

# 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