



Caractérisation par corrélations quantiques de la région de seuil d'un microlaser de classe B

Djeylan Aktas, Tao Wang, Olivier Alibart, Gian-Luca Lippi, Eric Picholle, Sébastien Tanzilli

► To cite this version:

Djeylan Aktas, Tao Wang, Olivier Alibart, Gian-Luca Lippi, Eric Picholle, et al.. Caractérisation par corrélations quantiques de la région de seuil d'un microlaser de classe B . 36e Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'36), Société Française d'Optique, Université de Bordeaux, Jul 2016, Bordeaux, France. hal-01352532

HAL Id: hal-01352532

<https://hal.science/hal-01352532>

Submitted on 8 Aug 2016

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.

CARACTÉRISATION PAR CORRÉLATIONS QUANTIQUES DE LA RÉGION DE SEUIL D'UN MICROLASER DE CLASSE B

Djeylan Aktas,¹ Tao Wang,² Olivier Alibart,¹ G.L. Lippi,² Éric Picholle,¹ Sébastien Tanzilli¹

¹ Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (INΦNI), CNRS UMR 7336, Université de Nice Sophia Antipolis, Parc Valrose, 06100 Nice cedex, France

² Institut Non Linéaire de Nice (INΦNI), CNRS UMR 7335, Université de Nice Sophia Antipolis, 1361 route des Lucioles, Sophia Antipolis, 06560 Valbonne, France

gian-luca.lippi@inln.cnrs.fr, eric.picholle@unice.fr

RÉSUMÉ

La mesure du taux de coïncidence de photons émis par des lasers à semiconducteurs opérant dans la région du seuil permet de caractériser celle-ci aux très faibles intensités émises. Elle peut également fournir un accès indirecte à leur dynamique temporelle?

MOTS-CLEFS : *Microlasers ; Statistique de photons ; Des mesures de*

1. INTRODUCTION

On envisage souvent les lasers comme des dispositifs à seuil marqué, avec un fonctionnement de type “tout ou rien” de part et d’autre de ce seuil. Première approximation généralement pertinente dans les lasers présentant un facteur de qualité élevé (i.e. de “classe A” [1]), cette approche rend d’autant moins bien compte du comportement des composants à semi-conducteurs que leur cavité est plus courte (lasers de “classe B”). Dominée dans la région du seuil par la compétition entre émissions spontanée et stimulée [2] et des effets de superradiance [3] susceptibles d’induire des émissions par paquets (“*photon bunching*”), la dynamique des lasers de classe B dans la région du seuil reste toutefois assez mal connue, alors même que les progrès récents de l’optoélectronique ont rendu possible une extrême miniaturisation des sources et le développement de micro-, voire de nanolasers à semiconducteurs dont la cavité est plus courte que la longueur d’onde d’émission.

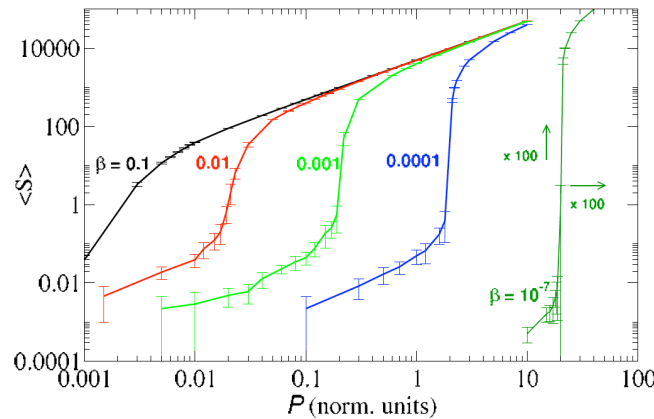


Fig. 1 : Nombre moyen de photons dans la cavité de microlasers de classe B, pour différentes valeurs du paramètre β (proportion de l’émission spontanée couplée dans le mode axial) ; les barres d’erreur correspondent à la déviation standard. Pour comparaison, à droite, la même courbe tracée pour un laser “traditionnel” de classe A ($\beta = 10^{-7}$), renormalisée d’un facteur 100 (numérique [2]).

Compte tenu du très faible nombre moyen de photons dans la cavité, et donc de la puissance optique émise par ces composants lorsqu’ils opèrent dans la région du seuil (Fig. 1), celle-ci s’avère difficile à caractériser par les techniques classiques [4,6].

2. CARACTÉRISATION DE LA RÉGION DE SEUIL PAR COMPTAGE DE PHOTONS

Une technique alternative consiste donc à caractériser cette région par la mesure du taux de coïncidences entre deux compteurs de photons, en fonction du temps d'arrivée, à la sortie d'un coupleur 50/50 (Fig. 2) [7]. Celui-ci est en effet directement proportionnel à la fonction de corrélation quantique de second ordre $g^{(2)}(\tau)$.

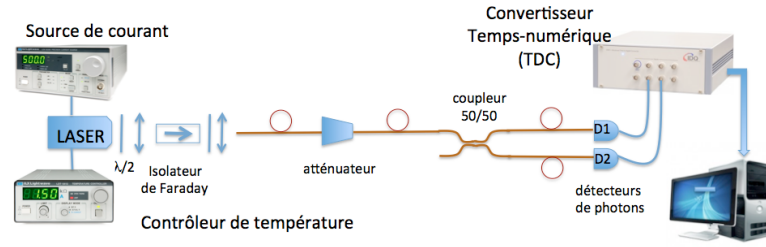


Fig. 2 : Schéma du montage.

Les temps d'intégration pouvant être très long, on a ainsi accès à l'ensemble de la région de seuil, y compris aux très faibles intensités émises. Pour des microlasers du commerce, on observe alors, nettement en-dessous ou au-dessus du seuil, des fonctions de corrélations pratiquement plates, $g^{(2)}(\tau) \approx 1$ (statistique poissonnienne). Dans la région du seuil, on observe en revanche l'apparition d'un pic bosonique d'autocorrélation en $g^{(2)}(0)$ (Fig. 3).

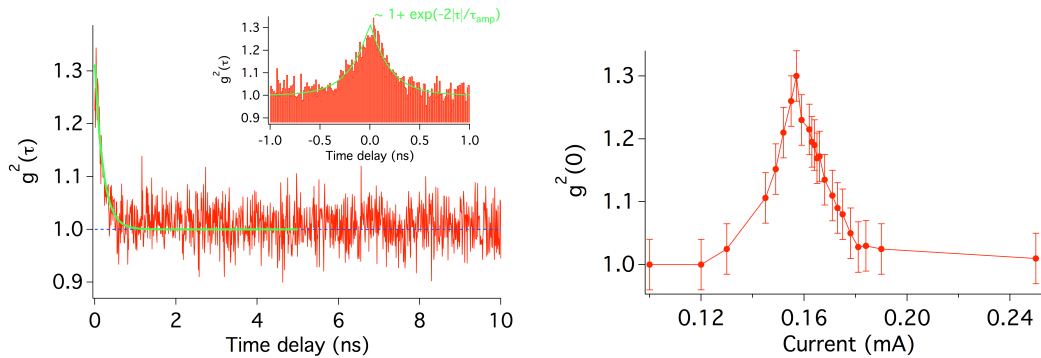


Fig. 3 : À gauche : Exemple de fonction de corrélation $g^{(2)}(\tau)$ pour un microlaser monomode transverse (expérimental ; en vert : fit exponentiel du pic autour de $g^{(2)}(0)$).

À droite : Évolution de la valeur maximale $g^{(2)}(0)$ dans la région du seuil. (expérimental)

3. IDENTIFICATION D'UN RÉGIME IMPULSIONNEL

Au-delà des strictes propriétés de cohérence des composants étudiés, cette technique fournit également un accès à leurs caractéristiques temporelles. Dans les micro- et les nanolasers à semiconducteurs, la compétition entre émissions spontanée et stimulée peut en effet donner lieu à des processus d'émission par paquet, qu'on peut interpréter en termes de superradiance de Dicke [3]. Les simulations numériques par un "simulateur stochastique" [2] permettant de prendre en compte les propriétés statistiques de l'émission spontanée, sur l'axe et hors d'axe, prédisent en effet, dans de nombreux cas, l'apparition d'un régime impulsionnel aperiodique (Fig. 4).

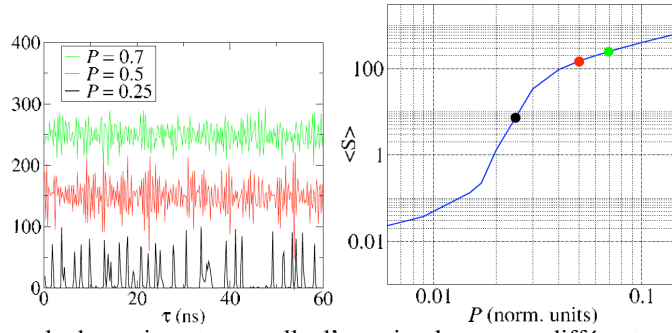


Fig. 4 : À gauche : Exemple dynamique temporelle d'un microlaser pour différentes valeurs de pompe (définies par les points de la couleur correspondante, à dr.).
À droite : Nombre moyen de photons dans la cavité. Notons que le régime impulsionnel caractérise les valeurs intermédiaires dans la région du seuil. (numérique [2]).

Or si, pour des sources optiques continues ou quasi-continues, la valeur maximale de la fonction de corrélation, $g^{(2)}(0)$, est habituellement comprise entre $g^{(2)}(0) = 1$ (régime poissonnien) et $g^{(2)}(0) = 2$ (source chaotique), un régime impulsionnel peut induire des valeurs supérieures à 2.

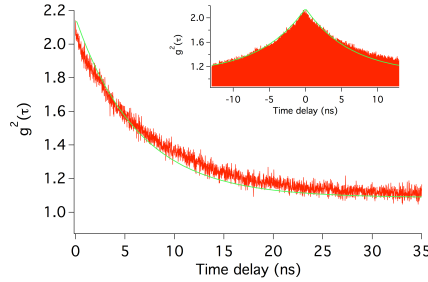


Fig. 5 : À gauche : Exemple de fonction de corrélation $g^{(2)}(\tau)$ pour un microlaser multimode transverse fonctionnant en régime impulsionnel (expérimental)

Plus généralement, la comparaison de la valeur observée de $g^{(2)}(0)$ à celle calculée dans l'hypothèse d'un régime continu est susceptible de fournir une caractérisation indirecte de la dynamique temporelle du composant étudié.

RÉFÉRENCES

- [1] Selon une nomenclature désormais classique, proposée dans “Deterministic chaos in laser with injected signal”, F.T. Arecchi, G.L. Lippi, G.P. Puccioni et J. R. Tredicce, *Optics Comm.*, **51**, 308, pp. 308-314, 1984. La classe A est caractérisée par une durée de vie des photons dans la cavité très supérieure aux temps de relaxation aussi bien de la polarisation du milieu (T_1) que de l'inversion de population (T_2) : $T_{ph} \gg T_1, T_2$; pour la classe B : $T_{ph}, T_1 \gg T_2$.
- [2] “Stochastic simulator for modeling the transition to lasing”, G.P. Puccioni et G.L. Lippi, *Opt. Express*, **23**, 2369, 2015.
- [3] “Photon statistics in the cooperative spontaneous emission”, V.V. Temnov et U. Woggon, *Opt. Express*, **17**, 7, 5774, 2009.
- [4] “Dynamic buildup of lasing in mesoscale devices”, T. Wang, G.P. Puccioni et G.L. Lippi, *Scient. Reports*, **5**, art. 15858, 2015.
- [5] “Synchronous characterization of semiconductor microcavity laser beam”, T. Wang et G.L. Lippi, *Rev. Sci. Inst.*, **86**, 063111, 2015.
- [6] “Polarization-resolved cartography of light emission of a vertical-cavity surface-emitting laser with high space and frequency resolution”, T. Wang et G.L. Lippi, *Applied Phys. Lett.*, **107**, 181103, 2015.
- [7] “Ultra-fast heralded single photon source based on telecom technology”, L.A. Ngah, O. Alibart, L. Labonté, V. D'Auria, and S. Tanzilli, *Laser & Photon. Rev.* **9**, L1-L5 (2015).