

Sujet thèse / PhD subject 2026

Titre Thèse	Microelectrode Arrays organiques multifonctionnelles en PEDOT:PSS pour neuromodulation adaptative : enregistrement, stimulation et relargage contrôlé de neuromodulateurs.	
PhD Title	Multifunctional organic PEDOT:PSS microelectrode arrays for adaptive neuromodulation: recording, stimulation, and controlled neuromodulator release.	
(Co)-Directeur	Yannick Coffinier	E-mail : yannick.coffinier@univ-lille.fr
(Co)-Directeur	Steve Arscott	E-mail : steve.arscott@univ-lille.fr
(Co)-Encadrant (s)	Cécile Delacour	E-mail : cecile.delacour@neel.cnrs.fr
Laboratoire	IEMN	Web : IEMN.fr
Groupe(s)	NCM & NAM6	Web :
Projet phare principal	Technologies pour la santé	
Financement acquis Oui ☒ Non ☐ Partiel ☐	Si acquis (total ou partiel), préciser : (contrat, organisme, Université étrangère...) : ANR + CDP LOOP	
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille ☐ Centrale Lille ☐ JUNIA ☐
	Région ou Autre ☐ Préciser :	Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, et si acquis ou pas) :

Résumé (français)

Les interfaces bioélectroniques constituent aujourd'hui un enjeu majeur pour comprendre, enregistrer et moduler l'activité des réseaux neuronaux, depuis les modèles cellulaires *in vitro* jusqu'aux applications neurotechnologiques implantables. À terme, ces technologies pourraient permettre le développement de dispositifs thérapeutiques intelligents pour le traitement de pathologies neurologiques et psychiatriques telles que l'épilepsie, la maladie de Parkinson ou la dépression résistante ou encore certaines formes de schizophrénie associées à des hallucinations. Elles pourraient également permettre la restauration de fonctions sensorielles perdues (vision, audition, toucher), le contrôle avancé de prothèses neurales, et plus largement l'émergence d'interfaces cerveau-machine capables de dialoguer de manière bidirectionnelle avec le système nerveux. Elles ouvrent également des perspectives pour la médecine personnalisée, la compréhension des circuits cérébraux complexes et le développement de nouvelles plateformes neuro-sur-puce pour le criblage pharmacologique et la modélisation des maladies neurologiques. A ce titre, les matrices de microélectrodes (MEA) métalliques conventionnelles permettent l'enregistrement électrophysiologique et la stimulation électrique mais restent limitées de par leur rigidité mécanique, leur faible compatibilité avec les tissus biologiques et l'absence de fonctions actives intégrées permettant une modulation chimique locale. Dans ce contexte, les polymères conducteurs organiques, et en particulier le PEDOT:PSS, représentent une rupture technologique majeure. Grâce à leur conduction mixte ionique et électronique, transparence, leur faible impédance, leur forte capacité d'injection de charge et leur module mécanique plus proche des tissus vivants, ces matériaux permettent d'améliorer significativement le couplage électrode-cellule tout en ouvrant la voie à des interfaces neuronales multifonctionnelles. Au-delà du simple rôle d'électrode, le PEDOT:PSS peut agir comme une plateforme active capable de stocker et relarguer des molécules bioactives sous stimulation électrique.

Cette thèse sera réalisée dans le cadre du CDP LOOP (Initiative d'excellence de l'Université de Lille) et du projet ANR GNEURO, qui vise à développer une nouvelle génération de matrices de microélectrodes organiques intégrant simultanément 4 fonctions clés : l'enregistrement électrophysiologique et optique (imagerie calcique), la stimulation électrique ou optique locale et le relargage électro-contrôlé de neuromodulateurs à la demande. L'objectif général est d'établir une plateforme de neuromodulation adaptative capable d'observer l'activité neuronale et d'agir dynamiquement sur celle-ci par des stimuli électriques et chimiques synchronisés. Il s'agira ainsi de démontrer la faisabilité d'interfaces neuronales fonctionnant en boucle fermée, capables d'intégrer simultanément des modalités multiples de lecture de l'activité (électrique et optique) et d'intervention (stimulation électrique/optique et de délivrance chimique) au sein d'un dispositif bioélectronique unique et intégré. Ce projet se situe à l'interface de la science des matériaux, de la micro-nanofabrication, de l'électrochimie organique et des neurosciences expérimentales. Il contribuera au développement d'interfaces neuronales intelligentes dépassant le paradigme actuel des électrodes passives pour ouvrir la voie à des technologies de neuromodulation adaptative, avec des applications potentielles en neurosciences fondamentales, en médecine bioélectronique et dans les plateformes organe-sur-puce pour le criblage pharmacologique et la médecine personnalisée.

Abstract (anglais)

Bioelectronic interfaces have become a major challenge for understanding, recording, and modulating neuronal network activity, ranging from in vitro cellular models to implantable neurotechnological applications. In the long term, these technologies could enable the development of intelligent therapeutic devices for the treatment of neurological and psychiatric disorders such as epilepsy, Parkinson's disease, treatment-resistant depression, and certain forms of schizophrenia associated with hallucinations. They may also enable the restoration of lost sensory functions (vision, hearing, touch), the advanced control of neural prostheses, and more broadly the emergence of brain-machine interfaces capable of bidirectional communication with the nervous system. In addition, they open new perspectives for personalized medicine, for the understanding of complex brain circuits, and for the development of new neuro-on-chip platforms for pharmacological screening and the modeling of neurological diseases. In this context, conventional metallic microelectrode arrays (MEAs) enable electrophysiological recording and electrical stimulation but remain limited by their mechanical rigidity, their relatively poor compatibility with biological tissues, and the absence of integrated active functionalities allowing local chemical modulation. Organic conducting polymers, and in particular PEDOT:PSS, represent a major technological breakthrough. Thanks to their mixed ionic-electronic conductivity, low impedance, transparency, high charge injection capacity, and mechanical modulus closer to that of biological tissues, these materials significantly improve the electrode-cell coupling while opening the way toward multifunctional neural interfaces. Beyond their role as simple electrodes, PEDOT:PSS can act as an active platform capable of storing and releasing bioactive molecules upon electrical stimulation.

This PhD project will be carried out within the framework of the CDP LOOP program (Initiative of Excellence of the University of Lille) and the ANR GNEURO project, which aim to develop a new generation of organic microelectrode arrays integrating four key functionalities simultaneously: electrophysiological and optical recording (calcium imaging), local electrical or optical stimulation, and electrically triggered on-demand release of neuromodulators. The overall objective is to establish an adaptive neuromodulation platform capable of monitoring neuronal activity and dynamically acting on it through synchronized electrical and chemical stimuli. In this context, the project aims to demonstrate the feasibility of closed-loop neural interfaces capable of integrating multiple modalities for activity readout (electrical and optical) and intervention (electrical/optical stimulation and chemical delivery) within a single integrated bioelectronic device. This project lies at the intersection of materials science, micro- and nanofabrication, organic electrochemistry, and experimental neuroscience. It will contribute to the development of intelligent neural interfaces that go beyond the current paradigm of passive electrodes, paving the way for adaptive neuromodulation technologies with potential applications in fundamental neuroscience, bioelectronic medicine, and organ-on-chip platforms for pharmacological screening and personalized medicine.