

Illustration du passage au seuil des nanolasers par une modélisation markovienne

Arthur Vallet¹, Laurent Chusseau¹, Alain Jean-Marie², Fabrice Philippe³



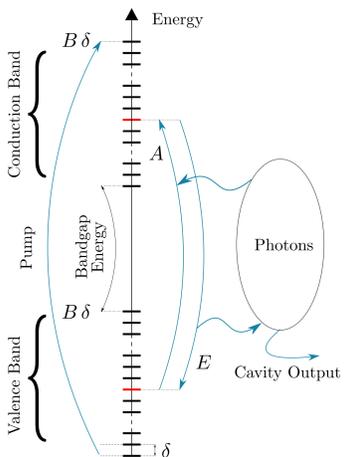
¹ IES, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France
² INRIA, LIRMM, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France
³ LIRMM, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France
 Vallet@ies.univ-montp2.fr



Introduction

Nous présentons un modèle traitant du passage au seuil des nanolasers grâce à une chaîne de Markov simulée par Monte-Carlo. La quantification des variables traitées dans le modèle permet de mettre en évidence les allumages et extinctions autour du seuil laser. La coexistence d'un régime pulsé avec un régime continu bruité lors du passage au seuil montre que celui-ci ne peut pas être défini avec précision pour les nanolasers.

Modèle : Laser Semiconducteur

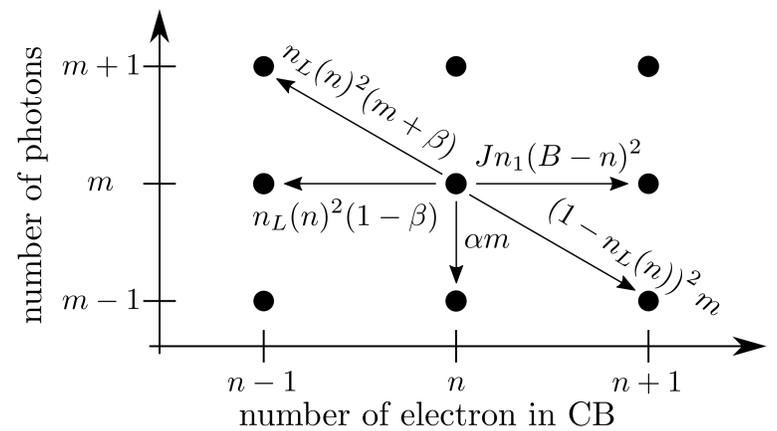


Notre modèle de laser à semi conducteur est composé d'un champ électromagnétique quantifié résonant avec la cavité[1]. Les événements photoniques se produisent uniquement pour une paire de niveaux prédéfinis, les autres modes étant filtrés par la cavité. La balance énergétique est maintenue par le pompage et les sorties des photons de la cavité.

Paramètres :

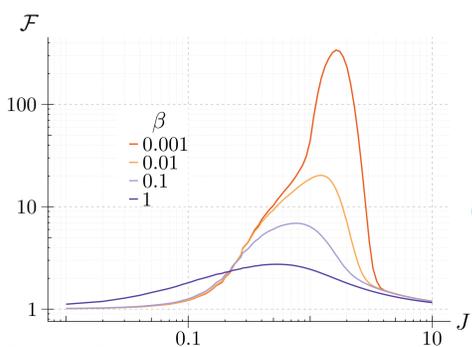
m \equiv nombre de photons dans la cavité
 n \equiv nombre d'électrons en bande de conduction (BC)
 n_L \equiv probabilité de présence d'un électron au niveau L de la BC
 J \equiv Fréquence des événements de pompes

Modèle : Chaîne de Markov

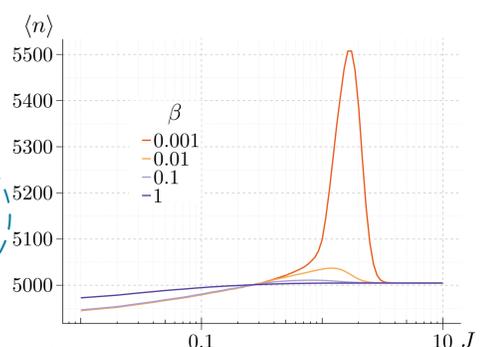
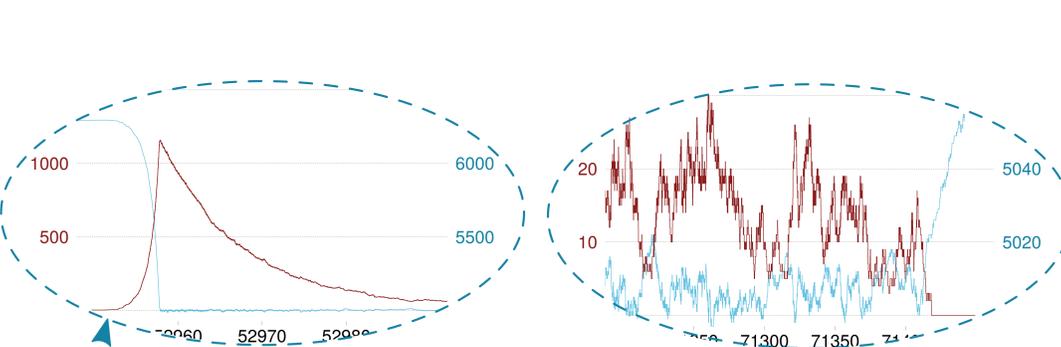


L'information fondamentale du modèle pour définir les probabilités d'événements photoniques est la **présence ou l'absence d'électrons** sur chacun des niveaux lasers. Celle-ci est contrainte par la distribution de Boltzmann. Elle peut être définie analytiquement en considérant que l'équilibre électronique est atteint avant chaque événement photonique. Cette hypothèse permet d'avoir une chaîne de Markov simple représentant le modèle. L'état représentant la répartition d'électrons et le nombre de photons et alors simplement défini par un couple de valeur (n,m) [2]. Les taux de transitions pour changer d'état sont marqués par des flèches.

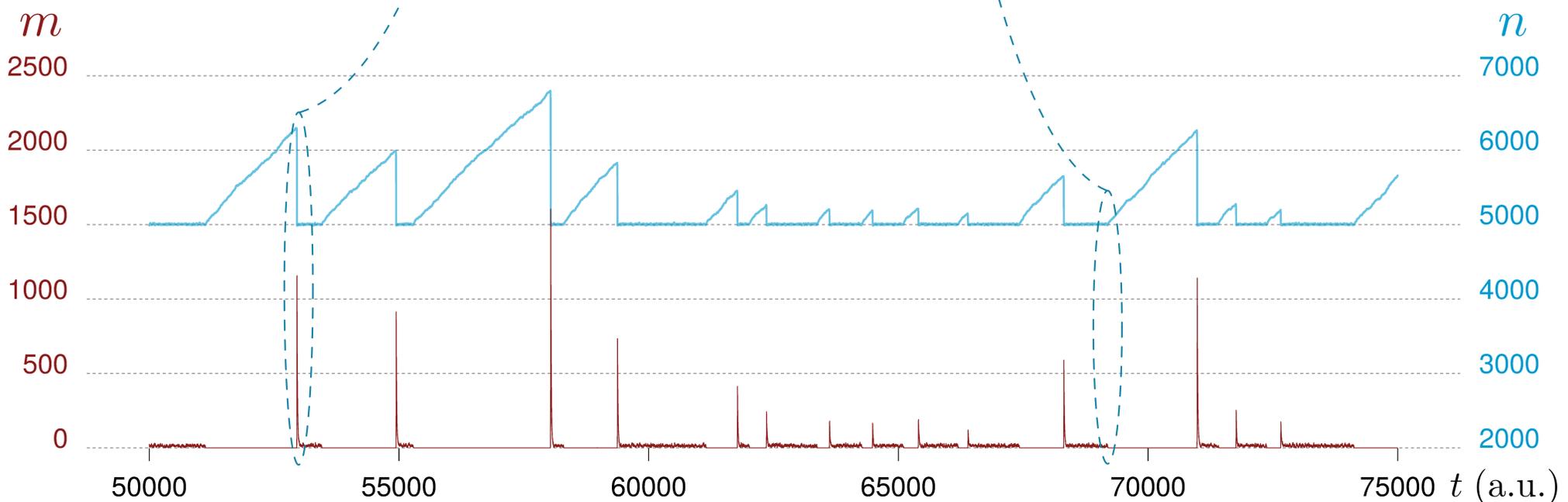
Résultats



Facteur de Fano en fonction du pompage. Le maximum du Fano indique la zone la plus bruyante que certain définissent comme le seuil[3].

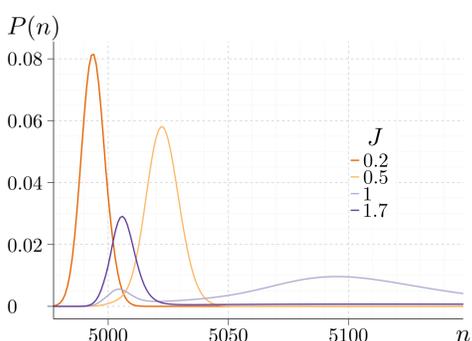


Nombre moyen d'électron en BC. Usuellement, cette valeur sature après le seuil. Cependant sur les nanolaser une bosse apparaît à ce niveau[4].



Trajectoire réalisée au maximum du Fano montrant le comportement bimodal autour du seuil entre un régime allumé et éteint caractérisé par un pic du nombre de photons à l'allumage et une accumulation des porteurs en BC à l'extinction.

Distribution du nombre d'électrons



Le comportement bimode du nanolaser aux alentours du seuil peut être vue dans la distribution des électrons. Le mode incohérent a un pic de la distribution des électrons qui se déplace en s'affaissant vers les niveaux de hautes énergies avec le pompage jusqu'à disparaître. Un second pic apparaît, il correspond à la lumière cohérente, contrairement au précédent pic, celui-ci ne se déplace pas.

Conclusion / Références

La notion de seuil dans les nanolasers n'a pas vraiment de sens. Nous avons montré ici que cette zone correspond à une alternance entre un régime allumé et éteint avec forte présence de pics due à l'accumulation des électrons en bande de conduction. La quantification des variables a permis une grande discontinuité entre une cavité vide et possédant au moins un photon, qui est pertinente dans l'étude du seuil des nanolasers.

[1] A. Vallet, L. Chusseau, F. Philippe, and A. Jean-Marie, "Semiconductor laser Markov models in the micro-canonical, canonical and grand-canonical ensembles," in *SigmaPhi*, 2017
 [2] A. Vallet, L. Chusseau, F. Philippe, and A. Jean-Marie, "Markov model of quantum fluctuations at the transition to lasing of semiconductor nanolasers," submitted *PhysicaE*, 2018.
 [3] P. R. Rice and H. J. Carmichael, "Photon statistics of a cavity-QED laser: A comment on the laser phase-transition analogy," *Phys. Rev. A*, **50**, no. 5, pp. 4318–4329, 1994.
 [4] K. Roy-Choudhury, S. Haas, and A. F. J. Levi, "Quantum fluctuations in small lasers," *Phys. Rev. Lett.*, **102**, no. 5, pp. 1-4, 2009.