

# Dosimétrie des particules “chaudes” utilisant la thermoluminescence par chauffage laser et la luminescence par stimulation optique

R. SETZKORN, D. BETEILLE, L. DUSSEAU,  
H. PRÉVOST, J. FESQUET, J. GASLOT\*

(Manuscrit reçu le 10 mai 1995,  
révisé le 21 juillet 1995, accepté le 14 septembre 1995)

**RÉSUMÉ** La distribution spatiale de la dose à la surface d'une "particule chaude", petite sphère radioactive de  $^{60}\text{Co}$ , a été obtenue par thermoluminescence (TL) par chauffage laser et par stimulation optique (OSL). Les avantages et limitations respectifs des deux techniques de lecture, TL et OSL, sont discutés. Un débit de dose maximal de 79 Gy/h est mesuré au centre du détecteur TL ( $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  déposé sur un support en kapton).

**ABSTRACT** The spatial dose distribution originating from a "hot particle", a small radioactive sphere of  $^{60}\text{Co}$ , has been measured using laser heated thermoluminescence (TL) or the OSL technique (optical stimulated luminescence). Advantage and limitation of both techniques are discussed. A maximum dose rate of 79 Gy/h is measured in the centre of the TLD plate ( $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  deposited on a kapton support).

## 1. Introduction

Les "particules chaudes" sont des poussières métalliques, activées en passant à travers un réacteur nucléaire. Au contact direct, par exemple avec la peau, elles peuvent délivrer des débits de doses importants, de l'ordre de 200 Gy/h environ. C'est le rayonnement bêta qui est responsable des doses élevées délivrées à la peau, car il perd son énergie dans les premiers millimètres de tissus traversés. Ces particules ont été détectées dans la plupart des centrales nucléaires [2]. Pour évaluer la dose qu'elles émettent, les techniques habituelles utilisent des chambres d'extrapolation, pour lesquelles on n'a pas de résolution spatiale, ou des films radiochromiques, qui au contraire ont une bonne résolution spatiale, mais une faible sensibilité et une dynamique limitée [1, 6].

\* Centre d'électronique de Montpellier (CNRS UA 391), Equipe Dosimétrie, Tenue des composants aux radiations, Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, F-34095 Montpellier Cedex 5.

Il nous a semblé intéressant d'utiliser des détecteurs thermoluminescents très fins et la technique de thermoluminescence (TL) par chauffage laser pour mesurer la distribution spatiale de la dose à la surface d'une petite particule radioactive de  $^{60}\text{Co}$ . L'intérêt de ces détecteurs réside dans la dynamique de leur réponse (typiquement d'environ 5 décades) et leur résolution de l'ordre de  $500\ \mu\text{m}$ . Nous avons aussi testé des détecteurs de luminescence par stimulation optique (OSL) qui ont l'avantage, par rapport aux détecteurs TL, d'éliminer les problèmes de diffusion de la chaleur.

Dans ce rapport, après avoir décrit les dispositifs expérimentaux utilisés, nous présentons les premiers résultats obtenus et l'intérêt de ces deux techniques pour le problème particulier des "particules chaudes".

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 La source

Pour nos études nous disposions d'une sphère métallique de  $200\ \mu\text{m}$  de diamètre contenant 61,5 % de  $^{60}\text{Co}$  et des impuretés d'autres métaux. L'activité de la source au moment des irradiations (17.07.1994) était de 0,486 MBq (13,11  $\mu\text{Ci}$ ). Elle a été fournie par Dr. M. Charles (Université de Birmingham, UK). La sphère de cobalt est collée sur un support en aluminium et recouverte par une feuille d'aluminium d'épaisseur  $15\ \mu\text{m}$ . Entre cette feuille et le support il y a une couche d'air [1].

### 2.2 Les détecteurs

Les détecteurs utilisés pour l'expérience TL sont des plaques de  $20\ \text{mm} \times 20\ \text{mm}$  constituées d'une couche de  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  de  $50\ \mu\text{m}$  d'épaisseur, synthétisé au laboratoire et déposé sur un film souple de kapton de même épaisseur [7].

Les matériaux utilisés pour l'expérience OSL ont aussi été développés au laboratoire. Ce sont des poudres de CaS de haute sensibilité dopées aux terres rares. La poudre est déposée en couche de  $100\ \mu\text{m}$  d'épaisseur sur un film de polyéthylène de  $50\ \mu\text{m}$  d'épaisseur [3].

### 2.3 L'irradiation

La mesure de la dose bêta déposée à la surface du matériau est obtenue en mettant la source en contact direct avec le détecteur. Le film TL, placé sur une plaque de polystyrène, a été irradié pendant 10 min avec la source posée au centre du détecteur (Fig. 1). Pour l'étalonnage, un deuxième détecteur TL identique a été irradié séparément, sous 10 mm de polystyrène, dans un champ homogène de  $^{60}\text{Co}-\gamma$  à 200 mGy (Fig. 2).

Le détecteur OSL a été irradié de la même manière avec la sphère de  $^{60}\text{Co}$  pendant 1 min (Fig. 1). Il n'a pas été effectué d'étalonnage.

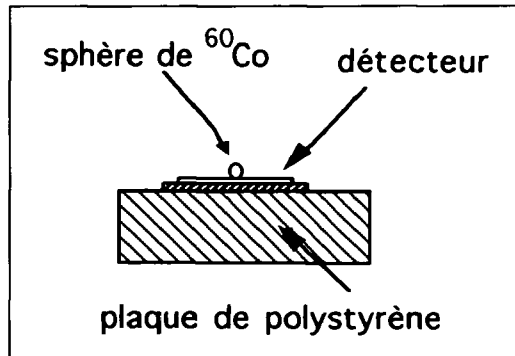


Fig. 1 - Irradiation avec la particule de  $^{60}\text{Co}$ .  
Irradiation with the  $^{60}\text{Co}$  particle.

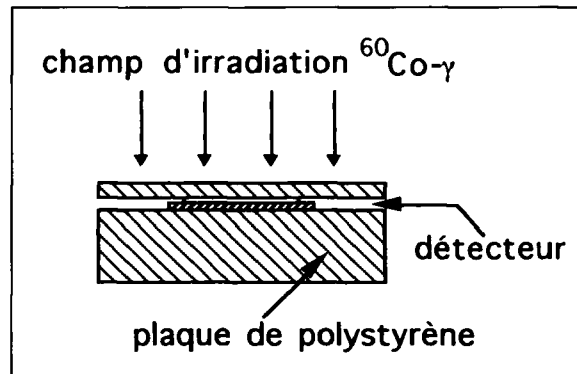
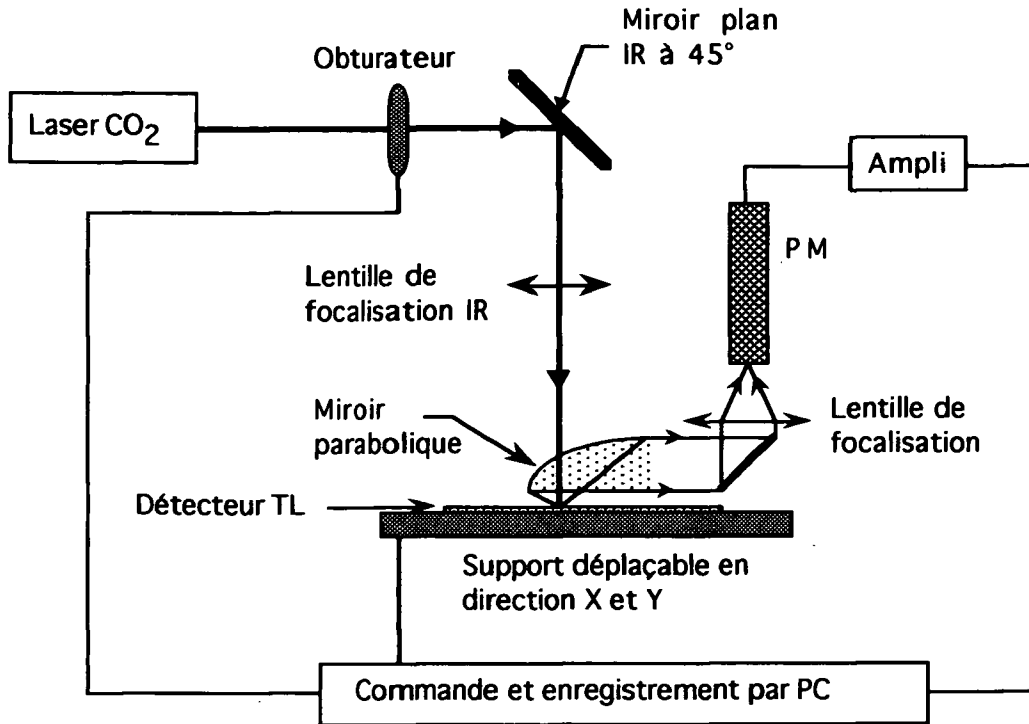


Fig. 2 - Irradiation dans un champ homogène de  $^{60}\text{Co}-\gamma$ .  
Irradiation with a  $^{60}\text{Co}-\gamma$  homogeneous field.

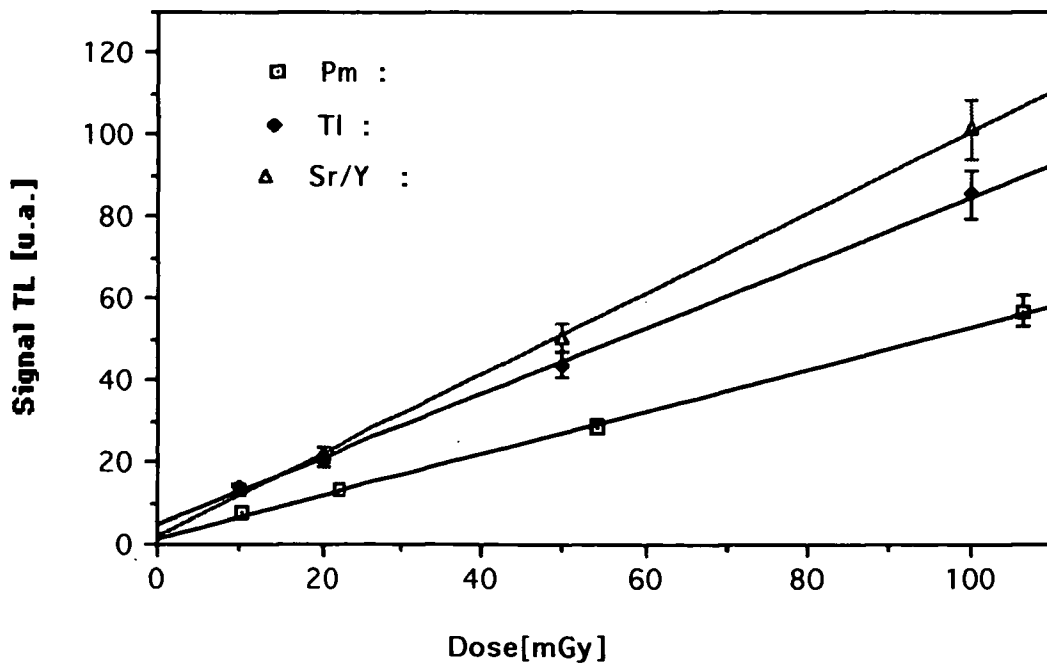
#### 2.4 Les lecteurs

Les détecteurs TL ont été lus au moyen de notre lecteur TL à chauffage laser présenté dans la figure 3 [5]. Le faisceau laser  $\text{CO}_2$  ( $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ ) est focalisé sur la plaque TL disposée sur une table à déplacement  $xy$ . La lumière émise par la zone chauffée est envoyée, par l'intermédiaire d'un système optique adapté, sur le photomultiplicateur. L'amplitude du signal TL étant proportionnelle à la dose reçue par le détecteur (Fig. 4), la cartographie de dose est obtenue à partir du signal TL mesuré en fonction de la position du faisceau laser.

Le détecteur OSL a été lu par stimulation par du proche IR, le signal de luminescence est enregistré avec une caméra CCD (*charge coupled device*) (Fig. 5). L'acquisition est déclenchée par une électronique de contrôle spécialement conçue, qui permet, en outre, de synchroniser la stimulation et la prise d'image [4].



**Fig. 3 – Schéma du lecteur TL à chauffage laser.**  
*Scheme of the laser heated TL reader.*



**Fig. 4 – Linéarité du signal TL en fonction de la dose pour les sources bêta <sup>147</sup>Pm, <sup>204</sup>Tl, <sup>90</sup>(Sr/Y).**  
*Linearity of the TL signal vs dose for beta sources <sup>147</sup>Pm, <sup>204</sup>Tl, <sup>90</sup>(Sr/Y).*

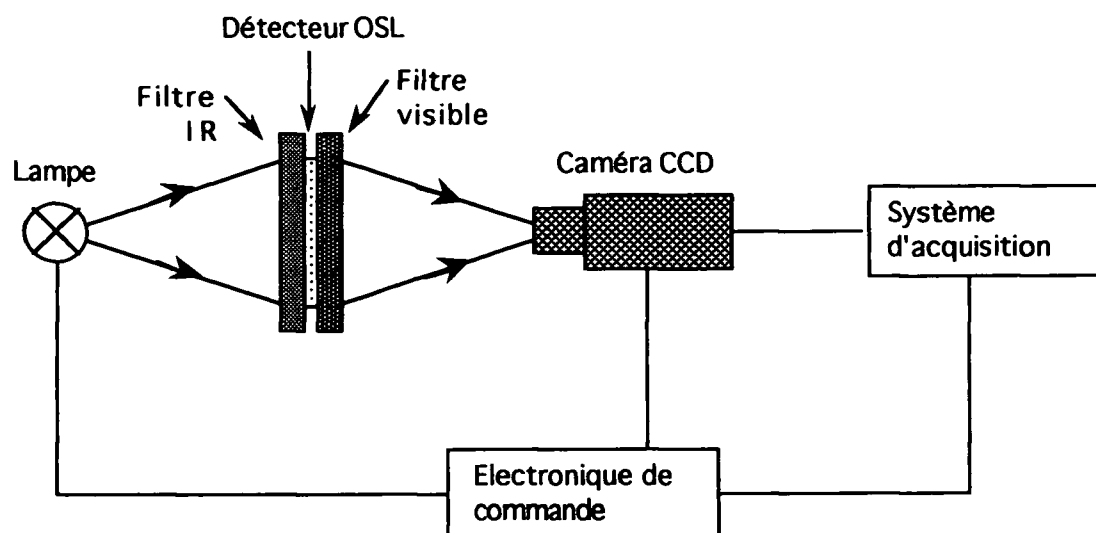
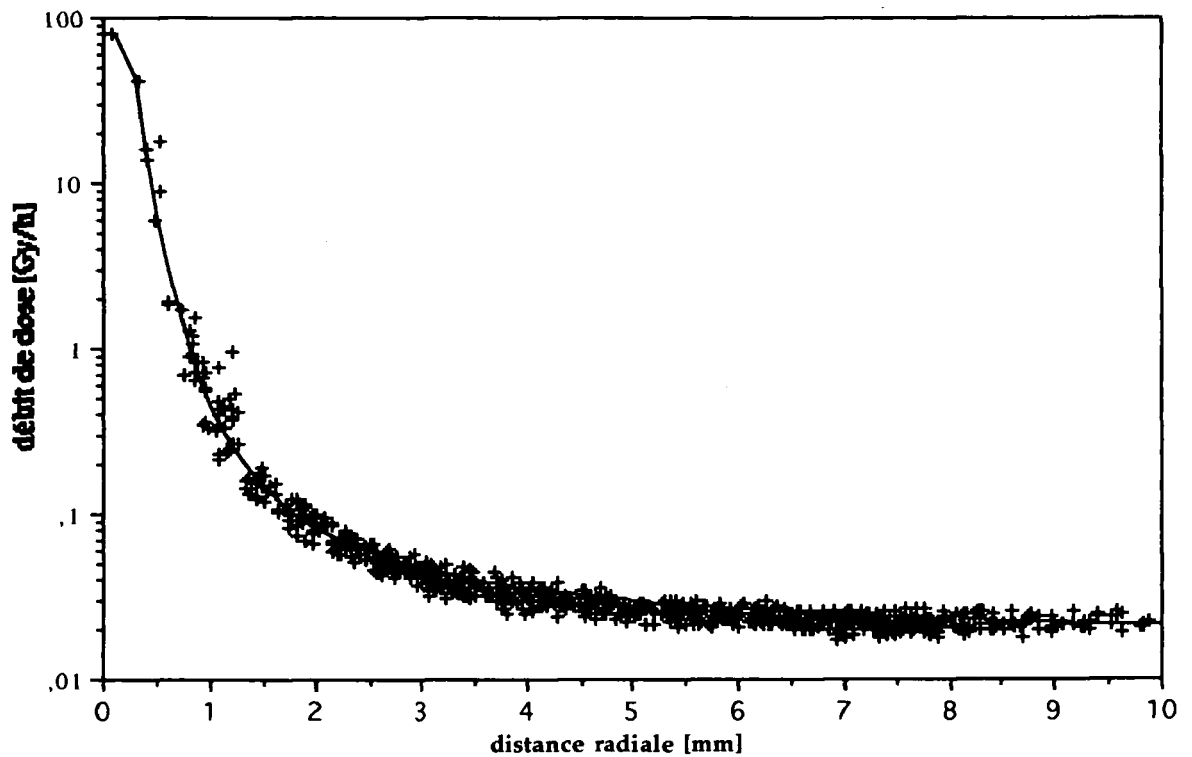


Fig. 5 - Schéma du lecteur OSL.  
Scheme of the OSL reader.

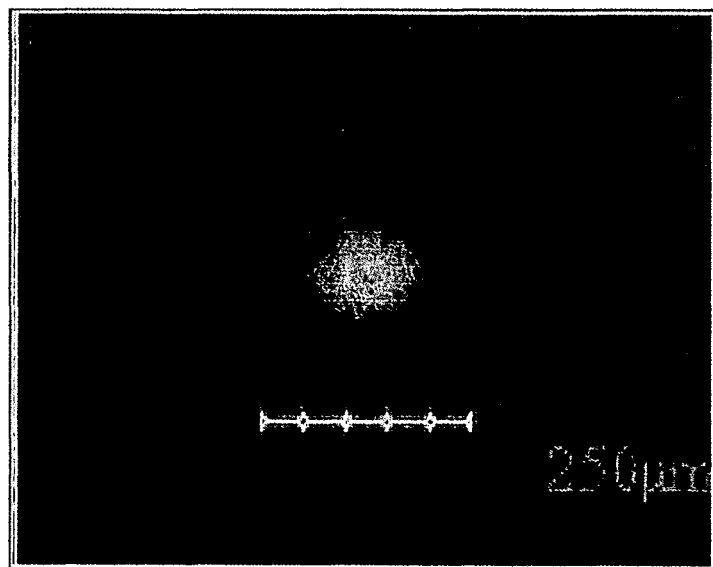
### 3. Résultats

La carte des doses, obtenue par balayage du spot laser sur la plaque thermoluminescente, représente les variations du signal TL (u.a.) en fonction des coordonnées cartésiennes  $x, y$ . Cette cartographie est transformée en coordonnées radiales par rapport au centre de la source. Le signal TL est étalonné au moyen d'une source étalon de  $^{60}\text{Co}-\gamma$  et transformé en débit de dose, exprimé en Gy/h en divisant la dose calculée par le temps d'irradiation. La figure 6 représente les variations du débit de dose en fonction de la distance radiale pour la particule de  $^{60}\text{Co}$  mise en contact avec le détecteur. Un débit de dose maximal de 79 Gy/h est mesuré au centre du détecteur. Ce débit de dose décroît rapidement avec la distance radiale. Pour  $r = 0,5$  mm, le débit de dose mesuré n'est plus que de 5,5 Gy/h. Au-delà de 5 mm, le débit de dose mesuré (0,02 Gy/h) correspond à la limite de détection de notre système de lecture.

L'image OSL du débit de dose de la particule de  $^{60}\text{Co}$  après 1 min d'irradiation est donnée dans la figure 7. L'échelle indiquée sur l'image montre que la taille de la "tache" est de l'ordre de grandeur du diamètre de la particule. Les performances de ce système sont limitées par les caractéristiques du CCD de la caméra utilisée (saturation et limite de détection). Afin d'utiliser pleinement la dynamique du détecteur, trois irradiations de durée respective 1 min, 1 h et 16 h 30 min ont été réalisées. Les images OSL obtenues sont transformées en coordonnées radiales. Les trois courbes obtenues sont représentées, après correction du temps d'irradiation, en isodose et en échelle logarithmique sur un même graphique (Fig. 8). Une courbe de régression a pu être calculée et tracée à travers les points expérimentaux.



*Fig. 6 – Distribution radiale du débit de dose de la particule de  $^{60}\text{Co}$  et courbe de régression.  
Radial dose rate distribution of the  $^{60}\text{Co}$  particle and regression curve.*



*Fig. 7 – Image OSL du débit de dose de la particule de  $^{60}\text{Co}$  après 1 min d'irradiation.  
OSL image of the dose rate of the  $^{60}\text{Co}$  particle after 1 min irradiation.*

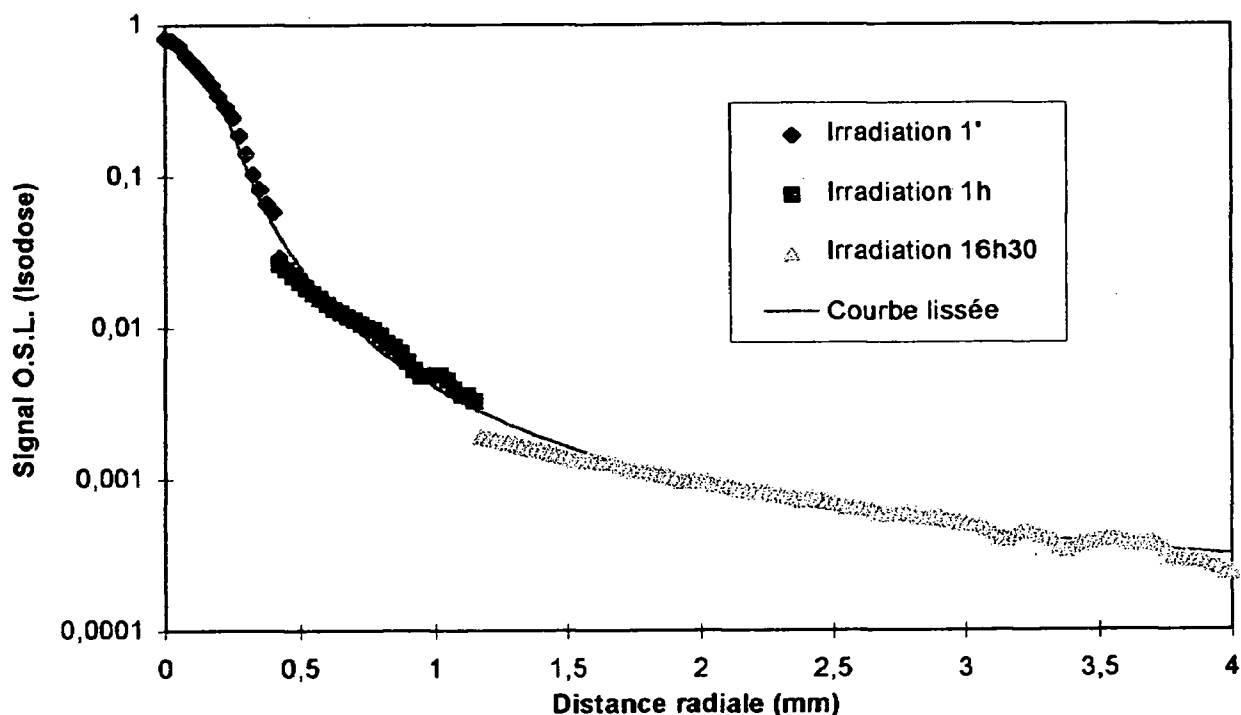


Fig. 8 – Réponse radiale en isodose du détecteur OSL à une irradiation avec la particule de  $^{60}\text{Co}$ .

*Radial isodose response of the OSL detector to an irradiation with the  $^{60}\text{Co}$  particle.*

#### 4. Conclusion

Nous avons montré qu'il est possible d'enregistrer des cartographies de dose en deux dimensions à partir des détecteurs TL lus au moyen d'un laser  $\text{CO}_2$  de chauffage et de détecteurs OSL lus au moyen d'une stimulation optique. La limitation pour l'enregistrement du signal est, dans les deux cas, la saturation de la chaîne de mesure. Afin de mesurer les valeurs de dose sur plusieurs décades, il est nécessaire d'effectuer plusieurs expériences en changeant soit le temps d'irradiation, soit les paramètres de lecture, et de superposer ensuite les courbes résultantes.

Le lecteur TL peut être considéré comme un système opérationnel. L'avantage de ce système est sa grande dynamique pour la récupération du signal TL. La résolution latérale de la cartographie est limitée par le diamètre minimal du faisceau laser, utilisable pour cette technique, qui est de  $\varnothing = 400 \mu\text{m}$  environ.

Le grand avantage de l'enregistrement du signal OSL par caméra CCD est la résolution latérale de l'image résultante. Le diamètre des pixels de la caméra est de  $25 \mu\text{m}$  environ. Cette technique étant au stade de l'étude de faisabilité, il n'était pas possible d'exprimer le résultat en unité de dose. ■

## RÉFÉRENCES

- [1] LEROUX J.B., HERBAUT Y. – Mesures et calculs de dose délivrés par des particules radioactives. Note d'étude CENG-SPR-SMI n° 94.04. Grenoble : CEA, 1994.
- [2] NATIONAL COUNCIL ON RADIOPROTECTION AND MEASUREMENTS (NCRP) – Limit for exposure to "hot particles" on the skin. (NCRP report n° 106). Bethesda, MD : NCRP, 1989.
- [3] RAO R.P., DEMURCIA M., GASLOT J. – Optical stimulated luminescence dosimetry. *Radiat. Prot. Dosim.*, 1984, 6, 64 - 66.
- [4] SAIGNÉ F. – Etude des phénomènes OSL pour la réalisation d'une chaîne d'acquisition d'images émises par des matériaux stimulables optiquement. Rapport DEA, Montpellier, 1994.
- [5] SERVIÈRE H. – Cartographie de dose gamma en champs mixte neutron-gamma en milieu modérateur : mise au point d'un capteur thermoluminescent et d'un lecteur laser. Thèse, Montpellier, 1993.
- [6] SOARES R.G., DARLEY P.J., CHARLES M.W., BAUM J.W. – Hot particle dosimetry using extrapolation chambers and radiochromic films. *Radiat. Prot. Dosim.*, 1991, 39, 55-59.
- [7] VIGNOLO C. – Application des techniques de lecture par chauffage laser de plaques thermoluminescentes pour l'autoradiographie. Thèse de physique radiologique et médicale, Toulouse, 1994.