

Nanotubes de Carbone Mono-paroi comme sondes AFM: Synthèse directe et Applications

Ngoc-Mai LUU, Touati DOUAR, Anne-Marie BONNOT
Jean-Paul SALVETAT, Sophie MARSAUDON

Forum Sondes Locales 2017

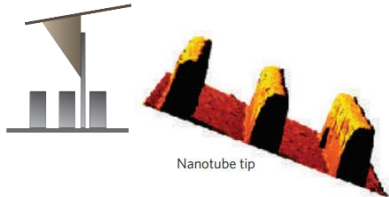
Sommaire

- Intérêt des sondes à nanotube de carbone mono-paroi
- Fabrication et Caractérisation
- Application: Origamis d'ADN

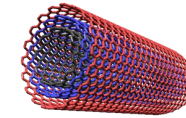
Avantages des nanotubes de carbone mono-paroi

Nanotube mono-paroi
 $\phi \approx 1-2 \text{ nm}$

Haut rapport d'aspect



Faible diamètre

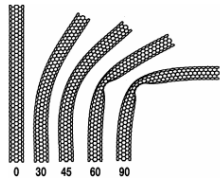


Nanotube multi-paroi



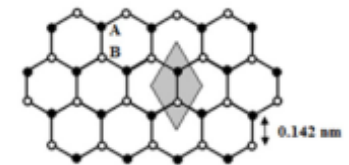
$E_{SW} \approx 1 \text{ TPa} \approx \text{Diamant}$
Flexible et résistant

Stabilité mécanique



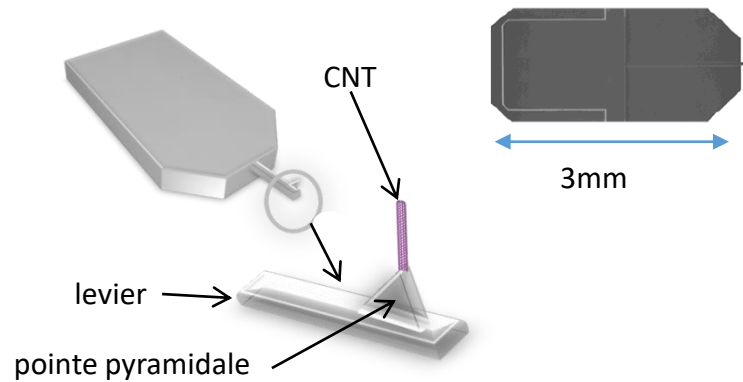
Hydrophobe

Limiter la contamination



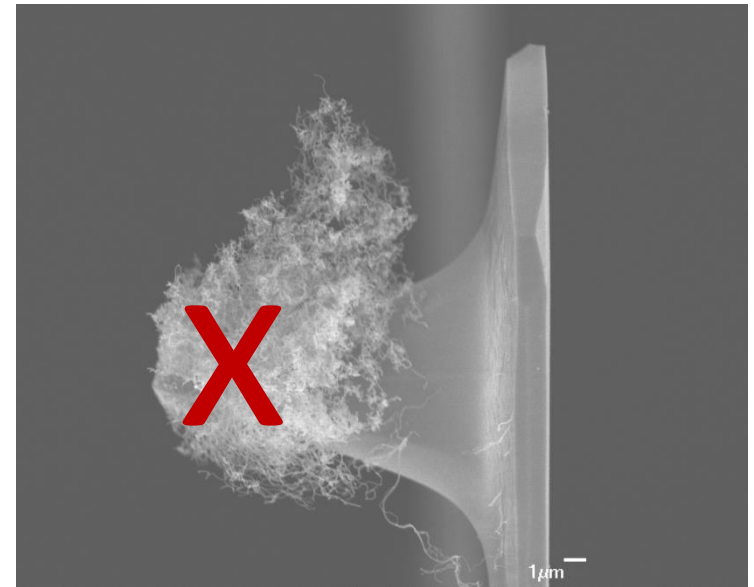
Excellent candidat comme la sonde AFM

Cahier des charges des sondes à nanotube **mono-paroi** pour l'AFM



**Synthèse directe des
nanotubes sur la pointe**

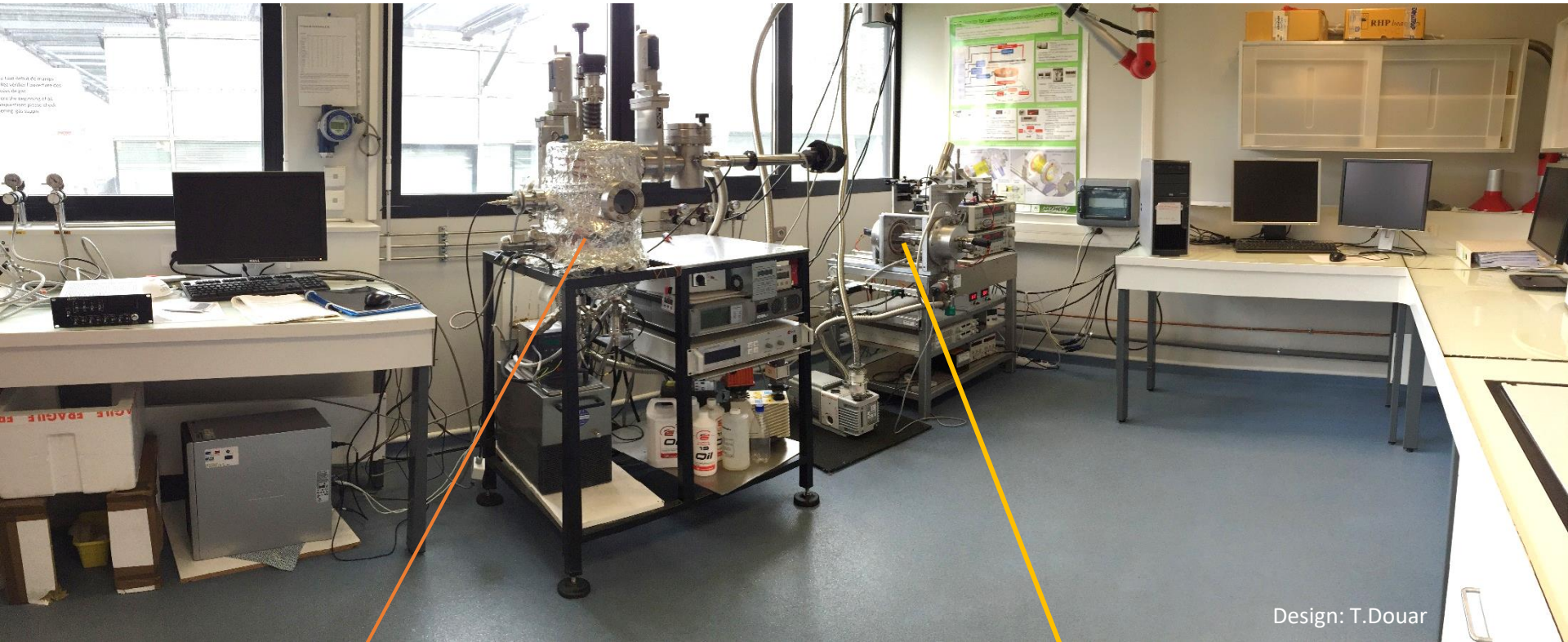
- **Un seul** CNT sur la pointe
- Attache solide sur la pointe
- Longueur du CNT
- Diamètre (**mono-paroi** ou **bi-parois**)
- Direction du CNT



Sommaire

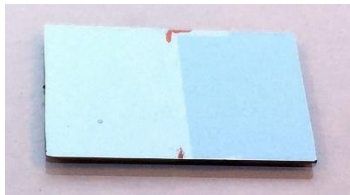
- Intérêt des sondes à nanotube de carbone mono-paroi
- Fabrication et Caractérisation
- Application: Origamis d'ADN

Laboratoire: Croissance directe des nanotubes mono-paroi à l'extrémité de la pointe AFM

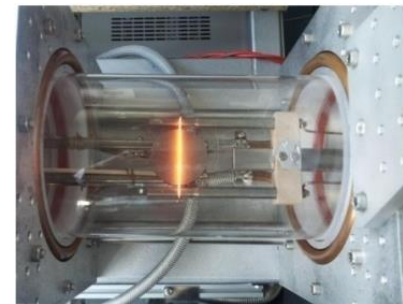
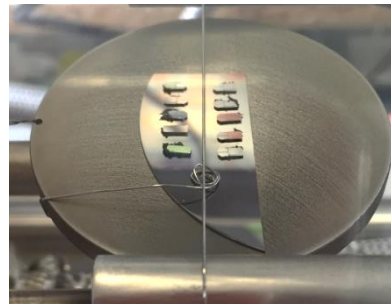


Design: T.Douar

Réacteur de dépôt chimique en phase vapeur assisté par le filament chaud



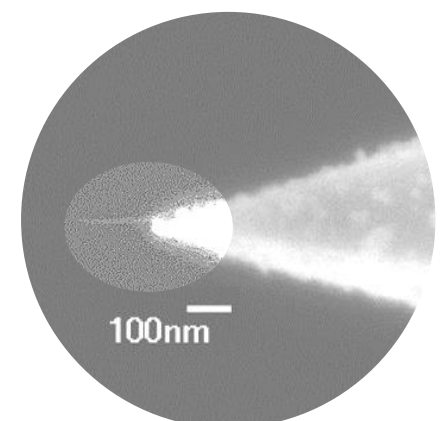
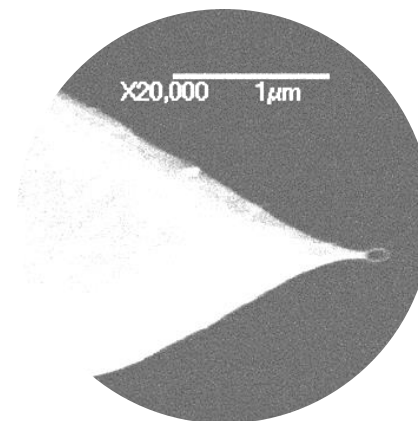
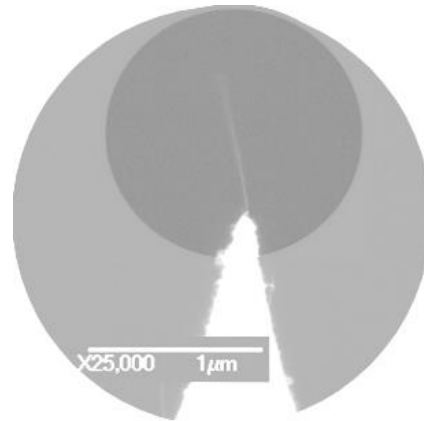
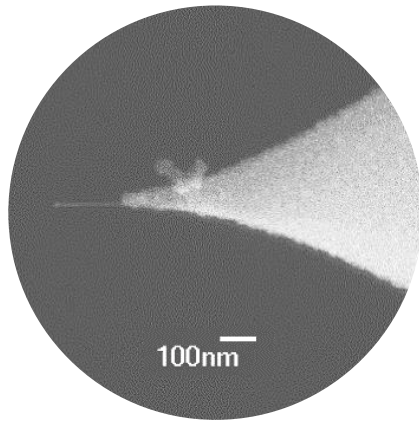
Dépôt de film mince de catalyseur
par évaporation sous ultra-vide



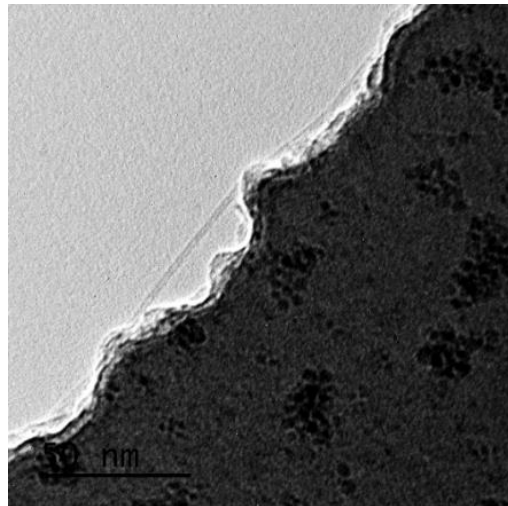
Protocole de A.M.Bonnot de l'institut Néel à Grenoble

Sonde à nanotube de carbone mono-paroi

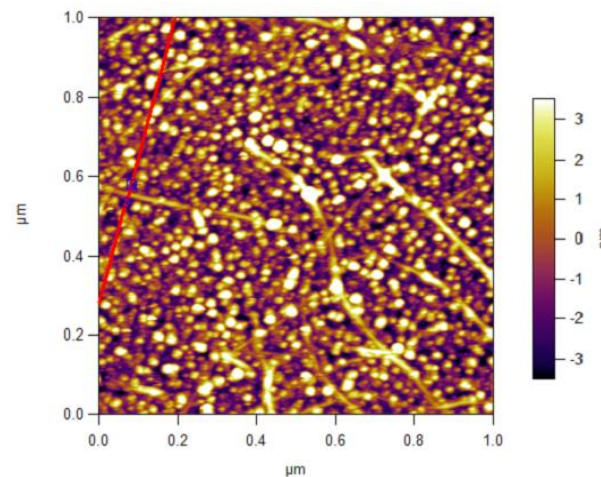
Caractérisation



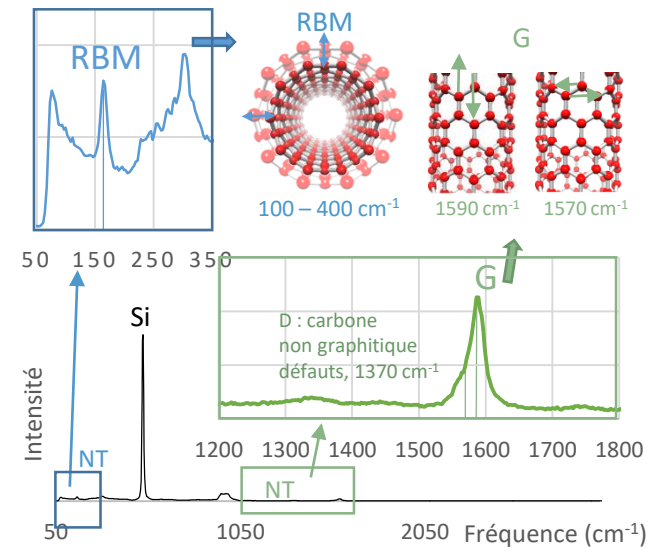
Microscopie électronique à balayage:
structure de surface



Microscopie électronique
à transmission:
Mono-paroi



Microscopie à force atomique:
nanoparticules de catalyseur et NTs



Spectroscopie Raman :
carbone, NT, mono-paroi

Réponse mécanique de la sonde à nanotube mono-paroi

AFM , mode dynamique Modulation de Fréquence (FM « non contact résonnant), HOPG



AFM Bruker



Électronique Nanonis

Réponse mécanique de la sonde à nanotube mono-paroi

Mode dynamique

Mode	Constance	Signaux mesurés	Asservissement d'Image
Modulation d'amplitude "TAPPING"	Fréquence d'excitation	Amplitude du levier & Déphasage	Amplitude
Modulation de fréquence "Non contact résonance"	Déphasage $\phi = \frac{-\pi}{2}$ & Amplitude d'oscillation	Décalage de fréquence & Dissipation	Décalage de fréquence

* Signal moyenné sur plusieurs périodes d'oscillation

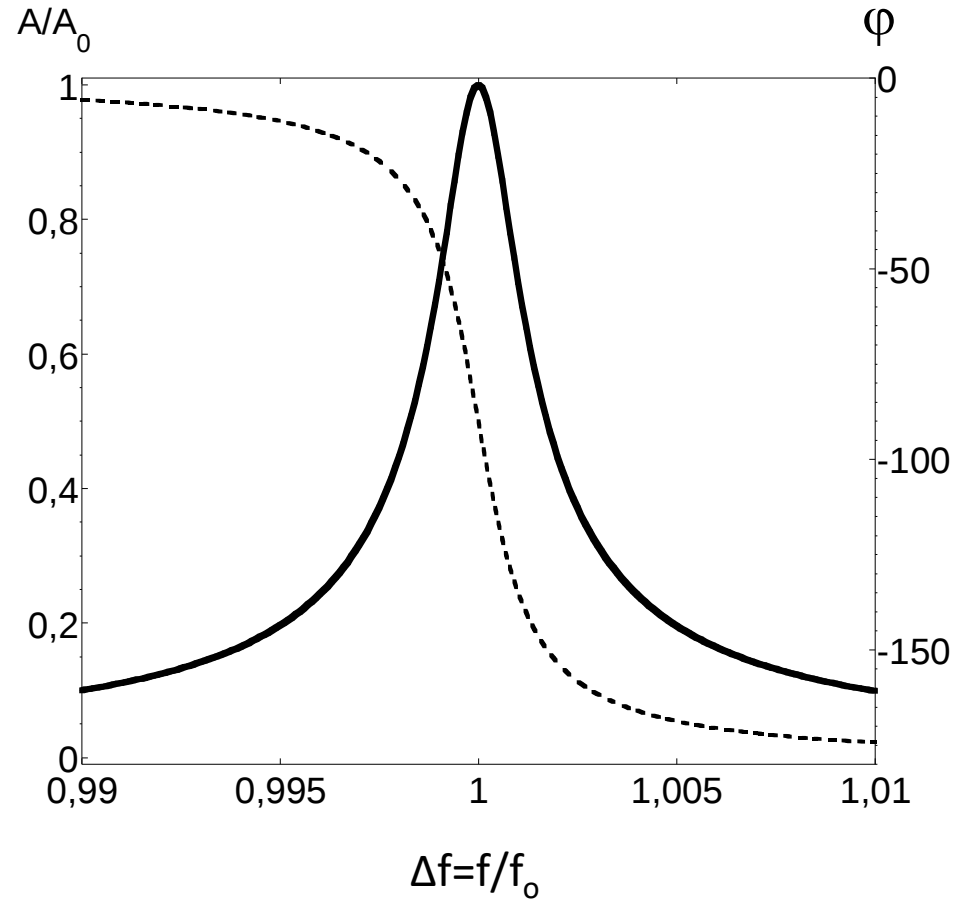
Δf : *forces conservatives*
Damping: *Dissipation d'énergie*



Interpréter facilement

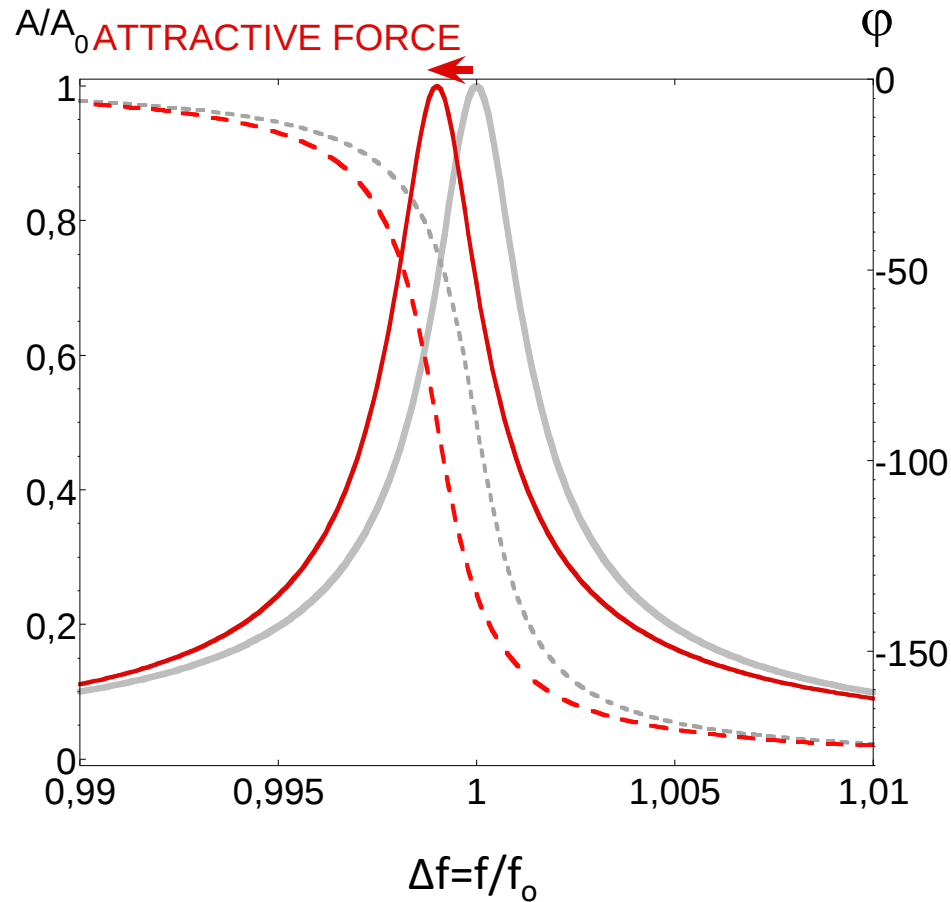
Réponse mécanique de la sonde à nanotube mono-paroi

Approche simplifiée d'un oscillateur en interaction avec une surface



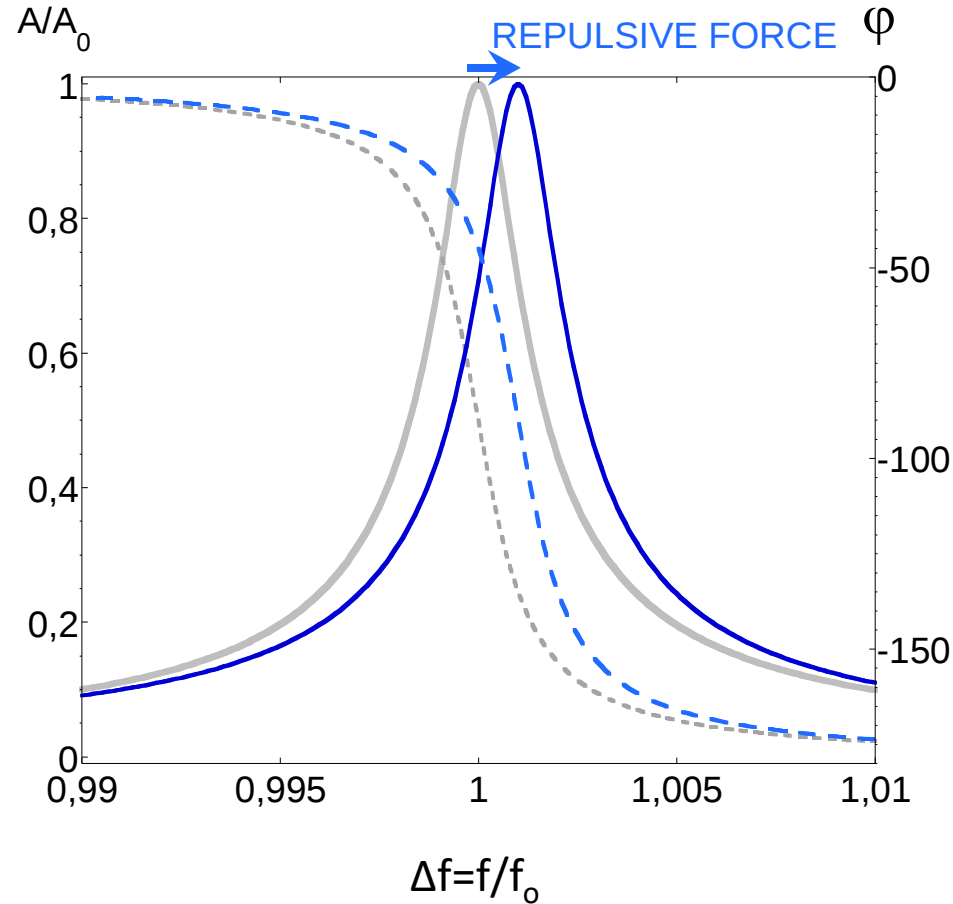
Réponse mécanique de la sonde à nanotube mono-paroi

Approche simplifiée d'un oscillateur en interaction avec une surface



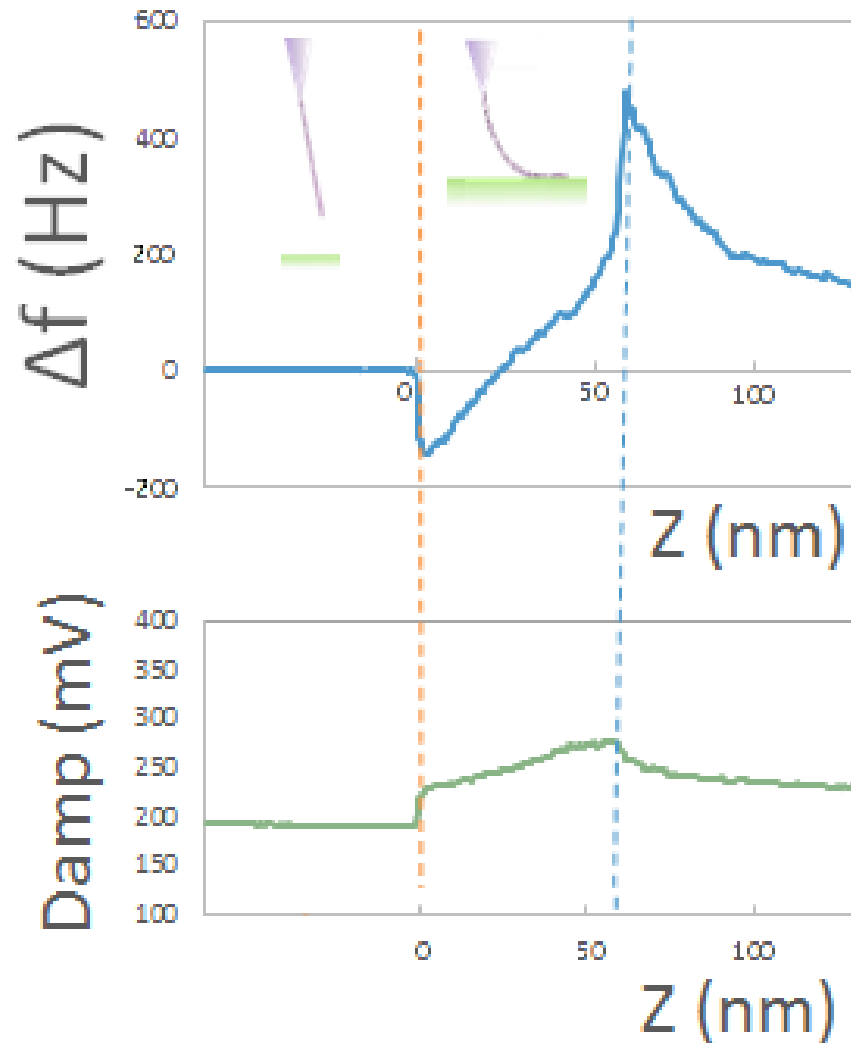
Réponse mécanique de la sonde à nanotube mono-paroi

Approche simplifiée d'un oscillateur en interaction avec une surface



Réponse mécanique de la sonde à nanotube mono-paroi

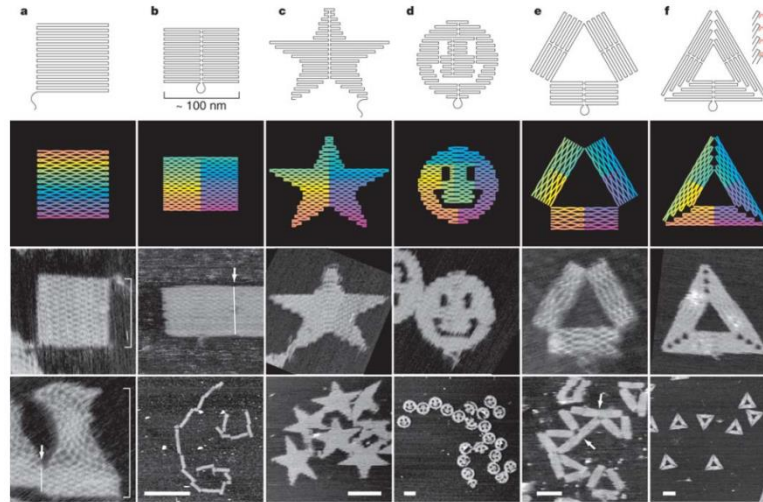
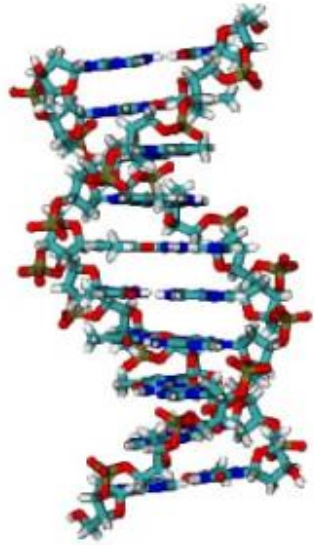
Courbe d'approche d'un nanotube sur HOPG en mode FM-AFM
Électronique Nanonis – AFM Bruker



Sommaire

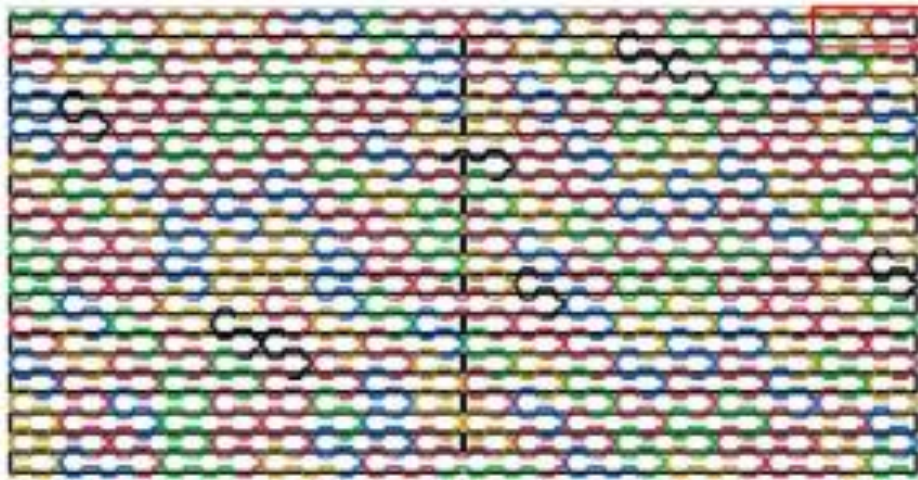
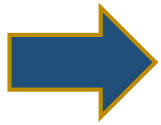
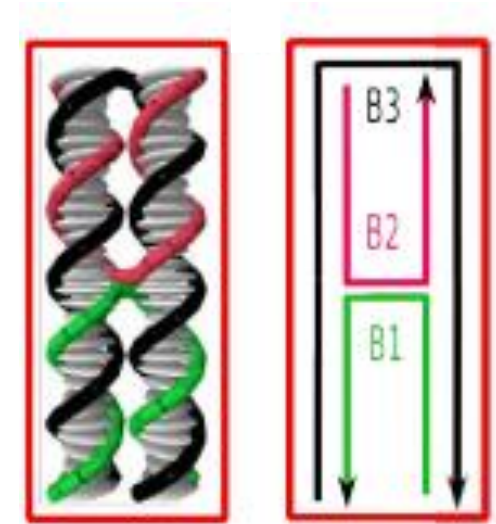
- Intérêt des sondes à nanotube de carbone mono-paroi
- Fabrication et Caractérisation
- Application: Origamis d'ADN

Origamis d'ADN



Plier simple brin de l'ADN à la forme souhaitée

Ref: Paul.W.K.Rothmund; 2006; Nature 440, 297



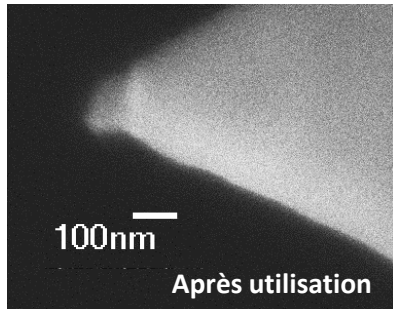
ADN de Virus phage λ

Origamis : Juan Elezgaray

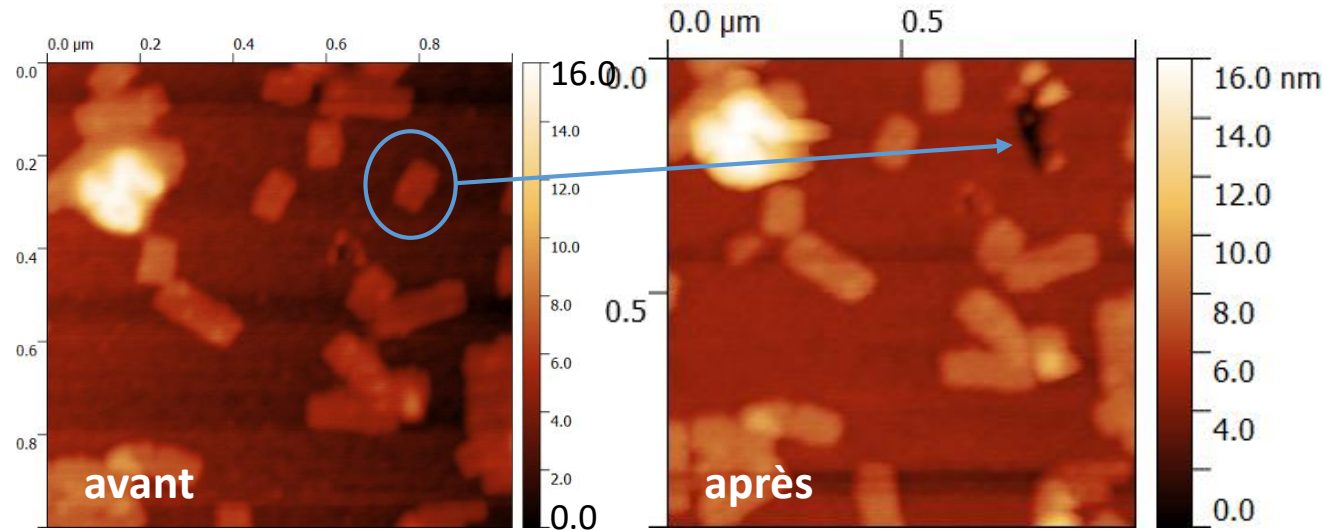
Application: Imager en douceur un Origami d'ADN avec une sonde nanotube mono-paroi

mode dynamique FM dans l'air: Asservissement sur le décalage de fréquence

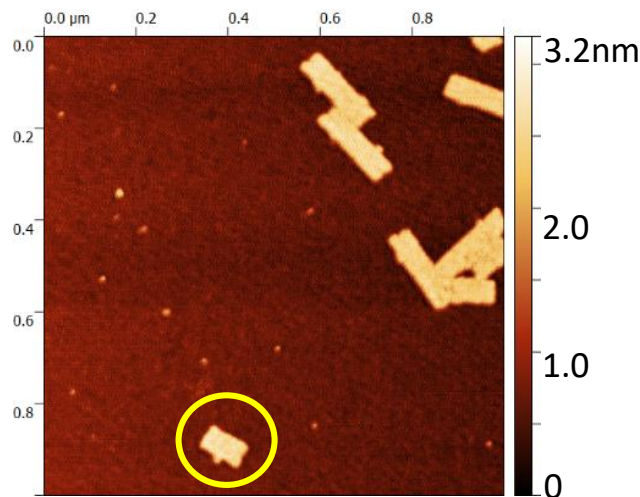
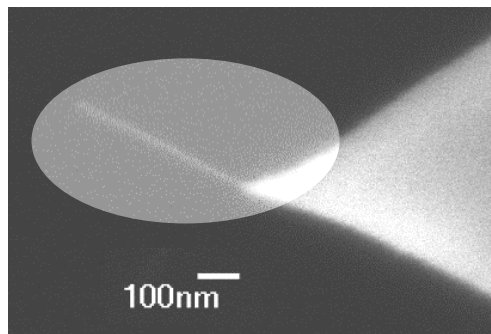
Pointe en silicium commerciale



Pointe silicium cassée
avec un dépôt biologique
à l'extrémité (MEB)



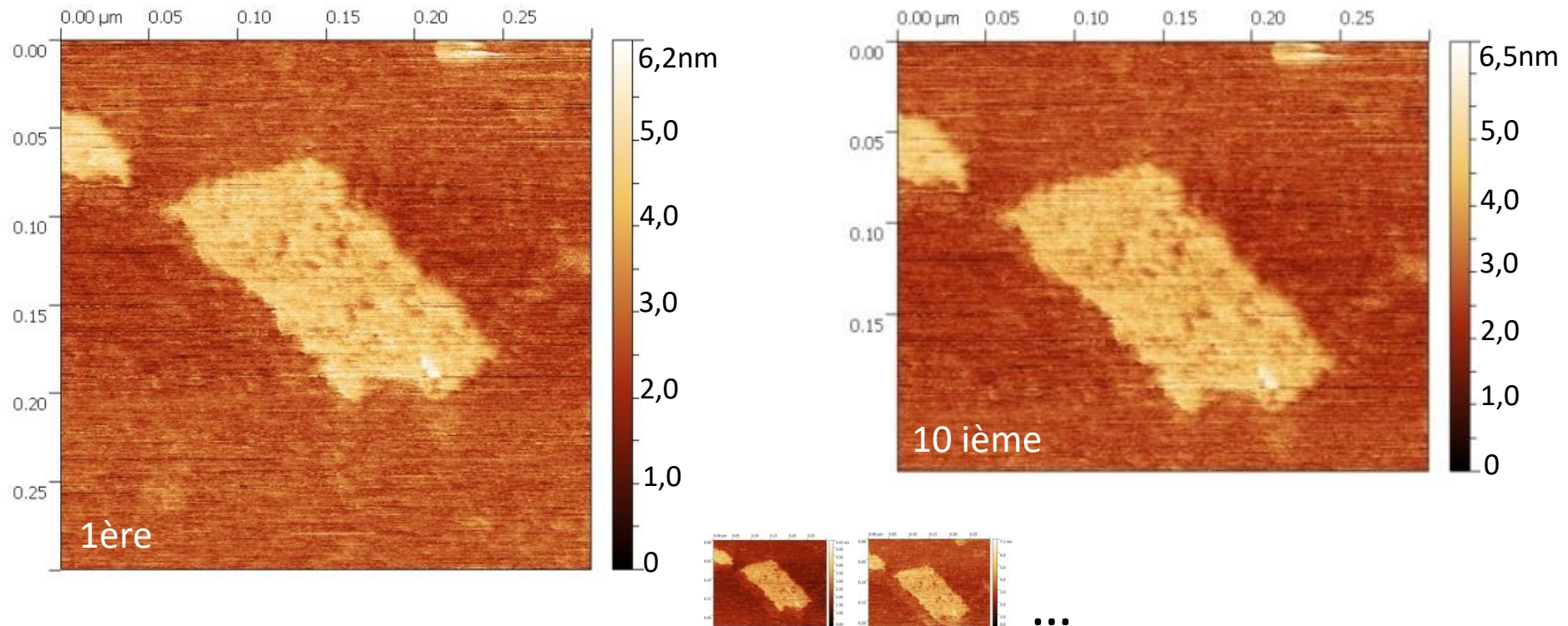
Sonde à nanotube de carbone mono-paroi



Application: Imager en douceur un Origami d'ADN avec une sonde nanotube mono-paroi

Images de hauteur en mode dynamique FM dans l'air:

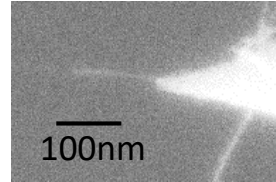
Asservissement sur le décalage de fréquence: δf -15 à -5 Hz



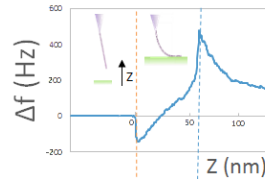
10 images d'un origami sans modification

Conclusion

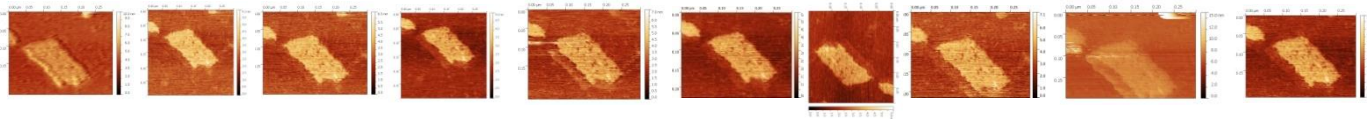
- Synthèse directe de mono-paroi à l'extrémité de pointes commerciales



- Compréhension de la réponse mécanique d'un nanotube qui interagit avec une surface en mode dynamique FM



- Détails structuraux d'origami à l'air avec un mono-paroi
- Application mono-paroi: multiples scans d'origamis d'ADN sans altération



MERCI et BIENVENUE à BORDEAUX

