



Académie de Montpellier



Université de Montpellier II
- sciences et techniques du Languedoc -

Stage : Master STPI 1^{er} année Promotion 2004/2005

**Evaluation d'un dosimètre OSL à fibres optiques
pour des applications haute dose**

Jean-michel BEC

Soutenu le 06 juillet 2005

Stage effectué au CEM2 à Montpellier et au SCK•CEN à Mol
Sous la direction de Mr L.Dusseau et Mr A.Fernandez Fernandez

Remerciements

Je tiens particulièrement à remercier M. le Professeur Laurent DUSSEAU du Laboratoire CEM² de l'université Montpellier II, qui m'a offert la chance d'effectuer ce stage dans des conditions de travail exceptionnelles.

Je remercie mon promoteur durant ce stage M. Alberto FERNANDEZ FERNANDEZ, Ingénieur au SCK•CEN, de m'avoir guidé tout au long du projet avec son enthousiasme et sa bonne humeur communicative.

Mon stage n'aurait pas été possible sans la très professionnelle équipe du BR3, généreuse et impliquée qui m'a permis de mener à bien ce projet.

Remerciements particuliers à Hans OOMS et à Stan HENDRICKX pour leur présence et leurs conseils, à Jean POUDERS pour son travail d'orfèvre et à Stan VAN IERSCHOT pour son aide en programmation LABVIEW.

Et enfin, merci à Pierre-François BIARD et à Yoann DESCAS mes compagnons de bureau pour leur soutien et leur bonne humeur.

SOMMAIRE

1. LA DOSIMETRIE OSL	- 5 -
1.1. SUJET DU STAGE.....	- 5 -
1.2 LES DIFFERENTS DOSIMETRES	- 5 -
1.3. PRINCIPE DE L'OSL.....	- 8 -
2. TRAVAIL REALISE AU CEM2	- 9 -
2.1. ETUDE ET REALISATION DE LA PARTIE ANALOGIQUE.....	- 9 -
2.2. PROGRAMME SOUS LABVIEW.....	- 11 -
3. TRAVAIL REALISE AU SCK -CEN.....	- 12 -
3.1. MODIFICATIONS APPORTEES AU MONTAGE ET AU PROGRAMME :	- 12 -
3.2. PREMIERE SERIE DE TESTS (SOURCE GAMMA):	- 15 -
3.3. DEUXIEME SERIE DE TESTS (SOURCE GAMMA):	- 19 -
3.3.1. Mesure au «coup par coup»	- 19 -
CONCLUSION	- 26 -
BIBLIOGRAPHIE	- 27 -

PREAMBULE

Le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (SCK•CEN) est une Fondation d'Utilité Publique (FUP), à statut de droit privé, sous la tutelle du ministre fédéral belge qui a l'énergie dans ses attributions. Le SCK•CEN occupe environ 600 collaborateurs dont un tiers de diplômés universitaires. Le chiffre d'affaires s'élève à 80 millions d'euros par an : 50% sont des subventions directes de l'Etat, 10% proviennent indirectement du démantèlement des installations déclassées et 40% sont des revenus provenant de travaux sous contrat et de prestations de services.

Le SCK•CEN a été créé en 1952 dans le but de permettre l'accès des milieux académique et industriel belges au développement de l'énergie nucléaire dans le monde entier. Dès 1991, sa mission statutaire accorde une priorité à l'étude des problèmes sociaux:

- La sûreté des installations nucléaires;
- La radioprotection;
- Le traitement sûr et le stockage des déchets radioactifs;
- La lutte contre la prolifération incontrôlée des matières fissiles;
- La lutte contre le terrorisme.

Ce savoir-faire et l'infrastructure disponibles sont également utilisés pour des services à l'industrie et pour des formations.

Le stage se déroule au BR 3 (« Belgian Reactor n°3 ») dans le département d'instrumentation. Le BR3 est le premier réacteur à eau pressurisée (PWR, Pressurized Water Reactor) construit en dehors des Etats-Unis. Il permet au producteur d'électricité belge d'assurer la formation du personnel d'exploitation en vue des applications de l'énergie nucléaire en Belgique. Mis en service en 1962, le réacteur est arrêté en 1987 pour être démantelé.

1. LA DOSIMETRIE OSL

1.1. *Sujet du stage*

Evaluation d'un dosimètre à fibre optique utilisant la luminescence par stimulation optique (OSL) pour des applications haute dose.

L'expérience acquise au centre d'électronique et de micro optoélectronique de Montpellier 2, en matière de dosimétrie utilisant des matériaux stimulables optiquement, a permis la mise au point de dosimètres OSL. Leur sensibilité est de l'ordre du mGy (Si) avec remise à zéro à distance. L'objectif de ce stage est d'évaluer le comportement d'un tel dosimètre pour des applications à fortes doses en le couplant à une fibre optique large cœur.

Pour ce faire, il m'a été demandé dans un premier temps d'étudier et de fabriquer la partie traitement du signal et acquisition et d'en effectuer les tests à Montpellier.

Dans un second temps, le but est d'optimiser le système pour le rendre compact et facile d'utilisation.

Par la suite, la sensibilité du photomultiplicateur devra être réglée.

Enfin, les fibres et le coupleur optique qui permettront d'effectuer des mesures in-situ dans les dispositifs d'irradiation du Centre d'étude de l'énergie atomique de Belgique (SCK•CEN) seront montés.

Nous aborderons ce rapport par introduire les différentes techniques dosimétriques. Nous décrirons ensuite le matériau OSL, ses propriétés ainsi son utilisation en tant que dosimètre.

Par la suite, nous décrirons le travail réalisé en présentant le dispositif développé et les résultats des mesures.

1.2 *Les différents dosimètres*

La radioactivité n'est décelable qu'en utilisant deux des types d'interactions entre les rayonnements ionisants et la matière : l'ionisation et l'excitation.

Différents types de détecteurs appelés « dosimètres » sont utilisés et peuvent être répertoriés de la manière suivante :

- Les dosimètres mettant en jeu l'ionisation de gaz
- Les dosimètres à scintillations
- Les dosimètres utilisant le noircissement des films photographiques
- Les dosimètres thermoluminescents
- Les dosimètres à semi-conducteurs
- Les dosimètres biologiques
- Les dosimètres chimiques
- Les dosimètres par résonance paramagnétique électronique
- Les dosimètres mettant en jeu les méthodes calorimétriques
- Les dosimètres photostimulables

On appelle « dosimètre » tout système permettant la détection de rayonnement. Quelque soit la nature du dosimètre utilisé, leur structure est identique. Un capteur interagit avec les radiations, puis le signal produit est recueilli et traité via un système d'amplification. L'acquisition est faite sur ordinateur.

Comprendre les différences entre les différents types de dosimètre existants (voir liste si dessus) permet d'avoir une vue d'ensemble des techniques employées et de leurs applications propres. Voici l'explication de trois d'entre elles qui sont fréquemment employées.

- **Les dosimètres mettant en jeu l'ionisation de gaz**

Le principe d'un tel détecteur est de confiner un gaz adéquat dans une enceinte hermétique. Une électrode est placée à chaque extrémité de l'enceinte pour appliquer une différence de potentiel. En l'absence de rayonnement ionisant, l'enceinte joue comme isolant et bloque le passage du courant. En revanche, si une particule ionisante pénètre dans l'enceinte, elle crée un grand nombre de paires électron/trou. Sous l'action du champ électrique, ces dernières vont être entraînées et vont induire une variation de potentiel aux bornes d'une résistance de charge.

En reportant l'amplitude de l'impulsion relevée en fonction de la tension injectée, on obtient un graphique indiquant différents régimes de fonctionnements dont seulement trois sont utilisés : chambre d'ionisation, compteur proportionnel et compteur de Geiger – Müller. Chaque détecteur donné est plus adapté ou non à un type et une énergie de rayonnements.

- **Les dosimètres à scintillations**

Ce type de détecteur est constitué d'une substance appelée scintillateur qui est couplée à un photomultiplicateur. Les électrons du scintillateur passent dans un état excité sous l'action de rayonnements ionisés. La désexcitation des molécules du scintillateur s'effectue par émission de photons de fluorescence ou de phosphorescence.

La lumière est émise entre 300 et 500 nm, la longueur d'onde étant caractéristique du scintillateur employé. Ce signal lumineux est ensuite converti en signal électrique.

Ce type de détecteur est utilisé pour :

- le dénombrement ;
- la spectrométrie ;
- la mesure de débits de dose absorbée.

- **Les dosimètres utilisant le noircissement de films photographiques**

Les rayonnements ionisants ont la propriété d'impressionner les émulsions photographiques qui sont constituées :

- d'une suspension de grains de bromure d'argent cristallisés
- d'ions Ag^+ interstitiels ;
- d'impuretés S^- dans de la gélatine.

A partir du film, la dose absorbée par l'intermédiaire de la densité optique du film révélé est déterminée.

En effet, il existe une plage dans laquelle la densité optique est proportionnelle à la dose absorbée :

- pour de faibles doses absorbées, il se forme un voile qui correspond au seuil minimum de sensibilité du film choisi. Ce seuil se situe aux alentours de 0,2 mSv pour des rayonnements de particules β et des rayonnements γ .

- pour de fortes doses absorbées, est observé un phénomène de saturation.

Le principal inconvénient du dosimètre photographique est la dépendance de sa plage d'utilisation (la partie linéaire entre " voile " et " saturation ") aux basses énergies (il y a un facteur 50 entre $E = 50$ keV et $E = 1$ meV).

Pour chaque situation professionnelle, il est donc nécessaire de disposer de films dosimètres sous des écrans convenablement choisis, afin que la réponse soit indépendante de la gamme d'énergie des rayonnements ionisants.

- **Les dosimètres photostimulables**

Le dosimètre OSL appartient à la famille des photostimulables et présente plusieurs avantages. Il est facile à transporter et à utiliser, et présente une rapidité de lecture et une possibilité de remise à zéro sans traitement chimique. La mise au point d'un tel système couplé à une fibre optique permettra un véritable suivi de la dose avec une périodicité choisie, grâce à des capteurs miniatures connectés en bout de fibre qui seront postés en zones inaccessibles ou dangereuses. Ces mesures seront donc sans danger pour l'appareillage électronique qui se trouvera à l'extérieur de la zone examinée.

Un tel dispositif (Voir figure 1) permettra de faire à souhait, une mesure directe des rayonnements ionisants dans la zone à contrôler.

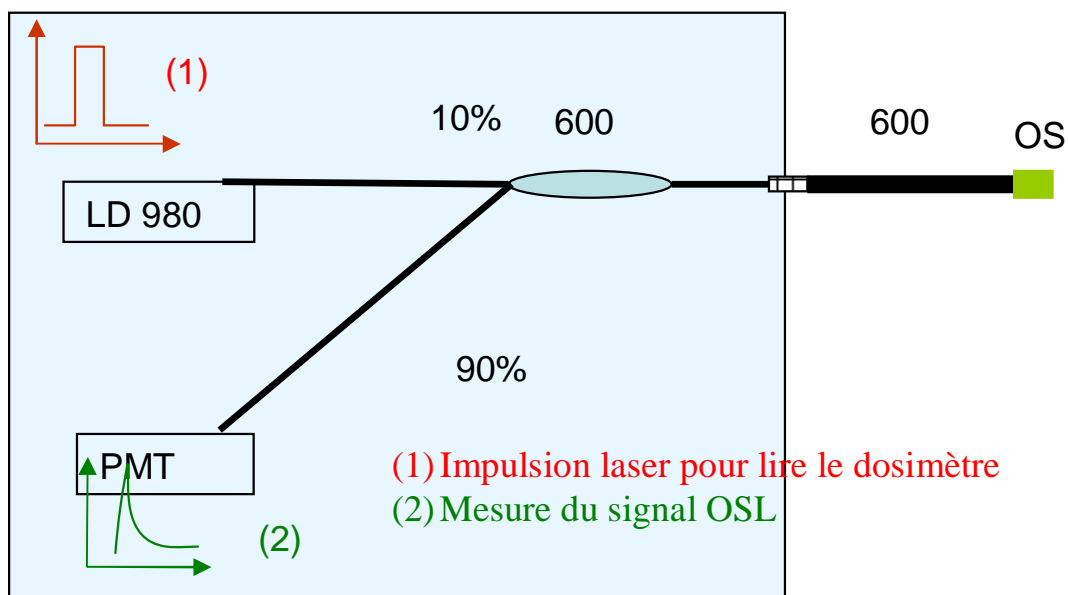


Figure1: Schéma de principe du dosimètre OSL à fibre optique

Si l'efficacité de tels systèmes est prouvée pour la dosimétrie à faible dose, il reste à prouver qu'il en est de même à haut débit.

1.3. Principe de L'OSL

La Luminescence Stimulée Optiquement ou OSL est une manifestation du phénomène de phosphorescence. Le phénomène de phosphorescence OSL consiste en une émission de rayonnement visible suite à une excitation, après stimulation infrarouge. L'excitation peut être due soit aux radiations lumineuses (photoluminescence : lumière visible ou ultraviolette), soit aux radiations (radioluminescence : photons γ , particules β , rayons X, etc...), soit à un faisceau électronique (cathodoluminescence).

La plupart des matériaux phosphorescents sont des isolants contenant des impuretés.

Les impuretés jouent un rôle fondamental du fait qu'elles introduisent des niveaux d'énergie dans la bande interdite (bande GAP). Or, ce sont les transferts électroniques sur ces niveaux qui engendrent le phénomène de luminescence.

Pour décrire, de manière schématique, le mécanisme de phosphorescence, nous admettrons qu'il n'existe qu'un seul niveau piège dans la bande interdite (Voir Figure 2).

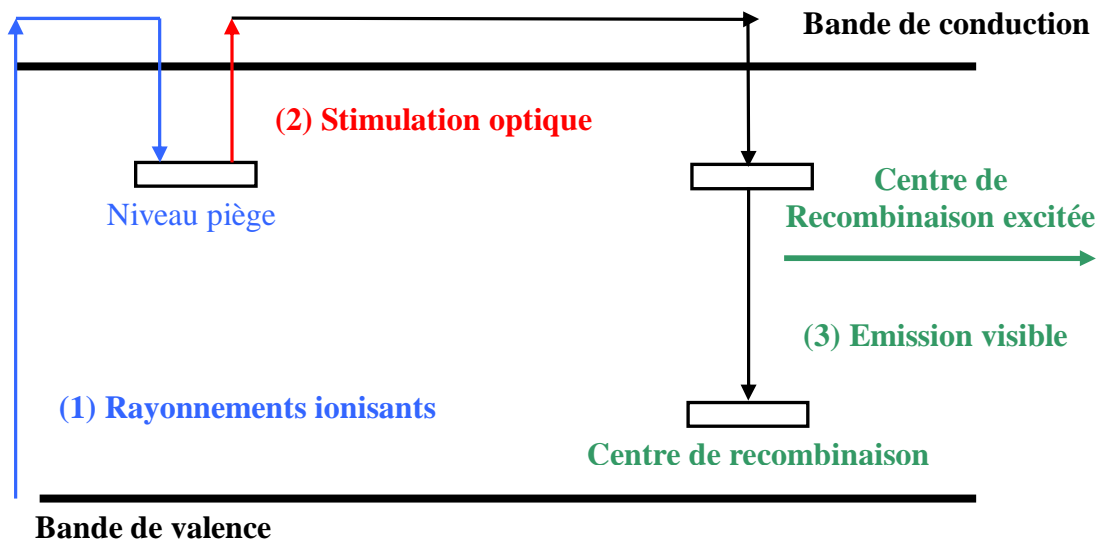


Figure 2 : Schéma du mécanisme de l'OSL

Sous l'action des rayonnements (1), les électrons de la bande de valence passent à la bande de conduction. Pour simplifier, nous ne considérerons que le cas des électrons, le raisonnement pouvant être étendu aux trous.

Certains de ces électrons sont capturés par des niveaux d'impuretés appelés niveaux pièges situés dans la bande interdite au voisinage de la bande de conduction. Lors d'une stimulation optique (2), l'énergie d'un photon permet le passage d'un électron situé dans un niveau piège vers la bande de conduction. L'électron peut alors être capté par un niveau d'impureté, appelé centre de recombinaison, dans un état excité. Si la transition du niveau excité au niveau fondamental de ce centre de recombinaison est radiative, alors elle donne naissance aux photons de luminescence (3).

En fait, un ensemble de transitions radiatives coexistent et donnent un spectre d'émission de luminescence.

Tout système OSL fait intervenir trois composantes : le matériau (matrice, nature des dopants, quantité, épaisseur, etc.), la source de stimulation infrarouge et le détecteur de luminescence (Voir Figure 3).



Figure 3 : Principe de fonctionnement de toute application OSL

2. TRAVAIL REALISE AU CEM2

2.1. Etude et réalisation de la partie analogique

Réaliser un tel circuit implique l'étude et la réalisation de circuits électriques visant à commander, réguler et protéger chaque élément composant le système. Nous allons étudier chaque circuit en expliquant leur rôle dans la chaîne de mesure :

- Réglage de la sensibilité du photomultiplicateur (PMT) et lissage de la sortie

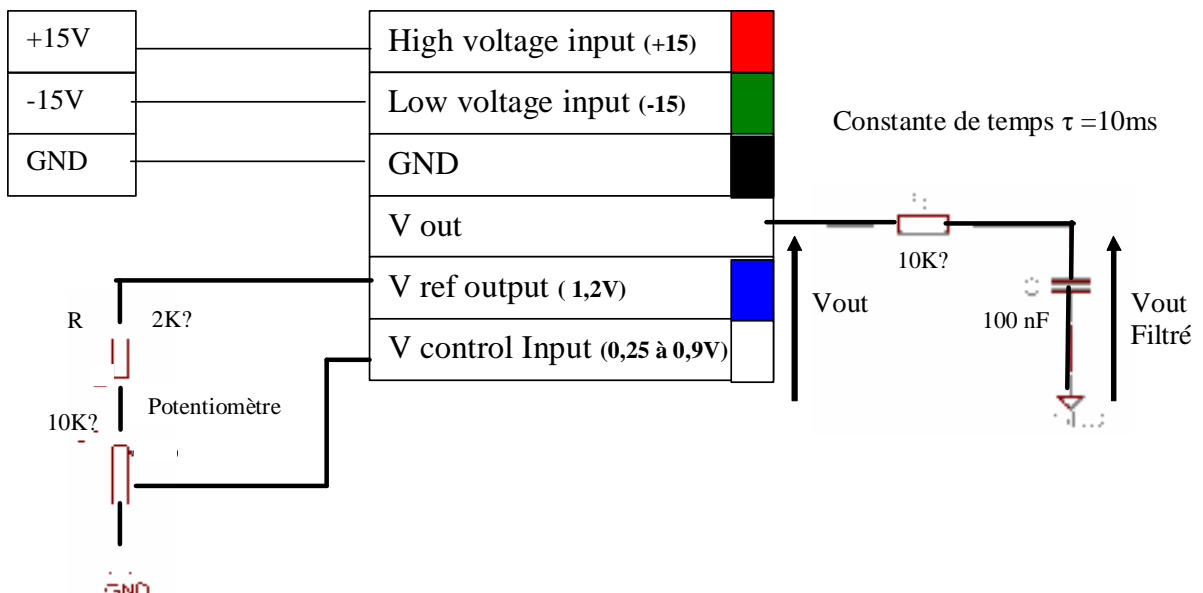


Figure 4 : Schéma de câblage du photomultiplicateur

Le montage si dessus (Voir ANNEXE A) permet de régler manuellement la sensibilité du photomultiplicateur en jouant sur le potentiomètre.

- Alimentation du laser

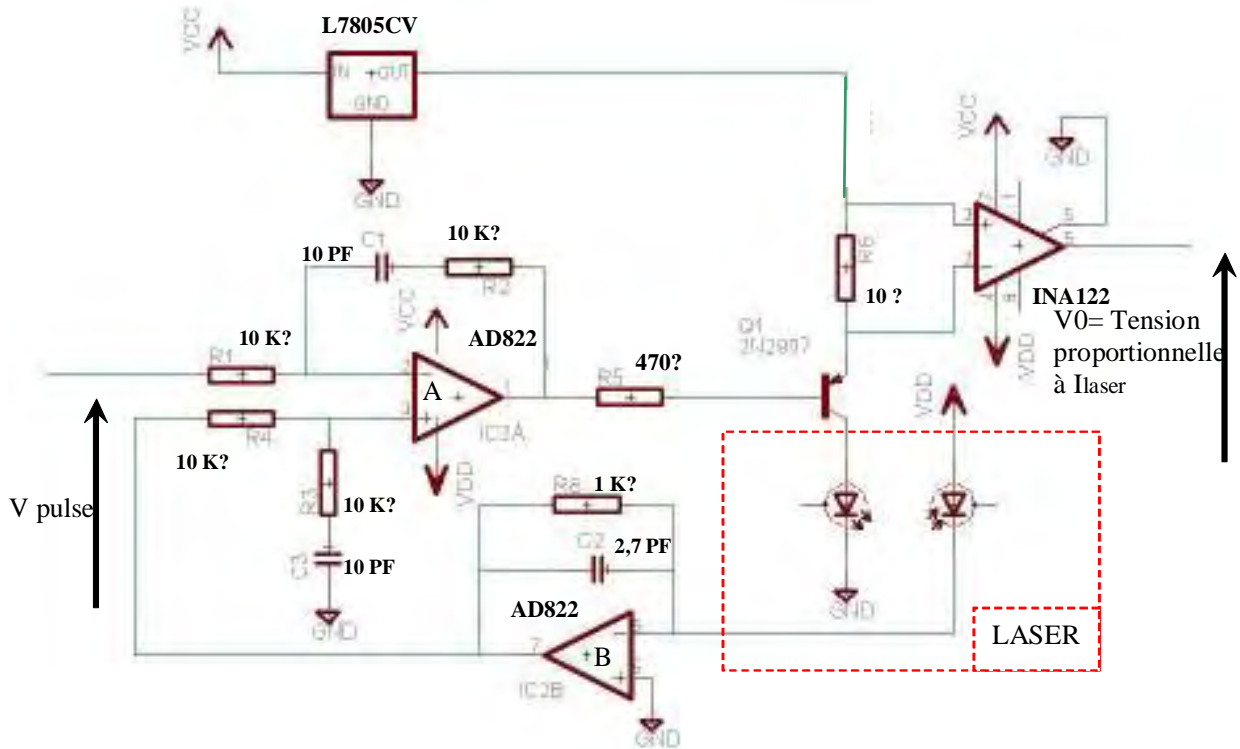


Figure 5 : Schéma du circuit de l'alimentation du laser

Ce circuit permet d'alimenter le laser (ANNEXE B) proportionnellement à l'impulsion d'entrée. Une boucle de contre réaction est présente et permet de stabiliser le courant entrant du laser en le comparant au courant de la photodiode. Ce dernier passe par un ampli trans-impédance (B) permettant une adaptation d'impédance et une conversion courant / tension. L'ampli A réalise ensuite la différence entre V_{pulse} et $V_{c.réac}$ sous la forme :

$$V_S = (R1/R2). (V^+ - V^-) \text{ avec } R1=R2=10K\Omega$$

La résistance $R5 = 470\Omega$ fixe le courant de base du transistor PNP 2N2907 qui donne un courant de collecteur $I_C = B.I_b$. Une résistance de 10Ω est placée à l'émetteur, en relevant la différence de potentiel à ces bornes, le circuit INA122 (Instrumentation Amplifier, voir ANNEXE C) permet de donner l'image du courant entrant dans le laser. La tension de sortie de l'INA122 est :

$$V_0 = (V_{in}^+ - V_{in}^-) .G, \text{ donc :}$$

$$I_e = I_{laser} = V_0 / (G.R10) = V_0/ 50$$

- Régulation en température du laser par effet Pelletier

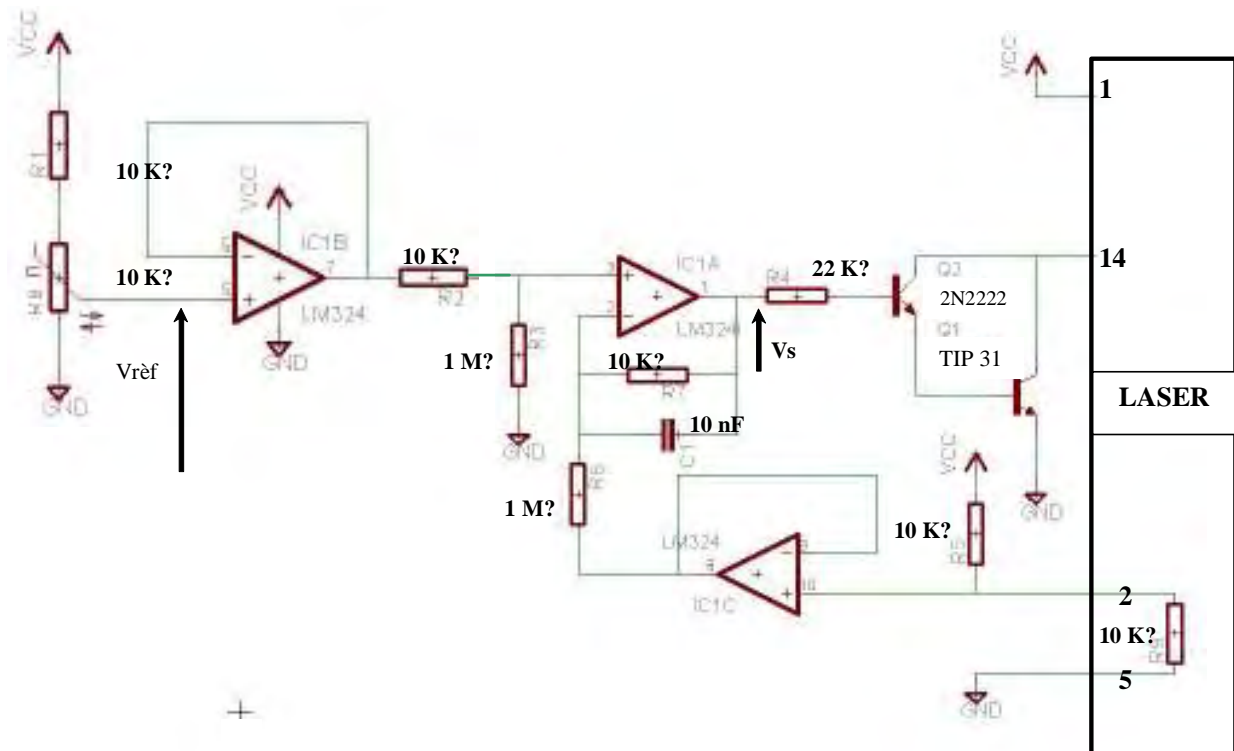


Figure 6 : Schéma du circuit de régulation de température du laser

Ce montage permet de stabiliser la température du laser en contrôlant le courant injecté dans l'élément Peltier. Ce contrôle est fait en fixant un potentiel de référence et en le comparant à celui aux bornes de la thermo-résistance du laser variant selon la température. Le montage Peltier consomme un courant important (jusqu'à 2A) fourni par les transistors 2N2222 et TIP31 (Voir ANNEXE D) qui permettent une amplification progressive du courant de base du 2N2222 lui-même fixé par la tension de sortie du montage soustracteur et de $R4=22K\Omega$.

Avec $R2 = R7$ et $R3 = R6$

$V_S = (R2/R3) (V_{ref} - V_-)$ donc :

$$I_b = V_s / R_4$$

2.2. Programme sous LABVIEW

Lab-VIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un logiciel de développement d'applications d'instrumentation mis au point et commercialisé par *National Instruments*¹. Ce logiciel utilise le langage G (pour Graphique). C'est un langage de programmation graphique qui a l'avantage de ne pas utiliser la lourde syntaxe des langages de programmation textuelle comme le C ou le Basic.

Il a fallu adapter un programme existant et fonctionnel d'une application proche de la notre. La première étape a été d'étudier et de comprendre son fonctionnement afin de procéder aux rajouts ou modifications éventuelles.

¹ <http://www.ni.com/>

Le programme permettait une série de mesures programmables dans le temps ainsi qu'un réglage de paramètres adaptés à notre application. Il a fallu procéder au rajout d'une fonction permettant de réaliser des mesures simples au «coup par coup», laissant le choix à l'utilisateur sur la méthode la plus appropriée.

3. TRAVAIL REALISE AU SCK -CEN

3.1. Modifications apportées au montage et au programme :

- Modifications matérielles :

En arrivant au SCK•CEN le montage était fonctionnel. Les parties analogiques d'alimentation du laser et du photomultiplicateur ainsi que la régulation en température par effet Peltier étaient opérationnelles. Le programme modifié permettait de pouvoir faire une acquisition manuelle ou programmée du signal OSL.

L'objectif premier a été d'optimiser le système pour le rendre entièrement autonome et facile d'utilisation. Plus précisément, le dosimètre devait tenir entièrement dans un rack pour limiter la connectique liée aux mesures (voir figure 7).

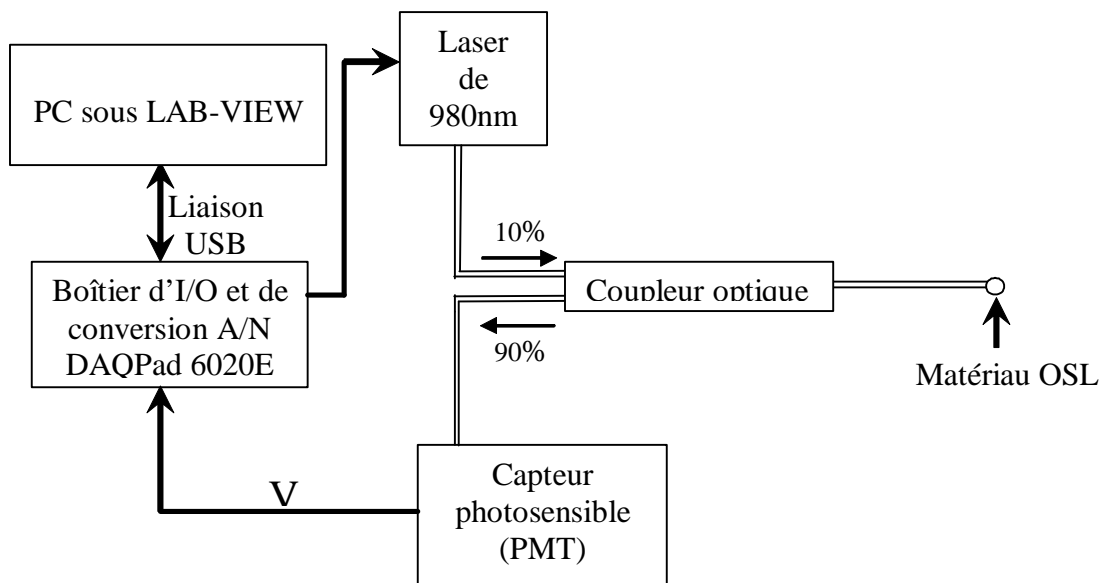


Figure 7 : structure du dosimètre OSL à fibre optique

Ainsi, l'emplacement de chaque composant a été revu afin d'intégrer et fixer le coupleur optique dans le rack. Le photomultiplicateur initialement placé dans un boîtier le protégeant de la lumière a été pourvu d'une connectique adaptée (fabriquée au SCK•CEN) se plaçant sur sa face avant qui l'isole de la lumière et permet de capter le signal reçu dans sa totalité (voir figure 8).

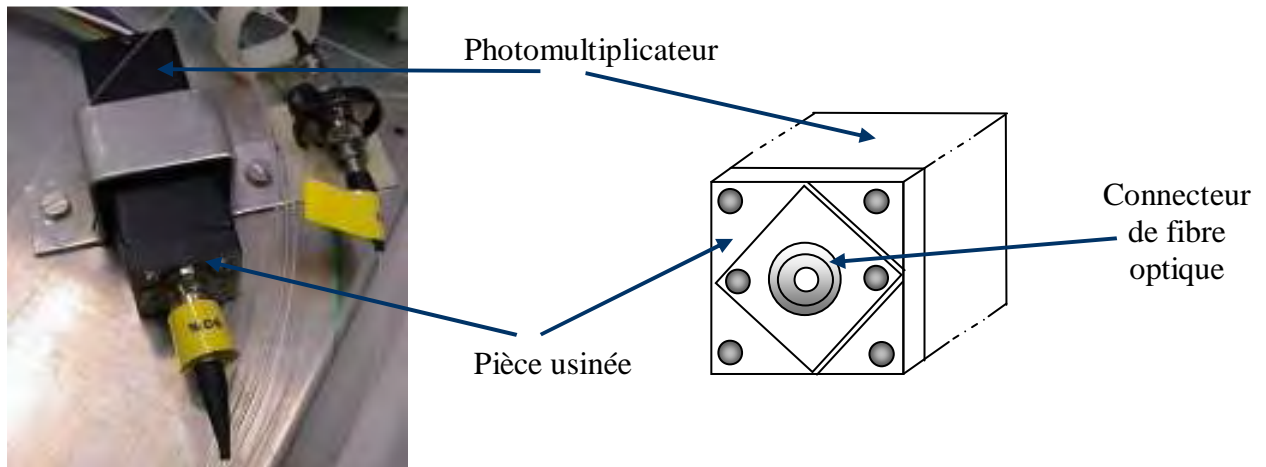


Figure 8: photomultiplicateur doté de sa pièce usinée

Cette configuration, permet à l'utilisateur de brancher la fibre optique servant à la mesure à l'unique connecteur placé sur la face avant du rack (voir figure 9).

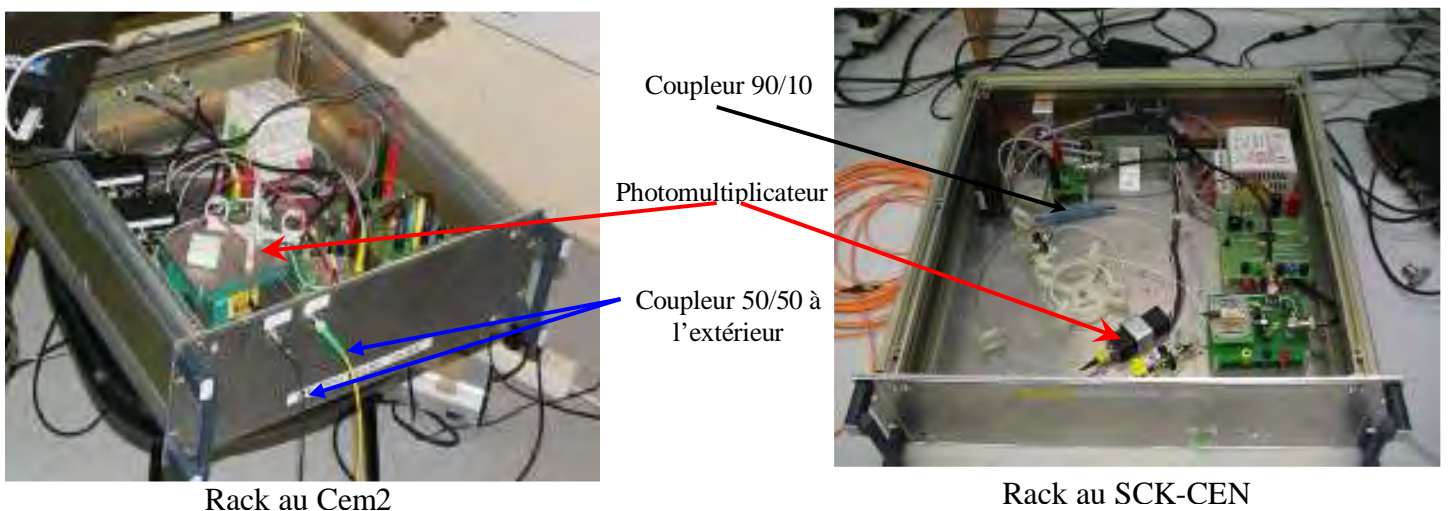


Figure 9: Modification du boîtier de mesure

Le choix du coupleur a été porté sur un du type 90% / 10%. Ce choix privilégie la luminescence du signal OSL (90%) au détriment de la stimulation laser (10%). En effet, cette solution a été préférée à un coupleur 50% / 50% car après vérification, la puissance optique du laser reste suffisante pour exciter et vider le matériau OSL (Voir tableau).

Ainsi si l'on injecte une impulsion de 2,25V au circuit, le laser consomme un courant de 183mA pour une puissance optique de 110mW. En vérité la puissance effective reçue par le matériau l'OSL est de 3,8mW, cette perte de puissance est due au coupleur qui ne laisse passer que 10mW mais aussi aux pertes liées à chaque connexion entre différentes fibres qui diminuent 65% du signal.

Pour avoir le pic OSL caractéristique il est primordial que le matériau soit vidé en un temps très court. Pour arriver à ce résultat, il faut une puissance optique suffisamment importante malgré les pertes (voir figure 10). La mesure montre que cette puissance reste

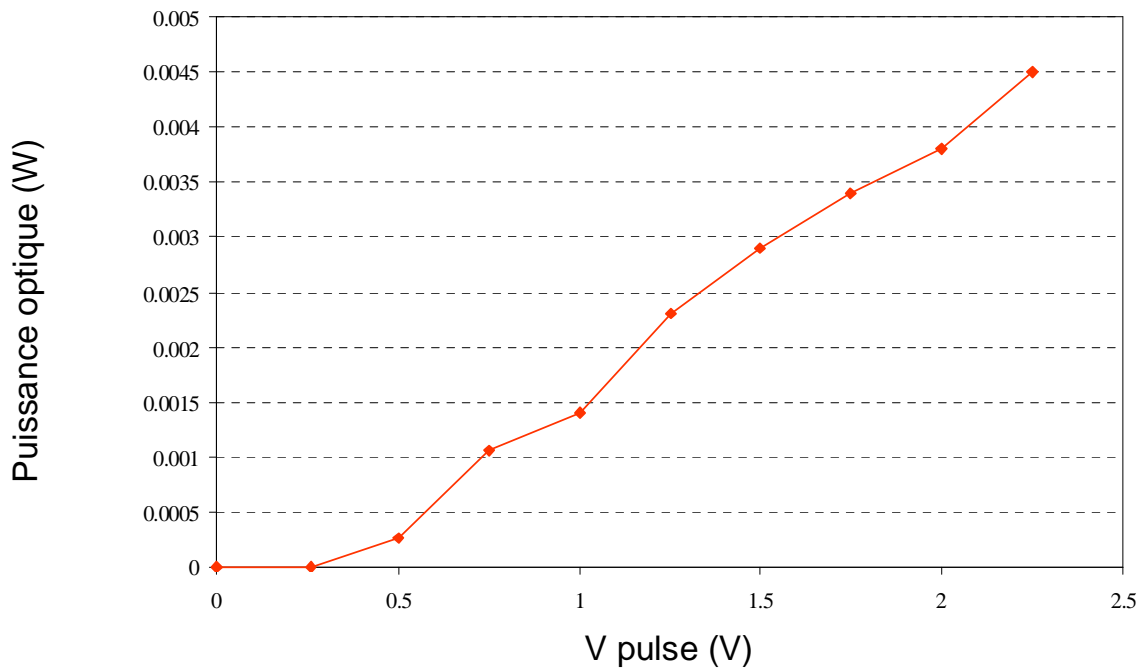


Figure 10: puissance optique du laser en fonction de la tension d'entrée

suffisante pour notre application. Les premiers tests effectués avec des UV ayant été concluants.

V pulse (V)	I _{laser} (mA)	V _{laser} (V)	Puissance optique (W)
0	0	0	
0,26	0,00416	1,22	0,00000011
0,5	0,0294	1,4	0,000265
0,75	0,05	1,47	0,00106
1	0,0725	1,54	0,0014
1,25	0,0969	1,61	0,0023
1,5	0,124	1,69	0,0029
1,75	0,152	1,77	0,0034
2	0,183	1,86	0,0038
2,25	0,216	1,94	0,0045

Tableau de caractérisation du laser suivant l'impulsion d'entrée

Une attention particulière a été donnée au réceptacle du cristal OSL en bout de fibre. Il a été fabriqué au SC•CEN et permet une grande précision de stimulation et de capture de la luminescence optimale. Cette précision est due aux proportions de la pièce usinée qui permet de réaliser les mesures avec un cristal OSL de taille réduite (voir figure 11).

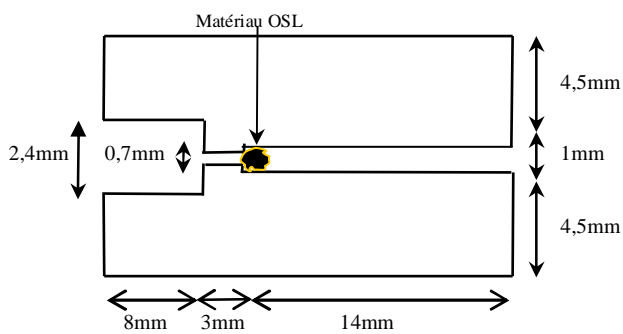


Figure 11 : Pièce usinée en acier pour les mesures avec le cristal OSL

Le programme d'acquisition LABVIEW a été modifié. Une attention spéciale a été portée à la partie de sauvegarde des points de mesure (voir figure 12). En effet, il a fallu adapter la génération des fichiers de sauvegarde au format en vigueur au SCK-CEN, format visant à prendre en compte tous les paramètres ainsi que la date et l'heure de chaque mesure. Ainsi, lors d'une prise de mesure apparaît :

- Un fichier comprenant tous les points de mesure du signal brut OSL
- Un fichier comprenant tous les points de mesure du signal filtré OSL
- Un fichier comprenant tous les points maximums de chaque mesure
- Un fichier reprenant les paramètres rentrés par l'utilisateur pour sa mesure

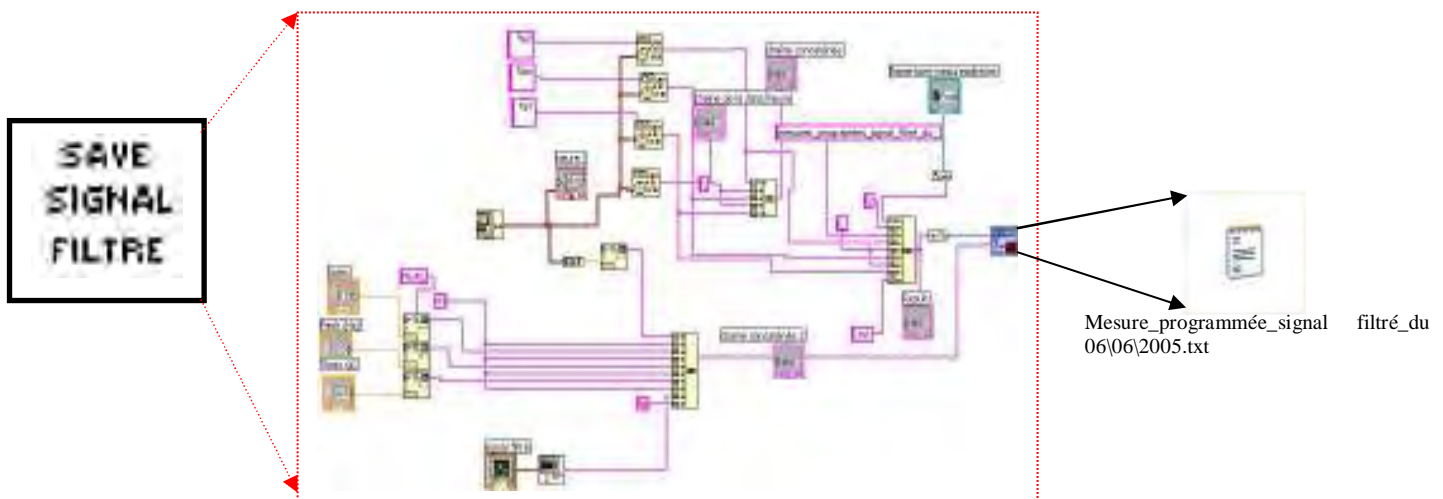


Figure 12: Architecture de programme de sauvegarde de donnée sous LAB VIEW

3.2. Première série de tests (source gamma):

Cette première manipulation a plusieurs objectifs :

- Tester l'ensemble du banc de mesure.
- Réaliser une série de points de mesure qui servira à vérifier la validité du système.

Ces tests s'effectuent avec deux types de fibres différentes, une fibre classique en silice (SSU) et une fibre dotée d'une gaine en plastique possédant une ouverture numérique² deux fois plus importante. Les deux fibres sont dotées d'une tête comportant le matériau OSL (voir figure 11) et sont placées devant la source gamma (voir figure 13).



Figure 13 : Fibres positionnées devant la source gamma

Travaillant en étroite collaboration avec le CEM2 de Montpellier, il était indispensable de travailler dans la même plage de débit de dose. Dans le souci d'avoir des points de mesure significatifs pouvant être comparés et discutés, nous nous sommes fixés une plage débit de dose identique à celle utilisée à Montpellier. ($60\text{mGy/h} \leq D' \leq 100\text{mGy/h}$)

Le paramétrage des mesures du 10 juin 2005 est le suivant (Voir ANNEXE E pour plus de détails) :

- Une sensibilité du photomultiplicateur de 0,6V
- Une dose de 80,1mGy/h
- Des temps d'exposition variant de 30 secondes à 1 heure
- Une impulsion d'entrée de 2V
- Temps d'acquisition de 4ms
- Fréquence d'échantillonnage de 1kHz

² L'angle maximum à partir duquel une onde lumineuse peut se propager dans une fibre.

Les résultats de ces mesures ont été les suivants :

Temps d'exposition (s)	Dose (μGy)	Signal OSL (V) fibre normale	Signal OSL (V) fibre plastique
30	667,3	0,004276	0,003345
60	1334,7	0,003298	0,001494
120	2669,3	0,005924	0,003337
300	6673,3	0,006702	0,007941
600	13346,6	0,024489	0,012599
1200	26693,1	0,033042	0,03195
1800	40039,7	0,078875	0,064821

Points à éliminer

Il est intéressant d'observer que les mesures traitées permettent d'observer le pic caractéristique d'un signal OSL. Voici l'allure du signal OSL mesuré pour une dose totale déposée de 40 mGy pour les points valides (voir figure 14) :

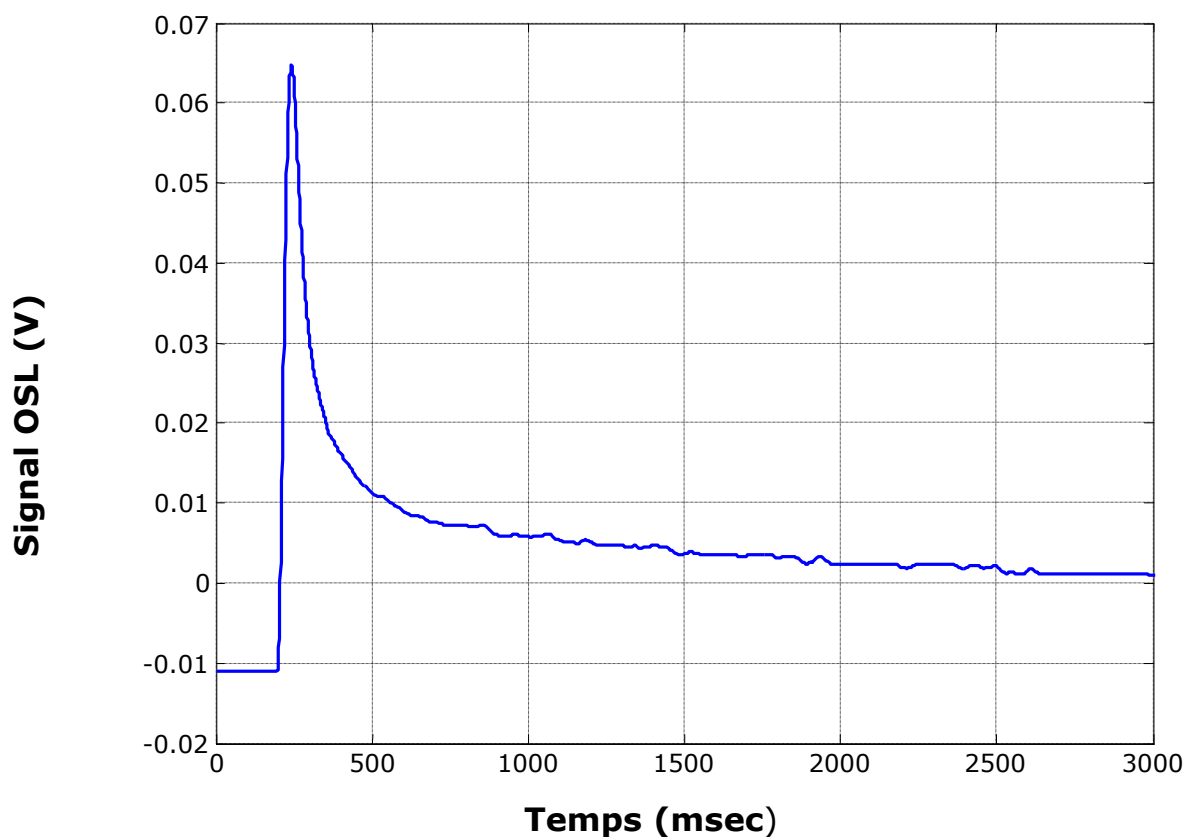


Figure 14 : Signal OSL avec la fibre « plastique » pour une dose de 40039,7 μGy

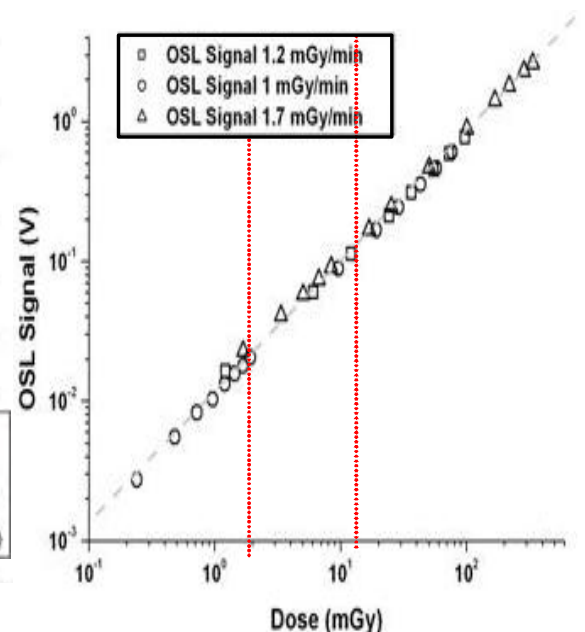
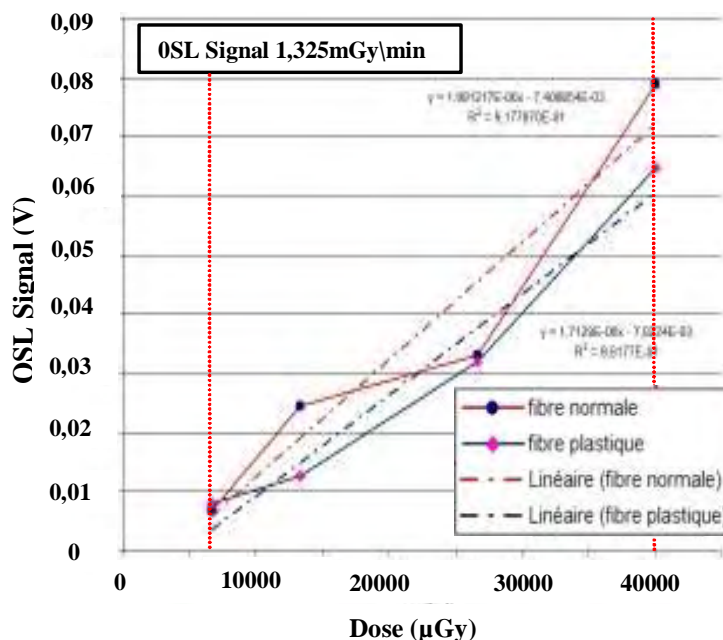
Le point maximum atteint par le signal correspond à la dose déposée. La sensibilité du photomultiplicateur est de 0,6V.

Discussion des résultats :

A la vue du détail de la mesure, il semble que certains points soient incohérents et non représentatifs de la variation devant normalement être observée.

- C'est le cas des trois premiers points pris respectivement à 30s, 60s et 120s. Pour ces valeurs, il semble que nous mesurons une tension dite « d'obscurité » ou de « bruit » (tension mesurée quand le cristal est déchargé) alors que le matériau OSL a été irradié. Les courbes relevées montrent que le pic représentatif de la dose reçue a un maximum trop petit par rapport au bruit ambiant. Nous ne tiendrons donc pas compte de ces points par la suite.
- Enfin, les valeurs trouvées pour la fibre optique « plastique » sont illogiques. Les résultats trouvés devraient être, si ce n'est supérieurs, au moins équivalents aux résultats de la fibre en silice. En effet, la fibre « plastique » récolte deux fois plus de signal qu'une fibre classique. L'hypothèse la plus probable envisagée est que le cristal OSL s'est déplacé de son emplacement initial dans la tête de la fibre ce qui diminue ainsi sa stimulation et sa luminescence. Les valeurs mesurées peuvent donc servir à observer l'évolution de chaque point mais sans tenir compte des valeurs de la tension relevées (voir figure 15).

Les points restants permettent de tracer une première courbe d'étalonnage du système OSL :



Figures 15 : Courbe trouvée au SCK-CEN
Avec dosimètre fibre optique

et

Courbe trouvée au CEM2
caractérise le cristal OSL seul

Bilan de cette première manipulation :

Les points restants ont permis de tracer la courbe du signal OSL=f (dose) de 4mGy à 40mGy et de noter que malgré le nombre réduit de points nous observons une linéarité relative et le résultat que nous obtenons a le même ordre de grandeur que celui de Montpellier.

Le système fonctionne mais se retrouve avec une gamme de mesure insuffisante. Pour améliorer la dynamique du système de mesure et pouvoir relever des mesures convenables pour des temps d'irradiation faible, il est indispensable de:

- augmenter la sensibilité du photomultiplicateur de 0,6V à 0,8V.
- remplacer le cristal OSL en bout de fibre du type « plastique ».
- augmenter le débit de dose de l'irradiateur.

3.3. Deuxième série de tests (source gamma):

3.3.1. Mesure au «coup par coup»

Problème de bruit lié au circuit électrique:

Pour pouvoir réaliser des mesures pour des doses faibles de l'ordre du μGy , la sensibilité du photomultiplicateur a été augmentée à 0.8V afin de rendre le bruit relevé négligeable.

Mais les premières séries de mesure ont montré qu'augmenter la sensibilité ne faisait qu'amplifier le bruit ambiant. Cette limitation semble être liée à l'excitation du laser.

En effet, si une mesure sans stimulation est réalisée, une tension d'obscurité de 0.8mV au lieu de 45mV avec stimulation apparaît. De plus, lorsque la valeur de l'impulsion augmente, le bruit en fait autant. Pour pouvoir prendre des points significatifs, l'impulsion d'entrée a été diminuée à 1.8V et le débit de dose augmenté à 700,9mGy/h.

Le paramétrage des mesures du 22 juin 2005 est le suivant (voir ANNEXE F pour plus de détails):

- Une sensibilité du photomultiplicateur de 0,8V
- Une dose de 700,9mGy/h
- Des temps d'exposition variant de 1 à 32 minutes.
- Une impulsion d'entrée de 1,8V
- Un temps d'acquisition de 3ms
- Une fréquence d'échantillonnage de 1kHz

Les résultats de ses mesures ont été les suivants :

Temps d'exposition(s)	Dose (mGy)	Signal OSL (V) fibre normale	Bruit (V)	Signal OSL (V)	Bruit (V)
			fibre normale	fibre plastique	fibre plastique
60	11.68	0.045	0.014989	0.102	0.012
120	23.36	0.331	0.007977	0.200	0.003
240	46.73	0.749	0.015762	0.407	0.015
480	93.45	1.370	0.030184	0.767	0.012
960	186.91	2.392	0.004467	1.46	0.014
1920	373.81	4.384	0.015141	2.4904	0.008

Un relevé de la tension de bruit a été effectué après chaque mesure du signal OSL. Le but est de savoir s'il s'agit d'une tension constante ou variable. La tension de bruit n'est pas constante que ce soit avec la fibre SSU ou « plastique ». Le calcul de leur moyenne et de leurs variations respectives donne :

	Fibre SSU	Fibre plastique
Bruit moyen	0.0147	0.011
Variation bruit	0.008	0.003

Il semblerait que ce soit la fibre plastique qui ait la tension et la variation de bruit la moins importante. Malgré cela, elle reste trop importante pour des mesures à faible débit de doses.

Traitements des données trouvées:

Ces résultats permettent de tracer le réseau de caractéristiques des différents pics OSL correspondant à la dose reçue par le matériau (Voir figure 16):

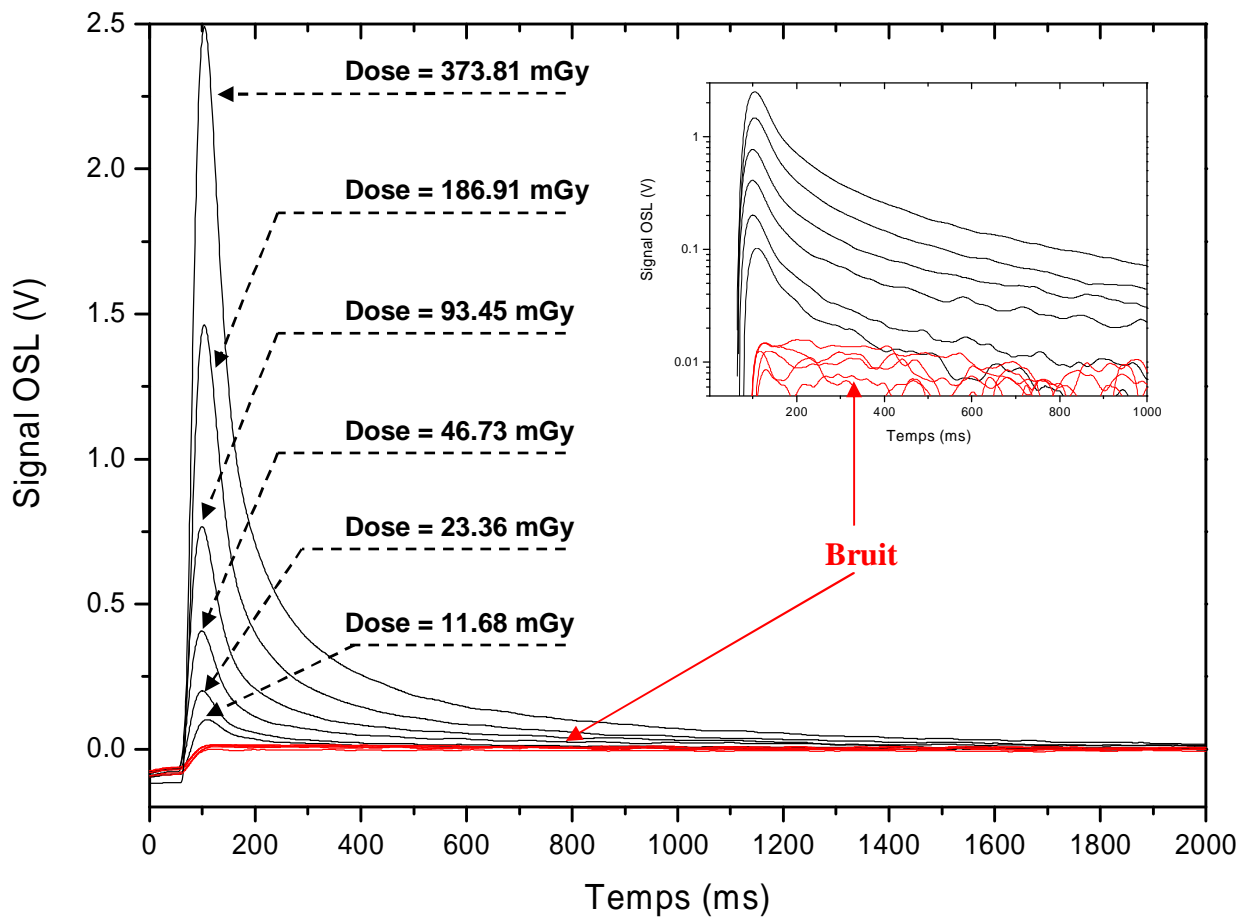


Figure 16 : Signaux OSL avec la fibre « plastique » pour un débit de dose 700,9mGy/h

Ce graphique met en évidence la variation proportionnelle du pic OSL par rapport à la dose déposée. On voit que toutes les caractéristiques représentées tendent vers zéro en moins

de 2 ms ce qui démontre que la décharge du matériau OSL est bien réalisée. On peut observer l'allure du bruit du système (en rouge sur le graphique) plus en détail en passant en visualisation semi-logarithmique pour constater sa non linéarité et comprendre la nuisance engendrée par de tels signaux pour des mesures à faibles doses. En effet, pour une bonne prise de mesure, le signal OSL relevé doit être au moins trois fois supérieur au signal parasite. Ce style de graphique permet d'étudier et de vérifier la cohérence des résultats trouvés en observant la progression des pics en fonction de la dose mais ne permet pas de voir explicitement les résultats dans leur ensemble afin de confirmer la linéarité du système.

La courbe suivante réunit les maximums des différents pics OSL en fonction de leur dose respective (Voir figure 17) pour les deux styles de fibres utilisées :

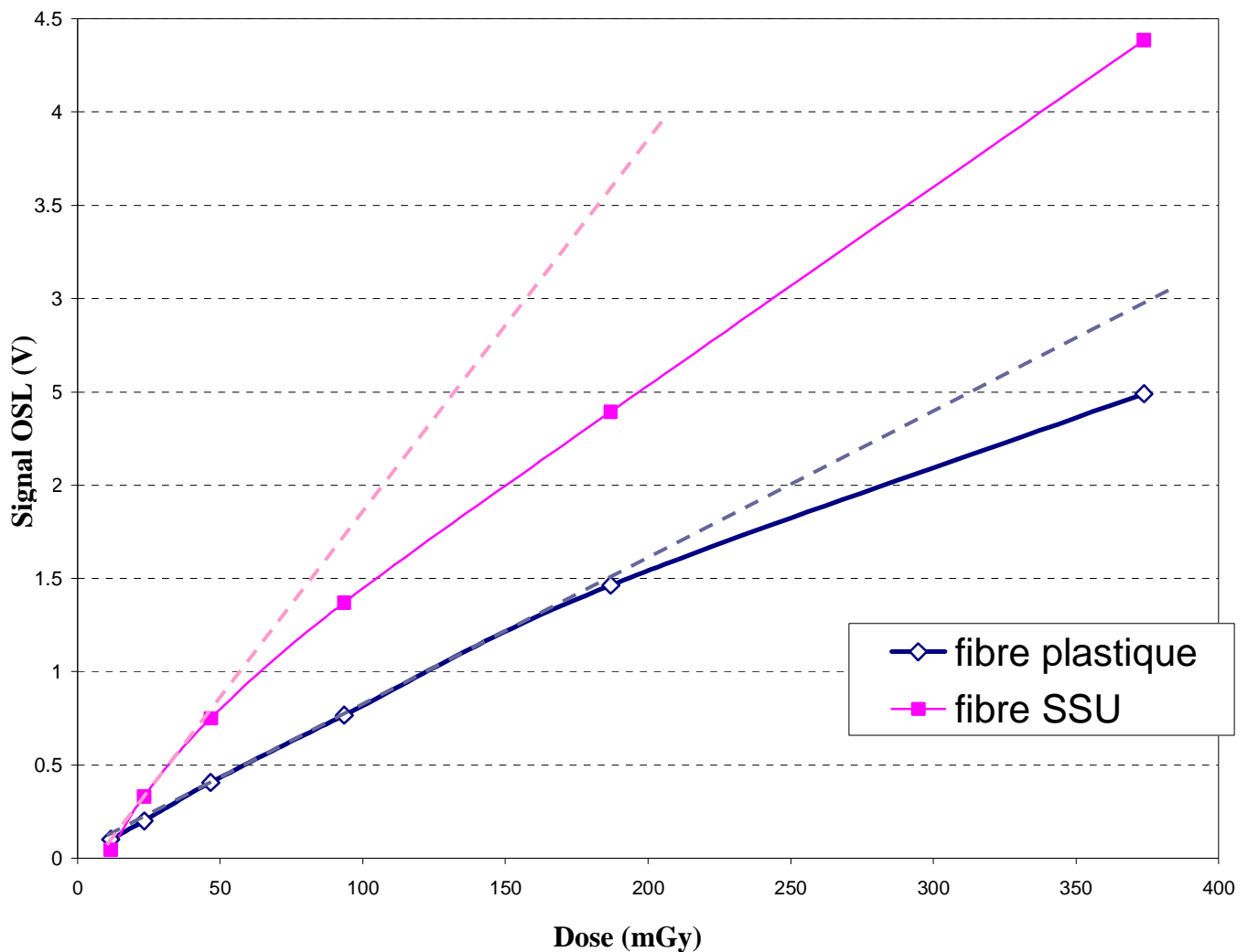


Figure 17 : Points maximums des signaux OSL en fonction de la dose pour un débit de 700,9mGy/h

Cette courbe permet de montrer explicitement la variation proportionnelle ainsi que la linéarité relative du signal OSL par rapport à la dose déposée.

Les droites en pointillées représentent la progression idéale du signal. Les droites issues des mesures divergent plus ou moins tôt de leur droite idéale suivant le type de fibre utilisé. Ce phénomène est dû à *un problème de saturation optique* pendant la réception du signal lumineux. Si ce signal émis par le cristal OSL est trop important, la fibre optique ne parvient pas à recueillir la totalité du signal. Il y a par conséquent une limitation de la capacité de guidage de la fibre optique qui se matérialise par une atténuation du signal reçu. Les valeurs mesurées gardent bien leur linéarité mais s'écartent des valeurs idéales.

L'ouverture numérique de la fibre « plastique » permet d'atteindre une plus grande linéarité dans les mesures. La courbe correspondant à la fibre SSU montre que celle-ci sature à partir de 50mGy entraînant un écart entre sa pente mesurée (10,7) et théorique (19,8). Pour la fibre « plastique », le phénomène de saturation n'apparaît qu'à partir de 200mGy. La courbe tracée est donc plus fidèle et sa pente (6.1) diverge moins brutalement de la pente théorique (7.96).

Malgré ce phénomène de saturation, le système fonctionne correctement et permet la mesure de la dose déposée en configuration « coup par coup ». Il est important de savoir s'il en est de même en prenant des mesures sous irradiation continue.

3.3.2. Mesure en continue

Toutes les mesures suivantes ont été faites avec la fibre à gaine plastique car c'est elle qui a donné les meilleurs résultats en coup par coup. Nous avons laissé tourner le programme près de 1h20 en prenant ponctuellement des mesures à des temps prédéfinies arbitrairement, allant de une à six minutes. Pour pouvoir comparer la mesure continue et la mesure « coup par coup » nous avons augmenté le débit de dose à deux grays par heure. Il suffira de prendre les résultats trouvés en mesure « coup par coup » et de les retranscrire pour une calibration à 700,9mGy/h.

Le but de cette manipulation est de prouver la répétitivité des mesures pour un temps d'exposition identique et montrer la correspondance des relevés pour les deux types de mesures. Ce test permettra de prouver que le système est stable et qu'il possède une précision suffisante pour fournir des relevés correspondants à la dose réelle reçue.

Le paramétrage des mesures continues du 22 juin 2005 reste identique à celle effectuée « coup par coup », seul le débit de dose est augmenté (voir ANNEXE G pour plus de détails):

- Une sensibilité du photomultiplicateur de 0,8V
- Une dose de 2Gy/h
- Une impulsion d'entrée de 1,8V
- Un temps d'acquisition de 3ms
- Une fréquence d'échantillonnage de 1kHz

Les résultats de ces mesures sont rangés dans le tableau suivant qui donne la valeur moyenne du signal OSL pour chaque temps d'intégration préprogrammés :

Temps d'intégrations	Temps d'exposition(s)	Dose (mGy)	Valeur moyenne du signal OSL (V) fibre plastique
9	60	33,3333	0.3057
5	120	66,6666	0.5969
3	180	99,9999	0.8774
3	240	133,332	1.1503
3	300	166,665	1,414
3	360	199,998	1.7038

Tableau de résultats de la mesure en continue

Le tableau suivant montre la tension OSL retrouvée théoriquement à partir de la calibration de la manipulation au «coup par coup» à 700,9mGy/h :

Temps d'exposition(s)	Dose (mGy)	Signal OSL (v) reconstruit au «coup par coup»
171	33,3333	0,2607
342	66,6666	0,5213
513	0,09999	0.7820
684	133,332	1,0427
855	166,665	1,3034
1024	199,998	1,5611

**Tableau de résultats retrouvés à partir de la calibration des mesures au «coup par coup»
Traitements des données trouvées:**

Pour prouver la répétitivité des mesures pour un temps d'exposition identique, il est intéressant de tracer le réseau de caractéristique OSL pour un temps d'intégration égal (voir figure 18), ici pour une minute :

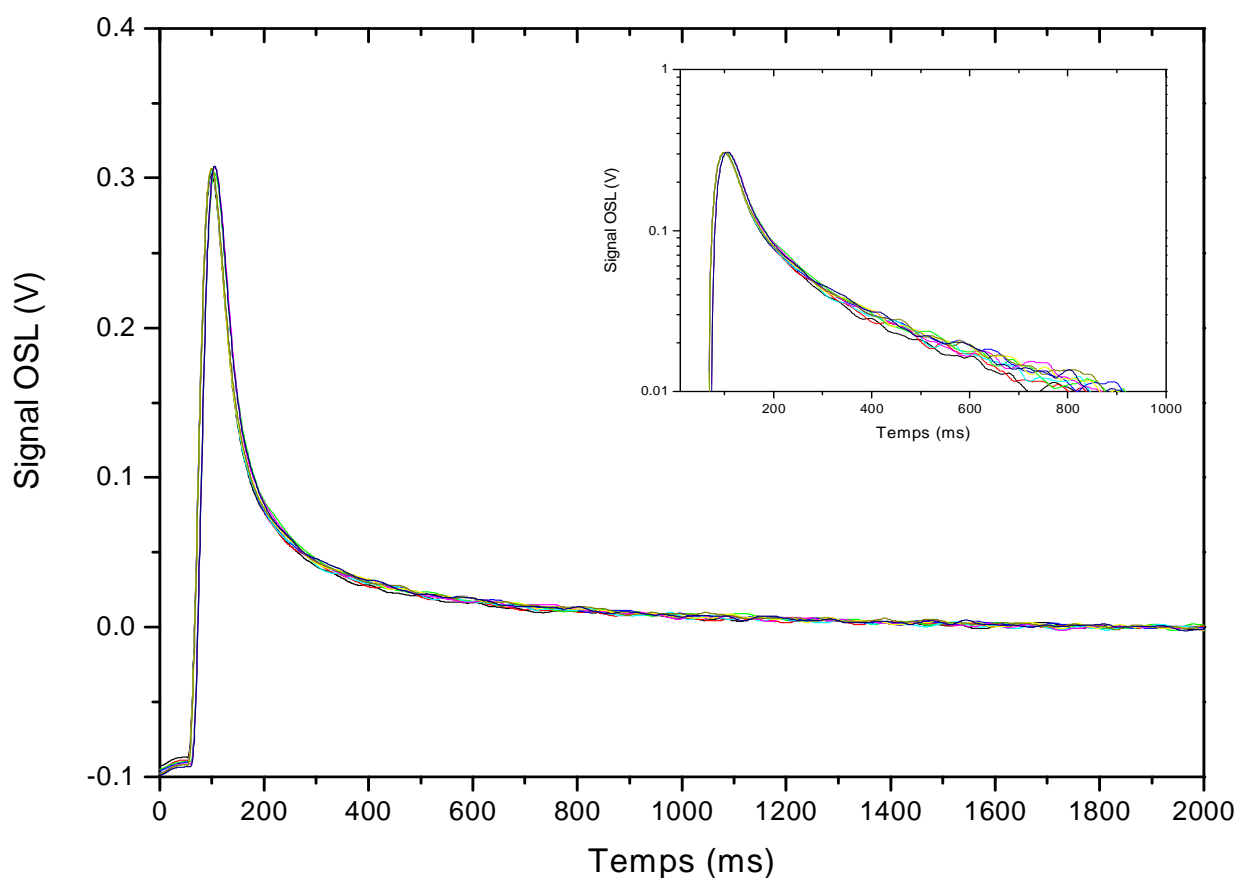


Figure 18 : Série de mesure du signal OSL pour un temps d'exposition constant de 1 minute

Ce graphique montre que les différentes courbes sont confondues. Les maximums des pics OSL tendent tous vers la même valeur et suivent de plus, la même décroissance. Le graphique semi-logarithmique permet de voir les courbes se dissocier pour des valeurs proches ou égales à la tension de bruit. La bonne répétitivité de notre système de mesures est ainsi prouvée.

Sur le graphisme suivant figurent deux courbes, l'une est construite à partir de la mesure en continu où chaque point maximum des différents pics OSL correspond à un temps d'intégration programmé (Voir figure 19). L'autre courbe a été entièrement reconstituée à partir de la calibration des mesures «coup par coup». Le but est d'observer sur une même figure la linéarité et la répétitivité des mesures réalisées en continu et de les comparer directement à la courbe des mesures simulées au «coup par coup».

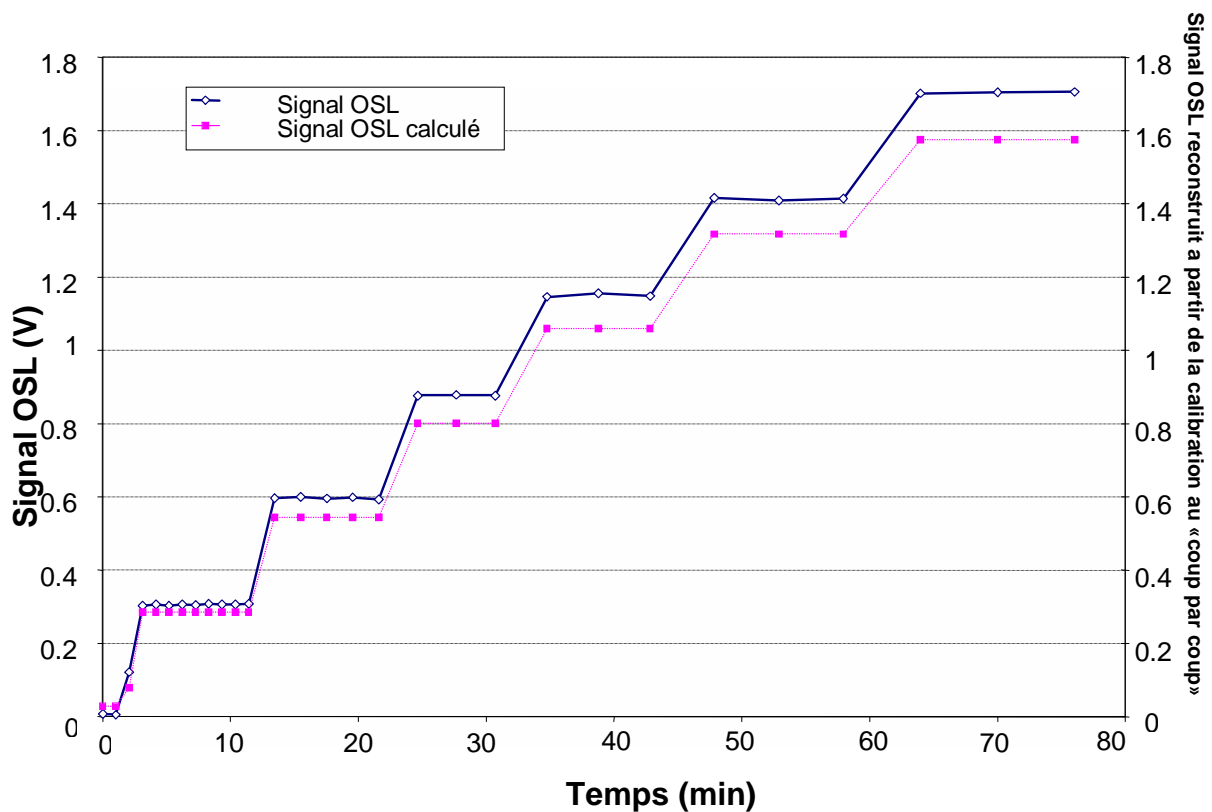


Figure 19 : Série de mesure du signal OSL

Sur ce graphique, il apparaît clairement que les mesures réalisées en continu sont répétibles et qu'elles suivent proportionnellement et linéairement les variations des temps d'exposition. L'évolution des deux courbes est semblable mais nous notons un écart permanent entre elles qui augmentent simultanément à la dose. Nous pouvons représenter cet écart par un graphique (voir figure 16) :

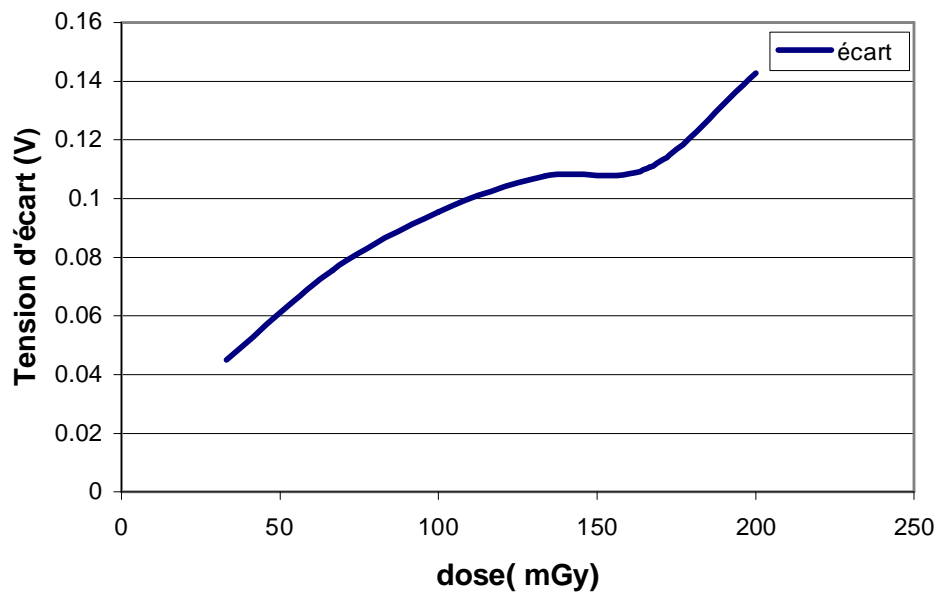


Figure 20 : Ecart entre les mesures de type continu et «coup par coup»

La linéarité relative de cette courbe signifie qu'il existe un rapport direct entre la dose reçue et cette tension de décalage. Ce phénomène n'apparaît que dans le cas d'une mesure en continu du fait que le cristal n'est jamais totalement déchargé et qu'il reste continuellement lumineux au contact des rayons gamma. A cela, vient s'ajouter l'effet des radiations sur la fibre optique qui entraîne une émission lumineuse parasite proportionnelle à la dose (radio-luminescence). Ces effets entraînent une tension de décalage que l'on n'observe pas dans le cas d'une mesure «coup par coup» prise lorsque l'irradiation est terminée.

Conclusion

Le but de ce stage était l'évaluation d'un dosimètre à fibre optique utilisant la luminescence par stimulation optique (OSL) pour des applications haute dose.

Ce rapport débute par un rappel des connaissances nécessaires à la compréhension du sujet.

La première partie de mon stage s'est passée au centre d'électronique et de micro optoélectronique de Montpellier 2 où j'ai réalisé l'étude et la fabrication de la partie "traitement du signal et acquisition" qui m'a permis d'avoir un système opérationnel en arrivant au SCK•CEN en Belgique

La deuxième partie s'est passée au sein du BR 3 (« Belgian Reactor n°3 ») dans le département d'instrumentation. Après avoir optimisé le boîtier de mesure en intégrant le coupleur optique et en améliorant la connexion optique du photomultiplicateur, il a fallu modifier le programme sous LABVIEW afin de réaliser l'acquisition des données suivant la méthode en vigueur au SCK•CEN. Nous avons réalisé plusieurs tests dans le dispositif d'irradiation qui ont permis de trouver la sensibilité optimale du photomultiplicateur et d'obtenir de très bons résultats avec de forts débits de dose appliqués au cristal OSL (2Gy/h).

Pour prouver le bon fonctionnement de notre système, nous avons montré la linéarité et la répétitivité de notre système de mesure. Les résultats obtenus sont très concluants et prouvent le bon fonctionnement du dosimètre à fibre optique utilisant la luminescence par stimulation optique (OSL) pour des applications haute dose. Le système pourra être amélioré en diminuant la tension de bruit et en limitant la saturation optique. Finalement, la puissance du laser arrivant sur le matériau OSL pourrait être augmentée en diminuant les pertes optiques et en remplaçant les connecteurs par des épissures.

Ce stage m'a permis de mener à bien un projet en participant à toutes les étapes de sa réalisation, depuis sa conception, son optimisation et finalement l'analyse des résultats obtenus. Il s'agit en réalité de ma première expérience professionnelle car elle m'a appris à être autonome tout en travaillant avec une équipe impliquée et motivée.

Bibliographie

Références :

A fiber-dosimetry method based on OSL from Al₂O₃: C for radiotherapy applications.

R. Gaza; *, S.W.S. McKeever, M.S. Akselrod, A. Akselrod, T. Underwood, C. Yoder, C.E. Anders, M.C. Aznar, C.J. Marckmann, L. Botter-Jensen

^aDepartment of Physics, Oklahoma State University, 145 Physical Sciences II, Stillwater, OK 74078, USA

^bLandauer Crystal Growth Division, 732 12 Eastgate, Stillwater, OK 74074, USA

^cRadiation Research Department, Riso National Laboratory, Roskilde DK-4000, Denmark

Real time luminescence from Al₂O₃ fiber dosimeters.

J.C.Polf, E.G.Yukihara, M.S.Akselrod, S.W.S.McKeever

^aDepartment of Physics, Oklahoma State University, Stillwater, OK 74078-3072, USA

^bCrystal Growth Division, Landauer Inc, Stillwater, OK 740743072, USA

Ouvrages :

“**Optically stimulated Luminescence dosimetry**” par Lars Botter-Jensen; Stephen W.S.McKeever; Ann G.Wintel édition ELSEVIER

“**Manuel on radiation dosimetry**” par Niels W.holm et Roger Jberry édition Marcel Dekker.inc

“**Radiation detection and measurement**” par Glenn F.knoll édition Wiley

Lien :

<http://ead.univ-angers.fr/~jaspard/Page2/COURS/5RayonIONISANT/Cours1/1Cours1.htm>

http://tel.ccsd.cnrs.fr/documents/archives0/00/00/89/67/index_fr.html

ANNEXE A

ANNEXE B

ANNEXE C

ANNEXE D

ANNEXE E

ANNEXE F

ANNEXE H