

# THÈSE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 596

*Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences*

Spécialité : Électrochimie

Par

**Arthur LANGLARD**

## Développements méthodologiques et instrumentaux pour l'électrochimie de collisions individuelles

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 15 octobre 2025

Unité de recherche : CEISAM UMR-CNRS 6230

### Rapporteurs avant soutenance :

Manon GUILLE-COLLIGNON

Emmanuel MAISONHAUTE

Professeure des universités, Sorbonne Université, Paris

Professeur des universités, Sorbonne Université, Paris

### Composition du Jury :

Président :

Examinatrice :

Directeur de thèse :

Co-encadrante de thèse :

Jean-Michel BOULER

Corinne LAGROST

Mohammed BOUJTITA

Estelle LEBÈGUE

Professeur des universités, Nantes Université, Nantes

Directrice de recherche, Université de Rennes, Rennes

Maître de conférences, Nantes Université, Nantes

Maîtresse de conférences, Nantes Université, Nantes

**Titre :** Développements méthodologiques et instrumentaux pour l'électrochimie de collisions individuelles

**Mots clés :** électrochimie, nano-impacts, entités individuelles, liposomes

**Résumé :** En autorisant la détection de nanoparticules distinctes, l'électrochimie d'entités individuelles permet d'envisager le développement de capteurs microscopiques. Les faibles courants électriques mis en jeu (inférieurs au microampère) rendent délicate l'interprétation des mesures en l'absence de couplage avec une autre technique d'analyse.

Dans ces travaux, nous montrons que l'oxydation du contenu de liposomes individuels est difficile, même en présence d'espèces susceptibles de perturber leur membrane. Cependant, nous parvenons à mettre en évidence la perméabilisation de membrane cellulaires par l'une de ces espèces, à l'échelle de la cellule unique. L'utilisation d'un traitement mathématique du courant mesuré, et son inclusion dans un algorithme, assiste l'utilisateur dans la détection d'impacts bloquants

et dans la mesure des variations de courant malgré le bruit expérimental présent. Afin de comprendre la présence ou non d'impacts bloquants suivant les conditions expérimentales, nous avons construit un dispositif optique permettant de visualiser les trajectoires des particules au voisinage de l'électrode. Cette installation a mis en évidence la présence d'électrosmose, qui dévie ou non les nanoparticules de la surface de l'électrode. Nous présentons également un dispositif destiné à simuler l'équation de la diffusion de façon analogique en deux dimensions grâce à un circuit électronique. Sa conception et son fonctionnement sont détaillés, et les résultats suggèrent qu'une variation de courant causée par la réorganisation de la couche de diffusion a lieu lors d'un impact bloquant.

**Title :** Development of methods and instrumentation for single-entity electrochemistry

**Keywords :** electrochemistry, nano-impacts, single entities, liposomes

**Abstract :** By allowing the detection of separate nanoparticles, single-entity electrochemistry can be used for developing microscopic sensors. Without any coupling with another analytical method, the interpretation of measurements are obscured by the low currents involved (under one microampere).

In this work, we show that the oxidation of the content of single liposomes is difficult, even when membrane-disrupting species are present. Nonetheless, we demonstrate the permeation of cell membranes by one of these species, at the single-cell scale. The use of a mathematical operation on the measured current, and its inclusion in an algorithm, assist the user in the detection of blocking impacts and in the

measurement of current despite the experimental noise. In order to link the presence of blocking impact to the experimental conditions, we built an optical setup that allowed us to visualize the trajectory of particles at the electrode vicinity. This system demonstrated the existence of electroosmosis, which deviates or not the particles from the electrode surface. We also show a device designed to simulate in an analog fashion the diffusion equation in two dimensions with an electronic circuit, along with details on its design and operation. The results suggest that a change of current, caused by a reorganization of the diffusion layer, occurs during a blocking impact.