

# Les modes électriques - apport de la modélisation pour l'interprétation des mesures

Christina VILLENEUVE-FAURE, Laurent BOUDOU,  
Kremena MAKASHEVA et Gilbert TEYSSÉDRE

LAPLACE (Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie),  
Université de Toulouse, CNRS, UT3, INPT, Toulouse, France

Quel que soit le domaine d'application (microbiologie, micro/nano électronique, énergie, ...), la connaissance des propriétés (électriques, thermiques, mécaniques...) à l'échelle nanométrique est devenue cruciale pour la compréhension des phénomènes physiques et l'amélioration des fonctionnalités des dispositifs. Par exemple, l'adhésion microbienne est contrôlée par de nombreux paramètres tels que la rugosité de la surface, les interactions électrostatiques substrat / bactéries (permittivité, état de charges), les propriétés hydrophile/hydrophobe de la surface... De plus, pour les applications en micro/nanotechnologie la connaissance des propriétés électriques locales permet d'identifier les mécanismes de défaillance en localisant, par exemple, les courants de fuite dans les transistors MOS ou les charges piégées dans les micro-systèmes électromécaniques (MEMS).

Concernant l'étude des propriétés électriques, de nombreux modes dérivés de la microscopie à force atomique (AFM) sont disponibles (Figure 1). En fonction des modes, différentes grandeurs sont mesurables[1] : (i) le courant grâce aux modes Conductive AFM (C-AFM), Tunnelling AFM (TUNA) ou Résiscope, (ii) le potentiel de surface par Microscopie à sonde de Kelvin (KPFM), (iii) les variations de phase ou de fréquence par Microscopie à force électrostatique (EFM), (iv) les variations de résistance ou de capacité par Scanning Spreading Resistance Microscopie (SSRM), Scanning Capacitance Microscopie (SCM) ou Scanning Microwave Microscopie (SMM).

Toutefois, le passage des résultats de mesures AFM à la détermination de propriétés physiques (conductivité, mobilité, densité de charges, impédance...) n'est pas trivial et nécessite bien souvent la mise en place de modèles simulant aussi bien le dispositif AFM que les phénomènes physiques au sein du matériau. L'objectif de cette présentation sera donc de mettre en évidence comment la modélisation nous permet de rendre les mesures AFM plus « quantitatives ». Cela passe par la modélisation du courant à travers l'échantillon (la configuration pointe plan lors de la collecte du courant rend impossible l'utilisation des lois classiques de conduction, telle que la loi d'ohm) et des forces électrostatiques pour la détermination de la densité de charges ou de la permittivité par EFM/KPFM [2-3].

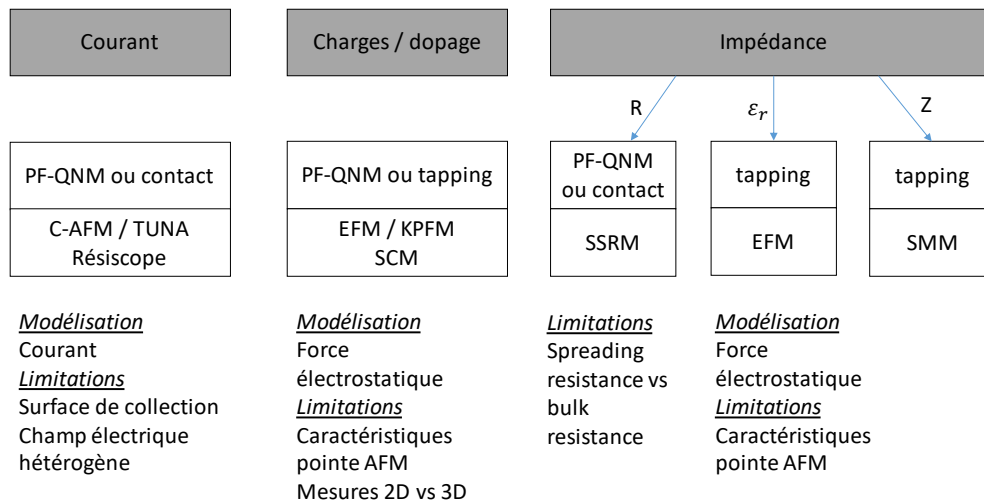


Figure 1 : les modes électriques dérivés de l'AFM : applications, modélisation et limitations

## Références

- [1] Avila A. and Bhushan B. *Solid State and Materials Sciences* **2010**, *35*, 38  
 [2] Moerman D., Sebaihi N., Kaviyil S.E., Leclere P., Lazzaronia R. and Douheret O. *Nanoscale*, **2014**, *6*, 10596  
 [3] Villeneuve-Faure C., Makasheva K., Boudou L. and Teyssedre G. *Chapter 9 "Electrical Atomic Force Microscopy for Nanoelectronics" Springer Nature Switzerland AG 2019*