Phénomènes interfaciaux impliquant des fluides

lundi 25 mars 2024 16:50

Niveau : Licence Bibliographie : Dunod, PC, 4e ed. + Amiroudine + Guyon

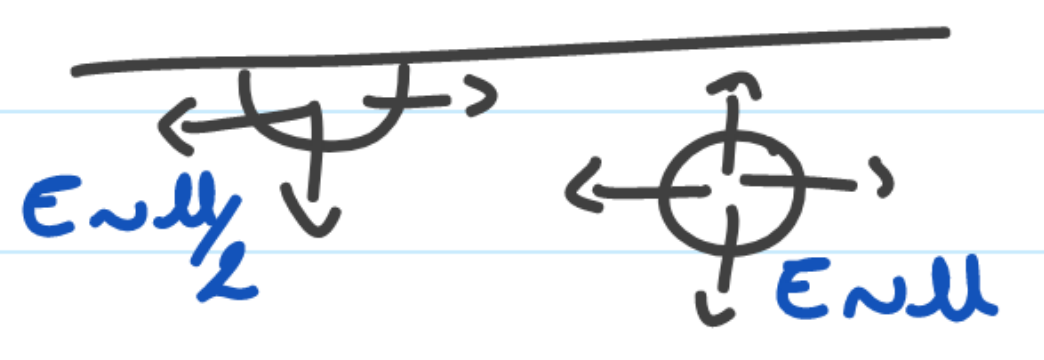
Prérequis :

Pourquoi les gouttelettes sont-elles rondes ? Pourquoi l'eau remonte dans une pailles ? Pourquoi il y a apparition d'un ménisque ?

I/ Tension superficielle

Mise en évidence via un film de savon qui tend un fil.

1) Origine



- Cf annexe why is surf. tension...

→ : interactions intermoléculaires

○ : à la surface ○ perd en énergie de cohésion $\mathcal{U}$

La tension de surface mesure l'écart énergétique surfacique entre une molécules dans le volume du liquide et une molécule en surface.

Plus les interactions attractives sont fortes, plus la tension de surface est grande.

La tension superficielle est associée aux forces de cohésion internes qui s'exercent entre les molécules d'un fluide : forces de van der Waals, liaisons hydrogène, liaisons ioniques, liaisons métalliques. Dans un fluide en volume, les forces exercées par chaque molécule sont équilibrées par celles exercées par les molécules voisines. Si l'on introduit une interface, par exemple avec le vide, les forces exercées dans sa direction ne sont plus équilibrées : c'est l'origine de l'énergie superficielle. La valeur de la tension superficielle sera très variable suivant la nature des forces qui s'exercent entre les atomes ou les molécules.

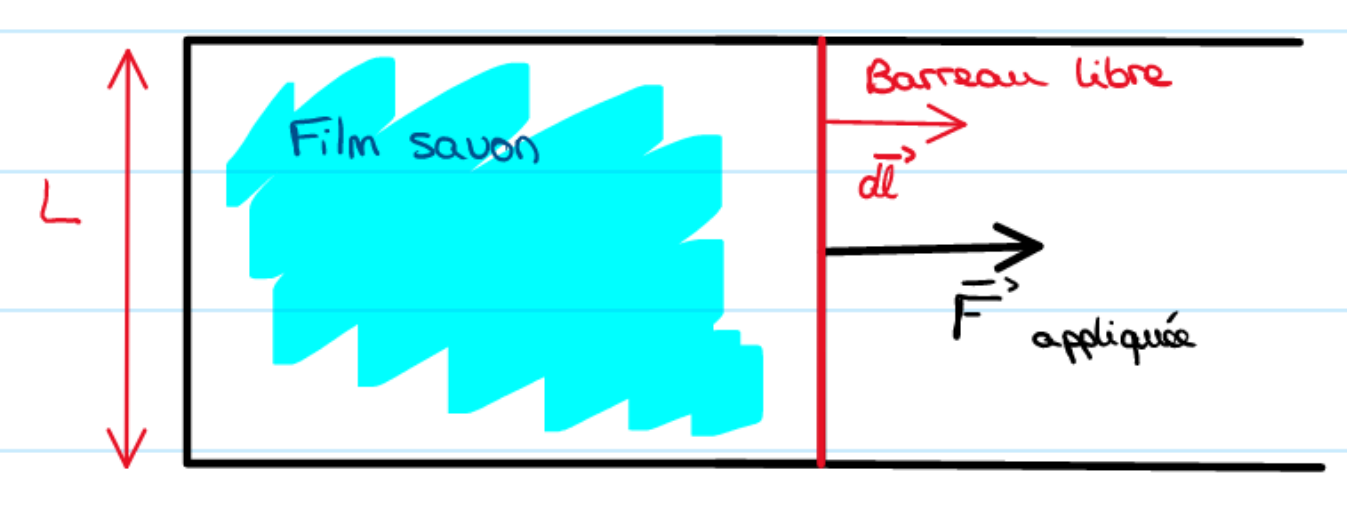
Slide : Valeurs de tension superficielle

2) Interprétation énergétique

Il faut fournir de l'énergie mécanique pour augmenter la surface d'un objet (étirer un carambar, battre des oeufs en neige)

Soit \mathcal{A} la surface initiale d'un objet qu'on déforme : \mathcal{A} --> \mathcal{A} +d \mathcal{A} .
Le travail fourni pour cette augmentation de surface est proportionnelle au nombre de nouvelles molécules à la surface donc à d\mathcal{A} : \delta W = \gamma d\mathcal{A}
où \gamma est le coefficient de tension superficielle [en J/m^2].
Ainsi, \gamma caractérise l'énergie à fournir pour augmenter la surface d'un fluide.

D'autre part, \delta W = \Vec{F}.\Vec{dl}



\Vec{F} = \gamma L \Vec{e_x}

3) Facteurs influençant \gamma

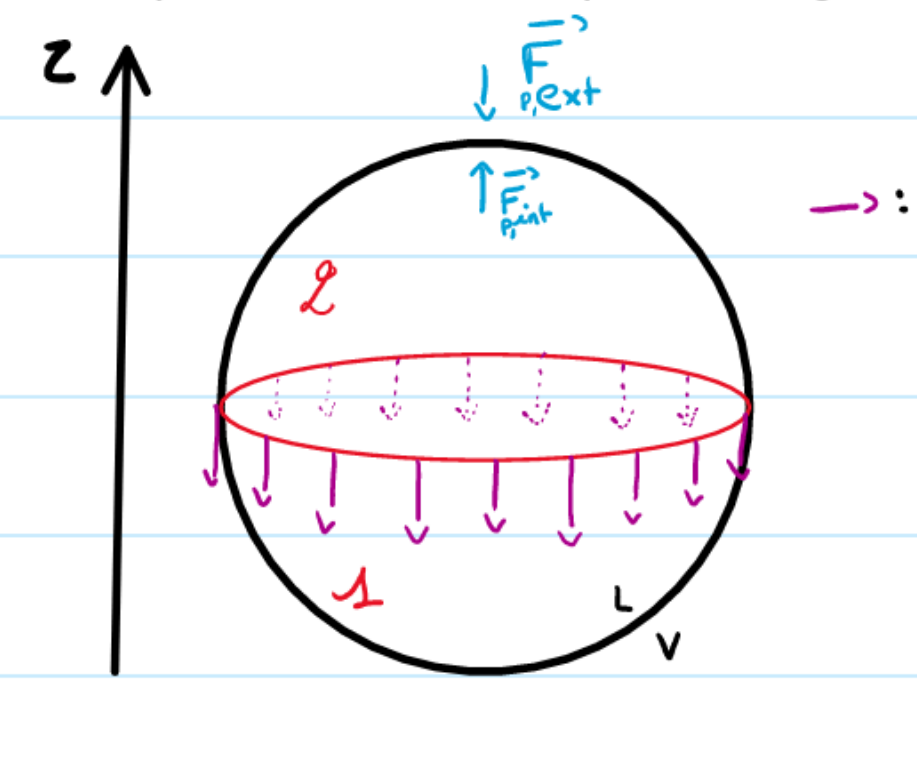
Les espèces de chaque coté de l'interface ainsi que l'énergie d'interaction entre elles.

Au niveau du point critique, la tension superficielle s'annule.

II/ Contact entre plusieurs phases

1) 2 phases

Soit une goutte de rayon R supposée sphérique. Cela correspond à la surface minimale pour le volume associé. On la découpe par la pensée en deux parties égales.



→ : Tension superficielle de 2 sur 1

$$\vec{F}_{p,ext} = -P_{ext}\pi R^2 \vec{u}_z$$
$$\vec{F}_{p,int} = P_{int}\pi R^2 \vec{u}_z$$
$$\vec{T} = -2\pi R \gamma_{LV} \vec{u}_z$$

Équilibre mécanique de la demi goutte 2 :

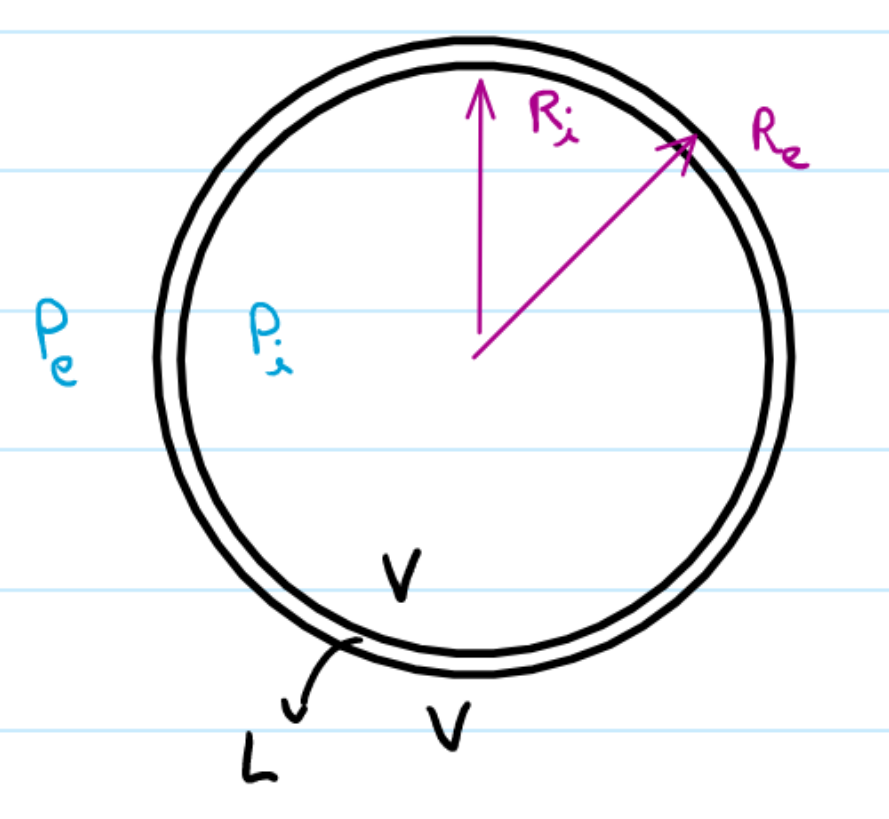
$$\vec{F}_{p,ext} + \vec{F}_{p,int} + \vec{T} = \vec{0}$$
$$(P_{int} - P_{ext}) \times \pi R^2 = 2\pi R \gamma_{LV}$$
$$\boxed{P_{int} - P_{ext} = \frac{2\gamma_{LV}}{R}}$$

Loi de Laplace

L'écart de pression entre l'intérieur et l'extérieur diminue quand je rayon augmente et P_{int} > P_{ext}.

Pour une bulle de savon, la situation est légèrement différente, on a deux membranes :

$$\vec{T} = -2\pi \times 2R\gamma_{LV} \vec{u}_z$$



$R_i \sim R_e \sim R$

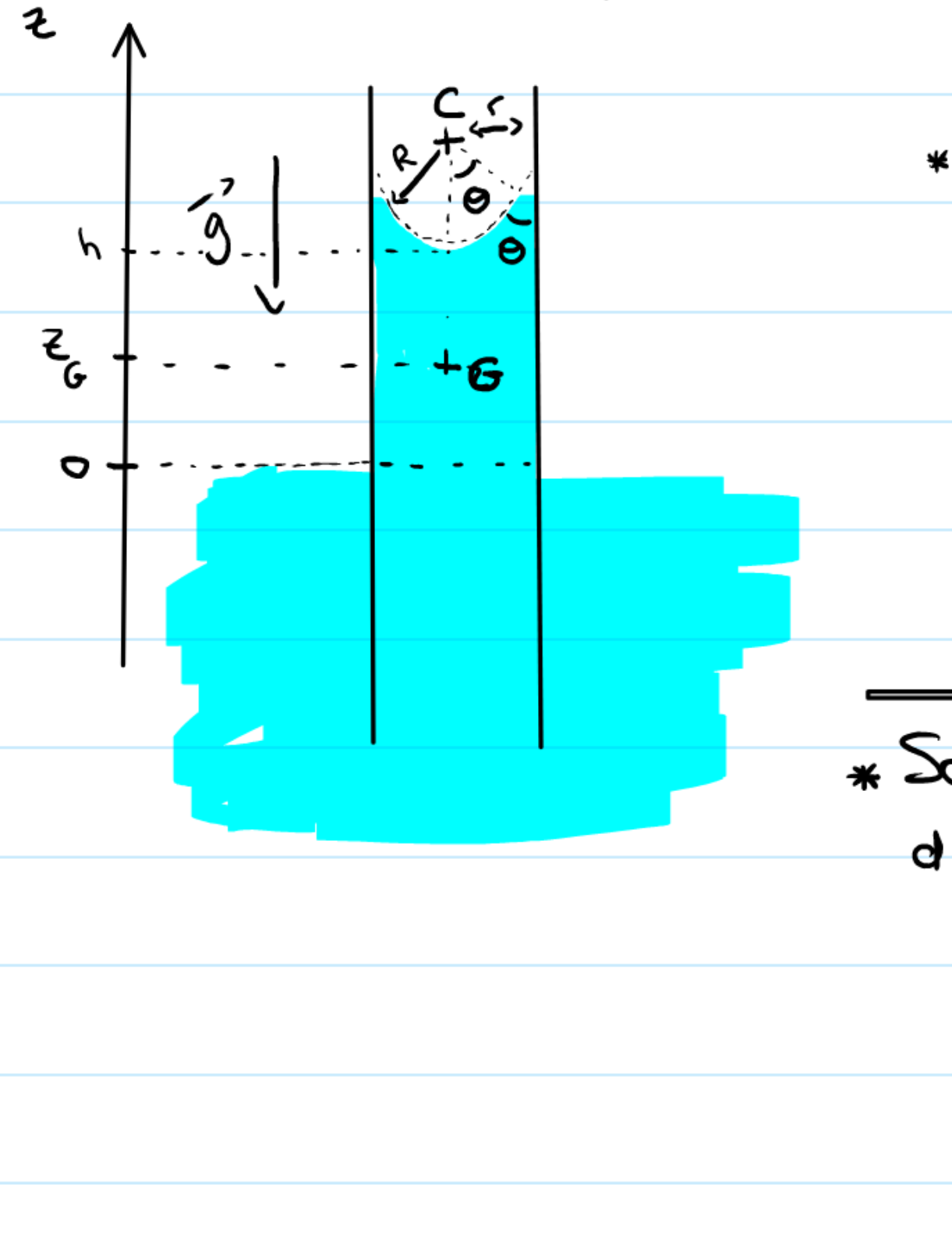
La loi de Laplace se réécrit comme :

$$P_i - P_e = \frac{4\gamma_{LV}}{R}$$

Expérience : petite bulle se vide dans la grande

2) Contact à 3 phases - capillarité

On étudie la remontée d'un fluide dans un tubes de rayon R. Afin de déterminer la hauteur d'ascension du liquide, on effectue une étude énergétique :



* Au niveau du ménisque, on retrouve la loi de Laplace :

$$P_+(h) - P_-(h) = \frac{2\gamma_{LV}\cos\theta}{r} \qquad (r = R\cos\theta)$$

Et $P_-(h) = P_{atm} - \rho_\ell g h$ et $P_+(h) = P_{atm}$

Donc :

$$h = \frac{\gamma_{LV}\cos\theta}{g r \rho_\ell}$$

---

* Soit G le centre de gravité de la colonne d'eau :

$$\Delta E_p = \rho_\ell \times V_c \times z_G\, g$$

ρ_ℓ : masse volumique du liquide

$V_c = \pi r^2 h$, volume de la colonne

* Changement d'interface : S-V → L-S

$\gamma_{LS/SV}$: Energie à fournir pour augmenter la surface L-S / S-V d'une unité.

Donc : $\Delta E_{surf} = 2\pi h r \times (\gamma_{LS} - \gamma_{SV})$

L'énergie potentielle est donc : $E(h) = \Delta E_p + \Delta E_s = \rho_\ell \pi r^2 z_G g h + 2\pi h r(\gamma_{LS} - \gamma_{SV})$

En négligeant le ménisque : $z_G \simeq h/2$

$$E(h) = \frac{1}{2}\pi r^2 \rho_\ell g h^2 + 2\pi r(\gamma_{LS} - \gamma_{SV})h$$

A l'équilibre, $\frac{dE(h)}{dh} = 0$ donc :

$$\boxed{\frac{2(\gamma_{SV} - \gamma_{LS})}{r \rho_\ell g} = h}$$

Loi de Jurin

Plus r petit, plus h grand. (exp. qualitative)

En identifiant avec la première expression de h :

$$\boxed{\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV}\cos\theta}$$

Loi de Young-Dupré.

3) Mesure de la tension de surface

ou vérification exp. loi de Jurin.

Expérience: méthode d'arrachement

En utilisant le même raisonnement que précédemment

$$dE_{P,surf} = p(\gamma_{SV} - \gamma_{LS})\,dz$$

(pdz : surface mouillée)
p = périmètre lame

$$= \delta W_{op} = \vec{F}_{op} \cdot dz\, \vec{e}_z$$

Il faut donc appliquer la force : $\vec{F}_{op} = p(\gamma_{SV} - \gamma_{LS})$

$$= p\gamma_{LV}\cos\theta$$

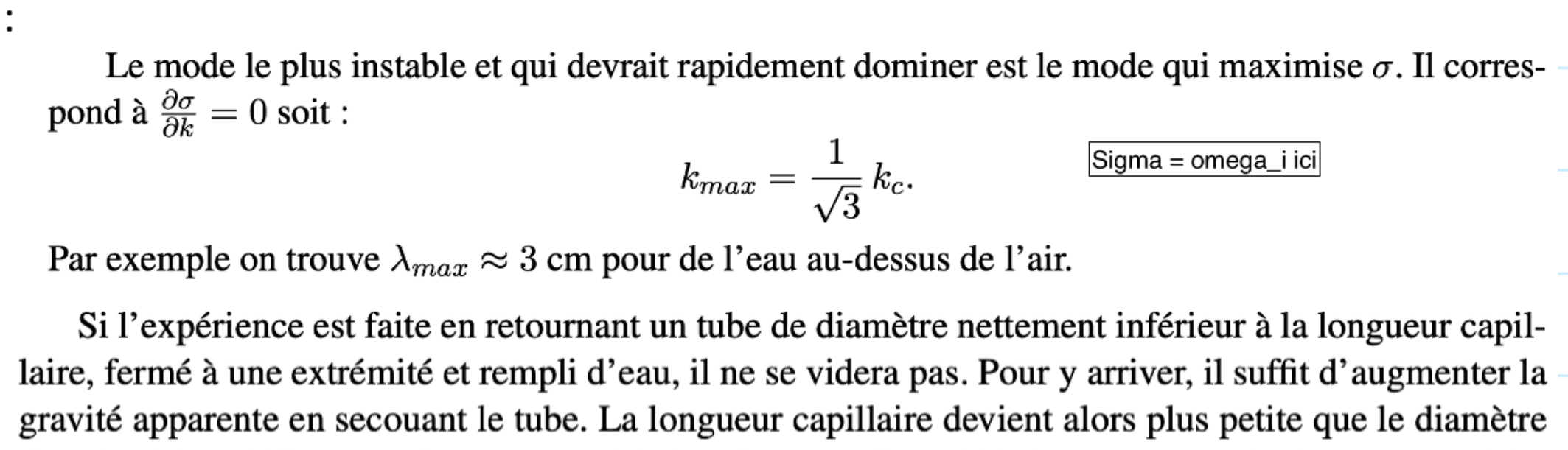
A l'arrachage, $\cos\theta = 1$ $(\theta = 0)$ et on mesure la force appliquée.

On remonte à γ_{LV}.

Ccl.

Site utile pour la loi de Young-Dupré (autre application, le mouillage) : https://www.plantes-et-eau.fr/documentation/outils-et-concepts-de-base/15-l-eau-aux-interfaces-phenomenes-capillaires/61-quelques-notions-de-base-et-exemples-clefs

+ Info utile, intabilité de rayleigh-taylor eau sur air
:



Le mode le plus instable et qui devrait rapidement dominer est le mode qui maximise σ. Il correspond à $\frac{\partial\sigma}{\partial k} = 0$ soit :

$$k_{max} = \frac{1}{\sqrt{3}} k_c.$$

Sigma = omega_i ici

Par exemple on trouve $\lambda_{max} \approx 3$ cm pour de l'eau au-dessus de l'air.

Si l'expérience est faite en retournant un tube de diamètre nettement inférieur à la longueur capillaire, fermé à une extrémité et rempli d'eau, il ne se videra pas. Pour y arriver, il suffit d'augmenter la gravité apparente en secouant le tube. La longueur capillaire devient alors plus petite que le diamètre du tube, l'instabilité peut démarrer et vide le tube. Des dispositifs basés sur ce principe servent d'in-

- Longueur capillaire
- Vague à la surface de l'eau (Taille typique vs ℓ_c)
- Rayleigh taylor et capillarité
- Taille d'une goutte.