

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Saâd DAHLAB-Blida 1

Faculté des Sciences

Département de Physique



Mémoire de Master

Présenté

Pour l'obtention du diplôme de master en :

Physique appliquée

EFFET DU TEMPS D'IRRADIATION BÉTA ET LA
TEMPÉRATURE SUR LES PICS I-TL DU LiF(700).

Présenté par:

BENAISSA ASMAA HOURIA

Soutenu le 7 octobre 2020 devant le jury composé de :

Mr. Ould Mohamed Mounir sidi Mohamed	M C B	U.S.D.Blida 1	Président
MR. Halimi Mokhtar	M C B	U. Oran 1	Encadreur
Mr. Aidouni Ahmed Amine	M C B	U.S.D.Blida 1	Examineur

Blida 2020

Remerciement

Je remercie «Allah» de m'avoir donné l'énergie, la patience et le courage nécessaire à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie vivement mon encadreur, Mr **Halimi Mokhtar** maitre de conférences classe B a l'université de Oran 1, d'avoir encadré ce travail avec beaucoup de compétences, IL a été toujours la pour me soutenir et me conseiller au cours de l'élaboration de ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont à Mr. **Ould Mohamed Mounir sidi Mohamed** maitre de conférences classe B à l'université Blida 1 pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ce travail, Je tiens à remercier Mr. **Aidouni Ahmed Amine** maitre de conférences classe B à l'université Blida 1 pour l'intérêt qu'il a porté à ce mémoire en acceptant de l'examiner.

Je remercie Mme **Baba Ahmed Latifa** maitre de conférences classe A à l'université Blida 1 et chef d'option physique appliquée.

Je remercie tous les enseignants d'université Yahia Fares et université de Blida 1 qui ont contribué à ma formation de la graduation à la poste graduation

Enfin, je remercier tout le corps professoral de la faculté des sciences, pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.

Dédicace

Je dédie ce travail :

À ma chère mère et mon cher père, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À mes sœurs et leurs enfants

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

À mon cher Zakaria

À mes adorables amies : Meriem, Khaoula, khaira, Farida, Aicha, Assia, Yousra, Chahrazed et Myriam.

À toute mes collègues de spécialité physique appliquée.

À toute personne qui me connais de près ou de loin.

Résumé

L'analyse par la thermoluminescence (TL) consiste à irradier un matériau puis à le chauffer avec une vitesse de chauffage constante (linéaire) afin de récolter le signal de luminescence induit par le dépeuplement des pièges et la recombinaison des porteurs de charge sur les activateurs. La technique de thermoluminescence (TL) est intimement liée à la présence des défauts intrinsèques et extrinsèques. Dans ce travail on détermine l'effet du temps d'irradiation bêta et la température sur les intensités I-TL. La caractérisation TL du LiF nous a permis de calculer l'ensemble des paramètres de piégeages pour TLD 700.

Mots clés : la thermoluminescence (TL), TLD 700, I-TL, l'irradiation bêta.

Abstract

Thermoluminescence (TL) analysis consists of irradiating a material and then heating it with a constant (linear) heating rate in order to collect the luminescence signal induced by the depopulation of the traps and the recombination of the charge carriers on the activators. The thermoluminescence (TL) technique is closely linked to the presence of intrinsic and extrinsic defects. In this work in determining the effect of beta irradiation time and temperature on I-TL intensities . The TL characterization of LiF allowed us to calculate all of the trapping parameters for TLD 700.

Key Word : Thermoluminescence (TL), TLD 700, I-TL, beta irradiation

ملخص

يعتمد تحليل التلألؤ الحراري على تحليل مادة تم تعريضها إلى أشعة β ثم تسخينها بمعدل تسخين ثابت (خطي) من أجل جمع إشارة التلألؤ الناجم عن هجرة السكان من المصائد وإعادة تركيب ناقلات الشحنة على المنشطات ترتبط تقنية اللمعان الحراري ارتباطاً وثيقاً بوجود عيوب داخلية و خارجية في هذا العمل قمنا بتحديد تأثير زمن إشعاع بيتا β ودرجة الحرارة على شدة I-TL. سمح لنا توصيف تحليل اللمعان الحراري ل LiF بحساب جميع معاملات الملائمة لـ TLD700

الكلمة الرئيسية: التلألؤ الحراري (TL), TLD700, I-TL, إشعاع بيتا (β)

Introduction Générale

Chapitre 01 : Luminescence & Thermoluminescence

I.1. Introduction.....	1
I.2. Luminescence.....	1
I.2. 1 Définition.....	1
I.3. Thermoluminescence	2
I.3.1.Principe.....	2
I.3.2.Modèles de la thermoluminescence.....	4
I.3.2.1. Modèle cinétique simplifié.....	4
I.3.2.2. Mise en équation du modèle simplifié.....	5
I.3.2.3.Cinétique du premier ordre (Hypothèse de RANDALL et WILLKINS).....	6
I.3.2.4.Cinétique du deuxième ordre (Hypothèse de Garlick et Gibson).....	7
I.3.2.5.Cinétique d'ordre générale (Hypothèse de May et Partridge).....	8
I.3.3. Application de la TL.....	8
I.3.4. 1. Applications de thermoluminescence à la physique.....	8
I.3.4. 2. Applications de thermoluminescence la datation.....	8
I.3.4. 3. Applications à la biologie et la biochimie.....	9
I.3.4.4.Dosimétrie par thermoluminescence.....	9
I.3.4. Phénomènes de relaxation thermo stimulés (TL, CTS, EETS).....	10
I.3.5 . Principe des phénomènes thermostimulés.....	10
I.3.5.1. Irradiation.....	10
I.3.5.2. Thermostimulation des pièges.....	11
I.4. Intensité thermoluminescence et paramètres de piégeages.....	12
I.4.1. Evaluation des paramètres de piégeage E, s, b.....	12
I.4.1.1. Méthode de Chen.....	12
I.4.1.2. Méthode de déconvolution des Courbes I_{TL}	15
I.4.1.3. Méthode de la montée initiale.....	15
I.4.1.4. Méthode de Hoogenstraaten.....	16

Chapitre II : Rayonnements ionisants

II.1. Introduction.....	17
II.2. les effets des rayonnements.....	17
II.2.1. Les phénomènes liés aux interactions.....	17
II.2.1.1. Le phénomène d'ionisation.....	17
II.2.1.2. Le phénomène d'excitation.....	18
II.3. Dosimétrie des rayonnements ionisants.....	19
II.3.1. grandeurs dosimétrique et unité.....	19
II.3.1.1. La dose absorbée D	19
II.3.1.2. La dose équivalente H_T	20
II.3.1.3. La dose efficace E	21
II.3.1.4. KERMA.....	21
II.3.1. 5.Les unités.....	22
II.4. Effet des radiations sur le cristal.....	22
II.4.1. piégeage et dépiégeage.....	23
II.4.2. la recombinaison.....	23
II.5. irradiation.....	24
II.5.1. définition.....	24
II.5.2.Irradiation X.....	24
II.5.3 .Irradiation α	24
II.5.4. Irradiation β	25
II.5.4.1. Irradiation β^+	25
II.5.4.2. Irradiation β^-	25
II.5.4.3. Les caractéristiques du rayonnement béta.....	25
II.5.4.4. Les applications du rayonnement béta.....	26
II.5.4.4. 1. En médecine.....	26
II.5.4.4. 2. Applications nucléaires et industrielles.....	28
II.5.4.4. 3. L 'Agriculture.....	29
II.5.3.4.5.Protéger le patrimoine.....	29

Chapitre III : Matériaux LiF

III.1.Introduction.....	30
III.2. Fluorure de Lithium.....	30
III.2.1. Structure.....	30
III.3. Propriétés dosimétriques.....	31
III.3.1. réponse en fonction de la dose.....	31
III.3.2. fading et stabilité.....	31
III.3.3 la durée de vie d'un pic de thermoluminescence.....	32
III.3.4 la limite de détection.....	32
III.3.5 réponse en fonction de l'énergie des rayonnements ionisants.....	32
III.4. Propriétés physico-chimiques.....	33
III.5. Les défauts ponctuels (Les centres colorés) de LiF.....	34
III.5.1. Les lacunes et Les centres (centres F).....	34
III.6. Les défauts extrinsèques (dopants impurifiés).....	35
III.7. LES TLD-LiF.....	35
III.7.1. LiF: Mg, Ti -TLD 100.....	35
III.7.2. LiF: Mg, Ti -TLD 600.....	35
III.7.3. LiF: Mg, Ti -TLD 700.....	35
III.8. LiF: Mg, Cu, P.....	36
III.9. LiF: Mg, Ti, Na.....	36
III.10. L'intérêt et le rôle des dopants (Mg, Ti, Cu, P, Na, Si).....	36

Chapitre IV : Résultats & Discussions

IV.1. Introduction.....	37
IV.2. Méthode d'analyse.....	37
IV .2.1 . Description de la méthode computerized glow- curves deconvolution.....	37
IV.3. Thermoluminescence de TLD700.....	39
IV.3.1. Description de matériau.....	39
IV.3.2 .Instruments et mesures.....	39
IV.3.2 .1 . Chauffage.....	40

IV.3.2.2. Irradiation.....	40
IV.3.2 .3. Courbe d'IT-L LiF.....	41
IV.3.2. 4.Déconvolution des courbes IT-L.....	42
IV.4 .L'effet de la dose après chauffage du matériau.....	44
IV.4 .1.préchauffage à 150°C.....	44
IV.4 .1.1. Vidage thermique.....	44
IV.4 .1.2. Chauffage à 150°C avant l'irradiation.....	44
IV.4 .2. Préchauffage à 144°C.....	47
IV.4 .2 .1. Vidage thermique.....	47
IV.4 .2 .2 Chauffage à 144°C avant l'irradiation.....	47
IV.4 .3. Comparaisons de préchauffage 140°C – 150°C à test dose 30 sec.....	49
IV.5. Chauffage après l'irradiation.....	51
IV.5.1. Vidage thermique.....	51
IV.5.2.Irradiation.....	51
IV.5.3. chauffage à différents températures (130 -200°C).....	51
IV.5.3.1. analyse des résultats expérimentaux.....	52
IV.5.3.2. Chauffage avec lecture TL.....	59
IV.5.3.2.1.Chauffage.....	59
IV.5.3.2.2.Irradiation.....	59
IV.5.3.2.3. lecture TL à différents températures.....	59

Conclusion Générale

Référence Bibliographique

Liste des tableaux

Tableau I- 1:définition des grandeurs utilisées dans le modèle.....	5
Tableau I-2 : grandeur physique.....	11
Tableau I-3 : coefficients de Chen pour un ordre cinétique quelconque.....	14
Tableau II.1: Facteurs de pondération radiologique [CIPR].....	20
Tableau II.2 : Facteurs de pondération tissulaire.....	21
Tableau III.1 : grandeur physique.....	33
Tableau IV-1 : Les paramètres cinétiques obtenus par déconvolution (CGCD) pour les courbes TL de préchauffage de LiF.....	43
Tableau IV.2. Paramètres de piégeage du pic 3 du TLD 700.....	53
Tableau IV.3. Paramètres de piégeage du pic 4 du TLD 700.....	54
Tableau IV.4. Paramètres de piégeage du pic 5 du TLD 700.....	54
Tableau IV.5 : Paramètres de piégeage du pic 5a du TLD 700.....	55

Liste des figures

Figure I-1 : Schéma de bandes d'un cristal réel	2
Figure I-2 : Principe de la thermoluminescence (TL).....	3
Figure I-3 : (a) Vitesse de chauffage. (b) L'intensité I-TL.....	4
Figure I-4 : Modèle cinétique simplifié de la TL.....	5
Figure I-5 : Modèle de courbe utilisée par Chen pour déterminer les paramètres E et b.....	14
Figure I-6 : Facteur de symétrie μ_g calculé en fonction de l'ordre cinétique b.....	16
Figure I-7 : Méthode la montée initiale (courbe expérimentale TL).....	17
Figure II.1 : phénomène d'ionisation	20
Figure II.2 : phénomène d'excitation.....	20
Figure II.3. Spectre d'énergie pour les particules bêta	28
Figure II.4. La Tomographie par Emission de Positrons	29
Figure II.5. Accélérateur à électrons pour irradier fruits et légumes	31
Figure III-1: Structure cristallographique Le fluorure de lithium (CFC de type NaCl).....	33
Figure IV.1 : Paramètres TL estimés pour la cinétique d'ordre général à l'aide du Microsoft Excel.....	40
Figure IV.2 : Fluorure de lithium.....	41
Figure IV.3 : Dispositif expérimental pour mesurer de I-TL	42
Figure IV.4 : Source d'irradiation bêta	42
Figure IV.5 : La courbe expérimentale LiF 700.	43
Figure IV.6 : Dipôles et complexes	44
Figure IV.7:CGCD des courbes de leur TL pour LiF (à 5%) à température de préchauffage de 140 °C.....	45
Figure IV.8. Les courbes I-TL du ⁷ LiF recuit à T=150°C pendant 5 Sec	47
Figure IV.9 : Les courbes I-TL du ⁷ LiF recuit à T=150°C pendant 30 Sec.....	48
Figure IV.10 : Les courbes I-TL du ⁷ LiF recuit à T=144°C pendant 20 Sec.....	50
Figure IV.11 : Les courbes I-TL du ⁷ LiF recuit à T=144°C pendant 60 Sec.....	51

Figure IV.13 : Les courbes I-TL du ^7LiF recuit à : (a)TD=30s $T=T_{\text{ambiante}}$, (b) TD=30s $T=140^\circ\text{C}$, (c) TD=30s $T=150^\circ\text{C}$	52
Figure IV.14 : Traitement thermique pour différentes températures de chauffage.....	56
Figure IV.15: CGCD des courbes de leur TL pour LiF (à 5%) à température de préchauffage de 140°	53
Figure IV.16 : L'énergie E_m (eV) du pic 3 en fonction de la température de préchauffage...	55
Figure IV.17 : L'énergie E_m (eV) du pic 4 en fonction de la température de préchauffage...	56
Figure IV.18 : L'énergie E_m (eV) du pic 5 en fonction de la température de préchauffage...	56
Figure IV.19 : L'énergie E_m (eV) du pic 5a en fonction de la température de préchauffage.	57
Figure IV.20 : le pic intégral du pic 3 en fonction de la température de préchauffage.....	57
Figure IV.21 : le pic intégral du pic 4 en fonction de la température de préchauffage.....	58
Figure IV.22 : le pic intégral du pic 5 en fonction de la température de préchauffage.....	58
Figure IV.23 : le pic intégral du pic 5a en fonction de la température de préchauffage.....	59
Figure IV.18 : Traitement thermique pour différentes températures de chauffage :	
(a) différentes températures ($130\text{-}200^\circ\text{C}$) ,(b) a une température 130°C , (c) a une température 150°C , (d) a une température 180°C	60

Abréviations et symboles

LiF : Le fluorure de lithium.

7LiF : Mg, Ti -TLD 700 fabrique par Harshaw a 300 ppm Mg, 11ppm Ti et enrichie par Li-7 ~ 99.99%.

TL : Thermoluminescence.

CTS : La conductivité thermostimulé.

EETS : L'émission exoélectronique thermostimulé.

BV : La bande de valence.

BC : La bande de conduction.

BI : Bande interdite ou plus simplement "gap".

E_g : L'énergie gap est une grandeur caractéristique du matériau, elle représente l'énergie nécessaire à un électron de valence pour accéder à la bande de conduction.

s_0 : Facteur de fréquence (Hz) ($10^{12} - 10^{14}$ Hz), (s^{-1}) supposé en général constant.

k : Constante de Boltzman ($eV \cdot K^{-1}$)

E : Profondeur du piège (eV).

T : Température (Kelvin).

τ : La durée de vie de la charge piégée (s).

PE : Niveau un piège à électron.

CR : Centre de recombinaison.

n : Densité des électrons dans les pièges (cm^{-3}).

N : Densité de pièges (cm^{-3}).

A : Coefficient de repiégeage ($cm^3 \cdot s^{-1}$).

n_c : Densité des charges dans la bande de conduction (cm^{-3}).

E : Energie d'activation du piège à électron ou profondeur du piège (eV).

m : Densité des trous dans les centres de recombinaison (cm^{-3}).

M : Densité des centres de recombinaison (cm^{-3}).

A_m : Coefficient de recombinaison ($cm^3 \cdot s^{-1}$).

β : La vitesse de chauffe (K/s).

ITL : L'intensité de la thermoluminescence.

Gray : Unité de dose absorbé.

Bêta : Rayonnement..

D : La dose absorbée est la grandeur physique de base de la protection radiologique.

Ḑ : Le débit de dose absorbée. Son unité est le joule par kilogramme par seconde (J, kg^{-1}, s^{-1}) ou gray par second (Gy, s^{-1}).

Kerma : Energie cinétique libérée par unité de masse. Son unité est le joule par kilogramme (J, kg^{-1}).

C.I.P.R : Commission Internationale de la Protection Radiologique

n_0 : Concentration des électrons piégés

b : L'ordre cinétique.

μ_g : Facteur géométrique.

I_m : L'intensité maximale.

T_m : Température maximale.

Le fading : La mesure du fading dépend de la variété des facteurs expérimentaux (température de stockage, zone d'intégration du signal de TL, traitement thermique, type de rayonnement).

CGCD: Computerized glow curves deconvolution.

N_i : Concentrations des pièges à électrons ou à trous (cm^{-3}).

n_i : Concentrations des électrons ou des trous piégés (cm^{-3}).

E_i : Profondeurs de pièges à électrons ci-dessous de la bande de conduction ou à trous ci dessus de la bande de valence (eV)

T_1 et T_2 : Les températures à la moitié intensité maximale $I_{max}/2$, a basse et haute température du pic, respectivement.

$\omega = T_2 - T_1$: Largeur à mi-hauteur.

$\tau = T_{max} - T_1$ et $\delta = T_2 - T_{max}$: Largeurs de moitié.

INTRODUCTION GENERALE

Le cristal n'est jamais parfait, il contient de très grandes quantités d'impuretés ou de défauts ponctuels dont certains peuvent constituer des sites « piège » pour les électrons libérés par irradiation. Lors d'une élévation de température certains cristaux imparfaits ont la propriété de réémettre l'énergie absorbée après irradiation. Pour de tels matériaux, on parle de phénomènes thermo-stimulés.

Le phénomène de thermoluminescence est observé pour la première fois en 1663 par Sir Boyle, qui vit une lueur en réchauffant un diamant dans l'obscurité, En 1930 les physiciens du solide Ubrach et Frish ont expliqué le principe grâce à leurs études sur les pièges à électrons dans les cristaux. [1]

Le phénomène de la thermoluminescence a été largement étudié par de nombreux chercheurs, la compréhension actuelle de la thermoluminescence a exploré le potentiel d'applications pratiques dans divers domaines (la biologie, la datation, Dosimétrie ...)

La thermoluminescence est définie comme un phénomène physique qui se traduit par la propriété qu'ont certains cristaux d'émettre de la lumière lorsqu'on les chauffe, à condition qu'ils aient été au préalable soumis à une irradiation naturelle ou artificielle.

Le travail expérimentale est réalisé à l'Université Aristotel Thessaloniki dans laboratoire de physique nucléaires sous la direction du professeur *George Kitis*.

Le but de cette étude est déterminé l'effet du temps d'irradiation béta et la température sur les intensités I-TL.

Le plan de travail que nous présentons dans ce mémoire est organisé comme suit : Après une introduction générale, le premier chapitre rappelle les concepts fondamentaux de la TL. Dans le deuxième chapitre nous résumons les rayonnements ionisants (le rayonnement béta) et leur effet sur le cristal et les différentes caractéristiques et leur domaine d'application. Le chapitre (III) est consacré à la présentation de l'ensemble des propriétés physiques du matériau étudié TLD 700. Dans le dernier chapitre (IV) nous présentons les résultats obtenus et nous déterminons l'ensemble des paramètres de piégeages (T_m , E_m , s et b) par la méthode de déconvolution CGCD (computerized glow-curves deconvolution), une interprétation des courbes par la déconvolution est donnée.

Finalement nous avons achevé cette étude par une conclusion générale

I.1. Introduction

La thermoluminescence (TL) est une forme de luminescence, on la définit par la propriété d'émettre la lumière lorsqu'on chauffe le cristal irradié. Ce phénomène se produit uniquement sur des matériaux isolants ou à large gap. Cette technique est principalement utilisée pour la dosimétrie et la datation, elle est aussi un puissant outil de caractérisation des défauts ponctuels dans les matériaux non conducteurs. La courbe luminescente résultante représentant l'intensité lumineuse de thermoluminescence en fonction de la température, est appelée également thermogramme. L'analyse de la courbe est basée sur la théorie cinétique d'ordre 1 initialement obtenus par Randall et Wilkins ou le second ordre cinétique de TL développées par Garlick et Gibson. Ces cinétiques sont données par des expressions décrivant la forme, la température maximale, la largeur à mi-hauteur, la dépendance sur le taux de chauffage et d'autres caractéristiques d'un seul pic de préchauffage.

I.2. Luminescence

I.2.1. Définition

La luminescence est un phénomène physique qui se traduit par la propriété qu'ont certains cristaux d'émettre d'un rayonnement électromagnétique lorsqu'ils sont soumis à une stimulation lumineuse non thermique, la lumière émise est caractéristique de la substance. Il existe une multitude de processus d'excitation pour provoquer la luminescence :

- L'électroluminescence (excitation électrique).
- La photoluminescence (excitation par absorption de photons).
- La chimiluminescence (excitation à la suite d'une réaction chimique).
- La thermoluminescence (excitation thermique d'un cristal préalablement irradié).
- La cathodoluminescence (excitation par collision électronique).
- La radioluminescence (excitation par des radiations ionisantes).
- La triboluminescence (excitation due aux contraintes mécaniques).

Le mécanisme de luminescence cristalline s'explique souvent à l'aide d'un schéma de bandes d'énergie, le passage de certains électrons des atomes du corps excité d'un niveau d'énergie à un autre. En général, après le passage d'un électron de son niveau d'énergie initial au niveau supérieur par une irradiation adéquate, l'électron retrouve spontanément son niveau initial en réémettant un photon lumineux.

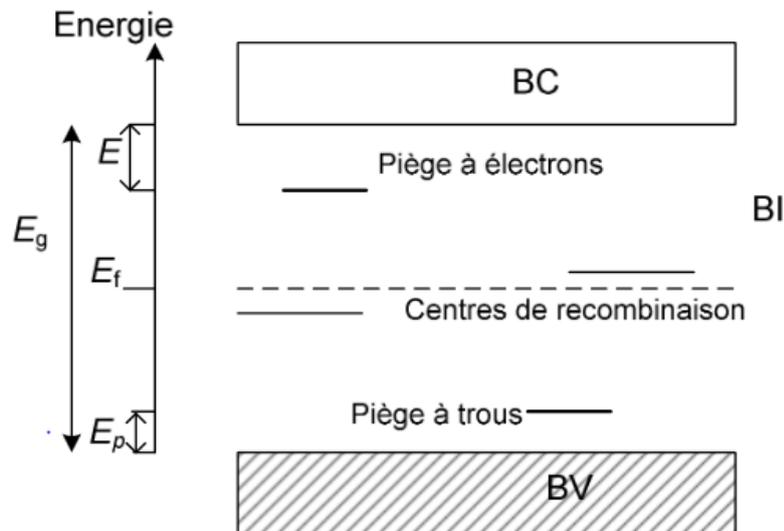


Figure I-1 : Schéma de bandes d'un cristal réel.

L'énergie E (E_p) correspond à l'énergie nécessaire à apporter au cristal pour dépiéger un électron (un trou) d'un piège à électron (trou) vers la bande de conduction (valence). Cette énergie est appelée énergie d'activation du piège ou profondeur du piège.

BC : La bande de conduction.

BI : La bande interdite.

BV : La bande de valence.

E : L'énergie d'activation.

E_p : L'énergie dépiéger un trou.

I.3. Thermoluminescence

Thermoluminescence (TL) ou luminescence thermostimulée est définie par la capacité de certains matériaux cristallins non métalliques (isolants ou semi-conducteurs) d'émettre la lumière lorsque on chauffe, mais cela à condition qu'ils aient été soumis au préalable à une irradiation naturelle ou artificielle.

La thermoluminescence est intimement liée à la présence des défauts cristallins ponctuels intrinsèques et extrinsèques.

I.3.1.Principe

La lumière émise à partir d'un cristal, soumis à une élévation de température, est appelée thermoluminescence. La figure I.2 représente le phénomène de piégeage (a) et de dépiégeage par stimulation thermique (b) [1]. Le schéma montre le principe de la TL pour un

piège à électron suffisamment profond pour ne pas être affecté par l'agitation thermique ambiante. Nous avons considéré le cas d'une recombinaison électron libre-trou piégé.

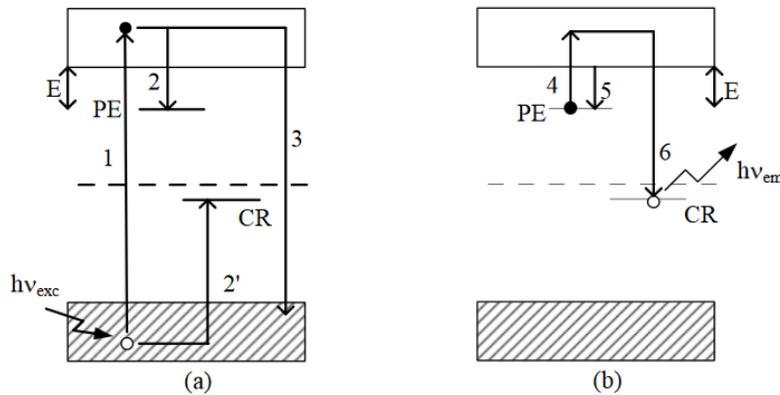


Figure I-2 : Principe de la thermoluminescence (TL).

E : L énergie d'activation.

PE : Piège à électrons.

CR : Centre de recombinaison

L'absorption d'un rayonnement ionisant d'énergie ($h\nu_{exc}$) supérieure à l'énergie du gap conduit à l'ionisation des électrons de valence (transition 1). Les électrons sont alors libres de se déplacer dans la bande de conduction tandis que les trous se déplacent librement dans la bande de valence. Les porteurs peuvent alors soit se recombiner l'un avec l'autre (transition 3) soit se piéger (transitions 2 et 2')

Dans le premier cas, la recombinaison aura lieu entre un électron libre de la bande de conduction et un trou de la bande de valence. Si la recombinaison est radiative, on observe un phénomène de fluorescence (transition 3)

Les transitions ayant lieu lors du chauffage du cristal sont représentées sur la figure I.2.b. Les électrons libres peuvent se piéger en PE (transition 2) et les trous en CR (transition 2'). Si l'énergie thermique nécessaire ($kT > E$) est apportée au cristal, l'électron piégés vont se dépiéger (transition 4). Ils retournent alors dans la bande de conduction d'où ils pourront se repiéger à nouveau (transition 5) ou se recombiner avec un trou piégé en CR (transition 6). Si la recombinaison est radiative on observe une émission de photons d'énergie $h\nu_{em}$, énergie correspondant à la différence d'énergie entre le bas de la bande de conduction et le centre de recombinaison

L'énergie nécessaire pour dépiéger les électrons est fournie par chauffage du cristal, à une vitesse β constante. La figure I-3 a et b montrent respectivement la rampe de chauffages

utilisés et un exemple de thermogramme. Le thermogramme représente l'intensité lumineuse émise par le cristal en fonction de la température.

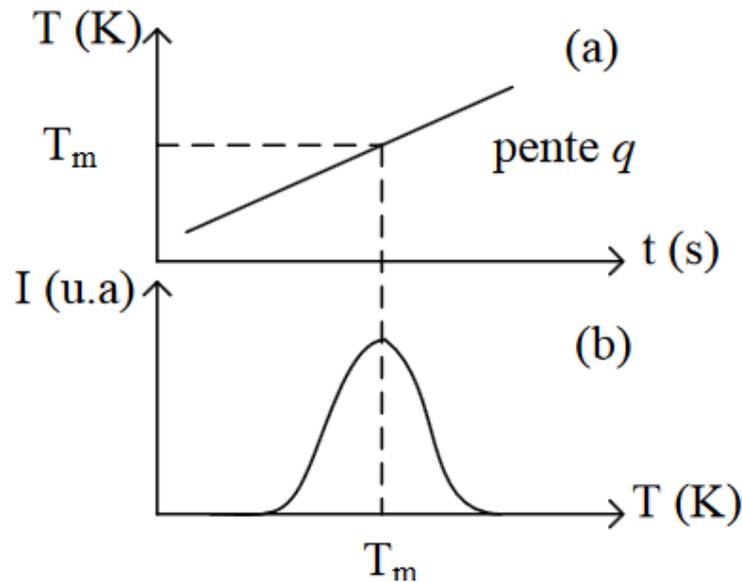


Figure I-3 :(a) Vitesse de chauffage.

(b) L'intensité I-TL.

β : vitesse de chauffe.

T_m : Température maximale

T : Température.

I : l'intensité.

I.3.3. Modèles de la thermoluminescence

I.3.3.1. Modèle cinétique simplifié

Considérons le modèle simple, décrit dans la Figure I-4 ci-dessous qui compose un seul niveau de piège à électron (PE) et seul type de centre de recombinaison (CR).

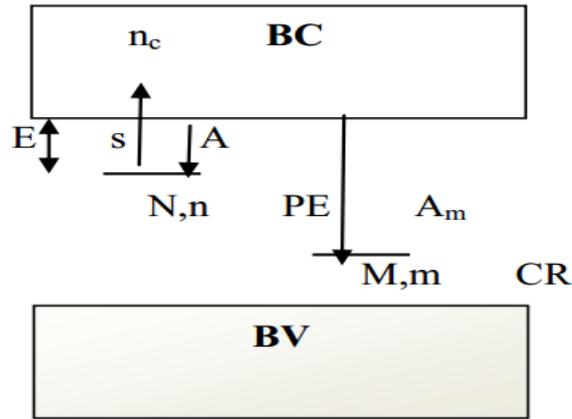


Figure I-4 : Modèle cinétique simplifié de la TL.

On définit les paramètres suivants:

grandeur (unité)	Signification
$n(\text{cm}^{-3})$	Densité des électrons dans les pièges.
$N (\text{cm}^{-3})$	Densité de pièges.
$S_0 (\text{s}^{-1})$	Probabilité de dépiégeage.
$A (\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	Coefficient de repiégeage.
$n_c (\text{cm}^{-3})$	Densité des charges dans la bande de conduction.
$E (\text{eV})$	Energie d'activation du piège à électron ou profondeur du piège.
$M (\text{cm}^{-3})$	Densité des centres de recombinaison.
$m (\text{cm}^{-3})$	Densité des trous dans les centres de recombinaison (cm^{-3}).
$A_m (\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	Coefficient de recombinaison.

Tableau I-1 : Définition des grandeurs utilisées dans le modèle

I.3.3.1. Mise en équation du modèle simplifié

- L'équation de neutralité électrique:

$$M = m + n_c + n \tag{I-1}$$

- La variation du nombre d'électrons piégés par unité de temps:

$$\frac{dn}{dt} = A(N - n)n_c - sn \tag{I-2}$$

- La variation du nombre d'électrons libres par unité de temps :

$$\frac{dn_c}{dt} = sn - A(N - n)n_c - A_m(M - m)n_c \quad (I-3)$$

- La probabilité de dépiégeage :

$$s = \frac{1}{\tau} = s_0 e^{-(E/kT)} \quad (I-4)$$

- L'élévation de température est considéré linéaire de sorte qu'il existe une relation simple entre le temps t et la température T :

$$T = \beta t + T_0 \quad (I-5)$$

Où T_0 est la température initiale et $\beta = \frac{dT}{dt}$ est une constante appelé la vitesse de chauffe (K/s).

- L'intensité ITL de la thermoluminescence est proportionnelle à la densité de centres qui se recombinent par unité de temps. Si on suppose que les recombine sont radiatives :

$$I_{TL}(t) = \frac{dm}{dt} \quad (I-6)$$

Avec la conduction de neutralité $m = M - n_c - n$. M est une Constante

L'équation (6-I) s'écrit :

$$I_{TL}(t) = \frac{dm}{dt} = -\left(\frac{dn}{dt} + \frac{dn_c}{dt}\right) \quad (I-7)$$

D'où

$$I_{TL}(t) = \frac{dm}{dt} = -\left(\frac{dn}{dt} + \frac{dn_c}{dt}\right) = A_m(M - m)n_c \quad (I-8)$$

Cette intensité est proportionnelle à la concentration des électrons (n_c) dans la bande de conduction et la concentration des trous piégés dans les centres de recombinaison (m). Pour résoudre analytiquement cette équation quelques approximations sont nécessaires ;

I.3.3.2. Cinétique du premier ordre (Hypothèse de RANDALL et WILLKINS)

Randall et Wilkins [2], ont proposés une cinétique du premier ordre où la probabilité de repiégeage est négligeable ($A \approx 0$) et la concentration des électrons dans la bande de conduction (n_c) est faible devant la concentration des électrons piégés (n) ($n_c \ll n$, $\frac{dn_c}{dt} \ll \frac{dn}{dt}$)

) Les équations (I-2) et (I-8) deviennent respectivement :

$$\frac{dn}{dt} = -sn \quad (I-9)$$

$$I_{TL}(t) = \frac{dn}{dt} \quad (I-10)$$

A partir des équations précédentes l'intensité ITL du premier ordre s'écrit :

$$I_{TL}(t) = \frac{dn}{dt} = -sn \quad (I-11)$$

Avec :

$$s = s_0 e^{-\frac{E}{kT}} \text{ probabilité de dépiégeage et } \frac{dn}{dt} = -sn \Rightarrow \frac{dn}{n} = -s dt = \frac{-s}{\beta} dT$$

$$(dt = \frac{dT}{\beta})$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{-s}{\beta} dT \quad (I-12)$$

En intégrant cette dernière relation on trouve :

$$n = n_0 e^{[\frac{-s_0}{\beta} \int_{T_0}^T e^{-\frac{E}{kT}} dT]} \quad (I-13)$$

De l'équation (I-12) on tire l'équation du premier ordre de l'intensité thermoluminescence $I_{TL}(t)$:

$$n = n_0 s_0 e^{-\frac{E}{kT}} e^{[\frac{-s_0}{\beta} \int_{T_0}^T e^{-\frac{E}{kT}} dT]} \quad (I-14)$$

La courbe de thermoluminescence I -TL en fonction de la température prend une forme asymétrique dans la cinétique du premier ordre.

I.3.3.3. Cinétique du deuxième ordre (Hypothèse de Garlick et Gibson)

Garlick et Gibson [3] ont proposé l'expression où la probabilité de repiégeage et de combinaison sont presque égale ($A \approx A_m$), alors l'expression de l'intensité de TL devient :

$$I_{TL} = \frac{sn^2}{N} = -\frac{dn}{dt} \quad (I-15)$$

D'où l'intensité de TL dans le cas d'un second ordre cinétique:

$$I_{TL} = \frac{n_0^2 s_0 e^{-\frac{E}{kT}}}{N [1 + \frac{s_0 n_0}{\beta N} \int_{T_0}^T e^{-\frac{E}{kT}} dT]^2} \quad (I-16)$$

La courbe de thermoluminescence I -TL en fonction de la température prend une forme symétrique dans la cinétique du deuxième ordre.

I.3.3.3. Cinétique d'ordre générale (Hypothèse de May et Partridge)

May et Partridge [4] ont à leur tour proposé une relation empirique permettant d'exprimer l'intensité de TL dans le cas d'un ordre de cinétique b quelconque:

$$I_{TL}(t) = -\frac{dn}{dt} = s'_0 n^{be^{(-E/KT)}} \quad (I-17)$$

Avec $s'_0 = \frac{s_0}{N}$ Facteur pré exponentiel. Le facteur s' est lié au facteur de fréquence s_0 par la relation :

$$s_0 = s'_0 n_0^{(b-1)} \quad (I-18)$$

D'où l'expression intégrée de ITL générale :

$$I_{TL} = n_0 s_0 e^{(-E/KT)} \left[\frac{(b-1)s_0}{\beta} \int_{T_0}^T e^{(-E/KT)} dT + 1 \right]^{-\frac{b}{b-1}} \quad (I-19)$$

Cette relation empirique proposée par *May* et *Partridge* est valable tout ordre cinétique.

I.3.4. Application de la TL

Les applications de la TL sont résumées dans ce qui suit:

I.3.4. 1. Applications de thermoluminescence à la physique

La TL intimement liée à la présence des défauts ponctuels dans les cristaux.

I.3.4. 2. Applications de thermoluminescence la datation

La datation par luminescence est basée sur l'étude de la radioactivité naturelle accumulée par les cristaux contenus dans un matériau anciennement chauffé Puis irradiés par les radionucléides naturels, principalement l'uranium et le thorium et leurs descendants et l'isotope radioactif du potassium, le ^{40}K .

On utilise ce phénomène de thermoluminescence :

- en archéologie, pour la datation de poteries, d'éléments architecturaux en terre cuite, de fours
- en géologie, étude des roches ignées (granite, basalte ..) permettant de dater les éruptions de volcans (on a pu ainsi dater une coulée issue du volcan de Volvic à -45000 ± 8000 ans) ou des cratères de météorites ou l'étude des stalagmites (calcite).

Les datations ne peuvent dépasser 700 000 ans avec des marges d'erreur de l'ordre de 10%.

L'équation fondamentale de la datation par luminescence est donnée par :

$$\text{AGE (années)} = \text{Dose archéologique (ou géologique)} / \text{Dose annuelle}$$

- Dose archéologique (ou géologique) : c'est la quantité d'énergie par unité de masse stockée depuis sa dernière chauffe par le cristal. Elle provient de la désintégration des éléments radioactifs contenus dans le cristal et dans son environnement.

La dose archéologique (paléodose) est déterminée en comparant la thermoluminescence naturelle des cristaux à celle induite au laboratoire par une dose connue (emploi d'une source radioactive calibrée).

- Dose annuelle : c'est la quantité d'énergie par unité de masse accumulée en une année par le cristal.

La dose annuelle est déterminée soit en utilisant les concentrations en radioéléments de l'échantillon et du milieu d'enfouissement, soit directement grâce à des dosimètres ultrasensibles laissés en lieu et place de l'échantillon pendant quelques mois.

I.3.4. 3. Applications à la biologie et la biochimie

Application de la technique de TL dans l'étude des systèmes biologiques et biochimiques est de plus favorisée dans ces derniers temps. Les tentatives ont été couronnées de succès dans l'étude des hydroxyles et des acides aminés benzoïque, des protéines, des acides nucléiques, les feuilles des plantes, les algues et les bactéries. Les résultats TL pourraient indiquer la bonne stabilité du ou de la Orthoform de l'acide benzoïque, le transfert moléculaire inter et intra des dégâts d'irradiation dans les acides nucléiques, des protéines et leurs constituants pourrait être en corrélation avec leur comportement de TL; les voies de transport d'électrons photosynthétiques dans le diagramme de Z pourraient être corrélées avec TL et routes supplémentaires définies et l'interaction entre les sels et les protéines peuvent être compris à partir des modèles de TL.

I.3.4.4. Dosimétrie par thermoluminescence :

On peut aussi utiliser la thermoluminescence pour mesurer des doses de radiations ionisantes. En effet plus la dose de radiation reçue par un matériau adéquat (on utilise dans certains dosimètres des cristaux de fluorure de lithium LiF) est importante plus le nombre d'électrons piégés est important et plus est intense la lumière émise ensuite par chauffage du cristal.

On peut ainsi surveiller les doses de radiations auxquelles sont soumis certains techniciens d'appareils radiologiques ou certains opérateurs de centrales nucléaires.

En médecine également on peut surveiller les doses d'irradiation absorbées par les tissus traités en radiothérapie. [5]

I.3.5. Phénomènes thermo stimulés (TL, CTS, EETS)

La Thermostimulation des pièges métastables permet l'utilisation de différents phénomènes pour l'étude du cristal:

- Les charges dépiégées peuvent se recombiner avec des charges de signes opposées piégées dans des centres de recombinaison (recombinaison électron-trou). Si cette recombinaison est radiative, on observe une émission de photons, c'est le phénomène de luminescence thermostimulée, ou thermoluminescence (TL) .
- Sous l'effet d'un champ électrique appliqué, les charges dépiégées dans la bande de conduction et de valence vont se déplacer créant ainsi un courant électrique, c'est le phénomène de conductivité électrique thermostimulée (CETS)
- L'électron dépiégé peut également sortir du cristal. Ce phénomène est appelé émission exoélectronique thermostimulée (EETS). L'affinité électronique est définie comme l'énergie à fournir à un électron situé dans la bande de conduction pour l'amener à sortir du cristal sans vitesse initiale. L'EETS est observée pour des cristaux ayant des pièges proches de la bande de conduction et dont l'affinité électronique de surface est faible.

I.3.6. Principe des phénomènes thermostimulés

I.3.6.1. Irradiation

Quand un matériau cristallin (isolant ou semi conducteur) imparfait est irradié par un rayonnement ionisant d'énergie supérieure ou égale au gap, les électrons de la bande de valence (BV) gagnent de l'énergie et peuvent passer vers la bande de conduction (BC) ou ils circulent librement [6]. Tandis que les trous créés se déplacent dans la bande de valence. Une partie de ces charges libres retournera à l'état fondamental en donnant ainsi naissance à un phénomène de fluorescence, si le retour est radiatif. Tandis que l'autre partie sera piégée par des défauts (pièges à électrons ou à trou). La durée de vie de l'état excité dans le cas de la fluorescence est de l'ordre de 10^{-8} - 10^{-10} s.

Tandis que la durée de vie moyenne τ des charges dans les pièges est inversement proportionnelle à la probabilité de dépiégeage s qui dépend de la profondeur du piège E selon la relation :

$$s = \frac{1}{\tau} = s_0 e^{-(E/kT)} \quad (I-20)$$

Où :

Grandeur (unité)	Signification
S_0 (Hz)	Facteur de fréquence
k (eV. K ⁻¹)	Constante de Boltzmann.
E (eV)	Profondeur du piège
T (K)	Température
τ (s)	La durée de vie de la charge piégée

Tableau I-2 : les grandeurs physiques

Deux cas sont probables :

- Le piège n'est pas stable, c'est-à-dire la probabilité de dépiégeage est importante à la température constante T_0 , la charge se dépiège sous l'action de l'agitation thermique kT_0 . Si le retour à l'état fondamental est radiatif on aura un phénomène de phosphorescence [7].
- le piège est stable à la température T_0 c'est à dire la charge ne peut être dépiégée que si elle acquiert une énergie supérieure à kT_0 . Ceci peut se faire par des photons (photo stimulation) ou par les phonons (thermo stimulation) dans ce dernier cas l'énergie thermique est fournie par une élévation progressive de la température du matériau. L'électron se dépiège à une température spécifique.

I.3.6.2. Thermostimulation des pièges

La Thermostimulation des pièges métastables, consiste à libérer les charges piégées en chauffant le matériau avec une vitesse de chauffe linéaire. Les pièges se vident en fonction de la profondeur des pièges (E) et l'élévation progressive de la température (T).

Cette Thermostimulation provoque l'apparition de trois phénomènes connus qu'on appelle phénomènes de relaxations thermostimulées (TL, CTS et EETS) :

- Si les électrons dépiégés se recombinent avec des trous et si cette recombinaison est radiative, on observe une émission de photons qu'on appelle thermoluminescence (TL).
- Les électrons dépiégés et circulant dans la bande de conduction, en présence d'un champ électrique on peut avoir une variation de conduction électrique qu'on appelle conductivité \square thermostimulée (CTS).
- Les électrons dépiégés peuvent sortir du matériau à condition qu'ils soient situés près de la surface et que l'affinité électronique χ du matériau est faible, dans ce cas on a une émission exoélectronique thermostimulée (EETS).

I.4. Intensité thermoluminescence et paramètres de piégeage

L'intensité thermoluminescence (I-TL) varie en fonction de la température (T), la concentration des électrons piégés (n_0), la vitesse de chauffage (β), l'énergie d'activation (E), le facteur de fréquence (s_0) et l'ordre cinétique (b). Les trois derniers paramètres caractérisent le centre piégeage.

I.4.1. Evaluation des paramètres de piégeage E, s, b

Un centre de piégeage est caractérisé par son énergie d'activation (E), son facteur de fréquence (s_0) et l'ordre cinétique (b) qui est lié à la forme du pic de TL. Nous nous intéressons à présent à la détermination, des trois paramètres permettant de caractériser quantitativement les défauts ponctuels (E, s_0 , b). La détermination de ces paramètres renseigne entre autre sur la stabilité d'un défaut et le mécanisme de dépiégeage. Pour évaluer les paramètres de piégeages (E, s_0 et b) à partir des courbes I-TL quatre méthodes sont utilisées :

I.4.1.1. Méthode de Chen

Chen [8,9] a développé une méthode de calcul qui permet de déterminer l'énergie d'activation E et l'ordre cinétique b dans le cas général. Il suppose que la forme d'une bande thermostimulée est une gaussienne, ce qui constitue une approximation car expérimentalement la bande d'émission TL obtenue est souvent déformée au-delà du pic central, une dissymétrie est toujours observée. Comme le montre la figure I.1, on détermine graphiquement la largeur à mi-hauteur centre sur le pic et délimitée par deux température notées T1 et T2 ($T_1 < T_2$).

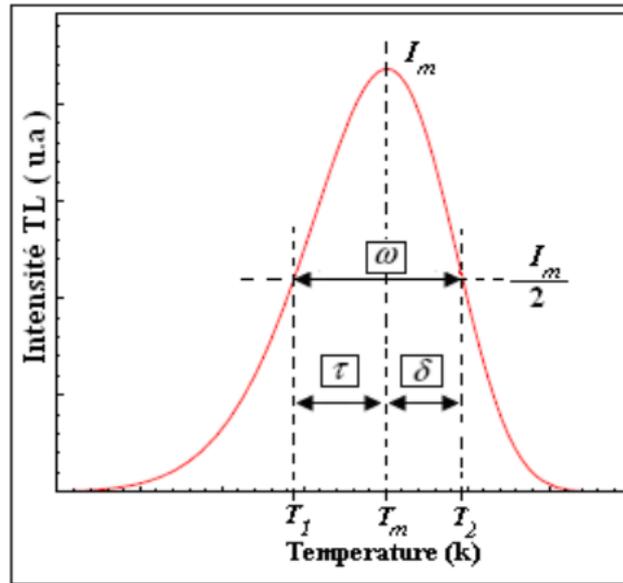


Figure I-5 : Modèle de courbe utilisée par Chen pour déterminer les paramètres E et b_2 .

La bande thermostimulée est centrée à une température notée T_m appelée en littérature température maximale mais en fait elle correspond au maximum de la courbe TL. Chen utilise les relations suivantes :

$$\delta = T_2 - T_m$$

$$\tau = T_m - T_1$$

$$\omega = T_2 - T_1$$

$$\mu_g = \delta / \omega$$

Ces grandeurs sont bien indiquées sur la courbe gaussienne de la figure I.4. A partir de cette courbe, Chen propose une relation générale permettant de calculer l'énergie E. cette relation est donnée par:

$$E_\alpha = C_\alpha \left(\frac{k T_M^2}{\alpha} \right) - b_\alpha (2kT_m)$$

α	C_α	b_α
τ	$1.51+3.0 (\mu_g -0.42)$	$1.58+4.2 (\mu_g-0.42)$
δ	$0.976+7.3 (\mu_g -0.42)$	0
ω	$2.52+10.2 (\mu_g-0.42)$	1

Tableau I-3 : coefficients de Chen pour un ordre cinétique quelconque

Pour le modèle simplifié, le premier ordre cinétique E est donné par:

$$E = \frac{KT_m^2}{\delta}$$

Pour le deuxième ordre cinétique E est égal à :

$$E = 2 \frac{KT_m^2}{\delta}$$

Cette méthode consiste à trouver la température maximale T_m , par des valeurs données de S, b, q et E ces valeurs utilisées étaient [4-5]:

$$0.7 \leq b \leq 2.5$$

$$10^5 (s^{-1}) \leq S \leq 10^{13} (s^{-1})$$

$$0.1 (eV) \leq E \leq 1.6 (eV)$$

Le choix du paramètre $\alpha(\omega, \tau, \delta)$ dépend de l'allure de la courbe. En effet, on optera de préférence pour τ si le pic de TL est perturbé sur le front descendant mais dans le cas contraire on prendra δ .

La méthode permet en outre d'évaluer l'ordre cinétique b en déterminant le facteur de symétrie μ_g par un programme à partir de la courbe $\mu_g = f(b)$ dont le tracé est donné sur la figure I.6. En se basant sur l'équation d'ordre général de la TL, Chen a calculé μ_g en fonction de l'ordre cinétique b. Pour le premier ordre $\mu_g = 0.42$ et pour le deuxième ordre $\mu_g = 0.52$. Cette méthode est facile à exploiter dans le cas de pics isolés mais n'est pas applicable pour des pics se chevauchant.

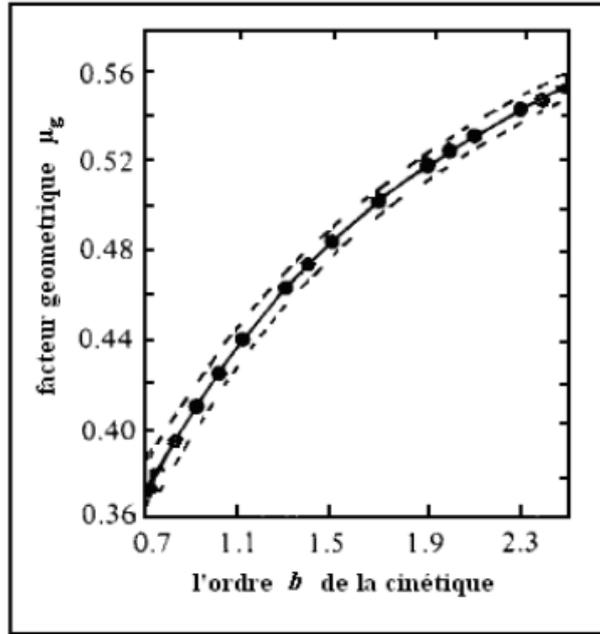


Figure I-6 : Facteur de symétrie μ_g calculé en fonction de l'ordre cinétique b .

Le calcul du facteur de fréquence s_0 s'appuie sur la formule donnant l'intensité du pic de TL pour un ordre général (équation I.17). On a alors :

$$s_0 = \frac{\beta E}{K T_m^2} e^{(-E/KT_m)} [1 + (b - 1) \left(\frac{2KT_m}{E}\right) dT]^{-1} \tag{I-20}$$

I.4.1. 2.Méthode de déconvolution des Courbes I_{TL} :

:

Cette méthode numérique permet minimiser l'erreur entre la courbe expérimentale et théorique en utilisant les paramètres E , s_0 , b , I_m et T_m . Les valeurs de (E , s_0 , b) sont calculés à partir de la méthode de Chen tandis que l'intensité maximale I_m et la température maximale T_m sont obtenus à partir des courbes [10,11]

I.4.1. 3.Méthode de la montée initiale :

Garlick et Gibson [12], ont considéré tant le facteur de l'expression de l'intensité I_{TL} $\int_{T_0}^T \frac{s_0}{\beta} e^{(-E/KT)} dT$ est constant, l'intensité I_{TL} dépend exponentiellement de la température.

$$I_{TL} = Ae^{(-E/KT)} \tag{I-21}$$

$$\ln(I) = \frac{-E}{KT} + B \tag{I-22}$$

A et B sont des constants.

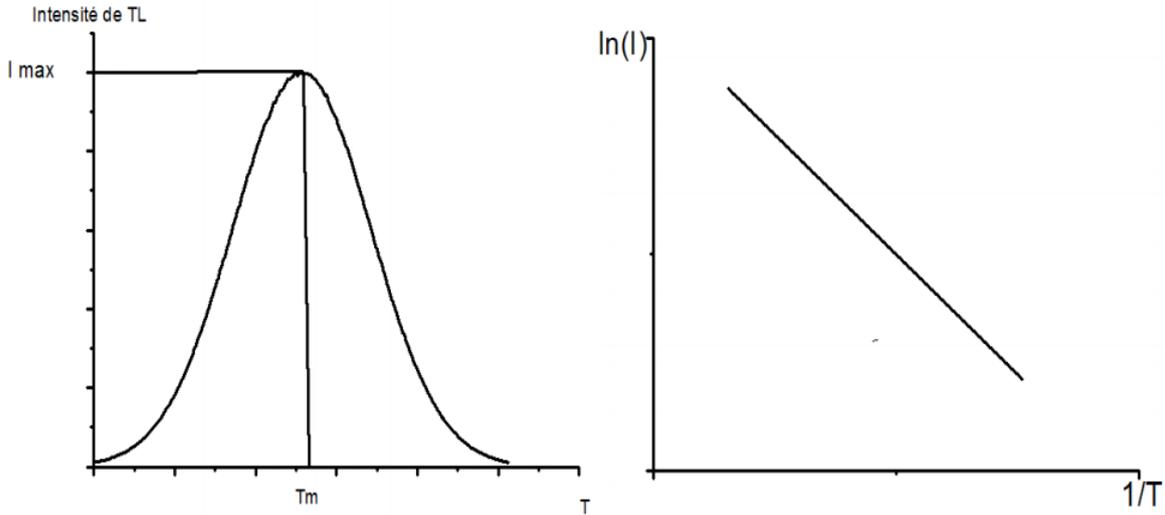


Figure I-7 : Méthode la montée initiale (courbe expérimentale TL).

Cette méthode est limitée, elle est vérifiée qu’au début de la courbe ~10% de *Im*. La pente de la droite ln(I) en fonction (1/T) nous permettra de calculer l’énergie d’activation *E*.

I.4.1. 4.Méthode de Hoogenstraaten :

Les paramètres *E* et *s*₀, peuvent être obtenus à partir de l’équation utilisée dans cette méthode

$$\ln\left(\frac{T_m^2}{\beta}\right) = \frac{E}{K} \frac{1}{T_m} + \ln\left(\frac{s_0 K}{E}\right) \tag{I-22}$$

Cette équation est obtenue à partir de l’équation de Randall et Wilkins.

La représentation de l’équation (I-25) permet l’obtention d’une droite de pente $\frac{E}{K}$ avec l’origine de l’ordonné $\ln\left(\frac{s_0 K}{E}\right)$

II.1. Introduction

Les rayonnements ionisants sont partout dans l'univers. Ils viennent de l'espace sous forme de rayons cosmiques. Ils sont émis dans l'atmosphère par le radon et ses descendants radioactifs.

Un rayonnement particulaire ou électromagnétique est ionisant lorsqu'il est susceptible d'arracher des électrons de la matière, Pour cela il est nécessaire que l'énergie des particules ou des photons soit supérieure à l'énergie de liaison minimale des électrons du milieu considéré.

Les rayonnements ionisants peuvent être classés en deux catégories :

- Rayonnements directement ionisants : sont des particules chargées : Les électrons, Les protons, Les particules α , Les positrons, Les ions lourds.
- Rayonnements indirectement ionisants : Particules non chargées : les photons, les neutrons.

La dosimétrie des rayonnements traite des méthodes pour la détermination quantitative d'énergie déposée dans un milieu donné par les radiations ionisantes, directement ou indirectement.

II.2. Les effets des rayonnements

Selon la nature de la particule incidente, on parle de rayonnements directement ou indirectement ionisants. On parle de rayonnements directement ionisants lorsqu'ils sont constitués de particules chargées telles que les électrons, et de rayonnements indirectement ionisants quand il s'agit de particules neutres comme les photons. Lors d'interactions de rayonnements ionisants avec la matière, un transfert d'énergie a lieu entre la particule incidente et un atome du matériau cible. Selon l'énergie mise en jeu, l'interaction conduit à l'ionisation des atomes cibles ou à leur excitation.

II.2.1. Les phénomènes liés aux interactions

II.2.1.1. Le phénomène d'ionisation

Lorsque l'énergie transférée d'une particule incidente vers un atome de la cible est suffisamment élevée, une paire électron-trou est créée. L'électron arraché provient en général des couches périphériques. On obtient alors au sein de la matière un électron libre et un ion positif fixe (Figure II.1). L'énergie minimale nécessaire pour ioniser la matière dépend de

cette matière cible et est appelée énergie de première ionisation. Dans le cas d'hydrogène par exemple l'énergie de première ionisation est égale à 13.26 ev. [13,14]

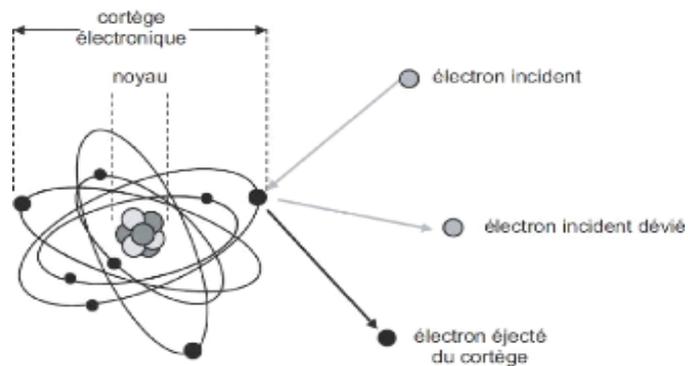


Figure II.1 : phénomène d'ionisation.

II.2.1.2. Le phénomène d'excitation

L'excitation d'un atome a lieu si le transfert d'énergie de la particule incidente vers l'atome cible n'est pas suffisant pour créer une paire électron-trou. Cependant, si cette énergie transférée est suffisante, un électron du cortège électronique de l'atome cible peut être amené d'un niveau d'énergie vers un niveau d'énergie supérieure (Figure II.2). Cette excitation aboutit à une dissipation thermique (par augmentation de l'énergie de translation, de rotation ou de vibration des molécules cibles). [13,14]

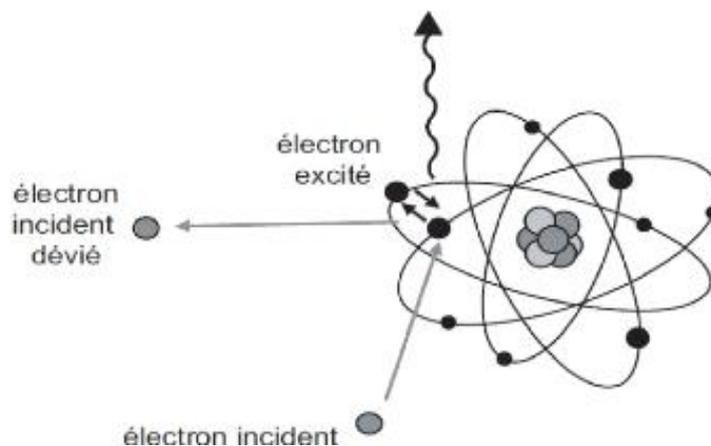


Figure II.2 : phénomène d'excitation.

II.3. Dosimétrie des rayonnements ionisants

La dosimétrie est la mesure des rayonnements ionisants, en un lieu donné ou sur une personne (on parle alors de dosimétrie individuelle). Outil de la radioprotection, elle a pour objet de fournir une estimation de grandeurs telles que la dose équivalente ou la dose efficace résultant de l'exposition.

La dosimétrie a pour but de déterminer cette énergie absorbée. Cette détermination est essentielle :

- Pour estimer le danger potentiel des techniques de diagnostic utilisant les radiations ionisantes in vivo.
- Pour prévoir en radiothérapie, les effets du traitement sur les tissus tumoraux et sur les tissus sains adjacents.
- Pour définir les normes de radioprotection individuelle et collective.

La Commission Internationale de Protection Radiologique actualise régulièrement ses recommandations en s'appuyant sur les récentes informations dans les domaines biologique et physique de l'exposition aux rayonnements ionisants. L'application de ces recommandations nécessite une bonne connaissance des grandeurs utilisées en radioprotection et en dosimétrie. A chaque grandeur correspond un concept et une spécifique établie par l'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements)

II.3.1. Grandeurs dosimétrique et unité

II.3.1. 1. La dose absorbée D :

La dose absorbée est l'énergie moyenne communiquée par le rayonnement ionisant, à un volume de matière de masse dm . [12,14]

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (\text{II.1})$$

La dose absorbée est exprimée en Gray.

Il est important de noter que la valeur de la dose absorbée se base uniquement sur l'énergie du rayonnement. Elle ne tient pas compte du type de rayonnement, ni des organes exposés.

Le débit de dose absorbée note D° , est la dose absorbée par unité de temps.

$$D^\circ = \frac{dD}{dt} \quad (\text{II.2})$$

Dans le système international, le débit de dose absorbée doit se mesurer en gray par seconde ($\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$).

II.3.1. 2.La dose équivalente H_T :

L'absorption d'une dose de rayonnement par une substance vivante peut provoquer un effet biologique dont l'ampleur dépend du type de rayonnement en cause (alpha, bêta, gamma, neutrons, etc.). Afin de tenir compte de ceci, un facteur de pondération est attribué à chaque type de rayonnement, en fonction de sa capacité à causer des dommages biologiques (Tableau II.1). En multipliant la dose absorbée par un facteur de pondération, on obtient la dose équivalente, exprimée en millisievert (mSv). [15]

$$H_T = D w_R \quad (\text{II.3})$$

Tel que :

H_T : la dose équivalente.

D : la dose absorbée.

w_R : le facteur de pondération, parfois appelé facteur de qualité.

Si l'irradiation provient de plusieurs sortes de particules, il s'agit de sommer sur toutes les contributions D_R de chaque variété.

$$H_T = \sum_R w_R D_R \quad (\text{II.4})$$

Selon les recommandations de la CIPR 103 les facteurs de pondération sont résumés dans le tableau (II.1) [16]

Nature et Energie des rayonnements	Facteur de pondération radiologique w_R
Photons toutes énergie	1
Electrons, muons (toutes énergies)	1
Neutrons $E < 10$ keV	5
Neutrons $10 \text{ keV} < E < 100 \text{ keV}$	10
Neutrons $100 \text{ keV} < E < 2 \text{ MeV}$	20
Neutrons $2 \text{ MeV} < E < 20 \text{ MeV}$	10
Neutrons $E > 2 \text{ MeV}$	5
Protons $E > 2 \text{ MeV}$	5
Particules α , fragment de fissions, noyaux lourds	20

Tableau II.1: Facteurs de pondération radiologique. [CIPR]

L'unité moderne pour H_T est le sievert (Sv), qui correspond à une dose absorbée de 1Gy et un facteur de pondération égal à 1.

$$1\text{Sv} = 1 \times 1\text{Gy}$$

L'ancienne unité était le rem, abréviation de "Röntgen équivalent man". Tel que 1 rem= 0.01 Sv.

II.3.1. 3. La dose efficace E:

La dose efficace E est égale à la somme des doses équivalentes pondérées par un facteur lié à la sensibilité aux rayonnements des organes ou tissus concernés, w_T [17,18]

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad (\text{II.5})$$

L'unité pour E est le sievert (Sv).

Les valeurs actuellement admises pour w_T sont reprises dans le tableau ci-dessous. Elles proviennent de la publication CIPR 103, recommandation 2007 de la Commission Internationale de Protection Radiologique.

Tissu ou organe	w_T	Σw_T
Moelle osseuse, côlon, poumons, estomac, sein, tissus restants	0.12	0.72
Gonades	0.08	0.08
Vessie, œsophage, foie, thyroïde	0.04	0.016
Surface osseuse, cerveau, glandes salivaires, peau	0.01	0.04
Total		1

Tableau II.2 : Facteurs de pondération tissulaire

II.3.1. 4. KERMA :

Le kerma est l'acronyme de "kinetic energy released in matter" « énergie cinétique libérée par unité de masse ». Est une grandeur dosimétrique qui ne s'applique qu'aux particules primaires « indirectement » ionisantes.

Le KERMA est défini comme l'énergie dE_{tr} transférée par les photons aux électrons secondaires créés dans le volume élémentaire, sur la masse dm :

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (\text{II.6})$$

L'unité SI de kerma est le Gray.

Le débit de kerma \dot{K} est dE_{tr} par unité de temps.

$$K = \frac{dE_{tr}}{dt} \quad (\text{II.7})$$

II.3.1. 5. Les unités :

❖ Le becquerel (Bq) :

Le Becquerel (Bq) mesure l'activité de la source radioactive, correspond à une désintégration de noyau par seconde.

1 Bq = 1 désintégration par seconde

Cette unité à l'échelle de l'atome est si petite et si inadaptée pour décrire l'activité de substances radioactives que l'on a recours généralement à des multiples:

1KBq = 10^3 Bq

1GBq = 10^6 Bq

1MBq = 10^9 Bq

❖ Le gray (Gy) :

Cette unité chiffre la densité d'énergie déposée par les rayonnements dans un organisme ou un objet exposé à un échantillon radioactif. On parle de dose absorbée.

1Gray = 1joule/1 kilogramme et 1Gray = 100 rad

1 mGy = 10^{-3} Gy

1 μ Gy = 10^{-6} Gy

1 nGy = 10^{-9} Gy

II.4. Effet des radiations sur le cristal

Lorsqu'un cristal est soumis à un rayonnement ionisant de forte énergie, une paire électron-trou est créée. Si l'énergie apportée par le rayonnement ionisant est supérieure à l'énergie du gap, l'électron sera transféré vers la bande de conduction. Dans le cas d'un cristal réel, l'électron pourra être piégé dans les niveaux pièges situés dans la bande interdite. Par la suite, l'électron pourra se recombiner avec le trou, créé lors de l'ionisation, piégé dans un centre de recombinaison. On utilisera ici le modèle simple d'un cristal avec un seul piège à électron et un seul centre de recombinaison.

II.4.1. piégeage et dépiégeage

Le taux de piégeage dépend des caractéristiques de l'irradiation ainsi que des paramètres du piège métastable. On ne citera qu'un seul paramètre pour la phase d'irradiation et la phase de piégeage :

- Le taux de remplissage des pièges pendant une irradiation dépend à la fois de la dose absorbée et du débit de dose utilisé. Ainsi, pour certains matériaux, le piégeage des porteurs est plus important lorsque le débit de dose utilisé lors de l'irradiation est faible. [19].

- Le piège est caractérisé par un coefficient de piégeage β tel que $\beta = \nu \times \sigma$ [20], avec ν est la vitesse du porteur de charge, électron (trou) dans le cas d'un piège à électron (trou), et σ la section efficace de capture de ce porteur de charge. Lors d'un apport d'énergie extérieur supérieur à l'énergie d'activation du piège, l'électron piégé peut être dépiégé. Le temps de vie moyen, que passe un électron dans un piège est défini par [20]:

$$\tau = s^{-1} e^{(E/kT)} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

S : facteur de fréquence (s^{-1}). Supposé constant.

E : l'énergie d'activation du piège (eV).

T : température absolue (K)

k : constant de Boltzmann (eV.K⁻¹).

La probabilité de dépiégeage α est définie par [20]:

$$\alpha = 1/\tau = s e^{(-E/kT)} \quad (\text{II.9})$$

II.4.2. la recombinaison

L'annihilation d'un électron libre excité avec un trou piégé est appelée recombinaison. Lorsqu'un électron libre de la bande de conduction retourne à l'état fondamental et s'annihile avec un trou de la bande de valence, la recombinaison est dite directe ou bande à bande. La recombinaison est indirecte lorsqu'elle n'implique pas la bande de valence mais un piège dans lequel le trou s'est préalablement piégé. Le temps de vie des porteurs avant recombinaison dépend alors de la densité de porteurs excités, de la température, et de la densité de sites de recombinaison. Une recombinaison électron-trou entraînant une émission de lumière est dite radiative. Il existe également des recombinaisons non radiatives. Lors de ces recombinaisons,

l'énergie est dissipée sous forme de phonons. Sous l'effet de la température, la probabilité de transitions non radiatives augmente au détriment des transitions radiatives.

II.5. Irradiation

II.5.1. Définition

Un matériau cristallin (isolant ou semi conducteur) imparfait est irradié par un rayonnement ionisant.

II.5.2. Irradiation X

Le rayonnement X découvert en 1895 par Wilhem Röntgen, est un rayonnement électromagnétique (photons), utilisées dans de ombreuses applications dont l'imagerie médicale.

Les principales caractéristiques de ce rayonnement sont :

- Sa fréquence ν comprise entre 10^{16} Hz et 10^{20} Hz.
- Sa longueur d'onde λ est de l'ordre de 0.1 à 10 nm
- Son énergie E est quantifiée, exprimée en Joules (J) ou le plus souvent en électronvolts (eV).

Cette énergie s'écrit :

$$E = \frac{h \times c}{\lambda} = h\nu \quad (\text{II.10})$$

Avec h constante de Planck (6.626×10^{-34} J.s) et c vitesse de la lumière (3×10^8 m.s⁻¹).

II.5.3. Irradiation α

Il est constitué d'un noyau d'hélium, comportant deux protons et deux neutrons. Il a donc une masse et une charge électrique importantes. Il provient des réactions nucléaires de désintégration des atomes lourds ($Z > 82$). Les émetteurs des plus courants sont le radon, le radium, le thorium, l'uranium, le plutonium. Leur pouvoir de pénétration est très faible, Il ne parcourt que quelques centimètres dans l'air. Une feuille de papier ou les couches superficielles de la peau l'arrêtent.

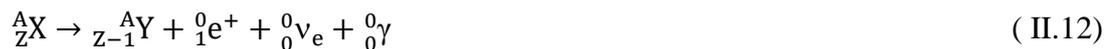


II.5.4. Irradiation bêta

Le rayonnement bêta provient des réactions de désintégration nucléaire. Il constitue de particules subatomiques très énergétiques et électriquement chargées qui se déplacent rapidement. Selon la particule émise par le noyau on distinguera deux types d'irradiations :

II.5.4.1. Irradiation bêta (β^+)

Pour les noyaux instables présentant un excès de protons, on observe l'émission d'un positon e^+ (encore appelé positon bêta ou anti-électron) et d'un neutrino. Il y a en parallèle émission d'un photon. Un proton se transforme en neutron. Néanmoins, le noyau garde le même nombre de nucléons et donc la masse atomique ne change pas. Le positon bêta étant une particule d'antimatière libérée dans un univers de matière, il disparaît rapidement en s'annihilant avec un électron, produisant ainsi deux photons. L'équation ci-après illustre une désintégration β^+ :



L'iode 122 est un émetteur bêta plus.

II.5.4.2. Irradiation bêta (β^-)

Pour les noyaux instables présentant un excès de neutrons, on observe l'émission d'un électron e^- (ou négaton) et d'un antineutrino. Il y a en parallèle émission d'un photon. Un neutron se transforme en proton. Néanmoins, le noyau garde le même nombre de nucléons et donc la masse atomique ne change pas.



Le potassium 40 est un émetteur bêta moins. Ce type de radioactivité est la plus fréquente.

II.5.4.3. Les caractéristiques du rayonnement bêta

L'énergie libérée lors d'une désintégration bêta se partage entre trois participants : le noyau qui recule, l'électron et l'antineutrino. La masse noyau est très lourde par rapport aux deux autres participants n'emporte pratiquement pas d'énergie. L'électron emporte en moyenne un peu moins de la moitié de l'énergie disponible.

Dans le cas rare d'une désintégration bêta plus, c'est le positon qui joue le rôle de l'électron, un neutrino celui de l'antineutrino, mais le scénario et le partage sont similaires.

- L'énergie des rayons bêta n'est pas uniforme lors d'une émission, mais comprise entre 0 et 3.15 MeV.
- Le parcours dans l'air d'un électron de 80 keV est de 8 centimètres. C'est le même parcours que celui d'un alpha cent fois plus énergétique.
- Dans une explosion atomique, les bêta de 2 MeV ont un parcours maximum de 8 mètres dans l'air, de 1 centimètre dans l'eau et de 1 millimètre dans le plomb.
- Le spectre d'énergie pour les particules bêta est continu.

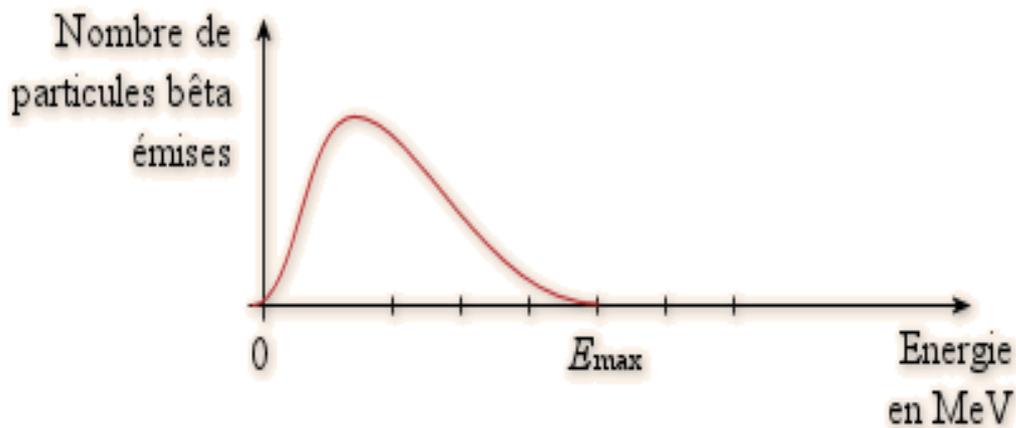


Figure II.3. Spectre d'énergie pour les particules bêta

L'énergie est variée de zéro (si l'antineutrino emporte toute l'énergie cinétique) jusqu'à une valeur maximale E_{\max} (alors l'antineutrino est émis avec une énergie cinétique nulle).

II.5.3.4. Les applications du rayonnement bêta

Les matières radioactives sont mondialement utilisées pour des applications médicales, industrielles en agronomie et dans la recherche.

II.5.3.4.1. En médecine

En médecine, la radioactivité est utilisée pour des diagnostics (radiographie, scanner, scintigraphie etc.), pour la stérilisation du matériel médical et également dans des buts thérapeutiques, principalement la radiothérapie externe ou interne

❖ Marqueur et traceur radioactives :

En biologie et médecine nucléaire, les traceurs sont généralement des produits radiopharmaceutiques qui incorporent dans leur formule des radionucléides (un marqueur). Les traceurs sont utilisés pour suivre le parcours de ces radionucléides injectés dans l'organisme, on comprend le métabolisme des organes et on teste de nouveaux médicaments.

Quelque exemple :

FDG (Fluoro Desoxy Glucose marqué au fluor 18) émetteur beta plus qui se fixe de préférence sur les tumeurs cancéreuses. favorise la détection des tumeurs . La détection d'une molécule marquée (FDG) permet d'analyser la fonction des organes, dans ce cas l'examen se fait avec une caméra à positons. C'est une tomoscintigraphie par émission de positons [TEP].

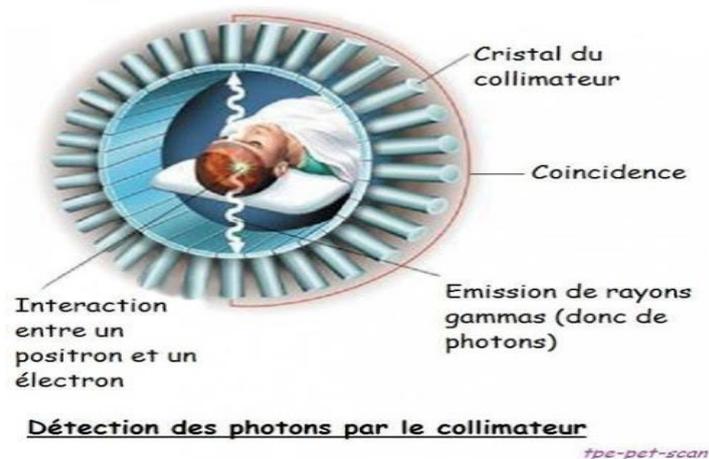


Figure II.4. La Tomographie par Emission de Positons.

- L'injection d'une petite quantité d'iode 123 permet de faire une scintigraphie de la thyroïde.

❖ Radiothérapie :

On distingue deux types :

curiethérapie ou brachythérapie, utilise des sources radioactives scellées sous forme des grains ou des bâtonnets, et qui sont introduites dans ou au voisinage de la tumeur. Les applications les plus fréquentes concernent les néoplasies prostatiques et du col utérin[21]

- radiothérapie métabolique ou de radiothérapie interne vectorisée, utilise des sources radioactives non scellées dont des rayonnements d'électrons qui va détruire les cellules cancéreuses.

Le radioélément utilisé dans le traitement de certaines maladies de la thyroïde, qu'elles soient cancéreuses ou bénignes comme les hyper-thyroïdies est l'iode 131. [21]

- ✓ Le ^{32}P est un émetteur beta qui s'accumule dans les globules rouges, entraînant leur destruction.

II.5.3.4.2. La stérilisation bêta

C'est une technique de stérilisation par rayonnement où les produits sont à l'intérieur d'une cellule de protection en béton pour être exposés aux rayons bêta qui sont accélérés par un champ électrique.

Les produits qui peuvent être stérilisés par rayonnement bêta sont : implants, prothèses, cathéters, canules, lignes à sang, systèmes à perfusion, systèmes respiratoires, champs opératoires, instruments, gants, pansements, ainsi que matériels de suture et de drainage de plaies.

II.5.3.4.3. Applications nucléaires et industrielles

❖ Les jauges d'épaisseur, de densité ou d'homogénéité :

Les jauges radiométriques utilisent des sources radioactives scellées, émettrices de rayonnement bêta. Elles servent au :

- ✓ La mesure de niveau d'un liquide. L'atténuation du signal détecté permet de connaître le niveau de remplissage du container et de déclencher automatiquement certaines opérations (arrêt/poursuite du remplissage, alarme, etc.). Les radionucléides utilisés dépendent des caractéristiques du contenant et du contenu : césium 137, baryum 137.

- ✓ La mesure d'épaisseurs de matériaux comme le papier, le tissu, le plastique, ou des tôles, des plaques métalliques selon un principe similaire et à l'aide de jauges radiométrique au krypton 85, au césium 137, au cobalt 60.

- ✓ La mesure de densité et de pesage, toujours selon un principe similaire. Les sources utilisées sont, en général, du césium 137, baryum 137 ou du cobalt 60.
- ✓ Le contrôle de soudure par gammagraphie, véritable radiographie du métal (sources d'iridium 192 ou de cobalt 60)

❖ l'industrie horlogère :

L'utilisation du tritium dans pour amplifier la luminosité de la peinture luminescente [22]

II.5.3.4.4.L 'Agriculture**❖ Irradiation de fruits et légumes :**

Figure II.5 : Accélérateur à électrons pour irradier fruits et légumes.

II.5.3.4.5.Protéger le patrimoine

La muséographie exploite les propriétés des atomes radioactifs pour identifier, dater et traiter toutes sortes de pièces et de vestiges. Elle permet entre autres :

- l'authentification des œuvres et de leur provenance.
- la datation des pièces grâce au carbone 14 et à la thermoluminescence.
- la consolidation des objets fragiles par irradiation.
- l'identification des techniques et matériaux caractérisant les œuvres.
- la désinfection des sites ou pièces attaqués par des parasites.

III.1. Introduction

Un cristal n'est jamais parfait, il contient de très grandes quantités d'impuretés ou de défauts ponctuels dont certains peuvent constituer des sites « piège » pour les électrons libérés par irradiation. Lors d'une élévation de température certains cristaux imparfaits ont la propriété de réémettre l'énergie absorbée après irradiation. Pour de tels matériaux, on parle de phénomènes thermo-stimulés.

Dans ce chapitre, nous décrivons le cristal. Nous présentons d'abord la structure cristallographique du LiF, ses propriétés physico-chimiques, ses applications et les défauts ponctuels.

III.2. Fluorure de Lithium

Le Fluorure de Lithium est un cristal Radio Thermo Luminescent (RTL ou TL) dont la structure complexe est influencée par des nombreux paramètres dont l'énergie déposée par des rayonnements ionisants et la température. LiF actuellement disponible dans le commerce a des qualités très intéressantes.

Les laboratoires de recherche font généralement porter leur préférence sur le fluorure de lithium, qui est particulièrement intéressant pour la dosimétrie des rayonnements β et des rayonnements X et de faible énergie.

LiF est un matériau utile dans la mesure de la dose pour plusieurs raisons, y compris sa résistance générale à la corrosion et à l'usure. Il est à peine soluble dans l'eau et le traitement avec des acides forts (par exemple, l'acide fluoborique) est normalement nécessaire avant qu'une attaque chimique significative soit observée.

III.2.1. Structure

Le LiF est un cristal halogénure alcalin, ce matériau est de type M^+X^- où M est un alcalin (colonne I dans le tableau périodique) et X est un halogène (colonne VII dans le tableau périodique).

La structure cristalline est constituée par l'alternance de deux ions : le fluorure (F^-) et lithium (Li^+). Il se cristallise dans la structure cubique à faces centrées (de type NaCl), son paramètre de maille est de l'ordre de 4.02 \AA [23]. Chaque cation de lithium (Li^+) est entouré par quatre anions de fluorure (F^-). Alors ces derniers forment un octaèdre. Les rayons ioniques des ions Li^+ et des ions F^- sont 0.76 \AA et 1.33 \AA respectivement [23]. Généralement le monocristal de fluorure de lithium est clivé sur la direction (100) [23].

Les configurations électroniques de lithium (L) et de fluorure (F) sont données par:

L : $1s^2, 2s^1$; et F : $1s^2 2s^2 2p^5$.

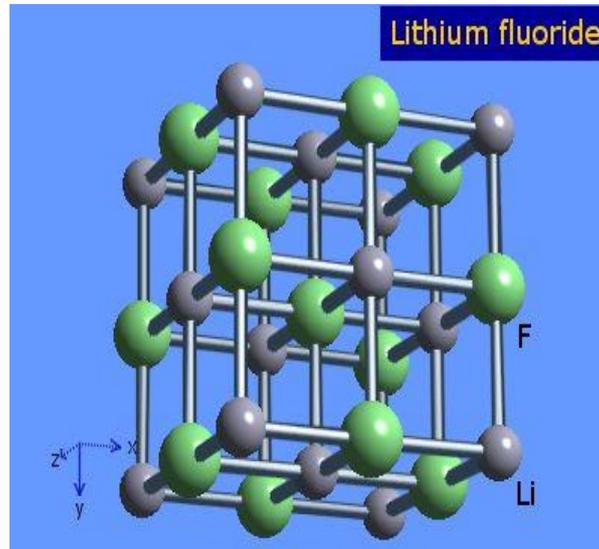


Figure III.1: Structure cristallographique Le fluorure de lithium (CFC de type NaCl).

III.3. Propriétés dosimétriques

Les principales propriétés dosimétriques sont :

III.3.1. Réponse en fonction de la dose

C'est l'intensité $I(T)$ de thermoluminescence libérée par le matériau lors de son retour à l'état stable après avoir été excité par une radiation donnée. C'est une fonction de la quantité absorbée de radiation D (dose), comprend généralement une zone linéaire, une zone dite «supralinéaire» et une zone de saturation. La zone linéaire est la plus intéressante car c'est la zone où les mesures sont effectuées avec le maximum de précision. Elle est limitée du côté des faibles doses par des parasites liés au bruit de fond du matériau et du lecteur de TL.

III.3.2. Fading et stabilité

La stabilité du signal dans l'environnement où le détecteur dosimètre est installé est un important critère dans le choix de ce détecteur. Ainsi, il est nécessaire d'estimer si les charges piégées à l'intérieur du matériau peuvent être perdues avant la deuxième étape de désexcitation du matériau, sous forme de chaleur (fading thermique), lumière (fading optique) ou par d'autres moyens (fading anomal); On rappelle que le "fading" est la diminution momentanée d'une onde radioélectrique.

Il est donc évident que si la profondeur des pièges (en énergie) est petite alors les "fading" peuvent se produire facilement pendant l'étape d'irradiation ou entre l'irradiation et la désexcitation. Il est par conséquent pratique de chauffer les matériaux entre des températures voisines du pic le plus stable (celui qui a la plus grande énergie).

III.3.3. La durée de vie d'un pic de thermoluminescence

Comme le "fading" peut vider les pièges à négatons de faible énergie avant la lecture du matériau dosimètre, il est donc nécessaire de connaître jusqu'à combien de temps peut-on avoir des négatons dans un piège si on laisse le matériau (ayant absorbé de l'énergie d'une certaine irradiation) dans un lieu à une certaine température. En d'autre terme, il est nécessaire de connaître la durée de vie d'un pic de thermoluminescence pour une température de stockage donnée. La connaissance de cette durée de vie est un indice pour savoir le temps de stockage au delà duquel le pic n'existe plus, donc l'estimation de l'énergie de l'irradiation absorbée par ce matériau n'y est plus possible.

La durée de vie d'un pic de thermoluminescence est, dans le cas du premier ordre cinétique, donnée par :

$$T = s^{-1} e^{E/kT} \quad (\text{III.1})$$

Où $s(s^{-1})$ le facteur de fréquence, E (eV) la profondeur du piège, k la constante de Boltzmann et $T(K)$ la température de stockage du matériau.

III.3.4. La limite de détection

La limite de détection ou dose minimale mesurable est définie comme étant la dose correspondant à un signal égal à 2 fois la déviation standard d'un dosimètre non irradié. Cette définition caractérise l'ensemble de la chaîne de mesure (forme et taille du détecteur, lecteur de TL, algorithme de calcul) ρ

III.3.5. Réponse en fonction de l'énergie des rayonnements ionisants

La réponse en énergie est la variation du signal TL pour une dose donnée en fonction de l'énergie des rayonnements incidents. Elle dépend principalement du coefficient d'absorption massique (μ_{en}/ρ) du matériau. En dessous de 25 keV, et pour la plupart des matériaux, l'effet photoélectrique est prépondérant. Aux plus hautes énergies, et pour des matériaux à Z_{eff} faible, l'effet Compton demeure jusqu'à 10 MeV.

En dessous de 150 keV, le coefficient d'absorption massique varie considérablement en fonction de l'énergie du rayonnement et du numéro atomique efficace, Z_{eff} , du matériau considéré. Les produits composés essentiellement d'éléments à numéro atomique faible présentent une réponse qui varie peu en énergie (Bassi et al, 1976) et sont dit „équivalents tissus“. Il s'agit entre autres du borate et du fluorure de lithium.

III.4. Propriétés physico-chimiques et application

Avec une température de fusion d'environ 850°C, Le fluorure de lithium est le plus largement utilisé comme fondant dans la production de céramiques, telles que des émaux et des glaçures, des verres. De même, il est également utilisé dans le brasage et le flux de soudure et de la chimie du sel fondu dans la métallurgie.

Dans le tableau III-1, nous regroupons les principales propriétés de Le fluorure de lithium. Le fluorure de lithium trouve des utilisations dans des domaines très distingués, on le trouve en le domaine du nucléaire, il sert comme dissolvant de combustible nucléaire ; Il est résistant aux chocs thermiques et mécaniques. Il est disponible sur le marché pour son utilisation dans le domaine optique infrarouge. Il présente une excellente transmittance dans la région visible et ultraviolette (*UV/VISIBLE*). Il est utilisé de façon remarquable pour ses propriétés optiques (fenêtres, prismes, lentilles...) [24].

Grandeurs physiques	Valeurs	Références
Paramètre de maille (Å)	4,026	[23]
Poids moléculaire	25,94	[26]
Numéro atomique effectif	8.2	[26]
Point de fusion (°C)	842	[26]
Point d'ébullition (°C)	1676	[26]
Densité, (g/cm ³)	2.60	[25]
Gap (eV)	14	[27]
Poids moléculaire	25,94	[26]

Tableau II.2 : Grandeur physique

III.5. Les défauts ponctuels (Les centres colorés) de LiF

Les halogénures alcalins, normalement transparents et incolores, se colorent, par création de défauts ponctuels nommés centres colorés, sous l'effet des radiations ou sous l'effet d'un chauffage dans la vapeur du métal alcalin. L'originalité du LiF parmi les halogénures alcalins est que ce deuxième mécanisme est pratiquement inefficace [28]. La création des centres colorés dans LiF se fait donc seulement par irradiation.

Les centres colorés peuvent être divisés en trois groupes principaux, correspondant à trois ensembles de bandes d'absorption désignées par les lettres F , V et M .

Les centres du type F sont des défauts comprenant un électron « capté » par un défaut atomique

Les centres V sont formés par un trou positif capté par un défaut atomique.

Les centres M sont certainement formés par l'association de centres F .

III.5.1. Les lacune et Les centres (centres F)

On admet depuis longtemps [29,30] que les centres F sont constitués par un électron capté par une lacune d'un ion négatif F

Dans un grand nombre d'expériences d'irradiation, on constate en effet la formation de centres F , alors que l'énergie des photons ou des électrons incidents est trop faible pour produire des lacunes par déplacement ionique direct. Il faut donc évoquer un mécanisme indirect. Varley [31,32] suggère le mécanisme suivant : les radiations ionisantes provoquent une ionisation multiple de l'ion halogène ; cet ion acquiert ainsi une énergie électrostatique telle qu'il doit quitter son site et qu'il passe en position interstitielle. On a discuté la probabilité des divers mécanismes conduisant à cette ionisation multiple. Le plus plausible de ces mécanismes fait intervenir l'ionisation d'une couche interne suivie d'une transition du type Auger [33,34]

La formation de centres F s'accompagne d'une dilatation du cristal. Wiegand et Smoluchowski [35] ont montré qu'il existe une corrélation entre l'augmentation de volume et l'intensité de la bande F .

La bande F peut être « blanchie » par illumination de l'échantillon en lumière ultraviolette [36].

III.6. Les défauts extrinsèques (dopants impuretés)

Dans LiF, on peut rencontrer un grand nombre d'espèces étrangères dont la nature et la teneur dépendent fortement du procédé de fabrication. L'analyse des impuretés à l'état de trace (souvent quelques ppm) dans LiF thermoluminescents est un problème délicat.

Les techniques adaptées sont donc très sophistiquées et souvent difficiles à mettre en œuvre ou à interpréter.

L'influence des impuretés (dopants) sur les propriétés thermoluminescentes de LiF est considérable [37].

III.7. Les TLD-LiF

Le type de matériau est défini selon la quantité introduit :

III.7.1. LiF: Mg, Ti -TLD 100

Son principal avantage sur les versions TLD- 600 et 700 est l'amélioration de sa stabilité thermique. Il convient de noter que les taux de disparition thermiques du pic dosimétrique TLD-100 observées dans la pratique ne correspondent généralement pas à celles calculées à partir de E et s déterminations. Le TLD-100H est adapté aux applications dosimétriques environnementales, pour le personnel et pour les extrémités, et des installations nucléaires.

III.7.2. LiF: Mg, Ti -TLD 600

Le LiF : Mg, Ti -TLD 600 fabrique par Harshaw a 300 ppm Mg, 11ppm Ti et enrichie par Li-6 ~ 95%. Le TLD-600 est adapté aux applications dosimétriques neutroniques et dosimétrie dans l'espace, et est disponible sous forme de poudre, copeaux extrudés et des rubans, des monocristaux et disques de téflons imprégnés.

III.7.3. LiF: Mg, Ti -TLD 700

Le LiF : Mg, Ti -TLD 700 fabrique par Harshaw a 300 ppm Mg, 11ppm Ti et enrichie par Li-7 ~ 99.99%. Le TLD-700 est adapté aux applications dosimétriques gamma, bêta et environnementales et est disponible sous forme de poudre, copeaux extrudés et des rubans, des monocristaux et disques de téflon imprégnées.

II.8. LiF: Mg, Cu, P

Nakajima et al, décrivent la préparation et les propriétés d'un très sensible dosimètre LiF, intégrant Mg, Cu et P comme dopants [38]. LiF : Mg, Cu, P présente un avantage très net en terme de sensibilité (30 fois par rapport au LiF : Mg, Ti), ce qui est particulièrement intéressant étant donné les faibles doses que l'on peut mesurer en radiologie.

III.9. LiF: Mg, Ti, Na

Ce matériau produit par D& CEC et également disponible (LiF: Mg, Ti, Na) fait avec du fluorure de magnésium et 200 ppm 1-2% en poids de fluorure de sodium par [39].

III.10. L'intérêt et le rôle des dopants (Mg, Ti, Cu, P, Na, Si)

Le LiF pur donne une très faible réponse en TL. Différents expérimentateurs ont montré que des impuretés sont nécessaires pour avoir une bonne sensibilité [40, 41, 42] et assurent la conductibilité électrique, et la limite élastique (propriété mécanique). Les impuretés introduites dans les cristaux thermoluminescents jouent un rôle très important dans la création des pièges à électrons et à trous positifs. La présence de ces impuretés à des concentrations de l'ordre de la partie pour million (ppm) est fondamentale pour améliorer la sensibilité.

IV.1. Introduction

LiF; Mg, Ti (TLD 100-200-500-600-700) sont les matériaux les plus connus de la famille LiF, en plus de son utilisation étendue dans des applications de dosimétrie.

Plus précisément, la sélection ^7LiF évaluent l'effet de la dose de rayonnement B et la pré-irradiation pour mesurer sur les valeurs finales de lecture dosimètre donné des les résultats intéressant.

Le travail expérimentale est réalisé à l'Université Aristotel Thessaloniki dans laboratoire de physique nucléaires sous la direction du professeur George Kitis.

IV.2. Méthode d'analyse

IV. 2.1. Description de la méthode computerized glow-curves deconvolution

L'analyse de la courbe déconvolution (CGCD) c'est un programme la plus répandue dans l'analyse des courbe de LiF: Mg, Ti [1, 3]. L'analyse CGCD est basé sur l'expression cinétique de premier ordre de Randall-Wilkins [4, 5]. Grâce à ce programme les paramètres de piégeage, soit l'énergie d'activation (E), le facteur de fréquence (s) et l'ordre cinétique (b) des pics 1-5 de LiF: Mg, Ti ont été évalués avec précision et leurs valeurs ont eu un haut degré d'acceptation par la communauté de recherche.

L'analyse de la courbe déconvolution (CGCD) a été appliquée à toutes les courbes obtenues dans le présent travail, les courbes TL expérimentaux sont constitués d'un certain nombre de pics chevauchant qui sont nécessaires à la séparation des pics de composants afin d'étudier le comportement de chaque pic. Ces courbes composites ont été analysées en composants individuels en utilisant une cinétique d'ordre général équation proposée par Kitis et al [40].

Les paramètres à déterminer au moyen d'ajustement de courbe non linéaire sont l'énergie d'activation (E) et l'ordre de la cinétique (b). Le général ordre cinétique donné par équation:

$$I(T) = I_{\max} \cdot b^{b/b-1} \cdot \exp\left(\frac{E}{kT} \cdot \frac{T-T_{\max}}{T_{\max}}\right) * \left[(b-1) \cdot (1-\Delta) \cdot \frac{T^2}{T_{\max}^2} * \exp\left(\frac{E}{kT} \cdot \frac{T-T_{\max}}{T_{\max}}\right) + Z_m \right]^{-b/b-1} \quad (\text{IV.1})$$

$$\text{où } \Delta = \frac{2kT}{E}, \Delta_m = \frac{2kT_{\max}}{E}, Z_m = 1 + (b-1) \cdot \Delta_m \quad (\text{IV.2})$$

$$\text{Le facteur de fréquence s est donnée par : } s = \frac{bE}{kT_{\max}^2 Z_m} \left(\frac{E}{kT_{\max}} \right) \quad (\text{IV.3})$$

T est la température, T_{max} est la température à l'intensité maximale de la TL, I_{max} est l'intensité maximale, b est l'ordre cinétique, E l'énergie profonde de piège, k la constante de Boltzmann.

La valeur de l'indice FOM fournit une mesure de la qualité de fit le plus bas de sa valeur, le meilleur ajustement. Par conséquent, tous les efforts ajustement devraient conduire à minimiser la valeur de l'indice FOM, qui est obtenu en modifiant l'ensemble des valeurs des paramètres de chaque pic.

La FOM est défini comme :

$$FOM(\%) = 100 * \frac{\sum_p |T_{Lexp} - T_{Lfit}|}{\sum_p T_{Lfit}} \tag{IV.4}$$

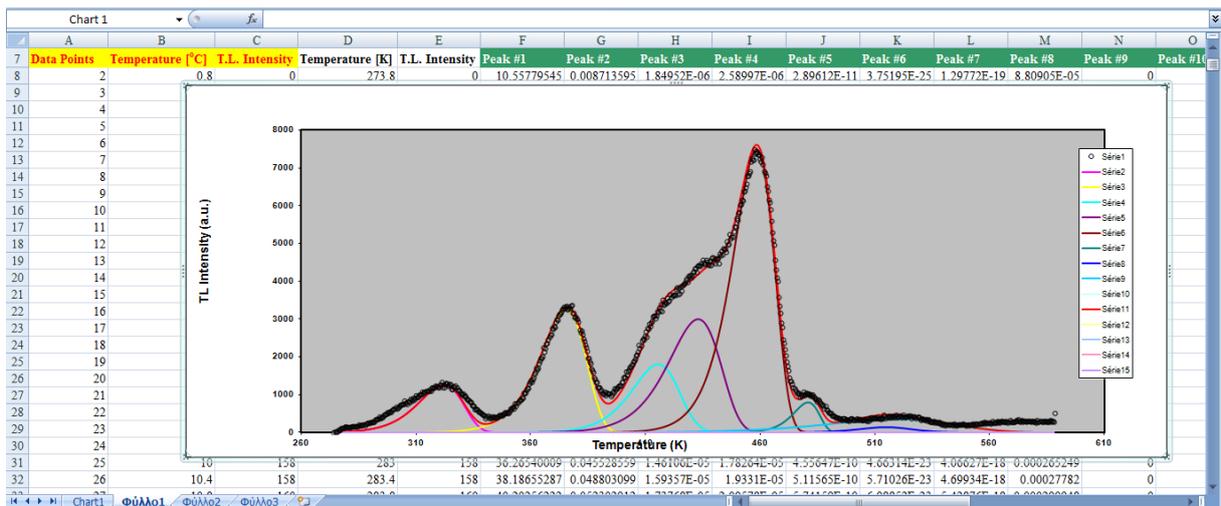
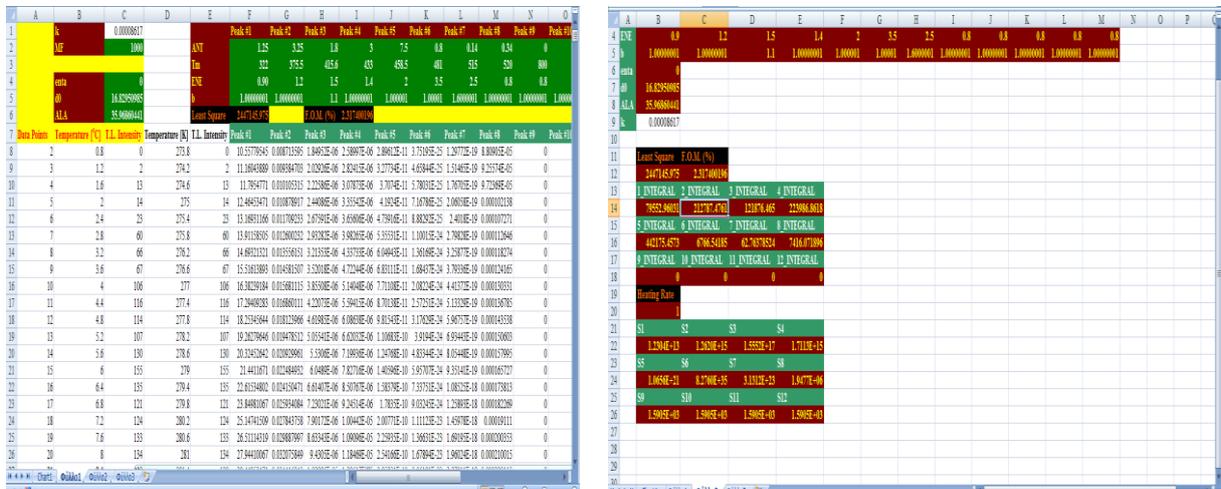


Figure IV.1 : Paramètres TL estimés pour la cinétique d'ordre général à l'aide du Microsoft Excel.

IV.3. Thermoluminescence de TLD 700

IV.3.1. Description de matériaux

Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé le matériau fluorure de lithium dopé en Magnésium et Titane (LiF : Mg, Ti), ce matériaux LiF TLD-700 obtenus à partir de Harshaw Chemical Corp sous forme des chips ont été recuits dans un four à 400 ° C pendant 1 heure, suivi d'un refroidissement rapide jusqu'à la température ambiante.

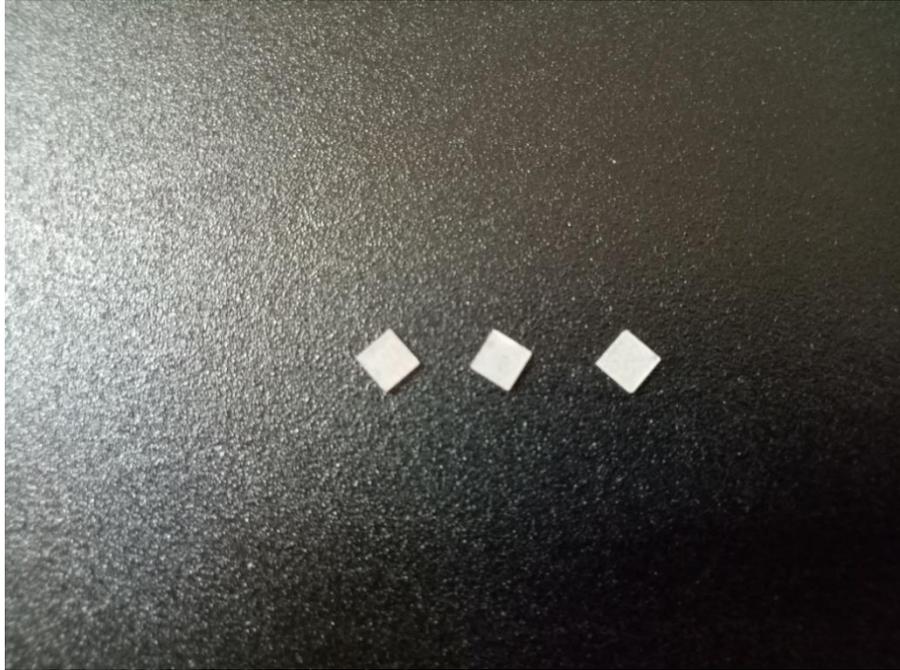


Figure IV.2 : Fluorure de lithium

IV.3 .2. Instruments et mesures

Les mesures I-TL ont été effectuées avec le modèle Harshaw TLD 3500. Le dispositif expérimental ; Il se compose du tube photomultiplicateur (PM), haute tension (HT), amplificateur, four et autres équipements.



Figure IV.3 : Dispositif expérimental pour mesurer de I-TL

IV.3.2.1. Chauffage

Les échantillons ont été recuits dans un four à 400°C pendant 1 heure, suivi d'un refroidissement rapide jusqu'à la température ambiante initialement pour vider l'ensemble des piégés.

IV.3.2.2. Irradiation

L'irradiation a été effectuée par un irradiateur Studsvik contenant une source de rayons bêta (1,2 Gy/ min par exposition).



Figure IV.4 : Source d'irradiation bêta.

IV.3.2.3. Courbe de I-TL LiF

Protocole 01 : Test dose

➤ Procédure

Tous les échantillons sont préalablement recuits à 400°C pour une durée d'une (1) heure. La donnée expérimentale obtenue à travers ce travail ont été effectuées selon le protocole suivant:

Etape 1: Lecture TL jusqu'à 350°C à 2°C/s pour obtenir une lecture de la dose zéro.

Etape 2: temps d'irradiation de l'échantillon a 30 Sec

Etape 3: Lecture TL jusqu'à 350°C à une vitesse de chauffe 2°C/s.

L'analyse spectrale de la courbe I-TL enregistrée pour le TLD 700 (LiF : Mg,Ti) irradié par une source bêta pendant 30 Sec sont illustrées dans la figure IV-5 ci-dessous.

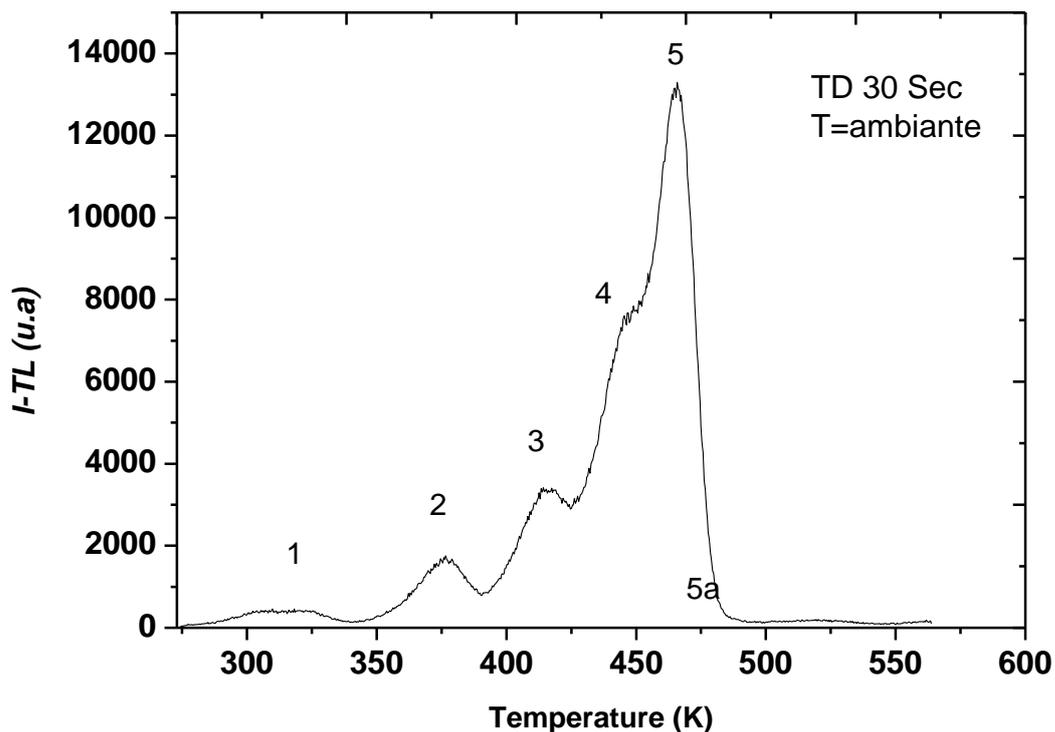


Figure IV.5 : La courbe expérimentale LiF 700.

➤ **Discussion**

Les dipôles associés aux centres de pièges à électrons sont responsables des pics TL (1, 2, 3) instables qui disparaissent par chauffage après irradiation tandis que les dipôles complexes forment les pics TL (4, 5) dosimétriques à température élevée (figure IV.6).

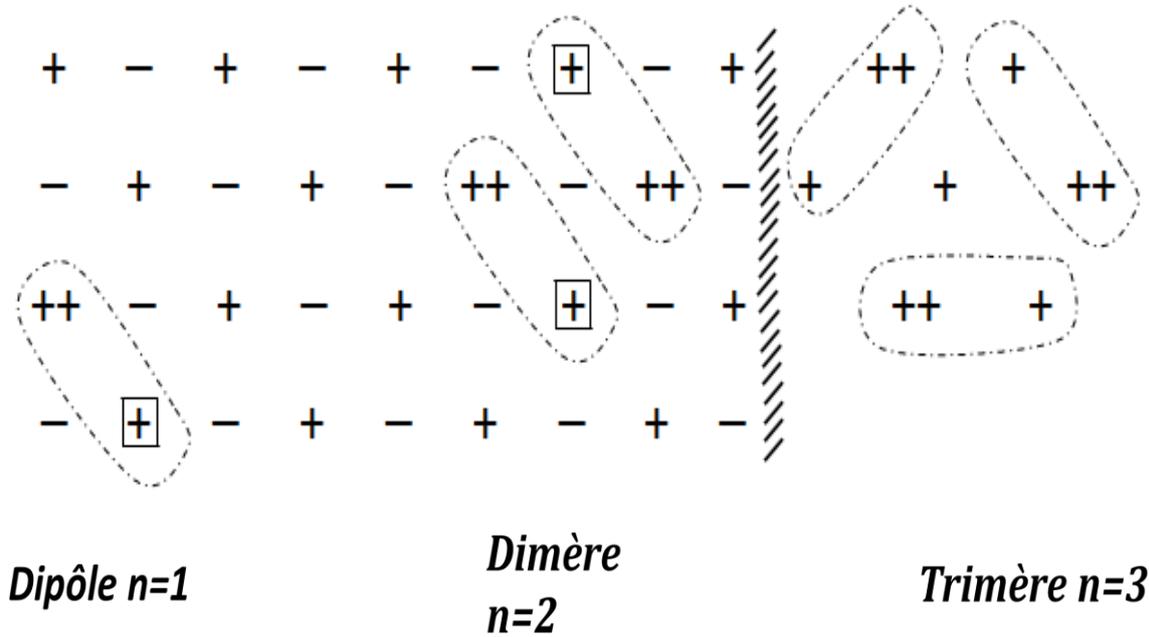


Figure IV.6 : Dipôles et complexes.

IV.3.2.4. Déconvolution des Courbes I-TL

Nous avons utilisés la méthode de déconvolution CGCD d'un spectre globale (Figure IV.7) pour un temps donné, fait apparaitre 6 pics isolés (1, 2, 3, 4, 5, 5a) qui seront étudiés pour déterminer les paramètres de piégeages (T_m , E , s et b).

Les paramètres de piégeages des pics (1, 2, 3, 4, 5, 5a) de TL (déconvolué) (spectres) de TL pour temps d'irradiation sont calculés et représentés dans le tableau (IV.1) ci-dessous :

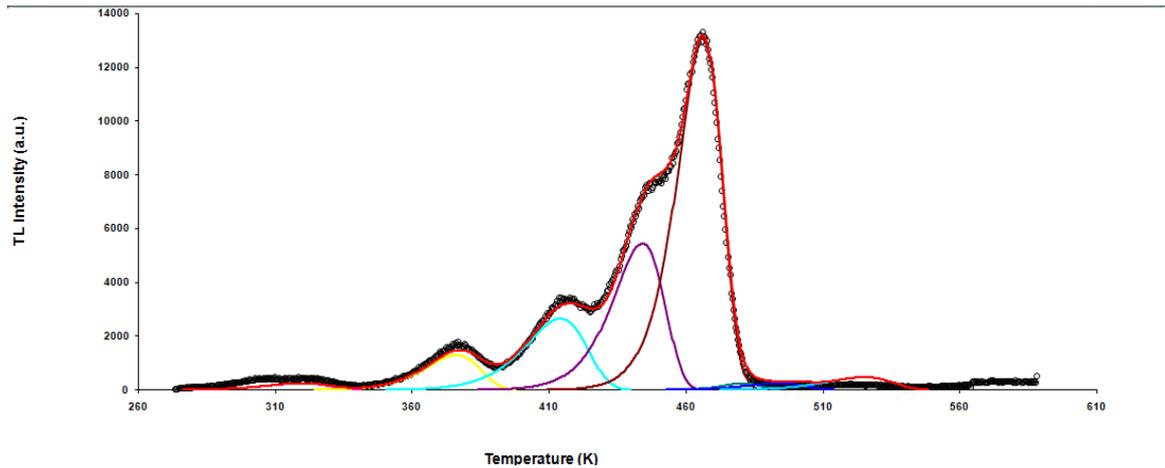


Figure IV.7:CGCD des courbes de lueur TL pour LiF (à 5%) à température de préchauffage de 140 °C

Pic	E (eV)	T _{max} (K)	b	S (s ⁻¹)	Pic intégral
1	0.75	319,5	1,00000001	1,1554E+11	18529,68281
2	1.2	376	1,001	2,3959E+15	85379,45166
3	1, 3	415	1,001	1,1792E+15	194623,8883
4	1.8	446	1,00001±0,00 3	5,7346E+19	335873,9901
5	2,4	467	1,08±0,05	2,3168E+25	633078,216
5a	3	481	1,04	8,1728E+30	2924,297898

Tableau IV-1 : Les paramètres cinétiques obtenus par déconvolution (CGCD) pour les courbes TL de préchauffage de LiF :

Les résultats obtenus sans chauffage préalable avant ou après irradiation.

IV.4 .L'effet de la dose après chauffage du matériau

IV.4 .1.Préchauffage a 150°C

IV.4 .1.1. Vidage thermique

Ces échantillons ont été recuits initialement dans un four à 400°C pendant 1 heure, suivi par un refroidissement rapide jusqu' à la température ambiante pour vider l'ensemble des piégés.

IV.4 .1.2. Chauffage à 150°C avant l'irradiation

L'irradiation a été effectuée par un irradiateur Studsvik contenant une source de rayons bêta (1,2 Gy/ min par exposition) après chauffage à 150°C

➤ Procédure

Les échantillons ${}^7\text{LiF}$ discuté sont chauffés dans un four à 150°C et soumis a différents temps de dose après le chauffage. La donnée expérimentale obtenue à travers ce travail ont été effectuées selon le protocole suivant:

Etape 1: Lecture TL jusqu'à 350°C à 2°C/s pour obtenir une lecture de la dose zéro.

Etape 2: Irradiation de l'échantillon a 30 Sec.

Etape 3: Lecture TL jusqu'à 350°C à une vitesse de chauffe 2°C/s.

Etape 4: Répétez l'étape 1 à 3 pour nouvelle ti.

Les résultats sont illustrés dans les figures IV.8 et IV.9

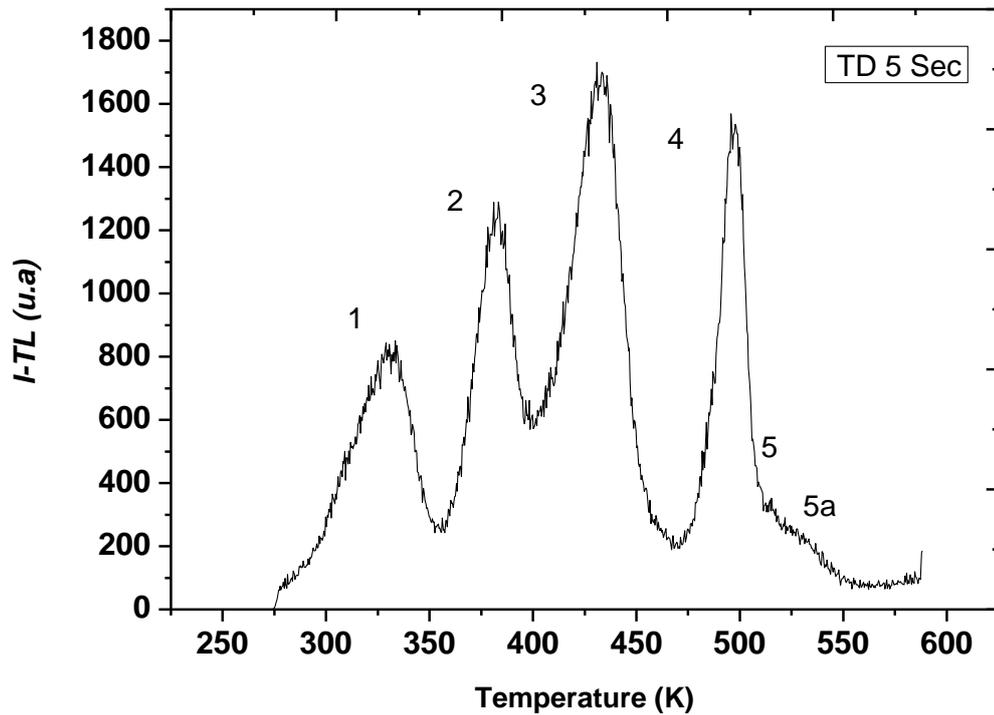


Figure IV.8. Les courbes I-TL du ${}^7\text{LiF}$ recuit à $T=150^\circ\text{C}$ pendant 5 Sec.

La première courbe (figure IV.8) représente l'évolution de l'intensité thermoluminescence (I-TL) du ${}^7\text{LiF}$ recuit à $T=150^\circ\text{C}$ après irradiation par bêta pendant 5 Sec en fonction la température (k).

Nous voyons que la courbe comporte 5 pics isolés (1, 2, 3, 4 et 5), pic (1) est petite par rapport aux pics (2 et 3), le pic 4 a la plus grande valeur de I-TL, puis on remarque que les deux derniers pics (5, 5a) ont la plus petite valeur.

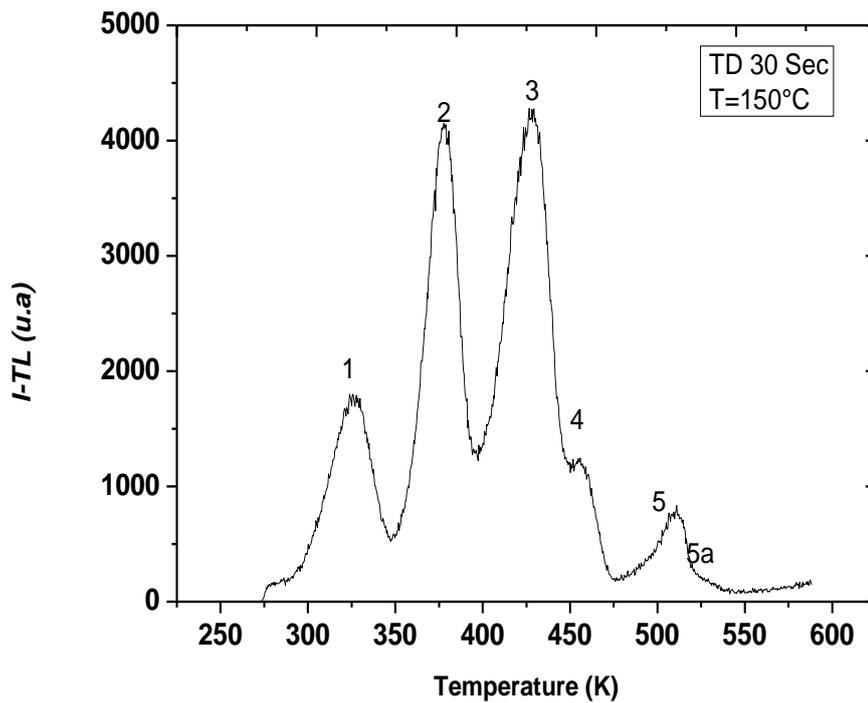


Figure IV.9 : Les courbes I-TL du ${}^7\text{LiF}$ recuit à $T=150^\circ\text{C}$ pendant 30 Sec.

La deuxième courbe Figure (IV.9) représente l'évolution de l'intensité thermoluminescence (I-TL) du ${}^7\text{LiF}$ recuit à $T=150^\circ\text{C}$ après irradiation par bêta pendant 30 Sec en fonction la température (k).

Nous voyons que la courbe comporte 5 pics isolés (1, 2, 3, 4 et 5), tels que l'intensité augmente pour les trois premiers pics (1, 2 et 3), le pic 2 a la plus grande valeur de I-TL, puis on remarque une diminution de I-TL pour les deux derniers (4, 5).

D'après les deux graphes au dessous on peut suggère que le temps de chauffage influence sur T_m (Température max), E (Energie d'activation : Profondeur) et l'intensité des pics :

- Pour les pics TL (1, 2, 3, 5) tant que le temps d'irradiation augmente l'intensité augmente et la position de T_m se déplace vers la gauche (diminue), et puisque $E = k_B T_m$ alors E diminue.
- En ce qui concerne les pics TL (4) tant que le temps d'irradiation augmente l'intensité diminue et la position de T_m se déplace vers la gauche (diminue) et puisque $E = k_B T_m$ alors E diminue.

Lorsque on chauffe le cristal les pièges sont vidés, alors les électrons sont libérés dans le cristal et se recombinent. L'énergie dégagée lors de ces recombinaisons est libérée par le cristal sous forme d'un photon.

IV.4 .2.Préchauffage a 144°C

IV.4 .2.1. Vidage thermique

Ces échantillons ont été recuits initialement dans un four à 400°C pendant 1 heure, suivi par un refroidissement rapide jusqu'à la température ambiante pour vider l'ensemble des piégés.

IV.4 .2.2. Chauffage à 144°C avant l'irradiation

L'irradiation a été effectuée par un irradiateur Studsvik contenant une source de rayons bêta (1,2 Gy/ min par exposition).

➤ Procédure

Les échantillons ^7LiF discutés sont chauffés dans un four à 144°C et soumis à différentes doses après le chauffage. Les données expérimentales obtenues à travers ce travail ont été effectuées selon le protocole suivant:

Etape 1: Lecture TL jusqu'à 350°C à 2°C/s pour obtenir une lecture de la dose zéro.

Etape 2: Irradiation de l'échantillon à 30 Sec.

Etape 3: Lecture TL jusqu'à 350°C à une vitesse de chauffe 2°C/s.

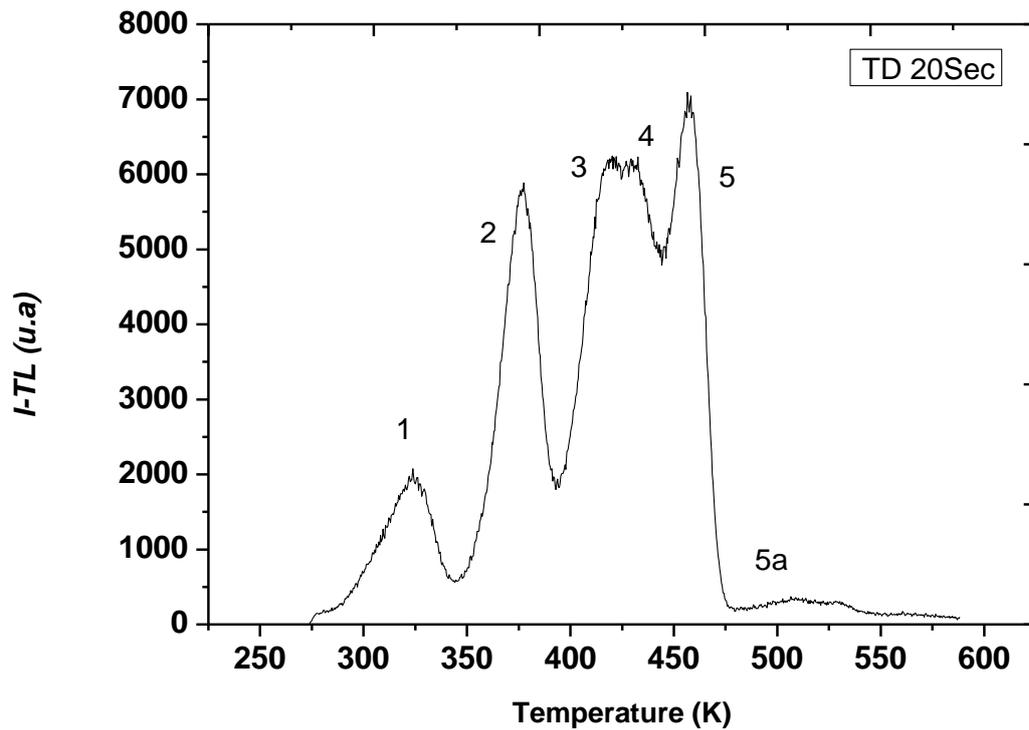


Figure IV.10 : Les courbes I-TL du ${}^7\text{LiF}$ recuit à $T=144^\circ\text{C}$ pendant 20 Sec.

Ce courbe représente l'évolution de l'intensité thermoluminescence (I-TL) du ${}^7\text{LiF}$ recuit à $T=144^\circ\text{C}$ pendant 20 Sec en fonction la température (k).

Nous voyons que la courbe comporte 6 pics isolés (1, 2, 3, 4, 5 et 5a), tels que l'intensité du pic (1) est petite par rapport aux pics (2 et 3), le pic 4 a la plus grande valeur de I-TL, puis on remarque que les deux derniers pics (5, 5a) ont la plus petite valeur.

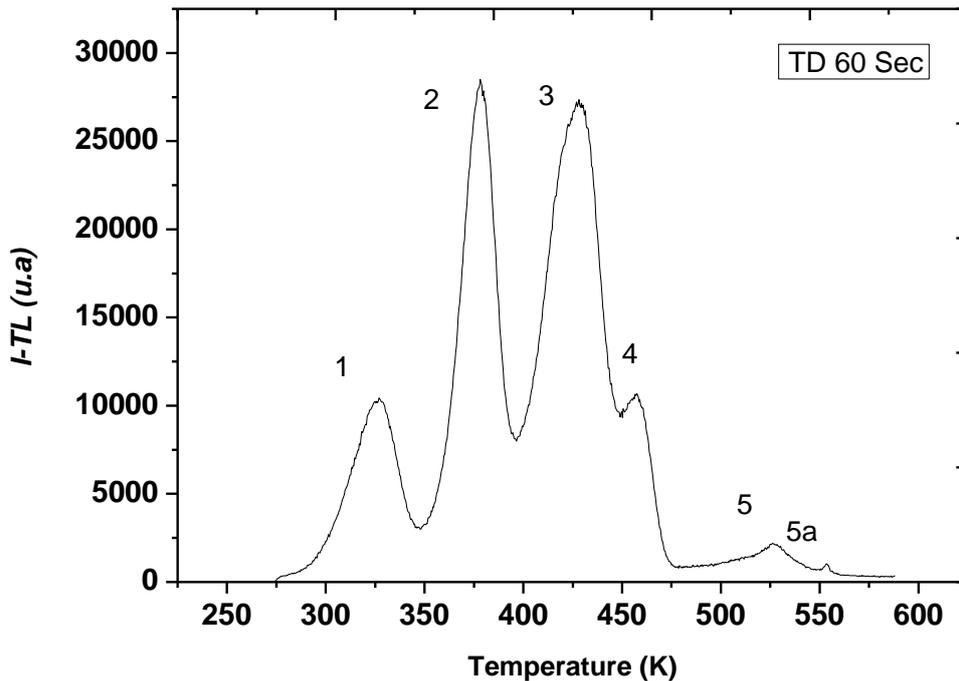


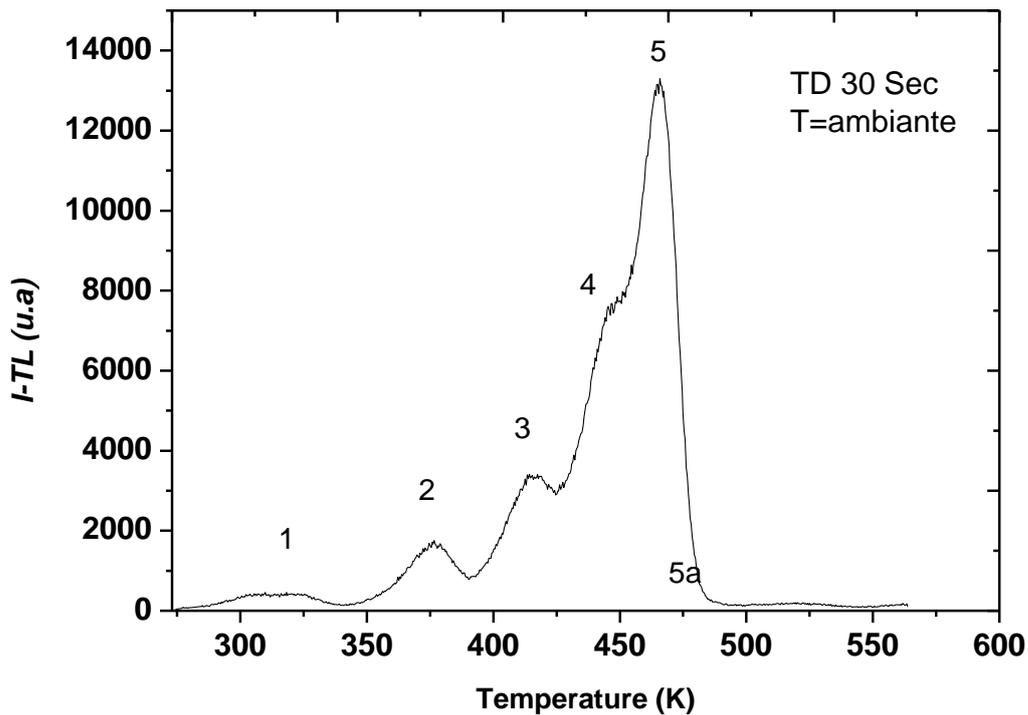
Figure IV.11 : Les courbes I-TL du ^7LiF recuit à $T=144^\circ\text{C}$ pendant 60 Sec.

Ce courbe représente l'évolution de l'intensité thermoluminescence (I-TL) du ^7LiF recuit à $T=144^\circ\text{C}$ pendant 60 Sec en fonction la température (k).

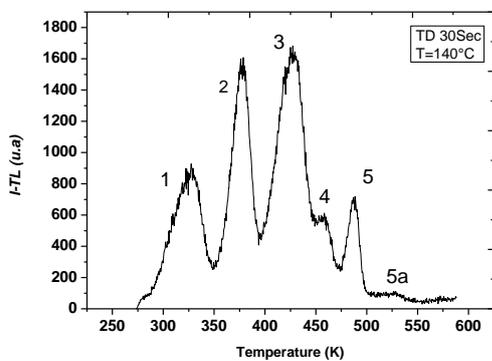
Nous voyons que la courbe comporte 6 pics isolés (1, 2, 3,4 ,5 et 5a), tels que l'intensité du pic (1) est petite par rapport aux pics (2 et3), le pic 2 a la plus grande valeur de I-TL, puis on remarque que les trois derniers pics (4, 5,5a) ont la plus petite valeur de I-TL.

IV.4 .3.Comparaison de préchauffage a 140°C - 150°C a test dose 30 Sec

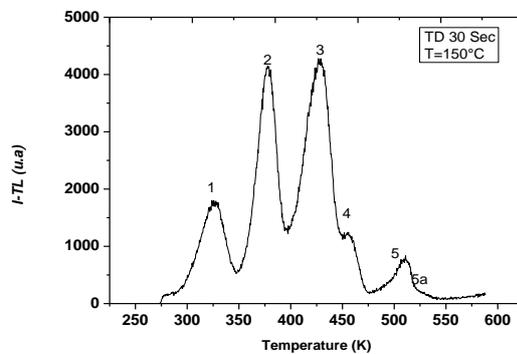
Ces courbes représentent l'évolution de l'intensité thermoluminescence (I-TL) du ^7LiF à température ambiante et recuit à $T=140^\circ\text{C}$ et $T=150^\circ\text{C}$ après irradiation par bêta pendant 30 Sec en fonction de la température (k). Nous voyons que la courbe comporte 6 pics isolés (1, 2, 3,4 ,5 et 5a). la différence entre les trois courbes c'est l'intensité TL, tel que l'intensité des pics (1,2 et 3) quand $T=140^\circ\text{C}$ est plus grande que les intensité du pic (1 ,2 et 3) quand $T= 150^\circ\text{C}$ et à température ambiante , l'intensité des pics (4 et 5) quand $T=140^\circ\text{C}$ et $T= 150^\circ\text{C}$ sont plus petites que l'intensité des pic (4et 5) à température ambiante , pour l'intensité du pic 5a quand $T=140^\circ\text{C}$ est plus grande que les intensité du pic 5a quand $T= 150^\circ\text{C}$ et à température ambiante



(a)



(b)



(c)

Figure IV.13 : Les courbes I-TL du ^7LiF recuit à :

(a) TD=30s T=ambiante

(b) TD=30s T=140°C

(c) TD=30s T=150°C

IV.5. Chauffage après l'irradiation

IV.5.1. Vidage thermique

Ces échantillons ont été recuits initialement dans un four à 400°C pendant 1 heure, suivi par un refroidissement rapide jusqu' à la température ambiante pour vider l'ensemble des piégés.

IV.5.2. Irradiation

L'irradiation a été effectuée par un irradiateur Studsvik contenant une source de rayons bêta (1,2 Gy/ min par exposition).

IV.5.3. Chauffage à différents température (130-200°C)

➤ Procédure

Tous les échantillons sont préalablement recuits à 400°C pour une durée d'une (1) heure. La donnée expérimentale obtenue à travers ce travail a été effectué selon le protocole suivant :

Etape 1: Dose de 20S et TL jusqu'à 350 ° C.

Etape 2: Comme étape 1 exactement.

Etape 3: Test dose 20S.

Etape 4: TL; à la température T_i de préchauffage.

$T_i = (130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200)$.

Etape 5: Refroidir à la température ambiante.

Etape 6: TL à 350 ° C pour obtenir le résiduel.

Etape 7: Répétez l'étape 3 à 5 pour nouvelle T_i .

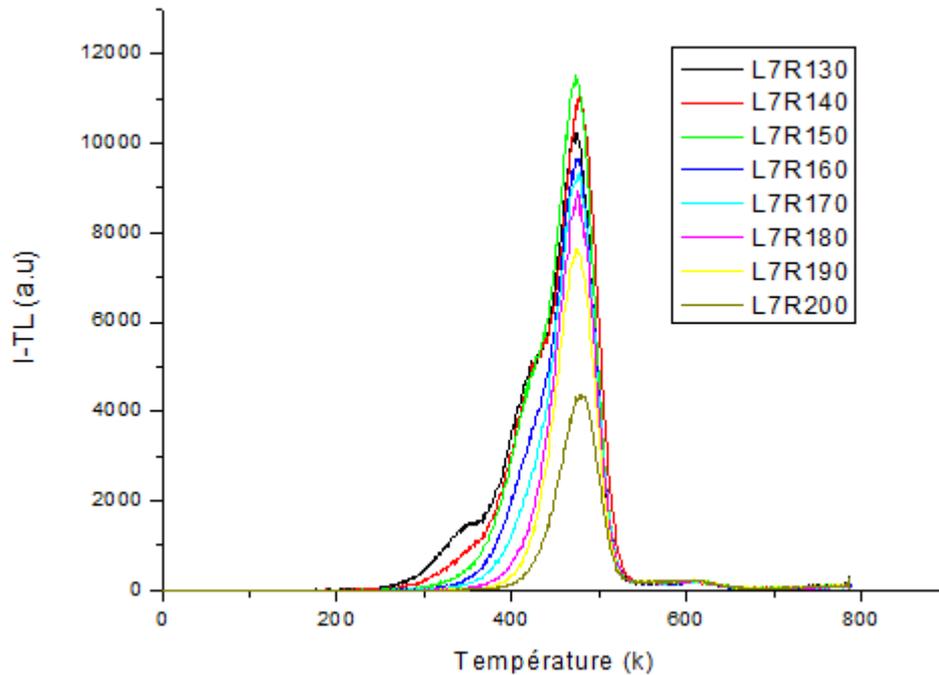


Figure IV.14 : Traitement thermique pour différentes températures de chauffage.

Ces courbes représentent les intensités I-TL du ${}^7\text{LiF}$ pour différentes températures de chauffage, nous remarquons que les pics 1 et 2 ont été supprimés tandis que les intensités des pics 3, 4 et 5 diminuent lorsque la température augmente à 200°C .

IV.5 .1.3. Analyse des résultats expérimentaux

Les pics TL des courbes expérimentales obtenus à l'aide du protocole ci-dessus illustrées dans la figure IV .14, sont analysés par le programme de CGCD (computerized glow-curves déconvolution) Afouxenidis et al [43].

L'analyse de la courbe de LiF: Mg, Ti à la température de chauffage 140°C est représentée dans la figure IV .15. nous a permis d'extraire Les valeurs des paramètres d'ajustement : E, T_m , b et s qui sont présentés dans les Tableaux (IV.2- IV.4) ci-dessous des trois pics TL (3, 4, 5). Avec s représente Le facteur de fréquence s est évalué par la condition de maximum en utilisant l'équation suivante :

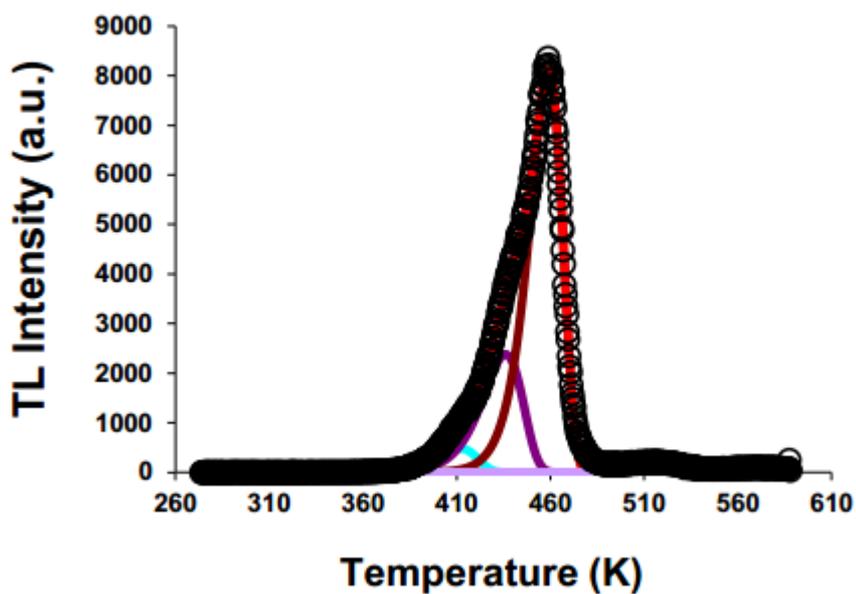


Figure IV.15. CGCD des courbes de lueur TL pour LiF (à 5%) à température de Préchauffage de 140 °.

Pic 3 TLD 700

T	130	140	150	160	170	180	190	200
T_m	434	430	430	417	420	414	414	414
b	1.0000 1	1.00001	1,000000 01	1,000000 01	1.2	1.000000 1	1.2	1.1
E_m	0.9	0.8	0.9	1.8	3	0.9	0.8	1.5
s	3.1368 E+09	2,3907E+ 08	3,9972E+ 09	1,3676E+ 21	3,9266E+ 35	1,1025E+ 10	5,8366E+ 08	3,6853E+ 17
Pics intégral	34167.3 1315	37464,67 54	33568,838 72	5993,2688 48	0,3695586 34	10397,049 89	12759,912 66	6719,9376 15

Tableau IV.2. Paramètres de piégeage du pic 3 du TLD 700

Pic 4 TLD 700								
T	130	140	150	160	170	180	190	200
T _m	436	440	436	440	422	435	440	432
b	1.0001	1,000000 001	1,000000 01	1,000000 001	1.1	1.8	1.1	1.00001
E _m	2.2	1.5	2	1.4	1	1.6	0.8	1.4
s	7.24731 +24	2,7327E+1 6	3,2127E+ 22	1,8246E+1 5	1,1349E+ 11	6,7456E+ 17	1,3847E+ 08	3,7504E+ 15
Pics intégral	68581.27 67	194735,14 93	118179,9 738	154079,60 65	35909,59 798	6893,976 233	13403,40 535	743,2592 462

Tableau IV.3. Paramètres de piégeage du pic 4 du TLD 700

Pic 5 TLD 700								
T	130	140	150	160	170	180	190	200
T _m	462	463.5	462	463	463	463	464	465
b	1.00001	1.2	1.08	1.2	1.1	1.2	1.2	1.08
E _m	1.7	2.35	2	2.6	2	2.25	2.35	2.2
s	6.4892E +17	9,0149E+ 24	1,4260E+ 21	5,6112E+ 27	1,2728E+ 21	7,5151E+ 23	8,4428E+ 24	1,6480E+ 23
Pics intégral	6829.9505	582548,7 414	673411,1 641	482508,5 397	543664,3 414	491159,8 489	399038,2 337	232311,2 739

Tableau IV.4. Paramètres de piégeage du pic 5 du TLD 700

Pic 5a TLD 700								
T	130	140	150	160	170	180	190	200
T _m	440	482	482	482	480	481.5	482	480
B	1.01	1.2	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.04
E _m	2.6	2	2.8	2.4	0.5	2.8	3	3
S	1,8848E+ 29	1,6209E+ 20	5,2725E+ 28	2,9655E+ 24	8,6695E+ 03	5,6667E+ 28	6,9732E+ 30	9,5426E+ 30
Pics intégral	4687,719 912	2,254272 01	124,4105 754	1657,849 807	12,17053 612	131,9128 707	1,083865 593	1326,891 818

Tableau IV.5 : Paramètres de piégeage du pic 5a du TLD 700

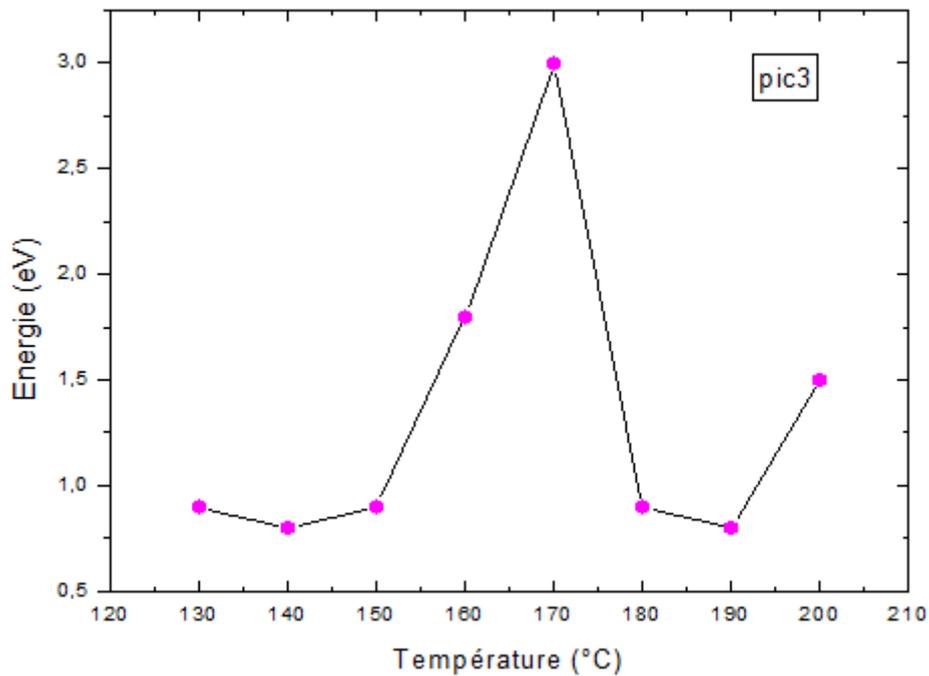


Figure IV.16 : L'énergie E_m (eV) du pic 3 en fonction de la température de préchauffage

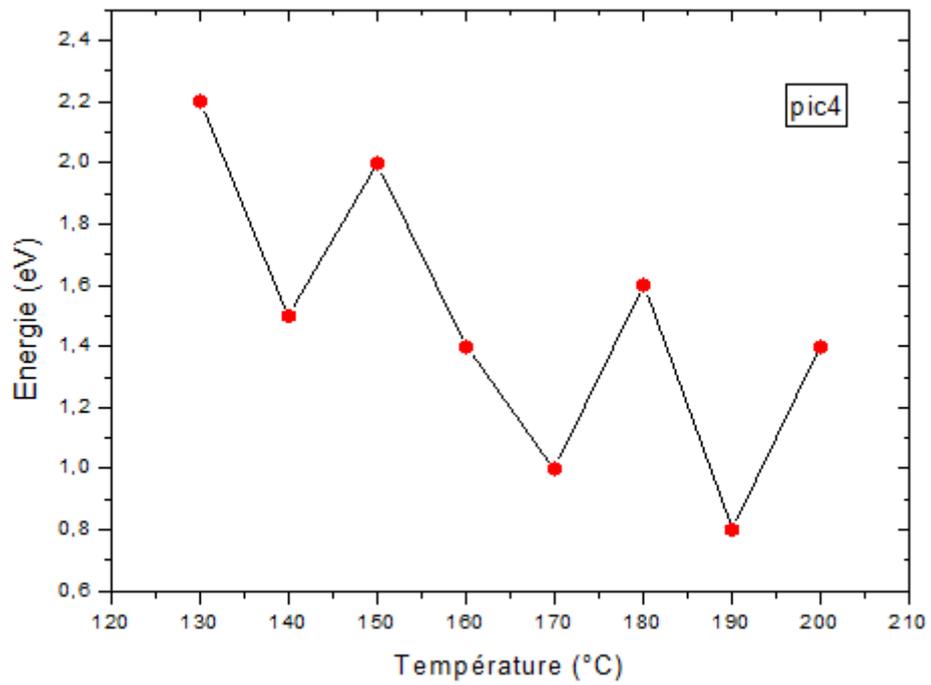


Figure IV.17 : L'énergie E_m (eV) du pic 4 en fonction de la température de préchauffage

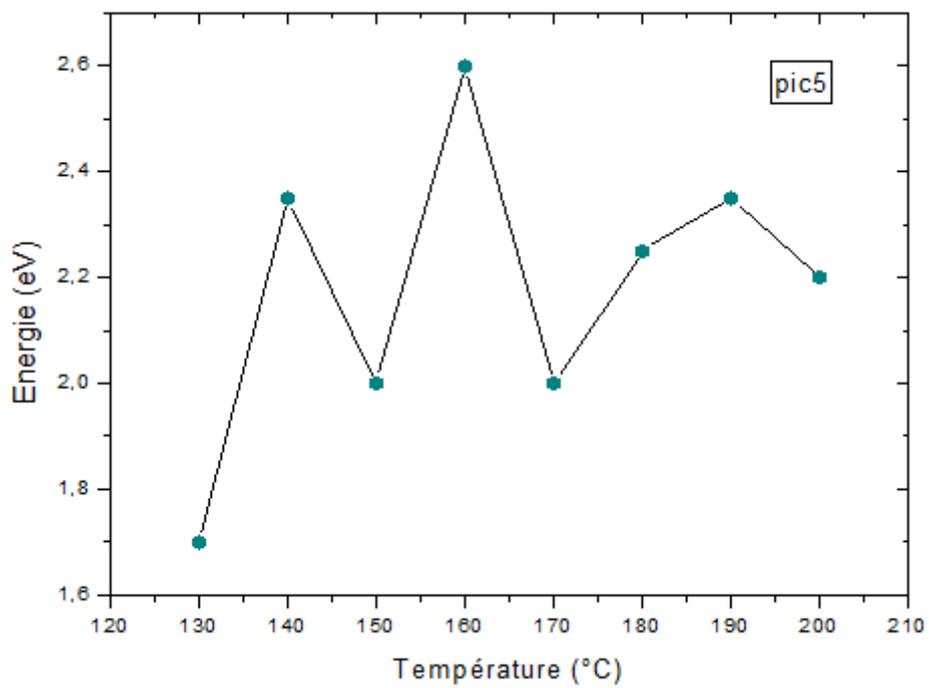


Figure IV.18 : L'énergie E_m (eV) du pic 5 en fonction de la température de préchauffage

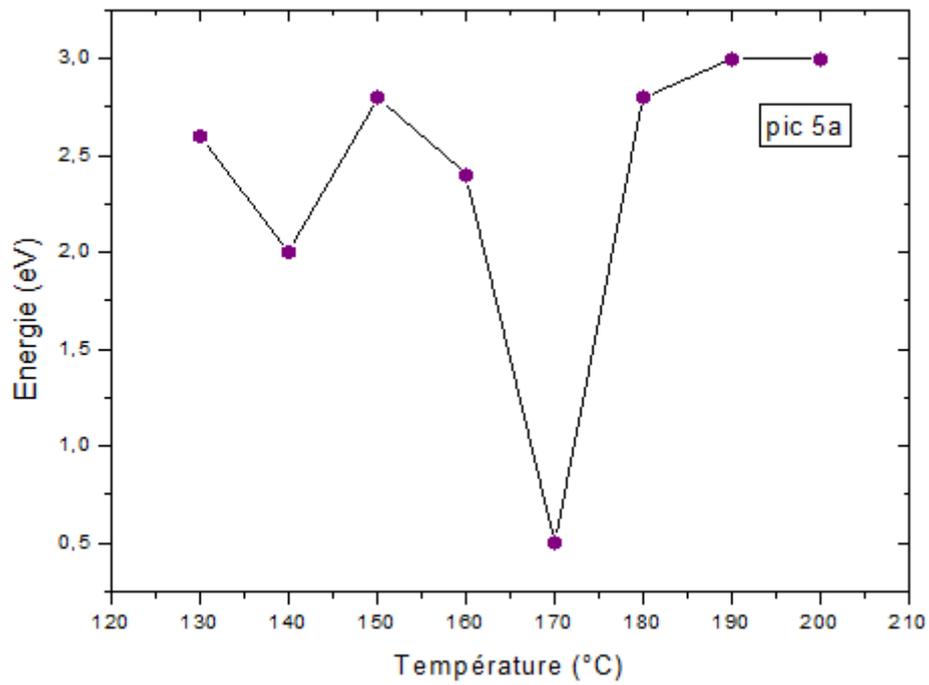


Figure IV.19 : L'énergie E_m (eV) du pic 5a en fonction de la température de préchauffage

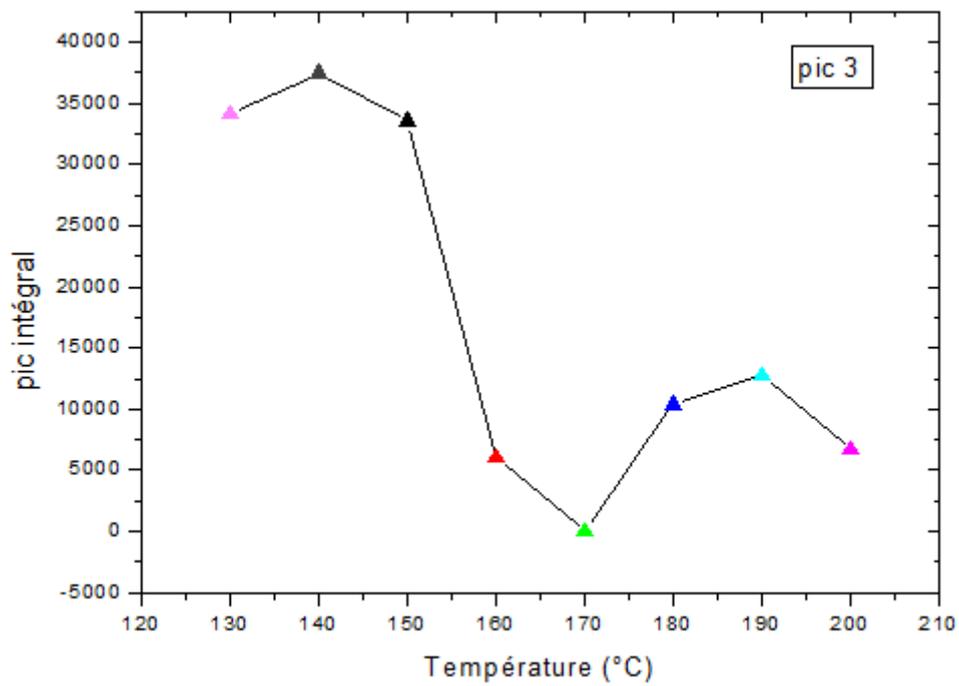


Figure IV.20 : le pic intégral du pic 3 en fonction de la température de préchauffage

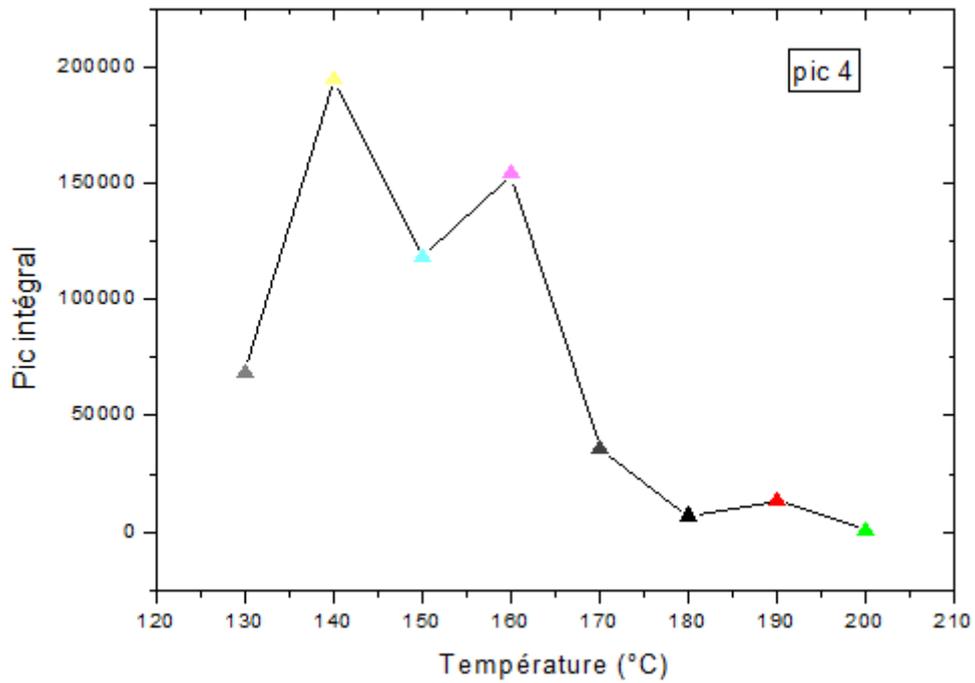


Figure IV.21 : le pic intégral du pic 4 en fonction de la température de préchauffage

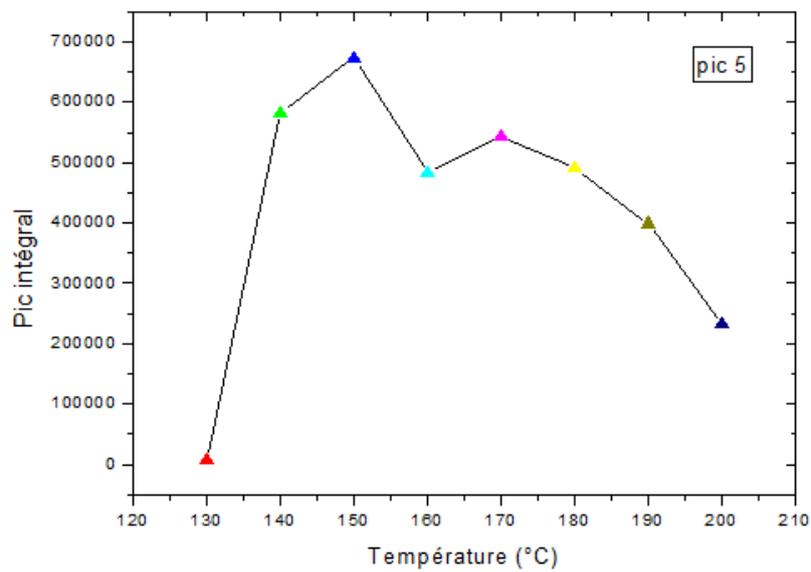


Figure IV.22 : le pic intégral du pic 5 en fonction de la température de préchauffage

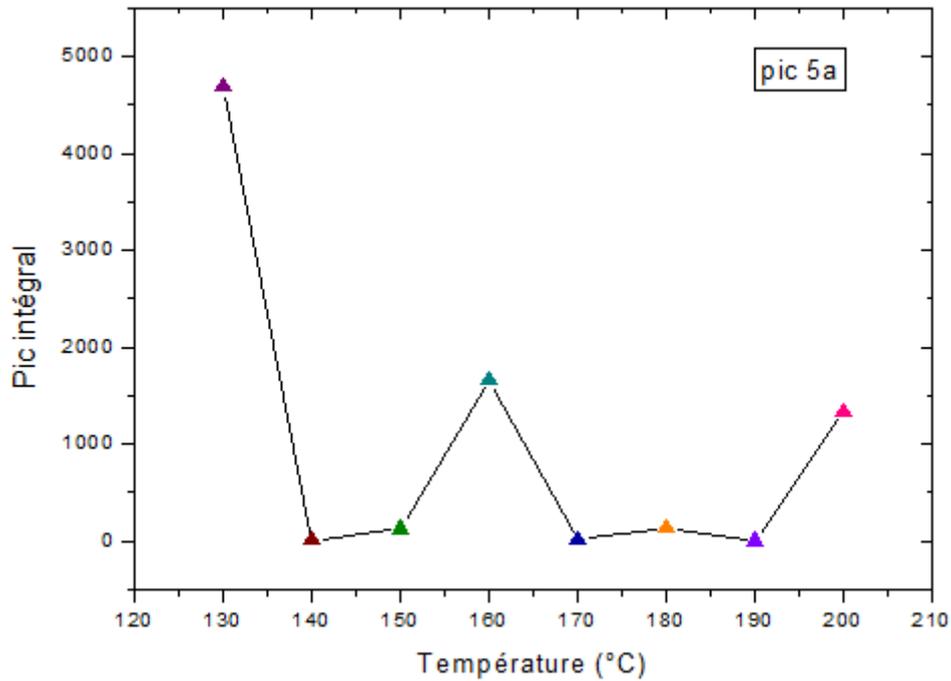


Figure IV.23 : le pic intégral du pic 5a en fonction de la température de préchauffage

IV.5.2. Chauffage avec Lecture TL

IV.5 .2.1. Chauffage

Ces échantillons ont été recuits initialement dans un four à 400°C pendant 1 heure, suivi par un refroidissement rapide jusqu'à la température ambiante pour vider l'ensemble des piègés.

IV.5 .2.2. Irradiation

L'irradiation a été effectuée par un irradiateur Studsvik contenant une source de rayons bêta (1,2 Gy/ min par exposition).

IV.5 .2.3. Lecture TL à différent température

➤ Procédure

Tous les échantillons sont préalablement recuits à 400°C pour une durée d'une (1) heure. La donnée expérimentale obtenue à travers ce travail a été effectué selon le protocole suivant

Etape 1:Dose de 20S et TL jusqu'à 350 ° C.

Etape 2: Comme étape 1 exactement.

Etape 3: Test dose 20S.

Etape 4: TL; à la température T_i de préchauffage.

$T_i = (130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200)$.

Etape 5: Refroidir à la température ambiante.

Etape 6: TL à 350 ° C pour obtenir le résiduel.

Etape 7: Répétez l'étape 3 à 5 pour nouvelle T_i .

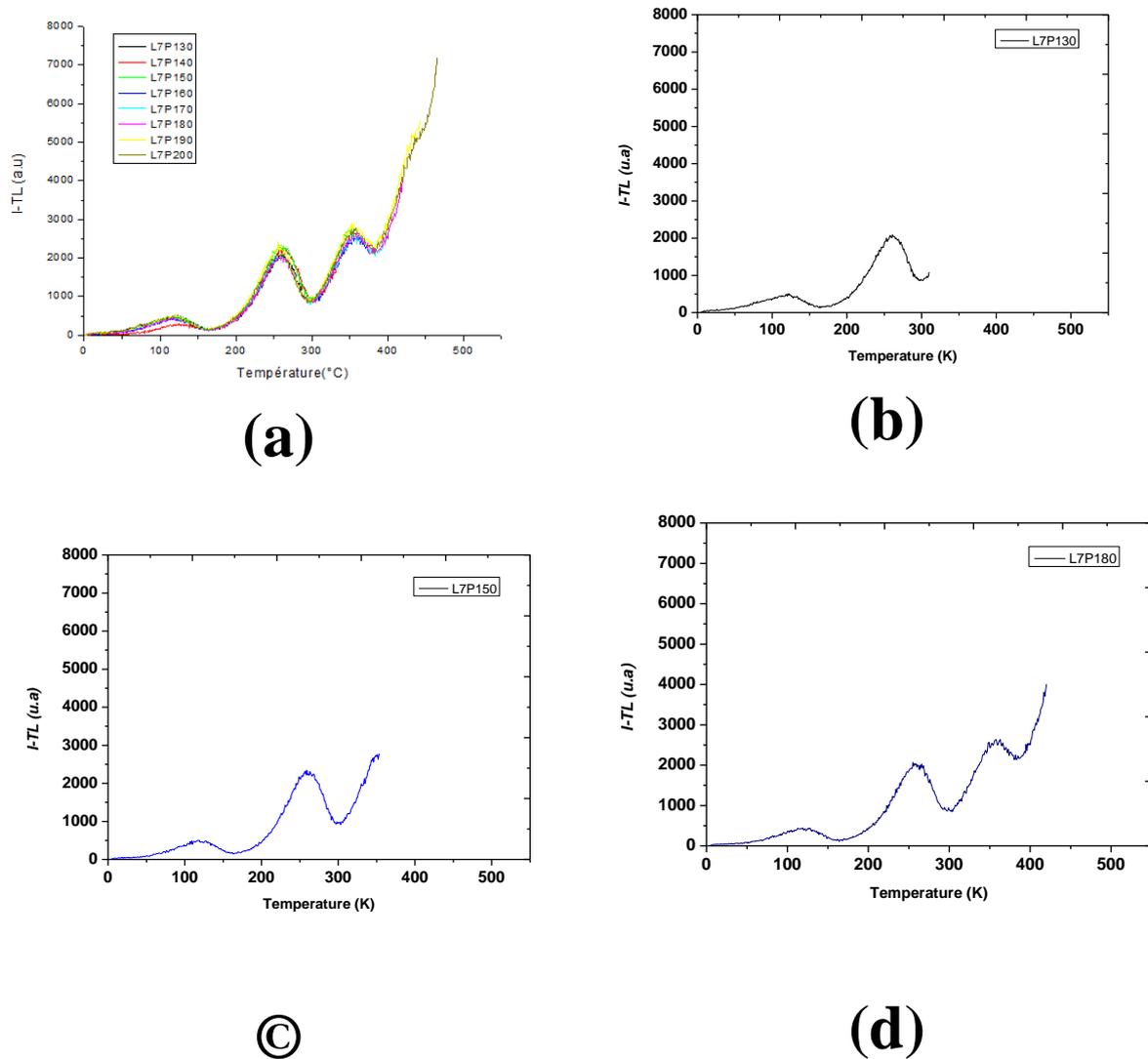


Figure IV.18 : Traitement thermique pour différentes températures de chauffage :

(a) différentes températures (130-200°C)

(b) a une température 130°C

(c) a une température 150°C

(d) a une température 180°C

Vue la température du chauffage on de la lecture TL, nous remarquons :

- Conservation de la même allure.
- l'isolation des pic expérimentalement
- L'intensité des pics I-TL constante lorsque la température augmente à 200°C

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à l'étude de l'effet du temps d'irradiation bêta et la température sur les intensités I-TL du matériau LiF(700).

De but de connaître l'effet de la dose après chauffage du matériau, nous avons chauffé le LiF 700 à 150°C et 144°C puis on l'irradie par des rayons bêta (1,2 Gy/ min par exposition) pendant 5 Sec, 30Sec , 20 Sec et 60 Sec

Cette étude nous permet de trouver les résultats suivants:

- Pour les pics TL (1, 2,3, 5) tant que le temps d'irradiation augmente l'intensité augmente et la position de T_m se déplace vers la gauche (diminue), et puisque $E = k_B T_m$ alors E diminue.
- En ce qui concerne les pics TL (4) tant que le temps d'irradiation augmente l'intensité diminue et la position de T_m se déplace vers la gauche (diminue) et puisque $E = k_B T_m$ alors E diminue.

Nous avons fait une comparaison de préchauffage à 140°C- 150°C à test dose 30 Sec , a partir de cette comparaison on a trouvé que l'intensité des pics (1,2 et 3) quand T=140 °C est plus grande que les intensité du pic (1 ,2 et 3) quand T= 150°C et à température ambiante , l'intensité des pics (4 et 5) quand T=140 °C et T= 150°C sont plus petites que l'intensité des pic (4et 5) à température ambiante, pour l'intensité du pic 5a quand T=140 °C est plus grande que les intensité du pic 5a quand T= 150°C et à température ambiante .

On a trouvé pour le Chauffage à différentes températures (130-200°C) après l'irradiation que les pics 1 et 2 ont été supprimés tan disque les 'intensités des pics 3,4 et 5 diminuent lorsque la température augmente à 200 ° C.

D'après cette étude on a conclue que le temps d'irradiation bêta et la température influent sur les intensités I-TL du matériau LiF(700), donc on peut suggère que l'ordre cinétique a un effet sur l'intensité I-TL.

- [1] O.JAMBOIS, Élaboration et étude de la structure et des mécanismes de luminescence de nano cristaux de silicium de taille contrôlée. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, (2005)
- [2] J. T. Randall, M. H. F. Wilkins, J. Proc. R. Soc. a. 184 (1945) 366-407.
- [3] G. F. J. Garlick, A. F Gibson, Proc. Phys(1948), Vol.60, pp. 574-590.
- [4] C. E. May, J. A. Partridge, **Thermoluminescence in solids and applications**, J. Chem. Phys. 40 (1964) 1401-1409
- [5] Guirec querré et Elisa porto, laboratoire de recherches des musées de France, TL et datation, 2009.
- [6] A. Petit fils, **Propriétés thermoluminescentes du diamant cvd. Applications à la dosimétrie des rayonnements ionisants**. Thèse de doctorat, Université Toulouse III - Paul Sabatier, (2007)
- [7] Curie, **Luminescence in crystals**, Methuen, London (1960).
- [8] Christian de Duve: «Construire une cellule Essai sur la nature et l'origine de la vie» Inter Editions de Boeck-Wesmael, S.A (1990).
- [9] Fatima Zohra MANSOURI, Lamia DAOUDI. Interaction microscopique diode et transistor, Centre régional des métiers de l'éducation et de formation 2014,2015.
- [10] R. Chen, S. W. S. McKeever, Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena, World Scientific, Singapore, (1997), pp. 465.
- [11] G. Kitis, Gomes-Ros, J. M. & Tuyn, J. W. N. J. Phys. D: Appl. Phys(1998), Vol. 31, pp.2636–2641.
- [12] C. Bassinet, **datation par luminescence : recherches méthodologiques et applications au volcanisme dans l'environnement de las champ**. Thèse de doctorat, Université blaise pascal, (2007).

- [13] Y. Ould Salem, **Etude expérimentale et modélisation Monte Carlo des grandeurs opérationnelles en métrologie des rayonnements ionisants : application à la dosimétrie neutrons par radio photoluminescence** .Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, (2014).
- [14] E.B. Podolsk .Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students (2005). Vienna: Technical Editor, IAEA .
- [15] O. ROY. Etude de la lu mince stimulée optiquement (OSL) pour la détection de rayonnements : application à un capteur à fibre optique de rayonnement. (1998) RAPPORT CEA-R-5806.
- [16] J. Nénot, J. Brenot, D. Laurier, A. Rannou et D. Thierry. Publication 103 de l'ICRP. Recommandations de la commission internationale de protection radiologique(2007).
- [17] Commission canadienne Canadian Nuclear de sûreté nucléaire Safety Commission
- [18] C. Jimonet et H. Métivier. Personne compétente en radioprotection Principes de radioprotection– réglementation(2007), EDP Sciences
- [19] F. Wrobel, M. Benabdesselam, P. Iacconi, F. Mady , Kerma rate effects on thermoluminescent response of CVD diamond Radiation Protection Dosimetry(2006) Vol.119, No. 4, pp.115-118.
- [20] S.W.S. McKeever .**Thermoluminescence of solids**,Cambridge University Press, Cambridge, England . (1985),
- [21] Les applications thérapeutiques de la radioactivité Roland HUSTINX (2018).
- [22] CH. MURITH, W. ZELLER, M. HAMMANS, A. ZELLER .Réexamen de la justification du tritium dans l'industrie horlogère(2006).
- [2 3] C .Hubert. Le Journal De Physique(1963). Vol 24, P. 543
- [2 4] T. Jalowy, R. Neugebauer, M. Hattass, J. Fiol, F. Afaneh, J. A. M. Pereira, V. Collado, E. F. da Silveira, H.Schmidt-Böcking and K. O. Groeneveld, Nucl. Instr. Meth. B193 (2002) .pp.762-767.
- [2 5] S. Boudjadar, **Etude de la pulvérisation induite par des ions lourds multichargés**, Thèse Doctorat, Université Mentouri Constantine, (2005).
- [2 6] B. Tatah, **Etude et élaboration d'un dosimètre base sur l'émission exoélectronique thermostimulée du Fluorure de Lithium**. Thèse Doctorat, l'Institut National Polytechnique de Grenoble, (1982).

- [2 7] BS. Nakonechnyi, T. Kärner, A. Lushchik, C. Lushchik, V. Babin, E. Feldbach, I. Kudryavtseva, P. Liblik, L. Pung & E. Vasil'chenko, J. Phys. Condens. Matter 18(2006) ,pp .379.
- [2 8] J. R. Kaufman, N. J. Dover & C. D. Clark. Proc. Intern. Conf. on Crystal Lattice Defects, Kyoto, (1962), Vol. 2, pp.357.
- [2 9] F. Seitz . Rev. Mod. Physics(1954) .Vol. 26, No7.
- [30] F. Seitz, Rev. Mcd. Phys. (1946).Vol18, pp.384.
- [31] J. H. O. Varley, Nature. (1954) .Vol 174, pp.856.
- [32] J. H. O. Varley, J. Nuclear Energy.(1954).vol 1, pp.130.
- [33] R. E. Howard, S. Vosko & R. Smoluchowski.Phys. Rev (1961), Vol122, pp.1406.
- [34] J. Sharma & R. Smoluchowski, Bull. Amer. Phys. Soc (1962), Vol7, pp.178.
- [35] D. A. Wiegand & R. Smoluchowski, Phys. Rev (1959), Vol 116, pp.1069.
- [36] Caster, P. Pringsheim & P. H. Yuster, Phys. Rev(1950), Vol 18,pp. 887
- [37] B. Yang, Q. Lu, S. Wang, P. D. Townsend. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (2005) Vol .239,pp .171–178 .
- [38] T. Nakajima, Y. Murayama, T. Matsuzawa, A. Koyano. Nucl. Instr. and Meth(1978).pp.155-157 .
- [39] G. Porta. Brevet Français(1971) .n°7103757.BF.2 123 889, 1.3.72.
- [40] J. R. Cameron, N. Suntharalingham & G. N. Kenney .Thermoluminescent Dosimetry (1968) , University of Wisconsin Press, Madison.
- [41] F. Daniels. Luminescence Dosimetry USA EC Conf (1967) .Vol .34,pp. 650 -637.
- [42] J.H. Shulhan, Luminescence Dosimetry USAEC Corf (1967). Vol .3 ,pp .650 -637.
- [43] D. Afouxenidis, G. S. Polymeris, N. C. Tsirliganis & G. Kitis. Radiation Protection Dosimetry (2012), Vol. 149, No. 4, pp. 363–370

