



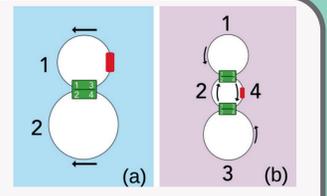
# Analyse de la dynamique d'un laser en réseau fibré

Ahmed EL GHAZI, Massimo GIUDICI, et Mathias MARCONI  
Master Ondes, Atomes, Matière - Université Côte d'Azur  
Institut de Physique de Nice, Université Côte d'Azur - CNRS



## 1. Introduction

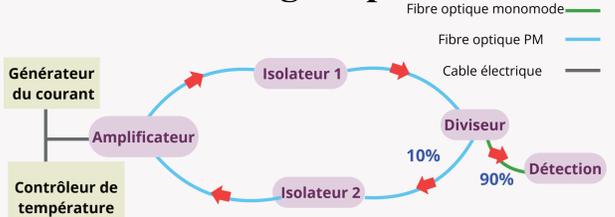
L'étude des réseaux en sciences de la complexité [1] se concentre sur les interactions entre composants interconnectés. Mon stage porte sur la création d'un laser en réseau (LANER) [2,3] utilisant un réseau de fibres optiques comme cavité, dans le but d'analyser la dynamique de la lumière émise. Nous avons débuté en réalisant un laser fibré de structure minimale, constitué d'une seule boucle. En progressant vers des structures plus complexes, nous avons couplé le système avec une seconde boucle, permettant à la lumière de suivre deux chemins optiques distincts dans la cavité. Notre étude s'est concentrée sur la variation de deux paramètres : la puissance de pompe et la transmission via un atténuateur réglable dans la seconde boucle. Un point d'intérêt particulier fut la dynamique spécifique observée dans une architecture à deux boucles, où des structures temporelles localisées dans la cavité optique ont été détectées. Pour évaluer la robustesse des régimes dynamiques dans cette configuration, nous avons légèrement ajusté la taille de la seconde boucle par rapport à la première, modifiant ainsi le rapport des temps de propagation entre les deux boucles.



Exemple des LANER, tiré de [3], où l'élément rouge est l'amplificateur de lumière, les éléments verts sont des diviseurs optiques, et les numéros représentent les chemins possibles dans la cavité.

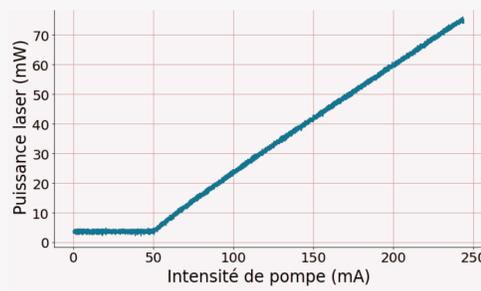
## 2. Caractérisation d'un laser fibré à une seule boucle

### 2.1 Montage expérimental



- Amplificateur : BOA1132P, gain de 30 dB, émission autour de 1300 nm.
- Composants optiques: isolateurs optiques, diviseur optique (10%, 90%).
- Instruments de détection : puissance-mètre, analyseur de spectre optique, photodétecteur 8 GHz, oscilloscope 33 GHz.
- Éléments optiques fibrés à maintien de polarisation.

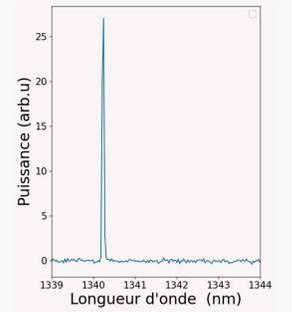
### 2.2 Stabilité du système



Courbe laser du système à boucle unique

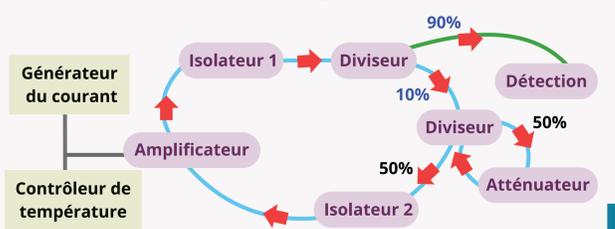
- Le laser fonctionne avec un seuil d'environ 50 mA.
- La lumière émise augmente linéairement avec le courant de la pompe.
- Le seuil reste constant lorsque l'expérience est répétée dans les mêmes conditions initiales, ce qui témoigne de la stabilité du système.

Une dynamique monomode sur une large gamme de courants de pompe est confirmée par les spectres optiques, illustrant ainsi la stabilité du système.



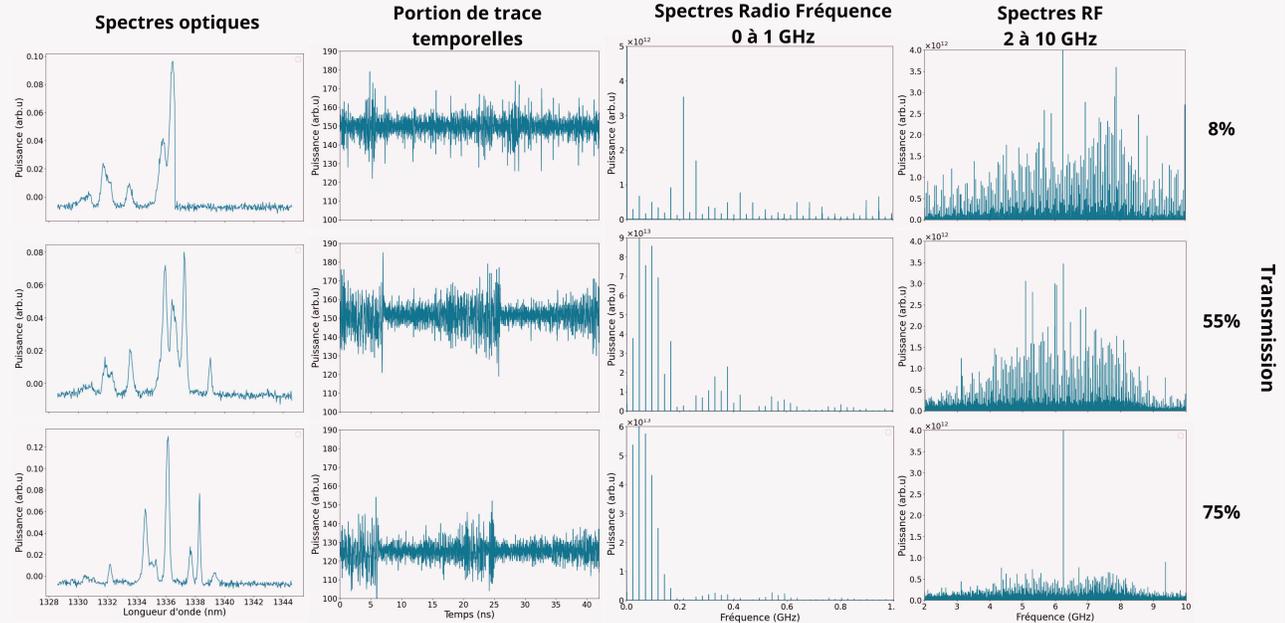
## 3. Analyse d'un laser à réseau de deux boucles

### 3.1 Configuration



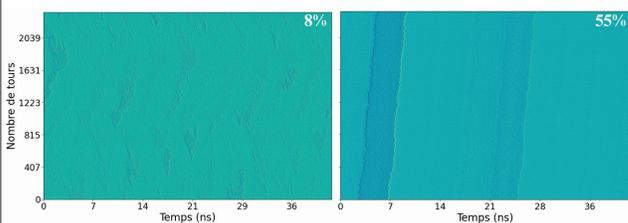
Nous conservons la même structure de base, en ajoutant une boucle supplémentaire contenant un atténuateur.

### 3.2 Etude de la dynamique du laser en fonction de la transmission dans la seconde boucle



- Cette analyse est réalisée pour une valeur de pompe constante (226,5 mA) et différentes valeurs de transmission.
- À 0 % de transmission, la dynamique est similaire à celle d'un système à boucle unique.
- À 8 % de transmission, nous observons des pics dans le spectre Radio Fréquence (ou spectre RF, étant la transformée de Fourier de l'évolution temporelle de l'intensité) se manifestant principalement entre 0 et 1 GHz, ainsi qu'une augmentation notable du signal vers 6 GHz, avec une largeur d'environ 4 GHz. Cette dynamique est caractérisée par un spectre RF quasi continu à haute fréquence.
- La dynamique à 55 % et 75 % de transmission montre des similitudes, bien que leurs spectres optiques diffèrent légèrement en termes de nombre et de valeurs de pics observés. On observe notamment une modulation du spectre RF entre 0 et 1 GHz. La période spectrale de cette modulation correspond à l'Intervalle Spectral Libre (ISL), soit la différence de fréquence entre deux modes optiques consécutifs de la cavité laser.

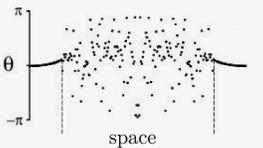
### 3.3 Analyse des diagrammes spatio-temporels



Un diagramme spatio-temporel visualise l'évolution de l'intensité laser après découpage périodique de la trace temporelle [4]. Celui de 8 % de transmission montre des structures bleutées correspondant à des régions de plus faible intensité fluctuant rapidement. Pour une transmission de 55 %, nous observons qu'une unique structure bleutée se forme ; cette structure reste localisée au cours du nombre de tours effectués dans la cavité optique.

### 3.4 Discussion et conclusion

L'étude a exploré plusieurs dynamiques dans des lasers à réseaux de fibres optiques. Le laser à deux boucles a révélé des dynamiques complexes, incluant des fluctuations localisées dans le diagramme spatio-temporel rappelant les états de "chimère" [5]. Un état de chimère apparaît lorsqu'une sous-population d'oscillateurs maintient une phase cohérente tandis qu'une autre sous-population se comporte de manière incohérente. Des pseudos états de chimères dans la phase d'un champ électrique ont déjà été mis en évidence dans des systèmes opto-électroniques à délai [6]. Pour démontrer l'existence de ces états de chimère dans notre système, nous envisageons de mettre en place une mesure hétérodyne permettant de suivre la phase du champ électrique au cours du temps. La réalisation d'un état de chimère dans un système tout-optique à délai serait, à notre connaissance, une toute première démonstration expérimentale, ouvrant des perspectives de recherche sur les interactions complexes dans les lasers à réseaux optiques et leurs applications.



Exemples d'un état chimère, montrant les régions où la phase est aléatoire et celles où les phases sont cohérentes, tiré de [5].

[1] S. Boccaletti, V. Latora, Y. Moreno, M. Chavez, and D.-U. Hwang. Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424(4-5):175–308, 2006. Accepted 27 October 2005, Available online 10 January 2006, editor: I. Procaccia.  
[2] Stefano Lepri, Cosimo Trono, and Giovanni Giacomelli. Complex active optical networks as a new laser concept. *Physical Review Letters*, 118:123901, Mar 2017. Published 21 March 2017.  
[3] Giovanni Giacomelli, Stefano Lepri, and Cosimo Trono. Optical networks as complex lasers. *Physical Review A*, 99(2):023841, 2019.  
[4] Giovanni Giacomelli and Antonio Politi. Relationship between delayed and spatially extended dynamical systems. *Physical Review Letters*, 76(15):2686–2689, April 1996. (Received 29 June 1995).  
[5] Daniel M. Abrams and Steven H. Strogatz. Chimera states for coupled oscillators. *Physical Review Letters*, 93:174102, October 2004. PACS numbers: 05.45.Xt, 89.75.Kd.  
[6] Laurent Larger, Bogdan Penkovsky, and Yuri Maistrenko. Laser chimeras as a paradigm for multistable patterns in complex systems. *Nature Communications*, 6:7752, 2015. Received 28 Nov 2014, Accepted 5 Jun 2015, Published 14 Jul 2015.