

REGLES DE CONCEPTION POUR LES REGENERATEURS OPTIQUES 2-R EXPLOITANT L'AUTO-MODULATION DE PHASE

Lionel PROVOST, Christophe FINOT, Periklis PETROPOULOS et David RICHARDSON

Optoelectronics Research Centre, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, Royaume-Uni

lap@orc.soton.ac.uk

RÉSUMÉ

Nous présentons des règles de conception générales concernant l'optimisation de régénérateurs 2R exploitant l'auto-modulation de phase. Nous étudions les performances des dispositifs optimisés en termes d'amélioration du taux d'extinction et de réduction de la gigue d'amplitude.

1. INTRODUCTION

La régénération tout optique 2R s'affirme comme l'une des clefs pour l'élaboration de la future génération de réseaux de télécommunications optiques. Parmi les solutions techniques disponibles, l'approche basée sur l'auto-modulation de phase (AMP) associée à un filtrage spectral décalé apparaît particulièrement attractive en raison de sa mise en œuvre aisée pour des signaux RZ [1]. Un élément crucial dans la conception des dispositifs se situe alors au niveau du choix de la fibre optique. Plusieurs types de fibres ont ainsi été testés pour cette application : fibre à zéro de dispersion décalé [1], fibre hautement non-linéaire [2], fibre de silice microstructurée [3, 4], fibre bismuth [5] ou bien chalcogénure [4, 6]. Les caractéristiques de ces différentes fibres sont extrêmement variées avec des dispersions chromatiques comprises entre -0.7 et -300 ps/km/nm pour des coefficients non-linéaires variant de 5 à 1000 W⁻¹.km⁻¹. Il en résulte des longueurs de fibre utilisées entre 2 m et 15 km, paramètre qui dépend également du débit du signal à régénérer.

A ce jour, seuls quelques travaux [7] ont proposé des pistes pour la définition des paramètres optimaux de la fibre, les choix se basant généralement avant tout sur une analyse numérique intensive [4]. Dans ce papier, nous présentons des lois simples de dimensionnement dans le régime de dispersion normale, valides quel que soit le débit considéré. Nous dressons un lien direct entre le choix des paramètres physiques du dispositif et les performances réalisables.

2. PRINCIPE ET PARAMÈTRES DU DISPOSITIF

Le dispositif que nous considérons théoriquement est représenté Fig. 1. Le signal initial affecté par une certaine gigue d'amplitude et par un taux d'extinction fini est amplifié avant injection dans une fibre optique à dispersion normale. La remise en forme du signal est assurée en filtrant spectralement le spectre élargi par auto-modulation de phase grâce à un filtre décalé d'une quantité ΔF par rapport à la fréquence centrale [1].

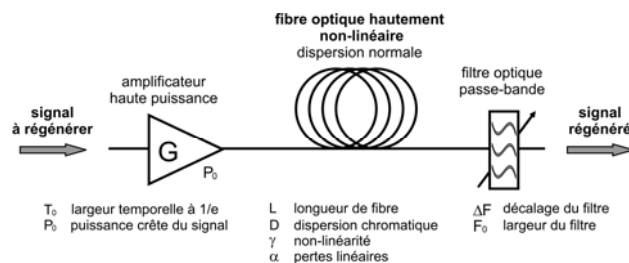


Figure 1. Dispositif théorique de la régénération par élargissement spectral induit par AMP suivi d'un filtrage spectral décalé.

Grâce à la dépendance entre l'élargissement spectral et la puissance crête initiale de l'impulsion, la position du filtre assure une discrimination entre le niveau des 'zéros' et des 'uns' optiques, résultant en une amélioration du taux d'extinction du signal de sortie et une compression de la gigue d'amplitude sur les 'uns'.

Les différents paramètres du régénérateur sont indiqués Fig 1. Nous considérons dans ce travail une impulsion initiale de forme gaussienne. L'emploi d'une autre forme (*sech*²) pourra modifier

quantitativement les résultats mais nos conclusions qualitatives n'en seront pas affectées. De même, nous négligeons ici, pour des raisons de clarté, les effets dispersifs d'ordres supérieurs ainsi que les pertes optiques α . Nous avons pu vérifier que ces approximations n'influençaient pas qualitativement les tendances présentées ici. Nous employons un filtre de sortie de forme gaussienne, avec une largeur à $1/e$ F_0 égale à celle des impulsions initiales.

Les performances générales d'un régénérateur 2R peuvent être quantifiées au moyen de sa fonction de transfert (FT) en puissance (*puissance de sortie en fonction de la puissance initiale*). En fonction du choix de paramètres, nous distinguons trois comportements possibles, représentés Fig. 2a. Nous pouvons ainsi obtenir : /A/ une évolution non monotone, /B/ une réponse localement plate, /C/ une réponse monotone avec la puissance initiale. La configuration /B/ se montre la plus intéressante car facilitant la réduction de la gigue d'amplitude des 'uns'. Deux autres contraintes doivent être cependant assurées : à savoir une extinction suffisante des zéros et une efficacité énergétique raisonnable (*rapport des énergies des impulsions en sortie et en entrée du dispositif*).

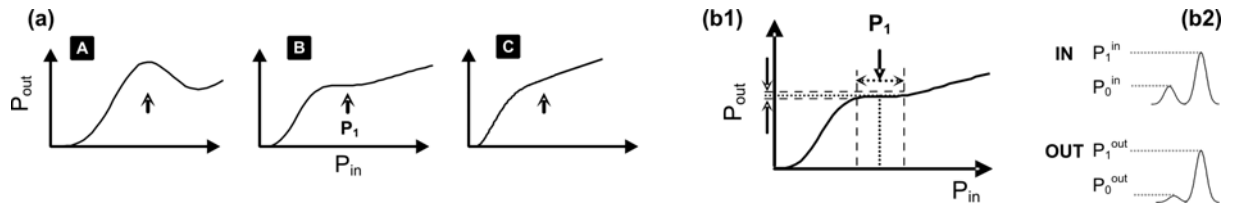


Figure 2. (a) Allures des fonctions de transfert pour différents comportements possibles pour un régénérateur. Les points de fonctionnement optimaux en terme de puissance initiale P_1^{in} sont indiqués par une flèche (b) Paramètres considérés pour la fonction de transfert en puissance (gauche).

3. OPTIMISATION DES PARAMÈTRES DU RÉGÉNÉRATEUR

Nous présentons les résultats de simulations qui nous permettent de prévoir directement les performances d'un système régénérateur en fonction de ses caractéristiques physiques. Nos calculs montrent que les paramètres clefs de la FT peuvent être reliés à ses propriétés physiques par les quantités normalisées suivantes : le nombre soliton $N = (L_D/L_{NL})^{1/2}$, le rapport L/L_D et la position normalisée du filtre $\Delta F/F_0$ (ici $L_D = 2\pi c T_0^2 / [\lambda^2 |D|]$ et $L_{NL} = 1/\gamma P_1^{in}$ sont respectivement les longueurs dispersive et non-linéaire [8]). Ces relations sont reportées sur le graphique multidimensionnel Fig.3. Nous pouvons également définir le paramètre ρ comme étant la variation relative de puissance en sortie du régénérateur pour des puissances initiales variant sur un intervalle de $\pm 7.5\%$ autour de P_1^{in} et ER^{out} comme le taux d'extinction entre les uns et les zéros quand le taux d'extinction initial est $ER^{in} = 0.1$. Ces paramètres sont représentés schématiquement Fig. 2b.

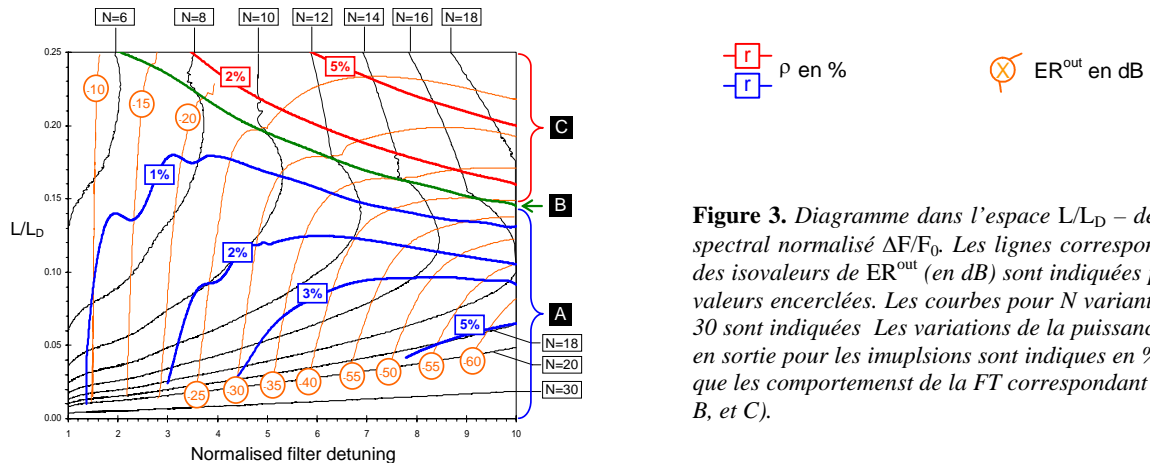


Figure 3. Diagramme dans l'espace L/L_D – décalage spectral normalisé $\Delta F/F_0$. Les lignes correspondant à des isovaleurs de ER^{out} (en dB) sont indiquées par des valeurs encerclées. Les courbes pour N variant de 6 à 30 sont indiquées. Les variations de la puissance crête en sortie pour les impulsions sont indiquées en %, ainsi que les comportements de la FT correspondant (cas A, B, et C).

Notre objectif est de concevoir un dispositif de type B. D'après la Fig. 3, cela entraîne une relation entre la distance normalisée L/L_D et le décalage spectral normalisé du filtre. En choisissant un taux d'extinction en sortie du dispositif, nous fixons alors N et un seul couple $(L/L_D, \Delta F/F_0)$. Par

conséquent, la puissance en entrée du dispositif est maintenant fixée. A titre d'exemple, si nous choisissons un taux d'extinction ER^{out} de 30 dB pour un fonctionnement de type B, il sera nécessaire d'utiliser une distance $L \sim 0.18 L_D$ et $\Delta F \sim 6.3 F_0$. P_1^{in} doit alors être tel que $N \sim 12$.

Il est intéressant de souligner quelques points. Tout d'abord, une fonction de transfert de type B peut être réalisée pour différentes valeurs de N . Nous avons alors constaté que les longueurs de fibre L qui vérifiaient ce régime se dimensionnaient suivant $L_D.(N_0/N)^{1/2}$, où $N_0=0.382$ (avec une erreur de $\pm 4\%$ pour $N=5.5$ jusqu'à 23). Nous vérifions également que le décalage du filtre montre une dépendance linéaire avec N . La sensibilité de ρ (et du type de FT) à la longueur de fibre est accentuée lorsque L_D est grand (c'est-à-dire pour des impulsions longues ou bien des dispersions faibles).

4. PERFORMANCES DU DISPOSITIF RÉGÉNÉRATEUR

Au final, nous avons étudié les lois d'échelle relatives à l'efficacité énergétique du dispositif. De par sa nature, le régénérateur AMP est connu pour ne permettre qu'un faible rendement énergétique, d'autant plus faible que le décalage spectral ΔF est important. Il est alors clair qu'un compromis entre le taux d'extinction et l'énergie doit être proposé. En supposant que le système opère dans une configuration B, le rendement énergétique peut alors être exprimé comme étant fonction de N , comme on peut le voir sur la Fig. 4a.

Nous avons également quantifié la qualité de l'impulsion régénérée en mesurant son produit durée temporelle - largeur fréquentielle (TBP). Nous constatons Fig 4b que les impulsions gaussiennes régénérées, avec un TBP proche de la valeur idéale (0.44) sont quasiment en limite de Fourier. L'obtention de valeurs indépendantes de N est alors favorisée par un choix de paramètres tel que $N > 10$. Nous avons de plus constaté que cette condition permettait une plus grande diminution de la gigue temporelle des impulsions régénérées.

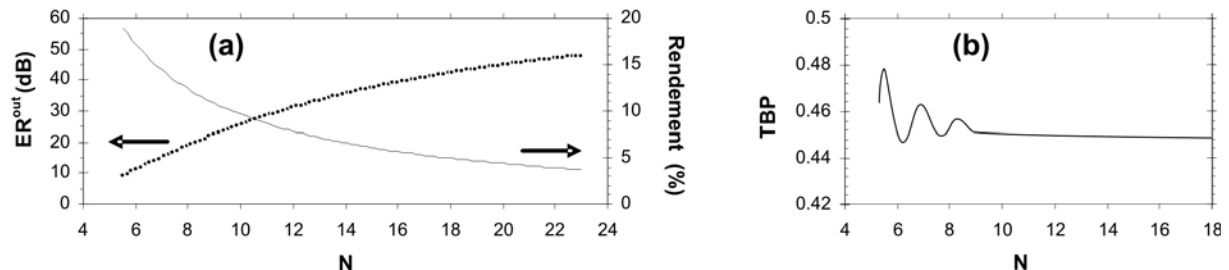


Figure 4. Évolution des paramètres d'un régénérateur de type B en fonction du nombre N : (a) taux d'extinction et rendement énergétique (b) Produit temps \times fréquence de l'impulsion régénérée à la puissance initiale P_1^{in} .

CONCLUSION

Nous avons fourni des règles de conception pour des régénérateurs 2R de type AMP permettant un dimensionnement simple des paramètres du régénérateur : longueur de fibre, décalage spectral et la puissance initiale des impulsions du dispositif. L'emploi de ces paramètres normalisés permet une validité quel que soit le débit et quel que soit le type de fibre utilisé. Nous avons également discuté des compromis entre l'efficacité énergétique et le taux d'extinction du signal. Nous présenterons aussi l'impact d'autres conditions à considérer lors du dimensionnement du système : gigue temporelle du système, effets inter-pulses et le Raman stimulé.

Nous remercions l'Union Européenne pour son support au travers du projet EU FP6 STREP TRIUMPH et de la bourse Marie-Curie de C. FINOT.

RÉFÉRENCES

- [1] P.V. Mamyshev, in *European Conference on Optical Communication, ECOC'98*. **1998**.
- [2] G. Raybon, et al. in *Optical Fiber Communication Conference (OFC)*. **2002**.
- [3] P. Petropoulos, et al., *Opt. Lett.*, **2001**, vol **26**, p. 1233-1235.
- [4] T.N. Nguyen, et al. in *Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG)*. **2005**.
- [5] S. Asimakis, et al. in *Optical Fiber Communication Conference (OFC)*. **2006**.
- [6] L.B. Fu, et al., *Opt. Express*, **2005**, vol **13**, p. 7639-7646.
- [7] T.-H. Her, et al., *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **2004**, vol **16**, p. 200-202.
- [8] G.P. Agrawal, *Nonlinear Fiber Optics, Third Edition*. **2001**.