

Vers une nouvelle génération de sonde AFM à base de micro- et nano-systèmes électromécaniques

B. LEGRAND, E. ALGRE, L. BUCHAILLOT, M. FAUCHER, B. WALTER

European Research Council

SMART



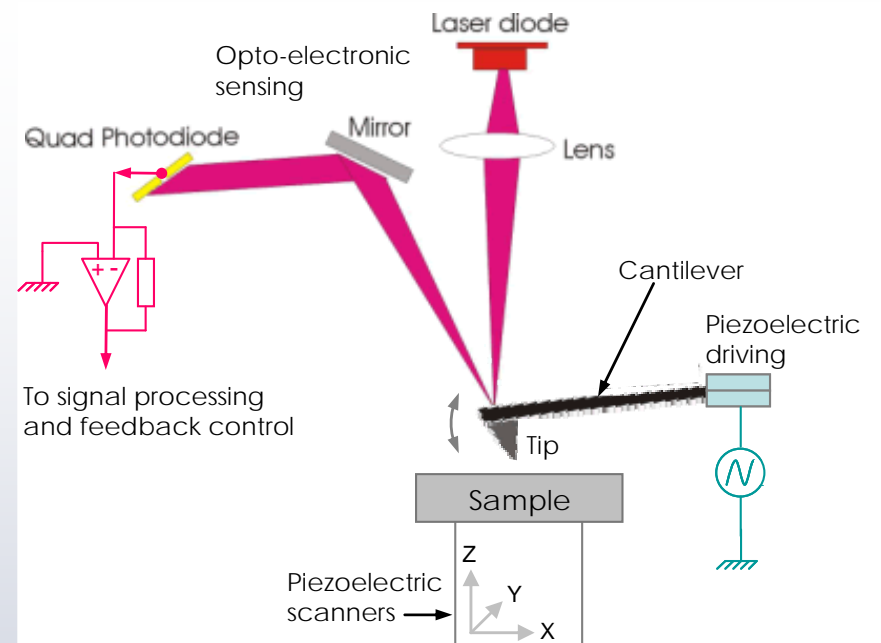
IMPROVE-LM

IEMN / Institut Néel (Grenoble)
CPMOH (Bordeaux)



Contexte

- 1986 : Microscope AFM (Binnig, Quate, Gerber)
→ microscopies, spectroscopies...



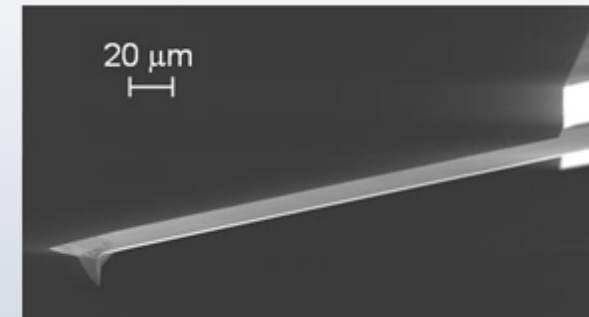
- Très nombreuses applications dans le domaine de la biologie

- **Challenges**

- Augmenter la bande passante
- Travailler en milieu liquide
- Accéder à la dynamique de nanosystèmes biologiques (Ando (JP))

- **Verrous**

- Fréquence de résonance de la sonde
- Comportement hydrodynamique
- Excitation / détection en milieu liquide



- **Sonde AFM = résonateur mécanique**
 - Changer le résonateur
 - Apport des microtechnologies / MEMS
 - Résonateurs électro-mécaniques
- **Avantages**
 - Géométries / modes de vibrations
 - Fréquences et coefficients de qualité
 - Transductions intégrées
 - Fabrication collective
- **Objectifs**
 - Fréquences > 100 MHz (bande passante, résolution en temps : μs)
 - Faibles dissipations hydrodynamiques
 - Sensibilités en force de l'ordre du pN

Concept de la sonde MEMS AFM

- Résonateur : anneau de silicium vibrant sur le mode elliptique
- Transductions capacitives
- Fréquences de résonance : MHz \rightarrow GHz

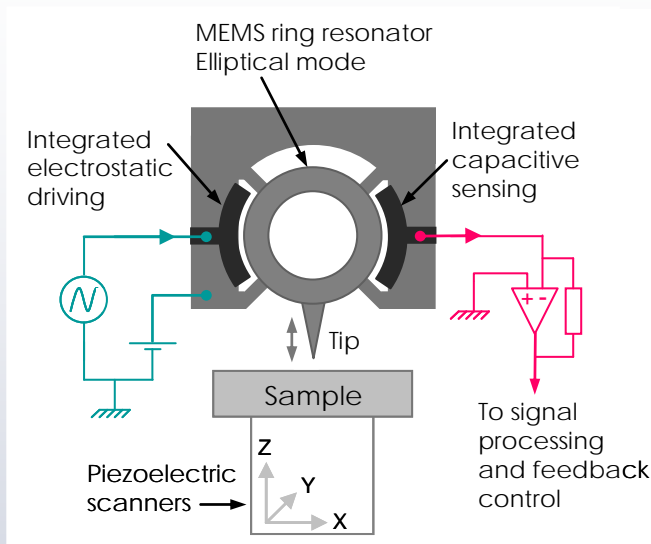
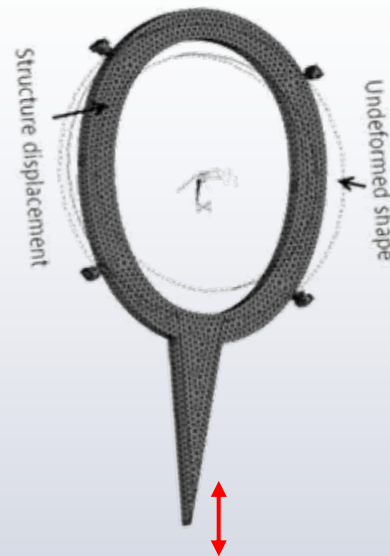
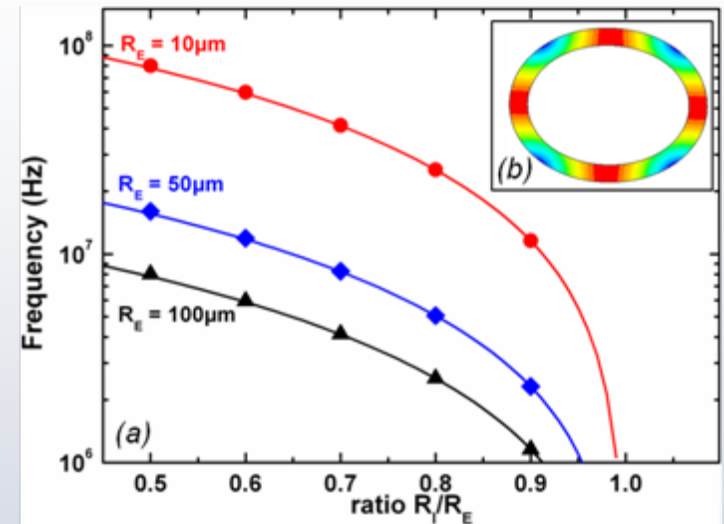


Schéma de principe de la sonde AFM MEMS (configuration verticale)



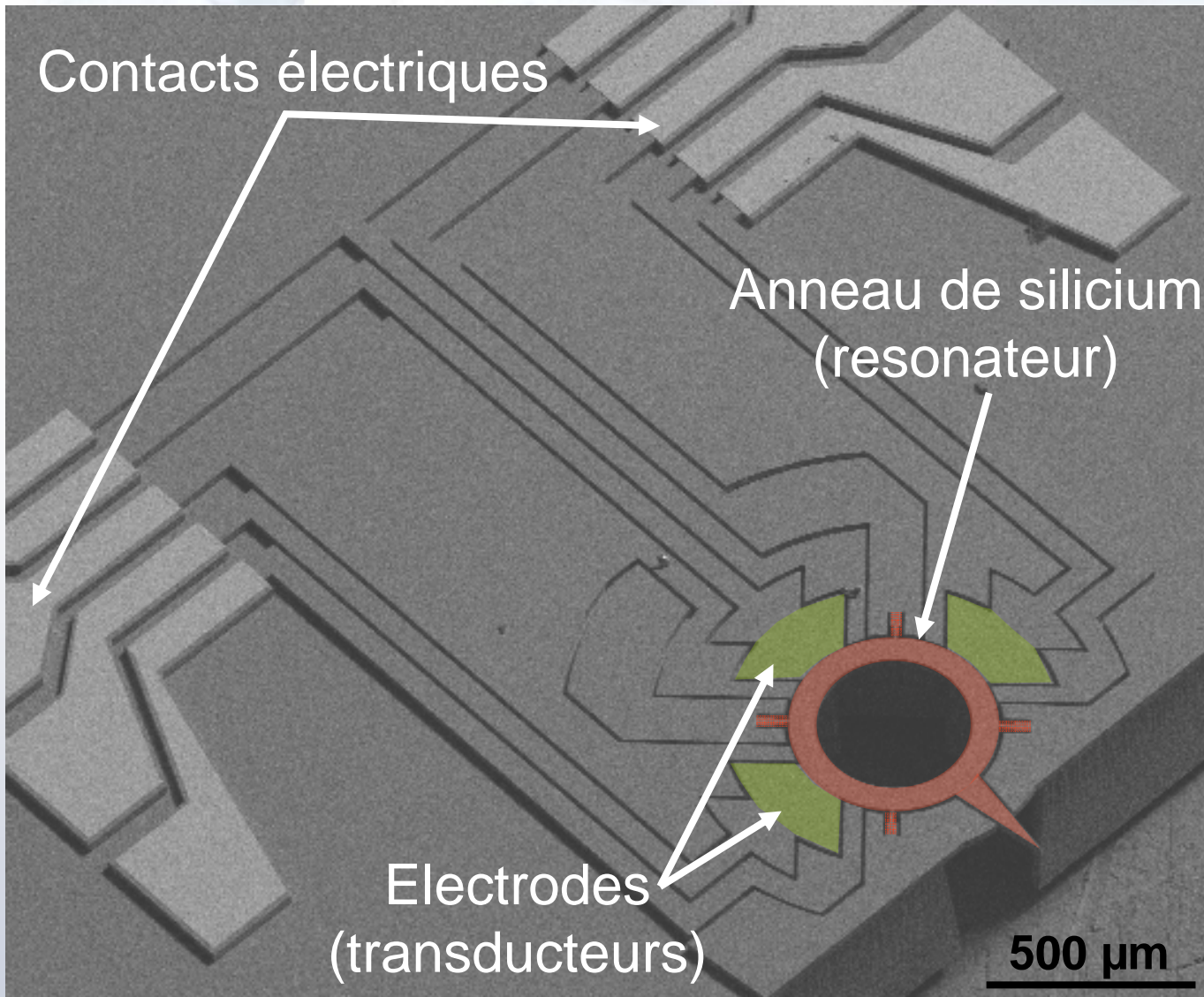
Simulation de la déformation du mode elliptique



Evolution de la fréquence de résonance en fonction de la géométrie de l'anneau

Réalisation technologique

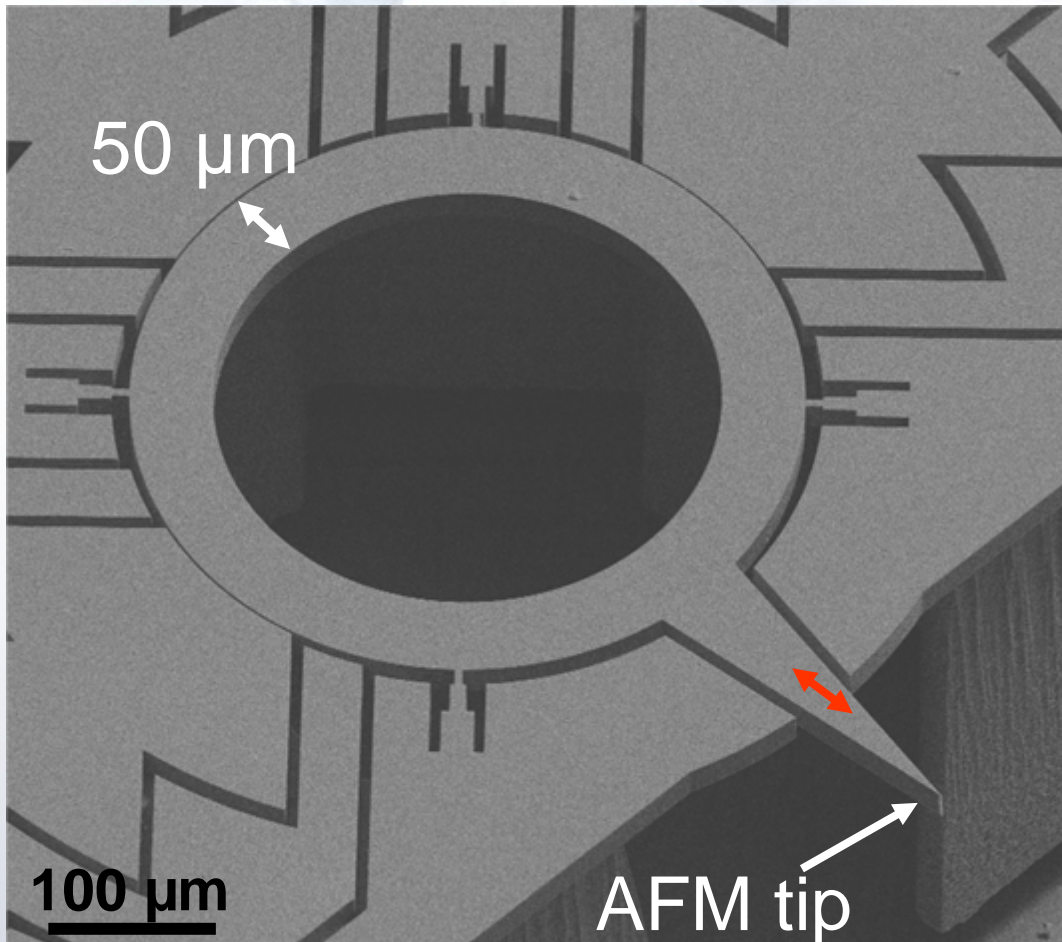
Résonateur annulaire en silicium à transductions capacitives



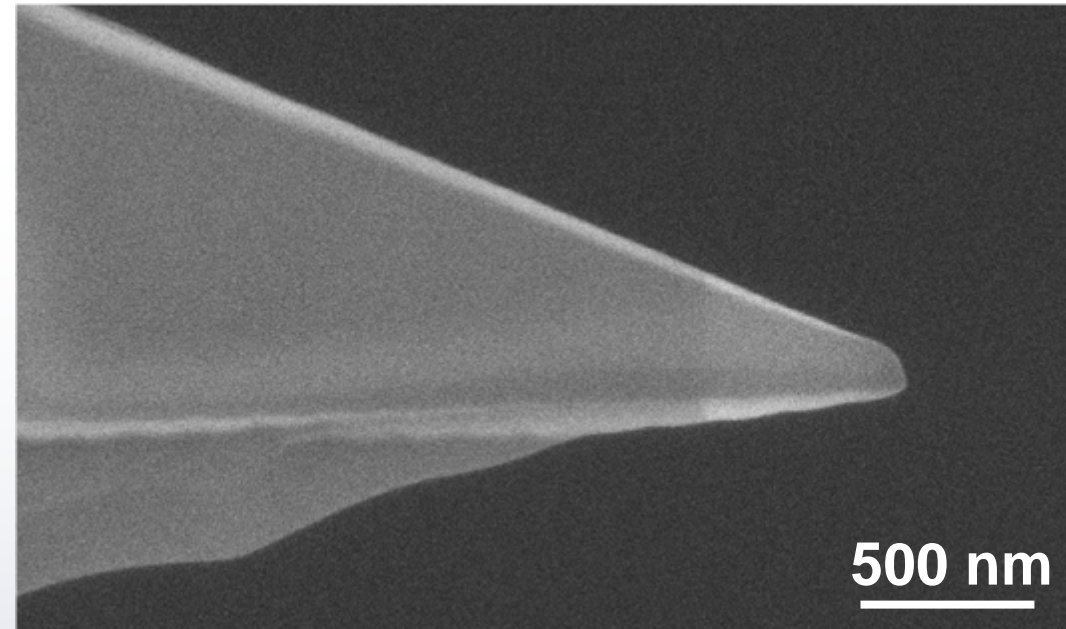
Fabrication collective
sur substrat « SOI »

➔ Dispositif à ~ 1 MHz
Diamètre = 500 μm
« Preuve de concept »

Réalisation technologique



Vue rapprochée du dispositif

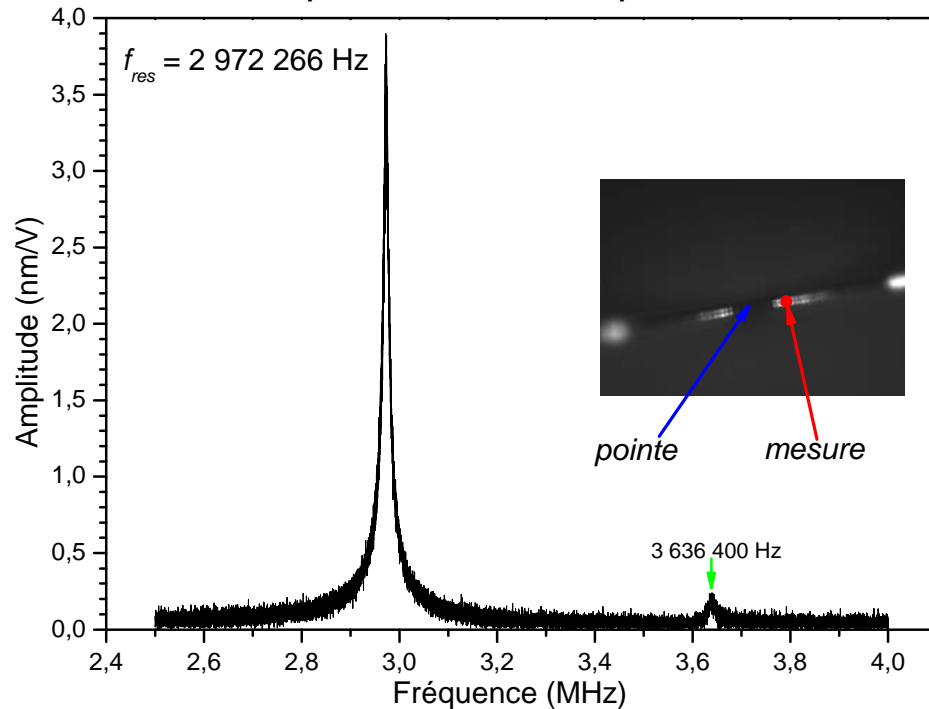


Usinage de la pointe au FIB

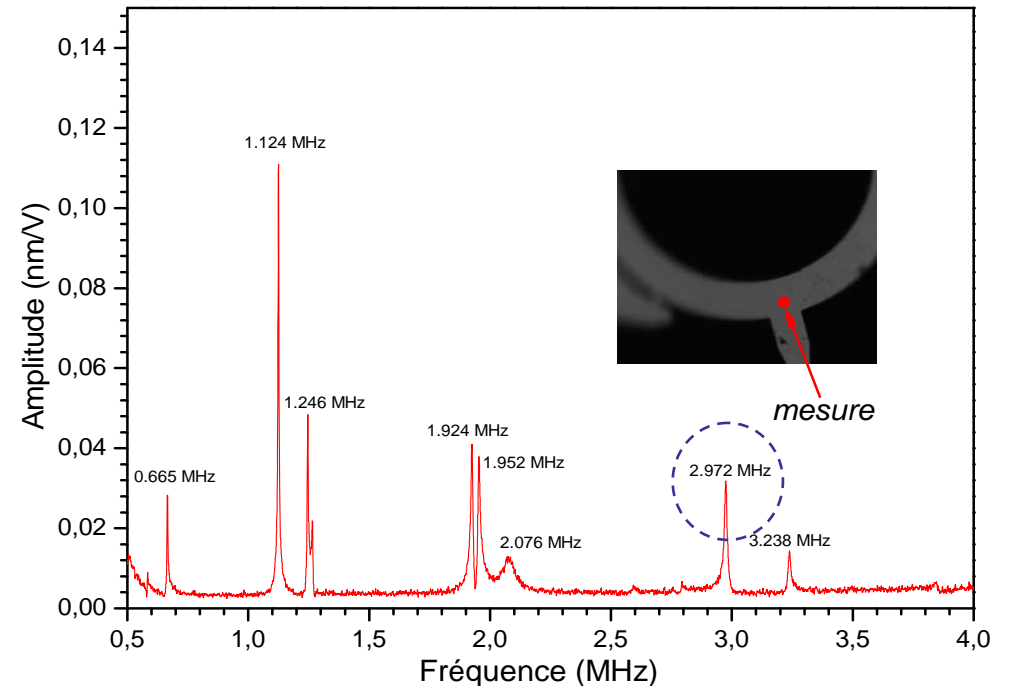
Caractérisation du mode de vibration

Mesures de vibrométrie laser Doppler

Déplacement de la pointe

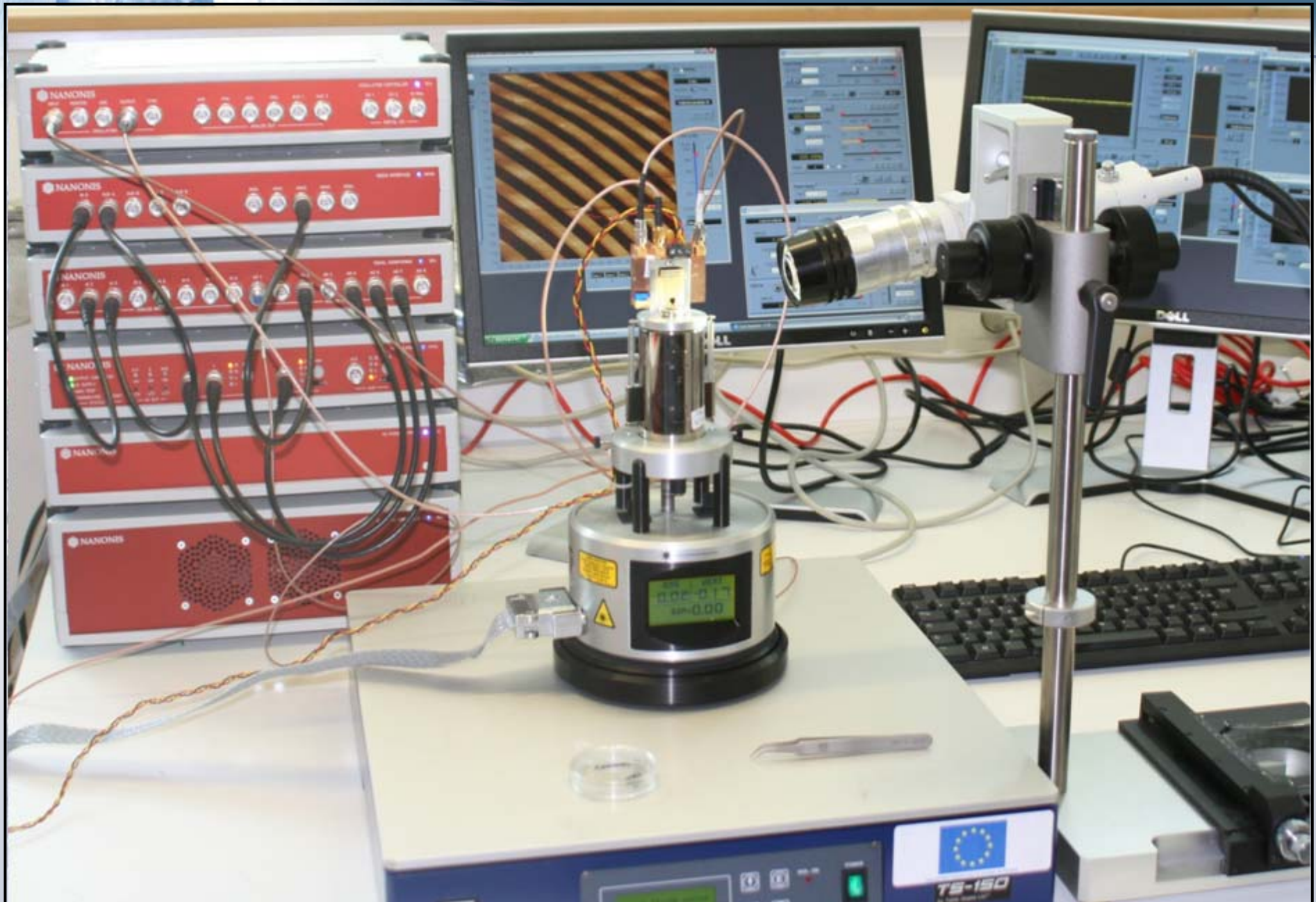


Déplacements parasites hors plan

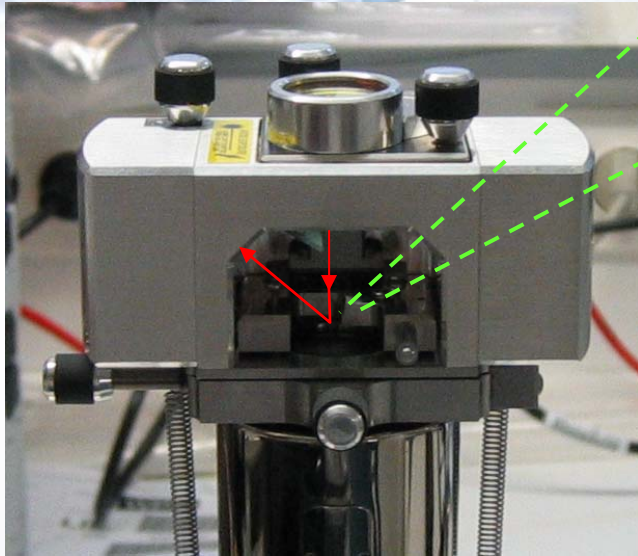


- Validation du mode elliptique
- Amplitude de vibration de la pointe : quelques nanomètres
- Mouvements parasites hors plan < 1 %

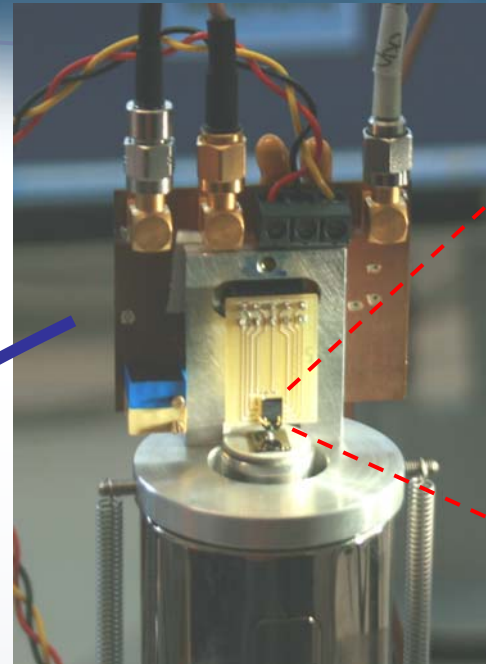
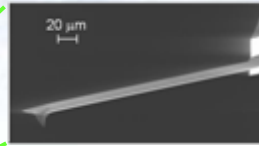
Intégration dans un AFM



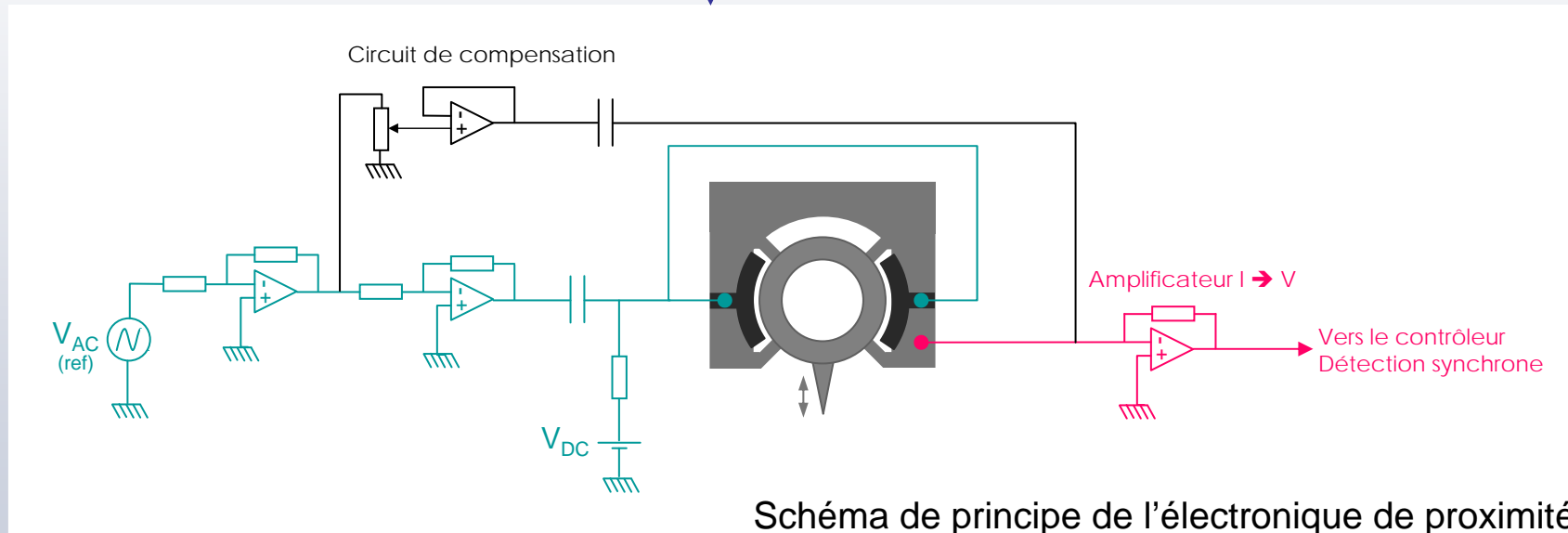
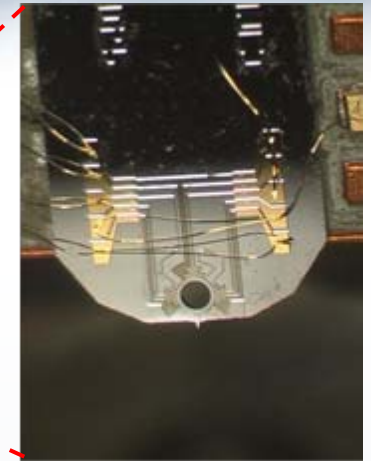
Intégration dans un AFM



Support de cantilever standard

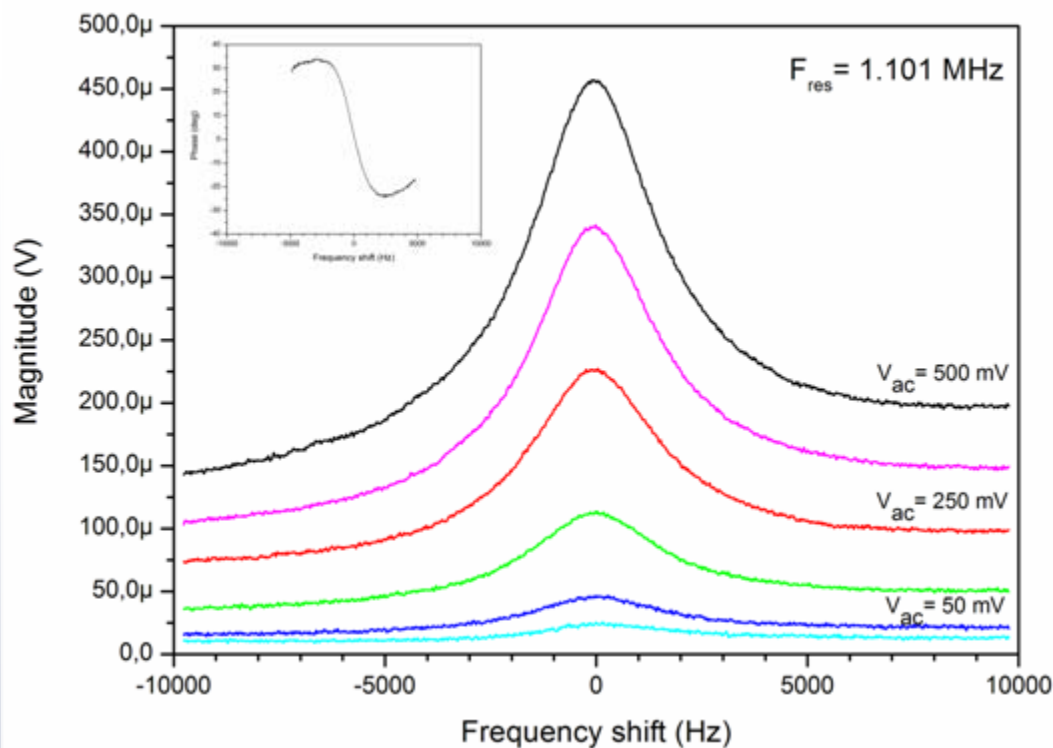


Support de sonde MEMS AFM

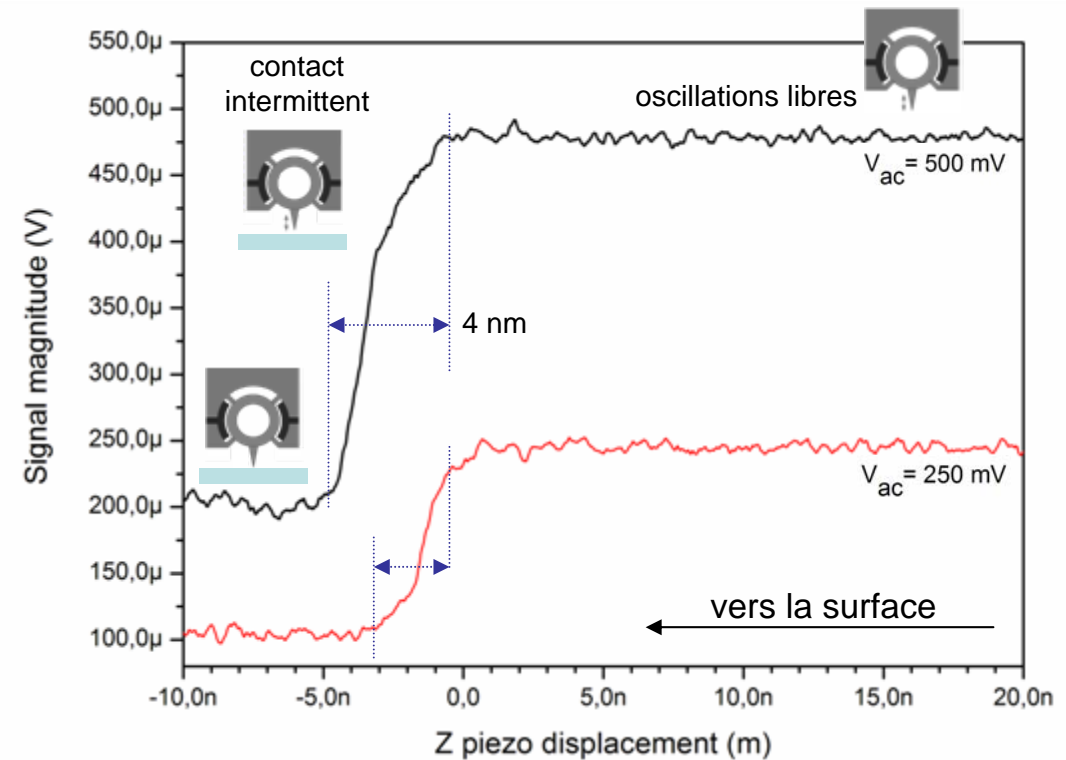


Caractérisation de la sonde

Caractérisations électromécaniques des sondes AFM MEMS



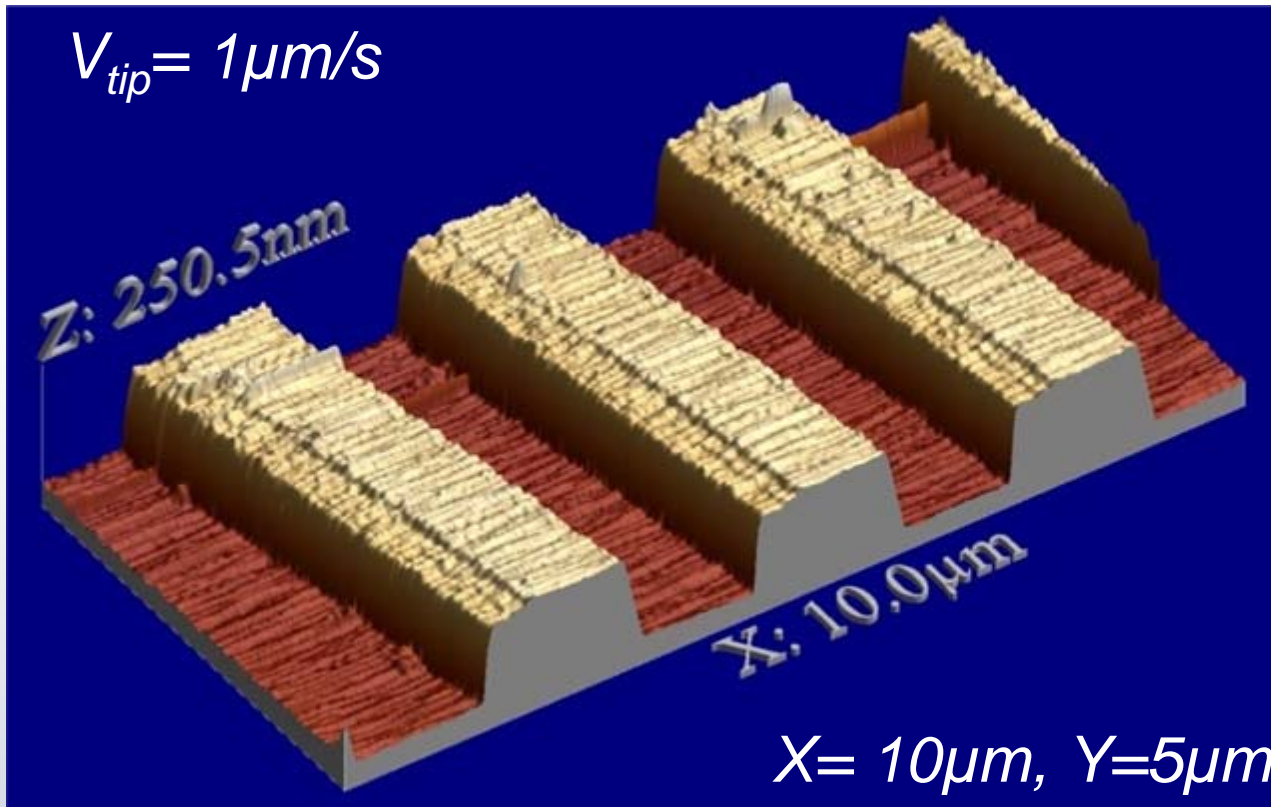
Courbes de réponse en fréquence



Courbes d'approche d'une surface

Images AFM

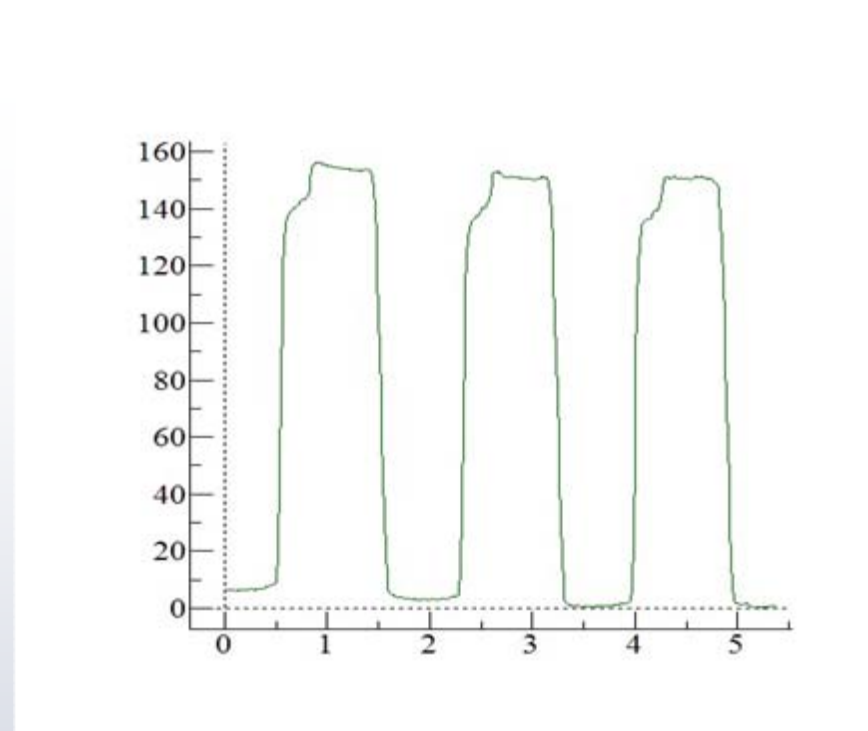
Image AFM de microstructures de silicium



Vue 3D de la topographie de surface

Hauteur = 150 nm

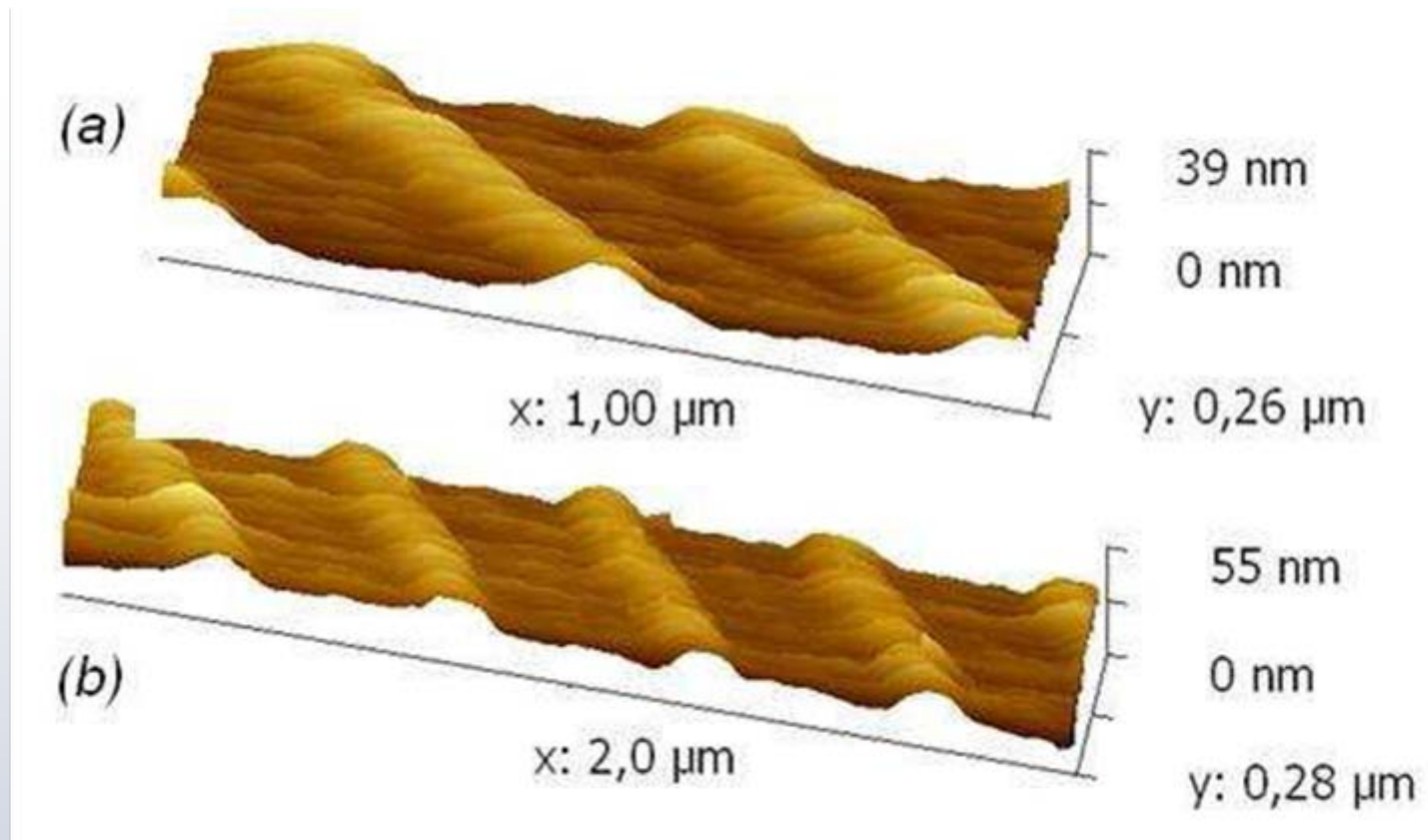
Largeur = 2 μm



Section de la topographie

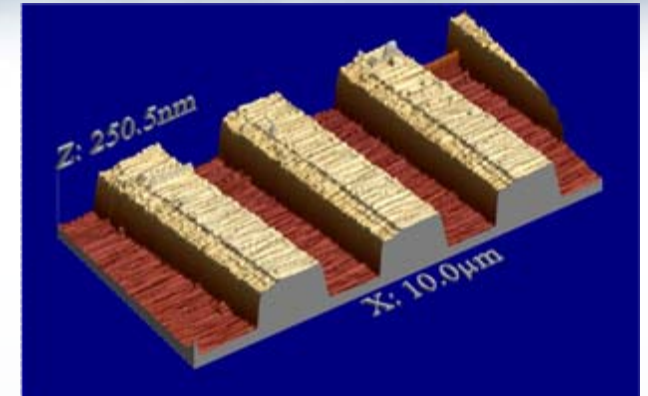
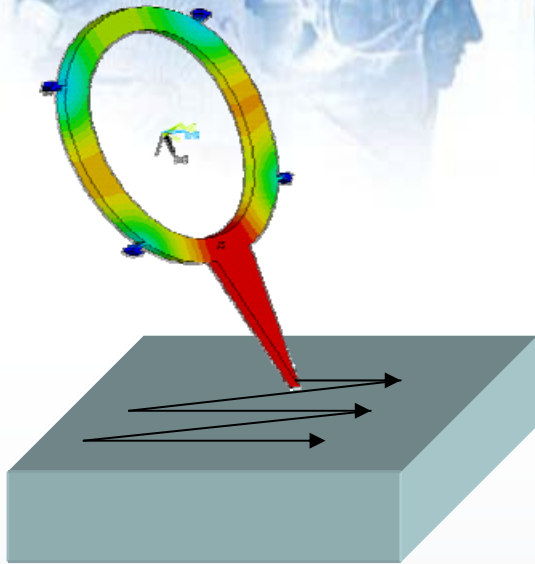
Images AFM

Images topographiques de motifs de 100 nm



Lignes de silicium : hauteur = 30 nm, largeur = 100 nm

Conclusion



- **Concept** : Utilisation de résonateurs MEMS comme sondes AFM
- Fabrication de sondes au MHz et intégration dans un microscope commercial
- Acquisition d'images et caractérisation des performances
 - ➔ Preuve du concept
 - ➔ Point de départ pour des dispositifs à plus hautes performances

- **Développer les performances de la sonde**
 - Roadmap technologique de *downscaling*
 - Augmentation des fréquences de résonance > 100 MHz
 - Amélioration de la résolution de la mesure (transductions, instrumentation)
- **Démonstration en milieu liquide**

