

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 596

Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences

Spécialité : Physique des Particules et Accélérateur

Par

Teddy DURAND

Développement des techniques de hautes intensités dans l'injection du cyclotron Arronax

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 14 novembre 2024

Unité de recherche : UMR 6457

Rapporteurs avant soutenance :

Nicolas DELERUE
Andrea DENKER

Directeur de recherche – HDR, Université Paris-Saclay, IJCLab
Professeur, Helmholtz-Zentrum Berlin

Composition du Jury :

Président :

Ferid HADDAD

Professeur, Université de Nantes, SUBATECH, GIP ARRONAX

Examineurs :

Nicolas DELERUE

Directeur de recherche – HDR, Université Paris-Saclay, IJCLab

Andrea DENKER

Professeur, Helmholtz-Zentrum Berlin

Dir. de thèse :

Ferid HADDAD

Professeur, Université de Nantes, SUBATECH, GIP ARRONAX

Co-dir. de thèse :

Freddy POIRIER

Ingénieur de recherche, GIP ARRONAX, LAPP

Titre : Développement des techniques de hautes intensités dans l'injection du cyclotron Arronax

Mots clés : C70XP, Cyclotron, Ligne d'injection, Optimisation, Emittance, Diagnostic

Résumé : Les faisceaux de hautes intensités sont cruciaux pour la production de radionucléides et nécessitent une compréhension appropriée des caractéristiques du faisceau. Dans l'étude actuelle, l'accent est mis sur l'étude du faisceau dans la ligne d'injection du cyclotron C70XP pour les deux particules utilisées principalement pour la production (H⁻ et He²⁺).

Dans un premier temps, des mesures d'émittances ont été réalisées dans la ligne d'injection du C70XP. A cette fin, une nouvelle technique pour déterminer l'émittance, basée sur la prise en compte du piédestal et un ajustement global a été développée. Les mesures d'émittances ont mis en évidence l'inhomogénéité des faisceaux d'ions avec le faisceau d'ions H⁻ qui présente plusieurs zones

de densités tandis que le faisceau d'ions He²⁺ prend la forme d'un faisceau creux.

Afin de réaliser une étude approfondie des zones de haute densité, des outils analytiques originaux ont été développés. Grâce à plusieurs études expérimentales et simulations, un prototype de diagnostic, composé de fentes réglables instrumentées a été développé et testé. Le résultat des tests nous a permis de proposer des versions optimisées compactes du diagnostic ainsi que des techniques de mesure permettant de sélectionner la géométrie du faisceau en réduisant l'acceptance de la ligne d'injection pour obtenir une émittance plus appropriée. Le but final est d'augmenter la transmission du faisceau dans la machine et d'obtenir un faisceau plus adapté à la production de radionucléides.

Title: Development of high-intensity injection techniques for the Arronax cyclotron

Keywords: C70XP, Cyclotron, Injection line, Optimization, Emittance, Diagnostic

Abstract: Obtaining a high intensity beam is crucial for the production of radionuclides and requires an appropriate understanding of the beam characteristics needed, right from the beam generation. In the present study, the focus is put on the beam in the injection section of the C70XP cyclotron for the two particles (H⁻ and He²⁺) used mainly for production.

Emittance measurements in the injection have been performed and a new technic to determine the emittance, based on taking into account the pedestal and global fitting, has been developed. The emittance measurements have highlighted the beam inhomogeneity. The H⁻ ion beam is composed of several density zones whereas the He²⁺ ion beam takes the form of a hollow beam.

Analytical tools have been developed specifically to study these density zones.

Following several experimental investigations and simulations, a prototype diagnostic, based on instrumented adjustable slits, has been devised and tested. Optimised compact versions of the diagnostic are proposed. In addition, operational technic, using these diagnostics are evaluated. These techniques will make it possible to measure, select the beam geometry by reducing the acceptance of the injection line for a more appropriate emittance, thus allowing an increase of the beam transmission and obtain a beam more suitable for radionuclides production.