



Master internship proposal

Topic: Verification of quantum computation by randomized measurements

Group: [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC\), Grenoble](#)

Supervisor: [Benoît Vermersch](#)

Contact: benoit.vermersch@lpmmc.cnrs.fr
<https://bvermersch.github.io/>

Summary

Synthetic quantum systems of Rydberg atoms, trapped ions, superconducting qubits, quantum dots, etc, have reached a new era: Programmable coherent interactions can be implemented between tens of particles, and in highly tunable geometries. These systems can be used as *quantum simulators* to understand unique features of quantum phases of condensed matter or high-energy physics [1]. Synthetic quantum systems can also implement *quantum computers*. These devices offer the prospect to outperform classical computers, in particular to solve “hard” classical optimization problems [2].

A central aspect for the future of quantum simulation and computation is the development of experimental tools to probe a new generation of many-body quantum states, *which could not be realized so far*. While standard measurement techniques give typically access to low-order correlation functions, accessing experimentally true quantum features, such as entanglement, was considered for many years as an outstanding challenge for quantum technologies. Recently, we have developed and demonstrated protocols known as *randomized measurements* (RM) [3,4], that have the potential to address this challenge.

The internship consists in implementing a verification protocol for quantum computers based on measuring the fidelity between two quantum states produced in two different devices [5]. This will be achieved by a numerical script, written in Python, that will allow us to interact with two IBM quantum devices. The goal will be to assess the fidelity of both devices, write a theory model to account for errors, and develop strategies for error mitigation. The code may be made publicly available and could be used in the future to benchmark other quantum systems.

This internship can be followed by a PhD thesis.

References

- [1] I. M. Georgescu, S. Ashhab, and F. Nori. “Quantum simulation”. *Rev. Mod. Phys.* 86 (2014), pp. 153–185.
- [2] J. Preskill. “Quantum Computing in the NISQ era and beyond”. *Quantum* 2 (2018), p. 79 .
- [3] A. Elben, B. Vermersch, M. Dalmonte, J. I. Cirac, and P. Zoller. “Rényi Entropies from Random Quenches in Atomic Hubbard and Spin Models”. *Physical Review Letters* 120, 5 (2018).
- [4] T. Brydges, A. Elben, P. Jurcevic, B. Vermersch, C. Maier, B. P. Lanyon, P. Zoller, R. Blatt, and C. F. Roos. “Probing Rényi entanglement entropy via randomized measurements”. *Science* 364,6437 (2019), pp. 260–263.
- [5] Andreas Elben, Benoît Vermersch, Rick van Bijnen, Christian Kokail, Tiff Brydges, Christine Maier, Manoj K. Joshi, Rainer Blatt, Christian F. Roos, and Peter Zoller. *Phys. Rev. Lett.* **124**, 010504 (2020).

Sujet de stage Master-2

Sujet : Protocoles de vérification pour ordinateurs quantiques

Groupe : [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC\), Grenoble](#)

Encadrant : [Benoît Vermersch](#)

Contact : benoit.vermersch@lpmmc.cnrs.fr
<https://bvermersch.github.io/>

Résumé

Les systèmes quantiques d'atomes de Rydberg, d'ions piégés, qubits supraconducteurs, boîtes quantiques, etc, sont rentrés dans une nouvelle ère : des interactions cohérentes peuvent être programmées entre des dizaines de particules et dans des géométries arbitraires. Ces systèmes peuvent être utilisés comme simulateurs quantiques afin de mieux comprendre la physique de la matière condensée ou encore de la physique des hautes énergies [1]. Ces systèmes quantiques peuvent aussi servir de constituants pour former des ordinateurs quantiques . De tels ordinateurs offrent la perspective de pouvoir dépasser fondamentalement en termes de performance les ordinateurs classiques, en particulier pour les problèmes d'optimisation [2].

Un aspect crucial pour le futur des simulateurs et ordinateurs quantiques est le développement d'outils expérimentaux qui permettent de mesurer une toute nouvelle génération d'états quantiques. Alors que les outils de mesure "standards" donnent accès à des fonctions de corrélations "simples", la mesure de propriétés quantiques importantes, telle que l'intrication, requiert de nouvelles méthodes. Dans ce contexte, nous avons développé et démontré expérimentalement une nouvelle famille de protocoles : "les mesures aléatoires" [3,4].

Le stage consiste à implémenter un protocole de vérification pour ordinateurs quantiques qui se fonde sur la mesure de la fidélité entre deux états quantiques (préparés dans deux ordinateurs quantiques différents)[5]. Le protocole sera mis en place sous la forme d'un script numérique Python qui - via l'interface Qiskit - permettra d'interagir avec deux ordinateurs quantiques IBM. Le but sera de mesurer la performance des deux ordinateurs quantiques, d'établir des modèles théoriques pour comprendre les erreurs et développer des approches de réduction d'erreur (error mitigation). Le code pourra être rendu accessible en ligne et utilisé pour vérifier d'autres ordinateurs quantiques.

Le stage peut se poursuivre par une thèse.

Références

- [1] I. M. Georgescu, S. Ashhab, and F. Nori. "Quantum simulation". *Rev. Mod. Phys.* 86 (2014), pp. 153–185.
- [2] J. Preskill. "Quantum Computing in the NISQ era and beyond". *Quantum* 2 (2018), p. 79 .
- [3] A. Elben, B. Vermersch, M. Dalmonte, J. I. Cirac, and P. Zoller. "Rényi Entropies from Random Quenches in Atomic Hubbard and Spin Models". *Physical Review Letters* 120, 5 (2018).
- [4] T. Brydges, A. Elben, P. Jurcevic, B. Vermersch, C. Maier, B. P. Lanyon, P. Zoller, R. Blatt, and C. F. Roos. "Probing Rényi entanglement entropy via randomized measurements". *Science* 364,6437 (2019), pp. 260–263.
- [5] Andreas Elben, Benoît Vermersch, Rick van Bijnen, Christian Kokail, Tiff Brydges, Christine Maier, Manoj K. Joshi, Rainer Blatt, Christian F. Roos, and Peter Zoller. *Phys. Rev. Lett.* **124**, 010504 (2020).