



Auto-organisation d'un grand nombre d'impulsions dans un laser à fibre dope Er:Yb

Foued Amrani, Mohamed Salhi, Hervé Leblond, François Sanchez

► To cite this version:

Foued Amrani, Mohamed Salhi, Hervé Leblond, François Sanchez. Auto-organisation d'un grand nombre d'impulsions dans un laser à fibre dope Er:Yb. Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2010), Oct 2010, Besançon, France. hal-03192980

HAL Id: hal-03192980

<https://hal.univ-angers.fr/hal-03192980>

Submitted on 8 Apr 2021

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.

AUTO-ORGANISATION D'UN GRAND NOMBRE D'IMPULSIONS DANS UN LASER A FIBRE DOPEE ER :YB

F. Amrani, M. Salhi, H. Leblond, et F. Sanchez

*Laboratoire de Photonique d'Angers EA 4464, Université d'Angers,
2 Bd Lavoisier, 49000 Angers, France*

mohamed.salhi@univ-angers.fr

RÉSUMÉ

Nous proposons une étude inédite de l'interaction d'un grand nombre d'impulsions dans un laser à fibre double gaine dopée à l'Er:Yb fonctionnant par rotation non linéaire de la polarisation. A cause des phénomènes d'attractions et de répulsions entre solitons, des régimes auto-organisés peuvent être générés. Par analogie avec les états de la matière, nous nous sommes intéressés aux régimes "gaz de solitons", "jet supersonique de solitons", "polycristal de solitons", "liquide de solitons" et "cristal de solitons".

MOTS-CLEFS : *Laser à fibre ; soliton ; impulsions courtes.*

1 INTRODUCTION

De point de vue impulsions courtes, le régime mono-impulsion n'est pas le seul mode de fonctionnement dans un laser de puissance à fibre double gaine dopé Er:Yb en anneau unidirectionnel. L'émission d'impulsions multiples est également un régime qui peut être généré par la rotation non linéaire de la polarisation (RNP) associée aux pertes non linéaires de la cavité. En effet, la largeur étroite du spectre de gain et la quantification de l'énergie de l'impulsion dans le régime à dispersion anormale favorisent ce type de fonctionnement. L'existence d'un nombre élevé d'impulsions dans la cavité conduit à des interactions formant ainsi des paquets temporels de solitons. En fonction des paramètres du laser, les solitons peuvent s'organiser d'une façon ordonnée ou complètement aléatoire. Dans un système passif, Mitschke [1] est le premier en 1987 à mettre en évidence l'existence des forces entre solitons. La première expérience permettant la génération passive des impulsions liées par une relation de phase fixe a été réalisée par Tang *et al.* [2] en 2001.

Dans cette communication nous présentons une caractérisation expérimentale d'une centaine d'impulsions générées par la RNP. Nous avons identifié, par analogie avec les états de la matière, 5 régimes, à savoir le régime "gaz de solitons", le régime "jet supersonique de solitons", le régime "polycristal de soliton", le régime "liquide de solitons" et le régime "cristal de solitons" [3]. La configuration expérimentale permettant l'observation de ces régimes est schématisée sur la Fig. 1. Elle est composée d'un milieu actif formé d'une fibre double gaine (DCF) dopée erbium/ytterbium de 8 m de longueur et de dispersion $\beta_2^{DCF} = -0.015 ps^2 m^{-1}$. Deux diodes de pompage à 980 nm et d'environ 3W sont utilisées en montage contra-propagatif. A 1, 55 μm , les fibres DCF et SMF28 sont en régime de dispersion anormale. Un bout de fibre à dispersion décalée (DSF, $\beta_2^{DSF} = 0.14 ps^2 m^{-1}$) est ajouté pour compenser en partie la dispersion du reste de la cavité et donner une dispersion totale légèrement anormale $\beta_2^{TOT} L = -0.04 ps^2$. Les pertes non-linéaires sont contrôlées par l'insertion des lames de phases de part et d'autre du polariseur (PBS). Le fonctionnement unidirectionnel est assuré par l'insertion de l'isolateur et le signal laser est extrait par un coupleur 90/10.

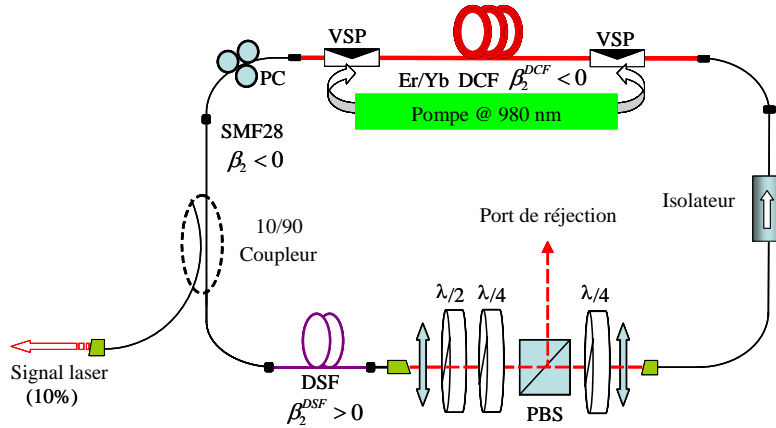


Figure 1. Montage expérimentale

2 RESULTATS EXPERIMENTAUX

2.1 GAZ DE SOLITONS

Dans notre configuration, c'est l'état le plus observé. Il est caractérisé par une agitation très importante des solitons dans toute la longueur de la cavité. Ces mouvements sont dus aux différences de vitesses de groupes entre les impulsions qui résultent des différences de longueurs d'onde centrale et éventuellement des effets non-linéaires et dissipatifs. Un exemple d'une réponse temporelle du regime gaz de solitons est illustré dans la Fig. 2(a). Nous nous sommes limités à une fenêtre temporelle égale au temps de tour de cavité. La Fig. 2(b) montre le spectre optique du gaz de solitons avec une absence de modulation. Cela prouve qu'entre les impulsions il n'y a aucune relation de phase.

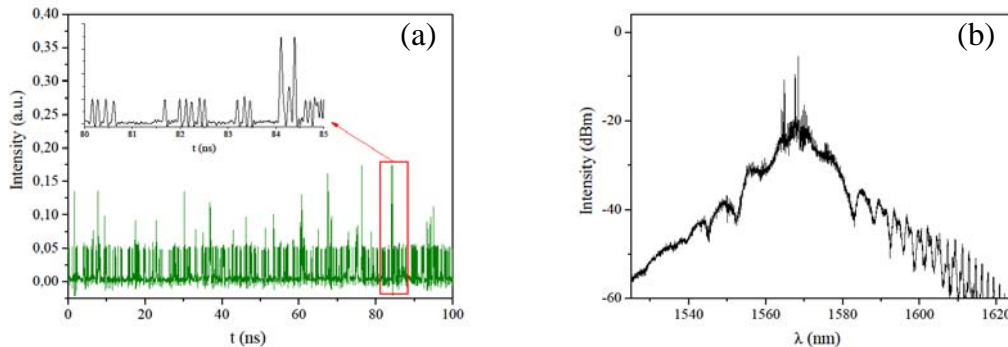


Figure 2. Gaz de soliton. (a) réponse temporelle. (b) spectre optique

2.2 JET SUPERSONIQUE DE SOLITONS

Afin d'obtenir un signal stable de jet supersonique de soliton, nous fixons la puissance de pompe à 2.2 W. Avec des positions bien précises des lames de phases, un paquet d'impulsions se met en place. Après quelques minutes ces impulsions se réorganisent pour donner lieu à une distribution régulière le long de la cavité. C'est le verrouillage harmonique de modes. Nous avons mis en évidence, à travers un analyseur de spectre basse fréquence, la cadence des impulsions. Elle est de 3.079 GHz. La fréquence fondamentale est de 9.562 MHz. Nous avons ainsi obtenu 322 impulsions par tours de cavité d'une durée de 1 ps avec une énergie par impulsion de 17 pJ.

2.3 LIQUIDE DE SOLITONS

En partant d'un régime de gaz de soliton et en ajustant les pertes non-linéaires de la cavité il est possible de générer un régime condensé de solitons. La trace temporelle montre que les impulsions occupent juste une partie de la cavité, environ 15 %. On a ainsi une transition d'une phase gazeuse à une phase liquide. La réponse temporelle montre également que les solitons ou des groupes de solitons bougent à l'intérieur d'un intervalle de 15 ns de cavité.

2.4 POLYCRISTAL DE SOLITON

La Fig. 3(a) représente un autre état qu'on peut observer par la simple variation de l'orientation de l'une des lames de phases. Les impulsions occupent un intervalle de 13 ns de la cavité. Les deux figures incrustées dans la Fig. 3(a), correspondant aux zooms successifs, montrent qu'il n'y a pas de structure régulière. La comparaison avec l'état liquide révèle que ce régime ne change pas d'un tour de cavité à l'autre. Il peut être considéré comme un état solide où la périodicité macroscopique n'existe pas. Les solitons ne bougent pas et à grande échelle il n'y a pas d'ordre. En revanche, localement les impulsions sont ordonnées. Nous appelons ce régime *polycristal de solitons*.

2.5 CRISTAL DE SOLITONS

L'observation de paquets de quelques centaines d'impulsions en états liés est également possible avec notre dispositif expérimental. L'évolution temporelle de ce régime est illustrée dans la Fig. 3(b). Les impulsions sont stables et régulièrement espacées. Avec l'oscilloscope rapide (12 GHz de bande passante), on observe un signal périodique en créneaux ($T = 105$ ns correspondant à l'ISL de la cavité égal à 9, 52 MHz) avec un rapport cyclique de 10%. La caractérisation de ce régime via l'analyseur de spectre optique et l'auto-corrélateur optique nous a permis d'identifier ce régime comme étant des multi-solitons en état lié. En effet, le spectre optique présente une très forte modulation et l'auto-corrélateur fait apparaître un grand nombre d'impulsions de même hauteur et séparées de 23 ps. Le nombre total d'impulsions générées est 480 impulsions. Nous avons nommé ce régime *cristal de soliton*.

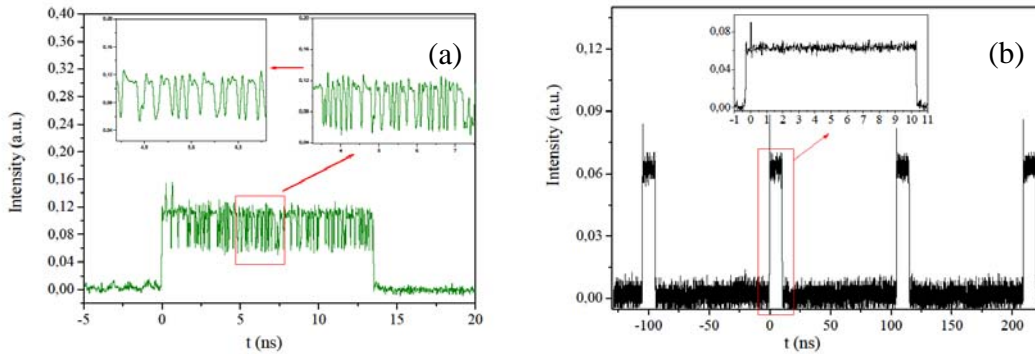


Figure 3. (a) Evolution temporelle de polycristal de soliton. (b) Trace temporelle de cristal de solitons.

3 CONCLUSION

Dans cette communication nous avons étudié la formation d'un nombre élevé d'impulsions dans un laser de puissance à fibre double gaine dopé Er:Yb en anneau unidirectionnel. Nous avons donné une classification phénoménologique des différents régimes et nous les avons caractérisés. Par analogie avec les états de la matière, nous nous sommes intéressés aux régimes "gaz de solitons", "jet supersonique de solitons", "polycristal de solitons", "liquide de solitons" et "cristal de solitons".

RÉFÉRENCES

- [1] Mitschke, F. M., and Mollenauer, L. F., "Experimental observation of forces between solitons in optical fibers", *Opt. Lett.* 12, 355-357 (1987).
- [2] Tang, D. Y., Man, W. S., Tam, H. Y. and Drummond, P. D., "Observation of bound states of solitons in a passively mode-locked fiber laser", *Phys. Rev. A.* 64, 033814 (2001).
- [3] Amrani, F., Haboucha, A., Salhi, M., Leblond, H., Komarov, A., Sanchez, F., "Dissipative solitons compounds in a fiber laser. Analogy with the states of the matter", *Appl. Phys. B.* 99, 107-114 (2010).