

# THESE DE DOCTORAT

## CIFRE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 596

*Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences*

Spécialité : Chimie Inorganique

Par

**Benjamin LANGLAIS**

**Conception et développement de capteurs de force piézorésistifs flexibles pour des applications industrielles.**

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 26 Novembre 2024

Unité de recherche : Laboratoire CEISAM – UMR CNRS 6230

### Rapporteurs avant soutenance :

Hélène DEBEDA - Full Professor - IMS Bordeaux - Université de Bordeaux

Vincent NOEL - Professeur des Universités - ITODYS - Université Paris Cité

### Composition du Jury :

Président : Prénom Nom Fonction et établissement d'exercice (8) (*à préciser après la soutenance*)

Examineurs : Hélène DEBEDA - Full Professor – IMS Bordeaux - Université de Bordeaux

Vincent NOEL - Professeur des Universités - ITODYS - Université Paris Cité

Xavier BODDART - Professeur de l'École des Mines - IMT - CMP - Mines Saint-Etienne

Estelle LEBEGUE - Maître de conférences - CEISAM - Nantes Université

Ahmed RHALLABI - Professeur des Universités - IMN - Nantes Université

Dir. de thèse : Mohammed BOUJTITA - Enseignant-Chercheur (MC-HC / HDR) - CEISAM - Nantes Université

### Invité(s)

Jérôme GERARD - Responsable UAP IHM - Martin Technologies - Huillé-Lézigné

**Titre :** Conception et développement de capteurs de force piézorésistifs flexibles pour des applications industrielles.

**Mots clés :** Électronique imprimée, sérigraphie, piézorésistif, capteurs de force, performances, applications industrielles

**Résumé :** Les innovations récentes du domaine de l'électronique imprimée octroient le développement de nouveaux dispositifs industriels disruptifs. Parmi eux, les capteurs de force flexibles font partie des technologies offrant une grande adaptabilité et à bas coût. Ils s'intègrent dans divers secteurs d'activité tels que le médical, la robotique, l'automobile, le sport et les IHM.

Les travaux se focalisent sur la volonté de développer des capteurs FSR à grande échelle par sérigraphie sur supports souples. L'imprimabilité et la stabilité opérationnelle d'encre fonctionnelles commerciales sont étudiées et les modes de transduction sont élucidés. La conception de différentes configurations de dispositifs Shuntmode et

Thrumode permet d'examiner les propriétés métrologiques pour la mesure de contraintes en compression et de définir l'architecture idéale à un transfert technologique.

Finalement, une gamme de capteurs FSR est conçue et présente d'excellentes performances en termes de répétabilité (> 98%) et de reproductibilité (> 95%). Les progrès réalisés dans la fabrication des capteurs FSR ont permis d'élaborer un dispositif matriciel capable de visualiser et de mesurer en temps réel les contraintes mécaniques en position assise. Ce démonstrateur vise à la fois à surveiller et prévenir l'apparition d'escarres chez les utilisateurs de fauteuil roulant et à améliorer l'ergonomie des postures dans des environnements de travail.

**Title :** Design and development of flexible piezoresistive force sensors for industrial applications.

**Keywords :** Printed electronics, screen-printing, piezoresistive, FSR, performance, industrial applications.

**Abstract :** Recent progress in printed electronics allows the development of disruptive industrial devices. Among these innovations, flexible force sensors (FFS) have garnered significant attention for their high adaptability and low production costs. They are suitable for a wide range of applications in healthcare, robotics, automotive, sport and HMI.

These works focus on the development of large-scale Force Sensing Resistors (FSR) through a screen-printing process on flexible substrates. The printability and operational stability of commercial functional inks are investigated, and the transduction behaviors are elucidated. The design of various Shuntmode and Thrumode device configurations enables the examination

of metrological properties for compressive stress measurement and the identification of the ideal architecture for technology transfer.

Finally, a range of FSR sensors has been developed and demonstrates excellent performance in terms of repeatability (> 98%) and reproducibility (> 95%). Advances in the fabrication of these sensors have permitted the manufacture of a matrix device capable of visualizing and measuring mechanical stresses in real-time while seated. This demonstrator aims to both monitor and prevent the occurrence of pressure ulcers in wheelchair users and improve posture ergonomics in workplace environments.