



**HAL**  
open science

# Propriétés électromécaniques des nanotubes de carbone multiparois

Roland Lefevre

► **To cite this version:**

Roland Lefevre. Propriétés électromécaniques des nanotubes de carbone multiparois. Physique [physics]. Université Paris Sud - Paris XI, 2005. Français. NNT: . tel-00012207

**HAL Id: tel-00012207**

**<https://theses.hal.science/tel-00012207>**

Submitted on 4 May 2006

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Résumé

Dans ce travail de thèse, nous avons cherché, d'une part, à répondre à la question du dimensionnement des nanosystèmes électromécaniques (NEMS) à base de nanotube de carbone (NTC) multiparois, à la fois théoriquement et expérimentalement, et d'autre part, à appliquer le savoir-faire développé à la réalisation de composants de types interrupteurs.

Nous avons développé un modèle théorique pour décrire la déflexion d'un nanotube de carbone suspendu soumis à une force d'attraction électrostatique. Notre modèle montre qu'il existe une loi d'échelle reliant la déflexion électrostatique aux paramètres géométriques, électriques, et physiques des NEMS à base de NTC. Ce résultat constitue, en soi, un outil de dimensionnement pour la conception de ces dispositifs, car il permet de prédire leur comportement électromécanique sur une « large » gamme de paramètres opérationnels.

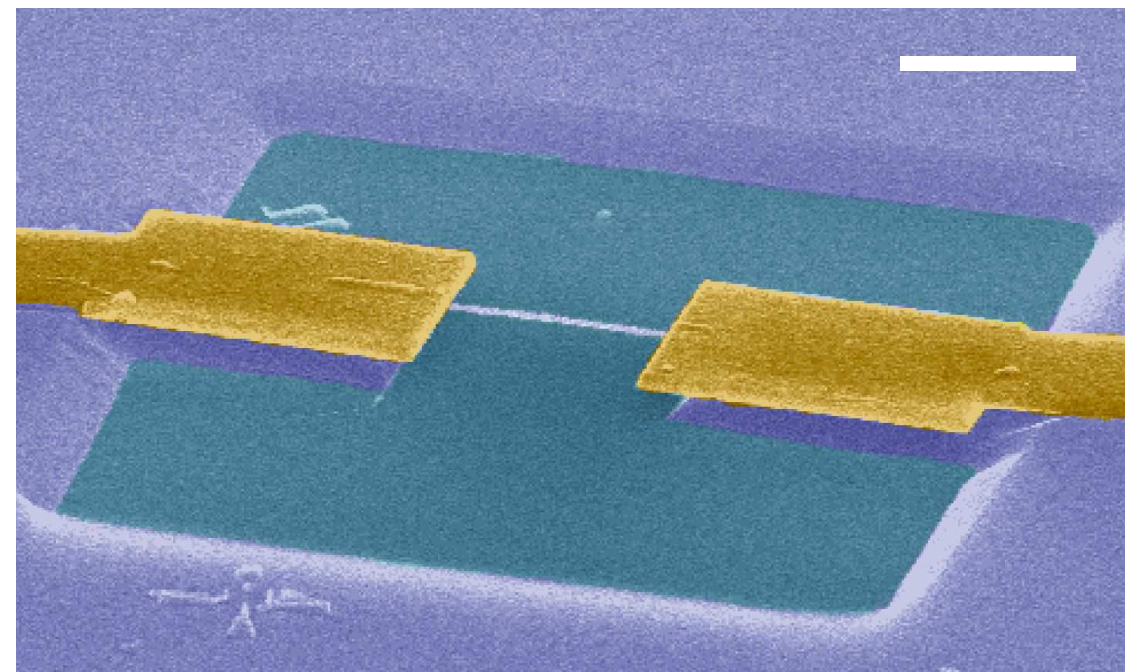
Parallèlement, nous avons mis au point des procédés de fabrication pour réaliser des nanostructures intégrant un NTC suspendu actionnable électrostatiquement. Parmi ces différentes structures, la plus simple a été utilisée pour sonder les propriétés électromécaniques des NTC multiparois. Nous avons développé une méthode basée sur l'utilisation d'un microscope à force atomique pour mesurer la déflexion en fonction de la tension électrique d'actionnement. Les résultats de ces mesures, pour différents NTC (différents diamètre et longueur), montrent clairement, et sans paramètre ajustable, l'existence de la loi d'échelle prédite par notre modèle théorique. À partir de ces mesures, nous avons extrait le module d'Young des NTC. Pour des diamètres inférieurs à 30 nm, celui-ci est constant et vaut en moyenne 400 GPa. Au-delà, nous observons une forte diminution qui pourrait s'expliquer par l'entrée dans un régime de déformation non-linéaire.

Enfin, nous montrons la réalisation d'un interrupteur électromécanique à base de NTC qui présente de bonnes caractéristiques de commutation.

**Mots-clés :** MEMS, NEMS, nanotubes de carbone multiparois, module d'Young, microfabrication, dimensionnement, déflexion électrostatique, microscope AFM.

*En couverture : Image de microscopie électronique à balayage d'un échantillon utilisé dans l'expérience de déflexion électrostatique pour déterminer les propriétés électromécaniques des nanotubes de carbone multiparois. Le nanotube de carbone (gris), fixé et connecté à deux électrodes métalliques (doré), est suspendu, par gravure humide de la silice (mauve), au-dessus d'un substrat de silicium (vert) fortement dopé. L'application d'une tension électrique au substrat, alors que les électrodes sont portées à la masse, permet de créer une force d'attraction électrostatique qui défléchit le nanotube vers le bas. Barre d'échelle : 1  $\mu$ m.*

## Propriétés électromécaniques des nanotubes de carbone multiparois



Roland LEFÈVRE

Laboratoire d'Électronique Moléculaire  
CEA Saclay