

# Dynamique à retard dans un laser à cascade quantique émettant au moyen infra-rouge

L. Jumpertz,<sup>1,2</sup> K. Schires,<sup>1</sup> O. Spitz,<sup>1</sup> M. Sciamanna,<sup>4</sup> & F. Grillot<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> LTCI, Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, 46 rue Barrault, 75013 Paris, France

<sup>2</sup> mirSense, Centre d'intégration NanoINNOV, 8 avenue de la Vauve, 91120 Palaiseau, France

<sup>3</sup> Center for High Technology Materials, University of New-Mexico, 1313 Goddard SE, Albuquerque, NM 87106, United States

<sup>4</sup> LMOPS, CentraleSupélec, Université de Lorraine, 57070 METZ, France.

grillot@telecom-paristech.fr

**Résumé.** Les lasers à cascade quantique sont des sources semiconductrices basées sur des transitions inter-sous-bandes au sein de la bande de conduction. Pouvant émettre sur une large plage de longueurs d'onde allant du moyen infra-rouge au terahertz, ils sont devenus une source privilégiée pour des applications telles que la spectroscopie de gaz, les communications en espace libre ou les contre-mesures optiques [1]. Une analyse temporelle des fluctuations de la puissance optique émise a récemment révélé un comportement chaotique du laser à cascade quantique soumis à une force de rappel optique [3]. Cette étude expérimentale a mis en évidence un scénario de bifurcation impliquant une déstabilisation à la fréquence de cavité externe, puis un chaos sous la forme de fluctuations basses fréquences. Ce scénario est typique des lasers à gaz de type classe A [4] mais n'avait jamais été observé jusqu'alors dans un laser semiconducteur, où la première déstabilisation est basée sur la fréquence des oscillations de relaxation [5]. Ces observations expérimentales ont été validées par une étude numérique exploitant les équations de Lang et Kobayashi [5], en y incorporant les paramètres spécifiques du laser à cascade quantique étudié. Cependant, il est important de comprendre si ce scénario de bifurcation peut se reproduire sur d'autres structures ou dans d'autres conditions expérimentales.

L'objectif de ce travail est d'étudier numériquement la dynamique à retard du laser à cascade quantique en fonction de trois paramètres clés : le courant de pompe, la longueur de la cavité externe et le facteur d'élargissement spectral du laser (facteur  $\alpha$ ), intrinsèque à la structure. Les simulations obtenues montrent des déstabilisations proches de celle observée expérimentalement, avec l'apparition d'oscillations à la fréquence de cavité externe. Cependant, si l'on augmente le courant de pompe ou que l'on diminue la valeur du facteur  $\alpha$ , la première bifurcation de Hopf, à laquelle ces oscillations apparaissent, se produit à des taux de réinjection significativement plus élevés, et la zone chaotique tend à disparaître. De plus, si l'on augmente la longueur de cavité externe, la bulle de chaos apparaît à de plus faibles taux de réinjection, bien que la première bifurcation de Hopf reste à des taux de réinjection similaires, mais cette zone se réduit fortement, et finalement disparaît.

En conclusion, cette étude numérique montre que le scénario de déstabilisation caractérisée par des fluctuations basses fréquences est bien reproductible dans d'autres conditions expérimentales ou sur d'autres types de structures à cascade quantique. Cependant, le taux de réinjection auquel a lieu la première bifurcation de Hopf ou l'étendue de la zone chaotique peuvent varier, et il est donc fondamental d'étudier chaque cas afin d'éviter une déstabilisation ou émission chaotique parasite.

## Références

1. Faist, J. *Quantum cascade lasers* (OUP Oxford, 2013).
2. Jumpertz, L., Carras, M., Schires, K. and Grillot, F. Regimes of external optical feedback in 5.6  $\mu\text{m}$  distributed feedback mid-infrared quantum cascade lasers *Appl. Phys. Lett.* **105**, 131112 (2014).
3. Jumpertz, L., Schires, K., Carras, M., Sciamanna M. and Grillot, F. Chaotic light at mid-infrared wavelength *Light Sci. Appl.* **5**, e16088 (2016).
4. Kuwashima F, Ichikawa T., Kitazima I. and Iwasawa H. Chaotic oscillations in a single-mode class A He-Ne laser (6328A) II *Jpn. J. Appl. Phys.* **38**, 6321 (1999).
5. Lang, R. and Kobayashi, K. External optical feedback effects on semiconductor injection laser properties. *IEEE J. Quant. Elect.* **16**, 347–355 (1980).