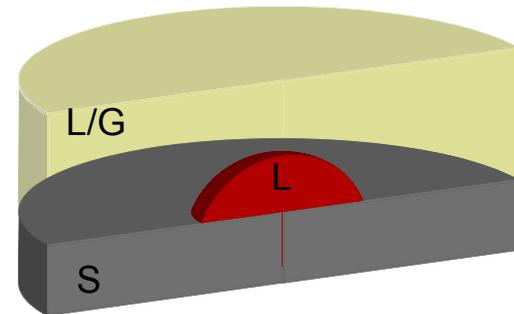
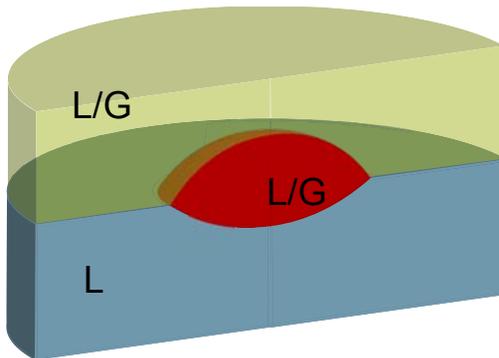


**Mesure du mouillage
à
haute température**

Qu'est ce que le mouillage?

- Étude des phénomènes qui gèrent le contact entre trois phases dont deux au moins sont déformables
 - Trois liquides immiscibles
 - Deux liquides immiscibles et un gaz
 - Deux liquides immiscibles sur un solide
 - Un liquide, un solide et un gaz
 - Etc... (bulles de gaz aux interfaces L/S ou L/L)



Pourquoi le mouillage est important:

o **Température ambiante:**

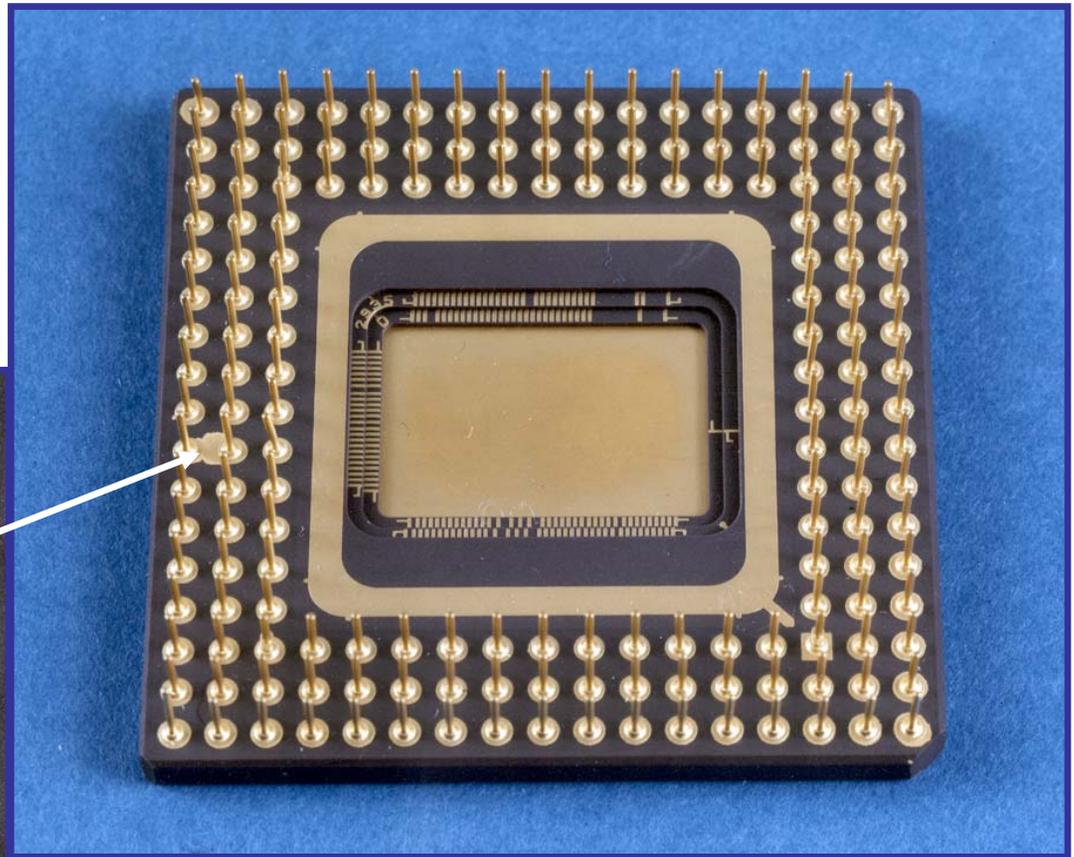
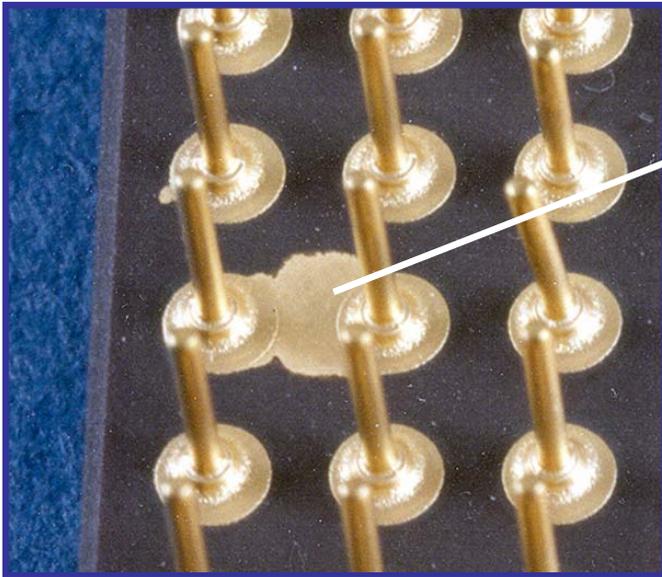
- Irrigation des yeux
- Collage par adhésifs
- Récupération du pétrole dans les roches poreuses
- Revêtements
- Peintures
- Lubrification

o **Haute température:**

- Brasures pour la microélectronique
- Fabrication de composites
- Infiltration en phase liquide de fibres ou autres préformes
- Frittage en phase liquide
- Divers processus réactifs

Exemple d'application :

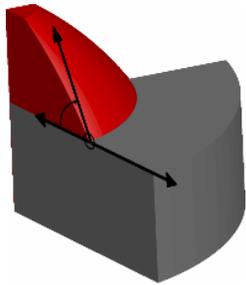
Mouillage « incontrôlé » sur un substrat pour l'électronique
(Runaway spreading)



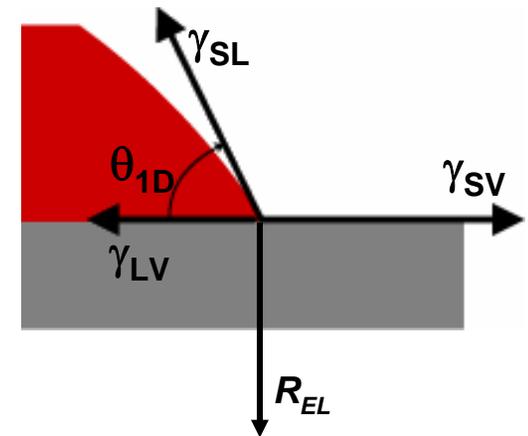
Mouillage liquide -solide « Basse température »

o Équilibre : loi de Young-Dupré

- On considère le solide comme indéformable
- Équilibre entre les composantes horizontales des forces s'exerçant sur la ligne triple:



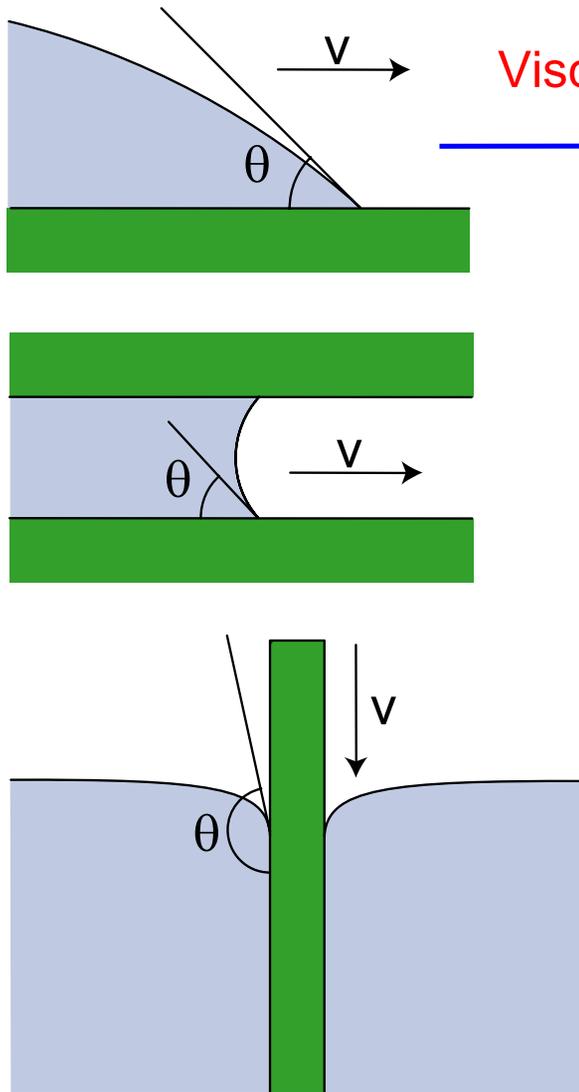
$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos(\theta_{1D})$$



- Si on néglige la gravité (masse de la goutte petite): goutte sphérique
- Sinon (grosse goutte): sa forme dépend de γ_{LV} .

Comment atteindre l'équilibre?

Forces motrices pour le mouillage:

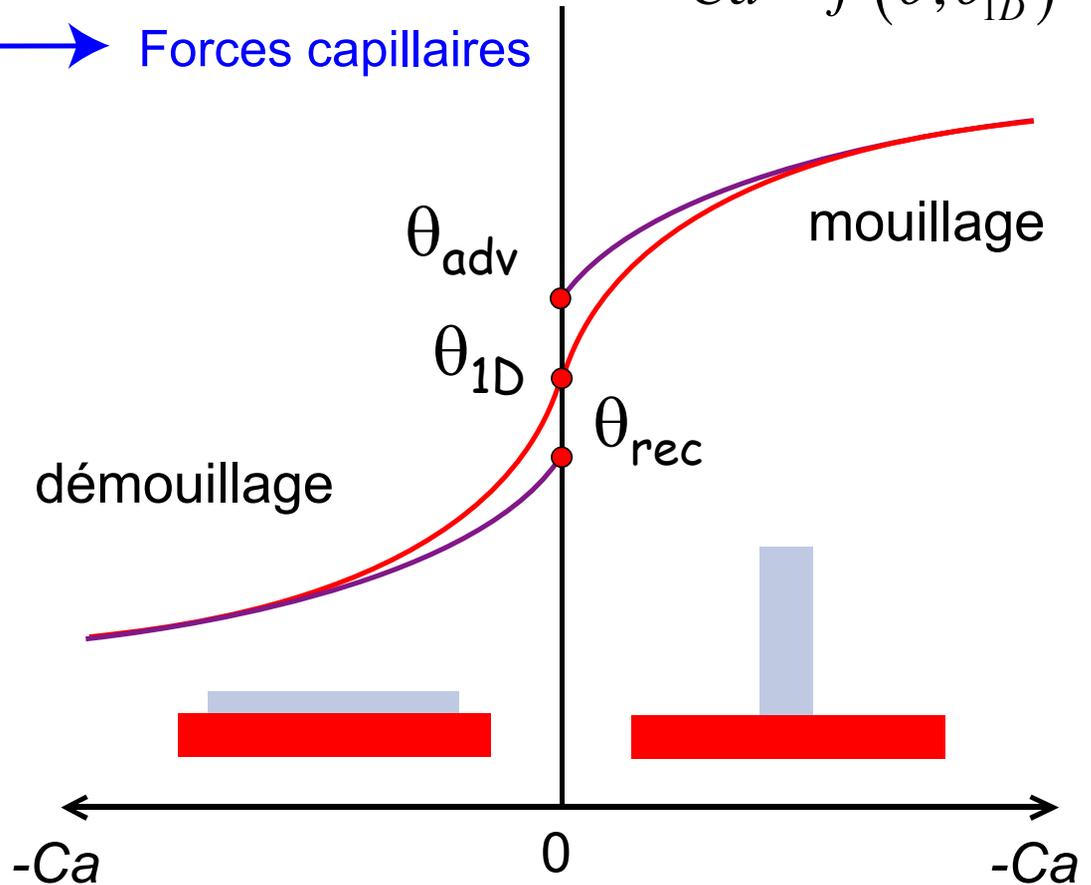


Viscosité

Forces capillaires

Nombre de capillarité:

$$Ca = f(\theta, \theta_{1D})$$



$$Ca = \frac{v\eta}{\gamma_{lv}}$$

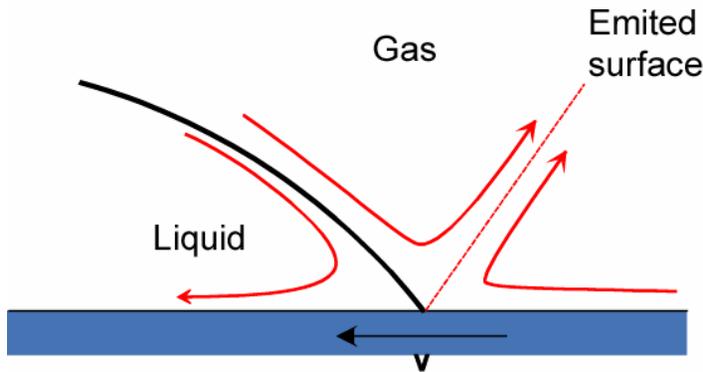
$$\cos(\theta_{1D}) = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lv}}$$

Comment atteindre l'équilibre?

Modèles de mouillage:

Modèle hydrodynamique:

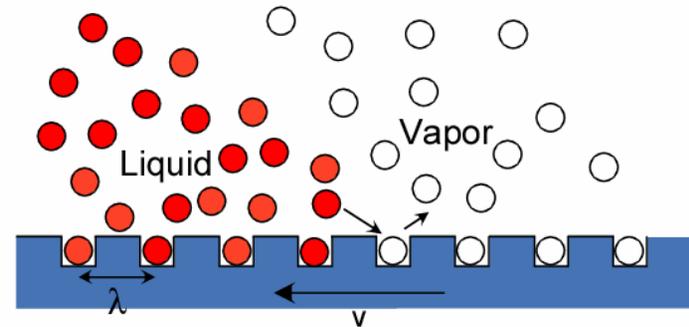
Driving force $\theta \rightarrow \theta_{1D}$
 Rôle crucial de la viscosité
 (mécanique des fluides)



$$Ca = \frac{v\eta}{\gamma} = \frac{1}{9 \ln\left(\frac{L}{L_s}\right)} (\theta^3 - \theta_{1D}^3)$$

Modèle de cinétique Moleculaire :

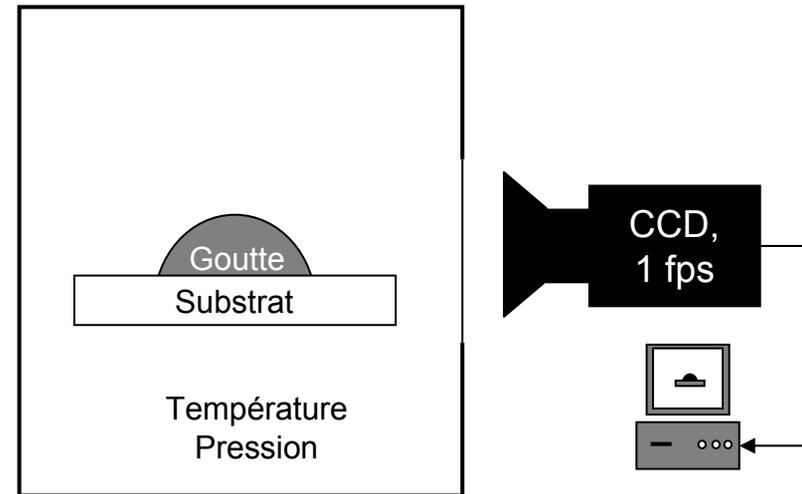
Driving force $\theta \rightarrow \theta_{1D}$
 Déplacements atomiques à la surface du substrat
 (Physico-chimie)



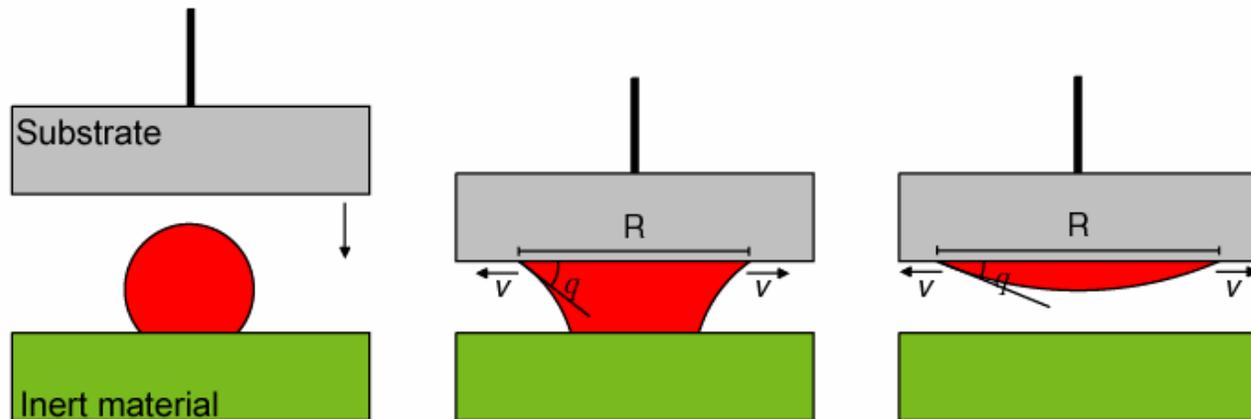
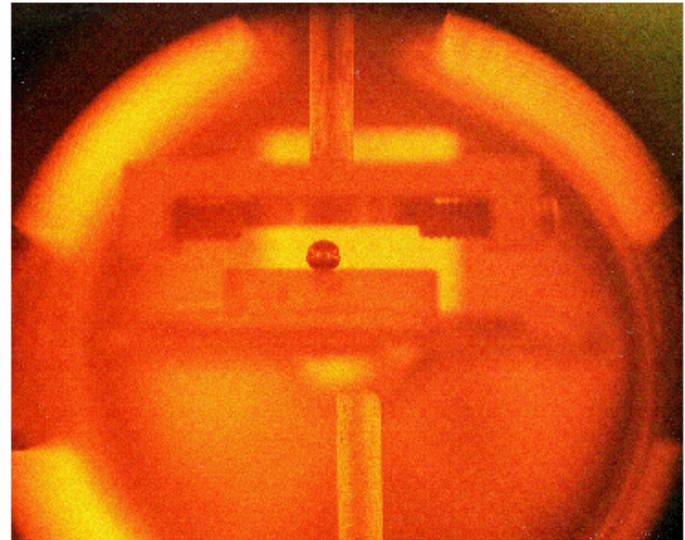
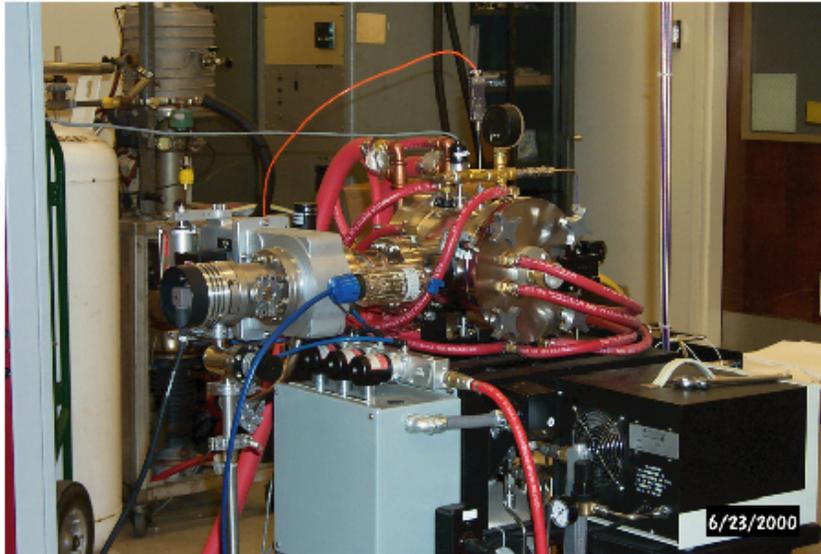
$$Ca = \frac{2\eta\lambda K_\omega}{\gamma_{lv}} \left[\sinh\left(\frac{\lambda^2 \gamma_{lv}}{2kT} (\cos(\theta_{1D}) - \cos(\theta))\right) \right]$$

Dispositifs expérimentaux: Goutte sessile

- o Goutte et substrat sont chauffés en même temps :
 - Dispositif simple
 - Expérience anisotherme : l'étalement de la goutte et les éventuelles réactions chimiques commencent avant que la température soit stabilisée
 - Goutte non homogène quand le mouillage commence (cas des alliages)

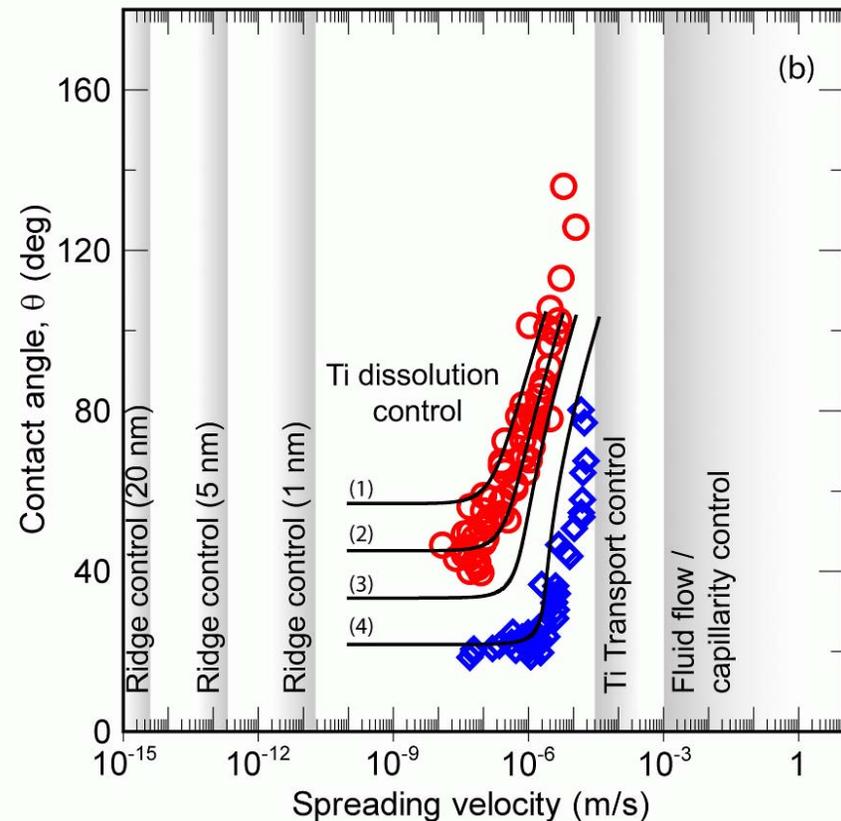
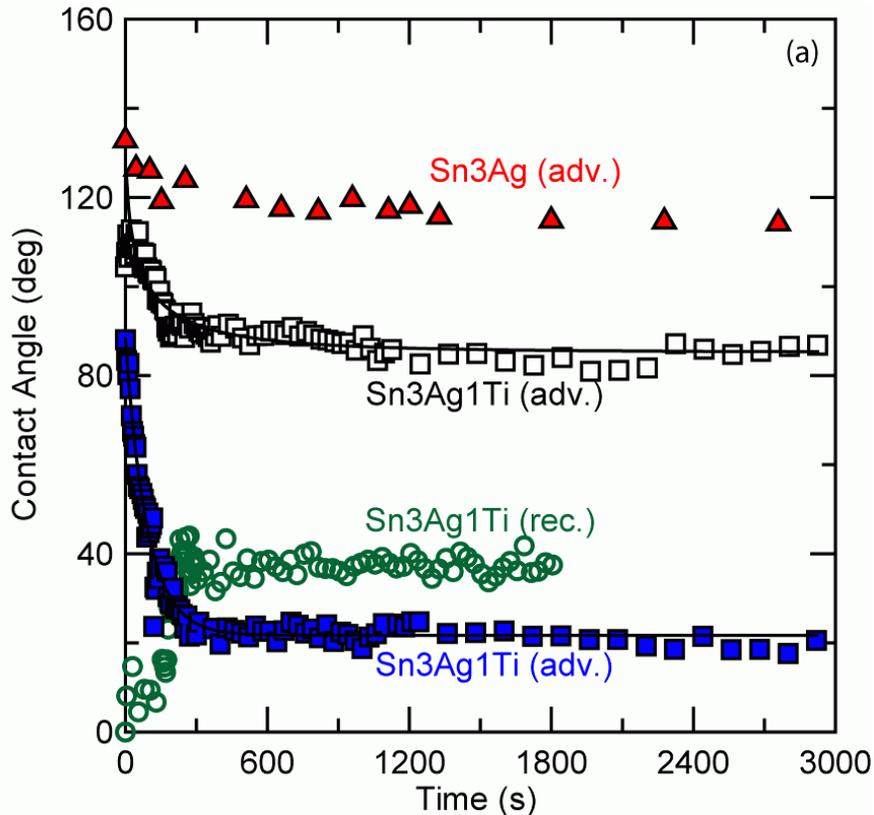


Dispositifs expérimentaux: Transfert de goutte



Mesures des cinétiques de mouillage

- o Angles de contact (θ_d et θ_g)
- o Diamètre de contact (D)
 - vitesse du front liquide



Mesure de l'énergie de surface

$$\gamma = \frac{\Delta\rho \cdot g \cdot R_0^2}{\beta}$$

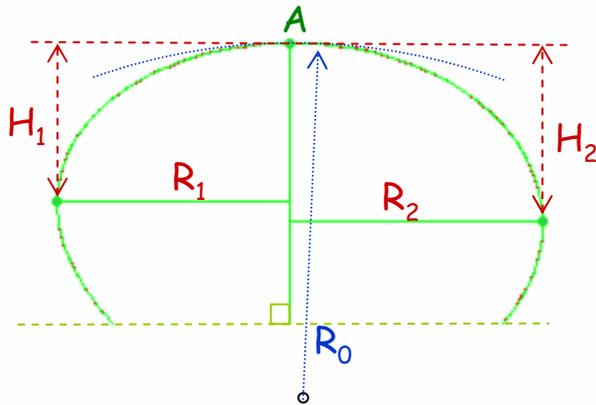
γ : tension de surface

$\Delta\rho$: différence de densité entre la goutte et le milieu environnant

R_0 : rayon de courbure à l'apex de la goutte

β : facteur de forme.

Problème: trouver R_0 et β .



1- trouver R_1, R_2, H_1, H_2

2- avec $X = \frac{H_1 + H_2}{R_1 + R_2}$ on obtient

$$R_0 = \frac{H_1 + H_2}{2 \cdot g(X)} \quad \text{et} \quad \beta = \frac{f(X)}{(g(X))^2}$$

La qualité des mesures est donnée par les assymétries (petite assymétrie \Leftrightarrow meilleure qualité):

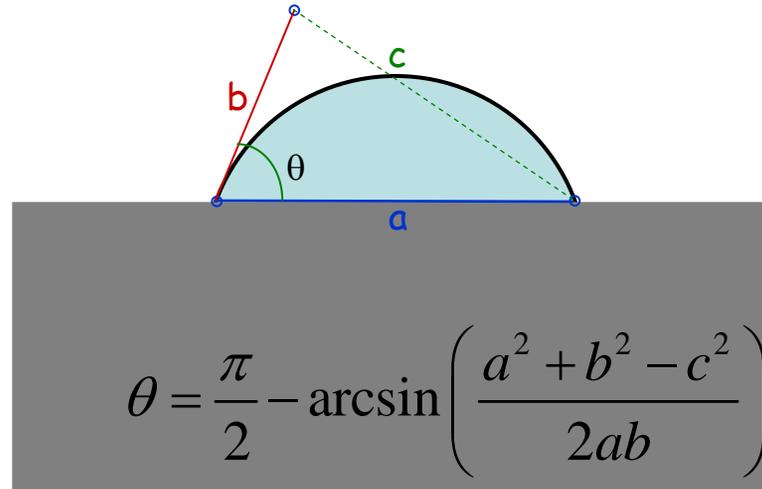
$$A_H = \frac{2|R_1 - R_2|}{R_1 + R_2}$$

$$A_V = \frac{2|H_1 - H_2|}{H_1 + H_2}$$

$$f: X \rightarrow \begin{cases} -4.1788(X-1) + 1.9086(X-1)^2 + 4.5738(X-1)^3 & \text{if } X < 1 \\ -4.3626(X-1) + 1.1961(X-1)^2 & \text{if } X \geq 1 \end{cases}$$

$$g: X \rightarrow \begin{cases} 1 + 1.6795(X-1) - 0.58334(X-1)^2 - 1.4257(X-1)^3 & \text{if } X < 1 \\ 1 + 1.7356(X-1) - 0.40869(X-1)^2 & \text{if } X \geq 1 \end{cases}$$

Mesure manuelle des angles : mesure directe



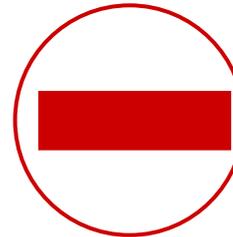
o Rapide

o Facile

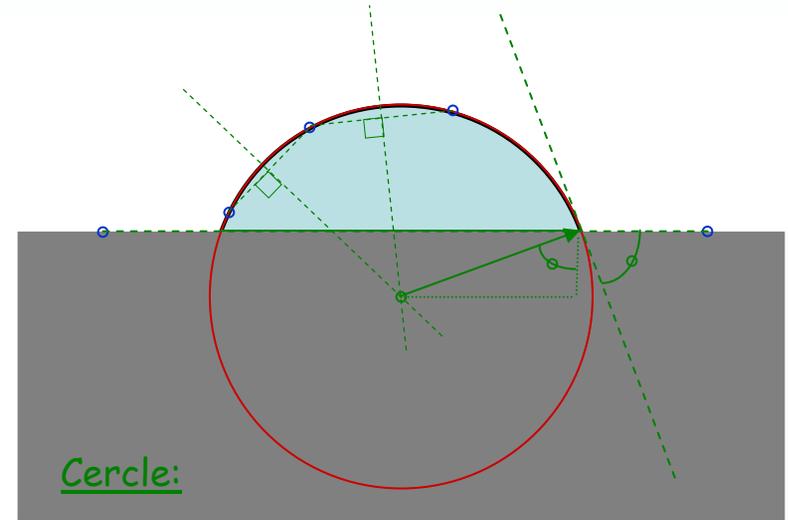
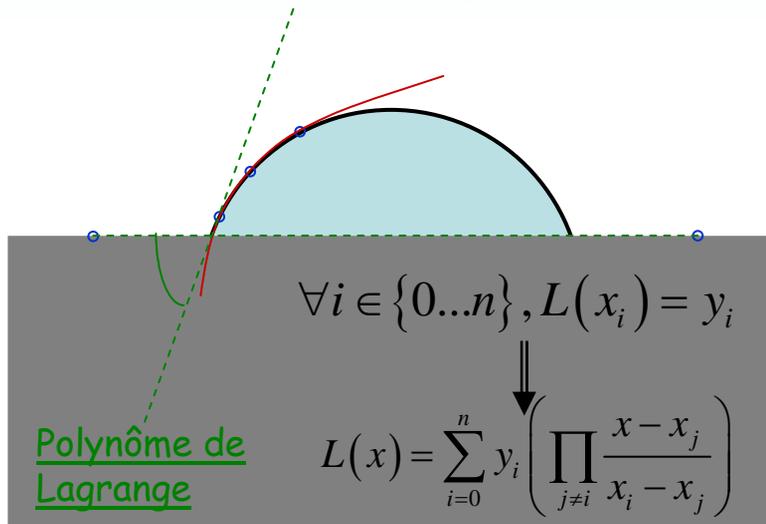
o Fournit angle de contact et diamètre de la goutte.

o Nécessite bonne image (surtout aux petits angles)

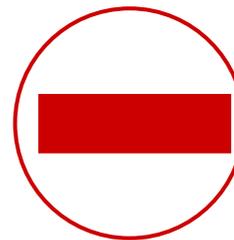
o Pas de calcul de γ_{lv} .



Mesure manuelle des angles: ajustement de la goutte

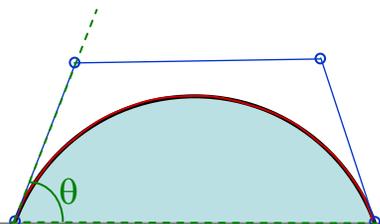


- o Permet d'utiliser de mauvaises images
- o Donne beaucoup d'informations (Cercle)



- o Plus long et difficile
- o Polynôme varie trop vite (\Rightarrow mesure peu précise)
- o Ne fournit pas γ_{lv}

Mesure manuelle des angles : ajustement de la goutte

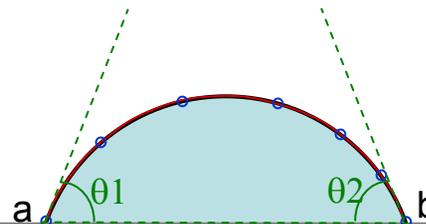
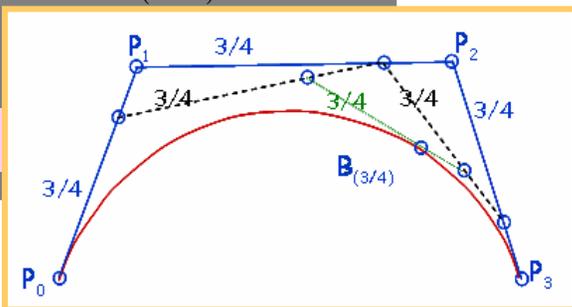


$$X(t) = \sum_{i=0}^n (X_i B_{i,n}(t))$$

$$B_{i,n}(t) = \frac{n!}{i!(n-i)!} (1-t)^{n-i} t^i$$

$$Y(t) = \sum_{i=0}^n (Y_i B_{i,n}(t))$$

Courbe de Bézier

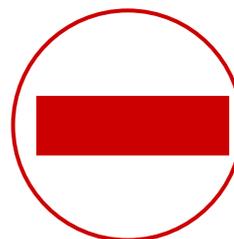


Spline Cubique

g approxime la goutte;
 g définie par morceaux (g_i)
 $g \in C^2[a;b]$
 Sur $[x_i; x_{i+1}] g_i \in \mathbb{R}_3[X]$
 $g(x_i) = y_i$ pour $i = 0 \dots n$
 $g''(a) = g''(b) = 0$



o Peut fournir γ_{lv}

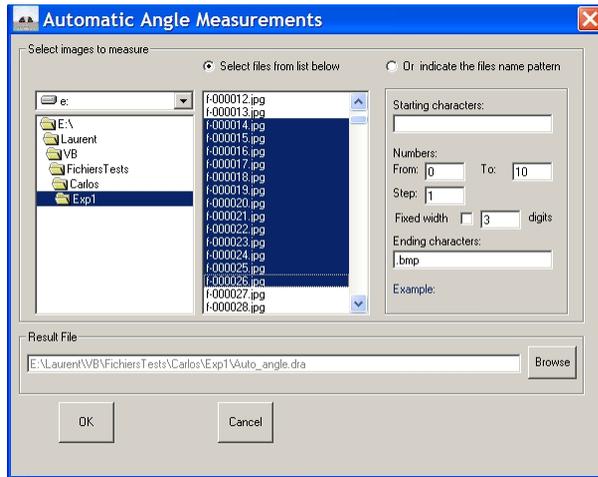


o Très long et difficile

o Nécessite de bonnes images

Mesure automatique des angles de contact

- o Selection des images a mesurer



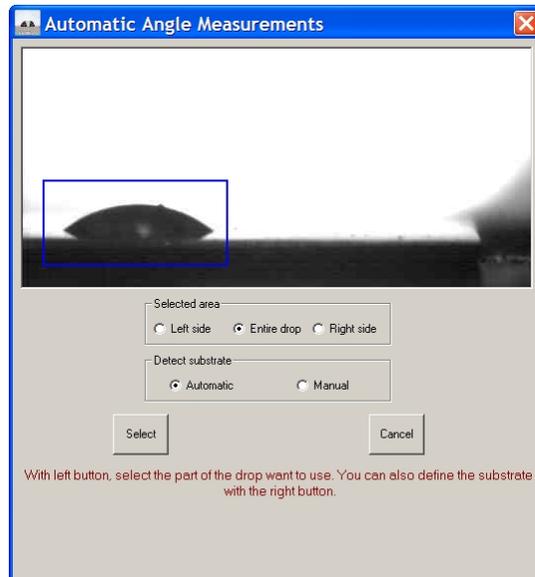
- o Amélioration automatique du contraste



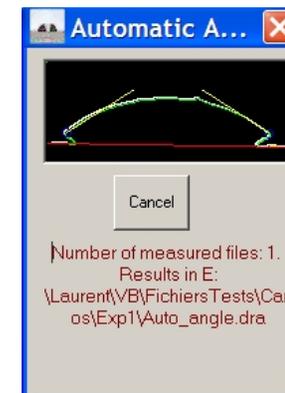
- o Seuillage



- o Détermination de la zone d'intérêt



- o Détermination du contour de la goutte et du substrat par traitement d'image, mesure des angles et stockage des mesures



Nouvelles méthodes de mesure

o BUT

- Détermination automatique des angles, longueurs, facteur de forme...

o DIFFICULTES

- Différentes configurations (positions respective goutte / substrat...)
- Images pas forcément très claires
- LOI DE MURPHY...

o A VOUS DE JOUER !

