Transport de masse actif en volume par diélectrophorèse et électro-osmose pour dépasser la limite de diffusion dans les capteurs plasmoniques

Résumé

Les biocapteurs sont des instruments permettant de détecter la présence d’objets biologiques (bactéries, cellules…) ou biochimiques (protéines, ADN…) dans un échantillon. Les biocapteurs à résonance plasmon de surface utilisent une onde électromagnétique évanescente pour détecter des interactions moléculaires ou la présence d’objets à la surface d’un film métallique. L’ajout d’une fonctionnalisation chimique sur ce film métallique permet l’adhérence et donc la capture spécifique des espèces biologiques ou biochimiques d'intérêt. Cette technique permet une détection sensible, en temps réel et sans marquage, ce qui lui confère trois avantages clés par rapport à d’autres techniques disponibles. Ces dernières années, ces capteurs se sont perfectionnés, et leur sensibilité est désormais proche de leur limite théorique.

Cependant, la capacité d’un capteur à détecter des objets à faible concentration ne dépend pas seulement de ses performances intrinsèques, mais aussi du transport de masse des espèces. Une espèce chimique ou biologique ne sera détectée que si elle s’approche suffisamment du film métallique, ce qui peut prendre énormément de temps lorsque les concentrations sont infimes. Ainsi, le temps de détection sera toujours limité par la diffusion.

Pour pallier ce problème, il est possible d’agir sur le transport de masse des espèces de manière à les rapprocher de la surface de détection. La thèse de Quentin Avenas [1] a montré que le transport de masse peut être activé soit en créant une force qui attire les objets à détecter, soit en créant un flux les entraînant vers la surface de détection. Ce projet de doctorat s’inscrit dans la continuité de ces travaux. L’objectif est d’utiliser des champs électriques pour créer des phénomènes électro-hydrodynamiques favorables à la détection de particules (telles que des billes de latex utilisées comme modèle dans un premier temps), puis d’optimiser le design des puces développées pour obtenir un piégeage le plus efficace possible. Les phénomènes électrocinétiques mis en jeu seront simulés grâce au logiciel multiphysique COMSOL.

Dans un deuxième temps, le capteur conçu sera testé pour la détection d’objets biologiques tels que des bactéries dans de l’eau, la surveillance de l'eau représentant un enjeu de santé publique majeur. Pour capturer sélectivement des bactéries, il sera nécessaire d’utiliser une chimie de surface qui permette d’immobiliser un élément de reconnaissance (un anticorps) sur la surface sensible du capteur. Enfin, la réponse du capteur en fonction de la concentration de bactéries sera caractérisée.

**Mots-clefs:** Résonance plasmon de surface, diélectrophorèse, électro-osmose, bio-capteur

Overcoming the diffusion limit by volumic active mass transport induced by electro-osmosis and dielectrophoresis

Abstract

Biosensors are monitoring tools that provide a quantification of chemical or biological species in a sample. Surface plasmon biosensors use an evanescent electromagnetic wave to detect molecular interactions or biological objects on a metallic film. Functionalizing this metallic film makes it adherent to certain biologic or chemical species, allowing their specific detection. Surface plasmon resonance biosensors provide real-time, label-free, and sensitive measurements, three advantages in comparison with other detection techniques. Last decade, many improvements have been made on these types of detectors, which are now close to their theoretical limit.

However, the ability of a sensor to detect ultra-low concentration does not depend on its limit of detection, but also on the mass transport of the species to the detection zone. Indeed, a biological or chemical specie can be detected only if it reaches the sensing zone of the biosensor. At an ultra-low concentration of target species, a long time may pass until the traget binds to the sensing surface.

To address this problem, chemical or biological species can be trapped close to the detection surface by acting on mass transport. In his Ph.D. work, Q. Avenas showed that mass transport can be activated by creating a force which acts directly on the targets, or by creating a flow dragging targets to the sensing surface. This project follows this work. The objective is to use AC electric fields to create electro-hydrodynamic phenomena favorable to the detection of analytes or micro-objects (such as latex beads used as a model initially), then to optimize the chip design developed to obtain the most efficient trapping. The electrokinetic phenomena involved will be simulated using COMSOL multiphysics software.

Secondly, the designed sensor will be tested for the detection of biological objects such as bacteria in water, water monitoring representing a major public health issue. To selectively capture bacteria, it will be necessary to use surface chemistry that allows a recognition element (an antibody) to be immobilized on the sensitive surface of the sensor. Finally, the response of the sensor as a function of the concentration of bacteria will be characterized.

**Keywords:** Surface plasmon resonance, dielctrophoresis, electroosmosis, biosensing