande partie sur la mécanique des fluides, les élèves sont donc familiers avec la description des fluides et les forces de pression
- * Par faire certaines démonstrations on aura besoin que les élèves maîtrisent les lois fondamentales de la mécanique, les notions de travail et forces, ainsi que la description microscopique de la matière, avec les forces intermoléculaires
- * On a fait le choix d'introduire dans ce cours la notion de tension superficielle car elle sert directement dans les démonstrations et dans l'explication du phénomène
- * Ce phénomène a déjà pu être observé par les étudiants, mais il n'est pas forcément intuitif
- * On a fait le choix de faire une description très générale du phénomène par que l'élève puisse appréhender le phénomène puis on affinera progressivement la description du phénomène, en introduisant la tension superficielle par fin pour arriver à la loi de Young-Dupré
- * Les difficultés sont avant tout dans la compréhension du phénomène, ainsi que dans les calculs de variation d'énergie
- * On mettra en place des expériences pour aider à la compréhension, ainsi des schémas pour bien décomposer les phénomènes
- * TD sur des phénomènes utilisant la tension superficielle : cohésion capillaire
↳ force exercée par deux plaques avec une goutte au milieu
- * TP sur la loi de Jurin pour aller plus loin dans le cours
- * Etude de cloe sur les méthodes pour changer le mouillage

Introduction

* Bonjour à tous, aujourd'hui nous allons parler de mouillage, ça vous dit peut être vaguement quelque chose ?

* Vous avez sûrement déjà constaté que l'eau ne se comporte pas pareil sur toutes les surfaces

↳ projection

* Le mouillage : c'est le comportement d'un liquide en contact avec une surface

Solide

* C'est quelque chose de beaucoup utilisé, en effet on peut chercher à avoir des liquides qui s'étalent au maximum : peinture

* Ce des surfaces où les liquides accrochent le moins possible,

* Par ça on va donc devoir étudier le mouillage

objectif : Comprendre l'origine du mouillage et savoir quantifier le phénomène

Transition On va donc déjà commencer par voir les phénomènes à l'origine du mouillage

I - Du mouillage à la tension superficielle

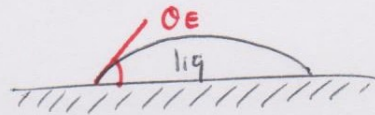
A - Différents type de mouillage.

- * Comme on l'a vu sur les photos en introduction, quand on dépose une goutte sur une surface, elle va plus ou moins s'étaler
- * Par exemple si je met une goutte sur du verre elle s'étale bien, alors que si je la met sur du plastique ce n'est pas le cas.

↳ expérience ⊕ camera ⊕ photo 🗨

- * On peut donc définir plusieurs types de mouillage:
- * mais il nous faut un paramètre pour pouvoir les caractériser:

↳ on regarde l'angle de contact θ_E



- $\theta_E = 0^\circ$: mouillage total ou parfait
- $\theta_E = 180^\circ$: mouillage nul
- θ_E autre: mouillage partiel.

- * Dans le cas de l'eau on parlera de matériaux $\pm$ hydrophobe

↳ projection

- * Si on essaye avec d'autres liquides, on voit que le mouillage dépend aussi du liquide → exp 🗨

- * Le mouillage dépend donc du solide et du liquide

Transition: Comment est-ce qu'on peut justifier la différence de mouillage?

B. Tension superficielle

- * Pour comprendre le mouillage, il faut d'abord comprendre ce qu'est la tension superficielle
- * Au niveau microscopique les molécules ont une cohésion dans les phases condensées grâce à leurs interactions
- * Mais en surface, les molécules perdent la moitié de leurs interactions
 - ↳ projection
- * Les interfaces entre 2 milieux ont un coût énergétique!
- * Comme toujours, on va chercher à minimiser l'énergie du système
- * On définit alors la tension superficielle comme paramètre pour quantifier ce phénomène.
- * Pour augmenter l'aire d'une interface de dA , il faut fournir un travail:

$$\boxed{\delta W = \gamma dA} \quad : \quad \gamma : \text{tension superficielle, en } \text{J} \cdot \text{m}^{-2} : \text{énergie surfacique}$$

- * Pour donner un ordre de grandeur, si l'énergie de cohésion au sein du liquide vaut U , à la surface on perd donc $\frac{1}{2}U$
- * Une molécule a une dimension a^2

$$\hookrightarrow \gamma = \frac{U}{2a^2} \quad : \quad \text{huile: VdW: } U \approx 40 \text{ meV} \quad a \approx 0,3 \text{ nm} \Rightarrow \gamma = 20 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{eau: liaisons H: } \gamma = 70 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{sels fondus: liaisons ioniques: } \gamma = 120 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$$

Transition: Maintenant qu'on sait ce qu'est la tension superficielle, comment est-ce qu'on peut comprendre le mouillage?

II - Critère de mouillage

A - Etallement du liquide

- * Comme on l'a vu, la tension superficielle est une énergie surfacique.
- * Dans notre cas on a trois interfaces
 - Solide gaz
 - Solide liquide
 - Liquide gaz
- * Il faut regarder la différence d'énergie avant et après l'ajout de la goutte

$$\begin{aligned} \hookrightarrow S &= E_{\text{sec}} - E_{\text{mouillé}} \\ &= \gamma_{SG} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LG}) \end{aligned}$$

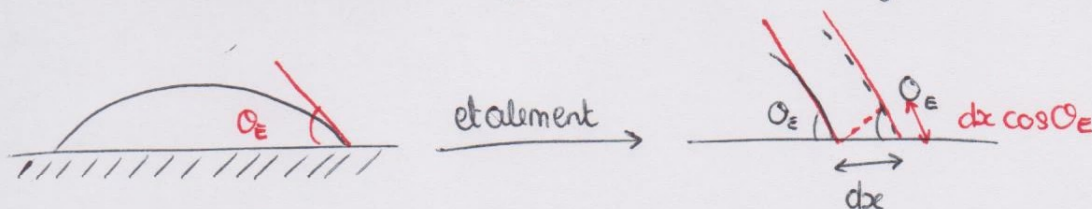
- * On appelle S le paramètre d'etallement
 - $S > 0$: l'énergie est plus faible avec le liquide: mouillage total
 - $S < 0$: mouillage partiel $\Rightarrow$ la goutte forme un angle θ_e avec le solide
- $\hookrightarrow$ projection

- * Par des solides métalliques, ioniques ou covalents la tension γ_{SG} est grande on a souvent étallement total
- * Par des solides avec liaisons VdW (polymères): mouillage partiel

Transition: On arrive à savoir si on a un mouillage partiel ou total, mais il serait quand même bien de savoir si θ_e est proche de 0 ou 180.

B - Loi d'Young Dupré

- * Dans un mouillage partiel, la goutte s'étale un peu
- * On va chercher à trouver l'angle qui minimise l'énergie des 3 interfaces



- * Si la goutte se déplace de dx

$$\left. \begin{aligned} dA_{SG} &= -p \cdot dx \\ dA_{SL} &= +p dx \\ dA_{LG} &= p \cos \theta_E dx \end{aligned} \right\} dE_s = -\gamma_{SG} p dx + \gamma_{SL} p dx + \gamma_{LG} p \cos \theta_E dx$$

- * On cherche le minimum de cette énergie donc $dE_s = 0$

$$\Rightarrow -\gamma_{SG} + \gamma_{SL} + \cos \theta_E \gamma_{LG} = 0$$

Ainsi $\boxed{\cos \theta_E = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}}}$: Loi d'Young Dupré

- * par convention $\theta_E \leq \pi/2$: partiellement mouillant

$$\theta_E \geq \pi/2 : \text{non mouillant}$$

- * On peut essayer de faire des mesures et voir si on retrouve les bons résultats

↳ Exp avec camera ↳ Problème avec poussières etc

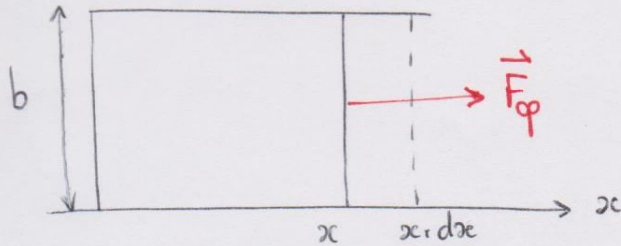


Transition : On a parlé que de phénomènes de surface, mais on n'a pas pris en compte les phénomènes volumiques comme le poids

C. Mesure de tension superficielle (HS ?)

* La tension de surface nous dit donc qu'il faut un travail pour augmenter une surface

* Je peux donc appliquer une force pour augmenter la surface



* Le travail vaut $\delta W = \delta dA = \delta \cdot b \cdot dx = \vec{F}_{\sigma} \cdot d\vec{l}$

* Par principe des actions réciproques : la tension superficielle applique une force

$$\boxed{\vec{F} = - \delta \cdot b \cdot \vec{e}_x} \quad \delta \text{ est une force linéique en } \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

↳ Expérience savon + fil



* Pour mesurer δ on peut utiliser un tensiomètre de Du Noüy

↳ présentation appareil + photo



* PFD

$$\begin{aligned} \text{La force par anneaux sur liq.} \quad \vec{F}_{\sigma} &= - \gamma_{LS} \rho \cdot \vec{e}_z + \gamma_{SG} \rho \vec{e}_z \\ &= - \gamma_{LG} \cos \theta_E \cdot \rho \vec{e}_z \end{aligned}$$

* Sur l'anneau : à l'éq $\vec{F}_{\sigma} - mg + 2\gamma_{LG}\rho \cos \theta_E = 0$

juste avant que la surface ne se brise $\cos \theta_E = -1$

$$\Rightarrow \boxed{\gamma_{LG} = \frac{F_{\sigma} - mg}{2\rho}}$$

Expériences + mesures + incertitude type A

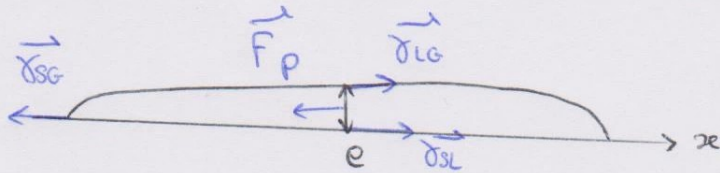
C- Compétition avec la gravité

* Expérience : on ajoute des gouttes



* Si j'ajoute des gouttes, on peut voir que la goutte s'applatit, il y a ici un effet de la gravité

* La goutte a cette forme :



* On fait un pFD sur $\vec{u}_S$

$$-F_p + \sigma_{LG} \cdot L + \sigma_{SL} L - \sigma_{SG} L = 0$$

$$- \int_0^e \rho g dz L + \sigma_{LG} L + \sigma_{SL} L - \sigma_{SG} L = 0$$

$$\Rightarrow -\frac{1}{2} \rho g e^2 + \sigma_{LG} + \sigma_{SL} - \sigma_{SG} = 0$$

$$\text{or } \sigma_{SL} - \sigma_{LG} = -\sigma_{LG} \cos \theta_E$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} \rho g e^2 = \sigma_{LG} (1 - \cos \theta_E) = 2 \sigma_{LG} \sin^2(\theta_E/2)$$

$$\Leftrightarrow e = 2 \sqrt{\frac{\sigma_{LG}}{\rho g}} \sin(\theta_E/2) = 2 l_c \sin(\theta_E/2)$$

avec l_c la longueur capillaire : $l_c = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$: au delà de cette longueur on ne peut plus négliger la gravité.

Conclusion : Dans ce cours on a vu ce qu'était le phénomène de mouillage, qu'on a réussi à quantifier grâce à la tension superficielle, et on a aussi vu qu'en dessous d'une certaine taille caractéristique on pouvait ne pas prendre en compte la gravité.