

Bourse SFRP

Chaque année, la SFRP attribue des bourses à des étudiants de Mastère de 2^e année. Nous avons le plaisir de publier le résumé du stage de Marie Vanstalle.

Caractérisation des fonctions de réponse de dosimètres passifs de type DSTN pour la dosimétrie des neutrons. Marie Vanstalle. Radioprotection et Mesures Environnementales (RaMsEs), Institut pluridisciplinaire Hubert-Curien (IPHC), UMR 7178 ULP/CNRS-In2p3, 23 rue de Lœss, BP 28, 67037 Strasbourg Cedex, France.

Ce stage a été effectué au sein du groupe RaMsEs de l'IPHC sous la responsabilité de E. Baussan et A. Nourreddine ; il a porté sur l'étude et la caractérisation d'un nouveau système de dosimétrie passive pour les neutrons. En effet, la dosimétrie des neutrons est aujourd'hui un enjeu majeur de la radioprotection, ces rayonnements étant très ionisants, mais également difficiles à détecter. Pour quantifier la dose de rayonnements reçus, différents types de détecteurs peuvent être utilisés. Ce projet s'est intéressé plus particulièrement au cas des dosimètres passifs de type PN3, qui sont des détecteurs solides de traces nucléaires (DSTN) en carbonate d'allyl-diglycol $C_{12}H_{18}O_7$ (donc riches en hydrogène). L'objectif était de déterminer un certain nombre de caractéristiques de ces films.

Le principe des PN3 est le suivant : un neutron incident d'énergie donnée va interagir avec le matériau, principalement par diffusion élastique (des diffusions inélastiques peuvent survenir quand l'énergie du neutron devient trop importante) avec le proton d'un noyau d'hydrogène, qui va être éjecté, et évoluer dans le matériau jusqu'à son absorption lors d'une réaction ou sa disparition par fuite. Par différents processus chimiques, les traces latentes laissées par les protons le long de leurs trajectoires sont révélées et comptées, le nombre de traces étant proportionnel à la dose reçue suivant une relation que nous avons cherché à déterminer (Belafrites *et al.*, 2008).

Avant d'effectuer des expériences d'irradiation des films et pour en poser les bases, des simulations Monte Carlo ont été effectuées, à l'aide du code MCNPX suivant le parcours des protons. Dans un premier temps, il s'est agit de déterminer l'épaisseur à partir de laquelle, pour une énergie de neutrons donnée, le nombre de protons de recul en sortie du détecteur devient constant (le nombre de protons éjectés par diffusion de neutrons est compensé par ceux qui sont absorbés dans le matériau). Il est important de se trouver dans cet état, appelé équilibre protonique, pour pouvoir comparer plusieurs mesures entre elles. Pour une énergie de neutrons incidents donnée de 3 MeV, l'équilibre protonique est atteint pour une épaisseur de 0,1 mm (le PN3 faisant une épaisseur de 1,5 mm). Dans un deuxième temps, nous voulions effectuer des irradiations de PN3 par des neutrons thermiques. Disposant d'une source d'Am-Be de neutrons rapides, il fallait la modérer : pour cela, nous voulions placer la source au centre d'une sphère de polyéthylène CH_2 . Des simulations Monte Carlo ont été faites pour déterminer le diamètre de sphère donnant la composante thermique la plus importante, et les résultats donnés par MCNPX donnent un diamètre optimal à 8 pouces, soit 20,32 cm.

Pour déterminer la relation entre le nombre de traces de protons et la dose reçue (appelée fonction de réponse du détecteur), il a fallu irradier des PN3 avec une source de neutrons à des doses connues. Nous disposions au laboratoire d'une source d'Am-Be, émettant des neutrons dans une gamme d'énergies comprise entre 0,1 et 10 MeV. Les films étaient disposés en périphérie d'un plateau tournant de 22 cm de rayon au centre duquel la source était placée. Pour obtenir les doses voulues, nous avons fait varier le temps d'irradiation.

D'autres irradiations ont été réalisées à l'IRSN de Cadarache, sur l'irradiateur Van Gogh et l'accélérateur AMANDE, toujours en faisant varier les temps d'irradiation. Nous avons utilisé, sur Van Gogh, une source de californium modérée à l'eau lourde émettant, en plus de la composante en neutrons rapides, des neutrons thermiques et intermédiaires, sur une plage d'énergies de quelques meV à 10 MeV, une coquille de cadmium pouvant être ajoutée afin de couper la composante thermique. Sur l'installation AMANDE, délivrant des faisceaux monoénergétiques de neutrons, nous avons irradié les films à des énergies de 3 MeV et 14,8 MeV.

Une fois les dosimètres irradiés, ils doivent subir un traitement chimique pour révéler les traces latentes laissées par les protons. Deux méthodes peuvent être utilisées. D'une part, une méthode de développement chimique, au cours de laquelle les films, placés dans un carrousel, sont plongés dans différents bains : tout d'abord, un bain de pré-développement pour éliminer les traces dues aux particules alphas ; puis un bain de soude pour révéler les traces ; enfin un bain de neutralisation à l'acide chlorhydrique pour arrêter l'action de la soude.

D'autre part, une méthode de développement électrochimique, qui diffère de la précédente par l'application d'une tension électrique. Les traces obtenues dans ce cas sont plus grosses (visibles à l'œil nu) que pour le développement chimique.

Après avoir révélé les traces, il reste à lire les dosimètres pour extraire l'information qui nous intéresse, à savoir le nombre de traces de protons. En fonction de la méthode de développement choisie, la technique de lecture diffère. Pour un traitement chimique, un microscope relié à un ordinateur par caméra CCD et un logiciel d'acquisition et de traitement d'image (Visilog 5) sont utilisés. Dans le cas d'un traitement électrochimique, le système de lecture est un scanner, encore en cours de mise au point. L'avantage principal de ce système par rapport au précédent est un gain en temps, la vitesse de lecture étant réduite.

Les dosimètres ayant été lus, les fonctions de réponse obtenues pour les différentes expériences d'irradiation ont pu être tracées.

Dans tous les cas, les fonctions de réponse obtenues sont linéaires, mais les coefficients directeurs des courbes sont différents.

Pour les films irradiés sur source Am-Be, le coefficient de conversion dose-traces (correspondant à la pente de la courbe) obtenu est de 173 ± 14 traces/cm² mSv. Cette valeur est inférieure à celle trouvée dans la littérature (environ 400 traces/cm² mSv). Pour comprendre pourquoi, nous avons effectué un scan en profondeur d'un dosimètre avec le

logiciel Visilog. Il est apparu alors que l'incertitude liée au dispositif de lecture était très importante : entre deux hauteurs assez proches de la platine du microscope, le nombre de traces varie fortement (il peut passer d'environ 370 à 1200 sur une épaisseur de près de 150 μm).

Les relations trouvées pour les PN3 irradiés à Cadarache sur Van Gogh donnent des coefficients plus élevés (283 ± 16 traces/ cm^2 mSv pour la configuration Cf + D₂O, 221 ± 5 pour (Cf + D₂O)/Cd), et assez proches dans les deux configurations, ce qui est cohérent avec le fait que les PN3 ne sont pas sensibles aux neutrons thermiques.

Sur AMANDE, les coefficients trouvés sont de 3978 ± 366 traces/ cm^2 mSv pour le faisceau de 14,8 MeV et de 833 ± 22 traces/ cm^2 mSv pour 3 MeV.

Au vu de ces résultats très élevés, une simulation avec MCNPX a été refaite de l'équilibre protonique pour une énergie de 14,8 MeV, et il s'avère que celui-ci est atteint pour une épaisseur de 1,75 mm. Nous n'étions donc pas dans les conditions optimales de l'équilibre protonique pour nos irradiations (puisque les PN3 ont une épaisseur de 1,5 mm). Néanmoins, pour mieux comprendre le coefficient très élevé obtenu pour 14,8 MeV, nous avons tracé la distribution de la taille des traces, et nous constatons alors que pour une énergie de 3 MeV, il n'y a quasiment plus de traces de diamètres supérieurs à 200 μm .

En revanche, pour 14,8 MeV, nous trouvons beaucoup plus de traces d'un diamètre supérieur à 200 μm . Celles-ci sont probablement des traces laissées par des particules alpha (plus ionisantes) émises par diffusions inélastiques de neutrons sur les atomes de carbone ou d'oxygène du matériau (les sections efficaces de diffusion inélastique augmentent à partir de 10 MeV).

Ce travail a donc permis de mettre en évidence la linéarité des fonctions de réponse, mais aussi la difficulté posée par les incertitudes de la méthode (aussi bien au niveau de la lecture qu'au niveau du traitement chimique). Pour s'assurer une bonne reproductibilité, il est nécessaire de bien maîtriser les conditions du développement, d'estimer les incertitudes et de bien se placer dans les conditions d'équilibre protonique. Une partie des résultats obtenus dans le cadre de ce stage a fait l'objet d'une communication au 24 ICNTS (24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids) qui a eu lieu à Bologne en Italie (Baussan *et al.*, 2008) du 1 au 5 Septembre 2008.

RÉFÉRENCES

- Baussan E., Belafrites A., Trocmé M., Vanstalle M., Higuere S., Husson D., Lê T.D., A. Nourredine (2008) Comparative study of PADC dosimeter response to neutrons, *24th International Conference on Nuclear Tracks in Solids*, Bologna, 1-5 September 2008.
- Belafrites A., Nourredine A., Higuere S., Lê Th., Trocmé M. (2008) Dependence of PN3 response to Am-Be neutrons on etching and reading process, *Radiat. Meas.* **43**, 482-486.