



EEA
ÉLECTRONIQUE
ÉLECTROTECHNIQUE
ET AUTOMATIQUE
UNIVERSITÉ DE LYON

Sujet de thèse

École doctorale EEA de Lyon

Etablissement d'inscription : Université Claude Bernard Lyon 1
École doctorale : ED 160 EEA de Lyon dirigée par Scorletti Gérard
Intitulé du doctorat : Electronique, Micro et Nano-électronique, Optique et Laser
Sujet de la thèse : VIBRO-WSN : conception d'un nœud élémentaire de WSN vibratoire.
Unité de recherche : Laboratoire Ampère dirigée par ALLARD Bruno, Laboratoire LGEF dirigé par Laurent Lebrun
Directeur/trice de thèse : M. MIEYEVILLE Fabien (Ampère)
Co-directeur/trice de thèse: M LALLART Mickael (LGEF)

Collaboration(s)/partenariat(s) extérieur(s) éventuels : Cette thèse aura recours à un dispositif expérimental déployé au Cameroun dans le cadre d'un accord partenarial avec l'Université de Buea (Cameroun)

Domaine et contexte scientifiques : Les réseaux de capteurs apparus dans les années 2000 ont longtemps été perçus comme éléments structurants de l'intelligence ubiquitaire. Avec l'avènement de l'Internet des Objets (IoT – Internet of Things), ils ont perdu de leur visibilité alors qu'ils constituent encore un élément fondamental de l'épine dorsale de toute système à base d'IoT. Malgré l'évolution de leur architecture matérielle (passage de microcontrôleurs 8 bits à des architectures 32 bits voire des cœurs ARM), chaque capteur intelligent communicant constitutif du réseau (appelé nœud) n'est actuellement utilisé que pour collecter les données et les transmettre par voie RF à travers le réseau jusqu'à un nœud collecteur qui déporte les données pour leur traitement. Également, l'enjeu de leur indépendance énergétique est toujours une question ouverte, alors que nombre de ces capteurs sont sensés être déployés dans des endroits peu accessibles et/ou dans des environnements relativement sévères interdisant l'utilisation de batteries conventionnelles. Peu de travaux de recherche actuellement explorent la capacité de cette nouvelle génération de nœud à réaliser des calculs distribués, en local au plus près du capteur voire de réaliser du machine learning dans le réseau lui-même pour augmenter son efficacité, tout en assurant une gestion de l'énergie efficace.

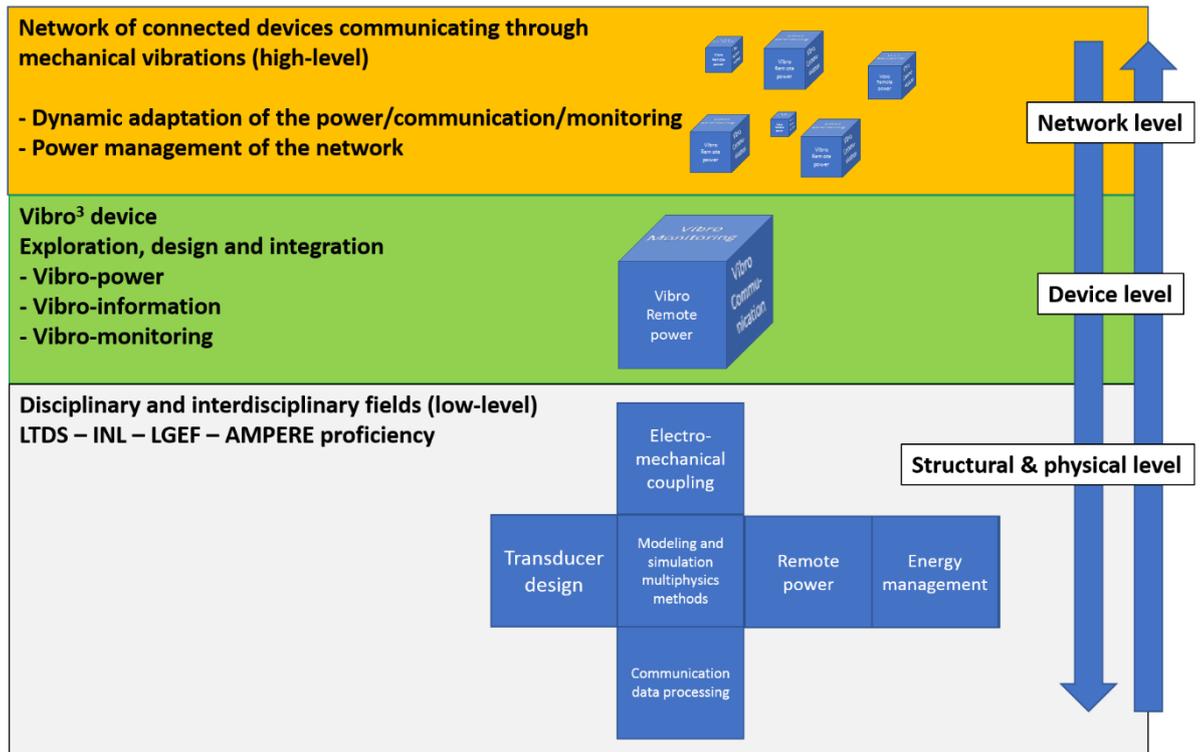
Mots-clefs : réseau de capteurs sans fil, énergie mécanique vibratoire, calcul distribué, propagation mécanique, machine learning.

Objectifs de la thèse : Les deux équipes impliquées (LGEF et Ampère) ont déjà démontré qu'il était possible de concevoir des nœuds de réseau autonomes capable d'extraire leur énergie d'un signal mécanique vibratoire dont ils surveillent l'évolution : le signal mécanique est à la fois source d'information collectée mais également source de puissance. L'enjeu de cette thèse est d'exploiter ce même signal mécanique dans une troisième dimension. En effet, la communication radio-fréquences actuellement utilisée dans les réseaux de capteurs sans fil est un élément majeur de consommation du réseau et donc responsable de la durée de vie réduite de ces derniers. L'idée est d'utiliser les sources mécaniques vibratoires présentes dans le système pour :

1. Récupérer l'information physique sur la santé de la structure mécanique
2. En extraire suffisamment d'énergie pour alimenter le nœud
3. Communiquer dans le réseau par cette même énergie vibratoire

Sur la première année, après un temps consacré à la bibliographie et la prise en main des nœuds permettant d'opérer simultanément les points 1 et 2 précités, l'étudiant s'attachera à étudier les ondes de Lamb et leur adéquation à une communication surfacique moyenne distance. Il s'attachera également à évaluer dans quelle mesure cette onde mécanique utilisée pour la communication peut également servir de source d'alimentation.

Cette thèse s'intègre dans un projet de recherche plus ambitieux faisant également intervenir le LTDS et l'INL (avec qui le doctorant pourra interagir) comme le montre la figure suivante :



L'objectif de cette thèse est de travailler au niveau structurel et composant : réalisation du dispositif en intégrant les données structurelles mécaniques, électroniques et embarquées (intelligence) et réaliser un premier prototype du dispositif « Vibro³ ».

Verrous scientifiques :

A ce jour très peu de travaux ont exploré l'utilisation d'onde vibratoire pour la télécommunication courte à moyenne portée : cela sera donc un des premiers verrous de cette thèse.

Si des travaux ont déjà démontré la capacité à combiner deux-à-deux la dimension collecte information, collecte énergie, téléalimentation, aucune démonstration n'est faite à ce jour de combiner les 3 simultanément, surtout en considérant un support commun (vibratoire ici)

La réalisation efficace de cette combinaison ne peut se faire en suivant les méthodes conventionnelles d'optimisation des systèmes séparant chacun des objectifs (récupération d'énergie, collecte d'information,...) et nécessitera une nouvelle approche systémique d'optimisation globale du système mécatronique.

Contributions originales attendues :

La principale contribution sera la démonstration de la faisabilité d'une triple utilisation d'un seul signal pour 1) récupérer une information sur l'état physique d'un système, 2) télé-alimenter le système faisant la mesure 3) communiquer l'information à d'autres éléments d'un réseau. Cette contribution ainsi aura permis de lever la plupart des verrous développés ci-dessus.

Cependant, à chacune des trois échelles considérées, des avancées particulières sont également attendues. Citons à titre d'exemple le support vibratoire pour la communication sans fil, ou l'optimisation couplée électrique et mécanique pour la télé-alimentation par voie vibratoire.

Programme de recherche et démarche scientifique proposée :

Les trois premiers mois de thèse seront dédiés à un état de l'art bibliographique d'une part et la prise en main des dispositifs existants au sein des deux laboratoires. Ensuite, sur la première année, le/la doctorant(e) s'attachera à travailler au niveau structurel (cf. figure ci-dessus) de manière à étudier le couplage électro-mécanique et élaborer des premières solutions de communication et de télé-alimentation par onde vibratoire, incluant les aspects mécaniques et électriques.

La deuxième année sera consacrée au niveau composant de l'approche : il s'agira de combiner deux à deux puis par trois les utilisations possibles de l'énergie vibratoire de manière à concevoir un nœud de réseaux de capteur sans fil opérationnel.

La dernière année visera à optimiser le dispositif conçu, élaborer une méthode d'optimisation générique, consolider l'approche de modélisation et simulation dans une visée plus systémique (modélisation d'objets connectés) et procèdera à la démonstration fonctionnelle d'un premier réseau constitué de 3 nœuds.

Encadrement scientifique :

- **Description du comité d'encadrement :**

Nom Prénom	Labo / Equipe	Compétences scientifiques	Taux d'encadrement %
MIEYEVILLE Fabien	Laboratoire Ampère, département EE	Réseaux de capteurs sans fil, méthodes de conception de systèmes hétérogènes communicants	50%
LALLART Mickaël	LGEF	Conversion électroactive, récupération d'énergie, structures mécaniques et interfaces électriques d'extraction d'énergie	50%

- **Intégration au sein du (ou des) laboratoire(s)** la thèse sera réalisée en intégralité au sein du campus de La Doua avec une localisation partagée sur le Bâtiment Oméga (Ampère, 3^{ème} étage), et Bâtiment Gustave Ferrié (LGEF, 3^{ème} étage).

Profil du candidat recherché (prérequis) :

Le candidat aura un cursus de formation généraliste électronique ou mécatronique. Une première expérience dans la mise en œuvre de systèmes embarqués (programmation microcontrôleur) sera appréciée de même que des connaissances sur la conversion/récupération d'énergie (patch piézoélectrique) et une connaissance des systèmes radio-fréquences (Wifi, Bluetooth, Zigbee,...).

Des compétences en programmation (C, C++, python) seront également appréciées.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche :

1. *Forme : publication, brevets, autres* : publication et conférences internationales, le dépôt d'un brevet peut être envisageable selon la direction que prendra la thèse.
2. *Volume de publications (conférence/revues, etc), brevets, autres* : 1 revue internationale à comité de lecture, 1 conférence internationale et 1 conférence nationale par an à partir de la deuxième année.

Compétences qui seront développées au cours du doctorat :

Récupération d'énergie, couplage électro-mécanique, modélisation et simulation de dispositifs mécatroniques, développement de systèmes embarqués, conception et développement de systèmes communicants, conception et implémentation de réseaux de capteurs sans fil, développement de protocoles de communication.

Perspectives professionnelles après le doctorat : Carrière dans le secteur privé (développement et recherche) ou dans le secteur public (chercheur, enseignant-chercheur).

Références bibliographiques sur le sujet de thèse :

- [1] K Zhang, G Scorletti, MN Ichchou, **F Mieleville**, *Phase and gain control policies for robust active vibration control of flexible structures*, Smart Materials and Structures 22 (7), 075025
- [2] M. Zielinski, **F. Mieleville**, **D. Navarro** and **O. Bareille**, *A Distributed Active Vibration Control System Based on the Wireless Sensor Network for Automotive Applications*, Advances in Network Systems: Architectures, Security, and Applications, pp. 235-253, 2017.



- [3] **M. Lallart**, D. Guyomar, Y. Jayet, L. Petit, E. Lefevre, T. Monnier, P. Guy, C. Richard, *Synchronized Switch Harvesting applied to Selfpowered Smart Systems: Piezoactive Microgenerators for Autonomous Wireless Receiver, Sensors and Actuators A : Physical*, 147(1): 263-272, 2008.
- [4] **D. Navarro**, G. Migliato-Marega, and L. Carrel, *Battery-less Near Field Communication Sensor Tag Energy Study with ContactLess Simulator*, 13th Int. Conf. on Wireless and Mobile Communications, pp. 63-66, Nice, France, 23-27 July 2017.
- [5] W. Wan Du, F. Mieleville, D. Navarro, et I. O'Connor, *A Validated SystemC-based System-level Design and Simulation Environment for Wireless Sensor Networks*, EURASIP J Adv Sig Proc, 2012.
- [6] V. Nkemeny, **F. Mieleville**, J. Verdier, P. Tsafack, *Distributed Kalman Filter: Application to Leak Detection in Water Pipeline Monitoring Using Wireless Sensor Networks with Non-intrusive Sensors*, SENSORCOMM 2019, 13th Int. Conf. on Sensor Technologies and Applications, Oct 2019, Nice, France.
- [7] **D. Navarro**, C. Marchand, L. Carrel, *Study of a Battery-less Near Field Communicating Sensor Network with ContactLess Simulator*, International Journal On Advances in Telecommunications, v 11, 2018
- [8] **F. Mieleville**, **D. Navarro**, **O. Bareille**, "Energy harvesting strategy for autonomous Wireless Sensor Network for distributed active control", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 11-14 December 2017

