

## Proposition de stage / Internship proposal

Date de la proposition : 01/10/2021

### Responsable du stage / internship supervisor:

Nom / name: PICARD Prénom/ first name : Yan  
Tél : 01 69 35 20 34 Courriel / mail: yan.picard@universite-paris-saclay.fr

### Nom du Laboratoire / laboratory name: Laboratoire Aimé Cotton

Etablissement / institution : Paris-Saclay/CNRS

Site Internet / web site: <http://www.lac.universite-paris-saclay.fr/>

Lieu du stage / internship place: Campus Orsay Paris-Saclay, Bât 505

### Titre du stage / internship title: Faisceau d'ions focalisés par contre-réaction d'électrons corrélés (FIBback)

#### Résumé / summary

La détection, le contrôle et la manipulation des particules individuelles sont cruciaux pour le développement de nouvelles technologies. Avec le développement des dispositifs nano-électroniques, un véritable bond technologique est nécessaire pour adresser ces dimensions ultimes. Une limitation très importante à ce développement est le fait que les outils d'analyse de la fabrication de ces circuits imprimés, que sont les faisceaux d'ions focalisés (FIB : Focused Ion Beam) standards, n'ont actuellement pas la taille de sonde nécessaire. Ainsi, pour la technologie des semi-conducteurs, mais aussi pour de nombreux développements en technologie quantique, une nouvelle méthode d'analyse est nécessaire. **C'est précisément le cadre de ce sujet de stage et de thèse au Laboratoire Aimé Cotton (LAC) qui s'appuie sur la collaboration avec l'entreprise Orsay Physics (OP), spécialiste mondial en faisceaux d'ions focalisés.**

La production déterministe d'ions individuels ainsi que le contrôle de leur trajectoire ion par ion a été récemment réalisée pour la première fois au LAC [Lop19]. En utilisant la corrélation entre l'ion et l'électron, issus de la photoionisation d'atomes de césium, l'équipe du LAC a développé un système de rétroaction rapide pour contrôler en temps réel la trajectoire des ions. A partir de la position de l'électron, on peut prédire la position d'arrivée de l'ion corrélé et agir en temps réel sur sa trajectoire afin de l'envoyer à l'endroit souhaité sur la cible. Ce dispositif permettra donc de surpasser les limites actuelles de résolution de la colonne développée par OP en ajoutant à la focalisation actuelle de cette colonne la correction des trajectoires individuelles de chaque ion.

Par ailleurs, grâce à la corrélation entre les paires électron/ion de cette source déterministe, l'équipe du LAC a de plus réalisé des expériences d'imagerie fantôme (ghost imaging) avec des ions et des électrons [Tri20]. Cette imagerie fantôme permet d'observer ce qui se trouve sur le trajet du spot d'ions en exploitant l'image obtenue avec les électrons corrélés. La démonstration a été faite au LAC qu'il est possible, en utilisant l'imagerie du détecteur des électrons, de révéler des détails de structures inaccessibles à la résolution en position du détecteur des ions. L'utilisation de cette technique dans le cadre de ce projet sera très pertinente pour l'amélioration de la résolution de l'imagerie faite avec la colonne FIB. L'imagerie faite avec la mesure des électrons secondaires provenant de l'impact de chaque ion sur l'échantillon sera enrichie par l'information en position de l'électron corrélé à chaque ion, ce qui permettra de descendre à une résolution sub-nanométrique pour cette colonne FIB.

**Ce projet rendra donc possible le fait de pouvoir contrôler le nombre et la position des atomes (ou des ions) à l'échelle nanométrique, étape déterminante pour le développement de la nano-électronique et des technologies quantiques futures.**

[Lop19] C. Lopez, A. Trimeche, D. Comparat and Y.J. Picard; Real-Time Trajectory Control of Deterministically Produced Ions; Phys. Rev. Appl. 11, 064049 (2019) [arXiv:1812.09039v2]

[Tri20] A. Trimeche, C. Lopez, D. Comparat, Y.J. Picard; Ion and Electron Ghost Imaging; Phys. Rev. Research 2, 043295 (2020) [hal-02498878] [arXiv:2003.02186]

**Ce stage pourra-t-il se prolonger en thèse ? Possibility of a PhD ? : OUI**

**Financement de thèse acquis / financial support for the PhD : 36 mois via ANR**