

# Service des Sources d'Ions

*P. Sortais, J.-C. Curdy, T. Lamy, P. Sole, T. Thuillier, J.-L. Vieux-Rochaz.*

*The main activity of the Ion Source group concerns the development of performant devices using dense plasmas produced by the Electron Cyclotron Resonance : ion sources, charge state booster for Radioactive Ions Beams, UV light for applications.*

## ◆ SPIRAL 2

Le Service des Sources d'Ions s'est investi dans le projet SPIRAL 2 dès la rédaction de l'APS et a la responsabilité de deux éléments cruciaux du projet : l'injecteur  $Q/A = 1/3$  qui servira à la production d'ions super lourds et le booster de charge qui conditionne l'accélération des ions radioactifs par le cyclotron CIME.

### Développement d'émittancemètres

Les mesures d'émittance des ions extraits d'une source qui représentent la divergence d'un faisceau en tout point dans le plan horizontal ou vertical sont un impératif pour le calcul du transport par un accélérateur. Le service a développé et construit un ensemble d'émittancemètres de type Allison (Figure 9) de petites dimensions ( $66 \times 90 \times 39$  mm). Une fente d'entrée permet de sélectionner une tranche horizontale ou verticale du faisceau, on enregistre l'intensité d'ions passant dans une deuxième fente située sur l'axe, en fonction d'un champ électrique appliqué au faisceau sélectionné (Figure 10). L'avantage d'un tel principe est la rapidité de la mesure ainsi que la possibilité de mesurer l'émittance d'un faisceau pulsé de très courte durée. Le contrôle de ce dispositif, la mesure et l'analyse des données expérimentales sont effectués sous LabView.

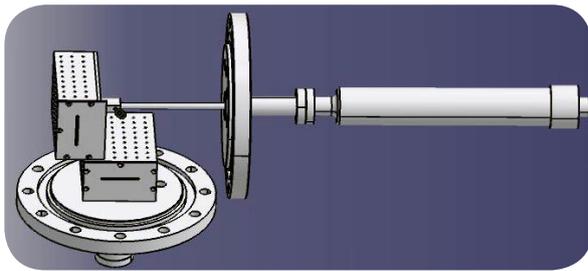


Figure 9: Conception des émittancemètres de type Allison.

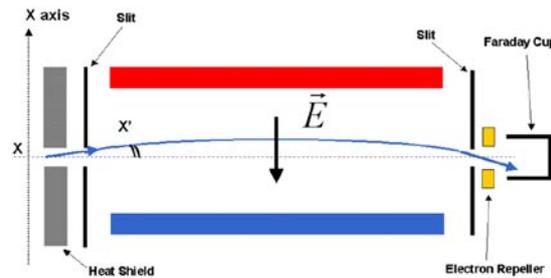


Figure 10: Schéma de principe des émittancemètres.

### Injecteur $Q/A = 1/3$ (PHOENIX 28 GHz V1-V2, puis A-PHOENIX)

Cette source d'ions doit répondre aux exigences du projet SPIRAL 2, à savoir la production de 1 mA d' $Ar^{12+}$  dans une émittance  $\varepsilon < 0,4 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  (1  $\sigma$  RMS normalisée).

Afin de valider la faisabilité d'une telle intensité, des expériences ont été effectuées avec la source PHOENIX 28 GHz V1 (construite pour satisfaire le cahier des charges du faisceau de plomb du LHC). Un faisceau de 1 mA d' $O^{6+}$  a été produit avec une émittance  $\varepsilon \sim 0,2 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  (Figure 11).

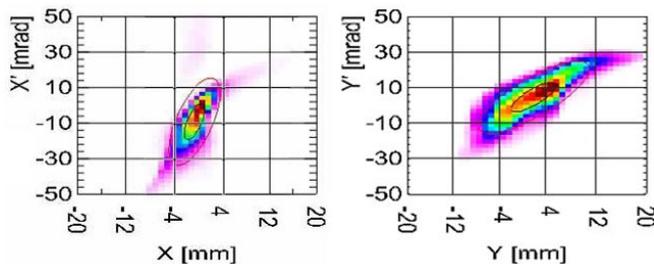


Figure 11: Émittances horizontale et verticale du faisceau d'1 mA d' $O^{6+}$  obtenu avec PHOENIX 28 GHz V1.

Du fait des limitations de la version 1 (champ magnétique radial limite, refroidissement de la chambre à plasma insuffisant), une nouvelle version PHOENIX V2 (Figure 12) a été développée. Elle est plus compacte avec un isolement HT renforcé, un champ magnétique radial hexapolaire totalement optimisé (1,35 T) établi par une structure à aimants permanents (Figure 13) prenant en compte les effets de température sur la rigidité

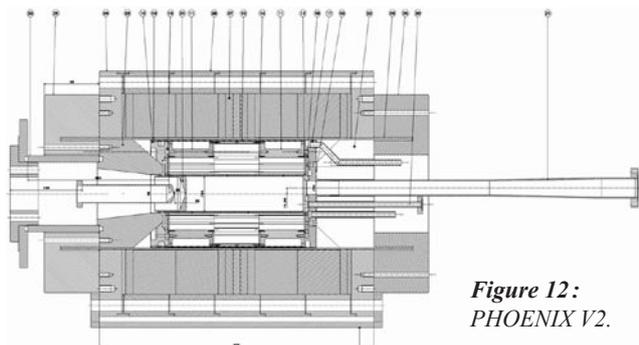


Figure 12: PHOENIX V2.

magnétique des aimants. En outre, elle est dotée d'une chambre à plasma de plus faible volume ce qui permet une augmentation de la densité de puissance. Cette nouvelle source a été mise en service au 1<sup>er</sup> trimestre 2005 et a montré un fonctionnement beaucoup plus stable que la VI pour des performances optima.

Le projet A-PHOENIX financé par l'IN2P3, l'Europe (6<sup>ème</sup> PCRD) et SPIRAL 2 est basé sur l'utilisation de bobines supraconductrices à haute température pour le champ axial et d'un hexapole à aimants permanents de très hautes performances pour le champ radial. La conception de cette source (Figure 14) a été faite en collaboration avec le Service d'Études et de Réalisations Mécaniques du LPSC et s'est terminée fin 2005. Le Service des Sources d'Ions a assuré le suivi de la fabrication des bobines et de leur intégration dans les cryostats par la société SPACE CRYOMAGNETICS en Angleterre (Figure 15). Afin de réduire les coûts de ce projet, la conception et réalisation des circuits de sécurité ont été pris en charge par le LPSC (SSI et Service Électronique).

Figure 13: Tranche de structure hexapolaire 1,35 T et fin d'assemblage.

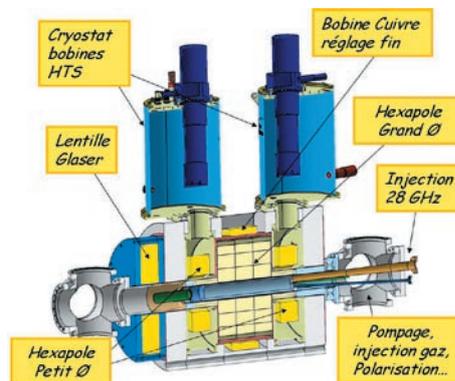
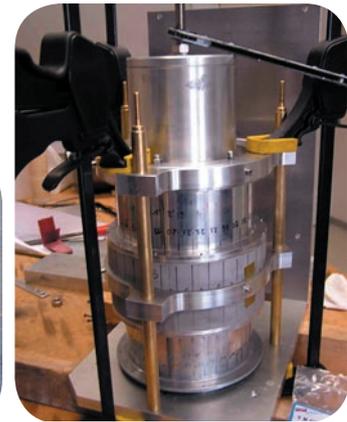
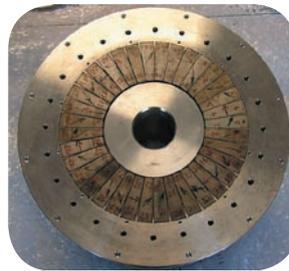


Figure 14: Conception de la source A-PHOENIX.

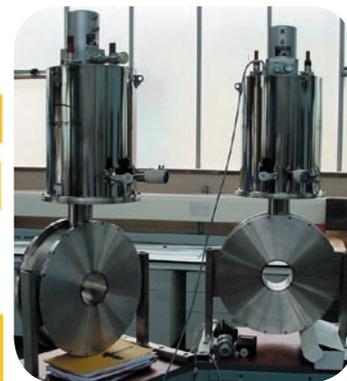


Figure 15: Bobines montées dans leurs cryostats.

### Booster de charge

Pour répondre au cahier des charges du projet SPIRAL 2, Une étude (Figure 16) a été effectuée en collaboration avec renforcement de tenue mécanique du centre du booster a de sur les versions précédentes. Les intensités des faisceaux SPIRAL 2 étant importantes, l'intervention humaine suite à un incident ou pour simple maintenance est une problématique majeure. Une Analyse Méthodologique des Défaillances et Évaluation de leurs Conséquences (AMDEC) a été conduite, et a permis de mettre en évidence les points critiques du système. L'ingénierie nucléaire de SPIRAL 2 a été confiée à la société THALES; il a fallu, dans ce contexte, expliquer le fonctionnement et la maintenance du booster au groupe de travail de cette société. À cette occasion une notice explicative du booster a été rédigée.

le booster doit pouvoir fonctionner à 60 kV. le SERM en vue d'atteindre cet objectif, un même été réalisé du fait d'incidents constatés d'ions radioactifs prévus initialement pour

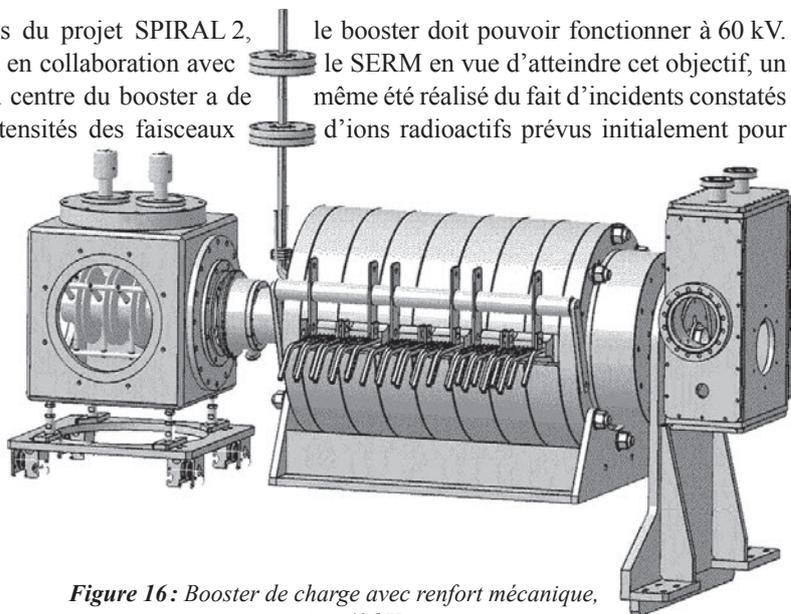


Figure 16: Booster de charge avec renfort mécanique, version 60 kV.

Le problème de la capture des ions légers ( $A < 40$ ) par le plasma du booster a été évalué. La condition de capture étant que la vitesse du faisceau d'ions injecté soit proche de la vitesse des ions du plasma cible, le calcul des trajectoires (Figure 17) a montré que cette condition ne pouvait pas être remplie dans le dispositif actuel. Des études expérimentales sont en cours afin de trouver des solutions permettant de surmonter cette difficulté.

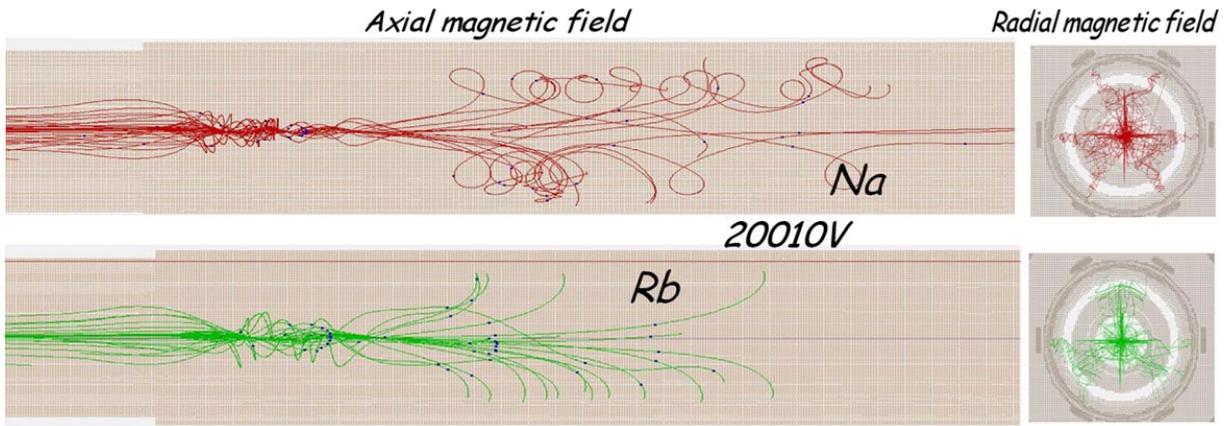


Figure 17: Calcul des trajectoires des ions 1+ sodium et rubidium prenant en compte les champs électriques et magnétiques.

◆ Contrats Européens

EURONS

Le service qui a participé activement au 5<sup>ème</sup> PCRD est engagé dans deux *Joint Research Activities* du programme EUROpean Nuclear Structure, dans lequel 45 laboratoires sont impliqués :

- Joint Research Activity 3 – Advanced Charge Breeding.

Ce JRA a pour objectif d'améliorer les bons résultats obtenus avec le booster de charge ECR. La diminution des impuretés superposées aux faisceaux d'intérêt ainsi que l'effet de l'augmentation de la fréquence RF sur les états de charge accessibles doivent être étudiés. De nombreux problèmes techniques sur les émetteurs 14 GHz ont rendu difficile la tenue de ce programme qui a débuté en 2005. Cependant, la mise au point d'un faisceau stable de 1  $\mu$ A de sodium 1+ par ionisation de surface pour étudier la capture des ions légers, est maintenant acquise, grâce à de nombreuses modifications effectuées sur la source classiquement utilisée pour produire le rubidium.

- Joint Research Activity 7 – Ion Sources for Intense Beams of Heavy Ion.

Le LPSC est responsable du projet A-PHOENIX de ce JRA qui vient en soutien au programme de R&D IN2P3-SPIRAL 2. Dans le cadre de ce contrat, une collaboration étroite a été entretenue avec l'université de Jyväskylä (Finlande) pour les aspects de renforcement de champ magnétique radial.

EURISOL « European Isotope Separation On-Line Radioactive Ion Beam Facility »

Ce projet européen est une étude conceptuelle (*Design Study*) permettant de définir les techniques nécessaires à la construction d'un accélérateur d'ions radioactifs de deuxième génération (post-SPIRAL 2). Il est envisagé d'utiliser cette installation pour produire des faisceaux de neutrinos issus de la désintégration  $\beta^-$  de faisceaux d' $^6\text{He}$  et de  $^{18}\text{Ne}$  accélérés et stockés dans un anneau (projet Beta-Beams).

Lors des études de faisabilité du faisceau de plomb pulsé pour le LHC avec le mode Afterglow à 28 GHz (déconfinement des ions produits par coupure subite de la puissance RF), nous avons observé lors de l'établisse-

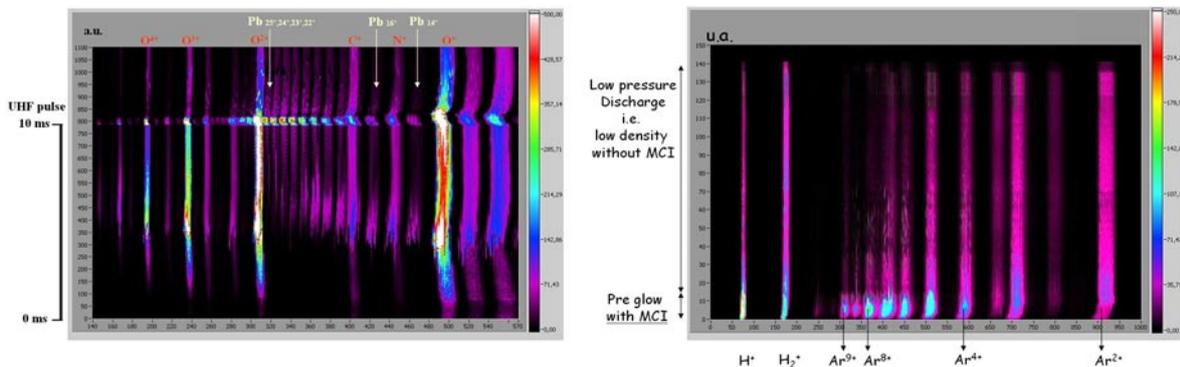


Figure 18: Spectres d'ions en mode afterglow-Pb et preglow-Ar (abscisse : champ B spectromètre, ordonnée : temps, couleur : intensité).

ment de la puissance RF, une extraction immédiate d'ions multichargés associée à une baisse de pression due au pompage ionique (preglow) (Figure 18). Ce phénomène initialement peu porteur d'applications a été proposé par le SSI pour ioniser et extraire dans une fenêtre en temps extrêmement étroite (50  $\mu$ s) les ions radioactifs du projet EURISOL. Ceci permettrait de conditionner en temps les ions radioactifs strippés et ainsi d'économiser la construction de plusieurs accélérateurs. Cette idée a permis au service d'entrer dans EURISOL (Work Package beam preparation). L'objectif défini en commun avec EURISOL consiste à mesurer l'efficacité d'ionisation du mode preglow en fonction de la densité du plasma et donc de la fréquence de l'onde RF injectée. Les expériences ont été faites à 18 GHz fin 2005, l'injection du 28 GHz sera effective en 2006. La comparaison des résultats permettra de décider s'il faut encore augmenter la fréquence ou non (60 GHz).

### ◆ MIMAC-He3

Un nouveau banc expérimental (Figure 19) dédié au projet MIMAC-He3 a été conçu et construit dans le hall du SSI. Il consiste en une source d'ions simplifiée à aimants permanents (2,45 GHz) portée à une haute tension d'extraction de 50 kV et permettant de produire des faisceaux peu intenses d'ions  $^3\text{He}^{2+}$ , d'un filtre de Wien dont le champ magnétique statique est produit par deux blocs d'aimants permanents et d'une lentille de Einzel permettant d'ajuster le faisceau aux besoins de la physique. Le premier objectif de cette expérience est de mesurer la perte d'énergie des faisceaux lors de leur passage au travers d'une feuille mince (50  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) en vue de valider, par la suite, un nouveau type de détecteur. Le service a apporté ses compétences dans le domaine des faisceaux de basse énergie et de faible intensité par la mise en œuvre de channeltrons permettant la détection des électrons issus de la feuille lors du passage des ions, ainsi que l'arrivée des ions (possiblement neutres) après une certaine distance parcourue (mesure de temps de vol). Cette expérience est en cours et les premières mesures qui ont donné entièrement satisfaction, ont eu lieu fin 2005.

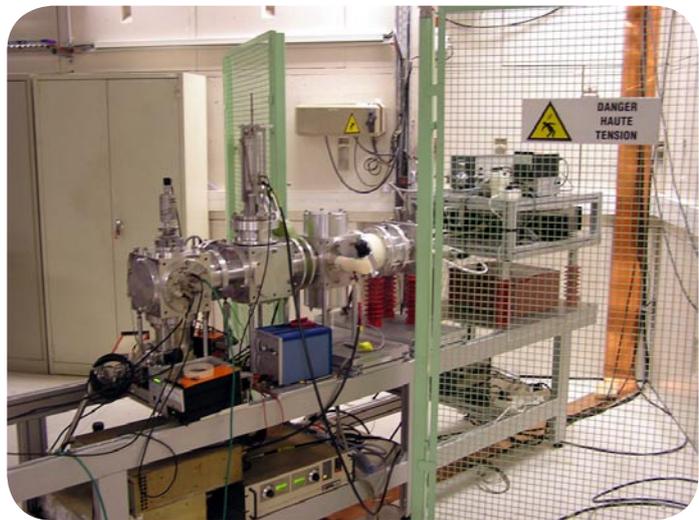


Figure 19: Banc MIMAC-He3.

### ◆ Collaborations

#### ISTC (International Science and Technology Center)

Le service a une longue tradition de collaboration avec le laboratoire ECR de l'Institute of Applied Physics de Nizhny Novgorod (Russie). Cette équipe a de fortes compétences sur les plasmas ECR obtenus par de très fortes puissances d'ondes RF générées par des gyrotrons (37,5-100 kW) injectées dans une structure magnétique axiale supraconductrice. Le service apporte ses compétences dans le domaine de la formation des faisceaux à partir des sources d'ions, et de leur analyse. Un deuxième contrat ISTC est en cours sur la période 2005-2006. Du fait de la complémentarité des compétences entre les deux équipes, une augmentation des échanges est apparue souhaitable surtout sur la thématique d'EURISOL. Un projet de Programme International de Collaboration Scientifique a été déposé en 2005 au CNRS (2006-2009) et a été retenu.

#### ISOLDE IS397

L'expérience IS397 à ISOLDE au CERN a pour but de mesurer les efficacités du booster de charge ECR dans un contexte réaliste de production, avec les faisceaux radioactifs issus de l'ensemble cible source d'ISOLDE en vue de les comparer à ceux obtenus avec REXTRAP-REXEBIS. Le Service des Sources d'Ions participe activement à la définition des programmes expérimentaux et aux campagnes de mesure. Deux campagnes ont eu lieu en 2004-2005 qui confirment totalement les résultats obtenus au LPSC avec des faisceaux stables, et qui sont meilleurs que les valeurs obtenues à TRIUMF (Vancouver).

