



Avis de Soutenance

Monsieur Hamza JAFFALI

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **vendredi 16 octobre 2020** à 14h30
Lieu : UTBM Site de Belfort, 12 Rue Thierry Mieg, 90000 Belfort
Salle : I102

Titre des travaux : Étude de l'Intrication dans les Algorithmes Quantiques : Approche Géométrique et Outils Dérivés

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 27

Unité de recherche : FEMTO-ST Franche Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies

Directeur de thèse : Frédéric HOLWECK

Codirecteur de thèse : Jean-Marc MEROLLA HDR NON HDR

Soutenance : Publique A huis clos

Membres du jury :

| <u>Nom</u> | <u>Qualité</u> | <u>Etablissement</u> | <u>Rôle</u> |
|------------------------|-----------------------|--|-----------------------|
| M. Frédéric HOLWECK | Maître de conférences | Université Bourgogne - Franche-Comté | Directeur de thèse |
| M. Jean-Marc MEROLLA | Chargé de recherche | CNRS - FEMTO ST | Co-directeur de thèse |
| M. Simon PERDRIX | Chargé de recherche | CNRS - Loria | Rapporteur |
| M. Mohab SAFEY EL DIN | Professeur | Sorbonne Université - LIP6 | Rapporteur |
| M. Jean-Gabriel LUQUE | Professeur | Université de Rouen - LITIS | Examineur |
| M. Uwe FRANZ | Professeur | UFC - Laboratoire de mathématiques de Besançon | Examineur |
| M. Hans-Rudolf JAUSLIN | Professeur | Université de Bourgogne - ICB | Examineur |
| M. Ion NECHITA | Chargé de recherche | Université Paul Sabatier - LPT - IRSAMC | Examineur |

Mots-clés : Intrication quantique, Algorithmes quantiques, Géométrie algébrique, Hyperdéterminants, Réseaux de neurones,

Résumé de la thèse (en français) :

L'intrication quantique est un des phénomènes les plus intéressants et intrigant en Mécanique Quantique, et de surcroît en Théorie de l'Information Quantique. Ressource fondamentale pour le calcul quantique, son rôle dans l'efficacité et la fiabilité des protocoles ou algorithmes quantiques n'est toujours pas totalement compris. Dans cette thèse, nous étudions l'intrication quantique des états multipartites, et notamment la nature de sa présence dans les algorithmes quantiques. L'étude de l'intrication se fait d'un point de vue théorique, en utilisant principalement des outils issus de la géométrie algébrique. Nous nous intéressons alors aux algorithmes de Grover et de Shor et déterminons quelles sont les classes d'intrication présentes (ou non) dans ces algorithmes, et ceci constitue donc une étude qualitative de l'intrication. De plus, nous mesurerons l'intrication quantitativement, à l'aide de mesures algébriques et géométriques, et étudions son évolution tout au long des différentes étapes de ces algorithmes. Nous proposons également des interprétations géométriques originales de ces résultats numériques. D'autre part, nous cherchons également à développer et exploiter de nouveaux outils pour mesurer, caractériser et classifier l'intrication quantique. Ceci se fait dans un premier temps d'un point de vue mathématique en étudiant les singularités des hypersurfaces liées aux systèmes quantiques pour caractériser différentes classes d'intrication. Dans un second temps, nous proposons des candidats pour les états maximalelement intriqués, notamment pour les états symétriques et fermioniques, en utilisant des polynômes invariants et une mesure géométrique de l'intrication pour quantifier l'intrication. Enfin, nous avons également adopté une approche de type Machine Learning, notamment en entraînant des réseaux de neurones artificiels de manière supervisée, afin de reconnaître certaines variétés algébriques modélisant certains types d'intrication précis.

Abstract (in English):

Quantum entanglement is one of the most interesting phenomenon in Quantum Mechanics, and especially in Quantum Information. It is a fundamental resource in Quantum Computing, and its role in the efficiency and accuracy of quantum algorithms or protocols is not yet fully understood. In this thesis, we study quantum entanglement of multipartite states, and more precisely the nature of entanglement involved in quantum algorithms. This study is theoretical, and uses tools mainly coming from algebraic geometry. We focus on Grover's and Shor's algorithms, and determine what entanglement classes are reached (or not) by these algorithms, and this is the qualitative part of our study. Moreover, we quantitatively measure entanglement, using geometric and algebraic measures, and study its evolution through the several steps of these algorithms. We also propose original geometrical interpretations of the numerical results. On another hand, we also develop and exploit new tools for measuring, characterizing and classifying quantum entanglement. First, from a mathematical point of view, we study singularities of hypersurfaces associated to quantum states in order to characterize several entanglement classes. Secondly, we propose new candidates for maximally entangled states, especially for symmetric and fermionic systems, using polynomial invariants and geometric measure of entanglement. Finally, we use Machine Learning, more precisely the supervised approach using neural networks, to learn how to recognize algebraic varieties directly related with some entanglement classes.