

LP 27 : MOUILLAGE

Inspiré d'une leçon de Luc Pontoglio

Introduction Pédagogique

Bibliographie

1. Gouttes, bulles, perles et ondes, De Gennes
2. Fruchart p. 466-471

Niveau : L2

Prérequis :

1. Liaison faible : interactions de Van der Waals ; liaisons hydrogènes.
2. Liaison dans les solides
3. Bilans des forces, PFD, travail (Terminale)
4. Thermodynamique : bilan d'énergie (L1)

Objectifs :

1. Comprendre la nature des phénomènes derrière la tension superficielle.
2. Connaître les critères de mouillage.

Difficultés :

1. On a l'habitude de voir une goutte s'étaler sur une surface : les élèves ne se sont normalement jamais questionné sur les phénomènes derrière la formation de goutte.
2. On fait une interprétation microscopique d'un phénomène macroscopique.

TP :

1. Mesure de tension superficielle
2. Mesure d'angle de mouillage, utilisation de la loi de Young-Dupré

Expérience :

— Mesure d'une tension superficielle avec la balance d'arrachement

Table des matières

1	Introduction	2
2	Du mouillage à la tension superficielle	2
2.1	Mouillage	2
2.2	Tension superficielle	3
2.3	Contrôle du mouillage	4
3	Critère de mouillage	4
3.1	Paramètre d'étalement	4
3.2	Loi de Young-Dupré	5
4	Conclusion	5

1 Introduction

Un phénomène que l'on rencontre tout le temps est la formation de goutte d'eau. Que ce soit la rosée qui peut se former sur végétaux ou bien les gouttes de pluie, on est sans cesse confronté à ces structures. Pourtant, comment peut-on expliquer leurs formation? Par exemple, si on place une goutte d'eau sur un matériau, la goutte garde une certaine cohésion. Pourtant le poids devrait faire s'étaler entièrement la goutte sur la surface. Il existe donc une force qui s'oppose au poids et qui permet de garder la cohésion de la goutte. On parle de **mouillage**.

L'objectif de ce cours est de comprendre :

Quels sont les phénomènes physique derrière le mouillage de surface par un liquide et comment caractériser ce dernier ?

2 Du mouillage à la tension superficielle

2.1 Mouillage

https://www.youtube.com/watch?v=_klTqlOHNX4

Si on effectue un test de mouillage d'une goutte sur différentes surfaces, on constate que l'étalement des gouttes est différent en fonction de la nature du matériau qui constitue cette surface. On définit alors **l'angle de raccordement** :

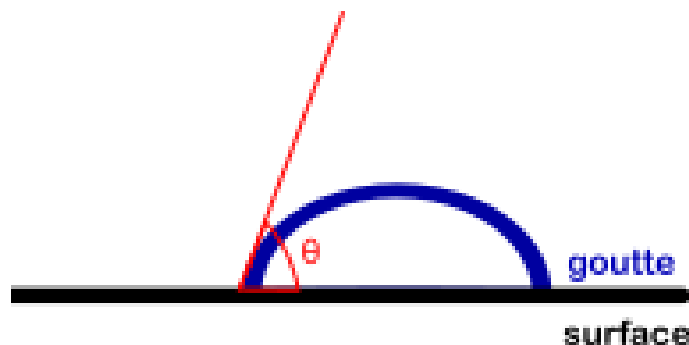


FIGURE 1 – Définition de l'angle de raccordement

Faire l'expérience sur différents types de matériaux

On peut alors définir 2 cas limites de mouillage :

- $\theta = 0$: mouillage total
- $\theta = \pi$: mouillage nul

faire le schéma au tableau

Comme le mouillage de la goutte d'eau dépend de la nature de la surface, les phénomènes physiques qui se cachent derrière le phénomènes vont faire intervenir des interactions microscopique entre la goutte et la surface.

On peut alors catégoriser un matériau grâce au mouillage :

- Si $\theta < \frac{\pi}{2}$, la surface entre la goutte est grande on parle de matériau **hydrophile**
- Si $\theta > \frac{\pi}{2}$, la surface entre la goutte est faible on parle de matériau **hydrophobe**

Attention : Cette classification n'est valable que pour l'eau. Pour un autre liquid on parlera de matériau mouillant/ non mouillant.

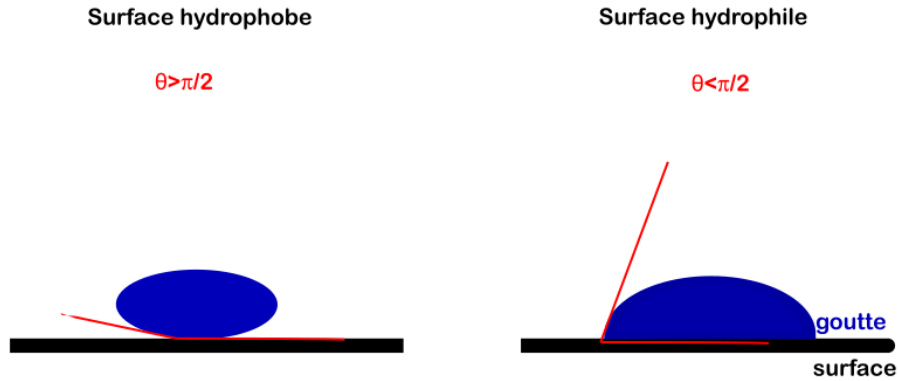


FIGURE 2 – Classification des matériaux en fonction de l'angle de raccordement

Ainsi, le mouillage est due à des interactions microscopiques entre la goutte et la surface. Quelle est la nature de ces interactions et comment les caractériser au niveau macroscopique ?

2.2 Tension superficielle

Faire schéma

En effet, dans un liquide, les molécules réalisent des interactions stabilisantes entre elles. A l'intérieur du liquide ces interactions sont réalisées dans toute les directions. En revanche, à l'interface entre le liquide et l'extérieur, les molécule réalise moins d'interaction : la création d'une interface est défavorable

Ainsi, le système évolue afin de minimiser la surface de contact. SI on veut augmenter la surface, il faut appliquer une force, fournir un travail.

Pour augmenter la surface de dA , il faut apporter le travail :

$$\delta W = \gamma dA$$

γ est la tension superficielle, qui s'exprime en $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ou en $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$. Cette tension superficielle dépend de la nature de l'interface, donc de la nature des 2 constituants.

Ainsi plus γ est élevé, plus la création d'une interface est coûteuse en énergie, moins les gouttes de liquide vont adhérer à la surface. Ainsi, c'est pour cela que l'eau forme un ménisque dans une éprouvette ou une fiole jaugée : les molécules d'eau réalisent préférentiellement des interactions avec les groupements silanol de la surface du verre qu'avec l'air.

Comment mesurer la tension superficielle ? Balance d'arrachement : attention 2 interfaces

$$F = 2\gamma \times 2\pi r$$

$$\gamma = \frac{F}{4\pi r}$$

2.3 Contrôle du mouillage

Mesurer la tension superficielle d'une interface est important pour des applications dans la vie courantes. Par exemple, les vitres de voiture sont conçues pour avoir une tension superficielle élevée avec l'eau afin que les gouttes "glissent" sur le pare-brise plutôt que de s'étaler ce qui pourrait gêner la visibilité du conducteur.

Les surfaces peuvent subir un traitement physique ou chimique :

- Traitement physique : augmentation de la rugosité de la surface : exemple Lotus
- Traitement chimique : ajout d'une couche hydrophobe pour limiter le mouillage.

Nous avons pour l'instant introduit 2 grandeurs intervenant dans le mouillage : l'angle de raccordement et la tension superficielle ? Comment relier ces 2 grandeurs ?

3 Critère de mouillage

3.1 Paramètre d'étalement

Pour l'instant, nous avons considéré uniquement l'interface entre le liquide et le solide. Cependant il existe 2 autres interfaces :

- Entre le liquide et l'air, caractérisé par la tension superficielle γ_{LV}
- Entre le solide et l'air, caractérisé par la tension superficielle γ_{SV}

On notera γ_{SL} la tension superficielle entre le liquide et le solide.

Considérons maintenant la surface du solide, qui se partage entre une surface sèche et une surface mouillée. Considérons que la surface mouillée augmente de dA :

- La surface de contact entre le solide et l'air, la surface sèche, diminue de dA .
- La surface de contact entre le liquide et le solide, la surface mouillée, augmente de dA
- La surface de contact entre le liquide et l'air augmente de dA .

L'énergie gagnée par cette augmentation est :

$$dE = -\delta W$$

$$dE = (\gamma_{LV} - \gamma_{SV} - \gamma_{SL})dA$$

$$dE = SdA$$

Avec :

$$S = \gamma_{LV} - \gamma_{SV} - \gamma_{SL}$$

S est le paramètre d'étalement :

- Si $S > 0$, augmenter l'interface est favorable : on a un mouillage total
- Si $S < 0$, augmenter l'interface est défavorable : on a un mouillage partiel avec un angle de raccordement θ

Le paramètre d'étalement est un paramètre qui permet de savoir qualitativement si le mouillage sera total ou non. Comment avoir un résultat quantitatif ?

3.2 Loi de Young-Dupré

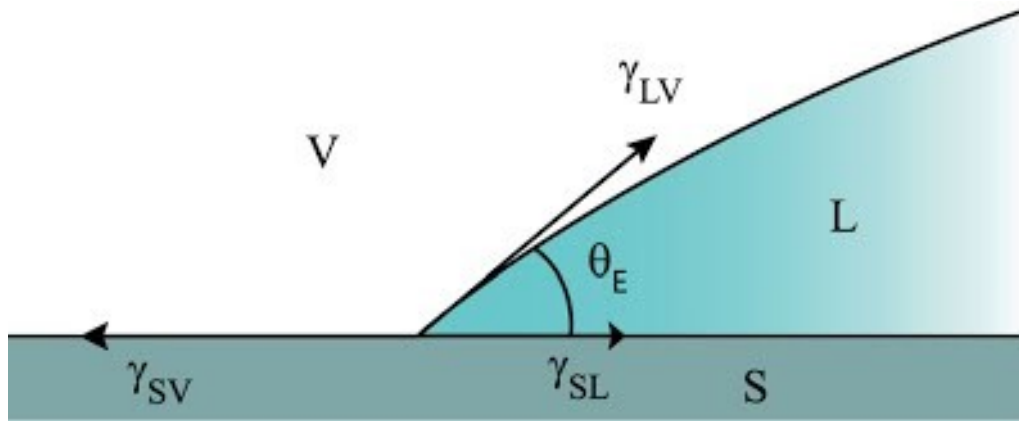


FIGURE 3 – Classification des matériaux en fonction de l'angle de raccordement

Soit L la largeur de la goutte. Il y a un équilibre entre le poids, la réaction du support et 3 forces de capillarité :

- $F = -\gamma_{SG}L\vec{e}_x$
- $F = \gamma_{SL}L\vec{e}_x$
- $F = \gamma_{LG}L (\cos(\theta_E)\vec{e}_x + \sin(\theta_E)\vec{e}_y)$

A l'équilibre selon \vec{e}_x :

$$0 = -\gamma_{SG}L + \gamma_{SL}L + \gamma_{LG}L\cos(\theta_E)$$

On obtient ainsi la loi de Young-Dupré qui relie l'angle de raccordement avec les tensions superficielles :

$$\cos(\theta_E) = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}}$$

4 Conclusion

Ainsi, Anticiper l'affinité d'un liquide pour une surface est important pour des applications industrielles.

Le mouillage est intrinsèquement lié à la notion d'interface et d'interaction microscopique. Ces interactions se manifestent par une énergie potentielle macroscopique, caractérisée par la tension superficielle de l'interface. Le mouillage peut être quantifié par la loi de Young-Dupré.