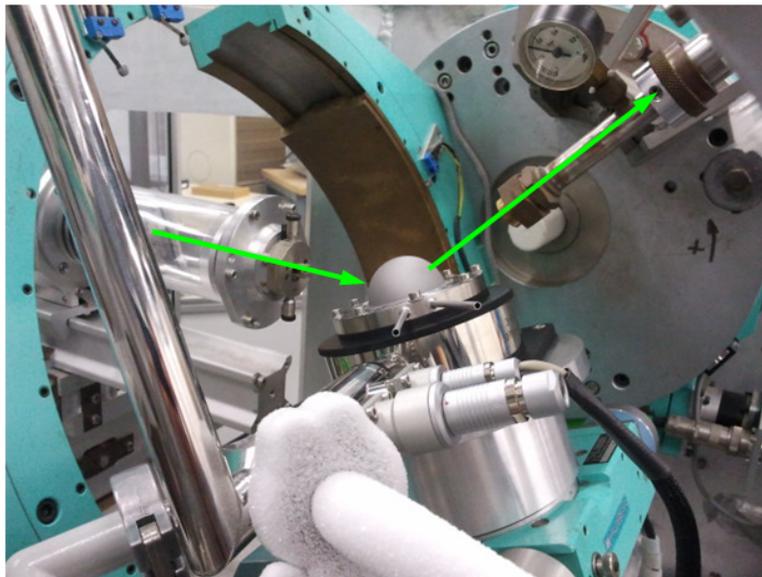


# Expériences en Laboratoire pour les étudiants du M2

## « Physique de la Matière Condensée »

Le projet ExLab-M2PMC se donnait pour objectif le développement de travaux pratiques de haut niveau pour les étudiants du Master 2 ICFP (International Centre for Fundamental Physics) ayant choisi le parcours « Condensed Matter Physics ». Ces travaux pratiques s'appuient sur l'instrumentation de pointe disponible au Laboratoire de Physique des Solides, mais aussi sur les grands instruments présents sur le plateau de Saclay : la source de neutrons LLB et le synchrotron SOLEIL. L'objectif est de familiariser les étudiants à des techniques expérimentales modernes, sur lesquelles s'appuie la recherche dans les thématiques clés de la physique de la matière condensée : supraconductivité, multiferroïsme, transitions métal-isolant... Le projet a permis de financer quelques éléments nécessaires au bon déroulement des TP, en complément des moyens déjà mis en œuvre par les différents laboratoires d'accueil.



**Figure 1** : Cryostat financé par PALM monté sur le diffractomètre du Laboratoire de Physique des Solides. Les faisceaux de rayons X incident et diffracté sont représentés par des flèches. Le cahier des charges du cryostat a été établi par Vincent Jacques, encadrant du TP « Onde de densité de charge dans le chrome ».

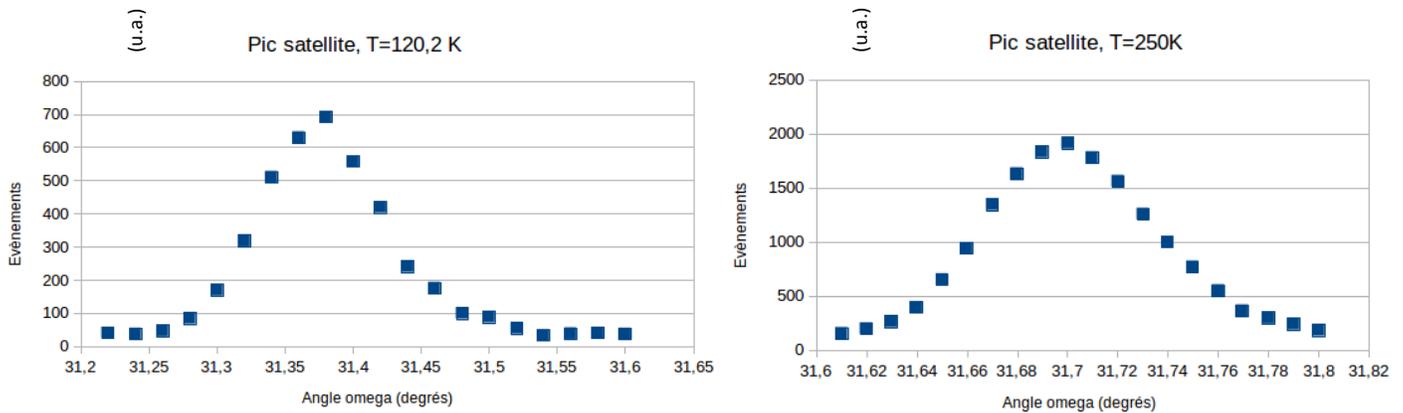
**Formation et établissement concerné :** [Master ICFP parcours « Condensed Matter Physics »](#) Cohabité par l'Université Paris-Saclay (UPSud / Ecole Polytechnique), ENS, UPMC, Univ. Paris-Diderot.

Le principal investissement du projet ExLab-M2PMC a été l'achat d'un cryostat optimisé pour la diffraction des rayons X [18.5 k€]. Celui-ci a été installé au Laboratoire de Physique des Solides afin de proposer un TP de diffraction des rayons X à basses températures portant sur le chrome. Malgré sa structure cubique très simple, ce matériau développe un état magnétique et électronique complexe à basses températures, décrit par la coexistence d'une onde de densité de spin (ODS) et d'une onde de densité de charge (ODC). Les modulations périodiques liées à ces ondes de densité se traduisent par l'apparition de pics de diffraction en-dessous de la température critique. L'observation de ces pics dits « satellites » permet de caractériser l'ODS et l'ODC dans le chrome :

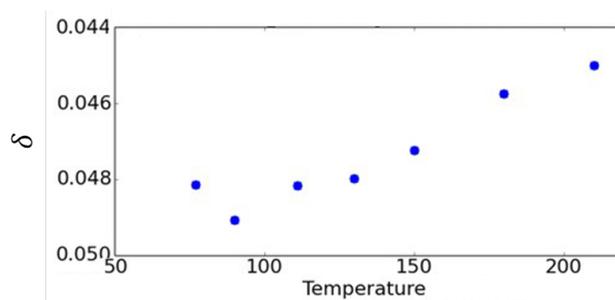
- 1) L'intensité des pics « satellites » est proportionnelle à l'amplitude des modulations, et constitue une mesure du paramètre d'ordre de la transition.
- 2) La position angulaire des pics « satellites » est directement liée aux vecteurs d'onde de l'ODS et de l'ODC.

Ce TP permet aux étudiants de découvrir la diffraction des rayons X, technique omniprésente dans les laboratoires, utilisée tant pour les premières caractérisations d'échantillon que pour l'étude des processus fondamentaux d'interaction entre les différents degrés de liberté de la matière condensée (spin/charge des électrons, orbitales, réseau cristallin). En outre, la physique proposée lors de ce TP permet de manipuler la notion de paramètre d'ordre d'une transition de phase et de découvrir des composés à couplage électron-phonon fort.

Avant l'acquisition du cryostat, le TP « Onde de densité de charge dans le chrome » s'articulait autour de deux phases : **1)** Orientation de l'échantillon en condition de diffraction, et **2)** Mesure du pic de l'ODC à 250 K. La basse température était obtenue par une cellule Peltier placée sous vide. A 230 K cependant, l'intensité du pic « satellite » de l'ODC est très faible : seulement 50 coups sont mesurés au maximum du pic lors d'une acquisition de 10 min. Cet état de fait interdisait l'exploration de la dépendance en température de l'ODC : les satellites, difficilement mesurables à 250 K, ne le sont plus du tout à des températures supérieures... Le cryostat à flux d'azote acheté dans le cadre du projet ExLab-M2PMC et présenté en **Figure 1** permet d'atteindre facilement et rapidement une température de 77 K, puis de remonter petit à petit jusqu'à 250 K afin d'observer l'évolution des pics satellites. La **Figure 2** montre un pic satellite de l'ODC mesuré à 120 K et 250 K : on remarque que sa position angulaire change notablement. L'analyse des données permet de tracer l'évolution du module du vecteur d'onde de l'ODC du chrome en fonction de la température (**Figure 3**).



**Figure 2 :** Pic « satellite » caractéristique de l'onde de densité de charge du chrome, mesurée à 120 K (gauche) et 250 K (droite). [Encadrant du TP : Vincent Jacques (LPS)]



**Figure 3 :** Evolution, en fonction de la température, du module du vecteur d'onde de l'onde de densité de charge du chrome. [Encadrant du TP : Vincent Jacques (LPS)]

Résultats obtenus dans le cadre du projet ExLab-M2PMC financé par le thème Formation-Diffusion du LabEx PALM et porté par **Claire Laulhé**.