

Information quantique et calcul quantique – une introduction. (15h)

Prérequis : Bases standard en algèbre linéaire, probabilités et statistiques.

Contexte/problématique : L'information quantique et le calcul quantique constituent des domaines scientifiques actuellement en plein essor et riches de larges potentialités. En sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC), le quantique intervient lorsque l'on pousse les dispositifs physiques vers leurs limites, par la miniaturisation et autres avancées technologiques, comme avec les nanotechnologies par exemple. On se tourne aussi vers le quantique afin de tirer parti de propriétés spécifiques inexistantes en classique, qui offrent des possibilités radicalement nouvelles pour le traitement de l'information, et que l'on cherche à maîtriser pour les ordinateurs quantiques notamment.

Dans ce cours seront exposées, de façon progressive, des notions de base pour l'information quantique et le calcul quantique, avec des illustrations de leurs potentialités et apports spécifiques pour le traitement de l'information [1-4]. Seront aussi évoqués des questions actuellement ouvertes dans ce domaine de recherche, ainsi que des résultats récents d'information quantique obtenus notamment au laboratoire LARIS de l'Université d'Angers [5-12].

Objectifs pédagogiques : Proposer une introduction, au niveau doctoral, sur l'information quantique et le calcul quantique, dans le contexte des STIC. Présenter des rudiments, des bases et des illustrations débouchant sur des problématiques de recherche actuellement ouvertes en STIC.

Description détaillée du contenu : Le cours se structurera selon le programme indicatif suivant :

- Espace de Hilbert des états quantiques. Le qubit. Espaces produits tensoriels.
- Mesures projectives. Observables.
- Évolutions unitaires. Portes et circuits quantiques. Parallélisme, intrication.
- Algorithme de Deutsch-Jozsa pour le test parallèle d'une fonction.
- Codage superdense. Téléportation. Cryptographie quantique.
- Algorithme de recherche de Grover. Algorithme de Shor pour la factorisation.
- Corrélations quantiques non locales : expérience EPR, inégalités de Bell, états intriqués GHZ.
- Opérateur densité. Mesures généralisées.
- Évolutions non unitaires. Représentation de Kraus. Décohérence et bruits quantiques.
- Détection et estimation des états quantiques.
- Formulation quantique de la théorie statistique de l'information de Shannon.

- [1] M. A. Nielsen, I. L. Chuang, "Quantum Computation and Quantum Information", Cambridge University Press, 2000.
- [2] E. Desurvire, "Classical and Quantum Information Theory - An Introduction for the Telecom Scientist", Cambridge University Press, 2009.
- [3] M. M. Wilde, "Quantum Information Theory", Cambridge University Press, 2017.
- [4] C. H. Bennett, P. W. Shor, "Quantum information theory", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 44, pp. 2724-2742, 1998.
- [5] F. Chapeau-Blondeau; "Tsallis entropy for assessing quantum correlation with Bell-type inequalities in EPR experiment"; *Physica A*, vol. 414, pp. 204-215, 2014.
- [6] F. Chapeau-Blondeau; "Optimization of quantum states for signaling across an arbitrary qubit noise channel with minimum-error detection"; *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 61, pp. 4500-4510, 2015.
- [7] F. Chapeau-Blondeau; "Détection quantique optimale sur un qubit bruité" ; *Actes du 25ème Colloque GRETSI sur le Traitement du Signal et des Images*, Lyon, France, 8-11 sept. 2015.
- [8] F. Chapeau-Blondeau; "Optimizing qubit phase estimation"; *Physical Review A*, vol. 94, n° 022334,1-14, 2016.
- [9] N. Gillard, E. Belin, F. Chapeau-Blondeau; "Qubit state detection and enhancement by quantum thermal noise"; *Electronics Letters*, vol. 54, pp. 38-39, 2018.
- [10] F. Chapeau-Blondeau, E. Belin; "Quantum signal processing for quantum phase estimation: Fourier-transform versus maximum-likelihood approaches."; *Annals of Telecommunications*, vol. 75, pp. 641-653, 2020.
- [11] F. Chapeau-Blondeau, E. Belin; "Fourier-transform quantum phase estimation with quantum phase noise"; *Signal Processing*, vol. 170, n° 107441,1-10, 2020.
- [12] F. Chapeau-Blondeau; "Indefinite causal order for quantum metrology with quantum thermal noise"; *Physics Letters A*, vol. 447, n° 128300,1-10, 2022.

Assuré à Polytech Angers, École d'Ingénieurs de l'Université d'Angers, 62 avenue Notre Dame du Lac, 49000 Angers, en salle E11 (1^{er} étage), 9h-12h30 et 14h-18h, les mardis 20 et 27 mai 2025,
par François CHAPEAU-BLONDEAU, Professeur émérite Univ. Angers – LARIS, f.chapeau@univ-angers.fr
Informations complémentaires sur le siteweb de l'ED MaSTIC <https://ed-mastic.doctorat-paysdelaloire.fr/formation>