



## THÈSE DE DOCTORAT

Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines  
École doctorale Société du Futur  
Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes de Versailles

*Spécialité*  
*Optoélectronique*

*Présentée par*  
**Marwan WAKIM**

*Pour obtenir le grade de*  
**DOCTEUR de l'Université de**  
*Versailles Saint-Quentin en Yvelines*

# Contrôle de la position et de la vitesse d'une masse à l'échelle nanométrique : application à la balance du watt du LNE

*Soutenance prévue le 14 mai 2008*

*Devant le jury composé de :*

|                        |            |  |                           |
|------------------------|------------|--|---------------------------|
| <b>Y. ALAYLI</b>       | <b>PR</b>  | <b>Université de Versailles Saint-Quentin – LISV</b>       | <b>Directeur de thèse</b> |
| <b>N. DIMARCQ</b>      | <b>DR</b>  | <b>Observatoire de Paris – LNE/SYRTE</b>                   | <b>Rapporteur</b>         |
| <b>D. HAUDEN</b>       | <b>PR</b>  | <b>Université de Besançon – FEMTO-ST</b>                   | <b>Rapporteur</b>         |
| <b>L. CHASSAGNE</b>    | <b>MCF</b> | <b>Université de Versailles Saint-Quentin – LISV</b>       | <b>Examineur</b>          |
| <b>A. EICHENBERGER</b> | <b>DR</b>  | <b>Federal Office of Metrology – METAS Suisse</b>          | <b>Examineur</b>          |
| <b>G. GENEVÈS</b>      | <b>IR</b>  | <b>Laboratoire National de métrologie et d'Essais- LNE</b> | <b>Examineur</b>          |
| <b>P. JUNCAR</b>       | <b>PR</b>  | <b>Conservatoire National des Arts et Métiers –LNE/INM</b> | <b>Examineur</b>          |

***Titre : Contrôle de la position et de la vitesse d'une masse à l'échelle nanométrique : application à la balance du watt du LNE***

Le kilogramme est la seule unité de base du système international encore définie par un artefact matériel. Le Laboratoire National de métrologie et d'Essais (LNE) développe, dans le cadre d'un projet fédéré, une expérience nommée balance du watt dont le but est de contribuer à la redéfinition de l'unité de masse.

Les travaux réalisés au cours de cette thèse ont pour but de contrôler, sur une plage de l'ordre de quelques centimètres, la vitesse de déplacement et le positionnement d'une bobine à l'aide d'un dispositif constitué d'un interféromètre hétérodyne associé à une platine de translation et à un actionneur piézo-électrique. Une source laser a été développée afin de mieux adapter la méthode aux contraintes exigées par la balance du watt. La méthode de contrôle de vitesse permet une instabilité résiduelle relative de  $2,4 \times 10^{-9}$  pour un simple miroir pesant quelques grammes et de  $4,2 \times 10^{-7}$  pour une masse de 1200 g, ceci sur 100 secondes de temps d'intégration. La méthode développée a par ailleurs démontrée son utilité dans d'autres applications en nanométrie.

***MOTS-CLÉS : Nanopositionnement, contrôle de vitesse, Interférométrie, Optoélectronique, Métrologie, Balance du watt.***

***Title: Position and velocity control of a mass at the nanometric scale: Application to the LNE's watt balance.***

The kilogram is the last remaining unit of the International System of Units which is still defined by a material artefact. The "Laboratoire National de métrologie et d'Essais" (LNE) is developing, as a federal project, an experiment called watt balance whose aim is to contribute to the redefinition of the unit of mass.

The purpose of the realized work during this thesis is to control, on a centimetric displacement, the velocity and the positioning of a moving coil with a method based on the use of a heterodyne Michelson's interferometer associated to a long range translation stage and a piezoelectric actuator. A laser source has been developed in order to adapt the method to the constraints required by the watt balance. The method of the velocity control allows a relative unstability of  $2,4 \times 10^{-9}$  for a simple mirror weighing few grams and  $4,2 \times 10^{-7}$  for a mass of 1200 g, over 100 seconds of integration time. The method developed has also demonstrated its usefulness in other nanometrology applications.

***KEYWORDS: Nanopositioning , Velocity control , interferometry, Optoelectronic, Metrology, Watt balance.***