

M02 : Surfaces et interfaces

Hugo PFISTER, Thibault MICHEL

Lors de ce montage, on va voir qu'il existe des phénomènes qui n'apparaissent qu'en surface de certains corps. C'est par exemple le cas bien connu de la tension de surface, qui fait apparaître un « défaut » d'énergie en surface, créant une très légère résistance lors de l'arrachement d'une surface depuis un liquide. Elle est également responsable de la montée d'un liquide dans un capillaire.

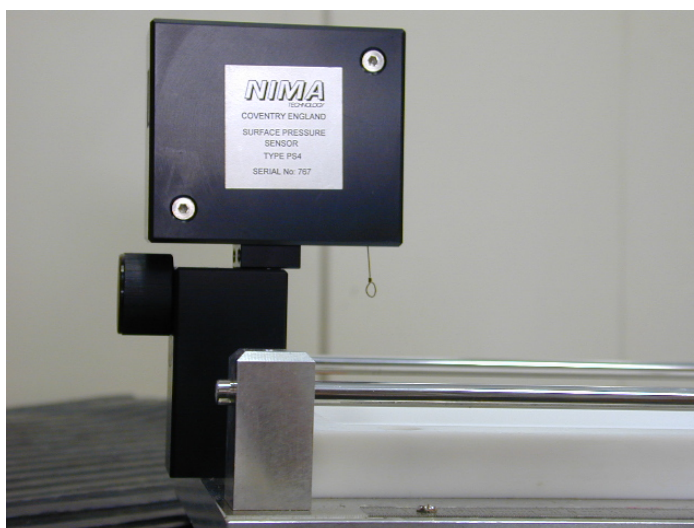
Cependant, il n'existe pas que la tension de surface. On évoquera ici deux phénomènes ondulatoires : l'effet de peau dans un rhéostat et les plasmons de surface.

I. Un exemple de phénomène surfacique : la tension de surface

Il semble important d'accorder dans ce montage une partie non négligeable du temps sur la tension de surface. On a donc fait deux manips sur ce phénomène.

1) La balance d'arrachement

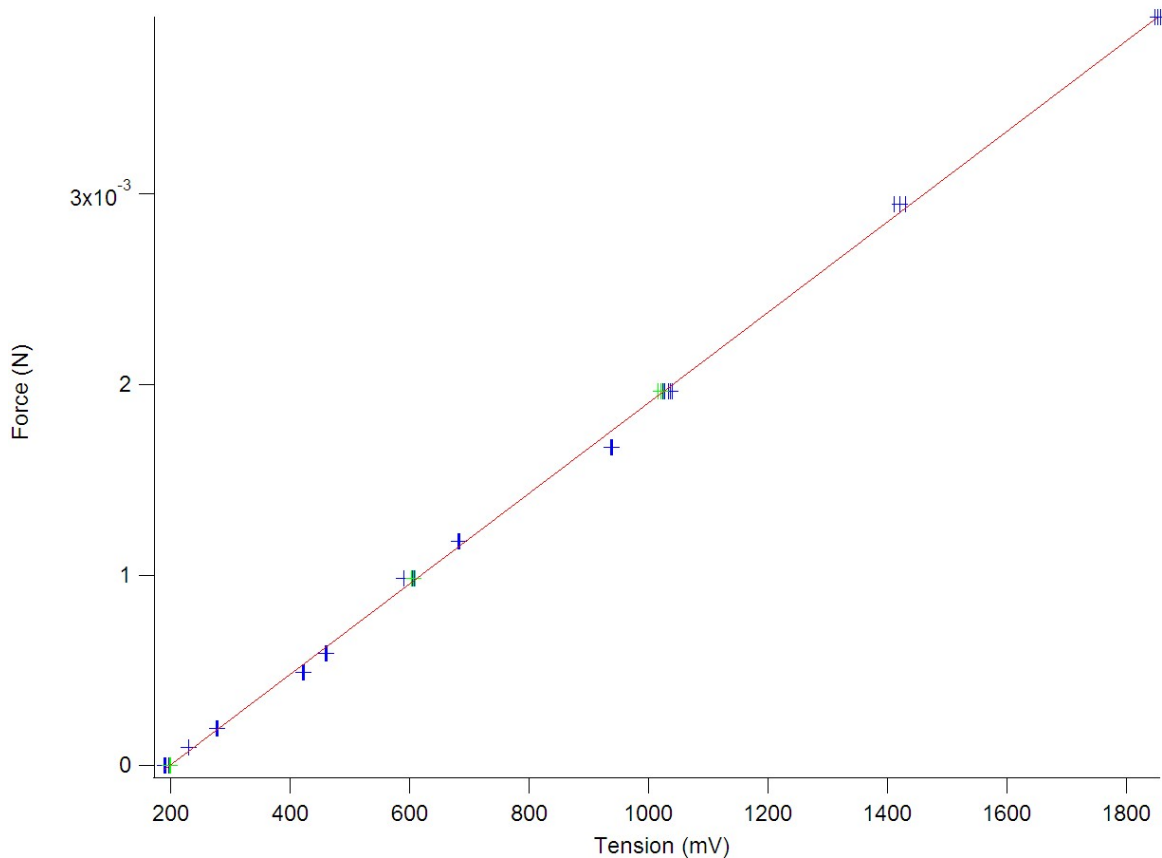
La balance d'arrachement (ENSC 469) est disponible en salle de thermo.



Son principe est simple : on accroche un papier buvard au crochet, on le trempe dans la solution et on le retire. L'effort exercé sur le crochet est converti en tension et envoyé sur un appareil de mesure (Je conseille l'oscillo plutôt que le voltmètre, ça permet de suivre en fonction du temps et c'est pas plus mal.)

Etalonnage :

Encore faut il savoir convertir la tension en force : c'est l'objet de la première partie de la manip. On dispose de petites plaques (de masses connues, entre le cg et le dg) et d'un plateau sur lequel on peut les poser. En mesurant la tension en fonction du poids de ces plaques, on obtient la courbe suivante :



C'est une belle droite et par un fit, on trouve facilement la conversion tension-force.

On a alors plus qu'à mesurer la force appliquée lors de l'arrachement du buvard plongé dans de l'éthanol.

ATTENTION : Il faut prendre de l'éthanol PUR et pas celui de lavage à 95%. Ça semble logique mais il n'est pas facilement accessible. Peut-être aller demander en chimie. Bien sûr, on peut prendre n'importe quel liquide tant que sa tension de surface est tabulée.

La force qu'exerce le liquide sur le buvard juste avant le détachement (on a donc $\cos(\theta) = 1$) vaut :

$$F = 2L\gamma$$

où L est la largeur du buvard. On mesure alors F et L, on en déduit donc la tension de surface.

Expérimentalement, on trouve : $\gamma_{\text{éthanol}} = 34 \pm 1.7 \text{ mN.m}^{-1}$

C'est le bon ordg mais c'est loin de la valeur tabulée pour l'éthanol pur, ce qui est logique puisqu'on avait de l'éthanol de lavage.

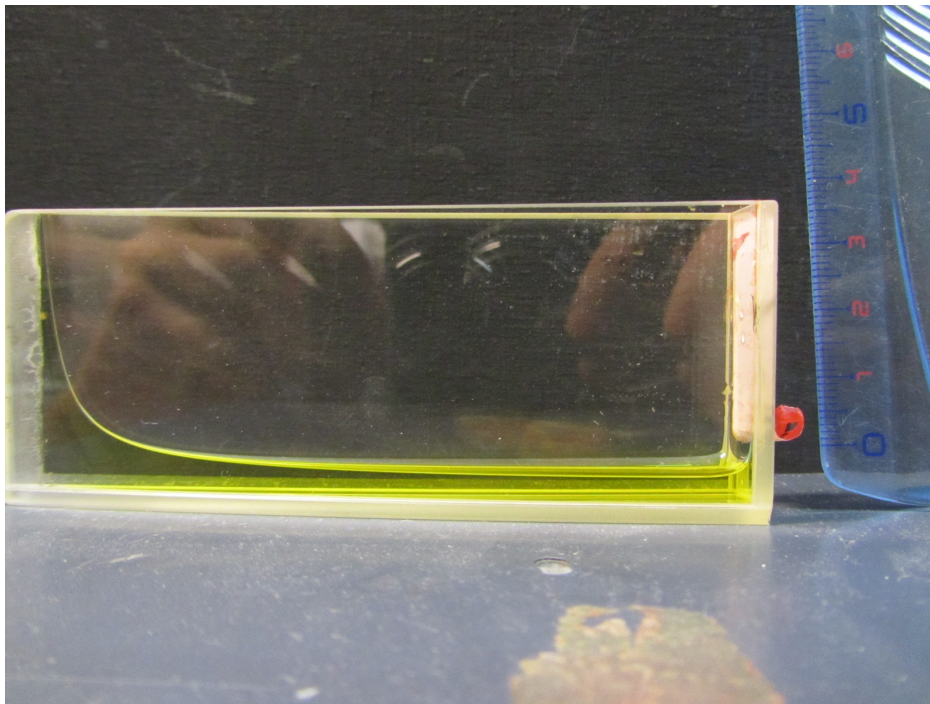
Pour avoir une deuxième valeur expérimentale, on utilise une deuxième méthode : la cuve cunéiforme.

2) La cuve cunéiforme

Comme son nom l'indique, c'est une cuve en forme de coin. On la remplit avec notre liquide, et plus on se rapproche du coin, plus l'épaisseur est faible et donc plus le liquide monte par capillarité (loi de Jurin). Théoriquement, on a :

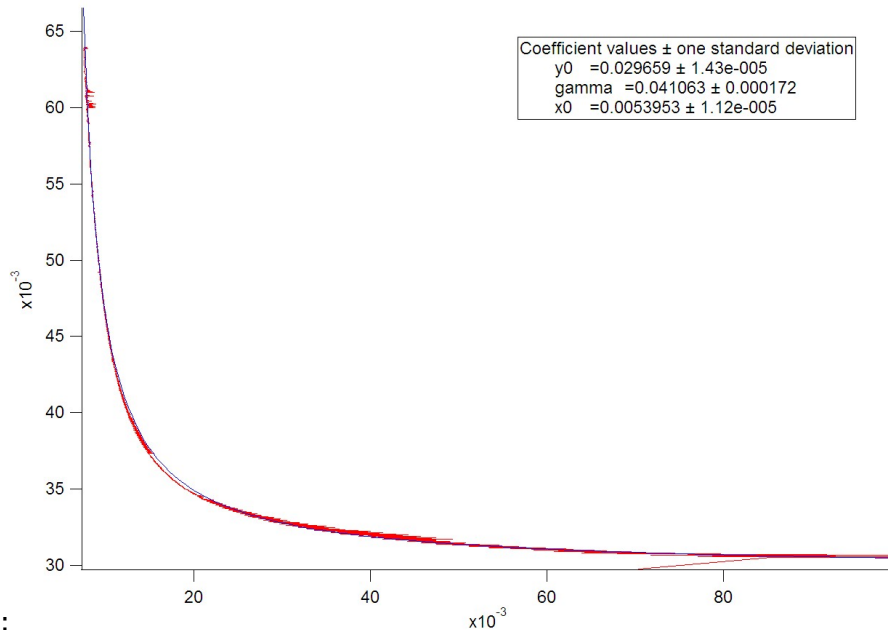
$$h(x) = \frac{\gamma}{\rho g x * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

avec α l'angle au sommet de la cuve. On a donc une hyperbole. L'idée sera donc de repérer le contour du ménisque via ImageJ, puis de fitter par une hyperbole afin de trouver la tension de surface. L'image à exploiter est celle-ci :



On a mis du colorant pour qu'elle soit plus facilement exploitable. Sur ImageJ, l'idée est d'abord de passer l'image en 8-bits, puis d'utiliser la fonction « Theshold ». Après cela, on peut faire « Find Edges » et/ou découper à la main le bas du ménisque. Au final, il ne doit rester plus qu'une ligne noire caractérisant le bas du ménisque. Ne pas oublier d'étalonner les longueurs grâce à une règle dans le même plan que la cuve. C'est la fonction « Calibrate » sur ImageJ.

Une fois qu'on a réalisé tout ça, on utilise « Save XY coordinate », puis on colle tout ça dans Igor. Il ne nous reste plus qu'à approximer ces coordonnées par une



hyperbole :

Ca marche plutôt bien, mais donne une valeur de tension de surface trop grande.

On va maintenant voir qu'il existe aussi des phénomènes ondulatoires impliquant des surfaces

II. Phénomènes ondulatoires

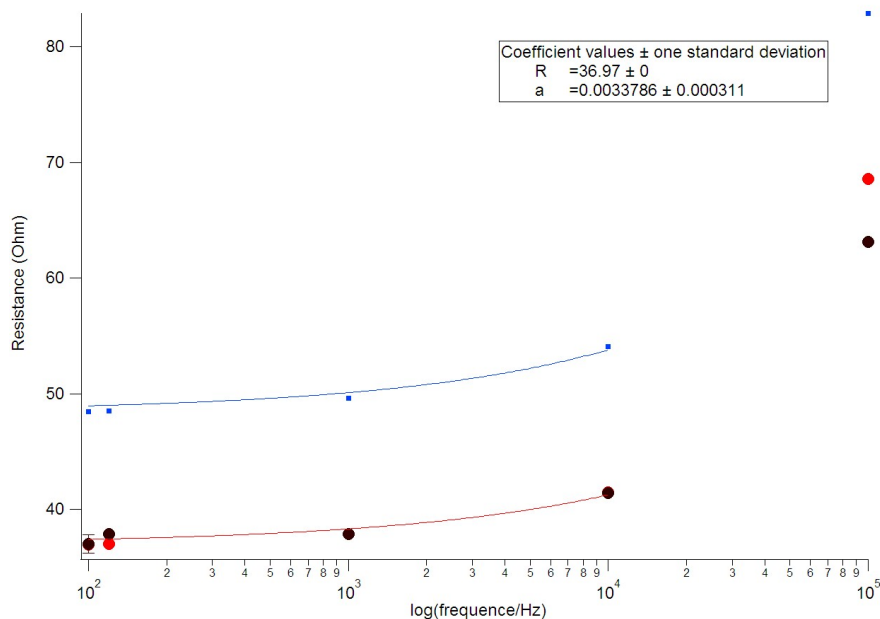
1) Effet de peau dans un rhéostat

Globalement, tout est dans la fiche expérience de JBD. L'idée est simple : mesurer la résistance d'un rhéostat en fonction de la fréquence. On utilise pour cela le LC-mètre et un rhéostat. L'avantage de cette manip est qu'elle est vraiment très simple expérimentalement, en revanche la formule théorique n'est pas évidente. On cherche encore un bouquin où elle serait écrite...

On a :

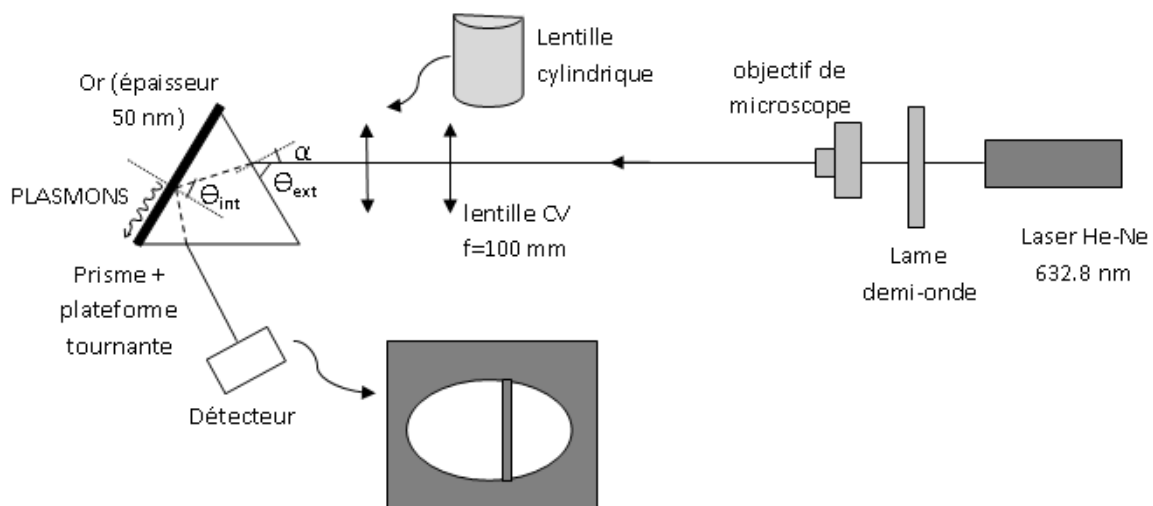
$$R(f) = \frac{R_0}{2} \frac{1}{\frac{1}{a\sqrt{f}} + \frac{(e^{-a\sqrt{f}} - 1)}{a^2 f}}$$

où $a = r_0 \sqrt{\pi \sigma \mu_0}$, qu'on peut facilement relier à l'épaisseur de peau. On effectue la mesure de R pour différentes fréquences, on obtient alors :



On ne fait un fit que sur les 4 premiers points car après, on a des effets inductifs et capacitifs non négligeables. On est alors capable d'avoir le paramètre a et en estimant r_0 , on trouve la conductivité du métal dans le rhéostat. On trouve quelque chose de plus faible que pour le cuivre par exemple, c'est normal puisqu'il s'agit d'un alliage.

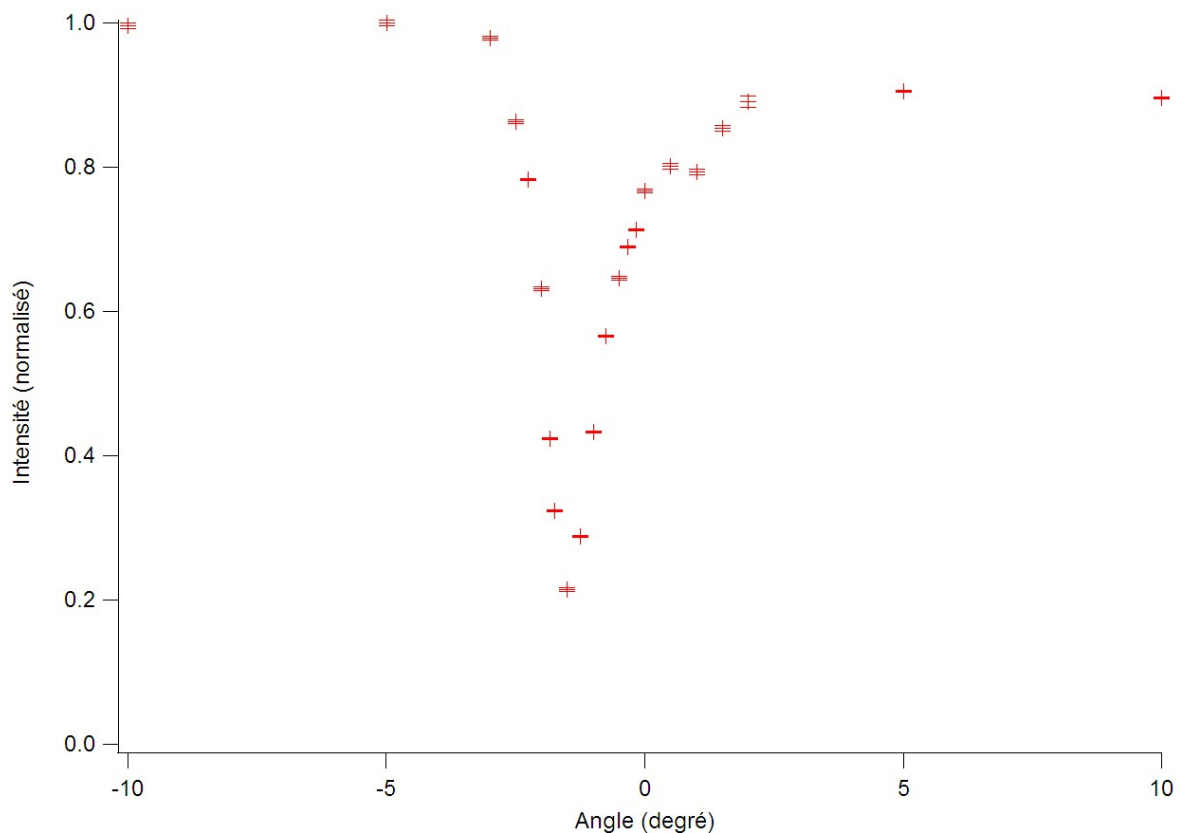
2) Plasmon de surface



On commence par effectuer un éclairage avec lentille cylindrique et objectif de microscope, pour avoir un peigne et voir qualitativement (et très clairement) qu'on a une annulation pour un certain angle d'incidence. Notez qu'il faut absolument que le laser soit polarisé dans le plan d'incidence. On se propose de déterminer l'angle et donc on enlève l'objectif de microscope et la lentille. On commence par poser le 0 du vernier

et faire en sorte que pour le 0, on ait incidence normale sur le prisme (pour cela, on s'assure que la réflexion sur le prisme soit sur le laser).

Ensuite, on fait tourner le prisme et on mesure l'intensité grâce à une photodiode. On obtient la courbe suivante :



On voit nettement la chute de l'intensité pour un angle d'environ $-1,5^\circ$. A partir de cet angle, on peut remonter à une grandeur volumique : la permittivité relative de l'or. (cf compte-rendu de fin). Ça marche plutôt pas mal, mais la formule nous as semblé trop compliquée pour traiter les incertutudes proprement.

Cette expérience est intéressante puisqu'elle permet de remonter à une grandeur volumique à partir d'un phénomène purement surfacique (si l'épaisseur d'or est trop grande, on n'observe pas de diminution de l'intensité).

Questions :

-Les phénomènes présentés sont ils possibles sur une surface « mathématique » (cad monoatomique) où une troisième dimension est nécessaire ?

Pour la tension de surface, pas besoin de 3D. Pour l'effet de peau ou le plasmon de surface, on a en fait une onde evanescente d'où la nécessité d'une troisième dimension.

-Comment fonctionne la balance d'arrachement (mesure) ?

Il s'agit en fait d'une bobine interne qui fait en sorte de laisser le support à un endroit fixe par un asservissement. La tension qu'on doit envoyer à la bobine pour garder le support au même endroit et « lutter » contre l'effort est liée à la tension mesurée. Tout est (moyennement) expliqué dans la notice de la balance d'arrachement. On peut aussi la démonter avec des petites clés à laine.

Remarques :

-Il faut ABSOLUMENT travailler avec des corps purs pour pouvoir comparer les résultats obtenus avec la théorie. Ne pas mettre de colorants et se débrouiller comme on peut pour la cuve cunéiforme.

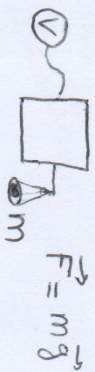
-Passer assez de temps sur l'explication du montage sur les plasmons de surface : montage optique, montrer que ça ne marche pas pour toutes les polarisations, montrer la polarisation en sortie...

-Le choix des manips n'est pas trop mal. On aurait également pu faire de la mécanique et l'étude des coefficients de frottements (d'origine surfacique) ou faire l'étude de l'effet de peau dans un coax (selon JBD, la partie théorique de cette manip n'est pas si simple). Il est important d'essayer de trouver une trame dans ce qu'on présente, ce qui n'est pas forcément évident ici, vu qu'on s'intéresse à des manips assez hétéroclites.

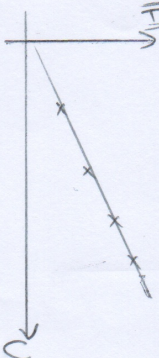
I) La tension de surface : un exemple de phénomène surfacique

1) La balance d'arrachement

* Étalon



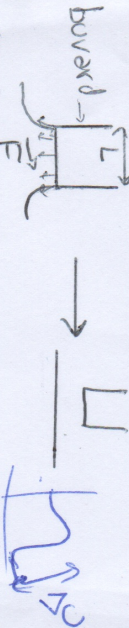
$$\|\vec{F}\| = a + bV$$



$$a = (4,7 \pm 0,2) \times 10^{-9} \text{ N}$$

$$b = (3,37 \pm 0,02) \cdot 10^{-6} \text{ N} \cdot \text{V}^{-1}$$

* Mesure de $\gamma_{\text{éthanol}}$



On mesure ΔU donc $\Delta F = 2\gamma L$

$$\Delta U = (287,5 \pm \dots) \text{ mV}$$

$$\gamma_{\text{éthanol}} = (34 \pm 1,73) \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\frac{\Delta \gamma}{\gamma} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2}$$

MO2: Surfaces et interfaces

2) Cuve conique

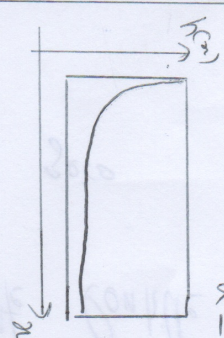
Loi de Jurin:

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



cuve vue de dessus

$$\theta = 0,138 \text{ rad}$$



$$h(r) = \frac{\rho g r \tan(\theta/2)}{\gamma}$$

On trouve:

$$\gamma_{\text{éthanol}} = 49,6 \pm \dots \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$$

II) Phénomènes ondulatoires

1) Effet de

peu dans un rhéostat



Rhéostat BF

Partie conductrice



Rhéostat HF

$$S = (\pi \rho_0 \sigma l)^{-1/2}$$

Théoriquement:

$$R(\gamma) = \frac{R_0}{2} \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma}{\rho_0} + \frac{\gamma^2}{\rho_0^2} (e^{-2\gamma l} - 1)}}$$

$$\text{ou } \sigma = \pi \rho_0 \sqrt{\pi \rho_0 \sigma}$$

Heure à l'ohmmètre:

$f(H_3)$	100	120	10^3	10^4	10^5
$R(\Omega)$	36,97	37,56	41,8	63	13

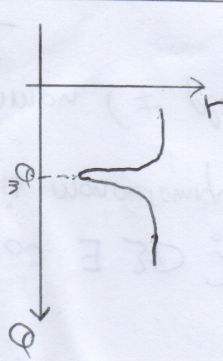
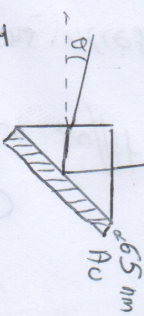
$$\sigma = 3,38 \cdot 10^7 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$$

En considérant $x_0 = 45 \text{ nm}$

$$\sigma = 1,2 \cdot 10^7 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$$

2) Plasmon de surface

surface



$$\epsilon_{x,02} = \frac{1}{n^2 \sin^2(\theta_m)} - 1$$

$$\epsilon_{\text{or, tablé}} = -11,78$$

$$\epsilon_{\text{int}} = A - A \sin\left(\frac{\lambda \sin(\theta_m)}{h}\right)$$

$$\text{ou } n = 1,515$$

Experimentalement:

$$\theta_m = 1,5^\circ$$

$$\epsilon_{\text{or}} = -11,42$$