

Offre de stage 6 mois
M2 ou dernière année école d'ingénieurs
(Possibilité de poursuite en thèse)

Calcul quantique pour la résolution de systèmes linéaires et l'optimisation

La suprématie quantique, ou capacité d'un ordinateur quantique à effectuer certaines tâches complexes inenvisageables avec un ordinateur classique, n'a été démontrée en pratique que depuis moins de dix ans. Cependant, cela ne confère pas encore à ces machines l'avantage quantique, c'est-à-dire la capacité de réaliser rapidement des tâches considérées comme utiles pour les activités humaines [1].

La résolution de systèmes linéaires et l'optimisation constituent des tâches extrêmement classiques d'apprentissage automatique (machine learning) et plus largement de l'ingénierie. Elles continuent cependant à être activement étudiées (voir e.g. [2]-[3] et références), avec notamment la recherche de solutions de complexité réduite pour pouvoir traiter des problèmes de taille croissante.

Dans ce stage, on s'intéressera à ces problèmes classiques et on fera un point sur l'état de l'art de la résolution des systèmes linéaires et de techniques d'optimisation usuelles. On réalisera cet exercice pour les approches classiques ainsi que pour les algorithmes quantiques qui visent à exécuter ces mêmes tâches sur des ordinateurs quantiques. L'étude bibliographique constituera donc un aspect important du stage. Ainsi, dans le domaine de la résolution quantique des systèmes linéaires, on pourra s'intéresser à l'algorithme HHL [4]-[5] et à ses évolutions [6]-[7]. Concernant l'optimisation on commencera par envisager les algorithmes de descente quantique pour l'optimisation qui font l'objet de recherches actives [8].

Du point de vue des applications, on pourra considérer le problème de l'optimisation du placement d'un ensemble de capteurs, en commençant par des approches d'optimisation convexe simples [9].

On pourra expérimenter la mise en œuvre des méthodes classiques avec les langages Python [10] ou Julia [11]. Pour le test des méthodes quantiques on pourra utiliser le langage Qiskit [12] qui permet notamment la connexion avec de réelles machines quantiques, ou d'autres outils.

Il est attendu du candidat, en fin de cycle de master ou d'école d'ingénieur, possède une certaine familiarité avec les méthodes d'analyse numérique classiques, et en particulier les principes et l'implémentation des techniques de résolution des systèmes linéaires et des problèmes d'optimisation. Des bases de mécanique quantique et de calcul quantique seraient appréciables mais non indispensables pour démarrer le stage.

Environnement

Le stage sera encadré par les personnes suivantes

- Abdel Boudraa, Professeur à l'École Navale (boudra@ecole-navale.fr)
- Thierry Chonavel, Professeur à IMT-Atlantique (thierry.chonavel@imt-atlantique.fr)
- Franck Florin, Chercheur à Thales Group (franck.florin@thalesgroup.com)

Le stage sera localisé à l'École Navale¹ et réalisé conjointement avec l'IMT Atlantique, campus de Brest²

Profil: étudiant en master M2 de Physique ou école d'ingénieur ou en Mathématiques appliquées avec un intérêt pour les applications à la physique.

Indemnité de stage : 650 €

Possibilité de logement gratuit sur à l'école navale (sous réserve de disponibilité).

Restauration sur place (prise en charge partielle par l'employeur).

NB: Possibilité de poursuite en thèse de doctorat.

Références

[1] Lin Lin, Quantum Linear Algebra, *CAMS colloquium*,

<https://www.youtube.com/watch?v=IA2talTibBc>

[2] Wikipedia, Kaczmarz method, https://en.wikipedia.org/wiki/Kaczmarz_method

[3] Wikipedia, Conjugate gradient method,

https://en.wikipedia.org/wiki/Conjugate_gradient_method

[4] A.W. Harrow, A. Hassidim, S. Lloyd, Quantum algorithm for solving linear systems of equations, *Phys. Rev. Lett*, 2009,

<https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.103.150502>

[5] HHL algorithm, https://en.wikipedia.org/wiki/HHL_algorithm

[6] G.H. Low, Guang, I.L. Chuang, Optimal Hamiltonian Simulation by Quantum Signal Processing, *Phys. Rev. Lett*, 2017,

<https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.118.010501>

¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/École_navale

² <https://www.imt-atlantique.fr/fr/l-ecole/campus/campus-de-brest>

- [7] M. Zheng & al., An early investigation of the HHL quantum linear solver for scientific applications, 2024, <https://arxiv.org/pdf/2404.19067>
- [8] R. Chen, S.H. Hou, C. Guo, G. Feng, Pure quantum gradient descent algorithm and full quantum eigensolver, *Front. Phys.* **19**, 21202 (2024)., <https://arxiv.org/pdf/2305.04198>
- [9] S Joshi, S. Boyd, Sensor selection via convex optimization, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 57(2):451-462, February 2009, https://web.stanford.edu/~boyd/papers/pdf/sensor_selection.pdf
- [10] Python, <https://www.python.org>
- [11] Julia, <https://julialang.org>
- [12] Qiskit, <https://www.ibm.com/quantum/qiskit>