

Production d'ions négatifs par réactions de surface en plasma d'hydrogène

^{1*} Cartry G, ¹ Maurice B, Layet J.M, ² Sasao M

¹ Aix-Marseille Université, CNRS, PIIM, UMR7345, F-13013 Marseille, France

² Organization for Res. Initiatives and Development, Doshisha Univ., Kyoto 602-8580, Japan

* gilles.cartry@univ-amu.fr

Dans les futurs dispositifs de fusion tels qu'ITER, le chauffage du plasma sera en grande partie obtenu par l'injection de faisceaux intenses d'atomes d'hydrogène (H ou D) de haute énergie. Ces faisceaux d'atomes proviennent de la neutralisation de faisceaux d'ions accélérés. Jusqu'à présent, la plupart des tokamaks dans le monde utilisent des faisceaux d'ions positifs. Toutefois, les exigences d'ITER en termes d'énergie du faisceau (1 MeV) rendent obligatoire d'utiliser des faisceaux d'ions négatifs en raison de la très faible neutralisation des ions positifs à haute énergie. Les sources d'ions négatifs développées doivent produire une densité de courant d'ions négatifs H⁻/D⁻ de l'ordre de 300 A/m², pour un courant total extrait proche de 60A sur des périodes de 3 600 secondes. Ceci ne peut être obtenu que dans des sources constituées par des réacteurs plasmas froids d'hydrogène ou de deutérium reliés à l'accélérateur 1 MeV par une large grille d'extraction au travers de laquelle les ions sont extraits avant d'être accélérés. Afin de limiter les collisions dans l'accélérateur, ces sources doivent être exploitées à basse pression (0,3 Pa) dans des conditions où la production de volume d'ions négatifs par attachement dissociatif des électrons sur les molécules n'est pas assez efficace. Par conséquent, les sources d'ions négatifs les plus efficaces développées jusqu'à présent reposent sur la production de surface, un processus dans lequel une particule d'hydrogène incidente sur la paroi du plasma capture un électron sur la surface et est rétrodiffusée sous forme d'ion négatif. Il est intéressant de noter que les contraintes en terme de pression de travail dans les sources d'ions pour la fusion se retrouvent dans les sources d'ions négatifs utilisés pour l'injection de protons dans les anneaux de stockage des accélérateurs ou encore dans les cyclotrons médicaux. Ces sources fonctionnent donc elles aussi sur le processus de production en surface avec une densité de courant d'ions négatifs produite très élevée mais des courants requis beaucoup plus faibles (au maximum dans la gamme du milliampère).

Le processus de production de surface des ions négatifs présente habituellement un très faible rendement. Pour le renforcer il est d'usage d'injecter du césium sous forme de vapeur à l'intérieur de la source d'ions négatifs. Le dépôt de césium sur les surfaces en contact avec le plasma abaisse le travail de sortie du matériau et augmente considérablement la production d'ions négatifs. Cependant, le césium présente de nombreux inconvénients et complique le fonctionnement de l'injecteur de faisceaux neutres. Ainsi, plusieurs groupes dans le monde dont le nôtre concentrent leurs études sur la réduction de l'injection de césium ou son élimination totale et son remplacement par des matériaux alternatifs.

Cet exposé présentera les méthodes développées pour l'étude de la production de surface d'ions négatifs, y compris la description des diagnostics de plasma et de surface. En particulier, la spectrométrie de masse avec analyse de l'énergie ionique est utilisée pour détecter les ions négatifs produits en surface, et la spectroscopie de rendement par photoémission est employée pour mesurer le travail de surface. Certains résultats obtenus

avec des matériaux alternatifs tels que le diamant ou de nouvelles électrodes seront décrits en mettant l'accent sur la corrélation entre le rendement en ions négatifs et l'état de surface.