

# Actions d'incitation 2008

## 2008 Incentive actions

### 1. Modélisation et identification du comportement de structure MEMS pour l'élaboration d'une loi de commande appliquée à l'électronique basée sur la tension de *pull-in*

Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS) – Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Toulouse.

Depuis 2007, le LNE/DMSI mène un projet visant à développer des références de tension très stables et des détecteurs de puissance hautes fréquences, fondés sur l'emploi de micro-systèmes électromécaniques (MEMS). L'objectif prioritaire de ce projet est la réalisation de références de tensions alternatives couvrant des valeurs de quelques volts à 200 V pour une plage de fréquence comprise entre 100 kHz et 100 MHz et présentant une stabilité meilleure que  $1 \mu\text{V/V/an}$ . Ainsi, la référence de tension est définie par le phénomène de *pull-in* qui constitue le point au-delà duquel les électrodes entrent inévitablement en contact. Il est donc indispensable d'asservir le système en cette position d'équilibre semi-stable, ce qui nécessite la définition d'une consigne de régulation.

L'approche retenue dans cette étude est d'élaborer un modèle du comportement dynamique du composant pour permettre de synthétiser une loi de commande robuste de ce système. La mise au point de ce modèle requiert l'évaluation des paramètres influents à partir de simulations et de mesures expérimentales. De plus, la loi de commande développée permettra de concevoir un prototype de l'électronique de commande pilotée par cette loi.

### 2. Laser monomode de puissance pour l'interférométrie atomique à base de semiconducteur pompé optiquement

Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique (LCFIO) – Institut d'Optique et Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Palaiseau.

Le fonctionnement des horloges atomiques et des interféromètres atomiques repose sur les étapes de préparation, de refroidissement, d'interrogation et de détection des atomes au moyen de lasers adéquats. Le refroidissement des atomes de césium exploitant la raie d'absorption  $D_2$  à 852 nm (entre l'état fondamental  $6S_{1/2}$  et  $6P_{3/2}$ ) nécessite l'emploi d'une source laser monomode

présentant notamment une faible largeur de raie ( $< 1$  MHz), une puissance suffisante (100 mW) et une polarisation adaptée. L'interférométrie atomique nécessite, quant à elle, une telle source avec des performances accrues (500 mW de puissance et une largeur de raie inférieure à 200 kHz). Aujourd'hui, ces applications reposent principalement sur des lasers à semiconducteurs et tout particulièrement des diodes laser à contre réaction répartie DFB qui ne présentent toutefois pas les performances optimales (puissance maximale de 200 mW et largeur de raie de l'ordre du mégahertz).

L'objectif de cette action d'incitation est de mettre au point une source laser compacte monofréquence émettant à 852 nm en continu, avec une largeur de raie inférieure à 200 kHz et une puissance supérieure à 500 mW. Cette source laser est un OPS-VECSEL qui repose sur une structure amplificatrice semiconductrice placée en cavité externe et pompée optiquement par une diode laser de puissance. Cette structure est constituée d'un matériau semiconducteur entouré par les deux miroirs dont l'un, assurant une réflectivité proche de 100 %, est un miroir de Bragg déposé sur le matériau semiconducteur, et l'autre, classique, constitue le miroir de couplage. Ainsi, la longueur d'onde d'émission du laser est fixée par le matériau semiconducteur. Par ailleurs, l'emploi d'une cavité externe assure l'émission de fortes puissances monomodes longitudinales en introduisant des composants intracavités sélectifs.

Les travaux antérieurs du LCFIO ont permis d'obtenir un laser monofréquence à 852 nm de largeur de raie inférieure à 500 kHz, et présentant une puissance de 15 mW. Aujourd'hui, le principal verrou à lever, pour l'obtention de puissance supérieure, est l'échauffement du matériau semiconducteur induit par le faisceau pompe. En effet, le substrat sur lequel le semiconducteur et le miroir de Bragg sont déposés, ne peut évacuer cet échauffement en raison d'une conductivité thermique insuffisante.

### 3. Modélisation par éléments finis de l'acoustique en fluide thermovisqueux : application à l'étude axisymétrique de systèmes de mesure en acoustique

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (LAUM) – Le Mans.

Les procédures d'étalonnage en métrologie acoustique mettent très souvent en œuvre des champs acoustiques en

cavités : c'est notamment le cas pour les microphones et pour l'oreille artificielle. Le champ acoustique dans ces cavités a fait l'objet de nombreuses études, en particulier sous forme de modèles électroacoustiques ou de modèles physiques le décrivant à l'intérieur du volume fluide sous forme d'expressions analytiques. Afin de décrire fidèlement les phénomènes, les transducteurs sont également étudiés en détail. Cependant, les modèles utilisent souvent des caractéristiques macroscopiques, comme le volume global d'une cavité, qui ne permettent pas de rendre compte de tous les détails de la géométrie du système, alors que le rôle de ces derniers peut être non négligeable. Le développement récent d'outils numériques présente l'opportunité de valider ces modèles analytiques et de mieux maîtriser les approximations sur lesquelles ils sont fondés, pour en palier les insuffisances. L'objectif de cette étude est d'appliquer les techniques et outils de modélisation par éléments finis de l'acoustique en fluides thermovisqueux récemment développés au LAUM. Dans un premier temps, l'étude comporte une phase de validation de ces modèles numériques sur un cas de référence. Ensuite, l'étude portera sur des modélisations numériques axisymétriques, d'une part dans la configuration utilisée pour l'étalonnage primaire en pression de microphones, et d'autre part pour le dispositif de mesure d'oreille artificielle. Ces simulations numériques consistent en une modélisation des différentes cavités axisymétriques occupées par le fluide thermovisqueux (cavité de couplage, cavités périphériques, cavités arrières de microphones), compte tenu des couplages avec les vibrations des membranes des transducteurs. De tels modèles par éléments finis pourront également être réalisés pour étudier des microphones MEMS, afin d'évaluer les techniques d'étalonnage adaptées aux microphones miniatures.

#### 4. Modélisation du champ acoustique en fluide thermovisqueux dans une cavité axisymétrique

*Laboratoire d'acoustique de l'Université du Maine (LAUM) – Université du Maine – Le Mans.*

Il s'agit de modéliser finement (en tout point) le champ acoustique dans la cavité résonante quasi-sphérique utilisée par le LNE-INM/CNAM pour la détermination de la constante de Boltzmann ( $k$ ) par méthode acoustique. Un modèle acoustique est utilisé pour calculer la vitesse du son à partir des différentes fréquences de résonances dans la cavité. La détermination de ces paramètres acoustiques permet de calculer le produit  $k \cdot T$ . Les mesures sont effectuées à la température ( $T$ ) du point triple de l'eau (273,16 K).

Afin de réduire au minimum les incertitudes liées au modèle acoustique, toutes les sources de perturbation du modèle théorique doivent être identifiées et quantifiées : discontinuités introduites par les différents transducteurs ou capillaires d'amenée de fluide, géométrie (volume et forme) et rugosité de la cavité quasi-sphérique, prise en compte des effets thermiques et visqueux du fluide en particulier dans la couche limite. La prise en compte de ce dernier point dans le modèle et la validation du modèle

lui-même constituent l'objet principal de l'étude car les corrections dues aux effets dans la couche limite sont vingt fois supérieures à celles des autres perturbations.

Un modèle analytique a déjà été élaboré. Il tient compte des interactions entre les différentes sources de perturbation et des couplages intermodaux résultants. Le LAUM utilisera des outils sur la base d'éléments finis pour valider ce modèle analytique. Le champ acoustique sera calculé dans une cavité en cuivre, à parois lisses, remplie d'hélium gazeux, à la température du point triple de l'eau, pour différentes valeurs de pressions statiques et pour plusieurs géométries de cavité. Le champ acoustique sera calculé comme étant la réponse d'une excitation harmonique, à différentes fréquences, générée en paroi.

Cette nouvelle technique de modélisation permettra de résoudre les mêmes équations fondamentales de propagation acoustique et de diffusion thermique et visqueuse dans la cavité que celles utilisées pour le modèle analytique. La comparaison des résultats permettra de vérifier les approximations retenues et donc de valider le modèle analytique déjà utilisé. Ces calculs numériques permettront également de compléter les travaux précédents par la technique analytique en considérant les calculs sur différentes géométries de cavité à différentes pressions statiques.

#### 5. Conception et fabrication de micro-résonateurs en polymères avec leur fonctionnalisation pour des biomolécules, pour la mise en œuvre d'une technique de caractérisation de protéines

*Laboratoire de Photonique Quantique et Moléculaire (LPQM) – Ecole Normale Supérieure (ENS) – Cachan.*

Les biocapteurs optiques, permettent de réaliser la détection de molécules biologiques sans avoir recours à un marqueur fluorescent. On utilise à cet effet des micro-résonateurs optiques dont le principe de fonctionnement est basé sur la détection du changement de l'environnement par les ondes évanescentes issues des guides d'onde optique du capteur. Lorsque l'on en fonctionnalise la surface, on détecte sélectivement les molécules susceptibles de s'y fixer. Cette technique est largement étudiée du fait de sa compatibilité avec la technique de micro-fluidique, car elle permet, entre autres, des analyses en temps réel.

L'objectif de cette étude est de concevoir et réaliser en parallèle des bio-capteurs pour la détection de protéines et leur méthode d'interrogation. La voie choisie est celle de micro-résonateurs en polymère. L'interrogation des capteurs se fera par la méthode de réflectométrie en lumière incohérente, déjà développé au LNE pour des applications des télécommunications. Cette technique offre des perspectives en terme de sensibilité et de résolution de la mesure pour détecter des molécules en faible concentration qu'il faudra valider. Les efforts technologiques se porteront spécifiquement sur le choix du matériau polymère, la nature de la fonctionnalisation de surface ainsi que l'efficacité de couplage entre le guide optique et le résonateur.