



Laboratoire : Laboratoire Interdisciplinaire de Physique, Grenoble, France
Equipe : [Soft Matter, Organization, Dynamics and Interfaces](#)
Contact : Romain Lhermerout (romain.lhermerout@univ-grenoble-alpes.fr)

How does a saline solution flow, and how does it conduct electricity when confined?

In *bulk*, the flow and electrical conduction properties of saline solutions are now well understood. But what happens when the liquid is confined to a space of a few tens of nanometers, or even just a few nanometers? **This question lies at the heart of many natural phenomena and emerging technologies:** transport across cell membranes, blood filtration, pollution control, osmotic energy recovery, electrochemical storage, and iontronics.

When confinement reaches a few tens of nanometers, interactions with surfaces become critical: hydrodynamic slippage, electrokinetic couplings, and the capacitance of the electric double layer profoundly alter transport properties. At the scale of a few nanometers, the continuous description itself reaches its limits, and molecular structure, electrostatic correlations, and fluctuations become dominant; fluid, ionic, and electronic transport are then found to be closely coupled [1].

Transports in confined saline solutions are typically studied using nanofluidic devices or electrochemical techniques. However, these approaches present a major challenge: **simultaneously and precisely controlling both the confinement** (without edge effects or pore distribution) **and the boundary conditions at the surfaces** (charge, slippage) in contact with the liquid. **The dynamic Surface Force Apparatus (dSFA) developed in our laboratory offers precisely this capability.**

Thanks to this instrument, we recently demonstrated that a saline solution confined between glass surfaces does not behave like a simple viscous liquid: it exhibits **hydrodynamic overdamping** [2]. We have established that this phenomenon arises from electroosmotic counterflows generated in the vicinity of electrostatically charged insulating surfaces, and have quantitatively described its amplitude and extent as a function of the solution's properties [3].

When the insulating glass surfaces are replaced by conductive platinum surfaces, we observe, conversely, **underdamping** compared to a liquid of the same viscosity without electric charges. The interpretation of this phenomenon remains to be established. One thing is clear, however: **the electrical nature of the confining surfaces can profoundly alter the flow of the liquid.**

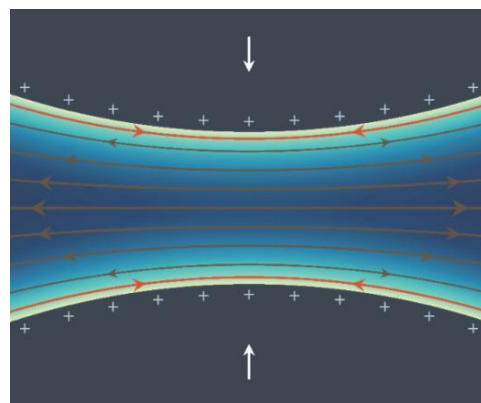


Fig. Illustration of the flow of a saline solution confined between electrostatically charged insulating surfaces.

The objective of this internship is to understand how the electrical conductivity of confining surfaces controls the flow properties of a nanoconfined saline solution. To this end, the project will utilize semiconducting surfaces, which will allow for the experimental exploration of a situation that lies between insulating and conducting surfaces.

The internship will consist of several complementary stages:

- **fabrication of surfaces** by sputtering;
- **characterization of their topography** using atomic force microscopy (AFM);
- **conducting dSFA experiments** to measure hydrodynamic forces in confined solutions;
- **analysis and modeling of the results** to identify the role of surface conductivity.

All necessary experimental techniques are **available and mastered in the laboratory**. The internship will thus allow the candidate to gain training in a range of cutting-edge experimental techniques at the interface between **fluid mechanics, condensed matter physics, and interface physics**.

This project is part of a research theme currently being developed at the laboratory and **may be continued as a doctoral thesis, funded under the ANR JCJC ElectroMecano project**. Continuing the project will, in particular, allow us to take a deeper look with the combination of mechanical and electrical measurements within the dSFA, in order to develop a unified understanding of fluid, ionic, and electronic transport under confinement.

[1] N. Kavokine, R. R. Netz & L. Bocquet, [*Fluids at the Nanoscale: From Continuum to Subcontinuum Transport*](#), **Annual Review of Fluid Mechanics** 53:377-410 (2021)

[2] C. Cramail, [*Forces de surface dynamiques des solutions ioniques confinées : mesures expérimentales et modélisation théorique*](#), PhD Thesis (2024)

[3] C. Cramail, R. Lhermerout, B. Cross & Elisabeth Charlaix, [*Hydrodynamic forces in the drainage of an electrolyte confined between dielectric surfaces*](#), **J. Fluid Mech.** (in press)



Laboratoire : Laboratoire Interdisciplinaire de Physique, Grenoble, France
Equipe : [Matière molle : Organisation, Dynamique et Interfaces](#)
Contact : Romain Lhermerout (romain.lhermerout@univ-grenoble-alpes.fr)

Comment une solution saline s'écoule-t-elle et comment conduit-elle l'électricité lorsqu'elle est confinée ?

Dans le *bulk*, les propriétés d'écoulement et de conduction électrique des solutions salines sont aujourd'hui bien comprises. Mais que se passe-t-il lorsque le liquide est confiné dans un espace de quelques dizaines de nanomètres, voire de quelques nanomètres seulement ? **Cette question est au cœur de nombreux phénomènes naturels et technologies émergentes** : transport à travers les membranes cellulaires, filtration du sang, dépollution, récupération d'énergie osmotique, stockage électrochimique ou encore iontronique.

Lorsque le confinement atteint quelques dizaines de nanomètres, les interactions avec les surfaces deviennent déterminantes : glissement hydrodynamique, couplages électrocinétiques ou encore capacité de la double couche électrique modifient profondément les propriétés de transport. À l'échelle de quelques nanomètres, la description continue elle-même atteint ses limites et la structure moléculaire, les corrélations électrostatiques et les fluctuations prennent le dessus ; les transports fluide, ionique et électronique se retrouvent alors intimement couplés [1].

Les transports dans les solutions salines confinées sont généralement étudiés à l'aide de dispositifs nanofluidiques ou de techniques électrochimiques. Ces approches présentent toutefois une difficulté majeure : **contrôler simultanément et précisément le confinement** (sans effets de bords ou distribution de pores) **et les conditions limites aux surfaces** (charge, glissement) en contact avec le liquide. **L'Appareil à Force de Surface dynamique (dSFA) développé dans notre laboratoire offre précisément cette possibilité.**

Grâce à cet instrument, nous avons récemment montré qu'une solution saline confinée entre des surfaces de verre ne se comporte pas comme un simple liquide visqueux : elle présente un **sur-amortissement hydrodynamique** [2]. Nous avons établi que ce phénomène provient de contre-écoulements électro-osmotiques générés au voisinage des surfaces isolantes chargées électrostatiquement, et avons décrit quantitativement son amplitude et sa portée en fonction de la nature de la solution [3].

Lorsque les surfaces isolantes en verre sont remplacées par des surfaces conductrices de platine, nous observons au contraire un **sous-amortissement** par rapport à un liquide de même viscosité dépourvu de charges électriques. L'interprétation de ce phénomène reste à établir. Une chose apparaît cependant clairement : **la nature électrique des surfaces confinantes peut profondément modifier l'écoulement du liquide.**

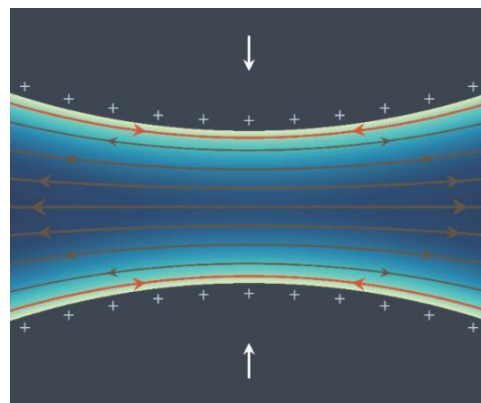


Fig. Illustration de l'écoulement d'une solution saline confinée entre des surfaces isolantes chargées électrostatiquement.

L'objectif de ce stage est de comprendre comment la conductivité électrique des surfaces confinantes contrôle les propriétés d'écoulement d'une solution saline nanoconfinée. Pour cela, le projet s'appuiera sur des surfaces semi-conductrices, permettant d'explorer expérimentalement une situation intermédiaire entre surfaces isolantes et conductrices.

Le stage comportera plusieurs étapes complémentaires :

- **fabrication des surfaces** par pulvérisation ;
- **caractérisation de leur topographie** par microscopie à force atomique (AFM) ;
- **réalisation d'expériences de dSFA** pour mesurer les forces hydrodynamiques dans les solutions confinées ;
- **analyse et modélisation des résultats** afin d'identifier le rôle de la conductivité des surfaces.

L'ensemble des techniques expérimentales nécessaires est **disponible et maîtrisé au laboratoire**. Le stage permettra ainsi au candidat de se former à un ensemble de techniques expérimentales de pointe, à l'interface entre **mécanique des fluides, physique de la matière condensée et physique des interfaces**.

Ce projet s'inscrit dans une thématique de recherche actuellement développée au laboratoire et **pourra se poursuivre en thèse, financée dans le cadre du projet ANR JCJC ElectroMecano**. La poursuite du projet permettra notamment d'aller plus loin avec la combinaison de mesures mécaniques et mesures électriques au sein du dSFA, afin de construire une compréhension unifiée des transports fluidique, ionique et électronique sous confinement.

[1] N. Kavokine, R. R. Netz & L. Bocquet, [*Fluids at the Nanoscale: From Continuum to Subcontinuum Transport*](#), **Annual Review of Fluid Mechanics** 53:377-410 (2021)

[2] C. Cramail, [*Forces de surface dynamiques des solutions ioniques confinées : mesures expérimentales et modélisation théorique*](#), PhD Thesis (2024)

[3] C. Cramail, R. Lhermerout, B. Cross & Elisabeth Charlaix, [*Hydrodynamic forces in the drainage of an electrolyte confined between dielectric surfaces*](#), **J. Fluid Mech.** (in press)