

## Master internship proposal

**Topic:** Randomized measurement protocols for quantum simulators and quantum computers

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

**Supervisor:** [Benoît Vermersch](#)

**Contact:** [benoit.vermersch@lpmmc.cnrs.fr](mailto: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 first RM protocols [3,4] provide an experimental recipe to measure the second Rényi entanglement entropy. The goal of this theoretical internship is to develop new RM protocols to access other quantities related to entanglement, such as the von-Neumann entanglement entropy and/or entanglement negativities. The project will first consist in an analytical work to derive the protocols, and then in a numerical benchmarking. The intern may also interact with various experimental groups in order to assimilate different experimental constraints underlying the implementation of randomized measurements.

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.

## Sujet de stage Master-2

**Sujet :** Protocoles de mesures aléatoires pour simulateurs et ordinateurs quantiques

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

**Encadrant :** [Benoît Vermersch](#)

**Contact :** [benoit.vermersch@lpmmc.cnrs.fr](mailto: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].

Nos premiers protocoles de mesures aléatoires [3,4] permettent de mesurer la seconde entropie de Rényi. Le but de ce stage théorique est de développer de nouvelles approches pour mesurer d'autres quantités liées à l'intrication comme l'entropie von-Neumann, ou la négativité d'intrication. Le projet consistera tout d'abord en un travail analytique permettant de mettre au point les protocoles, puis en une étape de validation par des simulations numériques. Le stagiaire sera également amené à interagir avec des équipes expérimentales pour assimiler différentes contraintes et enjeux liés à la réalisation pratique de mesures aléatoires.

Ce stage peut se prolonger vers une thèse de doctorat.

### 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.