

Sujet thèse / PhD subject 2024

Titre Thèse	Réseau neuronal artificiel construit à l'aide de multiples modes phononiques couplés pour le calcul par réservoir	
(Co)-Directeur	Yan Pennec	E-mail : yan.pennec@univ-lille.fr
(Co)-Directeur	Xin ZHOU	E-mail : xin.zhou@iemn.fr
(Co)-Encadrant (s)		E-mail :
Laboratoire	IEMN	Web : https://www.iemn.fr/
Groupe(s)	Physique	Web : https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/physique
Projet phare (principal)	NEURO, Device	
Demande thèse labélisée IEMN (Materials ou IoT Make Sense)	Non	
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région – Autre <input type="checkbox"/> Préciser :	Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, acquis ou pas) :
Financement acquis <input checked="" type="checkbox"/> Financement partiellement acquis <input type="checkbox"/>	Contrats de Recherche <input type="checkbox"/> Préciser :	Autre <input checked="" type="checkbox"/> Préciser : allocations doctorales

Résumé du sujet :

Ces dernières années, le calcul inspiré des neurones, telle que l'informatique de réservoir, est devenue un sujet intéressant pour comprendre le fonctionnement d'un réseau de neurones artificiels et la contribution de la mémoire dynamique à la fonction de calcul. Ces questions ouvertes conduiront au développement des prochaines générations de matériel pour l'IA. Jusqu'à présent, le calcul par réservoir a été réalisée en construisant un réseau de nœuds virtuels multiplexés dans le temps et partageant un seul résonateur nanomécanique, avec une non-linéarité de Duffing classique comme source de non-linéarité [1].

Dans cette thèse, nous proposons d'étendre les résonateurs nanomécaniques simples aux modes phononiques couplés de manière paramétrique afin d'effectuer des calculs par réservoir dans les systèmes multimodes. Cette nouvelle configuration améliorera considérablement la capacité de calcul du réseau artificiel, au lieu d'utiliser la technologie actuelle des modes visuels. Les objectifs de ce travail comprennent (1) l'utilisation du simulateur multiphysique COMSOL pour concevoir des structures cristallines phononiques sur un résonateur à membrane suspendue afin d'atteindre les paramètres du facteur de qualité et de la fréquence de résonance des modes mécaniques et phononiques [2]. (2) Simulations d'un réseau de neurones artificiels construit par des modes multiples couplés de manière paramétrique, composés de modes mécaniques et phononiques. (3) Fabrication d'échantillons en salle blanche en profitant du processus qui a été bien développé par le groupe. (4) Mesure à haute fréquence du calcul par réservoir en calibrant la non-linéarité des modes couplés paramétriques, en testant la 'benchmark' à la fois dans la mesure et la simulation, en mesurant le taux d'erreur et la capacité de mémoire du réseau de neurones. L'ensemble des mesures sera effectué sur la base d'un schéma optomécanique à micro-ondes qui a été bien développé au sein de l'équipe [3].

Ce projet est hautement interdisciplinaire et permettra au doctorant de bénéficier de technologies avancées de simulation numérique, de nanofabrication et d'ingénierie des micro-ondes. Il donnera accès aux frontières du calcul inspiré des neurones, des structures phononiques et des technologies optomécaniques. L'étudiant sera fortement soutenu à la fois par les chercheurs et les ingénieurs permanents du groupe de physique et des plateformes de nanofabrication.

English

In recent years, neural-inspired computing, such as reservoir computing, has become an interesting topic for understanding how an artificial neural network works and the contribution of dynamic memory to the computational function. These open questions will lead to the development of the next generations of AI hardware. So far, reservoir computing has been achieved by constructing a network of time-multiplexed virtual nodes sharing a single nanomechanical resonator, with classical Duffing nonlinearity as the source of nonlinearity [1].

In this thesis, we propose to extend single nanomechanical resonators to parametrically coupled phonon modes in order to perform reservoir calculations in multimode systems. This new configuration will significantly improve the computational capacity of the artificial network, instead of using the current technology of visual modes. The objectives of this work include (1) the use of the COMSOL multiphysics simulator to design phononic crystal

structures on a suspended membrane resonator in order to achieve the quality factor and resonant frequency parameters of the mechanical and phononic modes [2]. (2) Simulations of an artificial neural network constructed by parametrically coupled multiple modes composed of mechanical and phononic modes. (3) (3) fabrication of samples in a clean room, taking advantage of the process that has been well developed by the group. (4) High-frequency measurement of the reservoir calculation by calibrating the non-linearity of the parametric coupled modes, testing the benchmark in both measurement and simulation, and measuring the error rate and memory capacity of the neural network. (4) High-frequency measurement of the reservoir calculation by calibrating the non-linearity of the parametric coupled modes, testing the benchmark in both measurement and simulation, and measuring the error rate and memory capacity of the neural network. The whole measurement will be performed based on a microwave optomechanical scheme which has been well developed in the team [3].

This project is highly interdisciplinary and will enable the PhD student to benefit from advanced technologies in numerical simulation, nanofabrication and microwave engineering. It will provide access to the frontiers of neural-inspired computing, phononic structures and optomechanical technologies. The student will be strongly supported by both researchers and permanent engineers from the physics group and the nanofabrication platforms.

[1] JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 124, 152132 (2018)

[2] Phys. Rev. Appl. 14, 024068 (2020)

[3] Nano Letter, 21 (13), 5738–5744 (2021)