HAL
open science

# Amplification de 8 modes (groupes de modes LP11 et LP21) avec gain différentiel ajustable

Vipul Rastogi, Ankita Gaur, Pierre Aschieri, Bernard Dussardier

## To cite this version:

Vipul Rastogi, Ankita Gaur, Pierre Aschieri, Bernard Dussardier. Amplification de 8 modes (groupes de modes LP11 et LP21) avec gain différentiel ajustable. 34e Journées Nationales d'Optique Guidée, Oct 2014, Nice, France. . hal-01084860

**HAL Id: hal-01084860**

**https://hal.science/hal-01084860v1**

Submitted on 20 Nov 2014

**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.

# AMPLIFICATION DE 8 MODES (GROUPES DE MODES $LP_{11}$ ET $LP_{21}$) AVEC GAIN DIFFÉRENTIEL AJUSTABLE

**Vipul Rastogi[1], Ankita Gaur[1], Pierre Aschieri[2] et Bernard Dussardier[2]**

[1] *Department of Physics, Indian Institute of Technology, Roorkee, 247 667, India*
[2] *Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université Nice Sophia Antipolis, UMR CNRS 7336, Parc Valrose, 06108 NICE CEDEX, France*

(pierre.aschieri@unice.fr)

**RÉSUMÉ**

Nous proposons une analyse numérique d'une fibre amplifiant les groupes de modes $LP_{11}$ et $LP_{21}$ d'une fibre faiblement multimode avec un gain modal différentiel ajustable. La fibre se compose d'un cœur central et d'un cœur annulaire qui est dopé aux ions $Er^{3+}$. Les modes du cœur central de la fibre amplificatrice sont excités par les modes de la fibre de transport faiblement multimode et sont convertis dans des modes appropriés du cœur annulaire de la fibre amplificatrice. Le couplage entre les modes du cœur central et les modes du cœur périphérique annulaire se fait par l'intermédiaire de réseaux asymétriques à pas long. L'amplification pour les deux groupes de modes se fait sur des longueurs indépendantes ce qui permet d'ajuster le gain différentiel. Les modes annulaires amplifiés sont recouplés dans les modes de cœurs par des réseaux asymétriques à pas longs appairés aux premiers réseaux.

**MOTS-CLEFS :** *télécommunications; amplificateur à fibre; multiplexeurs; optique guidée.*

## 1. INTRODUCTION

La demande croissante de bande passante dans les systèmes de télécommunication optique pousse à envisager d'autres supports que la fibre unimodale pour la transmission de l'information. Dans ce contexte, le multiplexage spatial basé sur des fibres multicoeur ou des fibres faiblement multimodes sont des concepts très attractifs mais qui nécessitent une modification profonde de tous les composants d'une chaîne de transmission et en particulier des amplificateurs EDFA qui doivent fonctionner dans un régime multimode. Le paramètre essentiel de ces amplificateurs multimodes est qu'ils doivent offrir un gain équivalent sur tous les modes pour compenser les pertes modales de propagation différentielles qui apparaissent sur la ligne de transmission. Plusieurs systèmes d'amplification ont été proposés basés sur des configurations différentes d'amplificateurs à fibres multimodes mais le seul paramètre ajustable pour contrôler le gain différentiel reste le schéma de pompage qui doit être finement ajusté [1,2].

Nous proposons un dispositif d'amplification qui amplifie de façon équivalente 8 modes (deux orientations et deux polarisations) des deux groupes de modes $LP_{11}$ et $LP_{21}$ d'une fibre faiblement multimode avec plus de 20 dB de gain pour chaque groupe. La fibre amplificatrice se compose de deux cœurs concentriques. La structure guidante permet un couplage optimisé avec les modes de la fibre de transport faiblement multimode. Le cœur annulaire concentrique est dopé aux ions $Er^{3+}$. Les modes $LP_{11}$ et $LP_{21}$ de la fibre de transport faiblement multimode sont injectés dans le cœur central de la fibre amplificatrice et convertis dans des modes orthogonaux du cœur annulaire par l'intermédiaire d'une paire de réseaux asymétriques à pas long indépendants l'un de l'autre. Après une longueur d'amplification optimisée pour chaque groupe de mode, ceux-ci sont recouplés

sur les modes du cœur central par deux réseaux indépendants, appairés aux convertisseurs d'entrée. L'indépendance des deux réseaux permet d'optimiser la longueur d'amplification pour les deux groupes de modes et obtenir un gain modal différentiel nul sur tous les modes.

## 2. Description du dispositif d'amplification

La fibre amplificatrice double cœur est formée d'un cœur central $r < a$ avec une différence d'indice $\Delta n_1$ et d'un cœur annulaire $b < r < c$ avec une différence d'indice $\Delta n_2$ par rapport à l'indice de la gaine optique. La section transverse et le profil d'indice sont donnés sur la figure 1(a). L'anneau est dopé avec des ions $Er^{3+}$ et fonctionne comme un cœur amplificateur. Un schéma du procédé d'amplification et les profils d'intensité sont donnés par la figure1(b) et correspondent aux paramètres de fibre suivants : $\Delta n_1 = 0{,}018$, $\Delta n_2 = 0{,}02$, $a = 4{,}5\ \mu m$, $b = 6\ \mu m$ et $c = 9\ \mu m$ pour la longueur d'onde *1530 nm*. Les paramètres de la fibres ont été choisis de façon à ce qu'il n'y ait pas de résonance entre les modes de cœur et les modes du guide annulaire et qu'il y ait suffisamment d'espacement en terme d'indice effectif ($> 5\times10^{-4}$) entre les modes pour qu'il n'y ait pas de couplage par micro courbures.

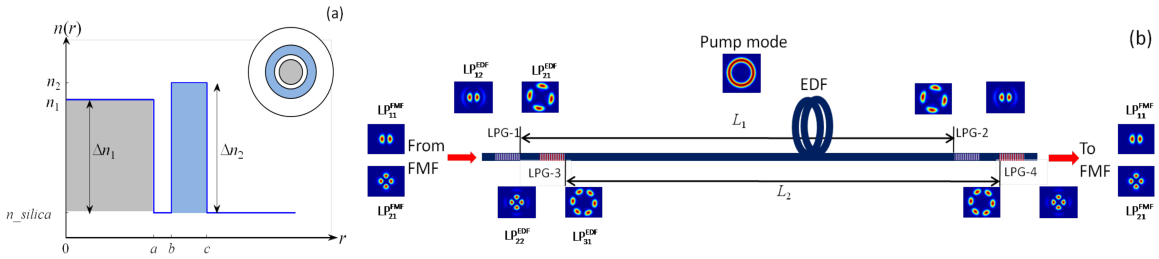


Fig.1. (a) Section transverse de la fibre et profil d'indice de la fibre amplificatrice, la zone dopée est colorée en bleu, (b) représentation schématique du couplage et de l'amplification modale.

Les modes des groupes $LP_{11}$ et $LP_{22}$ de la fibre faiblement multimode (FMF) sont convertis respectivement vers les modes $LP_{21}$ et $LP_{31}$ de la fibre amplificatrice (MMEDF) grâce à deux réseaux asymétriques d'indices à pas longs. Ces modes annulaires sont convertis à nouveau, après amplification, vers les modes de cœurs par l'intermédiaire deux réseaux asymétriques d'indices à pas longs. Le fait que les réseaux soient asymétriques permet un couplage entre des modes de symétrie différente ce qui n'est pas possible avec un réseau symétrique classique [3]. Le mode $LP_{02}$ est choisi comme mode de pompe. Les paramètres de la fibre ont été choisis pour que les recouvrements entre les modes $LP_{02}$ et $LP_{21}$ et entre les modes $LP_{02}$ et $LP_{31}$ soient identiques, ce qui aide à la réalisation d'un faible gain différentiel. Néanmoins, le gain de chaque groupe de mode est ajustable grâce à la longueur de l'amplificateur qui est indépendante pour chaque groupe de mode.

## 3. Modélisation du gain

La puissance transportée par les deux groupes de modes de la fibre faiblement multimode $LP_{11}$ et $LP_{21}$ pour chaque orientation et chaque polarisation est fixée à 30 µW. Ces modes excitent les modes de cœurs de la fibre amplificatrice avec des pertes de couplage qui sont respectivement de 1,*02 dB* et de *1,43 dB* pour le couplage entre les modes $LP_{11}$ et $LP_{12}$ et les modes $LP_{21}$ et $LP_{22}$. Les pertes de conversion entre les modes $LP_{12}$ et $LP_{21}$ dues aux réseaux asymétriques à pas long sont de *1,25 dB* et pour la conversion entre les modes $LP_{22}$ et $LP_{31}$ les pertes sont de *0,65 dB*. Le maximum du champ des modes $LP_{21}$ et $LP_{31}$ est principalement confiné dans le cœur annulaire où réside le dopage $Er^{3+}$. Le modèle d'amplification est inspiré par la référence [1] et pour les valeurs

numériques la concentration d'$Er^{3+}$ est de $N_0=1\times10^{-24}m^{-3}$, les sections efficaces d'émission et d'absorption à la longueur d'onde signal *1530 nm* sont $5,71\times10^{-25}m^2$ et $5,64\times10^{-25}\ m^2$ respectivement et la section efficace d'absorption de la pompe est $2,86\times10^{-25}m^2$. On a choisi le mode $LP_{02}$ pour le mode de pompe à *980 nm* pour assurer une absorption efficace de la pompe. Pour le calcul du gain sont prises en compte des pertes de couplage associées aux conversions modales représentées par la figure 1(b).

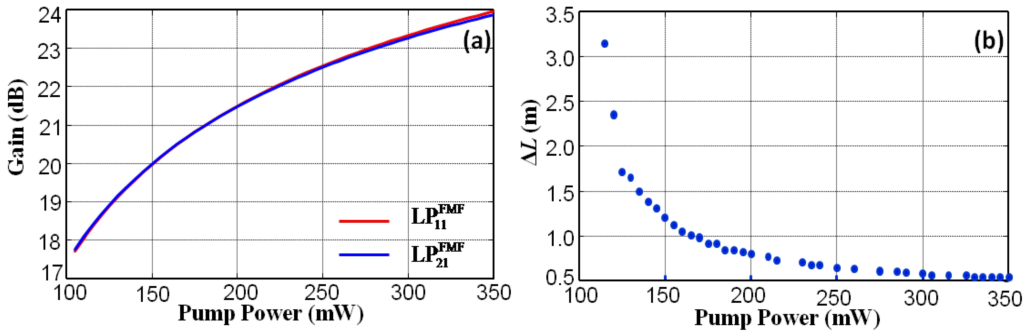


Fig.3. (a) Variation du gain avec la puissance de la pompe pour $L_1$ = *17,8 m* (groupe de mode $LP_{11}$) et $L_2$ = *16,6 m* (groupe de mode $LP_{21}$). Le gain et la DMG sont respectivement de *20 dB* et *0 dB* à *150 mW*. (b) Différence des longueurs d'amplification ($\Delta L$) en fonction de la puissance de la pompe pour obtenir une DMG nulle et *20 dB* de gain.

La figure 3(a) qui représente le gain pour les deux groupes de modes en fonction de la puissance de pompe, montre que le choix de $L_1$ = *17,8 m* (groupe de mode $LP_{11}$) et $L_2$ = *16,6 m* (groupe de mode $LP_{21}$) permet d'obtenir un gain identique pour les deux groupes de modes pour une pompe de *150 mW*. Si la puissance de pompe est augmentée, une légère différence de gain apparaît qui peut être compensée par la différence $\Delta L$ de longueur d'amplification pour les deux groupe de modes comme le montre la figure 3(b). Pour des raisons pratiques et pour réduire au minimum la complexité du dispositif, il est préférable d'avoir la plus petite différence de longueur $\Delta L$ possible entre $L_1$ et $L_2$.

## Conclusion

Nous avons proposé un nouveau dispositif d'amplification des groupes de modes $LP_{11}$ et $LP_{21}$ d'une fibre faiblement multimode pour les systèmes optiques de télécommunication basés sur le multiplexage modal. Les simulations numériques ont montré qu'une fibre double cœur associée à des réseaux asymétriques à pas longs permet d'obtenir un gain modal différentiel nul grâce à des longueurs indépendantes des amplificateurs pour les deux groupes de modes.

## Références


[1] N. Bai, E. Ip, Y. K. Huang, E. Mateo, F. Yaman, M. J. Li, S. Bickham, S. Ten, J. Liñares, C. Montero, V. Moreno, X. Prieto, V. Tse, K. M. Chung, A. P. T. Lau, H. Y. Tam, C. Lu, Y. Luo, G. D. Peng, G. Li, T. Wang, "Mode-division multiplexed transmission with inline few-mode fiber amplifier," Opt. Express **20**, 2668-2680 (2012).

[2] G. Le Cocq, Y. Quiquempois, A. Le Rouge, G. Bouwmans, H. El Hamzaoui, K. Delplace, M. Bouazaoui, et L. Bigot, "Few mode Er3+-doped fiber with micro-structured core for mode division multiplexing in the C-band," Optics Express 21, 31646 (2013).

[3] R. Slavik, "Coupling to circularly asymmetric modes via long-period gratings made in standard straight fiber," Opt. Commun. **275**, 90-93 (2007).