

Sujet de thèse

## Interfaces haptiques tactiles de grandes dimensions : principe de mise en vibration innovant et commande

### Aspects pratiques

*Lieu* : Campus de Lille des Arts et Métiers (8 bd. Louis XIV 59000 Lille)

*Laboratoires* :

Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance de Lille (L2EP)

Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Physiques et Numériques (LISPEN)

*Encadrement* : Christophe GIRAUD-AUDINE, Olivier THOMAS, Taha AJNADA

*Rémunération* : Thèse du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (2100€ brut/mois) avec possibilité de vacances en plus.

*Dates* : 36 mois à partir de septembre / octobre 2024

*Contacts* : [olivier.thomas@ensam.eu](mailto:olivier.thomas@ensam.eu), [christophe.giraud-audine@ensam.eu](mailto:christophe.giraud-audine@ensam.eu),  
[simon.benacchio@ensam.eu](mailto:simon.benacchio@ensam.eu)

<https://lispen.artsetmetiers.fr/user/87>

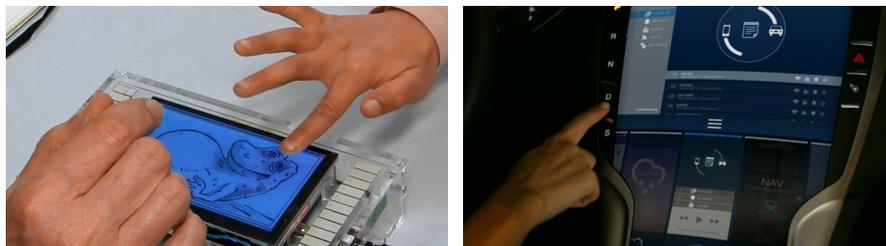


FIG. 1 – Interface à retour tactile : les céramiques piézoélectriques sont visibles sur les côtés de l'écran (gauche). Interface de grande dimension pour l'automobile [1] (droite)

### Contexte et problématique

Les écrans tactiles sont à l'heure actuelle une des interfaces homme-machine les plus utilisées au quotidien. Elles sont présentes dans grand nombres d'applications grand public comme les téléphones ou les tablettes, et plus récemment dans les automobiles (cf. Fig. 1). Leur succès provient de leur flexibilité puisque que créer des systèmes de contrôles revient à de la programmation, ce qui est beaucoup moins onéreux que de concevoir et réaliser une interface physique. Pourtant cette solution pose des problèmes de sécurité puisqu'elle se base uniquement sur le canal sensoriel visuel, ce qui peut potentiellement distraire l'utilisateur : c'est ce qui rend l'utilisation de téléphone au volant dangereuse.

Il est donc nécessaire d'ajouter d'autres canaux qui permettent l'interaction sans monopoliser la vision pour des applications où les questions de sécurité deviennent prégnantes. Une solution développée aux L2EP consiste à réaliser des interactions tactiles consistant à modifier le ressenti grâce à des vibrations [2, 3] générées grâce à des céramiques piézoélectriques comme sur la Fig. 1. Il est ainsi possible de modifier le coefficient de friction ou de simuler des

"clics-boutons" sur un écran pour améliorer la productivité et la sécurité.

Pour obtenir des vibrations détectables, les dispositifs proposés tirent partie de résonances de l'écran en les excitant grâce à des céramiques piézoélectriques. En effet, les matériaux piézoélectriques permettent de coupler, naturellement et de manière réversible, les déformations d'une structure mécanique à un circuit électrique. Ici leur intérêt est d'être simple à intégrer et de générer des efforts importants en regard de leur encombrement. Cependant, ils nécessitent des tensions généralement élevées et dans le principe la vibration est limitée par le coefficient d'amortissement de la structure vibrante.

## Objectifs de la thèse

Une des voies d'amélioration, qui sera l'objet de cette thèse est l'exploitation de résonance paramétrique. Une vibration paramétrique est obtenue sur un système mécanique résonnant lorsqu'une action extérieure permet de faire varier l'un des paramètres de ce système en la synchronisant sur la vibration. Les amplitudes ne sont plus limitées par la dissipation mais par les non-linéarité ce qui permet de grandes amplitudes de vibrations [4].

*Concrètement, ce sujet de thèse vise à lever plusieurs verrous scientifiques, à la fois sur les **modélisation** du comportement de ces systèmes pour proposer une solution technologique du principe adaptée à la mise en vibration de grande surface, mais aussi sur les stratégies de **commande** pour l'utilisation des **propriétés des résonances paramétriques**.*

La thèse abordera les points suivants :

- le développement et l'exploitation de modèles permettant de prédire la réponse paramétrique d'une structure, grâce à une action soit mécanique, soit piézoélectrique. Ces modèles seront analytiques dans le cas de géométries simples ou numériques.
- l'analyse et l'optimisation des résonateurs piézoélectriques vis-à-vis de la vibration paramétrique : géométrie et localisation des couches piézoélectriques pour les dispositifs haptiques.
- la conception d'une commande : cette étape concernera 1) l'adaptation de la modélisation en vue de la commande 2) répondre à la problématique des seuils de démarrage des vibrations 3) rejeter les perturbations dues à l'interaction physique avec l'utilisateur, une première approche sera basée sur l'utilisation d'auto-résonance et l'utilisation de techniques de commande multi-modales.
- Valider expérimentalement les propositions retenues.

## Environnement

Le L2EP [5] est un laboratoire reconnu dans le domaine du génie électrique et de la commande de système électrotechnique et mécatronique. L'activité "Système piézoélectrique" développe depuis 2005 des dispositifs haptiques et des commandes de vibrations. C. Giraud-Audine a une expertise en modélisation des systèmes dynamiques piézoélectriques, la commande multimodale et commande de systèmes piézoélectriques [6-8].

O. Thomas du LISPEN [9], est expert en conception, calcul et mesure de systèmes non linéaires électromécaniques vibrants ou la modélisation de structures piézoélectriques [10, 11]. Depuis 2018, les deux laboratoires ont collaborés autour de techniques expérimentales [12] et de réduction de vibrations linéaires [13] et non-linéaires [14].

## Compétences recherchées

Le candidat devra avoir une formation dans un des domaines concernés (commande, modélisation dynamique, mécatronique) à un niveau M2 et une appétence pour découvrir de nouveaux domaines. Un intérêt pour l'électronique et l'expérimentation serait un plus appréciable.

Le candidat doit avoir la capacité de travailler de manière autonome, de bien s'organiser et de communiquer régulièrement avec tous les chercheurs impliqués. Un esprit d'analyse et de créativité seront appréciés. De bonnes capacités de communication et de rédaction en anglais sont souhaitables.

## Références

- [1] At your fingertips : haptic touch controls in cars - Automotive - Technical articles - TI E2E support forums. 19 novembre 2013. URL : [https://e2e.ti.com/blogs\\_/b/behind\\_the\\_wheel/posts/at-your-fingertips-haptic-touch-controls-in-cars](https://e2e.ti.com/blogs_/b/behind_the_wheel/posts/at-your-fingertips-haptic-touch-controls-in-cars) (visité le 20/04/2023).
- [2] Melisande BIET, Frédéric GIRAUD et Betty LEMAIRE-SEMAIL. Squeeze film effect for the design of an ultrasonic tactile plate. *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control*, 54(12) :2678-2688, 2007.
- [3] Sofiane GHENNA, Eric VEZZOLI, Christophe GIRAUD-AUDINE, Frédéric GIRAUD, Michel AMBERG et Betty LEMAIRE-SEMAIL. Enhancing Variable Friction Tactile Display Using an Ultrasonic Travelling Wave. *IEEE Transactions on Haptics*, 10(2) :296-301, 1<sup>er</sup> avril 2017.
- [4] Mould STEVE, director. What If Swings Had Springs Instead Of Ropes : Autoparametric Resonance, 18 février 2022.
- [5] URL : <https://l2ep.univ-lille.fr/> (visité le 14/04/2023).
- [6] Ehsan ENFERAD, Christophe GIRAUD-AUDINE, Frédéric GIRAUD, Michel AMBERG et Betty Lemaire SEMAIL. Generating controlled localized stimulations on haptic displays by modal superimposition. *Journal of Sound and Vibration*, 449 :196-213, juin 2019.
- [7] Anis KACI, Christophe GIRAUD-AUDINE, Frédéric GIRAUD, Michel AMBERG et Betty LEMAIRE-SEMAIL. LQR based MIMO-PID controller for the vector control of an underdamped harmonic oscillator. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 134 :106314, décembre 2019.
- [8] Anis KACI, Christophe GIRAUD-AUDINE, Frédéric GIRAUD, Michel AMBERG et Betty LEMAIRE-SEMAIL. Closed loop control of vibration field transient : Application to wave focusing. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 167 :108285, mars 2022.
- [9] Présentation du Laboratoire | Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Physiques Et Numériques. URL : <https://lispen.ensam.eu/> (visité le 14/04/2023).
- [10] J. DUCARNE, O. THOMAS et J.-F. DEÛ. Placement and dimension optimization of shunted piezoelectric patches for vibration reduction. *Journal of Sound and Vibration*, 331(14) :3286-3303, juillet 2012.
- [11] Daisuke SAYA, Denis DEZEST, Aaron J. WELSH, Fabrice MATHIEU, Olivier THOMAS, Thierry LEÏCHLÉ, Susan TROLIER-MCKINSTRY et Liviu NICU. Piezoelectric nanoelectromechanical systems integrating microcontact printed lead zirconate titanate films. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 30(3) :035004, janvier 2020.
- [12] V. DENIS, M. JOSSIC, C. GIRAUD-AUDINE, B. CHOMETTE, A. RENAULT et O. THOMAS. Identification of nonlinear modes using phase-locked-loop experimental continuation and normal form. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 106 :430-452, juin 2018.
- [13] Michel AULELEY, Christophe GIRAUD-AUDINE, Hervé MAHÉ et Olivier THOMAS. Tunable electromagnetic resonant shunt using pulse-width modulation. *Journal of Sound and Vibration*, 500 :116018, mai 2021.
- [14] Zein A. SHAMI, Christophe GIRAUD-AUDINE et Olivier THOMAS. A nonlinear tunable piezoelectric resonant shunt using a bilinear component : theory and experiment. *Nonlinear Dynamics*, 5 janvier 2023.