
Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

Accélérateurs et instrumentation associée

AMELIORATION DE L'EFFICACITE D'IONISATION POUR LA PRODUCTION DE FAISCEAUX METALLIQUES

Auteur principal

Nom : C. Barué

Affiliation : GANIL, Caen

Email et coordonnées : christophe.barue@ganil.fr, Henri Becquerel, 14076 Caen Cedex 05

Co-auteurs

T. Thuillier, LPSC, Grenoble

B. Gall, IPHC, Strasbourg

F. Lemagnen, GANIL, Caen

L. Maunoury, GANIL, Caen

M. Dubois, GANIL, Caen

1. Informations générales

Titre : AMélioration de l'EFicacité d'ionisation pour la production de faisceaux métalliques

Acronyme : AMEF

Résumé : (max. 600 caractères espaces compris)

La production de noyaux exotiques d'intérêt pour la physique nucléaire nécessite la combinaison optimum d'une cible de production et d'un faisceau primaire, conduisant le plus souvent à l'utilisation d'isotopes métalliques enrichis, rares et coûteux, comme le 48-Calcium et 50-Titane.

Quelle que soit la méthode utilisée pour la production du faisceau primaire (four, sputtering, MIVOC, ...), peu d'ions métalliques sont extraits de la source en comparaison du nombre d'atomes injectés.

Pour améliorer l'efficacité d'ionisation, définie comme le rapport du flux d'ions extraits et du flux de neutres injectés, plusieurs axes de développements sont proposés :

- Développement de parois chaudes pour re-évaporer les atomes perdus
- Amélioration de l'angle solide d'injection des neutres
- Synthèse et utilisation de composés MIVOC
- Source haute densité, haute fréquence

Un autre axe de développement « 1+N+ métallique » apparaît dans une proposition séparée « Booster de charges : nouvelle conception ».

Domaines de recherche :

- Hautes températures, calculs thermiques, physique des plasmas, synthèse de composés métallo-organiques.

Motivations principales visée par la contribution :

- Réduire la consommation des isotopes rares et coûteux
- Augmenter le temps utile du faisceau pour les physiciens en réduisant le temps mort lié au changement d'échantillon métallique.
- Améliorer la stabilité des faisceaux par la réduction de la pollution dans la chambre à plasma.

2. Description des objectifs scientifiques et techniques

La figure ci-dessous regroupe des valeurs d'efficacité d'ionisation mesurées au GANIL sur plusieurs d'années de fonctionnement [1].

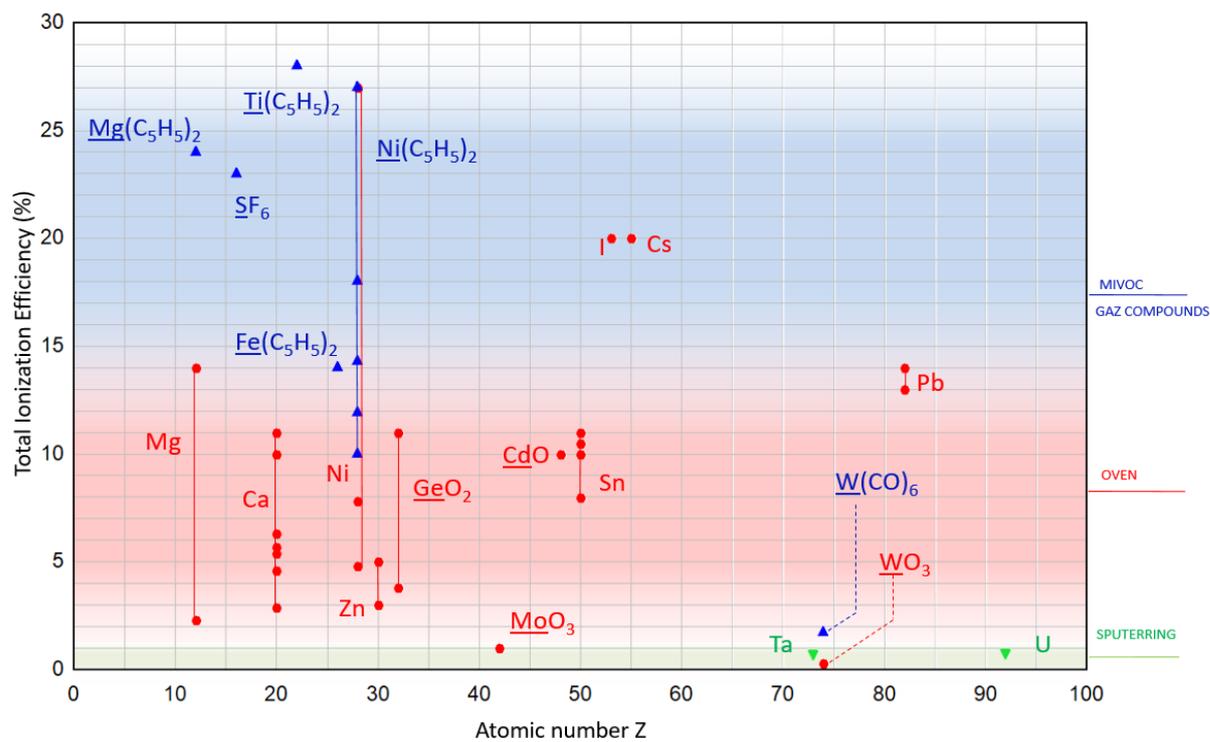


Figure 1. Compilation de mesures d'efficacité d'ionisation obtenues au GANIL.

Les faibles valeurs de l'efficacité d'ionisation, qui varie typiquement de 1 à 20% suivant la méthode de production utilisée, montre qu'il y a un gain important à gagner.

➤ Développement paroi chaude :

Cette technique consiste à placer, à l'intérieur de la chambre à plasma de la source d'ions, une paroi métallique isolée thermiquement. Cette dernière monte spontanément en température par les pertes plasma et les pertes RF. La température minimum nécessaire pour re-évaporer les atomes métalliques perdus sur la paroi correspond à une pression de vapeur de l'ordre de 10^{-5} Torr. Pour le 48-Calcium par exemple, l'isotope le plus concerné par ce développement de par sa rareté, la température minimum à atteindre est de 400°C.

Le graphe ci-dessous indique la température à atteindre pour différents éléments métalliques :

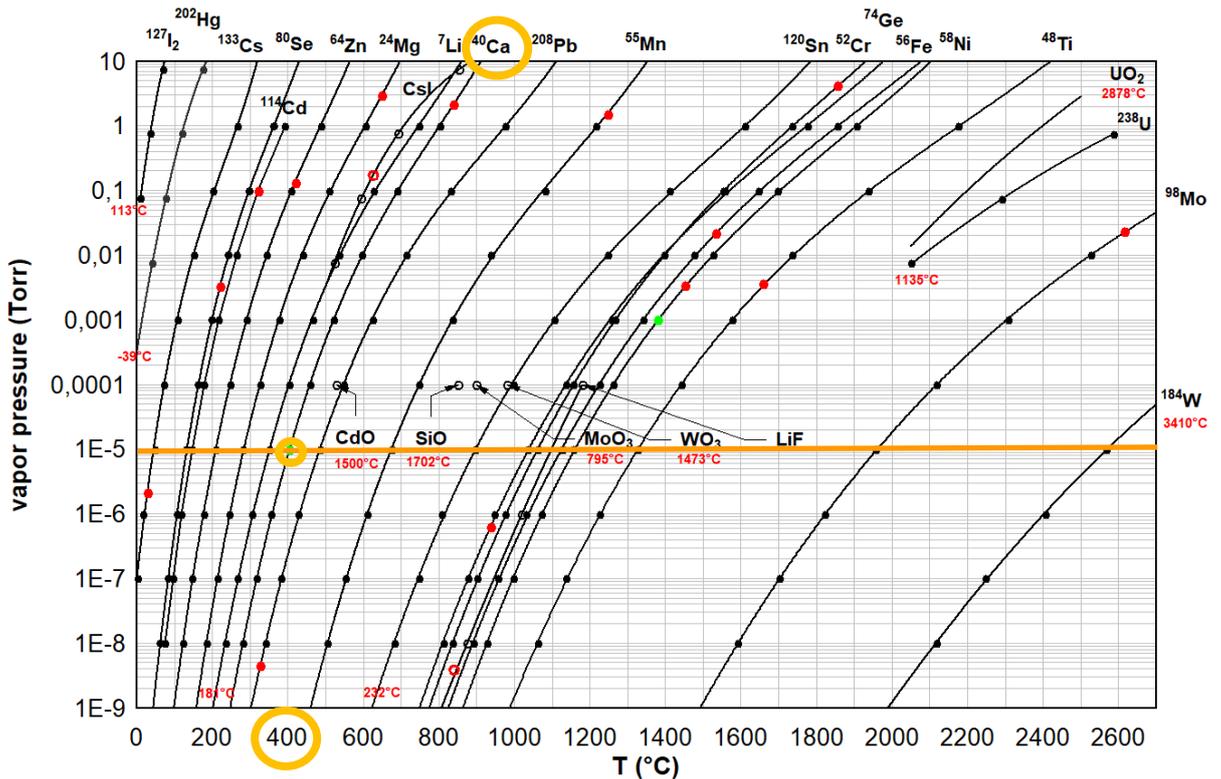


Figure 2. *Température nécessaire pour évaporer différents éléments métalliques. Exemple Ca : 400°C.*

A noter que si la température de 400°C est atteinte (recyclage calcium), alors le recyclage sera effectif sur tous les autres éléments à pression de vapeur supérieure (Li, Mg, Zn, Se, Cs, ...)

La température atteignable par la paroi dépend essentiellement de la densité de puissance RF injectée dans la chambre à plasma. On pourra être amené à ajouter un chauffage additionnel si la température de la paroi n'est pas suffisante, ou la refroidir si celle-ci est trop élevée.

Des premiers tests ont été réalisés à Grenoble avec la source Phoenix-V3 dans le cadre de la thèse d'Alexandre Leduc [2] (projet METIS) pour le recyclage du calcium. Les tests ont été interrompus par le transfert de Phoenix-V3 sur l'injecteur Q/A=1/3 de SPIRAL 2. Ces tests doivent être poursuivis. Il en est de même pour les autres sources existantes au GANIL.

➤ **Amélioration de l'angle solide d'évaporation des neutres :**

Des mesures d'évaporation hors ligne réalisées au GANIL dans le cadre de la thèse d'Alexandre LEDUC ont permises de quantifier la dispersion angulaire importante des neutres à la sortie d'un four [2].

Cette dispersion angulaire importante, de l'ordre de $\pm 50^\circ$, réduit l'efficacité d'ionisation car le taux de recouvrement avec le cœur du plasma est faible (de l'ordre 15% pour un four positionné à 80 mm sur Phoenix-V3). L'étude d'une géométrie optimisée de tête de four améliorera fort probablement l'efficacité d'ionisation par l'augmentation de ce taux recouvrement.

En s'appuyant sur les développements réalisés sur les sources de neutres dans le domaine de la Physique atomique, il s'avère que la diminution de cette dispersion angulaire peut être importante : un facteur deux est atteignable.

➤ **Synthèse et utilisation de composés MIVOC**

La méthode MIVOC est couramment utilisée au GANIL existant pour la production d'ions de charge moyenne (Ni^{9+} , Mg^{5+} , Ti^{10+} , ...) avec des efficacités d'ionisation qui sont bien meilleures que celles obtenues avec les autres méthodes (voir Fig. 1). L'IPHC-Strasbourg a l'expertise dans le domaine de la synthèse à partir d'isotopes enrichis et a réalisé entre autres pour le GANIL la synthèse $^{50}\text{Ti}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ [3].

Le GANIL a besoin de l'IPHC-Strasbourg pour la synthèse. L'utilisation du composé MIVOC « uranocène » par exemple devrait permettre d'augmenter considérablement l'intensité des faisceaux d'uranium produits actuellement au GANIL. Un test doit être programmé afin de quantifier la dégradation des états de charge due à la présence importante de carbone dans la molécule.

Bien que cette méthode ne soit pas adaptée à l'injecteur $Q/A=1/3$ de SPIRAL 2 (présence $^{12}\text{C}^{4+}$ et diminution trop importante de l'intensité en choisissant un état de charge plus élevé), elle le sera pour l'injecteur $Q/A=1/6$ ou $1/7$ de SPIRAL 2.

➤ **Source haute densité, haute fréquence :**

L'augmentation de la fréquence RF pour chauffer les électrons du plasma, se traduit par une augmentation de la densité électronique du plasma (proportionnelle au carré de la fréquence). En conséquence, la probabilité pour un atome neutre traversant le plasma de ne pas être ionisé (i.e. perdu sur la paroi froide) diminue.

L'utilisation d'une source supraconductrice fonctionnant à 28 GHz devrait permettre d'augmenter l'efficacité d'ionisation par rapport à une source non supraconductrice dont la fréquence de fonctionnement est limitée à 18 GHz.

Une source fonctionnant à 28 GHz est en cours de conception dans le cadre de l'avant-projet sommaire « Injecteur $Q/A=1/6$ ou $1/7$ pour SPIRAL 2 ».

3. Développements associés, calendrier et budget indicatifs

Informations à un stade très préliminaire.

Developments	Laboratoires	Période	
Développement de parois chaudes	GANIL, LPSC	2020-2021	
Amélioration de l'angle solide d'injection des neutres	GANIL, LPSC	2020-2021	1 demande post-doc
Synthèse et utilisation de composés MIVOC	IPHC, GANIL	2019 ...	
Source haute densité, haute fréquence (injecteur $Q/A=1/6$ ou $1/7$ SPIRAL 2)	LPSC, GANIL	2020-2025	

4. Impact

Ces développements permettront de fournir des faisceaux plus intenses lors de l'utilisation d'isotopes enrichis, tout en réduisant la quantité d'isotopes nécessaires. Le temps de faisceau à la physique sera augmenté par l'accroissement de la durée de vie des charges.

On espère également une meilleure stabilité des faisceaux du fait de la pollution réduite dans la chambre à plasma.

Références

- [1] *Status Report on Metallic Beam Production at GANIL/SPIRAL2*
C. Barué & al., Proceedings of the 22th ECRIS (Busan 2016).
<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/ecris2016/papers/wepp05.pdf>
- [2] *Etude par la simulation et l'expérimentation de la production d'ions métalliques Calcium à l'aide d'une source d'ions RCE*
A. Leduc, Thèse de doctorat GANIL/LPSC, novembre 2019.
- [3] *Production of Metallic stable ion beams for GANIL and SPIRAL 2*
F. Lemagnen & al., Proceedings of the 22th ECRIS (Busan 2016).
<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/ecris2014/papers/mopph002.pdf>

