

Thèse de doctorat

Début : octobre 2025

Propriétés de transport électronique de films minces de feuillet 2D de carbure de molybdène (MXène)

Encadrant(s)	Simon Hurand	Vincent Mauchamp	
Equipe(s)	Physique et Propriétés des Nanostructures		
Département	Physique et Mécanique des Matériaux		
Laboratoire	Institut Pprime		
Financement thèse	Ministère		
Mots clés	MXène	Transport électronique	Matériaux 2D
	Basse température	Magnétorésistance	Effet Hall

Description du sujet

Contexte : Les MXènes, de formule générale $M_{n+1}X_nT_x$ (où M est un métal de transition, X du carbone ou de l'azote, et T sont des terminaisons de surface –O, –OH ou –F, voir Figure 1), sont l'une des plus vastes familles parmi les matériaux 2D [Vahid Mohammadi et al., *Science* 2021]. Tandis que d'autres matériaux 2D tel que le graphène ou les dichalcogénures de métaux de transition sont semi-métalliques, isolants ou semi-conducteurs, les MXènes sont au contraire de nature métallique. Leur caractère hydrophile les rend faciles à mettre en forme, ce qui permet de les envisager dans une large gamme d'applications telles que l'électronique flexible, le blindage électromagnétique, l'optoélectronique, ou encore l'électronique fondamentale. Pour toutes ces applications, leurs propriétés de transport électronique jouent un rôle clef, et il est donc fondamental d'élucider les mécanismes de transport qui y sont à l'œuvre. En effet, ces propriétés sont déterminées non seulement par le comportement intrinsèque de chaque feuillet bidimensionnel de MXène, mais aussi par le couplage entre les différents feuillets, car la plupart des dispositifs sont constitués d'un empilement de plusieurs feuillets 2D (Figure 2). A cette fin, un outil clef est l'étude du transport électronique (résistivité) à basse température et sous champ magnétique, qui permet, en réduisant le bruit thermique, de révéler les mécanismes de transport fondamentaux. Ceux-ci relèvent par exemple de la localisation faible dans $Ti_3C_2T_x$ [Tangui et al., *Small* 2024] – un effet d'interférence quantique due à la nature ondulatoire des électrons, sensible à basse température –, ou encore du Variable Range Hopping (VRH) – décrivant la conduction par saut entre site voisins d'électrons localisés – dans les solutions solides Mo-Ti ($Mo_2Ti_2C_3T_x$, $Mo_2TiC_2T_x$ et Mo_2CT_x) [Halim et al., *Phys. Rev. B* 2018].

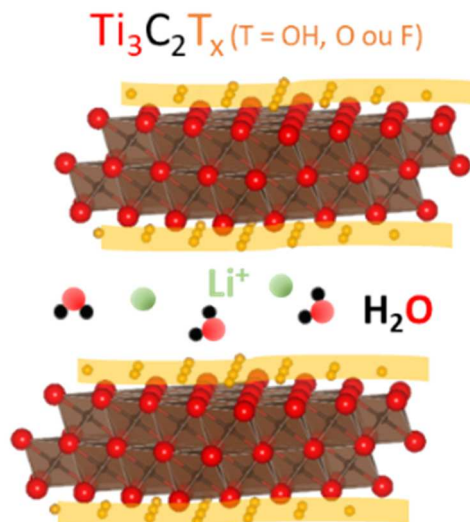


Figure 1. Modèle structural du MXène $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ avec ses terminaisons de surface (en jaune) et les espèces intercalées (eau, ions, molécules..).

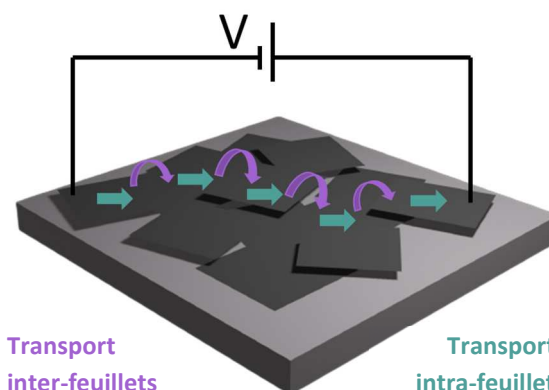


Figure 2. Schéma des mécanismes de transport intra- et inter-feuillets dans un film mince constitué d'un empilement de feuillets 2D de MXène.

Objectif : Le but de cette thèse est d'étudier les mécanismes de transport dans les MXènes, tant d'un point de vue fondamental qu'en vue d'une optimisation future pour des applications dans lesquelles les propriétés électroniques jouent un rôle clef. Les films minces de MXène seront préparés par enduction centrifuge (spin-coating) à partir de poudres de MXène préparées par nos collègues à l'Institut de Chimie des Milieux et Matériaux de Poitiers (IC2MP). La résistivité de ces films sera mesurée à basse température (jusqu'à 2 Kelvin) et sous champ magnétique (jusqu'à 9 Tesla) dans un cryostat (Physical Properties Measurement System, PPMS) à l'Institut Pprime. Ces méthodes de préparation et de mesure ont été développées avec succès dans le cadre d'une précédente thèse à l'Institut Pprime ont permis d'analyser certains mécanismes de transport dans le MXène de référence : $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ [Tangui et al., *Small* 2024]. Le but de cette nouvelle thèse est d'étendre ces études à d'autres familles de MXènes, dont les systèmes à base molybdène (Mo), pour lesquels la magnétorésistance demeure inexpliquée. L'effet Hall dans un tel système reste aussi à élucider. Ce travail pourra être approfondi en étudiant le rôle de différents paramètres structuraux et chimiques clés dans les propriétés de transport de films minces de MXènes. Parmi ceux-ci, on pourra citer : (i) le rôle du couplage entre feuillets et (ii) l'investigation de MXènes d'autres compositions chimiques, notamment le système V_2CT_x , également prometteur pour les applications de type électrodes conductrices transparentes [Ying G. et al., *FlatChem* 2018]. Ce travail contribuera à approfondir la compréhension de l'impact des effets de composition chimique sur les propriétés macroscopiques des films minces de MXènes, qui sont à la base de nombreuses applications telles que les électrodes transparentes et conductrices [Zhang C. et al., *Energy Storage Materials* 2019], parmi d'autres.

Profil du candidat

Nous recherchons un(e) étudiant(e) de Master 2 ayant une solide formation en physique du solide, physique-chimie, ou physique des matériaux, faisant preuve d'une grande curiosité scientifique et d'une bonne motivation pour mener l'ensemble des travaux expérimentaux, de la préparation d'échantillon à la caractérisation, et leur interprétation.

Contacts :

Simon Hurand simon.hurand@univ-poitiers.fr

Vincent Mauchamp vincent.mauchamp@univ-poitiers.fr

Les candidatures se feront par email adressé à S. Hurand et V. Mauchamp incluant un CV, une lettre de motivation, les notes de master et indiquant deux référents académiques.