

Informatique quantique théorique

Cours

Titre : Informatique quantique théorique
Sigle : PHY-732
Crédits : 3

Chargé

Nom : Guillaume Duclos-Cianci
Bureau : D3-2044
Courriel : guillaume.duclos-cianci@usherbrooke.ca

Place du cours dans le programme

Type de cours : Optionnel
Cour prérequis : PHQ-330, PHQ-430

Charge de travail hebdomadaire

3 heures – exposés magistraux
2 heures – lectures des notes de cours
4 heures – réaliser les devoirs
À compter du **23 mars**, le cours passera en lectures dirigées, voir détails ci-après

Mise en contexte

L'information est physique disait R. Landauer ; il ne peut y avoir d'information sans système physique pour la contenir. Cette indissociabilité du contenu et du contenant a des répercussions physiques importantes. Par exemple, elle permet de résoudre l'énigme du démon de Maxwell en thermodynamique à l'aide d'arguments de la théorie de l'information. En contrepartie, cette indissociabilité suggère aussi que les lois de la physique doivent encadrer les principes informatiques. Puisque les lois de la nature sont fondamentalement quantiques, il s'ensuit que les règles régissant le traitement de l'information doivent être dictées par la mécanique quantique. Au cours des dernières décennies, de nombreuses expériences ont démontré la possibilité de contrôler des systèmes quantiques individuels de façon cohérente. Cet exploit fut d'ailleurs souligné par l'attribution du prix Nobel en 2012.

L'informatique quantique vise d'abord à comprendre et exploiter les possibilités offertes par la mécanique quantique à des fins de traitement de l'information. Il est maintenant bien établi qu'en principe, la communication réalisée à partir de l'échange de particules quantiques permet d'accomplir certaines tâches qui sont impossibles dans un monde classique. De même, un ordinateur pouvant exploiter le principe de superposition permet en principe

d'accomplir certains calculs beaucoup plus rapidement que ce que nous croyons être possible avec un ordinateur classique. Ces avantages peuvent être attribués au principe de superposition quantique et à l'existence d'intrication quantique.

Objectifs

Acquérir une connaissance approfondie des principaux sujets de l'informatique quantique théoriques.

Maîtriser les concepts qui s'y rattachent et comprendre leur formalisme.

Contenu

Tolérance aux fautes, modèles théoriques du calcul quantique, complexité du calcul, théorie quantique de l'information.

Objectifs spécifiques

À la fin de ce cours, pour atteindre les objectifs, l'étudiant devra être capable de :

- Maîtriser les concepts fondamentaux de la tolérance aux fautes, savoir analyser le seuil d'un protocole tolérant aux fautes.
- Décrire les différents modèles théoriques de calcul quantique et savoir démontrer leur équivalence
- Connaître les classes de complexités liées au calcul quantique, savoir démontrer l'appartenance et la complétude d'un problème pour ces classes.
- Comprendre les différentes notions de capacité d'un canal quantique et connaître les formules entropiques qui s'y rattachent. Pouvoir démontrer la validité de ces formules dans des cas simples.

Méthode pédagogique

La méthode pédagogique utilisée sera principalement un exposé magistral théorique parsemé d'exercices ou de discussions.

À compter du **23 mars**, le cours passera en lectures dirigées. Cela comprendra une rencontre individuelle hebdomadaire (à distance) de 30 mins. Les lectures à faire sont détaillées ci-bas à la section « contenu détaillé ».

Évaluation

Pondération: Devoirs 30%, Intra 30%, Final 40%.

- **Devoirs** : Il y aura un devoir par chapitre, pour un total de quatre devoirs. Dans la mesure du raisonnable, il vous seront remis en début de chapitre.

- **Date de l'examen intratrimestriel** : elle sera fixée par la Faculté des sciences et vous sera communiquée au cours de la session.
- **Date de l'examen final** : Examen maison d'une durée de trois heures. Il est prévu que l'examen ait lieu le mercredi 29 avril à 9h, mais, au besoin, pourrait être repoussé au mercredi 6 mai à 9h.
- **Critères d'évaluation** : les devoirs et les examens consistent de problèmes à résoudre en se basant sur les concepts généraux appris en classe et de démonstrations formelles d'énoncés. Les réponses sont évaluées selon la façon de formuler le problème mathématiquement, l'exactitude de l'analyse et la validité de l'interprétation. Les preuves seront évaluées selon la validité et la simplicité du raisonnement et l'exactitude de l'analyse.

Contenu détaillé

Entre trois et quatre semaines allouées pour chacun des quatre sujets, pour un total de 15 semaines de cours.

- **Tolérance aux fautes** : formalisme stabilisateur, mesure de syndromes, portes transverses, seuil d'erreur, distillation d'états magiques, compilation de portes.
- **Modèles de calcul quantique** : circuits, calcul quantique adiabatique, calcul quantique topologique, calcul par mesures.
- **Semaine du 23 mars** : Lecture du chapitre 2 des notes de John Preskill en entier
- **Semaine du 30 mars** : Lecture du chapitre 3 des notes de John Preskill, sections 3.1 à 3.5 inclusivement
- **Semaine du 6 avril** : Lecture du chapitre 5 des notes de John Preskill en entier
- **Semaine du 13 avril** : Lecture du chapitre 10 des notes de John Preskill, sections 10.1 à 10.5 inclusivement

Bibliographie

1. J. Preskill, Lecture notes on quantum computation, disponible à l'adresse <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229/>
2. M.A. Nielsen et I.L. Chuang, Quantum computation and quantum information, Cambridge University Press, 2000 [QA 76.889 N54].
3. D.A. Lidar et T.A. Brun, Quantum Error Correction, Cambridge University Press, 2013.
4. N.D. Mermin, Quantum computer science: an introduction, Cambridge University Press, New York, 2007 [QA 76.889 M47].
5. U. Vazirani, Lecture notes on quantum computation, disponible à l'adresse people.eecs.berkeley.edu/~vazirani/f04quantum/quantum.html
6. J. Watrous, Quantum Computational Complexity, Springer Encyclopedia of Complexity and Systems Science, disponible sur arxiv.org/abs/0804.3401v1

7. A. Yu. Kitaev, A.H. Shen et M.N. Vyalyi, Classical and quantum computation, American Mathematical Society, 2002.
8. D.E. Browne et H.J. Briegel, One-way Quantum Computation — a tutorial introduction, disponible sur arxiv.org/abs/quant-ph/0603226.
9. J. Kempe, A. Yu. Kitaev, Alexei et O. Regev, The Complexity of the Local Hamiltonian Problem,SIAM Journal on Computing 35 (5): 1070–1097 (2006), disponible sur arxiv.org/abs/quant-ph/0406180