

Comportements des fibres optiques dopées erbium soumises à des insulations UV et comparaison avec les irradiations gamma

IV.1. COMPORTEMENT DE FIBRES OPTIQUES DOPÉES ERBIUM SOUS INSOLATION UV	94
IV.1.1. Fibres optiques dopées erbium excitées de manière transversale à 244 nm.....	94
IV.1.1.A. Absorption des fibres non insolées.....	95
IV.1.1.B. Détermination des coefficients d'absorption.....	97
IV.1.2. Absorption induite dans les fibres insolées à 244 nm.....	98
IV.2. MESURES POST-INSOLATION.....	101
IV.2.1. Luminescence dans le domaine du visible.....	101
IV.2.2. Comparaison des spectres de luminescence dans le domaine du visible des échantillons insolés UV et irradiés gamma	104
IV.3. RÉSUMÉ.....	107

Nous avons vu dans le chapitre précédent que la composition de la fibre joue un rôle important pour la tenue aux radiations des fibres optiques dopées erbium. De plus, d'autres études sur des fibres optiques non-dopées Terres-Rares ont montré que la composition des fibres optiques [Fribele 1980, Tavernier 1981] ainsi que les paramètres de fabrication [Hanafusa 1986, Hanafusa 1987, Lyons 1989, Girard 2006] influent sur leur réponse en environnements radiatifs. Ces différents paramètres sont susceptibles d'être modifiés par les fabricants des fibres tout en continuant à les commercialiser sous la même référence. Il sera donc nécessaire de connaître le comportement sous irradiation de ces nouvelles fibres. La mise en œuvre d'essai de la tenue des fibres optiques à des radiations ionisantes tels que les rayons gamma ou des protons reste assez lourde et coûteuse. Pour cette raison, la mise en place d'un test permettant au moins une première validation des nouvelles souches de fibres s'avère indispensable.

S. Girard [Girard 2003] a comparé les effets induits par des irradiations X pulsée et γ continue à ceux mesurés lors d'une insolation UV des fibres optiques multimodes germano-silicates. L'ensemble de ses résultats montre des corrélations très fortes entre les mécanismes de création de défaut sous irradiation γ et sous insolation UV pour la gamme de longueur d'onde allant de 400 nm à 1700 nm. Leurs résultats confirment qu'il est possible de prédire le comportement des fibres multimodes sous irradiation gamma à partir d'essais sous insolation UV. Il serait donc intéressant de savoir si une insolation UV permet également de prédire le comportement d'une fibre monomode dopée erbium sous environnement gamma. Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'étude de plusieurs de nos fibres dopées erbium sous insolation UV ainsi que les mesures de luminescence post-insolation réalisées sur les échantillons insolés afin de les comparer à ceux obtenus pour les échantillons irradiés gamma.

Les insolations UV ont été réalisées au laboratoire Hubert Curien avec un laser argon doublé délivrant un faisceau à 244 nm. Le dispositif expérimental est détaillé au paragraphe II.1.5. La fibre est déplacée le long de son axe devant le faisceau laser. Ce dernier est focalisé sur la fibre grâce à une lentille. Le diamètre du faisceau a été déterminé au niveau de la fibre. La vitesse de déplacement de la fibre est contrôlée et réglable. A l'aide de ces paramètres et de l'équation IV-1 démontrée dans la thèse de K. Médjahdi [Médjahdi 2005], nous pouvons calculer la fluence ou densité d'énergie D_e de l'insolation, qui correspond au débit de dose pour les irradiations gamma ou proton.

$$D_e = \frac{2 \times P}{\pi \times R_{\text{spot laser}} \times v} \quad (\text{Eq. IV-1})$$

où P est la puissance du laser en W, $R_{\text{spot laser}}$ le rayon de faisceau laser mesuré au point focal de la lentille et exprimé en cm, v est la vitesse de déplacement de la fibre devant le faisceau laser en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$. De cette façon la fluence est exprimée en $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$. Dans notre cas, les insolations ont été faites avec une fluence de $5.6 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Du fait que nous ne disposons plus de souche suffisante de fibre D#5, nous avons demandé au fabricant de fibres de nous fournir une fibre supplémentaire ayant des caractéristiques proches de la fibre D#5. Cette nouvelle fibre est nommée D#7. Elle a la même composition de matrice hôte et une concentration légèrement plus élevée en erbium que D#5. La Table IV-1 donne les principales caractéristiques de ces deux fibres optiques.

Fibre	Dopage en Al dans le cœur (wt%)	Dopage en Ge dans le cœur (wt%)	Dopage en Er ³⁺ dans le cœur (ppm)	Absorption de l'erbium (dB·m ⁻¹)	Longueur d'onde de coupure (nm)	Diamètre de mode à 1558 nm (μm)
D#5	≈0.3	> 10	138	2.3	≈ 1100	4.3
D#7	≈0.3	> 10	141	2.35	≈ 1100	4.4

Table IV-1 : Principales caractéristiques des fibres optiques dopées erbium D#5 et D#7

IV.1. Comportement de fibres optiques dopées erbium sous insolation UV

IV.1.1. Fibres optiques dopées erbium excitées de manière transversale à 244 nm

Dans les deux prochains paragraphes, nous présentons les résultats spectroscopiques obtenus lors de l'excitation transversale des fibres dopées erbium. Ces résultats ont été obtenus moyennant une approche bien différente de celle habituellement utilisée pour réaliser les études spectroscopiques. En effet, l'excitation UV transversale à 244 nm permet de générer dans la fibre une luminescence s'étendant pratiquement de manière continue sur la plage spectrale 300 – 600 nm. Cette luminescence centrée sur le bleu nous sert de source de lumière continue intrinsèque à la fibre pour évaluer l'absorption induite par insolation UV. La Figure IV-1 montre le spectre généré lors de l'excitation transversale à 244 nm d'une fibre dopée germanium, Corning SMF28. Cette approche, utilisant une source intrinsèque, a été développée au laboratoire Hubert Curien et est détaillée dans la thèse de K. Médjahdi [Médjahdi 2005]

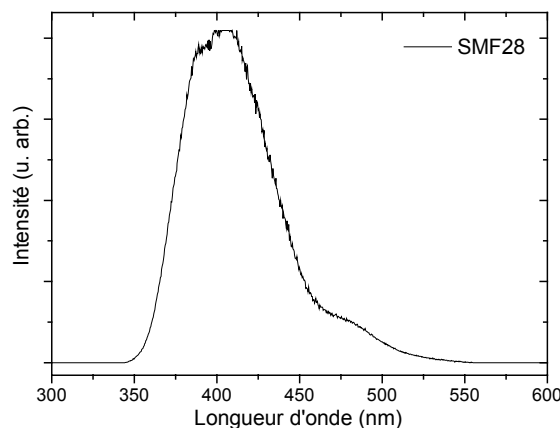


Figure IV-1 : Spectre généré lors de l'excitation transversale à 244 nm d'une fibre dopée germanium, Corning SMF28

Dans un premier temps et pour réaliser le spectre de référence, la fibre optique n'est pas déplacée devant le faisceau laser. Nous réalisons une insolation par point pendant une durée très courte afin d'obtenir les spectres transmis par la fibre avant l'insolation UV proprement dite. Une fois ce spectre obtenu, nous procédons à l'insolation continue de la fibre pour évaluer son absorption induite.

IV.1.1.A. Absorption des fibres non insolées

Nous avons testé quatre fibres : deux avec une concentration en aluminium non négligeable (comprise entre 8 et 10% en poids), ce sont les fibres D#1 et D#2, et deux avec une concentration en aluminium proche de zéro ($\sim 0.3\%$ en poids), ce sont les fibres D#5 et D#7.

Dans le domaine spectral de notre étude, 2 eV – 4.1 eV (300 nm – 600 nm), les défauts, excités sous 5.1 eV (244 nm), Ge-ODC et Si-ODC(II) de la fibre présentent deux bandes de luminescence centrées autour de 2.7-2.8 eV (442 – 460 nm) et 4.3-4.4 eV (281 – 288 nm) pour les Si-ODC(II) et de 3.0 -3.2 eV (387 – 414 nm) et 4.2-4.3 eV (288 – 295 nm) pour les Ge-ODC [Skuja 1998]. La Figure IV-2 présente leur diagramme d'énergie. L'excitation sous 244 nm permet la transition entre l'état fondamental singulet (S_0) et l'état excité (S_1). Les deux bandes de luminescence sont générées lors des transitions $S_1 \rightarrow S_0$ et $T_1 \rightarrow S_0$, comme cela est illustré sur la Figure IV-2.

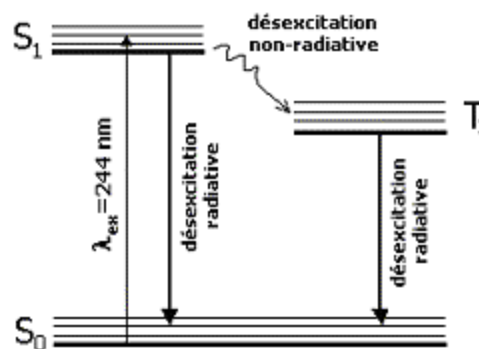


Figure IV-2 : Représentation des niveaux énergétiques et des transitions des Si-ODC et Ge-ODC.

La Figure IV-3 nous présente les spectres en sortie des fibres D#1 et D#5 lors d'une insolation ponctuelle et transversale sous laser UV à 244 nm. Pour chacun de ces deux spectres nous avons cherché à tracer les courbes enveloppes (en trait continu) à la lumière du spectre de la Figure IV-1. Ces courbes sont une somme de Gaussiennes représentant les bandes de luminescence des deux défauts précédemment cités. Pour cela, nous avons utilisé trois Gaussiennes centrées à 2.7 eV, 3.1 eV et 4.2 eV.

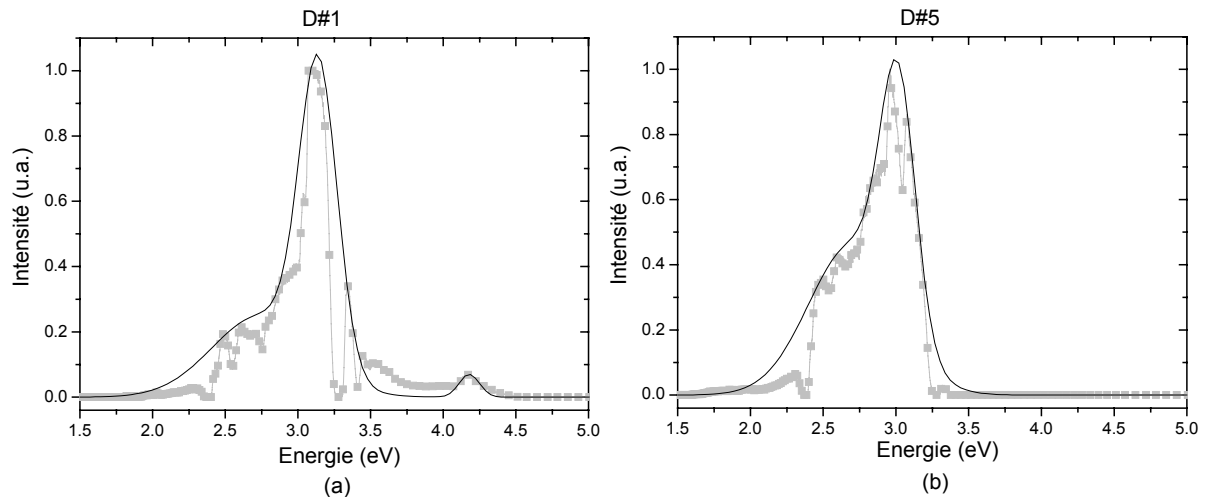


Figure IV-3 : Spectres de la luminescence des fibres D#1(a) et D#5 (b) lors d'une insolation ponctuelle et transversale par un laser UV (244 nm). Les données expérimentales sont tracées avec les symboles noirs. Les lignes rouges correspondent à la luminescence des défauts ODC.

La luminescence générée lors de l'excitation ponctuelle est absorbée partiellement par les ions erbium lors de sa propagation dans la fibre. Par-dessus ces spectres de luminescence de défauts s'ajoute l'absorption des ions erbium présents dans le cœur de nos fibres. La Figure IV-4 présente les spectres, sous excitation ponctuelle, en sortie de fibre pour nos quatre échantillons. Ces spectres sont normalisés à l'unité pour faciliter la comparaison. Nous pouvons ainsi observer les raies d'absorption dues aux transitions suivantes de l'erbium : ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4G_{7/2}$ (355 nm), ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4G_{9/2}$ (364 nm), ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4G_{11/2}$ (377 nm), ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^2H_{9/2}$ (407 nm), ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{5/2}$ (451 nm), ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4F_{7/2}$ (487 nm) et ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^2H_{11/2}$ (552 nm).

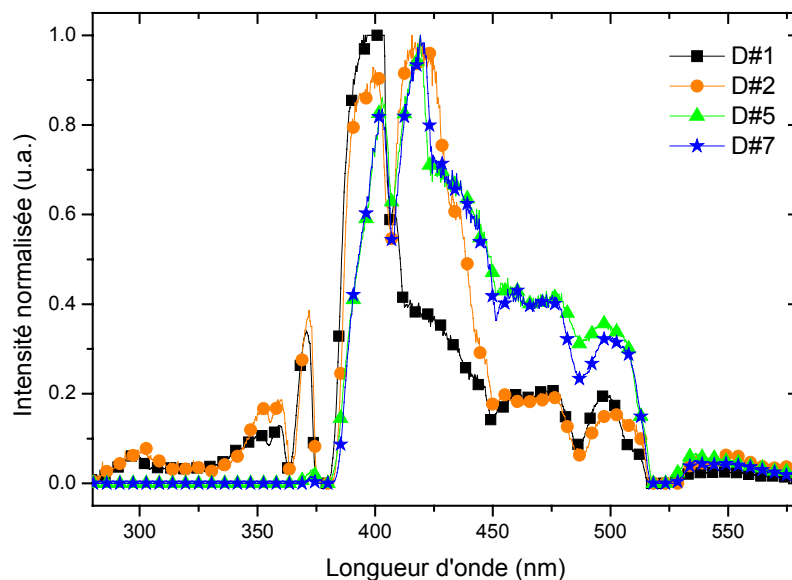


Figure IV-4 : Spectres en sortie des fibres D#1, D#2, D#5 et D#7 lors d'une excitation ponctuelle et transversale sous UV à 244 nm

Les quatre fibres possèdent un comportement fort semblable dans la plage spectrale étudiée. La fibre D#7, ayant une concentration en erbium un peu plus élevée que la fibre D#5, présente une absorption plus importante que cette dernière. Les spectres des fibres D#1 et D#2 ne diffèrent

appréciablement que dans le domaine spectral 400 - 450 nm. Dans ce domaine la fibre D#2 se comporte comme les fibres D#5 et D#7. Ces trois fibres se caractérisent par une plus faible concentration en aluminium par rapport à la fibre D#1. De ce fait, l'excès de l'absorption entre 400 et 450 nm de la fibre D#1 pourrait être imputable à des centres liés à l'aluminium.

IV.1.1.B. Détermination des coefficients d'absorption

Nous avons acquis plusieurs spectres de luminescence de la fibre D#1 de la même manière que précédemment (c'est à dire avec une brève insolation ponctuelle et transversale par le laser UV) mais en réduisant la longueur de fibre qui sépare le point d'insolation et le détecteur. Lors du déplacement de la fibre entre deux insolutions successives, le faisceau laser est obstrué. Nous avons réalisé cette expérience avec 9 m de fibre D#1 et en déplaçant la fibre de 90 cm entre chaque mesure. Cette procédure revient à reproduire la méthode du « cut-back » sans avoir ni à couper la fibre ni à modifier l'injection. La Figure IV-5 reproduit les spectres acquis pour trois longueurs différentes. Cette méthode présente l'avantage d'avoir une excellente reproductibilité et est indépendante de la puissance du laser utilisé pour l'insolation.

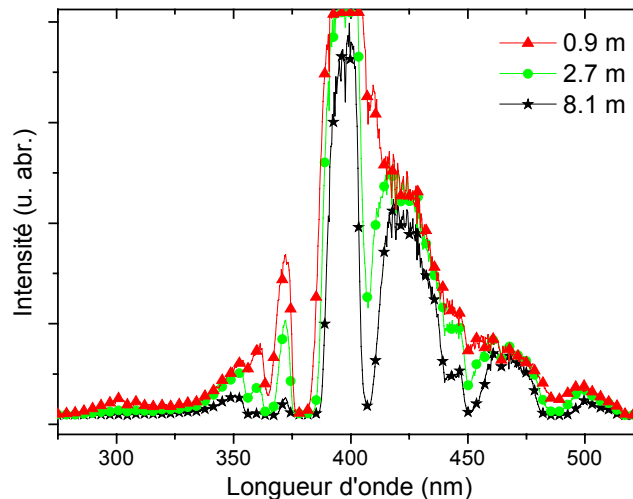


Figure IV-5 : Spectres de la fibre D#1 pour plusieurs longueurs de fibres entre le point d'insolation avec le laser UV (244 nm) et le détecteur

Cette figure montre clairement que l'amplitude des pics d'absorption de l'erbium (identifiés dans le paragraphe précédent) augmente avec la longueur de fibre séparant le point d'insolation et le détecteur.

Dans la Figure IV-6, nous avons reporté l'intensité de la luminescence I de la fibre D#1 en fonction de la longueur de fibre x entre le point d'insolation avec le laser UV (244 nm) et le détecteur placé en sortie de fibre pour trois longueurs d'onde différentes : deux relatives à l'erbium (407 nm et 450 nm) et une à 510 nm en dehors de l'absorption de ce dernier ; cette dernière correspondant à la réponse de la matrice hôte. Nous avons ajusté nos résultats avec une exponentielle décroissante où I_0

est une constante correspondant à l'intensité guidée et générée au point d'impact du laser UV et $\alpha(\lambda)$ est le coefficient d'absorption :

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha(\lambda) \cdot X} \quad (\text{Eq. IV-2})$$

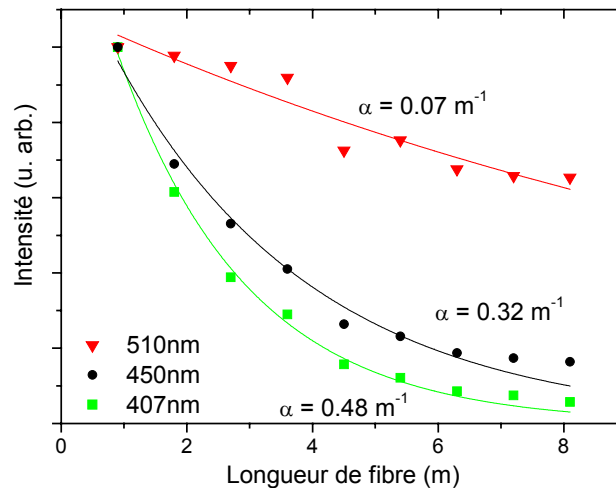


Figure IV-6 : Evolution de l'intensité de la luminescence de la fibre D#1 en fonction de la longueur de fibre entre le point d'insolation avec le laser UV à 244 nm et le détecteur pour différentes longueurs d'onde. Les symboles correspondent aux données expérimentales et les lignes continues aux ajustements.

A partir des ajustements des courbes, nous pouvons calculer le coefficient d'absorption α de la fibre pour chaque longueur d'onde. Pour les trois longueurs d'onde que nous avons tracées dans la Figure IV-6, nous trouvons les valeurs suivantes :

- $\alpha = 0.48 \text{ m}^{-1}$ pour $\lambda = 407 \text{ nm}$
- $\alpha = 0.32 \text{ m}^{-1}$ pour $\lambda = 450 \text{ nm}$
- $\alpha = 0.07 \text{ m}^{-1}$ pour $\lambda = 510 \text{ nm}$

Moyennant cette approche nous sommes donc en mesure de déterminer l'absorption des ions erbium ainsi que celle de la matrice hôte de nos fibres optiques en utilisant le même principe que dans la méthode du « cut back » (méthode décrite dans paragraphe II.3.3) et sans avoir à couper la fibre ni à modifier l'injection, comme nous l'avons montré dans l'une de nos communications [Tortech 2007-quater].

IV.1.2. Absorption induite dans les fibres insolées à 244 nm

Après la détermination des coefficients d'absorption à différentes longueurs d'onde des fibres vierges, nous avons procédé à l'insolation à 244 nm de nos fibres. Pour cela nous avons déplacé la fibre le long de son axe perpendiculairement au faisceau laser comme décrit dans le paragraphe II.1.5. La fluence des insolutions est calculée à partir des paramètres du laser et du montage expérimental moyennant l'équation IV-1 donnée dans l'introduction de ce chapitre. Nous avons utilisé une fluence de $5.6 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ pour nos insolutions. La Figure IV-7 présente différentes courbes

enregistrées au cours du déplacement de la fibre devant le faisceau laser. Nous pouvons constater que le profil des courbes ne change pas au cours de l'insolation mais l'intensité de la lumière transmise par la fibre diminue avec l'insolation.

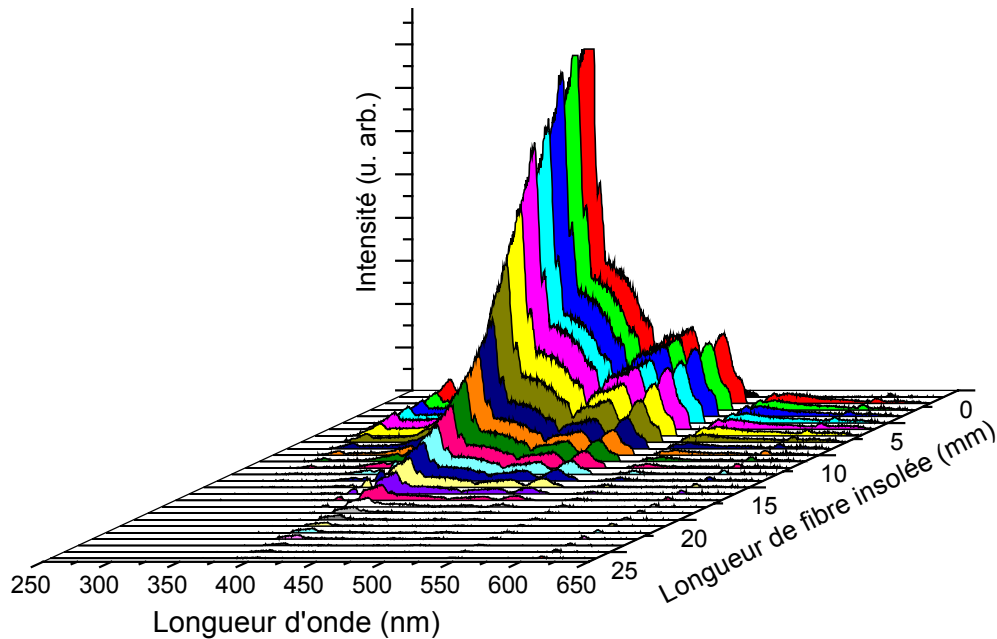


Figure IV-7 : Evolution des spectres transmis en bout de fibre D#1 en fonction de la longueur de fibre insolée à 244 nm.

Afin de suivre l'évolution de l'intensité transmise au cours de l'insolation, nous avons tracé sa variation à différentes longueurs d'onde en fonction de la longueur insolée pour les quatre fibres testées (D#1, D#2, D#5 et D#7), Figure IV-8. Nous avons ajusté nos différentes courbes expérimentales avec une exponentielle décroissante (Eq.IV-3).

$$I = I_0 \cdot e^{-\beta(\lambda) \cdot x} \quad (\text{Eq. IV-3})$$

où β est le coefficient d'absorption induite par insolation UV.

Pour chaque fibre, nous avons représenté l'évolution de l'intensité de la luminescence à six longueurs d'onde différentes : 400 nm, 420 nm, 535 nm correspondant à la réponse de la matrice hôte et 407 nm, 452 nm, 487 nm correspondant à des bandes de l'absorption de l'erbium. Les valeurs des coefficients d'absorption $\beta(\lambda)$ calculés avec les ajustements sont données en Table IV-2, les valeurs ainsi calculées correspondent aux conditions expérimentales utilisées lors de nos insulations ; vitesse de déplacement, puissance de laser et focale de la lentille.

Les valeurs des coefficients d'absorption induites des fibres D#1 et D#2 sont inférieures à celles des coefficients des fibres D#5 et D#7. Dans la gamme spectrale (domaine du visible) l'aluminium ne semble pas jouer un rôle important puisque l'atténuation induite ne suit pas l'évolution de la concentration en aluminium. En revanche, nous pouvons constater que de manière générale, pour une fibre donnée, l'évolution est sensiblement la même quelque soit la longueur d'onde. Ceci prouve que la transmission d'une fibre diminue dans son ensemble lors d'une insolation UV : les longueurs

d'onde situées dans les plages spectrales de l'absorption de l'erbium diminuent de la même façon que les longueurs d'onde se situant en dehors de l'absorption de l'erbium. Nous pouvons penser que les pertes induites par l'insolation UV ne sont dues qu'à la matrice hôte de nos fibres. Nous en arrivons donc à la même conclusion que lors des irradiations gamma : les ions erbium d'une fibre dopée ne sont pas directement affectés lorsque cette dernière est soumise à un rayonnement ionisant.

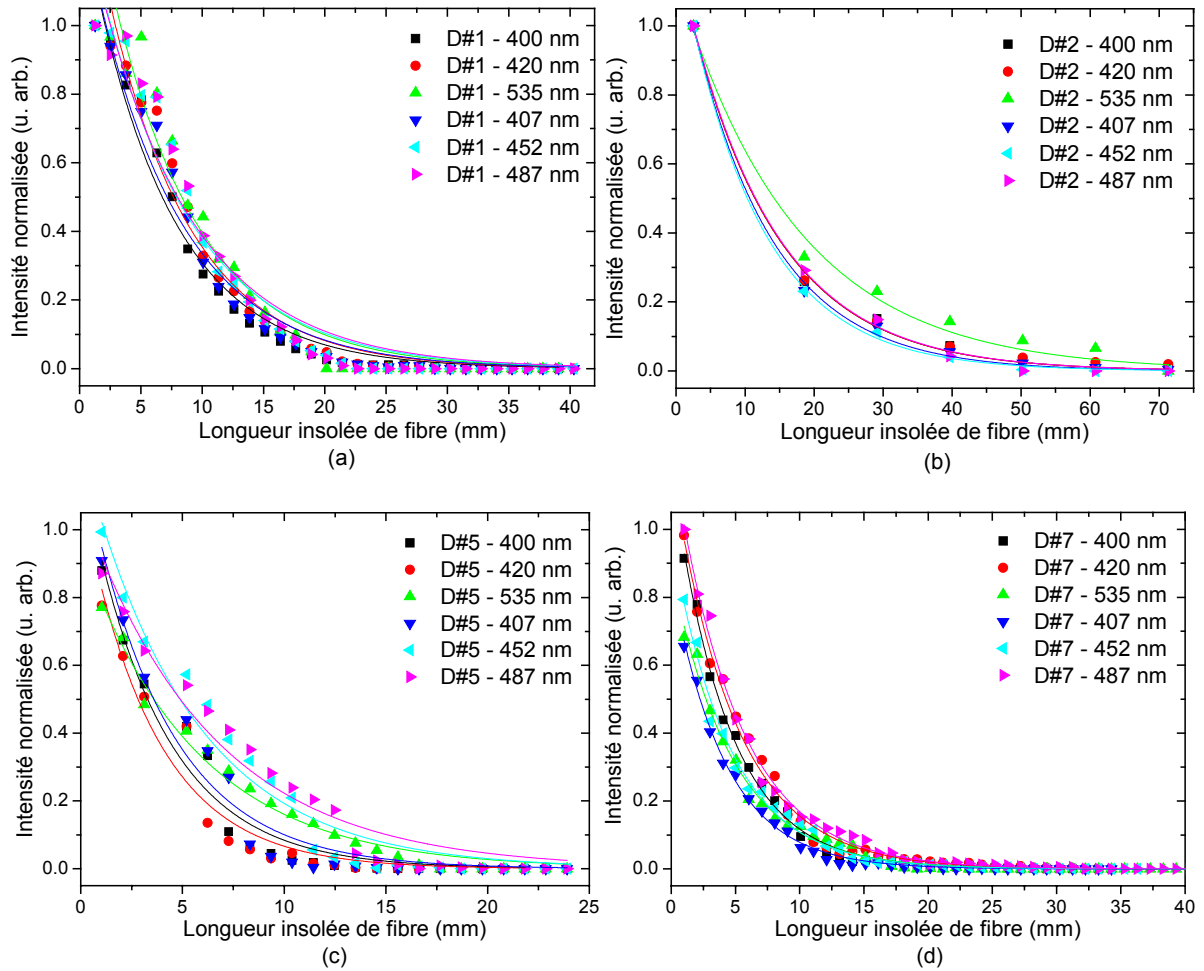


Figure IV-8 : Evolution de l'intensité de la luminescence, à différentes longueurs d'onde, des fibres D#1 (a), D#2 (b), D#5 (c) et D#7 (d) en fonction de la longueur de fibre insolée. Les symboles correspondent aux données expérimentales et les lignes continues aux ajustements des courbes expérimentales.

	D#1	D#2	D#5	D#7
400 nm	0.149 mm ⁻¹	0.077 mm ⁻¹	0.265 mm ⁻¹	0.231 mm ⁻¹
420 nm	0.147 mm ⁻¹	0.077 mm ⁻¹	0.281 mm ⁻¹	0.204 mm ⁻¹
535 nm	0.139 mm ⁻¹	0.058 mm ⁻¹	0.177 mm ⁻¹	0.21 mm ⁻¹
407 nm	0.134 mm ⁻¹	0.085 mm ⁻¹	0.25 mm ⁻¹	0.239 mm ⁻¹
452 nm	0.13 mm ⁻¹	0.089 mm ⁻¹	0.186 mm ⁻¹	0.22 mm ⁻¹
487 nm	0.127 mm ⁻¹	0.077 mm ⁻¹	0.158 mm ⁻¹	0.2 mm ⁻¹

Table IV-2 : Coefficients d'absorption induite $\beta(\lambda)$ calculés par les ajustements des évolutions de l'intensité de la lumière transmise par les fibres D#1, D#2, D#5 et D#7 à différentes longueurs d'ondes

IV.2. Mesures post-insolation

De la même manière que pour les trois autres types d'irradiation, gamma continue, proton et X pulsée, nous avons analysé la luminescence dans le domaine du visible de nos fibres après une insolation UV à 244 nm. Nous n'avons pas utilisé la même installation de microspectroscopie que pour les investigations présentées dans le chapitre III (§ II.3.1.A).

Nous avons excité nos fibres avec un laser Argon émettant à 488 nm en utilisant une puissance inférieure à 2 μ W afin d'éviter le photoblanchiment des fibres. Pour chaque fibre testée, insolée UV ou non, nous avons enregistré un spectre dans le cœur et un second dans la gaine sans changer les réglages du microscope, seule la fibre est déplacée sous le faisceau sonde afin de passer du cœur à la gaine. Les intensités acquises diffèrent d'une fibre à l'autre puisque les réglages sont modifiés à chaque changement de fibres. Afin de les comparer plus facilement nous avons normalisé les spectres de cœur sur la raie à 547 nm. Les spectres de gaine ont été divisés par le même coefficient que celui du spectre de cœur associé afin de ne pas modifier les intensités relatives entre le cœur et la gaine d'un même échantillon.

IV.2.1. Luminescence dans le domaine du visible

Dans la Figure IV-9, nous présentons les spectres de photoluminescence acquis, avec le protocole précédemment décrit, dans le cœur des quatre fibres vierges et insolées UV, et en insert de chaque graphe, nous avons tracé les spectres acquis dans la gaine de nos échantillons.

Dans tous les cas, les spectres de gaines donnent le même profil de courbe, seules les intensités changent d'un spectre à l'autre. Ce sont donc les mêmes défauts qui sont à l'origine de cette luminescence dans les échantillons vierges et insolés, c'est la concentration des défauts qui change : elle est plus élevée dans les échantillons insolés.

Afin d'identifier les défauts présents dans la gaine de nos fibres, nous avons ajusté les spectres de luminescence avec des Gaussiennes dont les paramètres (position du centre et largeur à mi-hauteur) sont fixes et les valeurs prises dans la littérature. Nous avons utilisé quatre Gaussiennes pour ajuster tous nos spectres acquis en gaine. Les paramètres des quatre défauts utilisés sont récapitulés en Table IV-3. Un exemple des ajustements que nous avons effectués est donné en Figure IV-10 pour les spectres de gaine vierge et insolée UV de la fibre D#1.

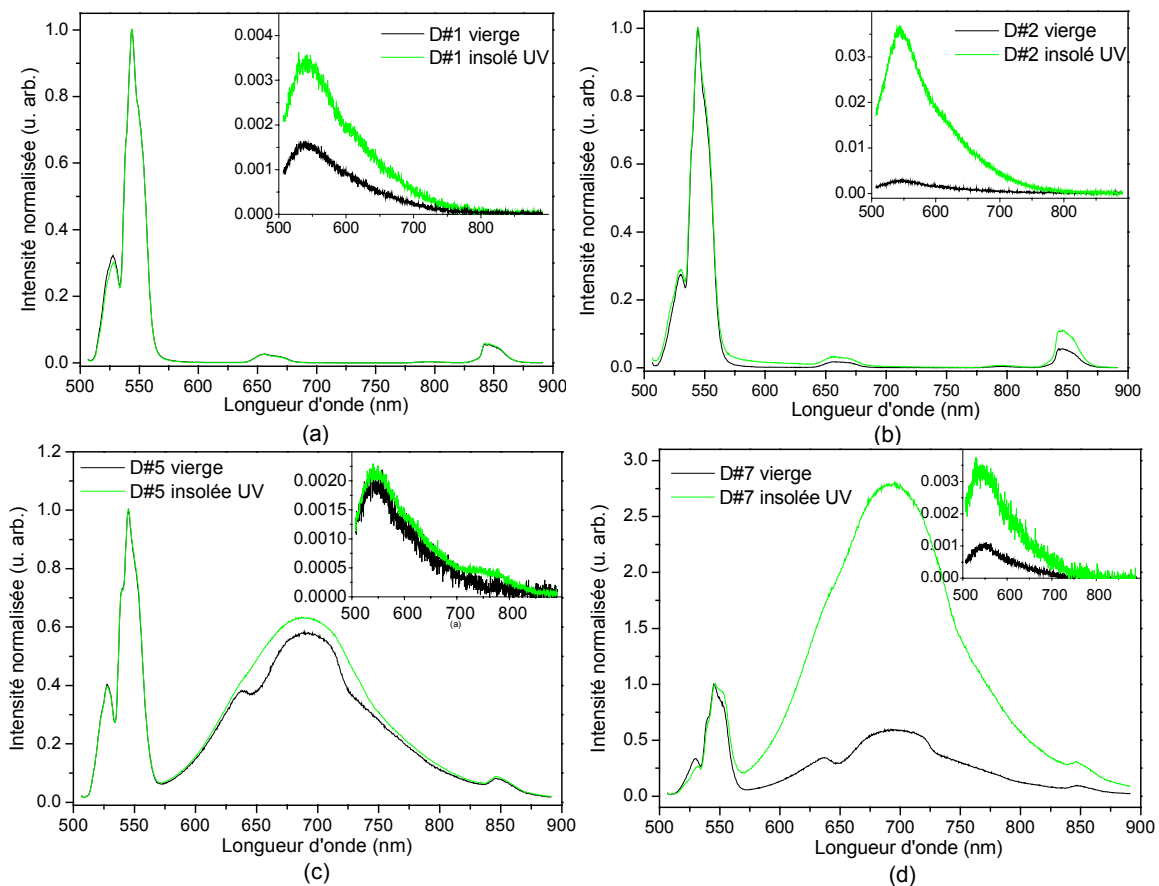


Figure IV-9 : Spectres normalisés de la photoluminescence acquise dans le cœur et en insert dans la gaine des différents échantillons virgés et insolés UV des fibres D#1 (a), D#2 (b), D#5 (c) et D#7 (d). Le laser d'excitation émet à 488 nm.

Position du centre (eV)	Position du centre (nm)	FWHM (eV)	Défaut	Référence
1.75	709	0.32	Défaut relatif à Si	[Girard 2005]
1.84	674	0.2	Ge-NBOHC	[Skuja 1996]
2	620	0.2	Si-NBOHC	[Chan 2003]
2.27	546	0.37	POR	[Sakurai 2000]

Table IV-3 : Paramètres des Gaussiennes d'ajustement relatives aux défauts pour les spectres de photoluminescence de la gaine de nos fibres.

Les trois premiers défauts de la Table IV-3 ont déjà été identifiés dans le chapitre III pour les échantillons irradiés gamma, protons ou aux rayons X. Nous avons deux types de NBOHC (l'un lié aux atomes silicium [Chan 2003] et l'autre lié aux atomes de germanium [Skuja 1996]) et des défauts relatifs aux atomes de silicium [Girard 2005]. Nishikawa *et al.* [Nishikawa 1996] associe la bande à 1.75 eV (709 nm) à des nanocristaux de silicium formés à partir d'agrégats de silicium présents dans la silice lors d'irradiation gamma à haute dose. Cette hypothèse n'est pas en contradiction avec les travaux de Girard *et al.* [Girard 2005]. La dernière bande de luminescence centrée vers 2.27 eV (546 nm) n'avait pas été utilisée lors des premiers ajustements dans le chapitre III, cela n'est pas dû au changement de type du rayonnement utilisé mais au changement de la longueur d'onde

d'excitation pour les mesures de luminescence comme nous le verrons dans le paragraphe suivant (§ IV.2.2).

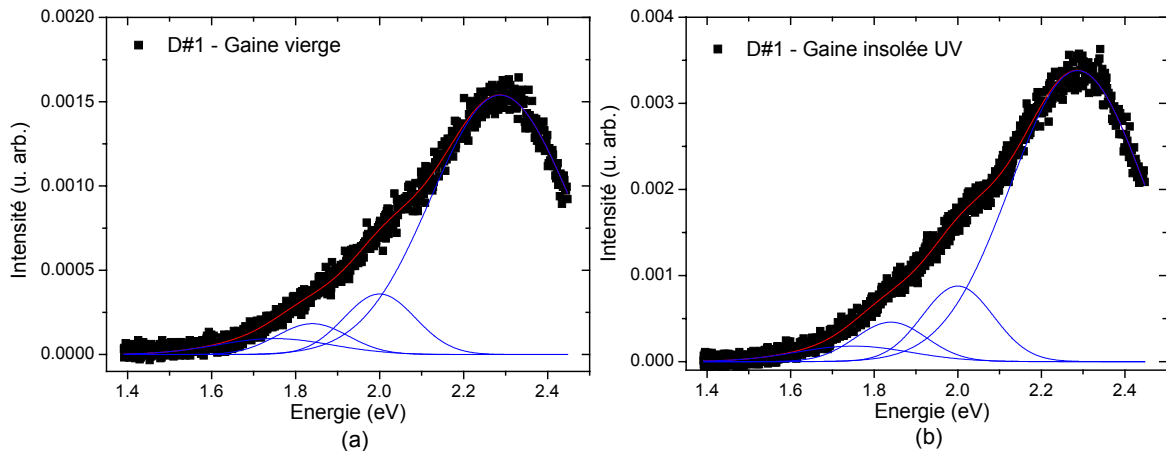


Figure IV-10 : Spectres de luminescence des gaines vierge (a) et insolée UV (b) de la fibre D#1. Les données expérimentales sont tracées avec les symboles et les ajustements tracés avec les lignes sont une somme de quatre Gaussiennes.

Nous avons également fait les ajustements des spectres de cœurs de nos quatre fibres vierges et insolées UV. Un exemple est donné en Figure IV-11 pour la fibre D#5. Les Gaussiennes tracées en bleu correspondent aux défauts et les Gaussiennes tracées en vert correspondent aux bandes de luminescence des ions erbium.

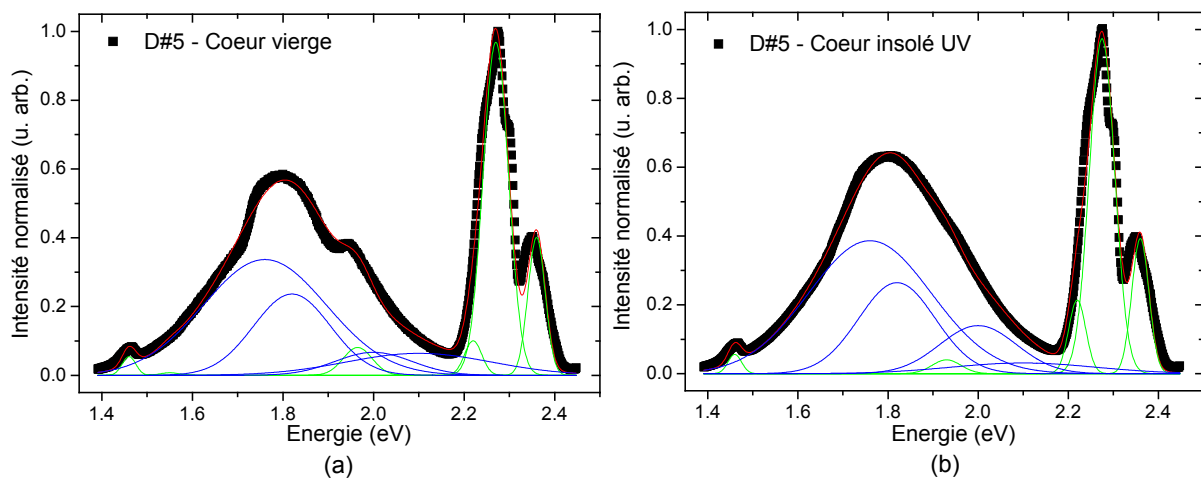


Figure IV-11 : Spectres de luminescence des cœurs vierge (a) et insolé UV (b) de la fibre D#5. Les données expérimentales sont tracées avec les symboles et les ajustements tracés avec les lignes sont une somme de Gaussiennes.

Pour ajuster les spectres acquis pour les cœurs des fibres, nous avons utilisé les mêmes paramètres de Gaussiennes que ceux pris pour les gaines en ce qui concerne les défauts (Table IV-3) et éventuellement le défaut centré à 2.1 eV (590 nm) (FWHM ≈ 0.38 eV) identifié dans le chapitre III (cf. Table III-7). Pour les bandes relatives aux ions erbium, nous avons utilisé les mêmes bandes que dans le chapitre III (§ III.2.1.A) à l'exception de celle dont le centre se situe vers 1.88 eV dont le centre est décalé à 1.94 eV (663 nm). La Table IV-4 récapitule les paramètres des Gaussiennes relatives aux transitions de l'erbium.

Position du centre (eV)	Position du centre (nm)	FWHM (eV)	Transition
1.46	859	0.035	$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$
1.47	844	0.013	$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$
1.55	800	0.050	$^4I_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$
1.94	663	0.075	$^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$
2.22	559	0.045	$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$
2.27	546	0.065	$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$
2.36	530	0.045	$^2H_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$

Table IV-4 : Paramètres des Gaussiennes d'ajustement relatives aux transitions de l'erbium pour les spectres de photoluminescence du cœur de nos fibres.

Les ajustements de nos courbes montrent que les mêmes défauts sont présents dans le cœur et la gaine de nos fibres. Nous notons que, à l'inverse des fibres D#5 et D#7, les fibres D#1 et D#2 ne présentent pas de luminescence significative due aux défauts dans leurs spectres de cœur (cf. Figure IV-9). Les différences entre ces deux groupes de fibres sont liées à la différence de concentrations du cœur en aluminium et germanium. Les fibres D#5 et D#7 ont une concentration beaucoup plus élevée en germanium et n'ont pratiquement pas d'aluminium. Les défauts les plus présents dans les fibres D#5 et D#7, même avant l'insolation UV, sont des défauts relatifs au silicium et les Ge-NBOHC. Les fibres D#1 et D#2 ne présentent pas de luminescence significative autour de 1.77 eV (700 nm). Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette observation :

- L'introduction d'aluminium, quoiqu'à l'origine de la formation de défauts spécifiques, empêche la formation des défauts générant une luminescence autour de 1.77 eV (700 nm)
- Les défauts à l'origine de la luminescence vers 1.77 eV (700 nm) dans les fibres D#5 et D#7 sont bien présents aussi dans les fibres D#1 et D#2 mais la présence d'aluminium modifie leur couplage à la matrice et entraîne une désexcitation non radiative.

Pour vérifier ces hypothèses des mesures supplémentaires d'absorption autour de 1.77 eV (700 nm) sont nécessaires.

IV.2.2. Comparaison des spectres de luminescence dans le domaine du visible des échantillons insolés UV et irradiés gamma

Afin de vérifier si une insolation UV et une irradiation gamma créent les mêmes défauts dans nos fibres, nous allons comparer les spectres de luminescence de nos fibres après irradiation gamma et insolation UV. Nous avons repris les spectres des fibres irradiées gamma dans les mêmes conditions que ceux des fibres insolées UV. En effet, depuis le début des travaux de thèse, nous avons changé d'installation de microspectrométrie. Les mesures faites sur les fibres insolées UV ont été réalisées sous excitation à 488 nm alors que celles antérieures sur les fibres irradiées gamma ont été effectuées moyennant une excitation à 514.5 nm (§ III.2.1.A).

Les figures IV-12 et IV-13 présentent les spectres de photoluminescence acquis dans le cœur et dans la gaine des fibres D#2 et D#7 vierges, insolées UV et irradiées gamma (à 3kGy). Les spectres de cœur sont toujours normalisés sur le pic de l'erbium à 547 nm. Pour ne pas alourdir la présentation, nous n'avons pas reproduit les spectres des fibres D#1 et D#5 puisque le comportement de ces deux fibres est similaire à celui des fibres D#2 et D#7 respectivement. Si nous comparons ces spectres de luminescence de cœur et de gaine avec ceux du chapitre III (§ III.2.1.A) pour les échantillons irradiés gamma, nous constatons que les bandes dont l'intensité augmente sous l'effet des radiations ne sont pas identiques. Ceci est dû au changement de la longueur d'onde d'excitation qui entraîne une modification du spectre d'émission.

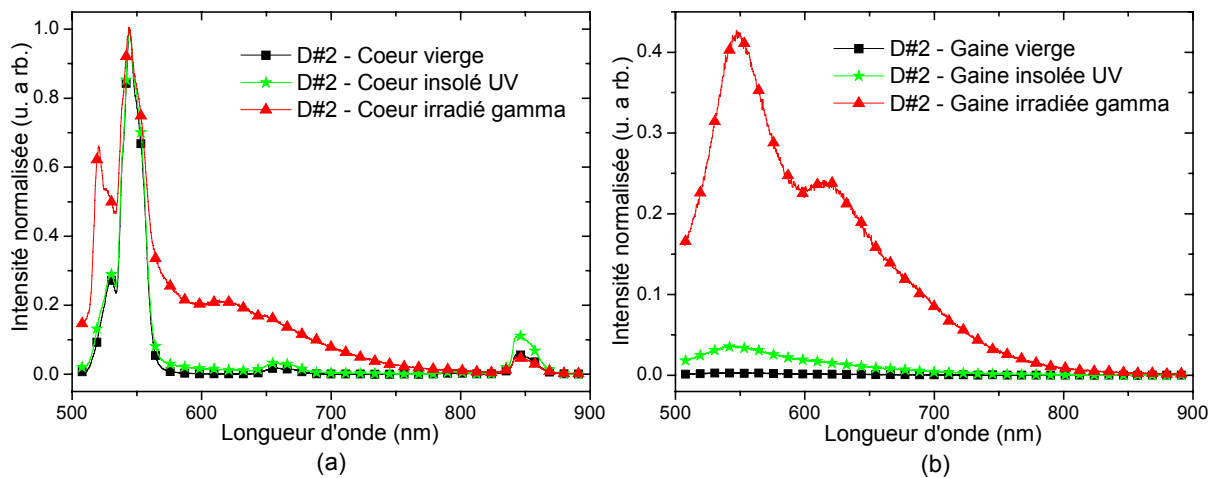


Figure IV-12 : Spectres de photoluminescence acquis dans le cœur (a) et dans la gaine (b) de la fibre D#2 vierge, insolée UV et irradiée gamma

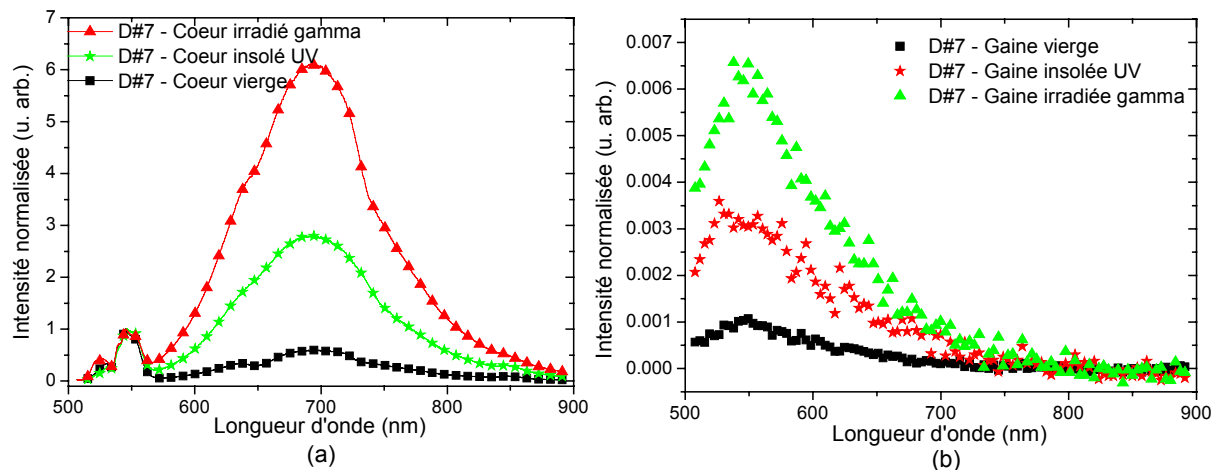


Figure IV-13 : Spectres de photoluminescence acquis dans le cœur (a) et dans la gaine (b) de la fibre D#7 vierge, insolée UV et irradiée gamma

Nous constatons, pour les deux fibres, que les spectres acquis dans les gaines ont des profils similaires (une bande de luminescence centrée vers 550 nm qui s'étend jusque vers 750 nm) mais les intensités sont plus grandes pour les échantillons irradiés gamma que pour les échantillons insolés UV. Dans le cœur de la fibre D#2, nous observons une faible augmentation de l'intensité de la bande de luminescence centrée vers 550 nm qui s'étend jusque vers 750 nm (la même bande que dans la gaine

de nos fibres) pour l'échantillon insolé UV et une plus forte augmentation pour l'échantillon irradié gamma, par rapport à l'échantillon vierge. Dans le cœur de la fibre D#7, c'est la bande autour de 700 nm qui augmente sous l'effet des radiations ionisantes. Cette bande est déjà présente dans l'échantillon vierge mais son intensité augmente significativement dans l'échantillon insolé UV et est plus importante dans celui irradié gamma. Ces observations nous conduisent à penser que les défauts créés par une insolation UV sont de même nature que ceux créés par irradiation gamma.

Afin de vérifier si les bandes de luminescence dont l'intensité augmente sous l'effet des radiations sont bien les mêmes pour les deux types de rayonnement (UV et rayons gamma) nous avons ajusté nos courbes par une somme de Gaussiennes, avec les mêmes paramètres que précédemment utilisés (cf. Table IV-3 et Table IV-4) pour les fibres D#1 et D#2. Les spectres ajustés des cœurs des fibres D#2 et D#7 insolées UV et irradiées gamma sont présentés en Figures IV-14 et IV-15 respectivement ; en insert de ces figures sont présentés les spectres ajustés acquis en gaine des mêmes fibres.

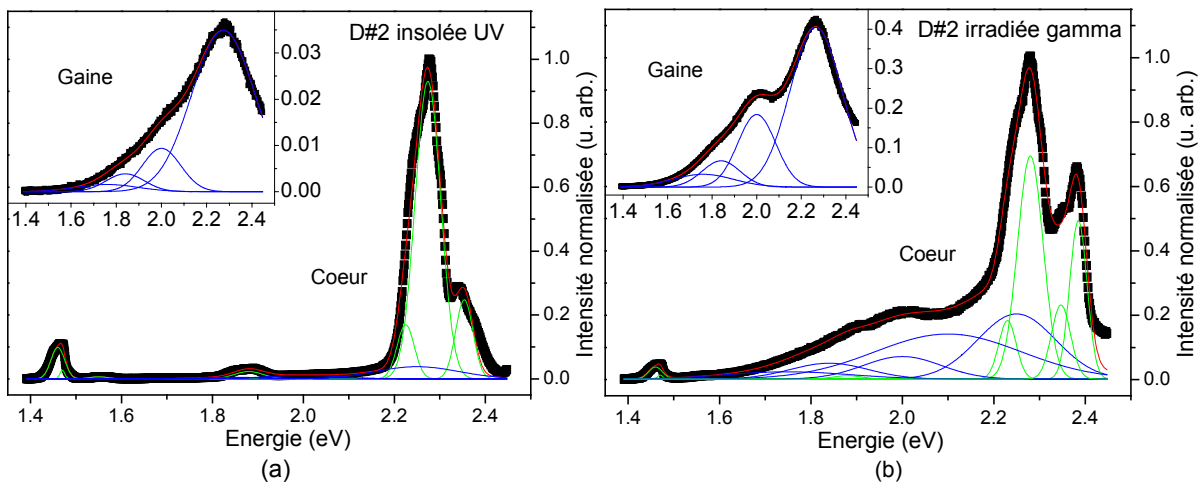


Figure IV-14 : Spectres de photoluminescence acquis dans le cœur (en insert spectres de la gaine) des échantillons insolé UV (a) et irradié gamma (b) de la fibre D#2. Les symboles représentent les données expérimentales, les lignes rouges correspondent à la somme des Gaussiennes d'ajustement, les lignes vertes sont les Gaussiennes relatives à l'erbium et les lignes bleues sont celles relatives à des défauts.

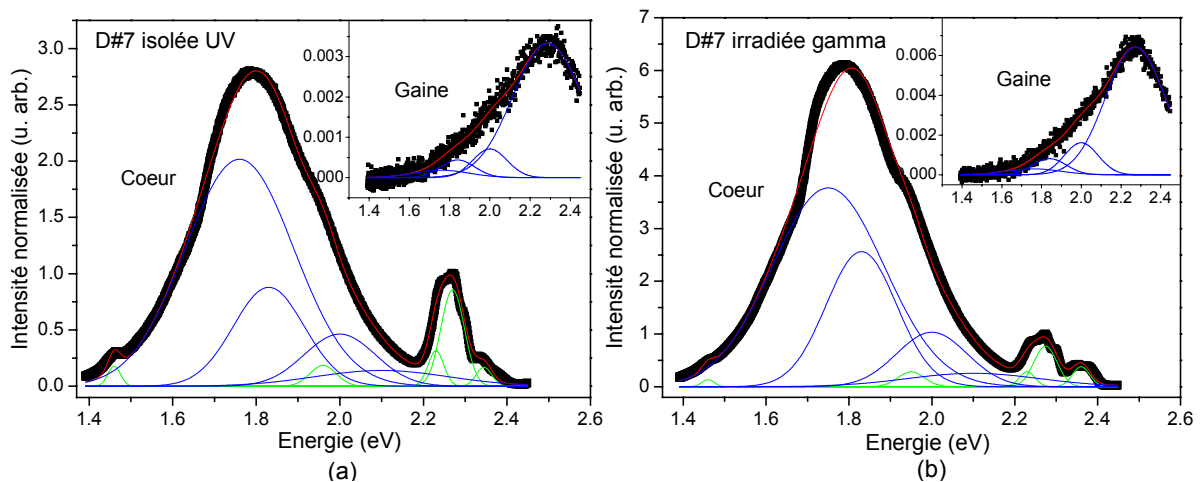


Figure IV-15 : Spectres de photoluminescence acquis dans le cœur (en insert spectres de la gaine) des échantillons insolé UV (a) et irradié gamma (b) de la fibre D#7. Les symboles représentent les données expérimentales, les lignes rouges correspondent à la somme des Gaussiennes d'ajustement, les lignes vertes sont les Gaussiennes relatives à l'erbium et les lignes bleues sont celles relatives à des défauts.

Pour les spectres des deux fibres présentées ici, nous observons clairement que les défauts mis en jeu entre les échantillons insolés UV et irradiés gamma sont les mêmes : tous les spectres aussi bien de gaine que de cœur montrent la présence des mêmes défauts quelque soit le type de radiation utilisé. Nous pouvons donc en conclure que les défauts créés lors d'une insolation UV et d'une irradiation gamma sont de même nature et il est donc possible de simuler les effets d'une irradiation gamma par une insolation UV. Par contre, les intensités relatives des bandes de luminescence des défauts (Figures IV-12 et IV-13) ne sont pas égales. Les expériences ont été réalisées avec une seule fluence et les comparaisons effectuées à une seule dose totale reçue. Il est nécessaire de poursuivre ces expériences en fonction des fluences et des doses totales reçues afin d'établir une correspondance UV - gamma.

IV.3. Résumé

Dans ce chapitre nous avons déterminé les coefficients d'absorption et ceux d'absorption induite par insolation UV des fibres dopées erbium et montré la pertinence de la méthode développée en laboratoire utilisant une source de lumière intrinsèque à la fibre [Tortech 2007-quater]. Les mesures de luminescence post-insolation que nous avons réalisées nous ont permis de montrer que les défauts mis en jeu lors d'une insolation UV sont liés à la matrice hôte des fibres. Les centres colorés identifiés lors de nos mesures sont des Ge-NBOHC, des Si-NBOHC, des POR, des POHC et des défauts relatifs au silicium. La concentration de ces défauts est augmentée lors de l'insolation UV. Nous avons donc comparé les spectres de luminescence des échantillons irradiés gamma et insolés UV. Les mêmes défauts sont créés par chacun des deux types de rayonnement. De la même façon que pour les fibres optiques multimodes germano-silicates [Girard 2003], il est possible de simuler les effets d'une irradiation gamma par une insolation UV pour des fibres dopées erbium.

Chapitre V. Amplificateur optique à fibre dopée erbium sous irradiation gamma

V.1. CALCULS DU GAIN ET DU FACTEUR DE BRUIT D'UN AMPLIFICATEUR OPTIQUE	111
V.1.1. Calcul du gain.....	111
V.1.2. Calcul du facteur de bruit.....	112
V.2. PARAMÈTRES POUR LES CAMPAGNES D'IRRADIATION GAMMA DES AMPLIFICATEURS OPTIQUES À FIBRES DOPÉES ERBIUM	113
V.3. MESURES DU GAIN ET DU FACTEUR DE BRUIT DES EDFAS SOUS IRRADIATION GAMMA	115
V.3.1. Evolution du gain et du facteur de bruit des EDFAs sous irradiation gamma	115
V.3.2. Influence de la composition des fibres optiques des EDFAs sous irradiation gamma .	123
V.3.3. Influence de la puissance de pompe des EDFAs sous irradiation gamma	125
V.4. RÉSUMÉ.....	129