



DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **10 novembre 2017**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **MOTTE Vianney**

Titre de la thèse : «Comportement de l'hélium implanté dans le carbure de bore B_4C »



Résumé

Le carbure de bore B_4C est une céramique couramment utilisée comme absorbant neutronique pour la régulation de la puissance des réacteurs nucléaires. Les réactions d'absorption neutronique, de type (n,α) sur l'isotope bore-10, conduisent à la production de grandes quantités d'hélium (jusqu'à $1022.cm^{-3}$). Il en résulte du gonflement induit par la formation de bulles hautement pressurisées, puis de la microfissuration. L'analyse de la littérature montre que les mécanismes de diffusion de l'hélium et les premières étapes de la formation des bulles sont mal connus.

L'objectif de notre étude est d'étudier le comportement de l'hélium dans le carbure de bore, en réalisant une analyse paramétrique. Pour cela, des échantillons de B_4C fritté à partir de différentes poudres ont été implantés en hélium dans des accélérateurs d'ions à différentes concentrations et températures, ce afin de simuler l'hélium produit en réacteur. Les analyses se sont ensuite principalement appuyées sur deux techniques de caractérisation :

- L'analyse par réactions nucléaires ou NRA (Nuclear Reaction Analysis) qui est une technique d'analyse par faisceau d'ions. La réaction $3He(d,4He)1H$ utilisée permet d'obtenir des profils d'hélium dans le matériau.
- La Microscopie Electronique en Transmission (MET) qui permet d'observer les amas potentiels d'hélium dans le matériau.

Nous avons tout d'abord mis en évidence l'influence de la concentration d'hélium implanté : plus elle est élevée, plus la densité d'amas dans la zone implantée est élevée ; puis celle de la température d'implantation : plus cette dernière est élevée, plus la température seuil de germination des amas est élevée et leur densité réduite. Nous en avons déduit que ces différences étaient dues à l'influence de l'endommagement résiduel, plus faible à haute température. Des doubles implantations d'or et d'hélium ont confirmé que l'endommagement créé par les ions Au avait un effet significatif sur la germination des amas, en abaissant le seuil de température de leur apparition et en augmentant leur densité.

Ensuite, nous avons mis en évidence le rôle des joints de grains qui se sont révélés

être de véritables pièges pour hélium. Nous avons démontré que l'hélium ne diffuse pas dans ni à travers ces joints de grains jusqu'à des températures de l'ordre de 1200°C.

Enfin, l'élargissement des profils d'hélium après traitements thermiques, dans la gamme de température 600-800°C, a permis de déterminer un coefficient de diffusion apparent de l'hélium dans le B₄C, paramètre inconnu dans la littérature, ainsi qu'une énergie d'activation :

$$D = D_0 \cdot \exp(-E_a/kT), \text{ avec } D_0 = 6,03 \times 10^{-3} \text{ x/ } 2,5 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \text{ et } E_a = 2,03 \pm 0,18 \text{ eV.}$$

L'ensemble de ce travail a permis de mieux appréhender le comportement de l'hélium dans le carbure de bore qui sera utilisé dans les dispositifs de contrôle de la puissance et les protections neutroniques du réacteur ASTRID, projet français de réacteur à spectre neutronique rapide refroidi au sodium. Les résultats obtenus permettent ainsi de tirer des indications utiles à la conception des éléments absorbants neutroniques du réacteur.