



Développement de la spectroscopie infrarouge à l'échelle nanométrique et résolue en temps pour l'étude des procédés chimiques dynamiques

Advancing time-resolved nanoscale infrared spectroscopy to study dynamic chemical processes

Directrice de thèse : Laurène Tétard

Mail : laurene.tetard@isa-lyon.fr

Mots clés / Keywords : microscopie et spectroscopie à l'échelle nanométrique / nanoscale imaging and spectroscopy ; spectroscopie infrarouge / infrared spectroscopy ; analyse et traitement de surface / surface treatment and analysis ; spectroscopie résolue dans le temps / time-resolved spectroscopy ; procédés dynamiques / dynamic processes

Résumé :

Dans de nombreux procédés et applications, le comportement des systèmes à l'échelle macroscopique dépend des interactions moléculaires à l'échelle nanométrique et de leur évolution. Cependant, les études de caractérisation sont souvent limitées par la résolution spatiale et la sensibilité des outils analytiques traditionnels. Afin de proposer des solutions nouvelles à ce problème, des outils analytiques capables d'analyser des volumes nanométriques commencent à voir le jour. C'est le cas des plateformes combinant le microscope à force atomique (AFM) à des outils de chimie analytique [1]. Dans certains cas, une résolution spatiale à l'échelle nanométrique et une sensibilité de l'ordre de la molécule unique ont pu être démontrées [2].

Le (la) candidat(e) aura à développer une interface de spectroscopie infrarouge pour la caractérisation à l'échelle nanométrique [3]. Cette plateforme combinera une illumination infrarouge et un AFM pour étudier les variations de vibrations moléculaires dans les matériaux se transformant durant un procédé chimique. Un travail d'interfaçage des sources d'illumination, de l'AFM et d'autres accessoires sera entrepris pour étudier les empreintes chimiques des états du matériau sous la pointe AFM au cours de la mesure. Le (la) candidat(e) aura à maîtriser les modes standards de spectroscopie infrarouge à l'échelle nanométrique, à partir desquels de nouveaux modes opérationnels seront évalués afin d'incorporer des critères de résolution temporelle. Les performances des nouveaux développements seront établies à l'aide d'échantillons de calibration et de validation. Ceux-ci seront fabriqués à l'aide de techniques comme la lithographie et les procédés de modification de surface. Afin d'illustrer les possibilités facilitées par ces développements instrumentaux, le (la) candidat(e) sera amené(e) à effectuer des études relatives à différents domaines d'application comme de nouveaux polymères pour l'impression 3D [4], des matériaux 2D [5], des matériaux pour la catalyse [6], ou des systèmes biologiques [7].

Des techniques d'analyse de surface (microscopies optiques et électroniques, diverses spectroscopies optiques) viendront compléter le travail. Le groupe « Surfaces » de l'ISA dispose de certaines de ces techniques et d'autres seront disponibles par le biais de collaborations internationales.

Summary:

Molecular changes taking place at the nanoscale are key to the behavior of complex systems in a wide range of processes and applications. However, the understanding of these changes is often limited by the spatial resolution and sensitivity of standard analytical tools. To circumvent this problem, emerging tools are exploring smaller volumes by combining analytical tools with atomic force microscopy (AFM) [1] to access nanoscale resolution and sensitivity up to the detection of single molecules [2].

The candidate will lead the development of state-of-the-art advances in nanoscale infrared spectroscopy by combining infrared light and AFM [3], to track dynamic changes in systems undergoing chemical processes. The work will involve interfacing different light sources, the AFM and other accessories to study chemical fingerprints corresponding to evolving states of the material located underneath the AFM tip. The candidate will learn standard modes of operation of nanoscale infrared spectroscopy and will develop new schemes of detection to incorporate the aspect of time resolution to the work. To test the performance of the AFM-IR schemes, the candidate will work with calibration and validation samples fabricated by techniques such as lithography and surface modification processes. To illustrate the capabilities unlocked by the instrumental developments, the candidate will investigate samples relevant to different applications, such as polymers for additive manufacturing [4], two-dimensional materials [5], catalysts [6] or biological systems [7].

Various surface analysis techniques (optical and electron microscopies, various optical spectroscopies) will be used to support the instrument development work, some of which are available in the “Surfaces” group at ISA while others will involve collaborations with other universities and user facilities abroad.

[1] Tetard L. *ACS In Focus*, 2023, DOI: 10.1021/acsinfocus.7e7008; Li M. *Journal of Microscopy*, 2023, DOI: 10.1111/jmi.13183

[2] Ruggeri F. S. *et al.* *Nature Communications*, 2020, DOI: 10.1038/s41467-020-16728-1

[3] Tetard L. *et al.* *Nature Nanotechnology*, 2015, DOI: 10.1038/nnano.2015.168

[4] Singh S. *et al.* *Polymer Chemistry*, 2024, DOI: 10.1039/D3PY01177A

[5] Torres Davila F. *et al.* *Nanoletters*, 2022, DOI: 10.1021/acs.nanolett.2c02841

[6] Li J. *et al.* *J. Phys. Chem. Lett.* 2023, DOI: 10.1021/acs.jpcclett.3c02937

[7] dos Santos A. C. V. D. *et al.* *ACS Meas. Sci. Au*, 2023, DOI : 10.1021/acsmeasuresciau.3c00010

Responsables / point of contact : L. Tétard (DR)

Université Claude Bernard Lyon1, Institut des Sciences Analytiques (ISA), UMR 5280, Equipe « Surfaces », 5, rue de la Doua, 69100 Villeurbanne

Contact : laurene.tetard@isa-lyon.fr