

Baccalauréat en physique

INFORMATION ET CALCUL QUANTIQUE

Cours

Titre :	Information et Calcul Quantique	Professeur :	Baptiste Royer
Sigle :	PHQ 637 & PHY 737	Bureau :	D9 - 2017
Crédits :	3	Courriel :	baptiste.royer@usherbrooke.ca
Travail personnel :	5 heures/sem.	Auxiliaire :	

Place du cours dans le programme

Type de cours :	Optionnel
Cours préalables :	PHQ 330 PHQ 430

Horaire	Local	
Mardi :	10h30 à 12h20	D3-2031
Jeudi :	13h30 à 15h20	D3-2033
Séances d'exercices :	Deuxième heure jeudi (sujet à changement)	

1 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'en suit 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, un exploit qui a été souligné par l'attribution du prix Nobel de physique en 2012.

L'informatique quantique vise d'abord à comprendre et exploiter les possibilités offertes par la mécanique quantique à des fins de traitement d'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 et l'intrication permet, en principe, d'accomplir certains calculs beaucoup plus rapidement que ce que nous croyons être possibles avec un ordinateur classique. Ces avantages peuvent être attribués au principe de superposition quantique et à l'intrication quantique.

2 Objectifs

Acquérir une connaissance du formalisme et des outils de l'informatique quantique. Comprendre les principaux avantages offerts par le contrôle cohérent des systèmes quantiques à des fins de communication et de calcul. Comprendre les principes de base de la correction d'erreur quantique. Se familiariser avec quelques dispositifs de traitement de l'information quantique.

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

- Utiliser le formalisme mathématique de l'information quantique et expliquer l'interprétation physique des concepts auxquels il se rattache ;
- Comprendre le fonctionnement de certains protocoles de communication quantique ;
- Comprendre les algorithmes quantiques tel que celui de Shor et de Grover ; être capable d'analyser leur fonctionnement ;
- Comprendre les idées essentielles et le fonctionnement des codes correcteurs d'erreur quantiques de bases ;
- Comprendre les principes physiques à la base des dispositifs de traitement de l'information quantique, et en particulier des qubits supraconducteurs.

3 Contenu

La matière est distribuée sur 13 semaines de la façon approximative suivante :

Temps alloué	Sujet
2 semaines	Communication quantique : Enchevêtrement, téléportation quantique, encodage dense, distribution de clé quantique.
5 semaines	Algorithmes quantiques : Deutsch, Deutsch-Jozsa, Bernstein-Vazirani, Grover, transformée de Fourier quantique, factorisation, simulation quantique.
1 semaine	Correction d'erreur quantique : Modèle d'erreurs, code de Shor.
5 semaines	Dispositifs : Critères de DiVincenzo, qubits supraconducteurs, notions de qubits de spins, résonance magnétique nucléaire et d'ions piégés.

4 Méthodes pédagogiques

1. Exposés magistraux et échanges avec la classe (3 heures par semaine) ;
2. Exercices dirigés (1 heure par semaine).

5 Évaluation

PHQ 637

- Devoirs : 25%
- Examen intratrimestriel : 30%
- Examen final : 45%

PHY 737

- Devoirs : 20%
- Examen intratrimestriel : 25%
- Examen final : 40%
- Projet final : 15%

Les dates des examens seront fixées par la faculté. Les devoirs sont réalisés en équipes de deux personnes, une seule copie doit être remise par équipe. Les dates de remise des devoirs seront fixées par le professeur durant le cours. Les devoirs doivent être remis au début du cours spécifié et une pénalité de 10% par jour s'appliquera aux devoirs remis en retard. La note 0 sera attribuée à tout devoir remis suite à la présentation de la solution. Pour les étudiants de PHY-737, le projet final consistera en un rapport et exposé oral portant sur un sujet de pointe en informatique quantique. Les détails de ce projet seront discutés en classe et sont sujets à changement.

Note : En cas de circonstances extraordinaires au-delà du contrôle de l'Université et sur décision de celle-ci, l'évaluation des apprentissages et le calendrier des séances de ce cours sont sujets à changement.

6 Matériel didactique

Aucun manuel n'est obligatoire, mais les références suivantes sont utiles afin d'approfondir la matière vue en classe.

1. M.A. NIELSEN AND I.L. CHUANG, *Quantum computation and quantum information*, Cambridge University Press, 2000. cote : QA 76.889 N54
2. J. PRESKILL, *Lecture notes on quantum computation*, <http://theory.caltech.edu/preskill/ph229/>
3. N.D. MERMIN, *Quantum computer science : an introduction*, Cambridge University Press, 2007. cote : QA 76.889 M47
4. M. LE BELLAC, *A short introduction to quantum information and quantum computation*, Cambridge University Press, 2006. cote : QA 76.889 L4313
5. M. BROOKS, *Quantum computing and communications*, Springer, 1999. cote : QA 76.889 K39
6. D. MCMAHON, *Quantum computing explained*, Wiley, 2008 . cote : QA 76.889 M35
7. U. VAZIRANI, *Lecture notes on quantum computation*, <https://people.eecs.berkeley.edu/vazirani/f04quantum/quantu>
8. A. BLAIS, A.L. GRIMSMO, S.M. GIRVIN AND A. WALLRAFF, *Circuit Quantum Electrodynamics*, *Rev. Mod. Phys.* **93**, 025005 (2021)

L'intégrité intellectuelle passe, notamment, par la reconnaissance des sources utilisées. À l'Université de Sherbrooke, on y veille!

Extrait du Règlement des études

8.1.2 Relativement aux activités pédagogiques

L'expression délit désigne d'abord tout acte ou toute manœuvre visant à tromper quant au rendement scolaire ou quant à la réussite d'une exigence relative à une activité pédagogique.

Sans restreindre la portée générale de ce qui précède, est considéré comme un délit :

- a) la substitution de personnes ou l'usurpation d'identité lors d'une activité évaluée ou obligatoire;
- b) le plagiat, soit le fait, dans une activité évaluée, de faire passer indûment pour siens des passages ou des idées tirés de l'œuvre d'autrui;
- c) l'obtention par vol ou par toute autre manœuvre frauduleuse de document ou de matériel, la possession ou l'utilisation de tout matériel non autorisé avant ou pendant un examen ou un travail faisant l'objet d'une évaluation;
- d) le fait de fournir ou d'obtenir toute aide non autorisée, qu'elle soit collective ou individuelle, pour un examen ou un travail faisant l'objet d'une évaluation;
- e) le fait de soumettre, sans autorisation préalable, une même production comme travail à une deuxième activité pédagogique;
- f) la falsification d'un document aux fins d'obtenir une évaluation supérieure dans une activité ou pour l'admission à un programme.

Par plagiat, on entend notamment :

- Copier intégralement une phrase ou un passage d'un livre, d'un article de journal ou de revue, d'une page Web ou de tout autre document en omettant d'en mentionner la source ou de le mettre entre guillemets
- Reproduire des présentations, des dessins, des photographies, des graphiques, des données... sans en préciser la provenance et, dans certains cas, sans en avoir obtenu la permission de reproduire
- Utiliser, en tout ou en partie, du matériel sonore, graphique ou visuel, des pages Internet, du code de programme informatique ou des éléments de logiciel, des données ou résultats d'expérimentation ou toute autre information en provenance d'autrui en le faisant passer pour sien ou sans en citer les sources
- Résumer ou paraphraser l'idée d'un auteur sans en indiquer la source
- Traduire en partie ou en totalité un texte en omettant d'en mentionner la source ou de le mettre entre guillemets
- Utiliser le travail d'un autre et le présenter comme sien (et ce, même si cette personne a donné son accord)
- Acheter un travail sur le Web ou ailleurs et le faire passer pour sien
- Utiliser sans autorisation le même travail pour deux activités différentes (autoplégat)

Autrement dit : mentionnez vos sources.
