

# Électromouillage

Ce texte a été établi<sup>1</sup> à partir de travaux théoriques et expérimentaux de M. Vallet, C. Quiliet et B. Berge [1, 2].

Les développements récents des dispositifs intégrés microfluidiques montrent l'importance de la compréhension des phénomènes physiques qui permettent de mettre en mouvement des liquides à de petites échelles où il est très difficile d'utiliser la pression comme moyen de contrôle. Les dispositifs envisagés sont l'électrophorèse diélectrique, l'électroosmose par exemple. Un autre type de moyens de contrôle utilise les forces de surfaces : surfaces texturées, thermocapillarité, etc. qui modifient les propriétés d'une interface mais qui sont aussi souvent limités en pratique par la présence de l'hystérésis de l'angle de contact.

Parmi tous ces dispositifs, l'électromouillage, qui est un moyen de modifier les propriétés de mouillage d'un substrat solide en apportant des charges libres à la surface, a montré qu'il est un moyen reproductible et versatile.

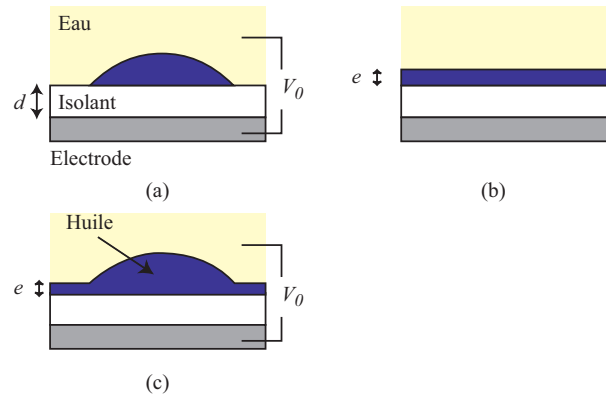


FIGURE 1 – (a) Situation de mouillage partiel d'une goutte de liquide diélectrique («huile») dans un environnement conducteur («eau») sur une surface isolante («polymère») (Ici on impose une différence de potentiel entre l'électrode et le liquide conducteur). (b) Situation de mouillage total. (c) Démouillage induit par l'électromouillage.

Le système thermodynamique considéré est l'ensemble {eau + huile}. On travaille à température fixée  $T_0$  et à volumes fixés. L'eau et l'huile sont supposées totalement immiscibles.

## 1 Mouillage partiel

On se place, dans un premier temps dans une situation où la goutte d'huile mouille partiellement le polymère, en l'absence de différence de potentiel. On peut par exemple réaliser cela en utilisant un film de polymère étirable de type Albal<sup>®</sup> comme polymère, une solution concentrée de sulfate de sodium comme électrolyte et de l'huile silicone comme phase dite «huile» [?].

### 1.1 Électrodémouillage : principe

▷ **Q. 1-1 Rappel d'électrostatique** : Lorsqu'on apporte à un condensateur au potentiel  $v$  une charge  $dq$ , le travail électrique reçu par le condensateur est  $vdq$ . En déduire que l'enthalpie libre d'un condensateur est :

$$G_{\text{el}} = -\frac{1}{2}CV_0^2 \quad (1)$$

1. Frédéric Restagno ; 01 69 15 70 78 ; restagno@lps.u-psud.fr ;

où  $V_0$  est le potentiel imposé et  $C$  la capacité du condensateur.

▷ **Q. 1-2** Sachant que l'électrolyte se comporte comme un condensateur plan, exprimer  $G_{el}$  en fonction de  $V_0$ , l'épaisseur de diélectrique  $d$ ,  $\epsilon$  la permittivité diélectrique du polymère et  $S_{PE}$  la surface projetée polymère-eau.

▷ **Q. 1-3** Exprimer l'enthalpie libre de la goutte  $G_{cap}$ , sans potentiel appliqué, en fonction des tensions de surface polymère-huile, polymère-eau et eau-huile notées  $\gamma_{PH}$ ,  $\gamma_{PE}$  et  $\gamma_{EH}$  ainsi qu'en fonction des surface polymère-eau, polymère-huile, eau-huile notées  $S_{PE}$ ,  $S_{PH}$ ,  $S_{EH}$  et de la surface totale de l'électrode  $\Sigma$ .

▷ **Q. 1-4**

- En ajustant la différence de masse volumique entre l'eau et l'huile, on arrive à  $\Delta\rho = 10^{-3} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , on prend  $\gamma_{EH} = 40 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Pourquoi peut-on considérer que les gouttes sont sphériques ?
- Dédurre des deux questions précédentes, l'évolution de l'angle de contact de la goutte  $\theta(V_0)$  en fonction de l'angle de contact  $\theta_0$  en l'absence de champ électrique appliqué, de  $\gamma_{EH}$ ,  $d$  et  $\epsilon$ . Justifier le sens de variation de l'angle de contact avec la tension appliquée.

On rappelle que le volume d'une calotte sphérique de rayon  $R$  et de hauteur  $h$  est donné par :

$$V = \pi h^2 \left( R - \frac{h}{3} \right) \quad (2)$$

▷ **Q. 1-5** Pour un film alimentaire, composé de Chlorure de PolyVinylidène, on trouve les spécifications techniques suivantes : épaisseur  $d = 10 \text{ }\mu\text{m}$  et permittivité électrique relative 4,65. On dépose sur ce film une goutte de  $45 \text{ }\mu\text{l}$ .

- L'angle de contact de l'huile sur le polymère en présence d'eau est de  $15^\circ$ . Quelle est la largeur de la zone mouillée par l'huile ? Quelle est le rayon de courbure de la lentille d'huile fabriquée ?
- Quelle tension faut il appliquer pour que l'angle de contact devienne égal à  $90^\circ$  ?

## 1.2 Électrodémouillage : application aux lentilles à focale variable

En fait, l'électromouillage est utilisé de façon pratique par une société appelée varioptic<sup>©</sup> <sup>2</sup>. La figure 2 représente les spécifications des lentilles obtenues. On donne les indices de réfraction suivant  $n_E = 1,33$  et  $n_H = 1,45$  respectivement pour l'eau et l'huile.

### Lentille à focale variable KP 45

**commandable électriquement**



Un nouveau composant pour la recherche

**Spécifications**

diamètre utile : 4,5 mm  
puissance d'optique mini : -5 dioptries (focale -200mm)  
puissance optique maxi : +10 dioptries (focale 100mm)  
qualité : wave-front distortions < 1 micromètre  
stabilité de l'axe optique : 50 micromètres sur toute la plage de focale  
utilisation dans tout le spectre visible  
utilisations en laboratoire : 10°C - 45°C

**Option**

- traitement anti-reflet
- fenêtre BK7 qualité lambda/10



FIGURE 2 – Extrait du catalogue de la société varioptic<sup>©</sup>.

2. <http://www.varioptic.com>

▷ **Q. 1-6** Expliquer en deux mots le principe de fonctionnement de cette lentille : en particulier, proposer des solutions pour que la lentille d'huile reste centrée.

## 2 Mouillage total

On considère maintenant le cas où, en l'absence de différence de potentiel l'«huile» mouille totalement le film de polymère (figure 1.b)

▷ **Q. 2-1**

- Écrire l'expression de l'enthalpie libre de surface  $G_0(e)$  d'un film mince d'épaisseur  $e$  en l'absence de tout champ électrique en fonction des différentes tensions de surface du problème et de la constante de Hamaker  $A$  du sandwich polymère-huile-eau.
- Justifier que l'on peut considérer le film de polymère comme un milieu infini.
- Quel est le signe de la constante de Hamaker ?
- Tracer l'allure de  $G_0(e)$ . Vous discuterez en quelques lignes ce qui se passe au voisinage de  $e = 0$ .

▷ **Q. 2-2**

- En présence d'un champ électrique le diélectrique et le film d'huile se comportent comme deux condensateurs en série. Calculer l'expression de l'énergie libre par unité de surface du film  $G_{Vo}(e)$ .
- Tracer l'allure de  $G_{Vo}(e)$ .
- Montrer qu'il existe un minimum à l'épaisseur  $e_1$  de cette enthalpie libre par unité de surface. Calculer l'ordre de grandeur de  $e_1$ .

## Références

- [1] C. Quiliet and B. Berge. Investigation of effective interface potentials by electrowetting. *Europhys. Lett.*, 60 :99–105, 2002.
- [2] M. Vallet, M. Vallade, and B. Berge. Limiting phenomena for the spreading of water on polymer films by electrowetting. *Eur. Phys. J. B*, 11 :583–591, 1999.