



## STUDY AND CHARACTERIZATION OF A FAST NEUTRON DOSIMETER BASED ON PADC

## ETUDE ET CARACTERISATION D'UN DOSIMETRE NEUTRONS RAPIDES A BASE DE PADC

A. Belafrites<sup>1\*</sup>, S. Higuere<sup>2</sup>, A. Nourreddine<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LPTH Département de physique, Université de Jijel, BP 98, 18000, Jijel, Algérie

<sup>2</sup>Institut Pluridisciplinaire Hubert-Curien, UMR 7178 CNRS/In2p3 et Université Louis Pasteur,

23 rue du Læss, B.P 28, F-67037 Strasbourg Cedex 2 France

\* Corresponding author. E-mail: [belafrites@univ-jijel.dz](mailto:belafrites@univ-jijel.dz)

Received: 06 April 2006; revised version accepted: 16 February 2007

### Abstract

Polyallyl Diglycol Carbonate (PADC) type PN3 is a polymeric solid state nuclear track detector which is widely used for neutron dosimetry. In this paper, we present the response of PN3 dosimeters for use in fast neutron measurements. PN3 detectors associated with a polyethylene (PE) or PN3 radiator or without radiator were exposed to Am-Be neutrons to evaluate their effectiveness as fast neutron dosimeters. The detectors were chemically etched and track counting was performed using an automated system. It was found that the dosimeter responses were linear up to a neutron dose equivalent of at least 200 mSv and that the simple PN3 detector without radiator (but after pre-etch) has the same response as the two-element dosimeters and thus appears as a promising fast neutron dosimeter.

**Keywords:** Track detector; Polyethylene radiator; Fast neutron dosimetry; Response function

### Résumé

Le Polyallyl Diglycol Carbonate (PADC) de type PN3 est un détecteur solide de traces nucléaires qui est largement utilisé en dosimétrie neutrons. Dans ce travail, nous avons étudié la réponse des dosimètres PN3 pour la détection des neutrons rapides. Trois dosimètres constitués d'un détecteur PN3 sans radiateur, d'un détecteur PN3 associé à un radiateur en polyéthylène (PE) et d'un détecteur PN3 associé à un autre détecteur PN3 comme radiateur ont été exposés à une source de neutrons Am-Be. Ces détecteurs ont été développés chimiquement et le comptage de traces a été effectué par système semi automatique. Les résultats obtenus montrent que la fonction de réponse des dosimètres est linéaire en fonction d'équivalent de dose jusqu'au 200 mSv et que le dosimètre PN3 sans radiateur présente une réponse comparable aux deux autres dosimètres et prouve qu'il pourrait être utilisé comme au dosimètre personnel des neutrons rapides.

**Mots clés:** Détecteur solide de traces nucléaires; Radiateur polyéthylène; Dosimétrie des neutrons rapides; Fonction de réponse.

### 1. Introduction

Les Détecteurs Solides de Traces Nucléaires (DSTN) sont largement utilisés dans divers domaines de la science et la technologie, parmi lesquelles des applications en dosimétrie [1, 2]. Dans ce travail nous décrivons l'utilisation des détecteurs polymériques type PN3 à la dosimétrie neutronique. Les neutrons issus d'une source Am-Be sont détectés via les protons de recul issus des collisions élastiques (n, p) avec les atomes d'hydrogène dans un radiateur ou dans le détecteur lui-même. Ces protons de recul laissent des traces latentes dans le matériau du détecteur. Pour révéler les traces et les rendre exploitable, un traitement chimique adéquat est nécessaire. Ensuite pour le comptage des traces, nous avons utilisé un nouveau système semi automatique

constitué d'un microscope optique, d'une caméra CCD, d'une platine mobile XYZ, le tout est piloté par un PC.

### 2. Expérience

#### 2.1. Système dosimétrique

Le système dosimétrique incorpore des détecteurs PN3 (Thermo Electron Corporation, Beenham, England) de dimensions  $25 \times 20 \times 1.5$  mm<sup>3</sup> et de masse volumique 1.32 g/cm<sup>3</sup>. Ces détecteurs sont conditionnés et codés par le fournisseur pour qu'ils puissent être lus par le système Autoscan 60 [3]. Trois dosimètres constitués d'un détecteur PN3 sans radiateur, d'un détecteur PN3 associé à un radiateur en polyéthylène (PE) et d'un détecteur PN3 associé à un autre détecteur PN3 comme radiateur. Ces

dosimètres sont mis dans une pochette Plastiplast constituée de couches successives de cellulose (40  $\mu\text{m}$ ), de PE (20  $\mu\text{m}$ ) et d'aluminium (40  $\mu\text{m}$ ) (figure 1). Ils ont été exposés à une source de neutrons Am-Be de débit de dose 0.022 mSv/h à 1 m pour une incidence normale. Pour ces expériences, la distance entre la source et les dosimètres était maintenue à 21 cm. Les dosimètres ont été irradiés à différentes doses allant de 0.05 à 200 mSv. Cet intervalle de dose nous permet de connaître la réponse des dosimètres aux différentes doses de neutrons ainsi que la performance du système de lecture et sa linéarité.

## 2.2. Traitement chimique

Les détecteurs ont été développés chimiquement selon deux étapes :

Un pré-développement dans une solution 60% de  $\text{CH}_3\text{OH}$  et 40%  $\text{NaOH}$  de 6.25 N, à une température de 70 °C pendant 1 h.

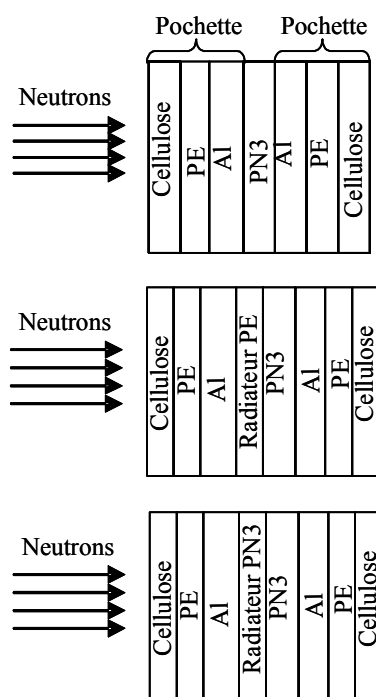


Figure 1 : Configuration des dosimètres

Ce pré-développement élimine la plupart des traces dues aux défauts de fabrication et à l'exposition radon en découpant approximativement 60  $\mu\text{m}$  de chaque côté du détecteur. La deuxième étape est un développement dans la soude  $\text{NaOH}$  6.25 N à 70 °C pendant 6h puis 9h. Finalement les détecteurs sont neutralisés dans une solution d'acide  $\text{HCl}$  0.1 N à température ambiante pendant 15 min, puis rincés avec de l'eau distillée et un détergent à 60 °C pendant 15 min, et enfin rincés à

l'eau distillée à température ambiante à nouveau pendant 15 min. On laisse sécher les détecteurs à l'air ambiant pendant une nuit avant l'exploitation.

## 2.3. Système de lecture

Le comptage des traces révélées est réalisé au moyen d'un système semi automatique composé d'une platine mobile XYZ et d'une caméra CCD Sony monochrome montée sur un microscope optique (Zeiss Axioskop40) avec un grossissement  $\times 10$ . L'ensemble (figure 2) est connecté à un PC pour le pilotage de la platine, l'acquisition et le traitement des images issues de la caméra qui se font à l'intermédiaire d'une carte d'interface numérique. L'analyse et le traitement des traces sont fait par le logiciel Visilog (Noesis S. A., Courtabœuf, France).

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Bruit de fond

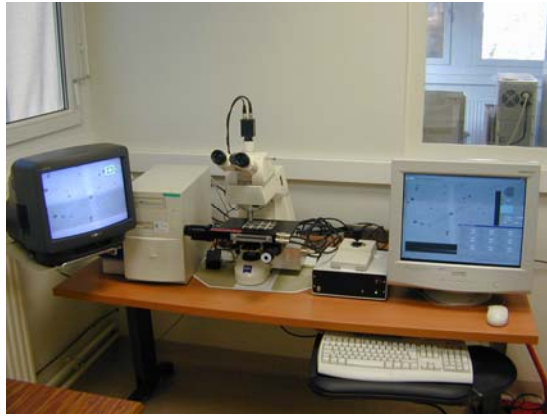
Pour évaluer l'effet supposé du pré-développement à éliminer le bruit de fond d'un détecteur dû au radon atmosphérique, un ensemble de détecteurs PN3 non irradiés par Am-Be a été pré-développées dans la solution habituelle pour des durées allant de 1h à 8h avant qu'ils soient développés pendant 6h. Le bruit de fond a été trouvé presque constant pour les différentes épaisseurs pré-découpées. On a attribué cela au processus de fabrication, durant lequel les détecteurs auraient été exposés au radon et par conséquent aurait été incorporé dans la masse du détecteur. Ce résultat montre que le bruit de fond trouve son origine dans la fabrication du détecteur [4]. Dans la courbe de la figure 3 est montrée la densité du bruit de fond en fonction du temps de pré-développement.

### 3.2. La linéarité du système

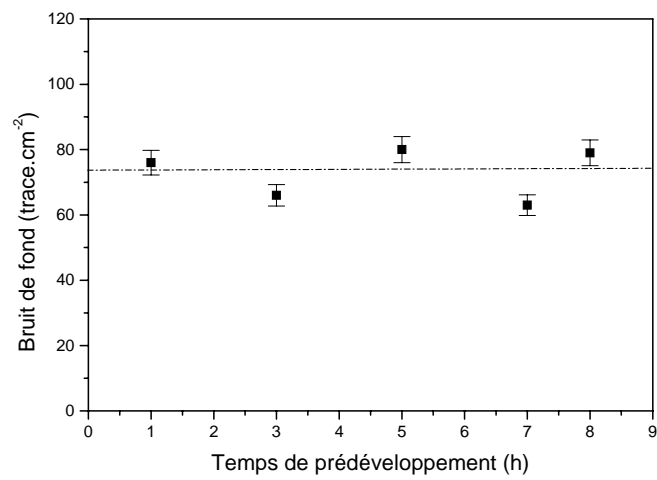
Les réponses des dosimètres basés sur les détecteurs PN3, dans nos conditions de développement et de lecture, sont linéaires jusqu'à 200 mSv. La distribution des traces selon leurs diamètres est représentée sur la figure 4. Les réponses des trois dosimètres aux neutrons source Am-Be sont données dans le tableau 1.

Les figures 5-7 montrent que la densité de traces augmente avec l'augmentation de la dose. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés précédemment dans la littérature [8] et ont une grande importance dans la dosimétrie des neutrons rapides [9]. L'augmentation de densité de trace en fonction du temps de développement peut être attribuée au fait que certaines traces sont formées à une profondeur importante de la surface, et un temps plus long de développement est nécessaire afin que ces traces pouvaient être révélées.

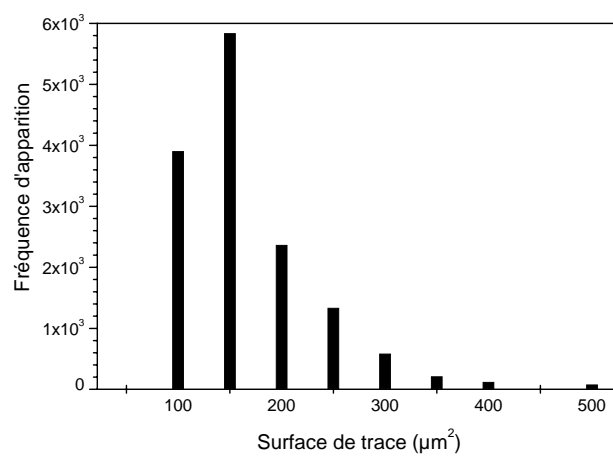
Cependant, nous prévoyons qu'après une certaine durée de développement, la densité de trace sera diminuée parce que les protons de recul ont un parcours limité dans le matériau du détecteur.



**Figure 2** : Système de lecture des détecteurs PN3



**Figure 3** : Bruit de fond en fonction du temps de pré-développement suivi d'un temps de développement de 6 h



**Figure 4**: Fréquence d'apparition de trace en fonction de leur taille pour une surface 57 mm<sup>2</sup>

La réponse du dosimètre avec radiateur PE est comparable avec la valeur donnée par Bednář et al. [10] pour un radiateur PE. Dans la figure 8 on montre une image de protons de recul dans le PN3 irradié par une source Am-Be relevée par une caméra CCD numérique montée sur un microscope avec x10 développé chimiquement.

D'après les résultats on remarque que les réponses des trois configurations des dosimètres étudiés dans ce travail sont trouvées pratiquement les mêmes. Ceci nous a conduit à proposer la configuration du premier dosimètre PN3 seul comme un dosimètre des neutrons rapides pour les personnels.

Configuration du dosimètre	Temps de développement après 1 h de pré-développement	Réponse (trace.mSv <sup>-1</sup> .cm <sup>-2</sup> )
PN3 sans radiateur	6 h	393 ± 39
	9 h	567 ± 147
PN3 + radiateur PE (1 mm)	6 h	406 ± 39
	9 h	633 ± 73
PN3 + radiateur PN3 (1.5 mm)	6 h	357 ± 26
	9 h	526 ± 87

Tableau 1 : Réponses mesurées des dosimètres à la source Am-Be

La légère différence entre les valeurs des dosimètres peut être expliquée par le fait que les traces des protons issus des radiateurs PE et PN3 ayant une énergie inférieure à 2 MeV sont éliminés dans la partie décapée du PN3 durant le processus de pré-développement. On note que les densités de traces mesurées pour les deux cotés du détecteur PN3 sont trouvées équivalentes.

Généralement, on utilise des radiateurs PE avec des épaisseurs qui assurent l'équilibre protonique. Dans cette étude nous avons employées deux radiateurs différents et nous avons constaté que leur utilisation avec ce type de détecteur et selon nos conditions de traitement chimique et lecture n'influence pas sur la réponse du détecteur.

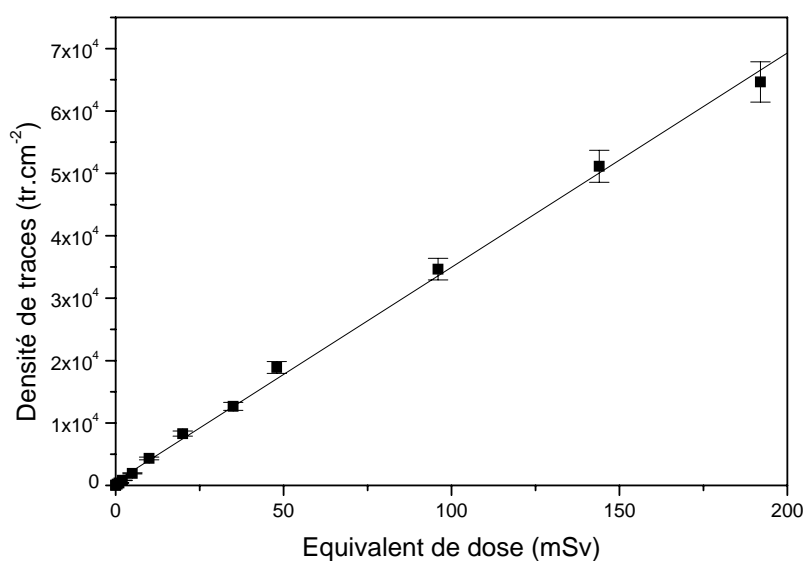


Figure 5 : Réponse du dosimètre (PN3 sans radiateur) en fonction de dose d'Am-Be

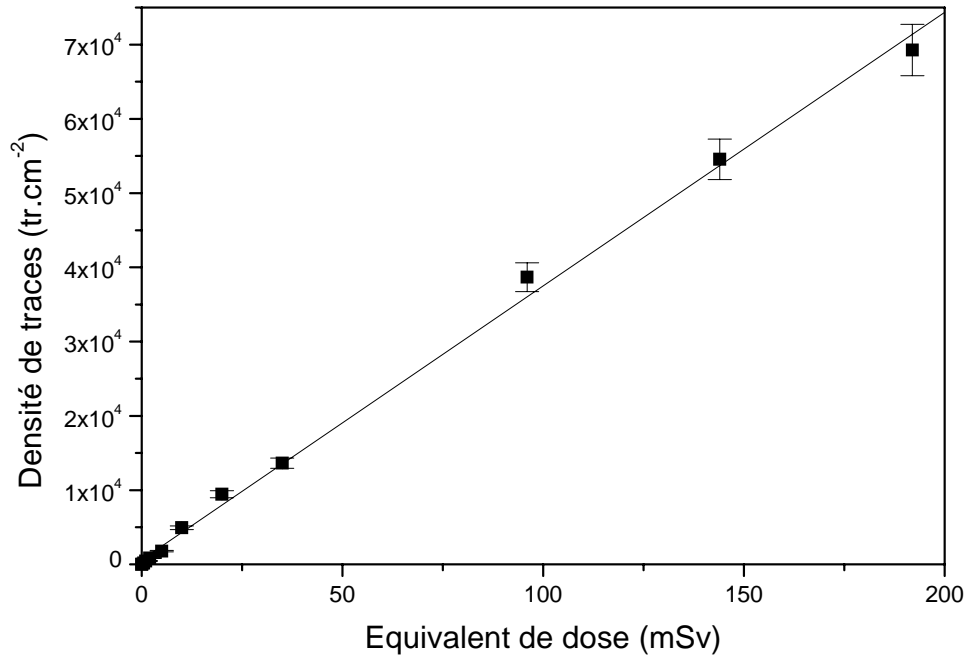


Figure 6: Réponse du dosimètre (PN3 + radiateur PE) en fonction de dose d'Am-Be

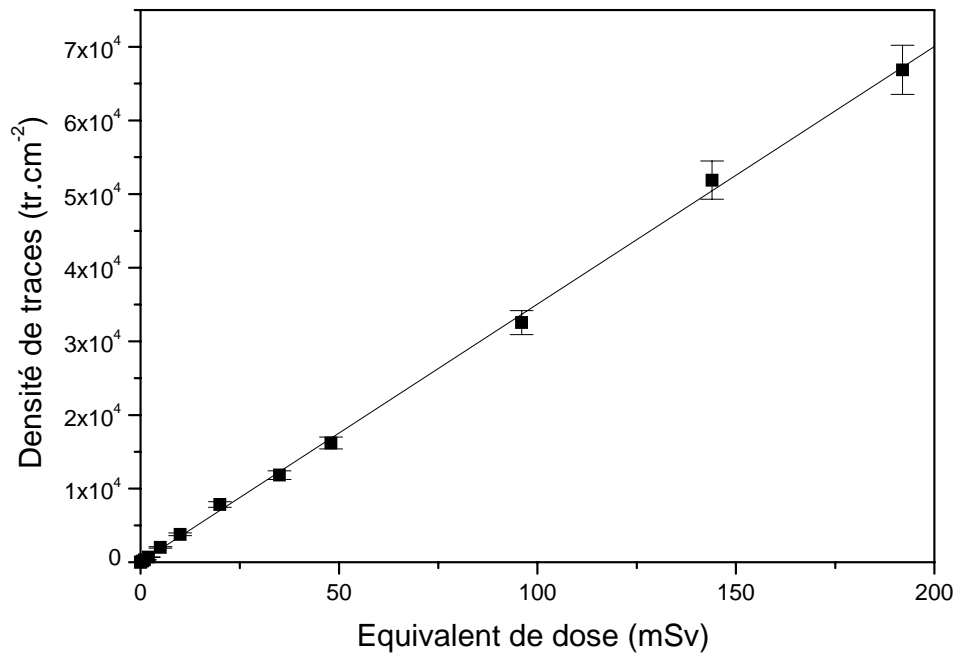


Figure 7: Réponse du dosimètre (PN3 + radiateur PN3) en fonction de dose d'Am-Be

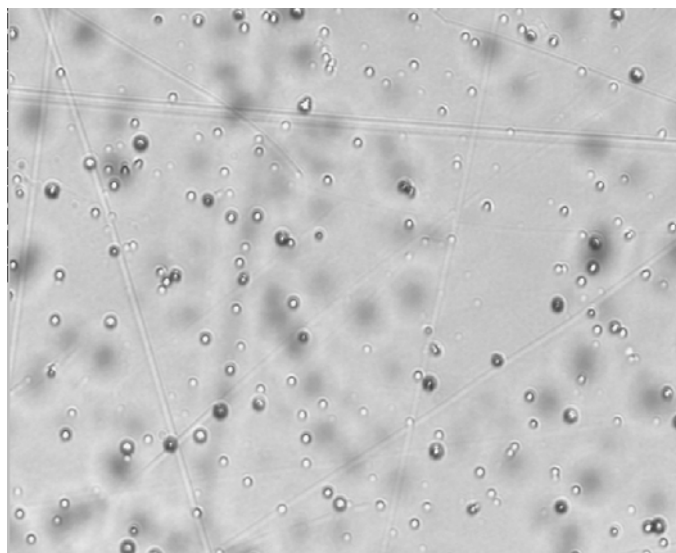


Figure 8: Relevé de traces des protons dans le détecteur PN3 par notre système de lecture

#### 4. Conclusion

La réponse de nos dosimètres est linéaire en fonction de la dose jusqu'à 200 mSv. D'après les résultats expérimentaux, nous avons constaté que les trois dosimètres ont une réponse quasiment semblable. Ceci nous montre la possibilité d'utiliser le dosimètre PN3 sans radiateur comme un dosimètre personnel destiné aux neutrons rapides.

Les nouvelles réglementations exigent que les doses absorbées autorisées pour les travailleurs ne dépassent pas annuellement 20 mSv et que la limite autorisée d'un accident radiologique est dix fois plus supérieure à celle des personnels. Dans ce but nous avons étudié la linéarité de nos dosimètres associée à notre système de lecture qui présente un avantage par rapport à d'autres systèmes de lecture du point de vue linéarité en fonction de doses jusqu'à une valeur supérieure à 200 mSv. Donc il nous a permis d'évaluer des doses fortes.

#### Références

[1] E. Vilela, E. Fantuzzi, G. Giacomelli, Optimization of CR-39 for fast neutron dosimetry applications. *Radiat. Meas.* 31 (1-6), (1991) 437-442.  
[2] F. Spurny, K. Turek, High-energy neutron detection with polymer nuclear track detectors. *Nucl. Track. Detection* 1, 189 (1978).  
[3] J. R. Harvey, A. P. French, M. Jackson, M. C. Renouf, A. R. Weeks, An automated neutron

dosimetry system based on chemical etch of CR-39. *Radiat. Prot. Dosim.* 70 (1-4), (1997) 127-132.  
[4] T. Matiullah, I. A. Tahiri, M. S. Subhani, K. Kudo, Improvement in the sample mass-change-method used for determination of the bulk etch rate of CR-39 neutron detector. *Japan. J. Appl. Phys.* 40, (2001) 3474-3475.  
[5] R. L. Fleischer, P. B. Price, R. M. Walker, *Nuclear Tracks in Solids - Principles and Application*. Univ. of California Press, Los Angeles, (1975).  
[6] M. Fujii, J. Nishimura, Improvements in the sensitivity and the etching properties of CR-39. *Nucl. Instrum. and Methods in Physics Research.* 226, (1984) 496-500.  
[7] L. Tommasino, K. G. Harrison, Damage track detectors for neutron dosimetry: I. Registration and counting methods. *Radiat. Prot. Dosim.* 10 (1-4), (1985) 207-217.  
[8] E. V. Benton, R. A. Oswald, A. L. Frank, R. V. Wheeler, Proton-recoil neutron dosimeter for personnel monitoring. *Health Phys.* 40, (1981) 801-809.  
[9] A. P. Kobzeva, M. R. El-Asser, A. A. El-Halem, U. S. Abdul-Ghaphar, T. A. Salama, Effect of  $\gamma$  rays on fast neutron registration in CR-39. *Radiat. Meas.* 37, (2003) 201-204.  
[10] J. Bednář, K. Turek, F. Spurny, Angular response to neutron of the electrochemically etched CR-39 with different radiators. *Radiat. Prot. Dosim.* 70 (1-4), (1997) 153-156.