

2EL2530 - Capteurs intégrés MEMS

Responsables : **Jerome JUILLARD**

Type de cours : **Electif 2A**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30**

Année académique : **2024-2025**

Catégorie d'électif : **Sciences de l'ingénieur**

Niveau avancé : **non**

Présentation, objectifs généraux du cours :

Dans de nombreux domaines applicatifs - automobile, médecine, aéronautique et défense, télécommunications ou électronique de grande consommation (smartphone, tablettes) - le développement ou l'intégration de capteurs miniaturisés MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) constitue désormais un passage obligé du déploiement d'applications connectées. Ces dispositifs sont utilisés comme capteurs (accéléromètres, gyroscopes, capteurs de pression, microphones, etc.), actionneurs (imprimantes jet d'encre, displays optiques) ou dans la conversion d'énergie. Ils présentent de tels avantages en termes de fiabilité, de consommation, de métrologie, de dimensions et de coût, qu'ils sont rapidement devenus, depuis les années 90, des éléments essentiels (mais invisibles) de notre quotidien, et sont appelés à jouer un rôle croissant dans notre avenir.

Ce cours couvre des aspects théoriques et pratiques, du point de vue de la modélisation (modélisation multi-physique / multi-domaine, réduction d'ordre de modèle), de la physique (mécanique, électrostatique, fluide, limites métrologiques fondamentales), de la technologie (techniques de micro-fabrication, intégration, packaging), et de l'économie (rentabilité). Il a pour ambition de proposer un tour d'horizon complet du domaine, qui intéressera à la fois les étudiants amoureux de "belle physique" et de conception de systèmes complexes, ou encore ceux qui souhaitent appréhender l'industrialisation à grande échelle de dispositifs intégrés.

Des stages de césure chez des grands noms des MEMS, français et internationaux, sont proposés chaque année.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SG6

Prérequis :

Pas de pré-requis particulier.

Plan détaillé du cours (contenu) :

CM = 13.5 HPE

CM 1 - Panorama des MEMS (applications : capteurs, actionneurs, transducteurs, acteurs principaux)

CM 2-3 - Capteurs Inertiels MEMS, Mécanique et modélisation

CM 4-5 - Transduction et Forces à l'échelle des MEMS

CM 6-7 - Fabrication, intégration et packaging

CM 8-9 - Industrialisation des MEMS

TDs = 6 HPE + 6 HEE

Homework - Accéléromètre pendulaire - modélisation et simulation (premiers pas avec Coventor) - 3HEE

TD papier - Magnétomètre résonant AM - 3 HPE

TD info - Gyroscopes vibrant MEMS - 3HPE (modes séparés) + 3HEE (modes dégénérés)

Projets = 9 HPE + ??? HEE

Reverse engineering d'un accéléromètre 3 axes commercial

Etude d'un accéléromètre 2 axes résonant

Optimisation d'un magnétomètre résonant FM

Modélisation de switches d'accélération MEMS

etc.

Déroulement, organisation du cours :

Cours magistraux (13.5h), PC (6h), projets (9h)

Cours et supports en anglais. Polycopié disponible en français.

Organisation de l'évaluation :

QCM sur cours magistraux / PCs (50%) Rapport de projet (50%).

Compétences C1 et C2 évaluées via QCM + note projet (hors partie simu)

Compétence C6 évaluée sur note projet (partie simu exclusivement)

Moyens :

Logiciel MEMS+ Coventor (accès à 50 licences gratuites accordé par l'entreprise)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

Connaître les principaux types de capteurs / actionneurs MEMS et leurs applications

Connaître les principaux procédés de fabrication, d'intégration et de packaging des dispositifs MEMS

Connaître les principaux phénomènes physiques mis en jeu à l'échelle micro (mécanique, transduction, dissipation, bruit)

Comprendre globalement le fonctionnement des capteurs inertiels MEMS (accéléromètres, gyroscopes), de la physique, à l'électronique et aux lois de commande.

Etre capable de dimensionner un tel système, et de le simuler à l'aide d'un outil de conception métier

Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

C1/C2/C6

Bibliographie :

Practical MEMS, V. Kaajakari, Small Gear Publishing, 2009

Inertial MEMS, principles and practice, V. Kempe, Cambridge University Press, 2011

Micro Mechanical Transducers, Pressure sensors, Accelerometers and Gyroscopes, M.-H. Bao, Elsevier, 2000
Micromachined Transducers Sourcebook, G. T. A. Kovacs, McGraw-Hill, 1998