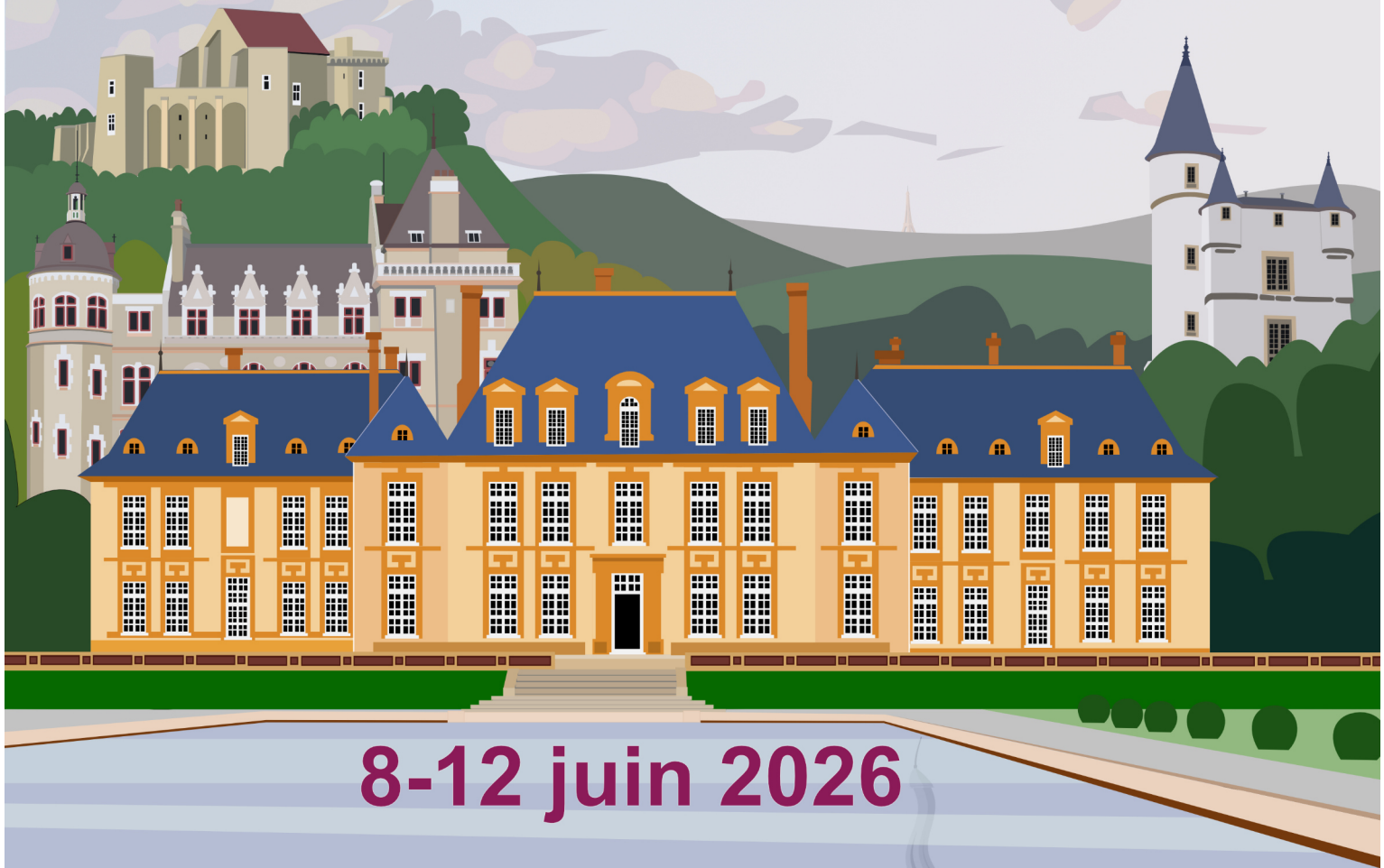


# FORUM

## DES MICROSCOPIES

### À SONDE LOCALE

27<sup>ème</sup> édition



8-12 juin 2026

Saint-Rémy-lès-Chevreuse

[www.sondeslocales.fr/forum2026](http://www.sondeslocales.fr/forum2026)





		lundi 8/06/2026	mardi 9/06/2026	mercredi 10/06/2026	jeudi 11/06/2026	vendredi 12/06/2026
7:00	8:30		petit déjeuner	petit déjeuner	petit déjeuner	petit déjeuner
8:30	9:30		cours 1 : nano-magnétisme avec le STM - Marie Hervé	* Lucie CORRAL	cours 4 : nano-optique - Valentina Krachmalnicoff	cours 5 : electro-chimie et TERS - Emmanuel Maisonhaute
				* Wissem GHARIANI		
				* Maria KANDYLI		
9:30	9:50		* Chantal HAREAU	* Marine RICHARD	* Filippo CALAVARO	Ludovic TORTECH
9:50	10:10		^ Gustavo NINHO CAMPOS	Peter DE WOLF	* Yohan DUQUERROY	Ludovic DOUILLARD
10:10	10:30		* Zeinab ISSA	* Ziad GHARIBEH	* Talla DIAGNE	Alice FIOCCO
10:30	11:00		pause café	pause café	pause café	pause café
11:00	11:20		* Khanh-Huyen NGUYEN	^ Qirong ZHU	Eric LE MOAL	Nataliya KALASHNYK
11:20	11:40		Viktoriia DREBEZGHOVA	* Melissa HANKACHE	* William LABBE	Philipp SCHAFFER
11:40	12:00		^ Antonino CUCINOTTA	David ALBERTINI	* Paul COVIN	Santiago ANDANY
12:00	12:20		industriels 2	industriels 3	industriels 4	clôture Forum
12:20	12:40		déjeuner	déjeuner	déjeuner	pique-nique/départ
12:40	13:00					
13:00	14:00	arrivée/mise en place des posters				
14:00	14:20	ouverture Forum, RéMiSol, LUMA	cours 2 : nano-magnétisme centres NV - Aurore Finco	cours 3 : AFM pour la biologie - Clément Campillo	exposé : "Les débuts des sondes locales"	après-midi au domaine de Breteuil (visite du château)
14:20	14:40					
14:40	15:00	^ Julien ROJAS				
15:00	15:20	^ Thomas LLAUZE	^ Hugo VALLOIRE	^ Juan Felipe SALAZAR ARIZA		
15:20	15:40	^ Nathan BIGAN	* Victor VAILLANT	* Ismail BENAMAR		
15:40	16:00	industriels 1	Mathieu COGNARD	Childéric SEVERAC		
16:00	17:30	session posters, café	session posters, café	session posters, café		
17:30	19:30	Travaux Pratiques 1	Travaux Pratiques 2	Travaux Pratiques 3		
19:30	21:00	Dîner	Dîner	Dîner	Dîner de Gala	
21:00	22:00	démo exposants	démo exposants	démo exposants		
22:00	22:30					

# Avant propos

La 27ème édition du Forum des Microscopies à Sondes Locales est cette année organisée au Domaine de Saint-Paul par quelques-uns des nombreux acteurs des sondes de l'Île-de-France.

Rendez-vous incontournable depuis plus de vingt-cinq ans, ce forum fédère la communauté francophone des utilisateurs de microscopies à champ proche (AFM, STM, SNOM et techniques dérivées). Après avoir sillonné la France et fait plusieurs escales en Belgique, le Forum fait son grand retour en Île-de-France, une première depuis l'édition au siècle dernier de Marly-le-Roy en 2000. C'est donc avec un immense plaisir que les microscopistes franciliens vous accueillent cette année au Domaine de Saint Paul. Le Forum se tiendra début juin pour profiter du cadre verdoyant de ce Domaine.

Cette 27ème édition poursuit la tradition de rassembler tous les acteurs francophones du domaine, chercheurs confirmés, étudiants, ingénieurs, techniciens et industriels, pour échanger sur les dernières avancées instrumentales et fondamentales. Lieu de rencontre entre experts et novices, le Forum couvrira un vaste spectre thématique, de la physique à la biologie, en passant par la chimie et les nanosciences.

Pour approfondir vos connaissances, des tutoriels et des travaux pratiques seront proposés sur des sujets de pointe tels que le couplage lumière / sondes locales, la magnétométrie par centre NV ou encore les propriétés nanomécaniques d'échantillons biologiques. Fidèles partenaires du Forum, les industriels seront également présents pour dévoiler leurs dernières innovations lors de démonstrations.

Nous vous souhaitons un excellent rendez-vous scientifique à Saint-Rémy-lès-Chevreuse, au cœur du Parc naturel régional de la haute vallée de Chevreuse.

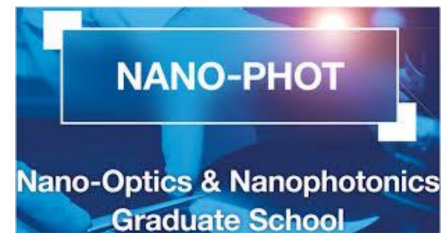
## Le comité d'organisation

Alexandre Dazzi, Alistair Rowe, Amandine Bellec, Ariane Deniset, Céline Fiorini, Elizabeth Boer-Duchemin, Eric Le Moal, Guillaume Lamour, Hervé Cruguel, Mathieu Mivelle, Samuel Gresillon, Simon Vassant.

## Partenaires institutionnels du Forum 2026



## Partenaires académiques du Forum 2026



## Partenaires industriels du Forum 2026



*Park*

SYSTEMS

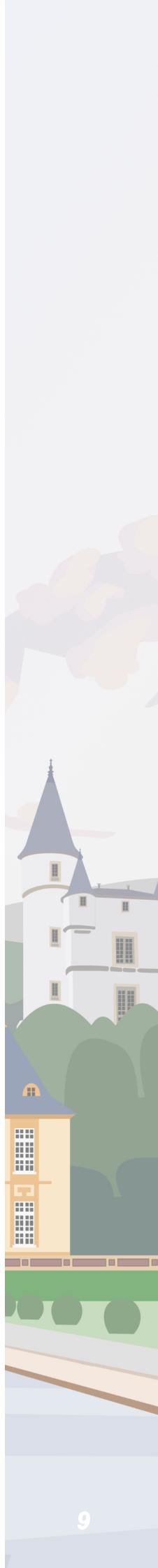


SPECSGROUP

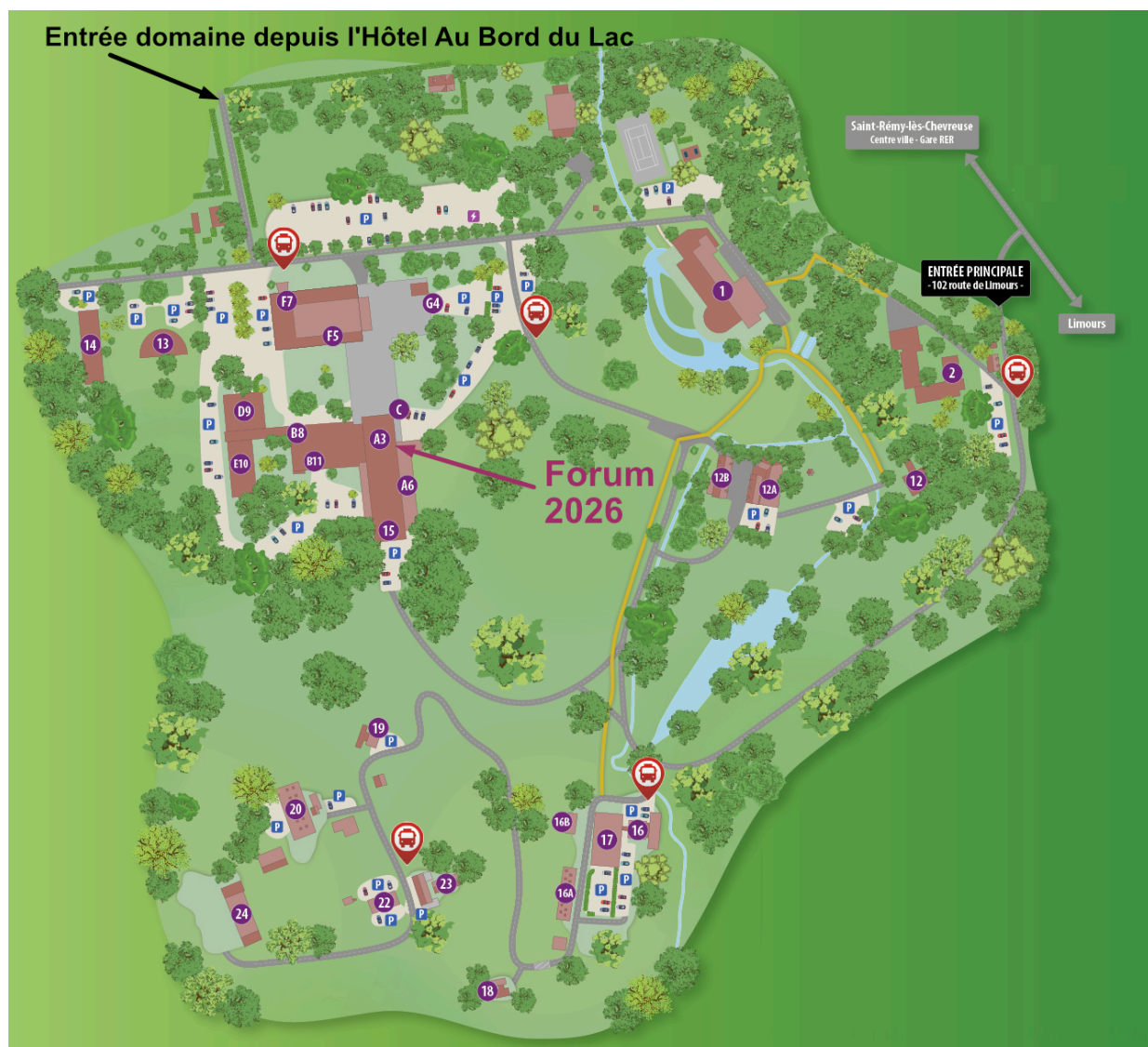


## Comité scientifique

Agnès	PIEDNOIR	Lyon	ILM
Benoît	HACKENS	Louvain la Neuve (B)	IMCN/NAPS
Bernard	NYSTEN	Louvain la Neuve (B)	POLY
Céline	FIORINI-DEBUISSCHERT	Gif-sur-Yvette	LEPO
David	ALBERTINI	Lyon	INL
Denis	MAROLLE	Grenoble	CEA LETI
Elizabeth	BOER-DUCHEMIN	Orsay	ISMO
Frank	PALMINO	Besançon	FEMTO-ST
Hubert	KLEIN	Marseille	CINaM
Jean-Luc	BUBENDORFF	Mulhouse	IS2M
Jean-Pierre	BUCHER	Strasbourg	IPCMS
Laurent	NONY	Marseille	IM2NP
Lionel	PATRONE	Toulon	IM2NP
Michel	DROUET	Poitiers	Pprime
Michel	RAMONDA	Montpellier	LMCP
Philippe	LECLERE	Mons (B)	LPNE
Renaud	BACHELOT	Troyes	LNIO
Samuel	GRESILLON	Paris	LPEM
Stéphane	LENFANT	Lille	IEMN
Tomaso	ZAMBELLI	Zurich (CH)	LBB
Xavier	BOUJU	Toulouse	CEMES



## PLAN DU DOMAINE



### Informations pratiques

Le **Forum des Microscopies à Sondes Locales 2026** se tiendra au Domaine Saint-Paul à Saint-Rémy-lès-Chevreuse du **8 au 12 Juin 2026**.

**Adresse** : 102 route de Limours, 78470 Saint-Rémy-lès-Chevreuse

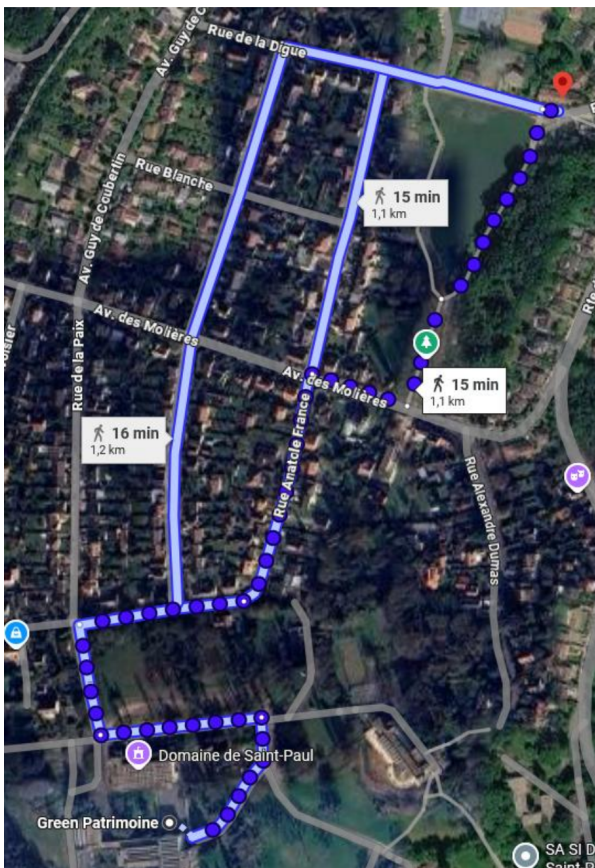
**Coordonnées GPS** : N48.694226, E2.067044

**Petit-déjeuner buffet** : servi au restaurant de l'hôtel pour les résidents de l'Hôtel Au Bord du Lac, au domaine pour les autres.

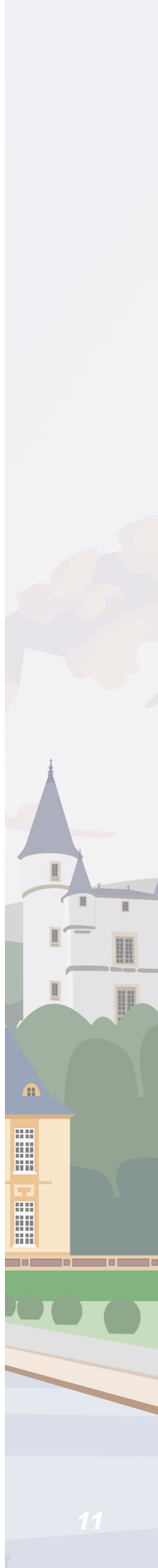
**Activité du jeudi 11 après-midi** : Visite du château de Breteuil. Départ en bus depuis le domaine, prévu en début d'après-midi. Pour les plus courageux, le château est accessible à pied (1h30 de marche). Visites guidées du château et accès libre à ses magnifiques jardins.

**Activité du jeudi 11 au soir** : Apéritif suivi d'un dîner de gala dans la grande galerie du château de Breteuil.

## Trajet Hôtel du Lac—bâtiment A3



**Hôtel Au Bord du Lac**  
2, rue de la Digue  
78470 Saint-Rémy-lès-Chevreuse  
+33(0) 1 30 52 00 43



# Session Émilie du Châtelet

Lundi 08/06/2026 (Emilie du Châtelet)



*Emilie Le Tonnelier de Breteuil par Marianne Loir, Musée de Beaux-Arts de Bordeaux.*

Gabrielle-Emilie Le Tonnelier de Breteuil, marquise du Châtelet (1706-1749), autrice d'une traduction et de commentaires de l'ouvrage de mécanique de Newton qui font encore autorité aujourd'hui. Sa présentation de l'œuvre de Leibniz la fit classer parmi les dix plus grands savants de son époque. Elle fut admise à la prestigieuse académie des sciences de Bologne, plus ouverte aux femmes que son homologue parisienne (in *les Femmes et les sciences*, édition 2019).

14h00	Ouverture, RéMiSoL, PEPR LUMA	
14h40	Julien ROJAS <sup>^</sup>	Mettre en évidence l'hétérogénéité chimique des matériaux extraterrestres avec le mode Force-Volume de l'AFM-IR
15h00	Thomas LLAUZE <sup>^</sup>	Correlating AFM and optical measurements to reveal the ferroelectric texture of individual barium titanate nanowires
15h20	Nathan BIGAN <sup>^</sup>	Observation en temps réel de la dynamique d'impression capillaire par un montage couplant AFM dynamique et microscopie optique
15h40	présentations d'industriels	nanosurf      Nanonis      attocube

# Mettre en évidence l'hétérogénéité chimique des matériaux extraterrestres avec le mode Force-Volume de l'AFM-IR

Julien ROJAS<sup>1</sup>, Van PHAN<sup>2</sup>, Jérémie MATHURIN<sup>1</sup>, Ariane DENISET-BESSEAU<sup>1</sup>, Alexandre DAZZI<sup>1</sup>

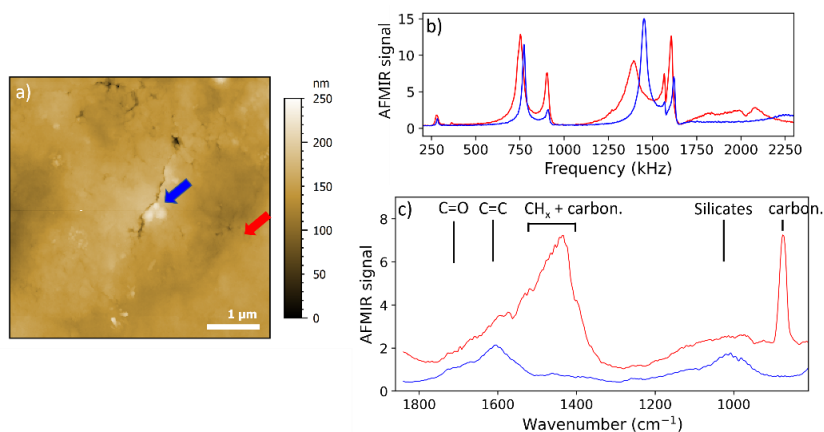
<sup>1</sup>Institut de Chimie Physique, Université Paris-Saclay - CNRS, 91400 Orsay, France

<sup>2</sup>Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay, Université Paris-Saclay - CNRS, 91400 Orsay, France

**Introduction.** La nano-spectroscopie infrarouge (IR) par microscopie à force atomique (AFM-IR) permet d'effectuer des spectres et des cartographies IR à une échelle de 10 nanomètres [1], au-delà de la limite de diffraction inhérente aux techniques IR conventionnelles. L'AFM-IR utilise un laser IR accordable en nombre d'onde et en fréquence de répétition pour éclairer la surface d'un échantillon. Lorsque l'échantillon absorbe à un nombre d'onde donné, l'expansion thermique locale de l'absorbeur fait osciller le levier AFM à la fréquence de répétition du tir laser. La réponse fréquentielle du système absorbeur-levier dépend grandement des propriétés mécaniques de l'échantillon. En mode AFM-IR résonnant, la fréquence de répétition du laser est ajustée pour correspondre à un mode de résonance du système absorbeur-levier, provoquant une amplification de l'oscillation. La mesure infrarouge se fait donc à une fréquence de résonance donnée et ne permet pas de visualiser la réponse fréquentielle du système. Le nouveau mode d'acquisition frequency-sweep force volume (FSFV) AFM-IR [2] permet réaliser des cartographies infrarouges à un nombre d'onde fixé tout en acquérant des spectres fréquentiels du système échantillon-levier à chaque point de mesure. L'information chimique/infrarouge est extraite lors du traitement des données par l'intégration (total ou partielle) des spectres en fréquence. Par ce biais, le FSFV AFM-IR fournit un jeu de données complet qui rend possible le découplage des réponses infrarouge et mécanique d'échantillons hétérogènes chimiquement et mécaniquement, à petite échelle.

Les météorites et micrométéorites sont les constituants primordiaux du Système Solaire. Leur nature primitive se reflète dans leur composition très hétérogène, mêlant phases organiques et minérales aux échelles nanométrique et micrométrique. Caractériser ces objets à petite échelle constitue un axe majeur de notre compréhension des conditions de formations du système solaire et nécessite des techniques à résolution nanométrique. Au cours des dernières années, l'AFM-IR a permis de mettre en lumière la composition chimique et la répartition de la matière carbonée à petite échelle au sein d'échantillons extraterrestres [3]. Néanmoins, l'hétérogénéité mécanique à l'échelle nanométrique dans ces échantillons a complexifié l'interprétation des données infrarouges. Le mode FSFV AFM-IR devrait permettre de réaliser des cartographies IR d'échantillons extraterrestres en nous affranchissant de cette variabilité mécanique. Nous avons réalisé une série de mesures sur un échantillon de micrométéorite antarctique afin d'évaluer les performances du FSFV AFM-IR pour l'analyse d'échantillons extraterrestres.

**Méthodes.** Un fragment de la météorite DC16-11-328 de la collection Concordia [4] a été pressé entre deux diamants afin d'obtenir une surface plane, épaisse d'environ 1 micron. L'échantillon a été analysé avec un Dimension IconIR (Bruker) et un levier V-shape (0.4 N/m). Nous avons réalisé une série de cartographies IR en mode FSFV, couvrant la gamme de fréquence 200-2300 kHz, aux nombres d'onde 876cm<sup>-1</sup>, 1000cm<sup>-1</sup>, 1135cm<sup>-1</sup>, 1463cm<sup>-1</sup>, 1600cm<sup>-1</sup>, 1715cm<sup>-1</sup>, associés à la matière carbonée, aux silicates et aux carbonates.



**Figure 1 :** Grains de matière carbonée dans une matrice minérale imagés par AFM-IR FSFV. a) Image topographique d'une région contenant des grains carbonés (flèche bleue) et des carbonates (flèche rouge). b) Spectres de la réponse fréquentielle du système échantillon-levier obtenus à 1600 cm<sup>-1</sup> sur les grains carbonés (bleu) et les carbonates (rouge). c) Spectres AFM-IR des grains carbonés (bleu) et des carbonates (rouge).

# Correlating AFM and optical measurements to reveal the ferroelectric texture of individual barium titanate nanowires

Thomas Llauze<sup>1</sup>, Abdelali Zaki<sup>2</sup>, Charles Paillard<sup>3</sup>, François Treussart<sup>4</sup> and Céline Fiorini-Debuisschert<sup>1</sup>

1. Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, SPEC, 91191 Gif-sur-Yvette, France
2. Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Laboratoire SPMS, 91190 Gif-sur-Yvette, France
3. Smart Ferroic Materials Center, University of Arkansas, Fayetteville AR 72701, USA
4. Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec, LuMIn, 91190 Gif-sur-Yvette, France

Ferroelectric materials display diverse polarization textures at the nanoscale that could be used to improve the energy efficiency of electronic components. The vast majority of studies has been conducted in two dimensions structures, considering thin films, but very few studies address the situation of individual isolated nanocrystals, while such structures could exhibit exotic textures, as recently evidenced by our research team in the case of 100 nm scale monocrystalline ferroelectric barium titanate ( $\text{BaTiO}_3$ -BTO) nanocrystals (NC) combining vector piezoresponse force microscopy (PFM) ) using the so-called ESBS (ElectroStatic Blind Spot) technique [1] together with phase field simulations. [2] These results raise however the question of the origin of the non-linear second harmonic generation (SHG) optical response of individual BTO nanocrystals, which is widely described in the literature [3]. Indeed, given the ferroelectric texture revealed in the simulations, the nanocrystals mainly appear to be made up of core and surface domains oriented at  $180^\circ$  to each other with an overall polarisation compensation. This should result in an absence of SHG by destructive interference, which is not experimentally observed. In order to go one step further, we decided to pursue our investigations considering NC of slightly higher sizes in order to minimize the diffraction limit problems and be able to correlate PFM and SHG at the proper scale.

Crystalline nanowire (NW) of tetragonal symmetry were synthesized with an average length of  $10 \mu\text{m}$  and an average thickness of  $1 \mu\text{m}$ . After checking their morphology using contact mode AFM, we investigated the optical properties of such individual NW using SHG. As shown in the figure below, although the wire section is quite rectangular, we observe important variations of the SHG intensity over the NW width. We conducted spatially resolved measurements at multiple locations along the NW and the results were fitted using our simulation based on SHG tensorial calculations incorporating the effects of polarization domains. The analysis revealed different proportions of  $0^\circ$  and  $90^\circ$  in-plane oriented domains, positioning SHG measurements as a relevant tool to evaluate the presence of different in-plane polarization domain in a BTO NW. Furthermore, we evaluated the good anchoring of the NW on the substrate using atomic force microscopy (AFM) measurements in contact mode as a preparation for further PFM measurements. We are currently exploring the prospect of correlating PFM characterization with the above mentioned SHG studies in order to enhance our understanding of such complex ferroelectric nanostructures.

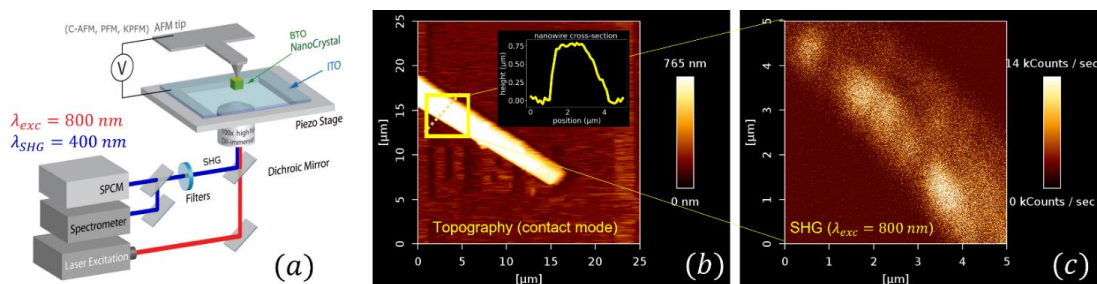


Figure 1: Diagram of the experimental setup (a), Topography (b) and SHG intensity mapping (c) ( $\lambda_{exc} = 800 \text{ nm}$ ) of a single BTO NC on lying on an Indium Tin Oxide (ITO)-coated cover slip.

## Références

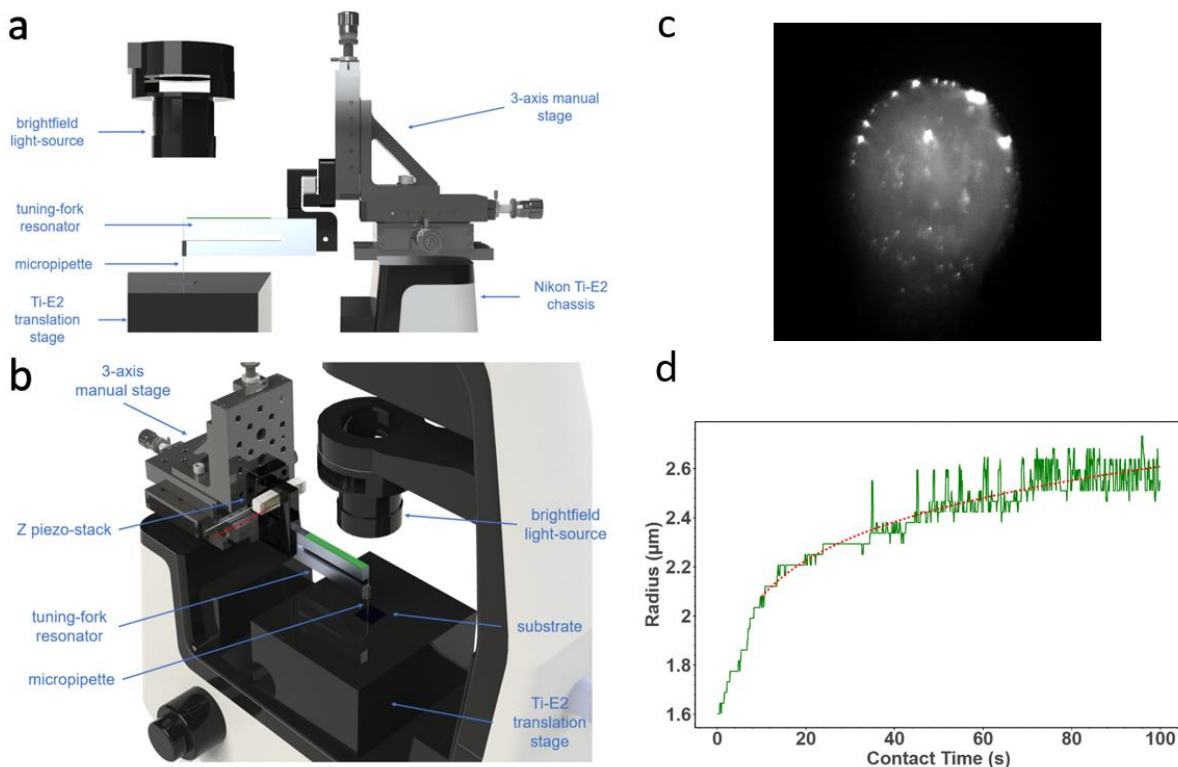
- [1] Kalinin, S. v., Rodriguez, B. J., Jesse, S., Shin, J., Baddorf, A. P., Gupta, P., Jain, H., Williams, D. B., & Gruverman, A. *Vector piezoresponse force microscopy*. *Microscopy and Microanalysis*, **2006**, 12(3), 206–220.
- [2] MURALEEDHARAN, Athulya K., CO, Kevin, VALLET, Maxime, *et al.* Ferroelectric texture of individual barium titanate nanocrystals. *ACS nano*, 2024, vol. 18, no 28, p. 18355-18367.

# Observation en temps réel de la dynamique d'impression capillaire par un montage couplant AFM dynamique et microscopie optique

Nathan Bigan<sup>1,2</sup>, Marc Pascual<sup>2</sup>, Joshua McGraw<sup>1</sup>

1 Gulliver UMR 7083 CNRS, ESPCI-PSL, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France  
2 Hummink S.A.S., 5 rue Charlot, 75003 Paris, France

L'impression capillaire de haute précision (High-Precision Capillary Printing, HPCaP) permet le dépôt localisé d'encre fonctionnelle à l'échelle micro- et nanométrique à l'aide de micropipettes creuses. Bien que cette technique offre un contrôle spatial remarquable et une grande versatilité en termes de matériaux déposés, les mécanismes physiques gouvernant la formation des motifs imprimés restent encore mal compris. En particulier, la dynamique du ménisque et de la ligne de contact lors du dépôt est généralement inaccessible expérimentalement, la plupart des études reposant sur une caractérisation a posteriori des structures imprimées. Ces phénomènes relèvent plus généralement de la dynamique de mouillage et d'étalement de films liquides sous confinement, largement étudiée dans le contexte de la physique du mouillage et de l'hydrodynamique des interfaces [1,2].



**Figure 1 :** a, b Représentation schématique du système, montrant le diapason et la pipette alignés entre l'objectif du microscope optique et la source de lumière blanche. c Image du ménisque obtenu pour une pipette de 1.5 µm de diamètre au x100 en configuration TIRF. d Kymographe présentant le rayon en fonction du temps de contact obtenu pour une encre de nanoparticules d'argent.

Nous présentons ici un **montage optomécanique couplant microscopie à force atomique dynamique (AFM) et microscopie optique** permettant l'observation directe en temps réel du processus d'impression capillaire. Le dispositif associe un AFM à diapason macroscopique, utilisé pour le contrôle mécanique de la micropipette et la détection des interactions pointe–substrat, à un microscope optique inversé permettant l'imagerie de l'interface liquide–substrat. Les techniques de microscopie à force dynamique constituent en effet un outil particulièrement adapté à l'étude des interactions et des écoulements sous confinement à l'échelle nanométrique [3].

L'AFM dynamique assure un contrôle nanométrique de la position de la micropipette et permet de détecter précisément le moment du contact avec le substrat via les variations de fréquence de résonance et d'amplitude d'oscillation du résonateur. En parallèle, l'imagerie optique, réalisée en **brightfield et en épifluorescence**, permet de visualiser directement l'évolution du ménisque et de la ligne de contact pendant le dépôt.

Grâce à ce dispositif, nous observons en temps réel l'étalement de gouttes d'encre nanoparticulaires déposées par micropipette. L'analyse des séquences optiques sous forme de kymographes révèle plusieurs

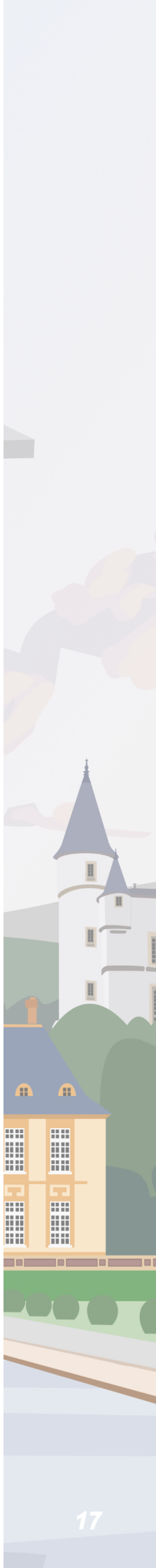
# Notes

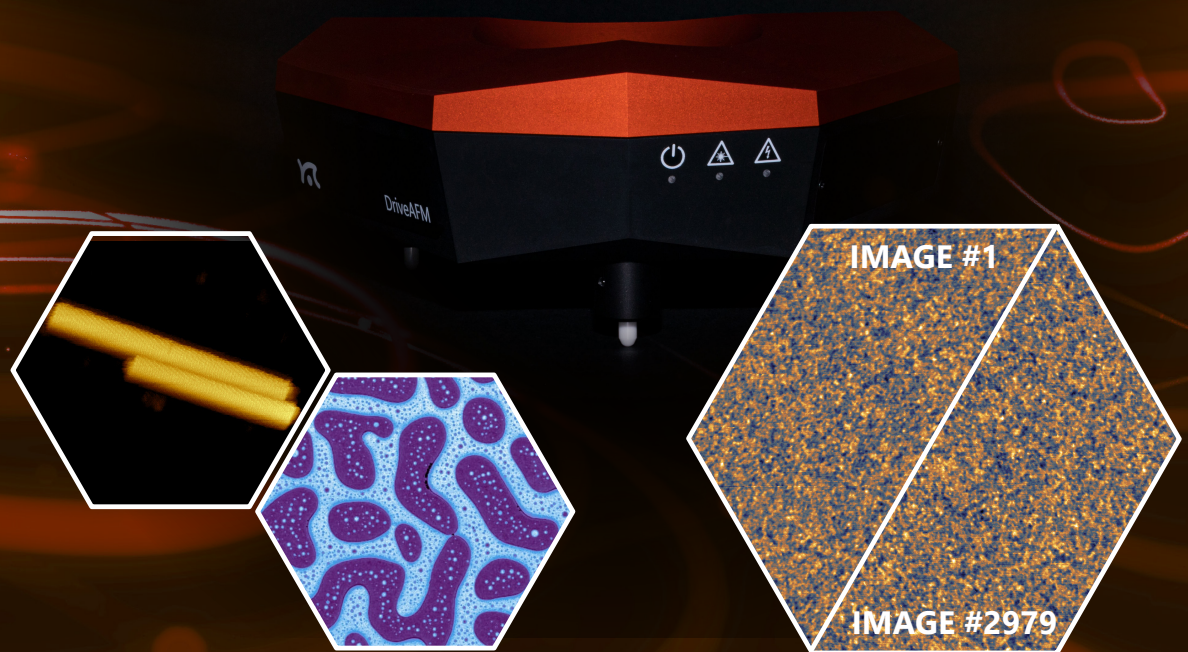
---



# Notes

---





## WaveMode - How AFM will be

Discover the fastest off-resonance AFM technique on the market  
and bring your research to a new level

Available only on DriveAFM

Nanosurf AG | Gräubernstr. 12-14 | 4410 Liestal | Switzerland  
[www.nanosurf.com](http://www.nanosurf.com) | [info@nanosurf.com](mailto:info@nanosurf.com)

# A Quantum Leap

NANONIS 6TH GENERATION –  
THE NEW MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEM



## Nanonis 6th Generation

- Completely redesigned hardware and software platform
- Advanced high-speed data processing architecture
- A new standard in signal quality for data acquisition and signal generation
- Unparalleled flexibility in signal modulation and mixing
- Optimal I/O placement capability via galvanically isolated optical interconnects
- Ready and open for AI integration
- Made for scientific excellence

SPECS Surface Nano Analysis GmbH

T +49 30 46 78 24-0

E [info@specs-group.com](mailto:info@specs-group.com)

H [www.specs-group.com](http://www.specs-group.com)



**Nanonis**™

A member of SPECSGROUP

# Session Edouard VIII

Mardi 09/06/2026 (Edouard VIII)



Edouard VIII, né à Londres en 1894. Fils aîné de George V, à la mort de son père, en janvier 1936, Édouard, prince de Galles, devient roi d'Angleterre sous le nom d'Édouard VIII. Depuis plusieurs années, il entretient une relation amoureuse avec Wallis Simpson, une Américaine divorcée, encore mariée à son deuxième mari. Édouard insiste pour l'épouser, ce qui le place dans un conflit constitutionnel avec le gouvernement britannique. Ce dernier le contraint à abdiquer en décembre 1936, et son frère George VI est couronné à sa place.

Édouard et Wallis se marient en juin 1937 en France et deviennent le duc et la duchesse de Windsor. Le couple s'installe alors en exil permanent en France et achète, en 1952, « une maison villageoise » à Gif-sur-Yvette : le moulin de la Tuilerie. Entièrement restauré, le moulin accueille pendant vingt ans de nombreuses personnalités, parmi lesquelles Maria Callas, Elizabeth Taylor et Marlène Dietrich. Les Windsor vendent finalement le moulin en 1968 en raison des problèmes de santé du duc, qui meurt à Paris en 1972.

8h30	Marie HERVE	Microscopie à effet tunnel pour sonder des configurations nanomagnétiques (cours)
9h30	Chantal HAREAU*	Champs magnétiques induits optiquement dans des nano-antennes en Or via l'Effet Faraday Inverse
9h50	Gustavo NINHO CAMPOS <sup>^</sup>	Probing phase-specific crosslinking in lignin-reinforced carboxylated nitrile rubber via AFM quantitative nanomechanics
10h10	Zeinab ISSA*	In-situ Characterization of WSe <sub>2</sub> Monolayer

# Microscopie à effet tunnel pour sonder des configurations nanomagnétiques

Marie Hervé

Sorbonne Université – CNRS - Institut des Nanosciences de Paris UMR7588, 4 place Jussieu, Paris 75005, France

Les films minces magnétiques peuvent présenter une grande diversité de configurations magnétiques, allant de domaines magnétiques de plusieurs micromètres à des textures magnétiques non colinéaires, telles que les skyrmions ou les vortex magnétiques, dans lesquels l'aimantation tourne très rapidement sur de très courtes distances, de l'ordre de quelques nanomètres.

La stabilisation de ces différentes textures de spin résulte de la compétition entre plusieurs interactions : l'anisotropie magnétocristalline, qui favorise certaines directions cristallines pour l'aimantation ; l'interaction dipolaire, qui favorise l'apparition de domaines magnétiques ; ainsi que les interactions d'échange de Heisenberg et de Dzyaloshinskii-Moriya, qui favorisent respectivement des ordres magnétiques colinéaires et non colinéaires entre atomes voisins.

Alors que les domaines magnétiques de plusieurs micromètres de large peuvent généralement être imagés par des techniques magnéto-optiques, l'étude des textures magnétiques non colinéaires nécessite l'utilisation de sondes locales. Différentes extensions de la microscopie à effet tunnel permettent ainsi d'explorer ces configurations magnétiques à l'échelle locale. Tandis que la microscopie à émission d'électrons balistiques permet de sonder des interfaces enterrées, la microscopie à effet tunnel polarisée en spin permet, quant à elle, d'étudier les surfaces.

Dans ce cours, je présenterai ces différentes extensions de la microscopie à effet tunnel permettant d'accéder à des configurations magnétiques locales.

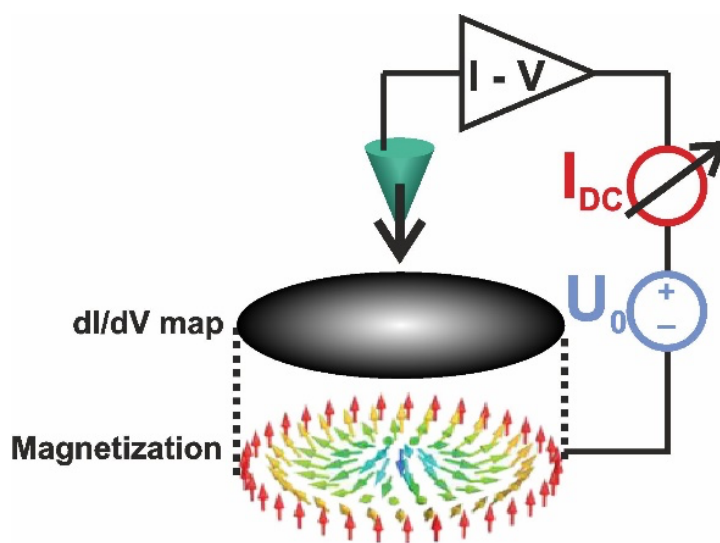


Figure : schémas du fonctionnement de principe du STM polarisé en spin pour l'imagerie de skyrmions magnétiques

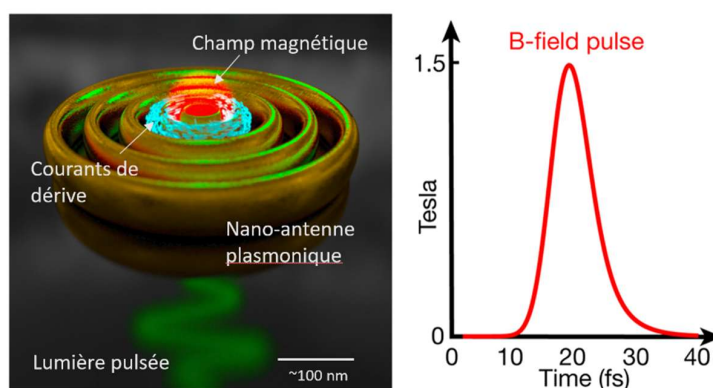
## Microscopie à centre NV couplée à l'excitation optique pour l'étude de champs magnétiques induits par Effet Faraday Inverse

Chantal Hareau, Eric Charron, Maria Sanz-Paz, Mathieu Mivelle

Institut des NanoSciences de Paris, UMR 7588, CNRS, Sorbonne Université 75005, Paris

L'Effet Faraday Inverse est un effet magnéto-optique par lequel une lumière circulairement polarisée génère des champs magnétiques stationnaires dans la matière, qu'elle soit initialement magnétisée ou pas. Dans le cas particulier de métaux, on peut comprendre ce phénomène comme la conséquence de la circulation des électrons de conduction sous action des forces motrices non-linéaires appliquées par la lumière. En effet, ces forces et leur inhomogénéité au sein du matériau sont à l'origine de courants électroniques de dérive sous forme de boucles de courant [1]. Ainsi, des champs magnétiques stationnaires peuvent être générés par pure interaction lumière-matière.

L'amplitude ainsi que la direction de ces champs magnétiques, dépendent de l'amplitude, la polarisation, et les gradients du champ électrique optique dans le matériau. Pour cette raison, il est intéressant de se placer dans le cadre particulier des nano-antennes plasmoniques, structures nanométriques en métal, capables d'exalter le champ électrique et ses gradients localement lorsque excités à la longueur d'onde de résonance. Ces structures apparaissent ainsi comme un terrain de jeu pour manipuler l'Effet Faraday Inverse et les champs magnétiques associés, à des échelles nanométriques et potentiellement ultra-rapides [2]. Ce niveau de contrôle pourrait avoir des fortes implications dans la recherche fondamentale en magnétisme, ou pour des futures technologies de stockage de données.



**Figure 1** : Illustration de l'Effet Faraday Inverse dans une nano-antenne plasmonique. Sous une excitation optique proche à la résonance plasmonique, caractéristique de la structure, une antenne plasmonique exalte localement le champ électrique optique et ses gradients, générant un fort Effet Faraday Inverse. Des courants électriques de dérive circulent alors dans la structure, de façon à induire un champ magnétique. En utilisant une lumière pulsée, il est en théorie possible de générer un champ magnétique ultra-rapide, suivant de près la dynamique de l'excitation optique.

Figure adaptée de [2].

Malgré le fort potentiel de cet effet magnéto-optique, les études expérimentales existantes aujourd'hui ne sont pas suffisantes pour peindre une image complète du phénomène et comparer aux nombreuses théories proposées. Notamment, les rares mesures de l'Effet Faraday Inverse dans des structures plasmoniques sont des mesures d'ensemble, et manquent d'une image claire de la réponse à l'échelle nanométrique.

Dans notre équipe, nous cherchons à caractériser le confinement spatial à l'échelle nanométrique qui est attendu pour des champs magnétiques induits dans des antennes plasmoniques. Nous proposons de faire ça grâce à de la microscopie à centre NV, une technique de sonde locale qui exploite les propriétés de fluorescence de ces défauts ponctuels dans le diamant, afin de détecter optiquement et cartographier des champs magnétiques à des échelles nanométriques. Notre montage expérimental couple cette détection de haute sensibilité à une excitation optique des échantillons, afin de pouvoir caractériser les champs magnétiques générés optiquement via l'Effet Faraday Inverse.

### Références

- [1] Hertel, R. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **2006**, 301 (1), 2006, (L1)
- [2] Yang, X.; Mou, Y.; Gallas, B.; Maitre, A.; Coolen, L.; Mivelle M. *ACS Nano*, **2022**, 16 (1), (386)

# Probing phase-specific crosslinking in lignin-reinforced carboxylated nitrile rubber via AFM quantitative nanomechanics

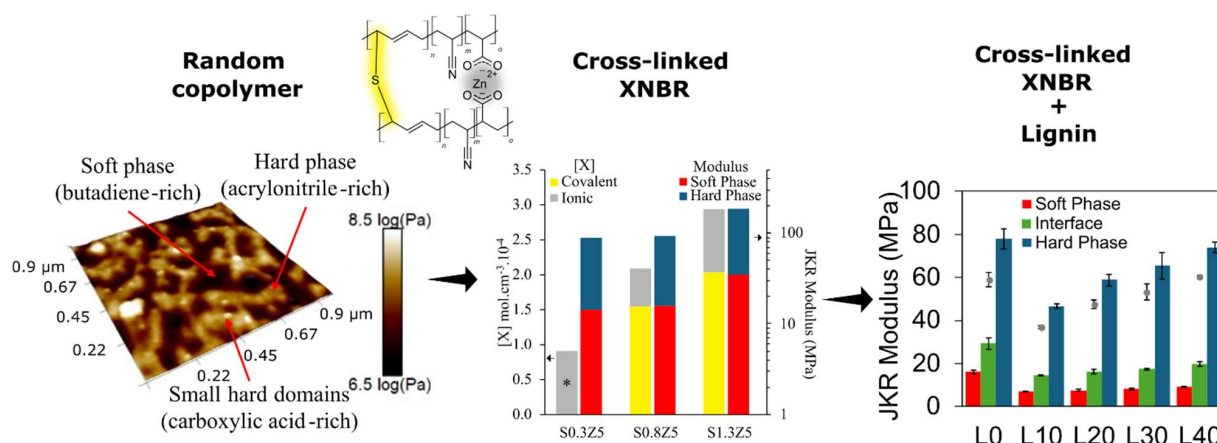
Gustavo Ninho Campos<sup>1,2\*</sup>, Elisson Brum Dutra da Rocha<sup>1</sup>, Cristina Russi Guimarães Furtado<sup>1</sup>, Marco Antonio Gaya de Figueiredo<sup>1</sup>, Ana Maria Furtado de Sousa<sup>1</sup>, João P. Cosas Fernandes<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Chemistry Institute, Rio de Janeiro State University, São Francisco Xavier 524, Maracanã, 20550-900, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

<sup>2</sup>Université Grenoble Alpes, CNRS, CERMAV, 601 Rue de la Chimie, Grenoble 38000 Cedex 9, France.

\*Corresponding authors: [gustavo.ninhocampos@cermav.cnrs.fr](mailto:gustavo.ninhocampos@cermav.cnrs.fr); [joao.cosas@cermav.cnrs.fr](mailto:joao.cosas@cermav.cnrs.fr)

Lignin, an abundant and renewable byproduct from pulp, paper, and biofuel production, offers a sustainable alternative to carbon black for reinforcing rubber composites, significantly reducing their carbon footprint. However, its inherent polarity complicates uniform dispersion and limits compatibility with non-polar elastomers. Carboxylated nitrile rubber (XNBR) presents a unique solution, as it supports both covalent and ionic crosslinking, potentially enhancing interactions with lignin. Yet, the precise impact of lignin on these crosslinking mechanisms remains poorly understood, largely because conventional techniques cannot accurately measure crosslink density in filled systems without filler interference. Atomic Force Microscopy (AFM) with PeakForce Quantitative Nanomechanics (PF-QNM) provides a powerful approach to investigate local mechanical properties, enabling direct correlation with crosslinking behavior. Using JKR modulus mapping, we identified a phase-separated morphology in unfilled XNBR, characterized by distinct high- and low-modulus domains. By systematically varying the crosslinking formulation to favor either covalent or ionic bonds, we observed phase-specific changes in modulus. Selective crosslinking of butadiene, acrylic acid, or both revealed that the stiffer phase is enriched in acrylic acid, while the softer phase is predominantly butadiene-based. These findings establish a clear link between local mechanical properties and the type of crosslinking present in each phase. Our analysis further demonstrated that lignin exerts a dual effect on crosslinking: it suppresses covalent crosslinking in the butadiene-rich phase while promoting it in the acrylic-acid-rich phase. These insights advance our understanding of XNBR's microstructure-property relationships, paving the way for the development of sustainable rubber materials with tailored mechanical performance.



**Figure 1:** AFM 3D 1x1  $\mu\text{m}^2$  images of topography overlaid with the logarithm of the modulus measured at each pixel for XNBR cured with sulfur and zinc oxide. JKR modulus plots for different rubber phases with different cross-link types, along with the cross-link density. JKR modulus plots for XNBR filled with lignin, from 0 to 40 parts per hundred rubber.

Keyword: elastomer, carboxylated nitrile rubber, cross-linking, phase separation, AFM

## In-situ Characterization of WSe<sub>2</sub> Monolayer

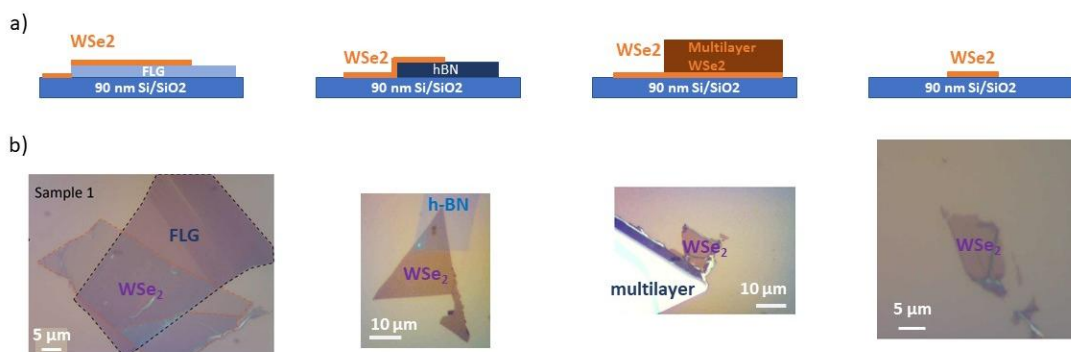
Zeinab ISSA<sup>1</sup>, Yevheniia CHERNUKHA<sup>1</sup>, Elise JOUAITI<sup>2</sup>, Stephane BERCIAUD<sup>2</sup>, Maxime BERTHE<sup>1</sup>, Louis BIADALA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut d'Electronique, Microélectronique et Nanotechnologie (IEMN), Villeneuve d'Ascq, France

<sup>2</sup>Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS), Strasbourg, France

Two-dimensional transition metal dichalcogenides (TMDCs) and their heterostructures offer groundbreaking prospects for opto-electronics due to their tunable bandgaps and strong light-matter interaction [1, 2]. However, extracting their intrinsic properties remains a challenge [3]. Standard device fabrication involves exposing materials to certain conditions like electron beams and thermal annealing. Lithographic contacts usually used in such devices are invasive and irreversible, leading to large variations in measured properties, such as carrier mobility, that reflects the contact quality rather than the material's intrinsic nature [4, 5].

As a first step towards understanding electronic phenomena, the effect of environmental variations is studied on WSe<sub>2</sub> monolayers mechanically exfoliated with different interfaces as shown in Figure 1. Since WSe<sub>2</sub> is optically active at the monolayer limit, the effects were monitored by first validating our samples with optical microscopy, and then using the photoluminescence and atomic force microscopy (AFM). The effect of ultra-high vacuum, temperature, the electron beam voltage and current of the scanning electron microscope (SEM) on the monolayers was quantified.



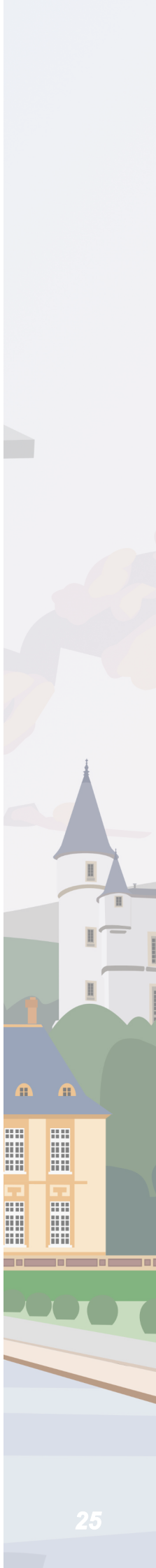
**Figure 1:** Composition of mechanically exfoliated samples on 90 nm Si/SiO<sub>2</sub> substrate: a) schematic representation and b) optical images respectively. The first image on the left is monolayer WSe<sub>2</sub> on top of few layers graphene (FLG), the second one is monolayer WSe<sub>2</sub> on top of hBN, the third image is monolayer WSe<sub>2</sub> attached to multilayer WSe<sub>2</sub>, and the last one is an isolated monolayer WSe<sub>2</sub>.

## References

- [1] Xu, H.; Akbari, M. K.; Zhuiykov, S. *Nanoscale Research Letters* **2021**, *16*, 94
- [2] Wang, Q. H.; Kalantar-Zadeh, K.; Kis, A.; Coleman, J. N.; Strano, M. S. *Nature Nanotechnology* **2012**, *7*, 699
- [3] Sangwan, V.; Hersam, M. *Annual Review of Physical Chemistry* **2018**, *69*, 229.
- [4] Allain, A.; Kang, J.; Banerjee, K.; Kis, A. *Nature Materials* **2015**, *14*, 1195.
- [5] Radisavljevic, B.; Radenovic, A.; Brivio, J.; Giacometti, V.; Kis, A. *Nature Nanotechnology* **2011**, *6*, 147.

# Notes

---



# Session Les religieuses de Port-Royal

Mardi 09/06/2026 (Les religieuses de Port-Royal)



*La mère Catherine - Agnès Arnauld et la soeur Catherine de Sainte Suzanne de Champagne par Philippe de Champaigne, Musée du Louvre (1662)*

Port Royal des champs, couvent cistercien fondé en 1204 dans le vallon étroit et fermé du Rhodon, actuellement sur la commune de Magny les Hameau. Une épidémie de paludisme conduit à la création à Paris en 1625, d'une annexe destinée à protéger les religieuses : c'est dans cette annexe que meurt la princesse de Clèves, héroïne du roman de Madame de Lafayette. Le nouveau couvent prend le nom de Port-Royal de Paris tandis que celui de la vallée du Rhodon devient « Port-Royal des champs ». Port Royal est refondé au XVIIe siècle par une jeune fille de dix-sept ans, mère Angélique Arnaud. Sa famille est proche de l'abbé de Saint Cyran, disciple de l'évêque d'Ypres Cornelius Jansen, auteur de l'Augustinus, un traité sur la théologie de Saint Augustin. Elle réforme le monastère pour établir une stricte observance de la règle de Saint Benoît. Avec son monastère, elle entre dans la querelle du Jansénisme. Cette querelle oppose les tenants du libre arbitre au tenants de la grâce divine pour obtenir le salut. La querelle a vivement opposé Blaise Pascal aux jésuites ; elle se tenait au même moment où les conflits entre catholiques et les protestants étaient extrêmement vifs. L'église catholique romaine condamna le courant janséniste en 1653. Sous le règne de Louis XIV l'abbaye fut frappée de restrictions et les religieuses persécutées, jusqu'à ce que, en 1709, le roi décide de faire raser tous les bâtiments. La querelle ne se terminera pourtant pas là et la culture du jansénisme irriguera jusqu'à la révolution. L'Abbé Grégoire affirmera dans son livre Ruines de Port-Royal publié en 1801 un lien avec les républicains : "ce qui tient à Port-Royal tient à la liberté".

11h00	Khanh-Huyen NGUYEN*	Tailoring the work function of gold surfaces with self-assembled monolayers for electron emission		
11h20	Viktoriiia DREBEZGHOVA	Formation de nanofibres via auto-assemblage induit par polymérisation (t-PISA) de copolymères à blocs PMEA-b-PDMAc		
11h40	Antonino CUCINOTTA^	Tuning the Crystallinity of a Metal–Organic Coordination Network at the Liquid–Solid Interface		
12h00	présentations industriels	Bruker	DigitalSurf	Horiba

# Tailoring the work function of gold surfaces with self-assembled monolayers for electron emission

Khanh-Huyen NGUYEN, David Guérin, Thierry MÉLIN, Stéphane LENFANT

Université de Lille, CNRS, Université Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520-IEMN Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, F-59000 Lille, France

Vacuum coherent electron sources are a critical requirement for advancing high-resolution electron microscopy, lithography, and high-power radio-frequency communication. [1, 2] To enhance the coherence of these sources, a primary strategy is to reduce the energy spread of emitted electrons by precisely controlling the surface properties of the metallic emitting tips. In this work, we explore the modification of gold surfaces using thiol-based self-assembled monolayers (SAMs) with different dipoles to tune the work function (WF). [3]

We studied a series of molecules, including short-chain thiols, benzene-ring derivatives with varying alkyl spacers, and a protected thioacetyl molecule (5), as shown in Figure 1a. These were grafted onto ultra-flat template-stripped gold  $\text{Au}^{\text{TS}}$  substrates, which exhibit a root-mean-square (rms) roughness value of less than 0.5 nm (Figure 1b). The quality of the monolayer grafting was confirmed using ellipsometry, the nano-shaving method by AFM in contact mode, and XPS analysis. Notably, molecule (5) demonstrated complete SAM formation and excellent surface coverage when deprotected in situ with KOH. Thermal stability analysis by XPS confirmed that the Au-S bond remains stable up to 150 °C, a crucial factor for the operational testing of field emitters. The impact of these SAMs on the gold WF was characterized using several techniques: Kelvin Probe (KP), Frequency Modulated Kelvin Probe Force Microscopy (FM-KPFM), and Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy (UPS). The results across all methods are highly consistent, showing a systematic reduction in the WF compared to bare gold ( $4.9 \pm 0.05$  eV). Phenylethanethiol (3) reduced the WF to  $4.72 \pm 0.05$  eV, while the -SAc derivative (5) achieved a maximum reduction of  $0.35 \pm 0.07$  eV, reaching a minimum WF of  $4.55 \pm 0.05$  eV (Figure 1c). This shift can be correlated to the molecular dipole orientation and density according to the Helmholtz relation. Based on these initial results, our future work will expand to other molecules with varying dipole moments, including inverted dipoles to tune the WF in both directions and explore the functionalization of alternative materials, such as  $\text{MoS}_2$ , to improve the boundaries of electron-source coherence.

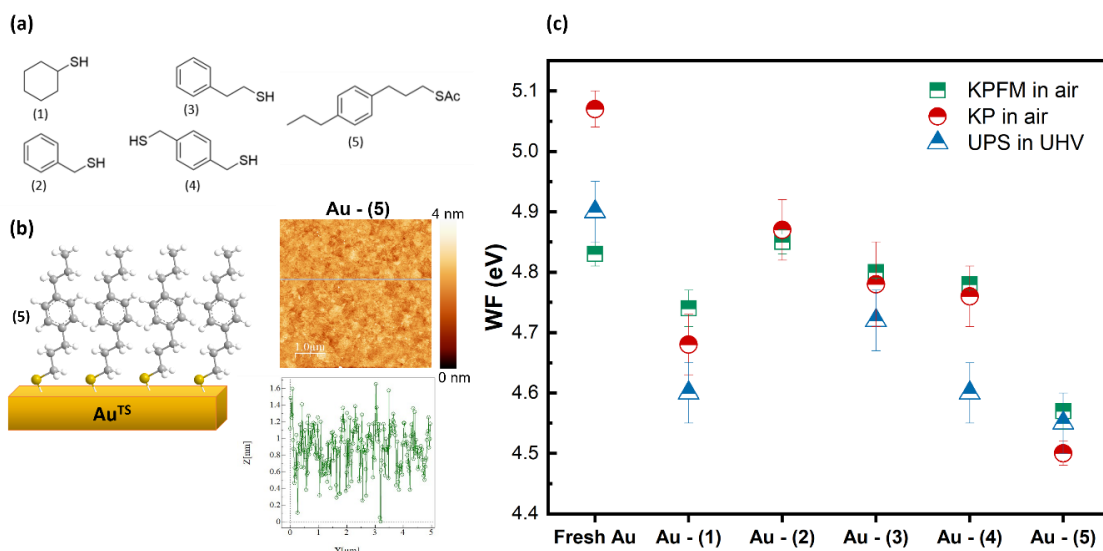


Figure 1: (a) List of thiol molecules studied, (b) schematic of SAMs (left) and topography images (right) of -SAc on  $\text{Au}^{\text{TS}}$  (left) and (c) WF values measured by KPFM, KP in air and UPS in UHV on the different surfaces.

## Acknowledgements

- Agence Nationale de la Recherche (ANR) project COMODES (ANR-22-CE24-0007).
- Region Hauts-de-France.

## References

- [1] Oktay Yilmazoglu et al., *Turkish Journal of Physics* **2014**, Vol. 38, No. 3, Article 19.
- [2] Bruno Lepetit et al., *J. Appl. Phys.* **2017**, 122, 215105.
- [3] Michael Celestin et al., *Nano Res* **2014**, 7(5): 589–625.

## Formation de nanofibres via auto-assemblage induit par polymérisation (t-PISA) de copolymères à blocs *PMEA-b-PDMAc*

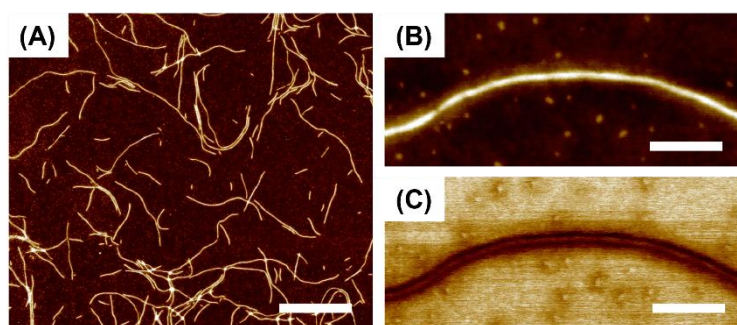
Eleonora G. HOCHREINER<sup>1</sup>, Wiktoria PIORUNSKA<sup>1</sup>, Gaëlle MELLOTT<sup>3</sup>, Bence FEHER<sup>4</sup>, Viktoria DREBEZGHOVA<sup>2</sup>, Christophe SINTUREL<sup>2</sup>, Cornelus F. VAN NOSTRUM<sup>1</sup>, Tina VERMONDEN<sup>1</sup>, Jutta RIEGER<sup>3</sup>, Bas G. P. VAN RAVENSTEIJN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Pharmaceutics, Utrecht Institute for Pharmaceutical Sciences, Faculty of Science, Utrecht University, Utrecht 3584 CG, The Netherlands, Université d'Orléans; <sup>2</sup>CNRS, ICMN, UMR 7374, Orléans, France; <sup>3</sup>Sorbonne Université, CNRS, Institut Parisien de Chimie Moléculaire, IPCM, F-75005 Paris, France; <sup>4</sup>Department of Chemical Engineering and Chemistry, Institute for Complex Molecular Systems, Eindhoven University of Technology, 5600 MB, Eindhoven, The Netherlands

Les nanofibres polymériques sont des nanoparticules allongées présentant un intérêt particulier en raison de leur anisotropie et de leur haute surface spécifique. Des nanofibres à base de poly(N,N-diméthylacrylamide)-*b*-poly(2-méthoxyéthyl acrylate) (PDMAc-*b*-PMEA) ont été préparées en milieu aqueux par une méthode d'auto-assemblage induit par polymérisation (t-PISA), développée récemment par Mellot *et al.*[1,2] Les copolymères à blocs constitués d'un bloc PDMAc hydrophile et d'un bloc PMEAc hydrophobe sont fonctionnalisés à leurs extrémités par des stickers à base de bis-urée. Ces fonctions bis-urée imposent une direction aux interactions supramoléculaires et favorisent la formation de morphologies cylindriques. Les nanofibres obtenues présentent une structure cœur - couronne (*core – shell*), constituée d'un cœur hydrophobe dans lequel les stickers bis-urée s'empilent, entouré d'une couronne hydrophile.

Dans cette communication, je présenterai notre dernière étude sur la formation de nanofibres. Nous avons étudié une approche permettant de contrôler leurs dimensions, en particulier la longueur. Cette approche consiste à mélanger, dans différentes proportions, de macro-agents de transfert (macroCTAs) à base de pDMAc portant ou non un sticker bis-urée, afin de moduler la longueur de nanofibres. L'analyse combinée AFM/TEM fournit des informations sur la morphologie et les dimensions de nanofibres. L'ajout de macroCTAs ne contenant pas de sticker devait conduire à de fibres plus courtes par le mécanisme *end-capping*. Cependant, l'effet inverse a été observé. La longueur des nanofibres augmente lorsque la fraction de macroCTAs portant le sticker diminue, atteignant jusqu'à 10  $\mu\text{m}$ .

Enfin, l'AFM a été utilisée non seulement pour visualiser les nanofibres (Fig. 1A,B), mais également pour sonder leurs propriétés nanomécaniques. La cartographie du module élastique obtenues en mode PeakForce QNM révèlent une organisation interne de nanofibres. Elle est démontrée à travers un contraste mécanique entre un cœur relativement rigide (zone claire de  $6.5 \pm 1$  nm en épaisseur, Fig. 1C), attribué majoritairement à l'empilement unidirectionnel des stickers bis-urée et une couronne PDMAc plus souple.



**Figure 1** : (A) Image AFM de nanofibres formées avec des copolymères totalement fonctionnalisés par des stickers bis-urée (échelle : 1  $\mu\text{m}$ ). (B) Nanofibre individuelle (échelle : 100 nm). (C) Cartographie du module élastique d'une nanofibre (échelle : 100 nm).

### Références

- [1] Mellot, G.; Guigner, J-M.; Bouteiller, L.; Stoffelbach, F.; Rieger, J. *Angew. Chem. Int* **2019**, *58*, 3173
- [2] Mellot, G.; Chevereau, M.; Bouteiller, L.; Stoffelbach, F.; Vayer, M.; Rieger, J.; Sinturel, C. *Journal of Molecular Liquids* **2025**, *424*, 127104

# Tuning the Crystallinity of a Metal–Organic Coordination Network at the Liquid–Solid Interface

Antonino CUCINOTTA,<sup>a</sup> Jack A. DAVIES,<sup>b</sup> Kunal S. MALI,<sup>b</sup> Steven DE FEYTER<sup>b</sup>

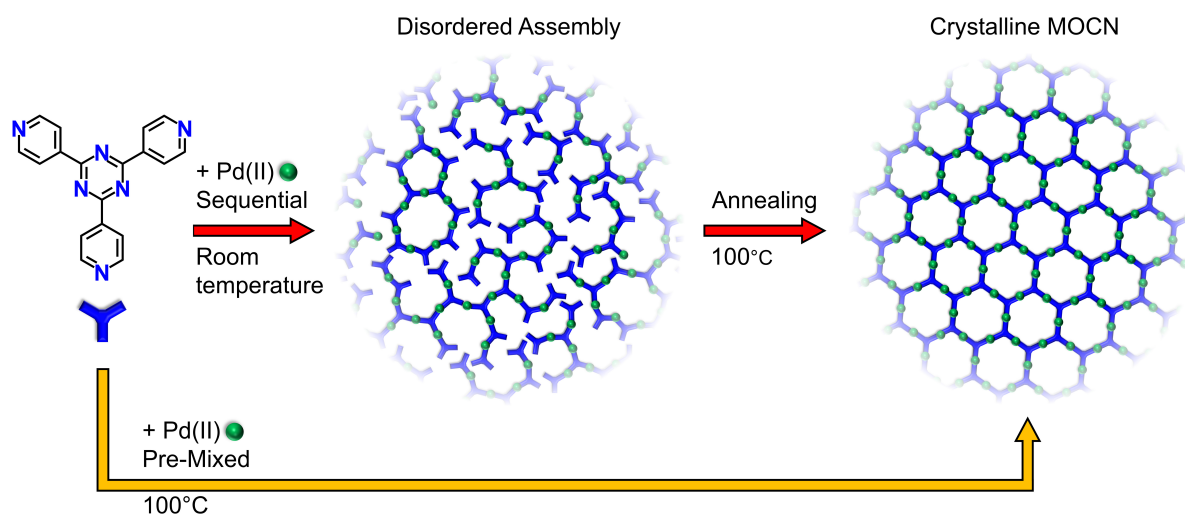
<sup>a</sup>Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, CNRS, Ecole polytechnique, Institut Polytechnique de Paris, Palaiseau 91120 France. <sup>b</sup>Department of Chemistry, Division of Molecular Imaging and Photonics, KU Leuven-University of Leuven, Celestijnenlaan 200F, B-3001 Leuven, Belgium

Metal–organic coordination networks (MOCNs) are surface-supported single-layered metal-organic frameworks (MOFs) analogs. Surface confinement promotes low coordination numbers, and the presence of coordinatively unsaturated metal sites, combined with unique electronic and magnetic properties, renders them promising candidates for use in solution-based heterogeneous applications. The bottom-up synthesis of such surface-supported MOCNs requires a rigorous design by utilizing two-dimensional (2D) crystal engineering. However, a comprehensive description of the factors governing their synthesis at the liquid-solid interface is still missing, resulting in only a few reported examples.

Scanning probe microscopy (SPM) is emerging as a space-resolved, non-invasive technique, for the characterization of MOFs and MOCNs at the molecular level.<sup>[1]</sup> Atomic force microscopy (AFM) is routinely employed to characterize microscopic features of MOF surfaces, while molecular resolution studies of surface-supported porous MOCNs have been carried out through ultra-high vacuum scanning tunneling microscopy (UHV-STM). In a pioneering work, Kitagawa et al. showed AFM at the solid-liquid interface to be suitable for the investigation of MOF surfaces with molecular resolution, providing insights into guest adsorption and release and delamination processes<sup>[2]</sup>. We used STM at the liquid-solid interface to study, at the molecular scale, the chiral phases in a surface-supported MOCN containing prochiral hydrogen-bonded supramolecular building blocks<sup>[3]</sup>.

In the work presented here, we report on the molecular resolution SPM characterization of a porous MOCN formed at the liquid-solid interface under ambient conditions, solely stabilized by metal coordination.<sup>[4]</sup> Starting from the ligand 2,4,6-tri(4-pyridyl)-1,3,5-triazine (TPT) compact self-assembly on highly-oriented pyrolytic graphite (HOPG), the *in-situ* addition of a Pd(II) salt solution leads to the formation of a single-layered porous, albeit amorphous assembly. A temperature-driven disorder-to-order transition leading to a porous MOCN honeycomb is observed when an annealing step is introduced after the metal addition in this sequential synthesis protocol. An analogous crystalline MOCN is obtained by pre-mixing the reactants in a different solvent at high temperatures.

Possible growth pathways are discussed on the basis of the different morphologies observed in samples fabricated using the two synthesis methods. Additionally, the porosity of the MOCN is examined by adding a guest molecule. This study paves the way for the investigation at the nanometer scale of analogous systems at the liquid-solid interface, targeting insights concerning their synthesis, crystallinity, temperature effect, concentration effect, and porosity.



**Figure 1** : Schematic illustration of the two synthetic protocols presented in this work for the fabrication of the porous TPT-Pd(II) MOCN.

## References

- [1] A. Cucinotta, J. A. Davies, K. S. Mali, S. De Feyter. *Chem. Soc. Rev* (2025), 54, 10654



# AFM & SPM analysis software from the experts

Particle analysis | Force spectroscopy | Correlative analysis  
Surface texture analysis | Multi-channel imaging & analysis  
Data correction | No-code automation | Statistical analysis & more



Now enhanced with  
**machine learning**

Full features & 30-day Free Trial  
[www.digitalsurf.com](http://www.digitalsurf.com)

# HORIBA

## SignatureSPM Scanning Probe Microscope



### The chemical AFM



HORIBA presents the SignatureSPM, the **first microscope built on a multimodal characterization platform**, integrating an automated Atomic Force Microscope (AFM) with a Raman/Photoluminescence spectrometer, enabling **true colocalized measurements of physical and chemical properties**.

### SignatureSPM will allow you to:

- Retrieve reliable and comprehensive analysis of your sample with the combined physical and chemical knowledge obtained in a single measurement (topographic, mechanical, electrical, magnetic, optical, and chemical properties).
- Shorten time to results knowledge from reduced sample handling and collecting colocalized data in real time.
- Acquire data with high level of confidence with true colocalized information, enabling complete correlation between the different sample properties.
- Gain easy access to a powerful complementary chemical characterization tool for all AFM users.



For more information contact us at [info-sci.fr@horiba.com](mailto:info-sci.fr@horiba.com)

**USA:** +1 732 494 8660  
**UK:** +44 (0)1604 542 500  
**China:** +86 (0)21 6289 6060  
**Taiwan:** +886 3 5600606

**France:** +33 (0)1 69 74 72 00  
**Italy:** +39 06 51 59 22 1  
**India:** +91 (80) 4127 3637  
**Brazil:** +55 (0)11 2923 5400

**Germany:** +49 (0) 6172 1396 0  
**Japan:** +81(75)313-8121  
**Singapore:** +65 (6) 745-8300  
**Other:** +33 (0)1 69 74 72 00

Explore the future

**HORIBA**

# Session Raymond Devos

Mardi 09/06/2026 (Raymond Devos)



Raymond Devos (1922-2006), immense figure de l'humour et du jeu sur les mots, a marqué plusieurs générations par son art unique de manier l'absurde et la langue française. Né à Mouscron en Belgique et ayant vécu à Saint-Rémy-lès-Chevreuse, il développa très tôt un goût pour les paradoxes, les sonorités et les détournements de sens. À travers ses sketches devenus célèbres, il transforma les hésitations du langage en véritables explorations poétiques et philosophiques. Son œuvre, à la frontière du théâtre, de la musique et de la littérature, continue d'inspirer par son inventivité et sa liberté d'esprit. Cette session lui rend hommage dans le lieu même où il passa ses quarante dernières années. Il est enterré dans le cimetière de Saint-Rémy.

14h00	Aurore FINCO	Détection du magnétisme à l'échelle nanométrique avec la microscopie à balayage de centre NV
15h00	Hugo VALLOIRE <sup>^</sup>	Formalisme bimodal en microscopie à sonde de Kelvin : effet hétérodyne inverse
15h20	Victor VAILLANT*	On-Surface Growth of Covalent Organic Frameworks using Fonctionnalized Aromatic Amines
15h40	Mathieu COGNARD	IA et modèles d'indentation : Optimiser l'analyse des courbes de force

# Détection du magnétisme à l'échelle nanométrique avec la microscopie à balayage de centre NV

Aurore FINCO

Laboratoire Charles Coulomb, CNRS et Université de Montpellier  
aurore.finco@umontpellier.fr

En intégrant un capteur quantique, le centre NV (ou défaut azote-lacune) du diamant, dans un microscope à balayage, on obtient une technique versatile permettant de sonder le magnétisme dans des échantillons très divers à l'échelle nanométrique [1, 2, 3]. La microscopie NV à balayage est très sensible au champ magnétique statique (avec une sensibilité typique de quelques  $\mu\text{T}/\sqrt{\text{Hz}}$ ), quantitative et non-perturbative et est ainsi particulièrement adaptée à l'étude de matériaux antiferromagnétiques, bidimensionnels ou très sensibles à la présence d'un champ externe.

Pendant ce cours, je commencerai par présenter l'architecture et le principe de fonctionnement du microscope NV à balayage, en insistant sur les différents modes de mesure et la nécessité d'étalonner les pointes afin d'obtenir des images quantitatives. Je discuterai également des principales méthodes d'analyse des données qui peuvent être utilisées pour remonter aux propriétés des objets magnétiques étudiés à partir des cartes de champ magnétique mesurées. J'illustrerai cette partie de résultats récents obtenus sur  $\text{BiFeO}_3$  [4],  $\text{Fe}_5\text{GeTe}_2$  [5] et des inclusions de magnétite dans des roches volcaniques.

Ensuite, j'introduirai le principe de la relaxométrie, qui permet de localiser et caractériser des sources de bruit magnétique en sondant la relaxation de spin du centre NV [6, 7]. Il s'agit d'une approche complémentaire à la magnétométrie, grâce à laquelle il est possible d'obtenir des informations supplémentaires sur les excitations magnétiques activées thermiquement dans l'échantillon.

Finalement, j'évoquerai les développements récents ou en cours de la technique, comme l'imagerie d'ondes de spin grâce au champ de fuite micro-onde qu'elle produisent [8], l'amélioration des performances du microscope grâce à la gradiométrie [9] ou encore l'électrométrie [10].

## Références

- [1] Finco, A. *Techniques de l'Ingénieur* (2024), R6803.
- [2] Finco, A. & Jacques, V. *APL Materials* (2023), 11, 100901.
- [3] Rondin, L. *et al. Reports on Progress in Physics* (2014), 77, 056503.
- [4] Zhong, H. *et al. Physical Review Applied* (2022) 17, 044051.
- [5] Sfeir, E. *et al. Physical Review Materials* (2025), 9, 114003.
- [6] Finco, A. *et al. Nature Communications* (2021) 12, 767.
- [7] Finco, A. *et al. Physical Review Letters* (2025) 135, 136703.
- [8] Simon, B. G. *et al. Nano Letters* (2022) 22, 9198–9204.
- [9] Huxter, W. S. *et al. Nature Communications* (2022) 13, 3761.
- [10] Huxter, W. S., Sarott, M. F., Trassin, M. & Degen, C. L. *Nature Physics* (2023) 19, 644–648.

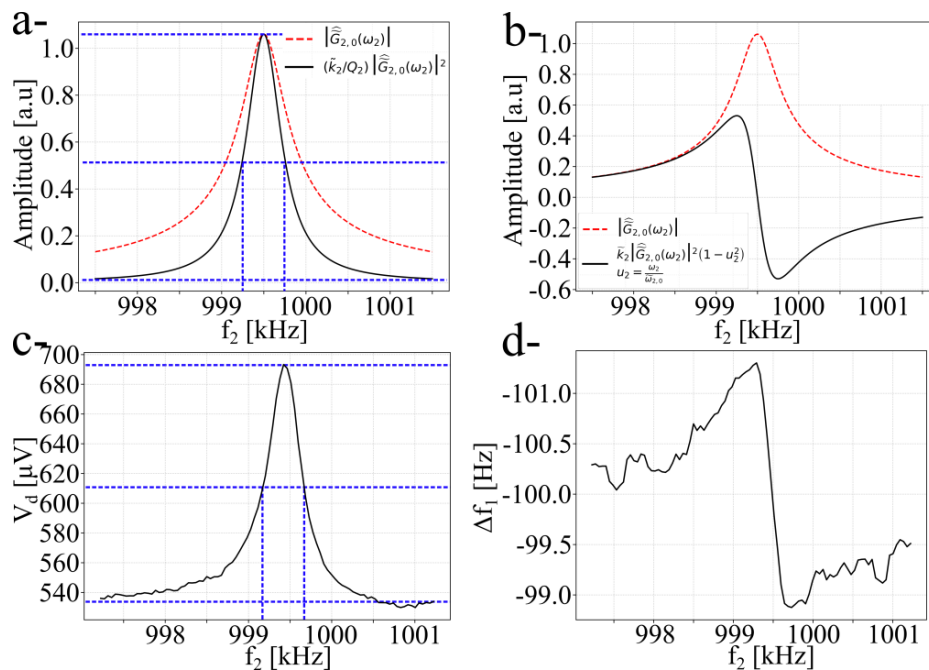
# Formalisme bimodal en microscopie à sonde de Kelvin : effet hétérodyne inverse

Hugo Valloire<sup>1</sup>, Sylvain Clair<sup>1</sup>, Christian Loppacher<sup>1</sup>, Laurent Nony<sup>1</sup> et Benjamin Grévin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aix Marseille Université, Université de Toulon, CNRS, IM2NP, Marseille, France

<sup>2</sup> Institut Néel, UPR 2940 CNRS, Grenoble, France

La microscopie de force à sonde Kelvin (KPFM) est une technique de microscopie à sonde locale utilisée pour cartographier le potentiel de surface (CPD) et les distributions de charges à l'échelle nanométrique [1]. Parmi ses variantes, le mode KPFM hétérodyne en modulation d'amplitude (AM-He-KPFM) exploite un schéma de conversion de fréquences permettant de détecter un signal amplifié par le second mode propre du levier proportionnel au gradient de force électrostatique [2]. Cependant, son fonctionnement en boucle ouverte n'avait pas encore été formalisé dans le cadre du formalisme de l'AFM bimodal [3]. Dans ce travail, nous proposons un formalisme unifié de l'AM-He-KPFM en boucle ouverte, appliqué au cas du nc-AFM sous ultravide. Le gradient de capacité pointe-surface est décrit à l'aide d'un développement de Taylor sans troncature arbitraire, ce qui confère au formalisme une validité générale, quels que soient le régime d'amplitude d'oscillation bimodale et la distance pointe-surface. Cette approche conduit à l'identification de trois régimes capacitifs utiles pour l'interprétation des mesures. Par ailleurs, le modèle met en évidence, en plus de l'effet hétérodyne direct classiquement exploité pour exciter le second mode, un effet hétérodyne inverse par lequel l'oscillation du second mode rétroagit sur la dynamique conservative et dissipative du premier. À notre connaissance, cet effet n'a pas encore été discuté ni mis en évidence dans la littérature. En injectant les expressions analytiques de la force électrostatique dans les équations du viriel et de puissance de l'AFM bimodal, nous obtenons les expressions des quatre observables clés du système : le décalage fréquentiel et la dissipation du premier mode, ainsi que l'amplitude et la phase du second mode. La confrontation aux résultats expérimentaux valide ce cadre théorique et montre que l'effet hétérodyne inverse influence principalement la dissipation et, dans une moindre mesure, le décalage fréquentiel du premier mode propre du levier, comme l'illustre la figure 1. Ce formalisme fournit ainsi une base analytique robuste pour l'interprétation quantitative de l'AM-He-KPFM en boucle ouverte et ouvre des perspectives pour d'autres techniques hétérodynes, notamment le mode double hétérodyne KPFM [4].



**Figure 1** : Évolution de la dissipation  $V_d$  et du décalage fréquentiel  $\Delta f_1$  en fonction de la fréquence d'excitation du second  $f_2$  mode autour de sa résonance. Les panneaux supérieurs présentent les termes théoriques associés, tandis que les panneaux inférieurs montrent les mesures expérimentales, mettant en évidence l'influence de l'effet hétérodyne inverse.

## Références

- [1] Melitz, W.; Shen, J.; Kummel, A. C.; Lee, S. *Surf. Sci. Rep.* **2011**, 66, 1-27.
- [2] Sugawara, Y.; Kou, L.; Ma, Z.; Kamijo, T.; Naitoh, Y.; Li, Y. J. *Appl. Phys. Lett.* **2012**, 100, 223104.
- [3] Rodríguez, T. R.; García, R. *Appl. Phys. Lett.* **2004**, 84, 449-451.
- [4] Grévin, B.; Husainy, F.; Aldakov, D.; Aumaître, C. *Beilstein J. Nanotechnol.* **2023**, 14, 1068-1084.

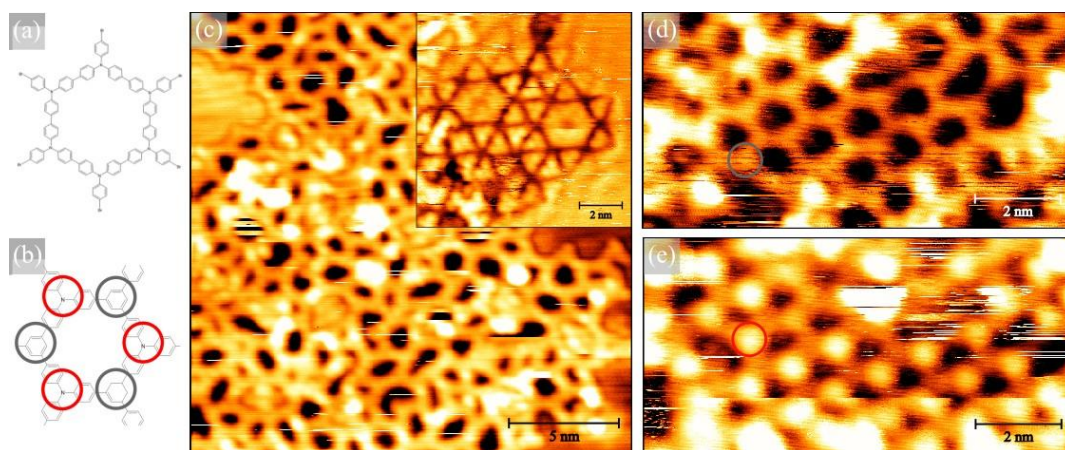
# On-Surface Growth of Covalent Organic Frameworks using Functionnalized Aromatic Amines

Edward DUNN<sup>1</sup>, Victor VAILLANT<sup>1</sup>, Maxime BERTHE<sup>1</sup>, David GUERIN<sup>1</sup>, Stéphane LENFANT<sup>1</sup>,  
Eric FAULQUES<sup>1</sup>, Nataliya KALASHNYK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520 - IEMN - Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, F-59000 Lille, France

Aromatic amine precursors have been studied to form polymers displaying effective transport layers suitable for various application. In particular, triphenylamine (TPA) is a simple, aromatic amine consisting of three phenyl rings around a nitrogen atom. TPAs are typically used as molecular precursors to build polymeric structures via wet-chemistry techniques [1,2]. Moreover, the design of TPAs makes them possible precursors to synthesize 2D covalent organic frameworks (COFs) in a similar manner as 1,3,5-triphenylbenzene derivatives [3]. However, we are not aware of any previous studies of the controlled elaboration of COFs from these TPA molecules by using this approach.

In this study, we report preliminary results on COFs growth based on to TPA derivatives. The formation of molecular domains and COFs has been investigated under ultra-high vacuum (UHV) conditions RT-STM by evaporating molecules on Au(111) and Ag(111) surfaces held at either room (RT) or elevated temperatures to induce their self-assembly or several possible reactions (i.e. cyclotrimerization, Ullmann and Glaser couplings).



**Figure 1:** (a,b) Anticipated on-surface reactions of BrTPa and Ethyl-TPA on Au(111), respectively. (c) STM images of reacted BrTPA ( $V_b = 1$  V,  $I_t = 10$  pA,  $20 \times 20$  nm<sup>2</sup>) and (inset) of small metal-organic molecular domains ( $V_b = 1$  V,  $I_t = 5$  pA,  $7.5 \times 7.5$  nm<sup>2</sup>) on Au(111). (d,e) STM images of Ethyl-TPA at positive and negative bias ( $V_b = +1$  V and  $-2$  V,  $I_t = 15$  pA,  $10 \times 5$  nm<sup>2</sup>) on Au(111), respectively.

For BrTPA precursors, two distinct self-assembled molecular patterns were obtained on Au and Ag substrates held at RT [4]. Upon annealing, debromination of the BrTPA molecules is triggered, leading to Ullman Coupling and the formations of similar reacted molecular domains on both substrates (Fig. 1c) co-existing with a few intermediate metal-organic domains (Fig. 1c inset). Surprisingly, not only structures made of six molecules (Fig. 1a), which is the most favourable regarding the substrates symmetry, were found but also structures made of two up to eight molecules.

For Ethyl-TPA building blocks, no self-assembled molecular domains were observed on either substrate. Only molecular diffusion is observed on Ag(111) when the substrate is held at room temperature, but subsequent annealing induces the formation of ordered covalent fragments.

In contrast, Ethyl-TPA on Au(111), appears to form ordered COFs even when deposited onto room-temperature substrates. This polymeric structure is grown through cyclotrimerization coupling, in which the three ethyl groups react to form a benzene-like ring between the molecules (Fig. 1b). The resulting porous hexagonal structure would exhibit half of the vertices with N atoms and the other half with these new carbon rings. The presence of alternating vertices of SCOFs formed on Au(111) is confirmed with STM images recorded at positive and negative sample bias (Fig. 1d,e).

## References

- [1] Xiang Z. et al., *Macromol. Rapid Commun.* **2012**, *33*, 1184. [2] Yen H. et al, *Polym. Chem.* **2018**, *9*, 3001.  
[3] Klappenberger F. et al., *Acc. Chem. Res.* **2015**, *48*, 2140. [4] Ooe H. et al. *The Journal of Phy. Chem. C* **2025**, *129*, 4976-4984.

## IA et modèles d'indentation : Optimiser l'analyse des courbes de force

Mathieu COGNARD *Digital Surf – France*

La spectroscopie de force est devenue un outil essentiel pour sonder les propriétés nano-mécaniques de la matière. Elle permet l'extraction de paramètres tels que le module de Young et l'énergie d'adhésion à l'échelle nanométrique, éléments cruciaux pour comprendre les relations entre la structure et les propriétés locales.

Cependant, malgré son utilisation répandue, l'analyse des courbes de force reste un défi majeur. Le traitement des données nécessite généralement un prétraitement fastidieux, une sélection manuelle du modèle d'indentation et un ajustement minutieux des courbes, ce qui conduit parfois à des résultats incohérents entre les utilisateurs et les laboratoires.

De plus, la coexistence de multiples modèles de mécanique de contact (Hertz, JKR, DMT..) crée une ambiguïté supplémentaire, particulièrement dans les systèmes hétérogènes ou adhésifs.

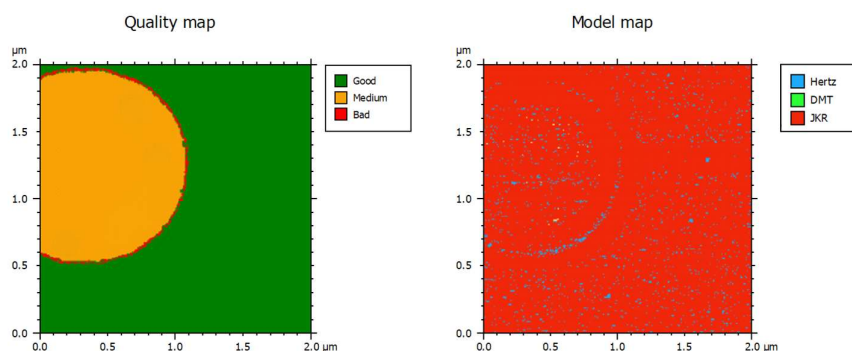
Le coefficient de Tabor fournit un cadre théorique pour relier ces modèles en définissant la transition entre différents régimes d'adhésion. Pourtant, ce paramètre a rarement été implémenté dans des outils d'analyse accessibles aux expérimentateurs.

Nous présentons de nouveaux développements logiciels dans Mountains® qui intègrent le coefficient de Tabor comme critère objectif pour guider la sélection du modèle. Le process combine un prétraitement automatisé, un ajustement simultané à plusieurs modèles et une notation quantitative pour identifier la description mécanique la plus appropriée. Cette approche réduit le biais de l'utilisateur, améliore la reproductibilité et permet le traitement fiable de grands ensembles de données.

La validation sur des copolymères et des blends démontre la robustesse de la méthode. Ces systèmes, caractérisés par des variations locales de rigidité et d'adhésion, constituent des cas tests rigoureux où les approches classiques à modèle unique échouent souvent. En identifiant automatiquement le modèle de contact le plus adapté pour chaque courbe, nos outils permettent une cartographie mécanique cohérente et des interprétations quantitatives plus fiables.

En plus de la sélection du modèle d'indentation, la qualité des données elle-même est un facteur critique. Nous introduisons donc un outil basé sur l'IA qui effectue une évaluation automatisée de la qualité des courbes de force. Cet outil compare les courbes acquises à une base de données de référence organisée, fournissant un retour en temps réel à l'utilisateur sur la fiabilité des mesures. Au-delà de la validation immédiate, cette fonctionnalité ouvre la voie à l'apprentissage adaptatif : dans les versions futures, les chercheurs pourront créer et enrichir leurs propres bases de données, adaptant les mesures de qualité à leurs configurations expérimentales et types d'échantillons.

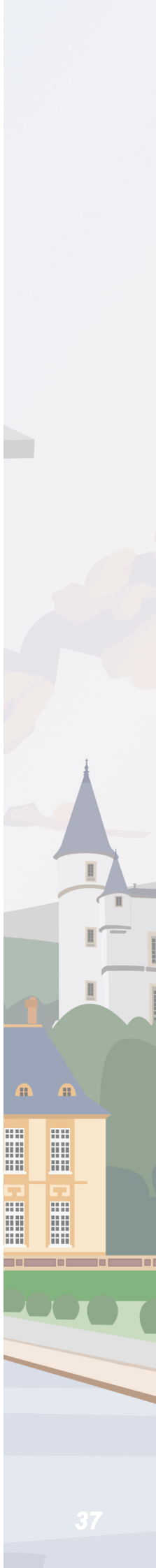
Ensemble, ces développements établissent un process complet pour la nano-mécanique en combinant compréhension physique (via le coefficient de Tabor), robustesse algorithmique (ajustement multi-modèle et scoring) et intelligence artificielle (évaluation de la qualité des données). Cette méthodologie ouvre la voie à une analyse des courbes de force standardisée, automatisée et reproductible dans la recherche sur les polymères et la matière molle, offrant un cadre évolutif adaptable à divers matériaux et conditions expérimentales.



**Figure 1** : Cartographies de la qualité estimée des courbes de force (gauche) et de sélection du modèle d'indentation (droite) sur mélange de polymères

# Notes

---

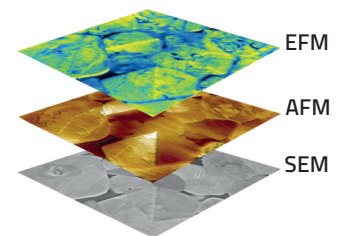
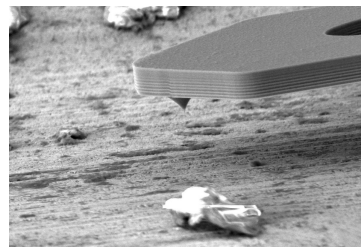
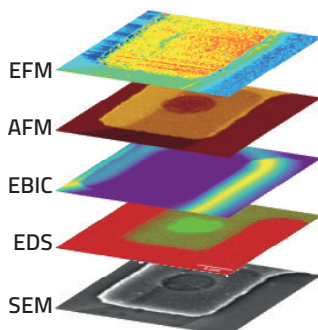


## Your solution for correlative AFM, SEM, and EDS



### FusionScope®

- Fully integrated correlative AFM-SEM-EDS system designed as a single platform, delivering seamless workflows and precise, unified analysis at the nanoscale.
- Enables advanced positioning and true correlative measurements thanks to FusionScope's unique profile view
- Offering superior accuracy, ease of use, and multimodal analysis capabilities compared to add-on solutions.



### AFSEM® nano

- AFM solution integrated into an existing SEM, enabling in-situ nanoscale surface and material characterization
- Focuses on flexibility and cost-efficiency by upgrading conventional SEM systems with AFM capabilities
- Open Design makes it compatible with add-ons like shuttle, heating and tensile stages as well as big samples, such as wafers



# schaefer scientific

Forum des Microscopies à sonde locale:  
Du 8 au 12 juin 2026  
Saint Remy Les Chevreuse



Advanced Research Systems

Complete cryogenic solutions for your  
experimental applications from 4 K to  
800 K

RHK Technology  
Beetle and Pan Scan Freedom UHV STM/AFM  
with the R10 Controller



AFM Cantilevers :



Vacuum Gauges and Gas  
Mass flow meters



Andeen Hagerling  
Capacitance Bridges



[info@schaefer-scientific.com](mailto:info@schaefer-scientific.com)

Tel. :+49-6103-30098-0

Mob. :+33 (0)6 80 71 07 35

# Session La ligne de Sceaux

Mercredi 10/06/2026 (La Ligne de Sceaux)



*La ligne de sceaux à la gare de la cité universitaire (carte postale ancienne)*

La ligne de Sceaux est ouverte en 1846 pour mettre en oeuvre le système Arnoux qui permettait d'améliorer la vitesse des trains dans les courbes, et allait au début de Denfert Rochereau à Sceaux. On peut voir encore aujourd'hui à la gare de Denfert-Rochereau le reste de la rotonde qui permettait aux trains de tourner de 180° pour repartir dans l'autre sens. La ligne, très profitable en été, souffre de déficit le reste de l'année et est donc prolongé en 1854 jusqu'à Orsay pour favoriser notamment le transport de marchandise, notamment la fraise de Gif qui était très apprécié à Paris. La ligne de Sceaux est prolongée jusqu'à Limours en 1862 en passant par Saint Remy les Chevreuse et le vallon de Saint Paul, où nous nous trouvons. La ligne sera prolongée à Paris jusqu'à Luxembourg par un tunnel dans les années 1890. Mais l'électrification de la ligne, commencé en 1929 et rendu nécessaire par la perspective de poursuivre la ligne dans des tunnels sous Paris vers le nord, s'arrêtera en 1939 à Sant Remy les Chevreuse et ne se poursuivra jamais jusqu'à Limours. Ce tronçon sera abandonné pendant la guerre et déclassé définitivement en 1967. Aujourd'hui ce qui reste de cette portion de ligne est une piste cyclable et de promenade, alors qu'au nord la ligne sera raccordée à Châtelet-les-Halles en 1977, puis jusqu'à l'aéroport de Paris Charles de Gaulle en 1983 pour devenir la ligne B du RER parisien.

8h30	Lucie CORRAL*	Sondage sans contact de la mécanique d'interfaces liquides par FM-AFM sous confinement hydrodynamique
8h50	Wissem GHARIANI*	Au Deposition on P/Au(111): Interfacial and Structural Evolution
9h10	Marie KANDYLI*	Nanoscale Phase Separation in Mixed Diacetylene Langmuir Films Investigated by AFM and Revealed by KPFM
9h30	Marine RICHARD*	Vers l'identification des centres colorés sur la surface oxydée de 4H-SiC
9h50	Peter DE WOLF	Gated Peak Force IR for correlative nanoscale chemical and mechanical AFM-IR
10h10	Ziad GHARIBEH*	Scanning Microwave Impedance Microscopy (sMIM) for Surface and Subsurface Electrical Characterization of Advanced Microelectronic Devices

## Sondage sans contact de la mécanique d'interfaces liquides par FM-AFM sous confinement hydrodynamique

Lucie CORRAL, Hubert KLEIN, Marc LEONETTI

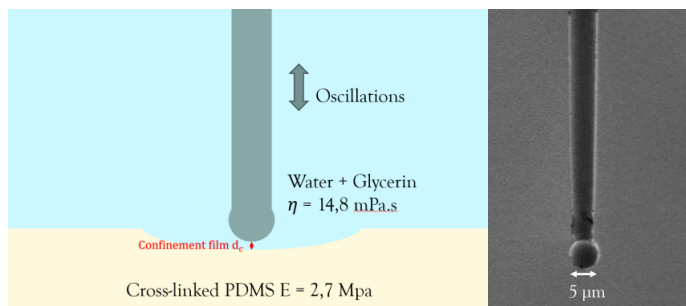
Aix-Marseille Université, CNRS, CINaM, Marseille, France

La caractérisation mécanique d'interfaces liquides à l'échelle micro- et nanométrique reste difficile car toute sonde solide mise en contact pénètre l'interface et perturbe la mesure. Nous développons une approche strictement sans contact basée sur la microscopie à force atomique en modulation de fréquence (FM-AFM) [1], où l'interaction sonde-interface est médiée uniquement par le confinement hydrodynamique d'un film liquide mince. Les variations de fréquence et de dissipation donnent simultanément accès aux composantes élastique et dissipative de la réponse interfaciale.

La sonde consiste en une microfibre de verre terminée par une microsphère fixée sur un diapason de quartz à haute raideur et fort facteur de qualité. Les signaux sont convertis en impédance mécanique complexe  $Z'$  et  $Z''$ , donnant respectivement accès à l'élasticité apparente et aux pertes visqueuses du film confiné. Après soustraction du fond hydrodynamique volumique, les contributions interfaciales sont isolées quantitativement.

La méthode est d'abord validée sur une interface liquide-solide (eau-glycérol / PDMS réticulé), pour laquelle la théorie élastohydrodynamique fournit une description quantitative du drainage oscillatoire [2]. Nous extrayons une épaisseur de film confiné  $d_c \approx 120-150 \text{ nm}$ . Nous appliquons ensuite le protocole à une interface liquide-liquide (PDMS / eau-glycérol), configuration sans élasticité solide, révélant une réponse dominée par la dissipation visqueuse et une épaisseur confinée beaucoup plus grande ( $d_c \approx 1 \mu\text{m}$ ), comme observé avec des sondes fibrées en milieu liquide [3].

Cette approche FM-AFM constitue ainsi un outil quantitatif, non invasif et polyvalent pour sonder la mécanique locale d'interfaces molles ou complexes sous confinement hydrodynamique.



**Figure 1** : Principe du sondage FM-AFM : le confinement hydrodynamique module fréquence et dissipation, révélant l'impédance mécanique de l'interface sans contact.

### Références

- [1] Giessibl, F. J. Advances in Atomic Force Microscopy. *Rev. Mod. Phys.* **2003**, 75, 949–983.
- [2] Leroy, S.; Charlaix, E. Hydrodynamic interactions for the measurement of thin film elastic properties. *J. Fluid Mech.* **2011**, 674, 389–407.
- [3] Rocheron, M.; Curtil, C.; Klein, H. R. FM-AFM with a Hanging Fiber Probe for the Study of Liquid-Liquid Interfaces. *Langmuir* **2022**, 38, 6592–6601.

## Au Deposition on P/Au(111): Interfacial and Structural Evolution

W. Ghariani, Y. Girard

Université Paris Cité – UMR 7162, Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques

Phosphorene has attracted considerable attention due to its promising electronic properties. Epitaxial growth of P on Au(111) leads to the formation of a  $p(5\times 5)$ -Phosphorus surface structure, which exhibits a flower-like superstructure. In this work, the intercalation of gold underneath this template is investigated using scanning tunneling microscopy (STM).

The structural evolution of the system is studied as a function of gold coverage and temperature, with particular attention to intercalation processes and phosphorus surfactant effects.

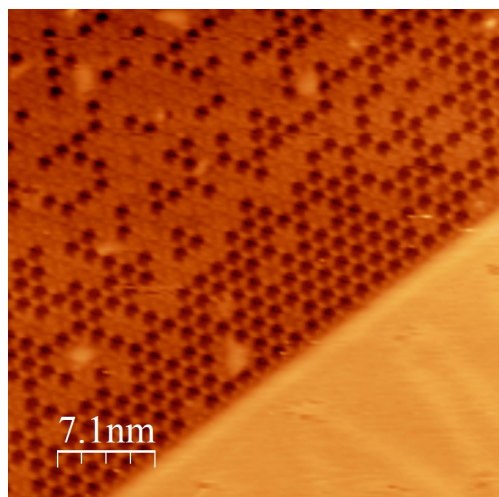
We observe the following evolution. First, Au adatoms and clusters nucleate preferentially at the center of the flowers. Then, underlying P atoms are exchanged with Au and form small islands of  $p(5\times 5)$ -P above a reconstituted Au plane. Second, after annealing, we observed (Fig 1.a) the formation of another kind of  $p(5\times 5)$  structure mixed within the matrix of the  $p(5\times 5)$ -P. Finally (Fig 1.b), all the added Au atoms create new terraces exhibiting the original structure.

We explain this behavior by a surfactant effect, even at room temperature, where phosphorus atoms segregate due to the lower surface energy of the  $p(5\times 5)$ -P structure compared to the Au(111) one.

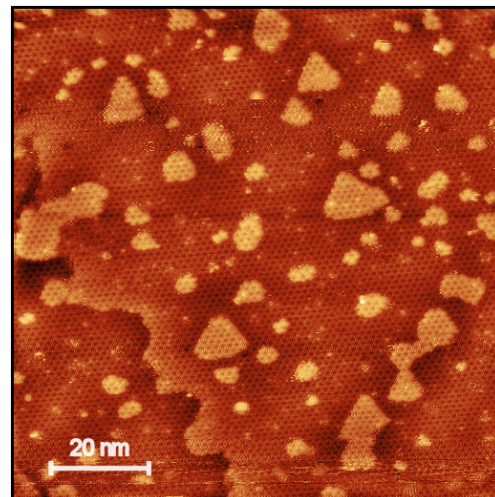
Therefore, we conclude that a strong mixing of P and Au is at the origin of the supposed blue-P observed on this surface [1], which, in fact, should rather be considered as a bidimensional alloy [2].

[1] J. L. Zhang et al., Epitaxial Growth of Single Layer Blue Phosphorus: A New Phase of Two-Dimensional Phosphorus, *Nano Lett.* 16, 4903 (2016).

[2] S. D. Puppo et al., Blue phosphorene on Au(111): theoretical, spectroscopic and diffraction analysis reveal the role of single Au adatoms, *Nanoscale Adv.* 6, 3582 (2024).



**(a)** New  $p(5\times 5)$  phase (dark hexagons) obtained after annealing of Au atoms on a  $p(5\times 5)$ -P (flower-like). To the right of the image, a reconstructed Au(111) terrace.



**(b)** Au islands obtained after "intercalation" of a first Au deposition. All the surface is covered by the  $p(5\times 5)$ -P structure.

Figure 1: STM Image of gold deposition over  $p(5\times 5)$ -P /Au(111).

# Nanoscale Phase Separation in Mixed Diacetylene Langmuir Films Investigated by AFM and Revealed by KPFM

Maria Kandyli <sup>a,b</sup>, Sylvie Spagnoli <sup>a</sup>, Kamal Sbagoud <sup>a</sup>, Hervé Cruguel <sup>a</sup>, Hayfa Jeridi <sup>b</sup>, Philippe Fontaine <sup>c</sup>, Arnaud Hemmerle <sup>c</sup>, Michel Goldmann <sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> Institut des NanoSciences de Paris (INSP), Sorbonne Université, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

<sup>b</sup> Laboratory of Research in Interdisciplinary Digital Engineering & Sciences (LyRIDS), ECE, Campus Eiffel 1, 10 rue Sextius Michel, 75015 Paris

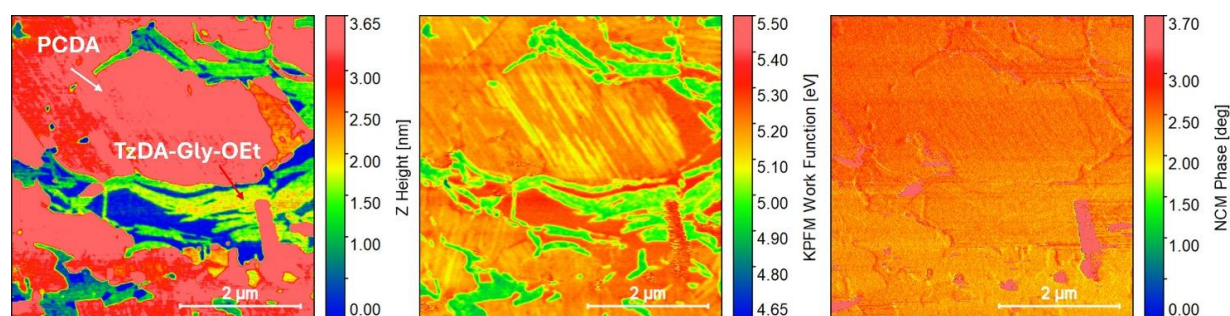
<sup>c</sup> Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers, Saint Aubin, BP48, 91192 Gif sur Yvette Cedex, France

Polydiacetylenes (PDAs) are conjugated polymers well known for their pronounced chromatic and fluorescence transitions (blue-to-red and non-emissive to emissive) in response to external stimuli such as temperature, light, or mechanical stress. [1] These properties make them promising materials for responsive ultra-thin films and optical sensing platforms. The sensitivity of this chromatic transition is expected to be further enhanced by incorporating a tetrazine fluorophore into the system [2]. However, the influence of interfacial molecular organization on polymerization efficiency and the resulting optical response remains poorly understood.

In this work, we investigate ultra-thin (~2.5 nm) tetrazine-functionalized PDA films prepared by the Langmuir technique at the air–water interface. Grazing-Incidence X-ray Diffraction (GIXD) shows that the monolayer is organized in a centered rectangular lattice. However, UV irradiation experiments performed at different surface pressures and molecular areas reveal that this molecular organization is not compatible with diacetylene polymerization.

To promote polymerization, we explored mixed Langmuir films composed of tetrazine-functionalized TzDA-Gly-OEt and the well-known polymerizable diacetylene PCDA [3] at two molar ratios (50:50 and 20:80). Atomic force microscopy (AFM) provided insight into the film topography and morphology, revealing the presence of two distinct morphological domains. However, AFM phase imaging alone did not allow unambiguous assignment of these domains to the respective molecular components. Kelvin probe force microscopy (KPFM) proved particularly powerful for this system, as the two molecules exhibit distinct surface potentials, enabling clear identification of the different domains and revealing phase segregation within the Langmuir layer. Grazing-incidence X-ray diffraction (GIXD) measurements on the mixed films further supported this interpretation by confirming the presence of phase segregation.

Overall, these results highlight the key role of molecular organization in controlling diacetylene polymerization in tetrazine-functionalized ultra-thin films. The combination of structural (GIXD) and nanoscale probe techniques (AFM and KPFM) provides valuable insight into phase segregation and domain composition, offering important guidelines for the design of responsive PDA-based sensing platforms.



**Figure 1** : KPFM characterization of a mixed Langmuir film transferred onto a solid substrate. The left image shows the surface topography obtained by AFM, revealing two distinct morphological domains. The center image presents the work function map measured by KPFM, while the right image displays the AFM phase signal.

## References

- [1] F. Fang, F. Meng, L. Luo, *Mater. Chem. Front.* **2020**, vol. 4, pp. 1089-1104.
- [2] L. Polacchi, A. Brosseau, A. Smith et al., *Chem. Commun.* **2019**, vol. 55, 14566-14569.
- [3] Y. Lifshitz, Y. Golan, O. Konovalov et al., *Langmuir* **2009**, vol. 25(8), 4469–4477.

## Vers l'identification des centres colorés sur la surface oxydée de 4H-SiC

Marine RICHARD<sup>1</sup>, Antoine BOREL<sup>1</sup>, Natalia ALYABYEVA<sup>1</sup>, Jacques PERETTI<sup>1</sup>, Yann JOUSSEAUME<sup>2</sup>, Gabriel FERRO<sup>2</sup>, Fabian CADIZ<sup>1</sup>, Yves LASSAILLY, Léonard SCHUE<sup>1</sup> et Alistair ROWE<sup>1</sup>

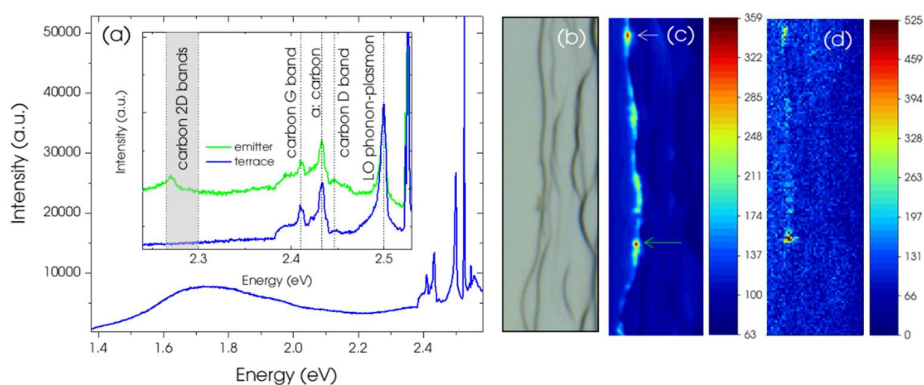
<sup>1</sup>Laboratoire de physique de la matière condensée, CNRS, Ecole Polytechnique, IP Paris, 91128 Palaiseau, France

<sup>2</sup>Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS, LMI UMR 5615, Villeurbanne, F-69100

Les propriétés de la surface oxydée de 4H-SiC sont primordiales pour les dispositifs d'électronique de puissance. En effet, les défauts d'interface oxyde/4H-SiC sont responsables d'une dissipation accrue et d'une dérive de la tension de seuil des transistors de puissance [1]. L'identification de ces défauts permettrait de mieux développer des stratégies visant à minimiser leur densité, voire à les éliminer. Certains de ces défauts émettent de la luminescence, ce qui offre un moyen supplémentaire de les identifier. Nous étudions, par microscopie de photoluminescence (PL) et microscopie d'électroluminescence (EL) tunnel, des surfaces originales de 4H-SiC dites « step-bunched », couvertes par leur oxyde natif [2]. Comme le montre la figure 1(b), ces surfaces consistent en une série de terrasses (en clair) et de « risers » (en noir). Les terrasses correspondent aux plans cristallins (0001) du substrat initial, tandis que les « risers » sont en moyenne orientés parallèlement aux plans cristallins (11 $\bar{2}$ 0), mais présentent un désordre plus élevé que les terrasses. Ce désordre est associé à une augmentation importante de la densité de défauts de surface.

La Fig. 1(a) montre un spectre typique de PL à 300 K, obtenu avec une excitation à 2,62 eV. La PL de surface correspond au pic très large centré à 1,73 eV. D'autres pics, à plus haute énergie, correspondent aux raies Raman dont certaines sont identifiées dans l'encadré. La carte de la Fig. 1(c) correspond à l'intensité intégrée (entre 1,61 eV et 1,85 eV) de la PL mesurée sur la zone présentée en lumière blanche en Fig. 1(b). Une ligne relativement intense est visible et correspond au « riser » situé à gauche dans la Fig. 1(b). Sur cette ligne, on observe deux zones encore plus intenses, indiquées par les flèches (blanche et verte). Le spectre vert dans l'encadré de la Fig. 1(a) est acquis sur l'émetteur indiqué par la flèche verte. La Fig. 1(d) correspond à l'intensité du pic Raman dans la bande 2D du graphite. Ce pic est systématiquement présent aux endroits où la PL est la plus intense, comme le montre la comparaison des Figs. 1(c) et 1(d). Les pics Raman liés au carbone amorphe sont, en revanche, présents sur l'ensemble de la surface. Nous proposons que la PL intense soit due aux états de surface associés à un polymorphe du carbone contenant des liaisons sp<sup>2</sup>.

Nous présenterons également des études de microscopie d'EL tunnel [3], une technique de sonde locale permettant de combiner la spectroscopie optique avec la résolution spatiale de la microscopie à effet tunnel (STM). Le décalage vers le bleu de la PL mentionné ci-dessus est également observé dans les images d'EL tunnel. La résolution spatiale nanométrique permet d'affirmer que l'EL est systématiquement plus bleue à l'intérieur des « risers » que sur les terrasses, une observation impossible avec la microscopie optique, car les « risers » ont une largeur d'environ 0,3  $\mu$ m, correspondant à la limite de résolution de cette technique.



**Figure 1** : (a) Spectre de PL avec des composantes Raman (voir encadré) à haute énergie. (b) Image de microscopie optique en lumière blanche montrant des terrasses et des « risers ». (c) Carte de PL acquise sur la même zone que celle montrée en (b). (d) Carte de l'intensité du pic Raman correspondant à la bande 2D du carbone, également acquise sur la même zone que celle montrée en (b).

### Références

- [1] Kimoto, T. et al., *Applied Physics Express* **2020**, 13, 120101
- [2] Jousseume, Y. et al., *Materials Science Forum* **2023**, 1089, 9
- [3] Alyabyeva, N. et al., *Physica Status Solidi (b)* **2023**, 260, 2370013

# Gated Peak Force IR for correlative nanoscale chemical and mechanical AFM-IR

Peter DE WOLF, Cassandra PHILLIPS, Qichi HU Chunzeng LI, Martin WAGNER

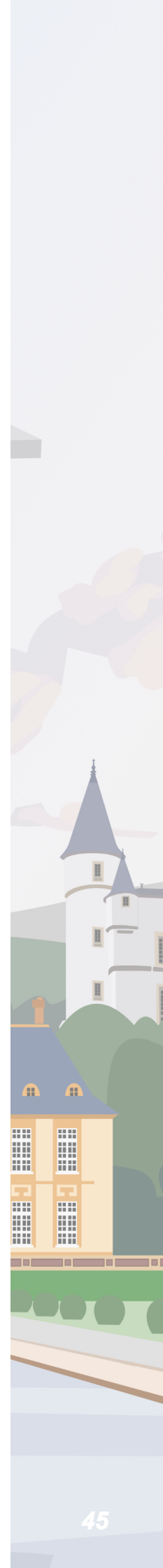
*Bruker Nano Surfaces, Santa Barbara CA 93117, USA*

Nanoscale infrared (nano-IR) microscopy enables label-free chemical imaging and spectroscopy at the nanometer scale by combining atomic force microscopy (AFM) with infrared radiation. Over the years, AFM-IR has been developed further through coupling with different AFM imaging modes: the original photothermal induced resonance mode and the recently developed surface sensitive technique are based on contact mode, while Tapping AFM-IR is built on tapping mode [1]. Peak Force Tapping based Peak Force infrared (PFIR) microscopy [2] later joined as an additional AFM-IR mode. All these nano-IR variations inherit the advantages and limitations of their respective AFM base mode. PFIR has demonstrated monolayer detection sensitivity and 10 nm spatial resolution for IR measurements and enabled simultaneous nanoscale mechanical characterizations.

In the presented work, gated measurements are introduced for PFIR: the AFM-IR signals are detected during specific time segments of the PeakForce Tapping oscillation cycle, typically corresponding to the time of contact between tip & sample. Compared to previously non-gated PFIR which collects averaged AFM-IR signal over the whole peak force cycle, gated PFIR has shown enhanced AFM-IR performance. In this presentation we will report: (1) improved signal to noise ratio of the AFM-IR signal by a factor of up to 4 with optimum timing and width of the gating. (2) potential to collect gated AFM-IR measurements during both the contact and non-contact parts of the PeakForce Tapping cycle, an approach which can be used to enhance spectral performance by applying an in-situ subtraction of the background signal. (3) comparison of PFIR signal between flexural and torsional modes, and homodyne and heterodyne detection schemes. (4) capability to perform simultaneous multimodal imaging collecting both chemical information and mechanical properties such as elastic modulus and adhesion.

## Références

- [1] J. Mathurin, A. Deniset-Besseau, D. Bazin, E. Dartois, M. Wagner, A. Dazzi, *J. Appl. Phys.* **2022**, 131, 010901.
- [2] L. Wang, H. Wang, X. Xu, *Chem. Soc. Rev.* **2022**, 51, 5268.



# Scanning Microwave Impedance Microscopy (sMIM) for Surface and Subsurface Electrical Characterization of Advanced Microelectronic Devices

Ziad GHARIBEH<sup>1,2</sup>, Maxime LEMENAGER<sup>2</sup>, Hind BOUSBIA<sup>2</sup>, Yves AUBRY<sup>2</sup>, Ulrike LÜDERS<sup>1</sup>  
and Rosine COQ GERMANICUS<sup>1</sup>

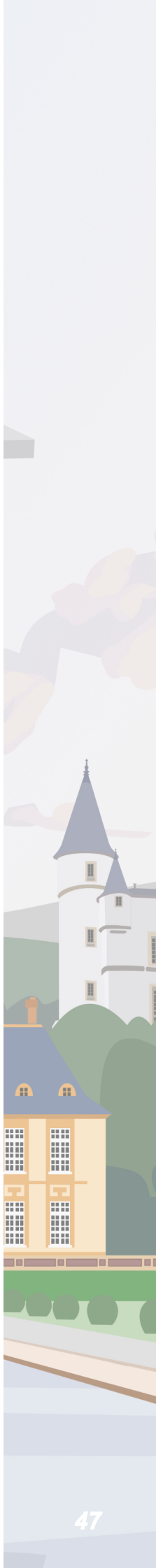
<sup>1</sup>Normandie Univ, Unicaen, Ensicaen, CNRS, Crismat UMR6508, 14000 Caen, France

<sup>2</sup>Murata Integrated Passive Solutions, 2 rue de la girafe, 14000 Caen, France

Scanning Microwave Impedance Microscopy (sMIM) is a near-field electrical characterization technique that combines Atomic Force Microscopy (AFM) with GHz-frequency microwave reflection measurements [1]. A 3 GHz signal travels through a shielded conductive AFM tip and the reflected response is recorded, simultaneously to the topography, sMIM provides simultaneous access to local capacitive and resistive contrasts through its extracted signals sMIM-C and sMIM-R signals respectively. Measurements are directly related to nanoscale variations in permittivity and conductivity. This technique has demonstrated its relevance for the investigation of microelectronic devices, including the electrical characterization of PIN diodes and SiC MOSFET architectures [2],[3]. In this work, the power and versatility of sMIM are proved for the characterization of advanced microelectronic dies, focusing on interconnection layers in highly integrated capacitors. For this, a  $7\ \mu\text{m} \times 7\ \mu\text{m}$  scan is performed on an interconnection stack. The AFM topography image (Fig. 1a) allows the distinction between the different layer roughness due to the cross-section sample preparation by precise polishing. In addition, the corresponding raw sMIM-C map (Fig. 1b) distinctly resolves metallic and insulating layers as well as their interfaces, highlighting the strong electrical contrast achievable without electrical back contact. To quantitatively distinguish the different regions, particle analysis is performed using Mountains software, enabling segmentation of each layer and extraction of their average sMIM-C signals (Fig. 1c). This statistical approach allows clear electrical separation of materials within the interconnect architecture. In addition, to further interpret the experimental contrasts, finite element simulations of the tip-sample interaction are carried out using the AC/DC module of COMSOL Multiphysics simulation program. The simulated sMIM-C and sMIM-R responses are computed for conductivities ranging from  $10^{-4}\ \text{S/m}$  to  $10^4\ \text{S/m}$  (Fig. 1e), covering the transition from insulating to metallic behavior and reproducing the observed signal evolution. The experimentally extracted mean sMIM-C values from Fig. 1c are added to Fig. 1e and follow the same increasing simulated conductivity dependent trend. Fig. 1d presents a COMSOL simulation of the microwave field penetration depth for a configuration consisting of 20 nm  $\text{SiO}_2$  on bulk silicon. The simulation confirms the interaction of the electromagnetic field through the insulating layer down to the silicon substrate, in agreement with experimental observations. Complementary measurements performed on calibration samples using scanning and spectroscopic modes demonstrating the sensitivity of the sMIM mode in the X, Y, and Z directions will be discussed. This behavior is also observed in the simulations, which show signal propagation not only beneath the tip but also in the lateral directions. This three-dimensional sensitivity explains in particular the relatively high sMIM-C signal in the interface region, which is related to the highly conductive adjacent layers and not caused by topographical overlap. These results establish sMIM as a versatile, non-destructive tool for comprehensive electrical and subsurface characterization of advanced microelectronic dies supported by the COMSOL simulation and different calibration techniques to interpret results.

# Notes

---



# Session Juliette Adam

**Mercredi 10/06/2026 (Juliette Adam)**



Juliette Adam écrivaine française (1836 - 1936) serait, si elle vivait aujourd'hui, peut-être considérée comme une influenceuse, avec l'important réseau social de son salon où se rencontrait toute la société de la troisième république, et l'influence que lui donnait sa proximité avec le pouvoir politique (Thiers, Gambetta, Clemenceau) et culturel (Hugo, Sand, Loti, Barrès, Renard, Flaubert, Tourgueniev). Juliette Lambert, c'est son nom, née dans une famille picarde, se marie au premier prétendant qui l'emmène à Paris pour y être célèbre. Le mariage avec Mr Lamessine n'est pas heureux mais elle entre en littérature en 1958 en publiant un livre féministe, qui sera salué par Marie d'Agoult et George Sand, en réponse à un pamphlet profondément misogyne de Proudhon. Elle se sépare de son mari et épouse Edmond Adam, banquier et homme politique avec qui elle fonde un salon qui attirera le tout Paris, et un journal *La nouvelle Revue* en 1870. Son influence

est telle que l'on dira qu'elle a fondé la troisième république, mais elle ne perdra jamais son féminisme : le 18 janvier 1894, les rues de Paris sont couvertes d'affiches signées Juliette Adam, Jeanne Schmahl et la duchesse d'Uzes réclamant le droit pour les femmes d'être témoin légal et de disposer de leur salaire. De son activisme anti-prussien elle devient après la première guerre mondiale « la grand-mère de la patrie ». Elle achète en 1882 les ruines de l'abbaye de Gif qu'elle rénovera, et dans laquelle elle organisera encore jusqu'à sa mort de grandes réceptions (in *et c'est moi Juliette!* édition de la Saga 1988).

11h00	Qirong ZHU <sup>^</sup>	Magnetic Monopole-Like Behavior in Superparamagnetic Nanoparticle Coated With Chiral Molecules		
11h20	Melissa HANKACHE*	Auto-assemblage et activation thermique contrôlée du dibromo-dibenzothiophène-sulfoxyde sur Au(111)		
11h40	David ALBERTINI	Optical and thermal tracking of the insulator-to-metal transition within vanadium oxide-based memristors in operation		
12h00	présentations industriels	Quantum Design	Schaefer Scientific	ScienTec

# Magnetic Monopole-Like Behavior in Superparamagnetic Nanoparticle Coated With Chiral Molecules

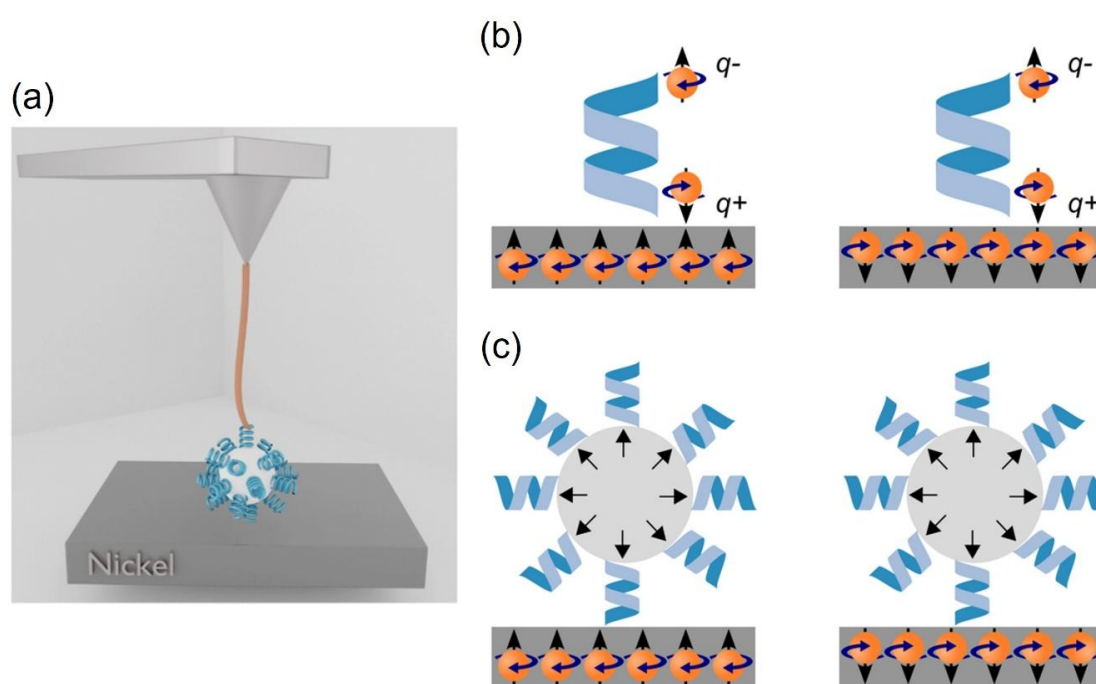
Qirong Zhu,<sup>1</sup> Sidney R. Cohen,<sup>2</sup> Olga Brontvein,<sup>2</sup> Jonas Fransson,<sup>3</sup> Ron Naaman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical and Biological Physics, Weizmann Institute of Science, Rehovot 76100, Israel

<sup>2</sup>Department of Chemical Research Support, Weizmann Institute of Science, Rehovot 76100, Israel

<sup>3</sup>Department of Physics and Astronomy, Uppsala University, Box 516, Uppsala 75120, Sweden

In this work, we show experimentally and by calculations that each chiral nanoparticle behaves as a magnetic monopole in the near field while the magnetic field is zero at the far field. The special magnetic properties result from the chiral-induced spin selectivity (CISS) effect that causes the polarization of the spin of the outer layer of the iron oxide, so that all the spins are aligned outward from or inward toward the nanoparticle, depending on the handedness of the adsorbed chiral molecules. Therefore, these particles show magnetic monopole-like properties in the near field and can be used in technologies such as energy storage.



**Figure 1 :** (a) A scheme of the SPION attached to the AFM tip via the polyethylene glycol (PEG) linker. (b) The charge and spin distribution upon the approach of a chiral molecule to the ferromagnetic surface. Upon approach an induced electric dipole moment is formed ( $q+$  and  $q-$ ) accompanied by spin polarization. The handedness of the molecule determines which spin is associated with which electric pole. (c) For the molecule to bind to the superparamagnetic particles, the spins in the outer layers of the particles are aligned to be antiparallel to the spin on the molecular binding site. As a result, the spin alignment on the surface of the nanoparticles is defined by the handedness of the molecules.

Superparamagnetic iron oxide nanoparticles (SPIONs) have attracted wide attention due to their promising applications in biomedicine, chemical catalysis, and magnetic memory devices. In this study, the force is measured between a single SPION coated with chiral molecules and a ferromagnetic substrate by atomic force microscopy (AFM) based force spectroscopy, with the substrate magnetized either toward or away from the approaching AFM tip. The force between the chiral molecules coated SPION (chiral SPION) and the magnetic substrate depends on the handedness of the chiral molecules and on the direction of the magnetization of the substrate. By inserting nm-scale spacing layers between the chiral SPION and the magnetic substrate it is shown that the SPION has a short-range magnetic monopole-like magnetic field. A theoretical framework for the nature of this field is provided. The model visualizes the possibility to have a nanoparticle with a “monopole like” magnetic moment, with all the moments pointing outward. Within the particle the magnetic moments cancel each other to a large extent.

## References

[1] Zhu, Q.; Cohen, S.; Brontvein, O.; Fransson, J.; Naaman, R. *Small* **2024**, *20*, 2406631.

## Auto-assemblage et activation thermique contrôlée du dibromo-dibenzothiophène-sulfoxyde sur Au(111)

M. Hankache<sup>1</sup>, E. Geagea<sup>2</sup>, L.Nony<sup>1</sup>, C.Kammerer<sup>3</sup>, C.Loppacher<sup>1</sup>, S.Claire<sup>1</sup> & L.Giovanelli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Aix-Marseille Université, CNRS, Université de Toulon, IM2NP, Marseille, France.

<sup>2</sup>Département de physique, Centre de recherche WSS pour les systèmes quantiques moléculaires, Université de Bâle, Bâle, Suisse.

<sup>3</sup>CEMES, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France.

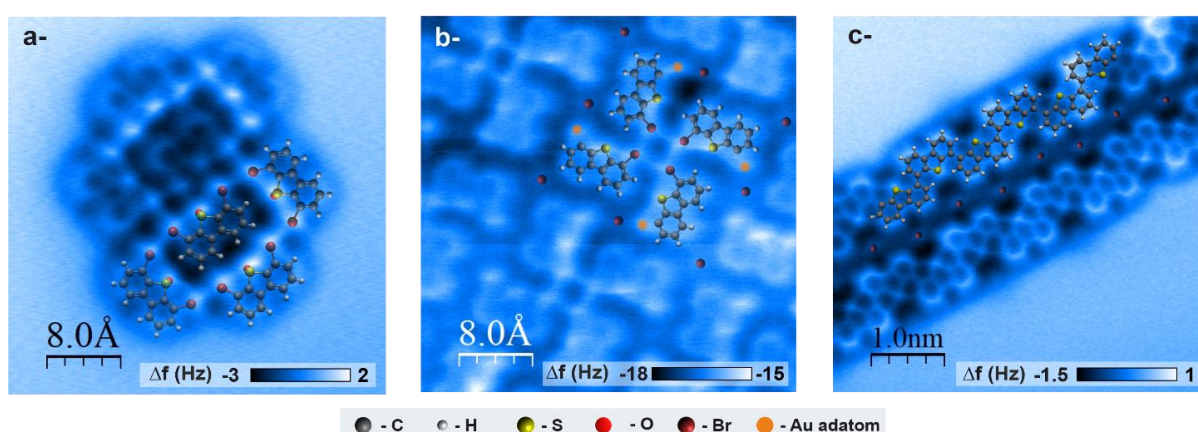
La chimie des composés organosoufrés constitue un domaine central de la synthèse organique, avec de nombreuses applications dans les industries chimique et pharmaceutique. En chimie sur surface, les molécules soufrées sont couramment utilisées pour former des monocouches auto-assemblées (SAMs) sur des surfaces d'or, en raison de la forte chimisorption Au-S [1]. Toutefois, l'influence de l'oxydation du soufre sur l'adsorption et la réactivité sur surface de ces composés reste peu explorée.

Dans un travail précédent, nous avons exploré la réactivité d'un de ces dérivés sulfoxydes sur un substrat isolant, démontrant la transposabilité sur surface des mécanismes photochimiques des sulfoxydes observés en solution [2]. Dans la continuité de cette étude, nous présentons ici une investigation expérimentale et théorique approfondie du comportement du dibromo-dibenzothiophène S-oxyde adsorbé sur Au(111).

Les molécules ont été déposées sur Au(111) puis caractérisées par microscopie à sonde locale (SPM), combinant STM et nc-AFM. L'imagerie intramoléculaire d'une molécule isolée en nc-AFM avec pointe fonctionnalisée CO (à 9K) a permis d'identifier sa configuration d'adsorption. La molécule interagit avec la surface via l'oxygène plutôt que par le soufre. Ce résultat est confirmé par des simulations d'images AFM (//ppr.fzu.cz/), des mesures d'ondes stationnaires X (NIXSW) et des calculs DFT.

Après dépôt à température ambiante, plusieurs phases d'auto-assemblage dépendantes de la couverture sont observées, mettant en évidence le rôle structurant des interactions halogène-halogène (Fig1a). L'évolution du système en fonction de la température de recuit est ensuite étudiée par une approche combinée SPM et XPS. La désoxygénation du groupe sulfoxyde est initiée, concomitante à une débromation dissymétrique partielle, conduisant à une phase intermédiaire organométallique originale régie par la formation de ponts -C-Au-Br-Au-C- (Fig1b). La désoxygénation s'accompagne de décalages chimiques significatifs des niveaux de cœur du carbone. Le produit final, après couplage d'Ullmann, correspond à la formation de nanorubans de dibenzothiophène (Fig1c).

Les travaux présentés dans cette étude ouvrent des perspectives nouvelles pour le contrôle des réactions d'oxydation et des processus réactionnels séquentiels sur surface.



**Figure 1** : Images nc-AFM des différentes structures observées sur Au(111). (a) Structure supramoléculaire constituée de huit molécules après dépôt à faible couverture, à température ambiante (RT). (b) Phase organométallique formée de quatre molécules monodé bromées. (c) Nanorubans de dibenzothiophène obtenus suite au couplage Ullmann.

### Références

- [1] Vericat, C., et al., *Chemical Society Reviews* **2010**, 39(5), 1805-1834.
- [2] Hankache, M., et al., *Nature Communications* **2025**, 16(1), 4841.

# Optical and thermal tracking of the insulator-to-metal transition within vanadium oxide-based memristors in operation

Etienne Puyoo<sup>1</sup>, David Albertini<sup>2</sup>, Nicolas Baboux<sup>1</sup>, Sanjoy K. Nandi<sup>3</sup>, Sujan K. Das<sup>3</sup>, and Robert G. Elliman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INSA Lyon, CNRS, Ecole Centrale de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, INL, UMR5270, Villeurbanne, 69622 France <sup>2</sup>CNRS, INSA de Lyon Ecole Centrale de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, INL, UMR5270, Villeurbanne, 69622 France <sup>3</sup>Department of Electronic Materials Engineering, Research School of Physics, Australian National University, Canberra, Australian Capital Territory, 2601, Australia

Threshold switching devices based on Metal Oxide Metal junctions are good candidates for the development of high-density memory selectors, and are also being considered as a building block for the development of neuromorphic hardware architectures. Among the materials considered for this type of application, vanadium oxide seems particularly interesting, as its various phases feature insulator-to-metal transitions (IMT) favorable to the establishment of stable threshold switching. We will demonstrate through a first case study that the room temperature implementation of Scanning Thermal Microscopy (SThM) experiments coupled to optical micro-reflectivity imaging is well suited to track the IMT within  $V_3O_5$ -based memristive devices [1,2]. The cross-analysis of SThM and micro-reflectivity images taken at different operating points enables us to observe the initiation of threshold switching well below the IMT. This result confirms a theory according to which the threshold switching is essentially attributed to the temperature dependence of the conductivity of the insulating phase of  $V_3O_5$ , and not directly to the IMT [1,2]. Then, we will present recent results of temperature dependent micro-reflectivity measurements performed on  $VO_2$ -based memristive devices whose operating principle also relies on electro-thermal effects. In particular, we will discuss through this second recent case study, how optical micro-reflectivity images can help to understand the threshold voltage variability of  $VO_2$ -based devices.

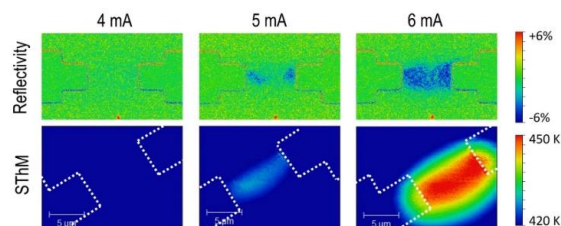


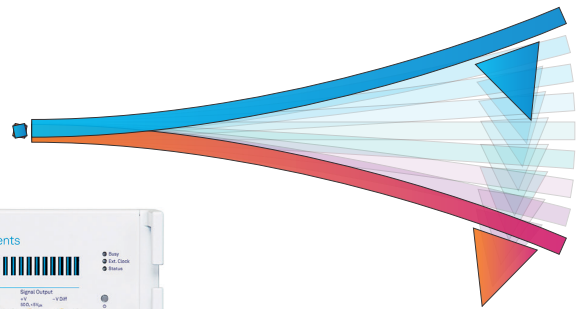
Figure 1: Comparison of optical micro-reflectivity and SThM images performed on a  $V_3O_5$ -based threshold switching device in operation

## Références

[1] SK Das, SK Nandi, CV Marquez, A Rúa, M Uenuma, E Puyoo, SK Nath, D Albertini, N Baboux, T Lu, Y Liu, T Haeger, R Heiderhoff, T Riedl, T Ratcliff, R G Elliman, "Physical Origin of Negative Differential Resistance in  $V_3O_5$  and Its Application as a Solid-state Oscillator", *Advanced Materials*, 2208477 (2022). <https://doi.org/10.1002/adma.202208477>

[2] A Bonagiri, SK Das, CV Marquez, A Rúa, E Puyoo, SK Nath, D Albertini, N. Baboux, M. Uenuma, R. G. Elliman and S. K. Nandi, "Biorealistic neuronal temperature-sensitive dynamics within threshold switching memristors: toward neuromorphic thermosensation", *ACS Applied Materials & Interfaces* 16 (24), 31283-31293 (2024). <https://doi.org/10.1021/acsami.4c03803>

# Freedom to Innovate in SPM Ultimate Tip Control With the VHFLI Lock-in Amplifier



- Track resonances reliably with integrated PIDs and PLLs
- Tune detection bandwidth with resonance engineering and a Q-controller
- Capture the time and frequency domains simultaneously
- Implement multi-frequency and heterodyne AFM modes with ease
- Orchestrate your measurement sequences with the new Timeline Module



## **Thélyos – Thermal insights at the nanoscale**

### **Voir la thermique là où les autres techniques échouent**

À l'échelle nanométrique, la thermique devient un facteur limitant clé en microélectronique et nanotechnologies. Pourtant, peu d'outils permettent une mesure **locale, quantitative et exploitable**. **Thélyos** exploite la **Scanning Thermal Microscopy (SThM)** pour révéler ces phénomènes invisibles.

#### **Notre apport**

- Cartographie de température sub-100 nm
- Détection de points chauds dans dispositifs actifs
- Mesure de propriétés thermiques locales
- Corrélation thermique / topographie / électrique

#### **Notre technologie propriétaire**

- **Sondes thermiques brevetées**  
→ haute sensibilité, meilleure résolution, artefacts réduits
- **Module électronique dédié**  
→ acquisition optimisée  
→ **compatible avec la majorité des AFMs du marché**

→ Intégration simple dans des plateformes existantes

#### **Nos services**

- Caractérisation thermique (debug, failure analysis, validation)
- Protocoles de mesure sur mesure
- Calibration quantitative
- Analyses multi-physiques

#### **Applications**

Microélectronique • Photonique • Matériaux avancés • Énergie

#### **Pourquoi Thélyos ?**

- Accès à une information thermique unique
- Approche quantitative fiable
- Technologie différenciante (sondes + électronique)
- Interface directe R&D ↔ industrie

---

#### **Contact**

##### **Thélyos**

contact@thelyos.com

www.thelyos.com

# Session Charles Boucher

Mercredi 10/06/2026 (Charles Boucher et le musée d'Orsay)



Portrait (fragment, 1702) par Nicolas de Largillierre (musée Carnavalet).

Charles BOUCHER, seigneur d'Orsay (1641 - 1714) a été élu en 1700 « prévôt des marchands », c'est-à-dire l'équivalent de l'actuel maire de PARIS. Il y restera 8 ans jusqu'au 18 août 1708 pour redevenir ensuite Conseiller du Roy. C'est ainsi qu'en 1704, au cours d'un de ses séjours au Louvre, Louis XIV lui demanda de prolonger le quai sur la rive gauche de la Seine de la rue du Bac jusqu'au futur pont de la Concorde. Le Roi trouvait que la vue qu'on en avait du Louvre était « fort désagréable », cette rive de la Seine étant un port d'échouage réservé au commerce du bois de chauffage. Anciennement quai de la Grenouillère, ce quai a été renommé quai d'Orsay, comme stipulé dans un édit de 1707. La gare d'Orsay, édifiée sur ce quai par Victor Laloux à la fin du XIXème siècle dans le plus pur style académique français d'avant-guerre pour l'exposition universelle de 1900, était le point de départ des trains pour Orléans, qui ne passaient pas par la ville d'Orsay. Aujourd'hui cette gare désaffectée est un musée consacré à l'art du XIXème siècle.

14h00	Clément CAMPILLO	Propriétés mécaniques des cellules vivantes sondées par AFM : principes et enseignements biologiques
15h00	Juan Felipe SALAZAR ARIZA <sup>^</sup>	Cartographie des propriétés physico-chimiques de l'acrostyle du stylet de puceron par microscopie à force atomique
15h20	Ismail BENAMAR*	Approche corrélative en microscopie à sonde locale pour la caractérisation nanométrique de systèmes photovoltaïques organiques à accepteurs non-fullerènes
15h40	Audrey STEINBERGER	Moyennage des courbes de spectroscopie de force

# Propriétés mécaniques des cellules vivantes sondées par AFM : principes et enseignements biologiques

Clément Campillo

*LAMBE, Univ Evry, CNRS, Université Paris-Saclay, 91025, Évry-Courcouronnes, France.*

La microscopie à force atomique (AFM) est devenue un outil de choix pour étudier les propriétés mécaniques des cellules vivantes, avec une résolution spatiale submicronique et une application de force finement contrôlée. En analysant les réponses force-indentation, l'AFM permet d'accéder à des paramètres tels que la rigidité apparente, la tension corticale ou encore les propriétés viscoélastiques, aujourd'hui reconnues comme des régulateurs importants de la physiologie cellulaire.

Ce cours présentera les principes fondamentaux des mesures mécaniques par AFM appliquées aux systèmes biologiques. Seront notamment abordés les essais d'indentation, la cartographie mécanique et l'interprétation des courbes force-distance à l'aide de modèles de contact adaptés. Une attention particulière sera portée aux limites expérimentales et méthodologiques de ces approches, notamment l'influence de la géométrie cellulaire, des propriétés mécaniques du substrat ou encore des hypothèses sous-jacentes aux modèles mécaniques utilisés.

Des exemples issus de la biologie du développement illustreront comment les mesures AFM peuvent mettre en évidence des relations entre l'organisation du cytosquelette et les propriétés mécaniques cellulaires. En particulier, des travaux réalisés sur des ovocytes de mammifères montreront comment l'architecture corticale influence les propriétés mécaniques globales de la cellule, et comment ces propriétés évoluent au cours du développement et du vieillissement.

Plus largement, cette présentation discutera de la manière dont la mécanique cellulaire peut constituer un marqueur fonctionnel pertinent pour mieux comprendre certains processus biologiques fondamentaux, allant de la différenciation cellulaire au vieillissement, en passant par les mécanismes d'adaptation et de réponse aux contraintes mécaniques.



## Cartographie des propriétés physico-chimiques de l'acrostyle du stylet de puceron par microscopie à force atomique

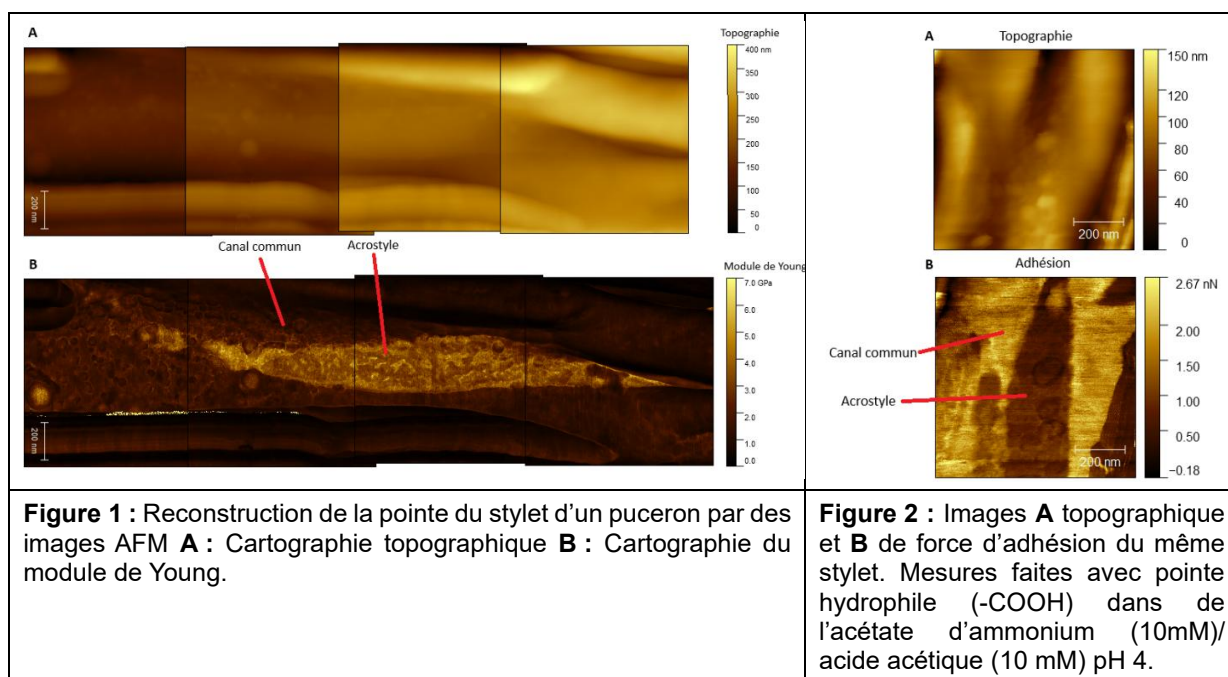
Juan Felipe SALAZAR ARIZA<sup>1,2</sup>, David ALBERTINI<sup>3</sup>, Laurent DAVID<sup>2</sup>, Maryline UZEST<sup>4</sup>, Guillaume SUDRE<sup>2</sup>, Yvan RAHBE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Claude Bernard Lyon 1, INSA Lyon, INRAE, CNRS UMR5240, Microbiologie, Adaptation et Pathogénie (MAP), F-69621 Villeurbanne, France. <sup>2</sup>INSA Lyon, Université Jean Monnet, CNRS UMR 5223, Ingénierie des Matériaux Polymères (IMP), F-69622 Villeurbanne Cedex, France. <sup>3</sup>CNRS INL, UMR5270, 69622 Villeurbanne, France. <sup>4</sup>UMR BGPI, INRA/CIRAD/AgroM, TA A54/K, Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 05, France

Les pucerons sont les vecteurs les plus fréquents et les plus efficaces des virus végétaux non persistants, responsables de pertes agricoles variant de 25 à 80 % [1,2]. Ces virus sont retenus à l'extrémité du stylet, au niveau d'un organe récemment identifié, l'acrostyle [3]. Toutefois, les propriétés physicochimiques de cette structure restent encore mal caractérisées [3–5].

Dans cette étude, réalisée dans le cadre de l'ANR Articulé et en partie avec le groupe de travail « fonctionnalisation » de RéMiSoL, la microscopie à force atomique (AFM), en modes PeakForce QNM et FV, a été utilisée pour cartographier, pour la première fois, la topographie ainsi que les propriétés nanomécaniques (module de Young, rigidité) de la pointe du stylet, et plus particulièrement de l'acrostyle (Figure 1). Les résultats révèlent que l'acrostyle présente un module de Young environ trois fois supérieur à celui du reste du stylet.

D'autre part, l'analyse des propriétés chimiques de surface, réalisée à l'aide de pointes fonctionnalisées hydrophiles et hydrophobes, montre qu'en milieu liquide à pH 4, l'acrostyle présente une hydrophobie significativement plus élevée (Figure 2).



Ces résultats démontrent que l'acrostyle possède des propriétés physicochimiques distinctes du reste du stylet, suggérant un rôle structural et fonctionnel spécifique dans la rétention et la transmission des virus.

### Références

- [1] V. Brault et al. *Biol.* 333 (2010) 524–538. [2] C.-A. Dedryver et al. *Biol.* 333 (2010) 539–553. [3] M. Uzest et al. *Arthropod Struct. Dev.* 39 (2010) 221–229. [4] M. Deshoux et al., *Int. J. Mol. Sci.* 23 (2022) 15337. [5] M. Uzest et al. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104 (2007) 17959–17964.

# Approche corrélative en microscopie à sonde locale pour la caractérisation nanométrique de systèmes photovoltaïques organiques à accepteurs non-fullerènes

Ismail BENAMAR<sup>a</sup>, Leticia CHRISTOPHOLI<sup>b</sup>,  
Ellen MOONS<sup>b</sup>, Philippe LECLERE<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratoire de Physique de Nanomatériaux et Energie (LPNE)  
Institut de Recherche en Sciences et Ingénierie des Matériaux  
Université de Mons (UMONS) 7000 Mons, Belgique.

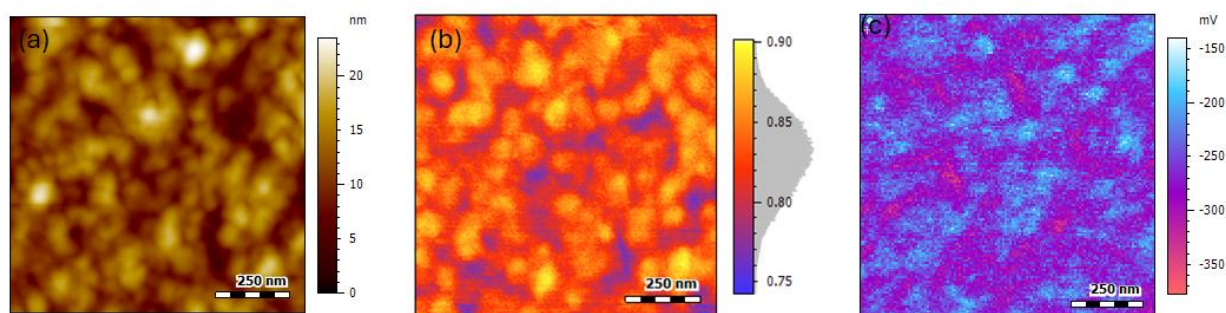
<sup>b</sup>Department of Engineering and Physics  
Karlstad University (KaU), SE-65188 Karlstad, Sweden.

Les systèmes photovoltaïques organiques basés sur des accepteurs non-fullerènes (NFA) présentent des morphologies nanoscopiques complexes. Ces systèmes peuvent former des domaines de taille nanométrique ainsi que des phases mixtes. Dans ce contexte, l'utilisation d'une seule technique SPM peut conduire à des interprétations ambiguës de la morphologie locale.

Dans ce travail, nous mettons en œuvre une approche corrélative combinant plusieurs techniques de microscopie à force atomique réalisées sur une même zone de l'échantillon : nano-spectroscopie infrarouge (AFM-IR), cartographie nanomécanique en mode Peak Force Tapping et microscopie Kelvin (KPFM). Chaque technique apporte une information complémentaire chimique, mécanique ou électronique mais peut également conduire à des interprétations partielles lorsqu'elle est utilisée seule. Une approche corrélative permet ainsi de croiser ces différentes informations afin d'obtenir une description plus fiable de la morphologie locale.

Afin de valider l'approche d'analyse chimique par AFM-IR, un premier système de référence PBDB-T:Y6 (1:1) préparé à partir d'un mélange chlorobenzène/chloroforme est étudié. Des cartes de répartition chimique des deux composants sont obtenues à partir d'opérations sur des cartographies chimiques enregistrées à différents nombres d'onde caractéristiques des matériaux étudiés (Figure 1). Cette méthodologie est ensuite appliquée à un mélange PBDB-T:Y6 (1:0.75) préparé à partir du chloroforme, permettant de localiser les interfaces donneur-accepteur et de corrélater les contrastes chimiques, mécaniques et électroniques à l'échelle nanométrique.

Ces résultats montrent qu'une approche corrélative en microscopie à sonde locale, réalisée sur une même zone d'échantillon, permet d'obtenir une interprétation plus robuste de la morphologie des mélanges NFA que l'utilisation d'une seule technique. Ceci aura pour but de mieux comprendre l'organisation structurale et électronique des matériaux utilisés dans les cellules photovoltaïques organiques.



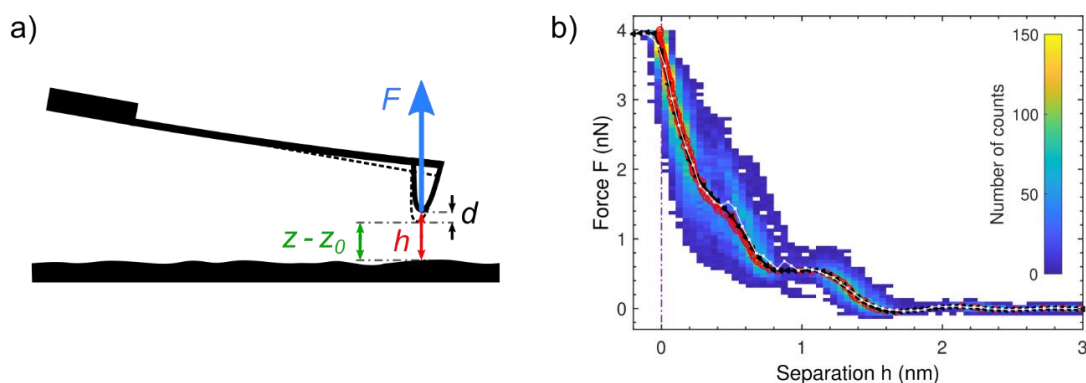
**Figure 1.** Images SPM obtenues sur un échantillon PBDB-T:Y6 (1:1) : (a) Topographie, (b) Carte de contraste chimique AFM-IR ; (c) Potentiel de surface KPFM.

# Moyennage des courbes de spectroscopie de force

Audrey STEINBERGER, Layla Bou Tannous

Laboratoire de Physique, CNRS, ENS de Lyon, UMR5672, 69364 Lyon cedex 07, France  
Laboratoire de Chimie, CNRS, ENS de Lyon, Université Lyon 1, UMR5182, 69364 Lyon cedex 07, France  
CEA-LETI, CEA, Université Grenoble Alpes, 38000 Grenoble, France

La spectroscopie de force par Microscopie à Force Atomique (AFM) mesure la force d'interaction  $F$  entre une sonde et une surface en fonction de leur distance de séparation  $h$  (voir Figure 1a). Elle est largement utilisée pour étudier les propriétés mécaniques divers échantillons, mais aussi les forces électrostatiques entre deux surfaces (y compris des forces de Casimir quantiques), et les forces de solvation dues à l'organisation de liquides au voisinage de surfaces solides. La spectroscopie de force en molécule unique permet aussi d'analyser le repliement/dépliement et l'adhésion de polymères et de biopolymères. Moyenner un ensemble de courbes de force-séparation permet non seulement de caractériser le profil de force moyen du système d'intérêt, mais aussi d'augmenter la résolution de la mesure en éliminant le bruit thermique et le bruit de mesure qui entachent les courbes individuelles. Cependant, moyenner directement les vecteurs de force des jeux de données ne donne pas de bons résultats parce que chaque vecteur de force  $F$  correspond à un vecteur de séparation  $h$  spécifique. Par conséquent, la méthode standard pour moyenner les données commence par interpoler les forces sur un unique vecteur de déplacement imposé  $z - z_0$ . La force moyenne  $F_M$  est alors calculée à partir des forces interpolées, tandis que le vecteur de séparation correspondant  $h_M$  est construit avec la relation  $h_M = z - z_0 + F_M/k$ , où  $k$  est la raideur du cantilever AFM. Malheureusement, l'espacement des points de la séparation  $h_M$  est inhomogène et spécifique à chaque série de données, puisqu'il dépend de la force moyenne  $F_M$  (Figure 1b, ronds rouges).



**Figure 1** : a) Schéma de principe de la spectroscopie de force AFM. b) Comparaison de trois méthodes de moyennage de courbes force-séparation, à l'aide d'une série de 50 courbes d'approche obtenues dans le liquide ionique  $[C_4mIm][NTf_2]$  sur du mica avec une vitesse d'approche constante, représentées sous la forme d'un histogramme force-séparation dans lequel le nombre de points de mesure dans chaque intervalle force/séparation est représenté par une échelle de couleurs. Un nombre de points nul est représenté en blanc. Trois profils de force moyens sont superposés, obtenus à partir : de la méthode standard (ronds rouges), des valeurs de l'histogramme de séparation (trait noir avec des marqueurs triangulaires), et de son motif de tri (trait blanc avec les marqueurs blancs).

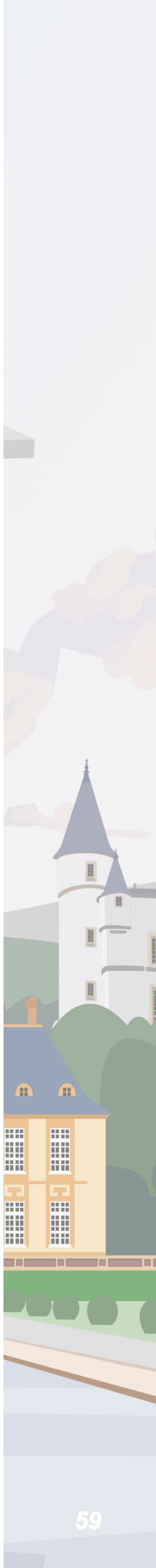
Dans cet exposé, je présenterai et comparerai deux méthodes de moyennage alternatives basées sur l'histogramme de la séparation  $h$  calculé à partir de l'ensemble des courbes. Ces deux techniques fournissent directement des forces moyennes sur des séparations  $h$  espacées selon l'intervalle régulier choisi pour l'histogramme [1]. La première méthode repose sur la compréhension physique de la façon dont les valeurs de l'histogramme de séparation sont reliées au profil de force dans une courbe individuelle. Lorsque la vitesse de déplacement est constante, cette méthode donne un profil de force moyen (Figure 1b, triangles noirs) en très bon accord avec celui obtenu par la méthode standard... avec un gain d'un facteur 30 en vitesse de calcul. La seconde méthode fait appel au motif de tri de l'histogramme pour moyenner les points de force qui appartiennent au même bin de séparation (Figure 1b, carrés blancs). Cette fois le gain en vitesse de calcul est moins impressionnant : c'est tout de même un facteur 2, mais le plus grand avantage de cette méthode de tri est qu'elle est extrêmement générique car elle est valide quel que soit le profil de déplacement, mais aussi quel que soit le couple de données  $Y(X)$ . J'illustrerai la discussion à l'aide de données de spectroscopie de force AFM caractérisant les forces de solvation à l'interface entre un liquide ionique et du mica. A l'aide de cet exemple, j'expliquerai pourquoi le profil de force moyen obtenu par la méthode de tri ne suit pas nécessairement celui donné par les deux autres méthodes, tout en restant une « bonne » moyenne.

## Références

[1] Bou Tannous, L.; Steinberger, A.. *Préprint sur HAL* 2026, hal-05534087, version 1

# Notes

---





**attocube**

WITTENSTEIN group

# Explore a new dimension with...

## The nano-IR global solution imaging & spectroscopy @10 nm spatial resolution



neaspec

- nanoscale chemical ID & compositional mapping
- unmatched spectral coverage (VIS-IR-THz)
- features AFM-IR, s-SNOM, Raman, PL, pump-probe spectroscopy

Attocube is a global leader in nanoscale spectroscopy, with instruments such as nea-SCOPE and now IRa-SCOPE. Its core technologies include:

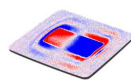
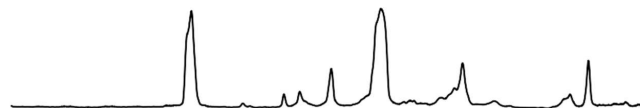
-AFM-IR, a photothermal spectro-imaging technique originally developed @Paris-Saclay and further enhanced, notably through artifact correction methods like PLL.

-S-SNOM as scattered near field microscopy originally developed @Max Planck Institute München and industrialized over 15 years with 300+ systems installed in the world.

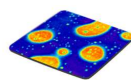
All within a single platform, enabling correlated nanoscale analysis with improved reliability.

Atoum Tech was founded in 2023, built on strong expertise in optics, microscopy, and correlative Raman imaging.

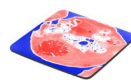
Its mission is to support the introduction and deployment of advanced microscopy and spectroscopy technologies across French-speaking markets. Rather than competing with established players, Atoum Tech aims to enrich the ecosystem with innovative, differentiated, and scientifically validated solutions.



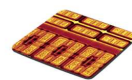
field mapping



chemical composition



protein secondary structure



free carrier profiling



[www.attocube.com](http://www.attocube.com)

**NANOSCALE ANALYTICS**  
advanced imaging & spectroscopy



## World's Most Advanced Photothermal IR Spectroscopy Solutions

Bruker's nanoscale infrared (nanoIR) spectrometers measure spatially varying physical and chemical properties in a diverse range of fields, from polymers and 2D materials to life science and micro-electronics. Fueling an impressive and growing publication record, these systems are advancing academic discovery and helping industrial companies solve critical process problems.

### Proprietary spectroscopy and AFM technology:

- Dimension IconIR large-sample system with PeakForce property mapping
- High-performance nanoIR spectroscopy with accurate and repeatable FTIR correlation
- Sub-10nm chemical resolution and monolayer sensitivity
- Surface Sensitive AFM-IR mode with chemical probing depth to tens of nanometers



### Take your materials research to new levels.

Visit [www.bruker.com/nanoIR](http://www.bruker.com/nanoIR) or email [productinfo@bruker.com](mailto:productinfo@bruker.com) for more information today.

Innovation with Integrity

# Session Villes nouvelles

Jeudi 11/06/2026 (Villes nouvelles, villes des footballeurs)



Encore une fois, le général de Gaulle marque l'histoire, cette fois-ci en donnant l'élan à la construction des « villes nouvelles ». Pour cela, il a chargé des architectes de renom du développement d'un « nouveau patrimoine urbain, facile à vivre, avec des espaces verts omniprésents et des œuvres d'art à ciel ouvert »<sup>1</sup> afin de préparer la banlieue à une croissance économique et démographique. L'une de ces villes nouvelles touche Saint-Rémy-lès-Chevreuse et s'appelle Saint-Quentin-en-Yvelines, d'après un étang situé à Trappes, creusé pour servir de réservoir aux jets d'eau du château de Versailles. La ville la plus récente de l'Essonne s'appelle Les Ulis et a été créée à partir des territoires d'Orsay et de Bures-sur-Yvette en 1977. À part le fait d'être le domicile de nombreux chercheurs travaillant à Paris-Saclay, qu'y a-t-il d'autre en commun entre ces deux villes nouvelles ? Trois footballeurs célèbres des années 1990-2000 y ont grandi : Nicolas Anelka à Trappes, et Thierry Henry et Patrice Evra aux Ulis.

8h30	Valentina KRACHMALNICOFF	Super-resolved imaging of the local density of states on resonant nano-objects at the single molecule level
9h30	Filippo CALAVARO*	Near-field optical control of photon avalanching: from emission tailoring to magnetic-gated criticality in Tm <sup>3+</sup> -doped nanoparticles
9h50	Yohan DUQUERROY*	Exploration of the Properties of Interfaces between Chiral molecules and metals
10h10	Talla DIAGNE*	Compétition entre processus radiatifs et pertes Auger : une étude locale des LED InGaN en fonctionnement

# **Super-resolved imaging of the local density of states on resonant nano-objects at the single molecule level**

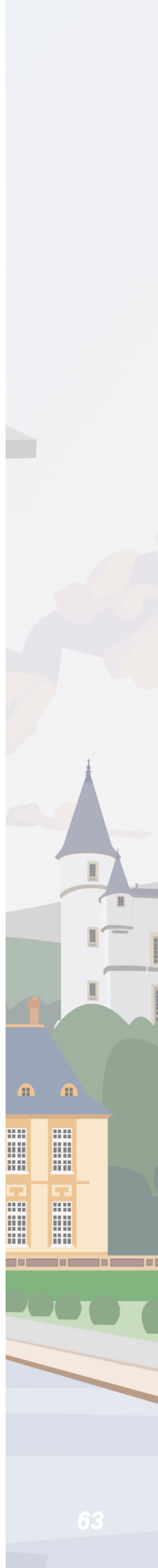
Valentina Krachmalnicoff

Contact e-mail: [valentina.krachmalnicoff@espci.fr](mailto:valentina.krachmalnicoff@espci.fr)

Institut Langevin, ESPCI Paris, Université PSL, CNRS, 1 rue Jussieu, 75005 Paris, France

Pushing light-matter interaction at the extreme with nanostructured materials and being able to measure the strength of such interaction at the nanoscale is one of the major challenges of nanophotonics. To this aim, fabrication and characterization techniques of nanostructured materials have undergone an explosion of progress in the last decades. A quantity of interest for the study of light-matter interaction at the nanoscale is the Local Density of Optical States (LDOS) which measures the number of modes of the electromagnetic environment available for the decay of an emitter and is directly proportional to the fluorescence decay rate. The direct measurement of the decay rate of single emitters and the simultaneous knowledge of their position is therefore a powerful tool for the study of light-matter interaction in nanostructured materials.

In this course, we will introduce the concept of LDOS and explain how it can be measured using fluorescent emitters placed in the near field of a nanostructured environment. We will then review the fluorescence microscopy techniques developed for LDOS measurements, ranging from fluorescent Scanning Near-field Optical Microscopy (f-SNOM) to the more recent approaches based on Single-Molecule Localization Microscopy (SMLM).



# Near-field optical control of photon avalanching: from emission tailoring to magnetic-gated criticality in $\text{Tm}^{3+}$ -doped nanoparticles

Benoît REYNIER<sup>1</sup>, Natalie FARDIAN-MELAMED<sup>2</sup>, Eric CHARRON<sup>1</sup>, **Filippo CALAVARO**<sup>1</sup>, Bleuenn BELZ<sup>1</sup>, Artiom SKRIPKA<sup>3</sup>, Sébastien BIDAULT<sup>4</sup>, Emory M. CHAN<sup>3</sup>, P. James SCHUCK<sup>2</sup> and Mathieu MIVELLE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sorbonne Université, CNRS, Institut des NanoSciences de Paris, 75005 Paris, France

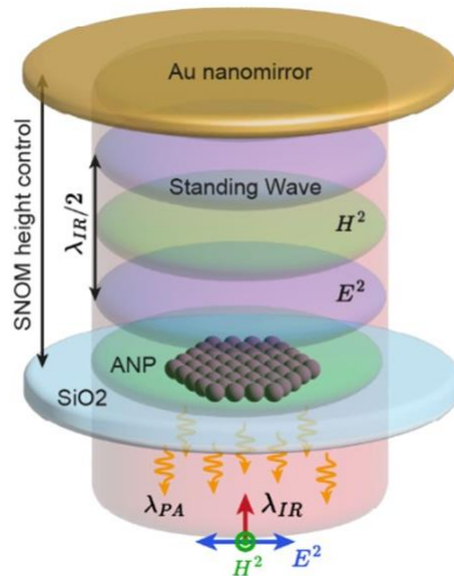
<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Columbia University, New York, New York 10027, USA

<sup>3</sup>The Molecular Foundry, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California 94720, USA

<sup>4</sup>Institut Langevin, ESPCI Paris, Université Paris Sciences et Lettres, CNRS, 75005 Paris, France

Photon avalanching (PA) in lanthanide-doped nanocrystals represents the pinnacle of optical critical behavior. Through cooperative cross-relaxation energy looping, PA converts linear excitation into highly nonlinear emission, exhibiting a steepness (nonlinearity order  $s$ ) that mimics a phase transition [1]. However, this critical behavior is traditionally a static, "hard-coded" property defined by the material's synthesis, limiting active nanoscale control.

In this work, we demonstrate the reversible manipulation of the PA process by actively engineering the local electromagnetic environment using a custom scanning near-field optical microscopy (SNOM) platform (**Fig. 1**) with a gold nanomirror [2]. We approach the manipulation of these complex multi-level quantum emitters through two distinct nanophotonic mechanisms: emission tailoring and excitation gating.



**Figure 1** : Nanophotonic standing-wave setup featuring a gold mirror nanofabricated at the apex of a near-field probe. The tunable distance between avalanching nanoparticles (ANP) and the mirror grants the possibility of actively control both emission and excitation processes.

First, by employing a Total Internal Reflection (TIR) configuration to maintain a constant local excitation power, we isolate the effect of the Electric Local Density of Optical States (ELDOS) on the avalanche dynamics, while tuning the mirror-nanoparticle separation. We observe that altering the spontaneous emission rate fundamentally shifts the PA power threshold. Strikingly, suppressing the ELDOS leads to an enhancement in the steady-state nonlinear luminescence, revealing that the internal cooperative processes remain highly robust under external perturbation.

Second, we transition to a normal incidence geometry to actively gate the avalanche criticality via the optical magnetic field. By forming an optical standing wave, we spatially separate the electric and magnetic field antinodes. We exploit the mixed electric/magnetic dipole nature of the Ground State Absorption (ignition) [3] and the strictly electric-dipole nature of the Excited State Absorption (amplification cycle). By localizing the ANPs within specific field nodes, we actively regulate the ignition and amplification cycles. This spatial decoupling enables a giant, reversible modulation of the avalanche steepness, tuning the nonlinearity order  $s$  from 15 up to a record-breaking 62.

Together, these results demonstrate that avalanche criticality is no longer a fixed material property, but a dynamically tunable state, establishing a robust platform for critical sensing and threshold-based optical logic.

# Exploration of the Properties of Interfaces between Chiral molecules and metals

Yohan DUQUERROY<sup>ab</sup>, Vincent REPAIN<sup>a</sup>, Zakaria ZIANI<sup>b</sup>, Pascal MARTIN<sup>b</sup>, Amandine BELLEC<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques, Université Paris Cité et CNRS, Paris, FRANCE

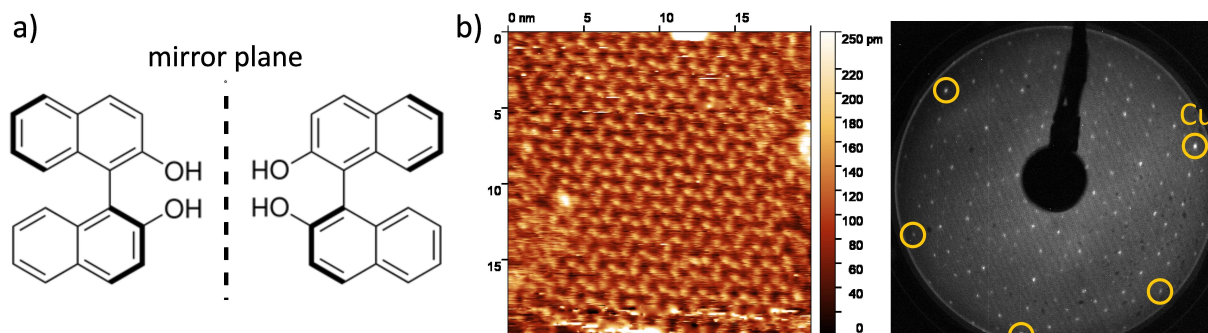
<sup>b</sup> Laboratoire Interface Traitements Organisation et DYnamique des Systèmes, Université Paris Cité et CNRS, Paris, FRANCE

Contact : yohan.duquerroy@cnrs.fr

L'effet CISS (Chirality Induced Spin Selectivity) réfère au filtrage du spin des électrons observé lorsque ceux-ci passent au travers d'un matériau chiral, comme des monocouches moléculaires chirales. Il présente un potentiel pour de nombreuses applications, de la spintronique [1] à l'énantiosélectivité en électrocatalyse [2].

Cependant, la compréhension théorique de l'effet CISS étant toujours sujette à débat [3], il est essentiel de développer des systèmes modèles contrôlés qui permettent sa manipulation précise et son étude. Dans ce but, étudier l'effet CISS dans des monocouches de molécules chirales telles que le 1,1'-binaphthalène-2,2'-diol (BINOL) apparaît particulièrement approprié, celles-ci pouvant être étudiées à la fois expérimentalement et via des simulations.

Ainsi, nous avons préparé des films moléculaires de BINOL sur un substrat de Cu(111) par évaporation sous ultra-vide (UHV), suivi d'un léger recuit, soit à partir d'une poudre énantiomériquement pure, soit à partir du mélange racémique des deux énantiomères (voir **Figure 1a**). En utilisant la microscopie à effet tunnel (STM) et la diffraction des électrons de basse énergie (LEED) à température ambiante sous UHV, on montre dans les deux cas que les molécules de BINOL forment des domaines ordonnés (voir **Figure 1b**). Ces résultats montrant qu'un film organisé des molécules de BINOL peut être obtenu par évaporation sous ultra-vide. Cela permettra d'étudier l'effet CISS sur une interface modèle contrôlée, qui peut être modifiée en remplaçant le BINOL par des analogues ou par changement du substrat.



**Figure 1** : Film du mélange racémique de molécules de BINOL structuré en domaines organisés.  
a) Structure moléculaire du BINOL, b) image STM (1.25 V, 10 pA) et LEED (60 eV) du film.

## Références

- [1] Al-Bustami, H.; Khaldi, S.; Shoseyov, O.; Yochelis, S.; Killi, K.; Berg, I.; Gross, E.; Paltiel, Y.; Yeruchalmi, R. *Nano Letters* **2022**, *22*, 12, 5022.
- [2] Banerjee-Ghosh, K.; Ben Dor, O.; Tassinari, F.; Capua, E.; Yochelis, S.; Capua, A.; Yang, S.-H.; Parkin, S.S.P.; Sarkar, S.; Kronik, L.; Baczewski, L.T.; Naaman, R.; Paltiel, Y. *Science* **2018**, *360*, 1331.
- [3] Foo, Y.X.; Kermiche, A.; Chowdhury, F.T.; Aiello, C.D.; Smith, L.D. *Chemical Physics Review* **2025**, *6*, 3, 1306.

# Compétition entre processus radiatifs et pertes Auger : une étude locale des LED InGaN en fonctionnement

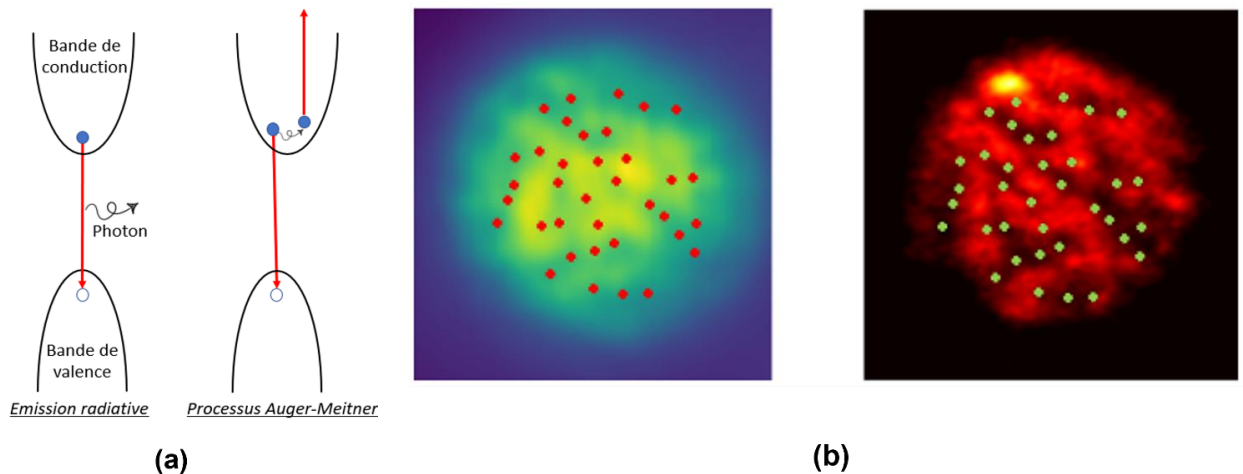
Talla **DIAGNE**<sup>1</sup>, Simon VASSANT<sup>1</sup>, Tanay TAK<sup>2</sup>, James S. SPECK<sup>2</sup>, Ludovic DOUILLARD<sup>1</sup>, Mylène SAUTY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Service de Physique de l'État condensé (SPEC), Université Paris-Saclay, CEA-CNRS, Gif-sur-Yvette F-91191, France

<sup>2</sup>Materials Department, University of California, Santa Barbara, California 93106, USA

Les performances des diodes électroluminescentes (LED) nitrures reposent sur des phénomènes de recombinaison se produisant dans leur zone active, constituée de puits quantiques en InGaN. En ajustant la concentration en indium (In), il est possible de choisir la longueur d'onde d'émission. Les LED bleues à base de nitrures présentent aujourd'hui des efficacités très élevées, ce qui explique leur rôle central dans les technologies d'éclairage et d'affichage. Cependant, quand la teneur en In augmente pour atteindre les grandes longueurs d'onde visibles, l'efficacité des LEDs diminue [1]. De plus, on observe une baisse de l'efficacité à forte densité de porteurs de charges [2]. Ces limitations sont liées en partie à la distribution des porteurs et aux hétérogénéités présentes dans la zone active telles que les fluctuations locales de composition en In ou encore les dislocations cristallines. Plusieurs travaux théoriques suggèrent cependant que certains défauts structuraux en forme de "V", appelés des V-pits, pourraient modifier le transport des charges et favoriser les recombinaisons radiatives, ce qui contribuerait aux bonnes performances récemment obtenues dans certaines LED vertes et jaunes [3,4]. Leur rôle précis dans les dispositifs reste cependant encore mal compris.

Pour explorer ces effets, nous utilisons ici deux techniques appliquées à des LED en fonctionnement. La microscopie optique en champ proche (SNOM) permet d'observer la distribution spatiale de l'émission lumineuse avec une résolution inférieure à 100 nm [5]. La microscopie d'électro-émission (EEM) sur une LED en fonctionnement [6], quant à elle, donne accès aux électrons énergétiques produits lors des interactions Auger-Meitner, responsables d'une partie des pertes à fort courant [7] et illustrée en Figure (1a). La combinaison de ces deux techniques d'imagerie sur une même zone du dispositif nous permet d'étudier la compétition entre les processus radiatifs à 2 porteurs et les processus de perte à 3 porteurs. Elle offre ainsi un moyen direct d'évaluer l'influence des hétérogénéités sur le fonctionnement des LED nitrures et sur les limites actuelles de leur efficacité.



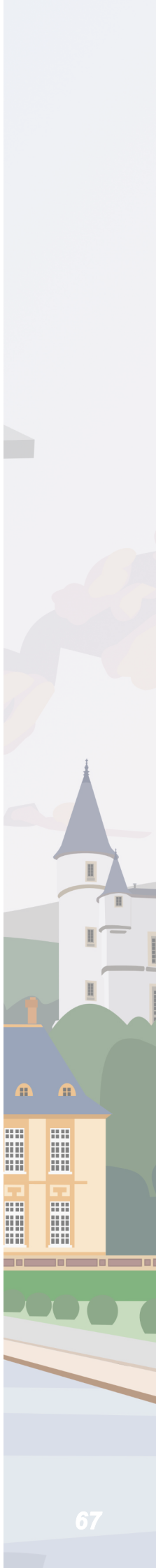
**Figure 1 :** (a) Processus Auger-Meitner : l'énergie de recombinaison d'un électron et d'un trou est transmise à un autre porteur au lieu d'être émise sous forme de photon. (b) Comparaison de cartographies SNOM -b.1- et EEM -b.2- mesurées sur une même zone d'une LED en fonctionnement. Des disparités d'intensité semblent spatialement corrélées, possiblement liées à la présence des V-pits.

## Références

- [1] Auf Der Maur, M. et al.; Phys. Rev. Lett. **2016**, 116, 027401.
- [2] Cho, J.; Schubert, E. F.; Kim, J. K.; Laser Photonics Rev. **2013**, 7, 408.
- [3] Jiang, F. et al.; Photonics Res. **2019**, 7, 144.
- [4] Ho, C. H.; Speck, J. S.; Weisbuch, C.; Wu, Y. R.; Phys. Rev. Appl. **2022**, 17, 014033.
- [5] Pohl, D. W.; Denk, W.; Lanz, M.; Appl. Phys. Lett. **1984**, 44, 651.
- [6] Tak, T. et al.; Phys. Rev. Appl. **2023**, 20, 064045.
- [7] Ho, W. Y. et al.; Appl. Phys. Lett. **2021**, 119, 051105.

# Notes

---



# Session Irène et Frédéric Joliot

Jeudi 11/06/2026 (Irène et Frédéric Joliot)



Irène et Frédéric Joliot - Irène Curie (1897 - 1956) et Frédéric Joliot (1900 - 1958) travaillent ensemble dans le laboratoire de Marie Curie et se marient en 1926. En décembre 1935, ils reçoivent le Prix Nobel de chimie pour la découverte de la radioactivité artificielle. En 1936, dans le gouvernement de Léon Blum, Irène est, avec Suzanne Lacore et Cécile Brunschwig, la première femme à siéger dans un gouvernement français. Dès la libération de Paris, Frédéric Joliot-Curie dirige et réorganise le Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Sur la proposition de Frédéric Joliot-Curie, le général de Gaulle crée le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) ; le savant en devient le premier haut-commissaire. Le premier comité de l'énergie atomique du CEA comprend : le président du gouvernement provisoire, Frédéric Joliot-Curie, Raoul Dautry, le général Dassault, Irène Joliot-Curie, Pierre Auger et Francis Perrin. Mais en 1950 Frédéric puis Irène sont révoquée pour leur proximité avec le parti communiste. Parallèlement Irène prépare l'installation d'un institut à Orsay pour équiper la France d'accélérateurs de particules pour la physique nucléaire et des hautes énergies. Après une tribune d'Irène publié dans le journal Le Monde en 1954, le gouvernement français s'engage pour la construction sur un terrain sous séquestre ayant appartenu à un collaborateur vichyste. C'est la fondation de ce qui deviendra l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, un des premiers instituts de la faculté d'Orsay, aujourd'hui Université Paris-Saclay (d'après c'est moi Juliette, édition de la Saga, 1988).

11h00	Eric LE MOAL	Luminescence de matériaux 2D induite par STM : effets de transport mis en évidence par microscopie optique déconvoluée			
11h20	William LABBE*	Technologie de sondes à pointes longues et leviers souples calibrés pour une utilisation en AFM en milieux liquides			
11h40	Paul COVIN*	Etude de la croissance d'un polymère plasma en fonction de la chimie de surface du substrat			
12h00	présentations industriels	Park Systems	Thélyos	Vmicro	Zurich Instruments

# Luminescence de matériaux 2D induite par STM : effets de transport mis en évidence par microscopie optique déconvoluée

Elysé LAURENT<sup>1</sup>, Ricardo Javier PEÑA ROMAN<sup>2</sup>, Sarah MILLER<sup>1</sup>, Aditi RAMAN MOGHE<sup>3</sup>, Etienne LORCHAT<sup>4</sup>, Séverine LE MOAL<sup>1</sup>, Elizabeth BOER-DUCHEMIN<sup>1</sup>, Luiz Fernando ZAGONEL<sup>2</sup>, Stéphane BERCIAUD<sup>3</sup>, Eric LE MOAL<sup>1</sup>

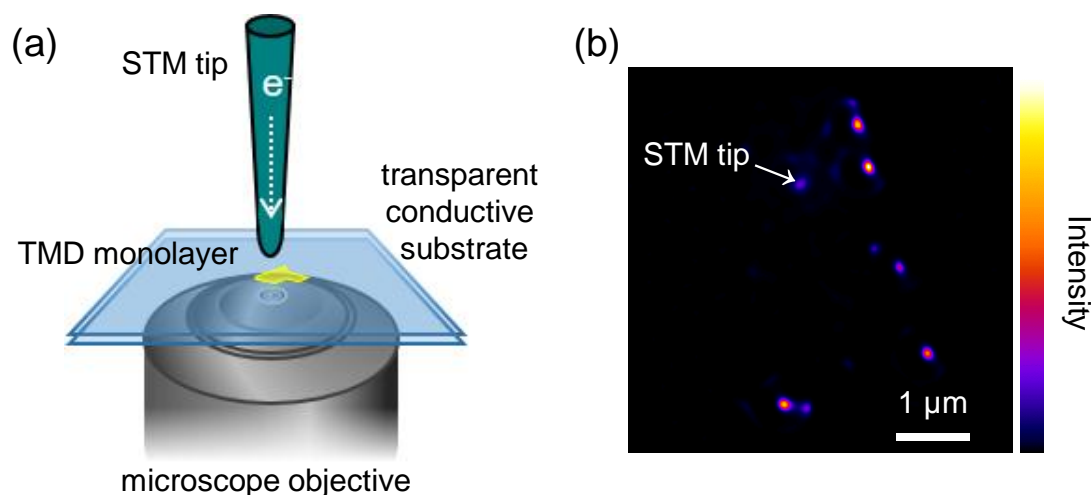
<sup>1</sup>Université Paris-Saclay, CNRS, Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay, Orsay, France

<sup>2</sup>Institute of Physics "Gleb Wataghin", State University of Campinas-UNICAMP, Campinas, Brazil

<sup>3</sup>Institut de Physique et de Chimie des Matériaux de Strasbourg, Université de Strasbourg, CNRS, Strasbourg, France

<sup>4</sup>NTT Research, Inc., Physics & Informatics (PHI) Laboratories, Sunnyvale, CA 94085, USA

La diffusion des porteurs de charge et des excitons (paires électron-trou liées) et leurs interactions avec les défauts jouent un rôle clé dans les propriétés d'électroluminescence des semi-conducteurs bidimensionnels (2D). Comprendre et contrôler ces processus est crucial pour les performances des futurs dispositifs basés sur ces matériaux. Récemment, les propriétés d'électroluminescence des monofeuillets de dichalcogénures de métaux de transition (TMD) ont été cartographiées à l'échelle nanométrique en enregistrant la lumière induite par le courant tunnel sous la pointe d'un microscope à effet tunnel (STM) balayant l'échantillon [1-4]. Cependant, les techniques existantes basées sur les sondes locales ne fournissent aucune information sur la diffusion des porteurs de charge et des excitons, car elles ne sont pas sensibles à la distribution spatiale de l'émission autour de la source d'excitation. Pour pallier ce problème, nous combinons l'excitation par courant tunnel sous la pointe d'un STM (pour une excitation extrêmement localisée), la microscopie optique en champ large (pour imager la distribution spatiale de l'émission) et la déconvolution des images de microscopie optique à l'aide d'un algorithme itératif de Richardson-Lucy (pour atteindre une résolution spatiale supérieure à la limite de diffraction) [5].



**Figure 1 :** (a) Schéma de l'expérience, combinant une tête STM et un microscope optique inversé. (b) Image de microscopie optique déconvoluée de la luminescence induite par STM d'un monofeuillet de WS<sub>2</sub>, montrant l'émission de points chauds à plusieurs micromètres de la pointe STM [5].

## Références

- [1] Delphine Pommier et al, *Physical Review Letters* **2019**, 123, 027402.
- [2] Bruno Schuler et al, *Science Advances* **2020**, 6, eabb5988
- [3] Luis E. Parra López et al, *Nature Materials* **2023**, 22, 482
- [4] Hairui Geng et al, *ACS Nano* **2024**, 18, 8961
- [5] Elysé Laurent et al, *arXiv cond-mat.mes-hall* **2025**, 2512.08401

# Technologie de sondes à pointes longues et leviers souples calibrés pour une utilisation en AFM en milieux liquides

William LABBE<sup>1,2</sup>, Sébastien JANEL<sup>3</sup>, Benjamin WALTER<sup>2</sup>, Marc FAUCHER<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie, UMR CNRS 8520, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

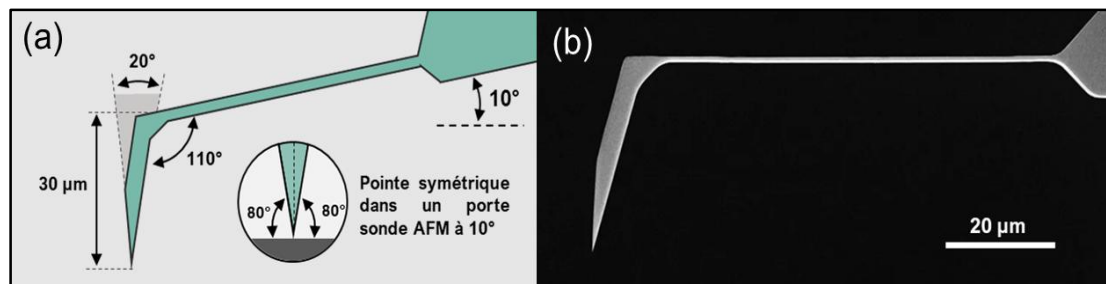
<sup>2</sup> Vmicro SAS, 27 rue Charles St Venant, 59260 Lille, France

<sup>3</sup> Institut Pasteur de Lille, U1019-UMR9017-CIL-Centre d'Infection et d'Immunité de Lille, 59000 Lille, France

L'étude des systèmes biologiques requiert à la fois leur imagerie et la mesure de leurs propriétés physiques. La microscopie à force atomique (AFM) regroupe ces capacités, ce qui en fait un outil de choix pour la biologie [1]. Elle permet aussi bien la mesure d'élasticité des échantillons, l'étude de liaisons moléculaires ou l'imagerie de biomolécules et de cellules en conditions physiologiques.

Utiliser un AFM pour la biologie impose des exigences particulières sur les sondes, notamment de faibles raideurs. L'imagerie peut inclure des effets de convolution pointe-surface qui proviennent de la non-perpendicularité de la pointe par rapport à l'échantillon, de son rapport d'aspect ainsi que de son rayon de courbure [2] [3]. Dans le cas d'imagerie d'échantillons à forte topographie tels que des cellules, le levier peut entrer en contact en plus de la pointe, ce qui compromet la mesure [4]. Une autre problématique est de disposer d'une méthode fiable de calibration afin de pouvoir réaliser des mesures quantitatives [5].

Le succès de l'AFM repose sur la disponibilité des sondes, qui sont issues de procédés de microfabrication sur wafers de silicium [6]. Une limitation provient de la gravure des pointes perpendiculairement à la surface du wafer, ce qui limite leur hauteur (moins de 15  $\mu\text{m}$ ) et leur rapport d'aspect. De plus, les choix initialement faits sur les substrats et les techniques de gravure ne permettent pas la réalisation de leviers en silicium combinant faible raideur et fréquences assez hautes. Le nitrure de silicium a été introduit pour palier à ce problème, mais nécessite d'autres compromis technologiques [7]. Nous proposons une technologie nouvelle, basée sur la fabrication dans le plan de wafers SOI: Silicon-on-Insulator. Cette approche 'InplaneSOI' nous permet de fabriquer des pointes de longueur et d'angles variables, choisis à l'étape de conception. Nous montrerons les premières sondes pour la biologie présentant une constante de raideur de 0.1 N/m combinée à une pointe de 30  $\mu\text{m}$  compensée en angle (Figure 1).



**Figure 1** : Sondes issues de la technologies InPlane SOI destinées à la biologie, (a) Image MEB de la sonde, (b) Schéma des caractéristiques géométriques de la sonde

Nous aborderons ensuite la calibration de ces sondes à pointe longue et compensée. Notre approche se base sur les travaux de [8], [9] et [10]. Elle permet la calibration sans contact de sondes en tenant compte des géométries de levier et de pointe arbitraires (Figure 2). Enfin, nous montrerons la réalisation d'images et de mesures quantitatives sur des microscopes JPK Nanowizard 3 et Bioscope Resolve.

## Etude de la croissance d'un polymère plasma en fonction de la chimie de surface du substrat

Paul COVIN<sup>1</sup>, Aissam AIROUDJ<sup>1</sup>, Cédric NOEL<sup>2</sup>, Florence BALLY-LE GALL<sup>1</sup>, Thierry BELMONTE<sup>2</sup>, Vincent ROUCOULES<sup>1</sup>, Jamerson CARNEIRO DE OLIVEIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Haute-Alsace, Université de Strasbourg, CNRS, IS2M UMR 7361, 68100, Mulhouse, France

<sup>2</sup> Université de Lorraine, CNRS, IJL UMR 7198, 54011, Nancy, France

La polymérisation plasma est un procédé permettant de déposer un film mince polymérique (typiquement de l'ordre du nm au  $\mu\text{m}$ ) sur une surface. La formation de ce revêtement, appelé polymère plasma, est rendue possible par l'activation d'une molécule organique (précurseur) dans un plasma, un gaz ionisé composé notamment d'électrons, d'ions et de radicaux.

Les polymères plasma se présentent souvent sous la forme de films minces uniformes et homogènes. Cependant, certaines études ont mis en évidence la formation de polymère plasma micro- et nanostructurés. Expérimentalement, ces différentes morphologies de polymère plasma sont obtenues par la variation de plusieurs paramètres, notamment les conditions de dépôt plasma (puissance, cycle de marche, fréquence) [1] et la chimie de surface du substrat [2]. En jouant sur ces paramètres, il est possible d'obtenir des morphologies de polymères plasma allant du film mince jusqu'à des nanostructures (cf. Figure). Bien que ces paramètres soient connus pour affecter la morphologie du polymère plasma, les mécanismes sous-jacents restent assez peu compris.

Dans ce contexte, notre travail consiste en la compréhension de l'effet d'un de ces paramètres, à savoir la chimie de surface du substrat, sur la morphologie d'un polymère plasma. Pour cela, des surfaces modèles à chimies contrôlées ont été préparées en utilisant des monocouches auto-assemblées. Des monocouches à terminaisons vinyliques ont été préparées, puis post-fonctionnalisées par chimie click thiol-ène à l'aide d'un système de photolithographie sans masque [3]. Cette approche a permis de créer des surfaces entièrement post-fonctionnalisées ou présentant des motifs chimiques.

Après caractérisation des différentes chimies obtenues, notamment par microscopie à force latérale et par microscopie à sonde de Kelvin, un polymère plasma a été déposé sur ces substrats. Les dépôts obtenus ont ensuite été analysés par microscopie à force atomique afin d'évaluer l'influence de la chimie initiale du substrat sur la morphologie du polymère plasma.

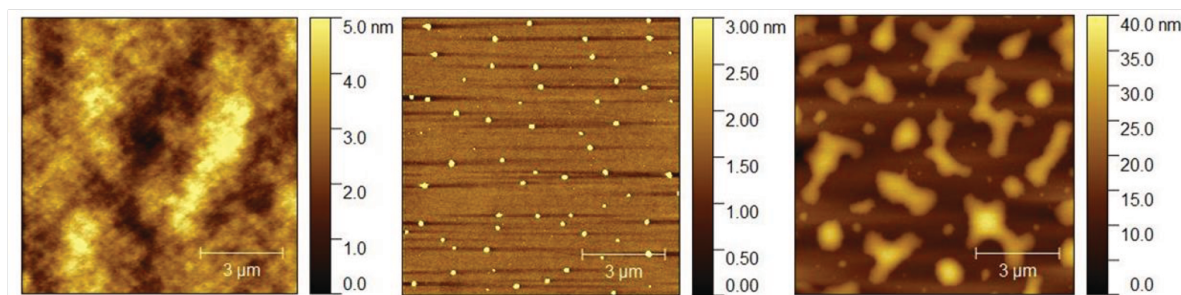


Figure : Images AFM ( $10 \times 10 \mu\text{m}$ ) pour plusieurs morphologies de polymères plasmatiques à base de citronellal. De gauche à droite : film mince, nanostructures, microstructures.

### Remerciements

Nous remercions l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour son soutien financier (ANR-22-CE51-0018 – SPON-TO-CONTROL).

### Références

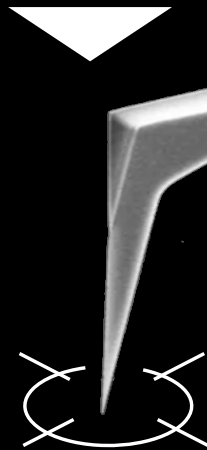
- [1] Brioude, M.; Laborie, M.; Airoudj, A.; Haidara, H.; Roucoules, V. *Plasma Processes and Polymers* **2014**, *11*, 943
- [2] Le, N.; Bonne, M.; Airoudj, A.; Fioux, P.; Bally-Le Gall, F.; Boubon, R.; Réniscoul, D.; Lebeau, B.; Roucoules, V. *Plasma Processes and Polymers* **2020**, *18*, 2000183
- [3] Covin, P.; Airoudj, A.; Minh Quoc Le, C.; Buffeteau, T.; Fioux, P.; Spangenberg, A.; Bally-Le Gall, F.; Noël, C.; Belmonte, T.; Roucoules, V.; Carneiro de Oliveira, J. *Langmuir* **2026**, *42*, 1834



# AFM Probes

New MEMS technology delivering better value for money

TrueTipView®  
precise positioning



Lprobe 30µm tip height  
XLprobe 100µm tip height



Tapping/non-contact  
True non-contact™



ScanAsyst®  
PeakForce Tapping™



Force  
modulation



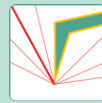
Contact



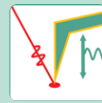
Electrical  
modes



Wavemode



s-SNOM



AFM IR

Find the best probe for your application

[vmicroafmprobes.com](http://vmicroafmprobes.com)

Lprobe®, XLprobe®, TrueTipView® are registered trademarks of Vmicro SAS, PeakForce Tapping® and ScanAsyst® are registered trademarks of Bruker Corporation, WaveMode™ is a proprietary mode of Nanosurf, True Non-Contact™ is a trademark of Park Systems Corp.



## Chemical Characterization beyond the Diffraction Limit

Park FX40-IR delivers AFM-integrated nanoscale IR spectroscopy using PiFM with non-contact detection.

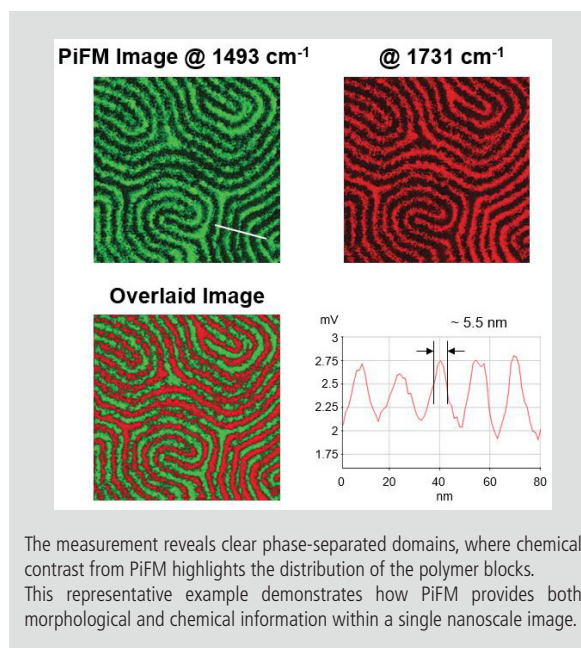
### Key Features

#### Suitable for Precise Chemical Characterization

- Sub-5 nm spatial resolution
- Non-contact PiFM detection
- Monolayer sensitivity
- Automatic IR laser alignment

#### FX AFM Advantages

- Superior FX Mechanical Design
- Orthogonal Scan System
- True Non-Contact™ Mode
- Automatic Probe Exchange
- Automatic Laser Beam Alignment



Scan to explore FX40-IR  
Visit our team at the Forum des Microscopies à Sonde Locale 2026

# Session l'Yvette

Vendredi 12/06/2026 (l'Yvette)



*L'Yvette aujourd'hui*

À la veille de la révolution, les cahiers de doléance des vallées de l'Yvette et de la Bièvre sont remplis de messages pour défendre les deux rivières contre la spéculation et un certain sieur Defer, ingénieur de son état et artisan de cette fronde contre son projet de canalisation. Depuis le XVII<sup>e</sup> siècle, l'approvisionnement en eau de Paris est un problème délicat. Si la rive gauche est desservie depuis 1623 par l'aqueduc d'Arcueil aux sources de Wissous et Rungis, on compte malgré tout un faible nombre de fontaines et l'essentiel provient de l'eau de la Seine. Et si l'approvisionnement à eau de la Seine est officiellement libre et gratuit depuis Henry IV, un monopole de fait de la corporation des porteurs d'eau fixe les prix et les règles. Des grandes pompes hydrauliques ont été installées sur la Seine au XVII<sup>e</sup> siècle mais elles sont peu fiables et chères, et avec l'accroissement de la population, elles sont clairement insuffisantes. Au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, deux projets s'affrontent. Le premier défendu par les frères Périer est très spéculatif et repose beaucoup sur la corporation des porteurs d'eau en proposant d'installer des pompes à feux (machines à vapeur) au milieu de la Seine. Le second projet tourne autour de l'adduction d'eau, essentiellement de l'Yvette. L'ingénieur Defer souhaite canaliser l'Yvette depuis le moulin de Coubertin, au pied du Vallon de Saint Paul, jusqu'à l'aqueduc d'Arcueil. Pour montrer la faisabilité de son projet, il commence par canaliser la Bièvre, une rivière sur lequel de nombreuses industries se sont installées, et se met ainsi à dos les populations rurales et beaucoup de corporations, notamment celles des tanneurs. À la révolution le projet est abandonné. C'est la dérivation de l'Ourcq qui sera réalisée sous l'empire (d'après la canalisation de l'Yvette par R., Ligonnière dans le val d'Yvette dans la révolution 1988).

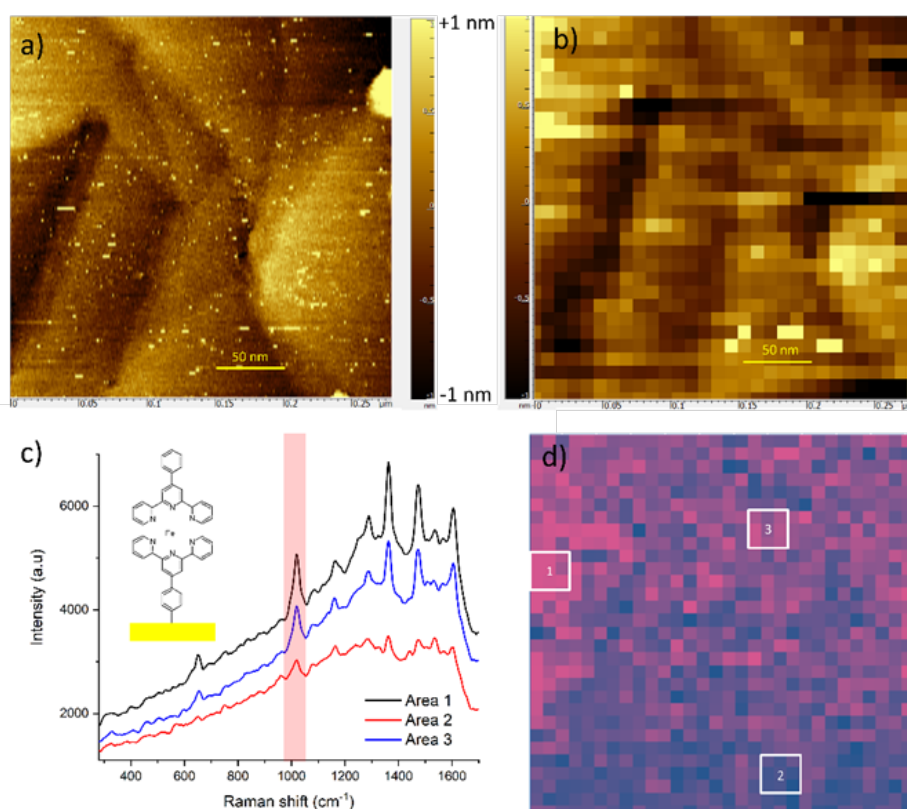
8h30	Emmanuel MAISONHAUTE	Tip Enhanced Raman Spectroscopy for scrutinizing the electrochemical interface
9h30	Ludovic TORTECH	Conductivité et connectivité des phases constitutives des produits d'altération de matériaux ferreux patrimoniaux
9h50	Ludovic DOUILLARD	Tip-enhanced Near-field Laser Ablation: Experiments and Modelling
10h10	Alice FIOCCO	Operando Tip-Enhanced Raman Spectroscopy for Investigating Interfacial Kinetics in Li-ion Battery Cathodes

# Tip Enhanced Raman Spectroscopy for scrutinizing the electrochemical interface

Emmanuel MAISONHAUTE, Côme Defontaine

Sorbonne Université, Institut Parisien de Chimie Moléculaire, UMR 8232, 4 place Jussieu, 75005 Paris

Surface modification methodologies are continuously refined, which in parallel necessitates accurate analytical methods to probe their chemical composition at the nanoscale. To this end, we will present the advantages of Tip Enhanced Raman Spectroscopy. This approach furnishes an accurate view over electrochemical interfaces by providing simultaneously local topography and vibrational fingerprints at the nanoscale.[1] We will present our TERS results on various surfaces, in parallel with their electrochemical behaviour. First, giant rotaxanes present fast electronic communication, and can be easily self-assembled thanks to dithiolane entities. Second, apart from thiol, use of carbenes (and in our case mesoionic carbenes) is finding an increasing interest, one major argument being that a strong Au-C bond is formed.[2] Our electrochemical results however lead to relativise this potential advantage. Third, while the use of diazonium salts is widespread particularly in the French community, the overgrafting and multilayer formation needs to be scrutinized for each system. To this end, we will compare the TERS spectra obtained after electrochemical reduction versus spontaneous grafting for the system displayed in Figure 1, that is of interest for molecular electronics.[3] Finally, we will also show the interest of performing electrochemical TERS to scrutinize the intermediates formed during the complex electroreduction of 4-nitrobenzylmercaptan. Our recent results for operando observations by EC-TERS will also be described.



**Figure 1 :** a) Classical STM image obtained for a gold substrate modified with 1 by spontaneous adsorption. Bias voltage: 0.2 V. Setpoint current 200 pA. b) STM Topography obtained during TERS imaging. Bias voltage: 0.2 V. Setpoint current 200 pA. 30×30 pixels<sup>2</sup>. Pixel size 9.33 nm. c) STM-TERS spectra obtained at positions 1, 2 and 3 d). Each spectrum was obtained by averaging a 3×3 pixels<sup>2</sup> area. d) TERS cartography corresponding to b) obtained after integration of the 1021 cm<sup>-1</sup> band.

## Références

- [1] Touzalín T, Joiret S, Maisonhaute E, Lucas IT. *Current Opinion in Electrochemistry* **2017**, 6, 46.
- [2] Sadek O, Rabah J, Sowid S, et al. *Electrochimica Acta* **2024**, 507, 145189
- [3] Touzalín, T., Landoulsi J., Fillaud L., Lucas Ivan T., Maisonhaute E., *Optics Communications*, **2025**, 589, 132034

## Conductivité et connectivité des phases constitutives des produits d'altération de matériaux ferreux patrimoniaux

Ludovic Torteche<sup>1,2</sup>, Jiaying Li<sup>3</sup>,

Delphine Neff<sup>3</sup>, Philippe Dillmann<sup>3</sup>, Jean-Paul Gallien<sup>3</sup>, Eddy Foy<sup>3</sup>, Florence Mercier<sup>3</sup>

(1) Sorbonne Universités, UPMC Université Paris 06, UMR 8232, Institut Parisien de Chimie Moléculaire (IPCM), 75005 Paris, France

(2) CEA Saclay, IRAMIS, NIMBE (UMR 3685), Laboratoire d'Innovation en Chimie des Surfaces et Nanosciences (LICSEN), 91191 Gif-sur-Yvette, France

(3) LAPA-IRAMAT/NIMBE CEA, CNRS, Université de Paris Saclay, CEA Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette, France

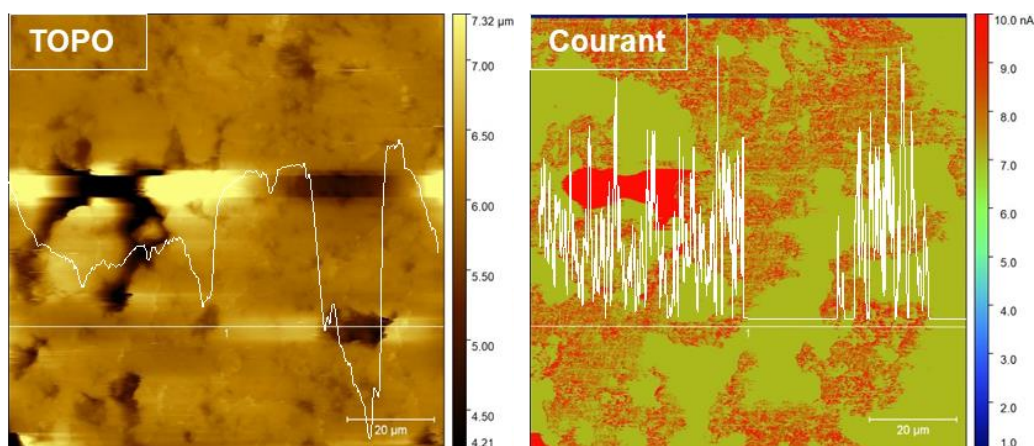
La protection patrimoniale et en particulier la compréhension des processus d'altération est un enjeu nécessaire et indispensable pour préserver les témoins matériels des sociétés passées et présentes. Dans le cadre d'une collaboration avec le laboratoire ARchéomatériaux et Préviation de l'Altération du CEA de Saclay nous avons investigué par microscopie à force atomique des profils de corrosion de matériaux, à base de fer, issus de sites archéologiques pour afin de mieux appréhender la composition des couches d'oxydes naturels.

Dans ce travail, nous présentons les résultats de microscopie à force atomique de 2 études sur des échantillons de fer prélevés sur des objets issus de différents sites archéologiques (Glinet et épave marine au large de Marseille). Les clous du site de Glinet sur lesquels règnent en partie des condition anoxiques saturées en eau et un fragment de l'épave sous-marine le Liban altérée en eau de mer.

Dans le premier exemple nous présenterons comment nous avons pu montrer que des phases conductrices constitutives des produits de corrosion (sulfures) bien qu'étant enchassés dans des matrices d'oxydes isolantes, pouvaient être connectés au substrat métallique.

Dans le deuxième exemple nous présenterons des facies de couches de produit de corrosion investigués par *scanning spread resistance microscopy*, AFM-SSRM. Nous montrerons la présence de phases conductrices bien qu'étant enchassées à l'échelle du micromètre dans une matrice isolante. Ces phases conductrices restent connectées au métal et ce même sur des couches de produits de corrosion millimétriques, dans la couche des produits de corrosion et la force de la technique pour sonder les espèces électriquement hétérogènes.

On voit ici la force du C-AFM pour mettre en évidence des propriétés locales des produits de corrosion. Ces propriétés étant à même d'influencer des mécanismes dimensionnants des processus de corrosion.



**Figure 1** : images AFM avec une inclusion de magnetite: (a) topographie, (b) courant (bias +1V)  
Dimensions: 100 µm x 100 µm.

### Références

- (1) Mercier-Bion, F.; Li, J.; Lotz, H.; Torteche, L.; Neff, D.; Dillmann, P. Electrical Properties of Iron Corrosion Layers Formed in Anoxic Environments at the Nanometer Scale. *Corros. Sci.* **2018**, *137*, 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.03.028>.

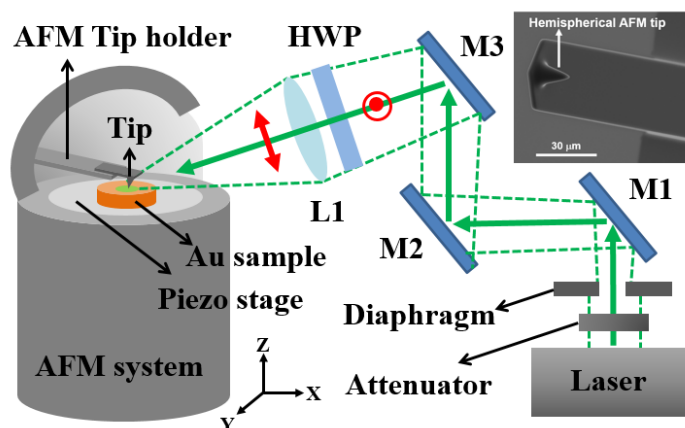
## Tip-enhanced Near-field Laser Ablation: Experiments and Modelling

Alexandre SEMEROK<sup>1</sup>, Hung-Ju LIN<sup>1</sup>, Jean-Luc LACOUR<sup>1</sup>, Ludovic DOUILLARD<sup>2</sup>  
and Frédéric CHARTIER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Paris-Saclay, CEA, Service de Physico-Chimie, 91191, Gif-sur-Yvette, France

<sup>2</sup> Université Paris-Saclay, CNRS CEA, SPEC, 91191, Gif-sur-Yvette, France

Tip-enhanced near-field laser ablation (LA) was under study. From our earlier studies [1, 2], the typical sizes of craters obtained by a conventional LA are in a micro meter range. With the aim to obtain craters of nano metric sizes, a tip-enhanced method was applied to near-field LA [3]. Our current studies are aimed to observe experimentally and to model numerically the effect of the experimental parameters (incident angle, polarisation, tip-sample surface distance, and tip radius) on tip-enhanced LA efficiency. Our experiments were carried out on a commercial Atomic Force Microscopy (AFM) system (Nano-Observer, CSInstruments). A Nd:YAG pulsed laser (532 nm wavelength, 3-5 ns pulse duration, 10 Hz repetition rate) was used for near-field LA of the samples. The scheme of tip-enhanced near-field LA setup is presented on Fig.1. The experimental scheme was developed and designed as follows. Firstly, the laser beam is passed through a half wave plate (HWP), where it changes its linear polarisation direction. Then, the laser beam is focused on the target sample by a lens L1 (focal length  $f = 150$  mm) to the laser spot diameter ( $D \approx 300$   $\mu\text{m}$ ). Further, to provide near-field LA and the scanning procedure with the AFM tip, the system is designed as two consecutive scans at two different scanning modes (“contact” and “lift”) for one and the same scanning track on the sample surface. The first scan is operated at a “contact mode” to record the surface profile. It is immediately followed by the second scan controlled at a “lift mode”, thus allowing the AFM tip to follow the same scan track, but at a given height of 5-30 nm from the target sample surface. Near-field LA is applied during the second scan at a “lift mode”, which is synchronised with the laser shutter opening, thus allowing the laser beam to excite the AFM tip. A laser fluence spot was kept as 100 mJ/cm<sup>2</sup> to avoid sample damaging. A solid copper substrate with electroplated bare gold coating (laser mirror of Thorlabs, Inc.) was used as a target sample. A probing tip was chosen as a hemispherical AFM tip shape with the radius curvature of 250 nm and 500 nm. The probes were commercial AFM tips (Team Nanotec GmbH) of single crystal silicon with no additional coating. The cantilever and the holder chip were also single crystal silicon. The stiffness and typical resonant frequency of the cantilever were 40 N/m and 300 kHz, respectively.



**Figure 1:** Tip-enhanced near-field laser ablation setup. A nanosecond-pulsed Nd:YAG laser (532 nm) was focused on the tip. M1, M2, and M3 – mirrors, L1 – focus lens (focal length,  $f = 150$  mm), HWP – half wave plate. The incident angle of laser beam is at  $70^\circ$ . A vertical polarization along with z-axis is applied to the AFM tip. An inset at top right corner is a SEM image showing one of applied hemisphere AFM tips.

The models based on the Boundary-Element-Method (BEM) and the Finite-Difference Time-Domain (FDTD) were developed to describe the tip-assisted electric field enhancement under laser beam irradiation [4]. Both methods are quite relevant for the full-wave MAXWELL's equations. The numerically calculated model is illustrated on Fig.2(a). A typical silicon tip end is simulated as “an ellipsoid”, which approaches a gold (Au) target at 5 nm distance. The electric field  $|E_z|$  at the incidence angle (AOI) in the range of  $40^\circ$ - $70^\circ$  was calculated by the Fresnel equations, and its maximum value is found at AOI =  $55^\circ$ . In order to avoid a possible shadowing effect, the light incident angle is thus set as  $70^\circ$ , according to the surface normal. The implemented computational codes are: (i) the Boundary Element Method (MNPBEM17 Matlab toolbox Comp. Phys. Commun. 185, 1177 (2014)), (ii) the Finite Difference Time Domain FDTD (Commercial software LUMERICAL).

## Operando Tip-Enhanced Raman Spectroscopy for Investigating Interfacial Kinetics in Li-ion Battery Cathodes

Alice Fiocco <sup>1</sup>, Beatrice Laurenti <sup>2</sup>, Juan Carlos Gonzalez-Rosillo <sup>2</sup>, Francesco Chiabrera <sup>2</sup>,  
Fernanda Monteiro Freitas <sup>2</sup>, Marc Chaigneau <sup>1</sup>, Alex Morata <sup>2</sup>, Albert Tarancon <sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>HORIBA France SAS, 14 bd Thomas Gobert, 91120 Palaiseau, France

<sup>2</sup>Department of Advanced Materials for Energy Applications, Catalonia Institute for Energy Research (IREC), Jardins de les Dones de Negre 1, 08930, Sant Adrià del Besòs, Barcelona, Spain

<sup>3</sup>Catalan Institution for Research and Advanced Studies (ICREA), Passeig Lluís Companys 23, 08010, Barcelona, Spain

Improving the design of Li-ion batteries for achieving optimal performances requires a precise knowledge of the modifications occurring in their inner structures upon several charge/discharge cycles. Indeed, the efficiency of lithium ions transfer during the cycling is strictly related to the physicochemical properties of the two electrodes' surfaces, which are in turn susceptible to be modified by the repetitive Li migrations. *Operando* analyses are therefore of crucial importance for understanding the relationship between the electrode structure and the lithium transfer kinetics, for a proper assessment of the battery efficiency, stability and longevity.

The solution proposed in this work consists in performing Tip-Enhanced Raman Spectroscopy (TERS) on a dedicated, AFM-compatible electrochemical cell (Figure), for achieving concurrent spectro-electrochemical analyses with nanometric spatial resolution. TERS spectra were acquired over the grains and the grain boundaries of lithium manganese oxide, a promising candidate as cathode active material, while it was subjected to variable electrical potential [1]. Differences in the appearance/disappearance of the spectral bands as a function of the applied potential were integrated in a kinetic model and showed that the electron transfer occurs faster in boundary defects. This observation, supported by the literature [2], evidences the importance of well defining the nano-structure of the electrodes for achieving the best battery efficiency.



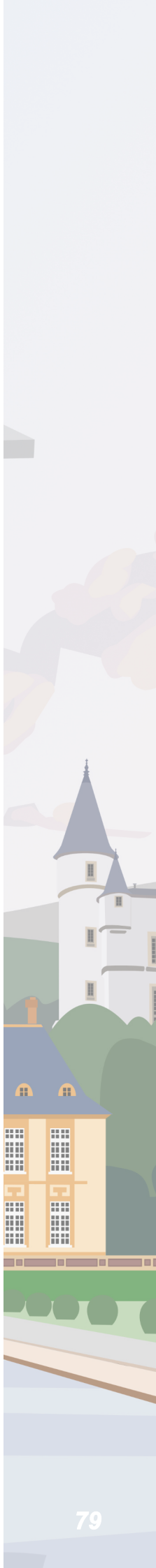
**Figure:** Schematic view of the AFM-based electrochemical-TERS setup used for *operando* analysis.

### Références

- [1] Laurenti, B. ; Gonzalez-Rosillo, J.C. ; Chiabrera, F. ; Fiocco, A. ; Monteiro Freitas, F. ; Chaigneau, M. ; Morata, A. ; Tarancon, A. *EES Batteries* **2025**, *1*, 1147
- [2] Wang, R. ; Chen, X. ; Huang, Z. ; Yang, J. ; Liu, F. ; Chu, M. ; Liu, T. ; Wang, C. ; Zhu, W. ; Li, S. ; Li, S. ; Zheng, J. ; Chen, J. ; He, L. ; Jin, L. ; Pan, F. ; Xiao, Y. *Nature Communications* **2021**, *12*, 3085

# Notes

---



# Session Pierre-Gilles de Gennes

**Vendredi 09/06/2026 (Pierre-Gilles de Gennes)**



Pierre-Gilles de Gennes (1932-2007) était spécialiste de physique théorique et a ouvert un champ de recherche sur la matière molle en travaillant sur les cristaux liquides, les polymères, colloïdes et surfactants. Après des études en physique théorique à l'école Normale Supérieure, il a effectué sa thèse au commissariat à l'énergie atomique sur le magnétisme. Après un séjour Berkeley où il a travaillé avec C. Kittel, P-G de Gennes a monté, en 1961, un groupe de recherche au Laboratoire de Physique des Solides (Université Paris Saclay) pour travailler sur la supraconductivité puis sur les cristaux liquides. En 1971, il devint professeur au collège de France où il entama des travaux sur les polymères, avant de s'intéresser aux phénomènes d'adhésion et de mouillage en lien avec l'industrie. De 1976 à 2003, il a dirigé l'école Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles (Paris) où il a initié de nouvelles méthodes d'enseignement et introduit des cours en physico-chimie et biologie. En 1991, il a reçu le prix Nobel en Physique pour ses travaux menés sur la généralisation de méthodes utilisées sur des systèmes simples à l'étude de systèmes complexes comme les cristaux liquides ou les polymères. En fin de carrière, il réorienta ses recherches sur l'adhésion cellulaire et la formation de la mémoire. Sa femme, Anne-Marie Rouet a tenu de 1975 à 2007 un restaurant le « Boudin Sauvage » qui se situait à Orsay proche de la gare du Guichet.

11h00	Nataliya KALASHNYK	Formation of Low-Dimensional Carbon Nitrides via On-Surface Polymerization of CN-Based Molecular Precursors
11h20	Philipp SCHAFFER	Marier le nano-IR et le TERS dans un seul microscope afin de sonder la chimie de virus et de protéines individuelles
11h40	Childéric SEVERAC	Analyse mécanique dynamique (DMA) en AFM : une stratégie de haute densité d'information mécanique pour la classification par IA
12h00	Santiago ANDANY	Automated AFM framework applied to polymer nanomechanical characterization at different temperatures

# Formation of Low-Dimensional Carbon Nitrides via On-Surface Polymerization of CN-Based Molecular Precursors

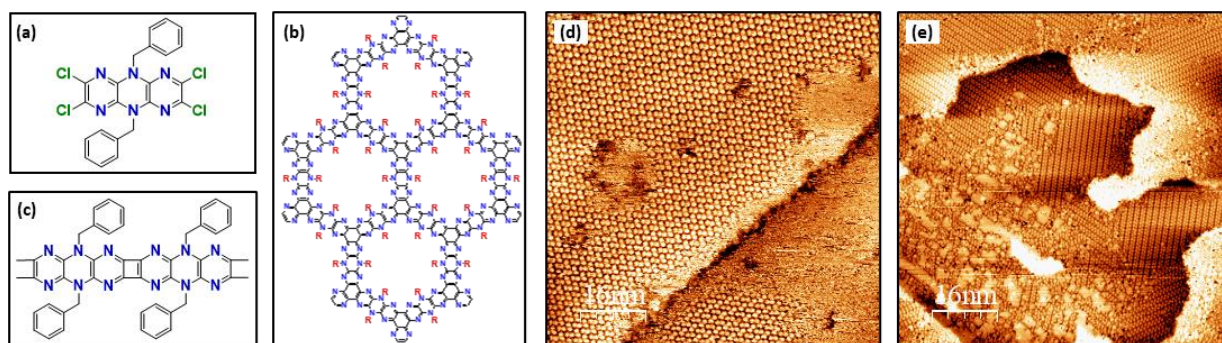
Nesrine SHAIK,<sup>1</sup> Edward DUNN,<sup>1</sup> Ahmed HEWAIL,<sup>1</sup> Victor VAILLANT,<sup>1</sup> Thierry MELIN,<sup>1</sup> Stéphane LENFANT,<sup>1</sup> Eric FAULQUES,<sup>1</sup> Vincent HUC,<sup>2</sup> Nataliya KALASHNYK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520 - IEMN - Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, F-59000 Lille, France

<sup>2</sup> Univ. Paris-Saclay, CNRS, ICMMO - Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay, F-91400 Orsay, France

Over the past decade, graphitic carbon nitrides (g-CN) have attracted increasing attention from the research community due to their remarkable electronic and photochemical properties [1]. Some g-CN materials are even predicted to exhibit graphene-like electronic behavior. Notably, g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and g-C<sub>2</sub>N share a similar structure to graphene, but with certain carbon atoms either substituted by nitrogen or removed entirely [2,3]. This structural modification introduces regular pores and opens up a direct bandgap. Unlike monolayer graphene, however, g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> typically forms two-dimensional crystals consisting of several to hundreds of atomic layers. A recent study evidences that it is possible to reduce these structures to monolayer porous carbon nitride (C<sub>2</sub>N and CN flakes) using a specific double confinement strategy during solution-phase synthesis via a Fittig reaction [4]. Despite being a common strategy for fabricating nanostructured graphenes, the growth of such CN-based nanoporous graphenic structures under UHV conditions has, to our knowledge, been reported in only one publication [5].

Here we present initial results on novel halogenated CN-based precursors (Fig. 1a). Their molecular conformations were first characterized by Raman and IR spectroscopy prior to undergoing the Fittig reaction for the synthesis of 2D porous carbon nitride (Fig. 2b). TEM and AFM images of the synthesized material revealed well-defined 2D flakes, occasionally accompanied by 1D wires, likely due to incomplete conversion. To promote the exclusive formation of 2D porous structures, we performed on-surface synthesis under UHV by depositing CN-based molecules on Ag(111), followed by intermolecular coupling induced either through thermal post-annealing or hot-substrate deposition. STM analysis showed the initial formation of self-assembled layer at RT (Fig. 1d) and the resulting 1D carbon nitride nanoribbons (Fig. 1e,c) at elevated temperature, distinct from the structures produced via Fittig synthesis.



**Figure 1** : (a) CN-based tetrachloro precursors that can form either (b) 2D porous carbon nitride networks via solution-phase Fittig reaction, or (c) 1D nanoribbons via on-surface synthesis under UHV condition. (d, e) STM images of (d) molecular assembly and (e) covalently bonded nanoribbons formed on Ag(111) at RT or at 400 °C.

## Références

- [1] Cooper, A.I. et al. *Mater. Today* **2014**, *17*, 468
- [2] Algara-Siller, G. et al. *Angew. Chem.* **2014**, *126*, 7580
- [3] Mahmood, J. et al. *Nat. Commun.* **2015**, *6*, 6486
- [4] Da Silva, C.M. et al. *Sci. Rep.* **2023**, *13*, 15423
- [5] Gammelgaard, J.J. et al. *ACS Nano* **2023**, *17*, 17489

## Marier le nano-IR et le TERS dans un seul microscope afin de sonder la chimie de virus et de protéines individuelles

Philip SCHÄFER<sup>1</sup>, Aina REICH<sup>1</sup>, Korbinian KALTENECKER<sup>1</sup>, Philippe AYASSE<sup>2</sup>, Adrian CERNESCU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> attocube systems GmbH (neaspect), Eglfinger Weg 2, 85540 Munich, Allemagne

<sup>2</sup> AtouM Tech SAS, Boulevard de l'Avenir 8, Marseille 13012, France

Le nano-IR englobe des techniques sondes locales d'infrarouge complémentaires, IR-s-SNOM (scattering-type Scanning Near-field Optical Microscopy) et AFM-IR, qui partagent le même objectif, la spectroscopie et l'imagerie infrarouge avec une résolution spatiale réellement nanométrique sous une pointe AFM métallique.

Dans l'AFM-IR, l'échantillon est éclairé par un faisceau infrarouge pulsé, l'énergie IR absorbée induit une expansion thermique rapide et localisée qui excite le cantilever AFM. L'oscillation mécanique qui en résulte constitue une lecture directe de l'absorption infrarouge locale du volume nanométrique situé sous la pointe [1].

Dans l'IR-s-SNOM, le fort confinement de la lumière (en onde continue) à l'apex d'une pointe AFM métallique acérée génère un champ proche optique nanométrique. L'analyse de la lumière diffusée (élastique) par le champ proche permet d'obtenir la réponse optique locale (fonction diélectrique : réflectivité et absorption) directement sous la pointe, fournissant ainsi des images optiques à résolution nanométrique, montrant un contraste chimique local [2,3].

Comme ces deux méthodes reposent sur des mécanismes de détection physique différents tout en sondant un volume d'interaction nanoscopique similaire, leur combinaison au sein d'un seul instrument permet d'adapter la méthode la plus appropriée à chaque type d'échantillon. Cette complémentarité est encore renforcée par une source laser modulable couvrant une plage spectrale exceptionnellement large dans le moyen infrarouge, de 570 à 4440  $\text{cm}^{-1}$  (avec seulement un petit écart), donnant accès à la quasi-totalité des modes de vibration moléculaire pertinents. Ensemble, ces deux méthodes couvrent un large éventail de signatures vibratoires, avec une sensibilité suffisante pour identifier des virus individuels et même enregistrer des spectres nano-IR de protéines uniques (voir Figure 1) [4].

Grâce à l'utilisation de membranes ultraminces et de géométries adaptées, l'IR-s-SNOM peut en outre être mis en œuvre en milieu aqueux, permettant l'étude de systèmes biologiques, comme les cellules vivantes proches de leurs conditions physiologiques et sans marqueur fluorescent [5].

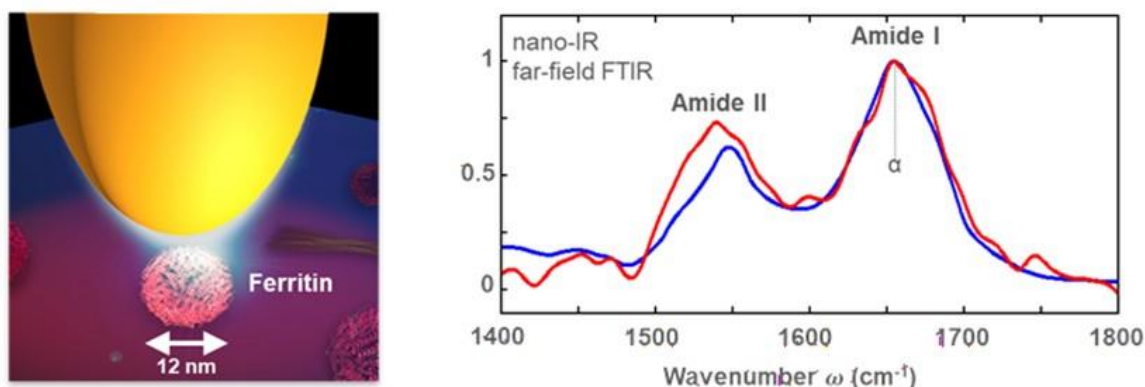


Figure 1 : Spectroscopie nano-IR sur une protéine unique.

Afin de couvrir tous les modes des vibrations moléculaires possibles et d'élargir la plage spectrale, nous complétons les expériences par la spectroscopie Raman (voir Figure 2). Le spectroscopie Raman exaltée par pointe (TERS), fondé sur l'augmentation du champ électromagnétique à l'apex de la pointe AFM métallique, fournit une spectroscopie Raman localisée avec une résolution environ 10 nm, et souvent bien meilleure. Cette approche permet de sonder des virus individuels, en révélant des signatures Raman associées à des protéines de surface et des lipides.

Cette orthogonalité entre nano-IR et TERS (voir Figure 2) offre une fenêtre analytique d'une diversité inégalée pour, par exemple, la biophysique structurale, en permettant d'accéder simultanément à des informations sur les modes amides, la conformation des protéines, les états d'agrégation, les hétérogénéités intraparticulaires et les interactions locales [6].

# Analyse mécanique dynamique (DMA) en AFM : une stratégie de haute densité d'information mécanique pour la classification par IA

Childéric SEVERAC<sup>1</sup>,

Ophélie THOMAS-CHEMIN<sup>1,2</sup>, Yara ABIDINE<sup>3</sup>, Emmanuelle TREVISIOL<sup>4</sup>, Etienne DAGUE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> RESTORE, Université de Toulouse, CNRS, INSERM, EFS, Université P. Sabatier, Toulouse, France

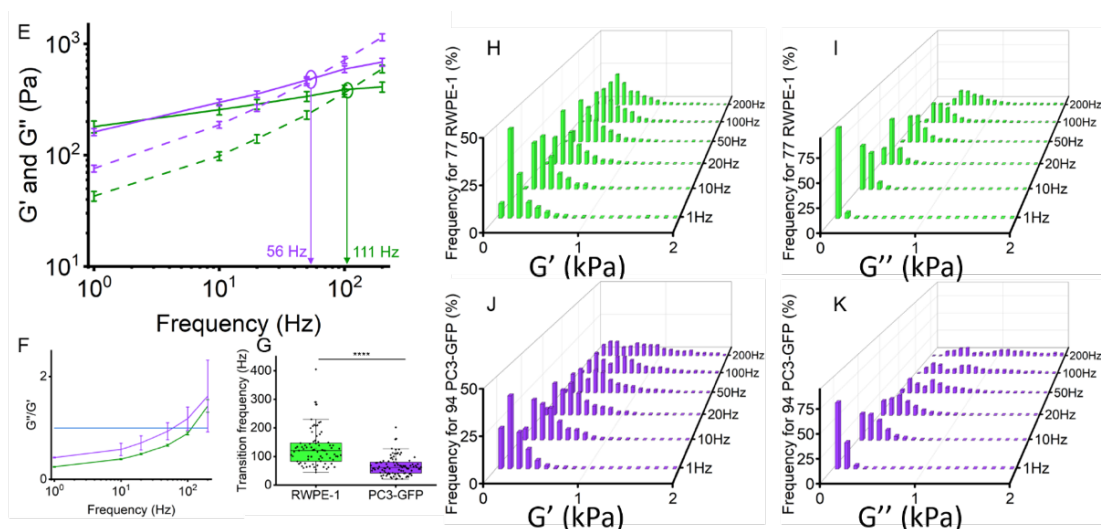
<sup>2</sup> LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France

<sup>3</sup> IMFT, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse, France

<sup>4</sup> TBI, Université de Toulouse, CNRS, INRAE, INSA, Toulouse, France

e-mail : childerick.severac@cns.fr

L'étude des propriétés mécaniques des cellules par AFM constitue une approche prometteuse pour le phénotypage mécanique sans marquage. Cependant, la faible cadence des mesures limite souvent la génération de jeux de données adaptés aux approches d'intelligence artificielle. Une première stratégie consiste à augmenter le nombre de cellules mesurées grâce à l'automatisation de l'AFM.[1,2,3] Nous explorons ici une approche complémentaire basée sur l'analyse mécanique dynamique (DMA) visant à augmenter la densité d'information mécanique par mesure. En sondant les cellules à différentes fréquences, la DMA permet d'extraire de nombreux descripteurs viscoélastiques constituant un mécanome à haute densité de données par cellule. L'analyse combinée de ces paramètres par machine learning permet alors de classifier des cellules malgré un nombre limité de mesures.[4] Cette approche met en évidence l'intérêt d'augmenter la richesse informationnelle par mesure et ouvre des perspectives pour d'autres applications en AFM et plus largement en SPM.



**Figure 1** : Comparaison conventionnelle des 19 descripteurs biomécaniques issus de la DMA mesurés sur cellules prostatiques non malignes (RWPE-1) et cancéreuses (PC3-GFP), utilisés pour l'apprentissage d'un algorithme de classification à partir d'un nombre limité de cellules.

## Références

- [1] Severac, C.; Proa-Coronado, S.; Formosa-Dague, C.; Martinez-Rivas, A.; Dague, E. Automation of Bio-Atomic Force Microscope Measurements on Hundreds of *C. Albicans* Cells. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)* **2021**, No. 170, e61315. <https://doi.org/10.3791/61315>.
- [2] Thomas - - Chemin, O.; Séverac, C.; Moumen, A.; Martinez-Rivas, A.; Vieu, C.; Le Lann, M.-V.; Trevisiol, E.; Dague, E. Automated Bio-AFM Generation of Large Mechanome Data Set and Their Analysis by Machine Learning to Classify Cancerous Cell Lines. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2024**, *16* (34), 44504–44517. <https://doi.org/10.1021/acsami.4c09218>.
- [3] Thomas - -Chemin, O.; Janel, S.; Boumejdi, Z.; Séverac, C.; Trevisiol, E.; Dague, E.; Duprés, V. Advancing High-Throughput Cellular Atomic Force Microscopy with Automation and Artificial Intelligence. *ACS Nano* **2025**. <https://doi.org/10.1021/acsnano.4c07729>.
- [4] O. Thomas- Chemin, C. Severac, Y. Abidine, E. Trévisiol, Machine learning classification of normal and malignant cells on the basis of their viscoelastic properties, Under revision in *Computer Methods and Programs in Biomedicine* **2026**

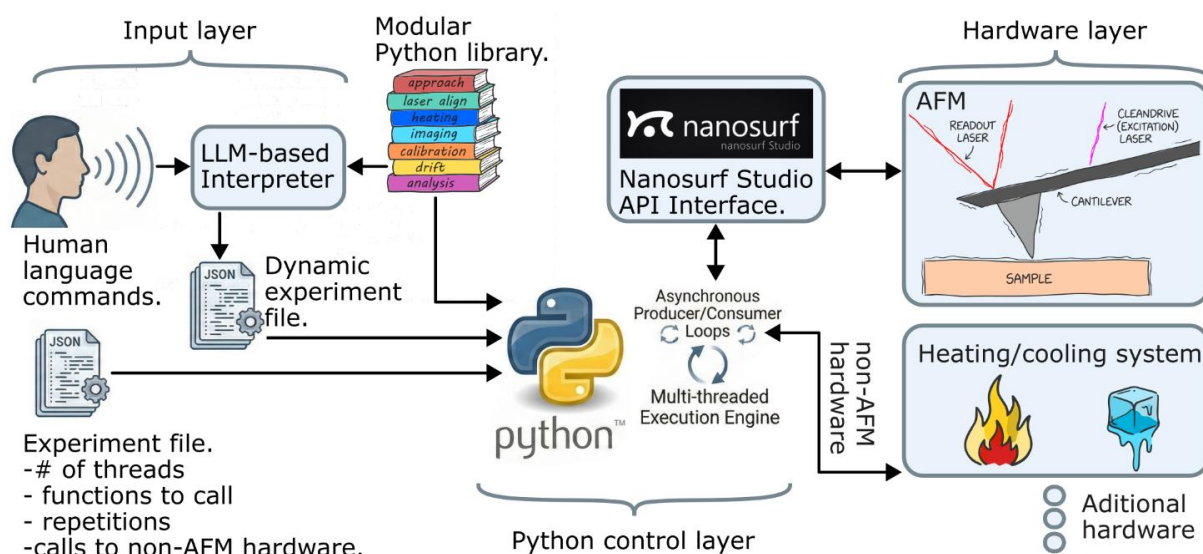
## Automated AFM framework applied to polymer nanomechanical characterization at different temperatures.

**Andany Santiago<sup>1</sup>**, Gunstheimer Hans<sup>1</sup>, Corte-León Héctor<sup>1</sup>, Adams Jonathan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nanosurf AG, 4410 Liestal, Switzerland

Automated experiments, that allow parallelizing and reproducing tests with higher accuracy, are a primordial need of the machine learning and AI era [1]. But unlike other techniques [1], Atomic Force Microscopy (AFM) still largely relied on human-on-the-loop to operate. However, with the release of commercial systems such as the DriveAFM from Nanosurf, it is now possible to fully script the AFM operation [2,3].

This study introduces a hybrid framework that automates the entire AFM process—from laser alignment and calibration to data acquisition. We demonstrate this by characterizing polymer nanomechanics at temperatures ranging from ambient to 100+ deg.



**Figure 1** : Automated AFM framework architecture. The system integrates a Modular Python library of experimental functions (e.g., approach, alignment, and calibration) with a Python control layer that utilizes asynchronous producer/consumer loops and multi-threading to orchestrate hardware tasks. Experimental parameters—including thread count and function sequences—are defined via an Input layer consisting of either a direct Experiment file or Human language commands processed by an LLM-based Interpreter. This centralized execution engine manages real-time communication between the Nanosurf Studio API Interface and the physical Hardware layer, encompassing the AFM system and auxiliary non-AFM hardware components like the Heating/cooling system.

The experimental setup consisted of a Nanosurf DriveAFM system (fully scriptable in Python) with a temperature control (also with a Python API) and the sample under study, which was a polymer blend of PS-LDPE with a phase transition about 100 deg C.

The automated AFM framework architecture (shown on Figure 1) is centred around a modular Python library containing specialized functions for AFM operations, including probe calibration, surface approach, and scanning parameter optimization. The framework operates through three primary stages:

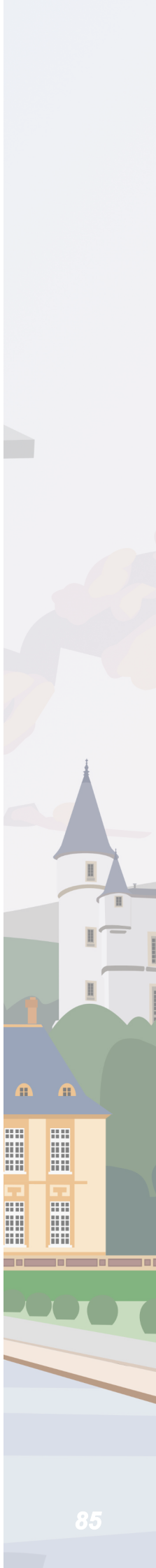
**Input Layer:** Experiments are initiated via two pathways. Users can either provide a direct Experiment Configuration File (JSON/YAML) or use a Human Voice Interface. In the latter case, an LLM-based interpreter processes the vocal commands to dynamically generate a configuration file based on the available function library.

**Control Logic:** The core Python engine utilizes asynchronous producer-consumer loops to manage task execution. This architecture allows for the simultaneous handling of multiple threads, ensuring efficient timing between software commands and hardware responses.

**Hardware Integration:** The execution engine translates the configuration instructions into API calls that interface directly with the Nanosurf Studio software and external hardware components (such as heating/cooling systems), coordinating the experimental workflow in the specified sequence.

# Notes

---



## Nano-Observer II with motorized stage

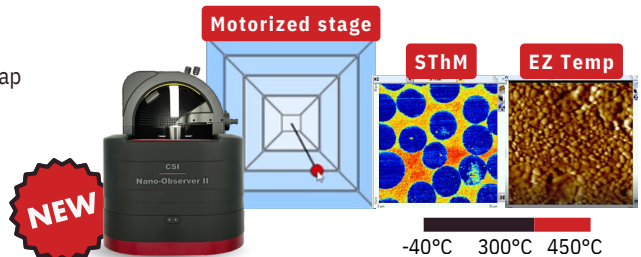
### ■ The most flexible AFM

The motorized Nano-Observer II, a cutting-edge Atomic Force Microscope (AFM) designed for both advanced researchers and newcomers.

- Step resolution: 0.5  $\mu\text{m}$
- Travel range: 25 mm  $\times$  25 mm
- Point-and-measure: Click any location on the sample map to navigate and start a measurement automatically

#### NEW

- Temperature measurement now from -40 up to 450°C
- SThM: Software control and low noise detection



## Galaxy Dual Controller

### ■ Multi-Platform AFM Control Electronics

The Galaxy Dual controller natively operates the Nano-Observer and provides full control over a range of AFM systems, including: Multimode / **Dimension D3100**

Agilent Keysight 5500 / 5100 - 5400 / 5420 - 5600LS - PicoSPM (STM)

Galaxy Dual Controller now compatible with D3100



#### D3100:

- CCD software integrated
- Motorized stage software control
- Full AFM modes

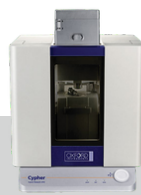
## Jupiter XR, Cypher S, MFP-3D, Origin & Vero S

### ■ High-Speed, High Resolution AFMs



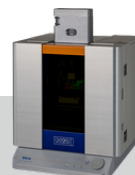
#### The MFP-3D Origin™

Research-grade AFM at an entry-level price.  
High performance: atomic resolution to 120  $\mu\text{m}$  scans. Large-sample capability, broad modes, versatile accessories. Rugged, easy to use, ideal for busy labs. Upgradeable platform with unmatched global support.



#### Cypher

Fast-scanning, high-resolution AFM. Full-featured modes, air/liquid operation. Compact footprint, upgradeable to environmental control and video-rate. Seconds-level results, simplified workflow, exceptional support.



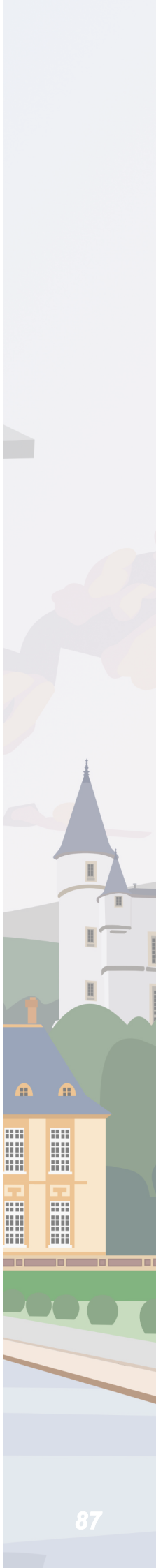
#### Cypher - Vero

Next-generation AFM with QPDI for true tip-displacement measurement. Higher sensitivity, no force crosstalk, wavelength-calibrated accuracy. High resolution, fast scans in seconds. Optional blueDrive for stable, simplified tapping-mode imaging.



#### Jupiter XR

High-speed, extended range AFM for 200 mm samples. 100  $\mu\text{m}$  scanner, unmatched resolution, fast workflows. Modular, flexible design for research and industrial R&D.



## Liste des posters

Abdelhaq	BOUMAAROUF	Highly sensitive NbN functionalized probe for Scanning Thermal Microscopy (SThM)
Joao-Paulo	COSAS FERNANDES	A simulation of the effect of polymer blends' compositions and properties on the quantification of interphases
Agnes	PIEDNOIR	Mesure d'adhésion entre fibres de verre par spectroscopie de force
Aimeric	OUVRARD	Ordered plasmonic nanoparticles in interaction with molecules
Aissam	AIROUDJI	Nanoscale mechanical characterization of plasma polymer thin films by AFM: relationship between crosslinking and elastic modulus
Alexis	FAGUNDES	Exploring the quantum properties of spin defects in 2D semiconductors
Alistair	ROWE	La mise en évidence du rôle des défauts en V dans l'amélioration du rendement des diodes électroluminescentes vertes
Anissa	AIT OUAILAL	Indentation AFM cyclique pour l'étude du couplage mécano-métabolique dans des cellules musculaires humaines
Bertrand	KIERREN	Electron confinement in ultrathin films of Pb on Ag(111) and electron interferometry. Model and experiments.
Chantal	HAREAU	Microscopie à centre NV couplée à l'excitation optique pour l'étude de champs magnétiques induits par Effet Faraday Inverse
Christian	ROUBERT	Spectroscopie d'injection et d'électroluminescence tunnel des couches épitaxiales de AlGaIn émettant dans le proche UV
Cyril	DE SOUSA	Détermination des lois de comportement en frottement par l'étude de contacts oscillants
David	TALAGA	A TIR-Based Multimodal Nanoscopy Platform for Correlative Imaging of Single Nano-Objects
Denis	MARIOLLE	La coextrusion de polymères : vers un échantillon de référence pour les analyses mécaniques par AFM et la dissémination des bonnes pratiques de mesure
Dylan	AMELOT	Reversible Patterning of Azobenzene Thin-Films by Focused Laser Scanning
Elizabeth	BOER-DUCHEMIN	Quoi doit-on prendre en considération si l'on veut mesurer la résonance plasmonique d'une nanoparticule avec un microscope à sonde locale ?
Etienne	PUYOO	Optical and thermal tracking of the insulator-to-metal transition within vanadium oxide-based memristors in operation
Frederic	DUBREUIL	De la lubrification particulière macroscopique à son investigation nanotribologique par AFM
Gustavo Nino	CAMPOS	Nanoscale Chemical Mapping of Phase Separation in Carboxylated Rubber by AFM-IR
Joao-Lucas	RANGEL	Two dynamic modes to simplify challenging AFM measurements
Joao-Paulo	COSAS FERNANDES	Post-consumer Recycled (PCR) PE, PP, and PET Blends Evaluated via AFM Quantitative Nanomechanics Mapping

Keke	YUAN	Tip-Enhanced ultrafast vibrational spectroscopy at the nanoscale
Lionel	PATRONE	Bichromophores auto-assemblés en monocouches pour le contrôle des propriétés optoélectroniques aux interfaces
Louis	LEREY	Investigations of magnetic textures in Fe <sub>3</sub> GaTe <sub>2</sub> ferromagnetic flakes with large perpendicular magnetic anisotropy
Louis	THOMAS	Nano-Characterisation avancée par microscopies à sonde locale
Lydia	CHIBANE	Méetrologie corrélative pour l'étude des propriétés physico-chimiques de l'oxyde de graphène au cours de sa réduction
Mathieu	MIVELLE	Full control of the electric and magnetic light-matter interactions through a nanomirror on a near-field tip
Michael	TZVETKOV	Extraction de la Résistance de Contact Pointe-Cristal 2D en C-AFM
Olivier	PLUCHERY	Caractérisation de la limite de résolution des modes électriques du KPFM
Pascal	CHRETIEN	Échantillon de référence optimisé pour l'étalonnage de mesures de résistance électrique à l'échelle nanométrique
Pavel	VARMALOV	Caractérisation par STM de nanoparticules plasmoniques chirales
Pierre	RODRIGUEZ	Caractérisation d'une nano-antenne GHz à partir d'un centre NV
Renaud	BACHELOT	Near-Field Optical Chirality on Achiral Gold Nanoparticles under Linear Polarization
Rozenn	BERNARD	Étude des propriétés électroniques des parois d'antiphase dans des films minces semiconducteurs III-V/Si par des techniques C-AFM et KPFM.
Samuel	GRESILLON	Contrôle des phénomènes optiques non linéaires sur des métamatériaux à base de nanorésonateurs
Sarah	DOURI	Paramètres influents la mesure de conductivité thermique par SThM sur un échantillon nanostructuré
Thomas	JALABERT	Etude de couches minces de Pb(Zr <sub>0.2</sub> Ti <sub>0.8</sub> )O <sub>3</sub> par Switching Spectroscopy Piezoresponse Force Microscopy en mode suivi de résonance
Tomaso	ZAMBELLI	Establishing a force spectroscopy protocol with oil droplets as indentors
Valerie	SHEINA	Moire-trapped polarons in the type-II multiferroic NiBr <sub>2</sub> monolayers
Van	PHAN	Sensibilité en profondeur photo-thermique avec le mode Force Volume de l'AFM-IR

# Liste des participants

## Participants A à E

Abdelhaq	BOUMAAROUF	abdelhaq.boumaarouf@neel.cnrs.fr
Agnès	PIEDNOIR	agnes.piednoir@univ-lyon1.fr
Aimeric	OUVRARD	aimeric.ouvrard@cnrs.fr
Aissam	AIROUDJ	aissam.airoudj@uha.fr
Alessandro	PIODA	joerg.oschmann@specs-group.com
Alexandre	DAZZI	alexandre.dazzi@universite-paris-saclay.fr
Alexandre	SEMEROK	alexandre.semerok@cea.fr
Alexis	WARTELE	alexis.wartelle@neel.cnrs.fr
Alexis	FAGUNDES	alexis.fagundes@polytechnique.edu
Alistair	ROWE	alistair.rowe@polytechnique.edu
Amandine	BELLEC	amandine.bellec@u-paris.fr
Anissa	AIT OUAILAL	anissa.aitouailal@univ-evry.fr
Antonino	CUCINOTTA	antonino.cucinotta@polytechnique.edu
Audrey	STEINBERGER	audrey.steinberger@ens-lyon.fr
Aurore	FINCO	aurore.finco@umontpellier.fr
Bastien	GIRAULT	bastien.girault@cea.fr
Benjamin	GREVIN	benjamin.grevin@neel.cnrs.fr
Benjamin	WALTER	benjamin.walter@vmicro.fr
Bertrand	KIERREN	bertrand.kierren@univ-lorraine.fr
Bourrellier	ROMAIN	rbourrellier@parksystems.com
BRUKER	SAS	emmanuel.paris@bruker.com
Bruno	DUEZ	bruno.duez@femto-st.fr
Carla	COLLANGE	carla.collange@universite-paris-saclay.fr
Céline	FIORINI-DEBUISSCHERT	celine.fiorini@cea.fr
Chantal	HAREAU	chhareau@gmail.com
Childéric	SEVERAC	childerick.severac@cnrs.fr
Chris	SCHWALB	schwalb@qd-microscopy.com
Christian	ROUBERT	christian.roubert@polytechnique.edu
Christophe	LEBRETON	christophe.lebreton@univ-rennes.fr
Clément	CAMPILLO	clement.campillo@univ-evry.fr
Cyril	DE SOUSA	cyril.de-sousa@utc.fr
Darshit	JANGID	jangid@qd-microscopy.com
David	TALAGA	david.talaga@u-bordeaux.fr
David	ALBERTINI	david.albertini@insa-lyon.fr
Denis	MARIOLLE	denis.mariolle@cea.fr
Denis	RADOSAVKIC	denis.radosavkic@france-scientifique.fr
Didier	PELLERIN	d.pellerin@scientec.fr
Dylan	AMELOT	dylan.amelot@cea.fr
Elizabeth	BOER-DUCHEMIN	elizabeth.boer-duchemin@universite-paris-saclay.fr
Emmanuel	MAISONHAUTE	emmanuel.maisonhaute@sorbonne-universite.fr
Eric	CHARRON	eric.charron@insp.jussieu.fr
Eric	LE MOAL	eric.le-moal@universite-paris-saclay.fr

## Participants F à L

Filippo	CALAVARO	filippo.calavaro@cnr.fr
Florent	LOETE	pierrick.legrand@essec.edu
Franck	DAHLEM	franck.dahlem@cermav.cnr.fr
Frank	PALMINO	frank.palmino@umlp.fr
Frederic	DUBREUIL	frederic.dubreuil@ec-lyon.fr
Frédéric	HOUZÉ	frederic.houze@geeps.centralesupelec.fr
Geoffrey	MORELLE	geoffrey.morelle@parksystems.com
Guillaume	LAMOUR	guillaume.lamour@univ-evry.fr
Gustavo	NINHO CAMPOS	gustavo_ncampos@hotmail.com
Herve	CRUGUEL	herve.cruguel@insp.jussie.fr
Hervé	GLENAT	herve.glenat@univ-perp.fr
Hubert	KLEIN	hubert.klein@univ-amu.fr
Hugo	VALLOIRE	hugo.valloire@im2np.fr
Hugues	BONNET	hugues.bonnet@univ-grenoble-alpes.fr
Ismail	BENAMAR	Ismail.BENAMAR@umons.ac.be
Jean-Baptiste	JUSTIN	jean_baptiste.justin@bruker.com
Jean-Luc	PELLEQUER	jean-luc.pellequer@ibs.fr
João	COSAS	joao.cosas@cermav.cnr.fr
Joao-Lucas	RANGEL	joao-lucas.rangel@horiba.com
JOSE	MORAN-MEZA	jose.moran@lne.fr
José	ALVAREZ	jose.alvarez@centralesupelec.fr
Juan	SALAZAR ARIZA	juan.salazar-ariza@univ-lyon1.fr
Judicael	JEANNOUTOT	judicael.jeannoutot@femto-st.fr
Julien	ROJAS	julien.rojas@universite-paris-saclay.fr
Karim	BOUZEHOUANE	karim.bouzehouane@cnr-thales.fr
Keke	YUAN	keke.yuan@universite-paris-saclay.fr
Kévin	DALLA FRANCESCA	kevin.dalla@insp.upmc.fr
Khanh Huyen	NGUYEN	khanh-huyen.nguyen@univ-lille.fr
Laurent	NONY	laurent.nony@im2np.fr
Laurita	FLOREAN	laurita.floean@lecnam.net
Lionel	PATRONE	lionel.patrone@im2np.fr
Loranne	VERNISSE	loranne.vernisse@univ-poitiers.fr
Louis	THOMAS	louis.thomas@iemn.fr
Louis	LEREY	louis.lerey@universite-paris-saclay.fr
Lucie	CORRAL	lucie.corral@univ-amu.fr
Ludovic	DOUILLARD	ludovic.douillard@cea.fr
Ludovic	TORTECH	ludovic.tortech@sorbonne-universite.fr
Lukas	STÜHN	stuehn@qd-microscopy.com

# Liste des participants

## Participants M à R

Marc	FAUCHER	marc.faucher@iemn.fr
Marco	PORTALUPI	portalupi@nanosurf.com
Maria	KANDYLI	kandyli@mar@gmail.com
Marie	HERVÉ	marie.herve@insp.upmc.fr
Marie	CAPRON	marie.capron@michelin.com
Marine	RICHARD	marine.richard@polytechnique.edu
Marion Pia	WOLFF	wolff@qd-microscopy.com
Mathieu	COGNARD	mcognard@digitalsurf.com
Mathieu	MIVELLE	mathieu.mivelle@cnsr.fr
Matthew	LEFEVRE	mlefevre@parksystems.com
Maxime	DUMAS	Maxime.Dumas@cea.fr
Mélissa	HANKACHE	melissa.hankache@im2np.fr
Michael	TZVETKOV	michael.tzvetkov@uclouvain.be
Michel	DROUET	michel.drouet@univ-poitiers.fr
Mickael	FEBVRE	mickael.febvre@bruker.com
Natalia	ALYABYEVA	natalia.alyabyeva@polytechnique.edu
Nataliya	KALASHNYK	nataliya.kalashnyk@univ-lille.fr
Nathan	BIGAN	nathan.bigan@hummink.com
Nicolas	PAILLET	nicolas.paillet@thelyos.com
Nils	DELSOL	ndelsol@digitalsurf.com
Olivier	PLUCHERY	olivier.pluchery@insp.jussieu.fr
Pascal	CHRÉTIEN	pascal.chretien@geeps.centralesupelec.fr
Patrice	CANAC	patrice.canac@thelyos.com
Paul	COVIN	paul.covin@uha.fr
Pavel	VARLAMOV	pavel.varlamov@universite-paris-saclay.fr
Peter	DE WOLF	peter.dewolf@bruker.com
Philip	SCHÄFER	philip.schaefer@attocube.com
Philippe	AYASSE	philippe.ayasse@atoumtech.com
Philippe	DUMAS	philippe.dumas@univ-amu.fr
Philippe	LECLERE	philippe.leclere@umons.ac.be
Pierre	RODRIGUEZ	pierre.red.rodriguez@hotmail.com
Pierre-Emman	MAZERAN	mazeran@utc.fr
Pierrick	LEGRAND	pierrick.legrand@neosense.tech
Prem Kumar	VIJI BABU	Prem.Viji_Babu@bruker.com
Qirong	ZHU	qirong.zhu@univ-lille.fr
Rajan	ADHIKARI	Rajan.Adhikari@schaefer-scientific.com
Renaud	BACHELOT	renaud.bachelot@utt.fr
Romain	STOMP	romain.stomp@zhinst.com
Rozenn	GAUTHERON-BERNARD	rozenn.gautheron-bernard@cnsr.fr

## Participants S à Z

Sakina	BENREZZAK	sakina.benrezzak@univ-cotedazur.fr
Samuel	GRESILLON	samuel.gresillon@espci.fr
Santiago	ANDANY	andany@nanosurf.com
Sébastien	GERMAIN	sebastien.germain@iemn.fr
Sébastien	JANEL	sebastien.janel@cnr.fr
Séverine	DUBROECQ	dubroecq@qd-europe.com
Simon	DESBIEF	simon.desbief@gmail.com
Stefan	KUBSKY	stefan.kubsky@synchrotron-soleil.fr
Stéphane	LENFANT	stephane.lenfant@univ-lille.fr
Sylvie	GODEY	sylvie.godey@univ-lille.fr
Talla	DIAGNE	talla.diagne@cea.fr
Thomas	JALABERT	thomas.jalabert@cea.fr
Thomas	LLAUZE	thomas.llauze@cea.fr
Thomas	CARLIER	thomas.carlier@bruker.com
Tomaso	ZAMBELLI	ztomaso@ethz.ch
Valeria	SHEINA	sheina@insp.jussieu.fr
Victor	VAILLANT	victor.vaillant@univ-lille.fr
Viktoriiia	DREBEZGHOVA	viktoriiia.drebezghova@univ-orleans.fr
William	LABBE	william.labbe@vmicro.fr
Wissem	GHARIANI	wissem.ghariani@u-paris.fr
Xavier	BOUJU	xavier.bouju@cemes.fr
Yoann	FRADIN	yoann.fradin@cea.fr
Yohan	DUQUERROY	yohan.duquerroy@cnr.fr
Zeinab	ISSA	zeinab.issa@iemn.fr
Ziad	GHARIBEH	ziad.gharibeh@ensicaen.fr
Zoelie	BERGER	zoelie.berger@synchrotron-soleil.fr



