



HAL
open science

Etude numérique des performances d'un régénérateur 2R à fibre

Christophe Finot, Lionel Provost

► **To cite this version:**

Christophe Finot, Lionel Provost. Etude numérique des performances d'un régénérateur 2R à fibre. 26èmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Jul 2007, Grenoble, France. hal-00469968

HAL Id: hal-00469968

<https://hal.science/hal-00469968v1>

Submitted on 3 Apr 2010

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.

Étude numérique des performances d'un régénérateur 2R à fibre

Christophe FINOT

Institut Carnot de Bourgogne, UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, 9 Av. A. Savary, BP 47 870, 21078 DIJON Cedex, FRANCE
christophe.finot@u-bourgogne.fr

Lionel PROVOST

Optoelectronics Research Centre, University of Southampton, SOUTHAMPTON SO17 1BJ, UNITED-KINGDOM

Abrégé : Nous étudions l'impact de la gigue initiale d'amplitude sur les performances d'un régénérateur 2R basé sur l'auto-modulation de phase dans une fibre optique. Les paramètres optimaux de fonctionnement du dispositif dépendent significativement de cette gigue initiale. Nous nous intéressons également au rendement énergétique du dispositif et montrons de quelle manière l'utilisation de l'amplification Raman permet de l'accroître.

1. Introduction

La technique dite de « Mamyshev » basée sur l'élargissement spectral d'un train d'impulsions suivi d'un filtrage décalé en fréquence [1] est l'une des techniques les plus prometteuses pour la régénération 2R tout-optique de signaux à haut-débit. Elle assure l'élimination des impulsions parasites, tout en réduisant la gigue d'amplitude du signal. Des règles générales de conception ont été récemment proposées [2] et validées expérimentalement [3], permettant ainsi de choisir simplement les puissances initiales et les longueurs de fibre optimales. Malheureusement, en pratique, il n'est pas toujours possible de disposer d'une liberté sur tous les paramètres et la longueur de fibre par exemple peut être fixée. Nous étudions ici numériquement, pour une configuration donnée, l'impact de la gigue initiale d'amplitude. Nous montrons notamment que les conditions habituellement retenues ne conduisent pas systématiquement aux résultats optimaux en termes de réduction de gigue sur les 1. Nous nous intéressons également dans une seconde partie au rendement du dispositif et nous montrons dans quelle mesure l'utilisation de l'amplification Raman améliore significativement le rendement.

2. Principe et paramètres du dispositif

Le dispositif que nous considérons numériquement ainsi que ses paramètres sont représentés Fig. 1a. Le signal initial composé d'impulsions gaussiennes à un débit de 80 GHz et à duty-cycle de 1/4 est affecté par une gigue initiale d'amplitude $\pm \Delta \varepsilon$. La remise en forme du signal est assurée par l'élargissement spectral dans une fibre HNLF suivi d'un filtrage spectral par un filtre gaussien de même largeur F_0 que le signal initial et décalé d'une quantité ΔF par rapport à la fréquence centrale.

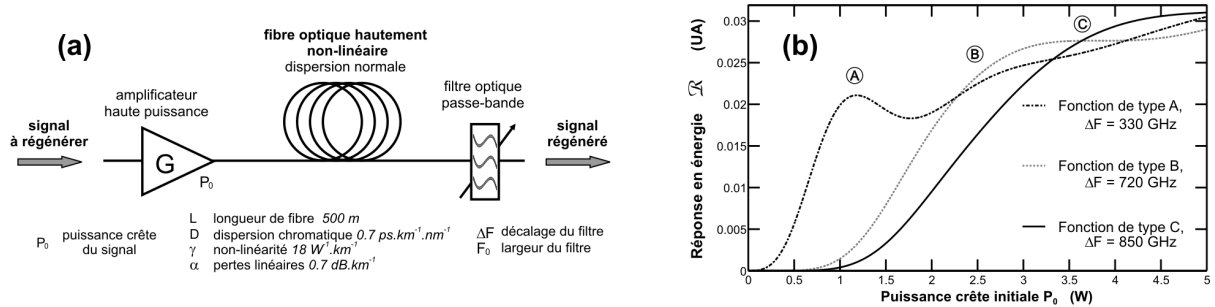


Figure 1. (a) Dispositif modélisé. (b) Réponses en énergie \mathcal{R} du dispositif régénérateur pour différents décalages spectraux ΔF (330 GHz, 720 GHz et 850 GHz) conduisant à différents régimes de fonctionnement (respectivement A, B et C).

Nous constatons Fig. 1b que suivant le décalage spectral ΔF utilisé, la réponse en énergie \mathcal{R} varie en forme : des réponses présentant des oscillations (type A), présentant un large plateau avec un point d'inflexion (type B) ou encore présentant une évolution croissante monotone (type C) sont ainsi possibles. Nous nous concentrons ici sur l'amélioration de la gigue d'amplitude g sur les 1 régénérés.

La réponse \mathcal{R} correspondant initialement à une puissance de fonctionnement P_0 peut être approximée au premier ordre par $\mathcal{R}_1 = \mathcal{R}_0 + \mathcal{R}'_0 \varepsilon$ avec $\mathcal{R}_0 = \mathcal{R}(P_0)$ et \mathcal{R}'_0 dérivée première de \mathcal{R} en P_0 . La gigue g_1 peut alors être approximée par $|\mathcal{R}_1(\Delta \varepsilon) - \mathcal{R}_1(-\Delta \varepsilon)| / P_0 = 2 \Delta \varepsilon |\mathcal{R}'_0| / P_0$. Cette gigue est donc minimale pour \mathcal{R}'_0 nul.

C'est cette condition ne dépendant pas de l'amplitude de la gigue initiale qui est habituellement considérée pour définir théoriquement le point optimal [2]. Nous pouvons voir Fig. 2a les points (*courbes blanches*) remplissant une telle condition. A décalage spectral fixé, pour un régime de fonctionnement A, deux points répondent à cette condition alors que pour le régime B seul un point d'inflexion convient. Il a été précédemment montré que pour une gigue initiale modérée ($\pm 7.5\%$), le point B était le point de fonctionnement optimal [2]. Nous montrons maintenant que pour une gigue initiale plus importante, le point optimal n'est plus forcément ce point.

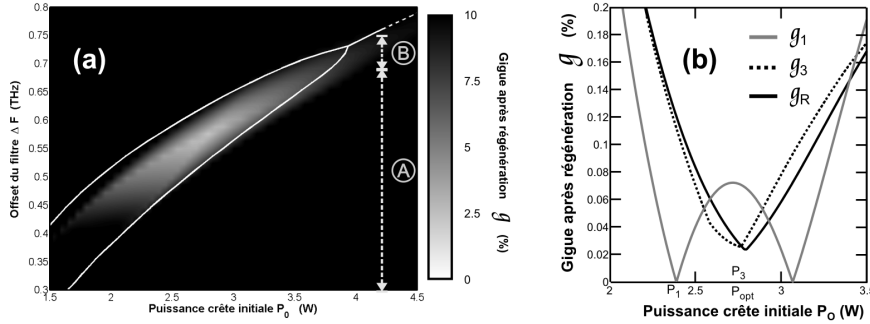


Figure 2.

(a) Évolution de la gigue réelle g_R en fonction de la puissance initiale et du décalage du filtre pour une gigue initiale de 20 %. Les points vérifiant $\mathcal{R}'_0=0$ sont représentés par la courbe blanche.

(b) Évolution de la gigue évaluée par différentes méthodes g_R , g_1 et g_3 pour une gigue initiale de 20 % et un décalage de 0.55 THz

Quand nous considérons une gigue initiale plus importante, un développement limité au premier ordre n'est plus satisfaisant et il devient nécessaire de considérer un développement supérieur, notamment à l'ordre 3 :

$$\mathcal{R}_3 = \mathcal{R}_0 + \mathcal{R}'_0 \varepsilon + \mathcal{R}''_0 \varepsilon^2/2 + \mathcal{R}'''_0 \varepsilon^3/6 \quad \text{avec } \mathcal{R}''_0 \text{ et } \mathcal{R}'''_0 \text{ les dérivées seconde et troisième en } P_0.$$

La gigue g_3 en P_0 est alors évaluée par $g_3 = \max(|\mathcal{R}_3(\varepsilon_1) - \mathcal{R}_3(\varepsilon_2)|) / P_0$ avec ε_1 et ε_2 variant sur l'intervalle $[P_0 - \Delta\varepsilon, P_0 + \Delta\varepsilon]$. Ces résultats pourront être comparés à un calcul g_R prenant en compte la réponse exacte du régénérateur. La Fig. 2a représente, pour une gigue initiale $\Delta\varepsilon$ de 20 %, l'évolution de g_R en fonction de la puissance initiale et du décalage du filtre. Les points optimaux prédits par l'évaluation de g_1 sont également indiqués. Les deux approches mènent clairement dans ces conditions à des résultats différents, notamment au niveau des puissances de fonctionnement optimales. Ainsi, Fig. 2b, nous constatons que la condition sur g_1 conduit à sous-estimer la gigue après régénération ainsi que la puissance de fonctionnement. Les approches basées sur g_3 et g_R sont par contre en bon accord.

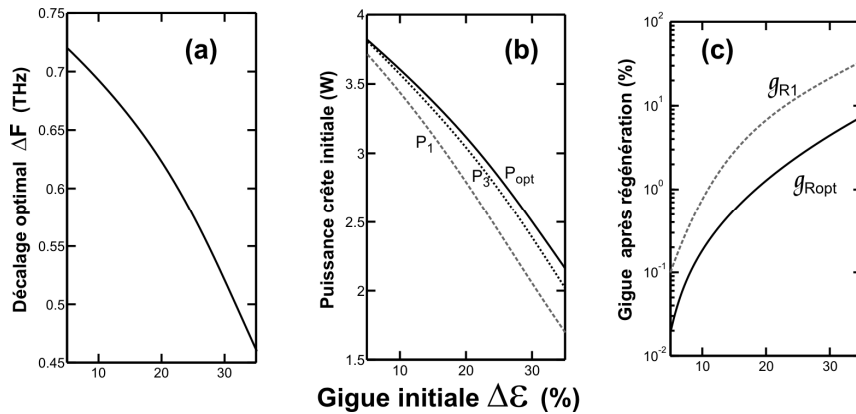


Figure 3.

Influence de la gigue initiale sur les points de fonctionnement et sur les performances du système.

(a) Évolution du décalage spectral optimal du filtre.

(b) Évolution des puissances optimales à partir de différentes approches.

(c) Évolution de la gigue après régénération pour un fonctionnement à une puissance P_1 et P_{opt}

Nous mesurons Fig. 3 l'écart entre les différentes approches en fonction de la gigue initiale $\Delta\varepsilon$. Lorsque la gigue initiale augmente, la fréquence optimale de filtrage ΔF diminue, de même que la puissance optimale P_{opt} déterminée comme étant la puissance minimisant g_R . Nous constatons également que la différence entre les puissances P_{opt} et P_1 (obtenue par l'approche basée sur g_1) augmente alors que l'écart P_{opt} et P_3 reste acceptable. La gigue réelle g_{R1} si le système fonctionnait à une puissance initiale P_1 est nettement supérieure à la gigue g_{Ropt} obtenue dans des conditions optimisées, avec une différence allant jusqu'à 6 dB.

Pour mieux expliquer cette influence de la gigue initiale, nous avons représenté les réponses \mathcal{R} obtenues aux décalages optimaux pour des gigues initiales $\Delta\varepsilon = 5, 15$ et 25% . Plus la gigue initiale est importante, plus nous nous écartons d'un régime B pour nous rapprocher d'un régime A. La Fig. 4b illustre comment l'utilisation d'une puissance optimale P_{opt} permet de réduire très significativement la gigue par rapport à un point de fonctionnement P_1 .

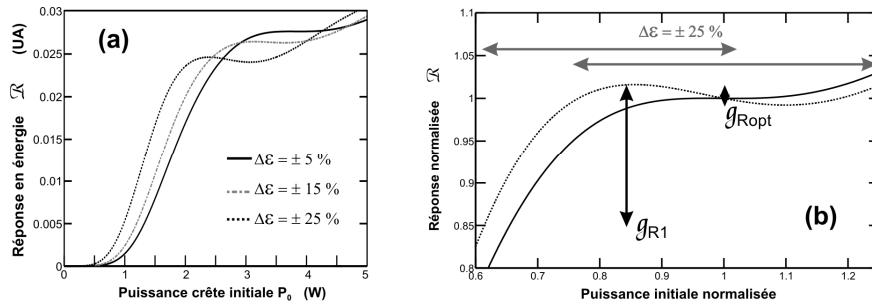


Figure 4. Influence de la gigue initiale sur la forme de la fonction de transfert optimale.

(a) Fonctions de transfert.

(b) Comparaison des fonctions de transfert normalisées et des giges obtenues à différents points de fonctionnement.

3. Amélioration du rendement du régénérateur

Nous nous intéressons maintenant aux puissances moyennes initiales P_{min} nécessaires pour obtenir un fonctionnement optimal, ainsi qu'aux puissances moyennes P_{mout} obtenues en sortie du régénérateur. Nous nous limitons ici à une gigue initiale de 7.5 %. Dans le cas d'une fibre hautement non linéaire passive, nous avons représenté les résultats Fig. 5a et 5b par des losanges.

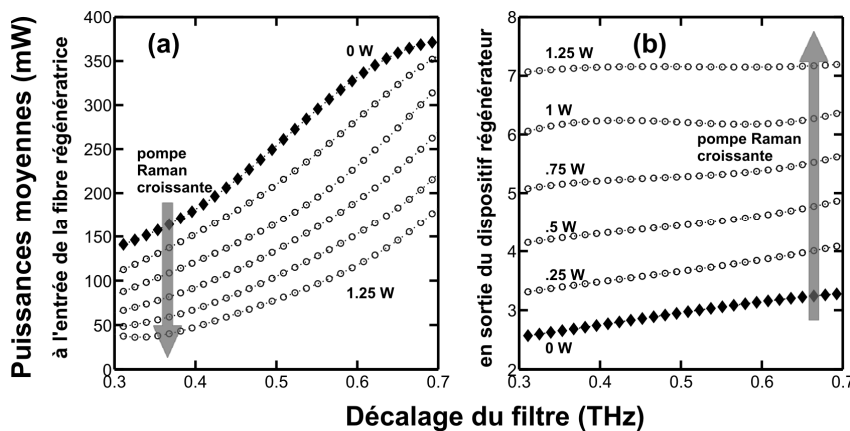


Figure 5. Évolution des puissances moyennes en fonction du décalage spectral du filtre et de la puissance de pompe Raman (en l'absence de pompe, losange).

(a) Évolution de la puissance moyenne en entrée du dispositif pour obtenir une régénération optimale.

(b) Évolution de la puissance moyenne en sortie du dispositif régénérateur.

Nous évaluons également l'impact d'une amplification Raman dans la fibre [4], avec un pompage contra-propagatif pour s'affranchir des effets de séquences. Les résultats obtenus pour différentes puissances de pompe (de 0.25 à 1.25 W) montrent clairement que la puissance nécessaire à l'entrée du régénérateur est diminuée par l'utilisation de l'amplification Raman. Cela permettra notamment de s'affranchir de la nécessité d'utiliser un amplificateur de haute puissance à l'entrée de la fibre. Nous constatons également une autre amélioration au niveau des puissances que nous pouvons atteindre en sortie du régénérateur. Il en résulte une amélioration très nette du rendement apparent P_{mout}/P_{min} du dispositif en présence d'amplification Raman.

4. Conclusion

Nous avons étudié l'impact de la gigue initiale $\Delta\epsilon$ sur les performances d'un régénérateur optique. Pour des giges initiales importantes, le point optimal de fonctionnement n'est plus donné par l'extremum local de la réponse du régénérateur. Nous avons également quantifié les rendements obtenus pour un dispositif passif et nous avons souligné de quelle manière l'utilisation de l'amplification Raman améliore le rendement du régénérateur. Notre étude s'est principalement focalisée sur la gigue d'amplitude, mais nous présenterons également dans quelle mesure le taux d'extinction après régénération est affecté par les choix du point de fonctionnement ou par l'utilisation de l'amplification Raman.

Nous remercions S. Pitois, H. Kazunori, P. Petropoulos et D.J. Richardson pour des discussions fructueuses.

Références

- [1] P.V. Mamyshev. in *European Conference on Optical Communication, ECOC'98*. 1998.
- [2] L. Provost, et al., *Opt. Express*, 2007, vol 15, p. 5100-5113.
- [3] L. Provost, et al. in *Optical Fiber Conference, OFC 2007*, paper OThB6 2007.
- [4] C. Finot, et al., *Opt. Lett.*, 2005, vol 30, p. 1776-1778.