

# DURCISSEMENT AUX RADIATIONS DE FIBRES OPTIQUES DOPEES TERRES RARES ET D'AMPLIFICATEURS A FIBRES OPTIQUES

**Marilena Vivona<sup>1,3,4</sup>, Sylvain Girard<sup>2</sup>, Claude Marcandella<sup>2</sup>, Emmanuel Pinsard<sup>3</sup>, Arnaud Laurent<sup>3</sup>, Thierry Robin<sup>3</sup>, Benoit Cadier<sup>3</sup>, Marco Cannas<sup>4</sup>, Aziz Boukenter<sup>1</sup>, Youcef Ouerdane<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire Hubert Curien, UMR CNRS 5516, 42000 Saint-Etienne, France*

<sup>2</sup> *CEA, DAM, DIF, 91297 Arpajon, France*

<sup>3</sup> *iXFiber SAS, Rue P. Sabatier, 22300 Lannion, France*

<sup>4</sup> *Dipartimento di Fisica, Università di Palermo, I-90123 Palermo, Italy*

marilena.vivona@univ-st-etienne.fr

## RÉSUMÉ

Cette étude vise à comprendre les effets d'une irradiation  $\gamma$  sur les propriétés optiques et structurales des fibres dopées aux Terres Rares en vue de leur utilisation dans des amplificateurs à fibre réalisés pour des applications spatiales. L'enjeu majeur de durcissement de ces composants est abordé via des techniques telles que le chargement en hydrogène et/ou le co-dopage au Cérium du cœur des fibres optiques. L'identification des centres responsables de l'atténuation induite par irradiation et la compréhension des mécanismes de dégradation mis en jeu sont des étapes indispensables au développement de ces fibres.

**MOTS-CLEFS :** *fibres optiques actives ; terres rares ; radiations ; durcissement*

## 1. INTRODUCTION

Ces dernières années, les fibres optiques dopées aux Terres Rares (TR) sont devenues un sujet de plus en plus étudié, car elles sont largement utilisées en tant que milieux actifs dans des systèmes optiques, tels que les lasers et les amplificateurs à fibre. Très présents dans le domaine des télécommunications, grâce à leur haute performance d'amplification du signal et à leurs poids et volume faibles, les amplificateurs à fibres codopées Erbium-Ytterbium (EYDFAs) sont devenus un élément essentiel des systèmes installés à bord des satellites et autres engins spatiaux. Dans ce contexte, l'étude des effets des rayonnements ionisants sur les propriétés optiques des fibres dopées aux TR devient prépondérante [1,2]. La formation et la transformation de défauts ponctuels générés lors de l'exposition aux radiations sont responsables de l'augmentation de l'atténuation autour des longueurs d'onde de la pompe et du signal (RIA) ce qui a des conséquences majeures sur la performance des EYDFAs [3]. Le durcissement de ces fibres est donc aujourd'hui crucial non seulement en vue du développement des EYDFAs dans l'espace mais aussi afin d'étendre leurs domaines d'emploi auprès d'autres environnements radiatifs. Peu de travaux ont été dédiés à la caractérisation de telles fibres optiques dans une configuration active (avec pompage des ions de Terres Rares durant le test). D'un côté, ces études sont utiles pour comprendre les mécanismes physiques à l'origine de la dégradation des fibres dopées sous irradiation, de l'autre elles permettent de prédire leur tolérance/vulnérabilité lors des profils d'emploi visés.

## 2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

Les échantillons étudiés sont deux prototypes de fibres optiques, dopées aux TR et leurs versions hydrogénées (48 h, 192 bars, 80 °C), fabriquées par iXFiber SAS selon le procédé MCVD [4]. Les cœurs des échantillons ont été dopés aux ions de TR par une technique de dopage en solution. La fibre I est dopée avec de ions  $\text{Yb}^{3+}$  et  $\text{Er}^{3+}$ , dans un rapport Yb/Er égal à 21; la fibre J est la copie de la fibre I, mais avec un ajout de Cérium à la composition de la matrice vitreuse, selon un rapport Yb/Ce égal à 2. Du phosphore (~12% en poids) est incorporé dans les cœurs des deux fibres optiques afin de faciliter le transfert d'énergie entre les ions Yb et Er et d'augmenter

l'efficacité d'émission autour de 1550 nm [5]. Ces fibres ont une architecture double gaine (DC) avec une géométrie octogonale pour faciliter l'interaction entre le signal de pompe dans la gaine interne et les ions TR dans le cœur. La conception de ces fibres a découlé d'études antérieures qui nous ont permis d'apprécier une amélioration de la tenue sous irradiations pour les fibres codopées Erbium-Ytterbium en matrice phospho-silicate. Les deux fibres ont été analysées dans une configuration active avec une longueur de 12 m exposée à un rayonnement  $\gamma$ . La position calibrée de la source  $^{60}\text{Co}$  détermine un débit de dose d'environ 0,3 rad/s et des doses totales jusqu'à ~125 krad ont été considérées. Ce faible débit de dose est choisi car plus typique de l'environnement spatial, où ces fibres seront utilisées.

La Fig.1 illustre le design des amplificateurs optiques analysés (en configuration contra-propagative). Une pompe multi-mode (MM) et une diode (DFB) donnent respectivement le signal à 915 nm de pompage (quelques W) dans la gaine interne et le signal (dizaines de mW) à 1545 nm dans le cœur. Le signal transmis est acquis par un puissance-mètre (PWM) et par un analyseur de spectres (OSA) pour enregistrer les éventuels changements des propriétés spectrales. De plus, nous avons analysé le niveau de l'ESA (en contra-propagative) vers 1000 nm. Des mesures complémentaires ont été effectuées pour étudier les effets du rayonnement sur l'atténuation induite aux longueurs d'onde de la pompe et du signal transmis (915 nm et 1550 nm). Ce type de mesures a été mené sur une préforme élaborée *ad hoc* (préforme L, dopée P et Ce en cœur) et sur sa version hydrogénée.

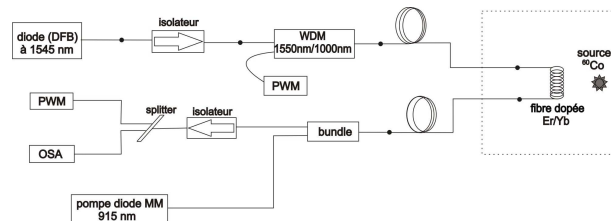


Fig. 1 : Installation expérimentale utilisée pour la caractérisation des fibres dopées TR dans leur configuration active sous rayonnement  $\gamma$ .

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX/DISCUSSION

La Fig. 2 compare les évolutions de RIA en fonction de la dose pour les deux fibres I (sans Ce) et J (avec Ce) et leurs versions hydrogénées (fibres Ih et Jh). Ces résultats montrent qu'aussi bien le chargement d'hydrogène que le co-dopage au Ce améliorent la réponse de la fibre sous irradiation  $\gamma$ . Les différents effets liés aux deux traitements sont évidents : avec l'ajout de Ce, la croissance de la RIA suit encore une exponentielle de saturation qui implique la compétition entre des phénomènes de formation et de guérison (par recombinaison et/ou par épuisement de chromophores) de défauts. En revanche, l'hydrogénation, indépendamment de la présence de Ce, induit une croissance exponentielle des pertes induites, tout en permettant de diminuer le niveau de pertes induites.

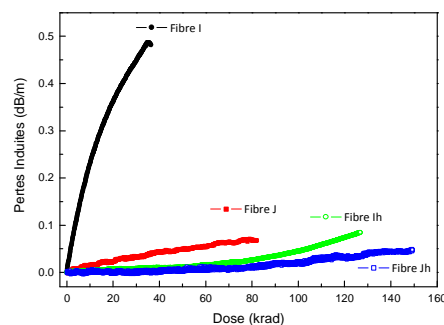


Fig. 2 : Evolution des pertes induites en fonction de la dose pour les fibres I et J et leurs versions hydrogénées, Ih et Jh.

Dans la Fig. 3, les courbes de puissance transmise en configuration passive du signal à 1550 nm (panneau a) et de la pompe à 915 nm (panneau b), sont illustrées.

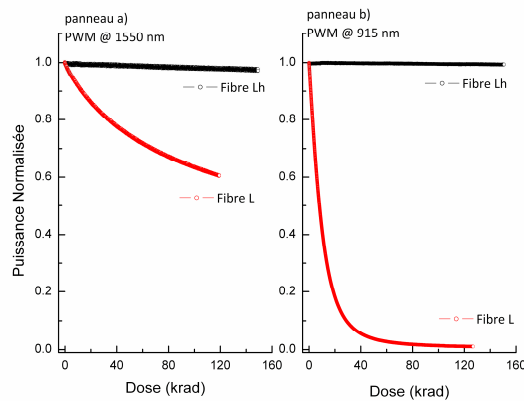


Fig. 3 : Puissance normalisée transmise du signal (1550 nm, panneau a) et de la pompe (915 nm, panneau b) dans la fibre L et sa version hydrogénée.

Ces courbes mettent en évidence que les mécanismes de dégradations de la transmission des fibres sont dus à la matrice plus qu'au dopage en luminophores terres-rares. La matrice phospho-silicate hydrogénée a une meilleure tenue à la radiation, aussi bien à la longueur d'onde de la pompe qu'à celle du signal et cet effet donne une première explication qualitative pour le bas niveau des pertes induites dans ce cas (fibre Ih et Jh).

La seule présence du Ce (comparaison entre les fibres I et J en Fig. 2) permet une amélioration notable des performances. Ces fibres à cœur phospho-silicate ont été étudiées de manière diffuse sous irradiation pulsée et continue et certains mécanismes induits par l'irradiation sont connus [6]. Le Ce, dans son état de valence 3+, possède une grande probabilité de piégeage de trous, donc il peut limiter la formation des défauts liés au P ce qui se traduit par une diminution des pertes induites à la longueur d'onde du signal.

## CONCLUSION

Nous avons étudié en configuration active des fibres optiques dopées aux TR sous irradiation  $\gamma$  à faible débit de dose. Nos résultats montrent que le codopage au Ce et le chargement en hydrogène améliorent les performances de ces fibres pour des applications en environnements radiatifs. Un choix judicieux des dopants montre que l'on peut limiter efficacement la dégradation du transfert énergétique entre les ions Yb et Er pendant l'irradiation. Des mesures spectroscopiques sont en cours pour mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la dégradation du signal.

## REFERENCES

- [1] R. B. J. Lewis, E. S. R. Sikora, J. V. Wright, R. H. West, S. Dowling, *Electron. Lett.*, vol. 28, pp. 1589-1591, 1992.
- [2] G. M. Williams, E. J. Friebele, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 45, pp. 1531-1536, 1998
- [3] S. Girard, B. Tortech, E. Régner, M. van Uffelen, A. Gusarov, Y. Ouerdane, J. Baggio, P. Paillet, V. Ferlet-Cavrois, A. Boukenter, J.-P. Meunier, F. Berghmans, J. R. Schwank, M. R. Shaneyfelt, J.A. Felix, E. W. Blackmore, H. Thienpont, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 54, pp. 2426-2434, 2007.
- [4] <http://www.ixfiber.com>
- [5] B.-C. Hwang, S. Jiang, T. Luo, J. Watson, G. Sorbello, N. Peyghambarian, *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 17, pp. 833-839, 2000
- [6] S. Girard, A. Boukenter, Y. Ouerdane, J.-P. Meunier, J. Keurinck, *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 322, pp. 78-83, 2003