

OFFRE de THESE Automne 2017

Étude théorique et expérimentale de l'intrication à grande dimension dans les algorithmes et les protocoles de communication quantiques

Laboratoire	FEMTO-ST
Établissement d'accueil	Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, membre de l'Université Bourgogne Franche-Comté
École doctorale de rattachement	ED Sciences Pour l'Ingénieur et Microtechnique -ED37
Domaine	Science pour l'ingénieur
Spécialité	Mathématiques appliquées
Mots clés	Information quantique, intrication, modélisation des systèmes intriqués, algorithmes quantiques, manipulation d'états quantiques dans le domaine fréquentiel
Type de contrat	Contrat doctoral UTBM avec financement de la région Bourgogne France-Comté (sous réserve d'acceptation) Avenant Enseignement UTBM possible
Durée	3 ans à partir d'octobre 2017
Directeur et encadrement	J.-M. Merolla, CR1, HDR (50%) F. Holweck, MCF (50%)

Contexte:

Depuis la publication des articles de Shor [1] et Grover [2] nous savons qu'il existe des algorithmes quantiques qui surclassent leurs homologues classiques. En particulier l'algorithme de Shor factorise en temps polynomial les grands nombres ce qui a pour conséquence de casser le cryptosystème RSA sur lequel s'appuie beaucoup de système de sécurité informatique. Le phénomène quantique d'intrication, i.e. la possibilité que des parties (particules) distinctes d'un système soient corrélées au-delà des capacités classiques, est reconnue comme une des ressources centrales responsable des performances des algorithmes quantiques. Mais le rôle et la nature de cette intrication au cœur des algorithmes ou plus généralement au niveau des

communications quantiques, sont encore mal compris. Récemment des études numériques ont été conduites [3,4] sur des algorithmes particuliers mais cette approche ne fournit pas d'explication des phénomènes observés.

On propose d'étudier dans cette thèse l'intrication présente dans les algorithmes quantiques à l'aide d'une modélisation géométrique de l'intrication dans les systèmes multipartites purs à quelques composants [5,6,7,8].

Objectifs :

A partir d'une modélisation mathématique originale basée sur des concepts issus de la géométrie algébrique, ce travail devrait permettre de :

1) mieux comprendre, qualitativement, la nature des états intriqués présents dans les algorithmes quantiques connus (Shor, Grover) mais aussi dans des protocoles de communications quantiques (codes-correcteur d'erreur) dans l'esprit de [9].

2) Construire des outils nouveaux pour comprendre l'intrication dans des grands systèmes et préparer ainsi une déclinaison expérimentale de ce travail. C'est dans ce cadre que le candidat sera amené à proposer une architecture dans le domaine fréquentiel permettant la création et la manipulation de qubits dans un espace à grande dimension.

3) Au-delà de la manipulation de qubits et de la description de leur intrication, ce travail s'attachera à explorer la généralisation des outils mathématiques aux qudits, c'est-à-dire des objets de dimension supérieures à deux. Une démonstration expérimentale sera alors envisagée en utilisant un banc photonique développé dans le cadre du projet PHYFA.

Profil candidature :

Le sujet proposé s'inscrit dans la thématique Information Quantique. Les candidats titulaires d'un master (mathématiques appliquées, informatique, physique) ou bien titulaire d'un diplôme d'ingénieur (informatique, optique) sont invités à candidater.

Dossier de candidature :

Le/La candidat-e fournira un dossier comportant l'ensemble des notes obtenues lors de son cursus universitaire en Master ou en école d'ingénieur, un curriculum vitae, ainsi qu'une lettre de motivation. Une audition sera organisée pour les candidatures retenues.

Contact :

Frédéric Holweck,
UTBM, 90000 Belfort, 03 84 58 34 18, frederic.holweck@utbm.fr

Bibliographie :

- [1] Shor, P. W. (1999). Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. *SIAM review*, 41(2), 303-332.
- [2] Grover, L. K. (1996, July). A fast quantum mechanical algorithm for database search. In *Proceedings of the twenty-eighth annual ACM symposium on Theory of computing* (pp. 212-219). ACM.
- [3] Rossi, M., Bruß, D., & Macchiavello, C. (2013). Scale invariance of entanglement dynamics in Grover's quantum search algorithm. *Physical Review A*, 87(2), 022331.
- [4] Batle, J., Ooi, C. R., Farouk, A., Alkhambashi, M. S., & Abdalla, S. (2016). Global versus local quantum correlations in the Grover search algorithm. *Quantum Information Processing*, 15(2), 833-849.
- [5] Holweck, F., Luque, J. G., & Thibon, J. Y. (2012). Geometric descriptions of entangled states by auxiliary varieties. *Journal of Mathematical Physics*, 53(10), 102203.
- [6] Holweck, F., Luque, J. G., & Thibon, J. Y. (2014). Entanglement of four qubit systems: A geometric atlas with polynomial compass I (the finite world). *Journal of Mathematical Physics*, 55(1), 012202.
- [7] Holweck, F., Luque, J. G., & Planat, M. (2014). Singularity of type D4 arising from four-qubit systems. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 47(13), 135301.
- [8] Lévy, P., & Holweck, F. (2015). Embedding qubits into fermionic Fock space: Peculiarities of the four-qubit case. *Physical Review D*, 91(12), 125029.
- [9] Holweck F., Jaffali H., & Nounouh Ismael (2016). Grover's algorithm and the Secant varieties. A paraître dans *Quantum Information Processing*