



**HAL**  
open science

# Étude de la dynamique d'un laser à fibre multimode pour l'étude du bruit relatif d'intensité et du transfert de bruit par doublage de fréquence

Rodolphe Collin, Thierry Chartier

► **To cite this version:**

Rodolphe Collin, Thierry Chartier. Étude de la dynamique d'un laser à fibre multimode pour l'étude du bruit relatif d'intensité et du transfert de bruit par doublage de fréquence. OPTIQUE Toulouse 2018 - 38è Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'38), Jul 2018, Toulouse, France. hal-02922364

**HAL Id: hal-02922364**

**<https://hal.science/hal-02922364v1>**

Submitted on 26 Aug 2020

**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.

# ETUDE DE LA DYNAMIQUE D'UN LASER A FIBRE MULTIMODE POUR L'ETUDE DU BRUIT RELATIF D'INTENSITE ET DU TRANSFERT DE BRUIT PAR DOUBLAGE DE FREQUENCE

Rodolphe Collin, Thierry Chartier

Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-22305 Lannion, France

rodolphe.collin@enssat.fr

## RÉSUMÉ

Nous proposons une étude numérique de la résolution de la dynamique des lasers, en particulier, des lasers à fibre. L'élaboration du modèle basé sur les équations semi-classiques du laser, associé aux forces de Langevin permet d'avoir accès au bruit d'intensité du laser et l'étude du doublage de fréquence met en évidence un transfert de bruit à basse fréquence.

**MOTS-CLEFS :** *Laser à fibre ; Bruit relatif d'intensité ; Simulation numérique ; Doublage de fréquence*

## 1. INTRODUCTION

Depuis les premiers travaux menés par Melvin Lax [1], puis continués par Charles Henry [2], l'étude du bruit dans les lasers est un sujet de recherche très vaste et ce depuis les débuts de cette technologie. Notre présent travail s'est porté sur l'étude théorique et numérique du bruit d'intensité dans les lasers à fibre.

Le bruit relatif d'intensité (ou RIN pour *Relative Intensity Noise*) est une grandeur permettant de mesurer la stabilité des lasers et est à minimiser dans de nombreuses applications.

L'observation d'une remontée importante et inexplicée du bruit d'intensité à basse fréquence a motivé l'étude de ce dernier par le biais de simulations numériques. Cette étude a mené au développement d'un modèle permettant de résoudre les équations d'évolution du laser et d'expliquer la remontée observée expérimentalement.

## 2. OBSERVATION EXPERIMENTALE

L'entreprise Quantel a développé un laser à fibre multimode longitudinal à 1064 nm qui est doublé en fréquence à l'aide d'un cristal non-linéaire.

Présentées en figure 1, les mesures de bruit d'intensité sur ce laser, montrent très clairement un écart de près de 20dB entre les deux courbes du même laser avant et après doublage à basse fréquence.

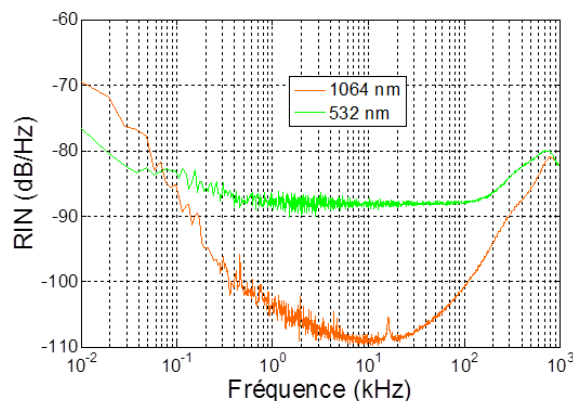


Figure 1 : RIN du laser développé par Quantel dans le cadre du projet ELBA avant doublage (orange) et après doublage (vert)

Alors qu'il est assez aisé de montrer qu'un doublage simple du champ quadruple son RIN et correspond à une remontée de 6dB sur sa représentation en échelle logarithmique, l'effet observé ici sort du cadre de cette approximation. Nous proposons d'étudier le phénomène rencontré en réalisant une simulation numérique du laser afin d'étudier l'influence de ses différents paramètres sur le RIN du champ laser doublé.

### 3. MODELE DE SIMULATION NUMERIQUE DE LA DYNAMIQUE D'UN LASER MULTIMODE

En utilisant la théorie semi-classique des lasers [3], puis en s'appuyant sur les travaux sur les lasers de classe B [4] et sur les simulations de lasers multimode [5], nous avons développé un système d'équations couplées d'un laser à fibre multimode comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Delta N_0}{dt}(t) = \frac{1}{\tau}(\Delta N_{pp} - \Delta N_0(t)) - \sum_q K_q S_q(t) \left( \Delta N_0(t) - \frac{1}{2} \Delta N_q(t) \right) + F_{\Delta N_0}(t), \\ \frac{d\Delta N_q}{dt}(t) = -\frac{1}{\tau} \Delta N_q(t) + K_q S_q(t) \Delta N_0(t) - \sum_l K_l S_l(t) \Delta N_l(t) + F_{\Delta N_q}(t), \\ \frac{dS_q}{dt}(t) = -\gamma_q S_q(t) + K_q (S_q(t) + 1) \left( \Delta N_0(t) - \frac{1}{2} \Delta N_q(t) \right) + F_{S_q}(t), \\ \frac{d\theta_q}{dt} = \omega_q - \frac{\omega_q^2 - \omega_0^2}{2\omega_0} - 2 \frac{\omega_q - \omega_0}{\Delta\omega} K_q \left( \Delta N_0(t) - \frac{1}{2} \Delta N_q(t) \right) + F_{\theta_q}(t), \end{array} \right.$$

où l'inversion de population  $\Delta N_0(t)$  et  $\Delta N_q(t)$ , le nombre de photons du mode  $q$ ,  $S_q(t)$ , et la phase du mode  $q$ ,  $\theta_q(t)$ , apparaissent des sources de bruit, appelées Forces de Langevin.

De plus, ce modèle est conditionné aux paramètres du laser tels que :

- $\tau$ , le temps de vie du niveau haut de la transition laser ;
- $\Delta N_{pp}$ , l'apport d'énergie au système lié à la puissance de la pompe ;
- $K_q$ , le taux d'émission stimulée se couplant dans le mode  $q$  ;
- $\gamma_q$ , le temps de vie des photons du mode  $q$  dans la cavité ;
- $\omega_q$ , la pulsation du mode  $q$  ;
- $\omega_0$ , la pulsation du mode central ;
- $\Delta\omega$ , la largeur de raie.

La résolution de ce modèle donne accès à la dynamique du laser avec la reconstitution possible du champ en sortie de cavité sous la forme :

$$E(t) \propto \sum_q \sqrt{S_q(t)} e^{i(\theta_q(t) - \omega t)}.$$

### 4. BRUIT D'INTENSITE ET DOUBLAGE DE FREQUENCE

Le bruit d'intensité du laser ou RIN est défini comme le rapport entre la transformée de Fourier des variations d'intensité (l'intensité étant le module au carré du champ) du signal sur l'intensité moyenne de celui-ci au carré :

$$I(t) = |E^2(t)| = I_{moy} + \delta I(t),$$

$$RIN = \frac{\langle \delta I(\omega)^2 \rangle}{\langle I_{moy} \rangle^2}.$$

Avec les résultats de simulation obtenus, il est possible d'avoir accès à cette mesure. De plus, nous avons accès des informations normalement indisponibles lors d'une mesure expérimentale, à savoir le bruit d'intensité particulier, relatif à chaque mode.

Comme l'illustre la figure 2.a), ce résultat numérique fait apparaître une trace de RIN correspondant effectivement à celui d'un laser multimode, il y a bien un pic de relaxation puis des pics de battements entre les modes.

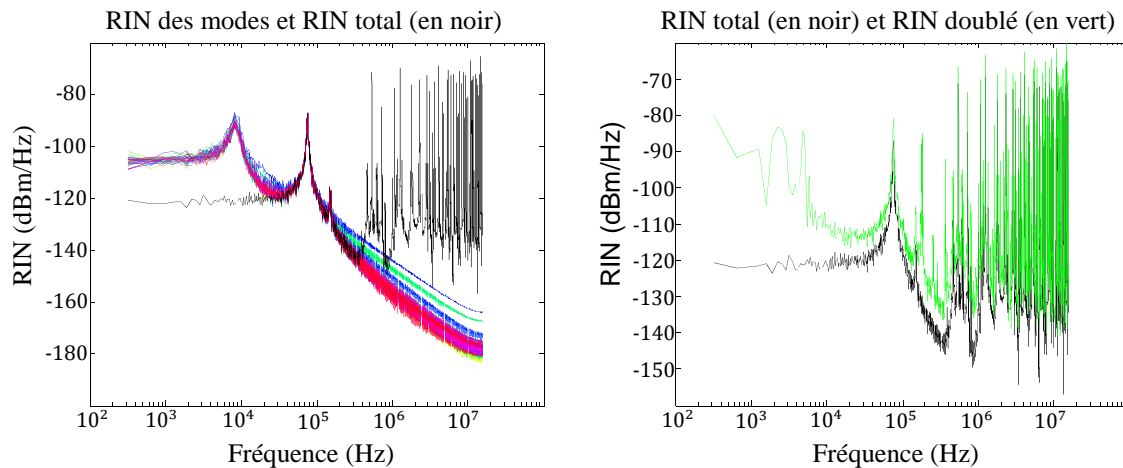


Figure 2 : a) Résultat de la simulation figurant les RIN particuliers à chaque mode (couleur) et le RIN du champ total (en noir). b) Comparaison entre le RIN total du champ total (en noir) et le RIN du champ total doublé (en vert)

Dans un second temps, en doublant le champ obtenu avec notre modèle, il est possible de simuler un doublage en fréquence du laser. De ce nouveau champ, en y appliquant la formule de mesure du RIN, nous obtenons une remontée à basse fréquence comme le montre la figure 2.b).

L'écart mesuré à basse-fréquence est bien supérieur à l'écart de 6 dB, observable sur tout le reste du spectre. Un effet nouveau, issu de la non linéarité du doublage, effectue un transfert de bruit vers les fréquences basses du spectre, corroborant ainsi l'observation faite par Quantel.

L'explication de ce phénomène est la combinaison de plusieurs effets, l'accentuation, par le doublage de fréquence, du bruit de partition entre les modes, d'une part, et un transfert de bruit de phase sur le bruit d'intensité, d'autre part.

## CONCLUSION

Nous avons développé un modèle complet de résolution numérique de la dynamique du laser, utilisable pour les lasers multimodes, en particulier ici, les lasers à fibre. Ce modèle permet alors de montrer que l'observation d'une remontée à basse fréquence du RIN est prévue par la théorie et correspond à un transfert de bruit.

## REFERENCES

- [1] M.Lax, "Classical Noise IV. Langevin Methods," *Rev. Mod. Phys.*, vol. 38, pp 541-566, 1966.
- [2] C. H. Henry, "theory of spontaneous emission noise in open resonators and its application to lasers and optical amplifiers," *J. Lighthwave Tech.*, vol 4. no. 3, pp 288-297, 1986.
- [3] A.E. Siegman, *Lasers*, University Science Books, 1986.
- [4] C. L. Tang, H. Statz, and G. deMars, "Spectral output and spiking behavior of solid-state lasers," *J. Appl. Phys.*, vol. 34. No. 8, pp 2289-2295, 1963.
- [5] M.Yamada, *Theory of Semiconductor Lasers*, Springer, 2014.