



**HAL**  
open science

## Caractérisation de fibres optiques sous irradiation Gamma: influence du thulium, du l'aluminium, du lanthane et du cérium

Gwendal Beauvois, Matthieu Caussanel, Jean-François Lupi, Michèle Ude,  
Stanislaw Trzesien, Bernard Dussardier, Hervé Duval, Stéphane Grieu,  
Wilfried Blanc

### ► To cite this version:

Gwendal Beauvois, Matthieu Caussanel, Jean-François Lupi, Michèle Ude, Stanislaw Trzesien, et al..  
Caractérisation de fibres optiques sous irradiation Gamma: influence du thulium, du l'aluminium, du  
lanthane et du cérium. 37èmes Journées Nationales d'Optique Guidée, Société Française d'Optique et  
XLIM (Université de Limoges), Jul 2017, Limoges, France. hal-01559649

**HAL Id: hal-01559649**

**<https://hal.science/hal-01559649>**

Submitted on 10 Jul 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# CARACTÉRISATION DE FIBRES OPTIQUES SOUS IRRADIATION GAMMA : INFLUENCE DU THULIUM, DE L'ALUMINIUM, DU LANTHANE ET DU CERIUM.

G. Beauvois<sup>1</sup>, M. Caussanel<sup>1</sup>, J.-F. Lupi<sup>2</sup>, M. Ude<sup>2</sup>, S. Trzesien<sup>2</sup>, B. Dussardier<sup>2</sup>, H. Duval<sup>1</sup>, S. Grieu<sup>1</sup>, W. Blanc<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Promes, CNRS, UPR 8521, 66100 Perpignan, France

<sup>2</sup> Université Côte d'Azur, CNRS, INΦNI, UMR 7010, Parc Valrose, 06108 Nice, Cedex 2, France

gwendal.beauvois@promes.cnrs.fr

## RÉSUMÉ

Ces travaux font partie intégrante du projet DROÏD qui vise au développement d'un dosimètre réparti à fibre optique. Il est donc nécessaire de développer une fibre très sensible aux radiations gamma. Pour cela, il est primordial de connaître l'influence des différents dopants sur l'atténuation radio-induite de la fibre (ARI). Ces travaux présentent une étude quantitative des effets du thulium, du lanthane, du cérium et de l'aluminium sur l'ARI.

**MOTS-CLEFS :** *fibre optique ; atténuation radio-induite ; thulium ; lanthane.*

## 1. INTRODUCTION

Les fibres optiques sont de plus en plus utilisées dans les environnements hostiles tels que le nucléaire ou le spatial. Les rayonnements ionisants provenant de ces milieux induisent une augmentation de l'atténuation radio-induite de la fibre (ARI). Pour certaines applications telles que l'amplification optique, cette atténuation peut poser problème. De nombreuses études cherchent donc à renforcer les fibres contre ce phénomène en les dopant par exemple avec de l'hydrogène [1]. Au contraire, dans d'autres applications telle que la dosimétrie à fibre optique [2], l'ARI devient un mesurande. On cherche ainsi à développer des fibres à haute sensibilité. Le projet DROÏD [3] a pour but de développer un dosimètre réparti se basant sur l'ARI mesurée par réflectométrie optique. Un dosimètre de ce type a été conçu au *Fraunhofer Institute* [4] en 2004. Ce dernier se base sur une fibre dopée phosphore qui présente une ARI de  $0.3 \text{ dB Gy}^{-1} \text{ m}^{-1}$ . Les travaux discutés ici ont pour but d'étudier l'effet du cérium, du thulium, de l'aluminium et du lanthane sur l'ARI pour pouvoir fabriquer une fibre hautement sensible aux radiations.

## 2. ÉCHANTILLONS

Les fibres optiques de diamètre extérieur  $125 \mu\text{m}$ , de diamètre de cœur  $8\text{--}10 \mu\text{m}$  ont été étirées de préformes à base de silice préparées par MCVD (*modified chemical vapor deposition*) et dopées par la méthode dite d'imprégnation. Tous les échantillons de cette étude contiennent du thulium (Tm) et de l'aluminium (Al). Certains ont été codopés avec du cérium (Ce) ou du lanthane (La). Aucun autre additif n'a été introduit. La composition de certaines fibres a été mesurée par EPMA (micro analyse par sonde électronique effectuée au Camparis, Paris), qui a servi de référence pour les mesures complémentaires par EDX (spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie effectuée au CRHEA, Valbonne), et par mesure d'atténuation spectrale (Tm). Les compositions détaillées des séries d'échantillons seront rapportées lors de la conférence.

## 3. BANC DE MESURE DE L'ARI

La figure 1 présente le banc expérimental utilisé pour mesurer l'ARI. La lumière blanche d'une source halogène est filtrée par un monochromateur pouvant sélectionner les longueurs d'onde de  $400$  à  $1500 \text{ nm}$  avec une précision d'environ  $1 \text{ nm}$ . Une partie de cette lumière filtrée est dirigée vers une photodiode de référence et l'autre partie est injectée dans la fibre à caractériser et est mesurée par une photodiode dite d'atténuation. L'ARI, définie comme dans l'équation 1 (avec  $L_f$  la longueur de la fibre

en m et  $D_r$  la dose reçue en Gy), est un double rapport de tensions entre les tensions d'atténuation et de référence à l'instant t par rapport à l'instant initial (avant irradiation). Ce rapport nous permet d'obtenir une mesure relative et ne dépend donc pas des différentes fluctuations de puissance lumineuse que l'on peut rencontrer avec une source halogène.

$$ARI = -10 \cdot \log \left( \frac{\left( \frac{PD_{att_t}}{PD_{ref_t}} \right)}{\left( \frac{PD_{att_0}}{PD_{ref_0}} \right)} \right) \cdot \frac{1}{(L_f) \cdot (D_r)} \quad (1)$$

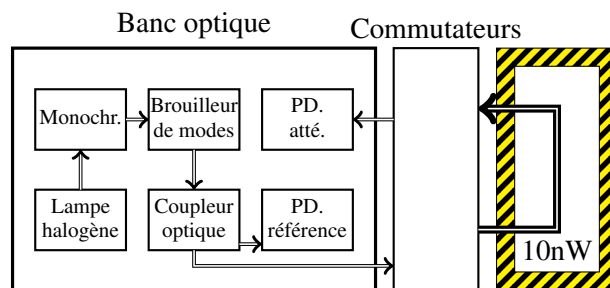


FIGURE 1 : Banc optique de mesure de l'ARI. Les commutateurs optiques permettent de mesurer successivement jusqu'à cinq fibres à la fois. Le coupleur permet d'optimiser la puissance lumineuse dans le bras de mesure (double flèche épaisse). La mesure de l'ARI se fait en transmission.

#### 4. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Les échantillons de fibre de longueur environ 10 m ont été enroulés en bobines décontraintes de 9 cm de diamètre. Elles ont toutes été irradiées par une source gamma au laboratoire de l'ONERA à Toulouse. Les irradiations ont duré 1 h sous un débit de dose de  $10 \text{ Gy h}^{-1}$ . Seules les mesures effectuées à 850 nm sont présentées ici, car c'est la longueur d'onde retenue pour l'utilisation du dosimètre final. Une ligne de référence (sans fibre sous test) permet de prendre en compte l'ARI des différentes lignes optiques optiques. De plus, la puissance lumineuse injectée dans les fibres sous test est inférieure à 10 nW, ce qui permet de négliger le phénomène d'effet de sonde (photo-blanchiment).

#### 5. RÉSULTATS

Les graphiques de la figure 2 rapportent les différentes ARI mesurées pour toutes nos fibres en fonction de leurs différents dopants. Les concentrations des dopants étant différentes dans l'ensemble de nos fibres, cette étude se concentre sur les dopants séparément en négligeant les effets de couplages qui pourraient influencer sur l'ARI.

#### 6. DISCUSSION

Les fibres étudiées ont une très grande sensibilité encore jamais mesurée, jusqu'à  $0.38 \text{ dB Gy}^{-1} \text{ m}^{-1}$  pour la fibre la plus fortement dopées au lanthane. Cette sensibilité est deux cents fois supérieure à celle des fibres commerciales. Les graphiques de la figure 2 représentent les dépendances de l'ARI en fonction de la concentration de chacun des éléments (Ce, La, Tm, Al). Les données montrent une dispersion qui ne permet pas d'attribuer la sensibilité à un seul élément, mais certaines tendances semblent apparaître (même si d'autres paramètres doivent être pris en compte pour une analyse plus fine). Ainsi, le dopage Ce ou La semble augmenter la sensibilité, contrairement au Tm qui ne semble pas influencer sur la sensibilité de la fibre, alors que le photo-noircissement est habituellement important dans ces fibres [5].

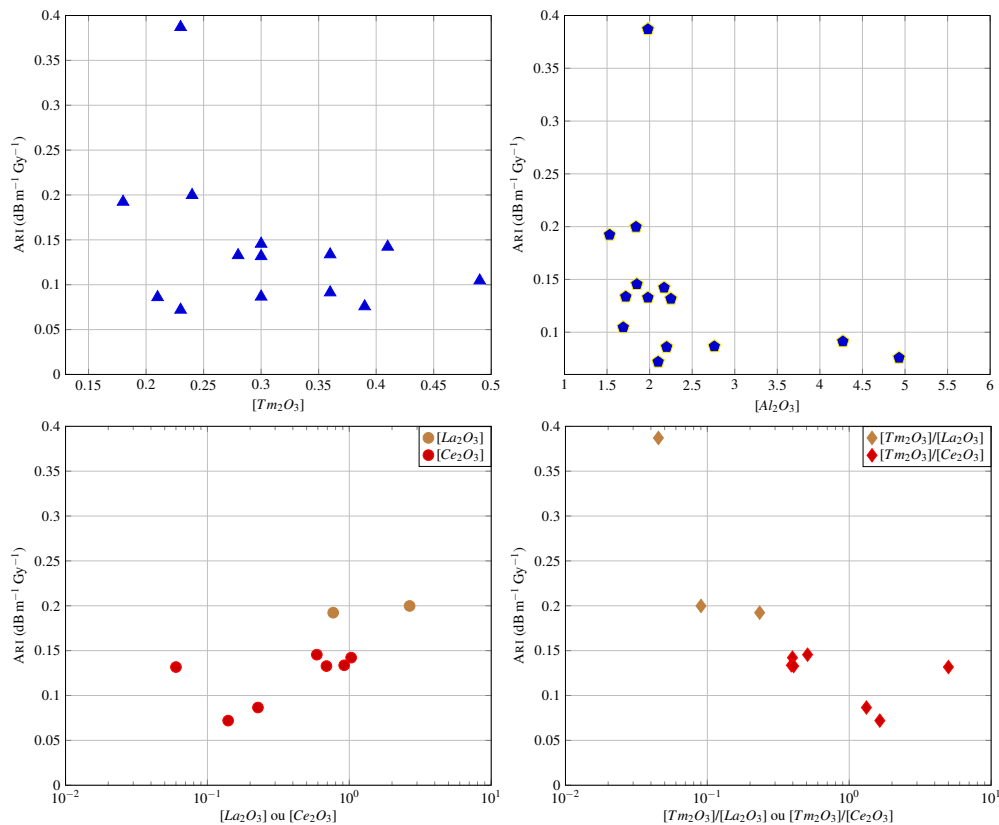


FIGURE 2 : ARI en fonction des différents dopants. Toutes les mesures présentées ont été effectuées à 850 nm. Les concentrations des dopants sont données en % d'oxyde injecté dans la préforme.

## CONCLUSION

Quatorze fibres contenant du La, Ce, Al ou Tm ont été fabriquées par MCVD et caractérisées sous irradiation gamma. Les terres rares « non optiquement actives » (Ce, La) sont les seules à avoir une influence sur la sensibilité des fibres. L'aluminium quant à lui, même s'il ne dégage pas de réelle tendance, semble diminuer l'ARI pour de très fortes concentrations. Certaines pistes, telles que les effets de couplages ou les équilibres des différents niveaux d'ionisation des dopants permettraient de mieux comprendre l'évolution de l'ARI dans les fibres optiques.

## RÉFÉRENCES

- [1] B. Brichard, A. L. Tomashuk, V. A. Bogatyryov, A. F. Fernandez, S. N. Klyamkin, S. Girard, F. Berghmans, « Fibre-optic gamma-flux monitoring in a fission reactor by means of Cerenkov radiation », *Non-Crystalline solids*, vol. 353, nb. 5-7, pp. 466-472 (2007).
- [2] M. Benabdesselam, F. Mady, S. Girard, Y. Mebrouk, J. B. Duchez, M. Gaillardin, P. Paillet, « Performance of Ge-Doped Optical Fiber as a Thermoluminescent Dosimeter », *IEEE transactions on nuclear science*, vol. 60, nb. 6, pp. 4251-4256 (2013).
- [3] G. Beauvois, M. Caussanel, J.-F. Lupi, M. Ude, S. Trzesien, B. Dussardier, H. Duval, S. Grieu, « Presentation and preliminary results of DROÏD project : development of a distributed optical fibre dosimeter », 11<sup>th</sup> International Symposium on SiO<sub>2</sub>, Advanced Dielectrics and Related Devices (2016).
- [4] H. Henschel, M. Körfer, J. Kuhnenn, U. Weinand, F. Wilf, « Fibre optic radiation sensor systems for particle accelerators », *Nuclear instruments and methods in physics research A*, vol. 526, pp. 537-550 (2004).
- [5] J.-F. Lupi, M. Vermillac, W. Blanc, F. Mady, M. Benabdesselam, B. Dussardier, D. Neuville, « Steady photo-darkening of thulium alumino-silicate fibers pumped at 1.07 μm : Quantitative effect of lanthanum, cerium and thulium », *Opt. Lett.* 41, 2771-2774 (2016).