



**HAL**  
open science

## MODELE INHOMOGENE SPECTROSCOPIQUE DE L'EDFA EN REGIME DE GSHB

Romain Peretti, Thomas Fôhn, David Boivin, Ekaterina Burov, Anne-Marie Jurdyc,  
Bernard Jacquier

### ► To cite this version:

Romain Peretti, Thomas Fôhn, David Boivin, Ekaterina Burov, Anne-Marie Jurdyc, et al.. MODELE INHOMOGENE SPECTROSCOPIQUE DE L'EDFA EN REGIME DE GSHB. journées nationales d'optique guidée, Jul 2009, Lille, France. <hal-00793918>

**HAL Id: hal-00793918**

**<https://hal.science/hal-00793918v1>**

Submitted on 25 Feb 2013

**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.



HAL Authorization

# MODELE INHOMOGENE SPECTROSCOPIQUE DE L'EDFA EN REGIME DE GSHB

Romain Peretti<sup>1</sup>, Thomas Föhn<sup>2</sup>, David Boivin<sup>2</sup>, Ekaterina Burov<sup>2</sup>, Anne-Marie Jurdyc<sup>1</sup>,  
Bernard Jacquier<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Université de Lyon, Université Lyon 1, CNRS, UMR 5620, Laboratoire de Physico-Chimie des  
Matériaux Luminescents, F-69622 Villeurbanne Cedex, France

<sup>2</sup> DRAKA Communications, route de Nozay, 91460 Marcoussis

jurdyc@pcml.univ-lyon1.fr

## RESUME

La saturation spectrale de gain est un inconvénient majeur rencontré dans la transmission de signaux multiplexés en longueur d'onde pour les réseaux à fibres optiques. Nous proposons un modèle spectroscopique inhomogène pour rendre compte de cet effet et potentiellement prédire le comportement des EDFA en régime WDM.

**MOTS-CLEFS :** EDFA ; GSHB , inhomogène.

## 1. INTRODUCTION

Depuis l'avènement des systèmes de multiplexage en longueur d'onde (WDM) les fibres dopées erbium représentent la solution de choix pour l'amplification optique du signal. La demande sans cesse croissante en débit ainsi que l'augmentation des volumes de communication se traduit par l'augmentation des densités de puissance présentes dans ces fibres. D'autre part, la possibilité de reconfigurer les réseaux optiques de manière dynamique fait que la charge de chaque canal WDM fluctue en fonction du temps. L'ensemble de ces contraintes exacerbe l'apparition du phénomène de saturation spectrale de gain (GSHB) relançant ainsi les investigations visant à le comprendre et le prédire de manière satisfaisante. Le GSHB se manifeste à forte puissance d'entrée par la déformation locale et progressive du gain jusqu'à former des trous.

Bien que rapportée plusieurs fois dans la littérature [**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**], aucune de ces tentatives ne permet de prédire de manière suffisamment précise la saturation spectrale du gain dans le cas des systèmes WDM standard actuel où on a 80 canaux pour la bande C espacés de 50 GHz ( 0.4 nm). Les modèles d'EDFA [**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**] existant supposent qu'à température ambiante l'émission de l'erbium dans la matrice de verre de silice complexe a un comportement homogène. Hors l'observation du GSHB ainsi que les études menées sur la problématique de largeur homogène et inhomogène de l'erbium dans la silice [**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**] ont montré que les effets de l'inhomogénéité de l'erbium n'étaient pas toujours négligeables même à température ambiante. C'est pourquoi, *Desurvire* [**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**] a proposé un modèle phénoménologique prenant en compte l'inhomogénéité. Avec l'hypothèse d'un nombre restreint de transitions entre niveaux Stark des multiplets de la transition  ${}^4I_{13/2} \leftrightarrow {}^4I_{15/2}$ , il déconvolue les spectres d'émission et d'absorption à l'aide de gaussiennes. Connaissant la largeur inhomogène, il en déduit les largeurs homogènes des sous transitions. Son approche permet l'observation de trou de GSHB mais comporte de nombreuses approximations du point de vue de la spectroscopie. Il faut aussi noter que la déconvolution ne donne pas une solution unique et est très sensible aux choix des paramètres d'ajustement. De plus, dans cette modélisation, la largeur ajustée (à la résonance) est bien supérieure à la valeur expérimentale extrapolée des mesures à basse température [**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**].

Notre approche consiste, à partir des paramètres spectroscopiques, à retrouver le comportement d'un EDFA en fonctionnement. Ce modèle prend en compte toutes les transitions

optiques et traite l'effet d'inhomogénéité pour chaque transition individuellement. Ainsi, couplée avec les équations de propagation [Erreur ! Source du renvoi introuvable.], cette méthode nous donnera la possibilité d'une description plus fine du GSHB dans les systèmes WDM avec une grande densité des canaux.

## 2. DESCRIPTION DU MODELE

Dans un verre, les niveaux électroniques de l'erbium sont élargis par plusieurs mécanismes d'interaction : les processus électroniques individuels (élargissement homogène et éclatement Stark) et l'effet du champ des ligands qui engendrent des distributions énergétiques des niveaux électroniques d'ions erbium (élargissement inhomogène). En effet, le verre étant un milieu désordonné, chaque ion erbium est soumis à un champ électrique sensiblement différent essentiellement dû aux premiers et seconds voisins. Il en résulte des répartitions spectrales élargies par la convolution des largeurs homogènes individuelles avec la distribution énergétique des transitions des sites différents. C'est ce qui est schématisé de manière simple sur le graphe suivant :

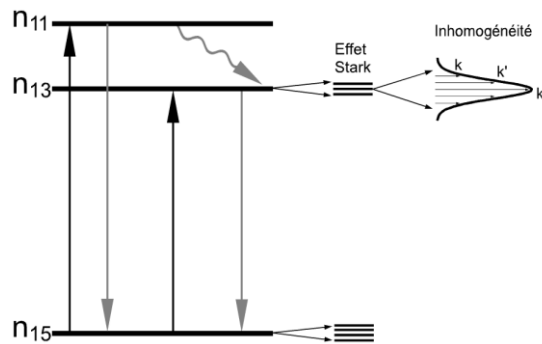


Figure 1 : Schéma des élargissements Stark et inhomogène de l'erbium dans une fibre de verre.

En général, dans la littérature [Erreur ! Source du renvoi introuvable., Erreur ! Source du renvoi introuvable.] les auteurs ont décidé de prendre en compte les élargissements inhomogènes mais de ne pas tenir compte de la variabilité de la population des ions erbium constituant le profil inhomogène. C'est pourquoi ils ne reproduisent pas d'effet tel que le GSHB.

Pour pouvoir rendre compte de l'inhomogénéité de la population d'ions d'erbium, nous avons considéré un modèle à 3 niveaux comprenant  $K$  sites (un site étant constitué d'ions erbium ayant les mêmes caractéristiques spectroscopiques). Lorsque l'on écrit les équations de population, ceci se traduit par l'obtention, non pas d'un seul système d'équations de population représentant tous les ions, mais de  $K$  systèmes linéaires reliant la population,  $n_{i,k}$ , des niveaux d'énergie aux paramètres du système ( $A, B, C, D$ ). Nous avons ainsi  $K$  systèmes d'équations de population prenant la forme suivante :

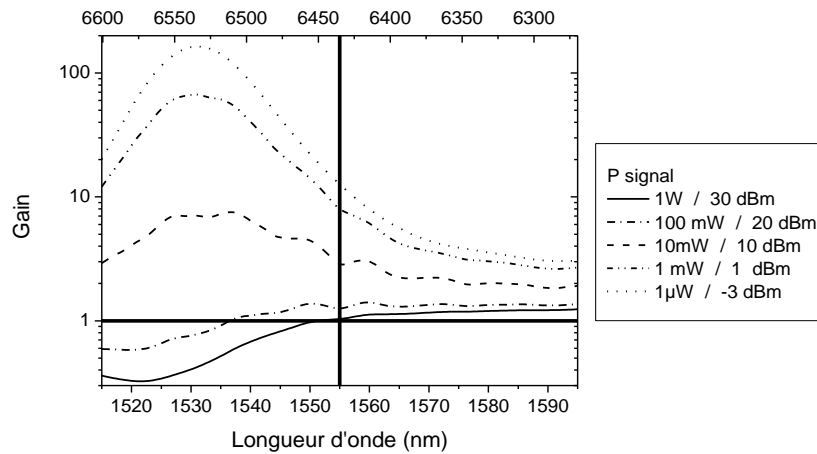
$$\begin{cases} n_{15,k} = A_k \times n_{tot,k} - A_k \times n_{13,k} \\ n_{11,k} = B_k \times n_{tot,k} - B_k \times n_{13,k} \\ 0 = C_k \times n_{tot,k} - D_k \times n_{13,k} \end{cases} \quad (1)$$

Ainsi, en choisissant les paramètres expérimentaux de largeurs homogène et inhomogène, concentration des sites et section efficaces, nous pouvons modéliser la réponse spectrale du matériau étudié en tenant compte des effets inhomogènes.

## 3. COMPORTEMENT DU MODELE A FORT SIGNAL

Pour vérifier si notre modèle reproduisait bien le comportement de la fibre dopée Erbium dans des conditions où cette dernière démontre du GSHB, nous avons exposé notre modèle d'EDFA à un fort signal à 1555nm. Nous avons donc choisi des paramètres expérimentaux issus de la

littérature [Erreur ! Source du renvoi introuvable.] pour les largeurs homogène et inhomogène et les niveaux Stark du multiplet  $^4I_{15/2}$  et des paramètres réalistes, pour l'éclatement Stark du  $^4I_{13/2}$  en s'appuyant sur des résultats expérimentaux. Pour une fibre de 6 m, nous avons injecté 50 mW de pompe à 980 nm et nous avons calculé le gain de cet EDFA pour des signaux à 1555 nm allant de  $1\mu\text{W}$  à 1W. Les résultats sont présentés sur la figure 2.



**Figure 2 Gain d'une fibre de 6 m pour une puissance de pompe de 50mW et un signal de puissance variable à la longueur d'onde de 1555 nm.**

Sur ces spectres de gain, un trou apparait en particulier autour de 1555 nm pour des puissances de 1, 10 et 100mW. Nous avons donc bien réussi à modéliser le comportement d'un EDFA exposé à un fort signal à 1555 nm. La largeur du trou est bien deux fois la largeur homogène pour des faibles puissances de signal, puis augmente avec celle-ci, ce qui est reporté expérimentalement dans la littérature [Erreur ! Source du renvoi introuvable., Erreur ! Source du renvoi introuvable.]. Notons que le gain à 1555 nm pour un signal de 1W est évidemment très faible, sa compression le sera donc aussi. De plus un signal de  $1\mu\text{W}$  est trop faible pour qu'un trou de GSHB soit observable.

### CONCLUSION

Pour la première fois à notre connaissance, un modèle de fibre dopée Erbium, sans ajustement, construit à partir des données spectroscopiques expérimentales rend compte du comportement inhomogène de l'EDFA. Incluant la variabilité de la population des ions erbium dans la fibre dopée, ce modèle nous permet de modéliser le GSHB. Ces résultats préliminaires nécessitent d'être améliorés en introduisant les élargissements dus aux relaxations entre les niveaux Stark d'un même multiplet et surtout de le confronter aux données expérimentales.

### RÉFÉRENCES

- [1] J. W. Sulhoff, A. K. Srivastava, C. Wolf, Y. Sun, and J. L. Zyskind. *Spectral-hole burning in erbium-doped silica and fluoride fibers*. *PHOT. TECH. LET.*, 9(12):1578, december 1997.
- [2] M. Bolshtyansky. *Spectral hole burning in erbium-doped fiber amplifiers*. *J. Light. Tech.*, 21(4):1032, april 2003.
- [3] E. Desurvire. *Erbium-doped fiber amplifiers: Principles and Applications*. Series in Telecommunications and Signal Processing. John Wiley & Sons Inc, 1994.
- [4] C.R. Giles and E. Desurvire. Modeling erbium-doped fiber amplifiers. *J. Light. Tech.*, 9:271–283, 1991.
- [5] J.F. Marcero, H. A. Fevrier, J. Ramos, J. C. Auge, and P. Bousselet. *General theoretical approach describing the complete behavior of the erbium-doped fiber amplifier*. *SPIE (F. L. S. A. II)*, 1990.

- [6] L. Bigot, A.-M. Jurdyc, B. Jacquier, L. Gasca, and D. Bayart. Resonant fluorescence line narrowing measurements in erbium-doped glasses for optical amplifiers. *Phys. Rev. B*, 66(21):214204, December 2002.
- [7] R. Peretti, A.M. Jurdyc, B. Jacquier, E. Burov, and L. Gasca. *Resonant fluorescence line narrowing and gain spectral hole burning in erbium-doped fiber amplifier*. *J. of Lumi.*, 128(5-6):1010–1012, 2008.
- [8] J.L. Zyskind, E. Desurvire, J.W. Sulhoff, and D.J. Di Giovanni. *Determination of homogeneous linewidth by spectral gain hole-burning in an erbium-doped fiber amplifier with GeO<sub>2</sub>:SiO<sub>2</sub> core*. *PHOT. TECH. LET.*, 2(12):869, december 1990.