



## Laboratoire CIMAP

Centre de recherche sur les Ions, les Matériaux et la Photonique

UMR 6252 – CEA – CNRS – ENSICAEN – UNICAEN

6 Boulevard Maréchal Juin

14050 Caen Cedex 4

### ✓ Proposition de sujet de stage M2

**Titre : *Caractérisation expérimentale en microscopie électronique des clusters de défauts induits dans le silicium par déplacements atomiques***

**Contacts :** Mamour Sall : [sall@ganil.fr](mailto:sall@ganil.fr) 02 31 45 46 27

**Lieu** Caen

Les composants microélectroniques utilisés en environnement nucléaire ou spatial sont détériorés par les radiations présentes dans ces environnements. Notamment, des particules massiques telles que les neutrons, les protons ou les ions peuvent entrer en collisions avec des atomes des matériaux semi-conducteurs et les déplacer, initiant une cascade de collisions car les atomes déplacés peuvent à leur tour générer des collisions. Il en résulte des défauts dans la matière, de type lacunes, atomes interstitiels, clusters de lacunes ou d'interstitiels et poches amorphes. Ces défauts créent des niveaux d'énergie dans la bande interdite des semi-conducteurs, qui modifient les caractéristiques électroniques des composants. Par exemple, les défauts peuvent agir en centre de génération thermique de porteurs de charges, ce qui produit un courant d'obscurité dans les capteurs d'images en silicium et donc une perte de contraste de l'image formée : même en l'absence de photons, le capteur produit un courant [1].

Le laboratoire LCTD de Bruyères-le-Châtel utilise la méthode de la Dynamique Moléculaire (DM) pour simuler la formation des défauts dans la matière lors d'une irradiation [2-4]. Cette méthode est particulièrement adaptée car elle permet d'observer des phénomènes très rapides (femtoseconde ou moins) tout en ayant une résolution atomique, ce qui est encore inaccessible à l'expérience. Cependant, il est quand même nécessaire de valider par l'expérience les résultats obtenus en simulation. Si tout le déroulé de la simulation de cascades de collisions obtenu en DM ne peut pas être validé par l'expérience, une image en Microscopie Electronique en Transmission (MET) de l'échantillon post-irradiation et l'état final du matériau à la fin des simulations DM de cascades de collisions devraient être comparables. L'objectif de ce stage est de réaliser des observations MET des clusters de défauts créés par irradiation aux ions dans le silicium, le matériau de base de la microélectronique. Le candidat.e devra préparer les lames MET silicium. Les irradiations seront réalisées sur ces lames MET à JANNuS à Orsay à des faibles énergies, identiques aux simulations DM (quelques dizaines de keV), et à des fluences permettant d'isoler les cascades individuelles (pas de recouvrement). Le protocole de préparation de lames MET mis au point devra faire en sorte que la préparation n'induit pas de défauts dans le matériau qu'il ne serait pas possible de

différencier des défauts volontairement créés par irradiations. Les observations MET seront aussi réalisées par la.le stagiaire, de même que l'extraction de données de ces images pour comparaison aux simulations (taille et forme des clusters, nombre de clusters).

La.le candidat.e acquerra des compétences en interaction ion/matière, en préparation d'échantillons MET par la technique du Focused Ion Beam (FIB) et en imagerie MET. Ce stage CNRS s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire LCTD de Bruyères-le-Châtel et le laboratoire CIMAP-GANIL, il se déroulera au sein du CIMAP à Caen.

[1] A. Jouni *et al.*, IEEE TNS, **71**, 4, pp. 710-718, 2024.

[2] A. Jay *et al.*, IEEE TNS, **64**, 1, pp. 141-148, 2017.

[3] T. Jarrin *et al.*, PRB, **104**, 19, 195203, 2021.

[4] J. Parize *et al.*, IEEE TNS, **71**, 8, pp. 1461-1468, 2024.