



Sujet de Stage

Titre: Mise en œuvre et expérimentations du calcul quantique par mesures

Contexte:

Que ce soit pour des applications industrielles ou scientifiques, l'algorithmique classique ne permet pas toujours d'apporter des réponses pratiques pour de très nombreux problèmes de calcul en raison de leur complexité. Ces problèmes sont par exemple : les diverses techniques d'optimisation pour l'IA ou la logistique, la résolution de satisfiabilité en logique pour de la planification, la résolution d'équations en algèbre, la factorisation de nombres en cryptographie...

Les développements récents des technologies en informatique quantique laissent entrevoir des progrès pour la résolution de ces problèmes. Cependant, les applications pratiques de l'informatique quantique sur ces applications industrielles sont jusqu'à présent limitées. Une des raisons principales est que les dispositifs quantiques existants ou à venir sont imparfaits (Noisy Intermediate Scale Quantum). Ainsi, nombre d'algorithmes quantiques ne peuvent pas en pratique fonctionner sur ces dispositifs imparfaits. Dans ce contexte, la mise œuvre d'algorithmes quantiques doit donc prendre en compte cet état de fait.

Une adaptation dans la mise en œuvre des algorithmes quantiques pour que ceux-ci deviennent applicables dans ce contexte est de s'appuyer sur une propriété du calcul quantique par mesures (MBQC) [1]. Dans ce modèle de calcul, un grand état intriqué (cluster state) représenté par un graphe, une grille par exemple, est initialement préparé. Ensuite, les portes quantiques sont simulées par des enchainements particuliers de mesures locales sur un qubit. Les mesures à effectuer à chaque étape sont conditionnées par les résultats des mesures précédentes dans la séquence. L'aléas, inhérent au calcul quantique, de chaque mesure peut être corrigé à l'issue de la séquence de mesures. Le modèle MBQC permet la mise en œuvre d'un modèle de calcul équivalent au calcul standard avec les circuits. On notera que des propositions de traduction d'un modèle à l'autre ont été récemment proposées [5].

Dans ce modèle de calcul, le support de l'information change après chaque mesure. Cela ouvre ainsi l'opportunité de mettre en œuvre une architecture de calcul utilisant un nombre limité de qubits qui sont utilisés « en boucle » : les qubits utilisés (mesurés) sont recyclés (réinitialisation) et le calcul est transféré d'un qubit à un autre avant la décohérence de l'état.

Ce stage sera réalisé en collaboration scientifique avec Mehdi Mhalla (LIG-CNRS).

Objectif:

Ce stage aura pour objectif de mettre en œuvre un prototype de cette architecture de calcul sur du matériel simulé. Plusieurs aspects et alternatives de mise en œuvre des principes du MBQC seront explorés durant ce stage. Par exemple, on remarquera que le MBQC peut se faire à partir de différentes structures de graphes. Dans [3], il a été notamment montré qu'une grille triangulaire, en faisant toutes les mesures dans le plan X-Z, est suffisante. Une description du MBQC sur des états graphes et de la manière de « corriger » chaque mesure pour avoir un transfert d'information déterministe entre les qubits d'input et les qubits d'output a été décrite avec une notion de gflow [7] et peut être trouvée de manière efficace [2]. Un autre aspect à explorer sera de comprendre comment mettre en œuvre les mécanismes de corrections pour rendre ce modèle de calcul par mesures robuste aux bruits [6] [8] [4].



Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Institut List | CEA Saclay bâtiment 565- PC 65-91191 Gif-sur-Yvette
Cedex

T. +33 1 01 69 08 98 20

www-list.cea.fr

Établissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

DRT/LIST/UAF



- [1] R. Raussendorf, D.E Browne and H.J. Briegel "Measurement-based quantum computation with cluster-states" 10.1103/PhysRevA.68.022312 2003 [hKps://arxiv.org/pdf/1006.2616.pdf](https://arxiv.org/pdf/1006.2616.pdf)
- [2] M. Mhalla and S. Perdrix "Finding Optimal Flows Efficiently" ICALP (1) 2008: 857-868, 2008
- [3] M. Mhalla and S. Perdrix. "Graph States, Pivot Minor, and universality of (X-Z) Measurements. IJUC 9 (1-2) : 153-171, 2013
- [4]J. Brown and Sam Roberts, "Universal fault-tolerant measurement-based quantum computation" <https://arxiv.org/pdf/1811.11780.pdf>
- [5]Miriam Backens, et al., "There and back again: A circuit extraction tale" <https://arxiv.org/pdf/2003.01664.pdf>
- [6] R. Raussendorf, J. Harrington and K. Goyal "A fault-tolerant one-way quantum computer" <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0510135.pdf>
- [7] Mehdi Mhalla, Mio Murao, Simon Perdrix, Masato Someya, and Peter S. Turner, "Which graph states are useful for quantum information processing?"
- [8] R. Raussendorf, J. Harrington, "Fault-tolerant quantum computation with high threshold in two dimensions", 2007.

Compétences : Etudiant(e) Master 2 en informatique et/ou mathématiques ou école d'ingénieurs.

Domaine de spécialité requis : Information et calcul quantique

Autres domaines de spécialités, mots clés :

- Optimisation combinatoire
- Algèbre linéaire
- Complexité algorithmique

Moyens mis en œuvre (expériences, méthodes d'analyses, autres...) : Voir « Moyens informatiques mis en œuvre »

Moyens informatiques mis en œuvre :

Langages: Python,
Environnements : Qiskit, myQLM

Niveau souhaité : Bac + 5

Durée: 6 mois

Formation souhaitée : Ingénieur/Master

Possibilité de poursuite en thèse : Oui

Lieu du stage : CEA, Centre de Grenoble, 17 rue des Martyrs 38054 GRENOBLE Cedex 9

Contacts : Florian NOYRIT (florian.noyrit@cea.fr) +33 4 38 78 45 77