# Vers un prototype de microscopie électronique de surface

Stage réalisé par Sébastien Lavielle et encadré par Daniel Comparat et Yan Picard

Laboratoire Aimé Cotton, équipe Matière Froide Corrélée

sebastien.lavielle@ens-paris-saclay.fr

## Résumé

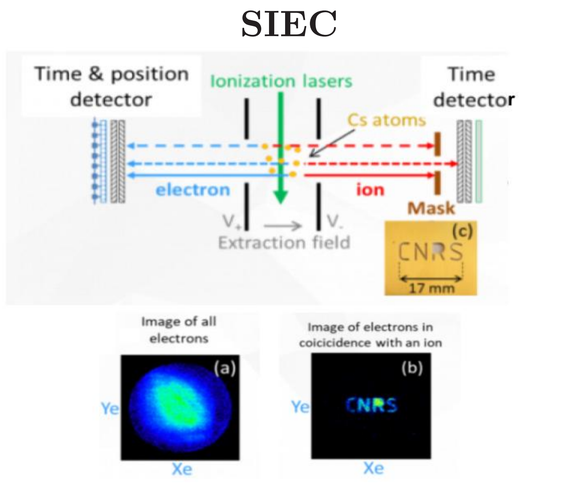
En sélectionnant des états Rydberg adéquats du Césium, il est possible de générer des faisceaux d'ions et d'électrons intenses, corrélés spatialement et presque monochromatiques. [1]

Après avoir démontré ce phénomène sur une manipulation de preuve de principe (**S**ource d'**I**ons et d'**É**lectrons **C**orrélés), on souhaite utiliser ces propriétés uniques pour développer une nouvelle méthode de microscopie et d'étude de surfaces : **HREELM** (High-Resolution Electron Energy Loss Microscopy).

À terme, le détecteur **TimePix 3** développé par le CERN sera implémenté pour mesurer les informations hyperspectrales (x,y,énergie) des électrons.[2]

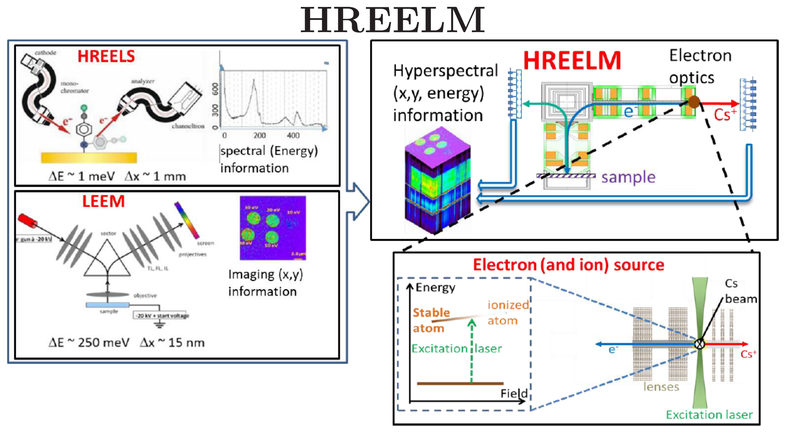
## Expériences

### SIEC




- Tous les électrons sont détectés, certains ions sont arrêtés par un masque.
- Corrélation ions/électrons : apparition du masque sur le tracé des électrons.

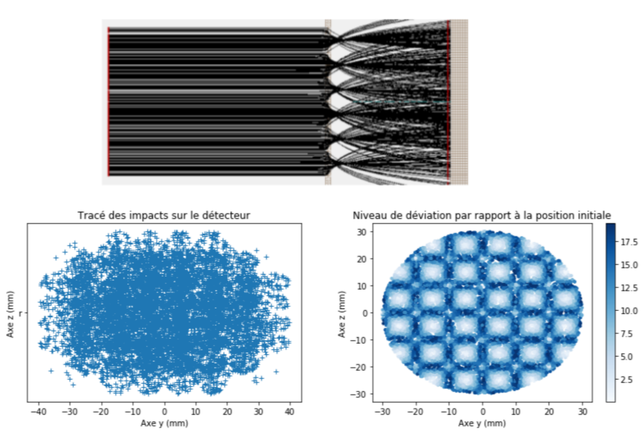
### HREELM



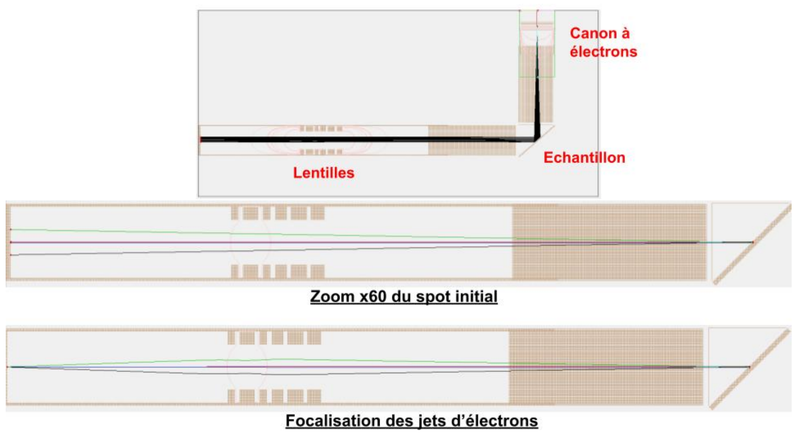

- Combinaison d'une méthode de microscopie et d'une méthode de spectroscopie.
- Mesure du temps de vol des électrons : informations sur l'énergie échangée avec la surface de l'échantillon.

## Simulation

**Simion 8.1 : simulation de trajectoires de particules dans des champs électromagnétiques**

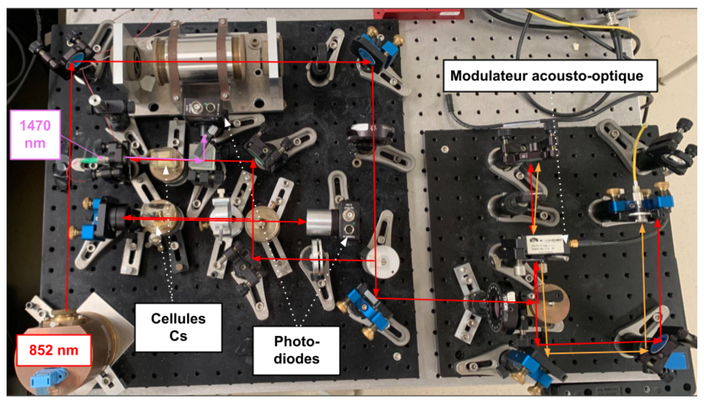



- Reconstruction d'une perturbation induisant une modification sur le parcours des électrons, à partir de leur déviation par rapport à la position initiale.

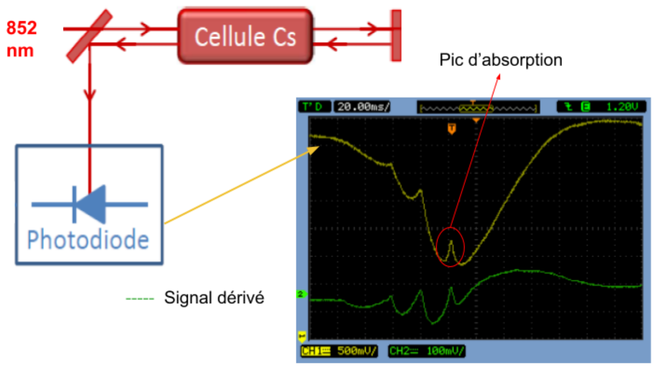



- 2 propriétés importantes pour l'imagerie HREELM : zoom et focalisation du rayon d'électrons.
- Optimisation des potentiels des lentilles électrostatiques pour obtenir les propriétés voulues.

## Excitation laser




- Possibilité de décalage en fréquence (modulateur acousto-optique) pour compenser l'effet Doppler.




- Asservissement analogique précis en longueur d'onde des lasers par absorption saturée.

## Conclusions et perspectives

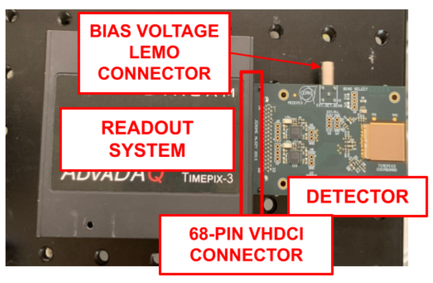
- Remise en marche de l'expérience SIEC, avec asservissement et décalage des lasers.
- Développement d'une simulation des trajectoires pour SIEC (reconstruction d'obstacles) et HREELM (focalisation et zoom pour imagerie et spectroscopie).
- À terme, l'implantation du Timepix sous vide permettra de proposer un prototype du système HREELM.

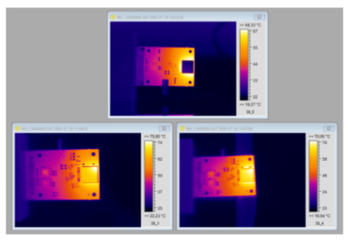
## Principales références

[1] R. Hahn *Ionisation of caesium Rydberg atoms for a mono-chromatic electron source for applications in electron microscopy and spectroscopy*, **Thesis in General Physics**, Université Paris-Saclay, 2021.

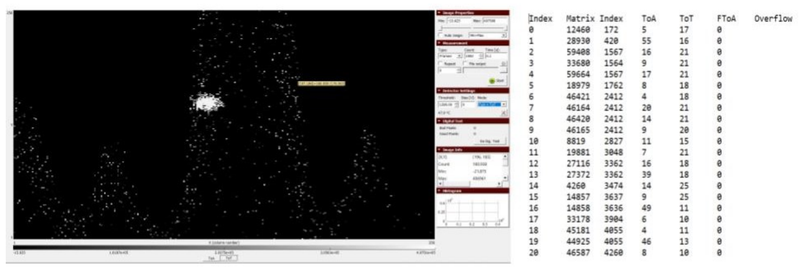
[2] L. Glöggler et al , *High-resolution MCP-TimePix3 imaging/timing detector for anti-matter physics*, **Measurement Science and Technology**, 2022.

## Détecteur Timepix



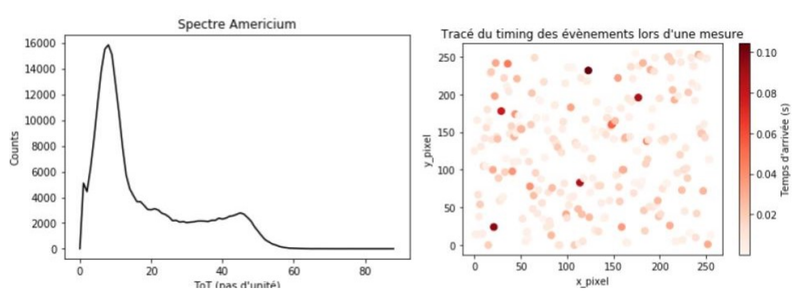



- Prise en main du détecteur ainsi que de son module d'acquisition.
- Caractérisation thermique : nécessité de prévoir un système de refroidissement sous vide.



| Index | Matrix Index | ToA | ToT | FToA | Overflow |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 12460 | 172 | 5 | 17 | 0 |
| 1 | 28930 | 420 | 55 | 16 | 0 |
| 2 | 59488 | 1567 | 16 | 21 | 0 |
| 3 | 33680 | 1564 | 9 | 21 | 0 |
| 4 | 59664 | 1567 | 17 | 21 | 0 |
| 5 | 18979 | 1762 | 8 | 18 | 0 |
| 6 | 46421 | 2412 | 4 | 18 | 0 |
| 7 | 46164 | 2412 | 20 | 21 | 0 |
| 8 | 46420 | 2412 | 14 | 21 | 0 |
| 9 | 46165 | 2412 | 9 | 20 | 0 |
| 10 | 8819 | 2827 | 11 | 15 | 0 |
| 11 | 19881 | 3048 | 7 | 21 | 0 |
| 12 | 27116 | 3362 | 16 | 18 | 0 |
| 13 | 27372 | 3362 | 39 | 18 | 0 |
| 14 | 4260 | 3474 | 14 | 25 | 0 |
| 15 | 14857 | 3637 | 9 | 25 | 0 |
| 16 | 14858 | 3636 | 49 | 11 | 0 |
| 17 | 33178 | 3904 | 6 | 10 | 0 |
| 18 | 45181 | 4055 | 4 | 11 | 0 |
| 19 | 44925 | 4055 | 46 | 13 | 0 |
| 20 | 46587 | 4260 | 8 | 10 | 0 |

- Détection d'un pulse d'électrons généré dans une aiguille placée au dessus du détecteur.
- Logiciel d'acquisition : possibilité de mesurer plusieurs valeurs clés, en mode 'frame-based' ou 'event-based' (cf. tableau de données).




- Spectre Americium (données CEA). Détecteur non calibré : valeurs arbitraires d'énergie.
- Carte des impacts : étude du temps de vol des particules.