

Master 2 Recherche Microfluidique

*Simulation d'écoulements microfluidique de goutte
par effet Marangoni*



Où ?

Paris

- IPGG (Institut Pierre-Gilles de Gennes)
- ESPCI ParisTech (Ecole supérieure physique chimie industrielles)
- Univ. Paris 6 (UPMC)
- ENSCP (Chimie ParisTech)
- Univ. Paris 7 (Diderot)
- ENS Cachan
- Hôpital Pitié-Salpêtrière
- Univ. Paris-Sud (Orsay)

Quoi ?

Microfluidique

- Microfluidique
- Mécanique des fluides
- Lab. on chip (LOC)
- Biologie

Microfluidique

Modélisation Théorie

- Mécanique des milieux continus
- Thermodynamique
- Électro-hydrodynamique

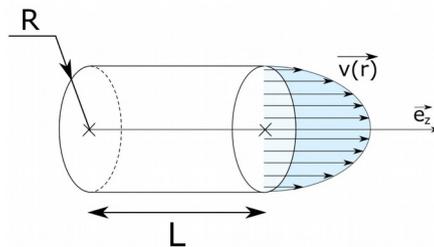
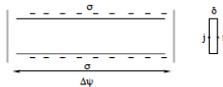
Micro-fabrication Expérimental

- Salle blanche
- Validation de la théorie par l'expérimentation

Travaux Dirigés de Microfluidique Séparation de protéines

Marie-Caroline Jullien

L'électrophorèse capillaire est la technique de séparation la plus utilisée dans les micro-systèmes d'analyse intégrés. Le but de cet exercice est de mettre en évidence les avantages de la miniaturisation en étudiant les paramètres influençant l'efficacité de la colonne.

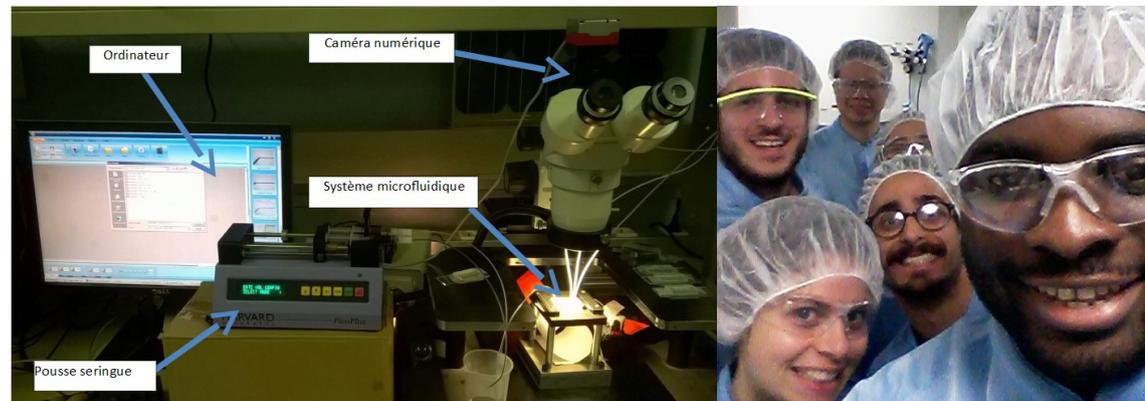


1 Séparation de protéines

Considérons 3 types de protéines chargées p_1 , p_2 et p_3 . p_1 et p_2 portent la même charge $-Q$ alors que p_3 est chargée positivement (charge $+Q$). De plus p_1 et p_3 ont la même masse moléculaire et sont deux fois plus légères que p_2 .

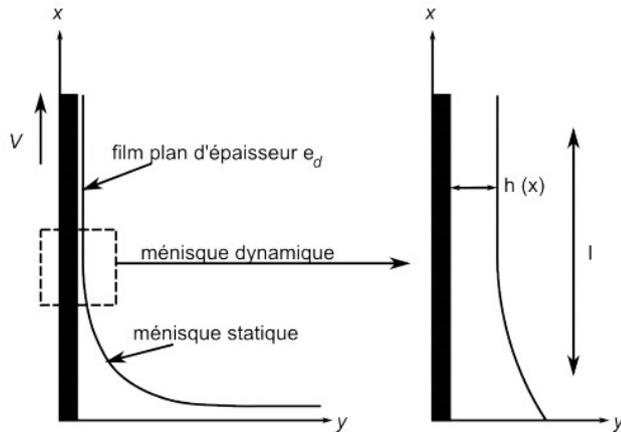
Le canal de séparation a une longueur L , une largeur w , une épaisseur h , et une densité de charges de surface σ homogène et négative. Le tampon utilisé est un acide fort dilué de pH 4, la longueur de Debye caractérisant cet électrolyte est notée λ_D . Pour simplifier le système on considère $L \gg w \gg h \gg \lambda_D$. Les protéines sont concentrées dans un "plug" de largeur δ au début du canal de séparation.

1. Déterminer l'expression de la vitesse de chacune des protéines lorsqu'une différence de potentiel $\Delta\Phi$ est appliquée aux bornes du canal.
2. En absence de diffusion, quelles sont les conditions nécessaires pour recueillir successivement les 3 espèces de protéines à l'extrémité du canal ?
3. En tenant compte de la diffusion, quelle est la largeur des "spots" obtenus à l'extrémité du canal ? Comment augmenter la résolution de la colonne ?
4. Tous les autres paramètres étant identiques, la solution est maintenant à pH=2. Quelle sera la largeur des spots de protéines ?



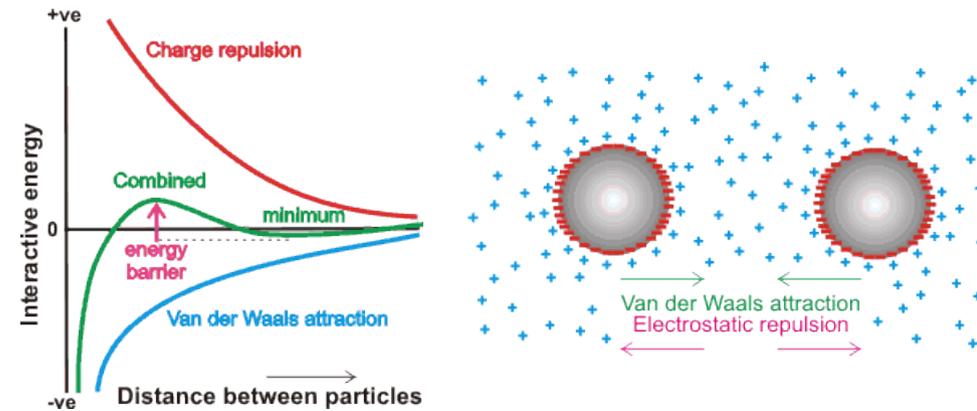
Mécanique des fluides

- Écoulements à surface libre



Théorie de LLD (Landau, Levich et Derjaguin)

- Interfaces et dispersions



Théorie DLVO (Derjaguin, Landau, Verwey et Overbeek)

- Rhéologie

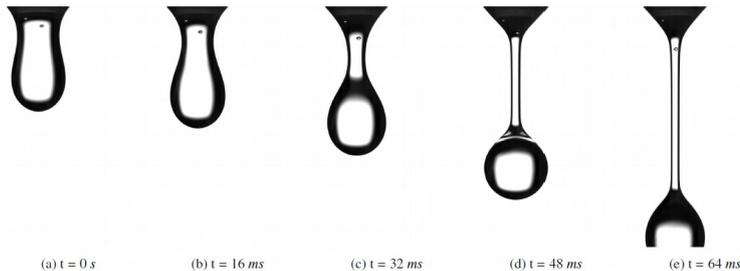
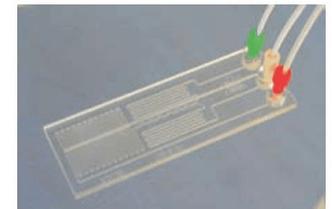
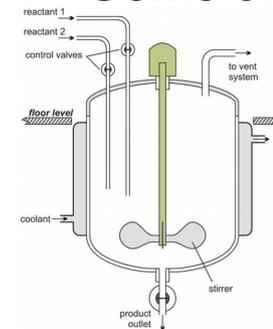


FIGURE 8 – Détachement d'une goutte de PEO₁ pour un capillaire de diamètre 6,26 mm

Étude des écoulements et des déformations

- Génie chimique



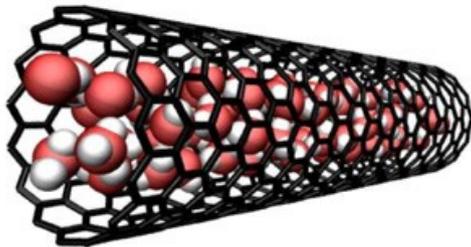
Intensification des procédés

Le master

Quoi ?

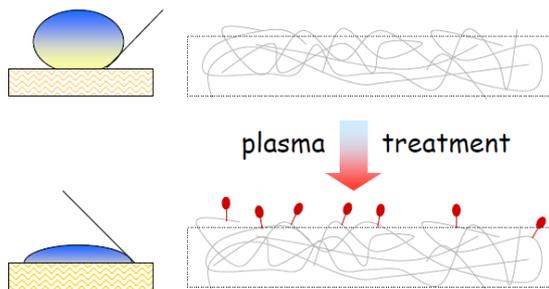
Lab. On a Chip (LOC)

- Nano-fluidique



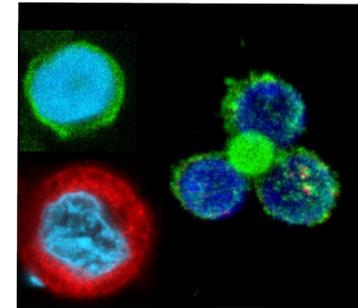
Analyse de l'ADN

- Traitement de surface



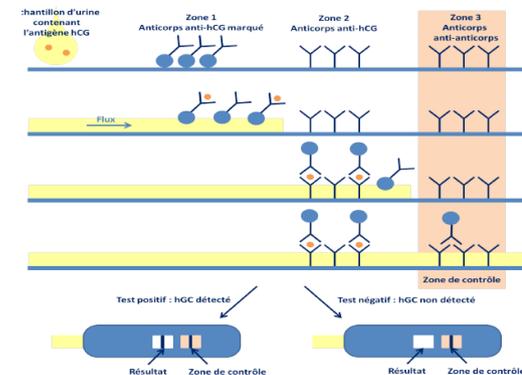
Procédés plasmas

- Biotechnologies



Marquage et capture de CTC
(Cellules tumorales circulantes)

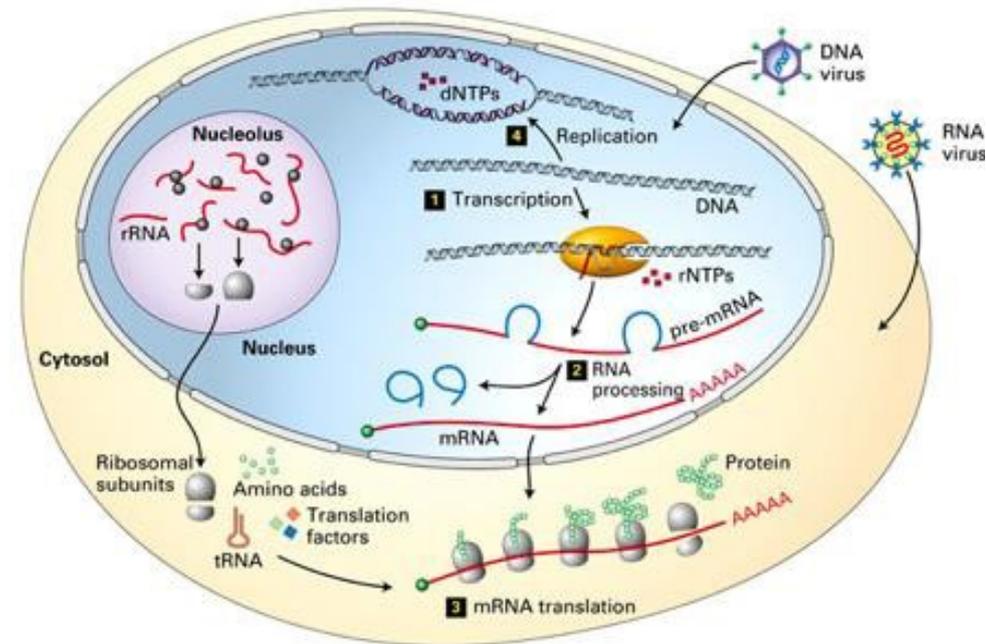
- Chimie analytique et séparation



Immuno-chromatography – test de grossesse

Biologie

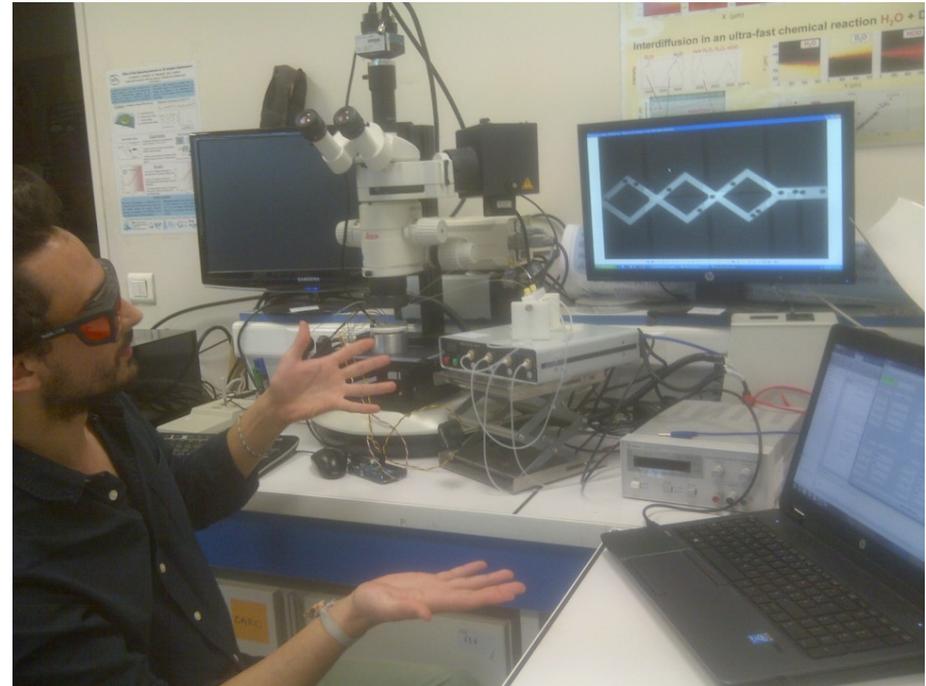
- ADN (acide désoxyribonucléique)
- Mutations génétique
 - *Cancers*
 - *Maladies génétiques (Alzheimer, trisomie 21, etc.)*
- Séquencage d'ADN
 - *PCR (Polymerase chain reaction)*
 - *Marquage d'ADN*



Instrumentation, modélisation et supervision d'un joystick thermomécanique



- Microfabrication [Salle Blanche]
- Instrumentation de commande [Arduino, imprimante 3D]
- Programmation d'un GUI de commande [Matlab, Arduino]
- Modélisation thermique du système [Comsol]



Simulation d'écoulements microfluidique de goutte par effet Marangoni

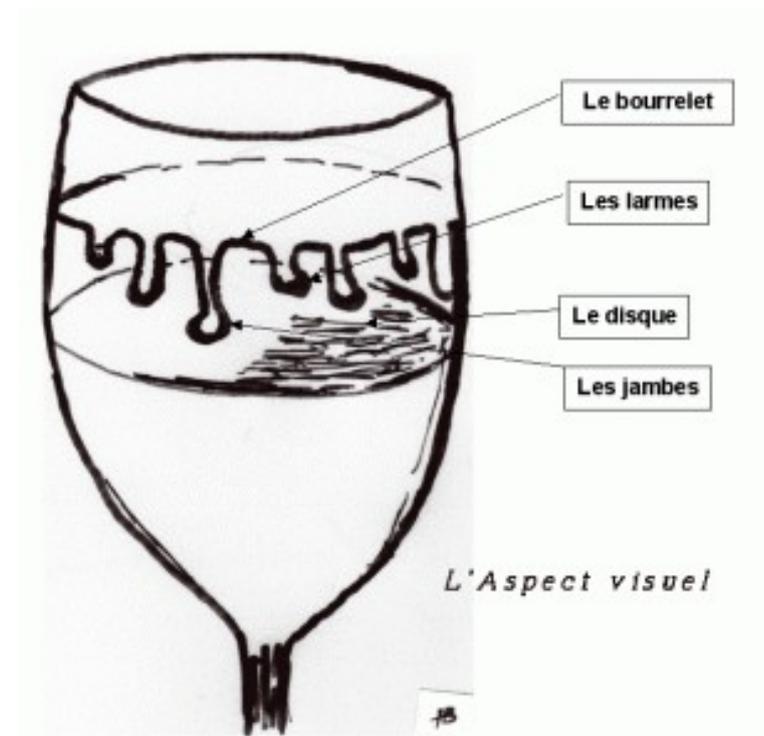
- **Effet Marangoni**

Carlo Marangoni (1840 – 1925) :

Physicien italien né à Pavie (nord de l'Italie, au sud de Milan).

Passionné par la nature

- Larmes du vin





Simulation d'écoulements microfluidique de goutte par effet Marangoni

- Résolution numérique :

- Méthode mathématiques

Résolution des équations en certains points par des séries de Taylor.

- *Solution continue*
 - *Infinité de degré de liberté*

- Méthode physique

Discrétisation de l'espace en éléments de volume

- *Solution discrète*
 - *Nombre de degré de liberté fini*
 - *Travaille avec des flux*



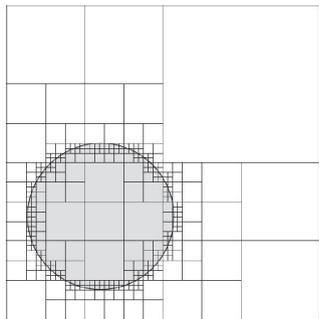
Simulation d'écoulements microfluidique de goutte par effet Marangoni

- **Simulation numérique :**

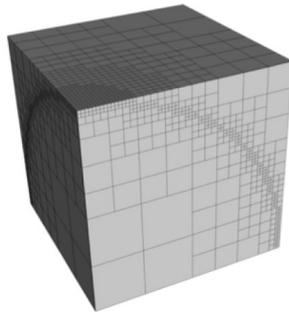
Basiliscus latin du lézard Jésus-Christ
Connu pour courir à la surface de l'eau



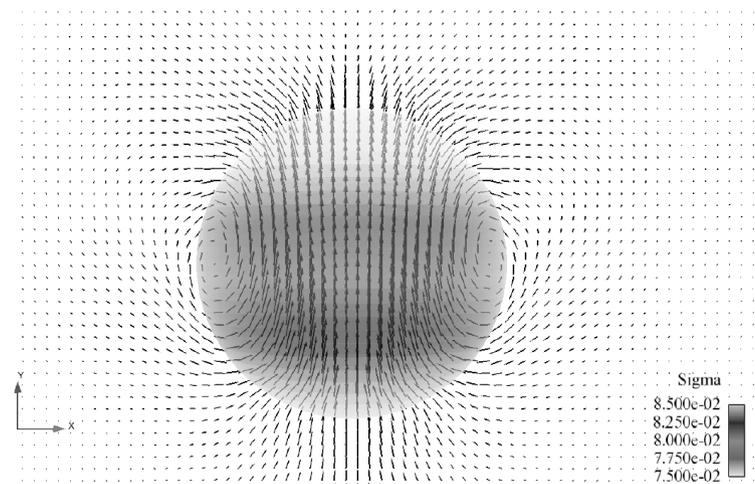
Programmation en C !



(a) Quadtree



(b) Octree



Bonus

Année de césure

- Allemagne
- Danemark
- Suède
- Norvège
- Taïwan
- Portugal
- ...



Simulation d'écoulements microfluidique de goutte par effet Marangoni

- Lois de conservation :
- Équation de conservation de la masse

$$\partial_t \rho + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

- Équation de conservation de la quantité de mouvement

$$\rho \left[\partial_t \vec{u} + (\vec{u} \cdot \vec{\nabla}) \vec{u} \right] = \rho \vec{f} + \text{div} (\overline{\overline{\sigma}})$$

- Équation de conservation de l'énergie

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{2} \rho |u|^2 + \rho e \right) + \vec{\nabla} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \rho |u|^2 + \rho e \right) \vec{u} \right) - \vec{\nabla} \cdot (\overline{\overline{\sigma}} \cdot \vec{u}) - \kappa \Delta T = \rho \vec{f} \cdot \vec{u} + Q$$

Simulation d'écoulements microfluidique de goutte par effet Marangoni

- **Méthodes de suivi d'interface sur maillage fixe**
 - Suivi du front mobile (Front tracking)
 - *Volume tracking*
 - *Surface tracking*
 - Capture du front mobile (Front capturing)
 - *Volume of fluid*
 - *Level set*