

NANODRIVE

Sonder un écoulement nanométrique par vélocimétrie de particule

C. I. Bouzigues et P. Tabeling

Laboratoire de Microfluidique, MEMs et Nanostructures, CNRS UMR Gulliver, ESPCI, Paris

Introduction

Des avancées technologiques récentes permettent la production de **systèmes nanofluidiques**. De tels dispositifs pourraient avoir des applications considérables : pour l'analyse biochimique sur puce, pour laquelle la miniaturisation est essentielle, ou pour la biologie cellulaire en contrôlant des stimulations chimiques subcellulaires¹. Les écoulements sont cependant peu caractérisés à ces échelles, où les **interactions avec les surfaces** sont importantes, notamment dans le phénomène de **glissement**.

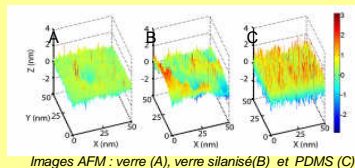
Nous proposons ici une méthode basée sur l'**imagerie de nanoparticules fluorescentes sous onde évanescente**². Nous avons résolu des écoulements avec une précision de 20 nm entre 20 et 300 nm au dessus d'une surface solide. Nous proposons des mesures directes et locales des **longueurs de glissement** et de **paysages énergétiques** sur différentes surfaces.

Méthodes

Systèmes

Les microcanaux (10 μm x 100 μm) sont formés entre verre et PDMS. Le verre est nu, silanisé ou recouvert d'une couche de PDMS de 10 μm d'épaisseur.

Surface	Angle de contact	Rugosité
Verre	< 20°	0.33 nm
Silane	95°	0.44 nm
PDMS	80°	0.66 nm

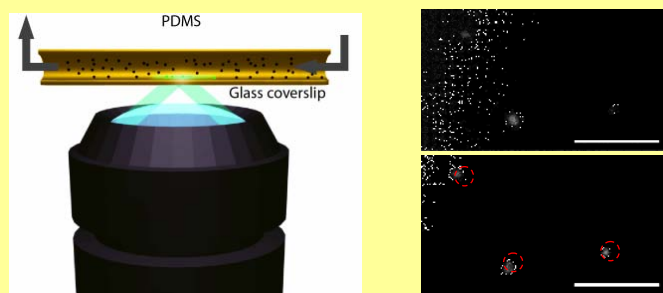


Images AFM : verre (A), verre silanisé(B) et PDMS (C)

Les surfaces hydrophiles ou hydrophobes sont considérées comme lisses

Vélocimétrie sous onde évanescente

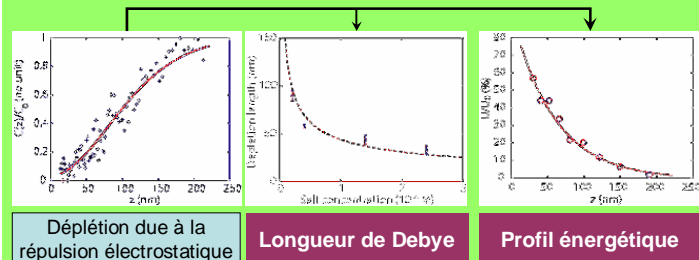
Des **nanoparticules fluorescentes** (20 nm) sont observées par onde évanescente. La décroissance exponentielle de l'illumination permet la mesure de l'altitude des traceurs.



Suivi de nanoparticules en 3-D

Paysage énergétique

Nous sondons les **interactions électrostatiques** entre les nanoparticules et la surface en mesurant les **profils de concentration** des nanoparticules.



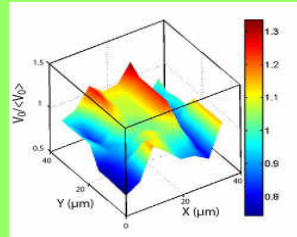
Déplétion due à la répulsion électrostatique

Longueur de Debye

Profil énergétique

Carte du potentiel de surface

Le profil local de concentration en traceurs permet la mesure des interactions avec la surface pour donner une carte de **potentiel de surface**.

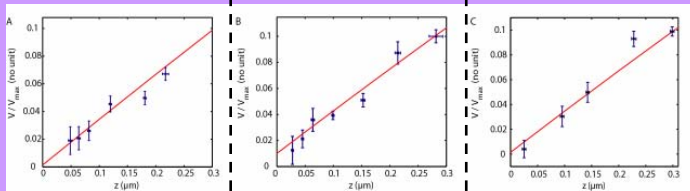


Potentiel de surface sur du PDMS lisse : mise en évidence de variations locales (~20%)

Longueur de glissement

La mesure de la vitesse de milliers de particules uniques permet la détermination de la **vitesse de l'écoulement** (vitesse moyenne) et du **coefficient de diffusion** (dispersion des vitesses) avec une **résolution de 20 nm**.

Profils de vitesse

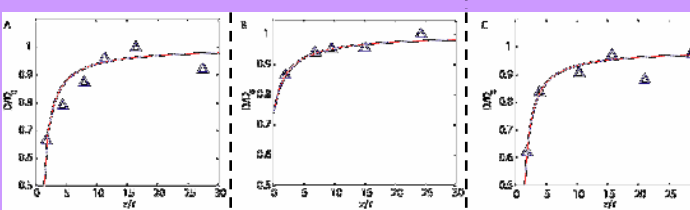


Verre nu
 $L_s = 3 \pm 7$ nm

Verre silanisé
 $L_s = 29 \pm 11$ nm

PDMS
 $L_s = 4 \pm 8$ nm

Profils de coefficient de diffusion



Verre nu
 $L_s = -3 \pm 7$ nm

Verre silanisé
 $L_s = 21 \pm 12$ nm

PDMS
 $L_s = -4 \pm 6$ nm

NON-GLISSEMENT

GLISSEMENT

NON-GLISSEMENT

Conclusion

Nous avons développé des méthodes innovantes de **nanovelocimétrie** pour sonder des écoulements à **haute résolution (20 nm)** près (20-300 nm) de **surfaces solides**. Nous avons mesuré *in situ* le **paysage énergétique** au dessus de ces surfaces. Ceci peut être étendu à tout type de surface, au contraire des mesures par machine de force. Pour la première fois, nous avons observé un profil de vitesse avec un précision suffisante pour déterminer directement la **longueur de glissement de l'eau sur du verre et du PDMS**, de valeur comparable à celles mesurées^{3,4} indirectement ou prédites⁵. Les méthodes développées seront de plus un outil de choix pour la nanofluidique et l'étude des **interactions liquide/surface**. Ceci sera décisif pour l'étude d'**écoulements électro-osmotiques** ou sur des **substrats structurés**.

- Mukhopadhyay, *Anal. Chem.* **78**, 7379 (2006)
- Huang et al. *J. of Fluid. Mech.* **566**, 447 (2006)
- Joly et al. *Phys Rev Lett.* **96**, 046101 (2006)
- Cottin-Bizonne et al. *Eur. Phys. J. E.* **9**, 47 (2002)
- Doshi et al. *Proc. Nat. Acad. Sci* **102**, 9458 (2005)