

Sylvain Barbay
Directeur de Recherche CNRS
Tel : (+33) 1 70 27 04 51
Mail : sylvain.barbay@c2n.upsaclay.fr
Web: <https://tinyurl.com/5djde3tm>

Proposition de sujet de thèse :

Dynamics and photonic computing in lattices of coupled neuromimetic microlaser neurons

Neuromorphic photonics is an expanding field of research at the heart of recent progresses in analog computation and machine learning. Its goal is to investigate new ways to process optical information or to compute using brain-inspired physical concepts.

We propose to investigate the physics and applications of coupled spiking photonic nodes implementing artificial spiking neural networks. Each node (optical neuron) is materialized by a micropillar laser with integrated saturable absorber, whose neuromimetic properties have already been explored in the team [1]. In biological neurons, information is coded with spikes (electrical pulses) which are excited in an all-or-none fashion provided input stimuli to the neuron soma exceed a given threshold. This generic property is called excitability and has been demonstrated in our team in micropillar lasers with optical spikes. Though, the optical spikes emitted by these latter are more than one millions times shorter in duration than biological action potentials. Hence, photonic neurons could in principle be interesting to build ultrafast artificial neural networks with low power consumption.

The goal of the thesis project is to explore lattices and networks of spiking microlaser neurons. These lattices exhibit peculiar properties which have been up to now studied numerically. They can sustain nonlinear propagation modes mimicking the transport of nerve impulses which can subsequently serve as the building blocks for more advanced on-chip computing photonic circuits. Using the unusual properties of the pulse collisions in such lattices, it is e.g. possible to fabricate analog temporal logical gates. Also, by coupling several photonic neurons, it is possible to build artificial neural networks with ultrafast processing capabilities.

The thesis will be mainly experimental, but the candidate is expected to be able to take part to the modeling activity which is currently undertaken in collaboration with foreign groups.

The thesis will take place in the Toniq group at the C2N, and the system will be fabricated in-house thanks to first-rank nanofabrication facility available in the laboratory.

The candidate is expected to have a strong background in physics and in photonics, with knowledge in semiconductor and laser physics. Background in nonlinear dynamics and/or nanofabrication is a plus.

Dynamique et calcul optique dans des réseaux de microlasers neuromimétiques couplés

La photonique neuromorphique est un domaine de recherche en pleine expansion, au coeur de progrès récents dans les domaines du calcul analogique et de l'apprentissage automatique hardware. Son objectif est d'étudier de nouvelles façons de traiter l'information optiquement et de remplir des tâches de calcul à l'aide de concepts physiques inspirés du cerveau.

Nous proposons d'étudier la physique et les applications de neurones photoniques artificiels à impulsions (spikes) couplés. Chaque nœud (neurone optique) est matérialisé par un micropilier laser avec absorbant saturable intégré, dont les propriétés neuromimétiques individuelles ont



déjà été explorées dans l'équipe [1]. Dans les neurones biologiques, l'information est codée avec des impulsions électriques qui sont excitées en mode tout-ou-rien selon que les stimuli d'entrée dépassent ou non un certain seuil. Cette propriété générique est appelée excitabilité et a été démontrée dans nos micropiliers lasers. Il faut noter cependant que les impulsions optiques émises par ces derniers sont plus d'un million de fois plus courts en durée que les potentiels d'action biologiques. Ainsi, les neurones photoniques pourraient en principe être intéressants pour construire des réseaux de neurones artificiels ultrarapides à faible consommation d'énergie.

L'objectif du projet de thèse est d'explorer les réseaux de neurones à base de microlasers impulsionnels couplés. Ces réseaux présentent des propriétés particulières qui n'ont jusqu'à présent été étudiées que numériquement. Ils peuvent supporter des modes de propagation non linéaires imitant le transport des impulsions nerveuses qui peuvent ensuite servir de blocs de base pour la réalisation de circuits photoniques de calcul sur puce plus avancés. En utilisant les propriétés inhabituelles des collisions d'impulsions dans de tels réseaux, il est par exemple possible de fabriquer des portes logiques temporelles analogiques. Aussi, en couplant entre eux plusieurs neurones photoniques, il est possible de fabriquer des réseaux de neurones artificiels avec des capacités de traitement ultra-rapides.

La thèse sera principalement expérimentale, mais le candidat devra pouvoir participer à l'activité de modélisation qui est actuellement menée en collaboration avec des groupes principalement à l'étranger.

La thèse se déroulera dans le groupe Toniq du C2N, et le système sera fabriqué en interne dans la centrale de nanofabrication de premier plan disponible au laboratoire.

Le candidat doit avoir une solide formation en physique et en photonique, avec des connaissances en physique des semi-conducteurs et des lasers. Une formation en dynamique non linéaire et/ou en nanofabrication est un plus.

Reference/Référence

[1] Micro-lasers for neuromorphic computing V. A. Pammi, S. Barbay, Photonics 104, 26-29 (2020) <https://doi.org/10.1051/photon/202010426>

