



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique
Université Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Année ; Master I /ESE
Matière ; Capteurs intelligents et MEMS

TP N° 1,2 : Utilisation des différentes fonctionnalités et instructions de la console de simulation des MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)

1. But du TP:

Ce TP qui sera divisé en deux parties ou en deux TP va aider l'étudiant en première partie à utiliser la console de simulation des microsystèmes MEMS **MEMS SOLVER** avec les différents types de matériaux de fabrication des MEMS et de comprendre et manipuler les différentes fonctionnalités et instructions de cet outil de simulation

La seconde partie de ce TP sera consacrée à l'utilisation des commandes utilisées pour les **capteurs intelligents de pression, déformation** de type **piézorésistifs**.

2. Technologie et utilisation de la console de conception et de simulation des MEMS:

Un **microsystème électromécanique MEMS** est un microsystème comprenant un ou plusieurs éléments mécaniques, utilisant l'électricité comme source d'énergie, en vue de réaliser une fonction de capteur ou d'actionneur, avec au moins une structure présentant des dimensions micrométriques ; la fonction du système étant en partie assurée par la forme de cette structure. Le terme **systèmes microélectromécaniques** est la version française de l'acronyme anglais **MEMS** (Microelectromechanical systems). En Europe, le terme **MST** pour **MicroSystem Technology** est également d'usage, bien que nettement moins répandu. Issus des techniques de la micro-électronique, les MEMS font appel pour leur fabrication aux microtechnologies, qui Les MEMS sont composés de mécanismes mécaniques (résonateurs, poutres, micromoteurs, etc.) réalisés sur silicium à l'échelle micrométrique. Ces différents éléments mécaniques sont mis en mouvement (actionnés) grâce aux forces générées par des transducteurs électromécaniques. Ceux-ci sont alimentés par des tensions produites avec des circuits électroniques avoisinants. Les transducteurs électromécaniques jouent alors le rôle de l'interface entre les domaines mécanique et électrique. Les transducteurs électrostatiques ou capacitifs y sont utilisés le plus souvent, bien que l'on puisse rencontrer des interfaces électromécaniques basées sur des phénomènes magnétiques et thermomécaniques permettent une production à grande

3. Simulation des Systèmes Microélectromécaniques:

La conception et la modélisation des systèmes microélectromécaniques (MEMS) est un domaine unique en son genre. A de petites échelles, la conception de résonateurs, de gyroscopes, d'accéléromètres et d'actionneurs doit obligatoirement prendre en compte les effets de plusieurs phénomènes physiques. C'est la raison pour laquelle COMSOL Multiphysics est idéalement adapté pour la simulation des applications MEMS. Dans cette optique, le MEMS Module offre des interfaces utilisateur prédéfinies avec des interfaces spécifiques pour simuler différents couplages physiques, comprenant notamment les interactions électromagnétique-structure, thermique-structure ou fluide-structure. Vous pouvez introduire différents type d'amortissement dans votre modèle : amortissement gazeux par film mince, facteurs de perte anisotropes pour les solides et les matériaux piézoélectriques, amortissement par ressort et amortissement thermoélastique. Pour les vibrations et les ondes élastiques, les couches parfaitement absorbantes (PML) absorbent très efficacement l'énergie élastique sortante.

Des interfaces prédéfinies de modélisation piézoélectrique et piézorésistive permettent de simuler efficacement des systèmes où les matériaux piézoélastiques-diélectriques peuvent être combinés en un nombre illimité de configurations. Le MEMS Module propose des analyses stationnaires et temporelles, ainsi que des analyses de fréquence propre, de réponse de fréquence, paramétrées et quasi-statiques. Vous pouvez facilement extraire des paramètres réduits, tels que la capacitance, l'impédance et l'admittance et connecter votre MEMS à des circuits électriques externes via des fichiers au format SPICE. Grâce aux principales fonctionnalités de Solver MEMS Multiphysics, le MEMS Module permet de simuler quasiment tous les phénomènes physiques liés à la mécanique à micro-échelle.

4. Une Architecture Flexible et Ouverte:

Solver MEMS met l'accent sur la physique résolue en vous donnant accès aux équations correspondantes. Vous avez également la possibilité d'ajouter au système des équations et des expressions définies par l'utilisateur. Par exemple, pour modéliser le chauffage par effet Joule dans une structure aux propriétés élastiques dépendantes de la température, il suffit d'entrer les constantes élastiques comme fonction de la température, sans définir de lignes de commande. Lorsque Solver MEMS compile les équations, les couplages complexes générés par ces expressions définies par l'utilisateur sont automatiquement intégrés au système d'équations initial. Les équations sont ensuite résolues par MEF et à l'aide de solveurs extrêmement efficaces. Une fois la solution obtenue, de nombreux outils de post-traitement sont disponibles pour analyser les données. Des graphiques prédéfinis sont automatiquement générés pour montrer la réponse du système. L'utilisation de Solver MEMS est souple et permet d'évaluer de multiples grandeurs physiques, y compris des quantités prédéfinies telles que la température, un champ électrique ou un tenseur de contraintes (disponible par le biais de menus faciles à utiliser) et des expressions arbitraires définies par l'utilisateur.

5. Interaction fluide-structure (FSI) et Amortissement par Film Mince:

Les dispositifs MEMS en fluidiques ou microfluidique occupent une place de plus en plus importante dans les systèmes microélectromécaniques. Solver MEMS propose le Microfluidics Module pour résoudre les problèmes liés à des applications de ce type. Toutefois, le MEMS Module offre des fonctionnalités microfluidiques intéressantes pour simuler l'interaction des structures microélectromécaniques avec des fluides. L'interface multiphysique Interaction Fluide-Structure (FSI) combine l'écoulement des fluides et la mécanique des solides pour simuler l'interaction entre un fluide et une structure solide. Les interfaces Mécanique du Solide et Ecoulement Laminaire permettent de modéliser les solides et les fluides respectivement. Les couplages FSI apparaissent aux interfaces entre le fluide et le solide. Ils intègrent la pression du fluide et les forces visqueuses, ainsi que le transfert de la quantité de mouvement du solide au fluide, c'est-à-dire une interaction fluide-structure couplée fortement. La méthode employée pour simuler FSI est connue sous le nom "Arbitrary Lagrangian-Eulerian" (ALE).

Les forces d'amortissement en FSI sont en principe importantes dans les systèmes MEMS, ce qui entraîne souvent un besoin de conditionnement sous vide. Le MEMS Module offre des interfaces physiques spécialisées pour l'amortissement par film mince. Elles permettent de résoudre l'équation de Reynolds afin de déterminer la vitesse du fluide, ainsi que la pression et les forces exercées sur les surfaces adjacentes. Vous pouvez utiliser ces interfaces pour modéliser l'amortissement par film de fluide comprimé perpendiculairement aux surfaces et par film de fluide glissant tangentiellement aux surfaces pour une vaste gamme de pressions (il est possible d'inclure des effets de raréfaction). L'amortissement par film mince est disponible pour des surfaces arbitraires en 3D et peut être directement couplé à des solides en 3D.

6. Capteurs Piézorésistifs :

L'effet piézorésistif désigne un changement dans la conductivité d'un matériau qui se produit suite à l'exercice d'une contrainte. Grâce à la facilité d'intégration de la piézorésistances de petite taille à des procédés pour semi-conducteurs et à la réponse raisonnablement linéaire du capteur, cette technologie devient prépondérante dans le domaine des capteurs de pression. Afin de modéliser des capteurs piézorésistifs, le MEMS Module offre plusieurs interfaces physiques spécifiques pour caractériser la piézorésistivité dans les solides ou les coques. Lorsque vous utilisez conjointement le MEMS Module et le Structural Mechanics Module, une interface physique réservée à la piézorésistivité pour les couches minces est activée.

