

## **Analyse par spectroscopie d'impédance portable (autonome) de l'environnement ou de patients dans le cadre de la ville numérique du futur**

### **Laboratoire, institution :**

ESYCOM, UMR 9007  
Laboratoire de recherche sous la tutelle du CNRS et de l'Université Gustave Eiffel situé sur  
le campus Descartes  
(ESYCOM : Electronique, SYstème de COmmunication et Microsystèmes)

### **Équipe ou projet dans le laboratoire**

- Thème : Capteurs pour la santé et l'environnement
- Équipe participant au projet :
  - Patrick Poulichet : instrumentation
  - Olivier Français : modélisation et bio-impédance
  - Lionel Rousseau : microfabrication des électrodes

### **Partenaire international envisagé pour la poursuite en stage (mai-août)**

- Université de TOKYO, Laboratoire du Pr. Yoshio Mita :

Le laboratoire ESYCOM travaille depuis plusieurs années avec l'Université de Tokyo. Les collaborations concernent les aspects microtechnologies (Salle Blanche) et conception de circuits intégrés. Le séjour envisagé permettra une immersion dans un laboratoire de recherche ayant accès à des moyens de conception en termes d'électronique intégré (LSI) et une salle blanche permettant du prototypage. Le laboratoire du Pr. Y. Mita supervise un programme sur la conception et réalisation de circuits intégrés (VDEC).

### **Nom et adresse e-mail du tuteur :**

Patrick Poulichet : [patrick.poulichet@esiee.fr](mailto:patrick.poulichet@esiee.fr)  
Lionel Rousseau : [lionel.rousseau@esiee.fr](mailto:lionel.rousseau@esiee.fr)

### **Filière visée :**

- Systèmes électroniques intelligent SEI ou Systèmes embarqués (avec une appétence pour les interfaces avec les sciences du vivant)

ou

- Biotechnologie et e-santé (avec une appétence pour l'électronique pour l'acquisition de données)

### **Présentation générale du sujet (environ 5 à 10 lignes)**

La spectrométrie d'impédance est un outil de mesure permettant de caractériser des milieux aussi variés que des tissus biologiques, des sols ou encore des infrastructures. On peut ainsi fournir des indicateurs sur l'élément étudié : état physiologique, suivi de croissance, présence d'agents pathogènes ou bien dégradation de la structure.

Ce sujet poursuit le développement d'un système de mesure d'impédance autonome pour des utilisations en santé ou en environnement. Il a été utilisé pour la caractériser des tissus végétaux ou animaux. Cette mesure ouvre de nombreuses perspectives pour suivre les évolutions des végétaux lors de période de stress hydrique ou de tissu vivant. Un premier démonstrateur a été développé l'année dernière avec un étudiant en tremplin recherche. Il s'agit pour cette année de poursuivre ces développements pour intégrer de nouvelles fonctionnalités : - Mise en place d'une liaison sans fil ainsi que sa base de réception sur Raspberry, - Gestion de l'énergie pour réaliser un dispositif autonome (batterie, solaire pour

application extérieur) - Miniaturisé le système et le rendre utilisable en milieu extérieur (protoboard et étanche).

Il s'intègre dans deux projets en cours de développement au sein du laboratoire ESYCOM. Ils ont en commun la mesure d'impédance avec comme problématique scientifique la caractérisation de l'interface entre des implants et le tissu neuronal et suivi de la viabilité du tissu cérébral (Projet ERC-Neurodiam, implant en diamant fabriqué au sein des salles blanches de ESIEE Paris) et le suivi de la réaction d'un tissu végétal à des stress hydriques en collaboration avec le CEREMA (Projet Isite - Mouvis).

### • Objectif du projet (environ 10 à 20 lignes)

Il s'agit de finaliser le développement de l'électronique réalisée l'année dernière (Figure 1). Ce travail a donné lieu à 2 publications [7], [8]. L'interface réalisée aujourd'hui permet la mesure d'impédance large bande [100 Hz - 7 MHz] avec une transmission des données filaires et une transmission sans fil qu'il faudra optimiser et finir de développer avec la station de base permet la mesure sur plusieurs dispositifs en parallèle. Il faudra prendre en compte les contraintes de consommation en prévoyant une alimentation par batterie, et valider les mesures d'impédance dans différentes conditions. Une solution rechargeable pourrait être envisagée pour des applications en environnement extérieur (ex panneau solaire) Un travail d'intégration devra être menée pour miniaturiser le système pour des utilisations portables (ex : modification du microcontrôleur).

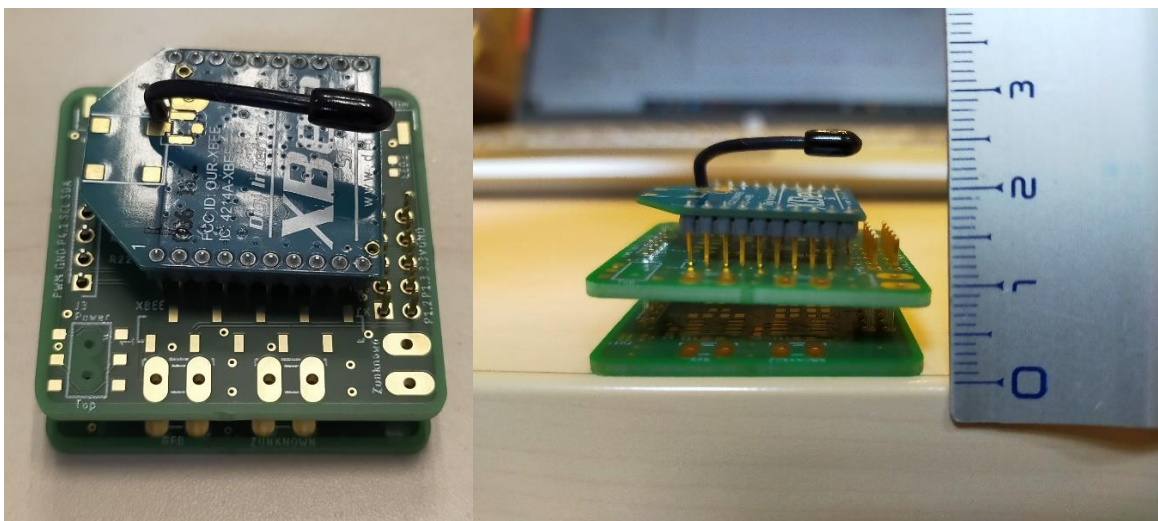


Figure 1 : prototype actuel de mesure d'impédance

Le travail préparera la conception d'un circuit intégré en collaboration avec l'Université de Tokyo pour la période de stage. **Cette étude doit permettre d'aboutir à la définition d'un ASIC** qui permette de réaliser la mesure en vue de son intégration au plus proche de l'implant. A partir d'une analyse bibliographique en terme de mesure d'impédance (transimpédance, pont...), d'électronique associée (part d'analogique/numérique, consommation, oscillateur, DDS...) et de traitement du signal (mesure fréquentielle, impulsionnelle, FFT, DFT,...), il faudra proposer des architectures en les comparant en terme de performance. Il faudra y inclure les problématiques de mise en œuvre (calibration, rapidité de mesure, résolution) mais aussi de communication des données sans fil et de gestion de l'énergie.

L'ensemble doit être le plus petit possible afin de pouvoir envisager une utilisation embarquée sur le corps humain ou le petit animal ainsi que sur des végétaux (type plantes) sur

du long terme (temps de mesure supérieur à 6 semaines) et de manière la plus autonome possible.

Ce projet bénéficiera de l'appui de l'équipe du Professeur Y. Mita de l'Université de Tokyo en termes de conception de l'ASIC. Une initiation à la micro fabrication en salle blanche vous sera également proposer pour que vous réalisiez vos électrodes en salle blanche.

## • Bibliographie

[1] D. Naranjo-Hernandez, J. Reina-Tosina, M Min, 2019. Fundamentals, Recent Advances, and Future Challenges in Bioimpedance Devices for Healthcare Applications, Journal of Sensors, Vol 2019, ID 9210258 42 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/9210258>

[2] I. Jócsák, G. Végvári, E. Vozáry. 2019. Electrical impedance measurement on plants: a review with some insights to other fields, *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 31, 3, 359–375, <https://doi.org/10.1007/s40626-019-00152-y>

[3] Boutzen, J ; Valet, M ; Alviset , A ; Fradot , V ; Rousseau, L ; Français , O ; Picaud , S ; Lissorgues , G. Impedance spectroscopy study of the retinal pigment epithelium: Application to the monitoring of blue light exposure effect on A2E-loaded in-vitro cell cultures. *Biosensors and Bioelectronics*, Elsevier, 2020, 161, pp.112180. 12.

[4] K. Ben Hamed, W. Zorrig, A. H. Hamzaoui. 2016. Electrical impedance spectroscopy: A tool to investigate the responses of one halophyte to different growth and stress conditions, *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 376-383, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.006>.

[5] J. Boutzen. 2019. Contribution à la modélisation d'interface biologique par spectroscopie d'impédance : Application au suivi de l'épithélium pigmenté de la rétine durant sa croissance et face à diverses perturbations. Université de Paris Est. Thèse de doctorat soutenue le 10 septembre 2019.

[6] T. Xu, M. Lizarralde-Iragorri, J. Roman, R. Ghasemi, JP Lefevre, E. Martincic, V. Brousse. O. Français, W. El Nemer, B. Le Pioufle. Characterization of red blood cell microcirculatory parameters using a bioimpedance microfluidic device. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, 2020.

[7] Hélias Valentin, Poulichet Patrick, Rousseau Lionel, Inacio Nicolas, Français Olivier, Lissorgues Gaëlle, Wearable Bio-Impedance Analysis for hydration monitoring in medical applications, DTIP Conference, 25-27 Août 2021.

[8] Valentin Hélias, Julie Zhang, Serge Picaud, Julie Dégardin, Patrick Poulichet, Lionel Rousseau, Olivier Français. Using Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) to study the *in vivo* evolution of the electrochemical properties of neural implants, WIS Conference, 29 September- 1 October 2021.