



Contrôle des effets des radiations dans les fibres optiques phosphosilicates : exemples d'applications dans différents domaines du nucléaire

Les études menées en collaboration entre nos différents laboratoires ont permis d'améliorer notre compréhension des mécanismes induits à l'échelle microscopique sous irradiation dans les fibres optiques dopées au phosphore. Les défauts ponctuels à l'origine de la forte dégradation de ces fibres sous irradiation ont été pour la plupart identifiés ainsi que leurs mécanismes de génération. À partir de ces études fondamentales, il a été possible de montrer la faisabilité de diverses applications utilisant ces fibres optiques dans différents domaines du nucléaire. La première, basée sur leur forte sensibilité aux radiations, concerne un outil de dosimétrie *in situ* résolu spatialement. La seconde, rendue possible par le contrôle de la génération de certains des défauts phosphore sous irradiation, concerne une fibre optique amplificatrice tolérante aux radiations rencontrées dans l'espace.

S. Girard • C. Marcandella • N. Richard CEA - DAM Île-de-France

G. Origlio • M. Vivona • Y. Ouerdane • A. Boukenter Laboratoire Hubert Curien, UMR-CNRS 5516, Saint-Étienne, France

M. Cannas • R. Boscaino Laboratoire LAMP, Università di Palermo, Palermo, Italie

B. Cadier • T. Robin • A. Laurent ixFiber SAS, Lannion, France

S. Quenard • N. Authier CEA - Valduc

L'intégration des fibres optiques est de plus en plus considérée dans différents domaines du nucléaire tels que les applications spatiales, la physique des hautes énergies, les lasers de classe Mégajoule ou le nucléaire civil [1]. En effet, elles possèdent de nombreux avantages par rapport aux autres canaux de transport de l'information : leur immunité électromagnétique, leur grande bande passante, la possibilité de multiplexage, leurs faibles poids et volume. Cependant, leurs propriétés macroscopiques restent affectées par les radiations, principalement *via* trois mécanismes : l'atténuation induite par irradiation (RIA pour « Radiation-Induced Attenuation »), l'émission induite par irradiation et la compaction. Pour la majorité des applications, la RIA, qui correspond à une augmentation des pertes optiques linéiques de la fibre, reste le phénomène prépondérant. Toutes les fibres optiques n'ont pas la même sensibilité face à un environnement donné et pour un profil d'emploi donné. Plus particulièrement, les niveaux et les cinétiques de la RIA dépendent fortement de la composition de la matrice vitreuse constituant la fibre, les éléments incorporés en cœur ou en gaine optique, le procédé de fabrication... Dans cet

article, nous limitons notre étude aux fibres phosphosilicates, *i.e.* celles possédant un cœur de silice dopée avec du phosphore. Ces fibres sont différentes de celles dopées avec du germanium issues du marché des télécommunications. Les fibres phosphosilicates sont en revanche très utilisées pour la fabrication de capteurs ou, en association avec des terres rares (erbium, ytterbium), pour la fabrication de fibres amplificatrices utilisées pour des lasers, amplificateurs et pour la télédétection par laser.

Les fibres optiques phosphosilicates sont connues pour être parmi les plus sensibles aux radiations. Ceci s'explique par les propriétés des défauts relatifs au phosphore qui absorbent fortement depuis l'ultraviolet jusqu'à l'infrarouge et sont très stables à température ambiante. Différentes techniques spectroscopiques ont été utilisées afin d'identifier ces défauts et leurs mécanismes de génération [2,3].

Leur grande sensibilité aux radiations peut être utilisée pour réaliser de la dosimétrie par fibre optique, en temps réel et résolue spatialement. De telles applications nécessitent que la RIA augmente

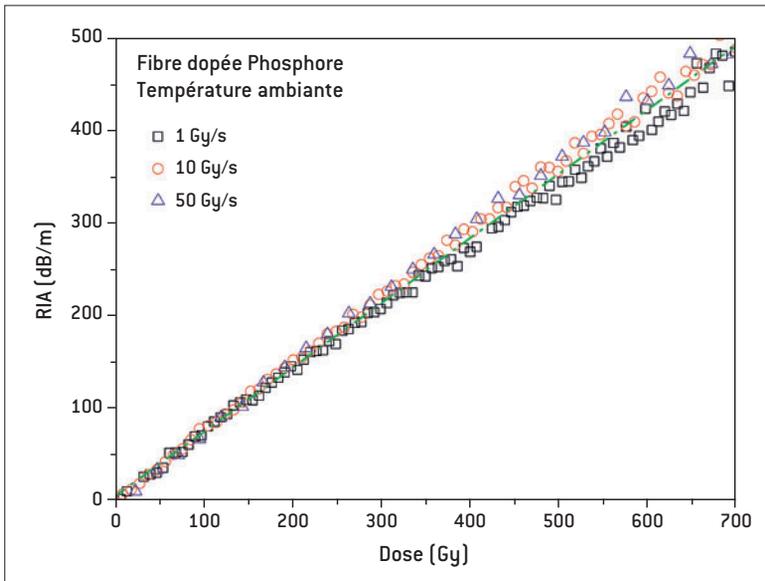


Figure 1. Dépendance des pertes induites [RIA] à 300 nm sous irradiation en fonction de la dose déposée dans une fibre phosphosilicate pour différents débits de dose à température ambiante [4].

de manière linéaire avec la dose déposée dans le matériau. De plus, deux autres qualités sont essentielles pour la dosimétrie : une indépendance du facteur de conversion dose - RIA induite en fonction du débit de dose et en fonction de la température. Ceci a été vérifié pour différentes longueurs d'onde dans nos fibres phosphosilicates. La **figure 1** illustre l'évolution des pertes induites par irradiation en fonction de la dose déposée et du débit de dose à la longueur d'onde de 300 nm [4]. Cette longueur d'onde correspond à une zone spectrale où l'un des défauts induits par irradiation contribue de manière prépondérante et importante à la RIA. Ces travaux montrent qu'une dosimétrie *in situ* à cette longueur d'onde et avec une résolution spatiale de l'ordre du centimètre est envisageable.

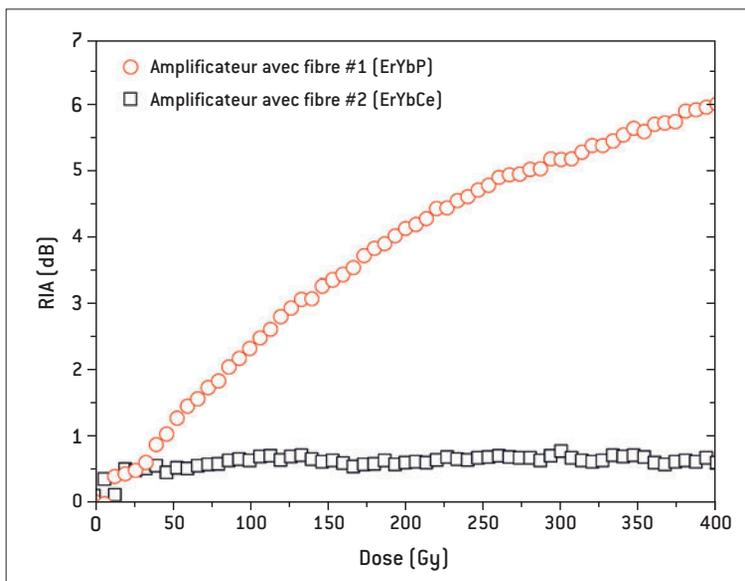


Figure 2. Dépendance des pertes induites [RIA] à 1545 nm sous irradiation en fonction de la dose déposée en sortie des amplificateurs réalisés avec la fibre #1 [phosphosilicate] et la fibre #2 [phosphosilicate + cérium] [5].

Pour les fibres amplificatrices co-dopées ytterbium et erbium, nous avons montré que leur forte dégradation provenait du co-dopage au phosphore utilisé pour favoriser les mécanismes d'amplification laser. Pour des applications spatiales, il convient de limiter la génération de ces défauts. Ceci est possible en co-dopant les fibres optiques avec du cérium [5]. Sous irradiation, les défauts relatifs au cérium et au phosphore sont en compétition pour le piégeage des charges libérées par ionisation. Le co-dopage cérium permet de diminuer sensiblement la concentration des défauts responsables de la dégradation de la fibre à 1545 nm, longueur d'onde d'émission des amplificateurs à fibre. La **figure 2** compare la dégradation de deux amplificateurs à fibre optique, aux performances identiques avant irradiation. Le premier est réalisé avec une fibre phosphosilicate (#1) et le second avec une fibre co-dopée phosphore et cérium (#2). Ces travaux montrent la faisabilité de concevoir des amplificateurs optiques durcis pour le spatial.

En conclusion, la compréhension et le contrôle des effets induits par irradiation dans les fibres phosphosilicates a permis d'imaginer des applications dans divers domaines du nucléaire et du spatial.

RÉFÉRENCES

- [1] S. GIRARD, *Propriétés des défauts ponctuels à l'origine de la dégradation des fibres optiques et verres à base de silice en environnement radiatif*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Saint-Étienne, juin 2010.
- [2] G. ORIGLIO *et al.*, "Optical properties of phosphorus-related point defects in silica fiber preforms", *Phys. Rev. B*, **80**, 205208-1 (2009).
- [3] G. ORIGLIO *et al.*, "Spectroscopic studies of the origin of radiation-induced degradation in phosphorus-doped optical fibers and preforms", *J. Appl. Phys.*, **108**, 123103 (2010).
- [4] S. GIRARD *et al.*, "Feasibility of Radiation Dosimetry with Phosphorus-doped Optical Fibers in the UV-visible range of wavelengths", *J. Non-Crys. Sol.*, **357**, p. 1871-1874 (2011).
- [5] B. CADIER *et al.*, *Fibre optiques dopée terre rare résistante aux radiations et procédé de durcissement aux radiations d'une fibre optique dopée terre rare*, brevet 1055617, dépôt juillet 2010.