



## Sujet de thèse octobre 2025 à Caen

### PROJECT SOLITER

#### (Développement d'une Source à base de Liquide Ionique de Terres Rares)

**Contexte et objectifs :** Le projet s'inscrit dans le cadre du laboratoire commun CICLOP, qui réunit le laboratoire [CIMAP à Caen](#) et l'entreprise [Orsay Physics TESCAN](#) à Fuveau. L'objectif est de réaliser une source d'ions de terres rares ( $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$ ...) à forte brillance (rapport intensité sur émittance élevé), ce qui permet de focaliser le faisceau en un point de quelques nanomètres. La source permettra d'implanter des ions de Terres Rares (TR) dans des cristaux tels que LiF ou YAG, afin de créer des centres colorés (CC) [1]. Ces derniers résultent de l'interaction entre les ions implantés et les défauts cristallins induits par l'implantation (ou les défauts natifs), comme les lacunes d'oxygène et les interstitiels [2]. Les centres colorés peuvent être optimisés pour des applications spécifiques, comme les capteurs optiques ou lasers solides, la fabrication de structures nanométriques, comme les phosphores et les diodes LED, ou encore des guides d'ondes optiques, mais ils peuvent aussi être utilisés dans le cadre d'applications en informatique quantique (Qbits) [3].

**État de l'art :** Les sources Liquid Alloy Ion Source (LAIS) offrent une précision d'implantation de 10 nm mais sont inefficaces avec les ions de terres rares (TR) en raison de leur faible solubilité, leur faible efficacité d'ionisation et leur susceptibilité à l'oxydation [4]. Les alternatives comme les sources par ablation laser, à plasma confiné (ECRIS), ou à ionisation thermique ont une résolution latérale de plusieurs micromètres et nécessitent alors des masques nanométriques pour atteindre la précision requise [2], compliquant ainsi la production de CC.

**Positionnement :** Des sources LAIS utilisent une aiguille métallique recouverte d'un métal liquide comme pointe émettrice. Des sources basées sur le même principe que les LAIS, mais utilisant des liquides ioniques (LI) ou des sels fondus (SF) à la place du métal liquide, ont été étudiées et validées dans le passé [5,6]. L'innovation ici consiste en l'utilisation de LI ou SF contenant des terres rares pour créer un faisceau d'ions TR. En outre, la pointe métallique est remplacée par un capillaire conique en verre étiré manuellement. Le liquide remplit la pointe du capillaire jusqu'à son orifice micrométrique, ce qui devrait assurer une bonne conductance électrique et donc une brillance accrue.

**Travaux :** Un premier objectif est de fournir une preuve de concept d'une source capable de produire un faisceau d'ions TR stable sur plusieurs heures, avec une courbe V/I caractéristique d'une LAIS, et ce, avec au moins une des deux configurations (LI/SF).

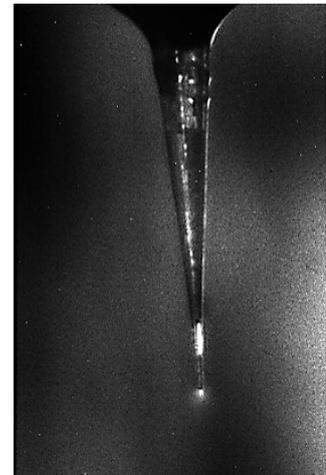


Figure 1: Capillaire rempli de SF avec un plasma au bout de la pointe, signe d'émission d'ions [6]

La première partie de la thèse sera dédiée à l'étude bibliographique et expérimentale des LI et SF contenant des TR afin de sélectionner les candidats prometteurs. En particulier, les propriétés physiques (conductivité, viscosité, caractère mouillant, etc.) des LI et SF contenant des TR dans des conditions de vide secondaire seront mesurées, car aucune donnée n'est disponible dans la littérature. En parallèle, le phénomène d'émission d'ions depuis un liquide électrisé sera étudié. Notamment, le



processus d'évaporation d'ions par champ électrique sera modélisé et simulé grâce aux codes numériques de l'équipe SIMUL.

Le capillaire conique est ensuite fixé au corps de source rempli de sel ou LI. Le corps est monté sur la tête de source qui contrôle les potentiels et le chauffage, et vissé sur l'enceinte sous vide. Une légère surpression injecte le SF ou LI dans le capillaire jusqu'à formation d'une gouttelette à sa pointe, observée en temps réel par caméra. Un champ électrique transforme cette gouttelette en cône de Taylor avec un demi-angle de  $49^\circ$ , émettant des ions TR par évaporation de champ depuis le ménisque nanométrique. Une légère surpression empêche le sel de se rétracter. Ensuite, il faudra configurer le système d'extraction, optimiser la géométrie de la pointe du capillaire, ajuster la température du SF ou LI, et trouver la surpression correcte pour une émission stable.

Dans un deuxième temps, la source TR sera installée et montée sur une colonne Focused Ion Beam (FIB) filtrée d'Orsay-Physics afin de déterminer la composition du faisceau (espèces émises) ainsi que la résolution latérale du faisceau TR par imagerie d'un échantillon.

**Expérience précédente :** Le sujet de thèse est un projet original et novateur présentant des risques maîtrisés, puisque le dispositif expérimental existant a déjà été validé par une étude préliminaire. Sujet en collaboration avec l'industriel [Orsay Physics TESCAN](#)



**CONTACT :**

ERIC GIGLIO (CIMAP à Caen)

Email: [giglio@ganil.fr](mailto:giglio@ganil.fr)

<https://doctorat.campusfrance.org/CF202542412>

**Références :**

[1] Kolesov, R., Xia, K., Reuter, R. *et al.* « Optical detection of a single rare-earth ion in a crystal.” *Nat Commun* **3**, 1029 (2012). <https://doi.org/10.1038/ncomms2034>

[2] T. Kornher *et al.*, “Production yield of rare-earth ions implanted into an optical”, *Appl. Phys. Lett.* **108**, 053108 (2016), <https://doi.org/10.1063/1.4941403>

[3] Siyushev, P., Xia, K., Reuter, R. *et al.* « Coherent properties of single rare-earth spin qubits”. *Nat Commun* **5**, 3895 (2014). <https://doi.org/10.1038/ncomms4895>

[4] Th. Ganetsos *et al.*, “Characteristics of erbium-ions-producing liquid metal ions sources”, *Physica B: Condensed Matter*, Vol 340–342 (2003), p. 1166-1170

[5] Paulo Lozano, Manuel Martínez-Sánchez, *Journal of Colloid and Interface Science* **282** (2005) 415–421, “Ionic liquid ion sources: characterization of externally wetted emitters”

[6] M. Léger, E. Giglio, S. Guillous *et al.* Houel, “Molten salt ion source using glass capillaries as emitter”, submitted to *Journal of vacuum science and technology B*, [ArXiv:2412.09374v1](https://arxiv.org/abs/2412.09374v1)