

---

## Sujet de thèse

Nom du laboratoire : **IM2NP** (UMR 7334) CNRS, <http://www.im2np.fr>

Directeurs de thèse : **Dr. Michaël Texier** ([michael.texier@univ-amu.fr](mailto:michael.texier@univ-amu.fr), Tel: 04 91 28 80 98)

**Dr. Thomas Cornelius** ([thomas.cornelius@im2np.fr](mailto:thomas.cornelius@im2np.fr), Tel: 04 91 28 80 13)

Adresse : IM2NP, Case 262, Av. Escadrille Normandie-Niémen, F13397 Marseille

### Titre de la thèse : **Étude nano-mécanique et piézoélectrique de nanofils semiconducteurs**

L'équipe MNO du laboratoire IM2NP à l'Université Aix-Marseille propose un sujet de thèse de doctorat consacré à l'étude des propriétés mécaniques et piézoélectrique de nanofils semiconducteurs (GaN, ZnO). Les propriétés remarquables de ces matériaux en font des candidats potentiels pour de multiples applications dans différents domaines : optoélectronique, conversion d'énergie, capteurs ou actuateurs, systèmes nano-électromécaniques (NEMS). Des effets de taille se manifestent dans les nanofils semiconducteurs lorsque leur diamètre est inférieur à quelques dizaines de nanomètres, modifiant de façon sensible leurs propriétés physiques. La limite élastique par exemple, est considérablement plus élevée dans les nanostructures que dans le matériau massif [1-3], influant également sur les propriétés de transport en modifiant la structure de bandes de ces nano-structures (elastic strain engineering).

Par ailleurs, le couplage de l'effet de taille sur le comportement mécanique et la polarisation électrique *via* l'effet piézoélectrique ouvre la voie à de nouveaux développements en matière de production d'énergie par la conversion d'une sollicitation mécanique en électricité à l'aide de nanodispositifs à base de nanofils.

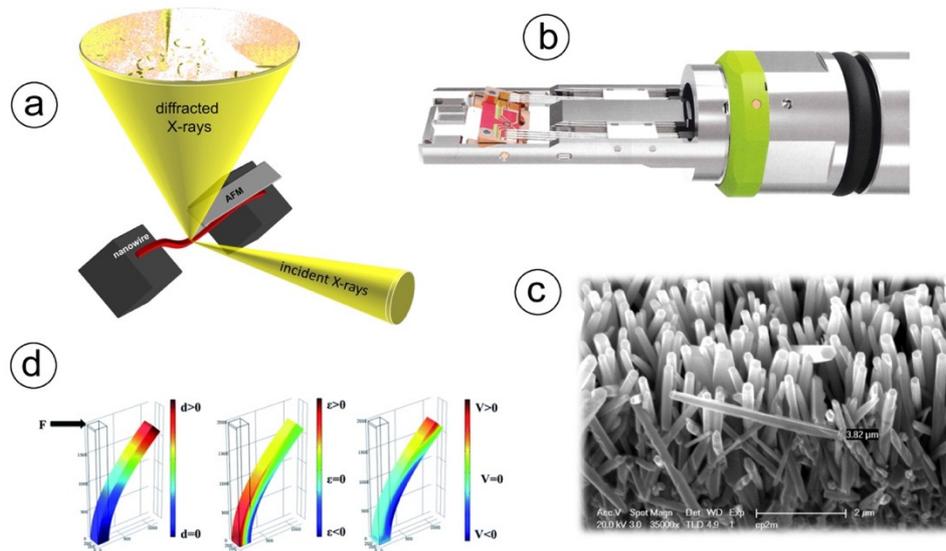
Enfin, de récentes études ont montré que le comportement plastique des matériaux semiconducteurs était également affecté par l'effet de taille [4-6], l'influence des défauts étendus sur la réponse piézoélectrique étant cependant largement méconnue.

Afin de mieux comprendre l'effet de taille sur la piézoélectricité des nanofils semiconducteurs et prévenir les dysfonctionnements des composants dérivés, l'étude des mécanismes associés aux déformations élastique et plastique de ces nano-matériaux présente un intérêt fondamental. La possibilité d'appliquer de forts taux de déformation élastique à ces nano-matériaux permet en outre d'exploiter des effets non-linéaires sur les propriétés mécaniques et piézoélectriques.

**Dans le cadre de cette thèse, le candidat retenu étudiera les propriétés nano-mécaniques (élastique et plastique) et le comportement piézoélectrique de nanostructures individuelles à l'aide de techniques expérimentales uniques : (i) la microscopie à force atomique couplée *in situ* avec la diffraction de rayons X sous rayonnement synchrotron de 3<sup>ème</sup> génération (ESRF, Soleil,...) [7-8], (ii) la sollicitation électrique *in situ* dans un microscope électronique en transmission à haute résolution FEI Titan corrigé des aberrations géométriques [9]. Ces approches expérimentales seront associées à des calculs de déformation par la méthode des éléments finis.**

**Compétences souhaitées** : Le candidat doit être titulaire d'un Master de Physique, de Sciences des matériaux, ou d'un diplôme équivalent dans ces domaines. Il doit posséder un socle solide en Physique de la matière condensée et un intérêt pour les études expérimentales. Une expérience en programmation est préférable.

Les candidatures incluant un CV, deux lettres de recommandation et une lettre de motivation doivent être adressées à [michael.texier@univ-amu.fr](mailto:michael.texier@univ-amu.fr) et [thomas.cornelius@im2np.fr](mailto:thomas.cornelius@im2np.fr).



**Fig.1.** (a) Représentation schématique de l'expérience de flexion *in situ* sous faisceau de rayons X. (b) Extrémité du porte-objet permettant de réaliser des sollicitations électriques *in situ* dans un microscope TEM. (c) Image de microscopie électronique à balayage de nanofils ZnO. (d) Exemples de calculs par éléments finis de nanofils déformés en flexion.

#### Bibliographie :

- [1] M.D. Uchic, P.A. Shade, D.M. Dimiduk, *Plasticity of micrometer-scale single crystal in compression*, Annu. Rev. Mater. Res. 39 (2009) 361-386
- [2] B. Wu, A. Heidelberg, J.J. Boland, *Mechanical properties of ultrahigh-strength gold nanowires*, Nature Materials 4 (2005) 525-529
- [3] T.W. Cornelius, O. Thomas, *Progress of in situ synchrotron X-ray diffraction studies on the mechanical properties of materials at small scales*, Prog. Mater. Sci. (2018) in press
- [4] X. D. Han, Y. F. Zhang, K. Zheng, X. N. Zhang, Z. Zhang, Y. J. Hao, X. Y. Guo, J. Yuan, and Z. L. Wang, *Low-Temperature in Situ Large Strain Plasticity of Ceramic SiC Nanowires and Its Atomic-Scale Mechanism*, Nano Lett. 7, p452 (2007)
- [5] F. Öslund, P.R. Howie, R. Ghisleni, S. Korte, K. Leifer, W.J. Clegg, and J. Michler, *Ductile-brittle transition in micropillar compression of GaAs at room temperature*, Phil. Mag. 91, p1190 (2011)
- [6] L. Thilly, R. Ghisleni, C. Swistak and J. Michler, *In situ deformation of micro-objects as a tool to uncover the micro-mechanisms of the brittle-to-ductile transition in semiconductors: the case of indium antimonide*, Phil. Mag. 92, p3315 (2012)
- [7] C. Leclere, T.W. Cornelius, Z. Ren, A. Davydok, J.-S. Micha, O. Robach, G. Richter, L. Belliard, O. Thomas, *In-situ bending of an Au nanowire monitored by micro Laue diffraction*, J. Appl. Cryst. 48 (2015) 291 – 296
- [8] M. Dupraz, G. Beutier, T.W. Cornelius, G. Parry, Z. Ren, S. Labat, M.-I. Richard, G.A. Chahine, O. Kovalenko, E. Rabkin, M. Verdier, O. Thomas, *3D imaging of a dislocation loop at the onset of plasticity in an indented nanocrystal*, Nano Lett. 17 (2017) 6696 – 6701
- [9] M. Texier, J. Thibault-Penissou, *Optimum correction conditions for aberration-corrected HRTEM SiC dumbbells chemical imaging*, Micron, 43 (2011) 516