

# THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 641  
*Mathématiques et Sciences et Technologies  
de l'Information et de la Communication*  
Spécialité : « Informatique »

Par

« **Walid FATHALLAH** »

« **Beyond Representing and Reasoning in Quantum Bayesian Networks** »

Thèse présentée et soutenue à « Nantes », le « 10/01/2025 »

Unité de recherche : « LS2N- UMR 6004/ LARODEC »

## Rapporteurs avant soutenance :

Karim TABIA      Professeur d'université, Université d'Artois , lens  
Younes BENNANI      Professeur d'université, Université sorbone Paris Nord

## Composition du Jury :

Président :	Prénom NOM	Fonction et établissement d'exercice ( <i>à préciser après la soutenance</i> )
Examineurs :	Christophe GONZALES	Professeur d'université, Aix Marseille Université
	Zied ELOUEDI	Professeur d'université, Université de Tunis
	Pierre-Henri WUILLEMIN	Maître de conférences, Sorbone Université
Dir. de thèse :	Philippe LERAY	Professeur d'université, Nantes université
Co-dir. de thèse :	Nahla BEN AMOR	Professeur d'université, Université de Tunis

**Titre :** Au-delà de la représentation et du raisonnement dans les réseaux Bayésiens quantiques

**Mot clés :** Informatique quantique, Réseaux bayésiens quantiques, Algorithmes d'inférence hybrides, Optimisation des circuits quantiques

**Résumé :** Cette thèse s'inscrit dans le domaine des réseaux bayésiens quantiques, une approche novatrice qui fusionne les principes de l'informatique quantique avec ceux des modèles probabilistes. Les réseaux bayésiens, largement utilisés pour modéliser l'incertitude dans des domaines complexes, souffrent de limitations computationnelles lorsque les données deviennent de grande dimension. En exploitant les propriétés uniques de la mécanique quantique, comme la superposition et l'intrication, les réseaux bayésiens quantiques ouvrent la voie à des inférences probabilistes plus rapides et plus efficaces.

Le travail de cette thèse se concentre sur deux axes principaux : l'optimisation des circuits quantiques pour les réseaux bayésiens et le développement d'algorithmes hybrides d'inférence adaptés aux dispositifs quantiques actuels, appelés NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum). Dans ce contexte, des circuits quantiques optimisés ont été conçus pour réduire le nombre de qubits requis et

minimiser les taux d'erreur, tout en permettant leur exécution sur les technologies quantiques disponibles. Par ailleurs, plusieurs algorithmes hybrides ont été développés, notamment l'échantillonnage par rejet quantique, le pondération par vraisemblance hybride et l'échantillonnage de Gibbs hybride, intégrant l'amplification d'amplitude de Grover pour accélérer les calculs.

Les résultats expérimentaux démontrent les avantages des circuits optimisés par rapport aux circuits classiques et composables en termes de largeur et robustesse des circuits. Les algorithmes hybrides proposés montrent également des performances prometteuses pour des inférences probabilistes sur des dispositifs quantiques actuels. Ces contributions illustrent le potentiel des réseaux bayésiens quantiques, offrant des perspectives intéressantes dans des domaines où les modèles probabilistes jouent un rôle clé. Cette recherche pose ainsi les bases pour une adoption plus large des technologies quantiques dans le traitement probabiliste

**Title:** Beyond Representing and Reasoning in Quantum Bayesian networks

**Keywords:** Quantum computing, Quantum Bayesian Networks, Hybrid Inference Algorithms, Quantum Circuit Optimization

**Abstract:** This thesis focuses on the field of quantum Bayesian networks, an innovative approach that merges the principles of quantum computing with those of probabilis-

tic models. Bayesian networks, widely used to model uncertainty in complex domains, face computational limitations as data dimensions grow. By leveraging the unique properties of

---

quantum mechanics, such as superposition and entanglement, quantum Bayesian networks pave the way for faster and more efficient probabilistic inference.

The work in this thesis focuses on two main areas: the optimization of quantum circuits for Bayesian networks and the development of hybrid inference algorithms tailored to current quantum devices, known as NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum). In this context, optimized quantum circuits were designed to reduce the number of required qubits and minimize error rates while enabling execution on available quantum technologies. Furthermore, several hybrid algorithms were developed, including quantum rejection sam-

pling, hybrid likelihood weighting, and hybrid Gibbs sampling, integrating Grover's amplitude amplification to accelerate computations.

Experimental results demonstrate the advantages of optimized circuits compared to classical and composable circuits in terms of circuit width and robustness. The proposed hybrid algorithms also show promising performance for probabilistic inference on current quantum devices. These contributions highlight the potential of quantum Bayesian networks, offering exciting prospects in fields where probabilistic models play a key role. This research thus lays the groundwork for broader adoption of quantum technologies in probabilistic processing.