

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Saad Dahleb Blida 1



Faculté des sciences
Département de physique

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master en Physique

Option : **Physique des Matériaux**

Thème :

**Spectroscopie de positron dans le CR39 irradié par des
particules alpha.**

Présenté par :

Ratbi Fatma Zohra

Soutenu le 29 / 09 / 2019 devant le jury composé de :

Mr. Mouzali Aziz Maître de conférence B USDB 1 Président

Mr. Guittoum Abderrahim Maître de Recherche classe A CRNA Encadreur

Mr. Hemmous Messaoud Maître de recherche B CRNA Examineur

Blida 1-2018/2019-

Résumé

La spectroscopie d'annihilation du positron (PAS, Positron Annihilation Spectroscopy) est une technique nucléaire utilisée pour étudier les propriétés nanoscopiques des matériaux, elle est efficace pour détecter et caractériser les défauts dans les matériaux. En pratique, la source la plus utilisée pour la production des positrons est l'isotope ^{22}Na et avec plusieurs techniques, y compris celles qui nous intéressent dans ce travail de mémoire : la spectroscopie du temps de vie du positron (PALS, Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy) et la spectroscopie par élargissement Doppler (DBS, Doppler Broadening Spectroscopy) qui existent au laboratoire de Positron&Mössbauer du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger. Durant ce travail de mémoire, nous avons étudié le comportement du polymère CR 39 après irradiation par des particules alpha. L'utilisation combinée des deux techniques DBS et PALS a permis de mettre en évidence le changement du volume libre du CR39 et de quantifier sa taille nanométrique. La technique de spectroscopie de positron est une puissante méthode de caractérisation des défauts nanoscopiques.

Mots clés : spectroscopie d'annihilation de positron, PALS, DBS, irradiation, particules alpha, polymères, CR39.

Abstract

Positron annihilation spectroscopy (PAS) is a nuclear technique used to study the nanoscopic properties of materials. It is an effective tool for detecting and characterizing defects in materials. In practice, the most often radioactive isotope used for the production of positrons is ^{22}Na source. Using this isotope several techniques, including those which interest us in this research work : the positron lifetime spectroscopy (PALS, Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy) and the Doppler broadening spectroscopy (DBS, Doppler Broadening Spectroscopy) exist at Positron & Mössbauer of the Nuclear Research Center of Algiers (CRNA). During this work, we have studied the behavior of polymer CR 39 after irradiation with alpha particles. The combined use of two techniques DBS and PALS have demonstrate the possibility to detect and quantify the nanoscopic free volume existing in CR39. The positron spectroscopy technique is a powerful method for characterizing nanoscopic defects in CR39 polymer.

Keys words : positron annihilation spectroscopy, PALS, DBS, irradiation, alpha particles, polymers, CR39.

ملخص

التحليل الطيفي لإبادة البوزيترون (PAS, Positron Annihilation Spectroscopy) هو تقنية نووية تُستخدم لدراسة الخصائص النانوية للمواد ، وهي فعالة في الكشف عن العيوب في المواد وتوصيفها. في الممارسة العملية، فإن المصدر الأكثر استخدامًا لإنتاج البوزيترونات هو النظير ^{22}Na ومع العديد من التقنيات ، بما في ذلك تلك التي تهتمنا في عمل هذه المذكرة: التحليل الطيفي لوقت حياة البوزيترون (PALS, Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy) ومطيافية توسيع دوبلر (DBS, Doppler Broadening Spectroscopy) الموجودة في مختبر بوزيترون و موسباور في مركز البحث النووي للجزائر. أثناء عمل هذه المذكرة ، درسنا سلوك البوليمر CR 39 بعد التشعيع بجزيئات ألفا. إن الاستخدام المشترك للطريقتين DBS و PALS جعل من الممكن تسليط الضوء على التغير في الحجم الحر لـ CR39 وتحديد حجمها النانومترية. تقنية التحليل الطيفي للبوزيترون هي طريقة قوية لتمييز العيوب النانوية.

الكلمات المفتاحية: التحليل الطيفي لإبادة البوزيترون ، PALS ، DBS ، التشعيع ، جسيمات ألفا ، البوليمرات ، CR39.

Remerciements

Ce travail de mémoire a été réalisé au laboratoire de spectroscopie Mössbauer et Positron du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA).

En premier lieu, je remercie mon Dieu, le tout puissant, qui m'a donné le courage et la patience pour mener à terme ce présent travail. Dieu Merci.

Tout d'abord, je remercie le directeur général du centre de recherche nucléaire d'Alger (CRNA) pour m'avoir donné la chance d'accéder au CRNA et d'effectuer, dans de bonnes conditions, mon travail de mémoire.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à mon encadreur, Monsieur GUITTOUM Abderrahim, Maître de Recherche classe A au centre de Recherche Nucléaire d'Alger, pour m'avoir proposé ce sujet, pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire, pour sa disponibilité, son soutien et ses précieux conseils.

Je tiens à remercier Monsieur MOUZALI Aziz, Maître de conférences B à l'Université Saad Dahleb de Blida, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

J'adresse mes remerciements à Monsieur HEMMOUS Messaoud, Maître de recherche B au (CRNA), pour son encouragement et sa gentillesse et pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie Monsieur BENDJEDDA Nouredine, Ingénieur de laboratoire Niveau III au département physique des matériaux de la division de physique (CRNA), pour m'avoir initié à l'expérimentation en spectroscopie de positron.

Mes vifs remerciements vont à la doctorante au laboratoire Positron, Melle Saida Limame, pour son aide précieuse le long de mon travail de mémoire. Je lui ai reconnaissance pour m'avoir initié aux concepts de spectroscopie de positron, aux logiciels d'analyses des spectres DBS et lifetime et aussi pour ses explications concernant les modifications induites par irradiations dans le CR39.

Je ne saurais terminer, sans adresser mes vifs remerciements à mes chers parents et mes frères et à toutes les personnes qui me sont proches et qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À MES CHERS PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien, l'amour, l'éducation et les précieux conseils que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À MES CHERS FRÈRES

Lotfi, Fatah, Sidali, et Mohamed, que Dieu les protège.

À MON CHER GRAND PÈRE ET MES CHÈRES GRANDES MÈRES

que Dieu, le tout puissant, les allonge leur vie avec beaucoup de santé.

À MES CHERS ONCLES et TANTES,

surtout mon oncle Karim.

À MES CHÈRES COUSINES et COUSINS

qui sont pour moi comme mes sœurs et frères en particulier Rabua, Kheira, Hanane,

Hayet, Karima, Hasna, Hanaa, Ikram, Amira, Fouad, Aziz et Hassan.

À MES CHÈRES AMIES

Rofaida, Romaiissa, Farida, Fahima, Hassiba, Sendous, Nora, Ihsan, Zineb, Fedwa,

Khadidja, Dalila et Imene.

À tous les étudiants de notre promotion

et tous ceux qui me sont chers.

Sans oublier à tous mes professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

Nesrine Fatma Zohra

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur la spectroscopie d'annihilation du positron	
Introduction.....	3
I. 1. Positron.....	3
I. 2. Positronium.....	4
I. 3. Processus d'annihilation d'une paire électron-positron.....	5
I. 4. Différentes techniques classiques de spectroscopie d'annihilation du positron.....	7
I. 4. 1. Spectroscopie du temps de vie du positron.....	8
I. 4. 2. Spectroscopie d'élargissement Doppler (DBS).....	9
I. 4. 3. Technique de spectroscopie du faisceau de positron lent (The slow positron beam).....	10
I. 5. Etat de l'art sur l'utilisation de la PALS et la DBS pour la détermination des défauts induits après irradiation du détecteur de traces nucléaires CR39.....	11
Chapitre II : Dispositif d'irradiation et description des spectromètres du temps de vie du positron et d'élargissement Doppler	
Introduction.....	13
II. 1. Préparation de la source ^{22}Na	13
II. 2. Irradiation des échantillons CR39.....	14
II. 2. 1. Irradiation à différentes énergies des particules alpha.....	14
II. 2. 2. Irradiation pour différents temps.....	15
II. 3. Préparation des échantillons pour la spectroscopie de positron.....	16
II. 4. Description de la chaîne de spectroscopie du temps de vie du positron du centre de recherche nucléaire d'Alger.....	17
II. 4. 1. Détecteurs à scintillations rapides.....	18
II. 4. 2. Système électronique.....	21
II. 4. 3. Système d'acquisition des spectres : analyseur multi canal (MCA).....	23
II. 5. Description de la chaîne de spectroscopie d'élargissement Doppler du centre de recherche nucléaire d'Alger.....	23
II. 5. 1. Détecteur Germanium de haute pureté (High-Purity Germanium, HPGE).....	24
II. 5. 2. Système électronique.....	24
II. 5. 3. Système d'acquisition des spectres (MCA).....	25
Chapitre III : Expériences, résultats et interprétations	
III. A. Irradiation des échantillons CR39.....	26
III. A. 1. Irradiation par différentes énergies.....	26
III. A. 2. Irradiation par différents temps.....	28
III. B. Expériences de spectroscopie de positron sur les échantillons de CR39 irradiés.....	29
III. B. 1. Spectroscopie de positron par élargissement Doppler (DBS).....	29
III. B. 1. 1. Calibration du MCA avec le Césium (Cs).....	29
III. B. 1. 2. Le spectre DBS.....	30
III. B. 1. 3. Analyse des spectres DBS.....	31

Sommaire

III. B. 1. 3. 1. Analyse des spectres des échantillons CR39 irradiés pour différentes énergies.....	31
III. B. 1. 3. 2. Les résultats de l'analyse des spectres de la série du CR39 irradiée pour différents temps d'irradiations.....	34
III. B. 2. Spectroscopie de temps de vie du positron (PALS).....	36
III. B. 2. 1. Sélection des énergies START et STOP.....	36
III. B. 2. 2. La calibration du spectromètre du temps de vie du positron (la résolution temporelle).....	38
III. B. 2. 3. Analyse des spectres du temps de vie du positron.....	39
III. B. 2. 3. 1. Analyse du spectre de calibration : correction de la source.....	40
III. B. 2. 3. 2. Analyse des spectres du CR39 irradié pour différents temps d'irradiations.....	41
Conclusion générale	46
Références bibliographiques.....	48

Introduction générale

Introduction générale

L'étude des matériaux, quelque soit leur type (métal, semi-conducteur, polymère), est une chose très importante pour comprendre leur comportement et choisir leur domaine d'utilisation. De nos jours, les polymères sont les matériaux les plus utilisés pour des applications variées dans différentes branches de la science et de la technologie, déterminées par leurs propriétés et leur mise en forme, parmi ces polymères le poly allyle diglycole carbonate (CR39).

Le polymère CR39 est le détecteur le plus sensible et le plus utilisé pour l'enregistrement de traces des particules alpha à basse énergie [1]. Par conséquent, plusieurs études ont été menées pour déterminer les principaux facteurs qui affectent la sensibilité et les propriétés du polymère CR39 comme un détecteur de traces nucléaires. Le passage des particules alpha dans l'échantillon de CR39 provoque des endommagements (défauts). Le long de la trajectoire de la particule, une zone enrichie en radicaux libres et autres espèces chimiques sont créés. Cette zone de dommage est appelée trace latente [2, 3].

De nombreuses techniques sont consacrées à l'étude des propriétés du volume libre dans les matériaux, tels que la diffusion des rayons X à petit angle (SAXS), la microscopie électronique à transmission (TEM), la diffusion des neutrons aux petits angles (SANS) et la spectroscopie d'annihilation du positron (PALS et DBS).

La spectroscopie d'annihilation de positron de temps de vie (PALS) et d'élargissement Doppler (DBS) sont des techniques nucléaires non destructives de la matière. Elles peuvent être utilisées pour caractériser les défauts présents dans le matériau étudié ainsi que leur modification structurelle. Ces deux techniques consistent à détecter le rayonnement généré lors de l'annihilation des paires électron-positron dans un échantillon afin de déduire leurs propriétés nanoscopiques ainsi que les défauts induits par les irradiations. Deux caractéristiques d'annihilation de positons sont mesurées : le temps de vie des positons et l'élargissement Doppler du rayonnement d'annihilation (distribution de moments). Les résultats de la spectroscopie d'annihilation de positons obtenus fournissent des informations sur le type et la densité de défauts lacunaires, tels que les volumes libres et les pores, à l'échelle atomique. La spectroscopie d'annihilation de positons est une technique unique pour étudier le volume libre local dans un polymère [4].

Introduction générale

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet des irradiations alpha sur le changement de la microstructure des échantillons CR39. Pour cela, nous avons combiné les deux techniques PALS et DBS disponibles au laboratoire Positron&Mössbauer du centre de recherche nucléaire d'Alger.

Ce mémoire est composé d'une introduction générale, de trois chapitres et d'une conclusion générale.

Le premier chapitre a comme objectif de définir le positron et le positronium, et expliquer le processus d'annihilation de la paire électron-positron. Puis, il présente les différentes techniques de spectroscopie d'annihilation du positron à savoir: la mesure du temps de vie du positron (PALS), l'élargissement Doppler (DBS) ainsi que la technique de spectroscopie du faisceau de positron lent. Ce chapitre se termine par la définition du détecteur de traces nucléaires CR39 et l'état de l'art sur l'utilisation de la PALS et de la DBS dans l'étude du comportement du CR39 après irradiation par des particules alpha.

Le deuxième chapitre est consacré à la préparation de la source radioactive ^{22}Na et des échantillons pour la spectroscopie de positron. Il décrit le dispositif d'irradiation des échantillons CR39, aussi bien que le dispositif expérimental des deux techniques de spectromètre du temps de vie du positron (rapide-rapide) et d'élargissement Doppler utilisés dans ce travail.

Le troisième chapitre parle au début des conditions d'irradiations par deux types de sources produisant des particules alpha. Ensuite, il regroupe l'ensemble des résultats obtenus après analyse des spectres DBS et PALS des échantillons irradiés.

Enfin, le mémoire se termine par une conclusion générale qui englobe les principaux résultats de ce travail de recherche.

Chapitre I :
Généralités sur la spectroscopie
d'annihilation du positron

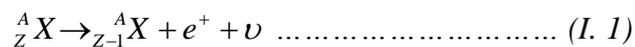
Introduction

La spectroscopie d'annihilation du positron est une technique nucléaire qui permet de caractériser les défauts dans les matériaux. Pour bien comprendre ce processus d'annihilation, nous allons présenter dans ce chapitre quelques notions générales. Commençons par la définition du positron et du positronium, ainsi que l'explication du processus d'annihilation de la paire électron-positron. Ensuite, nous allons discuter les différentes techniques classiques de spectroscopie d'annihilation du positron (spectroscopie d'annihilation du temps de vie du positron : PALS ; spectroscopie par l'effet Doppler, DBS), ainsi que la technique de spectroscopie du faisceau de positrons lents. Nous terminerons en dernier par définir le détecteur de traces nucléaires CR39 et donner un état de l'art sur l'utilisation de la PALS et la DBS dans l'étude du comportement du CR39 après irradiation par des particules alpha.

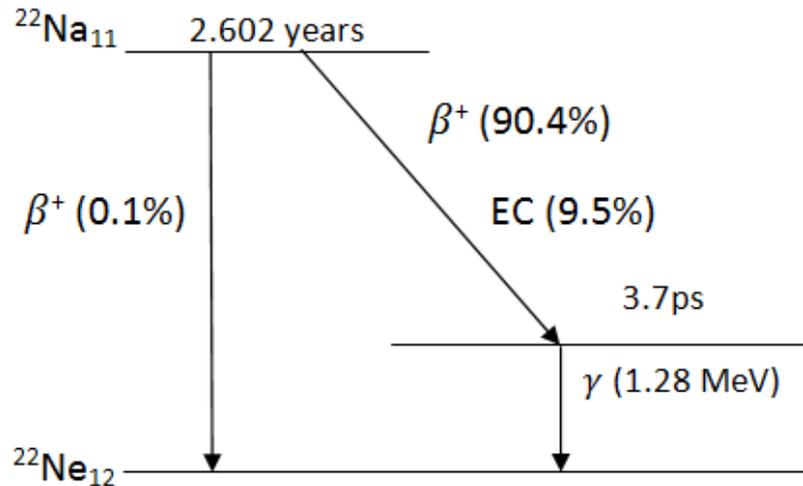
I.1. Positron

Positron ou positon, encore appelé antiélectron, a été prédit théoriquement par Paul Dirac en 1930, et découvert expérimentalement par Carl Anderson en 1932, grâce à une grande chambre à brouillard (chambre de Wilson) [5, 6]. Il est l'antiparticule de l'électron, qui lui est semblable en toutes ses caractéristiques, excepté pour la charge et le moment magnétique qui sont de signe opposé. Il était la première antiparticule observée.

Le positron dans le vide, est stable de durée de vie 4.2×10^{23} ans [7]. S'il ne circule pas dans le vide (dans la matière), il entre en interaction avec un électron et ils s'annihilent, conservent leur spin, quantité de mouvement, ainsi que leur énergie sous la forme de deux rayons gamma (γ). Le positron n'existe pas dans notre environnement, il peut être généré par une désintégration radioactive β^+ de certains isotopes d'éléments (^{64}Cu , ^{19}Ne , ^{58}Co , ^{22}Na) qui se résume sous la forme suivante :



Généralement, l'isotope le plus utilisé est le Sodium (^{22}Na) (figure I. 1) à cause de sa période de désintégration relativement longue ($T_{1/2} = 2,602$ ans) et sa facilité de mise en œuvre. La naissance du positron peut être connue par la détection du rayon gamma ($\gamma = 1.28$ MeV) qui est émis en même temps avec le positron.

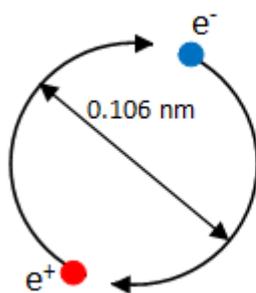


EC : Capture électronique

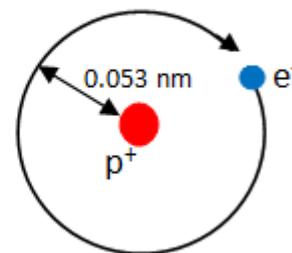
Figure I. 1. Schéma simplifié de la désintégration de la source ^{22}Na .

I. 2. Positronium

Le positronium (Ps) est un système quasi-stable formé d'un positron et un électron (figure I. 2. a). Ce système ressemble à l'atome d'hydrogène (figure I. 2. b), composé d'un électron et d'un proton, où le proton reste presque immobile, par contre, dans le positronium, l'électron et le positron possèdent la même vitesse donc ils sont en orbite autour de leur centre de masse fixe. Le positronium existe sous deux forme : para-positronium de spin= 0 ou ortho-positronium de spin= 0; ± 1 .



a) Atome de positronium



b) Atome d'hydrogène

Figure I. 2. Schéma représentatif de l'atome d'hydrogène et le positronium.

Les propriétés comparatives entre le positronium et l'atome d'hydrogène sont montrées dans le tableau suivant [8]:

Caractéristique	Positronium (Ps)	Hydrogène (H)
Masse au repos (MeV)	1.02	938.77
Masse réduite	$\frac{1}{2}.m_0$	m_0
Rayon de Bohr (Å°)	1.06	0.53
Charge	00	00
Potentiel d'ionisation	6.77	13.6
Vitesse thermique ($\text{cm.s}^{-1}.10^{-5}, 293\text{K}$)	67	2.2
Affinité électronique (eV)	0.2	0.75
Coefficient de diffusion ($\text{cm}^2.\text{s}^{-1}.10^5$)	30	4.5
Durée de vie intrinsèque (ns)	140 (0.125)	Stable
Mode d'annihilation	3γ (2γ)	/

Tableau I. 1. Propriétés comparatives de positronium et de l'hydrogène.

I. 3. Processus d'annihilation d'une paire électron-positron

Le positron émis de la désintégration de la source radioactive ^{22}Na , sera implanté dans la matière et entrera en interaction avec les noyaux et les électrons du milieu, où il perd une partie de son énergie maximale 541 keV (thermalisation). Ensuite, le positron sera diffusé, et puis, piégé lorsqu'il rencontre un électron dans un défaut (puis de potentiel), cette paire électron-positron se termine par une annihilation avec l'émission de deux photons gamma d'énergie 511 keV en directions opposées 180° (figure I. 3).

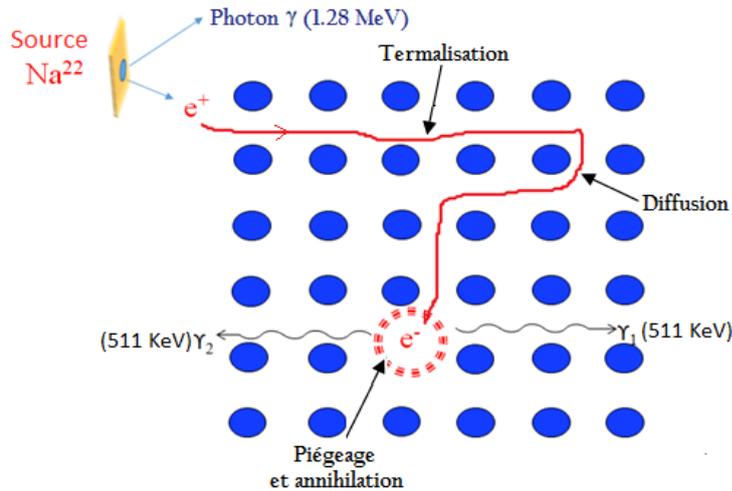


Figure I. 3. Représentation schématique de l'annihilation d'une paire $e^- - e^+$ liée.

Lorsqu'un positron (e^+) rencontre un électron (e^-), ils forment soit un état libre, soit un état lié [9] (Figure I.4) :

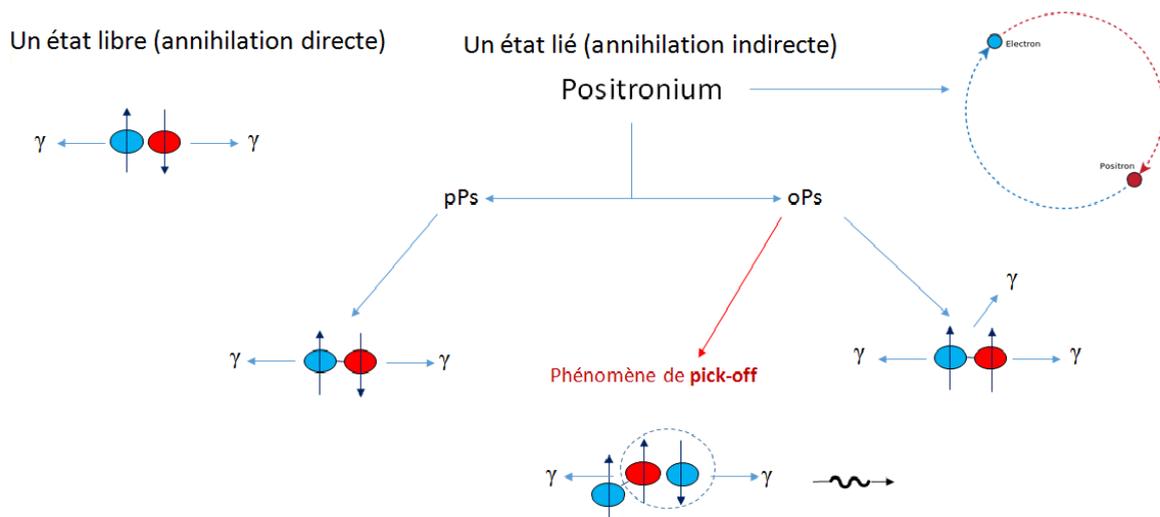


Figure I. 4. Représentation schématique des différents états de positron et leurs processus d'annihilation dans les polymères.

- **Etat libre (positron libre) :** le positron s'annihile directement avec un électron du matériau avec l'émission de deux photons gamma. La durée de vie est de 100 à 500 ps.
- **Etat lié (positronium) :** dans les milieux à faible densité électronique (gaz, vide primaire ou secondaire, matériaux poreux, polymère...), le positron bouge lentement, donc, il peut se lier avec un électron, forment un atome de type hydrogénoïde dit positronium. Ce positronium peut exister sous deux états de spin, état para ($S= 0$, singulet) ou état ortho ($S= \pm 1$, $S= 0$, triplet).

Dans le vide, l'état para-positronium (p-Ps) s'annihile en deux photons gamma (γ) d'énergie 511 KeV avec un temps de vie très court de 125 ps, cependant que l'ortho-positronium (o-Ps) s'annihile en trois photons gamma (γ) avec un temps de vie de 142 ns. Dans la matière, l'annihilation de l'état ortho-positronium s'effectue avec le processus « pick-off », donc le temps de vie est dépendant de la probabilité du phénomène « pick-off » et pour cela l'annihilation donne lieu à trois rayons gamma et un temps de vie τ supérieur à 500 ps [10, 11].

I. 4. Différentes techniques classiques de spectroscopie d'annihilation du positron

Il existe plusieurs techniques classiques de spectroscopie d'annihilation du positron pour étudier les défauts des matériaux (métal, semi-conducteur, polymère), et qui peuvent être classifiées en deux groupes à partir de la sensibilité des positrons à la densité électronique (spectroscopie d'annihilation du temps de vie du positron : PALS), et de la distribution du moment électronique (spectroscopie par effet Doppler : DBS et la spectroscopie de corrélation angulaire : ACAR). Dans ce qui suit, nous allons parler seulement des deux techniques PALS et DBS lesquelles nous avons utilisé durant ce travail de mémoire. Le principe des différentes techniques sont montrées sur la figure I. 5.

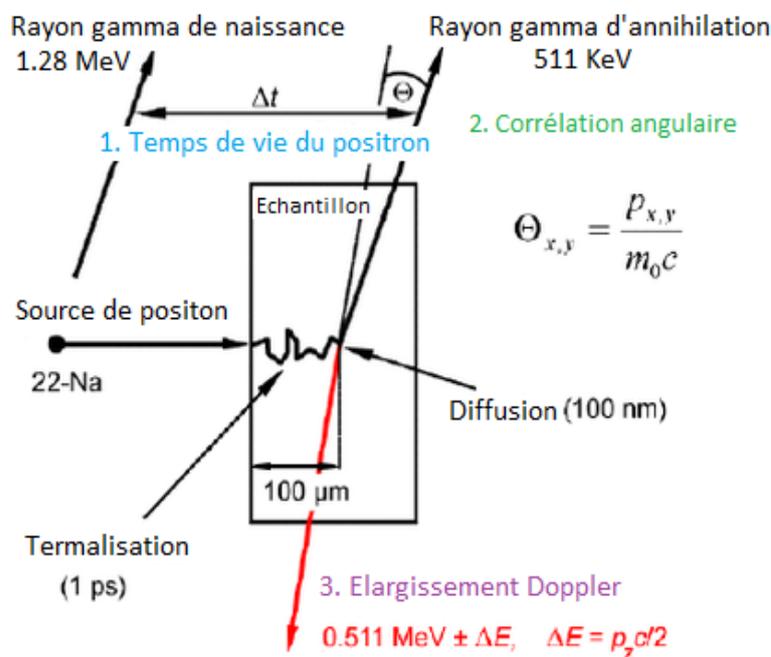


Figure I. 5. Principe général des différentes techniques d'annihilation du positron.

I. 4. 1. Spectroscopie du temps de vie du positron

La spectroscopie du temps de vie du positon (PALS, Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy) mesure la distribution des temps dans laquelle les positons injectés dans la matière disparaissent pour chaque état d'annihilation. En effet, le temps de vie du positron dépend de la densité électronique du site d'annihilation, comme il est inversement proportionnel au taux d'annihilation $\lambda_i = 1/\tau_i$ [12]. Cette technique permet de donner une information sur le type et la densité des défauts [13].

Le dispositif expérimental de la mesure du temps de vie du positron est montré sur la figure I. 6. Il comporte deux voies de détection : une voie Start qui permet de connaître la naissance des positons par la détection de l'émission des photons gamma de 1.28 MeV et une voie stop qui permet de connaître l'annihilation des positons par la détection de l'émission des photons gamma de 511 keV. La différence du temps pris entre la naissance et l'annihilation du positron est mesurée à l'aide de deux discriminateurs différentiels à fraction constante (CFDD), un convertisseur temps-amplitude (TAC) et une carte d'acquisition intégrée dans un micro-ordinateur.

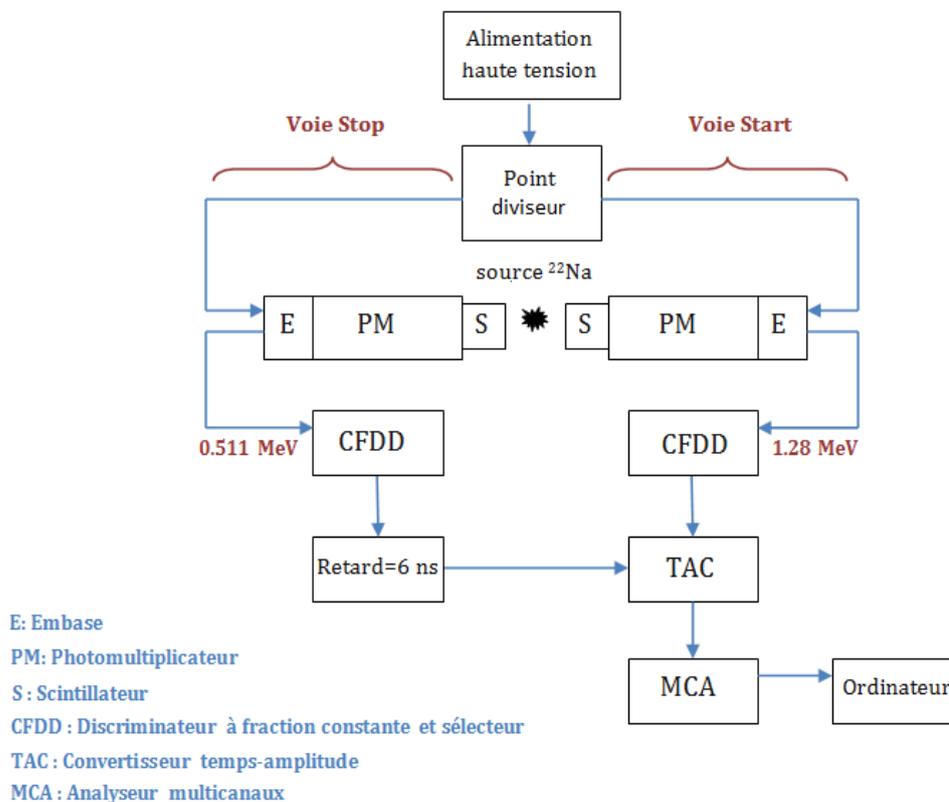


Figure I. 6. Dispositif expérimental de temps de vie du positron.

I. 4. 2. Spectroscopie d'élargissement Doppler (DBS)

Dans un spectromètre de dispersion en énergie, plusieurs millions d'événements d'annihilation permettent d'enregistrer le spectre d'élargissement ΔE des raies d'annihilation de 511 keV [12, 14], cette méthode est appelée la spectroscopie d'élargissement Doppler (DBS, Doppler Broadening Spectroscopy), elle permet de donner une information sur le type de défaut [13].

La quantité de mouvement p est toujours conservée pendant l'annihilation, elle est transférée de la paire électron-positron à la paire de photons γ . L'élargissement ΔE peut être calculé à partir de la composante du moment électronique dans la direction de propagation des rayons γ de 511 KeV ; p_z ,

$$\Delta E = p_z c / 2 \dots\dots\dots (I. 2)$$

La composante du moment dans la direction de propagation du rayon γ ; $\pm z$, provoque un petit effet Doppler de l'énergie d'annihilation.

La technique Doppler est basé sur la mesure d'énergie de 511 keV qui est détecté par un détecteur en Germanium de haute pureté (HPGe) refroidi avec l'azote liquide (LN₂). Les signaux générés dans le détecteur sont traités par un préamplificateur incorporé dans le détecteur. Un amplificateur accomode ces signaux pour alimenter le convertisseur analogique-numérique (ADC, Analog-Digital Converter), le rôle de ce dernier est de classer et stocker les signaux dans la mémoire de l'analyseur multicanal (MCA, Multi-Channel Analyser). La collection de plusieurs millions de coups pour enregistrer le spectre d'élargissement ΔE est garantie par un stabilisateur de canal numérique (peak-stabilizing) intégré dans le MCA. La figure I. 7 représente le dispositif expérimental de la spectroscopie par l'effet Doppler.

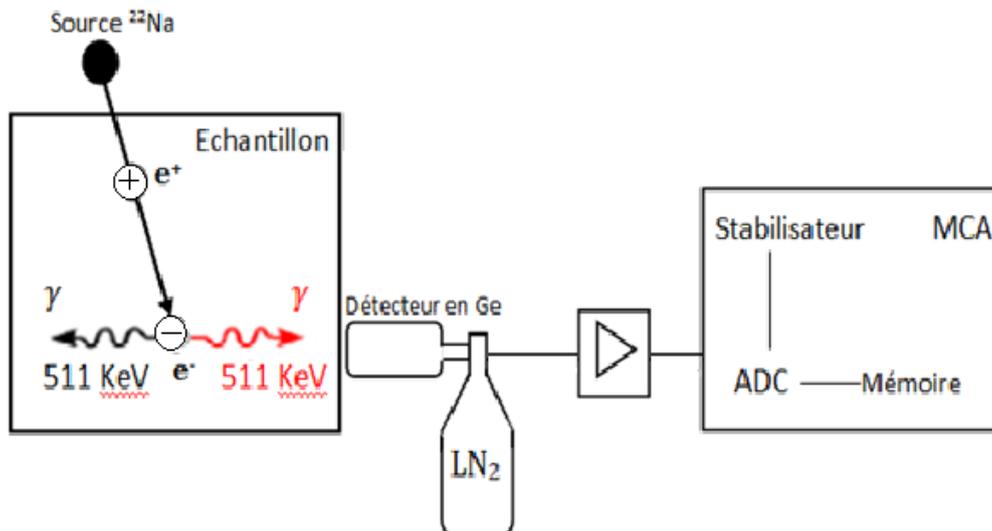


Figure I. 7. Dispositif expérimental de la spectroscopie par effet Doppler.

I. 4. 3. Technique de spectroscopie du faisceau de positron lent (The slow positron beam)

Cette technique utilise un faisceau de positrons mono-énergétique de faible énergie, appelés positrons lents pour étudier les défauts près de la surface.

Plusieurs positrons émis par une source radioactive ^{22}Na (activité ≈ 50 mCi) sont arrivés et thermalisés près de la surface d'un modérateur qui contient une feuille mince de tungstène ($\approx 5\mu\text{m}$) de travail d'extraction du positron (-3eV). Ils sont encore réémis avec une énergie cinétique égale au travail d'extraction, 3eV pour le tungstène. Les positrons mono-énergétiques réémis par le modérateur sont séparés en deux parties majoritaires modérées et minoritaires non modérés à l'aide d'un électro-aimant coudé (un solénoïde). Les positrons non modérés (rendement $\approx 10^{-4}$) sont annihilés, il reste seulement les positrons modérés ayant la bonne énergie qui forment un faisceau de positrons lents guidé dans l'axe du système grâce à des champs magnétiques et électriques. Le faisceau est accéléré par un accélérateur afin qu'il porte une énergie comprise entre 0.1 keV et 50 keV, ensuite, il termine son chemin jusqu'à ce qu'il pénètre dans l'échantillon avec une profondeur de $0\mu\text{m}$ à $5\mu\text{m}$ suivant leur énergie incidente.

La spectroscopie Doppler peut être réalisée ainsi que la spectroscopie de mesure du temps de vie du positron, dans le cas de positron mono-énergétique continu et/ ou pulsé [15].

I. 5. Etat de l'art sur l'utilisation de la PALS et la DBS pour la détermination des défauts induits après irradiation du détecteur de traces nucléaires CR39

Le CR39, ou groupe d'allyle diglycole carbonate (ADC), est un polymère de formule (C₁₂H₁₈O₇) (figure I. 8) [16]. Il s'agit d'un plastique transparent qui est couramment utilisé en physique nucléaire pour détecter la présence de rayonnements ionisants, et principalement pour la détection des radionucléides émetteurs de radiations alpha (en particulier le radon), la dosimétrie des protons et des neutrons et les enquêtes sur les rayons cosmiques. Le CR39 est parfois utilisé pour la détection des neutrons rapides par le biais des noyaux de recul qui induisent des traces latentes.

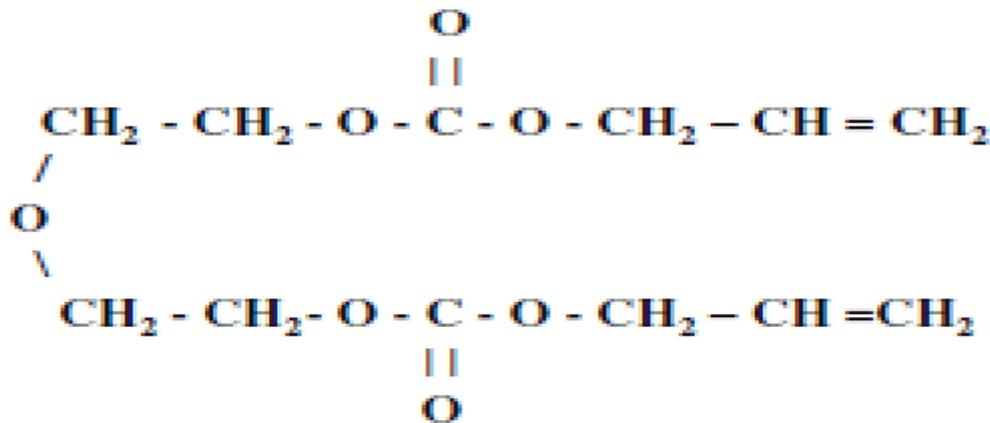


Figure I. 8. Formule chimique de CR39.

La spectroscopie d'annihilation du positron (DBS et PLAS) a été employée par plusieurs auteurs afin d'étudier le comportement du CR39 après irradiation par des particules alpha. E. N. Saad et al. [17] ont étudié, par DBS, l'effet du temps d'irradiation par des particules alpha à une énergie fixe (4.5 MeV) sur l'évolution du paramètre S du CR39. Les auteurs ont montré que S augmente de 0.427 pour le CR39 non irradié jusqu'à 0.436 (24 h d'irradiation) puis diminue pour atteindre la valeur de 0.428 (72 h d'irradiation). Ils ont attribué l'augmentation (diminution de S) à la scission (réticulation) des chaînes polymériques.

M. A. Abdelrahman et al. [18] ont étudié l'effet de l'énergie d'irradiation des particules alpha (de 1.13 MeV à 4.95 MeV) sur le comportement du paramètre S obtenu à partir des spectres DBS. Les auteurs ont montré que S enregistre un minimum pour une énergie de 2.86 MeV.

M. F. Eissa et al. [19] ont étudié par PALS l'effet du temps d'irradiation par des particules alpha (énergie fixe de 4.86 MeV et différentes fluences) sur l'évolution de la fraction Ortho-Positronium, o-Ps. A partir des différentes valeurs du temps de vie τ_3 (fraction o-Ps), les auteurs ont estimé les rayons des volumes libres, $R(\text{Å})$ et ont montré sa claire dépendance avec la fluence d'irradiation. Cette dépendance de $R(\text{Å})$ a été attribuée à la concurrence existante entre les phénomènes de scission et de réticulation des chaînes polymériques.

Il est à noter que nous n'avons pas trouvé assez d'articles sur la spectroscopie de temps de vie du positron dans le CR39 irradié par des particules alpha. La majorité des articles trouvés traitent le comportement du paramètre S (DBS). Néanmoins, une synthèse des articles consultés, a montré des résultats controversés pour ce qui est du comportement du paramètre S et du temps de vie de la fraction Ortho-Positronium avec l'énergie et la fluence des particules alpha.

Dans cette perspective et afin de contribuer à la compréhension du comportement du détecteur de traces nucléaire CR39, irradié par des particules alpha, nous avons entamé ce travail de mémoire. Ainsi, nous avons utilisé conjointement les spectroscopies de positron par effet Doppler (DBS) et de temps de vie du positron (PALS) afin de mieux comprendre le comportement du polymère CR39 soumis à des irradiations alpha pour différents temps d'irradiations.

Chapitre II :

*Dispositif d'irradiation et
description des spectromètres du
temps de vie du positron et
d'élargissement Doppler*

Introduction

Dans ce deuxième chapitre, nous allons parler, en premier, sur la préparation de la source ^{22}Na qui a été faite au niveau du centre de recherche nucléaire d'Alger (CRNA). Ensuite, nous allons décrire le dispositif d'irradiation des échantillons CR39 ainsi que la préparation des échantillons pour la spectroscopie de positron. Enfin, nous allons décrire, en détail, le dispositif expérimental des deux techniques de spectrométrie du temps de vie du positron (rapide-rapide) et de l'élargissement Doppler utilisées dans notre travail.

II. 1. Préparation de la source ^{22}Na

La source ^{22}Na a été préparée au niveau du centre de recherche nucléaire d'Alger (CRNA), sous le contrôle d'un service de radioprotection. Une solution radioactive mère $^{22}\text{NaCl}$ (source mère) d'une activité de 1 mCi a été utilisée. Premièrement, une goutte de quelques microlitres de $^{22}\text{NaCl}$ a été déposée sur une feuille de kapton à l'aide d'une micropipette, le volume de cette goutte est choisi selon l'activité désirée pour cette source. Après le séchage de cette goutte (évaporation du liquide), une deuxième feuille de kapton est collée sur la première sous forme de sandwich. L'ensemble (kapton/source/kapton) sous forme d'un carré de dimension 0.5cm x 0.5cm a été obtenu avec une source ^{22}Na d'activité spécifique 20 μCi (figure II. 1).



Figure II. 1. Source de ^{22}Na sur le support de kapton.

II. 2. Irradiation des échantillons CR39

Les échantillons de CR39 ont été obtenus à partir d'un film de CR39 d'épaisseur 0.5 mm qui est découpé à l'aide d'un appareil Laser pour avoir des échantillons de dimension 1cm x 1cm. La figure II. 2 représente des échantillons de CR39 avant l'irradiation. Une paire de ces échantillons de CR39 n'a pas été irradiée (vierge, $E = 0$ MeV) et pris toujours comme un témoin. Les autres ont été irradiés par des particules α à l'air libre: une série a été irradiée à différentes énergies et une autre pour différents temps d'irradiation.

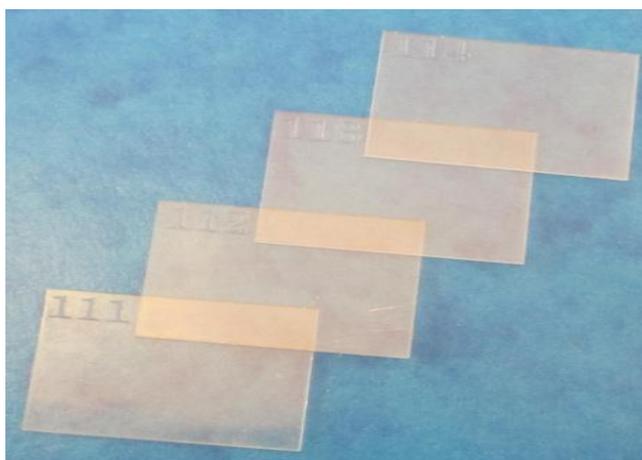


Figure II. 2. Echantillons de CR39 avant l'irradiation.

II. 2. 1. Irradiation à différentes énergies des particules alpha

Dans ce cas, le processus d'irradiation a été faite au niveau de centre de recherche nucléaire Draria (CRND), en utilisant la source radioactive Américium ^{241}Am d'énergie $E_{\alpha} = 5.486$ MeV et d'activité $A = 5\mu\text{Ci}$. Une série de quatre paires d'échantillon CR39 a été préparé. L'énergie de la source a été diminuée pour chaque paire de telle façon à avoir différentes énergies : 4.5, 3.6, 2.5 et 1.6 MeV à l'aide des collimateurs en plastique (figure II. 3) placés entre la source et l'échantillon à des distances de 1, 2, 2.5 et 3 cm, respectivement. Les irradiations ont été faites pendant 45 min. la figure II. 4 représente le dispositif expérimental d'irradiation pour différentes énergies.

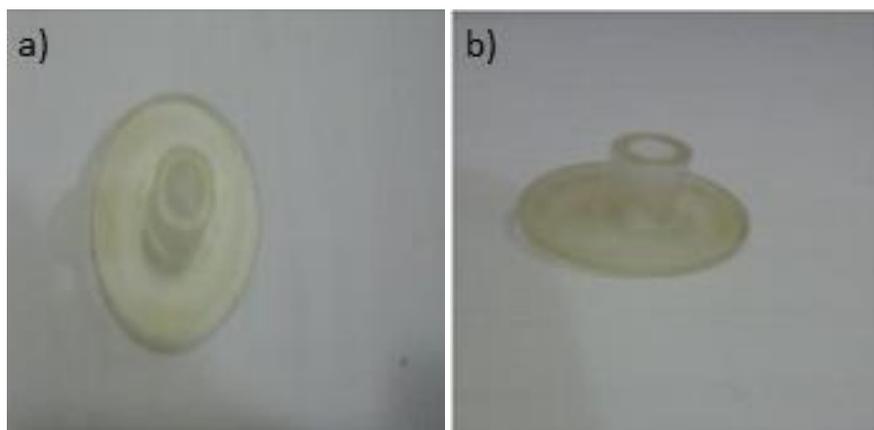


Figure II. 3. Le collimateur : a) vue de face et b) vue de coté.

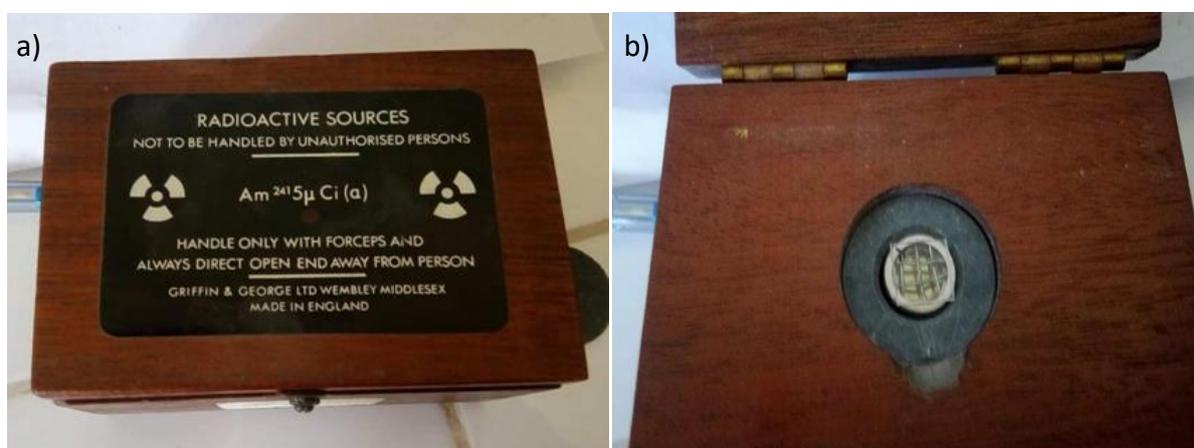


Figure II. 4. Dispositif d'irradiation d'échantillon CR39 par l'Américium : a) de l'extérieur, b) de l'intérieur.

II. 2. 2. Irradiation pour différents temps

Cette irradiation a été faite au centre de recherche nucléaire d'Alger (CRNA). Deux paires d'échantillon CR39 ont été irradiées par les particules α de la source radioactive Plutonium ^{239}Pu d'énergie $E_\alpha = 5.1 \text{ MeV}$ et d'activité $A = 3055 \alpha \text{ s}^{-1} 2\pi$. Mais cette fois, l'irradiation a été faite par une seule énergie $E = 4.1 \text{ MeV}$ qui est obtenue à partir de la diminution de l'énergie de la particule α à l'aide d'un collimateur en papier de longueur 1 cm. L'irradiation a été faite pendant 3 et 5 jours afin d'obtenir différentes fluences. Le dispositif expérimental d'irradiation de cette série est montré sur la figure II. 5.

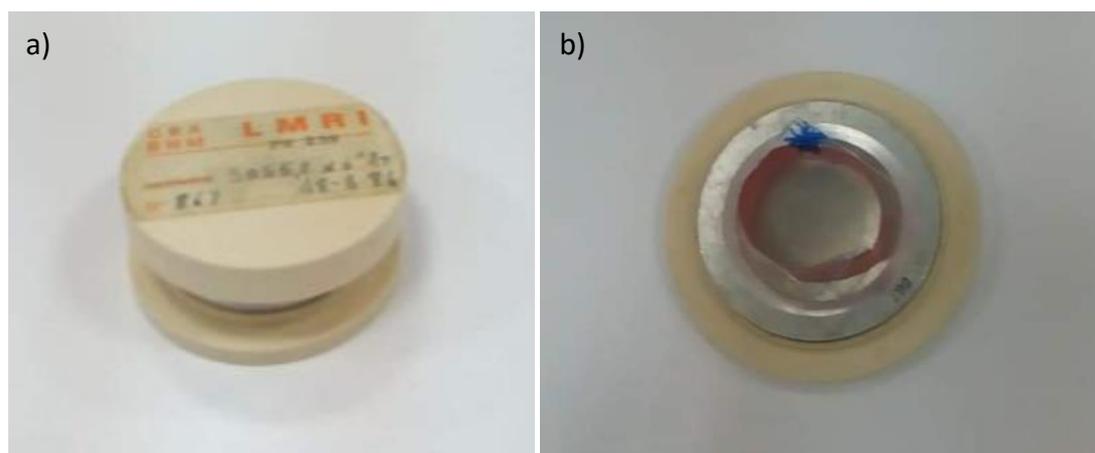


Figure II. 5. Dispositif d'irradiation de CR39 par le Plutonium : a) de l'extérieur, b) de l'intérieur.

II. 3. Préparation des échantillons pour la spectroscopie de positron

Avant de commencer la mesure par la spectroscopie de positron (PALS ou DBS), nous devons préparer l'échantillon que nous voulons étudier, le CR39 ou le Si standard. La source de positron (^{22}Na) a été placée entre deux échantillons identiques sous forme d'un sandwich (échantillon /source /échantillon). Ensuite, l'ensemble (échantillon /source /échantillon) est emballé dans une feuille d'aluminium. La figure II. 6 représente les étapes de préparation d'un échantillon CR39. Enfin, cet ensemble est fixé sur l'un des deux détecteurs dans le cas de mesure par PALS ou bien sur un support dans le cas de mesure par DBS à l'aide d'un scotch (figures II. 7 et II. 8).

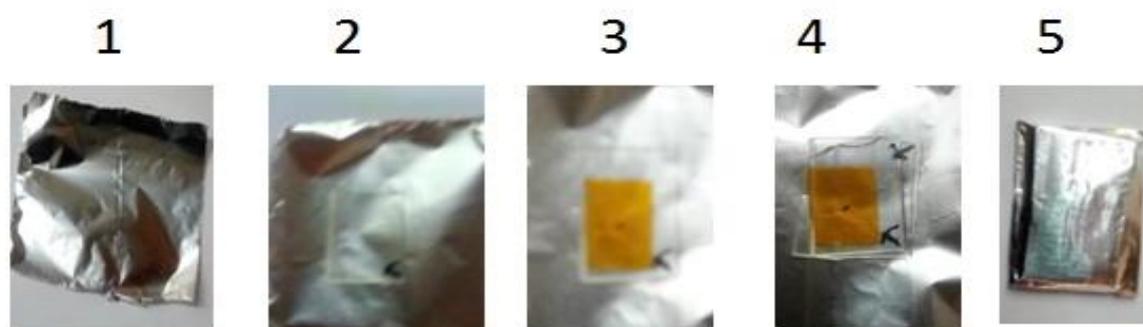


Figure II. 6. Les étapes de préparation de l'échantillon CR39.

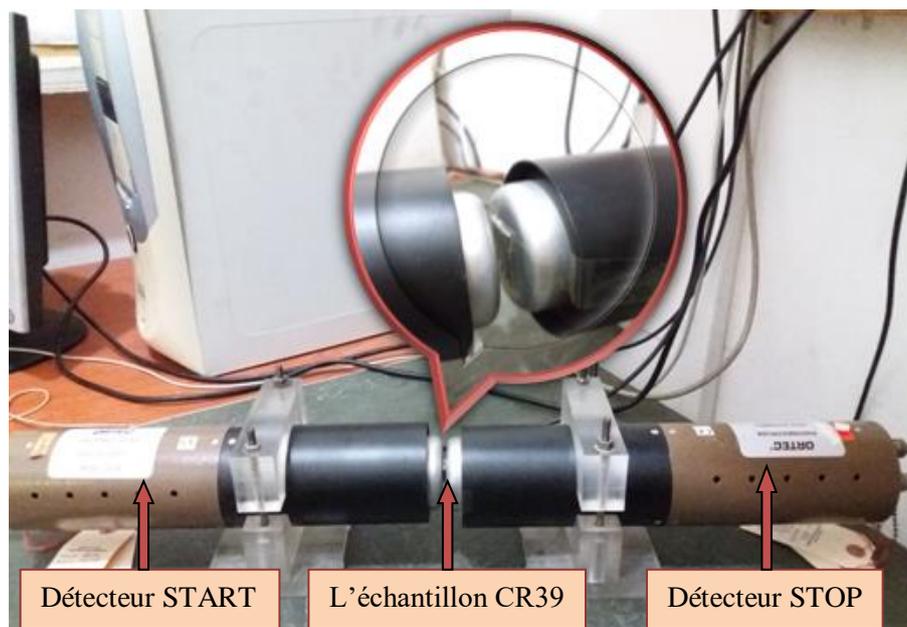


Figure II. 7. L'échantillon de CR39 fixé sur l'un des deux détecteurs de PALS.

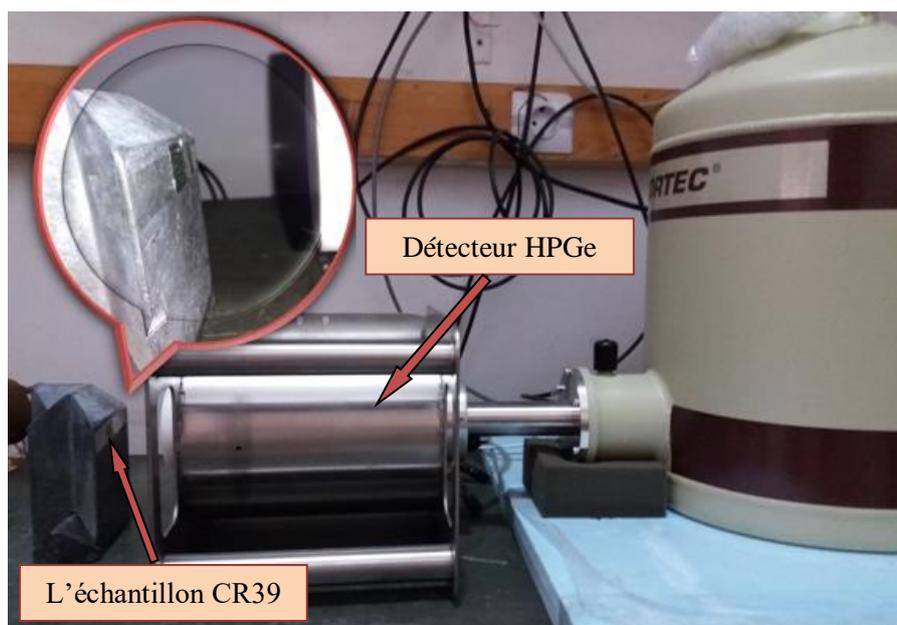


Figure II. 8. L'échantillon de CR39 fixé sur un support pour la détection par la DBS.

II. 4. Description de la chaîne de spectroscopie du temps de vie du positron du centre de recherche nucléaire d'Alger

Le spectromètre utilisé au niveau du CRNA est le spectromètre à coïncidence de type rapide-rapide (Fast-Fast) (figure II. 9). Ceci signifie que la mesure de temps de vie aussi bien que la sélection des énergies des gammas 1.28 MeV et 0.511 MeV sont faites dans un canal rapide. La sélection de ces énergies est faite dans des discriminateurs différentielles à fraction

Chapitre II : Dispositif d'irradiation et description des spectromètres du temps de vie du positron et d'élargissement Doppler

constante, utilisant une électronique interne rapide. Il comporte deux voies de détection : une voie Start qui détecte les photons à 1,28 MeV qui sont émis simultanément avec les positrons, et une voie Stop qui détecte les photons à 0,511 MeV caractéristiques de l'annihilation du positron.

Le spectromètre du temps de vie du positron est composé de :

- Deux détecteurs à scintillations rapides.
- Un système électronique.
- Un système d'acquisition des spectres.

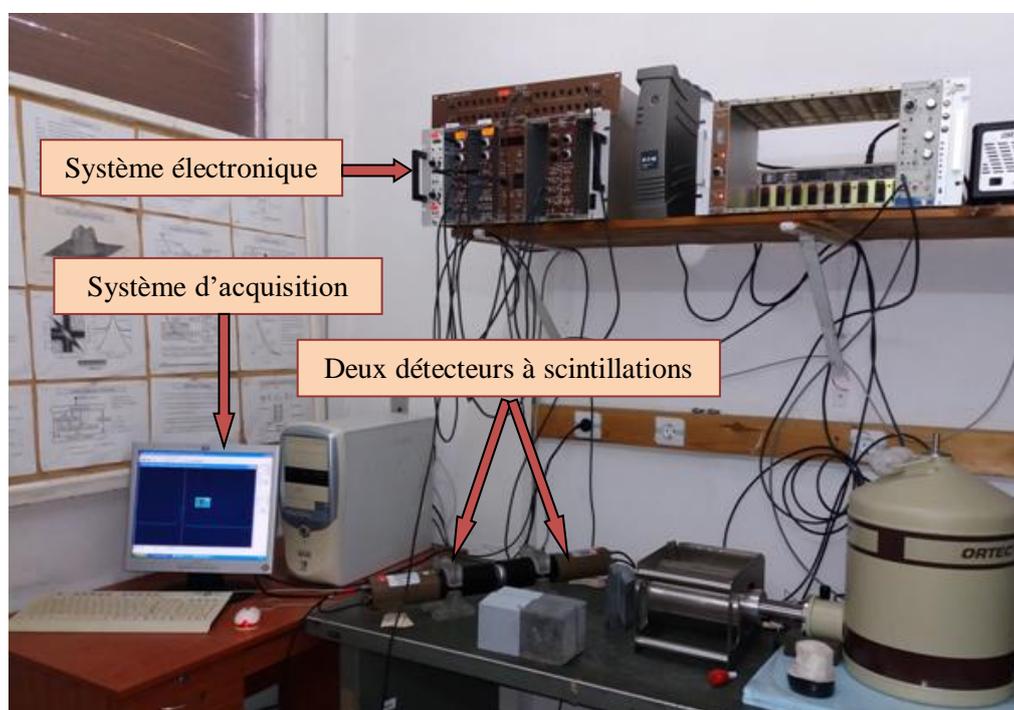


Figure II. 9. Spectromètre du temps de vie du positron au centre de recherche nucléaire d'Alger.

II. 4. 1. Détecteurs à scintillations rapides

Il y a deux types de détecteur à scintillations rapides disponible au niveau de laboratoire de spectroscopie d'annihilation du positron du CRNA, c'est ce qui permet de l'existence de deux types de chaînes PALS :

- La première chaîne de mesure a été montée en utilisant deux détecteurs à scintillations rapides START et STOP qui sont constitués chacun d'un scintillateur de type Eg 228,

Chapitre II : Dispositif d'irradiation et description des spectromètres du temps de vie du positron et d'élargissement Doppler

d'un photomultiplicateur (PMT) Hamamatsu de type H3378-51 (figures II. 10 et II. 11).

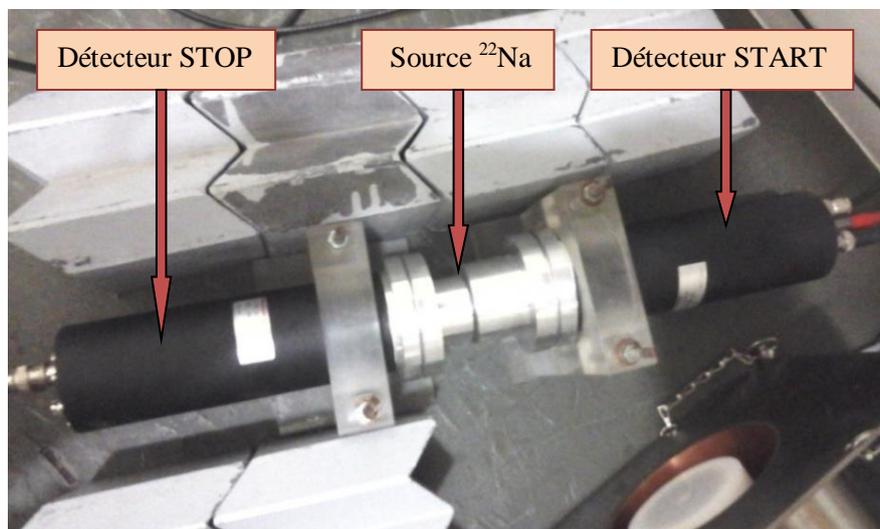


Figure II. 10. Principe de détection des positrons pour la première chaîne.

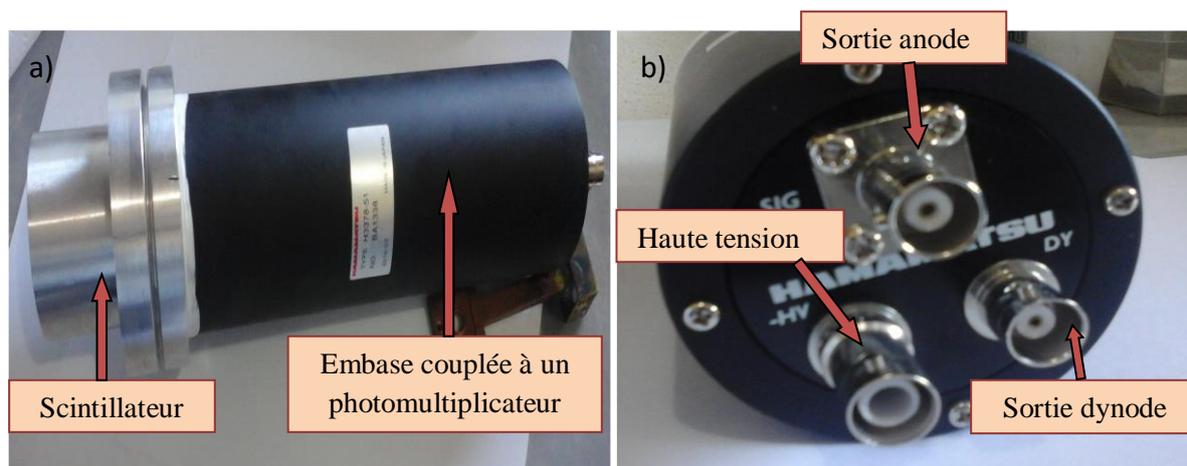


Figure II. 11. Les composants du détecteur de la première chaîne : a) Détecteur à scintillation, b) L'embase du détecteur.

- Pour la deuxième chaîne, les détecteurs START et STOP sont composés d'un scintillateur de type BICRON 418, d'un PMT RCA et une embase de type 265A (figures II. 12 et II. 13).

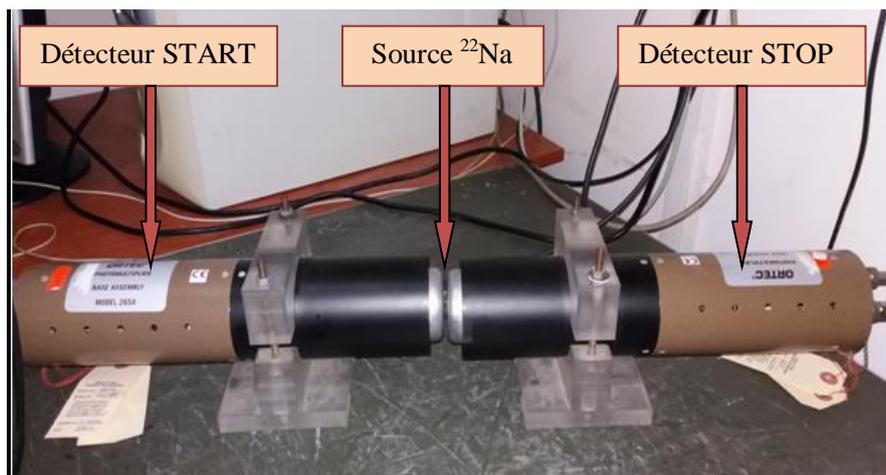


Figure II. 12. Principe de détection des positrons pour la deuxième chaîne.

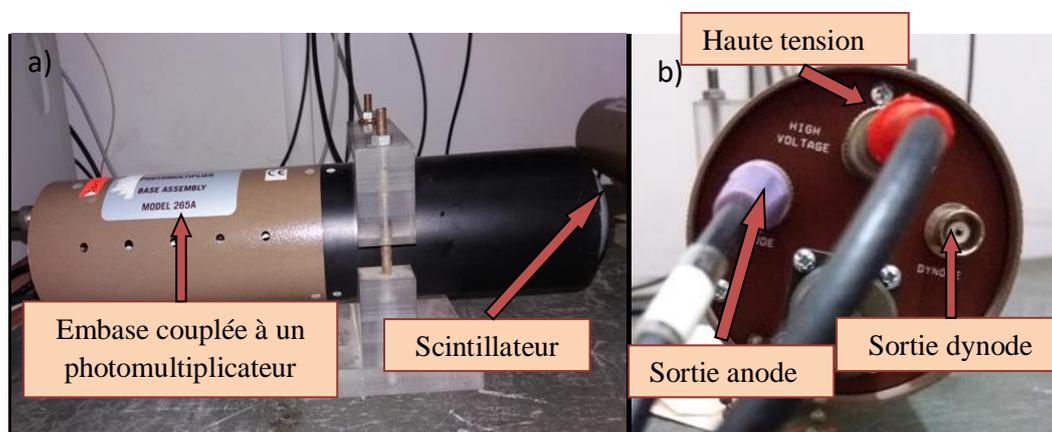


Figure II. 13. Les composants du détecteur de la deuxième chaîne : a) Détecteur à scintillation, b) L'embase du détecteur.

Dans notre travail, nous avons utilisé la deuxième chaîne PALS. Le rôle de chaque composant de ce détecteur est montré ci-dessous :

- **Le scintillateur plastique** : il est choisi pour que la collection et la génération du signal lumineux soient aussi rapides que possible (temps de réponse de l'ordre de 10^{-9} s) et offre une résolution temporelle performante. Son rôle est de transformer les photons gamma émis, en photons visibles pour que ces derniers soient convenables pour la détection. Le scintillateur est collé au photomultiplicateur à l'aide d'une graisse optique de viscosité élevée.
- **Le photomultiplicateur** : c'est un tube sous vide, séparé du scintillateur par une photocathode. Le rôle de la photocathode est de convertir les photons émis dans la région du visible en un flux d'électrons de très faible intensité, ces électrons sont multipliés et

Chapitre II : Dispositif d'irradiation et description des spectromètres du temps de vie du positron et d'élargissement Doppler

accélérés par une série de couples de dynodes placées dans ce tube afin de former et sortir un signal électronique (voir la figure II. 14), son amplitude dépend de l'énergie initiale des photons gamma.

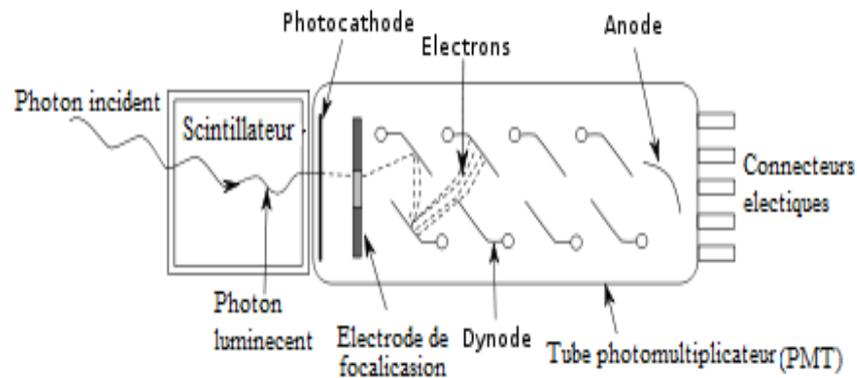


Figure II. 14. Le principe de fonctionnement d'un photomultiplicateur.

- **L'embase** : elle est liée au photomultiplicateur à travers des connecteurs électriques. Elle contient une entrée de haute tension négative et deux sorties dynode et anode. Le signal rapide est délivré par la voie anode alors que le signal énergétique par la voie dynode.

II. 4. 2. Système électronique

Les différents composants du système électronique du spectromètre du temps de vie du positron sont montrés sur la figure II. 15.

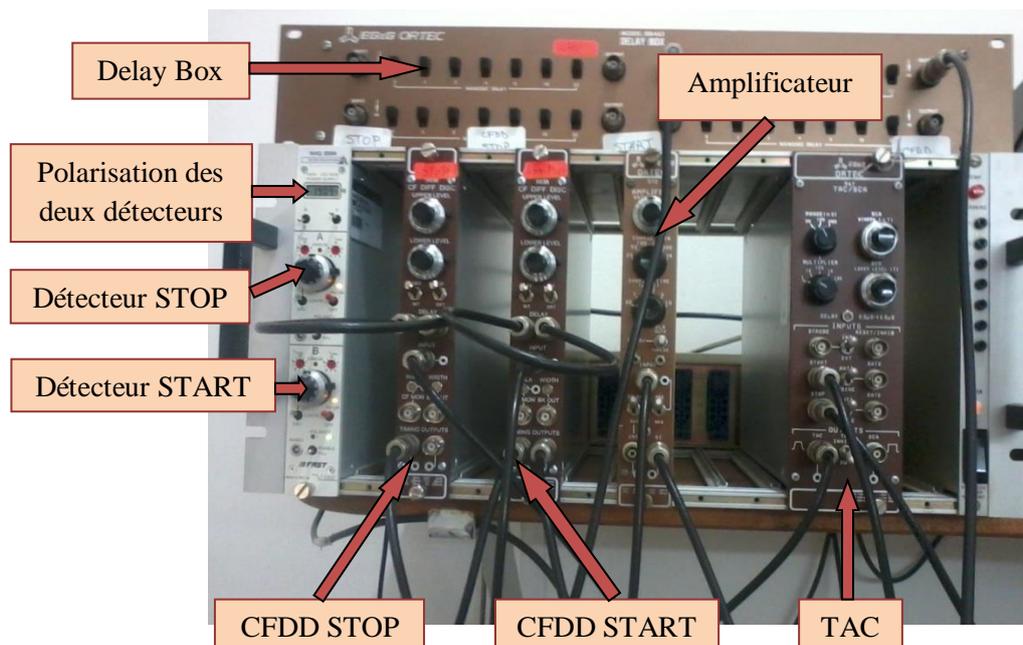


Figure II. 15. Système électronique.

- **Les discriminateurs à fraction constante (CFDD 583)** : les CFDD utilisés sont de type ORTEC 583B. Le signal anodique du photomultiplicateur passe par les CFDD qui sélectionne les impulsions correspondantes soit à l'énergie de 1.28 MeV (voie START), soit à l'énergie de 511 KeV (voie STOP). Cela se fait à l'aide des fenêtres d'un analyseur monocanal (SCA : Single Canal Analyzer en Anglais) incorporées dans les CFDD. Un signal logique très rapide est produit par ces modules et qui sera envoyé vers le convertisseur amplitude-temps.
- **Le convertisseur temps-amplitude (TAC)** : de type ORTEC TAC/SCA567. Le convertisseur compte le temps de vie du positron dans le matériau qui correspond au temps séparant entre l'entrée d'une impulsion logique de CFDD START où le convertisseur est démarré, et la réception de l'impulsion logique de CFDD STOP où le convertisseur est arrêté. Ces signaux ne correspondent au temps de vie du positron que si un seul positron est présent à la fois dans le matériau, ce qui est le cas pour une source de faible activité. Le convertisseur temps-amplitude génère alors un signal carré lent, dont l'amplitude est proportionnelle à l'intervalle de temps séparant les impulsions START et STOP. Cet intervalle de temps étant très court (quelques centaines de picosecondes), donc un retard optimisé (quelques nanosecondes) est nécessaire sur la voie STOP pour permettre le bon fonctionnement du TAC.

Chapitre II : Dispositif d'irradiation et description des spectromètres du temps de vie du positron et d'élargissement Doppler

- **La boîte à retard (Delay Box)** : elle permet de fournir un retard en temps pour retarder le signal STOP par rapport au signal START afin de déplacer l'événement dans l'intervalle d'opération du TAC. Dans nos expériences PALS, nous avons optimisé ce temps de retard à 6 ns.

II. 4. 3. Système d'acquisition des spectres : analyseur multi canal (MCA)

L'analyseur multicanaux de type Maestro (ORTEC) est une carte d'acquisition intégrée dans un micro-ordinateur. Elle reçoit les impulsions en provenance du TAC, les classe et stocke, suivant leur amplitude, dans des canaux de largeurs T_0 pour former un spectre de temps de vie. Le $n^{\text{ième}}$ canal correspond ainsi au nombre de positron ayant une durée de vie comprise entre $n \times T_0$ et $(n+1) \times T_0$.

T_0 : est le temps par canal, il est propre à chaque système de temps de vie (environ 100 ns pour notre système).

II. 5. Description de la chaîne de spectroscopie d'élargissement Doppler du centre de recherche nucléaire d'Alger

Dans le laboratoire positron du CRNA, il existe deux types de chaîne de mesure d'élargissement Doppler (DBS) :

- Une chaîne analogique : elle contient un détecteur Germanium Hyper pur (HPGe), un système électronique qui est composé d'un générateur de haute tension et d'un amplificateur, et un système d'acquisition des spectres (MCA).
- Une chaîne digitale : elle est composée par les mêmes éléments de la chaîne analogique, mais dans cette chaîne là, les modules du système électronique sont intégrés dans un système digital (figure II. 16).

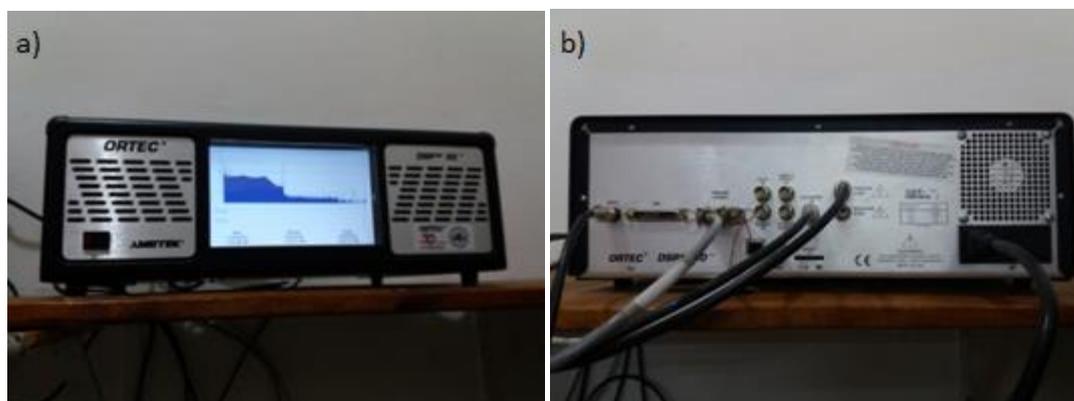


Figure III. 16. Un système digital pour la chaîne de DBS : a) par devant, b) par derrière.

Chapitre II : Dispositif d'irradiation et description des spectromètres du temps de vie du positron et d'élargissement Doppler

Dans notre travail, nous avons utilisé les deux chaînes, et pour des raisons de stabilité, nous avons préféré utiliser la chaîne analogique (Figure II. 17).

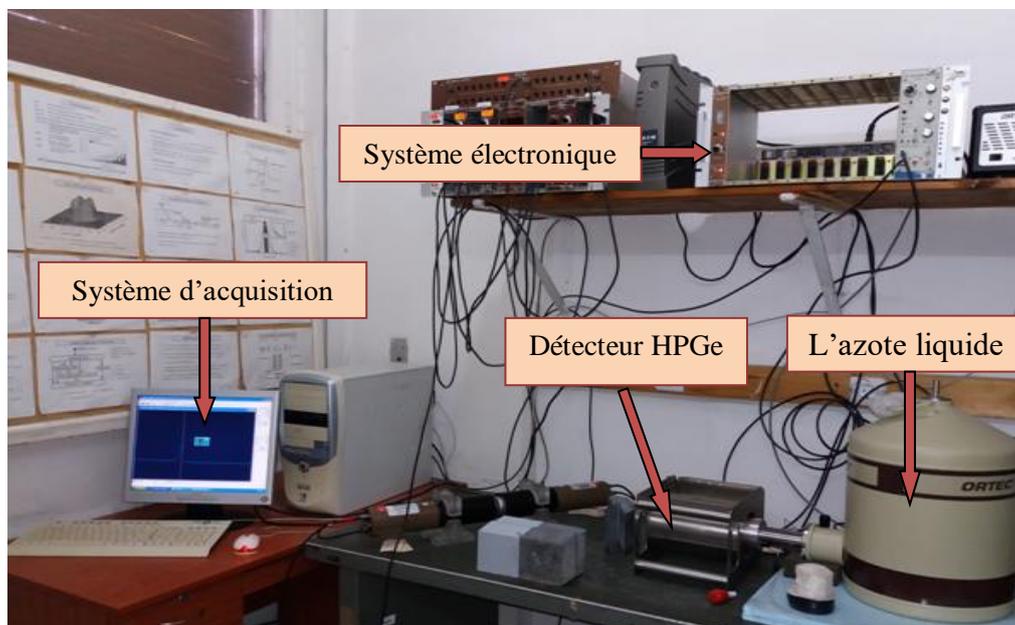


Figure II. 17. Spectroscopie d'élargissement Doppler au centre de recherche nucléaire d'Alger.

II. 5. 1. Décteur Germanium de haute pureté (High-Purity Germanium, HPGe)

C'est un décteur de type Ortec ayant une bonne résolution en énergie (1.5 keV) pour la valeur 511 keV. Lors de l'annihilation, un des deux photons γ de 511 KeV émis est décté par la jonction du décteur HPGe où il se passe une création des charges, lesquelles sont collectées et converties par un préamplificateur incorporé dans le décteur sous forme d'une impulsion de tension pour sortir un signal dirigé vers un amplificateur. Ce décteur doit être refroidi par l'azote liquide (N_2) (chaque cinq jours) afin de l'utiliser à base température (77 K) pour limiter le bruit de fond et stabiliser le cristal pendant l'utilisation.

II. 5. 2. Système électronique

Il contient deux composants : un générateur de haute tension et un amplificateur (figure II. 18).

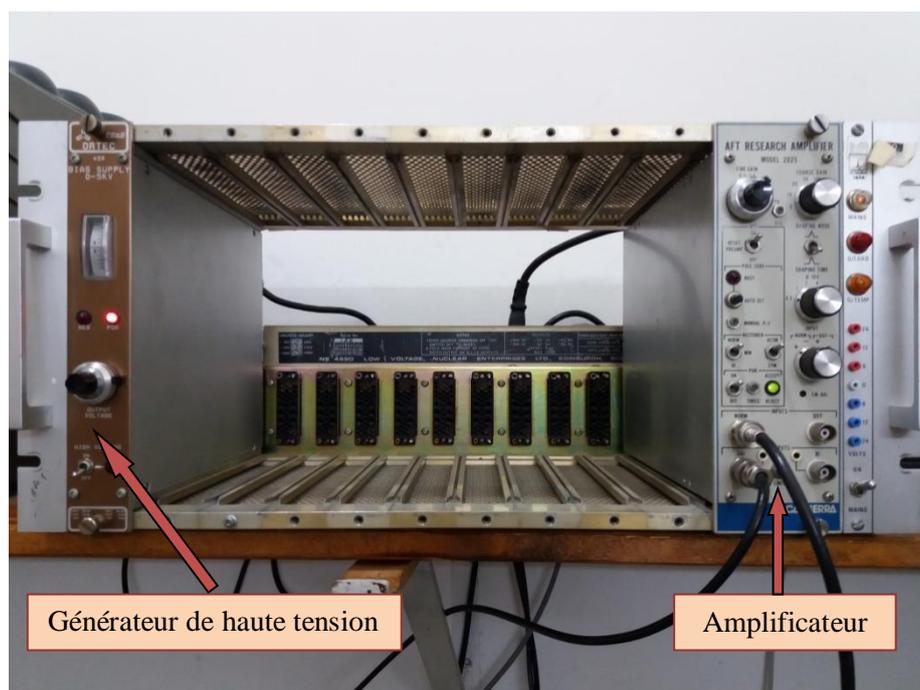


Figure II. 18. Système électronique : générateur de haute tension et amplificateur.

- **Générateur de haute tension** : de type ORTEC 459. Il permet d'alimenter le détecteur HPGe par une haute tension positive.
- **Amplificateur** : de type Canberra 2025 et qui permet d'amplifier le signal en provenance du détecteur pour permettre son acquisition facile.

II. 5. 3. Système d'acquisition des spectres (MCA)

C'est la même carte d'acquisition qui est utilisée dans le spectromètre du temps de vie du positron (PALS). Elle reçoit les signaux venant de l'amplificateur comme des données numériques pour former un spectre Doppler.

Chapitre III :
Expériences, résultats et
interprétations

III. A. Irradiation des échantillons CR39

III. A. 1. Irradiation par différentes énergies

Une série d'échantillons CR39 irradiés par différentes énergies des particules α a été préparée. Le parcours des particules incidentes dans un matériau dépend essentiellement de l'énergie de ces particules, de la densité et du numéro atomique Z du matériau cible. Ces paramètres sont pris en compte dans le programme de simulation des interactions particule-matière SRIM (Stopping and Range of Ions in Matter) [20]. Dans ce travail, le logiciel SRIM a été utilisé pour calculer le parcours des particules α dans le CR39 pour les énergies entre 1.6 MeV et 4.5 MeV, ce qui représente un parcours de 6.66 μm à 24.62 μm (figure III. 1).

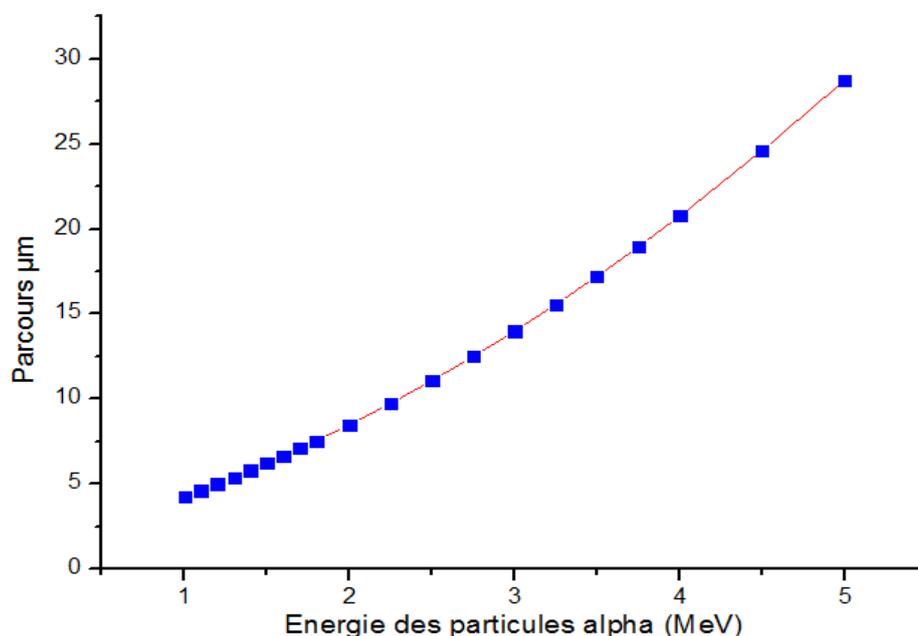


Figure III. 1. Variation de parcours des particules alpha dans le CR39 en fonction de leur énergie.

Le paramètre expérimental correspondant aux irradiations est la fluence Φ qui s'exprime en particules / cm^2 , et sa formule est donnée comme suit :

$$\Phi = \varphi \times t_{\text{irradiation}} \dots\dots\dots (III. 1)$$

- Le flux incident φ est calculé par la formule suivante :

$$\varphi = \frac{A_c}{4\pi r^2} \dots\dots\dots (III. 2)$$

Avec :

A_c : L'activité de la source en Bq (des/s), où $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

r : La distance entre la source et l'échantillon CR39 (la longueur de collimateur) en cm.

La source radioactive utilisée dans cette irradiation là, est ^{241}Am , où $A = 5 \mu\text{Ci}$.

Si $r = 1 \text{ cm}$, on trouve : $\varphi = 1.472929 \times 10^4 \alpha \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$.

- Le temps d'irradiation égal à 45min.

Les différentes valeurs de flux et de fluence des particules alpha sont montrées sur le tableau suivant (tableau III. 1) :

E_α (MeV)	Longueur de collimateur (cm)	Flux = $\varphi = \frac{A_c}{4\pi r^2}$ ($\alpha \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$)	Fluence = $\Phi =$ $\varphi \times t_{\text{irradiation}}$ ($\alpha \cdot \text{cm}^{-2}$)
4.5	1	14729.2993	39.76×10^6
3.6	2	3682.3248	9.94×10^6
2.5	2.5	2356.6878	6.36×10^6
1.6	3	1636.5888	4.41×10^6

Tableau III. 1. Les différentes valeurs de flux incident et de fluence des particules alpha.

La figure III. 2 représente la variation de la fluence des particules alpha en fonction de la distance d'irradiation. Il est clair que la fluence diminue lorsque la distance source-échantillon augmente (énergie diminue).

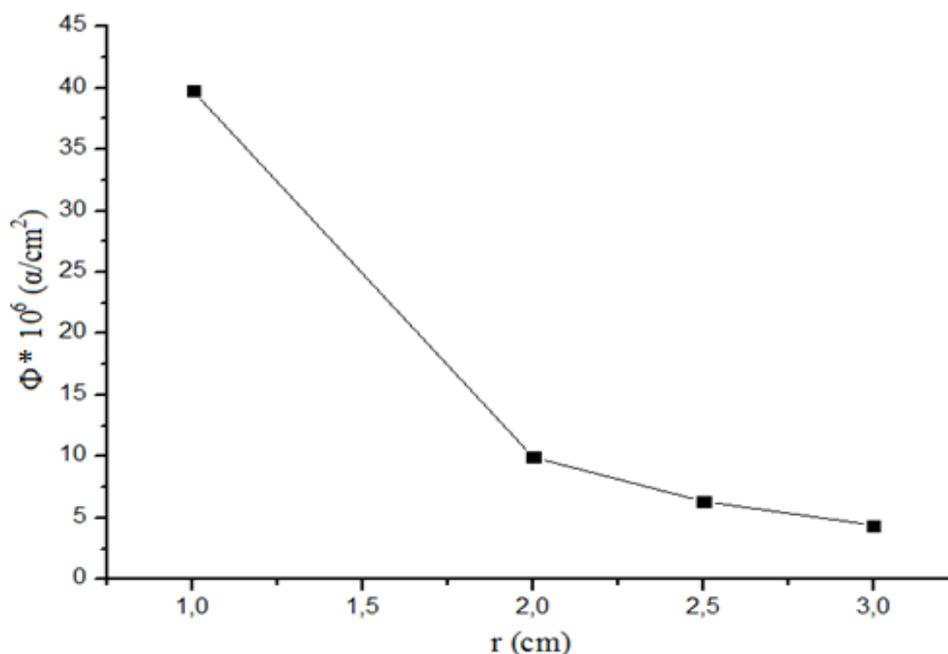


Figure III. 2. La variation de fluence des particules alpha en fonction de la distance d'irradiation.

III. A. 2. Irradiation par différents temps

Il s'agit, cette fois, d'irradier des échantillons de CR39 par le ^{239}Pu pour une seule énergie $E_{\alpha} = 4.1 \text{ MeV}$ et différentes durées d'irradiations (03 et 05 jours). L'activité de cette source est $A = 3055 \alpha \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2\pi$. La distance entre la source et l'échantillon est toujours fixée $r = 1\text{cm}$, donc le flux incident est constant;

$$\varphi = \frac{A_c}{4\pi r^2} = \frac{A_c}{4\pi} = 486.4649 \alpha \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$$

Les différentes valeurs de fluence sont montrées sur le tableau suivant (tableau III. 2) :

$t_{\text{irradiation}}$ (jour)	φ ($\alpha / \text{s} \cdot \text{cm}^2$)	$\Phi = \varphi \times t_{\text{irradiation}}$ (α / cm^2)
0	0	0
3	486.4649	1.26×10^8
5	486.4649	2.1×10^8

Tableau III. 2. Les différentes valeurs et de fluence des particules alpha.

La figure III. 3 représente la variation de la fluence des particules alpha en fonction du temps d'irradiation. Il s'avère que lorsque le temps d'irradiation augmente, la fluence des particules α augmente.

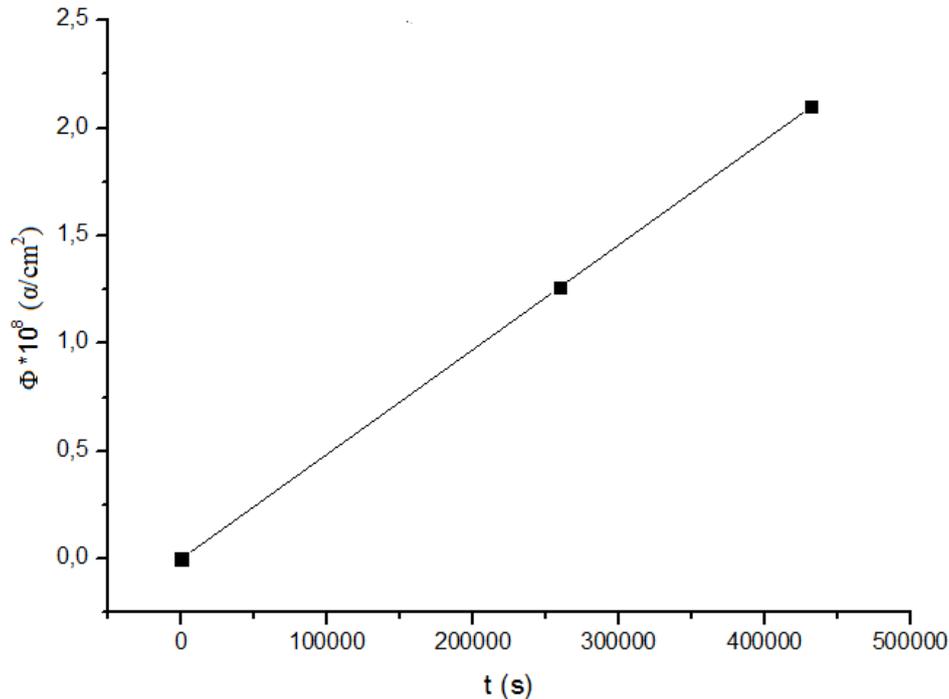


Figure III. 3. La variation de la fluence des particules alpha en fonction de temps d'irradiation.

III. B. Expériences de spectroscopie de positron sur les échantillons de CR39 irradiés

III. B. 1. Spectroscopie de positron par élargissement Doppler (DBS)

III. B. 1. 1. Calibration du MCA avec le Césium (Cs)

Avant de commencer les expériences DBS sur les échantillons de CR39, il faut d'abord faire une calibration du MCA. Cette opération qui assure la correspondance canal-énergie est faite en utilisant une source radioactive possédant une énergie connue. Dans notre cas, la source utilisée est le Césium (^{137}Cs) possédant une énergie de 662KeV. La source ^{137}Cs est placée devant le détecteur HPGe et un spectre énergétique de la source est collecté. Le canal maximal du pic correspond à l'énergie 662 keV est identifié et est inscrit sur la carte MCA. Une fois la source ^{22}Na est placée, le pic correspondant à l'énergie d'annihilation 511 keV est facilement identifié.

III. B. 1. 2. Le spectre DBS

Le spectre d'élargissement Doppler représente la distribution de la quantité de mouvement des paires $e^+ - e^-$. En fait, c'est la somme du bruit de fond et le produit de convolution de la distribution en énergie des photons γ émis avec la fonction de résolution du détecteur [21].

Les spectres d'élargissement Doppler sont caractérisés par deux paramètres de forme S (shape) et W (wing). Le paramètre S représente la fraction d'annihilation des positrons avec les électrons de valence (faible quantité de mouvement) et le W représente la fraction d'annihilation des positrons avec les électrons du cœur (forte quantité de mouvement). Ces deux paramètres S et W sont donnés respectivement par les relations suivantes :

$$S = \frac{C}{A+B+C+D+E} \dots\dots\dots (III. 3)$$

$$W = \frac{A+E}{A+B+C+D+E} \dots\dots\dots (III. 4)$$

Avec :

A, B, C, D et E représentent le nombre de coups dans les différentes régions du pic 511 KeV comme le montré sur la figure III. 4;

C : Le nombre de coups dans le centre du pic.

A+E : Le nombre de coups dans les deux zones latérales (les ailes à gauche et à droite) du pic.

A+B+C+D+E : Le nombre de coups total du pic.

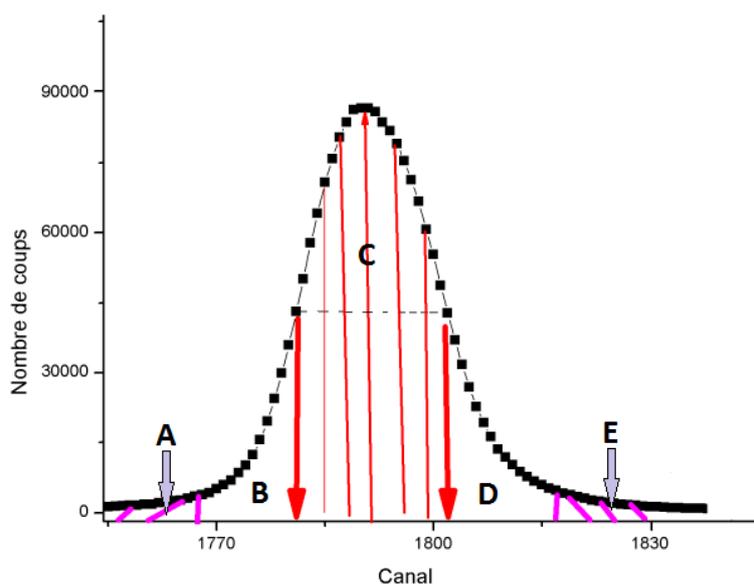


Figure III. 4. Spectre Doppler sans bruit de fond.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés uniquement au paramètre S car il est plus sensible au changement du volume libre produit par l'irradiation.

III. B. 1. 3. Analyse des spectres DBS

L'analyse des spectres DBS est faite à l'aide du logiciel SP-11 [22]. D'abord, nous avons analysé le spectre de calibration de spectromètre (DBS) dans le but de confirmer que le réglage de la chaîne est bien fait. Pour cette calibration, nous avons collecté un spectre DBS d'un échantillon de Silicium (Si) et nous l'avons analysé afin d'obtenir une valeur de S égale à 0.5 typique du silicium (Si). Une fois cette valeur de S obtenue, la chaîne de spectrométrie DBS est prête pour la collection des échantillons irradiés.

Pour tous les échantillons, nous avons pris un temps d'acquisition de 1200s afin d'assurer un bon statistique, en utilisant une gamme d'acquisition de 8192 canaux. La figure III. 5 représente le résultat de l'analyse du spectre de l'échantillon de Silicium avec un paramètre $S = 0.50048 \approx 0.5$.

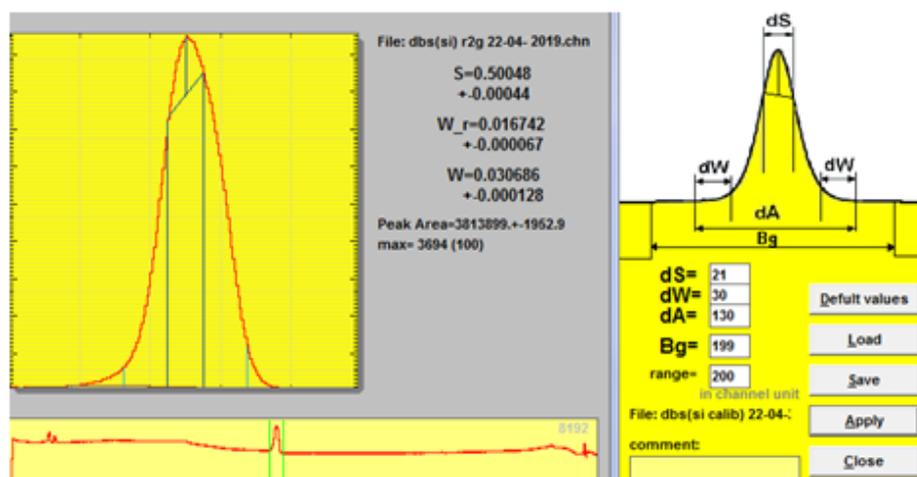


Figure III. 5. Résultat de l'analyse du spectre de Silicium : spectre de calibration.

III. B. 1. 3. 1. Analyse des spectres des échantillons CR39 irradiés pour différentes énergies

Les spectres des échantillons CR39 irradiés ont été analysés à l'aide du logiciel SP version 11. Pour cette analyse, l'élargissement en canaux du pic 511 keV est fixé comme celle du CR39 vierge ce qui permet de distinguer le changement du paramètre S en fonction de l'énergie d'irradiation. Les figures ci dessous montrent les spectres analysés.

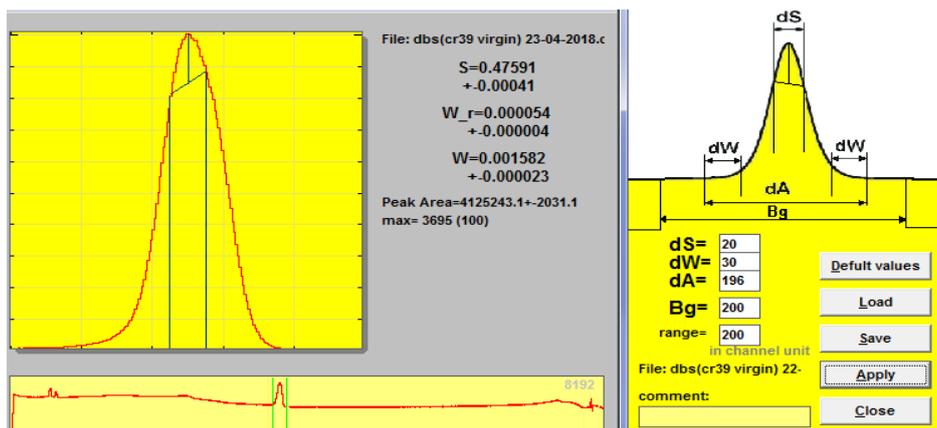


Figure III. 6. Résultat de l'analyse du spectre de CR39 non irradié.

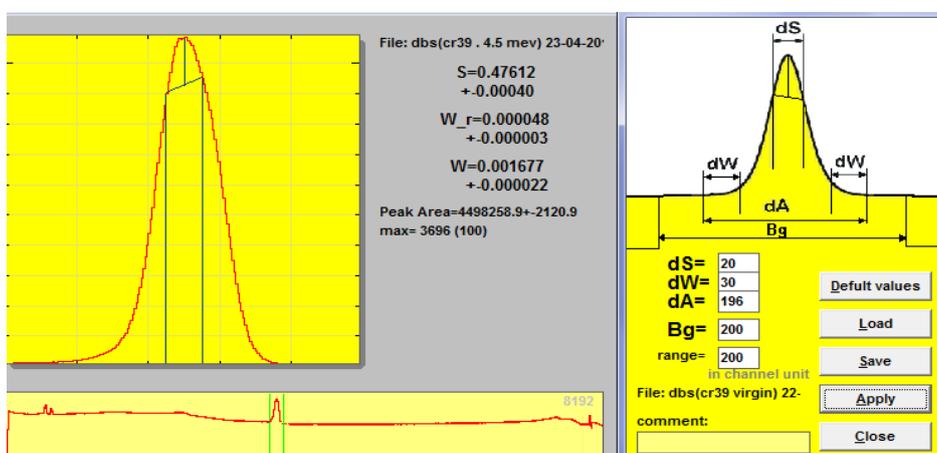


Figure III. 7. Résultat de l'analyse du spectre de CR39 irradié par 4.5 MeV.

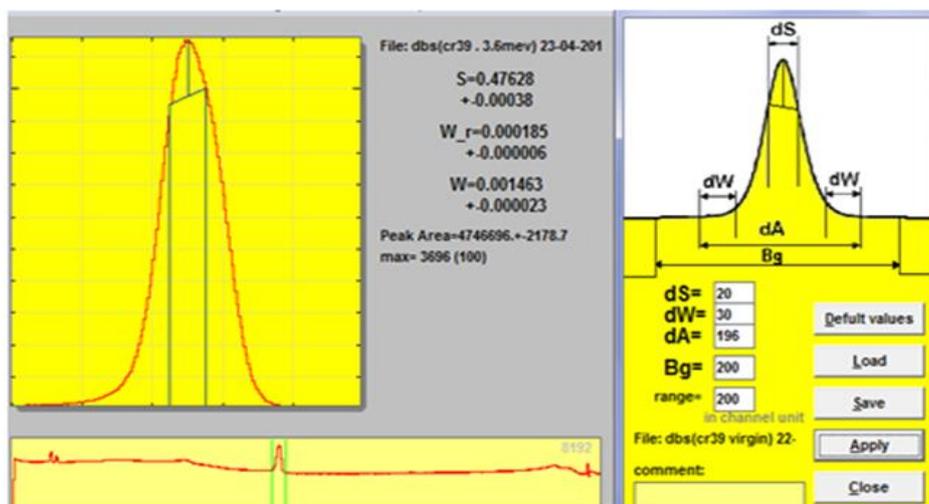


Figure III. 8. Résultat de l'analyse du spectre de CR39 irradié par 3.6 MeV.

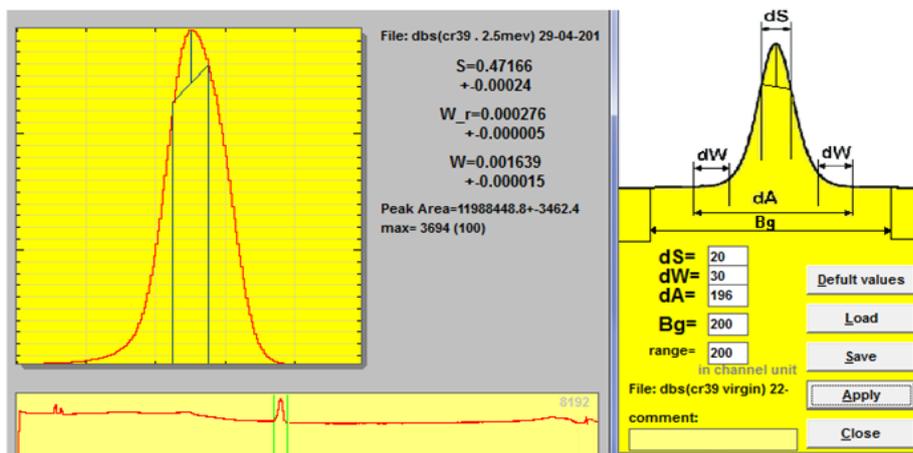


Figure III. 9. Résultat de l'analyse du spectre de CR39 irradié par 2.5 MeV.

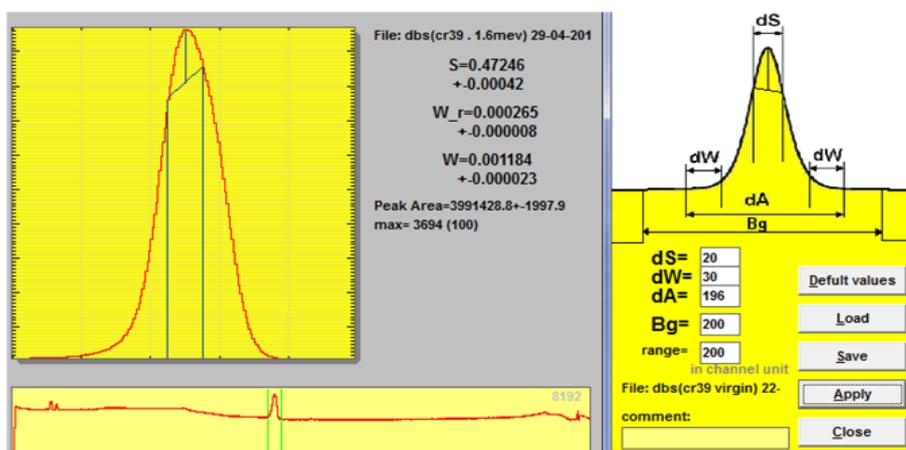


Figure III. 10. Résultat de l'analyse du spectre de CR39 irradié par 1.6 MeV.

Les différentes valeurs du paramètre S extraites à partir de cette analyse des spectres DBS sont montrées sur le tableau suivant :

E_{α} (MeV)	Paramètre S
4.5	0.47612 ± 0.0004
3.6	0.47628 ± 0.00038
2.5	0.47166 ± 0.00024
1.6	0.47246 ± 0.00042
0	0.47591 ± 0.00041

Tableau III. 3. Les différentes valeurs du paramètre S et d'énergie d'irradiation.

La figure III. 11. représente la variation du paramètre S en fonction d'énergie d'irradiation.

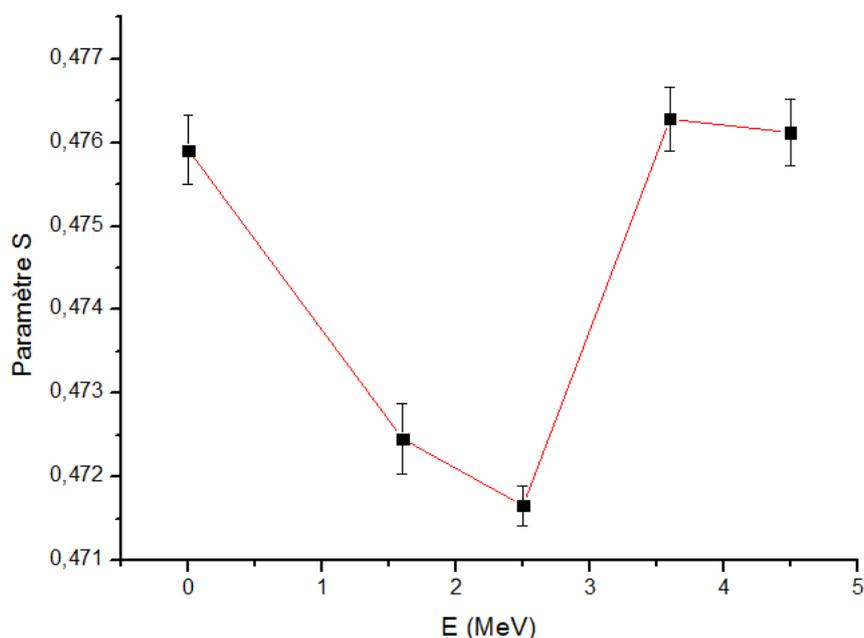


Figure III. 11. La variation du paramètre S en fonction d'énergie d'irradiation.

Nous avons remarqué l'existence de deux régions sur cette courbe. Une première région où le paramètre S diminue de 0,47591 pour le vierge à la valeur minimale de 0,47166 pour une énergie de 2,5 MeV. Dans la deuxième région [2,5 - 4,5 MeV], le paramètre S augmente et se stabilise à une valeur de 0,47628. Nous pensons que, dans la gamme d'énergie allant de 0 à 2,5 MeV, la diminution du paramètre S est due au phénomène de réticulation des chaînes moléculaires ce qui résulte en une diminution de la taille du volume libre dans le polymère. Cependant, dans la gamme d'énergie allant de 2,5 à 4,5 MeV, l'augmentation de S est causé par une scission des chaînes ce qui induit une augmentation du volume libre.

III. B. 1. 3. 2. Les résultats de l'analyse des spectres de la série du CR39 irradiée pour différents temps d'irradiations

Pour la série CR39 irradié à une énergie de 4,1 MeV et pour différents temps d'irradiations, les spectres DBS collectés ont été aussi analysés par le logiciel SP version 11. Les différentes analyses sont représentées sur les figures suivantes :

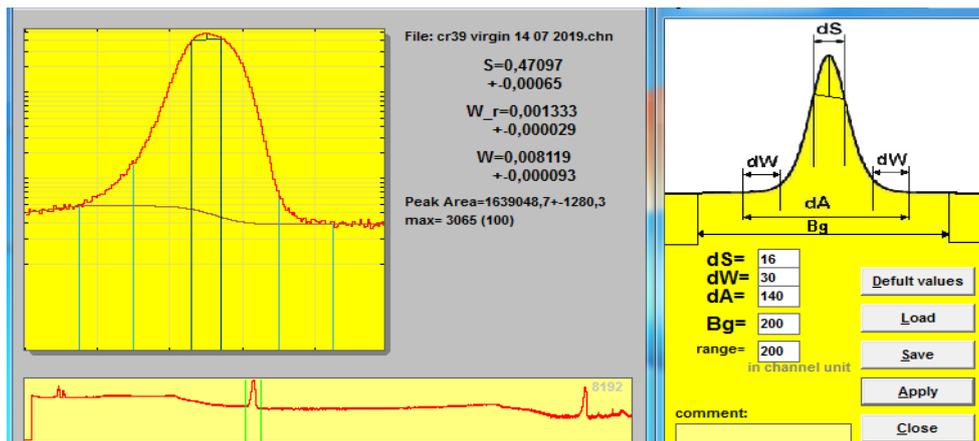


Figure III. 12. Résultat de l'analyse du spectre de CR39 non irradié.

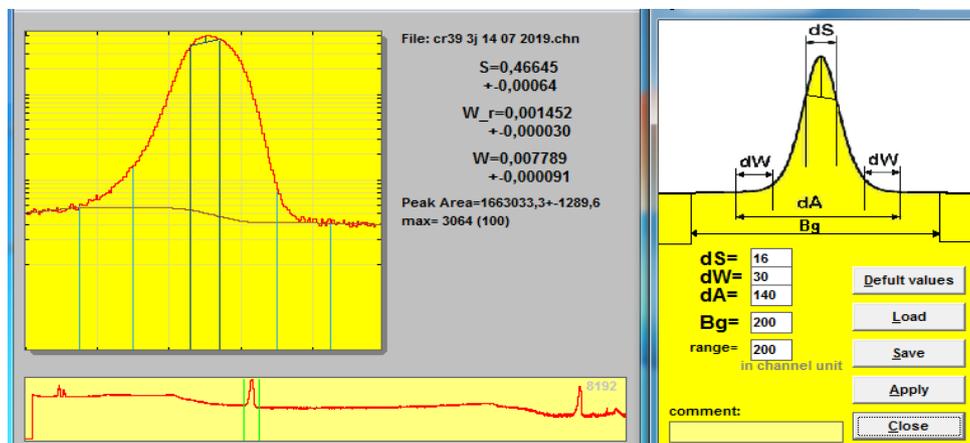


Figure III. 13. Résultat de l'analyse du spectre de CR39 irradié pendant 03 jours.

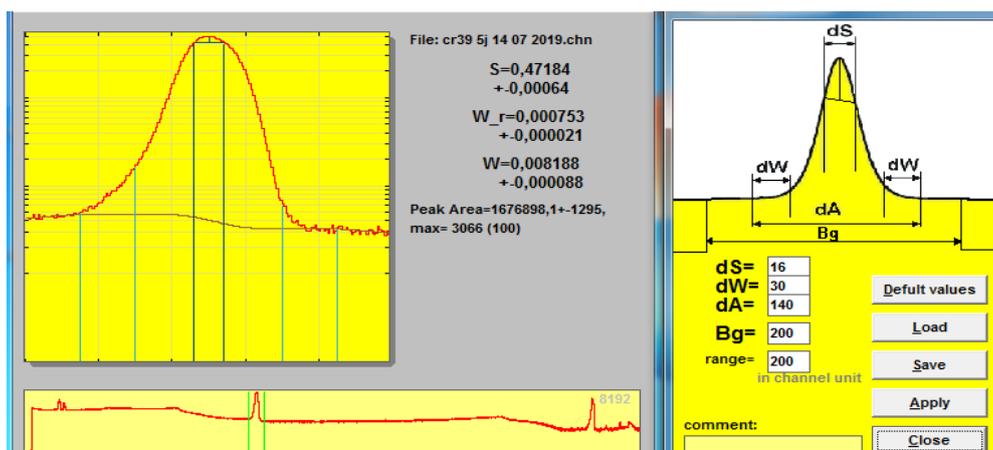


Figure III. 14. Résultat de l'analyse du spectre de CR39 irradié pendant 05 jours.

A partir de ces analyses, nous avons extrait les valeurs du paramètre S et qui sont représentées dans le tableau III.4.

Temps d'irradiation (j)	Φ (α/cm^2)	S
0	0	$0,47097 \pm 0,00065$
3	1.26×10^8	$0,46645 \pm 0,00064$
5	2.1×10^8	$0,47184 \pm 0,00064$

Tableau III. 4. Les différentes valeurs du paramètre S et du fluence.

A partir de ce tableau, nous avons noté que le paramètre S possède la même allure que pour la précédente série d'échantillons (irradié pour différentes énergies). En effet, le paramètre S diminue de la valeur 0.47097 pour le CR39 non irradié à 0.46645 une fluence de $1.26 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2$ (temps d'irradiation de 03 jours), ce qui est signe d'un phénomène de réticulation des chaînes et donc une diminution du volume libre. Cependant, pour une fluence plus grande ($2.1 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2$), le paramètre S augmente de nouveau pour atteindre une valeur maximale de 0.47184, ce qui correspond à une augmentation du volume libre résultant de la scission des chaînes.

Ainsi, à travers l'étude de ces deux séries d'échantillons, nous avons montré que la DBS est capable de sonder le changement du volume libre induit par une irradiation utilisant les particules alpha. Cependant, par la DBS, il n'est pas possible d'estimer la taille du volume libre, ce qui nous a poussé à faire des expériences de mesure du temps de vie du positron.

III. B. 2. Spectroscopie de temps de vie du positron (PALS)

III. B. 2. 1. Sélection des énergies START et STOP

La sélection des énergies pour les deux voies START et STOP se fait en utilisant la carte d'acquisition (MCA) pour collecter les événements passants par les CFDD. Nous avons branché le SCA out du CFDD pour chaque voie avec le MCA, puis varié les valeurs des potentiomètres UPL (Uper Limit Level) et LLW (Lower Limit Level) qui se trouvent au niveau des CFDD, afin d'enregistrer un nombre de coups à chaque fois. Cette opération nous permet d'enregistrer un spectre énergétique de la source ^{22}Na en fonction de la tension pour les deux voix START et SRTOP (les figures III. 15 et III. 16).

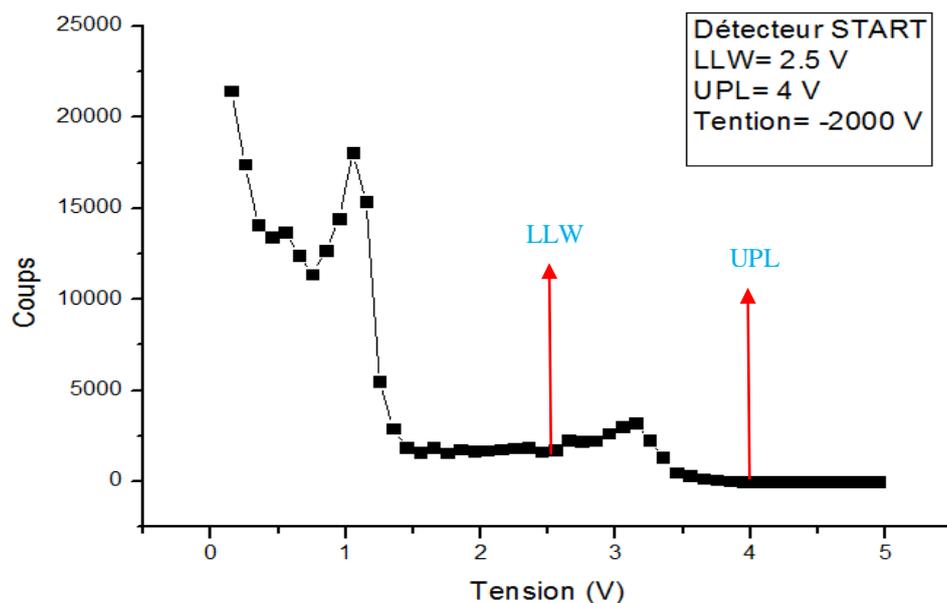


Figure III. 15. Spectre énergétique de la source ^{22}Na en fonction de la tension pour la voie *START*.

Il est clair que le spectre de la figure III. 16 comporte deux pics relatifs aux énergies 1.28 MeV et 0.511 MeV (voies *START* et *STOP* respectivement). Pour la voie *START*, nous nous intéressons seulement au pic relatif à l'énergie 1.28 MeV (région *START*), donc nous éliminons la région correspondante à l'énergie 0.511 MeV. De cette façon, nous définirons les limites *LLW* et *UPL* de la région d'énergie 1.28 MeV, qui sont respectivement de 2.5 V et 4 V (voir figure III.16).

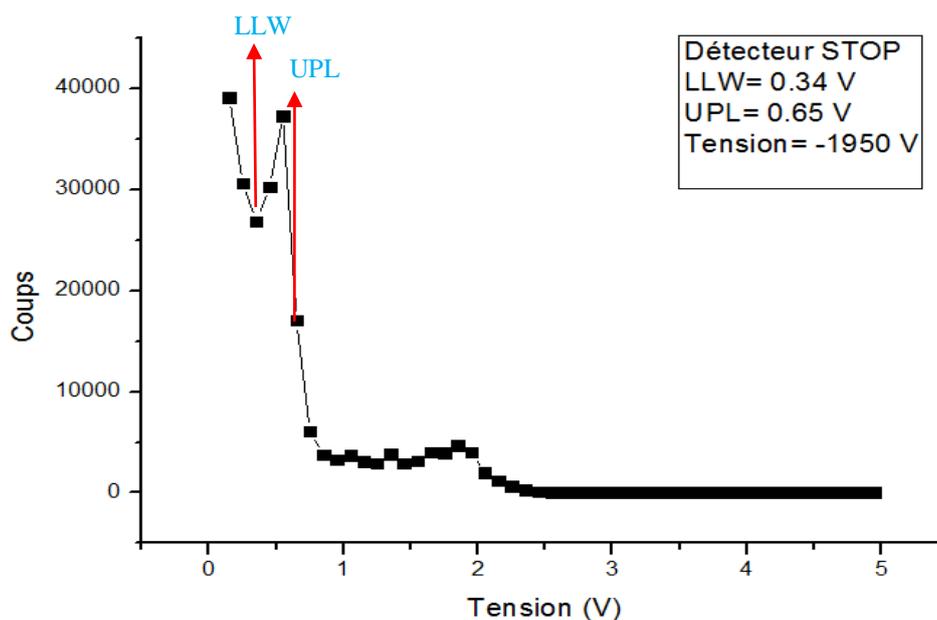


Figure III. 16. Spectre énergétique de la source ^{22}Na en fonction de tension pour la voie *STOP*.

Pour définir la région de l'énergie 0.511 MeV (région STOP), nous éliminons la région d'énergie 1.28 MeV et nous fixons les valeurs de LLW et UPL (respectivement 0.34 V et 0.65 V) laissant apparaître, seulement, le pic d'énergie 0.511 MeV. Une fois la sélection des énergies 0.511 MeV et 1.28 MeV faite et les fenêtres énergétiques fixées pour les deux CFDD (Start et Stop), les deux signaux de sortie en temps (timing out en Anglais) sont injectés dans les voies Start et Stop du TAC. Le signal de sortie du TAC sera branché dans la carte d'acquisition Maestro 32.

III. B. 2. 2. La calibration du spectromètre du temps de vie du positron (la résolution temporelle)

La calibration du spectromètre du temps de vie du positron veut dire la détermination de la valeur d'un canal en temps, ce qui conduit à transformer l'axe des canaux, d'un spectre collecté sur MCA, en un axe de temps. Pour cette calibration nous avons inséré différents temps de retard dans la voix Stop : 2, 4, 6, 8, 10 et 12 ns et nous avons tracé la droite de calibration temps de retard versus canal maximal. La figure III. 17 montre le tracé du temps de retard en fonction du canal maximal correspondant.

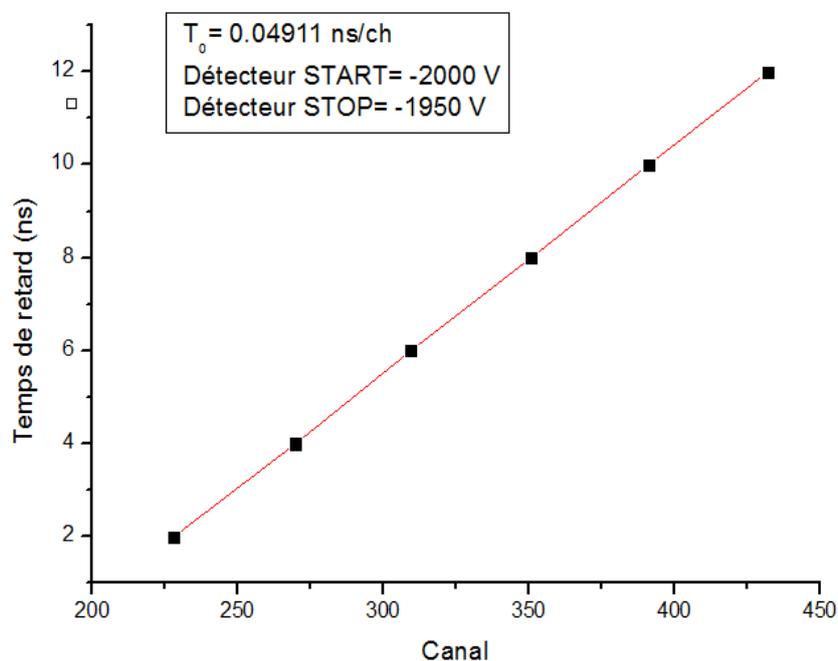


Figure III. 17. Droite de calibration du spectromètre de temps de vie du positron.

Nous avons remarqué sur cette figure que la variation du temps de retard en fonction du canal est une droite linéaire, sa pente représente la valeur d'un canal en temps. Dans notre

cas, cette valeur de T_0 est égale à 0.04911 ns/ch et qui sera utilisée pour l'ajustement de tous les spectres de temps de vie du positron.

III. B. 2. 3. Analyse des spectres du temps de vie du positron

Le spectre expérimental du temps de vie $N(t)$ représente le nombre d'événement de coïncidence entre la naissance et l'annihilation du positron en fonction de temps t et il est constitué des composantes de déclin exponentielles qui sont données par la relation suivante :

$$N(t) = -\frac{dn(t)}{dt} = \sum_i \frac{I_i}{\tau_i} \exp\left[-\frac{t}{\tau_i}\right] \dots \dots \dots (III. 5)$$

Où :

$n(t)$: La population de positons dans différents états à l'instant t .

τ_i : Le temps de vie caractéristique de l'annihilation dans l'état i .

I_i : Intensité relative à τ .

En fait, le spectre expérimental est la somme du bruit de fond et du produit de convolution de la distribution statistique des annihilations en fonction du temps (l'équation III. 5), avec la fonction de résolution du spectromètre qui a une forme gaussienne $R(t)$, comme il est indiqué sur la figure III. 18 [9].

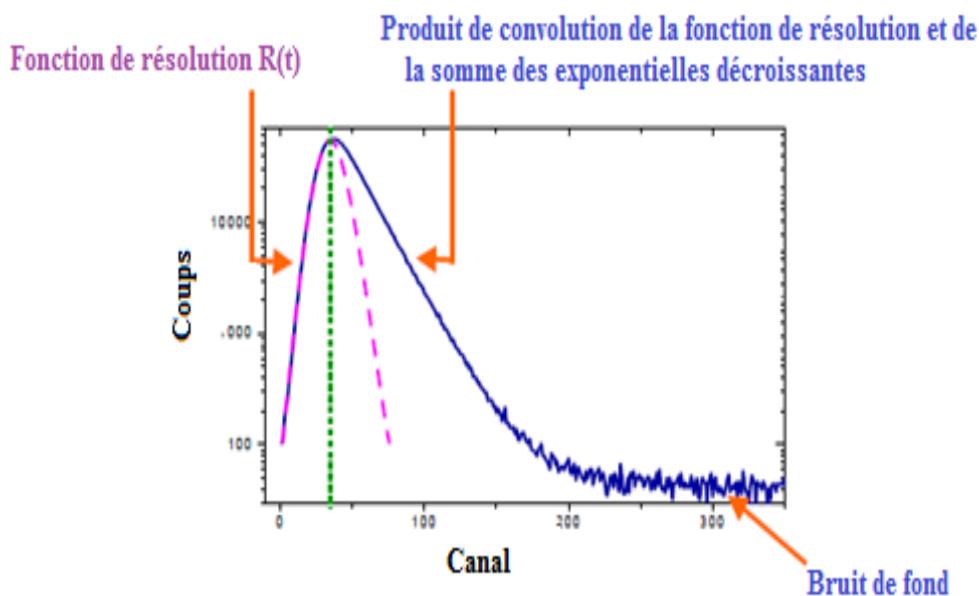


Figure III. 18. Spectre de temps de vie du positron.

Les spectres du temps de vie du positon collectés ont été analysés en utilisant le logiciel LT.9.2.3 (Life Time version 9.2.3) [23] qui permet de donner directement le

pourcentage de la contribution de la source au spectre de temps de vie (correction de source) et aussi de calculer les composantes du temps de vie du positron ainsi que leurs intensités avant et après la correction de la source. Les deux paramètres T_0 et la correction de la source seront fixés durant l'ajustement. L'acquisition des spectres PALS a été faite sur 1024 canaux et pour un temps d'acquisition de 40000 s ce qui correspond à 2 millions de coups.

III. B. 2. 3. 1. Analyse du spectre de calibration : correction de la source

La source de Sodium (^{22}Na) contribue au spectre de temps de vie du positron par deux composantes du temps de vie : la première correspond à l'annihilation des positrons avec le support de la source (le kapton), tandis que la deuxième correspond à l'annihilation des positrons avec les cristaux du sel de Sodium (^{22}Na). De plus, la fraction d'annihilation des positrons dans la source est affectée par deux paramètres qui sont l'épaisseur du kapton et la quantité de sel déposé (activité de la source). La détermination de cette contribution est une étape très importante qui doit être faite avant de commencer l'acquisition des spectres des échantillons CR39. Cela nécessite d'utiliser un standard qui ne contient pas de défauts, c'est-à-dire possédant un seul temps de vie de positron connu. Dans notre travail, nous avons utilisé le Silicium (Si) (temps de vie $\tau = 218$ ps). Le spectre du temps de vie du positron de Silicium a été analysé par le logiciel LT.92.3 (figure III. 19).

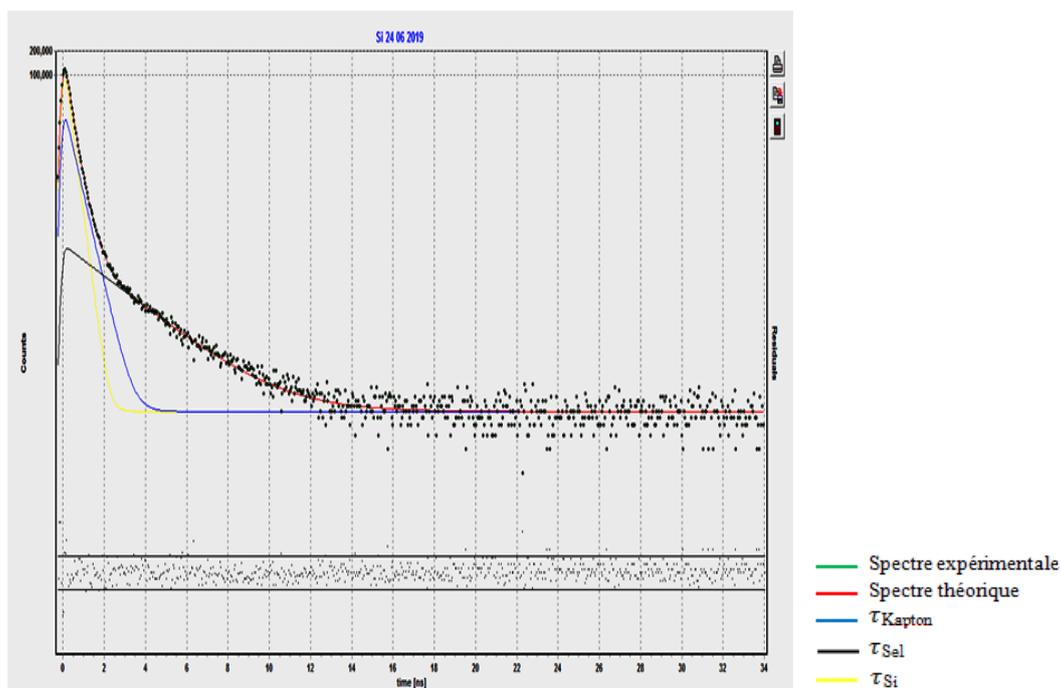


Figure III. 19. Spectre du temps de vie du positron de Silicium : spectre de calibration (correction de la source).

Les résultats de l'analyse de ce spectre après la correction de la source sont montrés ci-dessous (Figure III.20).

```

Si 24 06 2019
Analysed between channels 303 and 1000. Calibration=0.04920 ns/chann.
Total counts=1201286 Bkgr./signal=0.35%

Fit's variance =1.0999 Date: 7/11/2019 11:12:09 AM

SAMPLE:
intensities [%] lifetimes [ns] dispersions [ns]
100.0000 0.21745(0.00072) 0.0000

Mean lifetime : 0.2174

SOURCE :
contribution 32.25(0.16) [%]
intensities [%] lifetimes [ns]
91.5000 0.3850
8.5000 2.170(0.024)

ZERO CHAN. 307.87230(0.00022) BACKGROUND 5.99(0.13) [Counts]

RESOLUTION CURVE :
ESG fract. (%) Shift (chnns) FWHM (ns) tau(left) (ns) tau(right) (ns)
100.0000 0.0000 0.25167(0.00047) 0.0000 0.0000

```

Figure III. 20. Les résultats de l'analyse du spectre de Silicium après la correction de la source.

Cette analyse nous a permis de connaître le taux de contribution de la source au spectre de Si qui correspond à l'annihilation des positrons dans le kapton et le sel. Ce taux était de 32.25 %. Les valeurs des deux composantes de temps de vie τ_{Kapton} et τ_{Sel} qui représentent cette contribution sont montrées sur le tableau III.5.

Composant de la source $^{22}\text{NaCl}$	Temps de vie caractéristique (ns)	Contribution (%)
τ_{Kapton}	0.385	32.25 %
τ_{Sel}	2.17	

Tableau III. 5. Temps de vie caractéristiques de la source et sa contribution au spectre du temps de vie du positron.

III. B. 2. 3. 2. Analyse des spectres du CR39 irradié pour différents temps d'irradiations

Afin de distinguer la différence apportée par l'irradiation alpha, il est nécessaire d'analyser le spectre PLAS du CR39 non irradié et ensuite ceux relatifs aux échantillons

irradiés. Tous les spectres PALS ont été analysés avec trois composantes du temps de vie du positron (τ_1 , τ_2 et τ_3). La plus courte τ_1 , avec une intensité I_1 , correspond à la fraction para-positronium (p-Ps). L'intermédiaire τ_2 , ayant une intensité I_2 , est due à l'annihilation des positrons libre. La plus longue composante τ_3 , possédant une intensité I_3 , est la fraction ortho-positronium (o-Ps) résultante de l'annihilation *pick-off* (c.à.d. annihilation avec les électrons de la périphérie d'un volume libre). Dans notre étude, nous nous intéressons à la plus longue composante τ_3 qui nous donne une information sur le changement du volume libre dans ce polymère après les irradiations, alors que son intensité contient une information sur l'intensité de ce volume libre. Les spectres PALS ajustés du CR39 vierge ainsi que des échantillons irradiés pendant 03 jours et 05 jours sont montrés ci dessous.

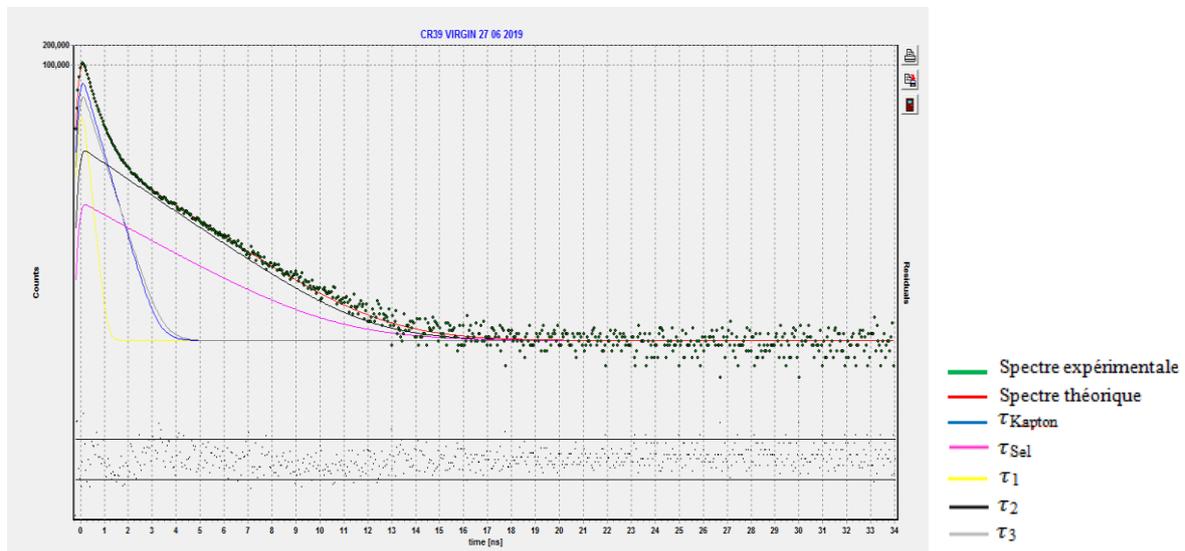


Figure III. 21. Spectre du temps de vie du positron de CR39 non irradié.

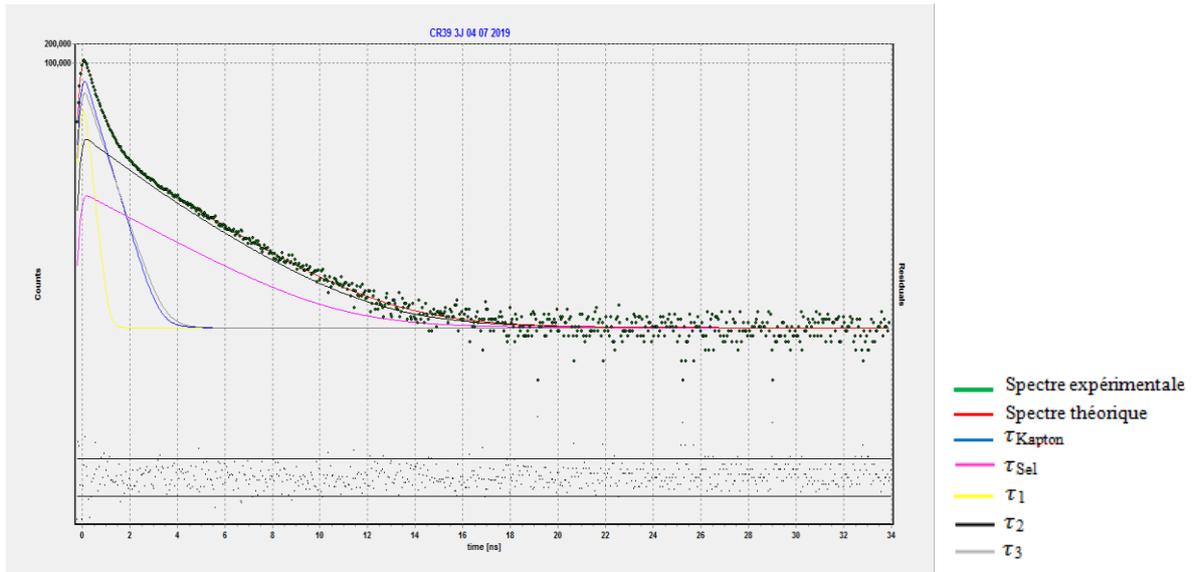


Figure III. 22. Spectre du temps de vie du positron de CR39 irradié pendant 03 jours.

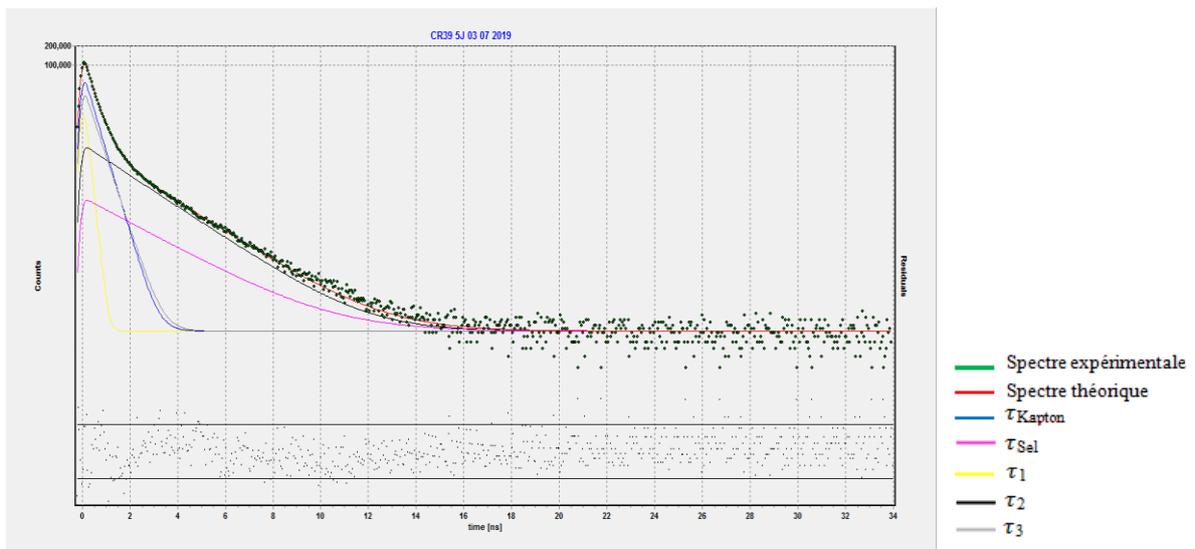


Figure III. 23. Spectre du temps de vie du positron de CR39 irradié pendant 05 jours.

Les différentes valeurs du temps de vie d'o-Ps (τ_3) et leur intensité (I_3) sont mentionnées sur le tableau III. 6.

$t_{\text{irradiation}} \text{ (j)}$	$\Phi \text{ (}\alpha/\text{cm}^2\text{)}$	$\tau_3 \text{ (ns)}$	$I_3 \text{ (\%)}$
0	0	1.7777 ± 0.0073	22.14 ± 0.11
3	1.26×10^8	1.7237 ± 0.0094	24.195 ± 0.063
5	2.1×10^8	1.7754 ± 0.0071	22.29 ± 0.11

Tableau III. 6. Les différentes valeurs du temps de vie d'o-Ps et leur intensité.

A partir de ce tableau, nous avons noté que le temps de vie d'ortho-positronium connaît une diminution dans l'intervalle de fluence $[0 - 1.26 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2]$ de 1.7777 ns à 1.7237 ns, puis, il augmente pour atteindre la valeur 1.7754 ns dans l'intervalle $[1.26 \times 10^8 - 2.1 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2]$. Comme nous l'avons mentionné précédemment, le changement du volume libre dans les polymères est le résultat des phénomènes de scission et réticulation des chaînes moléculaires. Ceci explique que la diminution et l'augmentation de τ_3 représentent la diminution et l'augmentation du volume libre, respectivement, dans le CR39. Concernant l'intensité de τ_3 , nous avons remarqué qu'elle augmente de 22.14 % à 24.195 % dans l'intervalle de fluence $[0 - 1.26 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2]$, après cela, elle diminue jusqu'à la valeur 22.29 % dans l'intervalle $[1.26 \times 10^8 - 2.1 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2]$. Cela indique qu'il y a une fragmentation du volume libre pour des fluences comprises entre $0 \alpha/\text{cm}^2$ et $1.26 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2$, et un regroupement des volumes fragmentés pour des fluences comprises entre $1.26 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2$ et $2.1 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2$. Donc, nous avons conclu qu'il y a une réticulation puis une scission des chaînes dans le CR39 pendant l'irradiation.

A partir des valeurs de τ_3 , il est possible d'estimer la taille du volume libre dans le polymère CR39. Pour cette estimation nous avons supposé une forme sphérique de ce volume libre et appliquer le modèle de Tao-Eldrup [24].

$$\tau_3 = 0.5 \left[\frac{1}{R+\Delta R} + \frac{1}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi R}{R+\Delta R} \right) \right]^{-1} \text{ (ns)} \dots \dots \text{ (III.6)}$$

Où ΔR , est l'épaisseur du nuage électronique autour du volume libre : $\Delta R = 1.66 \text{ \AA}$.

La taille du volume libre peut être calculée en utilisant la formule du volume relative à une sphère :

$$V_f = 4\pi R^3 / 3 \dots \dots \dots \text{ (III.7)}$$

Les différentes valeurs du rayon R et du volume libre sont listées sur le tableau III. 7.

$t_{\text{irradiation}} \text{ (j)}$	$\Phi \text{ (}\alpha/\text{cm}^2\text{)}$	$R \text{ (}\text{Å}\text{)}$	$V \text{ (}\text{Å}^3\text{)}$
0	0	2.6432 ± 0.007	$77.314 \pm 1.436 \times 10^{-6}$
3	1.26×10^8	2.5882 ± 0.007	$72.5875 \pm 1.436 \times 10^{-6}$
5	2.1×10^8	2.6409 ± 0.007	$77.1124 \pm 1.436 \times 10^{-6}$

Tableau III. 7. Les différentes valeurs du rayon R et du volume libre dans le CR39.

A partir du tableau III. 7, nous avons remarqué qu'il y a une diminution du rayon R (de 2.6432 Å à 2.5882 Å) et du volume libre (de 77.314 Å³ à 72.5875 Å³) dans l'intervalle de fluence [0-1.26 x 10⁸ α/cm²], ce qui est attribué à la réticulation des chaînes moléculaires du CR39. Ensuite, nous avons noté que pour l'intervalle de fluence allant de 1.26 x 10⁸ α/cm² à 2.1 x 10⁸ α/cm², le rayon et le volume libre augmentent pour atteindre des valeurs de 2.6409 Å et 77.1124 Å³, respectivement. Cette augmentation est une claire confirmation du phénomène de scission des chaînes moléculaires.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail de mémoire, nous avons étudié l'effet des irradiations alpha sur le changement du volume libre dans le matériau CR39 en utilisant les techniques de spectroscopie du temps de vie du positron (PALS) et d'élargissement Doppler (DBS) qui se trouvent au niveau du laboratoire Positron&Mössbauer du centre de recherche nucléaire d'Alger. L'irradiation des échantillons CR39 a été faite de deux manières différentes : une série de ces échantillons a été irradiée pour différentes énergies allant de 1.6 MeV à 4.5 MeV et une autre série pour différents temps d'irradiation (3 jours et 5 jours) et une énergie fixe.

L'analyse des spectres DBS de la série du CR39 irradiée pour différentes énergies a montré que le paramètre S diminue de 0.47591 pour le CR39 non irradié à la valeur minimale de 0.47166 pour une énergie de 2.5 MeV et augmente de nouveau pour atteindre une valeur maximale de 0.47628 correspondante à 4.5 MeV. Cette diminution (augmentation) du paramètre S est attribuée aux phénomènes de réticulation (scission) des chaînes moléculaires. Par ailleurs, nous avons noté que le paramètre S évolue de la même manière pour les échantillons CR39 irradiée à différents temps d'irradiations. En effet, S diminue de 0.47097 pour $0 \alpha/\text{cm}^2$ à 0.46645 pour une fluence de $1.26 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2$, ensuite il augmente de nouveau pour atteindre une valeur de 0.47184 pour $2.1 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2$.

D'autre part, nous avons effectué des expériences de mesure du temps de vie du positron (PALS) sur les échantillons CR39 irradiés pour différents temps d'irradiation. Les spectres des échantillons CR39 irradiés ont été analysés avec trois composantes du temps de vie du positron (τ_1, τ_2, τ_3) avec des intensités respectives (I_1, I_2, I_3). Nous avons remarqué que le temps de vie d'o-Ps diminue de 1.7777 ns pour l'échantillon non irradié jusqu'à 1.7237 ns pour une fluence $1.26 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2$, puis augmente à la valeur 1.7754 ns pour $2.1 \times 10^8 \alpha/\text{cm}^2$. Cette diminution (augmentation) de τ_3 se réfère aux phénomènes de réticulation (scission) des chaînes dans le CR39 et confirme le résultat trouvé par DBS. A partir des valeurs de la fraction ortho-Positronium, o-Ps, nous avons estimé le rayon du volume libre et nous avons ainsi confirmé la diminution (augmentation) de ce volume et par conséquent l'existence des phénomènes de réticulation (scission) des chaînes polymériques du CR39 sont augmentés afin de prendre les valeurs de 2.6409 \AA et 77.1124 \AA^3 , respectivement. Cette augmentation représente la scission entre les chaînes moléculaires.

Enfin, ce travail de mémoire m'a donné l'occasion d'acquérir des connaissances dans le domaine de la physique nucléaire de l'état solide. Il m'a permis de comprendre le processus

Conclusion générale

d'irradiation par des particules alpha en utilisant les sources radioactives. Aussi, il m'a donné l'occasion de travailler sur les techniques de spectroscopie d'annihilation du positron, PALS et DBS, et d'apprendre tout ce qui les concerne (calibration, sélection des énergies, résolution temporelle, correction de la source) afin d'étudier les défauts dans les matériaux. De plus, j'ai eu la chance d'utiliser des logiciels spéciaux pour analyser les spectres PALS et DBS. J'ai aussi eu la chance d'assister à la préparation de la source radioactive ^{22}Na au niveau du CRNA, qui se fait une fois par deux/trois années.

Références bibliographiques

- [1] G. Immè, D. Morelli, M. Aranzulla, R. Catalano, G. Mangano. *Radiation Measurements*, 50 (2013) 253-257.
- [2] D. Nikezic and K. N. Yu. *Materials Science and Engineering R* 46 (2004) 51–123.
- [3] M. F. Eissa. *Defect and Diffusion Forum*. 344 (2013) 95-105.
- [4] G. Dlubek, D. Kilburn, V. Bondarenko, J. Pointeck, R. Krause-Rehberg and M. A. Alam. *Macromol. Symp.* 210 (2004) 11-20.
- [5] P. A. M. Dirac, *Poc. Camb. Phil. Soc. Math. Phys. Sci.* 26, 361, (1930).
- [6] C. D. Anderson, *Science*. 76, 238, (1932).
- [7] Y. Aharonov, F. T. A Vignone III, R. L. Brodzinski, J. J. Collar, E. Garcia, H. S. Miley, A. Morales, J. Morales, S. Nussinov, A. Ortiz de Solorzano, J. Puimedon, J. H. Reeves, C. Saenz, A. Salinos, M. L. Sarsa et J. A. Villar, *Phys. Rev. D*. 52, 3785, (1995).
- [8] A. Sediri, *Memoire de projet de fin d'étude ingénieur*, Université de Tizi-Ouzou, 2010.
- [9] X. Kerbiriou, *Thèse de doctorat*, Université d'Orléans, 2006.
- [10] E. M. H. Sayed Ahmed, *thèse de doctorat* Université Marthin Luther, Hall-Wittemberg, 2001.
- [11] H. L. Li, Y. Ujihira, S. Shukushima, K. Ueon, *Polymer*. 41, 93, (2000).
- [12] G. Manuel, A. Zaydouri, « rapport sur l'utilisation de positrons pour l'étude d'un HDPE irradié », Université de Franche-Comté, Lausanne, 2009.
- [13] A. Guittoum, « Rapport sur le séjour de recherche au laboratoire de spectroscopie d'annihilation du positron », Université Martin Luther, Hall, Allemagne, (2009).
- [14] R. Krause-Rehberg and H. S. Leipner, «Positron annihilation in semiconductors: Defects studies», Springer, 1998.
- [15] A. Kermad, «Rapport de confirmation au poste d'Attachée de Recherche», CRNA, 2014.
- [16] B. G. Cartwright, E. K. Shirk et P. B. Price. *Nucl. Instrum. Meth.* 153, 457, (1978).
- [17] E. N. Saad, M. F. Eissa, E. A. Badawi, M. A. K. El-Fayoum, *International Journal of Advanced Research*, (2014), Volume 2, 694-702.
- [18] M. A. Abdelrahman, Y. A. Lotfy and E. Badawi, *International Journal of Modern Physics B* Vol. 21, No.22 (2007), 3851-3858.
- [19] M. F. Eissa, E. M. Hassan and E. A. Badawi, *Defect and Diffusion Forum*, Vol. 332, (2012), 77-83.
- [20] J. F. Ziegler, J. P. Biersack et M. D. Ziegler. *The Stopping and Range of Ions in Matter*, (2008), p398.

Références bibliographiques

- [21] N. Bendjedda, « Rapport sur la spectrométrie d'annihilation du positron par la mesure de l'élargissement Doppler » Université Martin Luther. Halle, Allemagne (2015).
- [22] <http://www.ifj.edu.pl/~mdryzek>.
- [23] J. R. MacDonald, K. G. Lynn. R. A. Boie, M. F. Robbins, Nucl. Instrum. Meth. 153, 189, (1978).
- [24] J. Viret, Thèse de doctorat, Université Chembréry de Savoie, France, 2003.