

Dosimétrie des doses élevées par thermoluminescence des pics profonds du fluorure de lithium : FLi : Mg, Ti

Michel ESPAGNAN*, Pierre PLUME*, Gérard MARCELLIN*

(Manuscrit reçu le 28 décembre 1989)

RÉSUMÉ Cette communication constitue une contribution à la mesure des doses élevées (de l'ordre de 10^4 Gy) au moyen de la technique de thermoluminescence des pics profonds (VIII et IX) du fluorure de lithium FLi : Mg, Ti (TLD 700). On montre que l'utilisation de lecteurs performants associés à ces matériaux fait, maintenant, de la thermoluminescence, une technique très compétitive par rapport aux autres (films spéciaux, RPE, etc.) dans cette gamme de doses, et facile d'utilisation. De plus, la précision des résultats obtenus peut être de quelques pour cent. Ses applications dans le domaine industriel, médical, agro-alimentaire sont nombreuses et d'un grand intérêt.

ABSTRACT The aim of this technical note is to contribute to high dose measurements (about 10^4 Gy) by the use of thermoluminescence high temperature peaks (VIII, IX) of lithium fluoride FLi : Mg, Ti (TLD 700). High quality readers used with these materials now make thermoluminescence a very competitive technique that compares with other ones (special films, EPR, etc.) in these dose ranges and easy to set off. The result accuracy may be a few per cent. There are many interesting applications in fields such as industry, medicine and food irradiation.

INTRODUCTION

La dosimétrie des fortes doses peut être effectuée au moyen des matériaux dosimétriques les plus divers. En effet, certains laboratoires, de par le monde, utilisent des techniques variées. On peut citer : la mesure par *résonance paramagnétique* (RPE) de l'alanine [8, 10], les films de polyméthylmétacrylate [9], la mesure par résistance électrique de conducteurs organiques [2], etc.

Notre laboratoire, ayant acquis une expérience certaine en matière de thermoluminescence, s'est orienté vers la mesure de doses élevées (de l'ordre de 10^4 Gray) au moyen de cette technique.

* Etablissement Cogéma de Marcoule, Service de protection contre les rayonnements, Laboratoire de dosimétrie, BP 170, 30205 Bagnols-sur-Cèze Cedex.

Dans ce domaine, divers matériaux thermoluminescents ont fait l'objet d'étude sur les pics profonds. Nous pouvons citer :

- l'alumine (Al_2O_3) [5, 14, 17] ;
- le sulfate de calcium (SO_4CA) [14] ;
- le fluorure de lithium [7, 13, 16].

Utilisant de manière courante ce dernier matériau (FLi), nous avons décidé de l'utiliser pour la mesure des doses élevées. De plus son Z efficace (8,2) s'adapte bien aux applications que nous avons menées et dont l'une est décrite plus loin.

Ce rapport présente les principaux résultats obtenus dans ce domaine par notre laboratoire et montre surtout que, grâce à l'emploi de matériaux et de lecteurs très performants, la mesure de tels niveaux de doses par cette technique peut se faire de manière routinière, sans précautions particulières.

I. MATÉRIAUX UTILISÉS

Les principales caractéristiques du dosimètre utilisé, le TLD 700 de Harshaw, sont les suivantes :

- fluorure de lithium à 99,99 % de ^7Li ;
- pastille carrée de 3,175 mm de côté et 0,889 mm d'épaisseur ;
- lot de dosimètres triés à ± 5 % par le fabricant.

II. APPAREILLAGE UTILISÉ

Comme le montre la figure 1, l'ensemble de mesure comprend :

- un lecteur de type Harshaw 4000, autorisant notamment :
 - des températures de chauffage allant jusqu'à 400 °C,
 - une vitesse de chauffe minimale de 1 °C/s ;
- une table traçante reliée au lecteur permet le suivi des courbes de thermoluminescence et des profils de température ;
- un micro-ordinateur HP Vectra (disque dur de 40 Mo) relié au lecteur et à son imprimante.

Un logiciel spécialisé permet :

- de visualiser sur l'écran du moniteur vidéo l'évolution des courbes de thermoluminescence en temps réel.
- le stockage et l'impression de ces dernières.

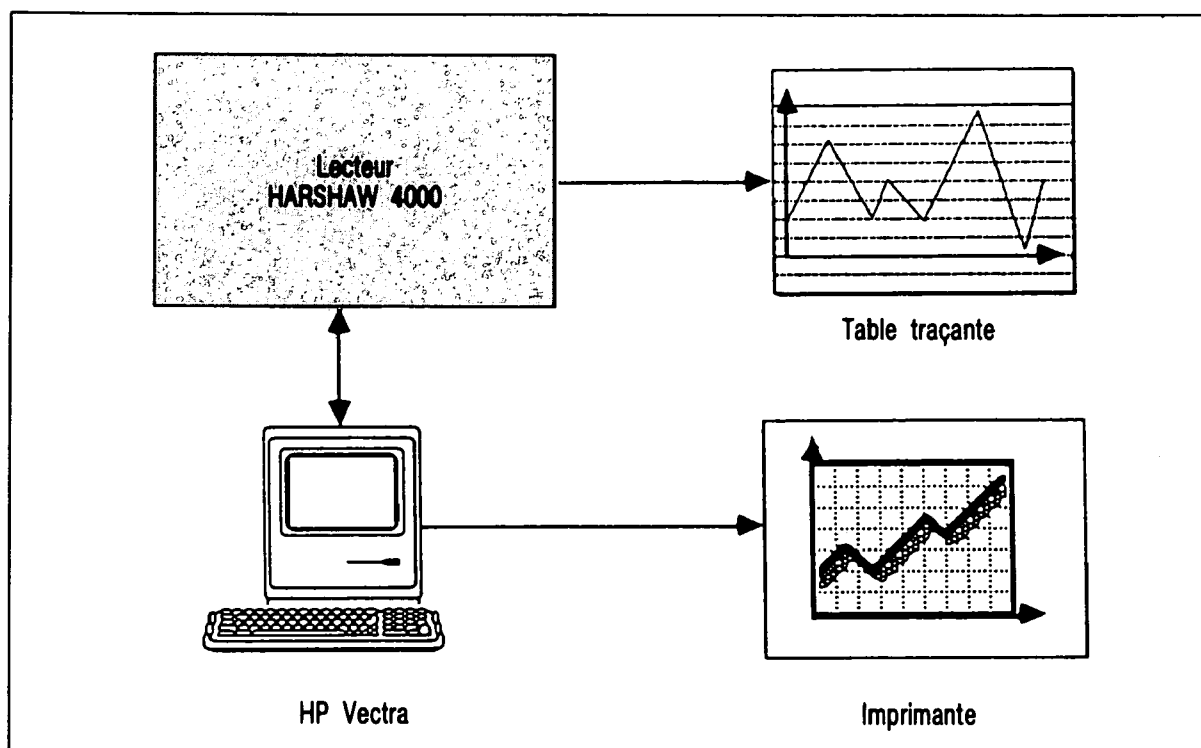


Fig. 1. — Schéma de l'ensemble de mesure.

III. SYSTÈME D'ÉTALONNAGE ET D'IRRADIATION

Il est constitué par un irradiateur au ^{137}Cs dont le débit de dose est de 2.10^4 Gy.h^{-1} à $\pm 5 \%$ (les doses sont exprimées en gray dans le tissu sous 300 mg.cm^{-2} , par convention). L'étalonnage a été affiné par RPE sur l'alanine qui a été consacrée récemment comme référence pour les fortes doses [18].

IV. CONDITIONS GÉNÉRALES D'EXPÉRIMENTATION

La gamme de dose étudiée s'étend de 10^3 à 10^4 Gy. Les conditions expérimentales sont les suivantes (et identiques pour tous les dosimètres du lot considéré) :

- a) ne connaissant pas l'historique des dosimètres, avant chaque irradiation, ceux-ci sont portés à $400 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant 10 min et à $100 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant 15 min, dans un four, afin de vider complètement les pièges (mise à zéro) ;
- b) irradiation ;
- c) lecture.

Les dosimètres ne sont pas ensuite réutilisés. Ils présentent, à plus faibles doses notamment, une baisse très nette de leur sensibilité sur les pics habituellement utilisés (III, IV, V) et également de moindre envergure sur les pics profonds [3].

V. RECHERCHE DES PICS PROFONDS

V.1. Extraction des pics

Diverses lois de chauffage ont été appliquées et grâce à l'utilisation de faibles pentes de chauffages ($1\text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$), elles permettent d'extraire et de mettre en évidence les pics profonds, utilisés pour la dosimétrie des doses élevées. La figure 2 présente, par exemple, la courbe de thermoluminescence d'un FLi irradié à 5 000 Gy, en utilisant une loi de chauffe à faible pente, $1\text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$.

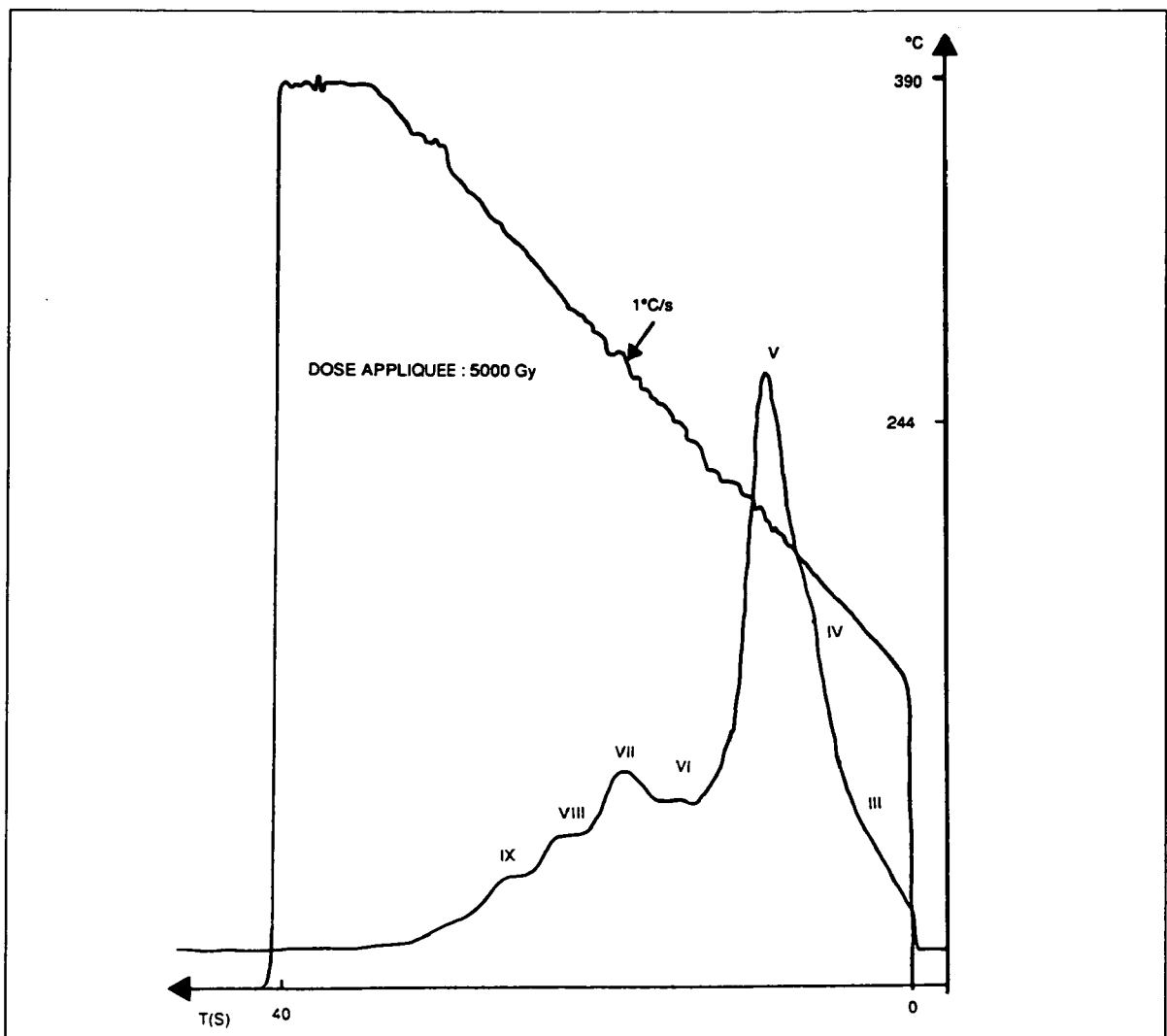


Fig. 2. – Courbe de thermoluminescence d'un FLi.

Les pics III, IV et V sont utilisés en dosimétrie de routine. La température d'extraction est de l'ordre de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour le pic V, par exemple. Les pics correspondant aux pièges les plus profonds (VI, VII, VIII et IX) sont extraits à des températures plus élevées, vers $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour le pic IX (fig. 2). D'autres cycles de chauffage permettent de mieux séparer des groupes de pics. La figure 3 montre l'extraction des 5 premiers pics, lorsque l'on interrompt la montée en température à $216\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les pics VI à IX sont obtenus en reprenant le chauffage à partir de $216\text{ }^{\circ}\text{C}$ (fig. 4).

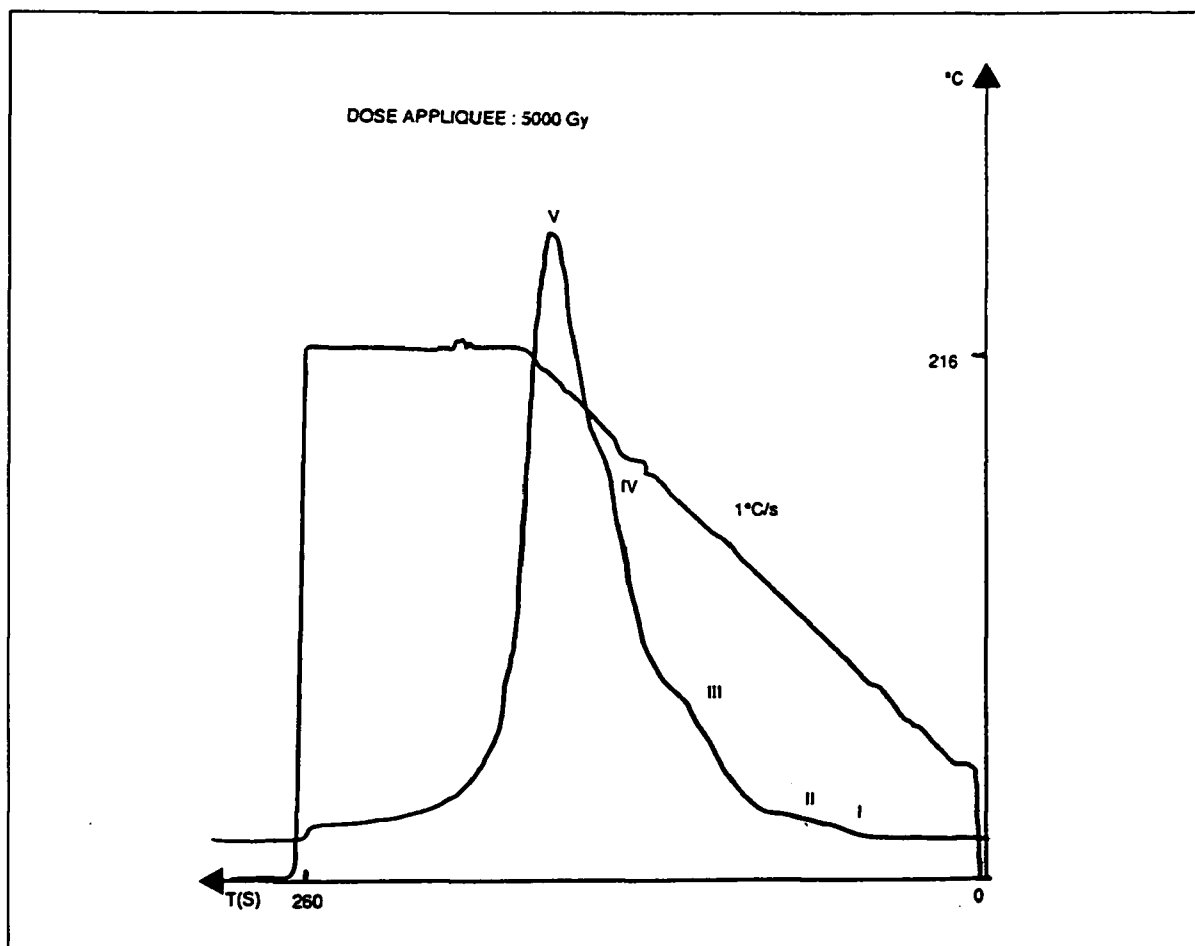


Fig. 3. — Extraction des pics I à V.

V.2. Commentaires

On constate que les pics intéressant les fortes doses (VI à IX) sont difficilement séparables, l'ensemble présentant une structure complexe. Les pics s'influencent mutuellement les uns les autres. Certains auteurs [16] ont constaté que, dans certaines conditions, 25 % du signal dû au pic VII se situe sous le pic V. Des méthodes de déconvolution des signaux sont en cours d'étude pour séparer chacun des pics [11, 16].

Des pics encore plus profonds ont également été observés à des températures d'extraction plus élevées [3] : le pic noté X (à 422 °C) et un autre pic (à 465 °C). Malgré la limite supérieure en température de notre lecteur (400 °C), le faible changement de pente que l'on distingue après le pic IX (fig. 4) peut être dû à une amorce de vidage des pièges associés au pic X.

Les résultats précédents montrent que l'on peut effectuer un regroupement de pics (VI et VII), (VIII et IX) pour effectuer la dosimétrie des fortes doses. C'est dans cette optique que nous avons alors recherché des cycles de températures élevées.

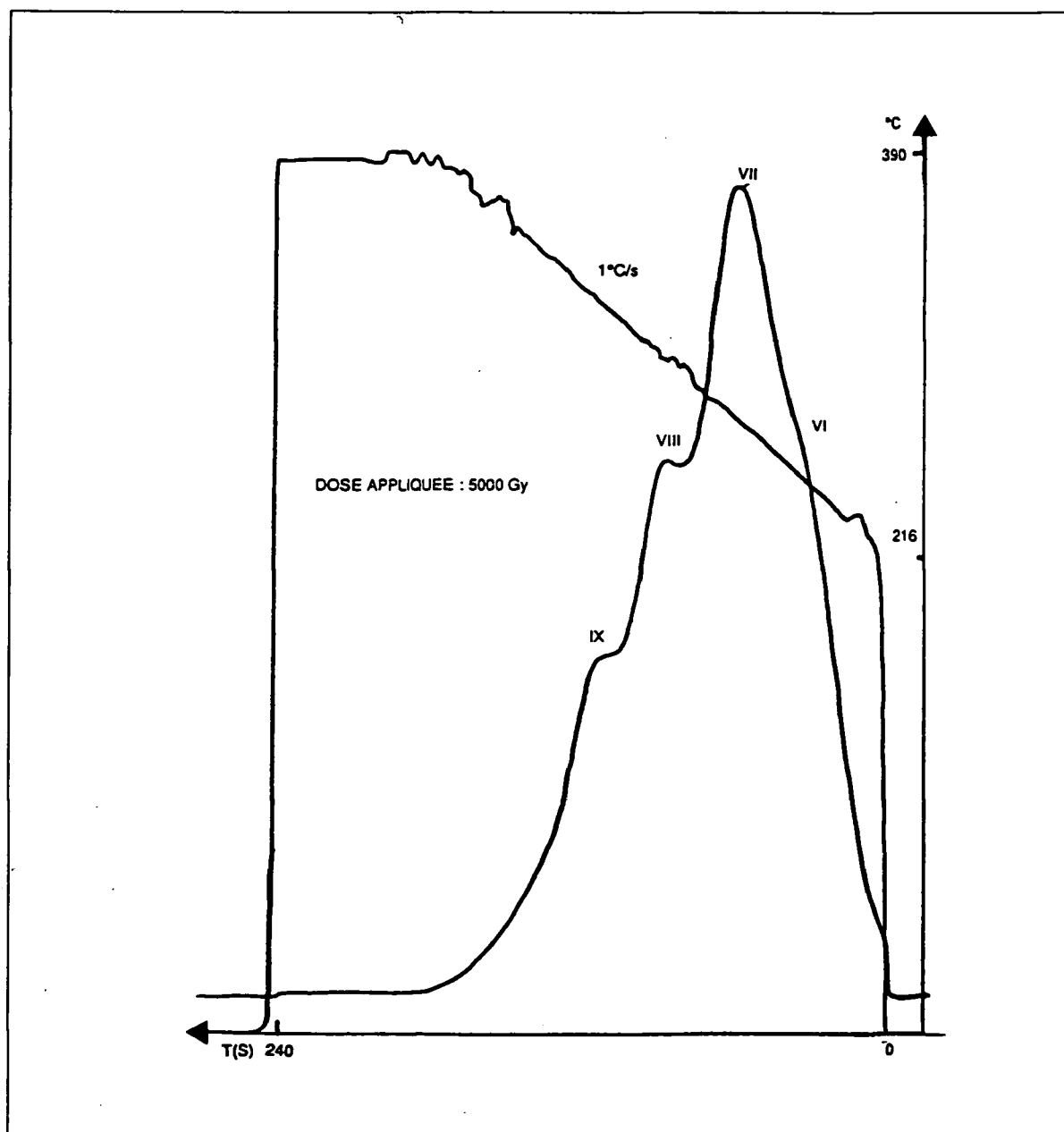


Fig. 4. – Thermoluminescence des pics profonds VI à IX.

VI. ÉTUDES DES PIÈGES PROFONDS (VIII ET IX)

L'expérience a montré que seuls les pics VIII et IX sont intéressants pour la gamme de doses étudiée (de 10^3 à 10^4 Gy). En effet, les pics VI et VIII présentent rapidement une saturation du signal à partir de 10^3 Gy. Après de multiples essais, une procédure expérimentale de lecture des pics profonds a été mise au point, aussi bien pour les échantillons que pour les étalons.

VI.1. Procédure expérimentale

Elle est définie ci-après :

- 1) chauffage des dosimètres dans un four comme énoncé auparavant ;
- 2) irradiation des dosimètres : les étalons sont irradiés entre 10^3 et 10^4 Gy ;
- 3) lecture des dosimètres selon deux cycles de chauffage, qui seront précisés par la suite sur les figures :

a) Cycle 1

Il permet le vidage des pics III, IV, V. Il assure également l'extraction et la lecture du signal issu des pics VI et VII.

b) Cycle 2

Il permet l'extraction et la mesure des signaux issus des pics VIII et IX.

Le 1^{er} cycle de chauffage, outre le fait qu'il permet de vider les pics inférieurs saturés non utilisés (III à VII), possède un autre avantage. Aux niveaux de doses qui nous intéressent (10^3 à 10^4 Gy), les pastilles de FLi se colorent très fortement. La coloration va du jaune au brun foncé lorsque la dose augmente. Les centres colorés créés en très grand nombre sont responsables de ce phénomène. Ce 1^{er} cycle a donc également pour effet de ramener les dosimètres à leur coloration initiale, soit blanche. Ceci a pour conséquence de ramener la transmission optique des cristaux à la valeur initiale pour le 2^e cycle.

L'expérience croissante dans cette pratique nous a amenés à apporter des améliorations techniques simples mais ayant des conséquences importantes, notamment sur l'exploitation courante de cette technique. Un cache a notamment été introduit entre le photomultiplicateur et le dosimètre au cours du 1^{er} cycle de chauffage. Ce dernier ne servant qu'à vider les pics non utilisés, cela permet d'éviter l'éblouissement du PM malgré un réglage très bas de la THT de ce dernier. Le 2^e cycle de chauffage peut alors s'appliquer immédiatement après, la stabilisation du PM entre les deux cycles devenant inutile. Cela réduit considérablement le temps d'exploitation, La figure 5 montre un exemple de courbe de thermoluminescence des pics vidés par le cycle 1 de chauffage. La figure 6 donne les mêmes paramètres pour les pics VIII et IX extraits par le 2^e cycle de chauffage. La dose appliquée est de 5 000 Gy.

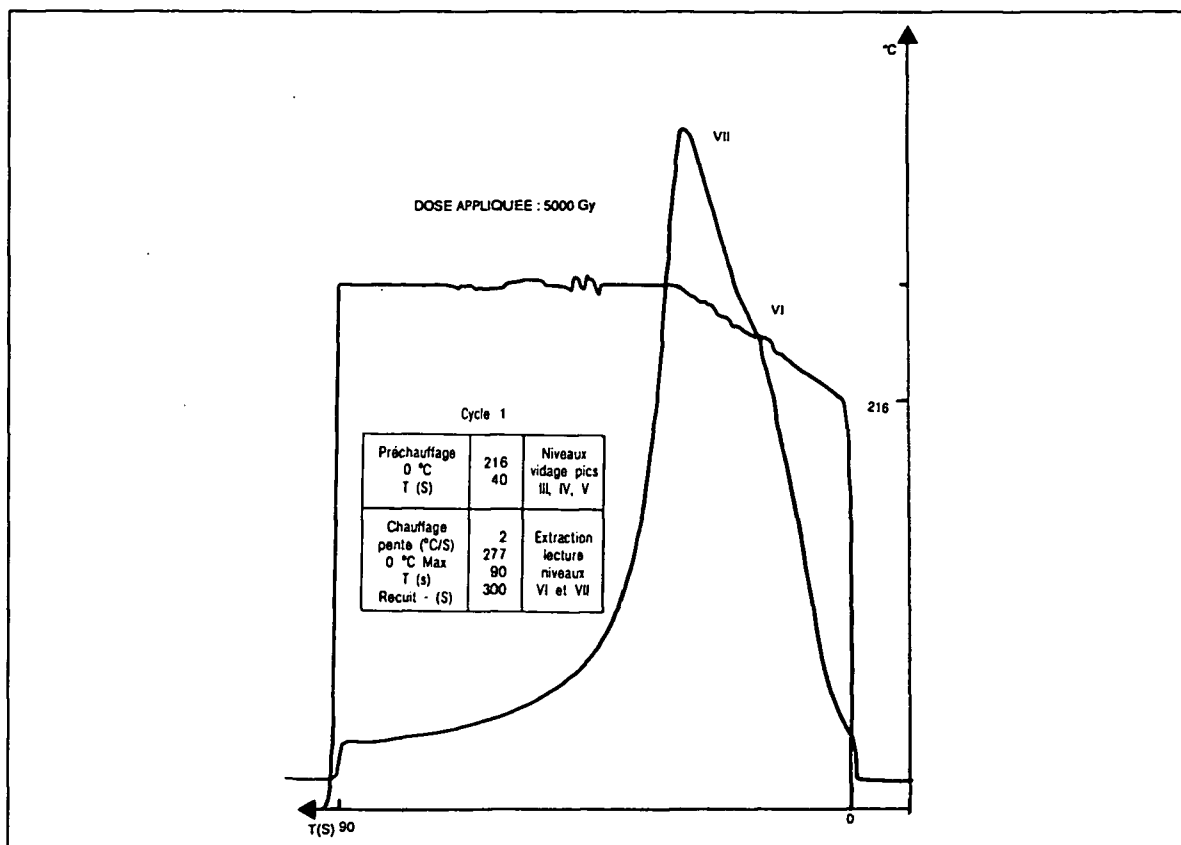


Fig. 5. — Cycle 1 de chauffage.

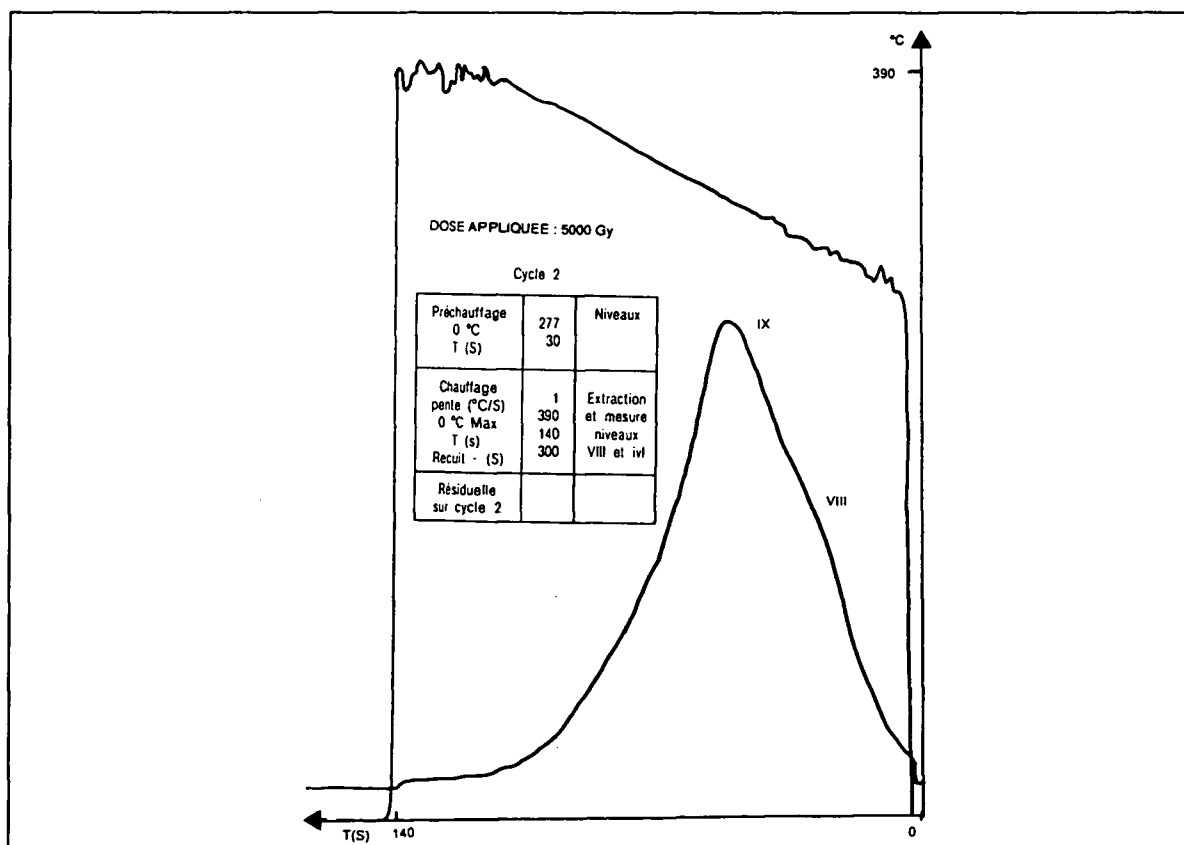


Fig. 6. — Cycle 2 de chauffage.

VI.2. Réponse des pics (VIII et IX) en fonction de la dose

Après avoir irradié un lot de dosimètres à l'irradiateur étalon au ^{137}Cs , la courbe de réponse (et d'étalonnage) entre 10^3 et 10^4 Gy a été tracée (fig. 7). Le signal S en microcoulomb (μC) varie rapidement mais non linéairement avec la dose. La réponse est supralinéaire en coordonnée log-normale. Le signal résiduel sur le cycle 2 varie de 1 à 1,5 % du signal obtenu après le premier passage sur ce cycle. Ceci atteste le vidage correct des pics profonds. Malgré le faible nombre de dosimètres, les résultats sont peu dispersés.

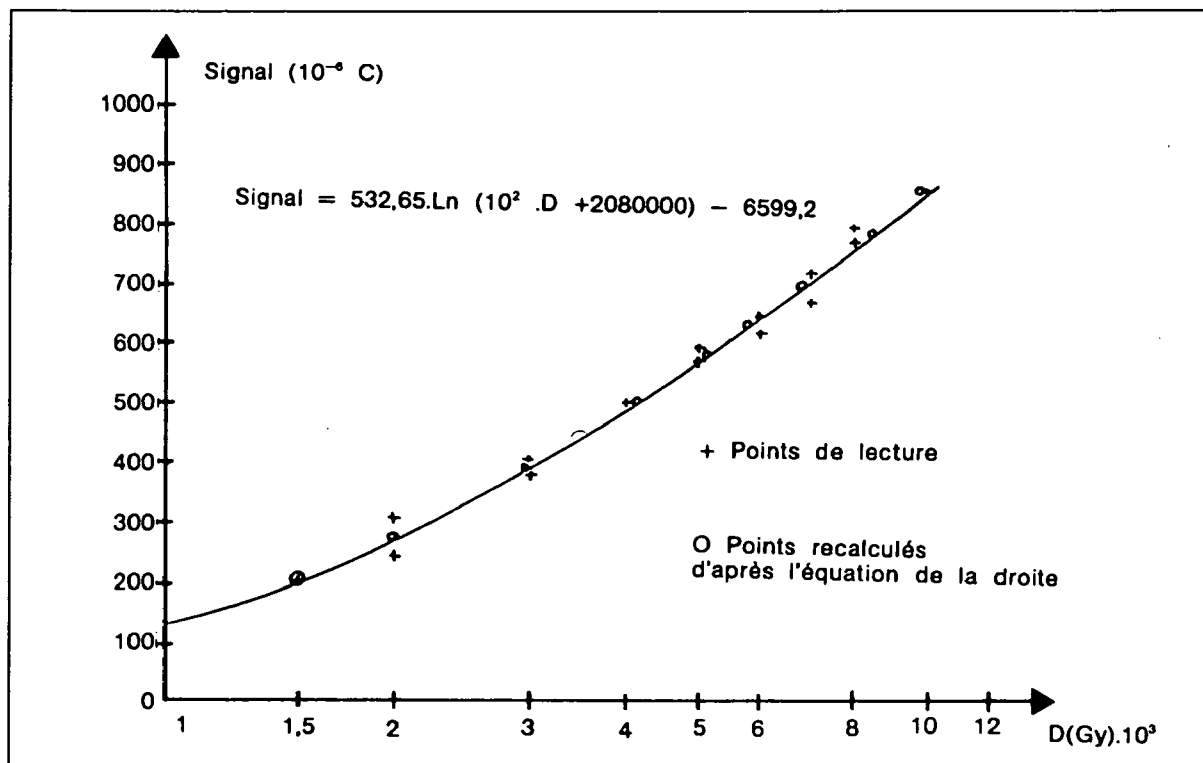


Fig. 7. - Réponse des pics VIII et IX en fonction de la dose.

La réponse en fonction de la dose a été tracée au-delà de 10^4 Gy jusqu'à $5 \cdot 10^4$ Gy. La variation de la dose présente une pente plus faible que celle observée entre 10^3 et 10^4 Gy. On peut supposer que ce comportement est dû à la saturation du niveau VIII et que la variation du signal n'est due alors qu'à la contribution du pic IX. Cela demande toutefois confirmation.

VII. INCERTITUDE GLOBALE LIÉE À LA MESURE D'UNE DOSE

La forme des courbes d'étalonnage obtenues montre qu'une linéarisation est très facile à réaliser par un changement de variable du type \ln (dose + d), d étant une quantité ajustée de manière à réaliser au mieux la régression linéaire de la droite d'étalonnage. L'erreur totale obtenue

par l'utilisation d'une courbe linéarisée, lorsque la variance liée est constante (ce qui est ici le cas) [6], s'écrit :

$$\frac{s}{b} \sqrt{\frac{1}{N_0} + \frac{1}{N} \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}}$$

- S est l'estimation de l'écart type lié obtenu à partir des points d'étalonnage,
 N est le nombre total de mesures servant au calcul de la droite d'étalonnage,
 N₀ est le nombre de dosimètres utilisés pour la mesure d'une dose en un point,
 b est la pente de la droite d'étalonnage.

Cette erreur est fonction de la pente b de la courbe d'étalonnage. L'incertitude est d'autant plus grande que la pente est faible, ce qui a été observé plus haut. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes cantonnés dans une zone à plus forte pente (10³ à 10⁴ Gy) pour améliorer l'incertitude sur le résultat. Finalement, l'erreur globale (niveau de confiance 0,95) sur le calcul de la dose en un point est la combinaison de trois erreurs :

- l'erreur liée à la mesure du signal moyen des N₀ dosimètres (erreur de type aléatoire) ;
- l'erreur liée à l'utilisation d'une courbe d'étalonnage linéarisée, imprécise (erreur systématique) ;
- l'erreur sur les doses de référence de la courbe d'étalonnage (erreur systématique).

Pour plus de détails, le lecteur pourra se rapporter à l'ouvrage de la CETAMA [6] : "Statistiques appliquées à l'exploitation des mesures", chapitre V.

Un programme de calcul sur ordinateur a été mis au point, il permet :

- après entrée des valeurs des points d'étalonnage, de calculer les paramètres de la meilleure linéarisation de la courbe d'étalonnage ;
- après entrée du signal des N₀ dosimètres, de calculer la dose en un point, et l'erreur globale associée.

VIII. APPLICATION

Nous avons appliqué cette technique et la méthode de calcul associée à la mesure de la dose en un point, dans l'eau d'une piscine de stockage de combustibles irradiés. La source d'irradiation est constituée par un ensemble d'éléments combustibles disposés en cercle autour du point de mesure. La courbe d'étalonnage comprend 10 points à raison de 2 dosimètres par point. Le nombre N₀ de dosimètres au point de mesure est de 10. Avant d'explicitier les résultats, il faut noter que, dans cette application, le rayonnement d'étalonnage et celui utilisé dans la mesure (combustible) sont voisins en énergie moyenne (environ 600 keV).

En effet, certains auteurs comme B.B. SHACHAR et Y.S. HOROWITZ [16] ont étudié la réponse en énergie des pics III à VII, en fonction de l'énergie des photons comprise entre 35 et 135 keV. La réponse augmente avec le numéro des pics et atteint une valeur de 1,63 pour le pic VII, à 70 keV. D'autres auteurs [4] l'ont également mesuré sur le FLi 100 (naturel). Il semble qu'au-delà de 200 keV, la réponse soit égale à l'unité.

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature de données sur les réponses en énergie des pics VIII et IX. On peut supposer que leurs réponses, eu égard aux résultats énoncés ci-dessus, sont différentes de celles des pics peu profonds. Si c'était le cas, il faudrait en tenir compte dans la situation où le rayonnement d'utilisation serait très différent (énergie < 100 keV) du rayonnement d'étalonnage (¹³⁷Cs ou ⁶⁰Co par exemple).

Dans l'exemple qui nous occupe, le tableau I présente le résultat du traitement informatique de la courbe d'étalonnage. La 4^e colonne montre un très bon accord entre les doses de références et celles calculées par l'ajustement linéaire (voir aussi figure 7). La dernière colonne indique l'erreur globale en % faite sur la dose calculée en chaque point. Le tableau II donne le résultat de la dose moyenne au point de mesure et son erreur globale associée.

TABLEAU I
Exemple pratique du traitement informatique d'une courbe d'étalonnage

ETALONNAGE FORTES DOSES FLI IRRADIÉ LE 13/12/89		CHANGEMENT DE VARIABLE SUR LES DOSES DE RÉFÉRENCE = + 2,080.10 ⁵ FONCTION D'AJUSTEMENT Signal = A + (B x Ln (X)) A = - 6599,52 B = + 532,55 R ² = + 9941524772 Ecart-type lié = 18,866902				
Signal de mesure (μC)	Dose de référence (Gy)	Dose calculée (Gy)	Dose réf. / Dose cal.	Dose réf. (Gy)	Dose cal. (Gy)	E (maxi) en %
139,16	1,0.10 ³	1,049.10 ³	0,953	1,0.10 ³	1,016.10 ³	23,2
127,96	1,0.10 ³	9,838.10 ²	1,016	1,5.10 ³	1,490.10 ³	19,2
208,78	1,5.10 ³	1,486.10 ³	1,009	2,0.10 ³	1,974.10 ³	17,0
209,86	1,5.10 ³	1,493.10 ³	1,005	3,0.10 ³	2,960.10 ³	15,0
244,81	2,0.10 ³	1,735.10 ³	1,152	4,0.10 ³	4,110.10 ³	13,7
309,48	2,0.10 ³	2,228.10 ³	0,898	5,0.10 ³	5,097.10 ³	13,2
405,22	3,0.10 ³	3,077.10 ³	0,975	6,0.10 ³	5,773.10 ³	12,9
380,83	3,0.10 ³	2,846.10 ³	1,054	7,0.10 ³	6,838.10 ³	12,6
503,65	4,0.10 ³	4,123.10 ³	0,970	8,0.10 ³	8,406.10 ³	12,4
501,37	4,0.10 ³	4,097.10 ³	0,976	1,0.10 ⁴	9,849.10 ³	12,2
591,05	5,0.10 ³	5,230.10 ³	0,956			
571,54	5,0.10 ³	4,967.10 ³	1,007			
642,83	6,0.10 ³	5,976.10 ³	1,004			
615,55	6,0.10 ³	5,574.10 ³	1,076			
673,57	7,0.10 ³	6,455.10 ³	1,084			
720,28	7,0.10 ³	7,237.10 ³	0,967			
795,66	8,0.10 ³	8,654.10 ³	0,924			
770,79	8,0.10 ³	8,164.10 ³	0,980			
851,67	1,0.10 ⁴	9,845.10 ³	1,016			
852,06	1,0.10 ⁴	9,853.10 ³	1,013			

TABLEAU II
 Dose moyenne obtenue en un point de mesure
 (piscine de stockage de combustible irradié)
 Calcul de la dose pour tous les dosimètres

Point de lecture	Point d'ordre	Signal (μC)	Dose cal. (Gy)
1	1A	$6,129.10^2$	$6,43.10^3$
2	2A	$6,455.10^2$	$6,97.10^3$
3	3A	$5,726.10^2$	$5,80.10^3$
4	4A	$6,038.10^2$	$6,28.10^3$
5	5A	$6,040.10^2$	$6,29.10^3$
6	6A	$7,316.10^2$	$8,52.10^3$
7	7A	$6,775.10^2$	$7,52.10^3$
8	8A	$5,774.10^2$	$5,87.10^3$
9	9A	$6,592.10^2$	$7,20.10^3$
10	10A	$6,523.10^2$	$7,08.10^3$
RÉSULTAT FINAL DU CALCUL DE DOSE			
Dose = $6,772.10^3$ Gy \pm 8,8 %			

La valeur obtenue est tout à fait comparable à celle donnée par d'autres moyens mis en parallèle (alanine et chambre haut flux). Ce qui est intéressant, c'est l'erreur obtenue. Elle est tout à fait acceptable pour des niveaux industriels, si l'on sait que l'on n'a utilisé notamment que deux dosimètres par point d'étalonnage. Ceci diminue notamment le temps d'exploitation, ce qui constitue souvent un paramètre important en milieu industriel.

Si l'on considère alors :

- que l'étalonnage de notre irradiateur peut atteindre une précision de 1 % environ [18], au lieu des 5 % donnés ici,
- que le nombre de dosimètres par point d'étalonnage peut être augmenté, ainsi que celui, éventuellement, au point de mesure,

une incertitude globale de quelques pour cent peut être obtenue dans ce type de mesure par la technique de thermoluminescence exposée ci-dessus.

CONCLUSION

La synthèse des résultats d'expérience de plusieurs mois sur la dosimétrie au moyen des niveaux profonds des matériaux thermoluminescents (FLi 700) a montré la capacité de ces derniers dans le domaine des fortes doses. L'association de matériaux dosimétriques thermoluminescents de qualité avec des lecteurs performants et faciles d'utilisation

fait que la mesure de fortes doses par cette technique peut se pratiquer de manière courante et sans trop de précautions particulières, avec une bonne précision sur les résultats (quelques pour cent).

Elle entre très bien dans la panoplie des techniques performantes disponibles. Les applications industrielles sont nombreuses et, outre l'exemple ci-dessus, on peut retenir :

- la mesure dans les réacteurs ;
- les mesures de longue durée dans des gammes étendues de débits de dose (10 à 10^5 Gy.h⁻¹), la durée de vie des pièges profonds l'autorise ;
- les mesures en cas d'accident de criticité, aux niveaux des zones proches de l'excursion critique ;
- la stérilisation alimentaire, à l'ordre du jour [1, 12, 15], où des doses de 0,25 à 10 kGy sont appliquées ; dans ce cas, ces doses peuvent être mesurées à l'aide de niveaux moins profonds (VI, VII), les pics (VIII et IX) pouvant être utilisés comme moyen de contrôle.

L'évolution des techniques de traitement numérique des signaux, comme la déconvolution de pics, vont accroître encore les possibilités des matériaux thermoluminescents en matière de mesure de doses élevées. ■

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient : M. C. LAFFAILLE, chef de l'UDIN (Unité de démantèlement des installations nucléaires) pour avoir initié cette étude, M. A. CLECH, chef du SPR (Service de protection contre les rayonnements) pour les discussions et les critiques constructives du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE (AIEA) – Food processing by irradiation : world facts and trends. AIEA News features, 1988, N° 5.
- [2] BALIAN P., ARDONCEAU J., ZUPPIROLI L., HILTI B., MAYER C.W. – High temperature absorbed dose measurements in the megagray range. Int. J. Appl. Radiat. Isot., 1988, 39 (11) 1117-1120.
- [3] BHATT B.C., LAKSHMANAN A.R., SHINDE S.S., BHATT R.C. – Radiation damage in LiF : Mg, Ti and CaSO₄ : Dy TLD phosphors. Radiat. Prot. Dosim., 1988, 25 (1) 37-41.
- [4] BHUWAN CHANDRA, LAKSHMANAN A.R., BHATT R.C. – Photon energy dependence of various TL peaks in LiF (TLD100). Int. J. Appl. Radiat. Isot., 1982, 33, 1399-1402.
- [5] BIKWAKU N.T. – Dosimétrie par thermoluminescence en atmosphère très chaude en vue de la dosimétrie dans les réacteurs nucléaires. Diplôme d'études supérieures, Université Paul Sabatier de Toulouse (sciences), octobre 1985.

- [6] CETAMA (Commission d'établissement des méthodes d'analyses du Commissariat à l'énergie atomique) — Statistiques appliquées à l'exploitation des mesures. Paris : Masson, 1986.
- [7] DAMOURETTE M.C. — Dosimétrie par thermoluminescence. Relecture des dosimètres à partir des niveaux VI et VII. (Communication personnelle, La Hague, 1987).
- [8] DESCOURS S., ASSAYRENC J., BERMANN F., COUDERC B., DE CHOUDENS H., DELARD R., RASSAT A., SERVOZ-GAVIN P. — Etude par RPE des radicaux libres créés sous irradiation dans certaines substances organiques. Application en dosimétrie de la mesure des radicaux libres créés dans l'alanine. Rapport CEA-R-3913, 1970.
- [9] GLOVER K.M., KING M., WATTS M.F. — Calibration and intercomparaison of red 4034 Perplex dosimeters. In : High-dose dosimetry, Vienna, 8-12 Oct. 1984. Vienne : AIEA, 1985, 373-395.
- [10] HANSEN J.W., OLSEN K.J., WILLE M. — The alanine radiation detector for high-and low- LET dosimetry. Radiat. Prot. Dosim., 1987, 19 (1), 43-47.
- [11] HOROWITZ Y.S., MOSCOVITCH M. — Computerized glow curve deconvolution applied to high dose (10^2 - 10^5 Gy) TL dosimetry. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res., 1986 A243, 207-214.
- [12] LANGLEY-DANYSZ P. — L'ionisation pour conserver le lait maternel. La Recherche, 1989, 20, 418-419.
- [13] MONTET J. — Etalonnage du TLD 700 Harshaw entre 10^4 et 5.10^8 rads (Communication personnelle).
- [14] PORTAL G. — Etude et développement de la dosimétrie par radiothermoluminescence. Rapport CEA-R-4943, 1978.
- [15] SAINT LEBE L. — Le traitement ionisant des aliments. CLEFS CEA, 1986, 1, 41-46.
- [16] SHACHAR B.B., HOROWITZ Y.S. — Dosimetric characterisation of the high temperature peaks of LiF : Mg, Ti and CaF₂ : Tm using computerized glow curve deconvolution. Radiat. Prot. Dosim., 1988, 22 (2) 87-96.
- [17] SUDERSHAN K.M., SENGUPTA S. — Annealing characteristics and nature of traps in Al₂ O₃ thermoluminescent phosphor. Phys. Med. Biol., 1977, 22, 863.
- [18] Symposium international sur la dosimétrie par RPE et ses applications, Munich, 10-13 octobre 1988. Compte rendu dans Radioprotection, 1989, 24 (1), p. 58.