
MP 02 : Phénomènes de surface

Jean Yo et Bruno

Biblio

"Physique Tout-en-un PC-PC*", Dunod pour le 1.2
"Gouttes, Perles et Ondes", De Gennes & Co
"Hydrodynamique", Guyon Hulin Petit
Quaranta Méca à "Capillarité"
Notice de la cuve à ondes

Rapport du Jury

L'intitulé 2010 était "La tension superficielle". Le jury a fait savoir que ce n'était pas "le seul phénomène de surface pouvant être mis en évidence".

Table des matières

1 Frottements solides	2
1.1 Mise en évidence	2
1.2 Stick & Slip	2
2 La tension superficielle	4
2.1 Mise en évidence	4
2.2 Montée capillaire	5
2.3 Ondes gravito-capillaires	6
3 Mouillage d'une surface solide	7

Introduction

Quelques observations dans la vie de tous les jours :

- quand on pousse une armoire, il est difficile de la faire glisser mais une fois que c'est parti, ça va mieux. Si on pousse sur une surface bien rugueuse, c'est pas la même chose que si on prend un carrelage bien lisse. **CONTACT SOLIDE-SOLIDE**

-quand on fait couler de l'eau d'un robinet, on voit qu'il se forme des gouttes à partir du filet d'eau. Pourquoi les gouttes se forment ? **TENSION DE SURFACE**

-si on observe des gouttes d'eau sur un nénuphar, elles roulent. Quand il pleut, la pluie coule jusqu'en bas des vitres si elles sont bien propres. Si elles sont pleines de poussières, il y a des gouttes qui se forment et qui restent. **SURFACES MOUILLANTES**

Et ben on va étudier tout cela, c'est-à-dire ce qui se passe à une interface (qui sépare deux milieux distincts, ici solide-liquide-gaz).

1 Frottements solides

On s'intéresse ici au contact entre deux solides. *Retour sur l'armoire normande*

1.1 Mise en évidence

Pour un couple de deux solides, on peut observer un régime statique (la boîte ne bouge pas sur ma table) ou un régime dynamique (la boîte glisse). Ces deux régimes sont distincts et décrits par les lois empiriques d'Amontons-Coulomb. On utilisera les notations classiques.

La *première loi de Coulomb* indique qu'il y a non glissement tant que

$$\|\vec{T}\| \leq \mu_s \|\vec{N}\|$$

La *seconde loi de Coulomb* dit que dans le cas du glissement, on a

$$\|\vec{T}\| = \mu_d \|\vec{N}\|$$

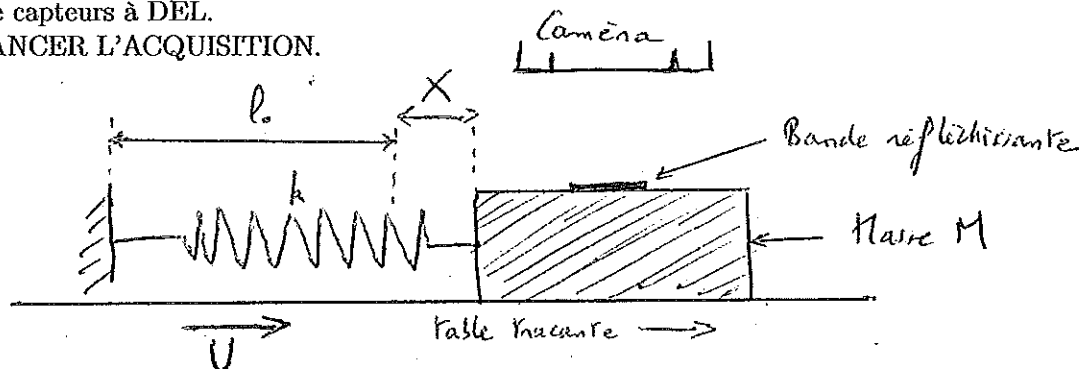
Objectif : mesurer les deux coefficients μ_s et μ_d dans le cas du contact entre de la mousse et du papier. RQ : Mousse car μ_s et μ_d très différents.

Manip : Ça glisse/ ça glisse pas. On pourrait le faire avec un plan incliné, mais précision toute pourrie.

1.2 Stick & Slip

L'idée c'est un ressort attaché à point fixe et à un solide (supposé indéformable), ce solide étant posé sur une feuille de papier qui défile à vitesse constante. Il va y avoir des phases où le palet est collé à la feuille de papier, et lorsque la force de rappel sera trop grande, il glissera. On suit la position du palet au cours du temps avec une bande réfléchissante, le logiciel Vidéocom et une capteurs à DEL.

LANCER L'ACQUISITION.



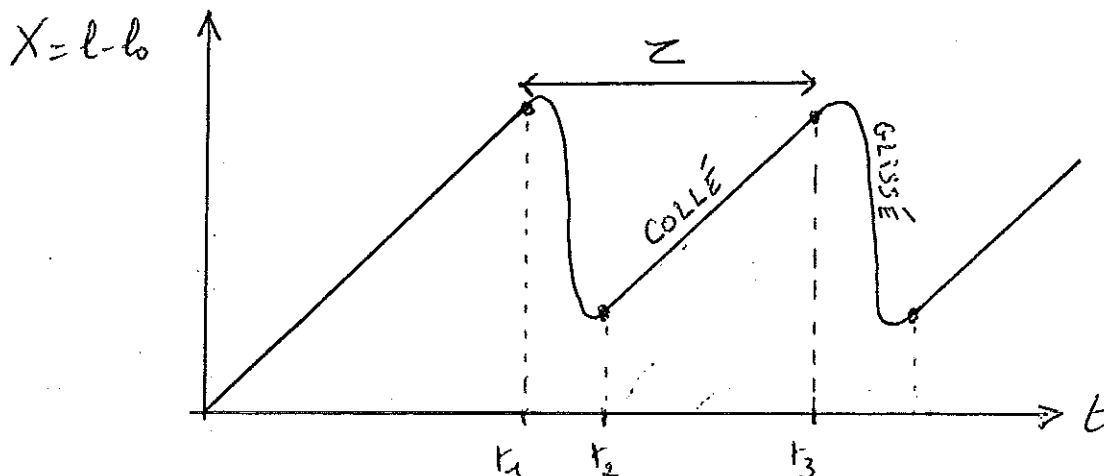
On montre (voir dans le Dunod Tout-en-Un, dans les exos résolus) que le mouvement du palet sera celui décrit sur le schéma suivant, avec

$$t_1 = \frac{\mu_s M g}{k U} \quad \tau = t_3 - t_1 = 2(\mu_s - \mu_d) \frac{M g}{k U}$$

Le mouvement se décompose en deux parties :

- le collage : X est linéaire en t , le solide suit le support à la vitesse U
- le glissement : X est sinusoïdal de pulsation $\omega = \sqrt{k/M}$.

En fait, l'expression de τ est une approximation qui consiste à dire qu'entre t_1 et t_2 on a une demi période. Ça fonctionne bien car c'est à peu près vrai, et de toute façon, $(t_2 - t_1)$ est négligeable (genre 10%) devant $(t_3 - t_2)$.



MANIP :

$$l_0 = 7,3 \text{ cm}$$

$$k = 13,6 \pm 0,2 \text{ N.m}^{-1} \text{ (calonné en préparation)}$$

$$U = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\Pi =$$

On mesure :

$$\begin{cases} t_1 = \pm \\ f = \frac{1}{Z} = \pm \end{cases}$$

$$\bullet p_d = \frac{kU}{\Pi g} t_1 = \pm$$

$$\frac{\Delta p_d}{p_d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_1}{t_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \Pi}{\Pi}\right)^2}$$

négligé négligé

⚠ Pour t_1 : Il y a l'incertitude sur le placement initial du palet (ressort avec sa longueur à vide)

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta l_0}{U} + \Delta t_1^{\text{visuel}} =$$

$$\bullet p_d - p_d = \left(Z - \pi \sqrt{\frac{\Pi}{k}} \right) \frac{kU}{2\Pi g} = \pm$$

⚡ petit $\Rightarrow$ incertitude négligée

$$\Rightarrow \begin{cases} p_d = \pm \\ p_d = \pm \end{cases}$$

On a donc pu caractériser le contact entre la mousse et le papier, grâce au Stick & Slip.

En préparation, on avait eu :

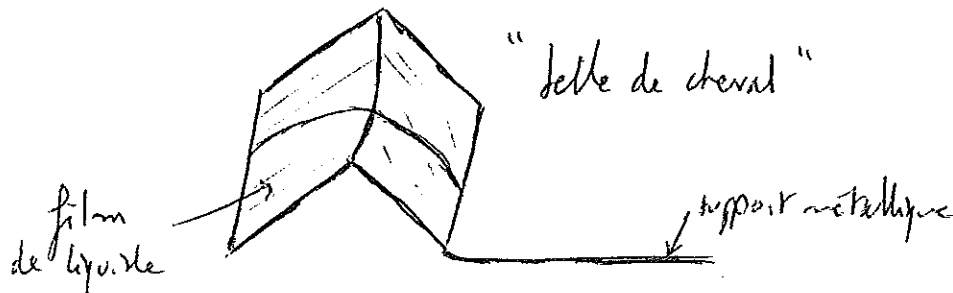
$$3 \quad \begin{cases} ① \begin{cases} p_d = 0,64 \pm 0,05 \\ p_d = 0,45 \pm 0,06 \end{cases} & ② \begin{cases} p_d = 0,59 \pm 0,05 \\ p_d = 0,39 \pm 0,06 \end{cases} \end{cases}$$

2 La tension superficielle

2.1 Mise en évidence

On a vu la tendance à former des gouttes. On peut voir qu'un trombone flotte si on le pose délicatement à la surface de l'eau (comme une bestiole). Comment est-ce possible? C'est la tension de surface.

Manip : Film liquide d'eau savonneuse dans un support métallique. On voit que le film prend une forme de selle de cheval. Minimisation de la surface du film.



Si on a un film de liquide de largeur L et qu'on veut l'étirer, il faut exercer une force F , donc fournir une énergie dW pour augmenter la surface du film de dA . On introduit la tension de surface :

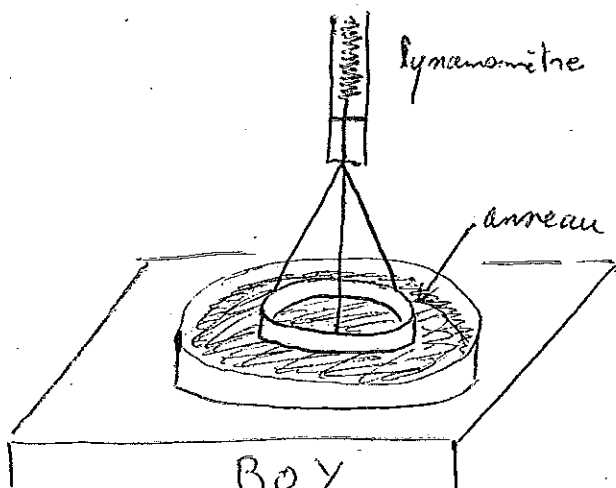
$$\gamma = \frac{dW}{dA} \quad [\gamma] = J.m^{-2} \quad \gamma = \frac{F}{L} \quad [\gamma] = N.m^{-1}$$

Il faut fournir de l'énergie pour créer une surface plus grande entre le liquide et l'air.

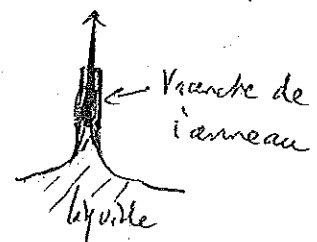
OdG : Bien sûr, ça dépend du fluide mais en gros, $\gamma = 10 - 100 N.m^{-1}$. Pour l'eau la valeur "eau distillée" est de $72 N.m^{-1}$. ATTENTION : l'eau se salit très vite, et on tombe très vite à $30 - 40 N.m^{-1}$ si on met les doigts dedans, si on la laisse à l'air,...

Il existe un appareil de mesure simple de tension de surface, la balance d'arrachement. On peut utiliser une plaque de platine rectangulaire suspendu à un bras relié à un fil de torsion ou un anneau suspendu à un dynamomètre. Nous avons choisi l'anneau car : lecture directe de la force/ symétrie circulaire implique pas d'effets de bords/ épaisseur de l'anneau plus faible.

Le principe de la mesure est de dire que la force qu'exerce notre fluide sur l'anneau, à la limite de la rupture du contact liquide-solide, vaut $F = 2\gamma L$ (L longueur du contact (ie) circonférence de l'anneau, 2 car deux interfaces liquide-gaz).



A la limite de la rupture :



Manip : Anneau nettoyé à l'éthanol. On le fait pour de l'eau du robinet. $\gamma = \frac{F}{4\pi R}$ avec ici $R = 3 \text{ cm}$

$$F = F_{\text{rupture}} - F_{\text{à vide}} = \pm$$

$$\gamma = \frac{F}{4\pi R} = \pm$$

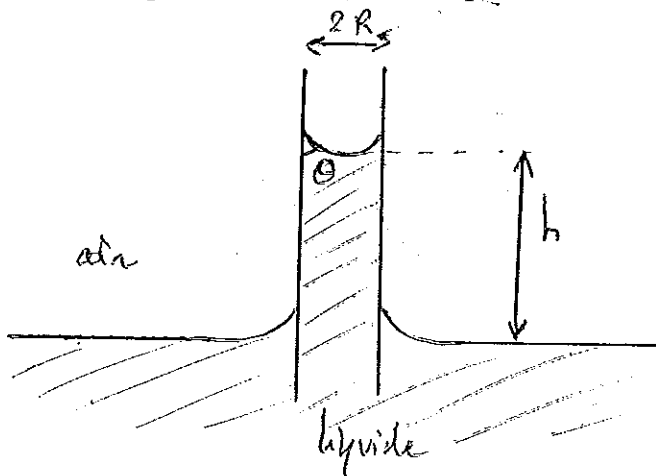
Obj : $\gamma_{\text{eau distillée}} = 72 \text{ mN.m}^{-1}$

$\gamma_{\text{éthanol}} = 22 \text{ mN.m}^{-1}$

On se propose dans la suite d'étudier des phénomènes physiques qui font intervenir cette tension superficielle.

2.2 Montée capillaire

Quand on met de l'eau dans un verre : ménisque. Si on prend un tube tout petit, le liquide monte puis se stabilise. C'est un phénomène statique.



Entre le bas du ménisque et la surface libre de l'eau on a :

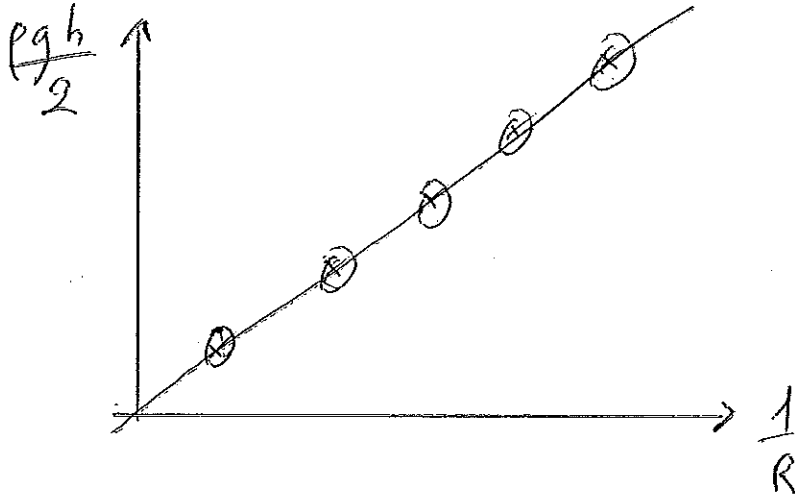
$$\begin{aligned} \Delta P &= \rho g h \quad (\text{hydrostat}) \\ &= 2\gamma \cdot \frac{\cos \theta}{R} \quad (\text{Laplace}) \end{aligned}$$

La hauteur de montée h est donnée par la loi de Jurin (démonstration via la loi de Laplace et hydrostatique)

$$\rho g h = \frac{2\gamma \cos(\theta)}{R}$$

On fera l'approximation $\theta = 0$ en faisant bien monter le liquide dans les capillaires avant de le faire redescendre. Pour l'éthanol, c'est très une approx juste. Pour l'eau, c'est moyen. Faire redescendre le liquide est nécessaire pour être sûr que l'équilibre des pressions est atteint.

MANIP : Avec l'éthanol. Avec la flexcam, on lit la hauteur de montée sur papier millimétré transparent et ce pour 5 diamètres différents. On trace h en fonction de $\frac{2}{\rho g R}$ sur Régressi.



$$\gamma_{\text{ethanol}} = \pm$$

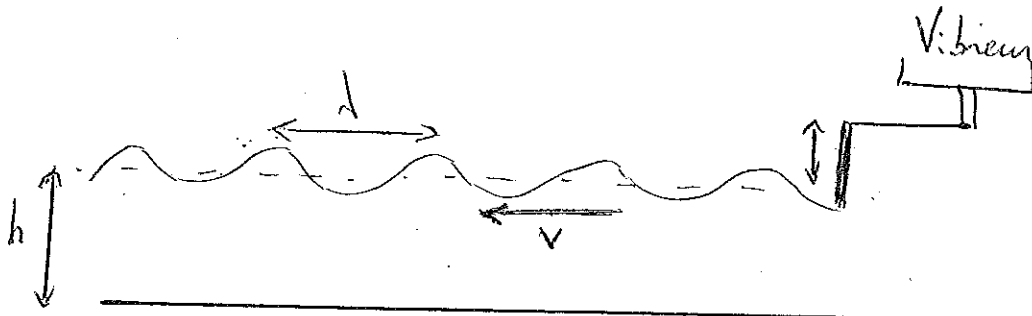
En préparation, on avait aussi fait l'eau (non pure)
 $\gamma_{\text{eau}} = 53 \pm \text{Nm}^{-1}$

2.3 Ondes gravito-capillaires

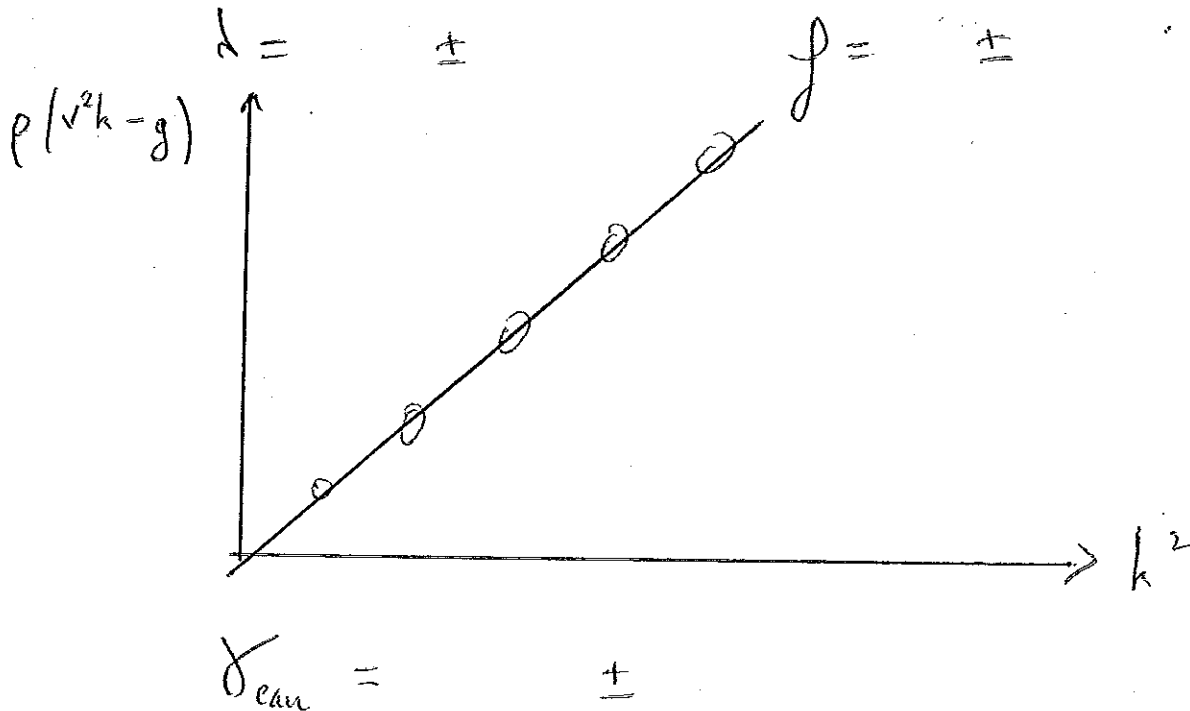
Si on excite la surface d'un fluide avec une fréquence fixée, on peut observer la propagation d'ondes libres à la surface de ce fluide. Ce sont des ondes gravito-capillaires (ie) qui font intervenir deux forces : la gravité et la capillarité. Il s'agit donc d'un phénomène dynamique faisant intervenir la capillarité. La relation de dispersion des ces ondes est

$$v^2 = \frac{g}{k} \tanh(kl_c) (1 + l_c^2 k^2) \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Elle fait intervenir la longueur capillaire $l_c = \sqrt{\gamma/(\rho g)}$. Selon la longueur d'onde λ , on sera donc dans une régime "gravité" ou "capillarité". Ici, on est entre les deux, donc on tient compte des deux termes. En revanche, on a $h = 1 \text{ cm}$, $\lambda = 1 \text{ cm}$, donc $\tanh(kl_c) = 1$ (on a vérifié, c'est vrai).



MANIP : On mesure 10 longueurs d'onde pour une fréquence fixée. On mesure la fréquence à l'oscillo (un fréquencesmètre est nul à ces fréquences) et on observe les creux-bosses des ondes avec un stroboscope bien réglé. Attention, il y a un grandissement sur la mesure de λ . On fait ça pour plusieurs fréquences et on trace ce qui va bien pour avoir une droite.



Rq : On avait mesuré, à la balance d'arrachement, avec cette eau là, $\gamma = 51 \pm 5 \text{ mN.m}^{-1}$.

On voit qu'on a des valeurs très différentes pour l'eau. En fait, ce n'est pas très étonnant parce que ça dépend de la pureté de l'eau. La valeur de γ dépend beaucoup (du simple au double) des impuretés.

On peut également montrer que l'ajout de molécules tensio-actives dans l'eau abaisse dramatiquement la tension superficielle.

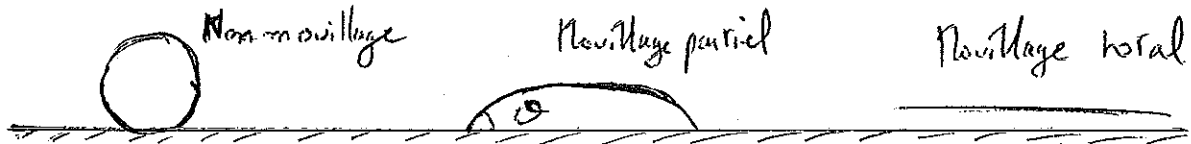
Manip : On refait la balance d'arrachement en ayant ajouté une mini-goutte de "liquide à bulles" (eau savonneuse). On trouve une valeur beaucoup plus basse.

$$\gamma = \frac{F}{4\pi R} = \pm$$

3 Mouillage d'une surface solide

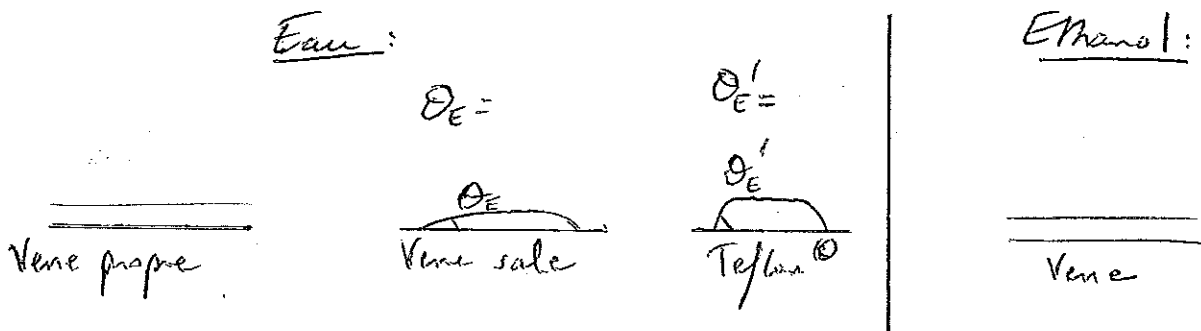
Lorsqu'on compare l'étalement d'une goutte d'eau sur la feuille d'une plante et sur une plaque de verre, on voit bien qu'il existe différents comportements. C'est le mouillage. Selon le substrat solide, on peut donc observer :

- une goutte quasi sphérique : mouillage partiel du substrat
- un étalement du liquide : mouillage total



Ce comportement dépend du matériau qui compose le solide, mais aussi de l'état de sa surface.

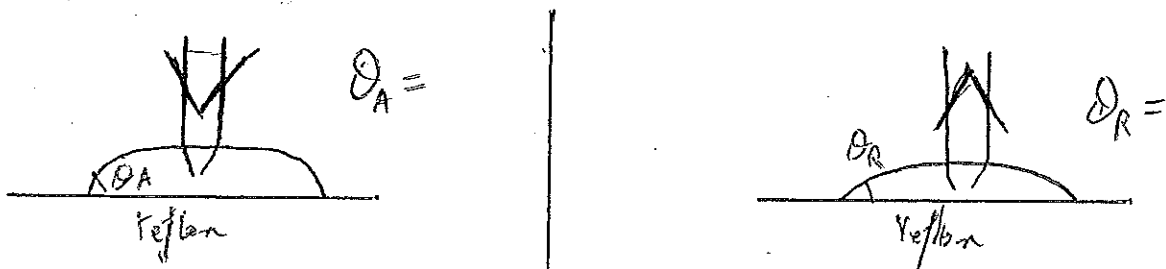
Manip : Mesure de l'angle de contact θ_E pour l'eau sur verre propre/verre sale/Téflon et éthanol sur verre.



D'autre part, on sent bien que selon le volume de liquide, la forme de la goutte va être différente. Si elle devient très grosse, la gravité prend le dessus sur la capillarité et la goutte devient plate sur le dessus.

D'autre part, on sent que l'angle de contact ne sera pas le même selon si la goutte grossit ou rétrécit. On parle de mouillage ou dé mouillage.

Manip : Mesure des angles d'avancée et de reculée d'une goutte d'eau sur le téflon. Il y a un hystérésis.



L'étude dynamique du mouillage et du dé mouillage sont encore largement étudiés aujourd'hui, en particulier parce qu'ils dépendent beaucoup de l'état de la surface du solide.

On fait également des recherches sur les surfaces super-hydrophobes (angle de contact égal à 180° , (ie) goutte parfaitement sphérique) : caléfaction, surfaces micro-texturées.

Conclusion

Nous avons vu dans ce montage plusieurs types de phénomènes de surface:

- Contact entre deux solides, frottements. Recherche : tribologie
- Tension de surface. Recherche : effets des tensio-actifs, micelles
- Mouillage-Démouillage. Recherche : surface non mouillantes, super-hydrophobes