



# Utilisation de la source d'ions "SUPERSHYPIE" pour des études de collisions à basse énergie ion-atome et ion-molecule

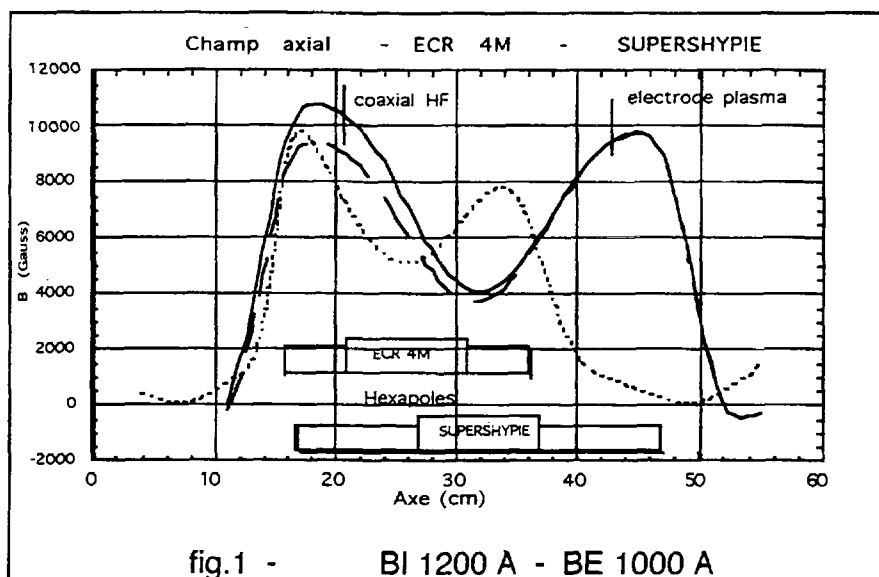
V.Bazin, P. Boduch, J.Y. Chesnel, F. Frémont, D. Lecler - CIRIL  
J.Y. Pacquet, G. Gaubert, R. Leroy - GANIL

Depuis 1990, les recherches utilisant les sources d'ions ECR 3 (10 GHz), ECR 4, ECR 4M, NANOGAN II et "SUPERSHYPIE" (14,5GHz) du GANIL ont été menées par 4 laboratoires de Physique Atomique principalement par le Laboratoire de Spectroscopie Atomique (LSA—ISMRA) et par le Centre Interdisciplinaire de Recherche avec les Ions Lourds (CIRIL) regroupés cette année en Centre Interdisciplinaire de Recherche Ions Lasers.

Ces travaux d'étude de collisions Ion-Atome ont fait l'objet de 9 thèses de doctorat universitaire et de 60 publications dans des revues et des colloques.

## SUPERSHYPIE :

La cavité plasma de la source ECR 4M de diamètre 64 mm et de longueur 176 mm a été portée à 285 mm. Les anneaux de fer doux de fermeture du champ axial ont été remplacés par des anneaux d'aimants permanents (hexapôles et orientation radiale). Le champ axial résultant des courants dans les bobines coté induction (BI), extraction (BE) et des anneaux est représenté sur la figure 1 et comparé à celui de ECR 4M. L'électrode plasma d'ouverture 10 mm et l'antenne HF coaxiale sont positionnées comme indiqué sur la figure. L'électrode plane d'extraction de diamètre 43 mm a une ouverture de 20 mm, sa distance par rapport à l'électrode plasma est réglable de 10 à 60 mm.



## COLLISIONS $\text{Ar}^{8+}$ - $\text{Cs}(6s,6p)$ - SPECTROSCOPIE PHOTONIQUE

### Principe et but de l'expérience

A basse énergie, lors d'une collision entre un ion  $\text{Ar}^{9+}$  et une cible atomique alcaline, le processus dominant est la simple capture électronique. Les sections efficaces dépendent essentiellement de l'énergie de collision et du recouvrement des orbitales de l'ion incident et de l'atome cible. Les techniques de pompage optique par laser permettent de préparer la cible dans un état quantique donné; la polarisation du faisceau laser provoque l'alignement du nuage électronique de la cible et permet l'étude de l'influence du recouvrement des orbitales. Les collisions sur des cibles excitées et polarisées ont des applications dans le domaine des faisceaux d'ions polarisés nucléairement après transfert de polarisation du nuage électronique vers le noyau.

### Montage expérimental

Les ions  $\text{Ar}^{8+}$  sont produits par une source ECR "SUPERSHYPIE" et sont focalisés sur un jet effusif de césium. L'optique de faisceau après le dipôle d'analyse comporte une lentille électrostatique (accélération, décélération) et un triplet de quadrupôles utilisé symétriquement. La source a été portée de 10 à 20 kV. Un ralentisseur, placé au centre de l'enceinte a permis de descendre à une énergie de collision de 2 qkeV.

Le jet de césium est produit par un four suivi d'un tube capillaire et d'un collimateur. Un détecteur de type Langmuir-Taylor permet de mesurer le nombre d'atomes par unité de volume.

Le pompage optique est assuré par deux diodes laser monomodes accordées et asservies sur deux transitions hyperfines de 6s vers 6p du  $^{133}\text{Cs}$  de spin nucléaire  $I=7/2$  (852 nm).

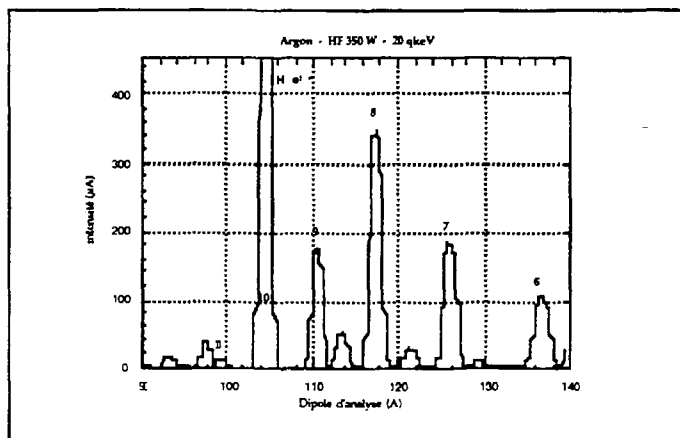
Une partie des photons émis (dans  $4\pi$  stéradians) lors de la collision sont focalisés sur la fente d'entrée d'un spectromètre à réseau de haute résolution.

### Cahier des charges pour la source d'ion

- Nécessité d'un faisceau suffisamment intense.
- Stabilité du faisceau pendant la durée (3 à 8 heures) d'expérience limitée par le fonctionnement du four de césium

### Résultats de fonctionnement de SUPERSHYPIE

Pour  $\text{Ar}^{8+}$ , les meilleures performances ont été obtenues avec de l'hélium comme gaz support. La figure 2 présente le spectre typique obtenu



$I_{\text{source}} = 4,3 \text{ mA}$

$BI = 1226 \text{ A}$

$BE = 945 \text{ A}$

$CF_{\text{exp}} = 318 \mu\text{A}$

fig. 2

Performances de la source SUPERSHYPIE dans le cadre des expériences de collisions.

| Ion projectile   | cible  | source kV | collision qkeV | intensité du faisceau ( $\mu\text{A}$ ) | fluctuations | durée  |
|------------------|--------|-----------|----------------|---|--------------|--------|
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6s) | 20        | 20             | 245                                     | 4%           | 3 h 45 |
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6s) | 20        | 15             | 260                                     | 2,7%         | 2 h 30 |
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6s) | 20        | 10             | 275                                     | 3%           | 2 h 20 |
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6s) | 14        | 5              | 173                                     | 5%           | 3 h 15 |
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6s) | 14        | 2              | 157                                     | 4%           | 5 h    |
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6p) | 20        | 20             | 260                                     | 4%           | 6 h    |
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6p) | 20        | 15             | 265                                     | 3%           | 3 h    |
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6p) | 20        | 10             | 280                                     | 3%           | 3 h    |
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6p) | 15        | 5              | 231                                     | 3%           | 3 h 15 |
| Ar <sup>8+</sup> | Cs(6p) | 14        | 2              | 214                                     | 3%           | 7 h 30 |

## COLLISIONS IONS-MOLECULES (CO, H<sub>2</sub>) - SPECTROSCOPIE DES IONS DE RECUL et COLLISIONS IONS-ATOME Ar<sup>17+</sup> - He - SPECTROSCOPIE D'ELECTRONS

### Principe et but de l'expérience

La fragmentation des molécules permet d'approfondir la recherche fondamentale sur la nature et la dynamique de la structure moléculaire. Lors des collisions entre des hautement chargés et une molécule il y a ionisation et excitation. Il en résulte une fragmentation. L'analyse de la direction et de la vitesse des fragments moléculaires permet de connaître les états excités de la molécule peuplés par la collision.

Un autre procédé consiste à étudier la spectroscopie des électrons Auger émis à la suite des captures d'électrons de l'atome ou de la molécule par l'ion projectile. L'observation de la vitesse et de la direction d'émission après double capture permet de mesurer la section efficace de captures simultanées et corrélées ou successives.

### Montage expérimental

Les ions produits par la source ECR "SUPERSHYPIE" doivent former un faisceau fin (2 x 2 mm) et de très faible émittance qui croise le jet atomique à la sortie de la buse en graphite au centre de l'enceinte. Le spectromètre électrostatique de haute résolution est porté par un anneau centré sur le point de collision. Les spectres obtenus permettent l'analyse en énergie et en angle des électrons ou des ions émis.

L'optique après le dipôle d'analyse, lentille électrostatique, permet de former un faisceau que l'on collimate à l'aide d'un diaphragme de fentes ( $\approx 2 \times 2$  mm mais réglables). Devant le cylindre de Faraday (Cf) placé en bout de ligne à la sortie de l'enceinte est placé un diaphragme (Dph.) de 2 x 2 mm. Le réglage de la source et de

tous les éléments d'optique de faisceau consiste à obtenir dans la pratique, la meilleure intensité de faisceau sur Cf associée au plus faible rapport possible Dph/Cf (voir le tableau ci-dessous). Cependant, dans ce cas, l'intensité sur Cf est de 1% à 1,5% de celle mesurée après la fente image du dipole d'analyse.

### Cahier des charges pour la source d'ions

- La meilleure performance en intensité et qualité de faisceau pour les hauts états de charge;
- Stabilité, sans intervention pendant la durée d'acquisition des spectres (1/2 à 1 heure) et aussi d'une expérience complète de 3 à 8 heures.

### Résultats de fonctionnement de SUPERSHYPIE

Les figures et le tableau qui suivent illustrent les remarquables performances de SUPERSHYPIE pour la production des hauts états de charge et pour sa stabilité. Cependant, si l'on compare l'intensité du "courant source" à celle mesurée après l'extraction et par l'intégrale du spectre obtenu, le meilleur rapport est de 50% mais peut descendre à 15%.

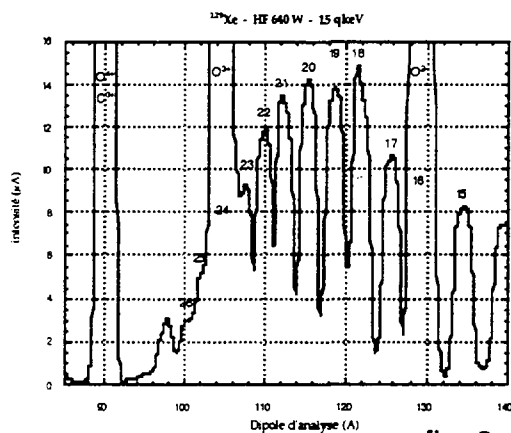


fig. 3

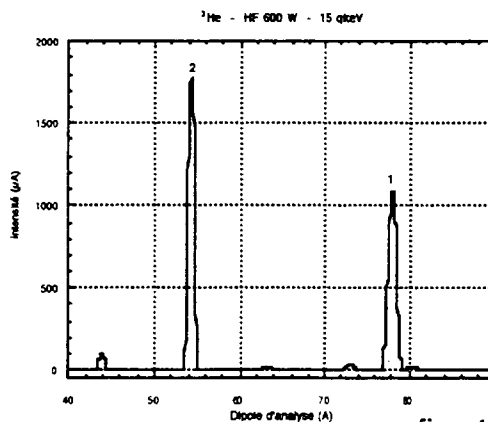


fig. 4

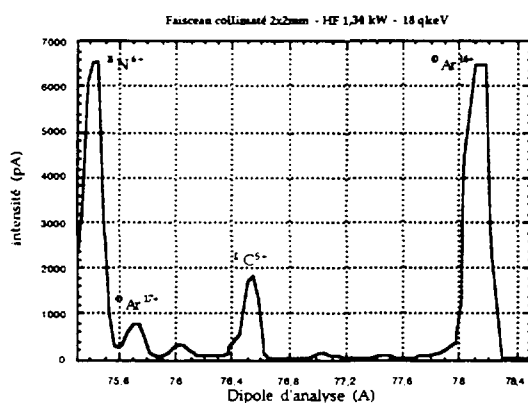


fig. 6

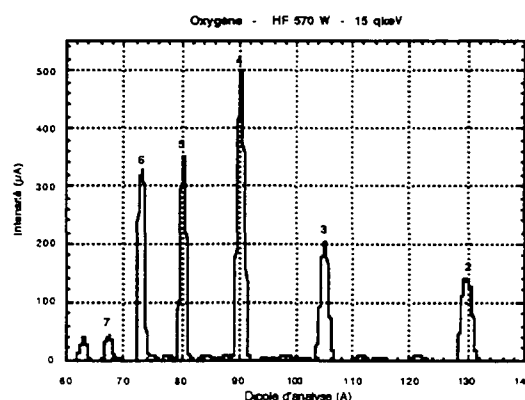


fig. 5

Il faut noter sur la figure 6 la qualité du spectre obtenu après collimation, la source réglée pour Ar<sup>17+</sup> a une puissance HF de 1,34 kW. Proche de 1 nA sur Cf, l'intensité après la fente image du dipôle d'analyse fermée à 2,5 mm était de 100 nA et stable pendant les 4 heures d'acquisition.

Performances de la source SUPERSHYPIE lors des expériences de collisions ions-molécules.

| ion projectile    | cibles             | source kV | intensité sur Cf (nA) | intensité sur Dph (nA) | fluctuations | durée  |
|-------------------|--------------------|-----------|-----------------------|------------------------|--------------|--------|
| Xe <sup>23+</sup> | H <sub>2</sub> ,CO | 15        | 155                   | 40                     | 16%          | 8 h    |
| Xe <sup>23+</sup> | H <sub>2</sub> ,CO | 5         | 50                    | 10                     | 20%          | 6 h    |
| He <sup>2+</sup>  | H <sub>2</sub>     | 15        | 137                   | 40                     | 6%           | 5 h    |
| He <sup>1+</sup>  | H <sub>2</sub>     | 10        | 220                   | 70                     | 7%           | 3 h    |
| O <sup>7+</sup>   | CO                 | 7         | 220                   | 55                     | 4,5%         | 3 h    |
| O <sup>5+</sup>   | H <sub>2</sub>     | 15        | 230                   | 30                     | 4,5%         | 3 h    |
| Xe <sup>23+</sup> | He                 | 15        | 200                   | 40                     | 7,5%         | 3 h    |
| Ar <sup>17+</sup> | He                 | 17        | 0,7-1,0               | 1,0                    | 20%          | 4 h    |
| Ar <sup>16+</sup> | He                 | 17        | 10                    | 7                      | 2%           | 0 h 30 |

### Conclusion

En tant qu'expérimentateurs et utilisateurs de la source SUPERSHYPIE, nous exprimons notre grande satisfaction en particulier sur ses performances pour les hauts états de charge, sur son réglage assez souple et sa grande stabilité. Ce sont sur ces points que nous avons ressenti une différence par comparaison avec l'ECR 4M.

Nous remercions fortement l'équipe "sources d'ions" du GANIL pour leur compétence, l'entente avec eux et leur effort pour satisfaire nos besoins de physiciens.