

Vendredi 30 septembre 2011 à 14h

Salle de Conférences, 4^{ème} étage, LAUM, UNIVERSITE DU MAINE, LE MANS

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DU MAINE
Spécialité ACOUSTIQUE

**MODELISATION ANALYTIQUE ET CARACTERISATION EXPERIMENTALE
DE MICROPHONES CAPACITIFS EN HAUTES FREQUENCES :
ETUDE DES COUCHES LIMITES THERMIQUES,
EFFETS DES PERFORATIONS DE L'ELECTRODE ARRIERE SUR LA DEFORMEE DE MEMBRANE**

Devant le jury composé de :

Bertrand Dubus	Directeur de Recherches au CNRS, IEMN, Lille	Rapporteur
Philippe Herzog	Directeur de Recherches au CNRS, LMA, Marseille	Rapporteur
Salvador Barrera-Figueroa	Ingénieur R&D, Dr., DFM, Kongens Lyngby (DK)	Examineur
Dominique Rodrigues	Ingénieur R&D, Dr., LNE, Trappes	Examineur
Pierrick Lotton	Directeur de Recherches au CNRS, LAUM, Le Mans	Examineur
Nicolas Joly	Maître de conférences, HDR, LAUM, Le Mans	Directeur de thèse
Stéphane Durand	Maître de conférences, HDR, LAUM, Le Mans	Co-Directeur de thèse
Michel Bruneau	Professeur Émérite, LAUM, Le Mans	Co-encadrant de thèse

Résumé :

Les microphones capacitifs sont des transducteurs réciproques dont les qualités (sensibilité, bande passante et tenue dans le temps) en font des instruments de mesure performants. Couramment utilisés jusqu'à présent en récepteurs dans l'air à pression atmosphérique et à température ambiante, dans la gamme de fréquences audibles, ils sont correctement caractérisés dans ce cadre depuis près de trente ans.

Mais aujourd'hui, leur miniaturisation (par procédé MEMS) et leur usage nouveau en métrologie fine (en récepteurs comme en émetteurs) - qui exigent une connaissance précise de leur comportement dans des domaines de fréquences élevées (jusqu'à 100 kHz), dans des mélanges gazeux aux propriétés différentes de celles de l'air et dans des conditions de pression et de température beaucoup plus élevées ou beaucoup plus basses que les conditions standards - nécessitent une caractérisation plus approfondie de ce type de transducteur, aussi bien en terme de modélisation qu'en terme de résultats expérimentaux.

C'est ainsi que ici -i/ les effets des couches limites thermiques (seules les couches limites visqueuses sont habituellement retenues) sont introduits dans le modèle, ce qui amène à une étude analytique préalable de la diffusion thermique en parois minces (dont la portée dépasse le cadre strict du transducteur), -ii/ l'influence des orifices de l'électrode arrière sur la déformée de la membrane est traitée au départ par une méthode analytique originale, qui permet de traduire les conditions en frontière non uniformes sur la surface de l'électrode sous forme de sources locales virtuelles, associées à des conditions de frontière rendues uniformes, -iii/ des solutions analytiques nouvelles, dépendant à la fois des coordonnées radiales et azimutales, sont obtenues pour le champ de déplacement de la membrane et pour les champs de pression dans les cavités du microphone par usage de théories modales compatibles avec les couplages multiples qui y prennent place, -iv/ un modèle de « circuit à constantes localisées » est proposé, à des degrés divers de précision, qui permet en particulier d'accéder de façon simple à la sensibilité et au bruit thermique du microphone, -v/ une étude au vibromètre laser à balayage a été réalisée, qui permet non seulement de mettre en évidence pour la première fois les déformées de membrane complexes qui apparaissent en hautes fréquences, mais encore de les quantifier et par-delà de valider les résultats théoriques obtenus et donc les modèles proposés (même s'ils restent perfectibles).

Friday 30th September 2011 – 14:00pm

Conference Room, 4th floor, LAUM, UNIVERSITÉ DU MAINE, LE MANS

To obtain the PhD degree of
DOCTOR OF UNIVERSITÉ DU MAINE
Speciality: ACOUSTICS

**ANALYTICAL MODELLING AND EXPERIMENTAL CHARACTERISATION
OF CONDENSER MICROPHONES AT HIGH FREQUENCIES:
ANALYSIS OF THE THERMAL BOUNDARY LAYERS,
EFFECTS OF HOLES IN THE BACKING ELECTRODE ON THE DISPLACEMENT FIELD OF THE MEMBRANE**

In front of the jury consisted of:

Bertrand Dubus	Research Professor at CNRS, IEMN, Lille (FR)	Reviewer
Philippe Herzog	Research Professor at CNRS, LMA, Marseille (FR)	Reviewer
Salvador Barrera-Figueroa	Research Engineer, Dr., DFM, Kongens Lyngby (DK)	Examiner
Dominique Rodrigues	Research Engineer, Dr., LNE, Trappes (FR)	Examiner
Pierrick Lotton	Research Professor at CNRS, LAUM, Le Mans (FR)	Examiner
Nicolas Joly	Senior Lecturer, HDR, LAUM, Le Mans (FR)	Thesis director
Stéphane Durand	Senior Lecturer, HDR, LAUM, Le Mans (FR)	Thesis co-director
Michel Bruneau	Emeritus Professor, LAUM, Le Mans (FR)	Thesis supervisor

Abstract:

Condenser microphones are reciprocal transducers whose properties (sensitivity, bandwidth and reliability) make them powerful measurement tools. So far, they have been commonly used as receivers in the audible frequency range, in air at atmospheric pressure and ambient temperature, they have been appropriately characterised in this context for nearly thirty years.

But nowadays, their miniaturisation (using MEMS processes) and their new use for metrological purposes (as receivers as well as transmitters) require much deeper theoretical and experimental characterisations because they require an accurate knowledge of their behaviour in high frequency ranges (up to 100 kHz), in gas mixtures, whose properties differ from those of air, and under pressure and temperature conditions much higher or much lower than standard conditions.

Thus, here, -i/ the effects of the thermal boundary layers are introduced in the model (only viscous boundary layers are usually accounted for), leading to a preliminary analysis of the thermal diffusion of thin bodies (whose scope is beyond the strict frame transducers), ii/ the influence of the holes in the backing electrode on the dynamic behaviour of the membrane is initially handled with an original analytical method which allows expressing the non-uniform boundary conditions at the surface of the backing electrode as fictitious localised sources associated to uniformed boundary conditions, -iii/ new analytical solutions, depending both on the radial and azimuthal coordinates, for the displacement field and for the pressure fields inside the cavities behind the membrane are expressed using modal theories in agreement with the strong couplings which occur between the different parts of the transducer, -iv/ "lumped element circuits", which are more or less approximated, more particularly result in expressing and assessing the sensitivity and the thermal noise, -v/ experimental results, obtained from measurements of the displacement field of the membrane using a laser scanning vibrometer, both highlight and quantify for the first time the complex behaviour of the membrane in the highest frequency range, and finally lead to the validation of the theoretical results and therefore, the models presented here (even if the latter may still be improved).