

25^{ème} Forum des microscopies à sondes locales

Lyon, du 22 au 26 avril 2024



AVANT PROPOS

Pour la seconde fois, nous sommes fiers de vous accueillir à Lyon du 22 au 26 avril 2024 pour la 25^{ème} édition du forum de microscopie à sondes locales.

Notre région est forte d'équipes de recherche et d'industriels impliqués dans la microscopie champ proche. Notre comité d'organisation, distribué sur plusieurs laboratoires et établissements (Institut National des Sciences Appliquées, École Centrale, École Normale Supérieure, Université Claude Bernard, Université Jean Monnet et Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives), est représentatif de la diversité des activités développées à Lyon et à Grenoble dans le domaine de la microscopie à champ proche, des nanosciences et nanotechnologies : des mesures électriques et thermiques pour la caractérisation des structures de la micro-nanoélectronique aux mesures mécaniques sur les polymères ou les biomatériaux en passant par le développement instrumental et le traitement des données.

Cette année, pour la première fois, et pour mieux répondre au défi de l'interdisciplinarité que représente la réunion de notre communauté autour d'une même technique, nous proposons plusieurs formats : des cours originaux, des travaux pratiques avec les équipements des industriels et des ateliers. Nous n'oublions pas les sessions posters et discussions avec les exposants industriels autour d'un verre.

Le programme scientifique de cette édition 2024 est de qualité grâce à la communauté. Nous avons veillé à ce que les étudiants soient mis en avant pour les présentations orales. Nous tenons à remercier les industriels qui mettent à disposition leurs équipements pour les travaux pratiques et les démonstrations.

Nous vous souhaitons la bienvenue à Lyon pour cette édition du Forum des microscopies à sondes locales exceptionnelle et riche.

Pour le comité local d'organisation

David ALBERTINI et Agnès PIEDNOIR

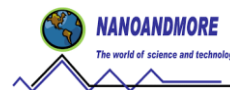
PARTENAIRES DU FORUM 2024

Le comité local d'organisation remercie les partenaires financiers du Forum pour leur aide précieuse.



INDUSTRIELS DU FORUM 2024

Le comité local d'organisation remercie les industriels et exposants du Forum pour leur aide précieuse et leur présence.



COMITE SCIENTIFIQUE DU FORUM

Le comité scientifique du Forum est constitué de membres francophones de la communauté du champ proche.

David ALBERTINI	Lyon	Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL)
Renaud BACHELOT	Troyes	Laboratoire de Nanotechnologie et d'Instrumentation Optique (LNIO)
Elizabeth BOER-DUCHEMIN	Paris	Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay (ISMO)
Xavier BOUJU	Toulouse	Le Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales (CEMES)
Jean-Pierre BUCHER	Strasbourg	<i>Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS)</i>
Jean-Luc BUBENDORFF	Mulhouse	Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M)
Michel DROUET	Poitiers	Institut Pprime
Céline FIORINI	Gif sur Yvette	Laboratoire d'Electronique et nanoPhotonique Organique (LEPO)
Samuel GRESILLON	Paris	Laboratoire Photons Et Matière (LPEM)
Benoît HACKENS	Louvain-la-Neuve (B)	Institute of Condensed Matter and Nanosciences, Nanoscopic Physics (IMCN/NAPS)
Hubert KLEIN	Marseille	Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille (CINaM)
Philippe LECLERE	Mons (B)	Laboratory for Chemistry of Novel Materials (CNM)
Stéphane LENFANT	Lille	Institut d'Electronique de Microelectronique et de Nanotechnologie (IEMN)
Denis MARIOLLE	Grenoble	CEA LETI
Laurent NONY	Marseille	Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence (IM2NP)
Bernard NYSTEN	Louvain la Neuve (B)	Laboratoire de science des polymères (POLY)
Frank PALMINO	Besançon	Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies (FEMTO - ST)
Lionel PATRONE	Toulon	Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence (IM2NP)
Agnès PIEDNOIR	Lyon	Institut Lumière Matière (ILM)
Michel RAMONDA	Montpellier	Laboratoire de Microscopie en Champ Proche (LMCP)
Tomaso ZAMBELLI	Zurich (CH)	Laboratory of Biosensors and Bioelectronics

SITE DE VALPRE

Le site de Valpré nous accueille pour cette édition du Forum 2024.

Valpré est un vieux domaine à Ecully, en bordure de Lyon : la ferme et le château datent initialement des années 1680, suivi d'une reconstruction en 1870.

En 1947, la Congrégation religieuse catholique des Augustins de l'Assomption (Assomptionnistes) acquiert cette propriété. Elle y bâtit en 1952 un immeuble pour y former des jeunes religieux. Une communauté y réside toujours. Elle contribue discrètement à l'animation de ce lieu à travers des échanges et des propositions de réflexion. Elle gère également la bibliothèque de Valpré qui comprend 80 000 ouvrages.

En 1970, Valpré devenu maison d'accueil s'ouvre au grand public. De par sa situation exceptionnelle à Lyon et après une rénovation complète en 1997 elle accueille aujourd'hui 60 % de clientèle d'entreprises venues de toute la France et de l'étranger.



PROGRAMME SCIENTIFIQUE

		LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENDREDI
7:00	8:30		Petit déjeuner	Petit déjeuner	Petit déjeuner	Petit déjeuner
8:30	9:00		Session Paul Bocuse	Session Sainte-Blandine	Session Henri Frenay	Session Juliette Récamier
9:00	9:30					
9:30	10:00		Cours 1	Cours 3	Cours 5	Cours 7
10:00	10:30					
10:30	11:00		Pause	Pause	Pause	Pause
11:00	11:30	Arrivée / Mise en place des posters / déjeuner	Session Ada Hegerberg	Session Alexandre Astier	Session Eugénie Brazier	Session Bertrand Tavernier
11:30	12:00					
12:00	12:30		Industriels 1	Industriels 2	Industriels 3	Clôture du Forum 2024
12:30	13:00					
13:00	13:30		Déjeuner	Déjeuner	Déjeuner	Déjeuner / picnic / départ Part-Dieu
13:30	14:00					
14:00	14:15	Ouverture du Forum 2024	Concours Pétanque / miniGolf	Concours Pétanque / miniGolf	Concours Pétanque / miniGolf	
14:15	14:30	Présentation de RéMiSoL				
14:30	14:45	Session Lucie Aubrac	Cours 2	Cours 4	Cours 6	
14:45	15:00				Industriels 4	
15:00	15:15					
15:15	15:30		Session Antoine de Saint-Exupéry	Session Louise Labé	Session Frédéric Dard	
15:30	16:00					
16:00	16:30	16:10 – 16:30 mise en place TPs / ateliers	16:10 – 16:30 mise en place TPs / ateliers	16:10 – 16:30 mise en place TPs / ateliers		
16:30	17:00	Travaux Pratiques Hautes Résolutions / Ateliers	Travaux Pratiques Polymères / Ateliers	Travaux Pratiques Électriques / Ateliers	Réunion du CS / Vote meilleurs oraux et posters	
17:00	17:30					
17:30	18:00					
18:00	18:30	Pause	Pause	Pause	Départ en ville + mini visite	
18:30	19:00	Session Poster 1	Session Poster 2	Session Poster 3		
19:00	19:30					
19:30	20:00	Dîner	Dîner	Dîner	Repas de Gala	
20:00	20:30					
20:30	21:00					
21:00	21:30	Démonstrations Industriels	Démonstrations Industriels	Démonstrations Industriels		
21:30	22:00					
22:00	22:30					
22:30	23:00					
23:00	23:30				Retour Valpré	
23:30	0:00					
0:00	0:30					

SOMMAIRE

Session Lucie AUBRAC		11
Edward DUNN	<i>Ambient atomic resolution study of defect density in transition metal dichalcogenide monolayers</i>	13
Outhmane CHAHIB	<i>Probing charge redistribution at the interface of self-assembled cyclo-P5 pentamers on Ag(111)</i>	14
Héctor CORTE-LEON	<i>Nanomechanics of lettuce stomata</i>	15
Yevheniia CHERNUKHA	<i>STM study of Mott insulating 1T-TaSe2 monolayer deposited on GaP(111)B</i>	16
Session Paul Bocuse		17
Gaelle NASSAR	<i>Can we induce a Moiré effect on Graphene with a supramolecular layer of zwitterions?</i>	19
Mariam BEN YOUSSEF	<i>Dynamic switching of ferrocene molecules in an Au/Self-Assembled Monolayer/Ag nanocube plasmonic cavity</i>	20
Marion BAUDOIN	<i>Impact de la taille des particules de caoutchouc sur la formation de films : une nouvelle approche de caractérisation en milieu</i>	21
Jérôme LAGOUTE	Exploration des matériaux 2D par STM	22
Session Ada HEGERBERG		24
Sylvain CLAIR	<i>Competing pathways to aromaticity governed by amine dehydrogenation and metal-organic complexation in on-surface synthesis</i>	26
Camille FORNOS	<i>Cartographie de l'électroluminescence au voisinage des défauts dans des LEDs en nitrures</i>	27
Guillaume LAMOUR	<i>Probing cell nanomechanics using the fast-QI mode of the AFM</i>	28
Industriels		29
	DigitalSurf	30
	CSI Scientec	32
	VMicro	34
	Eden Instruments	36
	NTMDT France	38
Philippe LECLÈRE et Florent DALMAS	Mesures des propriétés viscoélastiques des matériaux : des mesures macroscopiques à la cartographie quantitative à la nanoéchelle	40
Session Antoine de SAINT-EXUPÉRY		42
Nicolas BATTAGLINI	<i>Elaboration de microstructures par impression microcapillaire haute résolution basée sur un AFM à macrorésonateur : Application</i>	44
Jean-Luc PELLEQUER	<i>Un peu de verdure dans un monde de stress</i>	45
Session SAINTE-BLANDINE		46
Oriane de LEUZE	<i>Transport de charge anisotrope dans des feuillets individuels de Ti3C2Tx, mesuré par C-AFM</i>	48
Imen BEN KHALED	<i>Synthèse et caractérisations multi-échelles des propriétés électriques et piézoélectriques d'oxyde de zinc sur substrats Silicium</i>	49
Kordula SCHELLNHUBER	<i>Friction et Adhérence moléculaire sur une membrane poreuse</i>	50
Séverine GOMÈS	Microscopie thermique à sonde locale: mesures thermiques aux échelles nanométriques	51

Session Alexandre ASTIER		53
Oumayma MLIDA	<i>Étude nanométrique des propriétés mécaniques et piézoélectriques de nanofibres composites polymère (PVDF) / céramique (BaTiO3)</i>	55
Dahlia SAAD	<i>Caractérisation de l'interface liquide/brosses de polymères déposées sur surfaces d'or par 1D-AFM et 3D-AFM</i>	56
Wan-Yu TSAI	<i>Probing Local Ion Insertion through operando AFM</i>	57
Industriels		58
Park Systems		59
Bruker		61
NanoAndMore		63
Horiba		65
Schaefer		67
Christina VILLEUNEUVE FAURE	Les modes électriques - apport de la modélisation pour l'interprétation des mesures	68
Session Louise LABÉ		70
Amandine BELLEC	<i>Voltage-Induced Bistability of Single Spin-Crossover Molecules in a Two-Dimensional Monolayer</i>	72
Joao COSAS	<i>Correlative microscopy based on AFM and its application in rubber materials</i>	73
Session Henri FRENAY		74
Élysé LAURENT	<i>Contrôle de la luminescence des semi-conducteurs bidimensionnels à l'échelle nanométrique</i>	76
Etienne PUYOO	<i>Imagerie thermique in situ de dispositifs à résistance différentielle négative</i>	77
Peter De WOLF	<i>Resonance Enhanced Force Volume Method for Photothermal AFM-IR Imaging and Spectroscopy</i>	78
Alexandre DAZZI	AFM-IR, spectroscopie et imagerie infrarouge à l'échelle nanométrique : Principe et applications	79
Session Eugénie BRAZIER		81
Ali HAMADEH	<i>Toward conformational identification of molecules in 2D and 3D self-assemblies on surfaces</i>	83
Mahima CHAUDHARY	<i>SiC MOSFET analysis using Complimentary Techniques: SEM, EDX, AFM and sMIM mode</i>	84
Jérémie MATHURIN	<i>Caractérisation à l'échelle nanométrique par AFM—IR des échantillons de la mission spatiale japonaise Hayabusa 2</i>	85
Industriels		86
UPI		87
ATTOCUBE		88
Nanosurf		90
Zurich Instruments		92
SPECS		93
Simon VASSANT	Monter un microscope de champ proche « Maison » pour observer des molécules uniques	95
Industriels		97
A5 Science		98
ScientaOmicron		99

Session Frédéric DARD		101
Damien RICHERT	<i>Comparaison de l'étalonnage du Scanning Microwave Microscopy par deux échantillons de référence capacitive</i>	103
Mélissa HANKACHE	<i>Désoxygénation photo-induite sur surface : étude des précurseurs sulfoxides sur 2 monocouches de NaCl(001) / Au(111)</i>	104
Sergio González CASAL	<i>A SThM and C-AFM study of BTBT self-assembled molecular junctions</i>	105
Session Juliette RÉCAMIER		106
Thierry ONDARÇUHU	<i>Mouillage à l'échelle nanométrique : dissipation d'énergie sur un défaut de surface nanométrique</i>	108
Stéphane PONS	<i>Manipulation de l'état magnétique d'une molécule à base de porphyrine sur une surface d'or</i>	109
Bernard LEGRAND	<i>Sondes optomécaniques : vers l'AFM aux fréquences GHz</i>	110
Lorena REDONDO MORATA	<i>High-Speed Atomic Force Microscopy and Nanomechanical Mapping as Tools for Studying Dynamic Membrane Remodeling Processes</i>	111
Session Bertrand TAVERNIER		113
Audrey STEINBERGER	<i>Histogrammes force-séparation et histogrammes de séparation : des outils intéressants pour la spectroscopie de force</i>	115
Rémy PAWLAK	<i>Synthèse et caractérisation de défauts magnétiques dans une maille kagomé du graphène</i>	116
Childéric SEVERAC	<i>Reconnaissance en aveugle de cellules cancéreuses par AFM et IA</i>	117
Posters		118
Ateliers		157
Comité local d'organisation		161
Liste des participants		163

SESSION LUCIE AUBRAC

Lucie Aubrac (née Bernard) voit le jour en 1912 à Paris. En 1932, consciente de la menace que représente la montée du fascisme, elle adhère aux Jeunesses Communistes. Agrégée d'histoire en 1938, elle est nommée professeur à Strasbourg, où elle épouse Raymond Samuel. Fin août 1940, elle réussit à faire évader son mari, prisonnier de guerre dans la Sarre. **Le couple s'installe à Lyon.**

Dès l'automne 1940, Lucie Samuel fait partie du noyau dur de « La Dernière Colonne », mouvement de Résistance qui deviendra « Libération-Sud ». Raymond Samuel en est lui aussi partie prenante sous le pseudonyme « Aubrac ».



En mai 1941, après la naissance de son premier enfant, Lucie Aubrac participe à la conception de l'organe du mouvement, le journal clandestin Libération.

Raymond Aubrac est arrêté le 21 juin 1943 à Caluire, en même temps que Jean Moulin. Lucie Aubrac le fait à nouveau évader, en organisant l'attaque du fourgon qui le transfère du siège de la Gestapo à la prison de Montluc.

La famille Aubrac parvient à gagner Londres le 8 février 1944, où Lucie donne naissance à son deuxième enfant. Ils rentrent en France à l'été 1944.

Lucie Aubrac participe alors à la mise en place des Comités de libération et siège à l'Assemblée consultative du Gouvernement Provisoire de la République. Après une carrière dans l'enseignement, elle n'aura de cesse de témoigner auprès des jeunes de ce qu'était la Résistance

Sources : <https://www.chrd.lyon.fr/musee/collections/temoignages/lucie-aubrac>

Crédit photo : https://francearchives.gouv.fr/fr/pages_histoire/39021

14:50 – 15:10 : Edward DUNN

Ambient atomic resolution study of defect density in transition metal dichalcogenide monolayers

15:10 – 15:30 : Outhmane CHAHIB

Probing charge redistribution at the interface of self-assembled cyclo-P5 pentamers on Ag(111)

15:30 – 15:50 : Héctor CORTE-LEÓN

Nanomechanics of lettuce stomata

15:50 – 16:10 : Yevheniia CHERNUKHA

STM study of Mott insulating 1T-TaSe₂ monolayer deposited on GaP(111)B

Ambient atomic resolution study of defect density in transition metal dichalcogenide monolayers

Edward DUNN^{1,2}, Robert YOUNG¹, Samuel JARVIS¹

1) Lancaster University Physics Department, Lancaster, United Kingdom, LA1 4YB

2) Current Address : IEMN, Université de Lille, Cité Scientifique, Avenue Henri Poincaré, 59 652 Villeneuve d'Ascq, France

Although we often consider ideal crystals, defects play a critical role in defining the properties of transition metal dichalcogenides [1]. These defects can be minimized in order to improve consistency, incorporated in order to tune properties by doping, or the inherent unpredictability of defects can be embraced. The distribution of defects in monolayer TMDs modifies the photoluminescence spectrum, which could be used to generate a consistent, yet unpredictable, change in the signal for quantum security devices [2, 3]. Atomic resolution images of defects in mechanically exfoliated MoS₂, WSe₂ and WS₂ crystals were acquired with cAFM [4]. Clear differences in the conductance signal enables us to categorise the defects. An analysis by counting determines a defect density of 0.14, 0.02 and 0.01 defects per nm² for WSe₂, MoS₂ and WS₂, respectively. Exposure to a nitrogen plasma increased the number of defects and introduced a type of defect which was not present in as-exfoliated samples. The impact of these defects on the photoluminescence spectra was then studied at ~10K showing a significant decrease in the peak emission energies.

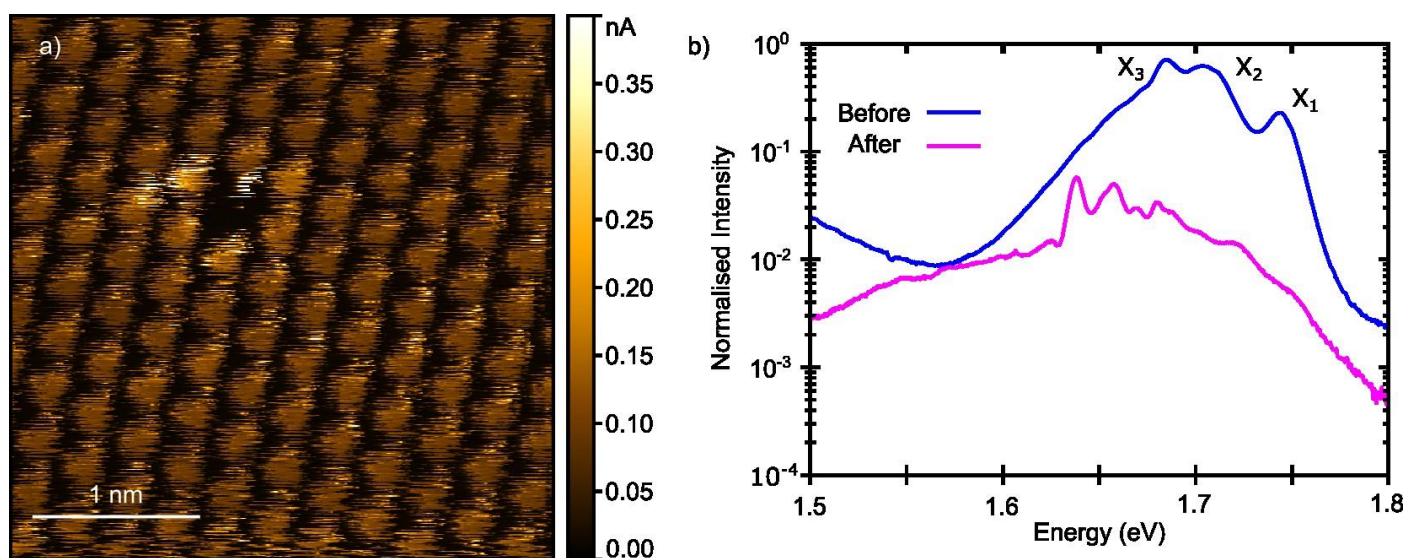


Figure 1 : a) A cAFM image of an oxygen substitution in MoS₂. The sulfur atoms appear as a lattice bright spots representing high current and the oxygen substitution is observed by the lack of current from a single lattice site. b) Cryogenic PL spectra taken before and after exposure to nitrogen plasma. A signal is still measured at the locations of peaks X₁, X₂ and X₃, but the sharp peaks are now observed at lower photon energies.

Références

- [1] Blades, W. H.; Frady, N. J.; Litwin, P. M.; McDonnell, S. J.; Reinke, P. *J Phys. Chem. C* **2020**, *124*, 15337
- [2] Wu, Z.; Zhao, W.; Jiang, J.; Zheng, T.; You, Y. et al. *J Phys. Chem. C* **2017**, *121*, 12294
- [3] Cao, Y.; Robson, J.; Alharbi, A.; Roberts, J.; Woodhead, C. S. et al. *2D Mater.* **2017**, *4*, 045021
- [4] Dunn, E. J. Thesis **2023**, Lancaster University.

Etude de la redistribution des charges à l'interface des pentamères cyclo-P5 auto-assemblés sur Ag(111)

Outhmane Chahib¹, Yulin Yin², Jung-Ching Liu¹, Chao Li¹, Thilo Glatzel¹, Yulin Yin², Feng Ding², Qinghong Yuan³, Ernst Meyer¹ and Rémy Pawlak¹

¹ Department of Physics, University of Basel, Klingelbergstrasse 82, 4056 Basel, Switzerland

² State Key Laboratory of Precision Spectroscopy School of Physics and Electronic Science, East China Normal University, 500 Dongchuan Road, Shanghai 200241, China

³ Faculty of Materials Science and Engineering/Institute of Technology for Carbon Neutrality, Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China

*Corresponding author contact: outhmane.chahib@unibas.ch

La synthèse du phosphorène bleu par épitaxie par faisceaux moléculaires (MBE) a récemment fait l'objet d'une grande attention en raison de ses applications potentielles dans les dispositifs électroniques et optoélectroniques et d'autres applications. La synthèse du phosphorène est stabilisée par le couplage interfacial avec les substrats de croissance, le sondage direct des phénomènes interfaciaux et la quantification de l'ampleur du flambage avec une précision inférieure au angstrom sont essentiels pour comprendre leur structure et leurs propriétés à l'échelle nanométrique.

Nous caractérisons ici la structure atomique du phosphorène sur Au(111) et du cyclo-P5 assemblé sur Ag(111)[1] en utilisant la microscopie à force atomique avec des pointes fonctionnalisées et la théorie de la fonctionnelle de la densité. En combinant la spectroscopie de force et la spectroscopie à effet tunnel, nous constatons qu'un fort transfert de charge induit un moment dipolaire vers l'intérieur à l'interface cyclo-P5/Ag ainsi que la formation d'un état d'interface. Nous sondons les états potentiels de l'image par effet de champ résonnant par effet tunnel et quantifions l'augmentation du changement local de travail du sortie de 0,46 eV du cyclo-P5.

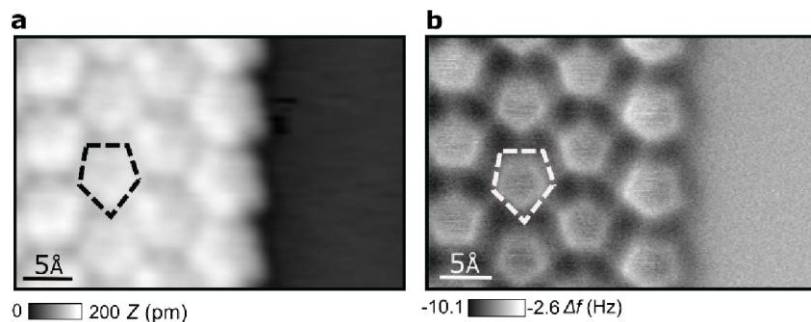


Figure 1: Structure atomique des molécules cyclo-P5 auto-assemblées. a, topographie STM montrant les molécules P5 représentées par le pentagone en pointillés. b, image AFM correspondante révélant la structure chimique du cyclo-P5 molecules. ($f_0 = 26$ kHz, $A = 50$ pm).

[1] O. Chahib et al. *Probing charge redistribution at the interface of self-assembled cyclo-P5 pentamers on Ag(111)*. Submitted

Nanomechanics of lettuce stomata

Héctor CORTE-LEÓN

Nanosurf AG, Gräubernstrasse 12, Liestal, Switzerland

The lettuce is one of the most important commercial vegetables in the world. This makes it the focus of many research topics, from studies of the effect of microgravity [1] to developing computer vision algorithms to improve yield [2]. In particular, the stomata are of high scientific interest because they are a vital part of the metabolic process and can be easily modified by mutations or the environment [3]. Stomata are pores in the leaf epidermis to allow gas exchange for photosynthesis and respiration, as well as water vapour exchange during transpiration. Now, while the processes associated with the opening/closing of stomata through the guard cells are well known, the nanomechanical properties have not been studied until very recently due to lack of appropriate tools.

Here, we demonstrate that nanomechanical measurements using an AFM with photothermal excitation and imaging in WaveMode are capable of performing such studies on stomata. The photothermal excitation is a key requirement, allowing for the capturing speed to be high enough, so changes in the environment (e.g. humidity) do not affect the stomata during the time it takes to capture an image.

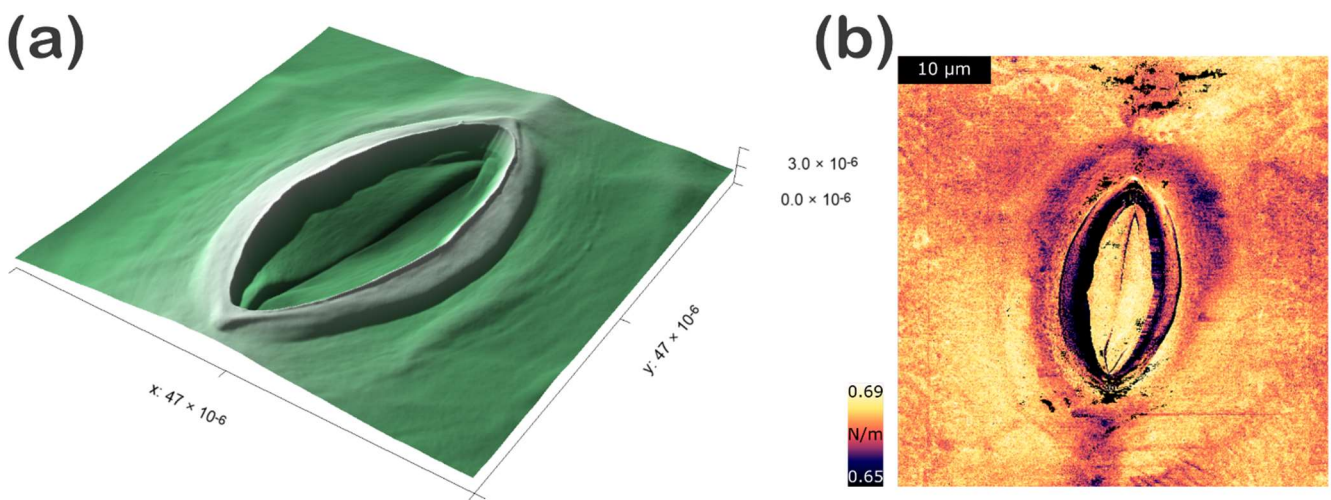


Figure 1: (a) AFM topography image of a lettuce stoma taken in air (units are meters). (b) effective stiffness of same area shown in (a).

The images displayed in Fig. 1 show topography (a), and stiffness (b) of a stoma taken on a cut leave in air. The stiffness map shows that the area around the stoma is under tension to keep it closed. This in principle can be correlated with studies aimed at modifying the development of the lettuce, and thus provide insightful information onto the plant nanomechanics.

As a summary, the work presented here demonstrates that an AFM with photothermal excitation and imaging in WaveMode is fast enough to study plant nanomechanics and has enough spatial and force resolution to see stiffness variations due to internal pressure inside of the cells.

Références

- [1] Totslin, N.; Kniel, K.E.; Sabagyanam, C. et al. *Simulated microgravity facilitates stomatal ingress by Salmonella in lettuce and suppresses a biocontrol agent*. **2024**, *14*, 898.
- [2] Bauer, A.; et al. *Combining computer vision and deep learning to enable ultra-scale aerial phenotyping and precision agriculture: A case study of lettuce production*. **2019**, *6*, 70.
- [3] Panter, PE; et al. *Cell wall fucosylation in Arabidopsis influences control of leaf water loss and alters stomatal development and mechanical properties*. **2023**, *74*(8), 2680-2691.

STM study of Mott insulating 1T-TaSe₂ monolayer deposited on GaP(111)

Y. Chernukha, H. Koussir, C. Sthioul, E. Haber, N. Peric, L. Biadala, P. Capiod, M. Berthe, I. Lefebvre, X. Wallart, B. Grandidier, P. Diener

Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, Junia-ISEN, UMR 8520-IEMN, F-59000 Lille, France

A transition metal dichalcogenide 1T-TaSe₂ being a strongly correlated system, exhibits fascinating electronic and optical properties. Presence of the Mott insulating state in its single layer limit [1,2] makes it a good candidate for a two-dimensional Mott material. However, until now, the growth of 1T-TaSe₂ monolayer was carried out mainly on graphene substrates whose high conductivity limits its potential device integration.

Here we present a study of 1T-TaSe₂ monolayer successfully deposited on semi-insulating and doped gallium phosphide substrates by molecular beam epitaxy [3]. Scanning tunneling microscopy reveals a flower-shaped superstructure (Figure 1 a) attributed to a combination of a Moiré pattern and charge density wave reconstruction. Scanning tunneling spectroscopy showed presence of an open gap of more than 120 meV (Figure 1 b) which corresponds to Mott insulating state and is present up to 400K according to a temperature-dependent resistance measurement. Four-probe transport measurements performed with multiprobe STM confirmed an electrical continuity of the monolayer.

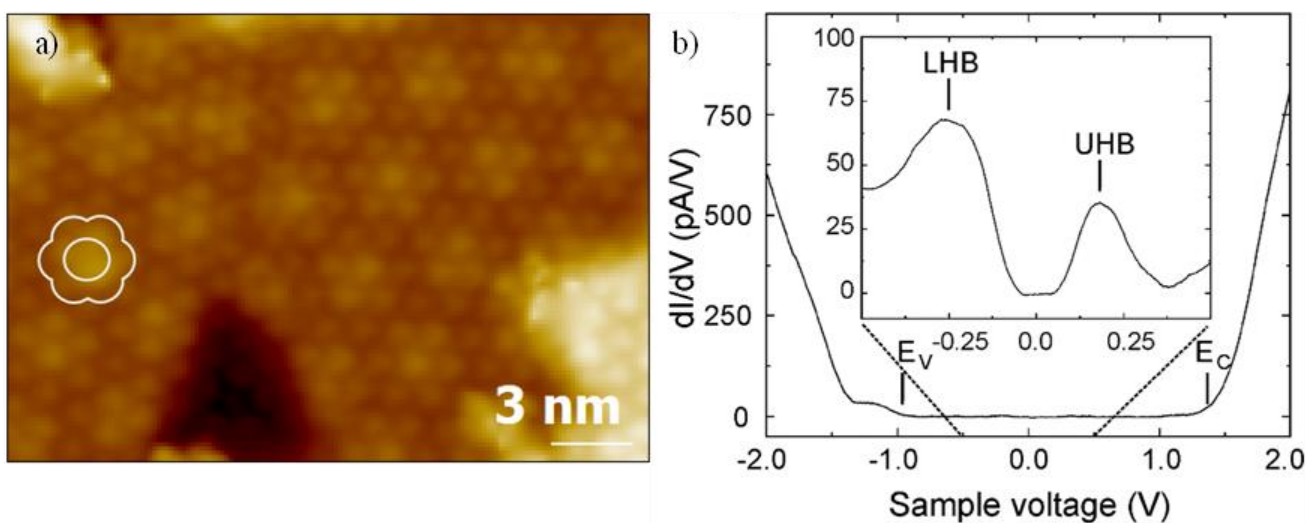


Figure 1: a) Scanning tunneling microscopy image and b) tunneling spectroscopy of 1T-TaSe₂ monolayer on GaP

Références

- [1] Nakata, Y.; Sugawara, K.; Chainani, A.; Oka, H.; Bao, C.; Zhou, S.; Chuang, P.-Y.; Cheng, C.-M.; Kawakami, T.; Saruta, Y.; Fukumura, T.; Zhou, S.; Takahashi, T.; Sato, T. *Nat. Commun.*, **12**, 587, (2021)
- [2] Chen, Y., Ruan, W., Wu, M. et al., *Nat. Phys.* **16**, 218–224 (2020)
- [3] H. Koussir, Y. Chernukha, C. Sthioul, E. Haber, P. Capiod, M. Berthe, I. Lefebvre, X. Wallart, B. Grandidier and P. Diener, *Nano Lett.* **23**, 20, 9413–9419 (2023)

SESSION PAUL BOCUSE

Paul Bocuse, né le 11 février 1926 et mort le 20 janvier 2018 dans son Auberge du Pont de Collonges, à **Collonges-au-Mont-d'Or**, près de Lyon, est un chef cuisinier français.



Trois étoiles au Guide Michelin pendant 53 ans, de 1965 à sa mort en 2018, il est considéré comme un des plus grands chefs cuisiniers du XXe siècle. Formé par la mère Brazier à la cuisine lyonnaise puis par Fernand Point qu'il considère comme son mentor, c'est lui qui fait sortir les chefs de leur cuisine et contribue à leur médiatisation hors de la télévision. Vêtu d'une veste blanche brodée à son nom et ornée d'un col tricolore marquant son titre de Meilleur ouvrier de France obtenu en 1961, il se fait pendant des décennies un devoir d'accueillir chaque convive dans son restaurant de Collonges. À la fois précurseur de la nouvelle cuisine et maître de la cuisine traditionnelle, il incarne une cuisine simple et authentique, fidèle au terroir et exécutée avec l'amour du geste.

Il est l'auteur de plusieurs recettes célèbres, parmi lesquelles la soupe aux truffes noires VGE, créée pour le président de la République Valéry Giscard d'Estaing, à l'occasion de sa remise de la Légion d'honneur, en 1975.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Paul_Bocuse

08:30 – 08:50 : Gaelle NASSAR

Can we induce a Moiré effect on Graphene with a supramolecular layer of zwitterions?

08:50 – 09:10 : Mariem BEN YOUSSEF

Dynamic switching of ferrocene molecules in an Au/Self-Assembled Monolayer/Ag nanocube plasmonic cavity

09:10 – 09:30 : Marion BAUDOIN

Impact de la taille des particules de caoutchouc sur la formation de films : une nouvelle approche de caractérisation en milieu

Can we induce a Moiré effect on Graphene with a supramolecular layer of zwitterions?

Gaëlle NASSAR¹, Gabriel CANARD¹, Laurence MASSON¹, Conrad BECKER¹, Laurent NONY², Christian LOPPACHER², Sylvain CLAIR², and Thomas LEONI¹.

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, CINaM, UMR7325, Marseille, France.

² Aix-Marseille Université, CNRS, IM2NP, UMR7334, Marseille, France.

Imposing a **Moiré effect** by the superposition of two-dimensional (2D) materials has recently emerged as an efficient approach to modify the band structure in **van der Waals heterostructures**. This Moiré effect, or superlattice, induces a periodic modulation of the electrostatic surface potential, which could lead to materials with strongly correlated electronic states.[1] Until now, these experiments were done on inorganic heterostructures in which the spatial modulation and the amplitude of the electrostatic potential are determined by the lattice parameters of the inorganic 2D layers used. The versatility of these heterostructures allows for the possibility of substituting an inorganic layer with a supramolecular layer composed of dipolar organic molecules. The inherent characteristic of these molecules allows for the modulation of the surface potential amplitude, while the periodicity is determined by the lattice parameters of the supramolecular network.

Our methodology consists in introducing a precise control on the superlattice's structural parameters via chemical synthesis. We have deposited molecules from the Zwitterionic Tetraazapentacene derivatives (ZTAP) [2] onto Gr/SiC under conditions which promote their self-assembly on the surface. Following a structural analysis through Scanning Tunneling Microscopy (STM), revealing a tilted adsorption of the molecules, we proceeded to map the Local Contact Potential Difference (LCPD) using Kelvin Probe Force Microscopy (KPFM). This mapping was performed across multiple X, Y and Z coordinates, spanning several elementary meshes of the molecular network, showing a clear and periodic shift of the LCPD at the expected position of the dipole of the ZTAP molecule. These measurements show, for the first time, the capability to effectively modulate the surface potential on graphene through the incorporation of organic layers.

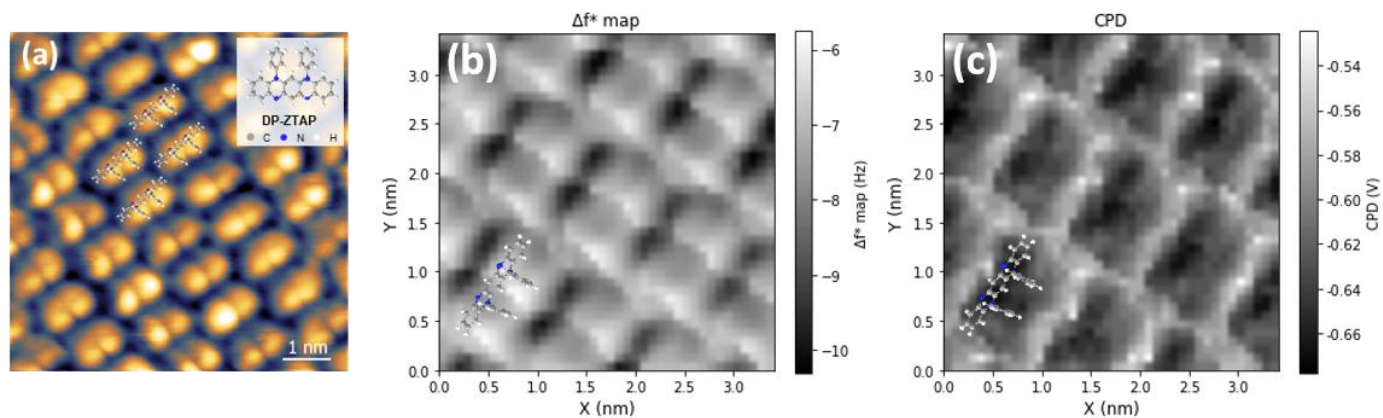


Figure 1: (a) High-resolution STM image showing the self-assembly of the di-phenyl substituted ZTAP on Graphene. The DP-ZTAP adsorbs at an angle to the surface, with the phenyl rings oriented in an upward direction. In inset, a 3D model of the DP-ZTAP molecule is featured, showcasing the delocalization of electrons between the Nitrogen atoms. The colored dots correspond to specific atoms. Tunneling conditions: $V_{\text{bias}}=1$ V, $I_t= 10$ pA. (b) A local spectroscopy map using Kelvin Probe Force Microscopy was performed on DP-ZTAP molecules, illustrating the variation in oscillation frequency shift at a fixed height. The measurement is conducted across the surface to generate maps of the Local Contact Potential Difference (LCPD) as illustrated in (c).

References

- [1] Y. Cao *et al.*, "Unconventional superconductivity in magic-angle graphene superlattices," *Nature*, vol. 556, no. 7699, pp. 43–50, Apr. 2018, doi: 10.1038/nature26160.
- [2] P. A. Koutentis, "Regiospecific synthesis of 5,7-disubstituted quinoxalino[2,3-b]phenazines," *Arkivoc*, vol. 2002, no. 6, pp. 175–191, Sep. 2002, doi: 10.3998/ark.5550190.0003.616.

Dynamic switching of ferrocene molecules in an Au/Self-Assembled Monolayer/Ag nanocube plasmonic cavity.

Mariam BEN YOUSSEF,¹ Peeranuch POUNGSRIPONG,² Hugo BIDOTTI,³ Halidou ABDOUL-YASSEF,⁴ Didier GIGMES,³ Olivier MARGEAT,² Beniamino SIACCA,² Judikael Le ROUZO,⁴ David DUCHE⁴ & Dominique VUILLAUME.¹

1. Institut d'Electronique Microélectronique et Nanotechnologie (IEMN), CNRS, Villeneuve d'Ascq.

2. Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille (CINaM), CNRS, Aix Marseille Univ., Marseille.

3. Institut de Chimie Radicalaire (ICR), CNRS, Aix Marseille Univ., Marseille.

4. Institut Matériaux Microélectronique Nanosciences de Provence (IM2NP), CNRS, Aix-Marseille Univ., Marseille.

The rectenna device has been extensively studied with regard to its light collection properties. Using a nano-antenna, this device allows recovering solar energy using the wave nature of light. The rectenna nano-patch devices use silver nanocubes (AgNC) as plasmonic antennas and molecular diodes as rectifying elements [1]. The diode is a self-assembled monolayer (SAM) on template-stripped Au of 1-undecanethiol functionalized with a ferrocene moiety by click chemistry as reported in Ref. [2] (Figure 1a). AgNCs (50-60 nm side length, capped with a 1-1.5 nm thick layer of PVP) are synthesized, deposited from solution (Fig. 1b) on the SAMs and individually connected by a conductive-AFM tip.

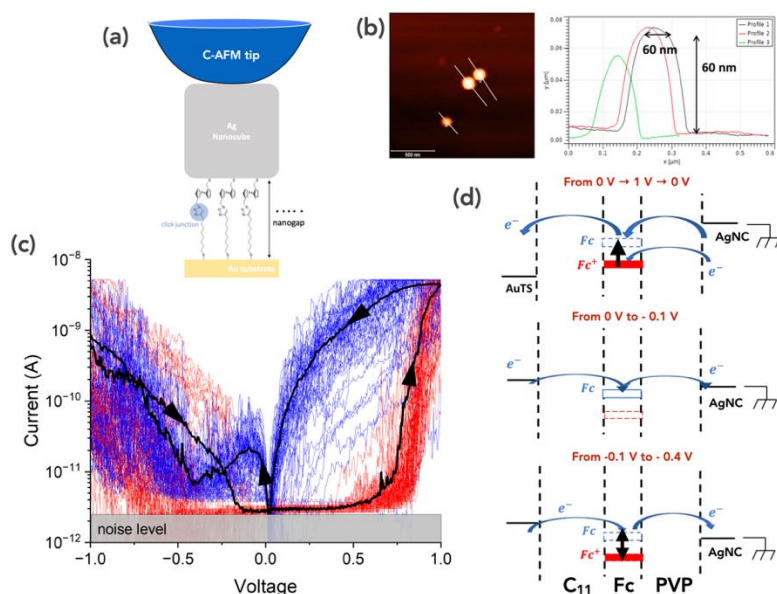


Figure 1 : (a) Scheme of ^{TS}Au-S-C₁₁-Fc/AgNC contacted by C-AFM. (b) Topographic AFM image of isolated AgNCs on SAMs. (c) I-V curves (red: -1V to 1V, blue: 1V to -1V) and (d) Proposed model and energy scheme of the Fc⁺/Fc⁰ dynamic switching.

Figure 1c shows 100 back-and-forth current-voltage (I-V) characteristics recorded on 5 ^{TS}Au-S-C₁₁-Fc/AgNC/C-AFM tip junctions (20 traces per junction). At positive voltages, we observed a large hysteresis between the back-and-forth I-V traces and a NDR (negative differential resistance) peak for the negative voltages (only for back traces). The NDR peak was observed only after having applied positive voltages (*i.e.*, no NDR for a back-and-forth voltage scan limited between -1 V and 0 V). These two features were not observed when the C-AFM tip was directly in contact with the SAM nearby an AgNC.

To understand the origin of the hysteresis and NDR effects, we propose a model considering the double tunnel barrier structure of the device (alkyl chains and PVP layer) and we assume that the Fc is initially in its oxidized state, Fc⁺ with a HOMO at 0.4-0.5 eV below the electrode Fermi energy [2]. From -1 V to $\approx 0.5 - 0.6$ V, the electron transport (ET) is by tunneling. Above the 0.5-0.6 V threshold, the Fc⁺ HOMO enters the energy window defined

by the difference of the Fermi energies of the two electrodes (Fig. 1d) and Fc⁺ can capture electrons injected from the AgNC and switch to a neutral state Fc⁰. The Fc⁰ state has a higher HOMO energy (close to the electrode Fermi levels) and then a larger current is measured through the molecular junction (1 V to 0 V scan). For the 0 to -1V scan, at very low bias (to ≈ -0.1 V), the ET still occurs through the Fc⁰ HOMO (same level current as the 1 V to 0 V branch). Between -0.1 V and -0.4V, we hypothesize a competition between electron detrapping from the Fc⁰ to the AgNC (switch back to Fc⁺ state) and electron trapping from the Au substrate (favoring Fc⁰ state). This dynamic switching between the Fc⁰ and Fc⁺ states give rise to the observed NDR peak in a similar way as observed for hexaazatrinaphthylene SAMs in Ref. 3. Below ≈ -0.5 V, the ferrocene completely switches back to the initial state Fc⁺ and the current returns to an almost similar curve as for the -1 V to 0 V scan. These effects are observed because the lifetime of the Fc⁰ state is long enough (with respect to the voltage sweep time) due to the presence of the double tunnel barrier. When the C-AFM is directly contacting the Fc moiety, this lifetime is too short and we do not observe the hysteresis and NDR effects. The asymmetric behavior (hysteresis at $V > 0$ vs. NDR at $V < 0$) is likely due to the asymmetry of the tunnel barriers (electron injection through PVP at $V > 0$ and undecanethiol at $V < 0$) resulting in different Fc⁺/Fc⁰ switching rates. Further experiments are now required to confirm this model; *e.g.*, dependence on the alkyl chain length, PVP thickness (thinner the barrier, faster the lifetime), effect of temperature (lower the temperature, slower the lifetime), voltage pulse experiments to determine the switching rates. Further, light at plasmonic resonance will be applied on the device to assess the role of the Fc oxidation state on the rectenna behavior.

References

- [1] Ai, Y. ; Kovalchuk, A.; et al., *Nano Lett.* (2018), 18 (12), 7552-7559.
- [2] Jangid, V. et al. *Langmuir* (2022) 38, 3585-3596.
- [3] Wang, Y. et al. *Nature Materials* (2022) 21, 1403-1411.

We acknowledge financial support from ANR (project Plasmore-Light, # ANR-21-CE50-0037).

Impact de la taille des particules de caoutchouc sur la formation de films : une nouvelle approche de caractérisation en milieu hydraté à l'interface air-liquide.

Marion Baudoin^{1,2}, Gilles Paboeuf¹, Siriluck Liengprayoon⁴, Natedao Musigamart⁴, Saowalak Jantarasunthorn⁴, Tucksin Lerksamran⁴, Thongchai Khaeduan^{5,6}, Pisamai Chantuma^{5,6}, Céline Bottier^{2,3}, Véronique Vié¹

¹IPR – UMR UR1 CNRS 6251, ScanMAT – UAR 2025, Rennes University, F-35000 Rennes, France

²CIRAD, UPR BioWooEB, F-34398 Montpellier, France

³BioWooEB, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France.

⁴KAPI, Kasetsart University, 10900 Bangkok, Thailand

⁵Chachoengsao Rubber Research Center (CRRC), Thailand

⁶Rubber Authority of Thailand (RAOT), Thailand

Le latex, qui provient de l'écorce de l'arbre *Hevea brasiliensis*, est une suspension colloïdale composée principalement de particules de caoutchouc (PC) contenant des chaînes de *cis*-1,4-polyisoprène, nécessaires à la fabrication du caoutchouc naturel (CN), matière première cruciale dans divers domaines tels que l'automobile, la médecine et les produits grand public.

Les PC contenues dans le latex ont une distribution de taille bimodale, avec la présence de petites particules de caoutchouc (PP, diamètre ~ 0,05 - 0,4 µm) et de grandes particules de caoutchouc (GP, diamètre ~ 0,4 - 3,0 µm) [1]. Elles possèdent un cœur hydrophobe de *cis*-1,4-polyisoprène, enveloppé d'une monocouche de lipides et protéines, dont la composition biochimique varie en fonction de la taille [2]. Des études ont montré que la taille des PC stabilisées à l'ammoniaque influence diverses propriétés des échantillons de CN, telles que la formation de films épais (plusieurs micro) et les propriétés mécaniques du CN final [3]. De plus, le processus de séchage des films épais entraîne un réarrangement et une déformation des particules [4].

Dans cette étude, nous proposons une approche originale où les PC non ammoniées sont caractérisées dans leur état hydraté, en formant des films minces de PC à l'interface air-liquide. Ainsi, nous maintenons les PC dans un état aussi proche que possible de leur état natif, telles qu'elles sont lorsque le latex est exsudé de l'arbre après la saignée. Pour comprendre le comportement des deux catégories de PC (PP et GP) à l'interface, nous étudions la cinétique d'adsorption des particules en utilisant des mesures de pression de surface et d'angle ellipsométrique, auxquelles s'ajoutent des analyses de rhéologie interfaciale. Après prélèvement sur un support solide, une visualisation des films nanoparticulaires réalisée grâce à la microscopie à force atomique (AFM) nous renseigne sur l'organisation des PC et sur le processus d'agrégation. Grâce aux images AFM topographiques et en déformation complémentaires des images obtenues en microscopie confocale, nous avons pu différencier les différents constituants biochimiques et appréhender la cinétique de formation du film. Nos résultats soulignent l'importance de la taille et plus particulièrement de la composition biochimique des particules (PP et GP) sur leur capacité à s'agréger et à coaguler à l'interface donnant ainsi des pistes de compréhension sur le processus de coagulation en solution. Ainsi, grâce à cette étude utilisant deux types de PC dans leur état natif (hydratées sans ammoniaque), de nouvelles perspectives sont envisagées notamment sur les feuilles manufacturées.

Références

- [1] J.B. Gomez, S. Hamzah, Particle size distribution in Hevea latex-some observations on the electron microscopic method, *Journal of Natural Rubber Research*, 4 (1989) 204–211.
- [2] C. Bottier, Biochemical composition of Hevea brasiliensis latex: A focus on the protein, lipid, carbohydrate and mineral contents, in: *Advances in Botanical Research*, Elsevier, 2020: pp. 201–237.
- [3] M. Sriring, A. Nimpaiboon, S. Kumarn, A. Takahara, J. Sakdapipanich, Enhancing viscoelastic and mechanical performances of natural rubber through variation of large and small rubber particle combinations, *Polymer Testing*, 81 (2020) 106225.
- [4] M. Sriring, A. Nimpaiboon, S. Kumarn, K. Higaki, Y. Higaki, K. Kojo, A. Takahara, C.C. Ho, J. Sakdapipanich, Film formation process of natural rubber latex particles: roles of the particle size and distribution of non-rubber species on film microstructure, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 592 (2020) 124571.

Exploration des matériaux 2D par STM

Jérôme LAGOUE

Jérôme Lagoute is expert in scanning tunneling spectroscopy and spectroscopy (STM/STS). Since 2007, he is a CNRS researcher at the Laboratoire Matériaux et Phénomène Quantiques (LPQ) in Université Paris Cité. He is also the head of the STM team since 2014.

His research is focused on molecules on surfaces and 2D materials. He investigates the electronic properties of various 2D materials, including graphene, phosphorene, and transition metal dichalcogenides. He explores defect engineering in these materials, including nitrogen doping of graphene. His research also encompass the study of molecules on surfaces and their interactions with both metallic substrates and 2D materials, including their interactions with materials engineered by specific defects.



Apport de la microscopie à effet tunnel pour l'ingénierie de défauts dans les matériaux bidimensionnels

Jérôme Lagoute

Laboratoire Matériaux et phénomènes quantiques, CNRS, Université Paris Cité, 75013 Paris

Le domaine des matériaux bidimensionnels (2D) regroupe une large famille de nanomatériaux aux propriétés uniques dues à leur composition et leur dimensionalité. Comme tout matériaux, la présence de défaut est inévitable à l'issue des processus de synthèse ce qui peut limiter les performances. Cependant, les défauts peuvent être utilisés volontairement pour induire des propriétés utiles et des nouvelles fonctionnalités. Pour mesurer et comprendre les propriétés et mécanismes mis en jeu, la mesure dans l'espace direct à l'échelle atomique des propriétés structurales et électroniques est nécessaire. La microscopie à effet tunnel (STM) est particulièrement adaptée pour révéler les modifications électroniques induites par l'insertion de défauts dans les matériaux 2D.

Le cas de l'insertion d'atomes d'azote dans le graphène a été particulièrement étudié [1] et sera détaillé dans une première partie de ce cours. L'azote introduit à la fois un état résonant localisé et un dopage électronique. Ces deux effets peuvent être exploités pour obtenir une fonctionnalité chimique dans le premier cas, ou réaliser de l'ingénierie de bande dans le deuxième cas [2].

Dans une deuxième partie, nous aborderons le cas des dichalcogénures de métaux de transition (TMD) qui constituent une autre classe de matériau 2D. Ces matériaux peuvent être métalliques ou semiconducteurs selon leur composition. Dans le cas des TMD métalliques, des ondes de densité (ODC) de charge peuvent être présentes. Si le mécanisme qui conduit à des ODC est bien compris à une dimension, leur origine dans des matériaux à 2 ou 3 dimensions reste mal comprise. Cependant, l'introduction de défauts, comme des intercalants, peut être utilisée pour modifier ces ODC comme ce sera discuté dans le cas du VSe_2 [3]. La mise en évidence de ces effets par STM sera discutée. Au-delà de la mesure, le STM permet aussi de créer une excitation locale. Cela peut être mis à profit dans des systèmes présentant plusieurs états d'ODC stables pour induire un basculement entre différents états de manière contrôlée, et ainsi manipuler les phases électroniques à l'échelle locale [4].

Références

[1] F. Joucken, L. Henrard, J. Lagoute *Phys. Rev. Mater.* **2019**, 3, 110301

[2] M. Bouatou, C. Chacon, A. B. Lorentzen, H. T. Ngo, Y. Girard, V. Repain, A. Bellec, S. Rousset, M. Brandbyge, Y. J. Dappe & J. Lagoute. *Adv. Funct. Mater.* **2022**, 32, 2208048

[3] U. Chazarin, M. Lezoualc'h, J.-P. Chou, W. W. Pai, A. Karn, R. Sankar, C. C. Chacon, Y. Girard, V. Repain, A. Bellec, S. Rousset, A. Smogunov, Y. J. Dappe & J. Lagoute. *Adv. Mater. Interfaces* (**2023**), 10, 2201680

[4] U. Chazarin, M. Lezoualch, A. Karn, J.-P. Chou, W. W. Pai, C. Chacon, Y. Girard, V. Repain, A. Bellec, S. Rousset, C. Gonzalez, A. Smogunov, J. Lagoute & Y. J. Dappe. *Nano Letters* (**2024**) 24, 3470

SESSION ADA HEGERBERG

Ada Hegerberg, née le 10 juillet 1995 à Molde (Norvège), est une footballeuse internationale norvégienne évoluant au poste d'attaquante avec l'**Olympique lyonnais**. Elle est la sœur cadette d'Andrine Hegerberg, joueuse de BK Hacken. En 2018, elle remporte le premier **Ballon d'or féminin France Football**.



Après avoir refusé la sélection en équipe de Norvège en 2017 en raison des inégalités de traitement entre hommes et femmes en sélection, elle fait son retour en équipe nationale en 2022, estimant que des améliorations significatives ont été réalisées.

De par ses performances uniques en leur genre, ses nombreux titres individuels et collectifs mais également ses engagements multiples pour l'égalité des chances et des genres, Ada Hegerberg est l'une des figures majeures de son sport.

Son palmarès avec l'OL en fait une des meilleures joueuses au monde :

- Vainqueur du Championnat de France en 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2022, 2023 (8)
- Vainqueur de la Coupe de France en 2015, 2016, 2017, 2019, 2020, 2023 (6)
- Vainqueur du Trophée des championnes en 2019, 2022, 2023 (3)
- Vainqueur de la Ligue des champions en 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2022 (6)
- Vainqueur de la Women's International Champions Cup en 2019 et en 2022 (2)
- Vainqueur de la Valais Cup en 2014 (1)
- Vainqueur du Trophée Veolia en 2020 (1)

Sources : https://fr.wikipedia.org/wiki/Ada_Hegerberg

11:00 – 11:20 : Sylvain CLAIR

Competing pathways to aromaticity governed by amine dehydrogenation and metal-organic complexation in on-surface synthesis

11:20 – 11:40 : Camille FORNOS

Cartographie de l'électroluminescence au voisinage des défauts dans des LEDs en nitrures

11:40 – 12:00 : Guillaume LAMOUR

Probing cell nanomechanics using the fast-QI mode of the AFM

Competing pathways to aromaticity governed by amine dehydrogenation and metal-organic complexation in on-surface synthesis

Andrés Lombana¹, Songpol Chaunchaiyakul², Olivier Chuzel³, Denis Hagebaum-Reignier³, Jean-Luc Parrain³, Franck Bocquet¹, Laurent Nony¹, Christian Loppacher¹, Federica Bondino⁴, Elena Magnano⁴, Hiroshi Himada², Emiko Kazuma², Yousoo Kim², Luca Giovanelli¹, **Sylvain Clair**¹

¹ Aix Marseille University, CNRS, IM2NP, Marseille, France

² Surface and Interface Science Laboratory, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198, Japan

³ Aix Marseille University, CNRS, ISM2, Marseille, France

⁴ IOM-CNR Laboratorio TASC, AREA Science Park, Basovizza, 34149 Trieste, Italy

The concepts of supramolecular chemistry have been successfully applied in the last decades to create well-organized nanostructures on surfaces. Precise control of the spatial arrangement of nanometer-sized elementary building-blocks during the “bottom-up” construction of two-dimensional monolayers is the key step to get well-defined functional surfaces. A fundamental progress has been made with the demonstration that covalent linkages between organic molecules can be created directly on a metal surface, leading to the emergence of the field of *on-surface synthesis*. In this way, original reaction pathways can be explored due to the strong catalytic activity of the underlying metal substrate and to the confinement in the two-dimensional environment of the surface.[1]

We investigated the reactivity of a *gem*-dichlorovinyl-carbazole precursor on the Au(111) and Cu(111) surfaces by low-temperature scanning tunneling microscopy (LT-STM) and photoemission spectroscopy (XPS), supported by theoretical calculations at the density functional theory (DFT) level. The acceptorless dehydrogenation reaction of the amine moiety was shown to be the decisive parameter governing the selectivity of the homocoupling reaction. A cumulene dimer is formed on the Au(111) surface, which preserves the N-H bond, while a pentalene dimer is formed on the more reactive Cu(111) surface, which induces N-H dehydrogenation. The aromaticity of the respective dimer products is proposed as the driving force leading to the selection of the reaction pathway. This effect is explained in terms of number of pi-electrons injected, depending whether the N lone pair is in-plane (pyridinic-type N) or out-of-plane (pyrrolic-type N), as defined by the hydrogenation state of the carbazole precursor. The presence of the shake-up features in the N 1s XPS spectrum was used as a signature of an extended aromaticity in the pentalene dimer. In addition, we found that the complexation of carbazole with Cu adatom is a kinetically limiting factor, strongly reducing the quality of the polymeric chains formed by high temperature annealing. This kinetic limitation can be overcome by the use of adequate growth conditions.

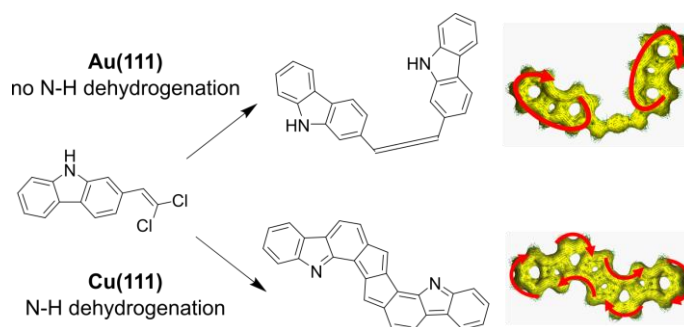


Figure 1: Reaction scheme for the dimerization of the carbazole precursor deposited on the Au(111) and Cu(111) surfaces. ACID calculations (right) show the preservation of the carbazole aromaticity on Au(111), and the formation of a global aromaticity on Cu(111) upon dehydrogenation of the amine.

Références

- [1] Clair, S.; De Oteyza, D. G. Controlling a Chemical Coupling Reaction on a Surface: Tools and Strategies for On-Surface Synthesis. *Chem. Rev.* **2019**, *119*, 4717-4776.

Cartographie de l'électroluminescence au voisinage des défauts dans des LEDs en nitrures

Camille FORNOS,¹ Natalia ALYABYEVA,¹ Mylène SAUTY,¹ Tanay TAK,² Wang Ying HO,² James S. SPECK,² Claude WEISBUCH,^{1,2} Fouad MAROUN,¹ Yves LASSAILLY,¹ Alistair C. H. ROWE,¹ et Jacques PERETTI¹

¹Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, CNRS, Ecole polytechnique, Institut Polytechnique de Paris, 91120 Palaiseau, France

²Materials Department, University of California, Santa Barbara, California 93106, USA

Les diodes électroluminescentes (LEDs) en nitrures semi-conducteurs émettent sur une large gamme spectrale et sont bien adaptées pour les applications à l'éclairage [1,2]. Les zones actives de ces dispositifs sont des puits quantiques d'InGaN. Lorsque la concentration en In augmente la longueur d'onde d'émission augmente mais l'efficacité quantique des dispositifs diminue fortement, ce qui limite actuellement le développement de dispositifs d'éclairage efficaces avec une technologie « tout nitrure ». Les causes de cette chute d'efficacité sont encore débattues dans la littérature. Différentes problématiques sont abordées, liées au désordre compositionnel intrinsèque de l'alliage ternaire InGaN ou aux inhomogénéités de croissance extrinsèques et aux défauts structuraux, dits V-pits, qui se forment à l'émergence des dislocations [figure 1(a)]. Les défauts structuraux sont, en effet, généralement considérés comme « sources » de recombinaison non radiative. Cependant, des résultats récents indiquent une forte augmentation de l'efficacité des LEDs vertes lorsque la densité de V-pits augmente [3]. Pour étudier le rôle des défauts sur les performances des LEDs, nous avons développé une approche basée sur la microscopie d'électroluminescence à effet tunnel (STLM) [4].

En STLM, les porteurs sont localement injectés depuis la pointe STM dans le dispositif et l'électroluminescence résultante de leur recombinaison dans les puits d'InGaN est détectée. Il est ainsi possible de cartographier simultanément la « topographie tunnel » de la surface de l'échantillon et le spectre d'électroluminescence. À partir de ces spectres, il est possible d'obtenir des cartes de l'intensité, de l'énergie et de la largeur des raies d'électroluminescence et ce, à l'échelle nanométrique [5]. Les mesures effectuées sur une LED en condition de fonctionnement, présentant une grande densité de V-pits, montrent une forte variation des propriétés de transport [figure 1(b)] corrélée avec l'électroluminescence locale mesurée au voisinage des défauts [figure 1(c)]. Ces mesures permettent d'accéder à la cartographie des processus électroniques à l'échelle des défauts.

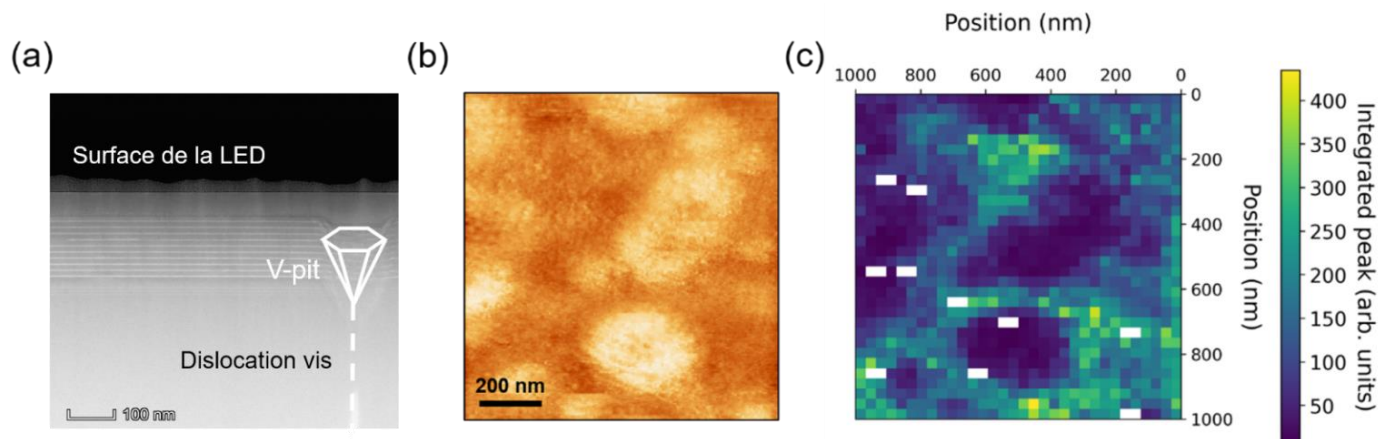


Figure 1 : (a) Image de microscopie électronique en transmission de la LED commerciale à 10 puits quantiques d'InGaN, présentant un V-pit à l'extrémité d'une dislocation vis. (b) Topographie effective STM de la surface de la LED à 100 K ; le contraste indique un changement de conductivité locale au voisinage des V-pits. (c) Carte de l'intensité de l'électroluminescence intégrée, mesurée sur la même zone que la topographie.

Références

- [1] Zhou, C. et al., *ECS J. Solid State Sci. Technol.* **2017**, 6, Q149
- [2] Weisbuch, C., *Comptes rendus Physique.* **2018**, 3, 89
- [3] Liu, M. et al. *Nanomaterials*, **2018**, 8, 450
- [4] Hahn, W. et al., *Phys. Rev. B*, **2018**, 98, 045305
- [5] Sauty, M., et al., *Phys. Status Solidi B*, **2023**, 260, 2200365

Probing cell nanomechanics using the fast-QI mode of the AFM

Guillaume LAMOUR

Université Paris-Saclay, Univ Evry, CY Cergy
Paris Université, CNRS, LAMBE, 91025 Evry-
Courcouronnes, France

Cell migration has a profound impact on cellular function, often leading to negative outcomes in various diseases, such as cancer metastasis. The direct assessment and measurement of the nanoscale dynamics of live cell structure and mechanics have posed persistent challenges. At the forefront of cell movement, the flat actin modules—the lamellipodium and the lamellum—work together to drive cell migration [1]. The lamellipodium, extending from the lamellum, undergoes rapid changes within seconds, making it difficult to measure its stiffness. This paper [2] introduces the fast-quantitative imaging (fast-QI) mode of the atomic force microscopy to map both the lamellipodium and the lamellum simultaneously with improved spatiotemporal resolution compared to the classic quantitative imaging (QI) mode. Specifically, the fast-QI mode showcases the remodeling of the cytoskeleton of living cancer cells, as it reveals nanoscale stiffness gradients in the lamellipodium at the leading edge, where it appears slightly thinner and notably softer than the lamellum. Moreover, we demonstrate the fast-QI mode's precision in generating maps of height and effective stiffness through a streamlined and efficient processing of force-distance curves. These findings highlight the potential of the fast-QI mode in investigating the function of motile cell structures in mechanosensing.

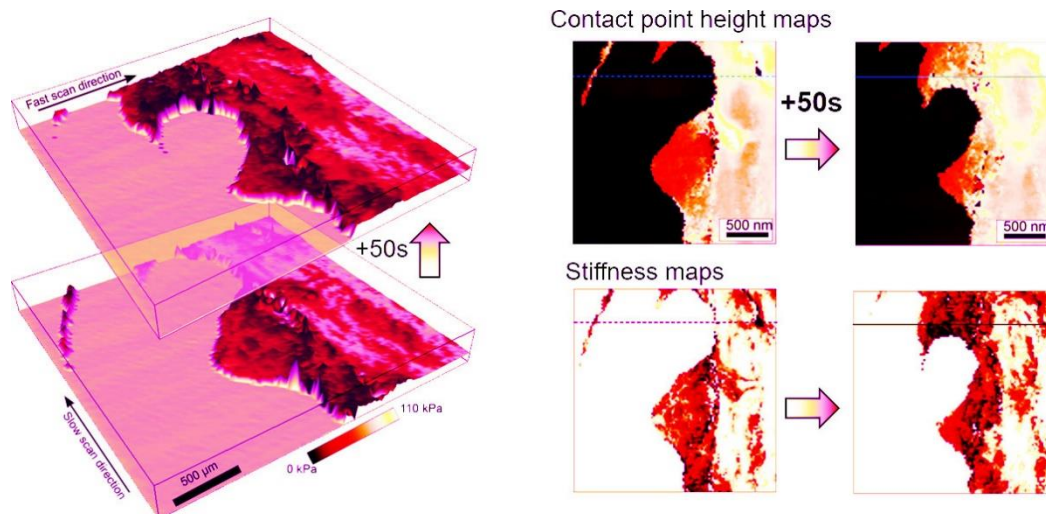


Figure 1 : Fast-QI mode AFM images of the leading edge of migrating cancer cells.

Références

- [1] Burnette, Manley, Sengupta, Sougrat, Davidson, Kachar, Lippincott-Schwartz. *Nat. Cell Biol.* **2011**, 13, 371–381.
- [2] Lamour, Malo, Crépin, Pelta, Labdi, Campillo. *ACS Biomater. Sci. Eng.* **2024**, DOI: 10.1021/acsbmaterials.3c01254

SESSION INDUSTRIELS

DigitalSurf

CSI Scientec

VMicro

Eden

NTMDT

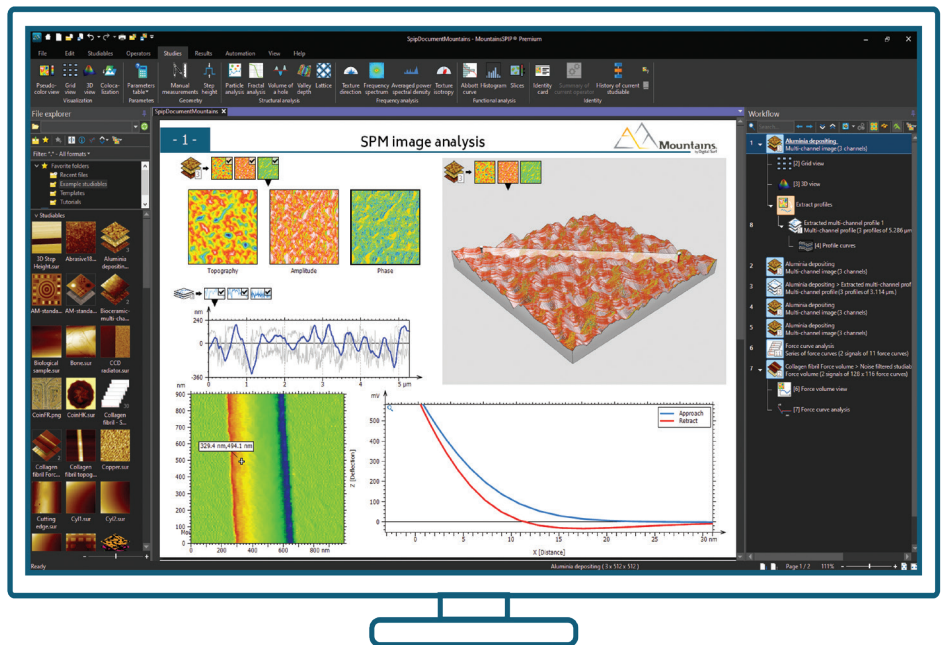


AFM & SPM image analysis software from the experts

Based on industry-standard Mountains® technology and including all the best SPIP™ (Image Metrology) interactivity and analytical tools, MountainsSPIP® software contains the most advanced set of professional tools on the market for your scanning probe microscopy image analysis

Compatible with all scanning probe microscopy techniques

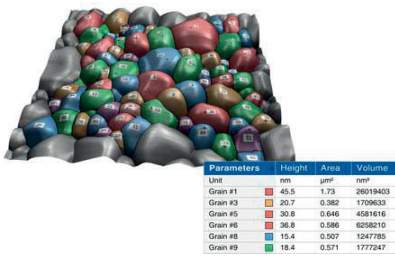
- Atomic force microscopy (AFM)
- Scanning tunneling microscopy (STM)
- Scanning near-field optical microscopy (SNOM)
- Magnetic force microscopy (MFM)
- Kelvin probe force microscopy (KPFM) etc.



Try MountainsSPIP® software free for 30 days

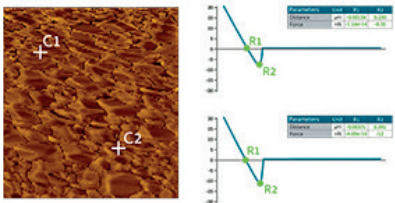
www.digitalsurf.com/free-trial/

What's inside MountainsSPIP®



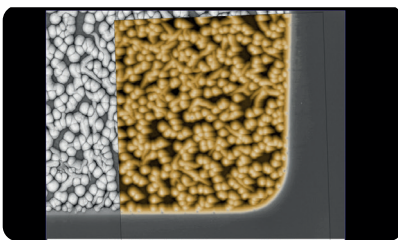
Advanced particle analysis

- Easily detect and quantify features of any shape and size
- Quantify 70+ characteristics (height, area, volume, perimeter etc.) for the whole sample or individual particles
- Group particles into classes based on characteristics
- Generate statistics and graphics



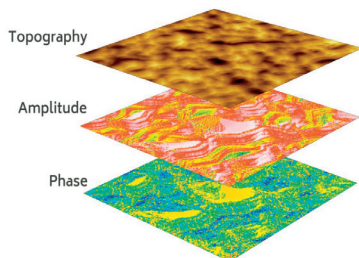
Force spectroscopy

- View, process and analyze force curves and force volume images
- Correct data, create interactive parameter maps and manage large collections of curves
- Calculate Young's modulus, energies, stiffness, WLC etc.



Correlative analysis

- Combine SPM images with data from other instruments (SEMs, 3D optical microscopes, confocal microscopes etc.) to perform correlative analysis
- Colocalize with chemical composition data



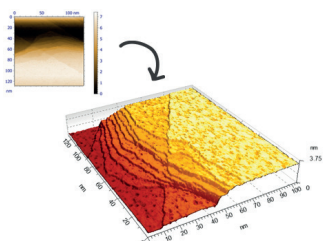
Multi-channel imaging & analysis

- Handle multi-channel files
- Visualize different channels in 3D
- Apply analysis to a single layer or to all layers
- Extract multi-layer cross-sections



Automate SPM image analysis

- Streamline your analysis process and boost efficiency with no-code automation tools
- Efficiently analyze large batches of data by saving and reapplying analysis sequences automatically
- Save your progress and resume your work seamlessly
- Enhance your analysis with powerful built-in statistical tools



Data correction & normalization

- Get your data ready for analysis with correction, normalization & denoising tools
- Remove anomalous scan lines and isolated artifacts
- Use FFT-based filtering and thresholding

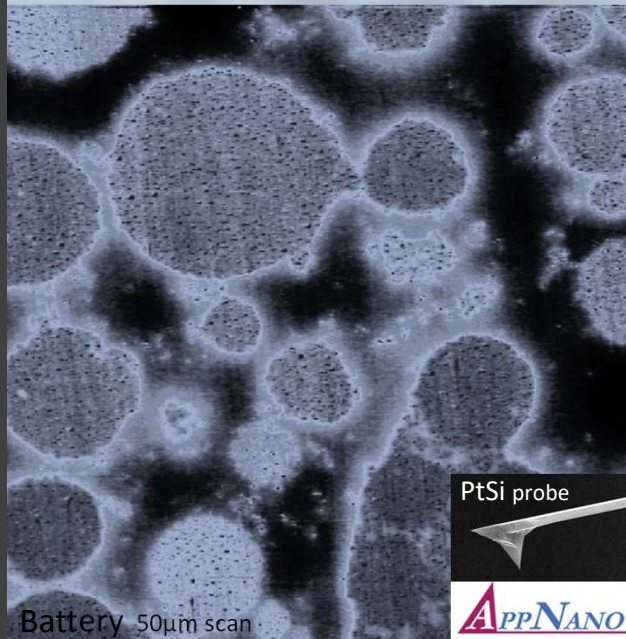
Atomic Force Microscopes

“

CSI, manufacturer specializes in the conception of Atomic Force Microscope and offers many solutions in AFM as the **Nano-Observer**, the best price/performance AFM...

But it's also the **Galaxy DUAL** hybride controller able to drive your old Agilent AFM (5100/5500/5x00) and Multimode AFM to renew your equipment and performances.

”



NANO-OBSERVER AFM I & II

Best cost effective solution





Atomic Force Microscopes

Asylum Research is celebrating as ScienTec its 25th anniversary. To celebrate this birthday a new collaboration is starting...

ScienTec is now your Asylum Research distributor for France, Belgium, Luxemburg, Spain and Portugal ■



MFP-3D

The MFP-3D Origin AFMs mark the intersection of performance and affordability. They feature the high resolution and experimental versatility that you would expect from Asylum Research, the AFM technology leader.

CYPHER AFM

The ultra-high-performance Cypher AFM family offers unmatched imaging resolution, incredible ease of use, exceptional environmental control, and scan speeds all the way up to video-rate!



JUPITER AFM

The Jupiter XR is the first and only large-sample AFM to offer both high-speed imaging and extended range in a single scanner. Jupiter provides complete 200 mm sample access and delivers higher resolution, faster results...

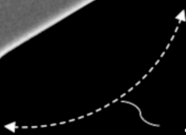
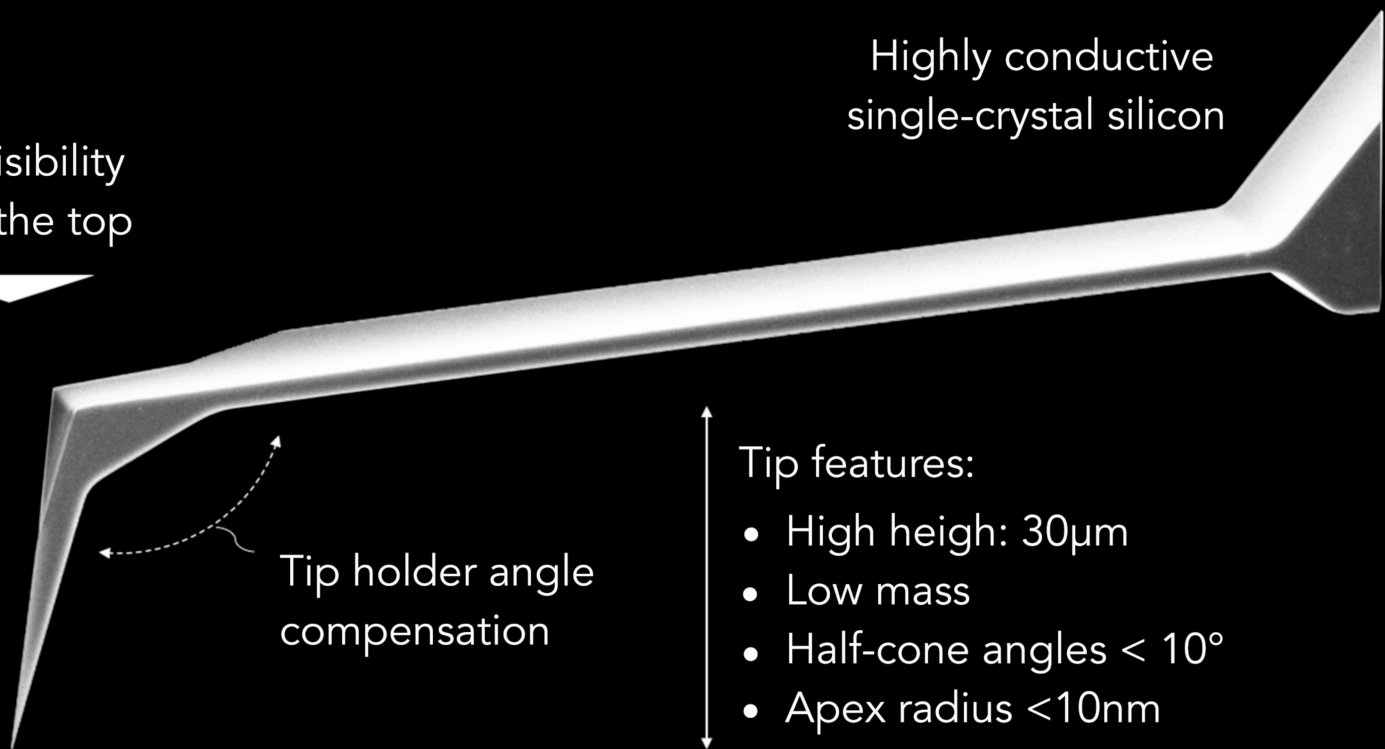


AFM Probes

Lprobe® series

Highly conductive
single-crystal silicon

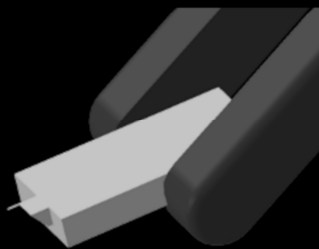
Tip visibility
from the top



Tip holder angle
compensation

Tip features:

- High height: 30 μ m
- Low mass
- Half-cone angles < 10°
- Apex radius < 10nm



Chip with vertical sidewalls
for safe handling



Aluminum Reflex coating
Conductive coating



AFM Probes

Lprobe[®] series

Standard Tapping and non-contact modes

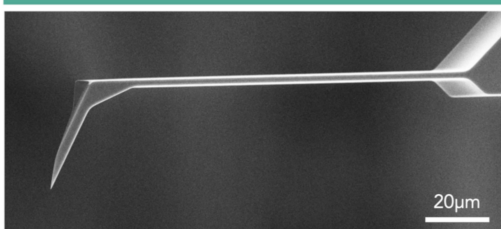
LprobeTapping40 Tip Si_30



Frequency	300 kHz
Spring Const.	40 N/m
Tip length	30 μm
Reflective coating	Aluminum
Tip coating	none

LT40_Si30 F300.K040.W40.T030.CRA

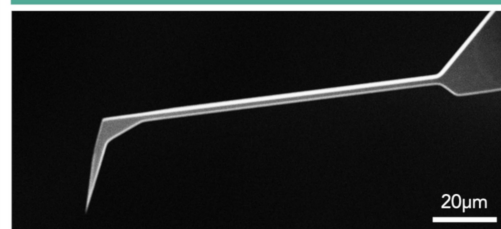
LprobeTapping20 Tip Si_30



Frequency	250 kHz
Spring Const.	20 N/m
Tip length	30 μm
Reflective coating	Aluminum
Tip coating	none

LT20_Si30 F250.K020.W40.T030.CRA

LprobeSoft03 Tip Si_30



Frequency	90 kHz
Spring Const.	3 N/m
Tip length	30 μm
Reflective coating	Aluminum
Tip coating	none

LS03_Si30 F090.K003.W40.T030.CRA

Electrical & s-SNOM imaging modes

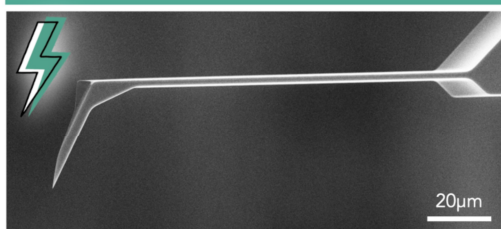
LprobeTapping40_Cond Tip Pt_30



Frequency	300 kHz
Spring Const.	40 N/m
Tip length	30 μm
Reflective coating	Platinum
Tip coating	Platinum

LT40_Pt30 F300.K040.W40.T030.CPT

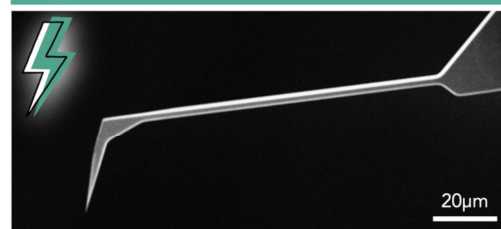
LprobeTapping20_Cond Tip Pt_30



Frequency	250 kHz
Spring Const.	20 N/m
Tip length	30 μm
Reflective coating	Platinum
Tip coating	Platinum

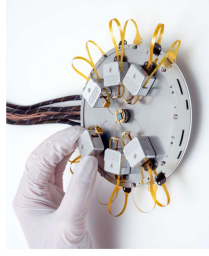
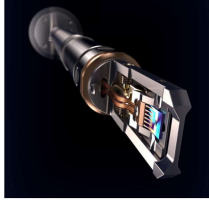
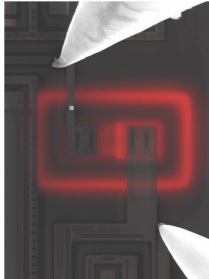
LT20_Pt30 F250.K020.W40.T030.CPT

LprobeSoft03_Cond Tip Pt_30



Frequency	90 kHz
Spring Const.	3 N/m
Tip length	30 μm
Reflective coating	Platinum
Tip coating	Platinum

LS03_Pt30 F090.K003.W40.T030.CPT



EDEN

INSTRUMENTS

In Situ NanoCharacterization Solutions

Solutions de Nano caractérisation

POUR LA MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE MET-MEB/FIB et CLEM.

EDEN Instruments est une société high-tech, spécialisée dans la commercialisation et le suivi technique d'équipements et accessoires pour le secteur de la microscopie électronique MEB/FIB et MET.

Les solutions de nano caractérisation proposées par EDEN Instruments comprennent des équipements pour l'étude des échantillons en micro-analyse MEB EDS, la microscopie électronique MET/MEB In-Operando, la microscopie corrélative (CLEM - CPEM), la cathodoluminescence, les essais électriques/mécaniques (EBIC-EBAC, indentation, traction, flexion, compression), pour du nano-positionnement/manipulation à l'échelle micro et nano ainsi que des équipements innovants destinés à la préparation des échantillons.



NOTRE GAMME D'EQUIPEMENTS

Equipements In-Situ



Solutions de nano-probing,
nano-biasing, nano-robots
In-situ MEB ou sous
microscope optique



Integration without compromise

Cathodoluminescence
Microscopie corrélative
Solutions Cryo
Fast Imaging MEB



Nano-indenteurs in-situ MEB
Solutions de tests nano-mécaniques



Platines en température In-Situ MEB
Platines de traction/compression In-Situ
Platines de transfert sous vide



Ultramicrotomes In-Situ
SBEM (Serial Block Face EM)



Microscopie corrélative AFM
In-Situ MEB



Décontaminateurs
Plasma In-Situ MEB



EBIC/EBAC
Topo 3D MEB
Détecteurs BSE



Porte-échantillons MET
(Tomo/Cryo)



Porte-objets In-Situ MET
Porte-objets MET liquide
Porte-objets MET gaz/température
Porte-objets MET chauffant/électrique
Grilles Cryo CFlat



Caméras hybrides MET, micro-ED
Détection photons, x-rays,
ions, neutrons



Porte-objets MET 3 axes
Porte-objets froids double tilts
Porte-objets MET traction

Equipements Ex-Situ



Amincisseurs et polisseurs ionique MEB/MET
Porte-échantillons (Tomo/Cryo)
Polissage (Mécanique/Electrochimique)
Plasma cleaner



Evaporateurs
carbone
Métalliseurs
Glow Discharge



Software EDS, WDS, EBSD
Analyse couches minces
Equipements EDS

Micro-analyse

Upgrade MEB/TEM



Rénovation de microscope
MEB/TEM



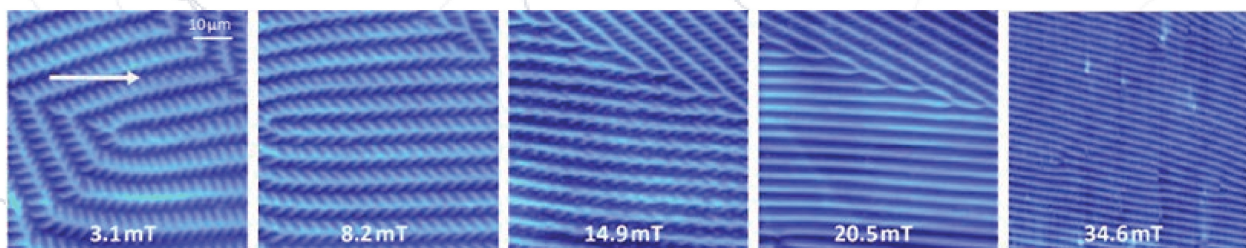
EDEN INSTRUMENTS SAS - INEE ROVALTAIN VALENCE TGV - 1 rue Marc Seguin - 26300 ALIXAN
Tel. : +33 (0) 4 81 16 05 10 - Web : www.eden-instruments.com
Stéphane AGUY - + 33 (0) 6 08 06 70 81 - stephane.aguy@eden-instruments.com
Benoît GENNARO - 06 95 70 03 58 - benoit.gennaro@eden-instruments.com

NTEGRA Nanolab – the modern SPM related solution for a wide range of applications in material science, surface physics, nanoelectronics, nanowires, polymers, biology, etc.

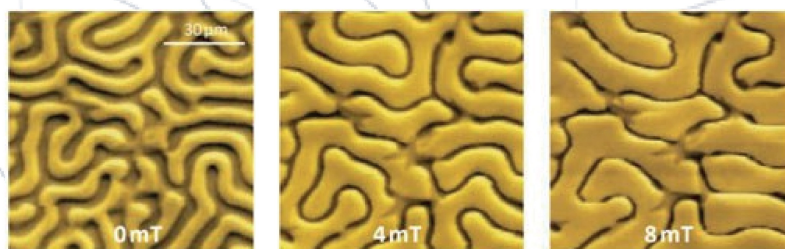
- Polarized Magneto-Optical Microscope combined with Scanning Probe Microscope
- Dual beam balanced polarimeter
- In-plane and out-plane external magnetic fields

Up to date developments:

- Horizontal magnetic field: up to ± 2500 Gauss;
- Vertical magnetic field: up to ± 1100 Gauss;
- Magnetic field rise rate: up to 2500 Gauss/min;
- Hall sensor resolution: ~ 10 Gauss;
- Minimum field growth step: 10 Gauss;
- Sample size 5×5 mm, sample height ≤ 1.3 mm.

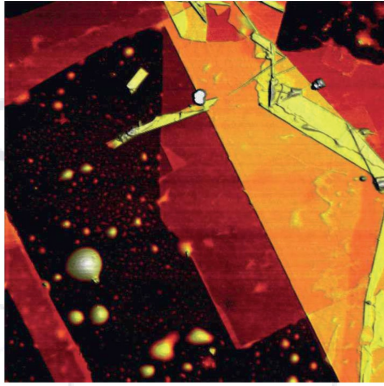


Reorganization of the garnet film domain structure.
Horizontal external magnetic field.

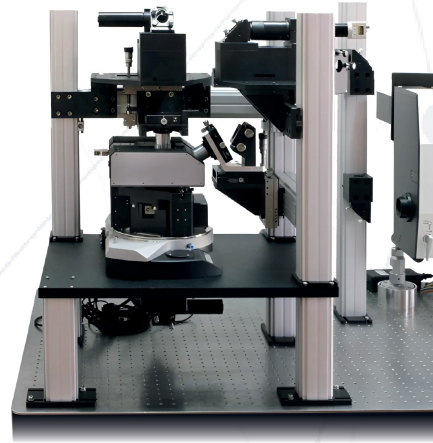


Garnet film MFM images. Vertical external magnetic field.

NTEGRA Spectra for AFM – Raman – SNOM - TERS



Graphene flake on Si/SiO₂, 2x2 μm



- High-performance versatile AFM
- Optical access from top, side and bottom optimized for Raman, TERS and SNOM
- Flexible optical design providing any combination of excitation/collection configurations
- Automated AFM laser, probe and photodiode alignment
- User-friendly change of wavelength of AFM registration system laser and photodiode
- Easy and user-friendly change of objectives

We are a leading developer and manufacturer of:

- Equipment for Probe Microscopy and Spectroscopy
- High-class scientific instruments for experimental research in nanotechnology

Our activities

- R&D of SPM and similar equipment
- Equipment/ consumables/ accessories
- Warranty and post-warranty service

Our clients

- Leading institutes of the EU
- The largest world universities
- Educational & research centres

Mesures des propriétés viscoélastiques des matériaux : des mesures macroscopiques à la cartographie quantitative à la nanoéchelle

Philippe LECLÈRE et Florent DALMAS

Philippe Leclère a obtenu un doctorat en Physique de l'Université de Liège (Belgique) en 1994. Il est actuellement Professeur ordinaire à l'UMONS, où il a créé et dirige le Laboratoire de Physique des Nanomatériaux et Energie (LPNE) au sein du département de Physique.

Ses intérêts de recherche portent principalement sur :



- la caractérisation à l'aide de techniques de microscopie à sonde à balayage (SPM) de la morphologie et des propriétés à l'échelle nanométrique (telles que les propriétés électriques et mécaniques) de systèmes organiques et hybrides, y compris les mélanges de polymères, les nanocomposites, les copolymères à blocs, les cristaux liquides, les hydrogels et les (nano)structures supramoléculaires (construites par auto-assemblage de (macro)molécules fonctionnelles). Ces systèmes sont principalement étudiés pour leur utilisation dans l'électronique organique et les dispositifs de récupération d'énergie (transistors à effet de champ, diodes électroluminescentes organiques, cellules solaires photovoltaïques (hybrides), batteries, nanodiélectriques et (bio)capteurs), les applications automobiles, les cosmétiques et les matériaux d'origine biologique tels que la biocolles (protéines recombinantes), les bactéries et les cellules.
- la caractérisation des propriétés piézoélectriques et flexoélectriques de films, de nanofibres et de nanocomposites polymères.
- le développement et validation de nouvelles techniques SPM (y compris des analyses corrélatives avec des mesures en microscopie électronique à balayage, de la spectroscopie infra-rouge ou Raman, ...) et de méthodologies pour déterminer quantitativement les propriétés mécaniques et électriques de matériaux polymères et de nanocomposites à l'échelle nanométrique.
- le développement d'algorithmes d'apprentissage automatique (supervisés ou non) pour le classement de données SPM, l'optimisation de modèles (par exemple du contact mécanique) et de processus de Machine Learning.

Florent Dalmas est enseignant-chercheur en science des matériaux polymères. Après sept années passées à l'ICMPE (Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est), il a rejoint le laboratoire MATEIS (MATériaux Ingénierie et Science) à l'INSA Lyon en 2013.

Il s'intéresse aux relations entre la microstructure multi-échelle de systèmes polymères complexes (nanocomposites, polymères auto-associatifs, mélanges...) et leur comportement thermomécanique à l'échelle macroscopique. Pour ce faire, il s'appuie sur sa solide expertise en caractérisation microstructurale via des techniques de microscopie avancées, notamment la microscopie électronique 2D et/ou 3D (TEM, SEM, FIB-SEM) ou encore la microscopie à force atomique (AFM) et leur analyse quantitative.



Mesures des propriétés viscoélastiques des matériaux : des mesures macroscopiques à la cartographie quantitative à la nanoéchelle

Philippe LECLERE¹, Florent DALMAS²

¹ Université de Mons (UMONS), Institut de Recherche en Sciences et Ingénierie des Matériaux
Laboratoire de Physique des Nanomatériaux et Energie (LPNE), B - 7000 Mons, Belgique.

² Université Claude Bernard Lyon 1, INSA Lyon, CNRS UMR 5510, MATEIS, F - 69621 Villeurbanne, France.

philippe.leclere@umons.ac.be – florent.dalmas@insa-lyon.fr

Ce cours propose un rapide panorama des propriétés viscoélastiques des matériaux polymères et des techniques de caractérisations associées de l'échelle macroscopique à l'échelle nanométrique.

Dans un premier temps, nous reviendrons sur les grands principes de la viscoélasticité à travers un rappel des grandeurs mécaniques caractéristiques de ce type de comportement mécanique et des différents modèles rhéologiques et théories permettant de le décrire. Nous détaillerons ensuite le principe de l'équivalence temps-température et de la thermo-simplicité propre à de nombreux matériaux polymères. Ces propriétés viscoélastiques peuvent être mesurées macroscopiquement par analyse mécanique dynamique (DMA ou spectroscopie mécanique). Nous présenterons donc ensuite la DMA d'un point de vue théorique et expérimental et l'illustrerons à travers de nombreux exemples (Figure 1-a).

Pour certains matériaux structurés (polymères semi-cristallins, copolymères, matériaux composites, nanocomposites, alliages de polymères...), le comportement viscoélastique du matériaux polymères peut être modifié par la présence d'hétérogénéités et d'interfaces. Caractériser localement leur comportement viscoélastique, à très petite échelle, devient alors crucial pour mieux comprendre et appréhender le comportement mécanique de ces matériaux multi-échelles.

Dans une deuxième partie du cours, nous aborderons les récents développements de nouveaux modes mécaniques disponibles en AFM et plus particulièrement le mode nano-rhéologie (ou nano-DMA) ainsi que l'intermodulation AFM permettant d'envisager de nouvelles approches expérimentales pour aborder cette problématique. Nous illustrerons ces différents modes sur des mélanges de polymères (Figure 1-b) choisis comme exemples illustratifs et terminerons sur le traitement des données acquises.

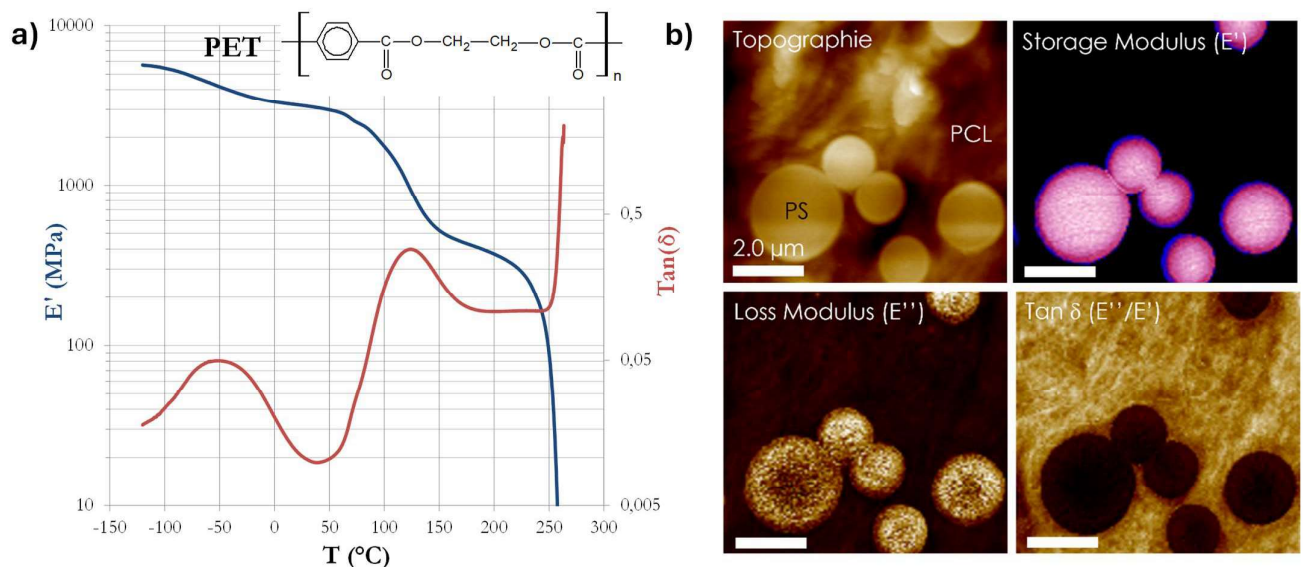


Figure 1 : a) Résultats obtenus par DMA à 1 Hz sur un PET (poly(éthylène téréphtalate)) : évolution du module de conservation E' et du facteur de perte $\tan(\delta)$ en fonction de la température. b) Cartographies de la topographie et des propriétés viscoélastiques d'un mélange de polystyrène et de polycaprolactone (nano-DMA).

SESSION ANTOINE DE SAINT-EXUPÉRY

Antoine de Saint-Exupéry, né le 29 juin 1900 à Lyon et disparu en vol le 31 juillet 1944 au large des côtes marseillaises, est un écrivain, poète, aviateur et reporter français.

Né dans une famille de la noblesse française, il passe une enfance heureuse malgré les morts prématurées de son père et d'un frère. Élève rêveur, il obtient cependant son baccalauréat en 1917. Après son échec au concours de l'École navale, il s'oriente vers les beaux-arts et l'architecture. Devenu pilote durant son service militaire en 1922, il est engagé en 1926 par la compagnie Latécoère (future Aéropostale). Il transporte le courrier de Toulouse au Sénégal puis rejoint l'Amérique du Sud en 1929. Parallèlement, il devient écrivain. Il publie, en s'inspirant de ses expériences d'aviateur, ses premiers romans : *Courrier sud* en 1929 et surtout *Vol de nuit* en 1931, qui connaît un grand succès et reçoit le prix Femina.



À partir de 1932, Saint-Exupéry se consacre au journalisme et aux raids aériens. Il entreprend de grands reportages en Indochine en 1934, à Moscou en 1935, en Espagne en 1936, qui nourriront sa réflexion sur les valeurs humanistes. *Terre des hommes*, publié en 1939, reçoit le grand prix du roman de l'Académie française.

En 1939, il sert dans l'Armée de l'air, étant affecté à une escadrille de reconnaissance aérienne. Après l'armistice de juin 1940, il quitte la France pour New York avec l'objectif de faire entrer les États-Unis dans la guerre et y devient l'une des voix de la Résistance. Rêvant d'action, il rejoint enfin, au printemps 1944, en Sardaigne puis en Corse, une unité chargée de reconnaissances photographiques en vue du débarquement de Provence. Il disparaît en mer avec son avion, un Lockheed P-38 Lightning, lors de sa mission du 31 juillet 1944. Il est déclaré « mort pour la France ». Le 3 septembre 2003, son avion est retrouvé et formellement identifié au large de Marseille.

Le Petit Prince, écrit à New York pendant la Seconde Guerre mondiale et illustré avec ses propres aquarelles, est publié en 1943 à New York, puis en France chez Gallimard en 1946, à titre posthume. Ce conte philosophique, empreint à la fois de légèreté et de pessimisme vis-à-vis de la nature humaine, devient très vite un immense succès mondial.

Sources : https://fr.wikipedia.org/wiki/Antoine_de_Saint-Exup%C3%A9ry

Crédit photo : https://air.defense.gouv.fr/armee-de-lair-et-de-lespace/actualite/podcast_mission_guerre_Antoine_St_Exupery

15:30 – 15:50 : Nicolas BATTAGLINI

Elaboration de microstructures par impression microcapillaire haute résolution basée sur un AFM à macrorésonateur : Application

15:50 – 16:10 : Jean-Luc PELLEQUER

Un peu de verdure dans un monde de stress

Elaboration de microstructures par impression microcapillaire haute résolution basée sur un AFM à macrorésonateur : Application au filtrage de particules sans membrane

Nicolas BATTAGLINI¹, Bastien OLIVA¹, Lylian CHALLIER¹, Vincent NOEL¹
Marc PASCUAL², Amin M'BARKI²

¹Université Paris Cité, ITODYS, CNRS, UMR 7086, 15 rue J.-A. de Baïf, Paris 75013, France

²HUMMINK, 5 rue Charlot, 75003 Paris, France

Le développement des technologies d'impression pour l'élaboration de dispositifs électroniques sur substrats aussi bien rigides que flexibles permet d'envisager de nombreuses applications dans des domaines variés (électronique organique imprimée, santé, environnement...) [1] L'intérêt des procédés d'impression tels que le jet d'encre [2] réside notamment dans le faible coût de production qui leur est associé ainsi que dans la simplification des étapes de production des dispositifs. Cependant, un effort important reste à faire pour améliorer la taille ultime des motifs qui peuvent être imprimés (la résolution de l'impression par jet d'encre est de 30 μm environ), en particulier lorsque l'efficacité du dispositif dépend directement de ses dimensions. En vue de relever ce challenge, une nouvelle technologie d'impression microcapillaire à haute précision (HPCAP, « High Precision Capillary Printing ») a dernièrement été mise sur le marché par la start-up française Hummink (imprimante Nazca [2]). Basé sur le principe d'un microscope à sonde locale, le HPCAP permet le dépôt d'encre fonctionnelles avec une précision pouvant atteindre l'échelle submicrométrique. Le principe consiste à positionner un microcapillaire à quelques nanomètres de la surface de manière à former un ménisque de liquide. Le déplacement du capillaire dans le plan (x,y) permet alors de déposer l'encre contenue dans le capillaire sous forme de lignes continues. La haute précision dans le déplacement du capillaire dans les trois directions de l'espace est obtenue grâce à un dispositif de type AFM schématisé dans la figure 1.a. La particularité de cet AFM réside dans l'utilisation d'un macrorésonateur (diapason centimétrique). En raison de sa masse (≈ 100 g), ses caractéristiques intrinsèques d'oscillation ne sont pas affectées par la présence du capillaire [4]. L'asservissement en fréquence du macrorésonateur permet au microcapillaire de suivre la topographie du substrat en maintenant constante l'épaisseur du ménisque de liquide. Les grandes caractéristiques de cet équipement ainsi que ses performances seront décrites. Par la suite, l'application du HPCAP à l'élaboration de microélectrodes sera présentée. Le but de ce projet consiste à élaborer des structures métalliques à partir d'une encre commerciale en argent. La technique HPCAP permet d'élaborer ces électrodes à l'échelle de quelques micromètres, ce qui permet de les intégrer dans une cellule microfluidique sous flux afin de capturer des particules en suspension par diélectrophorèse, à des fins analytiques (identification, tri et filtrage sans membrane). Soumises à un champ électrique oscillant inhomogène, des particules de permittivité électrique différente de celle du milieu de suspension subissent une force diélectrophorétique qui dépend de la fréquence du champ appliqué et de leur polarisabilité (facteur lié à leur composition physico-chimique). A titre d'illustration, la figure 1.b montre un exemple de quadripôle réalisé par HPCAP permettant de piéger des particules de polystyrène de 2 μm de diamètre. Ce type de dispositif est développé au laboratoire pour une application environnementale (contrôle de la pollution plastique des eaux).

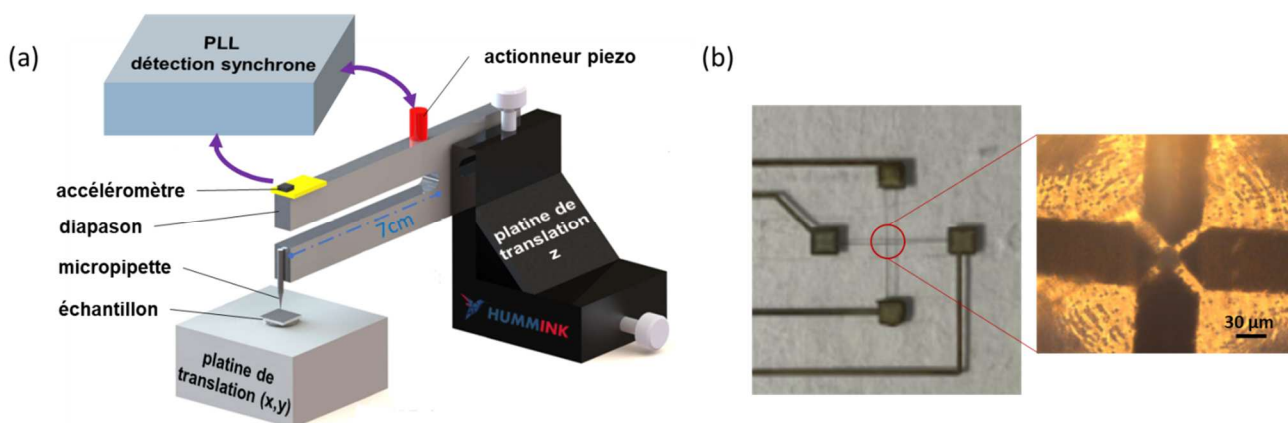


Figure 1 : (a) Principe de la technologie d'impression microcapillaire développée par HUMMINK (schéma adapté de [4]). (b) Motifs métalliques réalisés par HPCAP avec une encre argent commerciale. Les quadripôles réalisés ici ont été insérés dans un canal microfluidique sous flux pour piéger des particules de polystyrène (diamètre 2 μm) par le procédé de diélectrophorèse.

Références

- [1] Chennit, K. et al *Adv. Mater. Technol.* **2023**, 8, 2200300
- [2] Lemarchand, J. et al *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, e202200166
- [3] www.hummink.com
- [4] Canale, L. et al *Nanotechnology* **2018**, 29, 355501

Un peu de verdure dans un monde de stress

Jean-Luc PELLEQUER, Harinderbir KAUR

Univ. Grenoble Alpes, CEA, CNRS, Institut de Biologie Structurale (IBS), F-38000 Grenoble

La racine de la plante *Arabidopsis thaliana* croit par le cumul de deux activités : la division cellulaire et l'extension de cellules. Lorsque la racine rencontre un milieu défavorable, par exemple en présence d'une forte concentration de métaux, la décision d'arrêter de croître est prise. Etant difficile de réduire le nombre de cellules, l'arrêt de croissance est essentiellement dû à un arrêt d'élongation des cellules, qui se produit dans la zone de transition située à environ 500 µm du bout de la racine. A la première question de savoir si cet arrêt de croissance peut être détecté par un changement d'élasticité de la surface de la paroi primaire de la racine, la réponse est positive [1]. La seconde question, qui fait l'objet de cette présentation et du travail de thèse d'Harinderbir Kaur, était de savoir si une étude précise en nano-indentation (avec l'aide de J.M. Teulon, IBS Grenoble) et une nouvelle méthode d'analyse des courbes d'indentation par l'approche trimécanique (avec l'aide de S.w.W Chen, Fig. 1, IBS Grenoble) peut apporter des informations sur les causes de l'arrêt de croissance racinaire ou de sa régulation. Par une sélection astucieuse de contraintes expérimentales, c-à-d des concentrations particulières de métaux Fe et Al (avec l'aide de C. Godon, CEA Cadarache), on a pu déduire un schéma des processus impliqués à la fois dans la rigidification de la paroi primaire de la racine et dans l'arrêt de l'élongation racinaire (Fig. 2). On montre un effet synergique entre les deux métaux, Fe et Al, avec une corrélation rigidité-arrêt de croissance dans certains cas [2]. On peut avancer que cette synergie est indirecte et fait participer un acide organique, le malate, connu pour son rôle de détoxification suite à un stress Al. L'étude d'un mutant ALMT1 (produit par T. Desnos, CEA Cadarache), qui présente une déficience en exsudation de malate, a été cruciale pour l'interprétation physiologique finale. Ce travail illustre la complémentarité entre les mesures d'élasticité et la biochimie moléculaire et souligne les bénéfices d'une approche intégrée de la biologie structurale et végétale.

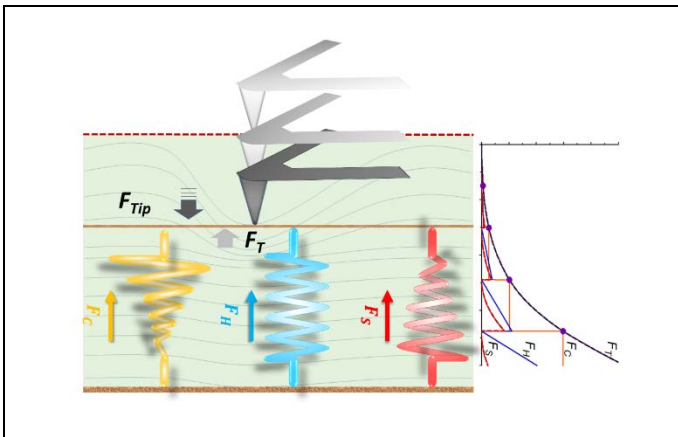


Figure 1 : Analogie de trois ressorts connectés en parallèle.

La réponse élastique (F_T) d'un matériau à une force appliquée (F_{Tip}) est une action composite de trois nanomécaniques, respectivement régies par F_C , F_H et F_S , qui composent F_T . Dans le diagramme schématique, la pointe est arrivée à la sous-surface de la zone j dans la trajectoire d'indentation, Z_{j-1} , et continue d'indenter le matériau avec une compression supplémentaire, ΔZ . Pendant l'indentation de Z_{j-1} à $Z_{j-1} + \Delta Z$, le matériau exerce une force de rappel F_T contre la force appliquée F_{Tip} pour former, au niveau microscopique, un quasi-équilibre. Selon l'analogie trimécanique, $F_T = k3_{PCS} \cdot \Delta Z$, où $k3_{PCS} = k_C + k_H + k_S$, la somme des constantes des trois ressorts.

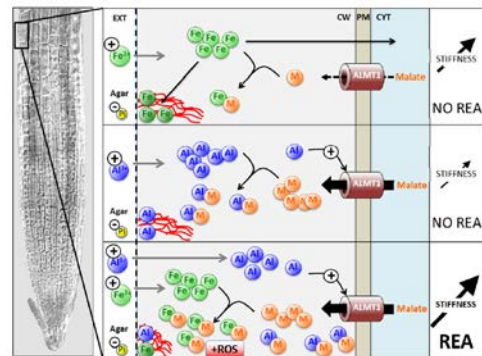


Figure 2 : Modèle expliquant les effets du Fe et de Al sur la rigidification de la paroi cellulaire et l'extension des racines.

Panneau supérieur : les ions Fe^{2+} pénètrent dans l'apoplaste de la paroi cellulaire (CW), qui peut ensuite traverser la membrane plasmique (PM). L'oxydation en Fe^{3+} augmente la rigidité du CW sans déclencher l'arrêt de l'extension de la racine (REA). **Panneau du milieu** : les ions Al^{3+} pénètrent dans le CW et l'accumulation d' Al^{3+} conduit à une augmentation modeste de la rigidité mais sans REA. **Panneau inférieur** : la combinaison de Fe^{2+} et Al^{3+} entraîne une forte libération de malate et une forte accumulation de complexes fer-malate favorisant les ROS dans l'apoplaste. Ces ROS augmentent concomitamment la rigidité du CW et inhibent l'extension des racines.

Références

- [1] Balzergue C, et al. *Nat. Commun.* **2017**, 8, 15300.
 [2] Kaur H, et al. *Plant Cell Environ* 2024, 47, 574–584.

SESSION SAINTE BLANDINE

Blandine de Lyon est une jeune esclave chrétienne de Lugdunum (Lyon), qui fut martyrisée durant le mois de juillet 177 sous le règne de l'empereur Marc Aurèle.



C'est une sainte qui est fêtée le 2 juin (synaxe de tous les martyrs de Lyon, jour de la mort du premier d'entre eux, l'évêque Pothin, selon l'usage occidental), le 25 juillet (Blandine seule, selon l'usage oriental), le 8 août (commémoration des quatre derniers martyrs, Alexandre, Attale, Pontique et Blandine, selon l'ancien usage occidental) et le 9 août dans le calendrier de l'archidiocèse de Lyon.

Blandine est la patronne de la ville de Lyon. Avec Marthe de Béthanie, elle est aussi la patronne des servantes. Dans son iconographie, on trouve le filet, le taureau, le gril, le lion et l'ours. Elle est souvent représentée attachée à un pilier avec un lion et un ours à ses pieds.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Blandine_de_Lyon

08:30 – 08:50 : Oriane de LEUZE

Transport de charge anisotrope dans des feuillets individuels de Ti_3C_2Tx , mesuré par C-AFM

08:50 – 09:10 : Imen BEN KHALED

Synthèse et caractérisations multi-échelles des propriétés électriques et piézoélectriques d'oxyde de zinc sur substrats Silicium

09:10 – 09:30 : Kordula SCHELLNHUBER

Friction et Adhérence moléculaire sur une membrane poreuse

Transport de charge anisotrope dans des feuillets individuels de $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$, mesuré par C-AFM

Oriane DE LEUZE¹, Fernando MASSA FERNANDES¹, Hanna PAZNIAK², Thierry OUISSE², Bernard NYSTEN¹, Sophie HERMANS¹, Benoît HACKENS¹

¹IMCN, pôles NAPS, BSMA et MOST, Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve, Belgique
²LMGP, Université Grenoble-Alpes, Grenoble, France

Les MXènes sont une famille de carbures et nitrures bidimensionnels, synthétisés pour la première fois il y a une dizaine d'années. Leur conductivité élevée et leur grande surface spécifique les rendent intéressants pour des applications telles que le blindage électromagnétique ou la détection de gaz. Jusqu'à présent, le transport électronique dans les MXènes a été principalement étudié dans des films constitués de feuillets monocristallins de différentes épaisseurs, généralement empilés de manière aléatoire en fonction des techniques utilisées pour leur mise en œuvre. Il devient évident que les phénomènes de transport intra-feuillet et inter-feuillet doivent être étudiés séparément [1]. Dans ce contexte, le présent travail étudie le transport de charges dans des feuillets uniques de $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$, le MXène le plus intensément étudié à ce jour. Nous avons d'abord utilisé la méthode développée par Lim et al. pour le graphène monocouche, basée sur le mode 'Conductive AFM' (C-AFM) [2]. À cette fin, nous avons sélectionné des feuillets individuels chevauchant à la fois des électrodes en or et le substrat Si/SiO₂, comme illustré à la figure 1a avec des feuillets d'épaisseur différentes. En appliquant une tension entre la pointe et l'électrode, on obtient une image du courant mesuré sur la surface des feuillets, comme présenté à la figure 1b.

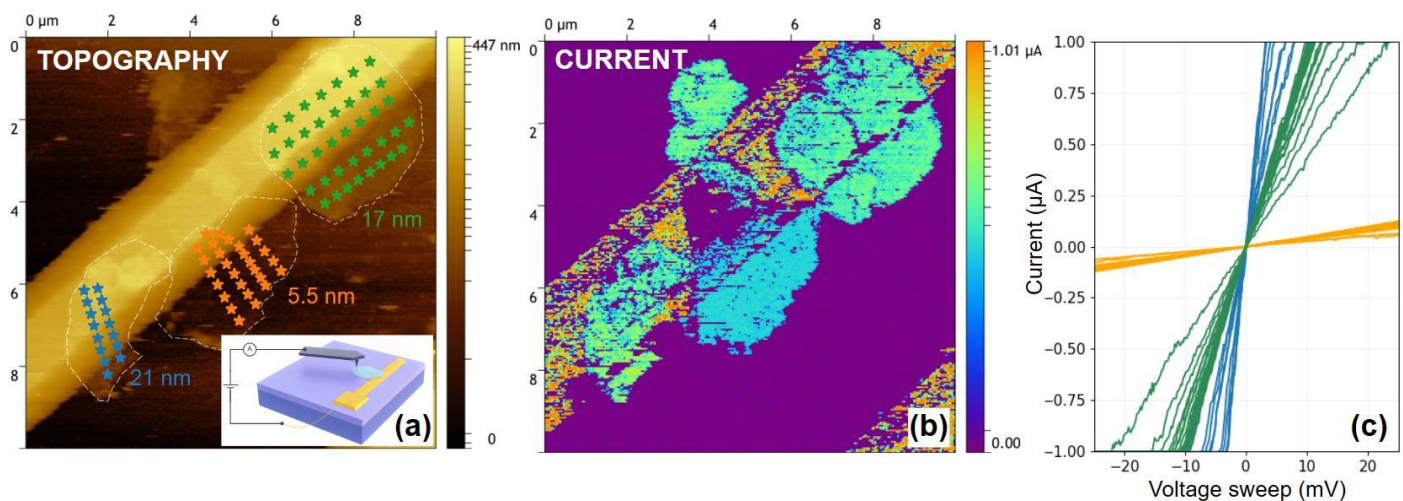


Figure 1 : (a) Image en topographie de plusieurs feuillets de $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ en contact avec une électrode en or, ainsi qu'un schéma de la mesure C-AFM. Les épaisseurs des feuillets sont indiquées à côté de ceux-ci. (b) Image en courant C-AFM obtenue pour une différence de potentiel de 2.5 mV entre la pointe et l'électrode. (c) Courbes I-V locales obtenue sur les trois feuillets présentés en (a) aux emplacements indiqués par les étoiles, dont les couleurs correspondent à celles du graphe.

En plus des images en C-AFM, des courbes I-V locales ont été mesurées sur les feuillets, comme présenté à la figure 1c. Celles-ci permettent d'évaluer entre autres la qualité du contact entre la pointe et le feuillet, et par conséquent la fiabilité de l'image en courant obtenue. Les caractéristiques I-V présentées ici sont linéaires, indiquant un contact ohmique entre la pointe et le feuillet. On remarque également une forte variation des valeurs de courant mesurées en fonction de l'épaisseur des feuillets, qui peut être interprétée à la lumière des différentes contributions à la résistance mesurée. Comme dans tous les matériaux lamellaires, on peut s'attendre à ce que le transport soit anisotrope [3], de sorte que la résistivité dans le plan et la résistivité hors plan des feuillets sont très probablement différentes. Des mesures complémentaires ont donc été réalisées dans une configuration différente, permettant de mesurer uniquement la résistivité hors du plan des feuillets. À partir de cet ensemble de données, l'anisotropie de résistivité dans le plan et hors du plan des feuillets de $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ sera discutée, ainsi que la variation de la résistivité en fonction du nombre de couches dans les feuillets.

Références

- [1] Barsoum M.; Gogotsi Y. *Ceramics International* **2022**, *49*, 24112
- [2] Lim, S.; Park, H.; Yamamoto, G.; Lee, C.; Suk, J.W. *Nanomaterials* **2021**, *11*, 2575
- [3] Ouisse, T.; M. W. Barsoum. *Materials Research Letters* **2017**, *5*, 365-78

Synthèse et caractérisations multi-échelles des propriétés électriques et piézoélectriques d'oxyde de zinc sur substrats Silicium

Imen Benkhaled ^{a, b}, Pierre Nickmilder ^a, Romain Bievez ^a, Denis Remiens ^b, Elhadj Dogheche ^b Philippe Leclère ^a

^a *Laboratory for Physics of Nanomaterials and Energy (LPNE)
Research Institute in Materials Science and Engineering
University of Mons (UMONS), B-7000 Mons, Belgium.*

^b *Université Polytechnique Hauts de France (UPHF)
IEMN UMR CNRS 8520 (IEMN), F- 59300 Valenciennes, France.*

L'oxyde de zinc (ZnO) est depuis plusieurs décennies l'un des matériaux piézoélectriques les plus prometteurs connus pour ses propriétés piézoélectriques en vue de récupérer de l'énergie. Ce matériau vert peut être un substitut aux matériaux comportant des éléments toxiques tels que le plomb.

Les nanostructures unidimensionnelles (1D) de ZnO [1], comme les nanofils (NWs) ont été largement étudiés par de nombreuses équipes à travers le monde ces derniers temps car ils peuvent être synthétisés à l'aide de diverses méthodes dont la synthèse hydrothermale qui présente l'avantage d'avoir une faible empreinte carbone, plus respectueuse de l'environnement.

Dans cette activité de recherche, l'objectif final est la fabrication des nanofils de ZnO possédant une forte structure cristalline et de microstructure orientés verticalement. Nous avons étudié l'apport d'une couche tampon de ZnO déposée par pulvérisation et qui a fait l'objet d'une étude pour son optimisation.

Les nanofils de ZnO sont déposés sur des couches tampon (*seed layer*) de ZnO synthétisées par pulvérisation cathodique (Figure 1a). Pour l'optimisation de la couche tampon nécessaire à la croissance verticale des Nanofils, plusieurs paramètres ont été étudiés comme le ratio Argon/O₂, la puissance P de pulvérisation et la température de dépôt in-situ.

Les couches tampons et les NWs obtenus ont été étudiées par microscopie électronique à balayage environnemental (eSEM), et par diffraction des rayons X (DRX). Afin de caractériser la réponse piézoélectrique multi-échelle, nous avons employé la technique de *Piezoresponse Force Microscopy* (PFM) pour la caractérisation nanoscopique et le vibromètre laser pour la caractérisation macroscopique. L'analyse eSEM montre la structure colonnaire des couches tampon (Figure 1b). La topographie des couches tampon a été observé par PFM (Figure 1c). Les performances électriques et piézoélectriques de la structure obtenue ont également été étudiées : Les courbes I-V présentent des caractéristiques électriques non linéaires confirmant la formation de contacts Schottky. In fine, nous comparons les performances piézoélectriques. Ces données servent au calcul par éléments finis (COMSOL MultiPhysics) de l'optimisation des performances des structures piézoélectriques réalisées (figure 1d).

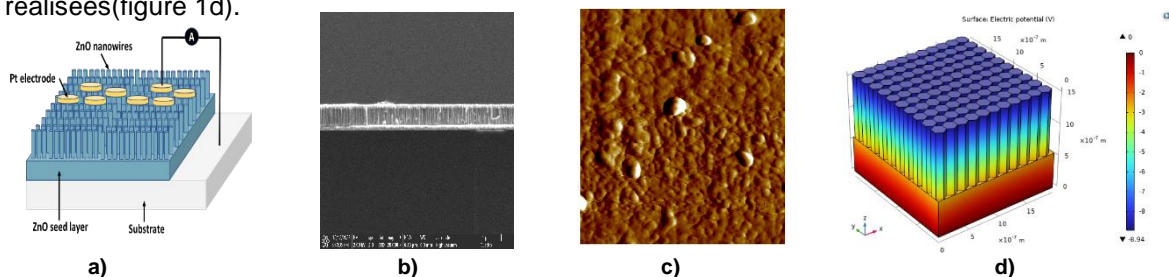


Figure 1 : a) Présentation de l'hétérostructure Pt/ZnO NWs/ZnO couche tampon/Ti-Pt/Si, b) Observation par la tranche d'une image de 1µm de la structure de ZnO, c) Observation de la topographie sur une surface de 2µmx2µm du film ZnO, d) Simulation COMSOL d'une structure piézoélectrique où la surface supérieure de l'échantillon était pressée d'un 1 nm vers le bas.

Références

- [1] Zhong Lin, W, *Nanostructures of zinc oxide*, *MaterialsToday*, **2004**, 20,26.

Friction et Adhérence moléculaire sur une membrane poreuse

Kordula SCHELLNHUBER¹⁾, Hanna HÜBNER²⁾, Johanna BLASS¹⁾, Markus GALLEI²⁾, Roland BENNEWITZ¹⁾

¹⁾INM-Institut for New Materials, Campus D.2.2 Université de la Sarre, 66123 Sarrebruck, Allemagne

²⁾Chaire de chimie des polymères, Université de la Sarre, 66123 Sarrebruck, Allemagne

Comprendre et contrôler la dynamique des surfaces polymériques est d'importance stratégique pour comprendre des processus biologiques et pour construire des objets sur un niveau nanométrique. Nous sommes en train d'étudier la friction et l'adhérence sur des surfaces solides-liquides à l'aide d'un microscope à force atomique en mettant l'accent sur la dynamique d'enchevêtrement. [1] Nous utilisons une seule molécule d'ADN (M13mp18) avec une longueur de 2.5 μm qui est attachée à une sonde colloïdale par la liaison entre la biotine et la streptavidine. La pointe est conduite parallèlement à une membrane poreuse [2] sur une hauteur de plusieurs nanomètres avec des vitesses différentes. Cette méthode nous permet d'analyser les interactions adhésives entre l'ADN attaché à la pointe et la surface poreuse indiquée par la torsion de la pointe. La déflexion de la pointe nous permet d'analyser le détachement de l'ADN. Le signal est analysé considérant le rôle de la vitesse sur la force de détachement mais aussi pour trouver des domaines plus préférables sur la surface pour découvrir la cinétique de l'enchevêtrement entre l'ADN et la membrane.

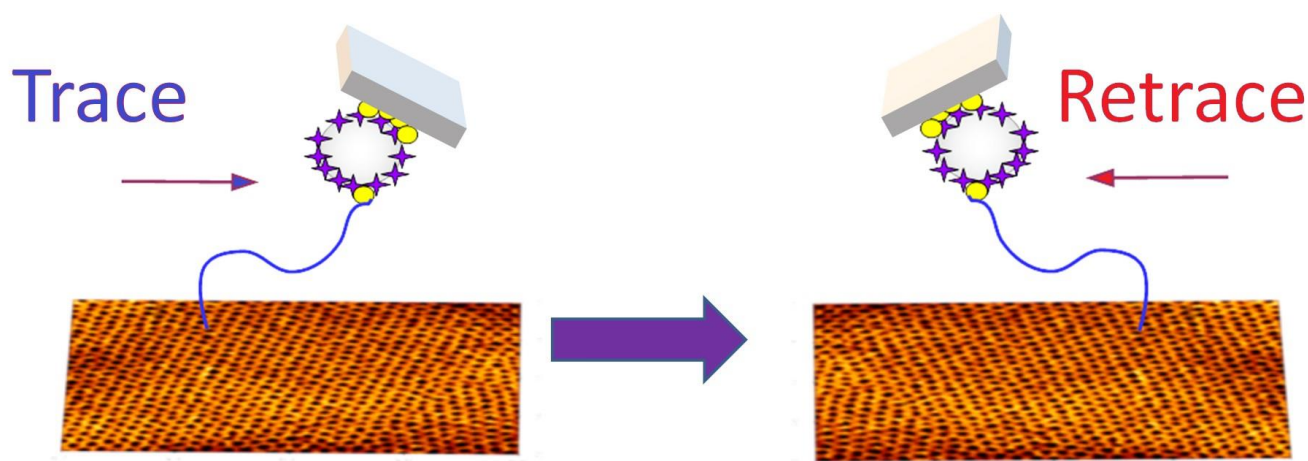


Figure 1 : Schéma pour une mesure de la friction sur la membrane poreuse. L'ADN est conduit parallèlement à la surface sur une hauteur de plusieurs nanomètres.

Références

[1] Schellhuber, Hübner, Blass, Gallei, Bennewitz, *Langmuir* **2024**, *40*, 968

[2] Gallei, Rangou, Filiz, Buhr, Bolmer, Abetz, Abetz, *Macromolecular Chemistry and Physics* **2013**, *214*, 1037

Microscopie thermique à sonde locale: mesures thermiques aux échelles nanométriques

Séverine GOMÈS

Dr. Séverine Gomès is CNRS professor in the « Micro and Nanoscale Heat Transfer » (MiNT) group at the Centre of Energy and thermal sciences of Lyon (CETHIL INSA–CNRS-UCBL1, UMR5008).



The group's interest deals with the development of modelling and metrologies to study physical mechanisms (thermal conduction and near-field radiation) and properties of energy transport in nanostructured objects and at interfaces. It has extensive skills in scanning thermal microscopy (S_{Th}M) and thermal analysis at micro and nanoscale down to cryo temperatures. S. Gomès has been developing for over twenty years the S_{Th}M technique. She has coordinated the European project QUANTIHEAT (2013-2017, 2018 Europe Star award) that aimed at developing various nanoscale thermal metrologies including S_{Th}M in support of the optimization of nanomaterials and their manufacturing processes. These last years, she developed an in-situ SEM S_{Th}M instrument. She also coordinated the ANR project TIPTOP (2017-2021), which was conducted in close collaboration with the NEEL Institute of Grenoble who provided successfully a first prototype of S_{Th}M probe based on NbN resistive thermometry.

Microscopie thermique à sonde locale: mesures thermiques aux échelles nanométriques

Séverine GOMES

*CETHIL (Centre d'Énergétique et de Thermique de Lyon)
UMR 5008, CNRS, INSA-LYON, Villeurbanne, France*

Au cours des trente dernières années, les nanosciences et les nanotechnologies ont conduit à des besoins croissants de connaissance fondamentale en thermique et en énergétique à des échelles de plus en plus petites, allant du micromètre au nanomètre. En particulier, le développement de nouveaux matériaux et systèmes dépend de progrès significatifs dans la compréhension du transport de l'énergie à ces échelles. Les activités technologiques et commerciales de nombreux secteurs industriels tels que les semi-conducteurs, l'aéronautique, l'aérospatiale et les technologies de l'information sont profondément concernées.

Dans ce contexte, la technique de microscopie thermique à sonde locale^[1,2](SThM pour « Scanning Thermal Microscopy » en anglais) fait aujourd'hui partie intégrante du paysage de la micro et nanothermique. Ce cours, dédié à aborder cette technique, sera constitué de trois parties distinctes.

- La première partie donnera une description globale de l'instrumentation et des différents modes utilisés pour l'analyse de matériaux et de composants actifs (composants microélectroniques par exemple). Nous verrons que différents types de sonde SThM sont disponibles : sondes thermocouples, sondes résistives....Ils seront présentés mais le cours se concentrera essentiellement par la suite sur les mesures avec une sonde SThM résistive.
- La deuxième partie du cours exposera les facteurs d'influence sur la mesure SThM, c'est-à-dire sur la réponse de la pointe à son interaction avec l'échantillon ; la discussion sera réalisée sur la base d'un modèle relativement simple. Il sera également question dans cette deuxième partie du cours de présenter les méthodologies utilisées pour étalonner la technique afin de réaliser des mesures thermiques.
- Dans la troisième partie du cours, un cas concret d'analyse SThM d'une nanostructure^[3] explicitera les principales étapes d'une mesure et montrera que la technique peut permettre d'étudier simultanément différentes propriétés physiques d'objets de dimension nanométrique.

Pour conclure ce cours, les principaux défis du développement de la SThM seront donnés.

Références :

^[1] Gomès, S., Assy, A., & Chapuis, P. O. (2015). *Scanning thermal microscopy: A review*. *physica status solidi (a)*, 212(3), 477-494.

^[2] Gomès, S. (2023). *Microscopie thermique à balayage (SThM)*, Techniques de l'Ingénieur, R2770.

^[3] Sojo-Gordillo, J. M., Gadea-Diez, G., Renahy, D., Salleras, M., Duque-Sierra, C., Vincent, P., ... & Tarancón, A. (2023). *Local Heat Dissipation and Elasticity of Suspended Silicon Nanowires Revealed by Dual Scanning Electron and Thermal Microscopies*. *Small*, 2305831.

SESSION ALEXANDRE ASTIER

Alexandre Astier, né le 16 juin 1974 à Lyon, est un acteur, auteur, réalisateur, compositeur, scénariste, producteur, monteur et musicien français.



Alexandre Astier entre au conservatoire de Lyon à l'âge de six ans où il suit des études de musique au sein des classes à horaires aménagés (où il rencontre notamment Benjamin Biolay). Il y étudie la contrebasse, l'orchestration et les chœurs et finalise sa formation musicale, notamment en jazz et en musique moderne, en intégrant l'American School of Modern Music de Paris (promotion 1989) et tout en faisant parallèlement du théâtre en tant qu'auteur et acteur.

Il est notamment connu en tant que créateur et interprète principal de la saga **Kamelott** (2005-2009).

Il a également scénarisé et coréalisé les films d'animation Astérix : Le Domaine des dieux (2014) et Astérix : Le Secret de la potion magique (2018).

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Alexandre_Astier

11:00 – 11:20 : Oumayma MLIDA

Étude nanométrique des propriétés mécaniques et piézoélectriques de nanofibres composites polymère (PVDF) / céramique (BaTiO₃)

11:20 – 11:40 : Dahlia SAAD

Caractérisation de l'interface liquide/brosses de polymères déposées sur surfaces d'or par 1D-AFM et 3D-AFM

11:40 – 12:00 : Wan-Yu TSAI

Probing Local Ion Insertion through operando AFM

Étude nanométrique des propriétés mécaniques et piézoélectriques de nanofibres composites polymère (PVDF) / céramique (BaTiO₃)

Oumayma Mlida^{1,2}, Antonio Da Costa¹, Andrea Cerreta², Romain Bourrellier², Nicolas Tabary³, Sophie Barrau³, Anthony Ferri¹

¹ Univ. Artois, CNRS, Centrale Lille, Univ. Lille, UMR 8181 – UCCS – Unité de Catalyse et Chimie du Solide, F-62300 Lens, France

² Park Systems France, 21 Rue Jean Rostand, 91400 Orsay, France

³ Université de Lille, CNRS, INRAE, Centrale Lille, UMR 8207 - UMET - Unité Matériaux et Transformations, F-59000 Lille, France

oumayma_mlida@ens.univ-artois.fr

Les composites de type polymère/céramique sont des matériaux extrêmement intéressants pour les applications énergétique, telles que les générateurs d'énergie renouvelable et les capteurs intelligents, car ils permettent de combiner les coefficients piézoélectriques élevés des céramiques à la grande flexibilité mécanique de la matrice polymère.

L'objectif de cette étude se concentre principalement sur la caractérisation à l'échelle nanométrique des propriétés mécaniques et piézoélectriques de nanofibres composites, élaborées au préalable par le processus d'électrofilage et dont les propriétés structurales sont caractérisées par spectroscopie infrarouge (FT-IR) et diffusion de rayons X aux grands angles (WAXS). Ces deux techniques ont révélé l'existence de la phase électroactive β du polymère polyfluorure de vinylidène (PVDF) constituant la matrice organique, comme attendu [1] [2]. Les fractions des phases amorphe et cristalline, ainsi que le taux des phases polaire et non-polaire, ont également été déterminées à partir des données WAXS.

La morphologie de surface des nanofibres a été caractérisée par le mode PinPoint™ de la microscopie à force atomique (AFM) (figure 1a). Des boursouflures ont été observées, laissant présager la formation d'agglomérats de nanoparticules inorganiques de BaTiO₃ initialement dispersées dans la matrice. Leur présence a été confirmée par le mode piézoélectrique de l'AFM (microscopie à force piézoélectrique, PFM), en imagerie et en spectroscopie. Les cycles d'hystérésis mesurés ont démontré une inversion du signal de phase en fonction du matériau sondé (polymère ou céramique), en accord avec une déformation mécanique opposée sous un même stimulus électrique pour ces deux types de matériaux [3], comme illustré sur la figure 1b,c. Des expériences de manipulation locale de la polarisation ont aussi été réalisées, confirmant la dispersion des nanoparticules piézoélectriques de BTO au sein de la matrice polymère [4]. Par ailleurs, le mode nanomécanique PinPoint™ a également confirmé la présence des inclusions inorganiques, en révélant en effet des propriétés mécaniques différentes de celles du polymère : des déformations significatives sont observées dans les régions polymères, tandis que des valeurs importantes de modules de contact sont obtenues sur les boursouflures.

Cette étude représente une première étape dans la nanocaractérisation des propriétés piézo-/ferroélectriques et mécaniques de notre système électroactif hybride, en vue d'une application en tant que nanogénérateur piézoélectrique.

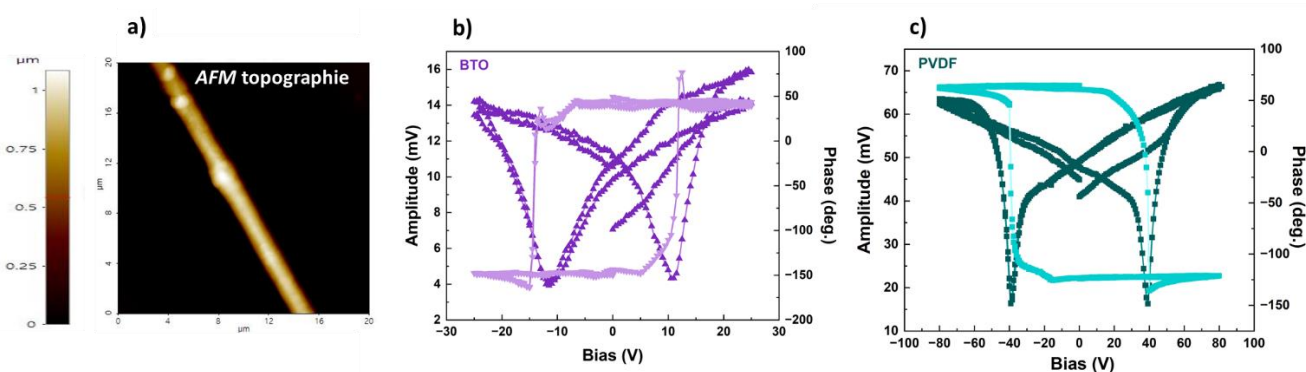


Figure 1 : a) Image topographique d'une fibre composite PVDF/BTO isolée. Piézocycles d'hystérésis locaux démontrant la piézo-/ferroélectricité au sein des nanofibres composites PVDF/BTO élaborées, en fonction des régions b) céramiques (BTO) et c) polymériques (PVDF) localement sondées.

Références

- [1] Gade H, Nikam S, Chase GG, *et al.*, *Polymer* **2021**, 228, 123902.
- [2] Guo H, Li L, Wang F, *et al.*, *ACS Appl Mater Interfaces* **2022**, 14, 34733–34741.
- [3] Kim Y, Kim W, Choi H *et al.*, *Applied Physics Letters* **2010**, 96, 012908.
- [4] Ferri A, Barrau S, Bourez R *et al.*, *Composites Science and Technology* **2020**, 186, 107914.

Caractérisation de l'interface liquide/ brosses de polymères déposées sur surfaces d'or par spectroscopie de force 1D-AFM et 3D-AFM

Dahlia SAAD^{1,2}, Li FU¹, Frédéric DUBREUIL¹, Magali PHANER-GOUTORBE²

1- Ecole Centrale de Lyon, LTDS, UMR5513, 69134 Ecully Cedex, France

2- Ecole Centrale de Lyon, CNRS, INSA Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, INL, UMR5270, 69134 Ecully Cedex, France

Les monocouches organiques auto-assemblées ou greffées sur une surface solide, telles que les brosses de polymères peuvent être utilisées comme couche de détection des biomolécules-cibles dans les biocapteurs ou couche protectrice dans les systèmes tribologiques ou les lab-on-chip. Pour ces différentes applications, l'étude de l'organisation de la partie libre de la brosse de polymère et de son comportement au contact d'un environnement liquide est essentielle et ce sur une distance de quelques nanomètres.

Notre étude propose de caractériser cette interface liquide/ brosse polymère à l'aide de la spectroscopie de force, ou 1D-AFM, mais aussi en considérant le mode 3D-AFM développé par T. Fukuma et R. Garcia [1], [2]. Dans ce mode, une image 2D en coupe (xz), de l'interface est construite à partir de l'enregistrement des variations de fréquence Δf en cours de balayage. Nous nous concentrons particulièrement sur les interfaces à base de thiol déposé sur une surface d'or pur en milieu liquide, en vue d'applications en biocapteurs et tribologie [3]. Trois échantillons ont été utilisés : de l'or pur ultraplat, du Poly (acide acrylique) PAA pur et du Poly (éthylène glycol) PEG pur (figure 1a).

Les polymères ont été étudiés dans différents liquides, dans de l'eau pure, une solution acide (après traitement à l'HCl) et des solutions concentrées en sel (dans PBS et avec NaCl).

Les courbes de force obtenues avec la mesure 1D-AFM montrent l'effet des différents milieux liquides sur le comportement de la chaîne polymère, se manifestant sous forme de changements dans les forces d'adhérence, la compression et la déformation de la couche polymère. Les mesures 3D-AFM, complètent les résultats obtenus et nos premières expériences semblent indiquer que cette méthode est bien appropriée pour visualiser les différences de comportement des extrémités des chaînes polymères en fonction des variations de pH et de concentration ionique (figure 1b).

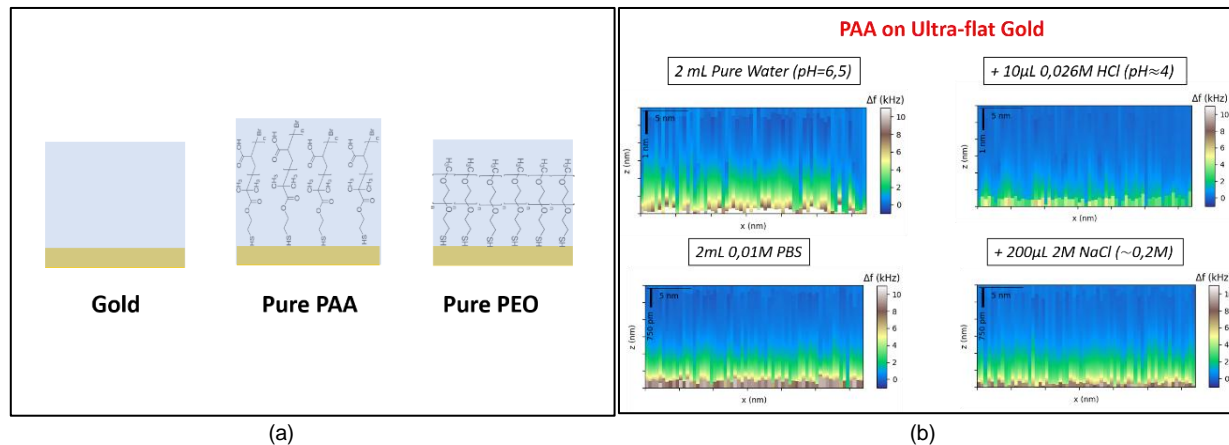


Figure 1 : (a) Représentation schématique des 3 échantillons utilisés. (b) Images 2D en coupe (xz) de l'échantillon PAA pur caractérisé dans des solutions différentes par 3D-AFM.

Références

- [1] Fukuma, T.; Garcia, R. *ACS Nano* **2018**, *12*, 11785
- [2] Asakawa, H.; Yoshioka, S.; Nishimura, K.; Fukuma, T. *ACS Nano* **2012**, *6*, 9013
- [3] Delcroix, M.F.; Huet, G.L.; Conard, T.; Demoustier-Champagne, S.; Du Prez, F.E.; Landoulsi, J.; Dupont-Gillain, C.C. *Biomacromolecules* **2013**, *14*, 215

Probing Local Ion Insertion through *operando* AFM

Wan-Yu TSAI¹, Nina BALKE²

¹ IEMN, CNRS & Univ. Lille, Lille, France

² North Carolina State University, NC, USA

Electrode volume change during ion insertion or intercalation has been one of the main failure mechanisms for several energy storage devices, especially Li-based batteries. Fundamental understanding of the relationship between the amount of the ions/charge stored and the induced volume changes of the hosting electrodes, and how this relationship impact the materials' performance are necessary to develop the next generation batteries. However, most of the studies on the volume change were based on bulk techniques, which study the entire electrode including binders and additives. Here, we use *operando* atomic force microscopy (AFM), which allows tracking local volume changes and other mechanical responses with sub-nanometer spatial resolution under the conditions close to the device operation.

In this work, we monitored electrode volume change via *operando* AFM and demonstrated the electro-chemo-mechanical coupling behaviors during proton insertion into WO_3 materials (Figure 1, left) [1]. The concept of mechanical cyclic voltammetry (mCV) curves was developed, and the relationship between electrochemical current and strain was investigated with simplified models. The results revealed multiple ion-intercalation processes with different mechanical responses are involved during electrode cycling. Local heterogeneity was investigated via mCV mapping, confirming that the charging mechanisms varied across the electrode. These local variations could be further correlated to local morphology, crystal orientations, or chemical compositions. We further demonstrate that the mCV approach is applicable to a variety of energy storage materials (e.g., birnessite, MXene) [2-5] with the increasing complexity of current-deformation relationships.

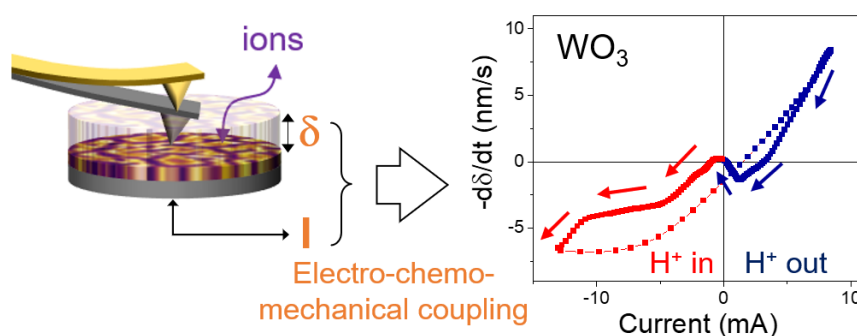


Figure 1. Illustration of *operando* AFM (left) and the current-strain rate relationship of WO_3 electrode during proton insertion (right).

Reference:

- [1] W.-Y. Tsai, R. Wang, S. Boyd, V. Augustyn, N. Balke, *Nano Energy* **2021**, *81*, 105592.
- [2] S. Boyd, K. Ganeshan, W.-Y. Tsai, T. Wu, S. Saeed, D. Jiang, N. Balke, A. C. T. van Duin, V. Augustyn, *Nat. Mater.* **2021**, *20*, 1689.
- [3] M. Mojtavavi, W. Tsai, A. VahidMohammadi, T. Zhang, Y. Gogotsi, N. Balke, M. Wanunu, *Small* **2022**, *18*, 2105857.
- [4] X. Wang, T. S. Mathis, Y. Sun, W.-Y. Tsai, N. Shpigel, H. Shao, D. Zhang, K. Hantanasirisakul, F. Malchik, N. Balke, D. Jiang, P. Simon, Y. Gogotsi, *ACS Nano* **2021**, *15*, 15274.
- [5] S. Saeed, S. Boyd, W.-Y. Tsai, R. Wang, N. Balke, V. Augustyn, *Chem. Commun.* **2021**, *57*, 6744.

Park Instruments

Bruker

NanoAndMore

Horiba

Schaefer



2024

NANOscientific Forum Europe Scanning Probe Microscopy (SPM)

29 - 31 OCTOBER 2024

Fraunhofer EMFT Munich, Germany

SAVE THE DATE

Conference Topics

- Energy Related Materials
- Electrical Properties in Semiconductors
- 2D Materials
- Electrical Measurements
- Imaging Spectroscopic Ellipsometry
- Industrial Research

SPM Methods

- Nanomechanical & Electrical Characterization
- Characterization Techniques in Aqueous Solution
- Advanced Imaging
- AFM Automation for Advanced NanoResearch

How to be a part of it

- Webiste | Registration | Abstract Submission: coming Mid-April!
- Register as an conference attendee
- Submit an abstract to become a contributed speaker
- Participate in the poster session and win up to €500
- Contact info-eu@nanoscientific.org for more information

Keynote Speakers

- **Prof. Dr. Lukas Eng**
Technical University Dresden, Germany
- **Prof. Dr. Silke Christiansen**
Fraunhofer IKTS, Forchheim, Germany
- **Prof. Dr. Markus Valtiner**
Vienna University of Technology, Austria
- **Prof. Dr. Rebecca Saive**
University of Twente, The Netherlands
- **Prof. Dr. Tobias Cramer**
University of Bologna, Italy
- **Prof. Dr. Christine Kranz**
Ulm University, Germany

More to come

SUPPORTED BY



NANOscientific

Enabling Nanoscale Advances

parksystems.com pse.sales@parksystems.com



LIVE DEMO Park FX40 automated AFM

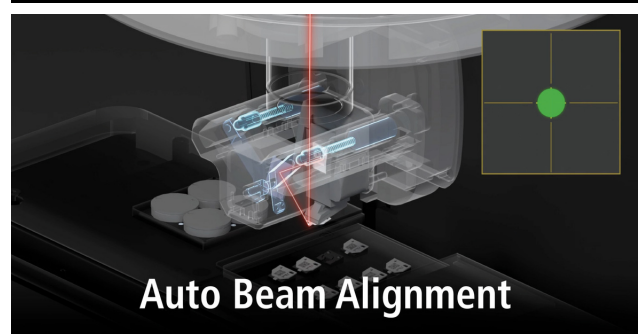
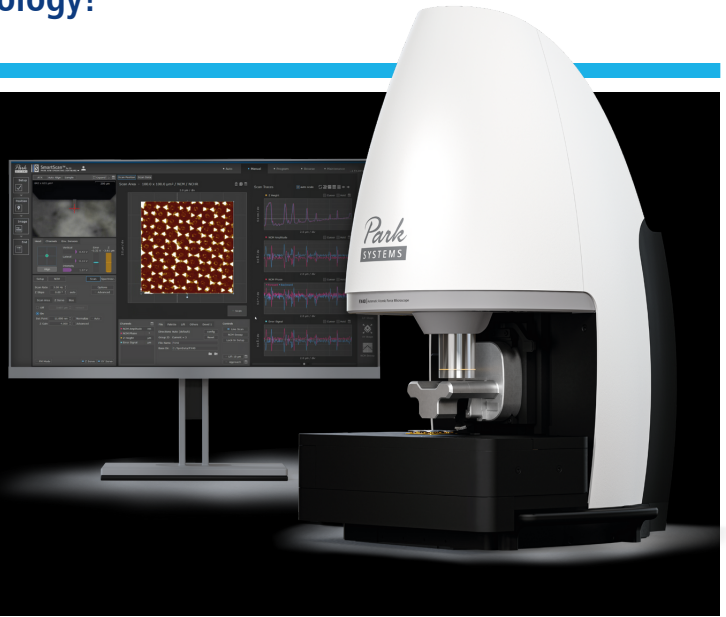
Stop by our booth to witness the latest advancements in AFM technology!



Park FX40 The Automatic AFM

Accelerate Your Research

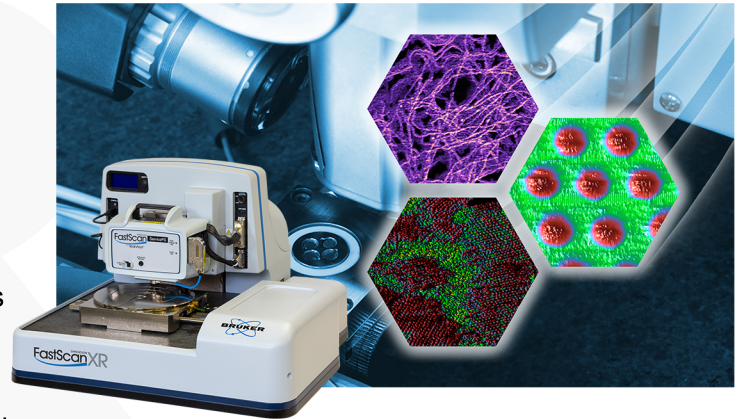
Built-in intelligence automates all set up routines so that you can focus on your research.



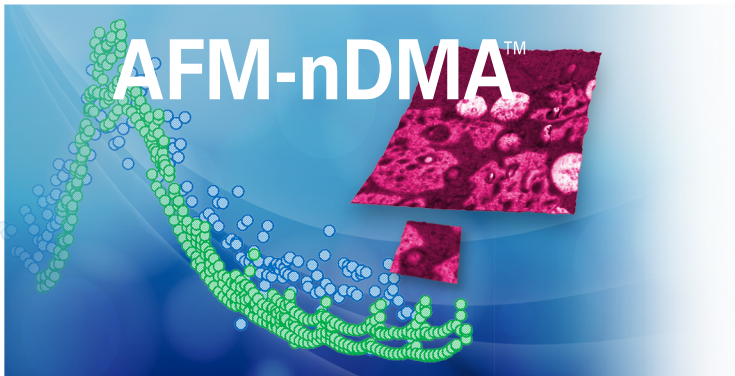
Dimension XR Series

AFM with **unique** capabilities and performance

- Easy to use, very fast nanoscale characterization
- High resolution and fastest scan
- Quantitative analysis of mechanical and electrical properties
- Characterization in an ambient and liquid controlled environment
- Supports complex samples, perfect for industry and research



Révolutionary AFM mode for quantitative viscoelasticity measurement in direct relation to macroscopic DMA

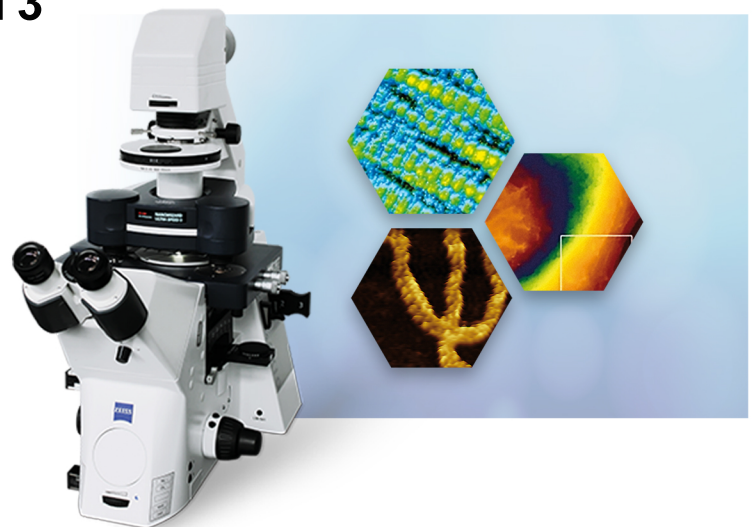


- Quantifies temperature-dependent memory properties at the nanoscale
- Characterizes the interfaces of polymers and composite materials
- Precise correlation with macroscopic DMA methods
- Evolution of loss and retention modules with frequency

JPK NanoWizard V & ULTRA Speed 3

Easy to use AFM for single molecule up to living cell and tissue research

- Fast, high-resolution quantitative imaging for dynamic processes
- Perfect integration of advanced optical microscopy such as PALM, STORM, TIRF, STED
- Fully flexible design with the largest range of accessories
- Coupling with RAMAN microscopes, customizable experiments

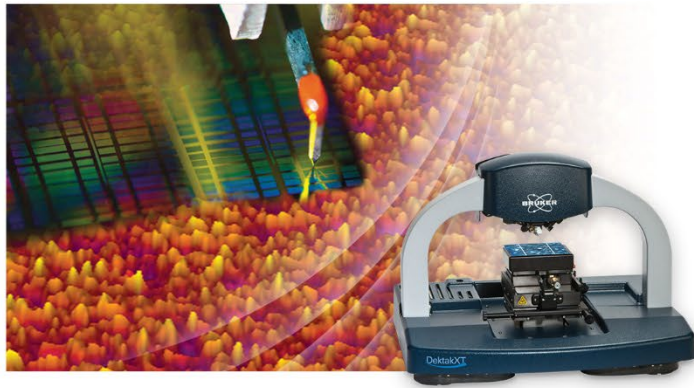
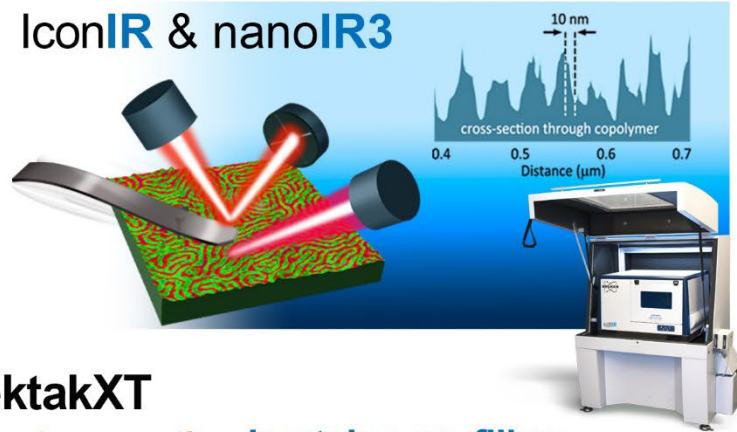


Infrared spectroscopy at the nanoscale | nanoIR

Direct measurements of the infrared absorption spectra

- Correlation with FTIR infrared spectroscopy
- Simultaneous surface topography and nanomechanical information
- Characterization and identification of polymers, composites, biomaterials, semiconductors
- French patent, inventor Dr. Dazzi A. (Paris-Sud University)

IconIR & nanoIR3



DektakXT

Latest generation in stylus profiling

- Unmatched performance and repeatability better than 5A
- Roughness and step height measurement and stress measurement from 1 nm to 1 mm.
- Unprecedented efficiency and ease of use
- Added value from the world's leading stylus profilometer
- Upgradable tool from manual to automatic model, enabling 3-dimensional mapping

Contour GT

Robust, accurate, perfect for metrology

- 3D optical metrology on any surface
- Advanced roughness parameters (Ra, Rq, Rz, ...) easily accessible
- Better z-resolution and independent magnification accuracy
- Automated measurement for real-time optimization
- Customized analysis reports



Upcoming events:

SPM Forum – April 22nd-26th, Ecully, France

Instruct Biennial Structural Biology Conference - May 22nd-24th, Cascais, Portugal

European South Atlantic Biophysics Meeting – June 5-7th 2024, Donostia-San Sebastian

THEMATIQUE ELENMA - 3rd-7th, Fréjus, France

Contact:

Jérôme Beaumale | +33 (0)6 81 81 61 87 | Jerome.Beaumale@bruker.com

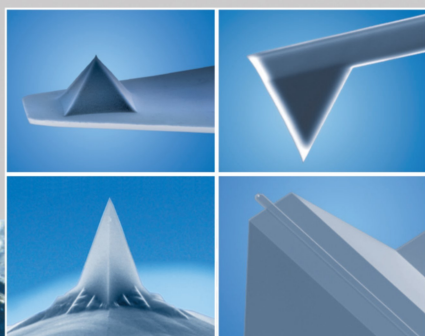
Thomas Carlier | +33 (0)6 08 34 71 76 | Thomas.Carlier@bruker.com

Emmanuel Paris | +33 (0)1 72 86 61 11 | Emmanuel.paris@bruker.com

Mickael fevre | +33 (0)6 19 27 38 94 | Mickael.fevre@bruker.com



www.bruker.com/nano



A PROPOS DE NANOWORLD®

La Nanotechnologie est notre spécialité. La précision, notre tradition.

POINTPROBE®

- sonde SPM/AFM la plus utilisée et la plus connue au monde
- sonde SPM/AFM en silicium pour des images à très haute résolution
- structures d'alignement sur la face arrière du support de préhension
- rayon de courbure de la pointe typiquement < 8 nm, garanti < 12 nm
- disponible avec différentes formes de pointe



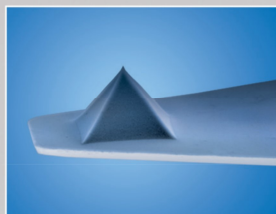
ULTRA-SHORT CANTILEVERS

- leviers extrêmement courts conçus pour l'imagerie AFM à haute vitesse
- 3 versions avec de très hautes fréquences de résonance (1,2 MHz - 5 MHz) et de grandes constantes de force pour des applications dynamiques dans l'air
- 3 versions avec des fréquences de résonance élevées et de faibles constantes de force (0,15 N/m - 0,6 N/m) pour des applications en milieu liquide principalement
- pointe en carbone de haute densité/ carbone de type diamant (HDC/DLC) résistante à l'usure
- rayon de courbure de la pointe typiquement < 10 nm



PYREX-NITRIDE PROBES

- leviers et pointes en nitrure de silicium
- sonde SPM/AFM conçue pour diverses applications en mode contact ou en mode dynamique
- pointes pyramidales affinées par oxydation
- rayon de courbure de la pointe typiquement < 10 nm
- disponible avec des leviers triangulaires ou rectangulaires
- également disponible en version sans pointe



ARROW™

- positionnement optimal grâce à l'excellente reproductibilité de l'emplacement de la pointe sur le levier
- pointe à trois faces définies par de véritables plans cristallins
- forme de pointe spécifique permettant d'obtenir des images très symétriques
- pointe située tout à l'extrémité du levier
- rayon de courbure de la pointe typiquement < 10 nm, garanti < 15 nm
- également disponible avec de hautes fréquences de résonance (jusqu'à 2 MHz) pour l'imagerie AFM à haute vitesse



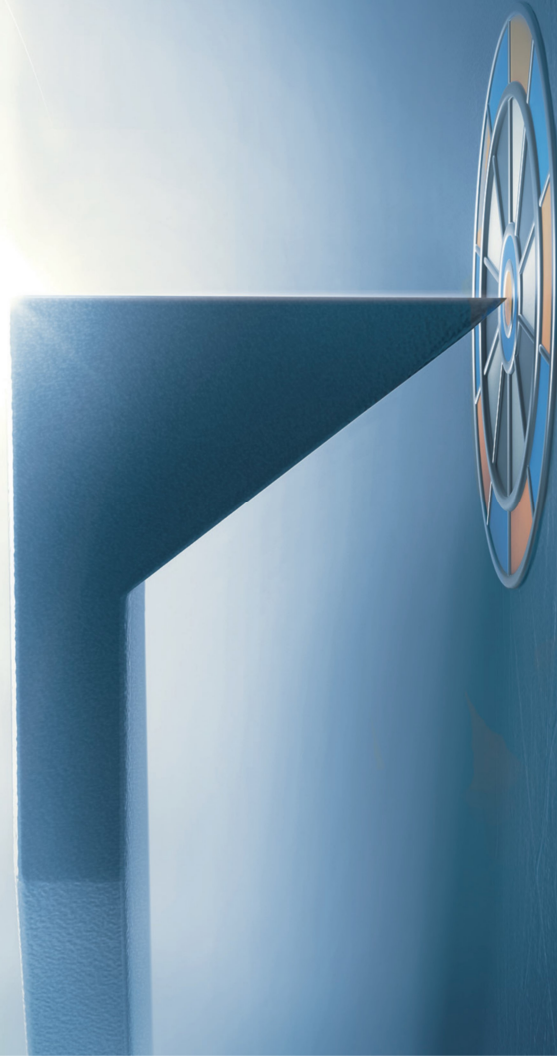


OPTIMIZED POSITIONING UPON SAMPLE

OPUS Tips Catalogue

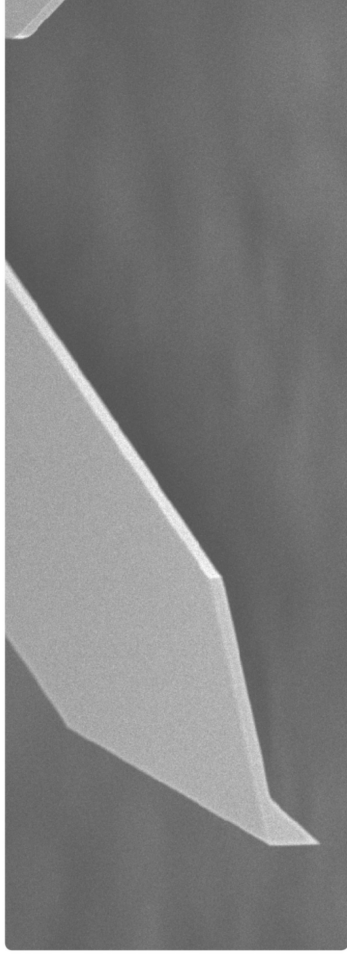


NANOANDMORE France
33 rue Vital 75016 PARIS
Tél: 01 42 88 29 67
www.nanoandmore.fr



www.opustips.com

OPUS PRODUCT LINE



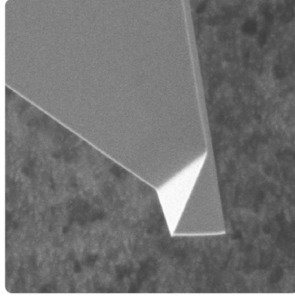
OPTIMIZED POSITIONING UPON SAMPLE

SPECIAL TIP SHAPE

The tip is located exactly at the end of the cantilever, which allows exact positioning of the tip apex over the region of interest on the sample surface.

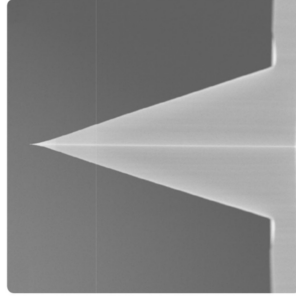
CONSISTENT CANTILEVER AND TIP PROPERTIES

Our state-of-the-art manufacturing process ensures consistency in cantilever and tip properties. High quality factor, smooth resonance curves, good cantilever reflectivity and excellent tip sharpness are only a few of the many advantages you can count on with every single OPUS silicon micro cantilever.



HIGH QUALITY BASE SILICON MATERIAL

All OPUS silicon micro cantilevers are manufactured from highly n-doped monocrystalline silicon with resistivity in the range 0.01 - 0.025 Ohm.cm for static charge dissipation. The cantilever and chip surface is a (100) plane and the cantilevers point in the <110> direction.



INDUSTRY STANDARD HOLDER CHIPS

OPUS micro cantilever holder chips have industry standard dimensions (3.4 x 1.6 x 0.315 mm) and fit all AFM systems that use unmounted probes. All single cantilever models feature alignment grooves on the back side of the chip.



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:

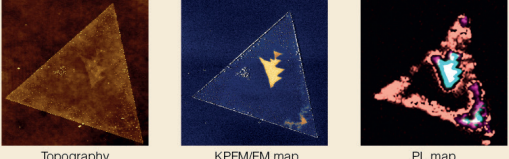
- Retrieve reliable and comprehensive analysis of your sample with the combined physical and chemical knowledge obtained in a single measurement (topographic, mechanical, electrical, magnetic, optical, and chemical properties).
- Shorten time to results knowledge from reduced sample handling and collecting 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.

Exploring the Boundaries of Possibility

Unleashing the Power of Colocalized Data for Comprehensive Analysis and Breakthrough Discoveries

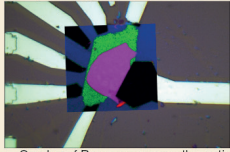
2D Materials

WS₂ flake deposited on SiO₂/Si



Topography KPFM/FM map PL map

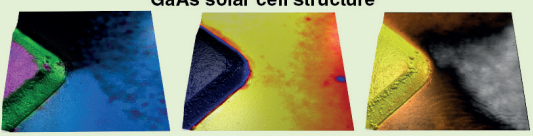
hBN/Graphene/WSe₂ vertical heterostructure on Si substrate



Overlay of Raman map over the optical image


Semiconductors Devices

GaAs solar cell structure



3D overlay of Raman, PL and CPD map on topography

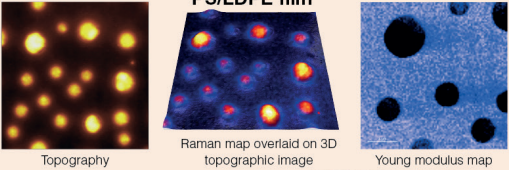
AlGaIn/GaN High electron mobility transistor (HEMT)



3D overlay of Raman map on topography

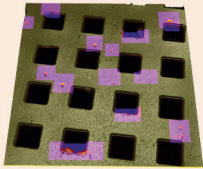
Polymers

PS/LDPE film



Topography Raman map overlaid on 3D topographic image Young modulus map

Nanoplastic particles from seawater on grid filter



Life Sciences / Cosmetics



Raman map overlaid on 3D topographic image

Sunscreen lotion on skin



Enhanced characterization capabilities for complete characterization

- All AFM modes included with no additional units or costs
- Wide range spectrometer optimized for Raman and photoluminescence
- True co-localized measurements with «Probe away»
- Direct pathway to cantilever apex with high optical access
- AFM for large scans and molecular resolution
- Quick and repeatable cantilever adjustment
- Automated AFM registration system adjustment
- No interference between AFM laser and spectroscopic measurements

For more information contact us at 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



Forum des Microscopies à Sonde Locale
du 22 au 26 avril 2024 à Ecully



Advanced Research Systems

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

RHK Technology

UHV Beetle and Pan Scan STM/AFM and R10 controller



AFM Cantilevers :



Vacuum Technology :



Contact :

denis.radosavkic@france-scientifique.fr

Tel : 04 26 46 01 60



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

Christina VILLEUNEUVE FAURE

Christina Villeneuve-Faure est maître de conférences HDR au sein de l'université Toulouse 3 et du laboratoire LAPLACE depuis septembre 2021. Ses travaux de recherche portent sur la nano-caractérisation des propriétés électriques des matériaux (diélectriques, semi-conducteur ou biologiques) pour des applications multidisciplinaires allant de la production et du transport d'énergie, à la microélectronique et aux matériaux biologiques (protéines / microorganismes / biofilms). Ces activités de recherches associent des développements expérimentaux autour de la microscopie à force atomique (KPFM, C-AFM, EFM, FDC, PF-QNM) et de la modélisation par éléments finis.



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

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

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

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

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

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

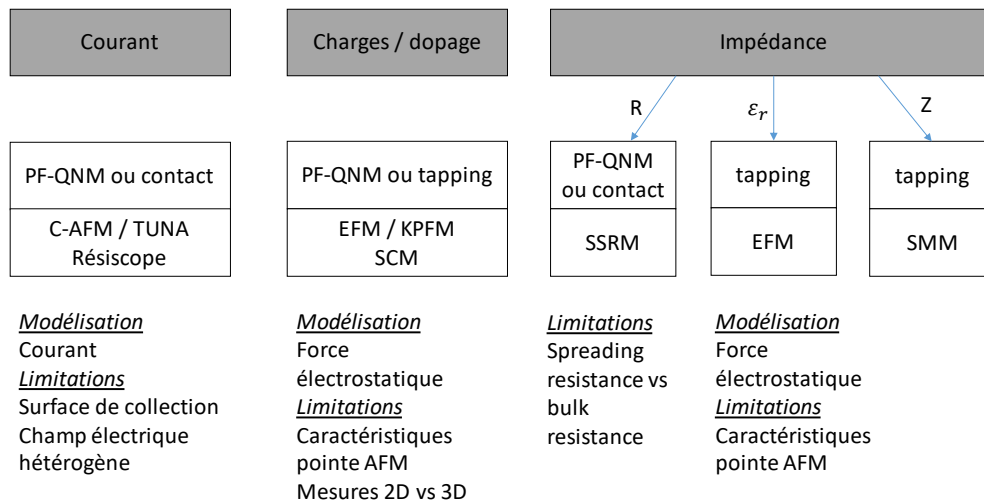


Figure 1 : les modes électriques dérivés de l'AFM : applications, modélisation et limitations

Références

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

SESSION LOUISE LABÉ

Louise Labé, aussi surnommée « Louïze Labé Lionnoize » et « la Belle Cordière », née vers 1524 à Lyon, morte le 25 avril 1566 à Parcieux-en-Dombes où elle fut enterrée, est une poétesse française de la Renaissance et l'une des principales figures de l'École de Lyon.



Son œuvre, très mince en volume (662 vers), se compose d'un Débat de Folie et d'Amour en cinq dialogues en prose, de trois Élégies en décasyllabes, et de vingt-quatre sonnets également en décasyllabes, portant sur l'amour éprouvé par les femmes, et les tourments qu'il peut entraîner.

Ses écrits font partie du canon littéraire depuis sa redécouverte au XIXe siècle.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Louise_Labé

15:30 – 15:50 : Amandine BELLEC

Voltage-Induced Bistability of Single Spin-Crossover Molecules in a Two-Dimensional Monolayer

15:50 – 16:10 : Joao COSAS

Correlative microscopy based on AFM and its application in rubber materials

Voltage-Induced Bistability of Single Spin-Crossover Molecules in a Two-Dimensional Monolayer

Yongfeng TONG^a, Massine KELAI^a, Kaushik BAIRAGI^a, Vincent REPAIN^a, Jérôme LAGOUTE^a, Yann GIRARD^a, Sylvie ROUSSET^a, Marie-Laure BOILLOT^b, Talal MALLAH^b, Cristian ENACHESCU^c, **Amandine BELLEC^a**

^a Université Paris Cité, CNRS, Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques, UMR6271, F-75013, Paris, France. Email: amandine.bellec@u-paris.fr

^b Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay, Université Paris-Saclay, CNRS, UMR 8182, 91405 Orsay 12 Cedex, France

^c Faculty of Physics, Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Iasi 700506, Romania

Bistable spin-crossover molecules are particularly interesting for the development of innovative electronic and spintronic devices as they present two spin states that can be controlled by external stimuli. Here, we report the voltage-induced switching of the high spin/low spin electronic states of spin crossover molecules self-assembled in dense 2D networks on Au(111) and Cu(111) by scanning tunneling microscopy at low temperature.

On Au(111), voltage pulses lead to the non-local switching of the molecules from any - high or low - spin state to the other followed by a spontaneous relaxation towards their initial state within minutes.

On the contrary, on Cu(111), single molecules can be addressed at will. They retain their new electronic configuration after a voltage pulse. The memory effect demonstrated on Cu(111) is due to an interplay between long range intermolecular interaction and molecule/substrate coupling as confirmed by mechanoelastic simulations [1].

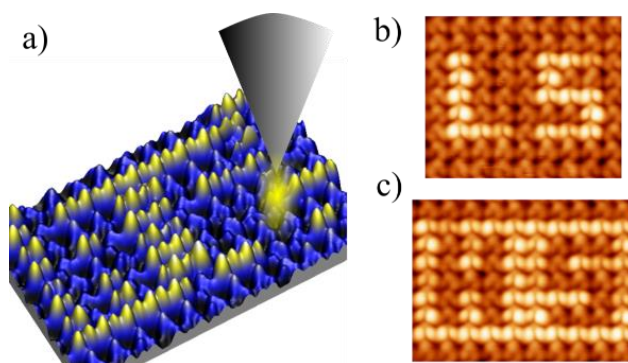


Figure 1 : a) Scheme of the manipulation by voltage-pulses. b) 10x10nm² and c) 10x12.5nm² topographic images where "LS" and "HS" have been written by voltage pulses (V=0.3 V, I=3 pA).

Références

- [1] Tong, Y. *et al. J. Phys. Chem Lett.* **2021**, *12*, 11029

Correlative microscopy based on AFM and its application in rubber materials

João Paulo COSAS FERNANDES

Université Grenoble Alpes, CNRS, CERMAV, 601 Rue de la Chimie, Grenoble 38000 Cedex 9, France

The technology of elastomer blends is largely oriented towards the selection of the ingredients and the vulcanization procedures to achieve optimized compound properties after curing. The resultant morphology is influenced by mixing and curing parameters, while achieving optimized properties depends, among others, on the degree of vulcanization of each of the phases. Rubber vulcanization agents, such as sulfur and chemical accelerators, may possess different solubility in each elastomer of the blend, leading to different rates of consumption, with a direct influence on the phase-specific properties. In this context, the comprehension of the impact of curatives in each elastomer of a rubber blend is desirable to design materials with optimized vulcanization degrees. This demands the use of special characterization techniques and strategies to combine their information at the local scale.

Atomic Force Microscopy (AFM) is a technique capable of providing topographical and mechanical/viscoelastic properties at the nanometer scale, helping the quantitative interpretation of the effects of curatives in the properties of each elastomeric phase in the blend. To complement this information, the acquisition of local chemical properties with techniques such as Infrared (IR) spectroscopy and high-resolution mass spectrometry (nanoSIMS) can address various valuable questions.

NanoSIMS imaging is a powerful surface chemical characterization tool which uses an energetic primary ion beam (Cs^+ or O^- ions) to bombard the surface of a sample to enhance secondary ion formation, acquiring information in areas as small as 50 nm wide. Although being a destructive process, it can give localized elemental information by the sorting of the secondary ions by energy and their dispersion in a mass spectrometer according to their mass/atomic number (m/z) ratios. The correlation of nanoSIMS with AFM is not a straightforward process but can provide valuable information. In the past years, the capabilities of AFM have been increased by its combination with photothermal IR spectroscopy (AFM-IR), allowing to obtain nanoscale IR chemical imaging. The technique uses a tunable IR that is focused onto a zone of a sample near the AFM tip. Chemical mapping images of the surface can be created by fixing a wavelength and scanning the surface of the sample, displaying the local distribution of chemical species across the probed area.

In this presentation, I will show the combination of high lateral resolution of both AFM and nanoSIMS techniques to provide co-localized topographic, nanomechanical and elemental chemical information in immiscible polyisoprene/polybutadiene (PI/BR) blends with different vulcanization packages. Furthermore, two different AFM techniques (nanomechanical mode and AFM-IR) were also used for the thorough characterization of the nanomechanical properties and molecular structure of these elastomeric blends, focusing on the study of the effect of different sulfur/accelerator ratios on the phase-specific properties. By correlating nanomechanical data with local chemical and molecular information, insights into the dispersion and interaction of additives within the rubber matrix can be gained, leading to improved material formulations.

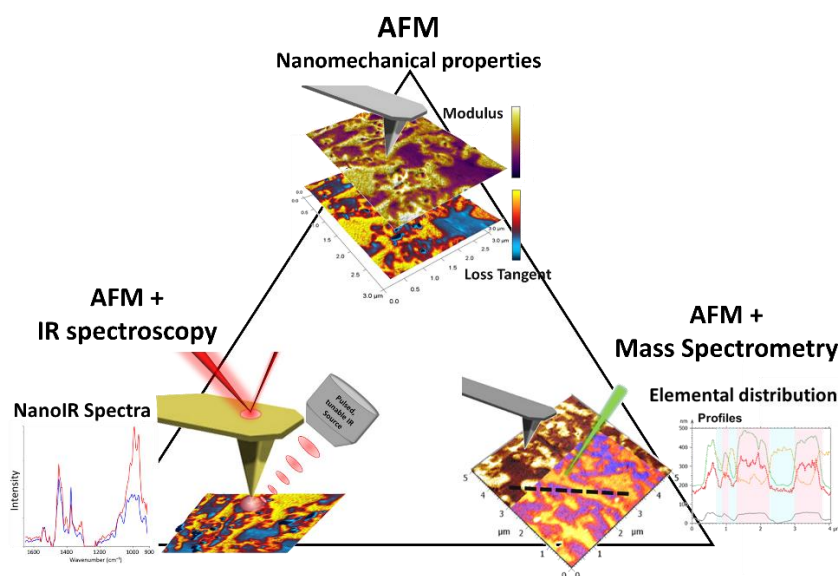


Figure 1. Examples of correlative microscopy strategies based on AFM for the characterization of nanomechanical properties, local molecular structure and elemental distribution.

SESSION HENRI FRENAY

Fils d'officier de carrière, Henri Frenay est né le 19 novembre 1905 à Lyon. Bachelier, il entre en 1924 à l'école spéciale militaire de Saint-Cyr. En 1938, il est à Strasbourg où il suit les cours du Centre des hautes études germaniques et en obtient le diplôme. Cette occasion lui permet d'observer de près la doctrine nationale socialiste et son application en Allemagne. En 1939, le capitaine Frenay est affecté à Ingwiller, à l'Etat-major de la 17e Région militaire. Pendant la campagne de France, officier d'Etat-major au Col du Donon, il est fait prisonnier au mois de juin 1940. Parvenu à s'évader et à rejoindre sa mère en zone sud à Sainte-Maxime, il reçoit une citation.



En juillet 1940, Henri Frenay est en garnison à Marseille. Refusant farouchement la défaite, il écrit dès le 15 août 1940 un manifeste, premier appel à la lutte armée. Il organise dès lors les premiers recrutements parmi ceux qui, comme lui, n'acceptent pas l'armistice. En décembre 1940, il est affecté au 2e Bureau de l'Etat-major de l'armée à Vichy. Il n'est pas hostile au début à la figure du maréchal Pétain mais s'en détache petit à petit devant la politique de collaboration.

En janvier 1941, il **démissionne de l'armée et entre rapidement dans la clandestinité**. Il publie le 16 juillet suivant le premier numéro clandestin des Petites Ailes. Au même moment, il rencontre pour la première fois **Jean Moulin** qui se prépare à partir pour Londres. Il fonde ensuite le Mouvement de Libération nationale (MLN) et édite le journal Vérités à partir de septembre 1941 avec l'aide de Berty Albrecht, qu'il connaît depuis 1934 et qui a été sa compagne.

En novembre à Grenoble, il rencontre François de Menthon qui dirige le mouvement Liberté, éditant un journal du même nom. De la fusion du MLN et de Liberté naît le mouvement Combat qui fait paraître en décembre 1941 le premier numéro de son journal. Combat, toujours avec l'aide de Berty Albrecht, devient peu à peu le premier mouvement de Résistance de la Zone sud en terme d'effectifs. Grâce aux fonds fournis par Jean Moulin, Combat peut financer ses cadres et se développer dans différents domaines : renseignement, noyautage des administrations, propagande, action armée...

Convaincu de l'importance de former la résistance à la lutte armée, Frenay met en place les premières cellules d'une armée secrète et les premiers groupes francs durant l'année 1942. Dès juin 1942, il est recherché par la police de Vichy. A l'été 1942, Combat tire à cent mille exemplaires. En septembre 1942, Henri Frenay part pour Londres en compagnie d'Emmanuel d'Astier, et y rencontre le général de Gaulle. Il est de retour en France en novembre 1942 par une opération aérienne.

Début 1943, sous l'impulsion de Jean Moulin sont créés les Mouvements unis de Résistance (MUR) qui voient l'unification des principaux mouvements de la zone sud Combat, Libération et Franc-Tireur. Henri Frenay, qui s'oppose souvent au délégué Jean Moulin en contestant ce qu'il considère comme une main mise de Londres sur la Résistance française, est alors membre du Comité directeur des MUR. En juin 1943, Charvet alias Henri Frenay confie la direction du mouvement à son adjoint Claude Bourdet et retourne à Londres. En juillet, il part pour Alger où, le mois suivant, le général de Gaulle lui remet la Croix de la Libération. Nommé en novembre 1943 à la tête du commissariat aux Prisonniers, Déportés et Réfugiés du Comité français de la Libération nationale (CFLN) à Alger, il continue à écrire dans Combat, fait plusieurs discours à la radio et est appelé à siéger à l'Assemblée consultative provisoire d'Alger au titre de la Résistance.

En août 1944 Henri Frenay devient ministre des Prisonniers, Déportés et Réfugiés du Gouvernement provisoire de la République française. Il arrive en France le 1er septembre 1944, sur la Jeanne via Cherbourg avec les membres du GPRF. Le lendemain il arrive à Paris et participe au premier Conseil des ministres le jour même. Il se consacre à la tâche immense visant à assurer le retour en France des prisonniers de guerre et déportés. Malgré les nombreuses difficultés, en mars 1945 ont lieu les premiers retours (20 000) puis en avril (313 000), en mai (900 000) et en juin (276 000). En juillet le ministère considère le rapatriement comme terminé. En novembre 1945, Henri Frenay est l'initiateur de ce qui deviendra le Mémorial de la France combattante au Mont Valérien avant de démissionner de son poste de ministre qui est d'ailleurs supprimé.

En septembre 1946 il est élu président de l'Union européenne des Fédéralistes (UEF). Il est co-fondateur de l'Union démocratique et socialiste de la Résistance (UDSR). En 1954, il démissionne de sa fonction à l'UEF en raison de l'échec de la Communauté européenne de Défense. Directeur de plusieurs sociétés et associé à l'exploitation du quotidien Combat, il est administrateur de sociétés d'édition et publie en 1973 ses mémoires de la Résistance : La Nuit finira puis, en 1975, Volontaires de la Nuit. Dans un ouvrage polémique qui fait grand bruit, L'Enigme Jean Moulin, il accuse ce dernier d'avoir été un agent crypto communiste et s'oppose violemment à Daniel Cordier qui pour défendre la mémoire de son ancien patron, s'en fait le biographe. Henri Frenay est décédé le 6 août 1988 à Porto Vecchio en Corse où il est inhumé.

Source : <https://www.ordredelaliberation.fr/fr/compagnons/henri-frenay>

08:30 – 08:50 : Élysé LAURENT

Contrôle de la luminescence des semi-conducteurs bidimensionnels à l'échelle nanométrique

08:50 – 09:10 : Etienne PUYOO

Imagerie thermique in situ de dispositifs à résistance différentielle négative

09:10 – 09:30 : Peter De WOLF

Resonance Enhanced Force Volume Method for Photothermal AFM-IR Imaging and Spectroscopy

Contrôle de la luminescence des semi-conducteurs bidimensionnels à l'échelle nanométrique

Élysé Laurent¹, Elizabeth Boer-Duchemin¹, Séverine Le Moal¹, Guillaume Schull², Stéphane Berciaud², Éric Le Moal¹

¹Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay (ISMO), 91400 Orsay, France
²Institut de Physique et Chimie de Strasbourg (IPCMS), 67200 Strasbourg, France

Les semi-conducteurs de la famille des dichalcogénures de métaux de transition (TMD) suscitent un intérêt croissant pour leurs propriétés optiques et électroniques stratégiques pour de futurs nanodispositifs optoélectroniques. Ce sont des matériaux lamellaires, pouvant être exfoliés jusqu'à obtenir des feuillets, lesquels se comportent comme des semi-conducteurs bidimensionnels (2D) et présentent un gap électronique direct [1,2]. Les propriétés optiques de ces semi-conducteurs 2D sont dominées par la dynamique de leurs excitons, c'est-à-dire des paires électron-trou liées par l'interaction coulombienne, et cela même à température ambiante. Des travaux antérieurs ont montré qu'il est possible d'augmenter l'efficacité quantique radiative des feuillets de TMD en contrôlant leur densité de porteurs de charge libres [3,4]. Comprendre et contrôler cet effet est essentiel pour les performances de futurs dispositifs électroluminescents à base de TMD.

Nous présentons ici une nouvelle technique qui permet de suivre dans l'espace réel les effets des porteurs de charges injectés localement sur l'efficacité quantique radiative des TMD semi-conducteurs, ce que ne permettaient pas jusqu'ici les techniques existantes [5]. Dans notre technique, des images de la photoluminescence induite par un laser en champ large de monofeuillets de MoSe₂ sont enregistrées au moyen d'une caméra CCD pendant que des charges sont injectées dans les monofeuillets via le courant tunnel entre l'échantillon et la pointe d'un microscope à effet tunnel (STM). Nous observons que l'injection locale d'électrons induit une extinction de la photoluminescence du MoSe₂ sur une zone de dimension micrométrique autour du point d'injection (i.e., autour de la pointe du STM), tandis que l'injection de trous tend à augmenter le rendement radiatif de photoluminescence du MoSe₂. Comme le montre la figure 1 où on y voit le rendement d'intensité de photoluminescence de deux monofeuillets de MoSe₂ pendant la phase d'approche et de retrait de la pointe de STM, ces effets sont réversibles et la valeur initiale de l'efficacité quantique radiative des monofeuillets est retrouvée quelques secondes après la coupure du courant tunnel. Nous montrons que le temps caractéristique de ce processus de retour de la photoluminescence dépend de la puissance du laser utilisé pour exciter la luminescence de l'échantillon.

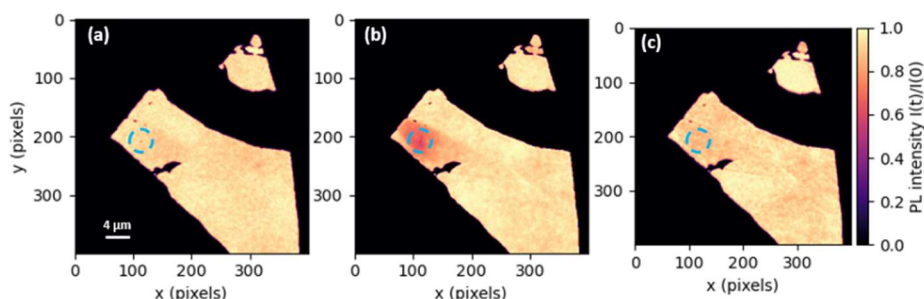


Figure 1 : Images en fausse couleur de la variation relative d'intensité de photoluminescence de deux monofeuillets de MoSe₂ (claire) enregistrées pendant la phase d'approche de la pointe de STM vers le TMD (a), après la phase d'approche et avec une différence de potentiel pointe-échantillon de 0,6 V (b) et après la phase de retrait de la pointe (c). La zone en bleu sur les trois images délimite la position de la pointe de STM au-dessus du TMD.

Références

- [1] Mak, K. F. *et al.* Atomically Thin MoSe₂: A New Direct-Gap Semiconductor. *Phys. Rev. Lett.* **2010**, *105*, 136805.
- [2] Wang, G. *et al.* Colloquium: Excitons in atomically thin transition metal dichalcogenides. *Rev. Mod. Phys.* **2018**, *90*, 021001.
- [3] Lien, D.-H. *et al.* Electrical suppression of all nonradiative recombination pathways in monolayer semiconductors. *Science* **2019**, *364*, 468–471.
- [4] He, Z. *et al.* Quantum plasmonic control of trions in a picocavity with monolayer WS₂. *Science Advances* **5** **2019**, eaau8763.
- [5] Peña Román, R. J. *et al.* Tip-Induced and Electrical Control of the Photoluminescence Yield of Monolayer WS₂. *Nano Letters* **2022**, *22*, 23, 9244–9251.

Imagerie thermique in situ de dispositifs à résistance différentielle négative

Etienne Puyoo¹, David Albertini¹, Nicolas Baboux¹, Sanjoy Nandi² et Robert G. Elliman²

¹INSA Lyon, CNRS, Ecole Centrale de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, INL, UMR5270, Villeurbanne, 69621 France

²Department of Electronic Materials Engineering, Research School of Physics, Australian National University, Canberra, Australian Capital Territory, 2601, Australia

Les dispositifs à résistance différentielle négative (NDR pour Negative Differential Resistor) à base de structures Métal-Oxyde-Métal (MOM) représentent de bons candidats pour le développement de sélecteurs mémoire de haute densité et sont également envisagés pour le développement d'architectures matérielles neuromorphiques [1, 2]. Nous montrerons au travers de deux cas d'études que le développement d'expériences in situ de microscopie thermique à balayage (SThM pour Scanning Thermal Microscopy) est bien adapté à la caractérisation de dispositifs NDR dont le principe de fonctionnement repose essentiellement sur des effets électro-thermiques. Le premier cas d'étude se concentrera sur l'observation et l'analyse du phénomène de redistribution des lignes de courant au sein de dispositifs à base d'oxyde de niobium (Figure 1) [3]. Le second cas d'étude portera sur des dispositifs à base d'oxyde de vanadium V_3O_5 qui présente une transition isolant/métal autour de 420K [4]. L'analyse de cartographies SThM réalisées à différents points de fonctionnement nous permet d'observer l'initiation du comportement NDR à une température bien en deçà de la température de transition du matériau V_3O_5 . Ce résultat confirme une nouvelle théorie selon laquelle le déclenchement du comportement NDR serait essentiellement attribué à la dépendance en température de la conductivité de la phase isolante du V_3O_5 et pas directement à la transition de Mott. Au-delà d'une confirmation de théories existantes, les cartographies SThM nous permettent plus largement d'alimenter des modèles par éléments finis et nous ouvrent la voie vers une gestion thermique des structures étudiées pour un contrôle global du fonctionnement des dispositifs.

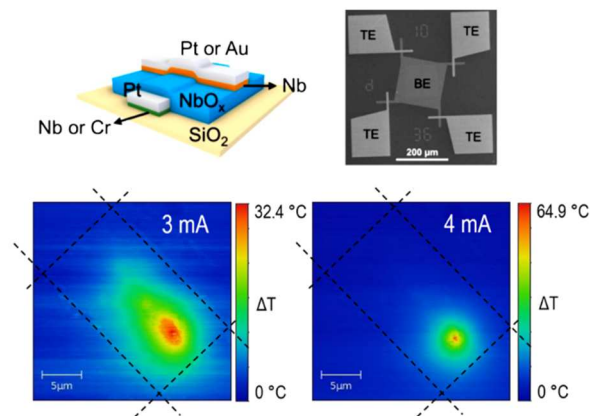


Figure 1 : Caractérisation thermique de dispositifs NDR en fonctionnement. Le resserrement de la tâche thermique observé sur la figure est une signature du phénomène de redistribution des lignes de courant à l'origine du comportement NDR.

Références

- [1] Goodwill, J.M., Ramer, G., Li, D., B. D. Hoskins, G. Pavlidis, J. J. McClelland, A. Centrone, J. A. Bain & M. Skowronski, "Spontaneous current constriction in threshold switching devices" Nat Commun 10, 1628 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09679-9>
- [2] M Drouhin, S Li, M Grelier, S Collin, F Godel, RG Elliman, B Dlubak, Juan Trastoy, Damien Querlioz, Julie Grollier, "Characterization and modeling of spiking and bursting in experimental NbOx neuron", Neuromorphic Computing and Engineering 2 (4), 044008 (2022). <https://doi.org/10.1088/2634-4386/ac969a>
- [3] SK Nandi, E Puyoo, SK Nath, D Albertini, N Baboux, SK Das, T Ratcliff, R G Elliman, "High Spatial Resolution Thermal Mapping of Volatile Switching in NbOx-Based Memristor Using In Situ Scanning Thermal Microscopy", ACS Applied Materials & Interfaces 14 (25), 29025-29031 (2022). <https://doi.org/10.1021/acsami.2c06870>
- [4] 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>

Resonance Enhanced Force Volume Method for Photothermal AFM-IR Imaging and Spectroscopy

Peter De Wolf, Martin Wager, Qichi Hu, Chunzeng Li

Bruker Nano Surfaces and Metrology, Santa Barbara, 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 last years, AFM-IR has been developed with different AFM 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] has lately joined as another AFM-IR mode. All these nano-IR variations inherit the advantages and limitations of their respective AFM base mode. In this work, we introduce, for the first time, a novel Force Volume related approach with an adjustable hold (dwell) time during which resonance enhanced AFM-IR imaging or spectroscopy is performed. We refer to this mode as REFV AFM-IR. Capabilities are illustrated with examples on a variety of polymer samples. We discuss (i) the capability to perform simultaneous multimodal imaging collecting both mechanical properties such as elastic modulus together with chemical information, (ii) methods such as performing a complete frequency sweep during the dwell time or frequency-tracking using a PLL to understand and decouple artifacts induced by variations in mechanical properties from the AFM-IR data, and (iii) the combination with other AFM-IR techniques such as the surface sensitive mode while, at the same time, minimizing lateral forces to allow one to study soft & fragile samples with < 10 nm spatial resolution and monolayer detection sensitivity.

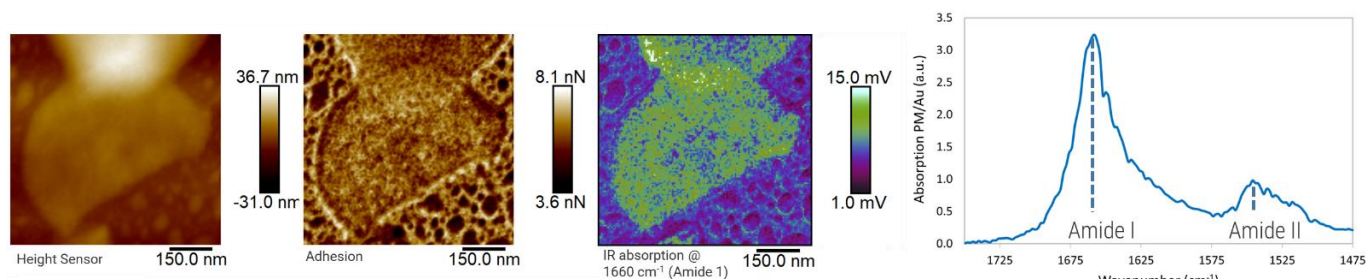


Figure 1: REFV AFM-IR on a 6 nm thin purple membrane sample illustrating simultaneous IR mapping & quantitative nanomechanical property mapping, monolayer sensitivity in imaging (at the characteristic 1660 cm^{-1} amide I band) & spectroscopy.

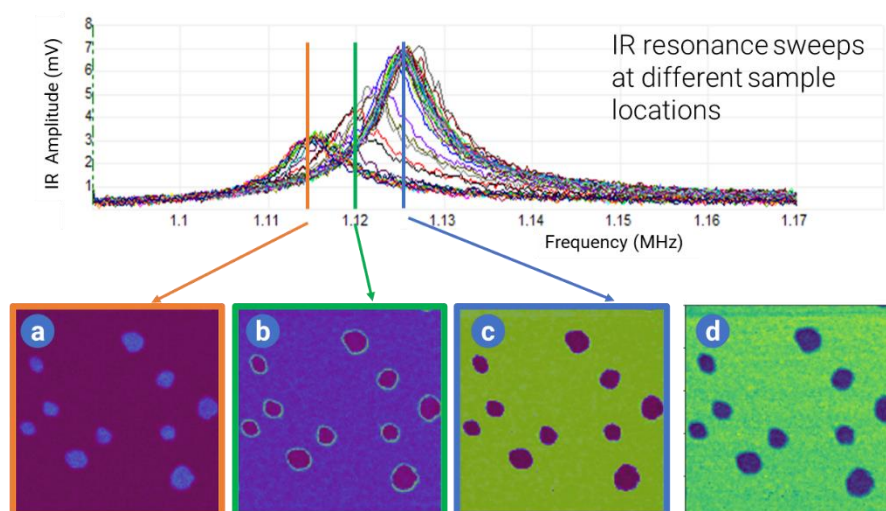


Figure 2: $1 \times 1\ \mu\text{m}$ REFV AFM-IR scan with complete contact resonance frequency sweep in every pixel (absorption @ 1730 cm^{-1}) on PMMA sample with tetrahydrofuran drops. IR absorption at fixed frequencies (a, b, c) leads to mechanical induced artifacts, inversion (fake) signal or edge effects. IR absorption at local contact resonance frequency (d) shows true chemistry.

References

- [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

AFM-IR, spectroscopie et imagerie infrarouge à l'échelle nanométrique : Principe et applications

Alexandre DAZZI

Alexandre Dazzi is a tenured Professor of physics at Université Paris-Saclay and works in the Institut de Chimie Physique. Alexandre does research focused on the infrared domain and teaches Nanoscience at the Université Paris -Saclay. He has a physics background with a focus on optics and near-field techniques. He has an undergraduate degree in material science and obtained his Ph.D. in 1998 at the Université de Bourgogne . In 2000, Alexandre took an associate professor position at the CLIO FEL facility, where he worked on near-field techniques in the infrared. After inventing and developing the AFM-IR technique, Alexander has worked to improved AFM-IR instrumentation and has focused heavily on the study of biomolecule production by microorganisms. Alexandre has also developed a user facility, MUSIICS, based on AFM-IR systems and now collaborate with many groups in the Université Paris-Saclay in different domain like astrophysics, culture heritage, polymer science, microbiology.



He was the 2009 laureate for instrumentation prize from the Société Française Division de Chimie Physique. He was also associated with R&D 100 awards in 2010 and the Microscopy Today 2011 Innovation Award for the nanoIRTM, received the Ernst Abbe Award in 2014 from the New York Microscopical Society and the Raymond Castaing award from French microscopy society last year.

AFM-IR, spectroscopie et imagerie infrarouge à l'échelle nanométrique : Principe et Applications

Alexandre Dazzi¹, Jérémie Mathurin¹, Ariane Deniset-Besseau¹.

¹Institut de Chimie Physique – Université Paris-Saclay – 91400-ORSAY – France

La technique AFM-IR est devenue, en moins d'une dizaine d'année, une technique de référence pour l'analyse infrarouge à l'échelle nanométrique. Cette technique combine la résolution spatiale élevée de l'AFM (Atomic Force Microscope) avec les capacités d'analyse vibrationnelle de la spectroscopie infrarouge. Le champ des applications est extrêmement vaste et couvre des domaines aussi divers que la biologie moléculaire, la science des polymères, la microbiologie, la médecine, la géologie, les matériaux anciens et l'astrochimie [1-3]. La robustesse et fiabilité des mesures spectrales effectuées par cette technologie permettent maintenant qu'elle soit pleinement employée pour des analyses corrélatives avec d'autres technique comme la microscopie électronique ou la microscopie de fluorescence.

A l'heure actuelle, les modes d'acquisition de la technique AFM-IR sont identiques à ceux proposé par l'AFM (contact, tapping, peakforce tapping, force volume) et permettent d'analyser de nombreux types d'échantillons en matière de dureté et géométrie. Récemment, nous avons développé et breveté un nouveau mode d'acquisition propre à la technique AFM-IR permettant au mode contact de sonder la matière uniquement de quelques nanomètres sous la surface, contrairement aux micromètres détectés habituellement. Ce mode est appelé 'surface sensitive', et va permettre de répondre à de nombreuses problématiques où la substance à détecter est extrêmement faible en quantité et se trouve sur un substrat, fortement absorbant dans la même région spectrale.

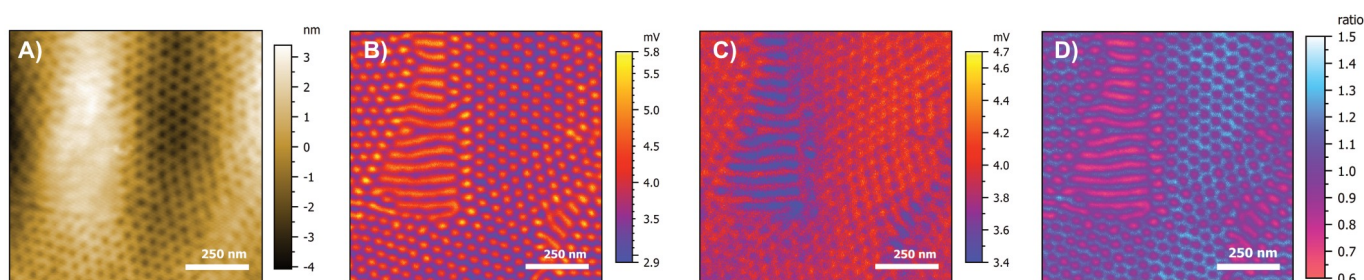


Figure : A) Topographie de la surface d'un échantillon copolymère PS-b-PLA (PS polystyrène, PLA acide polylactique). B) Cartographie chimique à 1755 cm^{-1} (élongation C=O du carbonyle de l'ester du PLA). C) Cartographie chimique à 1600 cm^{-1} (déformation C=C dans le plan du styrène). D) Cartographie correspondant au ratio des images chimiques B) et C) qui fait ressortir en bleu la présence du PS et en magenta-violet le PLA. (collab C. Sinturel, ICMN, Orléans).

[1] H. Yabuta et al. *Science* (162173), 2023

[2] J. Mathurin et al. *J. Appl. Phys.*, 131, 010901 (2022).

[2] A. Dazzi, C.B. Prater, *Chem. Rev.*, 117, 7, 5146–5173, (2017).

SESSION EUGENIE BRAZIER

Eugénie Brazier, surnommée la mère Brazier, née le 12 juin 1895 à La Tranclière (Ain) et morte le 2 mars 1977 à Sainte-Foy-lès-Lyon (Rhône), est une chef cuisinière française. Fondatrice du restaurant Mère Brazier, c'est **une des « mères » emblématiques des bouchons lyonnais**.



Première promotion de chef à obtenir trois étoiles au guide Michelin en 1933 (deux fois trois étoiles pour ses deux restaurants de Lyon et du col de la Luère, à Pollionnay) de 1933 à 1968. Cela fait d'elle la première femme à obtenir trois étoiles au Michelin en même temps que Marie Bourgeois, suivie par Marguerite Bise en 1951 et Anne-Sophie Pic en 2007.

Elle est aussi le premier chef à obtenir deux fois trois étoiles, suivie par Alain Ducasse en 1997, Marc Veyrat en 2001, Thomas Keller en 2006, Joël Robuchon en 2012 et Yannick Alléno en 2007 et 2017.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Eug%C3%A9nie_Brazier

11:00 – 11:20 : Ali HAMADEH

Toward conformational identification of molecules in 2D and 3D self-assemblies on surfaces

11:20 – 11:40 : Mahima CHAUDHARY

SiC MOSFET analysis using Complimentary Techniques: SEM, EDX, AFM and sMIM mode

11:40 – 12:00 : Jérémie MATHURIN

Caractérisation à l'échelle nanométrique par AFM—IR des échantillons de la mission spatiale japonaise Hayabusa 2

Toward conformational identification of molecules in 2D and 3D self-assemblies on surfaces

Ali HAMADEH¹, Frank PALMINO¹, Jérémie MATHURIN², Ariane DENISET-BESSEAU², Vincent LUZET¹, Judicaël JEANNOTOT¹, Alexandre DAZZI², Frédéric CHERIOUX¹

¹Université de Franche-Comté, CNRS, FEMTO-ST, F-25000 Besançon, France.

²Université de Paris-Saclay, Institut de Chimie-Physique, F-91400 Orsay, France.

The design of supramolecular networks based on organic molecules deposited on surfaces is highly attractive for various applications. One of the remaining challenges is the expansion of monolayers to well-ordered multilayers to enhance the functionality and complexity of self-assemblies. In this study, we present an assessment of molecular conformation from 2D to 3D supramolecular networks adsorbed onto an HOPG surface under ambient conditions utilizing a combination of scanning probe microscopies and atomic force microscopy- infrared (AFM-IR). We have observed that the infrared (IR) spectra of the designed molecules vary from layer to layer due to the modifications in the dihedral angle between the C=O group and the neighboring phenyl ring, especially in the case of a 3D supramolecular network consisting of multiple layers of molecules [1].

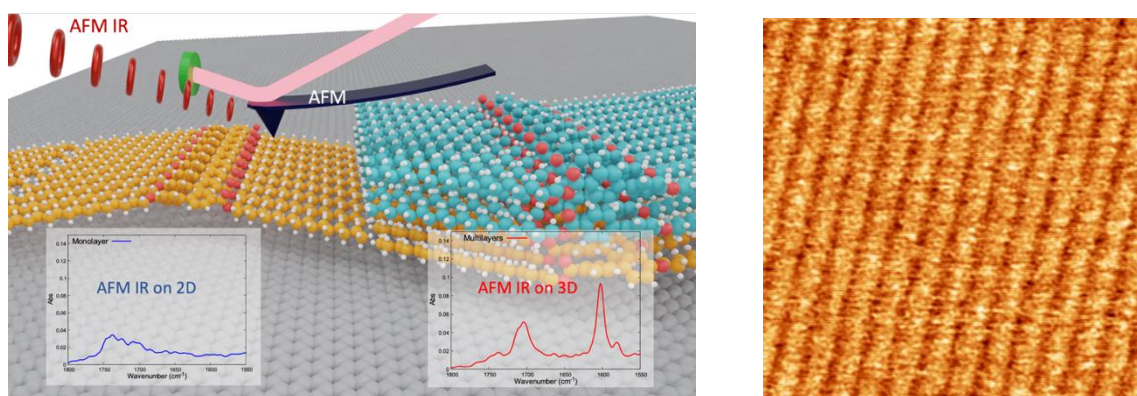


Figure 1 : Principle of the conformational identification of molecules in 2D and 3D self-assemblies by combining STM, AFM and AFM-IR (left) and Topography AFM image (right, $65 \times 65 \text{ nm}^2$) of a monolayer of EsterOC18 molecules deposited on a HOPG surface showing a compact periodic network constituted by bright lines separated by darker stripes, with a periodicity of $5.60 \pm 0.1 \text{ nm}$.

Références

[1] Hamadeh, A.; Palmino, F.; Mathurin, J.; Deniset-Besseau, A.; Grosnit, L.; Luzet, V.; Jeannotot, J.; Dazzi, A.; Chérioux, F. *Communications Chemistry* **2023**, *6*, 246.

SiC MOSFET analysis using Complimentary Techniques: SEM, EDX, AFM and sMIM mode

M. Chaudhary¹⁾, X. Larose¹⁾ and R. Coq Germanicus¹⁾

¹⁾ Normandie Univ, Ensicaen, CNRS, Crismat UMR6508, 14000 Caen, France

SiC is a cutting-edge technology especially for applications such as power supplies and electric vehicles. This wide band semiconductor brought advantages like very high-power density, switching speed and high-power fast battery charging. Therefore, it is crucial to precisely and thoroughly measure local properties for semiconductor process and die architectures to guarantee switching performances and reliability [1]. Nowadays, the qualitative and quantitative analysis of material composition, structural details and electrical properties are performed by different techniques. Here we focus on two techniques, Advanced Scanning Electron Microscopy (SEM), Atomic Force Microscopy (AFM) and Scanning Microwave Impedance Microscopy (sMIM).

In SEM, the emission of secondary electrons (SEs) contains rich surface information as a function of the used energy and used detector. A commercial SiC MOSFET is studied, after the sample preparation the structure of the internal device is studied. On the cross-sectional of sample, using advanced SEM with different detectors, p-n junctions, metal and dielectric areas are identified and located. With Lower Electron Detector (LED) detector the surface structure is investigated. Fig1 (a) shows the SEM acquisition with this detector with an energy of 5 kV. At the top, the epoxy packaging with silica beads is imaged and just below the MOSFET structure is shown with the metallic, dielectric and doped SiC material. The signal is influenced by difference in the surface voltage of materials defined as voltage contrast called Passive Voltage Contrast (PVC) and depends on the dopant type n or p [1], [2]. In addition, Backscattered Electron Detector (BED-C) are recorded with an energy of 15 kV and allows deep structure analysis for better localization of the metal and dielectric layers as shown in Fig1 (b). In addition, by using the Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) with BED-C, chemical composition of the studied SiC MOSFET is also determined. The mapping is shown in Fig1 (c), each color corresponds to the detection of the elementary atom.

To obtain very high resolution for the topography in air, we used the In-AFM ScanAsyst mode based on a Bruker Icon Atomic Force Microscopy (AFM). This mode optimizes imaging parameters with quality and facilitates high-resolution surface analysis by using a very small tip with an apex of 2 nm. The topography (20 $\mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ in 512x512 pixels) is represented on Fig1 (d). This AFM acquisition shows difference in the gate region from SiC semiconductor material and scratches due to the sample preparation. To complete the analysis, we deployed the Scanning Microwave Impedance Microscopy (sMIM) mode. This mode is a near-field technique that uses a microwave source (3 GHz) coupled to a shielded AFM probe. As the tip scans the sample, local sample variations in permittivity (ϵ) and conductivity (σ) affect the reflected microwaves [3], [4]. After the calibration step, the cross section was analyzed. In Fig1 (e) sMIM-C, map (related to the ϵ of the material under the tip) reveals all details of internal electrical structure of device. The doping details of several SiC layers have been found to be quite fascinating. Moreover, the local electrical properties obtained by the AFM- sMIM mode of a commercial device revealed a 3- μm buffer on the high doped 4H-SiC Substrate.

The internal device structure of a commercial SiC power MOSFET is revealed by complementary measurements of advanced SEM with different detector, EDX, topography and sMIM-mode which are shown in data presented. Therefore, we demonstrate the capability of two of the more promising methods for SiC device failure analysis.

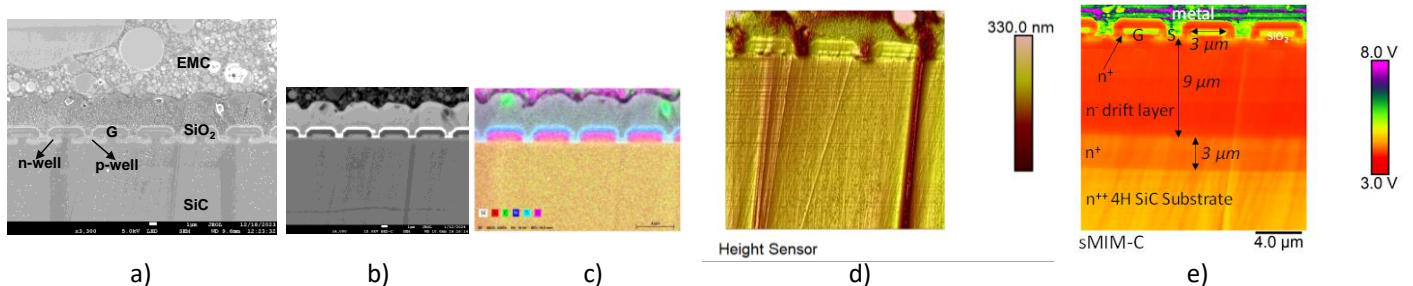


Figure 1: SiC MOSFETs (a) SEM view with LED detector; (b) SEM with BED-C detector; (c) EDX map; (c) topography by ScanAsyst mode (d) sMIM-C map.

References

- [1] B. Shi et al., "A review of silicon carbide MOSFETs in electrified vehicles: Application, challenges, and future development," *IET Power Electronics*, vol. 16, no. 12. John Wiley and Sons Inc, Sep. 16, 2023pp. 2103–2120. doi: 10.1049/pel2.12524.
- [2] R. Rosenkranz, "Failure localization with active and passive voltage contrast in FIB and SEM," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Oct. 2011, vol. 22, no. 10, pp. 1523–1535, doi: 10.1007/s10854-011-0459-x.
- [3] R. C. Germanicus et al., "Mapping of integrated PIN diodes with a 3D architecture by scanning microwave impedance microscopy and dynamic spectroscopy," *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 2020, vol. 11, pp. 197–200, doi: 10.3762/BJNANO.11.159.
- [4] S. Friedman, O. Amster, and Y. Yang, "Recent advances in scanning Microwave Impedance Microscopy (sMIM) for nano-scale measurements and industrial applications," in *Instrumentation, Metrology, and Standards for Nanomanufacturing, Optics, and Semiconductors VIII*, Aug. 2014, SPIE, p. 917308. doi: 10.1117/12.2063138.

Caractérisation à l'échelle nanométrique par AFM—IR des échantillons de la mission spatiale japonaise Hayabusa 2

Jérémie MATHURIN¹, Emmanuel DARTOIS², Alexandre DAZZI¹, Ariane DENISET-BESSEAU¹, Laure BEJACH³, Cécile ENGRAND³, Jean DUPRAT⁴

1. Institut Chimie Physique (ICP), Univ. Paris-Saclay/CNRS, 91405 Orsay, France

2. ISMO, Univ. Paris-Saclay/CNRS, 91405 Orsay, France

3. IJCLab, Univ. Paris-Saclay/CNRS, 91405 Orsay, France

4. IMPMC/MNHN, SU, Paris, France

La distribution des liaisons chimiques dans la matière organique (MO) des échantillons d'origine extraterrestre (météorites et micrométéorites) est analysable à l'échelle micrométrique de manière non-destructive par spectroscopie infrarouge (IR) [1]. Cette technique permet une analyse de l'échantillon à l'échelle globale mais a une résolution latérale minimale de l'ordre de quelques micromètres, ce qui limite la comparaison avec des techniques complémentaires mieux résolues comme la microscopie en transmission, la microscopie rayon X ou encore l'imagerie isotopique hautement résolue (nanoSIMS). Depuis 2004, la technique de nanospectroscopie IR (AFM-IR), développée au sein de notre équipe, a permis de dépasser la limite de résolution des microscopes IR classiques et d'atteindre des résolutions sub-micrométriques [2].

Dans une première étude, nous avons eu la possibilité d'analyser des échantillons de l'astéroïde primitif Ryugu collectés par la mission spatiale japonaise Hayabusa 2. Ces échantillons sont exceptionnels car directement prélevés sur un astéroïde. Ils n'ont donc pas subi ni entrée atmosphérique ni processus terrestres contrairement aux météorites et micrométéorites. Plusieurs échantillons provenant des deux chambres de collectes (qui correspondent à deux sites différents de prélèvements) ont été préparés en les écrasant dans des cellules diamants. Après une analyse globale par microscopie IR sous rayonnement synchrotron [3], des zones d'intérêt ont été analysées avec la technique AFM-IR. Une analyse en plus grand champ (20 μm x 20 μm) a permis d'abord de caractériser les principaux composants de la météorite et de mettre en évidence la présence de phyllosilicates et de différents carbonates. Dans ces premières analyses, la contribution de la MO apparaît beaucoup plus faible que celles des composantes inorganiques. Une analyse sur une fenêtre plus petite (de l'ordre de quelques micromètres) a permis de mieux caractériser cette MO et notamment la présence d'inclusions organiques allant de 50 nm à 500 nm [4]. Suite à ce premier résultat, une étude sur plusieurs autres zones et échantillons a pu être menée pour caractériser l'hétérogénéité à l'échelle sub-micrométrique de la nature de la MO [5]. Les résultats obtenus ont mis en évidence l'existence de deux phases distinctes MO, l'une associée aux minéraux et l'autre sous forme de particules pures, qui sont reliées à des composantes chimiques différentes. La signature spectrale infrarouge obtenue sur les particules pures présentent notamment un enrichissement local en liaison carbonyles (C=O) et aliphatiques (C-H) qui suggèrent que la MO des particules a pu se former spécifiquement par irradiation de glaces formées dans les régions extérieures du système solaire. Ces résultats donnent de nouvelles informations importantes sur les mécanismes de formation de la MO dans l'astéroïde Ryugu.

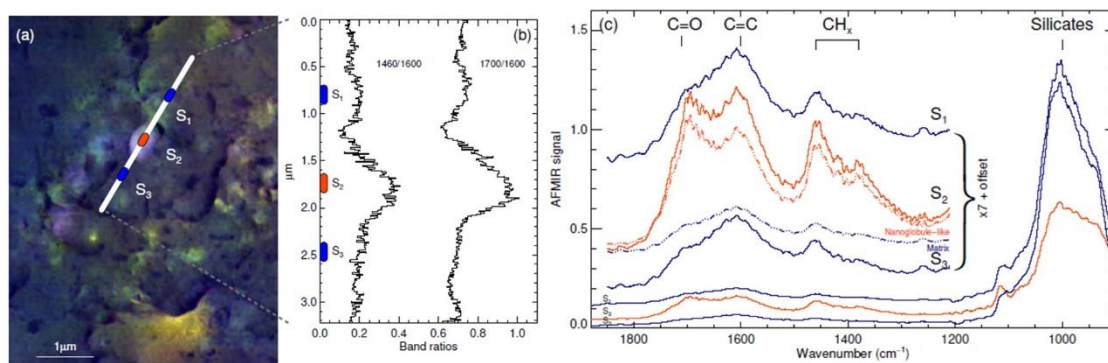


Figure : Analyse de l'échantillon A0108-19 par AFMIR. (a) Image RGB d'une région contenant un globule organique (C=O à 1720 cm^{-1} en rouge, C=C à 1600 cm^{-1} en vert, CH_x à 1460 cm^{-1} moins 1520 cm^{-1} en bleu). Des spectres individuels ont été obtenus le long de la ligne blanche. (b) Ratios des intensités correspondants aux CH_x/C=C (1460 cm^{-1} /1600 cm^{-1}) et C=O/C=C (1700 cm^{-1} /1600 cm^{-1}) le long de la ligne blanche. (c) Spectres moyens obtenus au niveau des points bleus (S₁ et S₃) et orange (S₂) indiqués en a) et b) mettant en valeur la différence de composition chimique entre la composante organique associée à la matrice minérale (en bleue) et la particule organique (en orange). Figure adaptée de [5].

Références

- [1] Dartois, E. et al., *Astronomy and Astrophysics*, **2018**, 609, 11
- [2] Dazzi, A. ; Prazeres, R. ; Glotin, F. and Ortega J. M., *Opt Lett*, **2005**, 30, 2388
- [3] Dartois, E. et al., *Astronomy and Astrophysics*, **2023**, 671, 30
- [4] Yabuta H. et al., *Science*, **2023**, 379, 6634
- [5] Mathurin, J. et al., *Astronomy and Astrophysics*, accepted

UPI

ATTOCUBE

Nanosurf

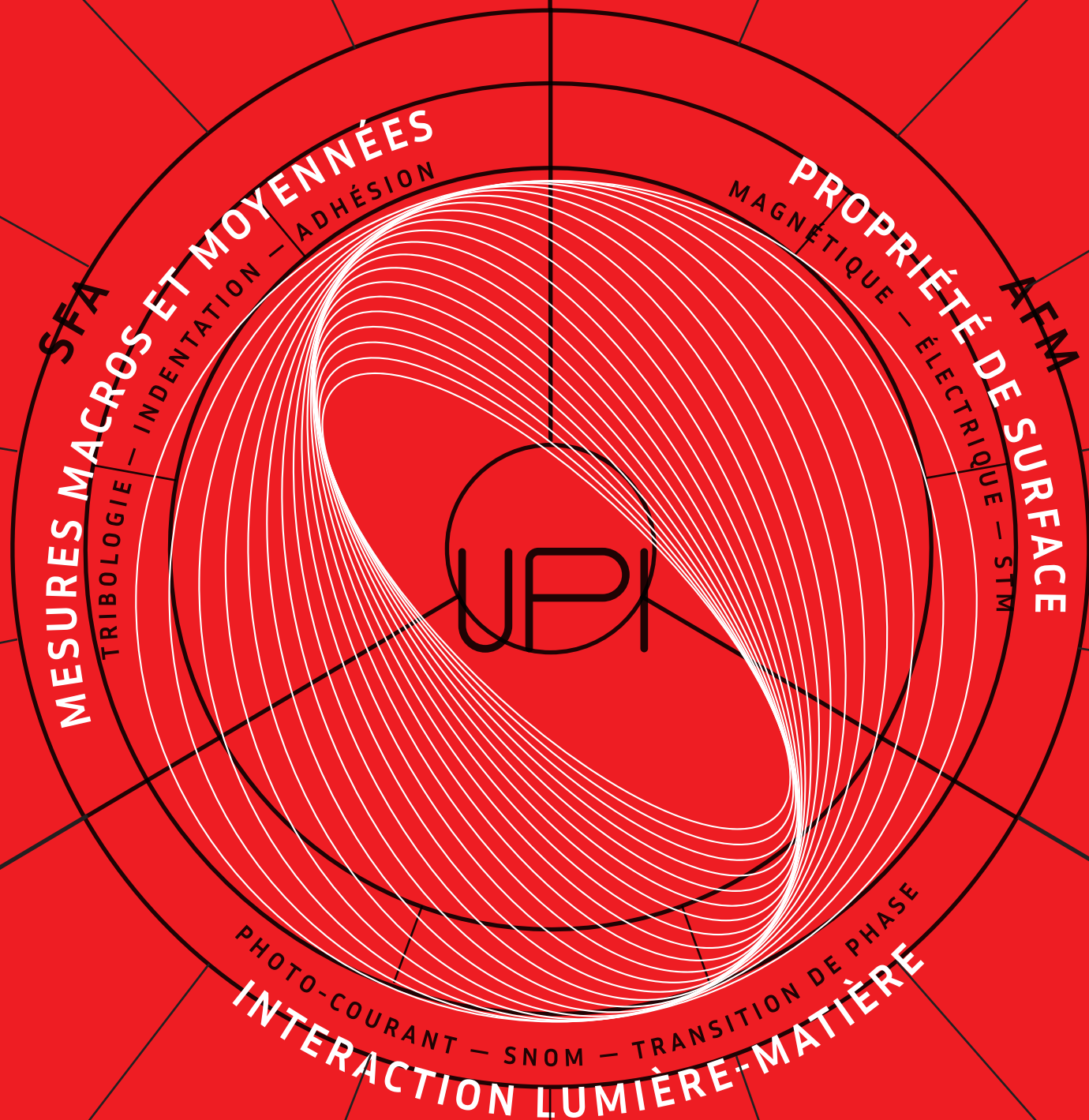
Zurich Instruments

SPECS

UNIVERSAL PROBE INSTRUMENTS

upi-systems.com

nicolas.navette@upi-systems.com



1 instrument,
des milliers de mesures...



Key Strengths

technology for ground-breaking nanoscale analytics applications



Market-Leading Technology

Revolutionizes your nanoscale experience with innovations developed by pioneers in tip-enhanced technology.



Unprecedented Upgrade Potential

neaSCOPE modular design guarantees a tailored start for your applications and accommodates your future needs.



Reliability & Ease of Use

Integrated proprietary hardware and intuitive control software provide efficient start and guarantee performance.



No 1 Choice at Renowned Labs

neaSCOPE functionality & performance is proven by unmatched publication record and scientific impact.



Evaluate the capabilities of our technology & products.

Successful test results could significantly increase the approval chance of your grant application.



Additional Services

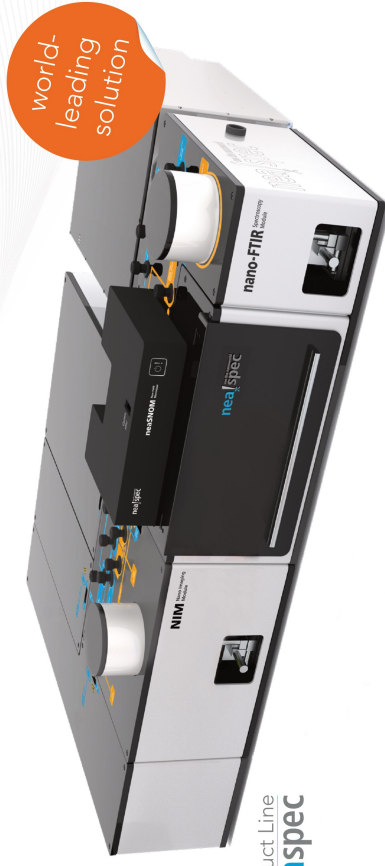


Monthly reviews of neaspec publications.

Keep you up to date in the field of nanoscale analytics and help you discover new neaSCOPE applications.



WITTENSTEIN group



Product Line
neaspec

neaSCOPE

nanoscale optical imaging & spectroscopy

© 2022, attocube systems AG - Germany. attocube systems and the logo are trademarks of attocube systems AG. Registered and/or otherwise protected in various countries where attocube systems products are sold or distributed. Other brands and names are the property of their respective owners.

attocube systems AG Business Sector Nanoscale Analytics Product Line neaspec | Eglfinger Weg 2 | 85560 Haar | Germany | Tel.: +49 89 420 797 - 0 | info@attocube.com | www.attocube.com/neaspec

Brochure version: 2022 - 01

www.attocube.com/neaspec

NANOSCALE ANALYTICS
advanced imaging & spectroscopy

Choose technologies that suit your application

highest configuration flexibility for nanoscale imaging & spectroscopy

neascOPE is an application-driven product line for tip-enhanced nanoscale imaging and spectroscopy, serving customer needs in diverse fields of science, engineering and industrial research,

which include 2D materials, plasmonics, polymers, materials & life sciences, semiconductor research, cryogenic & ultrafast studies.



AFM-IR



nano-FTIR



s-SNOM



THz-TDS



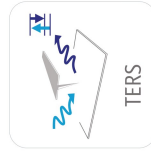
Transmission



nano-PL



Ultrafast



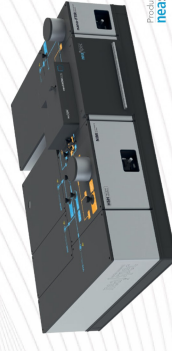
TERS



Cryogenic

neascOPE

nanospectroscopy tailored to your needs



Product line
neascOPE

Optical spectral region and particularly “mid-IR fingerprint region”, allows for investigation of chemical, structural and electronic properties of materials. neascOPE brings conventional optical techniques to the nanoscale and enables nanoscale analysis on all classes of materials in virtually all fields of science and technology.

Applications

Polymer Sciences

Chemical nanocomposition
M. Golokovskaya et al., Macromol. 54, 995 (2021)

Semiconductors

Free carrier profiling
A. J. Huber et al., Nano Lett. 8, 3766 (2008)

Life Sciences

DNA & Amide band signature
G. Ajaieji et al., Analyst 143, 5925 (2018)

Surface Polaritons

Mapping of optical modes
J. Dahn et al., Nature Comm. 12, 4325 (2021)

Time-Resolved

Nanoscale carrier dynamics
M. Eiseler et al., Nature Phys. 8, 841 (2014)

Plasmonic Field Mapping

Complex optical field mapping
T. Habayee, J. Phys. Chem. C 118, 9119 (2014)

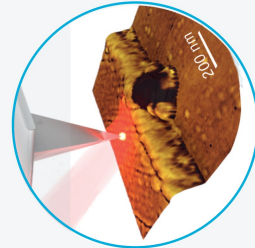
Photovoltaics

Functionality of perovskites
A. Boyuk et al., ACS Appl. Mater. Interf. 13, 38394 (2021)

Mineralogy

Carbonyl compounds in meteorites
M. Vesilias et al., Scientific rep. 11, 21654 (2021)

Technologies



neascOPE incorporates the largest number of AFM-based tip-enhanced technologies for nanoscale optical analysis of samples at sub-10 nm spatial resolution across the entire optical spectrum from Visible to mid-IR to THz frequencies.

- focused IR laser beam illuminates a standard metalized AFM tip
- tip generates a greatly enhanced nano-focus at its apex that locally probes the sample
- sample optical properties are probed at the nanoscale via detection of:
 - elastically scattered light (nano-FTIR & s-SNOM)
 - thermal expansion using AFM (AFM-IR)
 - inelastic light scattering (photoluminescence & Raman)
- nanoscale optical images & spectra are recorded simultaneously with topographic information
- comprehensive suite of AFM modes for correlative nanomechanical, electrical, electro-optical and thermal analysis (Tip Force, Piezo-response, KPFM, c-AFM, Photocurrent, nano-IT, etc.)

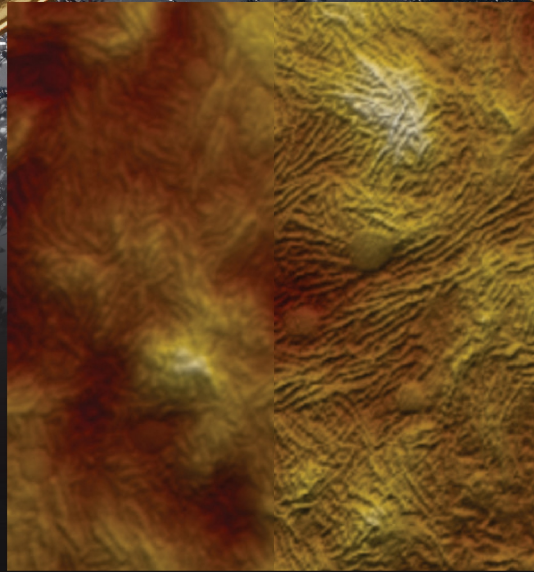
www.attocube.com/neascOPE

NANOSCALE ANALYTICS
advanced imaging & spectroscopy

DriveAFM

Performance without compromise

Dynamic mode



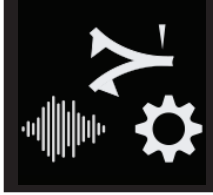
WaveMode



Hands-on DriveAFM workshop

WaveMode: Off-resonance imaging remastered

WaveMode: Off-resonance imaging remastered



A new AFM mode

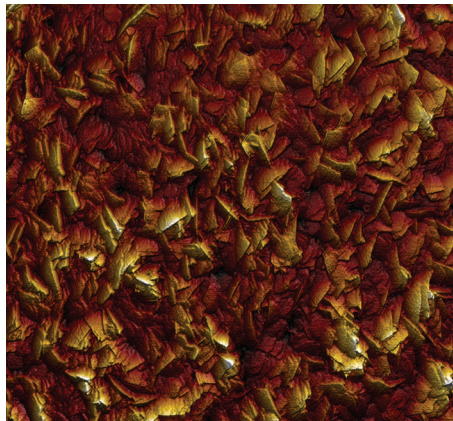
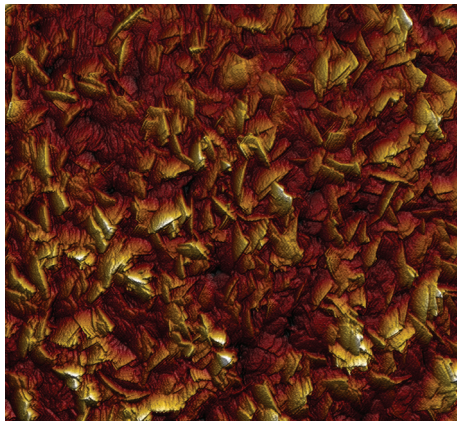
WaveMode is Nanosurf's new off-resonance imaging mode using photothermal excitation. The first implementation of photothermal off-resonance tapping (PORT) was set up by Georg Fantner at the EPFL. Since then, WaveMode was developed in collaboration with researchers from ZHAW Zürich and the EPFL to provide a new, simpler implementation of PORT that does not rely on background subtraction for feedback control but uses the amplitude reduction of the cantilever trajectory when interacting with the sample surface. It is the first commercially available off-resonance imaging mode using CleanDrive photothermal excitation that is itself well-known for its exceptional excitation stability and bandwidth in any environment. Founded on these advantages, WaveMode allows stable and fast operation in all environments and provides additional ease of use for users from all backgrounds.

WaveMode converts the AFM cantilever from a simple detector of tip-sample interactions into a combined detector and actuator. AFM cantilevers are well-known for their capability to serve as fast actuators. Paired with photothermal excitation, the AFM cantilever is used to provide the oscillatory relative motion between AFM cantilever tip and sample surface that is typical for off-resonance modes. The combined high bandwidth of both the cantilever and the photothermal excitation allow overcoming the main speed-limiting factor in conventional off-resonance modes – the z-scanner that is typically used to generate the relative oscillatory motion.

WaveMode provides force control down to the pico-newton level throughout the imaging process, thus allowing tailoring the interaction force according to the requirements of the sample. Moreover, it significantly reduces lateral forces acting on the sample during imaging. This allows also imaging samples that are otherwise difficult to image due to their displacement during the imaging process.

Force-controlled imaging

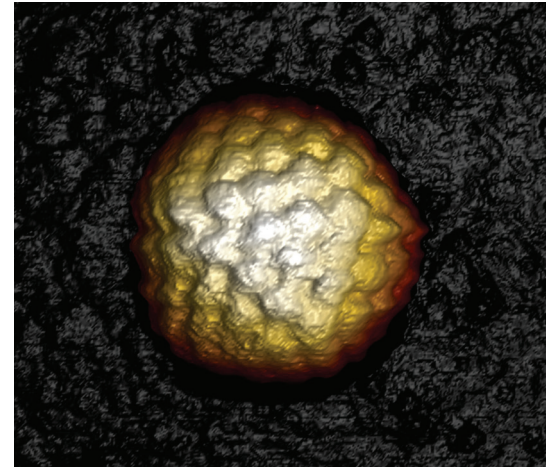
During imaging, the cantilever is excited by a laser that is sinusoidally modulated in its intensity, causing a sinusoidal deflection profile of the free cantilever. Once the cantilever interacts with the surface, the tip-surface interaction causes a new, characteristic cantilever deflection profile, flattened where interacting. This results in a profile with reduced amplitude compared to the free oscillation amplitude. In WaveMode, operating below the resonance frequency, this reduction in amplitude can be used for feedback control. Moreover, the amplitude reduction also relates to the interaction force between sample and surface and thus allows maintaining and adjusting the interaction force. The force-distance relationship during an oscillation cycle corresponds to that well-known from force spectroscopy.



TipCheck sample imaged at 4Hz line rate, 2.9 μm frame size, 90 nm color scale. The left and right images are the first and last images in a series of 20 images.

Tip preservation

WaveMode allows gentle imaging conditions, even on challenging samples like the tip checker, a sample known to notoriously blunt the tip with its sharp edges. WaveMode overcomes these problems with its precise force control. WaveMode thus not only simplifies the imaging process but also helps to preserve the tip and thus extend its lifetime.



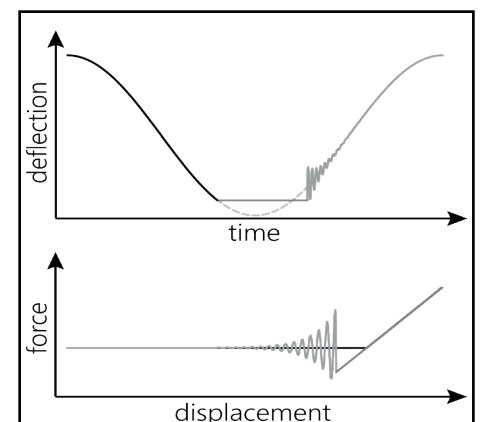
Herpes simplex virus 1 (HSV-1) capsid imaged in WaveMode at 10 kHz ramp rate resolving individual capsomeres. Image size: 230 x 230 nm^2 , z: 60 nm. Sample courtesy: Alex Evilevitch, Lund University.

Prof. Georg Fantner, EPFL, about WaveMode



„I expect PORT will become a real game-changer for AFM and I am very happy that Nanosurf has integrated an implementation of PORT on the DriveAFM.”*

*Photothermal off-resonance tapping

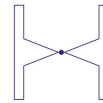


Schematic of tip deflection during a single cycle and the corresponding force-distance relationship

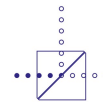
Your Surface. Characterized.

Lock-in Amplifiers
From DC to 8.5 GHz

Transport
Measurements



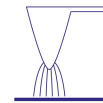
Optical Signal
Detection



Impedance
Analysis



Advanced
SPM Techniques



Discuss your application
romain.stomp@zhinst.com



Zurich
Instruments

RF Generator

YOUR COMPACT RF SOURCE FOR ESR AND QUANTUM EXPERIMENTS
MARKET INTRODUCTION IN THE 2ND QUARTER OF 2024

KEY FEATURES

- 40 GHz frequency range
- -20 dBm to +20 dBm power range (preliminary)
- Ultra low phase noise
- Fast switching
- Very compact, passively cooled
- Fully integrated into Nanonis Software



Mimea BP5e

ENHANCED SPM CONTROL SYSTEM
BASE PACKAGE 5E

KEY FEATURES

- Fast scanning and spectroscopy
- Uncompromising signal quality
- Full flexibility for most advanced measurement techniques
- Works with any SPM in any mode
- Future-proof state-of-the-art hardware



Monter un microscope de champ proche « Maison » pour observer des molécules uniques

Simon VASSANT

Simon Vassant possède une expertise principalement expérimentale en nanophotonique. Il s'intéresse aux différentes façons de confiner et exalter la lumière à des échelles sub-longueur d'onde.

Il a commencé pendant sa thèse par travailler dans l'infrarouge moyen et lointain, en utilisant des matériaux à fonctions diélectriques proches de zéro (ENZ pour epsilon-near-zero).

Puis il s'est intéressé aux longueurs d'onde visibles, via des techniques de microscopies optiques couplées à des sondes locales. Ses travaux actuels portent sur la modification de la photophysique d'émetteurs de photons uniques (molécules, boîtes quantiques colloïdale...) par des nano-objets.



Monter un microscope de champ proche « maison » pour observer des molécules uniques

Remigiusz TROJANOWICZ¹, Fabrice CHARRA¹, **Simon VASSANT**¹

Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, SPEC, 91191, Gif-sur-Yvette, France

Au cours des 40 dernières années, le développement combiné des microscopies à sonde locale et de la nanophotonique ont permis de franchir la limite de résolution imposée par la diffraction de la lumière. Ces avancées ont permis aux expérimentateurs d'avoir accès au champ proche optique, contenant des informations non accessibles via l'optique propagative.

La sonde locale est utilisée comme une antenne optique permettant de coupler le champ proche au champ lointain et vice-versa, mais aussi d'exalter l'interaction lumière-matière. La spectroscopie Raman exaltée par pointe est un exemple typique, où le champ excitateur est localisé à la jonction pointe-substrat, et où le signal Raman est extrait par cette même pointe avec une résolution qui peut être désormais sub-moléculaire dans des conditions de vide poussé et de basse température [1].

Cependant la présence de la pointe est aussi un élément perturbateur pour la photophysique des objets mesurés. C'est en particulier le cas pour la fluorescence, car la pointe offre à l'émetteur des canaux de désexcitation supplémentaires, réduisant la durée de vie de ses états excités. L'utilisation de sondes locales couplées à des techniques de microscopies de fluorescence à l'échelle de la molécule unique ont permis d'obtenir des mesures quantitatives de ces effets [2,3].

Nous commencerons ce cours par un bref rappel des configurations classiques et historiques de sondes locales couplées à l'optique. Nous nous intéresserons ensuite aux différentes informations que l'on peut obtenir grâce à ces systèmes. Pour finir, nous verrons concrètement comment implémenter une expérience de microscopie de fluorescence à l'échelle de la molécule unique couplée à une sonde locale sans utiliser un microscope commercial ou un système clé en main. Cette dernière partie rentrera dans les détails pratiques du point de vue de l'expérimentateur, en montrant comment monter étape par étape une telle expérience dont quelques résultats sur un système modèle seront brièvement abordés [4].

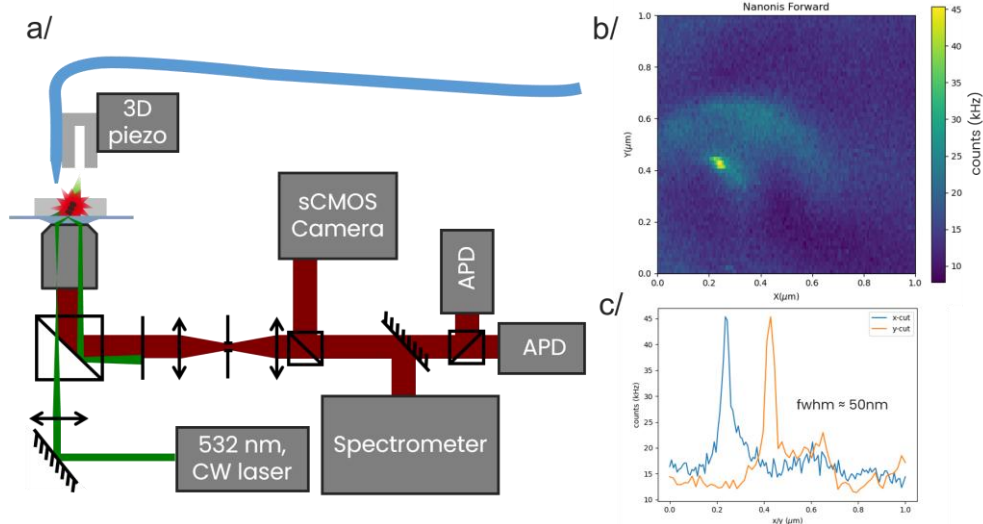


Figure 1: Sonde locale couplée à un microscope de fluorescence pour mesures sur molécules uniques, a/ schéma simplifié de l'expérience, b/ cartographie d'intensité de fluorescence sous pointe d'une molécule unique et c/ profils d'intensité.

Références

- [1] B. Doppagne *et al.*, PRL **118** (12) 2017
- [2] S. Kühnet *et al.*, PRL **97**, 017402 (2006)
- [3] K. Matsuzaki, S. Vassant *et al.*, Scientific Reports **7**, 42307 (2017)
- [4] R. Trojanowicz, PhD dissertation (2023)

A5

ScientaOmicron

A5 Science

Nanoscale Explorers

A5-Science.com 

NANOSCALE EXPLORERS

L'exploration du vivant est sans limite...

Un service de R&D externalisé adapté et dédié aux problématiques du vivant par Microscopie à Force Atomique



ECHANTILLONS



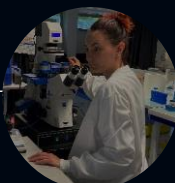
- **Sélection** des modèles Bio
- Protocole de **préparation**
- Stratégie d'**immobilisation**
- **Conditions** expérimentales
* T°, pH, gaz, medium
- **Sondes AFM**
- **Approches AFM** adaptées

MISE AU POINT



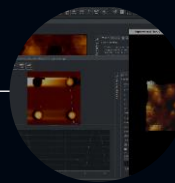
- Définition des **paramètres opératoires**: Mode AFM, force appliquée, Z-range
- Validation des **stratégies**
- Preuve de **faisabilité**
- **Démonstration**

MESURES



- **Acquisition AFM** sur échantillons **non dénaturés**
- Réalisées en conditions contrôlées
- **Mesures** statistiquement significatives et robustes

ANALYSES



- Caractérisation **Biomécanique**
- **Traitements** des données
- **Mise en forme** des résultats
- Livraison d'un **rapport**
- **Certification externe**

CONSEIL



- **Coordination**
- **Valorisation** scientifique et commerciale de l'étude
- **Formation** Techno
- **Design procédés**
- **Littérature**

Rapidité

Fiabilité

Confidentialité

Performance

INFINITY SPM LAB Closed Cycle UHV SPM



- STM, QPlus® AFM & Spectroscopy
- Integrated TRIBUS Head
- Temperature 10 K to 420 K
- No Helium Consumption
- Unlimited Measurement Time
- Optical Access plus in UHV 3D Lens Positioning for TERS

The INFINITY SPM

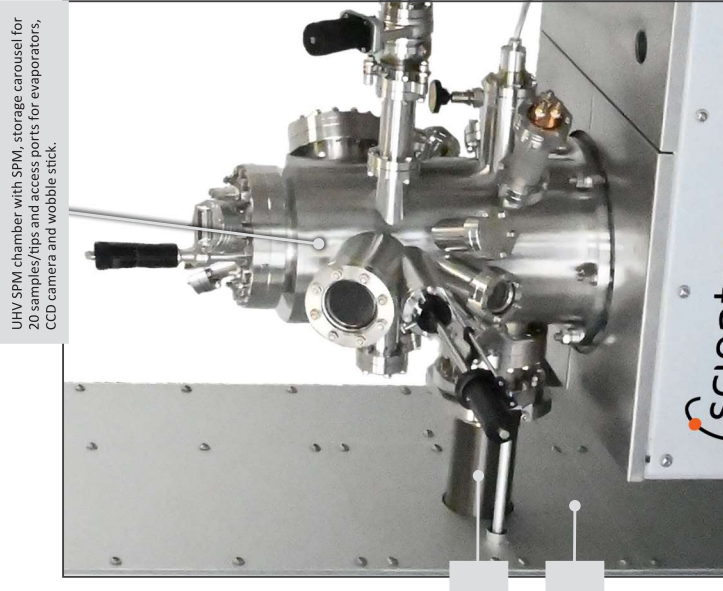
The new INFINITY UHV SPM is a low-temperature SPM for high-resolution STM, QPlus® AFM, and spectroscopy experiments. A pulse tube cooler is employed to cool the UHV SPM in a new, unique design. The new cryostat has no moving parts in the cold head and very long service intervals. It belongs to the next generation of cryostats that are independent of cryogenic liquids. The handling of liquid helium or liquid nitrogen is no longer necessary, thus making the use of the instrument simpler and safer. The INFINITY SPM can stay cold for several months without the need for any maintenance of the cryostat.

For optimum mechanical decoupling, the SPM is mounted in a dedicated UHV chamber with ports for sample transfer, optical access and evaporators. The pulse tube cooler with critical noise level is located in a separate high vacuum chamber. In addition, the SPM head is mechanically decoupled by a spring suspension with eddy current damping.

The unique two-chamber design is the key to pm-stability in a temperature range from 10 K to 420 K. It incorporates mechanical decoupling units, sophisticated thermal connections, and a dedicated acoustic noise cancellation.

Benefits and Properties:

- Independent from liquid helium and liquid nitrogen. Only power and water are required to cool the instrument
- High operation safety; no need for handling of cryogenic liquids
- User-friendly: no filling/refilling of cryostats and no blockages – just press a button to cool the instrument to 10 K
- Quiet working environment
- Long (“infinite”) measurement time



UHV SPM chamber with SPM, storage carousel for 20 samples/tips and access ports for evaporators, CCD camera and wobble stick.

Thermal connection with dedicated UHV feedthrough for transfer of cooling power.

Noise cancellation box enclosing the high vacuum chamber and pulse tube cooler.

The Easy and Smart Choice for SPM at Low Temperatures



Sensors and Samples

- In-situ tip/sample exchange via wobble stick
- Secure tip/sample handling
- QPlus® AFM sensors and STM Tip carriers
- Standard flag style sample plates:
 - Direct current heating for silicon samples
 - Sample plates with tapped holes
- Various materials available
- Sample plate with 4x1 & 10x1 electrical contacts
- TVS sample plates for variable temperature operation

Electrical Contacts and Temperature Variation of the Sample

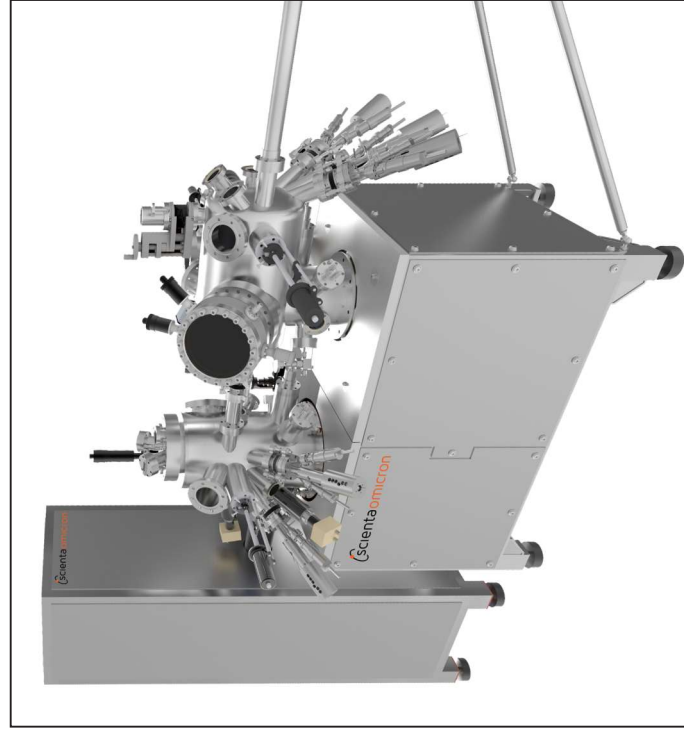
In addition to the main sample potential, the sample acceptor stage can have up to 10 additional electrical contacts. These contacts may be used for customised experiments or for use with the TVS sample plate for continuous variation of the sample temperature during analysis. The electrical contacts are protected against sample transfer damage.



The INFINITY SPM employs the TRIBUS SPM head with 3D coarse motion for tip/sample, high intrinsic stability, easy tip and sample exchange, and optical access. For more information on the TRIBUS head, please see the relevant technical information available.

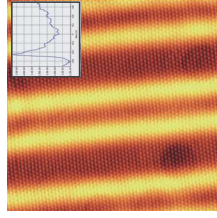
Optical Access for CCD Camera and Evaporators

- Thermal shield with windows for optical observation
- Direct evaporation into the SPM
- Angle between evaporator and sample surface: 30°
- Evaporation from either rods or crucibles
- Optical Access plus in UHV 3D Lens Positioning for TERS

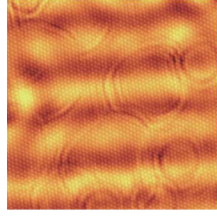


INFINITY UHV SPM system including a customised preparation chamber with LEED and evaporators, tip and sample preparation stage.

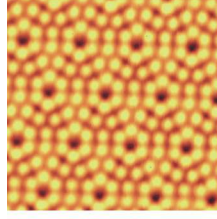
Technical Data



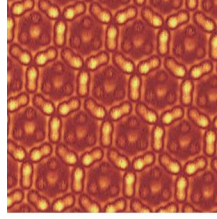
STM: Au(111) @ 9.6 K. Inset: dI/dV spectrum showing the Au surface state.



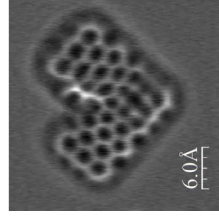
Corresponding dI/dV map of Au(111) at -280 mV.



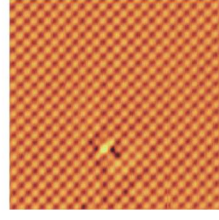
STM: Si(111)7x7 at 10 K.



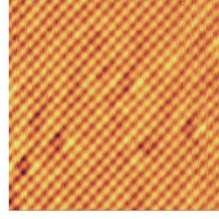
Corresponding dI/dV map of Si(111)7x7 at 1.8 V.



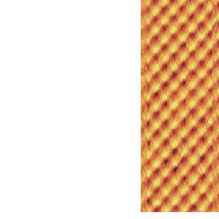
QPlus® with CO terminated tip at 9K: constant height frequency shift image of a porphyrinoid molecule on Au(111). (Image processing: background subtraction only)
Data courtesy of Sylvain Clair, Christian Loppacher and Laurent Nony, Aix-Marseille Univ, CNRS, I2MNP, Marseille, France



QPlus® NaCl(001) single crystal at 9.7 K with small oscillation amplitudes of 100 pmpp.



QPlus® NaCl(001) single crystal at 9.7 K with small oscillation amplitudes of 60 pmpp.



QPlus® NaCl(001) single crystal at 9.7 K with small oscillation amplitudes of 13 pmpp.

Technical Data

SPM temperature	10 K - 420 K
STM	atomic resolution on Au(111) at T = 10 K atomic resolution on NaCl(001) or Si(111)7x7 at T = 10 K
QPlus® AFM	
Cryostat Requirements:	5 to 35°C (for 28 - 35 °C only 90 % cooling power)
Ambient air temperature	6.5 kW (steady) / 7.2 kW (maximum)
Power consumption	7.5 kW (steady) / 8.3 kW (maximum)
Cooling water	4 to 28 °C
Water temperature	7 l/min
Min. flow rate	
Options:	QPlus® AFM operation 4 or 10 additional sample contacts STM tip preparation tool Customised preparation chamber 3D lens positioning stage
SPM Measurement Modes:	- STM, STS, (IV), dI/dU, dI/dz - IETS - Spin-polarised STM and STS - QPlus® AFM; df(z), dI(U) - Atom, molecule and nanoparticle manipulation

How to contact us:

Europe and other regions:
info@scientaomicron.com

North America:
sales-NA@scientaomicron.com

China:
sales-CN@scientaomicron.com

Japan:
sales-JP@scientaomicron.com

or please visit
www.ScientaOmicron.com
for more information.



SESSION FRÉDÉRIC DARD

Frédéric Dard, né le 29 juin 1921 à Bourgoin-Jallieu (Isère) et mort le 6 juin 2000 à Bonnefontaine (Fribourg) en Suisse, est un écrivain français principalement connu (dans une production extrêmement abondante) pour les aventures du commissaire San-Antonio, souvent aidé de son adjoint Bérurier, dont il a écrit 175 aventures entre 1949 et sa disparition en 2000.



Parallèlement aux San-Antonio (l'un des plus gros succès de l'édition française d'après-guerre), Frédéric Dard a produit sous son nom ou sous de nombreux pseudonymes des romans noirs, des ouvrages de suspense psychologique, des « grands romans », des nouvelles, ainsi qu'une multitude d'articles. Débordant d'activité, il fut également auteur dramatique, scénariste et dialoguiste de films.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Frédéric_Dard

15:30 – 15:50 : Damien RICHERT

Comparaison de l'étalonnage du Scanning Microwave Microscopy par deux échantillons de référence capacitive

15:50 – 16:10 : Mélissa HANKACHE

Désoxygénation photo-induite sur surface : étude des précurseurs sulfoxides sur 2 monocouches de NaCl(001) / Au(111)

16:10 – 16:30 : Sergio González CASAL

A SThM and C-AFM study of BTBT self-assembled molecular junctions

Comparaison de l'étalonnage du Scanning Microwave Microscopy par deux échantillons de référence capacitive

D. Richert¹, J. Morán¹, A. Delvallée¹, B. Gautier², F. Piquemal¹

¹Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), 29 Avenue Roger Hennequin, FR-78197, Trappes Cedex, France

² Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL), Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA), FR-69100 Villeurbanne, France

La miniaturisation continue des composants électroniques, avec aujourd'hui des dimensions de quelques nanomètres, soulève le besoin d'une métrologie des techniques de caractérisation des propriétés électriques à cette échelle qui peuvent différer de manière significative de leurs valeurs macroscopiques. Les matériaux diélectriques constituent un élément fondamental dans la fabrication des structures et des composants nanoélectroniques. La connaissance de leurs constantes diélectriques et tangentes d'angle de perte, en particulier à très hautes fréquences, est cruciale pour le développement de ces technologies. Nous avons démontré [1] la possibilité de mesurer des capacités à l'aide d'un microscope à champ proche micro-onde (SMM), étalonné par une méthode modifiée de Short Open Load (mSOL) sur un échantillon de référence composé d'une multitude de condensateurs Métal-Oxyde-Semiconducteur (MOS) couvrant une plage de 0,3 fF à 10 fF, avec une incertitude combinée associée de 3 %. La méthode mSOL repose sur l'utilisation de 3 capacités connues afin de calibrer l'instrument. Un bilan d'incertitude complet a été établi et a servi de base au développement d'une nouvelle version de l'échantillon de référence capacitif avec une plage étendue (0,3 fF à 40 fF). Celui-ci a été entièrement caractérisé afin d'établir un bilan d'incertitude associé à ses différentes capacités. La figure 1 montre le résultat de l'auto-étalonnage de l'instrument sur chacune des structures.

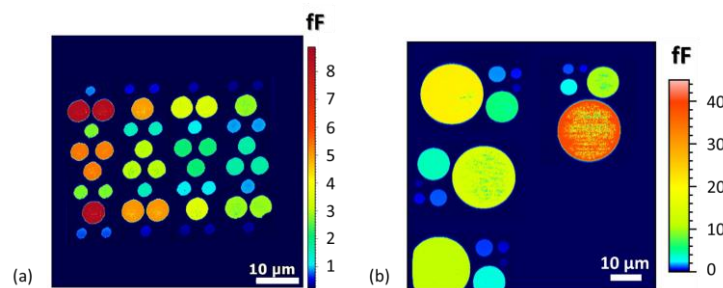


Figure 1. Mesure au SMM des structures de référence capacitives. (a) Première version, (b) Seconde version

Dans cette communication, nous présentons une étude complète sur la métrologie associée à la mesure de capacité à l'aide d'un SMM. Les performances des deux structures seront comparées à l'aide de l'étude de l'écart relatif entre les valeurs de capacité mesurées et celles calculées à partir des données dimensionnelles et électriques de chacune des structures MOS. Enfin, la validité de la méthode sera évaluée en étalonnant le SMM sur l'une des structures puis en mesurant l'autre. Un écart relatif de 7 % est observé entre les deux structures de référence. Cette valeur est indépendante de l'étalonnage et son signe change en fonction de la structure utilisée pour l'étalonnage de l'instrument. Cela suggère la présence d'une capacité parasite non encore prise en compte dans le calcul. Ces résultats seront présentés et analysés.

- [1] F. Piquemal, J. Morán-Meza, A. Delvallée, D. Richert, and K. Kaja, "Progress in Traceable Nanoscale Capacitance Measurements Using Scanning Microwave Microscopy," *Nanomaterials*, vol. 11, no. 820, 2021, doi: doi.org/10.3390/nano11030820.

Désoxygénation photo-induite sur surface : étude des précurseurs sulfoxides sur 2 monocouches de NaCl(001) / Au(111)

M.Hankache¹, V.Magné³, E.Geagea¹, P.Simon Marqués², N.Bréfuel², S.Claire¹, F.Para¹, L.Giovanelli¹, C.Loppacher¹, J.Bonvoisin², G.Rapenne², E.Maerten³, O.Thillaye du Boullay³, C.Kammerer², D.Madec³, L.Nony¹

1- Univ Aix Marseille, CNRS, IM2NP, UMR 7334, Marseille, France

2- CEMES, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France

3- LHFA, CNRS, UMR 5069, Toulouse, France

Grâce à leur photoréactivité en solution, les précurseurs organiques de type sulfoxydes (S-oxydes) sont des produits prometteurs dans la perspective d'initier de nouveaux mécanismes de synthèse sur surface. Parmi ces substances, le S-oxyde de dibenzothiophène (DBTO) est connu pour subir un clivage de la liaison S=O sous irradiation UV en solution. [1] Cette réaction libère du dibenzothiophène (DBT) et de l'oxygène atomique O (³P).

L'étude suivante présente la preuve d'une désoxygénation sur surface d'un dérivé de sulfoxyde dibromé (ortho-Br)₂-DBTO sous irradiation UV. Les mesures sur surface sont menées sur un bâti ultra-vide disposant d'un STM/nc-AFM fonctionnant à basse température (9K).

Au départ, les molécules ont été déposées sur une surface métallique Au(111). L'imagerie intramoléculaire (pointe CO) d'une molécule isolée à 9K permet d'identifier la configuration d'adsorption des molécules sur cette surface. La molécule s'adsorbe à plat avec l'oxygène du groupe sulfinyle orienté vers la surface (Figure 1), ce qui est confirmé par les calculs DFT ainsi que par des modèles simulés (*//ppr. fzu.cz*).

Par la suite, le comportement d'une phase supramoléculaire de molécules adsorbées sur deux monocouches de NaCl sur Au(111) sous illumination (UV 280 nm) a été étudié. Les images haute résolution montrent que 33 % des molécules ont été désoxygénées avec succès après 190 minutes d'irradiation (Figure 2a). La caractérisation structurale est complétée par une série de spectroscopies de biais mesurées au sommet de l'atome S de plusieurs molécules choisies parmi un ensemble statistique de molécules intactes/désoxygénées. Les molécules désoxygénées montrent une augmentation du potentiel de contact (CPD), pointant vers un état de charge plus négatif de l'atome S, cohérent avec un état désoxygéné (Figure 2b).

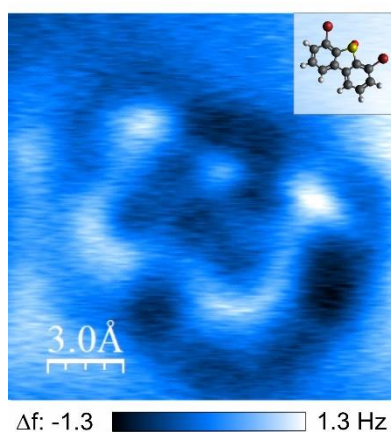


Figure 1: Image Δf à hauteur constante d'une molécule individuelle (ortho-Br)₂-DBTO adsorbée sur Au(111) à 9K, avec une pointe CO.

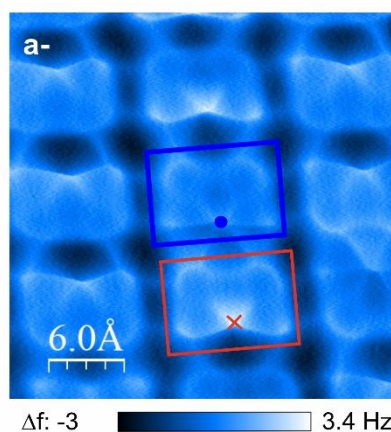
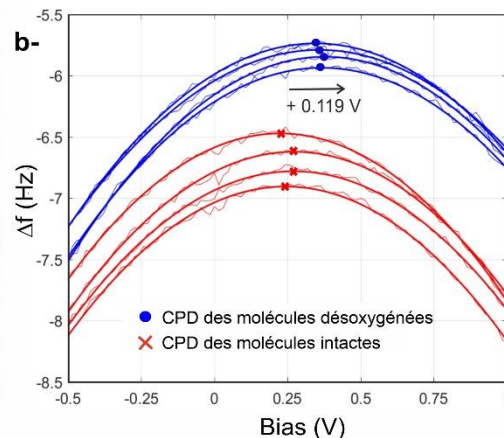


Figure 2: a- Image Δf des molécules (ortho-Br)₂-DBTO en régime supramoléculaire sur 2ML-NaCl / Au(111) après irradiation avec une lumière UV. b- Spectres de biais correspondants pour les molécules intactes (rouges) et désoxygénées (bleues), montrant une signature de la désoxygénation.



Références

- [1] Mrinmoy Nag and William S. Jenks, *J. Org. Chem.* (2005), 70 (9), 3458.

A SThM and C-AFM study of BTBT self-assembled molecular junctions

Sergio GONZALEZ-CASAL¹, Rémy JOUCLAS², Yves GEERTS^{2,5}, Imane ARBOUCH³, Colin VAN DYCK⁴, Jérôme CORNIL³, Dominique VUILLAUME¹

- 1) Institute for Electronics Microelectronics and Nanotechnology (IEMN), CNRS, Villeneuve d'Ascq, France.
 2) Laboratory of Polymer Chemistry, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium.
 3) Service de Chimie des Matériaux Nouveaux, University of Mons, Belgium.
 4) Theoretical Chemical Physics group, University of Mons, Mons, Belgium.
 5) International Solvay Institutes of Physics and Chemistry, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium.

In the current context of climate emergency, the thermoelectric effect is a candidate for the recovery of energy losses in the form of heat. Molecular junctions (MJs) are of interest for thermoelectric applications because of their low thermal conductivity, which might yield high thermoelectric figures of merit (ZT). We previously compared the thermal conductivity (measured by SThM) of polycrystalline thin films (40-400 nm) of BTBT and alkylated BTBT derivatives (octyl chains at the α and ω positions of the BTBT core) [1], which have been previously studied for their applications in organic electronics [2,3]. From a combined SThM and computational study, we unveiled that the thermal conductivity of the BTBT films is larger than that of the alkylated BTBT ($0.63 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ vs. $0.25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) because the alkyl chains strongly localize the intermolecular vibration modes (i.e., phonons) of the BTBT molecules.

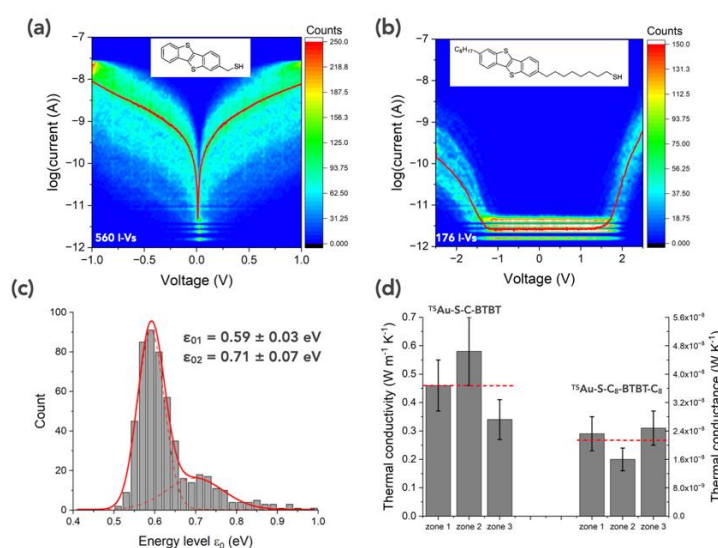


Figure 1 : (a-b) I-V histograms of a C-BTBT and C₈-BTBT-C₈ SAMs. (c) Distribution of the energy values ϵ_0 for the ^{TS}Au-S-C-BTBT/PtIr C-AFM tip molecular junctions. (d) Thermal conductivity and conductance of both molecules.

In the present work, we synthesized the thiol functionalized derivatives of the same molecules to form SAMs on template-stripped Au (^{TS}Au) electrodes and we characterized the thermal and electrical conductances of these SAM-based MJs by SThM and conductive-AFM (C-AFM). Figures 1-a and 1-b show the 2D histograms ("heat map") of the current-voltage (I-V) characteristics measured on the ^{TS}Au-S-C-BTBT/PtIr C-AFM tip and ^{TS}Au-S-C₈-BTBT-C₈/PtIr C-AFM tip molecular junctions (MJs). Due to the presence of the two 8 carbon-atom alkyl chains at the α, ω positions of the BTBT, the conductance of the C₈-BTBT-C₈ MJs is much lower (as expected) and no current is measurable in the applied voltage range from -1.5 V to 1.5 V. From the analysis of the I-V datasets with a simple analytical electron transport (ET) model (SEL: single energy level), the molecular orbitals (here HOMO) involved in the ET through the MJs show two normal distributions: a main one at $\epsilon_{01} = 0.59 \pm 0.03 \text{ eV}$ (~ 80% of the population) and a smaller one at $\epsilon_{02} = 0.71 \pm 0.07 \text{ eV}$. This feature indicates the existence

of two molecular organizations in the SAM and/or configurations at the molecule/SAM interface (theory in progress). This analysis is not possible for the C₈-BTBT-C₈ MJs (due to the plateau at low currents), but the much lower current indicates a larger ϵ_0 value (theory in progress) together with lower electrode coupling energies because the two 8 carbon atoms alkyl chains induce a weak electrode coupling.

The thermal conductivity of the BTBT SAM is measured at $K_{SAM(BTBT)} = 0.46 \pm 0.27 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ and $K_{SAM(C8-BTBT-C8)} = 0.27 \pm 0.16 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (i.e., a thermal conductance of the SAMs $G_{th,SAM(BTBT)} = 37 \text{ pW/K}$ and $G_{th,SAM(C8-BTBT-C8)} = 22 \text{ pW/K}$), Fig. 1-d. The lower thermal conductance of the ^{TS}Au-S-C₈-BTBT-C₈ MJs is likely due to the weaker coupling to the electrodes. By comparison of the two values, we estimated a thermal conductance of ~ 28 pW/K for the C₈ alkyl chain in our MJs, in agreement with previously measured values for octane chains in SAM-based MJs (~ 14 pW/K) [4] and single molecule experiments (~ 26 pW/K and 37 pW/K) [4,5]. We estimated the thermal conductance per molecule at 9 pW/K and 5.5 pW/K, for BTBT and C₈-BTBT-C₈, respectively, much lower than that of alkylthiol and OPE based MJs: 15-30 pW/K for Au-alkyldithiol-Au (2 to 10 carbon atoms), [4] ~ 37 pW/K (8 carbon atoms) [5] and ~ 23 pW/K for Au-OPEdithiol-Au MJs [5]. Therefore, these molecules are prone to molecular devices with better thermoelectric performances.

References

- [1] Gueye, M. N.; et al. *Nanoscale* (2021), 13 (6), 3800-3807.
 [2] Schweicher, G.; et al. *Adv Mater* (2015), 27 (19), 3066-3072.
 [3] Tsutsui, Y.; et al. *Adv Mater* (2016), 28 (33), 7106-7114.
 [4] Cui, L. et al.; *Nature* (2019), 572, 628-633.
 [5] Mosso, N. et al.; *Nano Lett* (2019) 19, 7614-7622 (2019).

We acknowledge financial supports from ANR, FNRS and Fédération Wallonie-Bruxelles.

SESSION JULIETTE RECAMIER

Fille d'un notaire royal, Jeanne Françoise Julie Adélaïde Bernard naît le 3 décembre 1777 à Lyon. Lorsque son père est nommé receveur des Finances, en 1786, sa famille s'installe à Paris. Juliette, mise en pension dans un couvent à Lyon, les rejoint un an plus tard.

En avril 1793, pendant la Terreur qui suit la Révolution, Juliette, à 15 ans, épouse un ami de ses parents. Elle aura, avec Jacques-Rose Récamier, une relation platonique et affectueuse ; il s'agissait vraisemblablement de son père naturel et le mariage était destiné à lui assurer une protection.



A partir de 1797, Juliette commence à tenir, à Paris, un salon qui attire rapidement l'univers mondain, culturel et politique de la capitale. L'une des premières à piocher dans le style grec et antique pour se meubler et se vêtir, Juliette contribue à lancer une nouvelle mode de l'Antiquité. Son mari, riche banquier, connaît le succès et devient en 1800 Régent de la Banque de France.

Figure importante de l'opposition à Napoléon par le rayonnement de ses réceptions, le salon de Juliette Récamier est interdit tandis que deux de ses proches, Madame de Staël, Adrien de Montmorency, sont exilés. En 1805, des problèmes financiers obligent les Récamier à vendre leur hôtel particulier. Peu de temps après, Juliette est exilée à son tour sur ordre de la police impériale.

La jeune femme séjourne quelques temps à Châlons-sur-Marne puis à Lyon avant de gagner Rome où elle reconstitue sa vie de salon jusqu'à l'abdication de Napoléon, en avril 1814. Elle regagne alors Paris et reprend alors son activité mondaine, mais elle exige cette fois-ci une neutralité politique de la part de ses invités. Son salon devient alors plus culturel, plus littéraire, recevant notamment Chateaubriand, Edgar Quinet, Tocqueville, Lamartine et Balzac.

Après des revers de fortune, en 1819, Juliette s'installe à l'Abbaye-aux-Bois, louant un appartement dans un couvent. Elle y continue ses réceptions, formant également des cercles d'intellectuels lors de séjours occasionnels en Italie. A partir de 1840, sa santé décline et elle mène une vie plus retirée. Le 11 mai 1849, Juliette Récamier meurt de maladie à l'âge de 72 ans.

Sources : <https://histoireparlesfemmes.com/2016/05/02/juliette-recamier-femme-desprit/>

Crédit photo : https://fr.wikipedia.org/wiki/Juliette_R%C3%A9camier

08:30 – 08:50 : Thierry ONDARÇUHU

Mouillage à l'échelle nanométrique : dissipation d'énergie sur un défaut de surface nanométrique

08:50 – 09:10 : Stéphane PONS

Manipulation de l'état magnétique d'une molécule à base de porphyrine sur une surface d'or

09:10 – 09:30 : Bernard LEGRAND

Sondes optomécaniques : vers l'AFM aux fréquences GHz

Mouillage à l'échelle nanométrique : dissipation d'énergie sur un défaut de surface nanométrique

Sylvain Franiatte, Philippe Tordjeman, **Thierry Ondarçuhu**

Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT), 2 allée du Prof. Camille Soula, 31500 Toulouse

Le mouillage d'un substrat solide par un liquide est extrêmement sensible à la présence de défauts de surface, qu'ils soient topographiques ou chimiques. Cela donne lieu à une hystérésis de l'angle de contact qui est encore mal comprise, notamment en dynamique. Lorsque la goutte s'étale, les défauts introduisent en effet une dissipation d'énergie supplémentaire qui influe sur la dynamique du mouillage. Il est donc important de développer des méthodes pour étudier l'interaction de la ligne de contact avec des défauts de surface nanométriques et plus particulièrement les phénomènes de dissipation associés.

Dans ce but, nous réalisons des expériences basées sur la mesure par AFM de l'interaction entre une pointe terminée par un nanocylindre [1] et une interface liquide. La mesure de force nous permet de décrire l'ancrage de la ligne de contact sur des défauts nanométriques de la surface et d'obtenir ainsi des informations sur sa topographie. Un phénomène original de désorption moléculaire par la ligne de contact a également été mis en évidence [2-3]. Nous étendons ici ces études au mode FM-AFM qui donne accès à la dissipation liée au défaut. Un pic de dissipation est observé pour chaque défaut, pour une amplitude supérieure à une amplitude seuil. Dans ces conditions, l'énergie dissipée ne dépend pas de l'amplitude d'oscillation et correspond à l'énergie capillaire du cycle d'hystérésis [4]. Elle est ainsi indépendante de la vitesse de la ligne de contact, un résultat essentiel pour la compréhension du mouillage sur surface réelle.

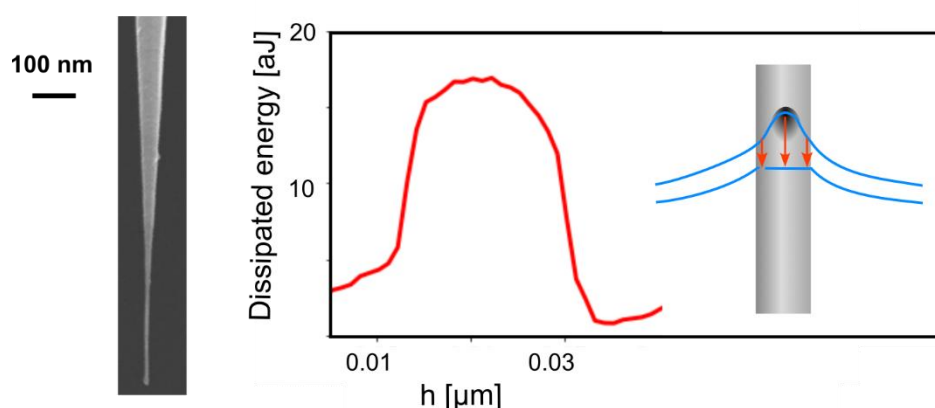


Figure 1 : Gauche : image MEB d'une nanocone de carbone utilisé comme sonde (diamètre à l'extrémité 11 nm) ; droite : pic de dissipation observé au passage d'un défaut et représentation schématique de l'ancrage et du décrochage de la ligne de contact sur un défaut.

Références

- [1] R. Cours, G. Paredes, A. Masseboeuf, T. Ondarçuhu, G. Seine, P. Puech, R. Arenal, F. Piazza, M. Monthieux *Ultramicroscopy* **2023** 245 113676.
- [2] Franiatte S., Tordjeman P., Ondarçuhu T., *Phys. Rev. Lett.*, **2021** 127 065501.
- [3] Franiatte S., Tordjeman P., Ondarçuhu T., *Langmuir*, **2022** 38 2614.
- [4] Franiatte S., Paredes G., Tordjeman P., Ondarçuhu T., *soumis*.

Manipulation de l'état magnétique d'une molécule à base de porphyrine sur une surface d'or

Yingzheng Gao¹, Sergio Vlaic¹, Tommaso Gorni¹, Luca de' Medici¹, Sylvain Clair², Dimitri Roditchev^{1,3}, **Stéphane Pons**¹

¹ Laboratoire de Physique et d'Étude des Matériaux (LPEM), ESPCI Paris, PSL University, CNRS UMR8213, Sorbonne Université, 75005 Paris, France

² Aix Marseille University, CNRS, IM2NP, Marseille, France

³ Institut des Nanosciences de Paris, Sorbonne Université, CNRS UMR7588, 75005 Paris
stephane.pons@espci.fr

L'étude et la manipulation de l'état de spin de molécules à l'interface avec des matériaux est un défi qui pourrait bénéficier grandement à la spintronique, à la nanoélectronique et à l'électronique quantique dans un avenir proche. L'un des objectifs actuels est de contrôler un nano-objet magnétique soit dans le régime classique, où la molécule se comporte comme un simple moment magnétique local, soit dans le régime quantique, où elle se couple aux modes électroniques de la surface.

Nous montrons ici comment l'état magnétique d'une molécule est impacté par les fluctuations de charge de surface en combinant des calculs de théorie de la fonctionnelle de la densité et des mesures de microscopie à effet tunnel. Pour cela des dérivées de porphyrine présentant un ion de fer ont été déposées sur une surface inhomogène d'or (voir figure 1). Ces molécules réagissent entre elles pour former des chaînes, ici un trimer. Lorsqu'une des molécules de la chaîne est positionnée au-dessus d'un site particulier de la surface, elle présente un régime quantique non magnétique de type « Kondo » alors que, partout ailleurs, la molécule est magnétique et se comporte comme un nanoaimant. En utilisant la pointe du microscope pour déplacer les molécules, il a été possible de suivre plusieurs étapes de la transition entre l'état magnétique et l'effet Kondo à travers des états intermédiaires. L'origine de cette transition vient de l'exaltation des fluctuations de charges dans la molécule due à l'accroissement de l'hybridation des orbitales moléculaires avec les électrons de conduction de l'or à l'approche du site spécifique, qui s'accompagne d'une baisse de l'anisotropie magnétique dans la molécule. Nous avons trouvé qu'une hybridation forte et une anisotropie magnétique faible [1] sont propices à l'établissement de l'effet Kondo dans la molécule tout en conservant son spin = 1.

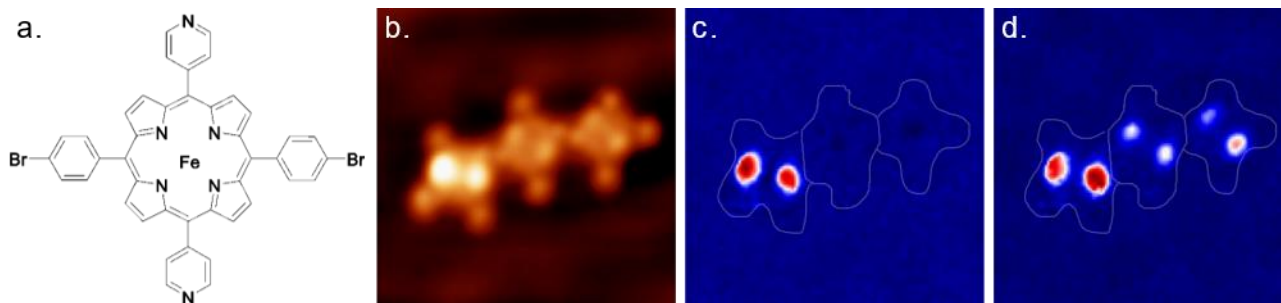


Figure 1 : (a) Composition chimique de la molécule déposées sur la surface d'or. (b) Topographie STM : les molécules s'associent par 3 pour former une chaîne. La molécule de gauche de la chaîne a été délibérément placée par manipulation avec la pointe du microscope au-dessus d'une zone particulière de la surface d'or occupée par un atome de Brome, les deux autres molécules reposent sur l'or. (c & d) Cartes montrant la localisation des excitations de retournement du spin=1 à 3 meV et 10 meV respectivement. L'anisotropie magnétique dans la molécule de gauche est plus faible que celle dans les deux autres molécules puisque les excitations de spin apparaissent à plus basse énergie. La présence d'un atome de Brome sous la molécule facilite donc le retournement de spin. Taille des images 7x7 nm². Température 1,3K.

Référence

[1] Y. Gao, S. Vlaic, T. Gorni, L. de' Medici, S. Clair, D. Roditchev, S. Pons, *ACS Nano* **2023**, 17, 9082, [10.1021/acs.nano.2c12223](https://doi.org/10.1021/acs.nano.2c12223), <https://arxiv.org/abs/2301.01101>

Sondes optomécaniques : vers l'AFM aux fréquences GHz

Suyambulingham Subramanian¹, Clément Le Fur², Lucien Schwab¹, Ilan Shlesinger², Pierre Allain², Chérif Bélaçel², Marc Gély³, Nicolas Mauran¹, Laurent Mazon¹, Felix Rico⁴, Ignacio Casuso⁴, Sébastien Hentz³, Guillaume Jourdan³, Ivan Favero², **Bernard Legrand¹**

¹LAAS, CNRS, Université de Toulouse, ²MPQ, CNRS, Université Paris Diderot, ³CEA-LETI, Université Grenoble-Alpes, ⁴DyNaMo, INSERM, Université Aix-Marseille

La microscopie à force atomique (AFM) en mode oscillant a évolué depuis les années 1990 sur la base de la technologie dominante des cantilevers à actionnement et détection optique externes. Il existe des alternatives comme les sondes à base de résonateurs quartz ou MEMS [1] dotées d'un actionnement et d'une détection électriques intégrés. Les sondes AFM possèdent des fréquences de résonance maximales de l'ordre du MHz pour les cantilevers voire de la dizaine de MHz pour les dispositifs issus des technologies MEMS (Fig. 1). Depuis une quinzaine d'années, la compréhension fine des interactions optomécaniques combinée aux avancées en micro- et nano-fabrication ont permis la réalisation de dispositifs miniatures combinant des cavités optiques et des résonateurs mécaniques de très hauts facteurs de qualité. Dans ces systèmes, un couplage optomécanique intense permet la détection de déplacements sub-femtométriques aux très hautes fréquences. Un tel niveau de performance peut avoir un impact pour la détection mécanique et pour la technologie des sondes AFM en particulier, ouvrant la voie à des sondes plus rapides et à des bandes passantes de mesure étendues [2]. Les applications concernent l'imagerie à très haute vitesse et également la spectroscopie de force hautement résolue en temps, à l'échelle de la dizaine de nanosecondes, pour sonder des mécanismes de biophysique moléculaire : dépliement/repliement des protéines et interactions récepteurs ligands, par exemple.

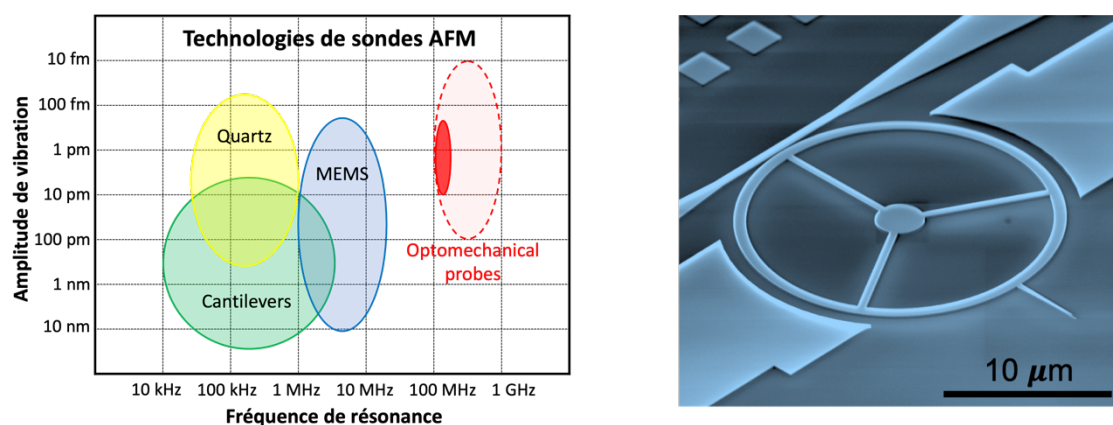


Figure 1 : à gauche, les technologies existantes de sondes AFM pour le mode dynamique. Les ellipses représentent les gammes d'amplitude de vibration et de fréquence de résonance atteintes par chaque technologie. À droite, une image en microscopie électronique à balayage d'une sonde AFM optomécanique fonctionnant à la fréquence de 130 MHz. Figure adaptée de [2].

Dans le cadre du projet ANR HERMES, nous développons des sondes AFM optomécaniques avec l'objectif d'atteindre des fréquences de travail au GHz. La structure de la sonde consiste en un anneau jouant à la fois le rôle de cavité optique et celui de résonateur mécanique. Il porte la pointe destinée à l'interaction avec l'échantillon au niveau d'un ventre de vibration (Fig. 1). Le couplage optomécanique permet de réaliser à la fois l'actionnement et la détection du mouvement de la sonde. Actuellement, les dispositifs de 20 µm de diamètre atteignent la fréquence de 130 MHz [2]. Le mouvement Brownien de la sonde, de l'ordre du fm/√Hz est clairement résolu grâce à la sensibilité de la détection optomécanique, la résonance mécanique présentant un facteur de qualité de 9 000 sous vide et de 900 à l'air. Les premières expériences permettant de conduire au fonctionnement AFM ont été réalisées. Il s'agit de la mise en oscillation forcée de la sonde avec une amplitude de vibration picométrique, de la détection de l'interaction de champ proche dans une configuration de courbe de force approche-retrait, et de la mise en asservissement de la sonde par rapport à un échantillon dans la configuration d'un AFM.

Références

- [1] Legrand, B.; Salvétat, J.P.; Walter, B.; Faucher, M.; Théron, D.; Aimé, J.P., Multi-MHz micro-electro-mechanical sensors for atomic force microscopy *Ultramicroscopy* **2017**, 175, 46 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultramic.2017.01.005>
- [2] Allain, P.E.; Schwab, L.; Mismar, C.; Gély, M.; Mairiaux, E.; Hermouet, M.; Walter, B.; Leo, G.; Hentz, S.; Faucher, M.; Jourdan, G.; Legrand, B.; Favero, I., Optomechanical resonating probe for very high frequency sensing of atomic forces *Nanoscale* **2020**, 29, 2264 <https://doi.org/10.1039/C9NR09690F>
- [3] Schwab, L.; Allain, P.E.; Mauran, N.; Dollat, X.; Mazon, L.; Lagrange, D.; Gély, M.; Hentz, S.; Jourdan, G.; Favero, I.; Legrand, B., Very high frequency probes for atomic force microscopy with silicon optomechanics *Nature Microsystems and Nanoengineering* **2022**, 8, 32 <https://doi.org/10.1038/s41378-022-00364-4>

High-Speed Atomic Force Microscopy and Nanomechanical Mapping as Tools for Studying Dynamic Membrane Remodeling Processes

Lorena REDONDO MORATA

Lorena Redondo carried her PhD in the Physical Chemistry department of the University of Barcelona, concomitantly with the Institute for Bioengineering of Catalonia (IBEC), in the Nanoprobes and Nanoswitches group. Her PhD was devoted to the study of nanomechanics of lipid bilayers mainly using atomic force microscopy (AFM)-based force spectroscopy. She obtained her PhD in 2012 under the supervision of Prof. Fausto Sanz. In 2013, she joined as a postdoctoral fellow to the Simon Scheuring's laboratory at the Institut de la Santé et la Recherche Médicale (Inserm) in Marseille, France. There, she learnt High-Speed AFM to study dynamic remodeling of biomembranes.



She was awarded in 2016 by the Spanish Biophysical Society with the Young Researcher Prize as a recognition for her research achievements. In 2018 she obtained an Inserm tenure researcher position in the Institut Pasteur in Lille, France. In 2024, she moved to Aix-Marseille University (Marseille, France). At the present, she continues her studies devoted to the mechanics and dynamics of cell membrane remodeling using AFM and correlative microscopies. Her main actual research axes are the effect of antimicrobial peptides and surfactants on membranes, extracellular vesicles and the dynamics of synaptic vesicle transmission.

Lorena Redondo a réalisé son doctorat au département de Chimie Physique de l'Université de Barcelone, simultanément avec l'Institut de Bioingénierie de Catalogne (IBEC), au sein du groupe Nanoprobes and Nanoswitches. Son doctorat était consacré à l'étude de la nanomécanique des bicouches lipidiques principalement en utilisant la spectroscopie de force basée sur la microscopie à force atomique (AFM). Elle a obtenu son doctorat en 2012 sous la direction du Prof. Fausto Sanz. En 2013, elle a rejoint le laboratoire de Simon Scheuring à l'Institut de la Santé et de la Recherche Médicale (Inserm) à Marseille, en France, en tant que chercheuse postdoctorale. Elle a appris l'AFM à haute vitesse pour étudier le remodelage dynamique des biomembranes.

En 2016, elle a été récompensée par la Société Espagnole de Biophysique avec le Prix du Jeune Chercheur en reconnaissance de ses réalisations de recherche. En 2018, elle a obtenu un poste de chercheuse titulaire à l'Inserm à l'Institut Pasteur à Lille, en France. En 2024, elle a déménagé à l'Université d'Aix-Marseille (Marseille, France). À l'heure actuelle, elle poursuit ses études consacrées à la mécanique et à la dynamique du remodelage des membranes cellulaires en utilisant l'AFM et les microscopies corrélatives. Ses principaux axes de recherche actuels sont l'effet des peptides antimicrobiens et des surfactants sur les membranes, les vésicules extracellulaires et la dynamique de la transmission des vésicules synaptiques.

High-Speed Atomic Force Microscopy as a Tool for Studying Dynamic Membrane Remodeling Processes

Microscopie à Force Atomique Haute Vitesse comme Outil pour Étudier les Processus de Remodelage Dynamique des Membranes

Lorena Redondo-Morata

*Aix-Marseille University, INSERM, DyNaMo, Turing Centre for Living systems;
Marseille, 13009, France*

La Microscopie à Force Atomique (AFM) constitue aujourd'hui une méthodologie assez établie pour observer la structure des biomolécules et mesurer leurs propriétés mécaniques. Cependant, les biomolécules sont dynamiques par nature ; par conséquent, pour comprendre comment elles fonctionnent, nous devons augmenter la résolution spatiotemporelle de l'AFM conventionnelle. Au cours de la dernière décennie, la Microscopie à Force Atomique à Haute Vitesse (HS-AFM) a été développée et appliquée avec succès à plusieurs machineries cellulaires, qu'elles soient cytoplasmiques ou liées aux membranes.

La fréquence d'images de l'AFM conventionnelle, d'une image toutes les quelques minutes, n'est pas suffisante pour visualiser la plupart des processus dynamiques des molécules biologiques, qui se déroulent dans la majorité des cas à des échelles de temps inférieures à la seconde. Contrairement à d'autres techniques structurales qui reposent sur une moyenne d'ensemble, telles que la cristallographie aux rayons X, la RMN ou la microscopie électronique, les techniques de microscopie optique à molécule unique sont particulièrement adaptées à l'étude de la dynamique des molécules. Dans ce scénario, l'AFM était un bon candidat pour occuper une niche parmi la multitude de techniques biophysiques qui abordent la visualisation dynamique des molécules. De nos jours, l'HS-AFM est presque exclusivement utilisé en mode tapping pour minimiser la force ou la quantité d'énergie causée par le contact pointe-échantillon, à des taux maxima de 5 à 10 images par seconde (ips). Les développements techniques permettant des taux de haute vitesse sont basés sur la miniaturisation des composants mobiles de l'AFM (levier et scanner) pour augmenter leur vélocité par 1000 fois et ainsi être en mesure d'obtenir des réponses de réaction de l'ordre de microsecondes.

Les films moléculaires obtenus par cette méthode fournissent des informations autrement inaccessibles par d'autres moyens à ce jour. Dans ce séminaire, nous partirons des fondamentaux sur les membranes cellulaires et les éléments les plus importants permettant à l'AFM d'être utilisé à un taux vidéo jusqu'à l'état de l'art en biophysique des membranes.

SESSION BERTRAND TAVERNIER

Bertrand Tavernier est un réalisateur, scénariste, producteur et écrivain français, né le 25 avril 1941 à Lyon 6e, et mort le 25 mars 2021 à Sainte-Maxime (Var).

De 1982 (année de sa création) à sa mort, il a également été président de l'Institut Lumière.



Fils de l'écrivain et résistant lyonnais René Tavernier, il fut d'abord assistant-réalisateur, attaché de presse (notamment pour Stanley Kubrick) et critique avant de passer à la mise en scène avec L'Horloger de Saint-Paul, son premier succès critique, à l'origine d'une longue collaboration avec l'acteur Philippe Noiret (Que la fête commence..., Le Juge et l'Assassin, Coup de torchon, La Vie et rien d'autre, La Fille de d'Artagnan).

Éclectique, il a abordé plusieurs genres cinématographiques, de la comédie dramatique (Un dimanche à la campagne, Daddy nostalgie) au film de guerre (Capitaine Conan) en passant par le film historique (Laissez-passer, La Princesse de Montpensier) ou le polar (L.627, L'Appât). Plusieurs de ses films ont été récompensés, en France et à l'étranger (dont Autour de minuit qui remporta un Oscar et fut nommé aux Golden Globes).

Il est le père du réalisateur et comédien Nils Tavernier et de la romancière Tiffany Tavernier.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Bertrand_Tavernier

11:00 – 11:20 : Audrey STEINBERGER

Histogrammes force-séparation et histogrammes de séparation : des outils intéressants pour la spectroscopie de force

11:20 – 11:40 : Rémy PAWLAK

Synthèse et caractérisation de défauts magnétiques dans une maille kagomé du graphène

11:40 – 12:00 : Childéric SEVERAC

Reconnaissance en aveugle de cellules cancéreuses par AFM et IA

Histogrammes force-séparation et histogrammes de séparation : des outils intéressants pour la spectroscopie de force

Layla BOU TANNOUS^{1,2}, Zheng GONG¹, Agilio PADUA¹, Audrey STEINBERGER³

¹ Laboratoire de Chimie, ENS de Lyon, CNRS, F-69364 Lyon, France

² Univ. Grenoble Alpes, CEA, Leti, F-38000 Grenoble, France

³ Univ Lyon, ENS de Lyon, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France

En spectroscopie de force, il faut analyser des séries de courbes force-séparation lorsque l'on veut identifier des motifs statistiquement robustes qui sont cachés par le bruit de mesure et/ou par une variabilité intrinsèque du système étudié. Ce sont des problèmes qui sont fréquemment rencontrés lorsqu'on étudie la structure de liquides ioniques à l'interface avec une paroi solide. Dans cet exposé, je présenterai deux outils intéressants dont l'usage s'est largement répandu dans la communauté des liquides ioniques : les histogrammes force-séparation, introduits par Black *et al.* [1], et les histogrammes de séparation, proposés un peu plus tard par Black *et al.* [2] et Cheng *et al.* [3]. J'illustrerai leur utilité à partir de courbes expérimentales acquises par microscopie à force atomique (AFM) dans un liquide ionique (le 1-octyl-3-méthylimidazolium dicyanamide, abrégé en $C_8mimDCA$) sur un semiconducteur à 2D, le disulfure de molybdène MoS_2 , comme sur la Figure 1, adaptée de Bou Tannous *et al.* [4]. Je montrerai notamment comment ces outils permettent de révéler des variations très subtiles de la structure interfaciale moyenne du liquide ionique lorsqu'un potentiel extérieur est appliqué sur le substrat, en excellent accord avec des simulations de dynamique moléculaire [5].

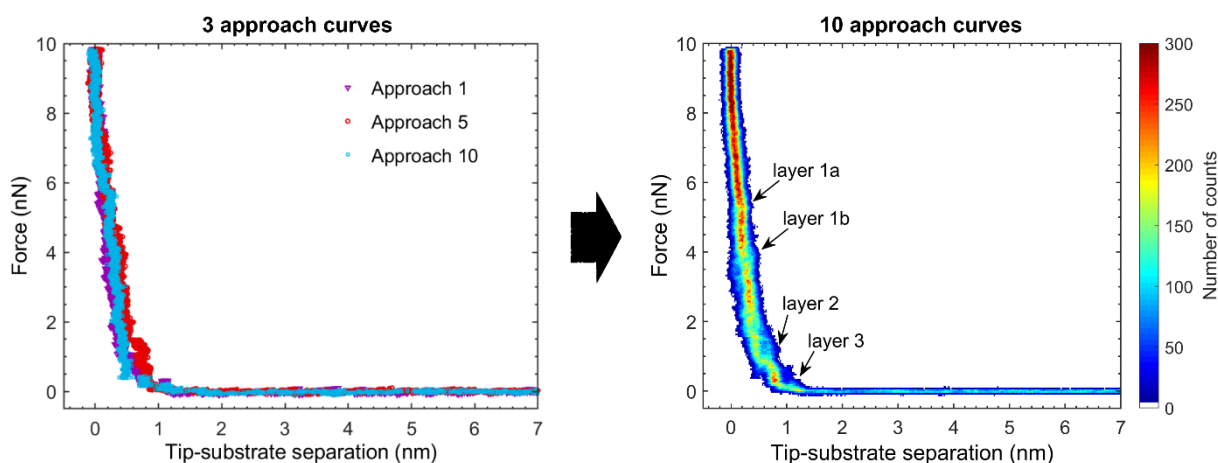


Figure 1 : Profils de force en fonction de la distance pointe-surface acquis avec un AFM JPK Nanowizard 4 dans du $C_8mimDCA$ sur du MoS_2 avec une pointe fine en silicium (leviers OPUS 4XC-NN, levier A, raideur 0,24 N/m) en circuit ouvert. A gauche : 3 courbes d'approche individuelles. A droite : 10 courbes d'approche représentées sous la forme d'un histogramme force-séparation, dans lequel le plan force-séparation est divisé en petites cases rectangulaires, et le nombre total de points de mesure dans chaque case est colorié selon l'échelle de couleur à droite de cet histogramme à 2D. Figures adaptées de [4].

Références

- [1] Black, J.M et al. *Nano Letters* **2013**, *13*, 5954
- [2] Black, J.M et al. *Nano Energy* **2015**, *15*, 737
- [3] Cheng H.-W. et al. *Advanced Materials Interfaces* **2015**, *2*, 1500159
- [4] Bou Tannous, L. et al. *Langmuir* **2023**, *39*, 16785
- [5] Gong, Z; Padua, A. A. H. *The Journal of Chemical Physics* **2021**, *154*, 084504

Synthèse et caractérisation de défauts magnétiques dans une maille kagomé du graphène

Rémy Pawlak¹, K.N. Anindya², Outhmane Chahib¹, Jung-Ching Liu¹, Alain Rochefort¹, Franck Palmino³, Frédéric Chérioux³, Ernst Meyer¹

¹University of Basel, Department of Physics, Basel (Switzerland)

²Polytechnique Montréal, Engineering Physics Department, Montréal (Canada)

³Université de Franche-Comté, FEMTO-ST, Besançon (France)

Le graphène possédant une maille kagomé suscite un intérêt important en raison de la présence de bandes électroniques non dispersives (flat bands), qui permettraient la mise en œuvre de phase topologique ou d'états magnétiques exotiques. Quelques exemples d'un tel réseau ont pu être démontrés en utilisant la chimie de surface, sans pour autant atteindre de telles propriétés d'électrons fortement corrélés [1-3]. Mais, la mise en œuvre récente d'états magnétiques à l'échelle de la molécule unique [4] a ouvert une nouvelle voie de synthèse pour introduire des états magnétiques dans un réseau kagomé.

Dans ces travaux, nous avons étudié la synthèse d'une maille kagomé du graphène en utilisant une réaction de surface de molécules de tribromotrioxoazatriangulène (TANGO) sur une surface d' Au(111) [1-3]. Les groupements carbonyles (C=O) périphériques de cette molécule sont dans un premier temps substitués par des groupes CH₂ en les exposant à un flux d'hydrogène atomique sous vide. Ensuite, un recuit de la surface permet la transformation de ces groupes CH₂ en espèce radicalaires CH, contenant chacun un électron non apparié. Dans cette présentation, nous dévoilerons non seulement la présence de ces espèces magnétiques par la microscopie à force atomique (AFM), mais également leurs propriétés électroniques et magnétiques à l'aide de l'imagerie STM et de la spectroscopie tunnel (Figure 1). Ces observations expérimentales sont également soutenues par des calculs DFT et DFT+U étendus.

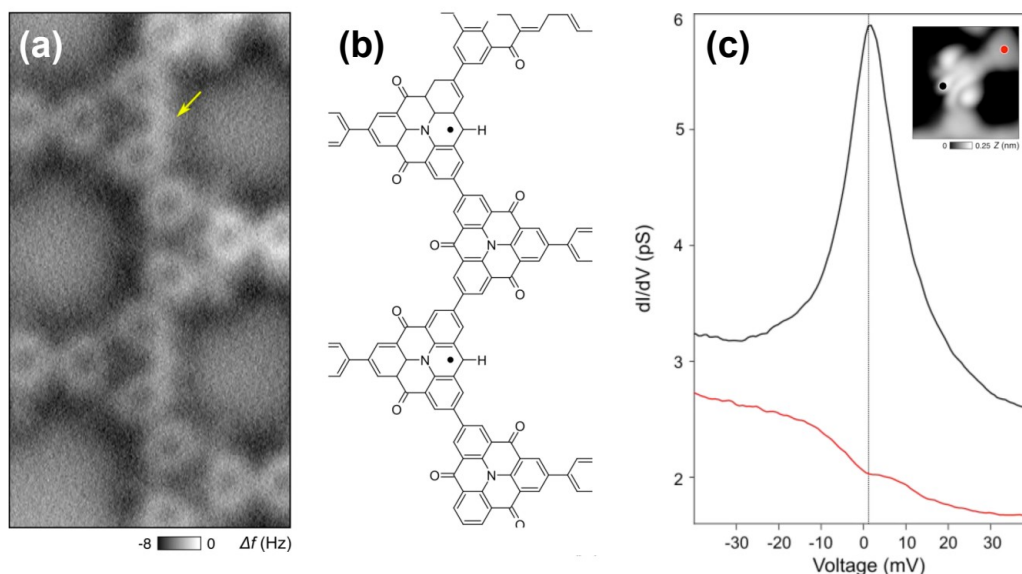


Figure 1 : (a) AFM image showing the presence of radical among the 2D-Kagome network shown in (b), and their spectral signatures evidenced by STS (c).

Références

- [1] Pawlak et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* **60**, 8370-8375 (2021)
- [2] Galeotti, G. et al. *Nat. Mater.* 1–7 (2020)
- [3] Steiner, C. et al. *Nat. Comm.* **8**, 14765 (2017)
- [4] S. Mishra et al. *Nat. Nanotechnol.* **15**, 22-28 (2020)

Reconnaissance en aveugle de cellules cancéreuses par AFM et IA

Childéric SEVERAC ¹,

Ophélie THOMAS-CHEMIN ^{2,3}, Abderazzak MOUMEN², Adrian MARTINEZ-RIVAS⁵,
 Christophe VIEU², Marie-Véronique LE LANN², Emmanuelle TREVISIOL ⁴,
 Etienne, DAGUE²

¹ RESTORE, Université de Toulouse, INSERM, CNRS, EFS, ENVT, Université P. Sabatier, Toulouse, France

² LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France

³ Université de Toulouse, France

⁴ TBI, Université de Toulouse, CNRS, INRAE, INSA, Toulouse, France

⁵ CIC, Instituto Politécnico Nacional (IPN), 07738, Mexico City, Mexico

Cette étude vise à résoudre les limites de la Microscopie à Force Atomique (AFM) dans la mesure des propriétés mécano-biologiques des cellules, qui a le potentiel de discriminer entre les cellules saines et les cellules pathologiques. Nous avons combiné la lithographie douce pour organiser des cellules en matrice et l'automatisation de l'AFM pour collecter des données sur plusieurs centaines de cellules. Sur chacune de ces cellules, seulement 16 courbes de force permettent d'extraire sept caractéristiques qui constituent ainsi ce que nous nommons le mécanome. Nous avons ensuite entraîné un algorithme d'apprentissage automatique par logique floue (IA) pour classifier les cellules non cancéreuses et cancéreuses, en utilisant une base d'apprentissage contenant jusqu'à 120 cellules par lignée cellulaire. Nous avons démontré que notre méthode est capable de classer correctement 73 % des cellules dans deux lignées cellulaires, là où un être humain échouerait à différencier entre ces cellules en fonction des mesures mécano-biologiques, qui sont similaires entre elles de 82 à 100%. Cette étude montre ainsi le potentiel des mesures mécano-biologiques pour distinguer les cellules saines des cellules pathologiques et démontre la faisabilité d'un processus de standardisation à grande échelle.

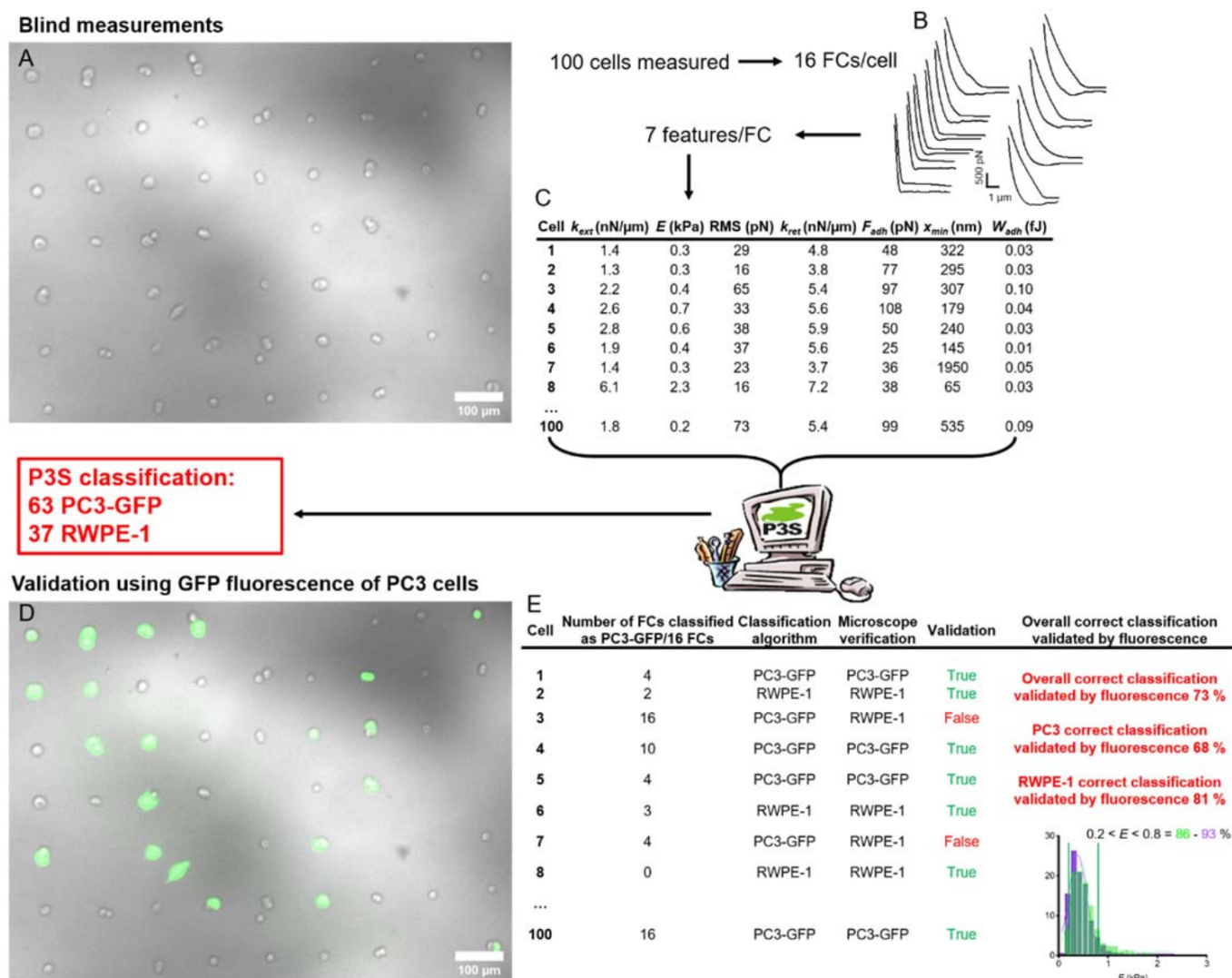


Figure 1 : Validation de la performance de l'algorithme P3S sur les lignées cellulaires RWPE-1 et PC3-GFP incubées ensemble sur matrice de carrés de fibronectine

POSTERS

Laurent NONY	<i>Stiffness calibration of qPlus sensors at low temperature through thermal noise measurements</i>	120
Pierre NICKMILDER	<i>Apport de l'intelligence artificielle dans l'analyse des données : Sur la piste des PyCAROS!</i>	121
Carla COLLANGE	<i>Modélisation des effets photothermiques en AFM-IR</i>	122
christophe KRZEMINSKI	<i>Modélisation Ab-Initio de divers Composés Vibrational en Jonction Moléculaire sous Champs électrostatique et Impulsion Tera</i>	123
Marine RICHARD	<i>Défauts et émetteurs de photons uniques dans le carbure de silicium</i>	124
Eric Le MOAL	<i>Contrôler la luminescence de matériaux 2D avec un STM</i>	125
Elias MAKHOUL	<i>Système pour des mesures couplées spectroscopie Raman/caractérisation électrique IV sur des composants sc organique dopés</i>	126
Kevin Dalla FRANCESCA	<i>Fabrication et caractérisation par MFM d'un réseau de nanoplots magnétiques pour la spintronique moléculaire</i>	127
Antonio Da COSTA	<i>Synthesis, structural, optical, and electrical characterization of bio-based nanocomposite thin-films of chitosan/Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃</i>	128
Antonella HUGO	<i>Phénomènes de génération et d'accumulation de charges aux interfaces métal/diélectrique à l'échelle nanométrique</i>	129
Hugo VALLOIRE	<i>PySSPFM : Un logiciel Python open source de traitement des données SSPFM</i>	130
Pierre NICKMILDER	<i>Caractérisation des propriétés électromécaniques de nanocomposites hybrides ferroélectriques</i>	131
Ziad GHARIBEH	<i>Characterization of 3D Trench capacitors in a double MIM configuration using AFM-topography and SCM</i>	132
Louis THOMAS	<i>Caractérisation par les modes électriques et magnétiques de l'AFM</i>	133
Cendrine MOSKALENKO	<i>AFM imaging of the nuclear pore complexes on intact cell nuclei: interaction with viral capsids</i>	134
Tomaso ZAMBELLI	<i>Mechanical Action-Reaction between Actin Cortex and Growing Inka-PAK4 Intracellular Crystals</i>	135
Manuella EI HABER	<i>Tension de surface de particules atmosphériques individuelles évaluée par spectroscopie de force</i>	136
Louize TOUATI	<i>Etude des interactions entre cristaux phosphocalciques et modèles de membranes cellulaires</i>	137
Agnès PIEDNOIR	<i>Interactions entre fibres de verre micrométriques</i>	138
Eric Le MOAL	<i>Chaînes moléculaires unidimensionnelles sur isolants ultraminesces</i>	139
Paul MOSSER	<i>Caractérisation par AFM de Fullerènes sur Au(111)</i>	140
Junlong WANG	<i>Monocouches auto-assemblées de chromophores push-pull sur or pour la détection sélective de biomolécules</i>	141
Nataliya KALASHNYK	<i>CN-based molecules as a flexible toolbox for synthesis of low-dimensional carbon nitrides structures</i>	142
Florent DALMAS	<i>Key parameters affecting the local material characterization of interfaces in polymer blends: AFM and FEA simulations</i>	143
Elie GEAGEA	<i>Croissance de polymère 2D en surface d'isolant massif par photo-cycloaddition [4+4]</i>	144
Athulya Muraleedharan BINDU	<i>Ferroelectric texture of individual barium titanate nanocrystals</i>	145
Florence MARCHI	<i>Digital twins shaped from real samples probed in PF AFM mode and their multi-sensorial exploration on an interactive VR platform</i>	146
João COSAS	<i>Correlating local adhesion with the functional group distribution on nanocellulose surface</i>	147
Olivier ARNOULD	<i>Étude micromécanique et microstructurale au sein de l'albumen amylicé du grain de blé par AFM</i>	148

Denis MARIOLLE	<i>Couplage de la nano-indentation instrumentée et de l'AFM pour l'analyse mécanique d'un échantillon de polyimide</i>	149
Frederic DUBREUIL	<i>Superlubricity – Role of carbon based coatings under colloidal lubrication</i>	150
Peter De WOLF	<i>Harnessing Torsional Resonances Detection</i>	151
Simon VASSANT	<i>Influence d'une nano-antenne en verre sur la fluorescence d'une molécule unique</i>	152
Rosine COQ GERMANICUS	<i>MultiDAT-AFM© : une solution complète d'analyse des mesures spectrales multiparamétriques à l'AFM avec un algorithme de prédiction en Machine Learning intégrée</i>	153
François PIQUEMAL	<i>Développement de premières structures de référence pour l'étalonnage des mesures de résistance et de courant en microscopie à force atomique à sonde conductrice</i>	154
Khaoula EL MECHLY	<i>Caractérisation STM de nanorubans de Ge déposés sur Al (110)</i>	155
Olivier PLUCHERY	<i>What can we learn from studying individual gold nanoparticles? Insights about their electrostatic and electronic properties</i>	156

Stiffness calibration of qPlus sensors at low temperature through thermal noise measurements

L.Nony¹, S.Claire¹, D.Uehli², A.Herrero², J.-M. Themlin¹, A. Campos³, F. Para¹
A.Pioda² and C.Loppacher¹

1-Aix-Marseille University, CNRS, IM2NP, UMR 7334, Marseille, France

2-SPECS Zurich GmbH

3- Aix-Marseille University, CNRS, CP2M, 13397, Marseille, France

laurent.nony@im2np.fr

qPlus sensors are the most representative probes for combined non-contact AFM-STM experiments in UHV and at low temperature and have shown an extreme force sensitivity (1). They rely on a quartz tuning fork one prong of which, holding the tip, is free to oscillate. However, it is not the tip-surface interaction force F_{int} that is primarily probed in nc-AFM, but the frequency shift Δf , of the resonance frequency of the tip (f_1) in interaction with the surface, according to (2):

$$\Delta f = \frac{f_1}{2\pi k_1 A_1} \int_0^{2\pi} F_{\text{int}}(r_u) \cos(u) du,$$

where r_u is the instantaneous tip-surface position. Here, A_1 and k_1 are the oscillation amplitude and stiffness of the probe, respectively. Thus, if A_1 and k_1 are well-calibrated, F_{int} may be quantified. The amplitude calibration is usually performed through the so-called constant- γ method (3). Conversely, it seems that the direct stiffness calibration of qPlus in UHV and at low temperature has never been reported.

In this work, we report the stiffness calibration of qPlus sensors *in situ* at 9.8 K through thermal noise measurements. Because the probe features a large nominal stiffness (>2 kN/m), along with a high-Q factor ($>10^5$), we have developed a thorough methodological framework which, with the help of numerical simulations, allows us to calibrate the stiffness of the probe with an uncertainty of less than 10% (cf. fig.1).

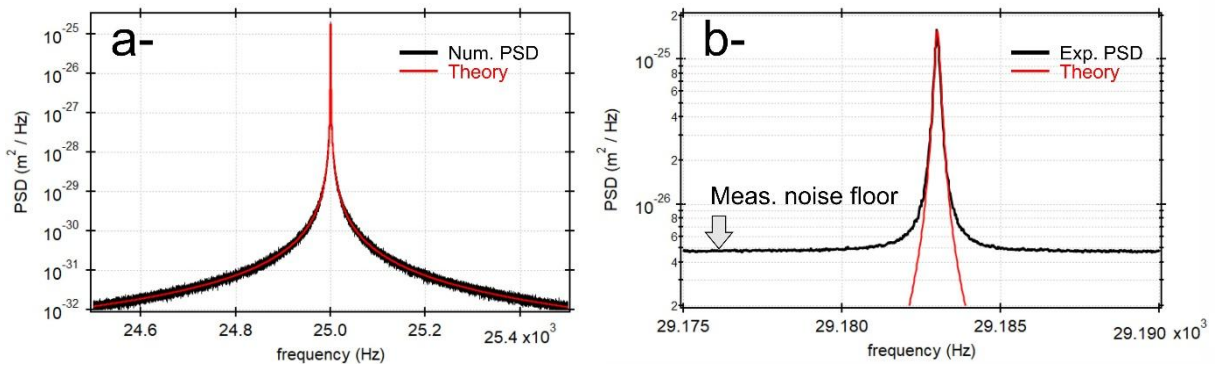


Figure 1: a-Numerical thermal noise power spectrum density (tn-PSD) of an oscillator of resonance frequency $f_1=25$ kHz, stiffness $k_1=1800$ N/m, Q-factor $Q_1=10^5$ (black curve) at 9.8 K and comparison with the corresponding theoretical tn-PSD (red curve). b-Experimental tn-PSD of a qPlus with $f_1=29183$ Hz, $Q_1=145000$ at 9.8K and comparison with the theoretical tn-PSD with $k_1=2700$ N/m.

References

1. F.J. Giessibl, *Rev. Sci. Instrum.* **90**, 011101 (2019).
2. F.J. Giessibl, « Advances in atomic force microscopy », *Rev. Mod. Phys.* **75**, 949 (2003).
3. F.J. Giessibl and H. Bielefeldt, *Phys. Rev.* **B61**, 9968 (2000).

Apport de l'intelligence artificielle dans l'analyse des données : Sur la piste des PyCAROS !

François FIEVET, Pierre NICKMILDER, Philippe LECLERE

*Laboratoire de Physique des Nanomatériaux et Energie (LPNE)
Institut de Recherche en Sciences et Ingénierie des Matériaux
Université de Mons (UMONS) B 7000 Mons, Belgique*

A l'heure actuelle, il est possible de caractériser les propriétés mécaniques, électriques, chimiques et thermiques d'un échantillon à l'échelle nanométrique, avec des durées d'acquisition de plus en plus courts. En effet, le développement des techniques de microscopies à sonde locale et des nombreux modes nous donne accès à de large quantités de données. Une fois acquises, ces données doivent être analysées et décrites et, étant donné leur nombre, le recours à l'utilisation d'outils statistiques est primordial.

Au cours de nos travaux précédents, nous avons proposé un programme (appelé **PyTA - Python Tabor Analysis**) pour adapter des outils statistiques connus aux données de microscopies à sonde locale. Nous nous sommes concentrés sur le regroupement de données non supervisé en utilisant des algorithmes KMeans ou des modèles gaussiens mixtes (GMM) pour identifier les différentes populations présentes dans les cartographies. Ce code permet de reconstruire la cartographie des propriétés mécaniques d'un échantillon en utilisant le modèle de mécanique de contact le mieux adapté et cela pour chacun des pixels de l'ensemble de données. Les cartographies peuvent ensuite être directement importées dans des logiciels d'analyse d'image (comme *Mountains 10* de DigitalSurf, Besançon)

Dans une deuxième phase, nous avons développé un algorithme d'apprentissage automatique supervisé qui permet de trier les données (ici les courbes de force) en fonction de leur qualité. Ce nouvel algorithme porte le nom de **PyCAROS (Python Code for Approach and Retract force curve analysis of Organic and hybrid Soft materials)**. Ce code est en cours de validation pour l'analyse de nos données sur différents types de matériaux (mélanges de polymères, nanocomposites, nanodiélectriques, hydrogels, matériaux piézoélectriques, ...).

En raison du grand nombre de courbes de force par échantillon et de leur regroupement prononcé (dans un même échantillon), nous avons choisi d'adopter une approche d'apprentissage actif. Comme le souligne S. Dasgupta dans son article "Two faces of active learning" [1], deux méthodes se distinguent par leur efficacité : le *machine learning* semi-supervisé et le *machine learning* actif. Pour évaluer l'efficacité de notre algorithme, nous avons d'abord caractérisé les courbes de force, puis nous avons divisé nos données de manière aléatoire en deux sous-ensembles : un ensemble d'entraînement et un ensemble de test. L'ensemble de test comprend 8000 courbes évaluées par plusieurs experts sur une échelle allant de 0 (inutilisable) à 3 (excellent), afin d'obtenir une validation aussi objective que possible. En ce qui concerne l'ensemble d'entraînement, il ne contenait initialement que des échantillons non étiquetés, qui ont été progressivement étiquetés (selon la même échelle) en mettant l'accent sur ceux apportant le plus d'information. L'utilisation de différentes approches nous permet de déterminer celle offrant la plus grande précision pour un nombre donné de courbes notées. Combinées aux outils développés précédemment, seules les mesures optimisées et validées seront traitées à l'aide de modèles théoriques les plus pertinents avant d'être analysé par les différents outils statistiques.

A terme, l'objectif de ce travail sera également d'identifier les sources d'erreurs les plus récurrentes et de proposer aux utilisateurs une amélioration des paramètres d'acquisition des données.

Références

[1]. Sanjoy Dasgupta, *Two faces of active learning*, Theoretical Computer Science **2011**, 412 (19) 1767-1781.

Modélisation des effets photothermiques en AFM-IR

Carla COLLANGE¹, Alexandre DAZZI¹, Jérémie MATHURIN¹

1. Institut Chimie Physique (ICP), Univ. Paris-Saclay/CNRS, 91405 Orsay, France

L'AFM-IR est une technique récente qui combine la résolution spatiale élevée de l'AFM (Atomic Force Microscope) avec les capacités d'analyse vibrationnelle de la spectroscopie infrarouge [1,2]. Cette technique permet de dépasser la limite de diffraction des méthodes classique de l'infrarouge en mesurant un effet photothermique local. Elle est utilisée dans de nombreux domaines scientifiques comme la science des polymères, la biologie, les sciences pharmaceutiques ainsi qu'en astrochimie. À l'heure actuelle les performances de cette technologie permettent d'atteindre des sensibilités aussi petite qu'une monocouche moléculaire avec des résolutions latérales d'une dizaine de nanomètres [3].

Dans cette étude, nous avons utilisé une méthode à éléments finis (COMSOL Multiphysics) pour modéliser les phénomènes photothermiques à l'origine de la résolution obtenue en AFM-IR. Le but final est d'identifier les principaux paramètres physiques en vue d'améliorer la résolution latérale. Pour cela nous avons établi un modèle de polymères multicouches directement comparables avec un échantillon déjà étudié au sein du laboratoire.

Sur la figure nous représentons la comparaison entre les résultats expérimentaux de l'absorption de l'échantillon PS-PMMA formés de multicouches de 30 nm d'épaisseur avec le modèle réalisé sous COMSOL. La fig. 1a représente la topographie en 3D avec en code couleur l'absorbance du PMMA (poly méthacrylate de méthyle acrylique) en rouge et du PS (polystyrène) en bleu. La fig. 1b représente le signal d'absorbance des deux polymères selon la coupe transversale correspondante. On constate que la périodicité du multicouche mesurée est de 60 nm. La fig. 1c est le modèle COMSOL représentant l'échantillon de la fig. 1a, avec le PMMA en bleu et le PS en gris, chaque multicouche à une largeur de 30 nm. La fig. 1d correspond à la déformation moyenne de la surface pour le PMMA en bleu et le PS en rouge. La périodicité de la mesure expérimentale sur le multicouche est retrouvée.

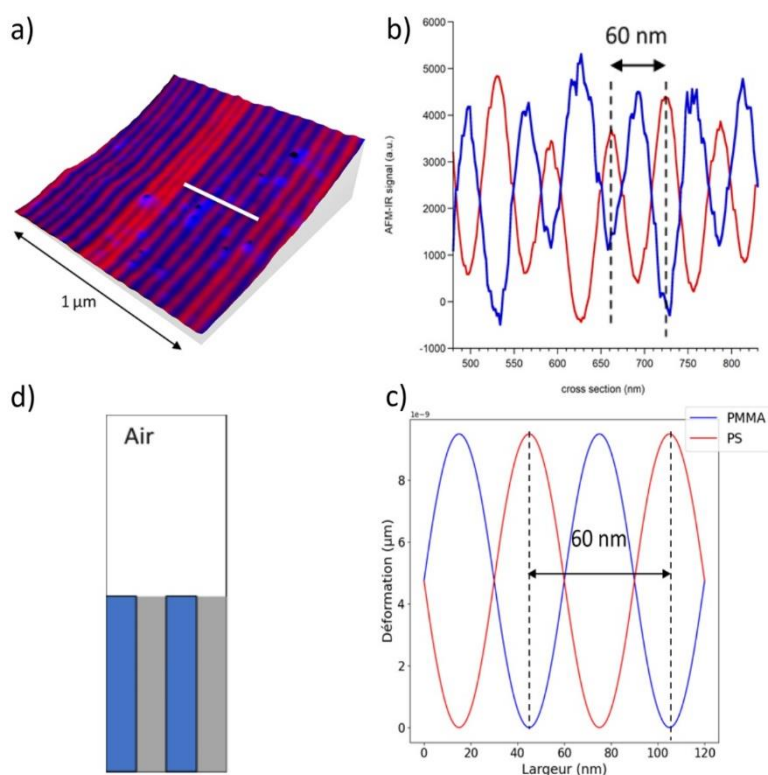


Figure 1 : a) Représentation 3D de la topographie de l'échantillon avec l'absorbance du PMMA en rouge et celle du PS en bleu et b) le signal correspondant à la coupe transversale représentée par la ligne blanche sur la fig. 1a. c) Le modèle de l'échantillon réalisé sur COMSOL et d) le signal correspondant à la déformation moyenne de la surface lorsque le PMMA (en bleu), ou le PS (en rouge), absorbe.

Le modèle développé est en bon accord avec les données expérimentales, ce qui permet de prédire le comportement photothermique de ce type d'échantillon.

- [1] Dazzi, A.; Prater, C.B. *Chemical Reviews* **2017**, *117*, 5146
- [2] Mathurin, J.; et al. *Journal of Applied Physics* **2022**, *131*, 010901
- [3] Hamadeh, A. ; et al. *Communications Chemistry* **2023**, *6*, 246

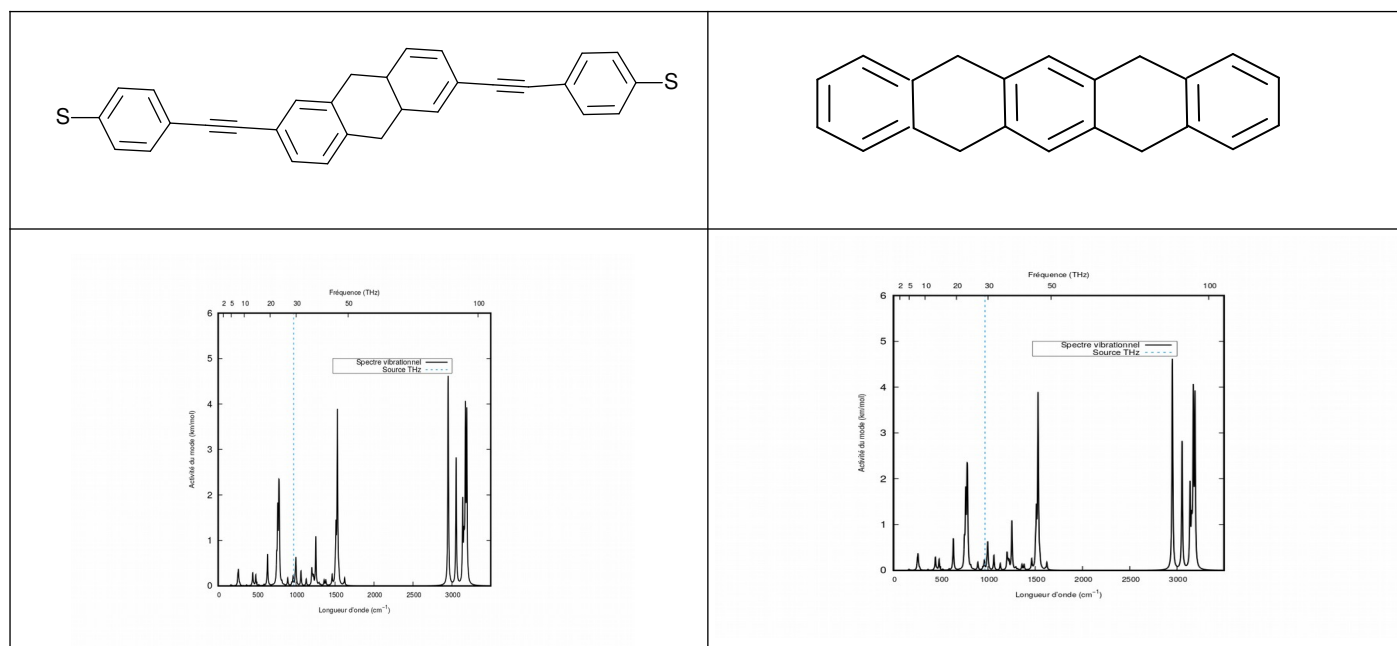
Modélisation Ab-Initio de divers Composé Vibrational en Jonction Moléculaire sous Champs électrostatique et Impulsion Terahertz.

Christophe Krzeminski

Iemn, Laboratoire Central (LCI), Université de Lille, Cité Scientifique,
Avenue Henri Poincaré, 59652 Villeneuve d'Ascq.

Cette communication scientifique présente des modélisations théoriques Ab-initio principalement en théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) de divers composés organiques aromatiques bisarylethyne, anthracène ou dihydropentacène. Ces composés sont susceptibles de par leurs caractéristiques d'avoir des propriétés potentiellement intéressantes notamment pour des caractérisations fines en microscopie SNOM de matériaux moléculaires [2] via le spectre vibrationnel. Ces caractérisations comportent à la fois un champs électrostatique classique mais également ici un régime d'impulsion modulé dans la gamme ici terahertz (~30 THz) ayant une influence complexe au niveau des propriétés de conduction en transport tunnel des jonctions moléculaires. Au niveau nanotechnologie, Il existe une large diversité d'interprétation physique de ces caractéristiques électriques relativement non-linéaires caractéristique de la transmission observées qui vont d'un effet de « localisation électronique moléculaire » [3] sous champs électrique élevé, d'un couplage électron-phonon et de l'influence des modes de vibration à fréquence peu élevée [4].

L'hydrogénation par voie chimique de ces composés aromatiques au niveau atomique est potentiellement intéressante dans le sens où celle-ci permettrait de moduler à la fois les propriétés électroniques, ici en augmentant la largeur de bande interdite des composés afin de diminuer la composante du courant à effet tunnel élastique, tout en modulant finement les propriétés de la conformation moléculaire ainsi que les activités des modes vibrationnels moléculaires à priori sondés. L'alternance de cycle hydrogéné (σ) et de cycle (π) pourraient également être intéressante dans cette optique notamment au niveau des propriétés du spectre vibrationnel moléculaire à priori sondé.



Toutefois, il semble exister probablement plusieurs limites à cette caractérisation spécifique SNOM terahertz de jonctions moléculaires en courant tunnel à savoir la persistance de ces propriétés moléculaires vibrationnelles fines voire éventuellement de phase ainsi que le niveau de la composante terahertz réfléchi par la surface métallique et réellement vue par la jonction moléculaire et la sonde nanométrique par rapport à la composante du champs électrostatique classique.

[1] D. W. Pohl et al., « Scanning near-field optical microscopy (SNOM) », Journal of Microscopy, Vol. 152, n°13, p. 853, (1988).

[2] Iris Niehues et al., « Identification of weak molecular absorption in single-wavelength s-SNOM images », Optics Express, Vol. 31, n°4, (2023).

[3] Perrin, Mickael L., et al. "Single-molecule resonant tunneling diode." The Journal of Physical Chemistry C 119.10 (2015): 5697-5702.

[4] H. Bi et al., « Electron-phonon Coupling in Current-Drive Single-Molecule Junctions », Journal of American Chemical Society, Vol. 142, p. 3384-3391, (2020).

Vers une cartographie de l'électroluminescence à effet tunnel à l'échelle nanométrique de l'émission de photons uniques à partir de surfaces modifiées par des défauts dans le carbure de silicium

Marine RICHARD¹, Natalia ALYABYEVA¹, Léonard SCHUE¹, Gabriel FERRO², Fabian CADIZ¹, Jacques PERETTI¹, Alistair ROWE¹

¹Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, CNRS, Ecole Polytechnique, IP Paris 91128 Palaiseau

²Laboratoire des multimatériaux et interfaces, Université Claude Bernard Lyon I, 69622 Villeurbanne

Le carbure de silicium (SiC) est un matériau réputé pour ses nombreuses qualités lui permettant de concurrencer le silicium pour l'électronique de puissance. On peut notamment citer sa forte conductivité thermique lui permettant de minimiser les pertes d'énergie (idéal pour des systèmes embarqués en aéronautique par exemple), sa haute résistance aux champs électriques et température [1]. On propose ici d'étudier une surface innovante dite « step-bunched » [2] présentant la particularité d'alterner de larges terrasses avec des petites marches afin de pouvoir minimiser les défauts de surface à l'interface avec son oxyde. Cette structuration de surface permet ainsi de concentrer principalement les défauts sur les marches tout en minimisant ceux à la surface des terrasses. Cependant, ces défauts ne sont encore que peu bien connus. Plusieurs suppositions sont proposées telles que des amas de carbone, lacune électronique d'oxygène, liaisons pendantes du carbone ... De plus, certains défauts sont reconnus pour être responsable de l'émission de photon unique à la surface du 4H-SiC ouvrant ainsi des applications en optique et informatique quantique [3]. C'est pourquoi il est nécessaire de contribuer à l'identification de ces défauts de surface en utilisant des outils adaptés à leur échelles. Nous proposons ici d'étudier cette surface « step-bunched » à l'aide d'un microscope à effet tunnel couplé à la mesure d'électroluminescence (Figure 1) permettant ainsi d'obtenir une information spatiale de résolution atomique [4]. Cette méthode innovante est notamment complétée par une information temporelle sur les temps de vie des émetteurs grâce à l'utilisation de détecteurs résolus à l'échelle de la picoseconde.

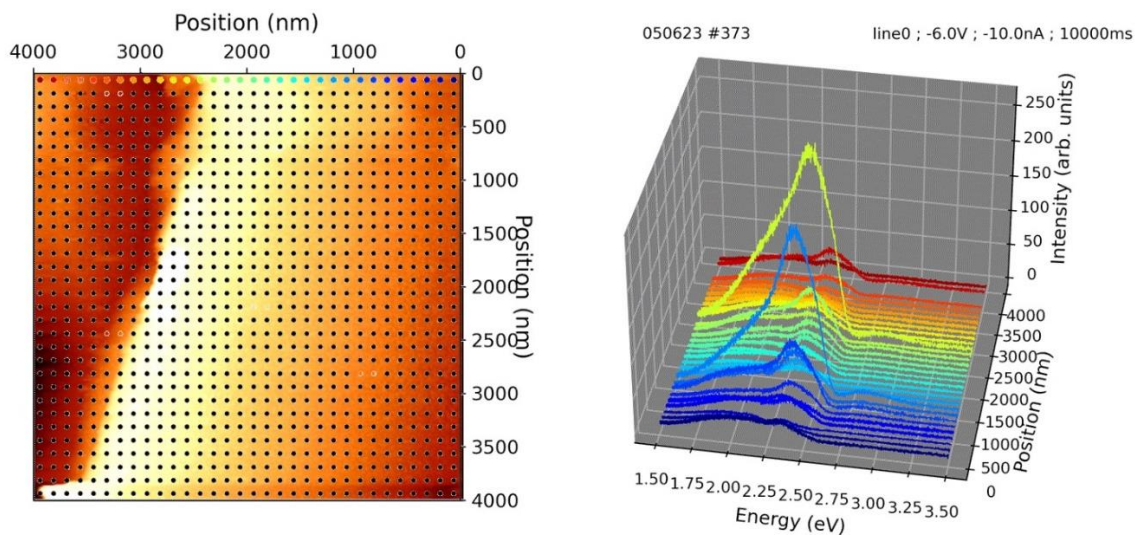


Figure 1: Topographie du SiC (gauche) corrélié aux spectres d'électroluminescence tunnel (droite) présent sur multiples points indiqués en noir sur la carte de topographie.

Références

- [1] Castelletto, S.; Johnson, B.C. ; Boretti, A. ; *Advanced Optical Materials* 2013, 1, 609-625
- [2] Jousseaume, Y; Cauwet, F.; Ferro, G.; *Journal of Crystal Growth* 2022, 593, 126783
- [3] Cantin, J.L.; Von Bardeleben, J., Shishkin, Y., ; *Physical Review Letters* 2004, 92, 015502
- [4] Alyabyeva, N.; Ding, J.; Sauty, M.; *Physica Status Solidi (b)* 2023, 260, 2200356

Contrôler la luminescence de matériaux 2D avec un STM

Ricardo Javier PEÑA ROMAN¹, Rémi BRETTEL², Delphine POMMIER², Elizabeth BOER-DUCHEMIN², Gérald DUJARDIN², Andrei BORISSOV², Luiz F. ZAGONEL¹, Guillaume SCHULL³, Stéphane BERCIAUD³, Eric LE MOAL^{2,*}

¹Institute of Physics “Gleb Wataghin”, Department of Applied Physics, State University of Campinas-UNICAMP, 13083-859 Campinas, Brazil

²Université Paris-Saclay, CNRS, Institut des Sciences Moléculaires d’Orsay, 91405, Orsay, France

³Institut de Physique et de Chimie des Matériaux de Strasbourg, Université de Strasbourg, CNRS, IPCMS, UMR 7504, F-67000 Strasbourg, France

*eric.le-moal@universite-paris-saclay.fr

Un microscope à effet tunnel (STM) est utilisé pour activer électriquement la luminescence de matériaux bidimensionnels (2D) sous la pointe du STM, afin de résoudre spatialement les variations de l’efficacité quantique d’excitation à l’échelle nanométrique. Un microscope optique et un spectromètre sont utilisés pour résoudre spatialement, angulairement et spectralement la lumière émise, afin d’étudier les processus d’émission et d’identifier les espèces excitoniques impliquées (voir Fig. 1a-c). De cette manière, nous avons démontré la génération d’excitons neutres et chargés induite par STM dans les monofeuillets de dichalcogénures de métaux de transition (MoSe₂ et WS₂) [1,2]. Récemment, nous avons montré que la pointe du STM et le courant tunnel peuvent également être utilisés pour contrôler les rendements quantiques de photoluminescence dans les semi-conducteurs 2D (voir Fig. 1d, e) [3].

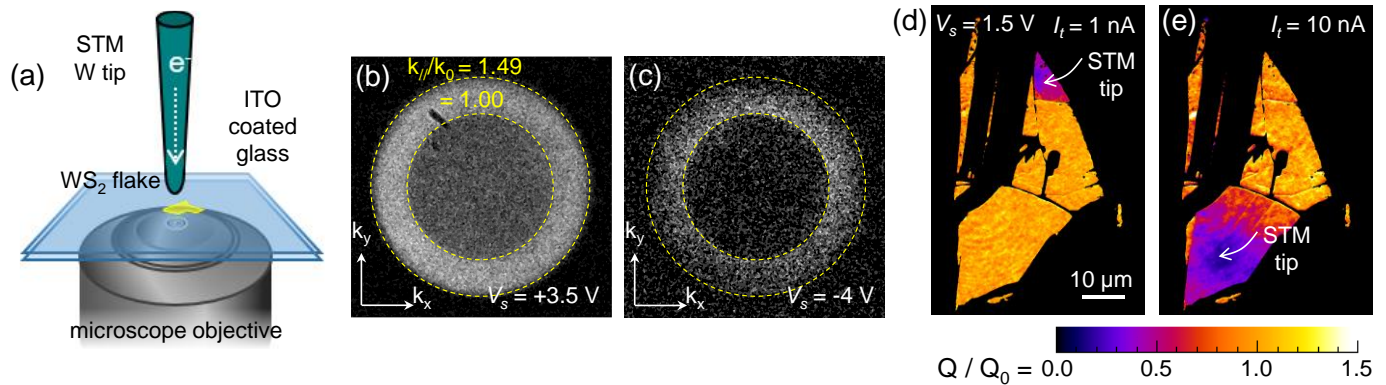


Figure 1 : (a) Schéma de l’expérience, montrant la pointe du STM et l’objectif du microscope optique. (b, c) Distribution angulaire de la luminescence induite par STM du monofeuillet de WS₂ avec un potentiel d’échantillon positif et négatif, respectivement [2]. (d, e) Images de microscopie optique en fausses couleurs montrant la modification contrôlée par STM du rendement quantique de photoluminescence (Q) du monofeuillet de WS₂. [3]

Références

- [1] D. Pommier, R. Bretel, L. E. Parra López, F. Fabre, A. Mayne, E. Boer-Duchemin, G. Dujardin, G. Schull, S. Berciaud, E. Le Moal. Scanning tunneling microscope-induced excitonic luminescence of a two-dimensional semiconductor. *Physical Review Letters* **123**, 027402 (2019).
- [2] R. J. Peña Román, D. Pommier, R. Bretel, L. E. Parra López, E. Lorchat, J. Chaste, A. Ouerghi, S. Le Moal, E. Boer-Duchemin, G. Dujardin, A.G. Borisov, L.F. Zagonel, G. Schull, S. Berciaud, E. Le Moal.. Electroluminescence of monolayer WS₂ in a scanning tunneling microscope: Effect of bias polarity on spectral and angular distribution of emitted light. *Physical Review B* **106**, 085419 (2022).
- [3] R. J. Peña Román, R. Bretel, D. Pommier, L. E. Parra López, E. Lorchat, E. Boer-Duchemin, G. Dujardin, A. G. Borisov, L. F. Zagonel, G. Schull, S. Berciaud, E. Le Moal. Tip-induced and electrical control of the photoluminescence yield of monolayer WS₂. *Nano Letters* **22**(23), 9244–9251 (2022).

Système pour des mesures couplées spectroscopie Raman / caractérisation électrique IV sur des composants semi-conducteurs organiques dopés

Elias MAKHOUL, Nicolas BERCU, Haobing WANG, Florence ETIENNE,
Sylvain POTIRON, Olivier SIMONETTI, Louis GIRAUDET

Lumière, nanomatériaux, nanotechnologies CNRS UMR 7076 (L2n), Université de Reims Champagne-Ardenne, Campus Moulin de la Housse - bât.6, BP1096, 51100 Reims, France

Les composants électroniques à base de semi-conducteurs organiques (SCO) constituent aujourd'hui un axe de recherche très actif [1]. La fiabilité des composants est impactée par les forts champs électriques s'établissant dans le semi-conducteur. Dans les transistors organiques (OTFT) des champs électriques élevés peuvent être présents au niveau des électrodes. Pour étudier l'effet du champ il faut des techniques capables de caractériser localement et in-situ des changements survenus dans le SCO pendant que le composant fonctionne. La technique de spectroscopie Raman est particulièrement bien adaptée pour cela car elle permet d'obtenir des informations sur la composition chimique d'un matériau en se basant sur son empreinte vibrationnelle.

Dans cette contribution on présente un dispositif expérimental couplant des mesures électriques I(V) et des mesures de spectroscopie Raman pour l'étude des OTFT (Figure 1a). Cette technique a été utilisée dans l'étude du dopage des SCO tels que le P3HT au F4TCNA (Figure 1b).

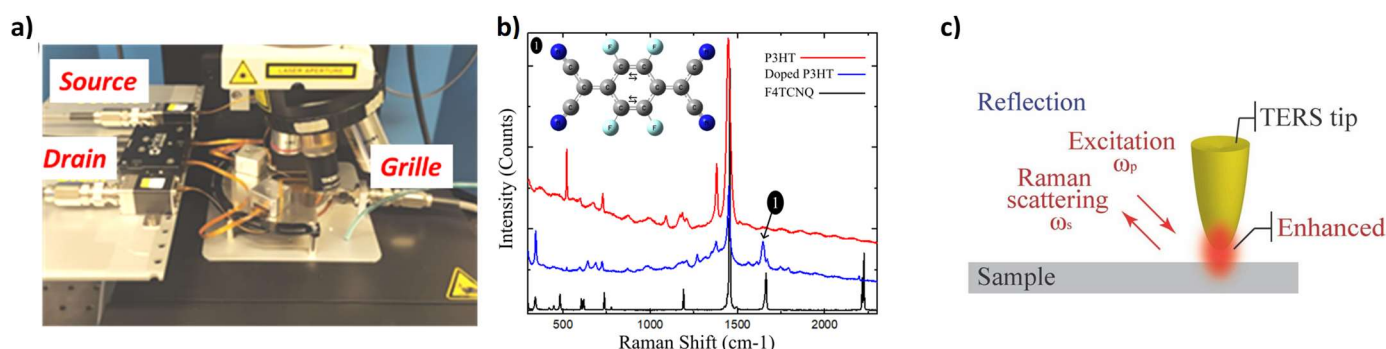


Figure 1 : Image du système (a) ainsi que des mesures de spectroscopie Raman obtenus sur un composant à base de P3HT, F4TCNQ, et P3HT+F4TCNQ (b) et principe de fonctionnement de la technique TERS (c).

Description du dispositif : il s'agit d'un banc de mesure I(V) sous pointes, intégré sur la platine d'un spectromètre Raman type LabRAM (Horiba). Afin de ne pas dépasser l'encombrement maximal permis par le système LabRAM, avoir une meilleure résolution X, Y, Z et un contrôle amélioré de la force d'appui des micro-pointes sur les électrodes, des micro-positionneurs type Mi-Bot (IMINA) ont été utilisés. Un objectif avec une longue distance de travail est également nécessaire pour effectuer les spectres Raman sur le dispositif connecté.

Les mesures micro-Raman sur des couches minces de P3HT, de F4TCNQ et de P3HT dopé au F4TCNA sont représentées sur la Figure 1b. On y observe un mode vibrationnel (1) à 1645 nm qui correspond à un pic caractéristique du F4TCNQ. La spectroscopie micro-Raman permet dans ce cas de vérifier la présence du dopant dans les couches minces de SCO, de visualiser son étendue spatiale (cartographie) et de le quantifier.

La Figure 1c, est un schéma expliquant le principe de fonctionnement de TERS (Tip Enhanced Raman Spectroscopy) qui sera utilisé dans un deuxième temps afin d'avoir une résolution nanométrique pour suivre la diffusion de dopants soumis à un champ électrique. Le TERS combine la haute résolution spatiale de la microscopie à sonde locale avec les capacités d'analyse chimique de la spectroscopie Raman pour l'imagerie chimique à l'échelle nanométrique [2]. Nous travaillons actuellement à l'intégration dans notre configuration TERS d'une technique de mesure locale du potentiel en KPFM sur les composants électroniques polarisés [3,4]. Ce couplage permettra une caractérisation électrique, chimique et topographique in-situ de ces composants en fonctionnement.

Ce travail a été financé par la Graduate School NANO-PHOT (École Universitaire de Recherche, PIA3, contrat ANR-18-EURE-0013). Les auteurs remercient également la plateforme Nanomat (www.nanomat.eu), faisant partie de la plateforme Renatech, soutenue par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, la Région Grand Est et les fonds FEDER de la Communauté européenne.

Références

- [1] Y. Qian et al., *Sci China Mater* **59**(7), 589–608 (2016)
- [2] P. Verma, *Chem.Rev.*, **117**, 6447–6466 (2017)
- [3] M. Brouillard et al., *Nanoscale Adv.*, **4**, 2018–2028 (2022)
- [4] N.B. Bercu et al, *Journal of Microscopy* **267**(3), 272-279 (2017)

Fabrication et caractérisation par MFM d'un réseau de nanoplots magnétiques pour la spintronique moléculaire

Kevin Dalla Francesca, Louis Thomas, Thierry Mélin, Stéphane Lenfant, Sylvie Godey

Univ. Lille, CNRS, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520 – IEMN - Institute for Electronics Microelectronics and Nanotechnology, F-59000 Lille, France.

Dans le cadre du projet régional Magma (magnéto-transport dans des nano-objets fonctionnalisés par des molécules auto-assemblées) dans lequel s'inscrit cette étude, la réalisation d'un réseau de nano-objets (NOs) magnétique est un prérequis au projet. L'objectif est de contrôler et amplifier les propriétés de magnétorésistance (MR, découvert par Albert Fert, prix Nobel 2007) mesurées sur ces NOs fonctionnalisés par des molécules sélectionnées selon leur structure pour le développement de la spintronique moléculaire.

Ces travaux s'appuient sur des résultats obtenus dans les années 2010 par l'équipe de Rodary, [1,2] sur la réalisation d'îlots de Cobalt évaporés sur des surfaces de cuivre et étudiés par sp-STM (spin polarized scanning tunneling microscopy). Ces études ont montré la possibilité de réaliser des îlots de cobalt de forme triangulaire allant de 10 à 100 nm répartis aléatoirement sur la surface. Leur étude magnétique a montré des propriétés de TMR (magnétorésistance tunnel) importante avec un rapport TMR pouvant atteindre 90% [1].

Ici dans le cadre de notre projet, nous présentons la réalisation par lithographie électronique d'un réseau de nanoplots de Cobalt sur substrat de silicium. Le réseau obtenu est bien contrôlé avec des tailles allant de 10 à 50 nm et avec une épaisseur de 20 nm, reproductible et répétable. La figure 1a montre une image MEB (microscopie électronique à balayage) sur laquelle on peut voir un réseau dense de nanoplots de 15 à 20 nm de diamètre, espacés de 100 nm en X et Y. Sur la figure 1b est présentée une image AFM où on peut observer le même réseau de nanoplots, avec la convolution de la pointe magnétique (Bruker MESP LM-V2) qui a un rayon de courbure de 30 nm, ce qui dilate les nano-objets observés. La figure 1c quant à elle montre la mesure MFM (Magnetic force microscope) obtenue au même endroit (image de déflexion de la pointe en mode lift) indiquant la présence d'une aimantation au niveau des nanoplots.

Nous présenterons ici plus en détail l'influence des paramètres de mesure sur l'imagerie magnétique de ces nanoplots.

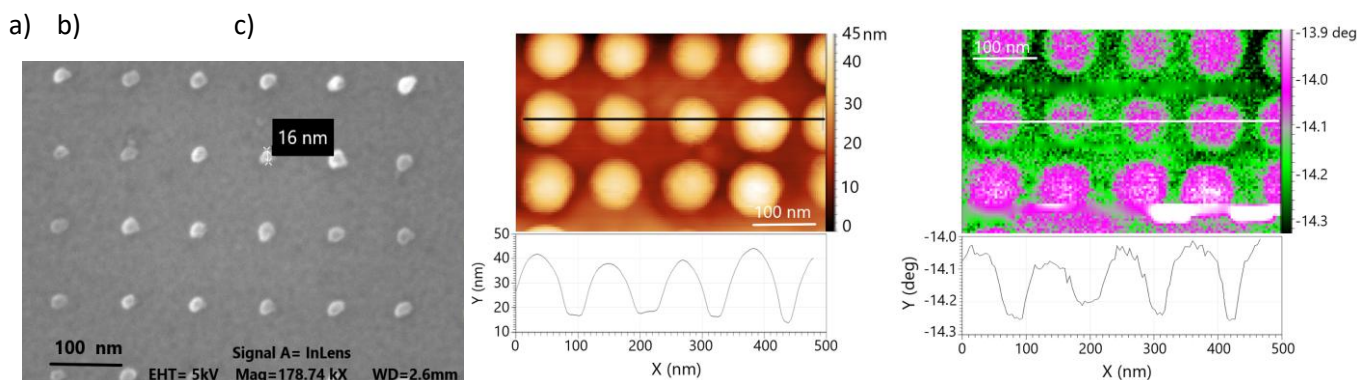


Figure 1 : Image MEB du réseau de nanoplots de Cobalt de 15-20 nm et espacés de 100 nm, Image AFM mode tapping de ce même réseau de nanoplots, Image MFM de l'aimantation des nanoplots

Références

- [1] Guillemin RODARY, Sebastian WEDEKIND, Dirk SANDER, and Jurgen KIRSCHNER ; Japanese Journal of Applied Physics, **2008**, *47*, 9013
- [2] Hirofumi Oka, Kun Tao, Sebastian Wedekind, Guillemin Rodary, Valeri S. Stepanyuk, Dirk Sander, and Jurgen Kirschner ; Physical Review Letter, **2011**, *107*, 187201

Synthesis, structural, optical, and electrical characterization of bio-based nanocomposite thin-films of chitosan/ $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$

Antonio Da Costa,¹ Jacem Zidani,^{2,3} Khaoula Hassine,³ Moneim Zannen,³ Andreas Zeinert,² Jamal Belhadi,² Mustapha Majdoub,³ Mimoun El Marssi,² Abdelilah Lahmar,² Anthony Ferri¹

¹ Univ. Artois, CNRS, Centrale Lille, Univ. Lille, UMR 8181 – UCCS – Unité de Catalyse et Chimie du Solide, F-62300 Lens, France

² Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (LPMC), Université de Picardie Jules Verne, 33 rue Saint-Leu, 80039 Amiens, CEDEX 1, France

³ Laboratory of Interfaces and Advanced Materials (LIMA), Faculty of Sciences of Monastir, University of Monastir, Bd. of the Environment, Monastir 5019, Tunisia

Les matériaux piézoélectriques, réputés pour leur capacité à convertir l'énergie mécanique en signaux électriques, sont considérés comme des matériaux intelligents en raison de leur nature réversible. Récemment, l'utilisation de biomatériaux comme alternative aux matériaux piézoélectriques synthétiques a fait l'objet d'une attention particulière. Des recherches ont été menées sur des matériaux biosourcés issus de polymères naturels tels que la cellulose, la chitine et le chitosane. Ce dernier est un polymère organique, obtenu par le processus de désacétylation de la chitine [1] et présent dans l'exosquelette des crustacés et dans les parois cellulaires des champignons [2,3]. Néanmoins, les recherches sur l'utilisation du chitosane pour des applications basées sur la piézoélectricité restent encore relativement limitées à ce jour.

Dans notre étude, nous nous intéressons aux nanocomposites à matrice bio-dérivée de type chitosane, dans laquelle sont dispersées des nanoparticules inorganiques piézoélectriques de $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ (NBT) à des taux compris entre 2 et 10% en masse. Après avoir caractérisé les propriétés structurales et microstructurales, la mesure des propriétés diélectriques a été réalisée sur des films de chitosane purs et des films nanocomposites : les valeurs des constantes diélectriques s'avèrent être supérieures dans le cas des composites chitosane/NBT. En outre, des mesures en spectroscopie Infrarouge ont potentiellement révélé la formation de liaisons de coordination entre différents groupes fonctionnels du chitosane et les nanoparticules de NBT. Enfin, les analyses de la piézo-/ferroélectricité conduites à la nano-échelle par Microscopie à Force Piézoélectrique (PFM) ont confirmé le comportement électromécanique des nanoparticules dispersées dans la matrice polymère.

En résumé, l'élaboration de films composites flexibles et biosourcés de type chitosane/NBT à propriétés piézoélectriques a été réalisée avec succès [4]. Ce résultat prometteur ouvre la voie à des applications potentielles pour ce type de systèmes en tant qu'actionneur, capteur ou dispositif de collecte d'énergie.

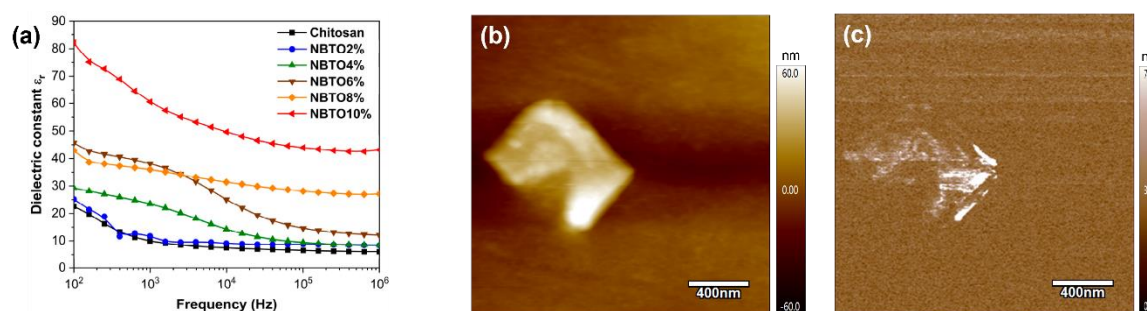


Figure 1 : (a) Variation de la constante diélectrique en fonction de la fréquence pour différents films composites chitosane/NBT. Images de (b) la morphologie AFM et de (c) l'amplitude PFM enregistrées à la surface du film composite chitosane/NBT10%.

Références

- [1] Chen J.L. and Zhao Y., *Journal of Food Science* **2012**, 77, E127
- [2] Kim K. et al., *Nano Energy* **2018**, 48, 275
- [3] Zamli M.I. et al., *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* **2021**, 1045, 012037
- [4] Zidani J. et al., *Micromachines* **2023**, 14, 1841

Phénomènes de génération et d'accumulation de charges aux interfaces métal/diélectrique à l'échelle nanométrique

Antonella HUGO, Christina VILLENEUVE-FAURE, Séverine LE ROY

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

Les diélectriques polymères sont de plus en plus utilisés dans des domaines tels que l'électronique de puissance ou de la micro-électronique, pour des applications à l'aéronautique ou au spatial. Leurs propriétés diélectriques, mécaniques, leur faible coût, et leur possible recyclage font d'eux des matériaux très compétitifs. Un des points faibles de ces matériaux reste cependant leur capacité à accumuler des charges sous contraintes (électrique, thermique, rayonnement...), qui peuvent perturber la distribution du champ électrique et mener à la rupture diélectrique de l'isolant. Dans les systèmes où ils sont intégrés, les isolants polymères sont souvent en contact avec d'autres matériaux (autre isolant, métal, semi-conducteur). Dans le cas d'un contact avec un métal ou un semi-conducteur (SC), agissant comme une électrode, il peut y avoir génération de charges dans l'isolant. Les processus physiques en jeu sont cependant encore difficiles à appréhender, et les lois physiques de type Schottky ou Fowler-Nordheim ne sont pas utilisables, ou avec des barrières d'injection ne correspondant pas aux valeurs théoriques [1]. Ces différences peuvent être liées à des processus à l'échelle nanométrique, comme la présence de charges à l'interface électrode/diélectrique. La connaissance de ces processus est donc nécessaire afin de les prendre en compte dans des modèles de transport de charges, qui sont capables de prédire le comportement de la charge d'espace dans l'isolant polymère.

Dans ce contexte, notre objectif est d'étudier les propriétés morphologiques et diélectriques (i.e. densité de charges) des interfaces diélectrique/semi-conducteur à l'échelle nanométrique par des méthodes dérivées de la microscopie à force atomique (AFM). Pour cela, des sandwichs constitués d'un film de 50 μm de polyéthylène basse densité (LDPE) et de deux films de SC ont été élaborés par thermocompression. Ces matériaux sont utilisés dans les câbles Haute Tension courant continu – HVDC- pour le transport de l'électricité terrestre. Ces sandwichs ont ensuite été mis en forme par ultra-cryo-microtomie (Figure 1a), et observés sur la tranche (Figure 1b).

La méthodologie de caractérisation des propriétés de l'interface couple différents modes de l'AFM (Figure 1c). La topographie est tout d'abord étudiée en mode tapping. Une différence de topographie est observée entre le LDPE et le SC (Figure 1d). L'interface est ensuite positionnée plus précisément grâce à l'acquisition des propriétés mécaniques par Peak-Force Quantitative NanoMechanical (PF-QNM). Puis le potentiel de surface est mesuré par microscopie à sonde de Kelvin (KPFM), en mode lift (Figure 1d). Le profil de charges est ensuite calculé grâce à l'équation de Poisson (i.e. calcul de la dérivée seconde du profil de potentiel de surface) [2]. Des charges positives sont observées, dans le LDPE, à proximité de l'interface (distance d'environ 5 μm), provenant probablement de l'échange d'électrons du LDPE vers les SC (Figure 1e).

Ces résultats ouvrent la voie à une meilleure compréhension du comportement des charges aux interfaces diélectrique/électrode à l'échelle nanométrique, qui permettra une modélisation plus pertinente des phénomènes de génération de charges aux interfaces.

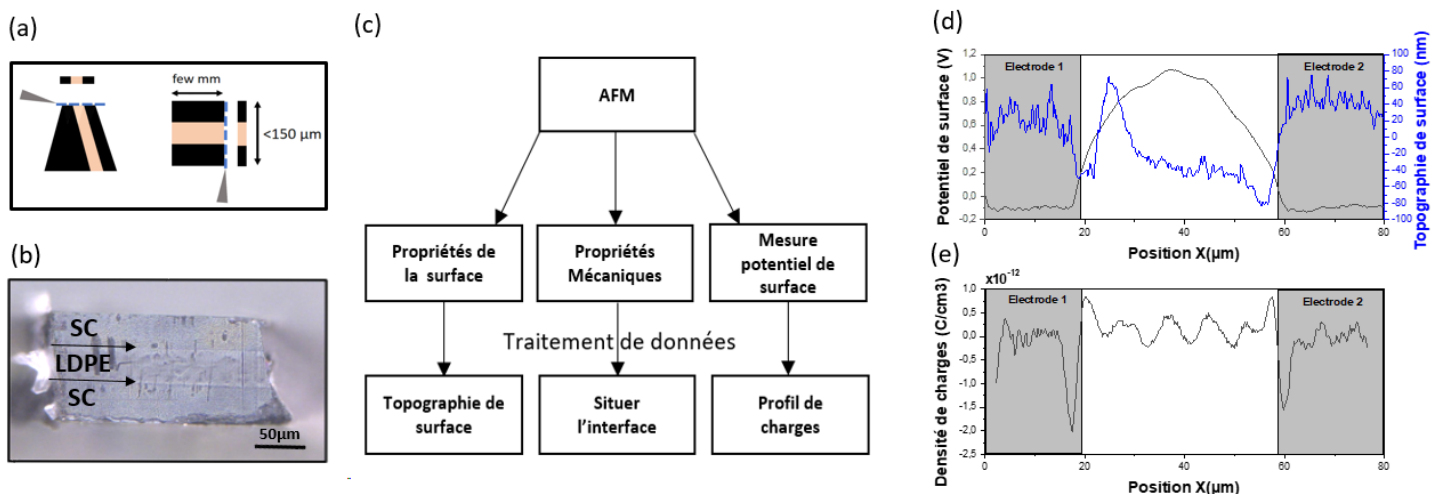


Figure 1: (a) Découpe d'une pointe du triangle à l'aide d'un ultra-cryo-microtome. (b) Microscopie optique de la surface plane du sandwich SC-LDPE-SC. (c) Méthodologie de caractérisation de l'interface par AFM. (d) Profils de topographie et de potentiel de surface sur la surface du sandwich SC-LDPE-SC et (e) profil de densité déduit du profil de potentiel de surface .

[1] Taleb M., Teysseire G., Le Roy, S. *Modeling of charge injection and extraction in a metal/polymer interface through an exponential distribution of surface states. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **2013**, Vol. 20, p. 311-320.

[2] Villeneuve-Faure C., Teysseire G., Le Roy S., Boudou L., Makasheva K. *Interface properties in dielectrics: a cross-section analysis by Atomic Force Microscopy*, 12th Int. Conf. Prop. Applications Dielectric Materials, Xi'an, China, **May 20-24th, 2018**. Proc. ICPADM, pp. 1135-1138

PySSPFM : Un logiciel Python open source de traitement des données SSPFM

Hugo Valloire^{1*}, Patrick Quemere¹, Nicolas Vaxelaire¹, Thomas Jalabert¹, Denis Mariolle¹ and Lukasz Borowik¹

¹ Univ. Grenoble Alpes, CEA, Leti, F-38000 Grenoble, France

*hugo.valloire@cea.fr

La technique « switching spectroscopy piezoresponse force microscopy » (SSPFM), introduit par Jesse et collaborateurs en 2006 [1], permet de polariser par incrément un échantillon soumis à un champ électrique par le biais d'une pointe conductrice faisant office d'électrode supérieure locale et mobile. Cette technique s'est imposée comme le principal mode de mesure des propriétés ferroélectriques à l'échelle nanométrique. Néanmoins, le traitement des données complexe associé à cette méthode impact significativement la qualité des résultats. Aussi, il n'existe actuellement pas d'outil d'analyse disponible et accessible librement au sein de la communauté scientifique du domaine. De plus, une investigation approfondie des divers artefacts, tels que les effets électrostatiques, joue un rôle crucial dans l'obtention de résultats quantitatifs.

Dans ce travail, nous introduisons une méthodologie complète pour le traitement des données SSPFM, rendue accessible via une application Python open-source et conviviale appelée PySSPFM. Pour illustrer l'utilité de notre approche, nous avons examiné un échantillon en film mince ferroélectrique composé de KNN ((K, Na) NbO₃) d'épaisseur 500 nm, fourni par Sumitomo Chemicals. PySSPFM permet la reconstruction des nano-boucles d'hystérésis en caractérisant la réponse piézoélectrique (PR) par rapport au champ électrique appliqué. De ces cycles sont extraits des paramètres caractéristiques des propriétés ferroélectriques de l'échantillon, comme le champ coercitif ou l'amplitude de la réponse piézoélectrique, par exemple. Diverses techniques de traitement des artefacts sont mises en œuvre pour améliorer la précision des mesures, tout en offrant des possibilités de mesurer davantage de propriétés physiques de l'échantillon (électrostatiques, mécaniques ...). En réalisant cette procédure sur une grille de points sur la surface de l'échantillon, des cartographies sont générées. De plus, diverses analyses post-traitement sont disponibles, intégrant des algorithmes de machine learning (par exemple, K-Means), de séparation de phases ou encore de corrélation croisée.

Dans cette étude, une nouvelle méthodologie PySSPFM a été développée et rendue disponible, afin de réaliser un traitement approfondi des mesures SSPFM, permettant d'imager un large panel de propriétés physiques de l'échantillon sous l'application d'un champ électrique externe.

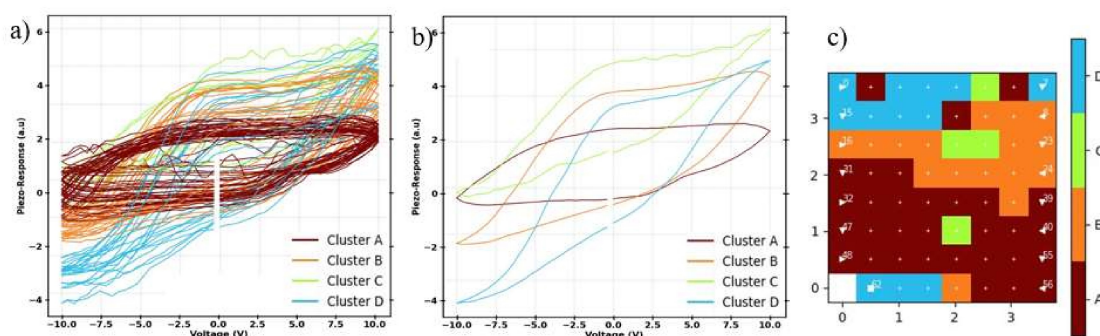


Figure 1: Séparation des hystérésis par machine learning (clustering par K-Means) d'un film mince de KNN: Ensemble de cycles d'hystérésis analysés (a), hystérésis moyenne par cluster (b), et distribution spatiale des cycles d'hystérésis selon leur cluster assigné (c).

Référence

[1] S. Jesse et al., *Appl. Phys. Lett.* **88**, 062908 (2006)

Caractérisation des propriétés électromécaniques de nanocomposites hybrides ferroélectriques

Pierre NICKMILDER, Philippe LECLERE

Laboratoire de Physique des Nanomatériaux et Energie (LPNE)
Institut de Recherche en Sciences et Ingénierie des Matériaux
Université de Mons (UMONS), B 7000 Mons, Belgique.

La crise énergétique constitue l'un des défis les plus importants de notre siècle, nécessitant l'exploration urgente de nouvelles méthodes de production et de stockage de l'électricité. Une approche prometteuse implique le développement de systèmes composés de matériaux présentant des propriétés piézoélectriques pour la génération et le transport de charges. Bien que certains matériaux tels que le PZT présentent d'excellentes propriétés piézoélectriques, la présence de plomb toxique entrave leur applicabilité. Par conséquent, d'autres matériaux alternatifs doivent être explorés. Les matériaux organiques tels que le poly(vinyl difluoroéthylène) (PVDF) possèdent des propriétés piézoélectriques inhérentes, malgré que leurs coefficients soient plus faibles que ceux de leurs homologues inorganiques. Cependant, l'ajout de nanoparticules piézoélectriques telles que les nanoparticules de BiFeO (BFO) peut améliorer leur réponse piézoélectrique globale.

Cette étude vise à la préparation et à la caractérisation d'un système composite hybride constitué d'un copolymère séquencé PVDF-b-trifluoroéthylène (PVDF-trFE) contenant des nanoparticules de BFO, un matériau hybride qui associe la flexibilité de la composante organique à la sensibilité piézoélectrique de la composante inorganique. Pour ce faire, nous avons utilisé la « Piezoresponse Force Microscopy (PFM), un mode de microscopie à sondes locales basé sur l'effet piézoélectrique inverse. Bien que la PFM soit encore largement utilisée pour quantifier les propriétés piézo et ferroélectriques, des études récentes ont révélé qu'une contribution significative de la réponse électromécanique capturée par la PFM est malheureusement entachée d'artéfacts, principalement dus aux interactions électrostatiques entre la surface et la pointe [1]. Nous nous assurons de réduire ces effets au minimum en utilisant différentes approches, telles que l'identification de l'« *Electrostatic Blind Spot* » (ESBS) [2], la position du laser sur le cantilever qui minimise cette contribution électrostatique.

En plus de la PFM conventionnelle, nous utilisons d'autre modes plus poussés, tels que la « *switching spectroscopy PFM* » (ssPFM). Ce mode se base un script où la réponse électromécanique est continuellement surveillée tout en alternant entre une étape de polarisation (*on field*) et une étape sans polarisation (*off field*). À partir de ces données, l'hystérésis ferroélectrique du matériau peut être extrapolée. Nous avons également vérifié la véritable nature ferroélectrique de nos échantillons en analysant les résultats de cKPFM produits avec le même ensemble de techniques [3].

Grâce à ces recherches, nous visons à contribuer au développement de matériaux hybrides piézoélectriques présentant des propriétés électromécaniques améliorées. Ces matériaux constituent un potentiel significatif pour répondre à la crise énergétique et stimuler les progrès dans la génération d'électricité.

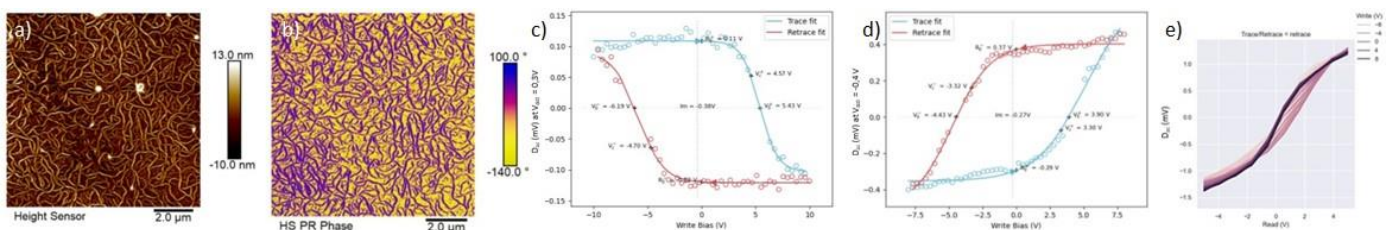


Figure 1 : Mesure PFM sur l'échantillon PVDF-TrFE + BFO, $V_{ac} = 1V$ a) topographie et b) phase. c) et d) cycles ssPFM mesurés en différentes régions de cet échantillon, $V_{ac} = 1V$, V_{dc} de $-10V$ à $10V$ et de $-8V$ à $8V$ et. e) mesures cKPFM sur ce même échantillon, $V_{ac} = 1V$, V_{dc0} de -4 à $4V$ et V_{dc} de -8 à $8V$.

Références

- [1] Seol, D.; Kim, B.; Kim, Y. *Current Applied Physics* **2017**, 17 (5), 661.
- [2] Killgore, J. P.; Robins, L.; Collins, L. *Nanoscale Adv.* **2022**, 4 (8), 2036.
- [3] Balke N.; Maksymovych P.; Jesse S.; Herklotz A.; Tselev A.; Eom C-B.; Kravchenko I.; Yu P.; Kalinin S. *ACS Nano*. **2015**, 9(6), 6484.

Characterization of 3D Trench capacitors in a double MIM configuration using AFM-topography and SCM

Ziad GHARIBEH^{1,2}, Maxime LEMENAGER¹, Mahima CHAUDHARY², Rosine COQ GERMANICUS²

¹Murata Integrated Passive Solutions, 2 rue de la girafe, 14000 Caen, France

²Normandie Univ, Ensicaen, CNRS, Crismat UMR6508, 14000 Caen, France

As the demand for miniaturized devices continues to grow, the microelectronic industry emphasis on 3D integration without enlarging the 2D footprint wafer and ensuring optimal space utilization. This approach facilitates the incorporation of various components, active but also passive devices including high-density trench capacitors, MIM (Metal-Insulator-Metal) capacitors, resistors and PIN diodes into silicon, allowing seamless integration with diverse packaging technologies [1]. In the last few years the advanced technology "PICS" (Passive Integrated Connective Substrate) from the company Murata Integrated Passive Solutions, developed on silicon has proven forward-thinking. These advancements cater to high reliability applications, such as pacemakers, automotive systems and broadband devices[2]. Recent years have witnessed significant efforts towards developing PICS's high-density 3D capacitors with increased capacitance density and adequate breakdown voltage [3]. In this paper, we study the third generation of PICS capacitor technology called PICS3. This technology integrates high aspect-ratio tripod arrays filled with a double MIM configuration. The manufacturing process involves etching of Si substrate using the 'Bosch' process, succeeded by rendering trench walls highly conductive through Phosphorous diffusion. The dielectric stack consists of a thermal oxide layer, a LPCVD nitride layer and a deposited oxide layer called ONO (Oxide-Nitride-Oxide). The electrodes are constituted of n-type in-situ doped poly-Si deposited by LPCVD [4]. Given the importance of assessing dielectric integrity at the nanoscopic level, our objective is to characterize the continuous deposition of the dielectric over the tripod shape. The surface of the studied sample is shown in Figure 1.a, obtained with a Scanning Electron Microscope (SEM). We also used the Atomic Force Microscopy (AFM) Scan-Asyst mode to determine the topography of the surface. This technique offers advantages such as rapid measurement, a high signal-to-noise ratio and a high spatial resolution (radius of the AFM tip 2 nm). The acquisition is done on the Figure 1.b, the scan size is $5 \times 5 \mu\text{m}$. The last step was doing electrical measurements using Scanning capacitance microscopy (SCM), this mode allows the measurement of the differential local capacities of the material, requiring a conductive tip and a low-stiffness cantilever. Ensuring contact between the tip and the sample, a low frequency alternative voltage V_{AC} is applied to the tip-sample system, inducing the movement of free carriers with a fixed DC polarization, this mode enables us to acquire the variation of $\frac{\delta C}{\delta V}$ in terms of phase and amplitude for a fixed voltage V_{DC} applied, the phase sign serves as a key indicator for discerning the type of the scanned zone, positive for p-type and negative for n-type[5]. SCM amplitude acquisition is shown in Figure 1.d, illustrating the difference doping level between the dielectric and the polysilicon with a $2 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ scan size. Comparing the thickness obtained from the different methods (SEM, AFM-topography, SEM-EDX in Figure 1.c and SCM), we can appreciate the SCM resolution. The dielectric layer is determined with an average thickness of 38 nm.

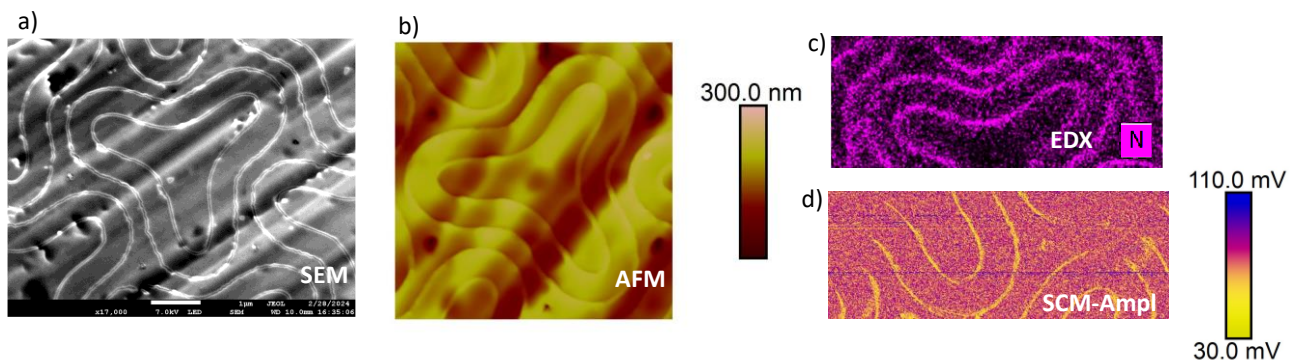


Figure 1: a) SEM view of the PICS3 structure, b) AFM topography using Scan-Asyst mode ($5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$), c) EDX results for nitride detection and d) SCM amplitude scan of the two ONO dielectric layers ($5 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$)

References

- [1] C. Bunel, "Integrated Passive Devices Technology Breakthrough," *High Temperature Electronics (HITEC)*, **2012**.
- [2] F. Lallemand and F. Voiron, "Silicon interposers with integrated passive devices, an excellent alternative to discrete components," in *2013 European Microelectronics Packaging Conference (EMPC)*, Sep. **2013**, pp. 1–6.
- [3] F. Murray, "Silicon based system-in-package: a passive integration technology combined with advanced packaging and system-based design tools to allow a breakthrough in miniaturization," **2005**.
- [4] J. H. Klootwijk, K. B. Jinesh, and F. Roozeboom, "MIM in 3D: Dream or reality? (invited)," *Microelectron. Eng.*, vol. 88, no. 7, pp. 1507–1513, Jul. **2011**
- [5] De-linteraction-pointe-matiere-a-la-nanocaracterisation-electrique-et-mecanique-par-AFM" e-book ISTE R. Coq Germanicus et U. Lüders, février **2023**

Caractérisation par les modes électriques et magnétiques de l'AFM

Louis THOMAS, Sylvie GODEY, Maxime BERTHE

Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (IEMN), CNRS, Univ. Lille,
59652 Villeneuve d'Ascq, France.

Les moyens expérimentaux de l'Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (IEMN, UMR 8520) permettent de cartographier les propriétés électriques (fig. 1 a) (e.g. KPFM (fig. 1 b), C-AFM (fig. 1 c)) et magnétiques (MFM (fig. 1 d)) en surface d'un échantillon avec une résolution nanométrique et d'adresser un – ou quelques – micro- ou nano- objets. Ces microscopes à force atomique opérant en conditions ambiantes sont disponibles sur le Pôle Champ Proche (PCP) de la Plateforme de Caractérisation Multi-Physique (PCMP) de l'IEMN. La caractérisation avancée de nouveaux matériaux et composants est accessible aux chercheurs de l'IEMN [1-3], et est ouverte aux collaborations et prestations dans le cadre du réseau Renatech.

Un poster présentera les résultats obtenus par les équipes de l'IEMN ainsi que de récents développements expérimentaux réalisés au PCP.

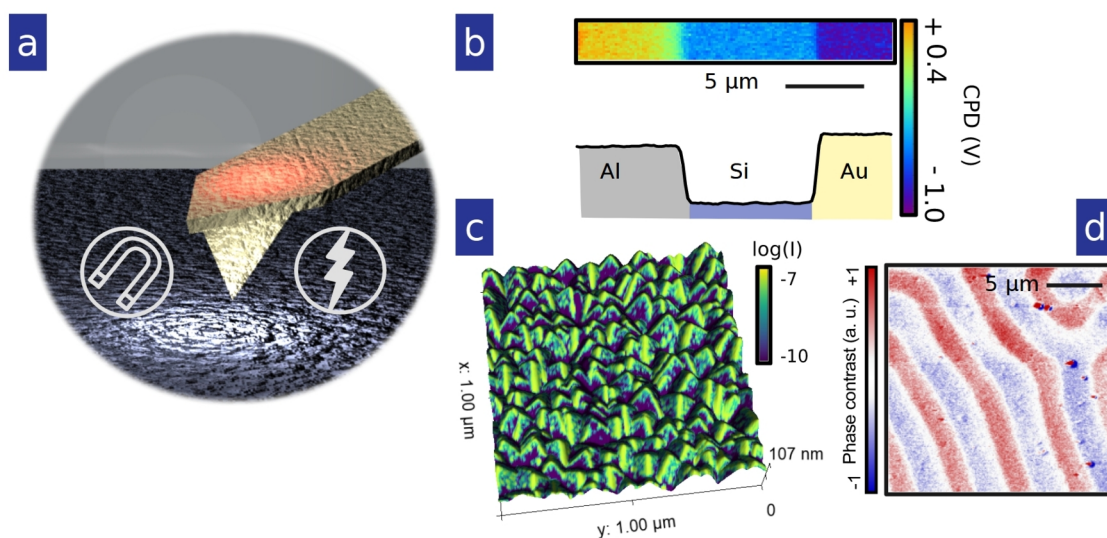


Figure 1 : a : Représentation schématique d'une caractérisation par microscopie à sonde locale. b : FM-KPFM sur un échantillon Al-Si-Au. c : C-AFM sur un dépôt métallique. d : MFM sur un film de YIG.

Références

- [1] Tran, M. N.; Moreau, M.; Addad, A.; Teurtrie, A.; Roland, T.; De Waele, V.; Dewitte, M.; Thomas, L.; Lévêque, G.; Dong, C.; Simon, P.; Ben Tayeb, K.; Mele, D.; Ordonsky, V.; Grandier, B. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2024**, accepted
- [2] Hnid, I.; Yassin, A.; Arbouch, I.; Guérin, D.; van Dyck, C.; Sanguinet, L.; Lenfant, S.; Cornil, J.; Blanchard, P.; Vuillaume, D. *Nano Lett.* **2024**, 24, 2553
- [3] Therssen, H.; Catala, L.; Mazérat, S.; Mallah, T.; Vuillaume, D.; Mélin, T.; Lenfant, S. *Nanoscale* **2023**, 15, 19128

AFM imaging of the nuclear pore complexes on intact cell nuclei: interaction with viral capsids

Kassandra Gérard¹, Dominika Letkova², Kiran Padmanabhan², Anna Salvetti³, Lauriane Lecoq⁴, Fabien Montel¹ & Cendrine Faivre-Moskalenko¹

¹ Laboratoire de Physique, CNRS UMR 5672, Ecole Normale Supérieure de Lyon, F-69342 Lyon

² Institut de Génomique Fonctionnelle de Lyon, CNRS UMR 5242, Ecole Normale Supérieure de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon

³ International Center for Research in Infectiology, INSERM U111, CNRS UMR 5308, Ecole Normale Supérieure de Lyon, Lyon

⁴ Institut de Biologie et Chimie des Protéines, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon

The nuclear pore (NPC) is probably the largest multi-protein complex in eukaryotic cells. It exhibits a cylindrical architecture (8-symmetry structure) around a central channel filled with hydrophobic, unstructured proteins. Passage through the nuclear pore enables proteins and RNAs to be transported selectively and directionally between the nucleus and the cytoplasm of cells. [1]. To give an order of magnitude, there are several thousand pores in the nuclear membrane of a human cell nucleus, transporting hundreds of molecules per second per pore. The nuclear pore plays a critical role in regulating gene expression, and it is easy to understand why its dysfunction is implicated in many diseases, from viral infections to cancers [2] and neurodegenerative diseases.

Several techniques such as cryoEM [3], AFM [4] and optical super-resolution [5] have been successfully used in the recent years to visualize and characterize the nuclear pores *in vitro*. In most cases, these studies have been carried out using nuclear envelopes, opened and spread out on a surface. It was shown that the nuclear pore complex dilates and constricts following external cues (energy depletion, osmotic stress, forces) [3,4] and developmental stages [5].

Here, we propose to use an innovative approach, developed in our team, involving AFM imaging to visualize, at the single complex level, the nuclear pores of whole nuclei isolated and purified from mammalian cells. We combine AFM imaging of nuclear envelope of those nuclei in liquid environment with image analysis to measure the nuclear pore complex internal diameter distribution (see figure 1) in various physiological conditions. We are also developing nano-indentation tools to probe the mechanical properties of the different parts of the nuclear pore on the nuclear envelope.

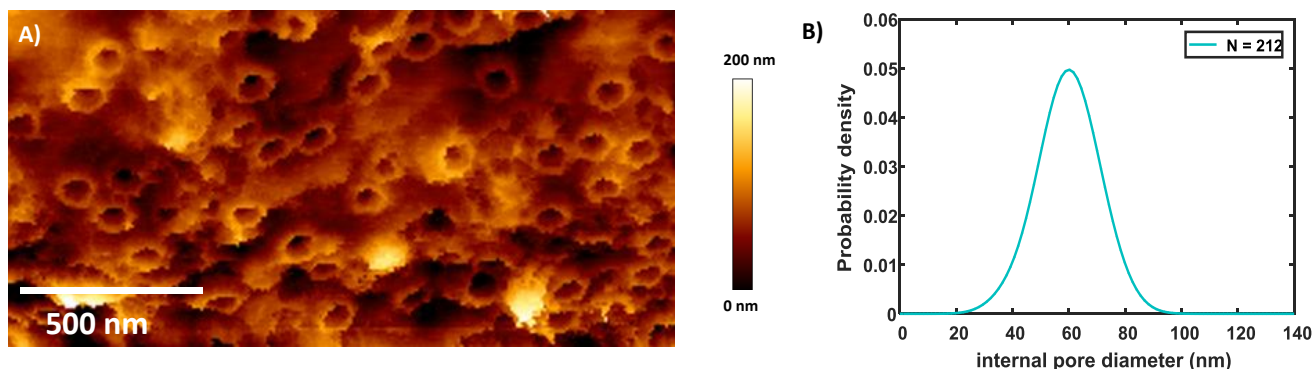


Figure 1: AFM imaging in buffer of nuclear pore complexes on a purified nucleus: A) AFM of a purified murine hepatocyte nucleus imaged in Peak Force mode in buffer. Some nuclear pore complexes are distinguishable. B) Probability distribution function of the NPC internal diameter measured by AFM imaging in liquid of 4 different nuclei.

We will also present our first results on the interaction of viral capsids with nuclear pores as observed by AFM imaging, a step towards bottom-up reconstitution of nucleus viral import at the single capsid level.

Références

- [1] The Nuclear Pore Complex and Nuclear Transport. Wentz, S.R. & Rout, M.P., Cold Spring Harbor perspectives in biology (2010)
- [2] Cancer and the Nuclear Pore Complex, Simon D.N. & Rout M.P., in *Cancer Biology and the Nuclear Envelope*, Springer Ed. (2014)
- [3] Nuclear pores dilate and constrict in cellulo. Zimmerli, C. E. *et al.*. *Science* **374**, (2021).
- [4] Structural variability of nuclear pore complexes. Stanley G.J., Fassati A., Hoogenboom B.W., *Life Science Alliance* Aug 1 (2018)
- [5] Nuclear pore complex plasticity during developmental process as revealed by super-resolution microscopy. Sellès, J. *et al.* *Sci. Rep.* **7**, (2017).

Mechanical Action-Reaction between Actin Cortex and Growing Inka-PAK4 Intracellular Crystals

Tomaso ZAMBELLI¹, Xinyu ZHANG¹, Lasse Hyldgaard KLAUSEN², Jens Vinge NYGAARD³, Anne-Kathrine Kure LARSEN², Mingdong DONG²

¹ : Laboratory of Biosensors and Bioelectronics, ETH Zürich, Zurich, 8092, Switzerland

² Interdisciplinary Nanoscience Center (iNANO), Aarhus University, Aarhus C, 8000, Denmark

³ Department of Biological and Chemical Engineering, Aarhus University, Aarhus C, 8000, Denmark

To maintain internal stability and protect cellular components from external fluctuations and ensuring optimal conditions for biochemical reactions, cells must function as closed systems restricted by the cell membrane and control their shapes throughout their life cycles. The interplay between cellular mechanical forces and interactions with the extracellular matrix (ECM) dictates cell shape, influencing critical processes such as cell migration, tissue homeostasis, and cellular differentiation. Therefore, the quantification of cellular forces plays a crucial role in determining cell states. One strategy involves assessing the dynamic changes in cytoskeletal elasticity. This assessment can be performed through techniques such as indentation using Atomic Force Microscopy (AFM), pulling via micropipette aspiration and more recently manipulating the cytoskeleton using optical tweezers [1]. However, these techniques focus on the local measurements of cytoskeleton and could not address the origin of the intracellular force as a whole. Alternatively, another approach centers on bidirectional cell-extracellular matrix (ECM) interactions. This can be achieved by measuring extracellular traction forces using traction force microscopy (TFM) [2] or studying cell-ECM adhesions with single cell force spectroscopy obtained by FluidFM (FFM) [3]. However, these methods rely on extracellular anchoring, thus they are limited by the presence focal adhesion and actomyosin clutch and provide only a partial representation of intracellular forces.

In this study, we employ an intracellular protein crystal setup, focusing on the mechanical quantification of the impact of such crystals on the cytoskeleton. For the first time, the cytoskeleton is experimentally considered as a three-dimensional elastic network. The phenomenon of protein crystallization within living cells has been frequently observed as a natural assembly process over the past decades. [4] Crystalline states of recombinant proteins are also reported to grow in animal cells, in which metazoan specific kinase PAK4 crystalizes within the cytosol in the presence of its potent endogenous inhibitor Inka1. (Inka-PAK4) [5] The Inka-PAK4 aggregates and spontaneously nucleates resulting in the formation of long rod-shaped crystals. It offers engineering flexibility through different designed plasmids during the transfection procedure. [6] [7] Inka-PAK4 in this work is treated as a form of intracellular stress, with rigid ends protruding internally onto the cell cytoskeleton.

The interactions of Inka-PAK4 crystals with the cytoskeleton are quantified with different techniques, elucidating the wholistic elastic behavior of the actin cortex. Firstly, the growth and the contact of the intracellular crystal with the cytoskeleton are recorded with time lapses. We then compared the states of the crystals with intact and depolymerized actin cortex. The intracellular forces during crystal growth are also interpreted with confocal reference free imaging (cTFM) [8]. Interestingly, we observe a “soft” feature of the Inka-PAK4 crystal manifesting as bending and fracture. This phenomenon is further investigated through live actin imaging upon depolymerization treatment via the FFM technique [3]. In order to quantify the modulus of the “soft” crystal, we propose a convenient method that measures the flexus modulus of the protein crystal rod with FFM.

Références

- [1] Wu, P.H. et al. *Nat. Meth.* **2018**, *15*, 491
- [2] Ferrari, A. *Biophys. Rev.* **2019**, *11*, 679
- [3] Li, M. et al. *Nano Res.* **2022**, *15*, 773
- [4] Schönherr, R. et al. *Biological Chemistry* **2018**, *399*, 751
- [5] Baskaran, Y. et al. *Nat. Commun.* **2015**, *6*, 8681
- [6] Li, T.L. et al. *Nano Lett.* **2019**, *19*, 6955
- [7] Li, D. et al. *Nat. Biotech.* **2023**, *41*, 631
- [8] Bergert, M. et al. *Nat. Commun.* **2016**, *7*, 12814

Tension de surface de particules atmosphériques individuelles évaluée par spectroscopie de force

Manuella El Haber¹, Agnès Piednoir², Ludovic Fine¹, Corinne Ferronato¹, Anne Giroir-Fendler¹ et Barbara Nozière³

¹Institut de Recherches sur l'Environnement et la Catalyse de Lyon (IRCELYON), CNRS et Université Lyon 1, Villeurbanne, 69626, France.

²Institut Lumière Matière (ILM), CNRS et Université Lyon 1, Villeurbanne, 69626, France

³Département de Chimie, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 114 28, Suède

Au cours de ces dernières années, le rôle des tensioactifs dans l'activation des aérosols atmosphériques en gouttelettes nuageuses a suscité un intérêt croissant. En effet, il est probable que leur tension de surface affecte leur capacité à condenser la vapeur d'eau. Cependant, jusqu'à présent, il n'existe aucune technique de mesure de la tension de surface sur des particules atmosphériques individuelles. Nous avons utilisé un microscope à force atomique (AFM) pour accéder à la tension de surface de gouttelettes micrométriques individuelles à une humidité relative contrôlée.

Les aérosols atmosphériques ont été collectés sur des substrats de verre à l'étage 5 d'un impacteur en cascade (le diamètre des particules collectées à cet étage est compris entre 1,1 et 2,1 μm) et la condensation progressive de l'eau sur les particules individuelles a été surveillée à mesure que l'humidité augmentait jusqu'à 85 %. Les courbes de force réalisées dans les gouttelettes nucléées sur les particules avec une sonde cylindrique (CDP55L de Team Nanotec) sont comparables à celles obtenues dans des études précédentes (avec un autre type de sonde cylindrique) [1]. La tension de surface des particules dissoutes dans l'eau est déduite de la force de rétraction de la pointe. Des courbes de force réalisées sur de nombreuses particules déliquées, nous déduisons une tension de surface égale à $47 \pm 2 \text{ mN/m}$, inférieure à celle de l'eau, ce qui révélerait la présence de surfactant ou de sel. Il sera intéressant de comparer les tensions de surface de gouttes formées par condensation sur des particules de tailles différentes.

Dans ce travail, la méthode développée pour mesurer la tension de surface de particules atmosphériques individuelles est cruciale et peut aider à révéler des différences de tension superficielle des aérosols atmosphériques qui devraient être prises en compte lors de l'étude de la formation de gouttelettes dans l'atmosphère et des interactions aérosol-nuage.

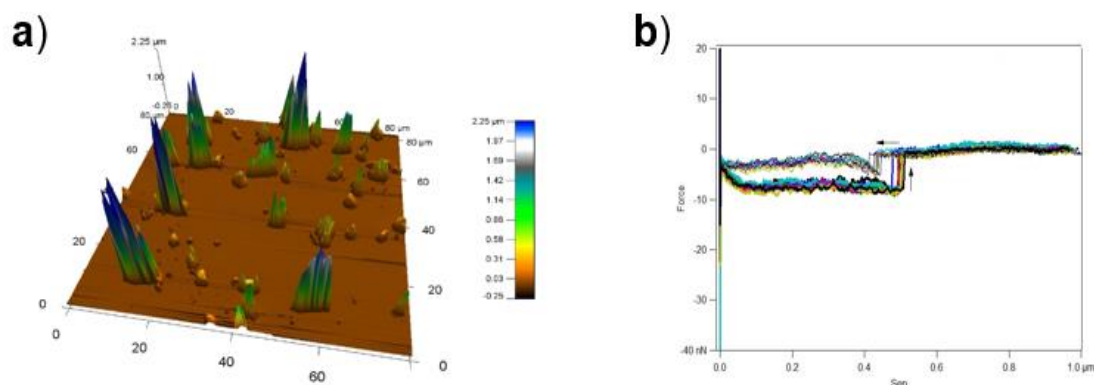


Figure 1: (a) Image 3D montrant les particules atmosphériques collectées sur le 5ème étage de l'impacteur à cascade et (b) les courbes de force mesurées dans les particules atmosphériques en déliquescence par l'AFM.

Références

- [1] Lee H.D et al, ACS Earth and Space Chem. **2020**, 4, 650 - Xiong C. et al. Atmos. Chem. Phys **2022**, 22 16123

Etude des interactions entre cristaux phosphocalciques et modèles de membranes cellulaires : application aux micro-calcifications associées à l'arthrose

Louize TOUATI^{1,2}, Cédric CHARVILLAT¹, Valérie COUDERT², Pierre CARLES², Evert HAANAPPEL³, Stéphanie SARDA¹, Christèle COMBES¹, Chantal DAMIA²

¹CIRIMAT, Toulouse INP, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, CNRS, Université de Toulouse, ENSIACET, 4 allée Emile Monso, 31030 Toulouse cedex 4, France

²IRCER, Université de Limoges, CNRS, 12 rue Atlantis, 87068 Limoges cedex, France

³Institut de Pharmacologie et Biologie Structurale (IPBS), Université de Toulouse, CNRS, Université Toulouse III- Paul Sabatier (UT3), 31077 Toulouse cedex 4, France

L'arthrose est considérée aujourd'hui comme l'affection rhumatismale la plus fréquente dans le monde et comme l'une des principales causes de douleurs et d'incapacité chez les adultes.¹ La présence de calcifications phosphocalciques au sein de l'articulation est un facteur de risque de la progression de la maladie, associée à une inflammation du liquide synovial et à la destruction progressive du cartilage. Ces microcristaux peuvent être composés de phases cristallines d'orthophosphate de calcium, principalement de l'apatite carbonatée (CA), laquelle peut être associée à une phase secondaire de pyrophosphate de calcium dihydraté (m-CPPD ou t-CPPD).² Le fort caractère inflammatoire de la phase m-CPPD³ pourrait être dû au phénomène de « membranolyse » induit par des liaisons hydrogène ou des interactions électrostatiques entre la surface des cristaux et les membranes cellulaires.⁴ Les travaux présentés ici s'inscrivent dans le projet ANR OASIS (2022-2025) dont l'objectif est d'améliorer la prise en charge des patients atteints d'arthrose par le développement d'une nouvelle méthode de diagnostic et par l'étude des mécanismes cellulaires liés à la maladie.

La microscopie à force atomique (AFM) est une technique de choix pour étudier les interactions prenant place entre des cristaux et des membranes cellulaires, lesquelles peuvent, dans un premier temps, être modélisées par des membranes synthétiques. En effet, elle est parfaitement adaptée à l'étude de l'organisation nanométrique et des propriétés mécaniques des membranes. Elle permet l'analyse, en temps réel, d'échantillons biologiques en milieu aqueux et à température contrôlée (conditions physiologiques). De plus, l'approche en spectroscopie de force permet de mesurer de très faibles forces (nN) adaptées à la souplesse de ces échantillons.

Les premières étapes du protocole d'étude ont d'ores et déjà été franchies. Tout d'abord, les cristaux biomimétiques de m-CPPD et CA ont été synthétisés par double décomposition en milieux aqueux ; après séchage les poudres ont été finement caractérisées (DRX, FTIR et MEB). Les membranes synthétiques modèles composées de mélanges de phospholipides POPC/POPS (POPC : 1-palmitoyl-2-oleoyl-glycero-3-phosphocholine et POPS : 1-palmitoyl-2-oleoyl-sn-glycero-3-phospho-L-serine (sodium salt), Avanti Polar Lipids) ont été préparées par fusion de vésicules (SUV) sur un substrat de mica. L'homogénéité des membranes supportées fraîchement déposées a été contrôlée par AFM Dimension Icon (Figure 2, mode PF-QNM, cantilever ScanAsyst-Fluid, Bruker). Un protocole de fonctionnalisation des cantilevers avec les cristaux d'intérêt à l'aide d'un microscope FIB ZEISS CrossBeam 550 a été mis en place (Figure 1). Par la suite il sera nécessaire de définir et contrôler les différents paramètres de mesure (force d'appui, vitesse de retrait, raideur du cantilever, temps de contact) pour permettre l'étude par spectroscopie de force des interactions cristaux-membranes. Les courbes de forces obtenues lors du retrait de la pointe fonctionnalisée au contact de la membrane permettront d'identifier la présence et la nature des interactions. Il est envisagé d'étendre l'étude à des compositions de modèles membranaires plus complexes puis aux cellules de type macrophage (différenciation de THP-1) rencontrées lors de phases inflammatoires de l'articulation.

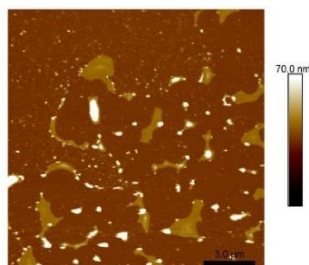


Figure 2. Image AFM (mode PF-QNM) d'une bicouche supportée de POPC déposée sur mica à 25°C.

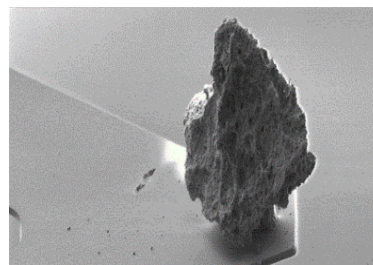


Figure 1. Pointe ScanAsyst fonctionnalisée par des cristaux d'apatite carbonatée (CA) par dépôt de platine au FIB.

¹ S.C. Foreman et al., *Osteoarthritis and Cartilage* 28 (février 2020) n° 2 : 201-7, <https://doi.org/10.1016/j.joca.2019.10.003>.

² Hang-Korng Ea et al., éd. par Dimitrios Zeugolis, *PLoS ONE* 8 (28 février 2013), n° 2 : e57352, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057352>.

³ Laure Campillo-Gimenez et al., *Frontiers in Immunology* 9 (9 octobre 2018) : 2248, <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.02248>.

⁴ Neil S. Mandel, *Arthritis & Rheumatism* 19 (1976) n° S3 : 439-45.

Interactions entre fibres de verre micrométriques

Sacha Bouvier, Agnès Piednoir, Anne-Laure Biance, Cécile Cottin-Bizonne

Institut Lumière Matière, CNRS - UCBL1, 10, rue Ada Byron, 69622 Villeurbanne

La laine de verre est sollicitée mécaniquement au cours de sa fabrication et de son installation et les interactions à l'échelle de la fibre comme le frottement, la flexion, le glissement, l'adhésion ou encore la casse, auront un impact sur le procédé ainsi que sur les propriétés finales du produit. De plus, ces fibres sont recouvertes d'additifs pour améliorer le procédé et leur donner des propriétés particulières (antistatiques, hydrophobes...). La quantité et la nature de ces additifs sont également des paramètres ayant un impact sur le frottement entre fibres et l'éventuelle présence de ponts capillaires. De même, de l'eau provenant du procédé ou de l'atmosphère peut être présente dans le produit et pourrait réduire la mobilité des contacts entre fibres. Des expériences macroscopiques ont effectivement mis en évidence des différences de lubrification et d'adhésion, mais sont loin d'être représentatives des comportements observables à l'échelle microscopique.

Pour identifier les paramètres microscopiques interfibres qui pilotent les propriétés mécaniques d'un amas de fibres de verre, nous avons choisi d'étudier la friction et l'adhésion entre deux fibres. La friction entre deux fibres de verre peut être mesurée grâce à un montage de flexion 3 points tandis que l'adhésion entre deux fibres de verre peut être évaluée grâce à la spectroscopie de force (figure 1). La géométrie de cylindres croisés permet la modélisation des courbes de force en fonction de la force d'appui.

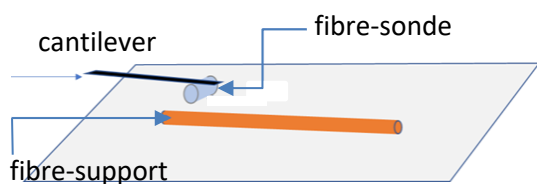


Figure 1 : Principe de la mesure des forces d'adhésion.

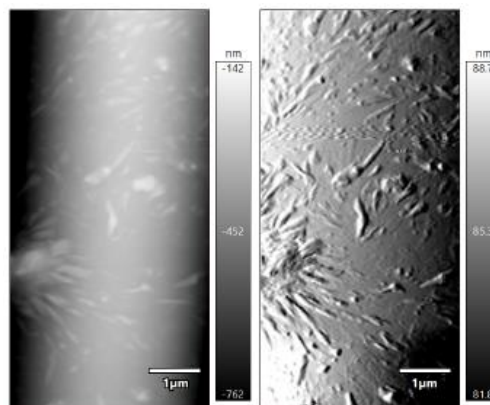


Figure 2 : Images topographique et d'amplitude d'une fibre sonde fixée au cantilever avec une colle polymérisable (NOA).

La fabrication propre des fibres sondes calibrée est délicate. Les fibres utilisées ont un diamètre constant compris entre 15 et 20 μm , une surface lisse et propre. Lors du collage sur un cantilever d'un morceau de fibre de verre de longueur max 100 μm , aucun résidu de colle ne doit venir polluer la surface de verre (figure 2). Pour mesurer l'adhésion fibre / fibre, nous réalisons de la spectroscopie de force avec la fibre-sonde en différents endroits de la fibre-support. L'influence de l'humidité et des additifs a également été suivie. En particulier, nous avons observé une forte adhésion à haute humidité. Enfin nous discuterons les effets des contacts successifs sur le vieillissement de la surface.

Chaînes moléculaires unidimensionnelles sur isolants ultraminces

Rémi BRETTEL, Séverine LE MOAL, Hamid OUGHADDOU, Eric LE MOAL*

Université Paris-Saclay, CNRS, Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay, 91405, Orsay, France

*eric.le-moal@universite-paris-saclay.fr

Les chaînes linéaires de molécules aromatiques sur des films minces isolants sont amenées à devenir essentielles pour l'étude par microscopie à effet tunnel (STM) des effets du confinement quantique sur les propriétés électroniques et excitoniques des systèmes moléculaires [1,2]. Cependant, jusqu'à présent, de telles chaînes linéaires sur des isolants minces n'étaient obtenues qu'en assemblant les molécules une à une à l'aide de la pointe d'un STM, ce qui limite fortement le champ des investigations possibles et entrave les applications potentielles en technologie des dispositifs. Nous démontrons ici la croissance spontanée de ces chaînes linéaires par auto-assemblage moléculaire sur des films minces isolants (1 à 3 couches atomiques d'épaisseur) [3]. Cette croissance est particulièrement difficile en raison des faibles interactions entre les molécules adsorbées et la surface isolante. Dans ce travail, nous surmontons cette difficulté en utilisant une molécule prochirale (la quinacridone) et un isolant ionique (le chlorure de potassium, KCl). Il a été démontré que la quinacridone s'auto-assemble en chaînes homochirales sur les métaux, via la formation de liaisons hydrogène entre molécules voisines [4]. De plus, la quinacridone s'est avérée être un système modèle unique pour l'étude des transitions optiques induite par le courant tunnel à l'échelle submoléculaire [5]. Ici, nous profitons des interactions électrostatiques entre les groupes fonctionnels (partiellement chargés) de la quinacridone et les ions de la couche KCl sous-jacente pour stabiliser les chaînes moléculaires [3]. En utilisant un STM à basse température sous ultravide, nous déterminons l'arrangement moléculaire de ces chaînes et leur relation d'épitaxie avec le substrat.

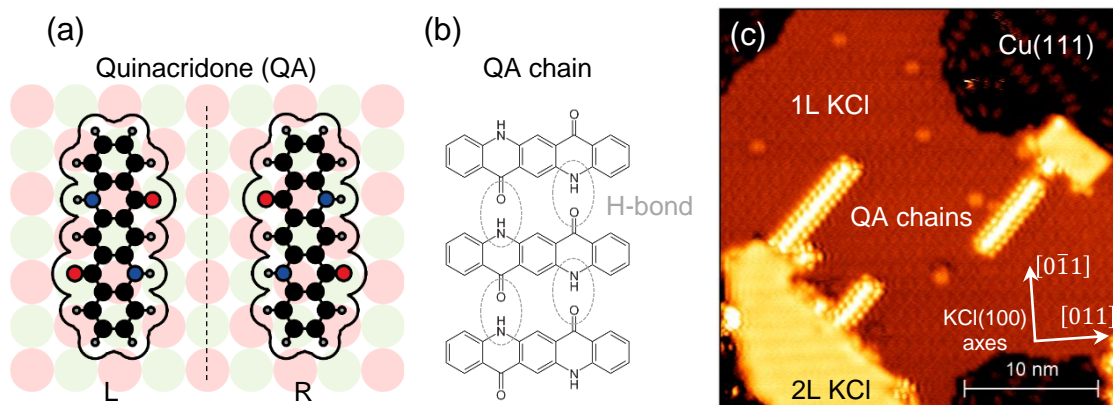


Figure 1 : (a) Modèle de sphères dures et rayons de van der Waals de la quinacridone posée sur une surface de KCl(100). La molécule est une molécule prochirale, c'est-à-dire que selon sur quelle face la molécule s'adsorbe sur une surface, elle est l'un ou l'autre des deux énantiomères (L ou R) représentés sur la figure. (b) Représentation schématique d'une chaîne homochirale (c'est-à-dire énantiopure) de molécules de quinacridone liées par liaisons hydrogène. (c) Images topographiques STM (4,0 V, 4 pA) de molécules de quinacridone déposées sur un film ultra-mince de KCl sur Cu(111). [3]

Références

- [1] B. Doppagne et al, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 127401 (2017)
- [2] Y. Luo et al, *Phys. Rev. Lett.* **122**, 233901 (2019)
- [3] R. Bretel et al, *Phys. Rev. B* **108**, 125423 (2023)
- [4] N. Humberg et al, *J. Phys. Chem. C* **124**, 24861 (2020)
- [5] S. Jiang et al, *Phys. Rev. Lett.* **130**, 126202 (2023)

Caractérisation par AFM de Fullerènes sur Au(111)

Paul MOSSER, Antoine HINAUT, Ernst MEYER & Thilo GLATZEL

*Affiliation des auteurs
Department of Physics, University of Basel, Klingelbergstrasse 82,
CH 4056 Basel, Switzerland*

Les fullerènes, en tant que molécule sphérique rigide, sont d'excellents accepteurs d'électrons. Le spectre d'absorption des fullerènes peut changer considérablement lorsqu'il s'approche d'une surface métallique, et une dépendance significative à la distance entre la molécule et le substrat est attendue[1]. À cette fin, les fullerènes peuvent être fonctionnalisés avec des groupes présentant une affinité de liaison avec la surface d'or. Ces groupes fonctionnelles peuvent ainsi être utilisés pour ajuster le couplage avec les plasmons de surface.

Dans le cadre de cette étude, la molécule N-pyridyl-3,4-fulleropyrrolidine (C60-Py) est examinée car elle est supposée former des liaisons Au-N une fois adsorbée sur une surface d'or Au(111). Les C60-Py ont été évaporés sur une surface Au(111) et caractérisés par nc-AFM et KPFM à température ambiante et dans des conditions UHV.

Les topographies AFM des îlots de C60-Py montrent des grandes différences de hauteur entre les molécules. Cependant, le paramètre de maille reste le même que pour l'auto-assemblage des C60. Le groupe pyridyl-pyrrolidine a donc une influence sur l'auto-assemblage sur des molécules adsorbées sur Au(111). Les mesures KPFM montrent un contraste de CPD entre le substrat, les îlots de C60 et les îlots de C60-Py, indiquant ainsi une différence de travail de sortie entre les deux molécules d'environ 150meV. [2][3][4].

Références

- [1] F. N. Diederich, *Cyclophanes*. The Royal Society of Chemistry, **1991**.
- [2] B. Hoff, C. R. Henry, and C. Barth, "Charging C₆₀ islands with the AFM tip," *Nanoscale*, vol. 8, no. 1, pp. 411–419, **2016**.
- [3] A. Hinaut, S. Scherb, S. Freund, Z. Liu, T. Glatzel, and E. Meyer, "Influence of electrospray deposition on C₆₀ molecular assemblies," *Beilstein J. Nanotechnol.*, vol. 12, pp. 552–558, Jun. **2021**.
- [4] U. Zerweck, C. Loppacher, T. Otto, S. Grafström, and L. M. Eng, "Kelvin probe force microscopy of C₆₀ on metal substrates: towards molecular resolution," *Nanotechnology*, vol. 18, no. 8, p. 084006, Feb. **2007**.

Monocouches auto-assemblées de chromophores push-pull sur or pour la détection sélective de biomolécules

Junlong WANG¹, Virginie GADENNE¹, Jean-Manuel RAIMUNDO², Lionel PATRONE¹

¹Aix Marseille Univ., Université de Toulon, CNRS, IM2NP UMR 7334, ISEN Yncréa Méditerranée, Maison du Numérique et de l'Innovation, Place G. Pompidou, 83000 Toulon, France
²CINaM UMR CNRS 7325, Aix-Marseille Université, 13288 Marseille cedex 09, France

La détection spécifique d'anticorps à l'aide d'interactions liantes anticorps/antigène a fait l'objet de nombreuses études dans le domaine des biocapteurs [1-3]. Parmi les différentes approches, un système ON/OFF fonctionnel prometteur a été proposé dans la littérature, basé sur la modification réversible de la conformation d'un oligopeptide chargé par l'application d'un potentiel électrique à la surface, permettant ainsi de contrôler l'interaction anticorps-antigène. [4]. Jusqu'à présent, ce système ne peut répondre qu'à un seul stimulus électrique, limitant ainsi son utilisation à un seul couple anticorps/antigène. Pour surmonter ce verrou scientifique, nous proposons de développer un système alternatif permettant la détection de l'interaction liante de plusieurs paires anticorps/antigène au sein d'une seule plateforme. Pour cela, nous envisageons une approche originale basée sur l'utilisation de chromophores « push-pull » pour contrôler le potentiel permettant de basculer la conformation de l'oligopeptide entre l'état OFF (interaction anticorps-antigène non autorisée) et l'état ON (interaction autorisée). La structure des chromophores push-pull comportant des groupements donneur et attracteur d'électron séparés par un espaceur π -conjugué permet de générer un dipôle électrique en leur sein, dont les caractéristiques dépendent de la nature des groupements. L'idée est ainsi d'ajouter des chromophores push-pull présentant différents moments dipolaires électriques - chacun étant associé à une valeur de potentiel électrique spécifique - entre la surface et l'oligopeptide supportant un antigène donné, et d'insérer ces systèmes au sein d'une matrice inerte d'un composé moléculaire d'oligoéthylèneglycol (OEG) (Figure 1).

Par conséquent, dans ce travail, nous avons synthétisé des chromophores push-pull originaux non chargés portant un groupe d'ancrage thiol, et étudié leurs monocouches auto-assemblées (SAM) sur des surfaces d'or. Après avoir analysé l'influence de différents paramètres (ex : solvant, concentration,...) sur la qualité des films de push-pull homogènes, nous avons consacré nos travaux à la préparation de SAMs constituées de chromophores push-pull isolés au sein de la matrice inerte d'OEG (Figure 2a), en testant diverses approches et divers paramètres. En outre, nous avons également étudié la préparation sur substrat d'or de monocouches auto-assemblées d'OEG, d'oligopeptides chargés, et leurs couches mixtes (Figure 2b) qui serviront de systèmes de référence pour les expériences de déploiement des oligopeptides par application de la tension, afin de pouvoir mettre en évidence l'effet du push-pull sur la tension d'activation. Tous les films moléculaires résultants ont d'abord été analysés par la mesure d'angle de contact de l'eau. Pour aller plus loin, la structure des monocouches moléculaires auto-assemblées sur le substrat a été caractérisée par différentes techniques de microscopie à sondes locales telles que la microscopie à force atomique, à force électrique, et la microscopie à effet tunnel en modes imagerie et mesures de caractéristiques courant-tension. Quant aux informations sur la composition chimique et aux informations structurales des films moléculaires, elles ont été obtenues par spectroscopie Raman exaltée par la surface, spectroscopie infrarouge à modulation de polarisation, et XPS.

La prochaine étape abordera d'une part la stratégie de greffage de l'oligopeptide sur les chromophores push-pull isolés dans la matrice inerte, et d'autre part l'étude de l'effet du dipôle des push-pull sur la tension électrique permettant de déplier l'oligopeptide chargé pour activer l'état ON du capteur.

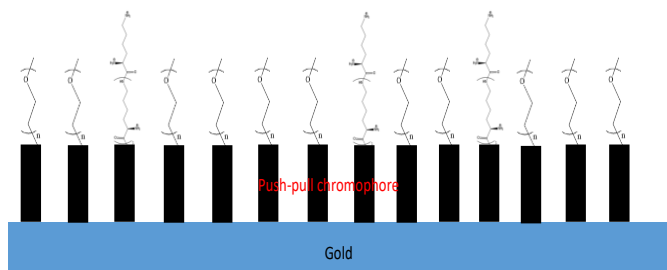


Figure 1: Structure des films envisagés utilisant des chromophores push-pull pour moduler la tension d'activation permettant la détection sélective de biomolécules

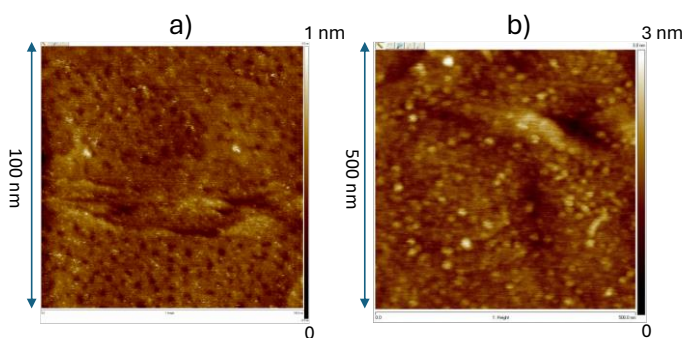


Figure 2: a) image STM de chromophores push-pull (spots blancs) insérés dans une matrice d'OEG (mPEG12-SH) ; b) image AFM d'oligopeptides chargés (4KC) dispersés dans une matrice d'OEG (mPEG12-SH)

Références

- [1] Casalini, S.; Dumitritu, A.C.; Leonardi, F.; *et al.*, *ACS Nano* **2015**, 9, 5051.
- [2] Marquette, C. A.; Blum, L.J. *Biosens. Bioelectron.* **2006**, 21, 1424.
- [3] Wen, W.; Yan, X.; Zhu, C. *et al.*, *Anal.Chem.* **2017**, 89, 138.
- [4] Santos Gomes, B.; Cantini, E.; Tommasone, S.; *et al.*, *ACS Appl.Bio.Mater.*, **2018**, 1, 738.

CN-based molecules as a flexible toolbox for synthesis of low-dimensional carbon nitrides structures

Edward DUNN¹, Nesrine SHAIK¹, Victor VAILLANT¹, Djamila HOURLIER¹,
Eric FAULQUES¹, Stephane LENFANT¹, Vincent HUC², **Nataliya KALASHNYK**¹

1) IEMN, Université de Lille, Cité Scientifique, Avenue Henri Poincaré, 59 652 Villeneuve d'Ascq, France
2) ICMMO, Université Paris-Saclay, Bât. Henri Moissan, 17 avenue des Sciences, 91400 Orsay, France

In the last decade the research community has shown a growing interest in graphitic carbon nitrides (g-CN) [1], thanks to their intriguing electronic and photochemical characteristics. Furthermore, certain g-CNs are anticipated to demonstrate electronic properties akin to graphene. Among them, g-C₃N₄ [2] and g-C₂N [3] possess the same graphene-like structure, with some C atoms removed, whereas the surrounding C are replaced by nitrogen. This results in the formation of regular pores within the structure that trigger further widening of a direct bandgap. Another distinction from graphene layers is that g-C₃N₄ films are 2D crystals composed of a few to several hundred atomic layers in thickness. Recently, V. Huc et al. at ICMMO pioneered a study evidencing that the thickness of these 2D crystals could be reduced to a single layer of porous carbon nitrides (C₂N and CN flakes) by an *extreme double confinement effect* during the synthesis in solution, i.e., Fittig reaction [4].

Here we show the first results on novel CN-based halogenated precursors (inset in Fig.1a). The conformation of molecules was initially checked with Raman spectroscopy and infrared absorption (Fig.1a) prior to be subjected to the Fittig reaction required for the elaboration of the 2D porous carbon nitride structure. The TEM study confirms the formation of 2D flakes that are occasionally covered with 1D wires (Fig. 1b). The solution of the final product was also dropcasted onto HOPG for ambient AFM study which demonstrate the presence of dense agglomerates of 1D structures on the surface (Fig. 1c,d). This might be due to the fact that not all the molecules underwent the Fittig reaction. To favour the formation of 2D porous structure alone it is envisioned to conduct experiments in UHV condition where these molecules adsorbed on metal surface will be subjected to elevated temperature to trigger intermolecular on-surface reaction.

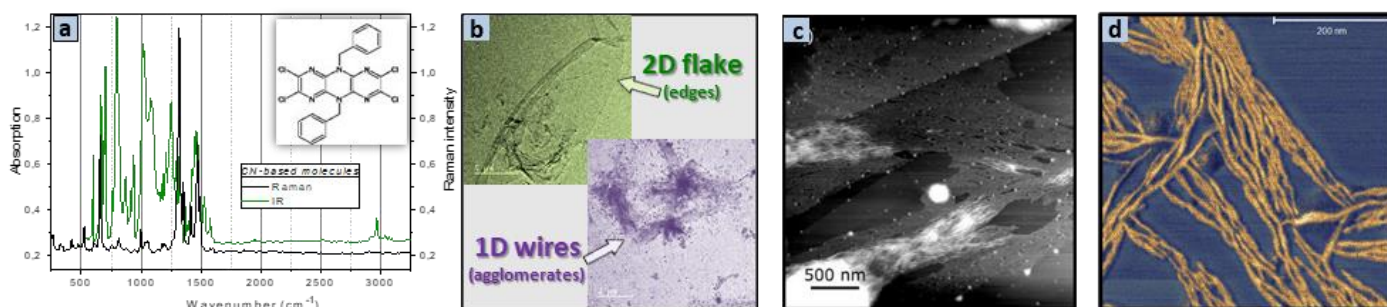


Figure 1: (a) Experimental Raman and IR spectra of pristine CN-based halogenated precursor presented in the inset. (b) TEM images of 2D porous carbon nitride flakes either intact or covered with 1D molecular nanowires. (c) Large scale topographic AFM image of molecular nanowires on HOPG surface and (d) close-view phase image of this 1D structures on the surface. Images collected in intermittent contact.

Références

- [1] Cooper, A. I.; Bojdys, M. J. *Mater. Today* **2014**, *17*, 468
- [2] Algara-Siller, G.; Severin, N.; Chong, S. Y.; Björkman, T.; Palgrave, R. G.; Laybourn, A.; Antonietti, M.; Khimyak, Y.Z.; Krasheninnikov, A. V.; Rabe, J. P.; Kaiser, U.; Cooper, A. I.; Thomas, A.; Bojdys, M. J. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, 7450
- [3] Mahmood, J.; Lee, E. K.; Jung, M.; Shin, D.; Jeon, I-Y.; Jung, S-M.; Choi, H-J.; Seo, J-M.; Bae, S-Y.; Sohn, S-D.; Park, N.; Oh, J. H.; Shin, H-J.; Baek, J-B. *Nat. Commun.* **2015**, *6*, 6486
- [4] Da Silva, C. M.; Vallet, M.; Semion, C.; Blin, T.; Saint-Martin, R.; Leroy, J.; Dragoé, D.; Brisset, F.; Gillet, C.; Guillot R.; Huc, V. *Sci. Rep.* **2023**, *13*, 15423

Key parameters affecting the local material characterization of interfaces in polymer blends: dialogue between AFM measurements and FEA simulations

Matéo SAINT-OURENS¹, Florent DALMAS¹, Renaud RINALDI¹ et David ALBERTINI²

¹ Université Claude Bernard Lyon 1, INSA Lyon, CNRS UMR 5510, MATEIS, 69621 Villeurbanne, France

² Université Claude Bernard Lyon 1, INSA Lyon, CNRS UMR 5270, Institut des Nanotechnologies de Lyon, 69616 Villeurbanne, France

With the increasing emphasis on recycling and the challenges associated with sorting polymers in particular, non-miscible polymer blends are arising as potential end materials. The associated scientific challenge is thus to better understand and predict the behavior of such materials. More specifically, in immiscible blends the role and properties of interfacial regions (interfaces with or without interphases) are crucial and need to be reliably characterized. To that end, the dialogue between AFM measurements and FEA linear elastic calculations is further pursued. Indeed, while AFM is a powerful tool essential for the microstructural and micromechanical characterizations of nanostructured systems, it remains a very much indirect measurement affected by multiple factors inherent to nanoindentation. Thus, through the association of experimental AFM measurements and FEA simulations, we will attempt to understand the key metrics triggering the modulus reduced from AFM measurements, and how, for instance, it is affected by varying parameters such as geometrical ones (the surface topology, the interface orientation ...) and local material properties (phases and interphases). Now focusing on polymer systems, attention will also be devoted to a more refined description of their small strain mechanical behavior, namely the account for the time dependent viscoelastic response.

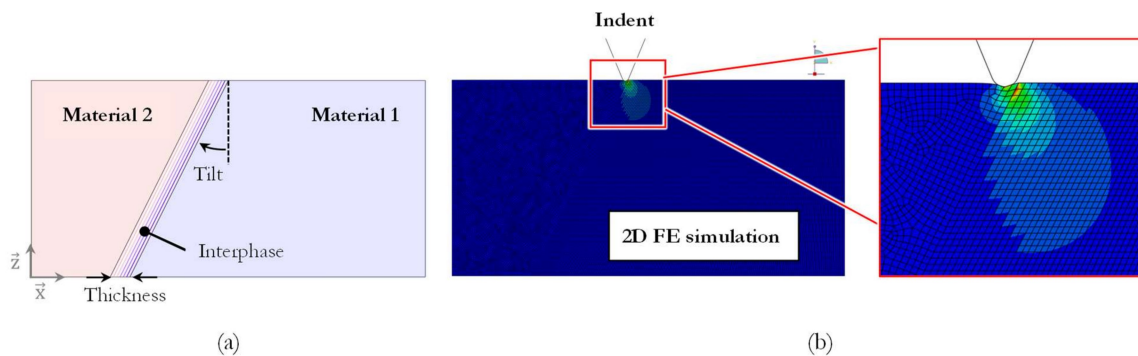


Figure 1 : a) geometrical model of a titled interphase ; (b) Finite Element 2D simulation evidencing the Von Mises stress distribution under the tip of the indent

Croissance de polymère 2D en surface d'isolant massif par photocycloaddition [4+4]

Elie Geagea¹, Laurent Nony¹, Sylvain Clair¹, Christian Loppacher¹, Markus Lackinger², and Benjamin T. King³

¹Aix Marseille Univ, CNRS, IM2NP, UMR 7334, Marseille, France

²Deutsches Museum, Museumsinsel 1, 80538 München, Germany & Physics Department, Technische Universität München, James-Frank-Strasse 1, 85748 Garching

³Department of Chemistry, University of Nevada, Reno, NV 89557-0216, USA

La fabrication de nanostructures liées de manière covalente sur des surfaces isolantes est particulièrement prometteuse en termes d'applications, mais leur synthèse reste un défi pour la fabrication de nanostructures à grande échelle et sans défaut car ces surfaces ne participent pas au processus de croissance contrairement aux cas des surfaces métalliques. Sur les substrats isolants, seuls quelques travaux ont été présentés jusqu'à présent, les plus prometteurs utilisant l'éclairage UV pour activer le processus de polymérisation.

Les iptycènes sont des composés très stables avec des structures aromatiques tridimensionnelles. Un dérivé à trois branches triptycène-anthracène dont les périphériques substitués par du fluor (FANTRIP) a été auto-assemblés avec succès et ultérieurement photopolymérisé à l'interface air/eau [1] ainsi que sur divers substrats [2]. Sur les substrats métalliques, il a été démontré que la réduction de l'interaction molécule-substrat par passivation à l'iode de la surface Au(111) favorise la formation de couches larges et hautement organisées avec un arrangement photo-polymérisable [3]. Les lames d'anthracène étendues renforcent la stabilité des structures supramoléculaires et favorisent un autoassemblage dans lequel toutes les lames d'anthracène de chaque monomère sont empilées face à face. Cette organisation est essentielle pour faciliter la polymérisation latérale ultérieure par des photo-cycloadditions intermoléculaires [4+4]. Dans ce travail, nous utilisons les connaissances des réactions topo-chimiques photo-induites précédemment rapportées pour élaborer le même système polymère sur des cristaux ioniques isolants.

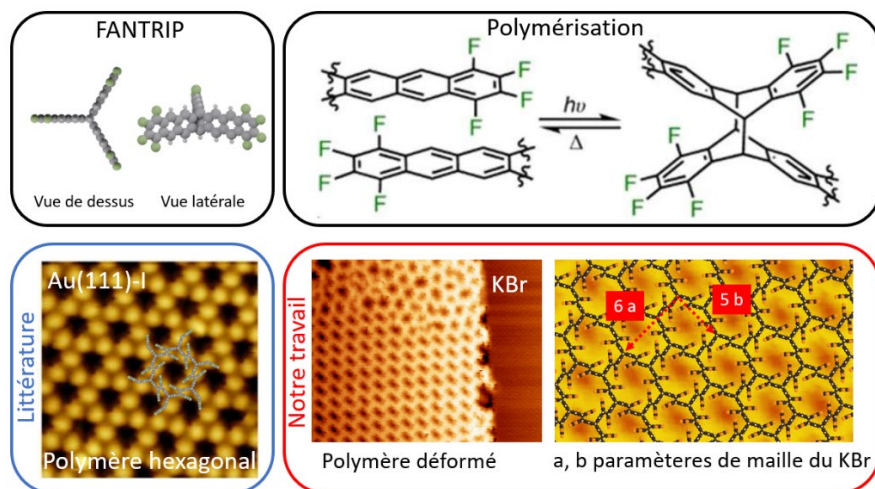


Figure 1 : Schémas récapitulatif de la réaction de photopolymérisation de FANTRIP comparant les résultats obtenus dans la littérature en surface de Au(111)-I à celles obtenues dans notre travail sur la surface isolante du KBr massif.

Nos résultats montrent que, sur les cristaux ioniques, l'interaction molécule-substrat n'est pas suffisante pour maintenir l'assemblage supramoléculaire qui se forme après dépôt ce qui se manifeste par une dégradation rapide sous forme de démoillage des molécules. Cette phase autoassemblée étant indispensable pour optimiser la qualité de la structure du polymère 2D, une optimisation des paramètres de dépôt et d'illumination ainsi que le substrat ionique utilisé peut être adaptée. Ainsi, en surface de KBr, on obtient un mélange de polymère avec et sans défauts correspondant à des polymérisations de molécules en diffusion lors de démoillage et d'autres gardant leur assemblage organisé. De façon intéressante, on découvre que l'extension de la taille du polymère organisé engendre une déformation de sa structure cristalline (hexagonale) qui se dilate suivant une direction cristalline du KBr et rétrécit suivant la deuxième perpendiculaire. Ceci résulte de la tendance du système à améliorer sa stabilité en favorisant une adsorption point sur point des deux mailles du substrat et du polymère, se montrant possible grâce à la flexibilité de ce dernier.

Références

- [1] D.J. Murray et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, 137, 3450
- [2] L. Grossmann et al., *Nat. Chem.* **2021**, 13, 730
- [3] L. Grossmann et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, 61, e202201044

Ferroelectric texture of individual barium titanate nanocrystals

Athulya Muraleedharan¹, Kevin Co², Maxime Vallet², Abdelali Zaki², Fabienne Karolak², Christine Bogicevic², Karen Perronet¹, Brahim Dkhil², Charles Paillard^{2,3}, Céline Fiorini-Debuisschert⁴, and François Treussart^{*1}

1. Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec, LuMIn, 91190 Gif-sur-Yvette, France

2. Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Laboratoire SPMS, 91190 Gif-sur-Yvette, France

3. Department of Physics, University of Arkansas, Fayetteville AR 72701, USA

4. Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, SPEC, 91191 Gif-sur-Yvette, France

Ferroelectric materials display exotic polarization textures at the nanoscale that could be used to improve the energetic efficiency of electronic components. The vast majority of studies were conducted in two dimensions on thin films, that can be further nanostructured, but very few studies address the situation of individual isolated nanocrystals synthesized in solution, while such structures could open other field of applications. Our work experimentally and theoretically study the polarization texture of ferroelectric barium titanate (BaTiO₃-BTO) nanocrystals (NC) attached to a conductive substrate and surrounded by air.

We synthesized NC of well-defined cubic shape and 160~nm average size, that conserve the tetragonal structure of BTO at room temperature. We investigated the inverse piezoelectric properties of such pristine individual NC by vector piezoresponse force microscopy (PFM) [1], taking particular care of suppressing electrostatic artifacts [2]. In the entire NC studied, we could not detect any vertical PFM signal, and the maps of the lateral response all displayed larger displacement amplitude on the edges with deformations converging toward the center. Using field-phase simulations dedicated to ferroelectric nanostructures, we were able to predict the polarization texture [3]. These simulations revealed that the NC core is composed of 180° up and down domains defining the polar axis, that rotate by 90° in the two facets orthogonal to this axis, eventually lying within these plane forming a layer of about 10 nm thickness mainly composed of 180° domains along an edge. From this polarization distribution, we predicted the lateral PFM response that revealed to be in very good qualitative agreement with the experimental observations. This work positions PFM as a relevant tool to evaluate the potential of complex ferroelectric nanostructures to be used as sensors. To take our research a step further, we are currently exploring the prospect of correlating PFM characterization with optical studies, particularly polarization resolved Second Harmonic Generation (SHG), in order to enhance our understanding of such complex ferroelectric nanostructures.

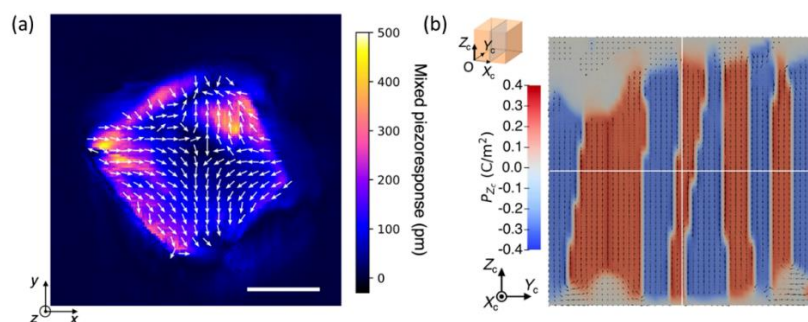


Figure 1: Mixed lateral piezoresponse field of single BTO NC displayed by a superimposed norm (color code) and direction maps (array of fixed length arrows at the nodes of a 7.8 nm pitch grid). Scale bar: 50 nm. (b) Planar distribution of the polarization component defining the polar axis ([001] direction). The alternation of red and blue shadings associated with positive and negative polarization components, respectively, illustrates the multiple 180° domains. Note that these components disappear within a small thickness near the surface.

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] Killgore, J. P., Robins, L., & Collins, L. *Electrostatically-blind quantitative piezoresponse force microscopy free of distributed-force artifacts*. *Nanoscale Advances*, **2022**, 4(8), 2036–2045.
- [3] Mangeri, J.; Espinal, Y.; Jokisaari, A.; Pamir Alpay, S.; Nakhmanson, S.; Heinonen, O. 29 *Topological phase transformations and intrinsic size effects in ferroelectric nanoparticles*. *Nanoscale* **2017**, 9, 1616–1624.

Digital twins shaped from real samples probed in Peak force AFM mode and their multi-sensorial exploration on an interactive virtual reality platform

Florence Marchi¹, I. ³Louis Mambert, Alexandru Ivan², Valentine Bolcato³, Nicolas Castagné⁴
¹Institut Néel, Univ. Grenoble Alpes, CNRS Grenoble, France; ²Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne, ENISE, Univ Lyon, LTDS, CNRS, France ; ³CIME Nanotech G-INP/UGA ; ⁴Univ. Grenoble Alpes, Grenoble INP, Phelma & GIPSA-Lab, Grenoble, France

With the development of the fast acquisition numerical electronic modules and fast computing, AFM has entered for ten years now in the new area of big data, thanks to the peak force technique and its associated modes. Indeed, with these modes, several maps related to rheological properties of a sample (local stiffness, local adhesion...) can be recorded along with the morphology map. This leads to a gallery of data matrix, displayed online during the sample scan. In addition, with the development of equipment which are combining AFM with another characterization technique (such as for example fluorescence microscopy), complementary scientific data are obtained on the same sample area. This enhances the diversity of the data related a given sample, but leads to a complexification of their analysis. The question on how to display, and moreover to explore, this diversity of such complementary experimental data the best way possible, is now emerging.

Our approach relies on Virtual Reality and on the concept of *digital twins*. We create a virtual nano-scene that integrates a digital twin shaped from the various maps and/or curves recorded with experimental instruments on a real sample. Then with VR and to go further than the WIMP (Windows, icons, menus and pointing device) interaction, our user gains possibility to interact with the digital twin: he/she can explore and interact with the virtual sample by using his/her human sensorimotor skills: sight, touch and hearing. Our station includes visual rendering of the sample morphology (through a screen or an immersive Head Mounted Display), and manipulation by means of a force-feedback haptic device [1,2]. Hence, the user can probe interactively together the morphology, the stiffness and the adhesion of the sample. Figure 1 shows two of the already available digital twins (osteoblast cell fixed on a glass substrate or a bi-polymer sample ; and microspheres of LDPE in a polystyrene matrix), and a person while using the station.

To bring this capability to a large audience, the interactive station relies on a standard computing environment on a laptop PC equipped with a powerful graphic card, and on a commercial force haptic device. The haptic device can be either a high fidelity system, or a low cost haptic system. In the custom-developed graphical user interface, several parameters (as the type of the back image...) and functions (zoom, focus on a single point...) are available, to enhance the experiment of navigation into the sample data.

A procedure to create semi-automatically a digital twin from AFM data acquired on the real sample, and furthermore to set up automatically the VR system on top of the digital twin, is currently under development.

A hands-on demonstration of this interactive station, and of the ongoing data-to-VR scene procedure, will be available during the conference. Bring your AFM images recorded in Peak-force mode of your favorite sample to create its digital twin and to explore it haptically and visually!

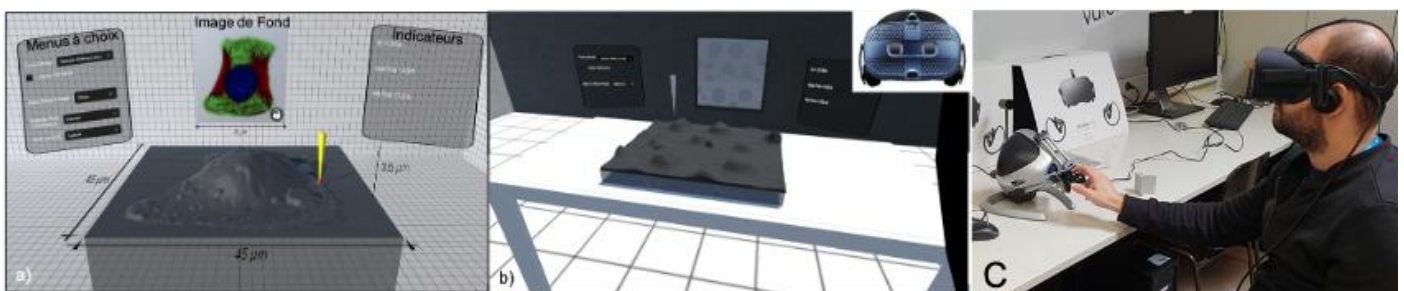


Figure 1 : Virtual scenes shaped from AFM maps (a) Digital twin of an osteoblast cell fixed on glass slide, the tip (in yellow) is controlled via the haptic force device (commercial equipment) ; (b) microspheres of LDPE (Low Density Polyethylene) in a polystyrene matrix and (c) immersion in the VR nano-scene with a Head Mounted Display while exploring haptically the digital twin of the sample.

References

- [1] "Visuo-haptic virtual exploration of single cell morphology and mechanics based on AFM mapping in fast mode", C. Petit, M. Kechiche, I. A. Ivan, R. Toscano, V. Bolcato, E. Planus and **F. Marchi**, [Journal of Micro-Bio Robotics](https://doi.org/10.1007/s12213-020-00140-5) 16(2):147-160; 2020 DOI: [10.1007/s12213-020-00140-5](https://doi.org/10.1007/s12213-020-00140-5)
- [2] "Instrumentation, VR and Haptic Systems applied to scanning and micromanipulation platforms: Research and Learning aspects *," F. Marchi, A. Niguès and N. Castagné, Proceedings of International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS), 2022, pp. 1-7, doi: 10.1109/MARSS55884.2022.9870489.

Correlating local adhesion with the functional group distribution on nanocellulose surface

João P. Cosas Fernandes^{1*}, Oussama Hamzah¹, Padraic O'Reilly², Bruno Jean¹, Yoshiharu

Nishiyama¹, Franck Dahlem¹

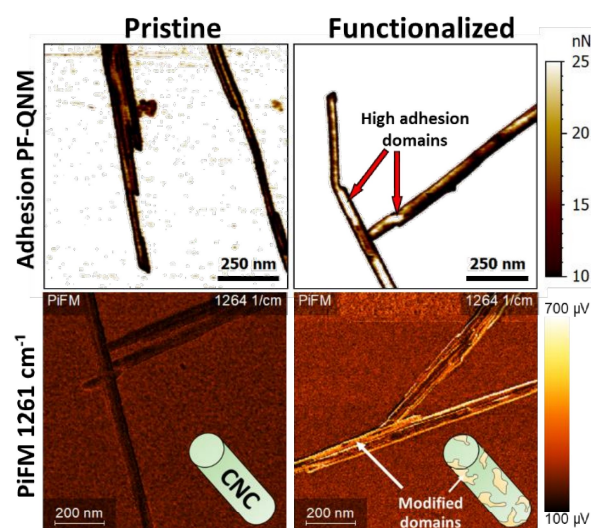
¹Université Grenoble Alpes, CNRS, CERMAV, 601 Rue de la Chimie, Grenoble 38000 Cedex 9, France

²Molecular Vista, San Jose, CA, USA

* joao.cosas@cermav.cnrs.fr

Nanocelluloses, such as nanofibers (CNFs) and nanocrystals (CNCs), are sustainable materials derived from natural sources, with high mechanical strength, a large specific surface area, and biodegradability. They can undergo chemical modifications on the hydroxyl groups, expanding their industrial potential. Understanding the local chemistry of nanocellulose surfaces can help unlock the full potential of this sustainable polymer in creating advanced, high-performance materials. However, nanocellulose surfaces are challenging to characterize due to their small dimensions, which often exceed the resolution of conventional characterization techniques. A candidate to tackle this issue is Photoinduced Force Microscopy (PiFM), a technique that uses a tunable infrared laser and an AFM tip to acquire spectroscopic information, with a resolution beyond 5 nm. (Nowak, D. *et al. Sci Adv* **2**, (2016))

In this study, we used two local probe techniques, nanomechanical AFM and PiFM, to gather mechanical and spectroscopic data from the surfaces of CNCs functionalized by sulfonation (SO₃H) following a periodate oxidation. We mapped the distribution of functional groups on these nanocellulose surfaces to investigate the uniformity of chemical modifications and their impact on the functional properties of these materials. We obtained topography and adhesion maps using PeakForce QNM, which revealed local variations in adhesion on the surface of functionalized nanocellulose crystals. PiFM images at specific wavenumbers related to the added functional groups showed similar local distributions, indicating a potential correlation between the functionalized areas and higher adhesion to the probe. The simultaneous acquisition of mechanical and spectroscopical information at the same location could aid in verifying this hypothesis and elucidate at which step of the chemical modification the patches are created. This combination of information at the nanocellulose surfaces holds promise for shedding light on the mechanisms of functionalization and application of these nanomaterials, e.g., within polymer matrixes.



Étude micromécanique et microstructurale au sein de l'albumen amylicé du grain de blé par AFM

Ramonda MICHEL^a, Olivier ARNOULD^b, Matthieu GEORGE^c, Jean-Yves DELENNE^d,
Valérie LULLIEN-PELLERIN^d

^aCTM-LMCP, U. Montpellier, Montpellier, France

^bLMGC, U. Montpellier, CNRS, Montpellier, France

^cL2C, U. Montpellier, CNRS, Montpellier, France

^dIATE, U. Montpellier, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

Le fractionnement du grain de blé, qui permet la séparation de l'albumen amylicé (au cœur) de ses parties périphériques pour produire de la farine, dépend de ses propriétés mécaniques. On distingue, chez le blé tendre, des blés dits « soft », dont l'albumen est friable, et « hard » plus résistant. Ils diffèrent par la présence de gènes codant deux protéines spécifiques, les Puroindolines (PINs) A et B, qui sont de forme sauvage (cas des soft) ou mutés (cas des hard). Ces protéines sont impliquées dans les interactions entre les constituants majeurs du grain (amidon et protéines de réserve qui entourent les granules, capables de former un réseau aux propriétés uniques appelé gluten). Nous avons pu disposer de lignées quasi-isogéniques pour la dureté qui ne diffèrent que par la présence de ces gènes sauvages ou mutés, alors que le fond génétique est identique, et montré que ces seuls gènes affectent les caractéristiques physiques et le comportement au broyage des grains [1,2].

Nous avons pu caractériser in situ les propriétés mécaniques respectives de l'amidon et du gluten et montré leurs différences, contrairement à ce qui est établi dans la littérature, grâce au développement d'une méthode originale où la pointe d'un Microscope à Force Atomique (AFM) est utilisée pour abraser la surface de l'échantillon à analyser [3]. Nous avons également mis en évidence des différences d'interfaces entre les polymères en fonction de la dureté du grain [4].

Enfin, nous avons utilisé la méthode de caractérisation mécanique par AFM par résonance de contact (CR-AFM) pour mesurer le module d'indentation (élastique) au sein de granules d'amidon (échelle de la centaine de nanomètres), moyennant une correction originale prenant en compte la topographie locale [5]. Cette méthode a été utilisée sur des sections de grains (céréales) et graines (légumineuses) de différentes origines botaniques pour comparer les propriétés de leurs amidons.

Références

- [1] Oury, F.-X. ; Lasme, P. ; Michelet, C. ; Rousset, M. ; Abecassis, J. ; Lullien-Pellerin, V. Relationships between wheat grain physical characteristics studied through near-isogenic lines with distinct puroindoline-b allele. *Theoretical and Applied Genetics* **2010**, 128(5), 913
- [2] Oury, F.-X. ; Lasme, P. ; Michelet, C. ; Dubat, A. ; Gardet, O. ; Heumez, E. ; Rolland, B. ; Rousset, M. ; Abecassis, J. ; Bar l'Helgouac'h, C. ; Lullien-Pellerin, V. Bread wheat milling behavior: effects of genetic and environmental factors, and modeling using grain mechanical resistance traits. *Theoretical and Applied Genetics* **2017**, 130(5), 929
- [3] Chichti, E. ; George, M. ; Delenne, J.-Y. ; Radjai, F. ; Lullien-Pellerin, V. Nano-mechanical properties of starch and gluten biopolymers from atomic force microscopy. *European Polymer Journal* **2013**, 49(12), 3788
- [4] Chichti, E. ; George, M. ; Delenne, J.-Y. ; Lullien-Pellerin, V. Changes in the starch-protein interface depending on common wheat grain hardness revealed using atomic force microscopy. *Plant Science* **2015**, 239, 1
- [5] Heinze, K. ; Arnould, O. ; Delenne, J.-Y. ; Lullien-Pellerin, V. ; Ramonda, M. ; George, M. On the effect of local samples loped during modulus measurements by contact-resonance atomic force microscopy. *Ultramicroscopy* **2018**, 194, 76

Couplage de la nano-indentation instrumentée et de l'AFM pour l'analyse mécanique d'un échantillon de polyimide

Denis MARIOLLE¹, Marina MELO DE LIMA², Vincent COUTELLIER², Christophe POULAIN¹ & Thomas JALABERT¹

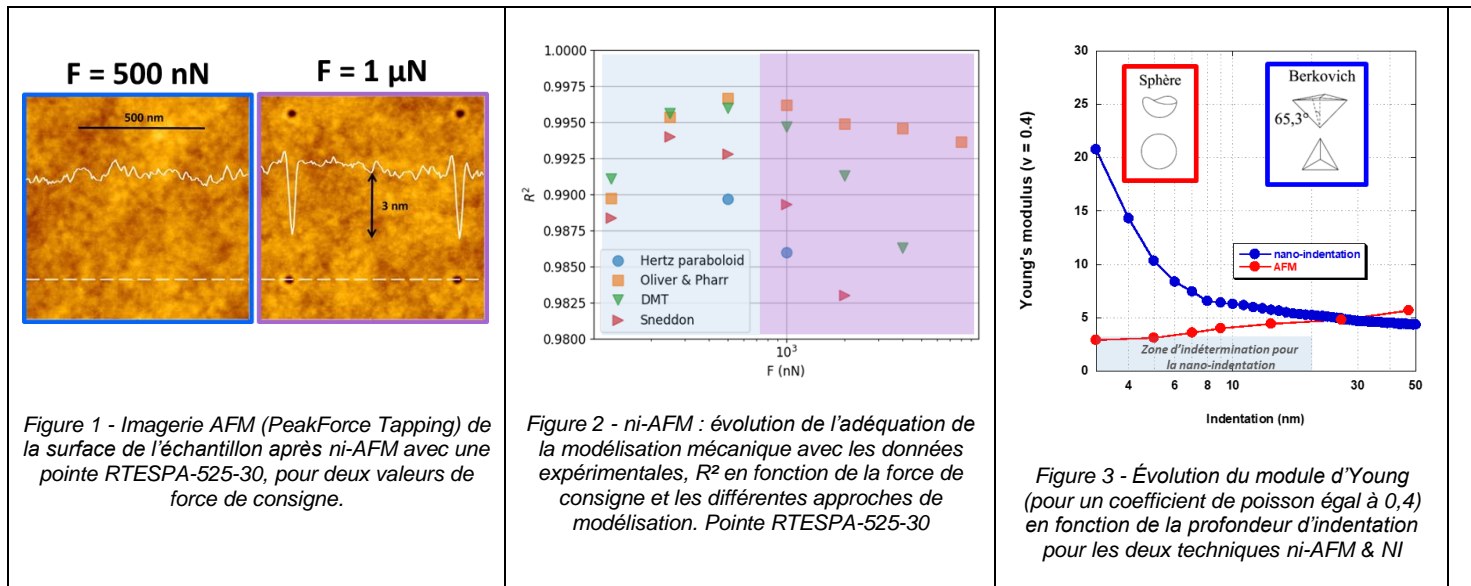
¹ Univ. Grenoble Alpes, CEA, Leti, F-38000 Grenoble, France.

² STMicroelectronics, 850 Rue Jean Monnet, F-38926 Crolles Cedex, France.

La quantification précise des propriétés mécaniques des polymères est cruciale pour leur intégration dans les circuits intégrés. En particulier, la connaissance de leur comportement en température est essentielle pour prévenir leur délamination pendant les étapes de fabrication. Les mesures de modules d'Young et de dureté sont généralement menées en utilisant la nano-indentation instrumentée (NI). Néanmoins, cette technique est difficile à mettre en œuvre pour les couches fines (épaisseur < 200 nm) à cause de l'indétermination de la position du point de contact entre l'indenteur et la surface de l'échantillon, ainsi que par la nécessité de prendre en compte la rigidité importante du substrat dans la modélisation des résultats expérimentaux [1]. A contrario, la nano-indentation par AFM (ni-AFM) est bien adaptée à ce cas de figure (couche mince) mais la profondeur sondée reste généralement faible (< 10 nm) permettant difficilement de relier ces mesures aux propriétés de volume du matériau.

Dans ce travail, nous présentons des analyses quantitatives et corrélative entre NI et ni-AFM en utilisant un échantillon commun : une couche de polyimide (épaisseur ~ 6 µm). Ce matériau a été choisi parce qu'il est possible de le déposer avec une très faible rugosité (RMS ~0.3 nm) – critère fondamental pour la ni-AFM – et qu'il est stable et homogène dans son volume (telles que montrées par des analyses XPS et Tof-SIMS).

Pour avoir une profondeur d'indentation commune entre les deux techniques, nous avons dépassé le seuil de plasticité en ni-AFM (Fig. 1) et appliqué une modélisation élasto-plastique proposée par Oliver & Pharr [2] pour un indenteur sphérique (Fig. 2). Dans ces conditions, la modélisation élastique de type Hertz [3] ou ses dérivées en prenant en compte l'adhésion (exemple : DMT) – modèles classiquement utilisés en ni-AFM – n'arrive plus à décrire les données expérimentales (chute du R² - Fig. 2). Vers 30 nm d'indentation [Fig. 3], l'accord entre les deux techniques est bon, ouvrant ainsi l'utilisation de cette échantillon comme référence commune de travail entre NI et ni-AFM. Cette approche pourrait également permettre de qualifier le rayon de courbure de la pointe en ni-AFM sur un échantillon dont on connaît précisément la loi de comportement en fonction de la profondeur indentée.



[1] S. Bec et al., Philosophical Magazine 86, 33-35, 347–5358 (2006)

[2] W. C. Oliver and G. M. Pharr, Journal of materials research 7, 1564-1583 (1992)

[3] I.N. Sneddon, International Journal of Engineering Science 3, 47-57 (1965).

Superlubricity – Role of carbon based coatings under colloidal lubrication

P-M Zubieta-Laborde^a, J-C Abry^a, S Pavan^a, Z. Gholamvand^b, M Fazeli^b, G Cross^b, A. Uluca^b, G Duesberg^c, **F Dubreuil**^{a*}, M.I De Barros-Bouchet^a

a Ecole Centrale de Lyon, CNRS, ENTPE, LTDS, UMR5513, 69130 Ecully, France

b CRANN&Amber, Trinity College Dublin, Ireland

c Institute of Physics, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Universität der Bundeswehr München, Germany

L'obtention de la superlubricité, i.e. un coefficient de friction inférieur à 1% dans des conditions de frottement sévère (basse vitesse ou forte pression de contact) revêt une importance cruciale pour le développement futur de systèmes économes en énergie [1]. Pour atteindre cet objectif différentes solutions technologiques sont étudiées : le choix d'une texturation/d'un revêtement des surfaces frottantes appropriée et l'ajout d'un lubrifiant incorporant des microparticules ou des composés bidimensionnels (flakes de graphène, feuillets de MoS₂, hypericine). Certains systèmes ont montré leur efficacité dans différentes conditions tribologiques [2, 3]. Nous nous intéressons plus particulièrement aux effets d'échelle et à essayer d'établir un lien entre le comportement tribologique des différents constituants à l'échelle unique (microparticules nue ou revêtues d'un film de carbone amorphe) en présence ou non de lubrifiant et la caractérisation du frottement à une échelle macroscopique dans le cas de contacts plan/plan. En particulier la résistance à l'usure et la longévité des différents constituants sera étudiée.

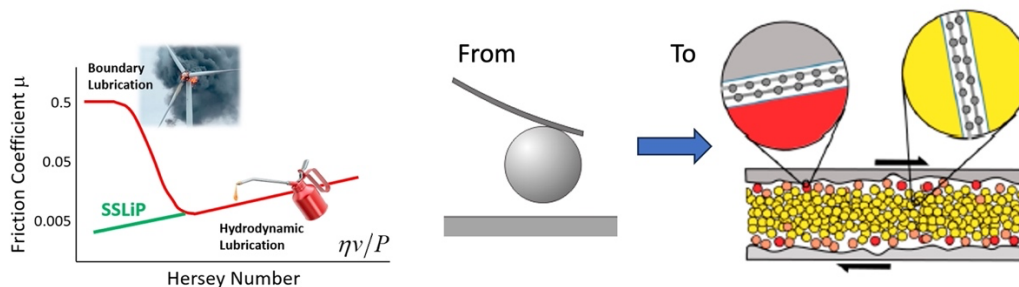


Figure 1 : Les enjeux du projet SSLiP : obtention du bas frottement en conditions sévères. Propriétés de friction des micro colloïdes par AFM et dans un contact plan/plan.

[1] HORIZON-EIC-2021-PATHFINDEROPEN-01, Project number: 101046693, SSLiP: Scaling-up Superlubricity into Persistence <https://www.sslip.eu/>

[2] Martin, J. M. et al., Phys. Rev. B 48, (1993) 10583–10586

[3] Long, Y. et al., Tribol Lett 70, 109 (2022).

Harnessing Torsional Resonances Detection

Peter De Wolf, Bede Pittenger, Shuiqing Hu

Bruker Nano Surfaces and Metrology, Santa Barbara, USA

While most AFM modes are based on measuring flexural bending of the cantilever, it is sometimes more useful to focus on the lateral or torsional motion of the cantilever. These signals can provide insights into the lateral anisotropy of the sample and variations of shear or frictional force. Here we report our research on several novel uses enabled by operating and detecting at torsional resonances. First, Torsional resonance Dynamic Friction (TR-DFM) is the resonant analogue of Lateral Force Microscopy (LFM) - measuring the amplitude and phase of the torsional resonance with the tip in contact with the surface, and feedback on the flexural deflection. This mode has recently proven an excellent way to characterize the near surface structure of Van der Waals stacks, allowing observation of single layer atomic lattices and moiré structures [1]. Figure 1 shows two examples. Additionally, TR-DFM can be applied to highly heterogeneous materials such as polymer composites to study the variations in shear stiffness and damping in these materials by combining force mapping methods (force volume and PeakForce QNM) with TR-DFM: during the time of contact between tip and sample (in each force-distance cycle), a TR oscillation can be applied, and the corresponding TR phase and amplitude can be collected. Figure 2 shows an example on a PDES sample on Si substrate. Third, the nearly in-plane motion of the torsional resonance can be used to investigate gradients parallel to the sample surface in electrical or magnetic fields by using lift-mode based techniques (TR-MFM, TR-EFM, and TR-KPFM). Figure 3 shows a PeakForce-MFM example where in-plane and out-of-plane magnetic fields are simultaneously measured during a lift-mode scan following a PeakForce QNM scan to acquire topography & mechanical properties. In the talk, we discuss each of these novel torsional resonance based methods including experimental details.

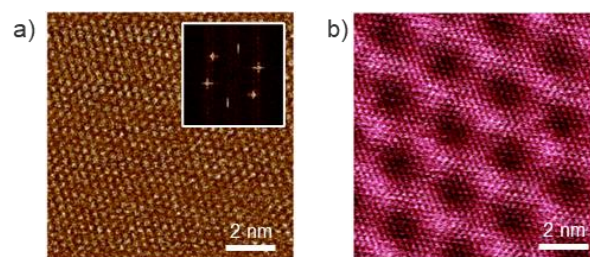


Figure 1: High-resolution TR-DFM examples: (a) Atomic lattice on HOPG (insert: FFT). (b) Moiré pattern formed by hBN layer on graphene. Both the 2.6 nm moiré pattern period and the underlying lattice of graphene are captured with atomic resolution.

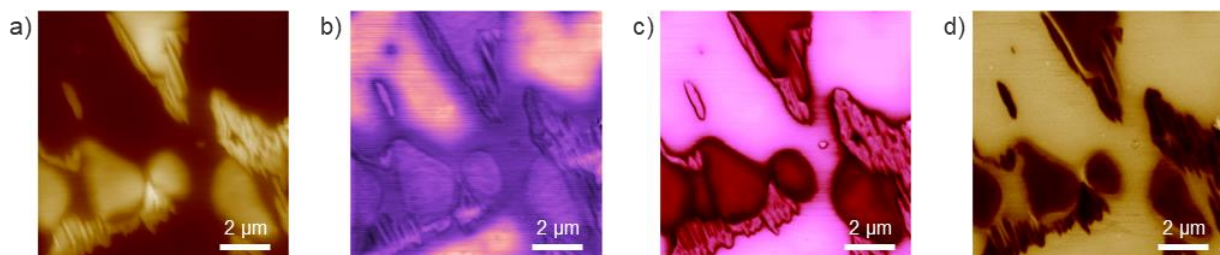


Figure 2: TR-DFM performed during force volume imaging on a PDES polymer sample. (a) Height, (b) adhesion and (c) stiffness were extracted from the approach/retract cycles, while torsional resonance signals such as (d) TR phase were extracted during the contact time and relate to the shear-force and frictional properties of the sample.

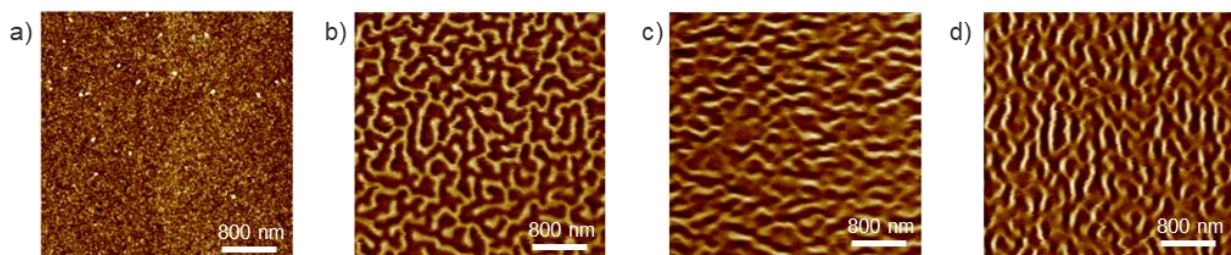


Figure 3: (a) Height, (b) vertical & (c) lateral MFM phase images simultaneously acquired in PeakForce-MFM on multilayer [Pt/Co/Pt]_{x25}. (d) shows the TR-MFM phase image after 90° sample rotation, providing the 3rd axis in the magnetic field vector. Sample courtesy: K. Bouzheouane, Université Paris-Saclay, Laboratoire Albert Fert, CNRS, Thales, Palaiseau, France.

References

- [1] M. Pendharkar et al., *PNAS* **2024**, 121, e2314083121

Influence d'une nano-antenne en verre sur la fluorescence d'une molécule unique

Simon VASSANT¹, Remigiusz TROJANOWICZ¹, Ludovic DOUILLARD¹, Fabrice CHARRA¹

Université Paris-Saclay, CEA, CNRS, SPEC, 91191, Gif-sur-Yvette, France

Dans cette étude, nous mesurons de manière quantitative l'influence d'une nano-pointe en verre sur la fluorescence d'une molécule unique de Terrylene. En effectuant des mesures de corrélation de photons à différentes puissances et polarisations d'excitation, nous pouvons remonter à l'orientation de la molécule dans le référentiel du laboratoire, ainsi qu'à tous les taux impliqués dans la photophysique de fluorescence, en particulier liés à l'état triplet de la molécule [1].

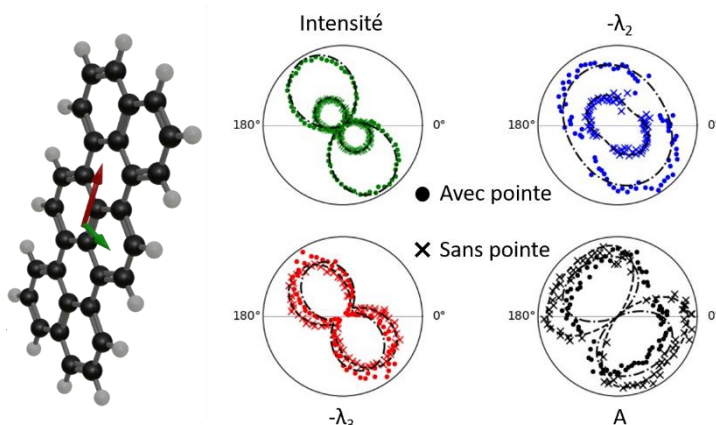


Figure 1 : Gauche : Molécule de Terrylene, Droite : représentation en coordonnées polaire en fonction de la polarisation d'excitation de l'intensité de fluorescence (vert), des valeurs propres du système en bleu pour les taux liés à l'état singulet, en rouge pour les taux liés à l'état triplet et en noir pour le contraste d'anti-correlation. Les croix représentent les mesures avec une pointe en verre à proximité de la molécule, les points en l'absence de la pointe.

Ces mesures sont ensuite répétées en présence d'une pointe en verre, positionnée de manière contrôlée au-dessus de la molécule par un microscope à force de cisaillement. Une dernière mesure de contrôle sans la pointe est effectuée pour vérifier que cette dernière n'a pas entraîné de changements irréversibles sur la molécule ou son environnement local.

Ces mesures permettent d'extraire des informations quantitatives sur la modification de la photophysique de molécules induites par la présence de la pointe en verre. Elles permettent aussi d'utiliser une molécule unique de Terrylene comme sonde local du champ électromagnétique induit par la présence de la pointe [2].

Références

- [1] Trojanowicz R., Douillard L., Sosa Vargas L., Charra F. et Vassant, S. *Physical Chemistry Chemical Physics* (underreview).
[2] Trojanowicz R., Douillard L., Sosa Vargas L., Charra F., et Vassant, S. (En préparation)

MultiDAT-AFM© : une solution complète d'analyse des mesures spectrales multiparamétriques à l'AFM avec un algorithme de prédiction en Machine Learning intégrée

Rosine COQ GERMANICUS, Othman EL HASSANI

Normandie Univ, Ensicaen, CNRS, Crismat UMR6508, 14000 Caen, France

Aujourd'hui, le microscope à Force Atomique (AFM) offre la possibilité de réaliser des mesures spectrales multiparamétriques en modes mécaniques, électriques, magnétiques, infra-rouge et électrochimiques. Ces techniques permettent de caractériser complètement les matériaux et dispositifs à l'échelle nanoscopique en fonction d'une variable soumise au nano-système actif pointe-échantillon [1,2]. Lors de ces mesures spectrales, à chaque pixel de la mesure, la pointe AFM reste en contact avec la surface et durant ce temps appelé "hold segment", une mesure spectrale multiparamétrique est réalisée puis enregistrée en fonction de la variable de mesure. Ainsi les mesures spectrales et les cartographies sont générées. Ce mode multiparamétrique nommé "Data-Cube" chez Bruker, fournit à la fin de la mesure (qui peut atteindre plusieurs dizaines d'heures en fonction de la résolution) un fichier de type "Big-Data" contenant toutes les résultats et pouvant atteindre une taille de plus de 500 Mo. Au sein de l'université de Caen, nous avons développé le nouvel outil de traitement et de prédiction nommé MultiDAT-AFM© [3]. Il s'agit d'une solution complète d'analyse des mesures ainsi qu'un outil de génération de cartographies prédites de type Machine-Learning. MultiDAT-AFM© est codé sur Python (plus de 2000 lignes) et est présenté sous forme d'interface de type 'click and show' (Fig 1). L'interface du logiciel nécessite qu'un CPU. Il permet de lire les fichiers, d'afficher les courbes de forces et les variations de la variable de mesure pendant le hold segment (Fig1a). Il est aussi possible de générer des cartographies individuelles (Fig1b). MultiDAT-AFM© crée également en quelques secondes un film permettant d'apprécier la variation des cartographies choisies en fonction de la variable (Fig1c). Comme l'indique la Fig1d, à partir des données, un vrai cube 3D de data est créé, il est important de noter que de nombreux paramètres d'affichage sont disponibles et modifiables par l'utilisateur. Pour terminer, à l'issue de la qualification de 7 algorithmes de Machine Learning, le modèle de type "Random Forest" (forêt d'arbres de décision aléatoire) a montré la variance la plus réduite. Cette solution intégrée au sein de MultiDAT-AFM©, permet de prédire des cartographies comme l'illustre la Fig1e.

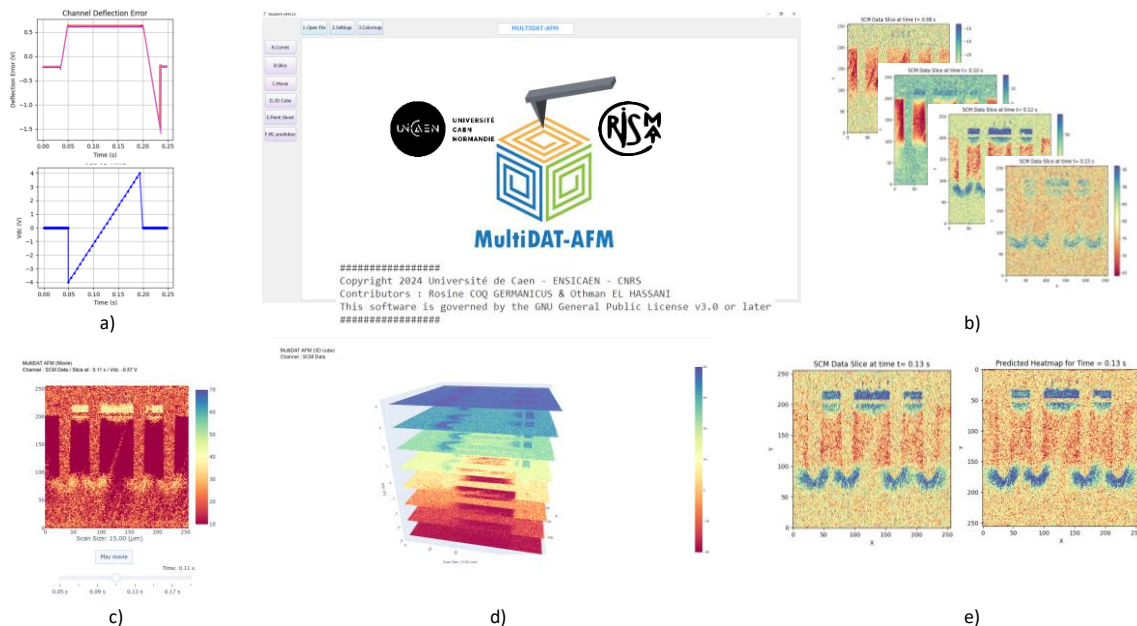


Figure 1 : Interface du logiciel MultiDAT-AFM, application à une mesure SCM multiparamétriques (DataCube-SCM) a) courbe de force et variation de la valeur de VDC en fonction du temps, b) 4 cartographies générées à 4 VDC différents, c) vue du film de l'évolution du signal SCM data en fonction de la valeur du VDC, d) Cube-3D généré avec 8 slides et e) comparaison de deux cartographies, une mesurée et une prédite à partir du modèle « Random Forest » en Machine Learning.

Références

- [1] De Wolf, P., Huang, Z., Pittenger, B., Dujardin, A., Febvre, M., Mariolle, D., ... & Mueller, T. **2018**. Functional imaging with higher-dimensional electrical data sets. *Microscopy Today*, 26(6), 18-27.
- [2] Germanicus, R. C., De Wolf, P., Lallemand, F., Bunel, C., Bardy, S., Murray, H., & Lüders, U. **2020**. Mapping of integrated PIN diodes with a 3D architecture by scanning microwave impedance microscopy and dynamic spectroscopy. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 11(1), 1764-1775.
- [3] MultiDAT-AFM© IDN.FR.001.110017.000.S.P.2024.000.31235, Copyright **2024** Université de Caen - ENSICAEN - CNRS Contributors : Rosine COQ GERMANICUS & Othman EL HASSANI. This software is governed by the GNU General Public License v3.0 or later

Développement de premières structures de référence pour l'étalonnage des mesures de résistance et de courant en microscopie à force atomique à sonde conductrice

François PIQUEMAL¹, Pascal CHRETIEN², José MORÁN-MEZA¹, Frédéric HOUZE², Christian ULYSSE³ and Abdelmounaim HAROURI³

¹Laboratoire national de métrologie et d'essais - LNE, Trappes

²Laboratoire de génie électrique et électronique de Paris - GeePs, Université Paris-Saclay, CentraleSupélec., Sorbonne Université, CNRS, Gif-sur-Yvette

³Centre de nanosciences et de nanotechnologies - C2N, Université Paris-Saclay, CNRS, Palaiseau

Les progrès technologiques continuant à repousser les limites de la fabrication de dispositifs à des échelles incroyablement petites, un développement approprié des outils et des méthodes de mesure est inévitable. La microscopie à force atomique à pointe conductrice (C-AFM) est une technique largement utilisée pour mesurer les courants et les résistances à l'échelle nanométrique. Sa popularité s'est récemment accrue en raison de la polyvalence de ses applications dans les technologies courantes telles que les mémoires, l'énergie photovoltaïque et les semi-conducteurs.

Malgré les contributions considérables des C-AFM à la compréhension des propriétés des nanomatériaux et des nanodispositifs, les mesures sont restées sujettes à de nombreux facteurs induisant des artefacts et limitées à des comparaisons qualitatives. Dans le but de rendre les mesures C-AFM étalonnées, fiables et comparables, nous avons récemment développé un premier échantillon de référence pour l'étalonnage du circuit de mesure C-AFM complet sur une plage de résistance de 9 décades, *i.e.* entre 100 Ω et 100 G Ω . Des protocoles de mesure utilisant la cartographie de la résistance et les modes spectroscopiques courant-tension (I-V) ont également été élaborés et les facteurs expérimentaux, instrumentaux et environnementaux ont été étudiés afin d'évaluer le système de mesure C-AFM complet. Nous avons montré que l'échantillon étalon à résistance multiple et large gamme que nous avons mis au point permet un étalonnage universel des mesures C-AFM applicable à tous les systèmes disponibles et avec une incertitude relative combinée inférieure à 2,5 % pour des résistances allant de 10 k Ω à 100 G Ω [1].

Dans ce travail, nous présentons le développement d'une deuxième version de structure de référence permettant un accès plus facile et une précision améliorée aux mesures C-AFM de résistance inférieure à 100 k Ω et une gamme de résistance étendue à 1 T Ω . Le même échantillon de référence a également été conçu pour étalonner le dispositif C-AFM complet pour les mesures de courant sur une gamme de 10 fA à 10 μ A. Nous avons étudié l'influence des pointes AFM (matériaux, usure...) sur les mesures de résistance et de courant. En plus de ce kit d'étalonnage hybride pour C-AFM, nous avons fabriqué et testé un autre échantillon de référence conçu pour étalonner le C-AFM pour des valeurs de résistance très élevées, c'est-à-dire dans la gamme de 100 T Ω .

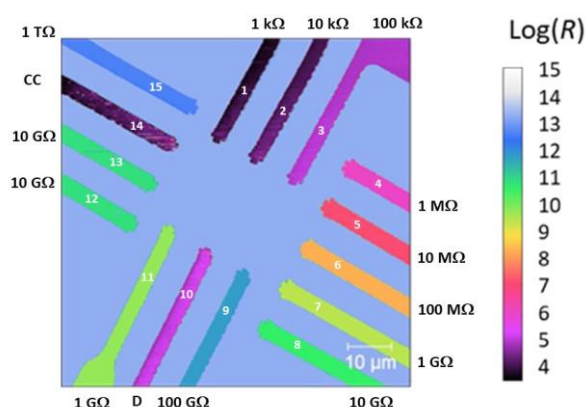


Figure 1 : Cartographie de résistance de la zone centrale d'un nouvel échantillon de référence (60 μ m \times 60 μ m) imagée par C-AFM. Le rendu des couleurs se réfère aux valeurs de résistance mesurées en échelle logarithmique décimale.

Ces nouveaux développements ouvrent la voie à des mesures quantitatives fiables des résistances et des courants à partir des C-AFM, ce qui permettrait de mieux comprendre les propriétés électriques des dispositifs et des composants individuels à l'échelle nanométrique.

Références

[1] F. Piquemal, K. Kaja, P. Chrétien, J. Morán-Meza, F. Houzé, C. Ulysse, A. Harouri, *Beilstein J. Nanotechnol.* 2023, 14, 1141-1148

Caractérisation STM de nanorubans de Ge déposés sur Al (110)

Khaoula EL MECHYLY^{1,2}, Ahmed Mehdaoui^{1,2}, Carmelo Pirri^{1,2}, Didier Dentel^{1,2}

¹ Université de Haute Alsace, Institut de Science des Matériaux de Mulhouse, IS2M, UMR 7361 CNRS, 3 bis rue Alfred Werner, 68093 Mulhouse, France

² Université de Strasbourg, 67081 Strasbourg, France

* Auteur correspondant à contacter : khaoula.el-mechyly@uha.fr

Depuis la découverte du graphène en 2004, un nouveau domaine des matériaux de basse dimensionnalité en physique de l'état solide a été largement étudié, notamment le silicène et le germanène, deux structures 2D allotropiques du silicium et du germanium, respectivement. Seules quelques études se sont concentrées sur les structures unidimensionnelles telles que les nanorubans de silicium ou de germanium [1], [2], [3]. Dans cette étude, nous avons réussi à fabriquer pour la première fois des nanorubans de germanium sur une surface d'aluminium (110). Après le dépôt par épitaxie par jets moléculaires (MBE) de plusieurs épaisseurs de Ge (de 0.7 à 2 MC) à basse température (inférieure à 100°C). Les images de microscopie à effet tunnel (STM) montrent des nanorubans réguliers et parallèles à la surface (Fig. 1). Nous nous rapprochons de la résolution atomique sur les rubans. Nous avons commencé à observer un motif en Y répétitif; cependant, nous rencontrons des difficultés pour une résolution suffisante sur ce système. Nous avons également contrôlé la composition chimique de la surface avant et après le dépôt de Ge par spectroscopie de photoémission des rayons X (XPS). Un suivi de la structure cristallographique est effectuée par diffraction des électrons lents (LEED).

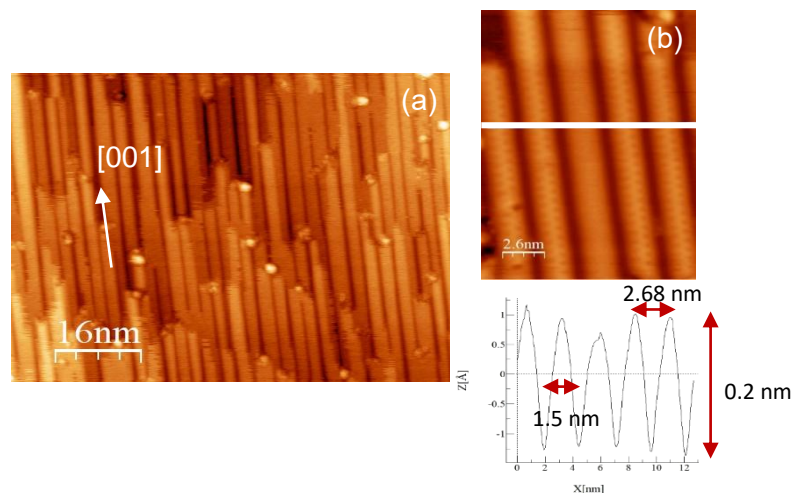


Figure (1): (a) image STM de la topographie des nanorubans sur Al (110) après depot de 2 MC de Ge, (b) Image STM haute résolution des nanorubans après le dépôt de 2 MC de Ge sur Al (110)

References

- [1] M. Rachid Tchalala et al., "Formation of one-dimensional self-assembled silicon nanoribbons on Au(110)-(2 × 1)," Appl. Phys. Lett., vol. 102, no. 8, 2013, doi: 10.1063/1.4793536
- [2] B. Aufray et al., "Graphene-like silicon nanoribbons on Ag(110): A possible formation of silicene," Appl. Phys. Lett., vol. 96, no. 18, 2010, doi: 10.1063/1.3419932
- [3] J. Yuhara et al., "Epitaxial growth of massively parallel germanium nanoribbons by segregation through Ag(110) thin films on Ge(110)," Appl. Surf. Sci., vol. 550, 2021, doi: 10.1016/j.apsusc.2021.149236

What can we learn from studying individual gold nanoparticles? Insights about their electrostatic and electronic properties

Olivier PLUCHERY¹, Luis Lechaptois¹, Léo BossardGiannesini¹, Hervé Cruguel¹, Yoann Prado¹, David Loffreda²

¹ Institut des NanoSciences de Paris – Sorbonne Université CNRS UMR 7588 - 4 place Jussieu 75005 Paris

² ENS Lyon – CNRS UMR5182 - 46 Allée d'Italie - 69364 Lyon Cedex 07

Email: olivier.pluchery@insp.jussieu.fr

web page: <https://w3.insp.upmc.fr/en/insp-page-perso/pluchery-olivier-2/>

The next generation electronic devices needs the input of nano-electronics as soon as the electric current becomes quantified and does not obey the Ohm's law anymore. The way materials handle charges, electrical currents or generate local electric fields, are key phenomena to be understood for correctly developing the necessary materials. In that respect, gold nanoparticles can be seen as ultimate electrical materials for storing electrons or controlling their flow for this next generation nano-electronic devices. In this poster, several key phenomena will be discussed, using gold nanoparticles since their diameter can be easily adjusted and their surface can be chemically functionalized, without suffering from unwanted oxidation.

The following questions will be addressed based on KPFM results:

- **The work function of small diameter nanoparticles:** work function is a key property of planar surfaces, however, this notion becomes unclear when surfaces are bent with nanometer radius.
- When a **surface is functionalized with molecules**, that bear a permanent dipole, their work function is modified, sometimes of an amount as large as 1.0 eV. How this property is transferred from planar surface to metallic nanoparticles?
- **Nano-size Schottky junctions:** when a junction metal-semiconductor is created, this often generates a Schottky junctions, but how this junction is transformed, when dealing with an metallic nanoparticle on a silicon surface?

Gold nanoparticles are also efficient nanoantenna for collecting electromagnetic excitations from light and transforming them into hot electrons. Some connections will be tackled between the hot electrons induced by the plasmon resonance, and the electric properties of nanoparticles mentioned above.

References:

1. Bossard-Giannesini, L.; Cardenas, L.; Cruguel, H.; Demessence, A.; Loffreda, D.; Pluchery, O., How far the chemistry of self-assembled monolayers on gold surfaces affects their work function? *Nanoscale* **2023**,*15*, 17113 - 17123. <http://dx.doi.org/10.1039/D3NR03172A>
2. Lechaptois, L.; Prado, Y.; Pluchery, O., KPFM visualisation of the Schottky barrier at the interface between gold nanoparticles and silicon. *Nanoscale* **2023**,*15* (16), 7510-7516. <http://dx.doi.org/10.1039/D3NR00178D>
3. Zhang, Y.; Kang, J.; Pluchery, O.; Caillard, L.; Chabal, Y. J.; Wang, L.-W.; Sanz, J. F.; Salmeron, M., Nanoimaging of Organic Charge Retention Effects: Implications for Nonvolatile Memory, Neuromorphic Computing, and High Dielectric Breakdown Devices. *ACS Applied Nano Materials* **2019**,*2* (8), 4711-4716. <https://doi.org/10.1021/acsanm.9b01182>
4. Pluchery, O.; Caillard, L.; Dollfus, P.; Chabal, Y. J., Gold nanoparticles on functionalized silicon substrate under Coulomb blockade regime: an experimental and theoretical investigation. *J. Phys. Chem. B* **2018**,*122* (2), 897-903. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b06979>
5. Zhang, Y.; Pluchery, O.; Caillard, L.; Lamic-Humblot, A.-F.; Casale, S.; Chabal, Y. J.; Salmeron, M., Sensing the Charge State of Single Gold Nanoparticles via Work Function Measurements. *Nano Letters* **2015**,*15* (1), 51-55. <https://doi.org/10.1021/nl503782s>
6. Pluchery, O.; Bryche, J.-F., *An Introduction to plasmonics*. World Scientific: London, 2023; p 340. <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/q0395>

Voici les différents ateliers qui seront abordés en parallèle des TP durant le Forum 2024

- L'apport de l'intelligence artificielle dans l'analyse des propriétés des matériaux à la nanoéchelle : de la théorie à la pratique 158
Philippe LECLERE, Rosine COQ GERMANICUS et Kévin ALHADA-LAHBABI
- Traitement des images et spectroscopies AFM
Mathieu COGNARD de digitalSurf
- PFM par AFM sous vide et sous MEB
Nenovision et EDEN Instruments
- Comment sont fabriquées les pointes AFM
Gilbert GILLMANN
- Comment coller des billes sur des leviers pour faire des expériences de fonctionnalisation 159
Véronique LACHAIZE de A5 Science et le GT Fonctionnalisation RéMiSoL
- Applications exotiques de l'AFM qui ne sont pas au catalogue
Rafaël BARBATTINI de SunRise
- Les modes électriques décomplexés : analyse et optimisation en boucles ouvertes et fermées 160
Romain STOMP de Zurich Instruments

Apport de l'intelligence artificielle dans l'analyse des propriétés des matériaux à la nanoéchelle : de la théorie à la pratique

Kévin ALHADA-LAHBABI ^a, Rosine COQ GERMANICUS ^b, Philippe LECLERE ^c

^a INSA Lyon, Ecole Centrale de Lyon, CNRS, Université Claude Bernard Lyon 1
CPE Lyon, INL, UMR5270, 69622 Villeurbanne, France.

^b Normandie Univ, Ensicaen, CNRS, Crismat UMR6508, 14000 Caen, France

^c Université de Mons (UMONS), Institut de Recherche en Sciences et Ingénierie des Matériaux
Laboratoire de Physique des Nanomatériaux et Energie (LPNE), B - 7000 Mons, Belgique.

kevin.alhada-lahbabi@insa-lyon.fr – rosine.germanicus@unicaen.fr – philippe.leclere@umons.ac.be

Aujourd'hui, il est possible de caractériser les propriétés mécaniques, électriques, chimiques, biologiques et thermiques d'un échantillon à l'échelle nanométrique, avec des durées d'acquisition de plus en plus courtes. En effet, le développement des techniques de microscopies à sonde locale nous donne accès à de nombreux modes qui peuvent générer des fichiers contenant de larges quantités de données. Une fois acquises, ces données doivent être lues, analysées et décrites, et, étant donné la taille des fichiers obtenus, le recours à l'utilisation d'outils statistiques avancés est devenu essentiel.

Comme dans beaucoup de domaines, l'intelligence artificielle (IA) apporte de nombreux avantages notamment dans le développement de nouveaux matériaux, tels que (i) la modélisation et simulation des propriétés des matériaux, permettant d'accélérer le processus de recherche et ainsi de réduire les coûts associés aux tests physiques; (ii) l'optimisation du processus de fabrication en identifiant les paramètres clés à contrôler pour obtenir les propriétés désirées; (iii) la découverte de nouvelles propriétés en analysant de vastes bases de données et en identifiant des combinaisons de matériaux prometteuses; et (iv) l'analyse des structures moléculaires et des propriétés physiques permettant la conception de matériaux plus performants et plus durables.

L'IA se base sur une collecte des données, un prétraitement des données, un choix d'algorithme(s) d'apprentissage, un entraînement et des tests sur le modèle retenu. Suite à l'étape de validation le modèle convergeant le mieux peut être utilisé. L'intelligence artificielle joue dès lors un rôle crucial dans le développement de nouveaux matériaux en accélérant les processus de recherche, en optimisant les processus de fabrication et en facilitant la découverte de matériaux innovants. L'analyse des données constitue un aspect essentiel de ce domaine en pleine explosion et le monde des microscopies à sondes locales a un rôle essentiel à jouer.

Dans cet atelier, après une courte introduction du vaste domaine qu'est l'intelligence artificielle nous vous présenterons trois approches développées dans nos laboratoires respectifs.

Exemple 1

La Piezoresponse Force Microscopy (PFM) est utilisée pour visualiser les domaines et les parois de domaines dans les matériaux ferroélectriques. Elle permet également de manipuler localement ces domaines en appliquant une tension via la pointe du microscope. Cependant, prédire la dynamique des domaines est complexe et demande souvent des simulations complexes, comme la simulation par champ de phase. Cependant, sa demande en temps de calcul la rend peu pratique pour une utilisation sur de grands systèmes ou en temps réel ("*on-the-fly*").

Ici, nous décrivons le développement d'un modèle de substitution du champ de phase par *machine learning*, soulignant comment ces modèles accélèrent les simulations. Nous discuterons des techniques pour construire un *framework* de *machine learning* remplaçant les simulations traditionnelles. Plusieurs cas seront présentés, notamment la reproduction du contrôle électrique des domaines en PFM.

Exemple 2

L'analyse et la prédiction de mesures spectrales multiparamétriques (type DataCube) à l'Université de Caen grâce à l'interface **MultiDAT-AFM**© (Analysis of **MULTI**parametric **DATA** by **AFM**). Présenté comme une interface « *click and play* » MultiDAT-AFM© est un outil de lecture, d'analyse, d'affichage et de prédiction des mesures spectrales multiparamétriques. Au-delà de ses capacités à générer un film et un cube 3D des acquisitions enregistrées, il propose une solution de *machine learning* basé sur le modèle "*Random Forest*" (forêt d'arbres de décision aléatoire) permettant de prédire des *slices* des propriétés de la matière.

Exemple 3

Validation de l'acquisition de courbes de force et la cartographie des propriétés mécaniques et viscoélastiques de matériaux polymères et hybrides à l'Université de Mons (LPNE) grâce à un code Python. Il s'agit d'un algorithme d'apprentissage automatique supervisé qui permet de trier les données (ici les courbes de force) en fonction de leur qualité. Ce nouvel algorithme porte le nom de **PyCAROS** (**Python Code for Approach and Retract Force Curve Analysis of Organic and Hybrid Soft Materials**). Ce code est utilisé au LPNE pour l'analyse de nos données sur différents types de matériaux (mélanges de polymères, nanocomposites, nanodiélectriques, hydrogels, matériaux piézoélectriques, ...).

A la suite des trois exposés, nous effectuerons des démonstrations sur l'utilisation des codes sur des exemples choisis, des acquisitions réalisées lors du forum ou par les personnes participantes à l'atelier préalablement dans leur laboratoire.

Atelier fonctionnalisation de sonde

Véronique Lachaize¹, Arthur Gaveau¹, Agnès Piednoir² et GT Fonctionnalisation²

¹A5 Science

²RéMiSoL

Pour accéder aux propriétés d'adhésion ou de déformation d'un matériau à l'échelle locale, on a souvent besoin de travailler avec un contact modèle. L'interaction sphère-plan est un système bien documenté, l'idéal est donc une sonde de forme sphérique. Seulement, les aires sondées sont de l'ordre du micron carré ou moins, il peut être nécessaire de coller des billes de taille micrométrique sur un cantilever AFM !

Au cours de cet atelier, Véronique Lachaize et Arthur Gaveau de A5 Science et le GT Fonctionnalisation de RéMiSoL vous invitent, d'abord à discuter du point critique et délicat qu'est le greffage d'une microsphère au bout d'un levier AFM après avoir découvert comment A5 Science procède. Certains membres du GT interviendront également. Nous pourrions également poursuivre la discussion en abordant les différentes manières de modifier et d'utiliser cette sonde colloïdale, de la fonctionnaliser au gré des besoins et des recherches. Les retours d'expériences de chacun sont précieux et l'échange encore à ce propos encore plus!

Les modes électriques décomplexés : analyse et optimisation en boucles ouvertes et fermées

Romain STOMP

Zurich Instruments AG
Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zurich, Suisse

Depuis les débuts de l'AFM en mode tapping, avec un mode mécanique à une seule fréquence, une pléthore de modes d'une complexité croissante ont vu le jour, particulièrement dans le domaine des modes électriques, dont l'origine est un couplage électro-mécanique, c'est-à-dire un mélange à plusieurs ondes. Derrière ce constat *a priori* intimidant, quelques principes clés d'analyses peuvent émerger pour optimiser la réponse électrique et amplifier le signal par rapport à des niveaux de bruit qui sont d'autant plus élevés que les objets d'études atteignent des dimensions nanométriques.

A partir d'une analyse spectrale et d'une caractérisation de la fonction de transfert en boucle ouverte (à l'aide de balayage paramétriques), les paramètres pertinents sont déterminés, tels que bande passante, filtres, consigne, gains, etc..., de sorte que le dernier paramètre en boucle fermée laissé à la discrétion de l'utilisateur est la bande-passante d'asservissement, qui dans le domaine du champ proche se traduit typiquement en un temps de résidence par pixel.

Cet exposé à vocation pédagogique, donne toutes les étapes de raisonnements pour l'optimisation des modes électriques avec quelques exemples concrets tels que le mode KPFM Heterodyne et l'asservissement Dual Frequency Resonance Tracking (DFRT).

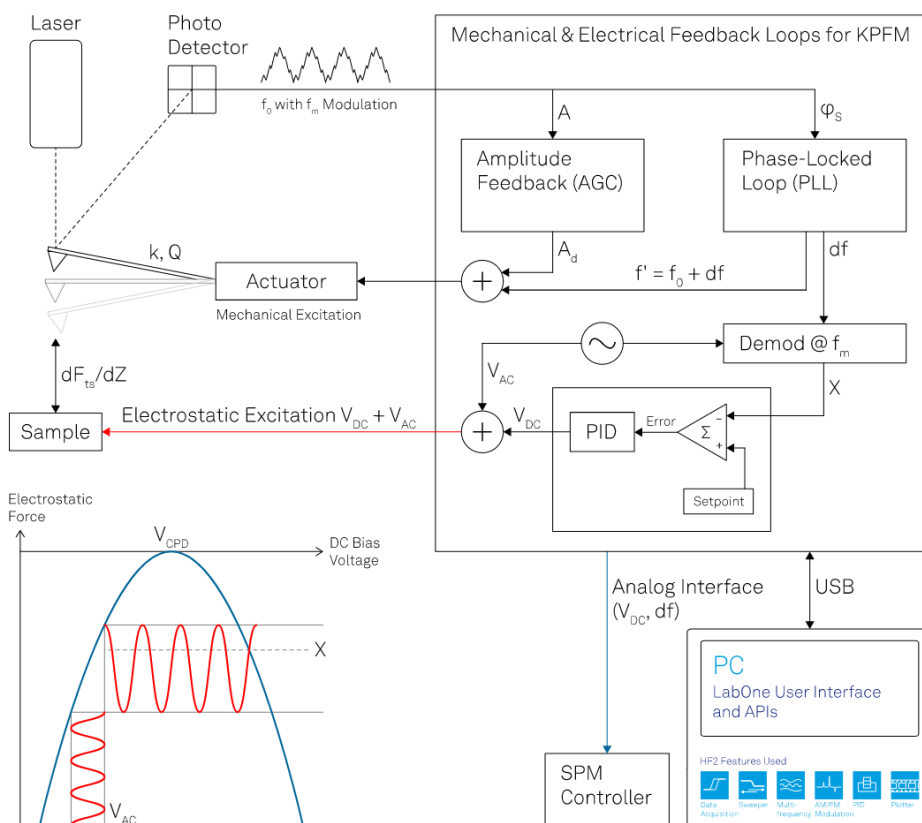


Figure 1 : Exemple d'un mode KPFM en modulation de fréquence. L'optimisation en boucle ouverte puis l'asservissement en boucle fermée se fait sans recâblage externe. Idem pour des modes différents. Chaque étape de traitement du signal depuis l'entrée (détection) jusqu'à la sortie (excitation) peut être visualisé en temps-réel pour obtenir le meilleur signal-sur-bruit.

Références

- [1] <https://www.zhinst.com/applications/scanning-probe-microscopy/kelvin-probe-force-microscopy-kpfm>
- [2] <https://www.zhinst.com/applications/scanning-probe-microscopy/dual-frequency-resonance-tracking-dftr>



MATERiaux : Ingénierie et Science (MATEIS - UMR CNRS 5510) - Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
Florent DALMAS



Laboratoire de Physique (LPENSL - UMR CNRS 5672) - École Normale Supérieure de Lyon
Cendrine MOSKALENKO
Audrey STEINBERGER



Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL - UMR CNRS 5270) - Université Claude Bernard Lyon 1
David ALBERTINI
Marie-Charlotte AUDRY-DESCHAMPS
Georges BREMOND
Brice GAUTIER
Magali PHANER-GOUTORBE (site École Centrale de Lyon)
Etienne PUYOO



Institut Lumière Matière (ILM - UMR CNRS 5306) - Université Claude Bernard Lyon 1
Agnès PIEDNOIR
Jean-Paul RIEU



Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (LTDS - UMR CNRS 5513) - École Centrale de Lyon
Frédéric DUBREUIL



Ingénierie des Matériaux Polymères (IMP - UMR CNRS 5223) - Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
Pierre ALCOUFFE
Caroline PILLON (site : Université Jean Monnet de Saint-Etienne)



Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives (CEA) - Site Grenoble
Denis MARIOLLE



Laboratoire Reproduction et Développement des Plantes (RDP - UMR CNRS 5667) / plateau d'imagerie PLATIM-LyMIC (SFR Biosciences UAR 3444) - École Normale Supérieure de Lyon (ENS Lyon)
Simone BOVIO



Laboratoire Hubert Curien (LabHC - UMR CNRS 5516) - Université Jean Monnet de Saint-Etienne
Stéphanie REYNAUD

LISTE DES PARTICIPANTS

ALBERTINI	David	david.albertini@insa-lyon.fr	CNRS – INL UMR 5270
ALCOUFFE	Pierre	pierre.alcouffe@univ-lyon1.fr	IMP CNRS UMR5223
ALHADA-LAHBABI	Kevin	kevin.alhada-lahbabi@insa-lyon.fr	INSA Lyon - INL Lyon
ARNOULD	Olivier	olivier.arnould@umontpellier.fr	LMGC/Université de Montpellier
AYASSE	Philippe	philippe.ayasse@atoumtech.com	ATOUM TECH -ATTOCUBE Nanoscale Analytics
BARBATTINI	Rafaël	rafael@afmsunrise.fr	AFM Sunrise
BARTHE	Guillaume	g.barthe@ntmdt-russia.com	NT-MDT BV
BATTAGLINI	Nicolas	nicolas.battaglini@u-paris.fr	Université Paris Cité
BAUDOIN	Marion	marion.baudoin@univ-rennes.fr	Rennes University
BEAUMALE	Jérôme	jerome.beaumale@bruker.com	Bruker Nano Surface
BELLE	Amandine	amandine.bellec@u-paris.fr	CNRS / Université Paris Cité / MPQ
BEN KHALED	Imen	Imen.Benkhaled@student.umons.ac.be	LPNE-Umons
BEN YOUSSEF	Mariem	mariem.benyoussef@univ-lille.fr	IEMN
BERTHE	Maxime	maxime.berthe@iemn.fr	CNRS
BOUJU	Xavier	xavier.bouju@cemes.fr	CEMES-CNRS
BOURRELLIER	Romain	rbourrellier@parksystems.com	Park Systems France
BOUZEHOUE	Karim	Karim.bouzehouane@cnrs-thales.fr	CNRS
BOVIO	Simoné	simone.bovio@ens-lyon.fr	Laboratoire RDP/plateau PLATIM - ENS de Lyon
BREMOND	Georges	georges.bremond@insa-lyon.fr	INSA Lyon/INL
CARLIER	Thomas	thomas.carlier@bruker.com	Bruker
CHAIGNEAU	Marc	marc.chaigneau@horiba.com	HORIBA
CHARVILLAT	Cédric	cedric.charvillat@ensiacet.fr	INP TOULOUSE/CIRIMAT
CHAUDHARY	Mahima	mahima.chaudhary@unicaen.fr	Normandie Univ, ENSICAEN, Unicaen, CNRS, CRISMAT, UMR6508, CAEN, France
CHERNUKHA	Yevheniia	yevheniia.chernukha@junia.com	IEMN - JUNIA
CHILDERICK	SEVERAC	childerick.severac@cnrs.fr	RESTORE UMR5070, Université de Toulouse, INSERM, CNRS, EFS, ENVT, Université P. Sabatier, Toulouse, France
CHRETIEN	Pascal	pascal.chretien@geeps.centralesupelec.fr	UMR CNRS-CentraleSupélec-Université Paris-Saclay-Sorbonne Université
CLAIR	Sylvain	sylvain.clair@im2np.fr	CNRS / Aix-Marseille Université / IM2NP
COGNARD	Mathieu	mcognard@digitalsurf.com	Digital Surf
COLLANGE	Carla	carla.collange@universite-paris-saclay.fr	Université Paris-Saclay / Institut de chimie physique

COQ GERMANICUS	Rosine	rosine.germanicus@unicaen.fr	Normandie Univ, Ensicaen, Unicaen, CNRS, CRISMAT, UMR6508, Caen, France
CORTE	Héctor	corte@nanosurf.com	Nanosurf AG
COSAS	João	joao.cosas@cermav.cnrs.fr	Cermav - CNRS
CRUGUEL	herve	herve.cruguel@insp.jussieu.fr	CNRS/INSP
DALLA FRANCESCA	Kevin	kevin.dalla-francesca@univ-lille.fr	CNRS
DALMAS	Florent	florent.dalmas@insa-lyon.fr	INSA Lyon
DAMIA	Chantal	chantal.damia@unilim.fr	Université de Limoges
DAZZI	Alexandre	alexandre.dazzi@universite-paris-saclay.fr	Université Paris-Saclay / Institut de chimie physique
DE LEUZE	Oriane	oriane.deleuze@uclouvain.be	UClouvain/VOCsSens
DE ROUCY	Gaspard	gaspard.de-roucy@michelin.com	Michelin
DE WOLF	Peter	Peter.Dewolf@bruker.com	Bruker USA
DEFONTAINE	Côme	come.defontaine@etu.sorbonne-universite.fr	Sorbonne Université - LISE
DENISET	Ariane	ariane.deniset@universite-paris-saclay.fr	Université Paris-Saclay / Institut de chimie physique
DESCHAMPS	Marie-Charlotte	marie-charlotte.audry-deschamps@univ-lyon1.fr	Université Claude Bernard, Lyon1
DROUET	Michel	michel.drouet@univ-poitiers.fr	Institut Pprime
DUBREUIL	Frederic	frederic.dubreuil@ec-lyon.fr	Ecole Centrale de Lyon
DUMAS	Maxime	Maxime.DUMAS@cea.fr	CEA
DUNN	Edward	edward.dunn@univ-lille.fr	Université de Lille / IEMN
EL HABER	Manuella	manuella.el-haber@ircelyon.univ-lyon1.fr	IRCELYON / Université Claude Bernard Lyon 1
EL MECHYLY	KHAOULA	khaoula.el-mechyly@uha.fr	CNRS/ Institut de Science des Matériaux de Mulhouse(IS2M) UMR 7361
FEBVRE	Mickael	Mickael.Febvre@bruker.com	Bruker
FERRI	Anthony	anthony.ferri@univ-artois.fr	Université d'Artois
FERRO	Gabriel	gabriel.ferro@univ-lyon1.fr	Ecole Polytechnique / CNRS
FIORINI	Céline	celine.fiorini@cea.fr	CEA Paris Saclay, IRAMIS/SPEC/LEPO
FORNOS	Camille	camille.fornos@polytechnique.edu	Ecole Polytechnique
FRADIN	Yoann	yoann.fradin@cea.fr	CEA
GAUTIER	Brice	brice.gautier@insa-lyon.fr	INSA de Lyon / INL
GAVEAU	Arthur	agaveau@a5-science.com	A5 SCIENCE
GEAGEA	Elie	elie.geagea@im2np.fr	Université Aix-Marseille / Laboratoire IM2NP-CNRS / Equipe Nanostructuration
GENNARO	Benoit	benoit.gennaro@eden-instruments.com	EDEN Instruments

GHARIBEH	Ziad	ziad.gharibeh@ensicaen.fr	ENSICAEN / CRISMAT / Murata
GILLMANN	GILBERT	sales@nanoandmore.fr	NANOANDMORE FRANCE
GLOWSKA	Aleksandra	aleksandra.glawska@syensqo.com	Syensqo
GOMES	Séverine	severine.gomes@insa-lyon.fr	CETHIL UMR 5008 INSA Lyon, CNRS
GONZALEZ CASAL	Sergio	sergio.gonzalezcasal@univ-lille.fr	IEMN
GRESILLON	Samuel	samuel.gresillon@espci.fr	Institut Langevin / ESPCI / CNRS / SU
HACKENS	Benoit	benoit.hackens@uclouvain.be	NAPS/IMCN UCLouvain
HAMADEH	Ali	ali.hamadeh@femto-st.fr	University of Franche Comte / FEMTO-ST
HANKACHE	Melissa	melissa.hankache@im2np.fr	Aix-Marseille Université
HNID	Imen	imen.hnid@univ-lille.fr	Université de Lille
HOFF	Brice	brice.hoff@specs.com	SPECS
HOUZE	Frédéric	frederic.houze@geeps.centralesupelec.fr	UMR CNRS-CentraleSupélec-Université Paris Saclay-Sorbonne Université
HUGO	Antonella	hugo@laplace.univ-tlse.fr	Université Toulouse 3 - Laboratoire Laplace
JAMET	Clare	cjamet@digitalsurf.fr	Digital Surf
JEANNOUTOT	Judicaël	judicael.jeannoutot@femto-st.fr	Institut FEMTO-ST
KALASHNYK	Nataliya	nataliya.kalashnyk@univ-lille.fr	Université de Lille / IEMN
KARAKACHIAN	Hrag	hrag.karakachian@scientaomicron.com	Scienta Omicron
KLEIN	Hubert	hubert.klein@univ-amu.fr	CINAM UMR 7325, campus de Luminy
KRZEMINSKI	christophe	christophe.krzeminski@univ-lille.fr	Université de lille/ CNRS/ iemn UMR 8520
LACHAIZE	Véronique	vlachaize@a5-science.com	A5 Science
LAGOUTE	Jérôme	jerome.lagoute@u-paris.fr	Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques, CNRS / Université Paris Cité
LAHOUD DIGNAT	Nadine	nadine.lahoud@laplace.univ-tlse.fr	University of Toulouse - LAPLACE
LAMOUR	Guillaume	guillaume.lamour@univ-evry.fr	Université d'Evry-Paris Saclay
LAURENT	Élysé	elyse.laurent@universite-paris-saclay.fr	CNRS
LE MOAL	Eric	eric.le-moal@universite-paris-saclay.fr	ISMO, CNRS, Université Paris-Saclay
LECLERE	Philippe	philippe.leclere@umons.ac.be	University of Mons (UMONS)
LEFEVRE	Matthew	mlefevre@parksystems.com	Park Systems France
LEGRAND	Bernard	bernard.legrand@laas.fr	LAAS Toulouse / CNRS
LENFANT	Stéphane	stephane.lenfant@iemn.fr	IEMN / CNRS
LEPLEUX	Emmanuel	e.lepleux@scientec.fr	SCIENTEC

MAKHOUL	Elias	elias.makhoul@univ-reims.fr	Université de Reims Champagne-Ardenne
MARCHI	Florence	florence.marchi@neel.cnrs.fr	Université Grenoble Alpes, Institut Néel CNRS
MARIOLLE	Denis	denis.mariolle@cea.fr	CEA/LETI/DPFT/SMCP/LASI
MATHURIN	Jérémie	jeremie.mathurin@universite-paris-saclay.fr	Université Paris-Saclay / Institut de chimie physique
MLIDA	Oumayma	oumayma_mlida@ens.univ-artois.fr	Park Systems / UCCS
MOSKALENKO	Cendrine	cendrine.moskalenko@ens-lyon.fr	ENS de Lyon
MOSSER	Paul	paul.mosser@unibas.ch	University Basel
NASSAR	Gaelle	gaelle.nassar@univ-amu.fr	CNRS / Centre Interdisciplinaire de Nanosciences à Marseille (CINaM)
NAVETTE	Nicolas	nicolas.navette@upi-systems.com	UPI
NICKMILDER	Pierre	pierre.nickmilder@umons.ac.be	Umons
NIGUES	Antoine	antoine.nigues@lps.ens.fr	Ecole Normale Supérieure
NONY	Laurent	laurent.nony@im2np.fr	Aix Marseille Université
NYSTEN	Bernard	bernard.nysten@uclouvain.be	Université catholique de Louvain
ONDARÇUHU	Thierry	thierry.ondarcuhu@imft.fr	IMFT
OUTHMANE	Chahib	outhmane.chahib@unibas.ch	University of Basel / Physics departement
PACHECO	Louis	l.pacheco@csinstruments.eu	SCIENTEC
PAILLET	Nicolas	nicolas.paillet@neel.cnrs.fr	Institut Néel
PALMINO	frank	frank.palmino@univ-fcomte.fr	FEMTO-ST
PARIS	Emmanuel	emmanuel.paris@bruker.com	Bruker
PATRONE	Lionel	lionel.patrone@im2np.fr	CNRS / ISEN / IM2NP
PAWLAK	Rémy	remy.pawlak@unibas.ch	University of Basel
PELLEQUER	Jean-Luc	jean-luc.pellequer@ibs.fr	Institut de Biologie Structurale
PHANER-GOUTORBE	Magali	magali.phaner@ec-lyon.fr	Ecole centrale de Lyon
PIEDNOIR	agnès	agnes.piednoir@univ-lyon1.fr	CNRS
PIQUEMAL	François	francois.piquemal@lne.fr	LNE
PLUCHERY	Olivier	olivier.pluchery@insp.jussieu.fr	Institut des NanoSciences de Paris (INSP)
PONS	Stéphane	stephane.pons@espci.fr	ESPCI Paris / CNRS / Université PSL / Sorbonne Université / Laboratoire de Physique et d'Étude des Matériaux
PORTALUPI	Marco	portalupi@nanosurf.com	Nanosurf AG
PUYOO	Etienne	etienne.puyoo@insa-lyon.fr	INSA de Lyon - INL
RADOSAVKIC	Denis	d.radosavkic@schaefer-tech.com	Schaefer Techniques

RAMONDA	Michel	michel.ramonda@umontpellier.fr	Université de MONTPELLIER
RANGEL	Joao-Lucas	joao-lucas.rangel@horiba.com	HORIBA
REYNAUD	Stéphanie	stephanie.reynaud@univ-st-etienne.fr	Université Jean Monnet / Laboratoire Hubert Curien
REYNIER	Benoît	benoit.reynier@insp.jussieu.fr	Sorbonne Université - Institut des NanoSciences de Paris
RICHARD	Marine	marine.richard@polytechnique.edu	Ecole polytechnique
RICHERT	Damien	DAMIEN.RICHERT@LNE.FR	LABORATOIRE NATIONAL DE MÉTROLOGIE ET D'
ROWE	Alistair	alistair.rowe@polytechnique.edu	Ecole Polytechnique/CNRS
SAAD	Dahlia	dahlia.saad@ec-lyon.fr	Ecole Centrale de Lyon
SALHI	Cherif	cherif.salhi@ntmdt.fr	NT-MDT France
SARA	Christina	sara@laplace.univ-tlse.fr	Universite Paul Sabatier
SCHELLNHUBER	Kordula	Kordula.Schellnhuber@leibniz-inm.de	Institut des nouveaux matériaux, Sarrebruck
SERGHEI	Anatoli	anatoli.serghei@univ-lyon1.fr	IMP CNRS UMR5223
SIRIA	Alessandro	alessandro.siria@lps.ens.fr	Ecole Normale Supérieure
SOOD	Rakhi	rakhi.sood@syensqo.com	Syensqo
STEINBERGER	Audrey	audrey.steinberger@ens-lyon.fr	LPENSL
STOMP	Romain	romain.stomp@zhinst.com	Zurich Instruments
THOMAS	Louis	louis.thomas@iemn.fr	CNRS
TOUATI	Louize	louize.touati@toulouse-inp.fr	CIRIMAT, Toulouse INP
TRAN	Thi Quynh	thiquynh.tran@umons.ac.be	Université Paris-Saclay / Institut de chimie physique
TSAI	Wan-Yu	wan-yu.tsai2@univ-lille.fr	IEMN, Université de Lille
VALLOIRE	Hugo	hugo.valloire@cea.fr	Univ. Grenoble Alpes / CEA, Leti
VASSANT	Simon	simon.vassant@cea.fr	CEA-SPEC
VIJI BABU	Prem	Prem.Viji_Babu@bruker.com	Bruker
VILLENEUVE-FAURE	Christina	christina.villeneuve@laplace.univ-tlse.fr	Université Toulouse 3 - Laboratoire Laplace
VUILLET	Clémence	clemence.vuillet@insa-lyon.fr	IMP Ingénierie des Matériaux Polymères
WALTER	Benjamin	benjamin.walter@vmicro.fr	Vmicro SAS
ZAMBELLI	Tomaso	ztomaso@ethz.ch	ETH Zürich
ZUTTON	Francesca	francesca.zutton@loreal.com	L'Oréal