

## PHD PROJECT

### CRYOGENIC CMOS-OxRAM NEUROMORPHIC CIRCUITS WITH SUPERCONDUCTING INTERCONNECTS

- [Laboratoire Nanotechnologies & Nanosystèmes \(IRL-LN2\)](#)
- [Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique \(3IT\)](#)
- [Institut Quantique \(IQ\)](#)
- [IQBit](#)

**Context:** The latest major breakthrough in quantum computing (QC) has been the demonstration of quantum systems with more than 50 superconducting qubits allowing quantum supremacy for the first time. Other very promising qubit technologies include spin qubits based on solid-state quantum dots (QDs). They leverage the great maturity of CMOS technologies to offer low cost and highly scalable quantum devices. Major research centers like CEA, QuTech and Intel have started to report high quality spin qubits based on advanced CMOS technologies. However, the tuning and control of QDs are still performed mostly by hand with bulky classical electronics located outside the cryostat. The absence of fully integrated cryo-electronics capable of automatically tuning the QDs makes it currently impossible to build a large-scale quantum computer due to the “wiring bottleneck” between the quantum devices and the control electronics. In that scope, a 3IT-IQBit consortium composed of 10 world-class researchers and engineers in Canada is starting an ambitious research program to develop innovative solutions to that problem. We propose a PhD project to investigate cryogenic-compatible neuromorphic circuits based on TiO<sub>2</sub> memristors (i.e. OxRAM) and CMOS circuits interconnected with superconducting materials. This CMOS-OxRAM chip will allow to implement automatic calibration methods of QDs using low power neural networks directly implemented into the cryostat.

**Research project:** In collaboration with 2 postdoc fellows, 2 PhD students and 1 Master's student, the PhD student recruited will be in charge of the fabrication of CMOS-OxRAM circuits with superconducting interconnects and the demonstration of in-memory computing in cryogenic conditions. This project will build upon the work of Pr. Dominique Drouin's group at 3IT on TiO<sub>2</sub>-based memristors and QD auto-tuning using neural networks:

- [Fully CMOS-compatible passive TiO<sub>2</sub>-based memristor crossbars for in-memory computing - ScienceDirect](#)
- [Investigation of resistive switching and transport mechanisms of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>-x memristors under cryogenic conditions \(1.5 K\): AIP Advances: Vol 10, No 2 \(scitation.org\)](#)
- [Miniaturizing neural networks for charge state autotuning in quantum dots - IOPscience](#)

Supported by the expertise of 3IT, IQBit and IQ in the fields of nanofabrication, neuromorphic engineering and cryogenic electronics, the student will have to (i) fabricate crossbar arrays of TiO<sub>2</sub>-based memristors on top of CMOS circuits with newly developed superconducting interconnects, (ii) perform the physico-chemical and morphological characterisations of the CMOS-OxRAM circuits to validate their quality, (iii) conduct in-depth electrical characterizations of the CMOS-OxRAM circuits at room and cryogenic temperatures in the Quantum Fab Lab of the IQ of UdeS, (iv) Investigate the benefits of using superconducting interconnects with regards to OxRAM switching behavior and programing precision, (v) demonstrate in-memory computing with an 8×8 OxRAM crossbar array at room and cryogenic temperatures and compare obtained accuracies.

**Supervision & work environment:** The thesis will be realized under the direction of Pr. Dominique Drouin and Pr. Serge Ecoffey within the IRL-LN2, an International Research Laboratory of the French CNRS based in Sherbrooke (QC, Canada). Pr. Fabien Alibert and Pr. Yann Beilliard will also participate in the supervision. The work will be carried out mainly at the Interdisciplinary Institute for Technological Innovation (3IT) and at the Quantum Institute (IQ) of UdeS, in close collaboration with the company IQBit. 3IT is a unique institute in Canada, specializing in the research and development of innovative technologies for energy, electronics, robotics and health. The IQ is a state-of-the-art institute whose mission is to invent the quantum technologies of tomorrow and transfer them to the industry. IQBit is a Canadian leader in QC, AI and high-performance computing. Its multidisciplinary team designs control systems, compilers and service architectures for exotic and next generation computing platforms. The student will thus benefit from an exceptional research environment that combines students, professionals, professors and industrialists working hand-in-hand to develop the future technologies for AI and QC.

#### Researched profile:

- Specialization in nanotechnology, electrical engineering, or materials science
- Strengths: knowledge in nanofabrication, resistive memories, in-memory computing, cryogenic measurements
- Excellent adaptability, autonomy, teamwork and problem solving skills
- Strong taste for design, experimental cleanroom work and interdisciplinary research and development
- Fluent in French and English

**Contacts:** [jobnano@usherbrooke.ca](mailto:jobnano@usherbrooke.ca)

**Documents to provide:** CV, transcripts of the past two years and references

## PROJECT DE DOCTORAT

### CIRCUITS NEUROMORPHIQUES CMOS-OxRAM CRYOGÉNIQUES AVEC INTERCONNEXIONS SUPRACONDUCTRICES

- [Laboratoire Nanotechnologies & Nanosystèmes \(IRL-LN2\)](#)
- [Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique \(3IT\)](#)
- [Institut Quantique \(IQ\)](#)
- [IQBit](#)

**Contexte :** La dernière grande avancée en informatique quantique a été la démonstration de systèmes comportant plus de 50 qubits supraconducteurs, montrant pour la première fois la suprématie quantique. D'autres technologies de qubits très prometteuses incluent les qubits de spin basés sur des boîtes quantiques (BQ) sur Si ou Ge. Elles tirent parti de la grande maturité des technologies CMOS pour offrir des dispositifs quantiques peu coûteux et hautement évolutifs. De grands centres de recherche comme le CEA, QuTech et Intel ont commencé à démontrer de qubits de spin de haute qualité basés sur des technologies CMOS avancées. Cependant, la calibration et le contrôle des BQ sont encore réalisés à la main avec une électronique classique encombrante située à l'extérieur du cryostat. L'absence de cryo-électronique entièrement intégrée capable de calibrer automatiquement les BQ rend actuellement impossible la construction d'un ordinateur quantique à grande échelle en raison du « goulot d'étranglement » du câblage entre les dispositifs quantiques et l'électronique de contrôle. Dans ce contexte, un consortium 3IT-IQBit composé de 10 chercheurs et ingénieurs de classe mondiale au Canada lance un ambitieux programme de recherche pour adresser ce problème. Nous proposons un projet de doctorat visant à étudier des circuits neuromorphiques compatibles avec les conditions cryogéniques, basés sur des memristors  $\text{TiO}_2$  (c'est-à-dire OxRAM) et des circuits CMOS interconnectés avec des matériaux supraconducteurs. Cette puce CMOS-OxRAM permettra d'implémenter des méthodes de calibration automatique de BQ en utilisant des réseaux neuronaux de faible puissance directement situés dans le cryostat.

**Sujet :** En collaboration avec 2 postdocs, 2 personnes en doctorat et 1 en Maîtrise, la personne recrutée sera en charge de la fabrication de circuits CMOS-OxRAM avec des interconnexions supraconductrices et de la démonstration de calcul en mémoire en conditions cryogéniques. Ce projet s'appuiera sur les travaux suivants du groupe du Pr. Dominique Drouin au 3IT :

- [Fully CMOS-compatible passive  \$\text{TiO}\_2\$ -based memristor crossbars for in-memory computing - ScienceDirect](#)
- [Investigation of resistive switching and transport mechanisms of  \$\text{Al}\_2\text{O}\_3/\text{TiO}\_2-x\$  memristors under cryogenic conditions \(1.5 K\): AIP Advances: Vol 10, No 2 \(scitation.org\)](#)
- [Miniaturizing neural networks for charge state autotuning in quantum dots - IOPscience](#)

Soutenue par l'expertise du 3IT, de IQBit et de l'IQ dans les domaines de la nanofabrication, de l'ingénierie neuromorphique et de l'électronique cryogénique, la personne en doctorat devra (i) fabriquer des memristors  $\text{TiO}_2$  sur des circuits CMOS avec des interconnexions supraconductrices, (ii) effectuer les caractérisations physico-chimiques et morphologiques des circuits CMOS-OxRAM afin de valider leur qualité, (iii) conduire des caractérisations électriques des circuits CMOS-OxRAM à température ambiante et cryogénique dans le Quantum Fab Lab de l'IQ de l'UdeS, (iv) étudier les avantages apportés par les interconnexions supraconductrices en ce qui concerne le comportement et la précision de programmation des memristors, (v) démontrer le calcul en mémoire avec un réseau de  $8 \times 8$  memristors à température ambiante et cryogénique et comparer les performances obtenues.

**Environnement de travail :** La thèse sera réalisée sous la co-direction des Professeurs Dominique Drouin et Serge Ecoffey au sein de L'IRT-LN2, un « International Research Laboratory » du CNRS entre la France et le Québec. Pr. Fabien Alibert et Pr. Yann Beilliard participeront à l'encadrement en nanofabrication et ingénierie neuromorphique. Le travail sera effectué principalement à l'Institut Interdisciplinaire d'Innovation Technologique (3IT) et à l'Institut Quantique (IQ) de l'UdeS, en collaboration étroite avec l'entreprise IQBit. Le 3IT est un institut unique au Canada, spécialisé dans la recherche et le développement de technologies innovantes pour l'énergie, l'électronique, la robotique et la santé. L'IQ est un institut de pointe ayant pour mission d'inventer les technologies quantiques de demain et de les transférer en milieu industriel. IQBit est un leader canadien dans le domaine du CQ, de l'IA et de l'informatique de haute performance. Son équipe multidisciplinaire conçoit des systèmes de contrôle, des compilateurs et des architectures de services pour les plateformes informatiques exotiques et de nouvelle génération. L'étudiant(e) bénéficiera ainsi d'un environnement de recherche exceptionnel où le personnel étudiant, professionnel, professoral et industriel travaillent main dans la main pour développer les technologies futures de l'IA et du CQ.

#### Profil recherché :

- Spécialisation en nanotechnologie, génie électrique ou science des matériaux
- Atouts : connaissances en nanofabrication, mémoires résistives, calcul en mémoire, mesures cryogéniques
- Forte capacité d'adaptation, d'autonomie, de travail en équipe et de résolution de problèmes
- Goût prononcé pour la conception, le travail expérimental en salle blanche, la R&D interdisciplinaire
- Français et anglais courant

**Contacts :** [jobnano@usherbrooke.ca](mailto:jobnano@usherbrooke.ca) - **Documents à fournir :** CV, relevés de notes des 2 dernières années et références