

QUEST-IS 2025

QUANTUM ENGINEERING SCIENCES & TECHNOLOGIES FOR INDUSTRY & SERVICES

1st to 4th December

EDF R&D Paris Saclay

From Quantum Engineering to Applications for Citizens

L'ingénierie quantique

Une sélection de trois articles remarquables dont le 'best paper'

QUEST-IS'25 (*Quantum Engineering Science, Technologies and Industrial Solutions*) fut la première édition d'une conférence et exposition internationale dédiée à l'ingénierie quantique. Elle s'est tenue à l'EDF Lab Paris-Saclay du 1^{er} au 5 décembre 2025, avec pour ambition de transformer les avancées de la recherche quantique en solutions concrètes et impactantes pour les citoyens et l'industrie.

Fabrice Dupuy

Membre Senior SEE

Son positionnement : l'ingénierie quantique

Au cœur de la *French deep tech*, académique et industrielle, QUEST-IS'25 a rassemblé des entreprises et organismes issus de l'écosystème quantique de nombreux pays. Son positionnement : l'ingénierie quantique, c'est-à-dire le développement de technologies quantiques en informatique, télécommunications, cryptographie et capteurs, avec une approche pluridisciplinaire, croisant la physique quantique et d'autres domaines scientifiques connexes.

Un large contenu scientifique

La conférence a réuni 79 articles et 17 posters présentés en parallèle avec une exposition comportant 16 stands. Des conférenciers 'keynotes' de renom, dont Alain Aspect, prix Nobel de physique 2022, ont présenté l'état de l'art du développement de l'ingénierie quantique, des technologies aux applications. Le programme s'est structuré autour de sessions techniques, de tutoriels, d'un espace d'exposition et d'opportunités de mise en réseau, ainsi que d'un séminaire TQCI¹ et d'une session spéciale '*Maisons du Quantique*' le 5 décembre.

¹ Technologies Quantiques, Calcul et Informatique

Les thématiques couvertes étaient larges : informatique quantique et algorithmes, capteurs quantiques, communications quantiques, cryptographie et internet quantique, technologies habilitantes, et ingénierie quantique orientée vers des applications pour les citoyens.

Les actes de la conférence sont disponibles à l'adresse référencée ici².

Présence de grands acteurs institutionnels et industriels

La qualité scientifique de la conférence a été attestée par le soutien de grands acteurs institutionnels et

² <https://conference-questis.org/wp-content/uploads/2025/11/QUEST-IS%20papers.pdf>

industriels. Les sponsors Platinum incluaient l'Agence Innovation Défense, EDF, IBM et Thales. Les sponsors Gold comprenaient le LNE, le CEA, l'OTAN, ainsi que des start-ups françaises de premier plan comme Alice & Bob et Quandela. Cette diversité de partenaires illustre l'ancrage à la fois académique, industriel et gouvernemental de l'événement, positionné comme un carrefour stratégique pour l'ensemble de la filière quantique française et internationale.

Gageons que QUEST IS'27 transformera l'essai et mettra en avant la position dominante française et européenne acquise dans le domaine du quantique.

Ce cahier Azur vous propose trois articles sélectionnés, dont le premier qui a reçu le prix 'best paper'.

1. Vers une planification d'acquisition de données satellitaires à grande échelle grâce à l'optimisation quantique classique.
2. Évaluation simplifiée des performances des émulateurs quantiques.
3. Estimation des ressources pour l'inversion de matrice via QSVT avec l'ensemble de portes Clifford+T.

Résumé des articles

Towards Large-Scale Satellite Acquisition Scheduling with Quantum Classical Optimization

Vers l'acquisition de données satellitaires à grande échelle : une approche par apprentissage par renforcement multi-agents

Cet article d'**Amer Delilbasil** et al., Forschungszentrum Jülich, primé lors de la conférence QUEST-IS 2025, s'attaque au problème complexe de la planification d'acquisitions d'images par des constellations de satellites d'observation de la Terre à grande échelle.

“ Avec la multiplication des émulateurs quantiques (Qiskit, MiMiQ, PennyLane, etc.), les chercheurs et développeurs manquent d'outils standardisés pour les comparer objectivement selon des critères de performance reproductibles. ”

Le problème est le suivant : les opérateurs de satellites reçoivent des milliers de requêtes d'acquisition quotidiennes qu'ils doivent satisfaire en tenant compte de nombreuses contraintes : fenêtres de visibilité des cibles, capacité de stockage embarquée, énergie disponible, temps de téléchargement au sol et priorités clients. Ce problème d'optimisation combinatoire est NP-difficile³ et devient rapidement inopérant avec les méthodes classiques (heuristiques, programmation par contraintes) quand le nombre de satellites et de requêtes augmente.

L'approche proposée ? Les auteurs proposent un cadre d'apprentissage par renforcement multi-agents (MARL) où chaque satellite est modélisé comme un agent autonome prenant des décisions décentralisées. Chaque agent apprend une politique d'acquisition via un réseau de neurones (architecture Transformer) entraîné par la méthode *Proximal Policy Optimization* (PPO). Un mécanisme de communication inter-agents permet de coordonner les décisions et d'éviter les redondances (plusieurs satellites visant la même cible).

Le résultat est au rendez-vous ! Les expériences menées sur des scénarios réalistes (jusqu'à 50 satellites, plusieurs milliers de requêtes) montrent que l'approche surpasse les heuristiques de référence en termes de taux de satisfaction des requêtes et de temps de calcul. La méthode se révèle particulièrement

efficace dans les situations de forte charge et passe à l'échelle de manière convaincante.

En conclusion, ce travail ouvre la voie à une gestion autonome et efficace des constellations de satellites de nouvelle génération, avec des perspectives d'application aux mégaconstellations commerciales.



Quantum Emulator Benchmarking Made Easy

FENIQS : une plateforme de benchmarking pour émulateurs quantiques

Cet article, présenté par **A. Leonteva** et al., introduit FENIQS (*Framework for Emulator benchmarking Quantum Systems*), une plateforme open-source conçue pour évaluer et comparer de manière systématique les émulateurs de circuits quantiques.

Avec la multiplication des émulateurs quantiques (Qiskit, MiMiQ, PennyLane, etc.), les chercheurs et développeurs manquent d'outils standardisés pour les comparer objectivement selon des critères de performance reproductibles. Chaque émulateur ayant ses propres interfaces et formats, les comparaisons manuelles sont fastidieuses et peu fiables.

FENIQS est architecturée pour y répondre. La plateforme repose sur plusieurs composants : un démon principal qui orchestre l'exécution automatisée de circuits OpenQASM 2.0 sur les ému-



³ NP: *Nondeterministic Polynomial Time*

... lateurs cibles, une bibliothèque centrale avec des plugins pour chaque backend, un optimiseur de paramètres MPS (*Matrix Product States*), des outils de post-traitement pour la visualisation, et une base de données PostgreSQL pour stocker les résultats. La configuration se fait via des fichiers YAML, rendant l'outil accessible sans expertise approfondie en programmation.

Concernant les métriques clés, FENIQS mesure le temps d'exécution, la fidélité (via la technique du *mirror-circuit fidelity*, qui évalue la précision sans dépendre des estimateurs internes de l'émulateur), et la scalabilité, c'est-à-dire la capacité à traiter des circuits avec un nombre croissant de qubits.

Des expériences sur 7 émulateurs et 13 algorithmes de référence montrent des différences significatives de performance selon le type de simulation (vecteur d'état, réseau de tenseurs) et le matériel (CPU/GPU). La plateforme réduit le temps de configuration de plusieurs heures à quelques minutes.

Ainsi, FENIQS constitue un outil précieux pour guider le choix d'émulateurs dans des contextes applicatifs variés, et est extensible pour intégrer de nouveaux backends et circuits à l'avenir.



Resource Estimation for Matrix Inversion via QSVT with the Clifford+T Gate Set

Estimation des ressources pour l'inversion de matrice via QSVT avec l'ensemble de portes Clifford+T

Cet article de **H. Murakami** et al. (Mitsubishi Electric / QunaSys) s'attaque à une question fondamentale de l'informatique quantique : combien de ressources (qubits, portes logiques) sont réellement nécessaires pour résoudre un système d'équations linéaires $Ax = b$ sur un ordinateur quantique ?

“ Si les algorithmes quantiques comme Harrow–Hassidim–Lloyd (HHL) promettent une complexité en $O(\text{polylog}(N))$ contre $O(\text{poly}(N))$ classiquement, cette supériorité reste théorique, faute d'évaluations concrètes basées sur des implémentations explicites de circuits. ”

Si les algorithmes quantiques comme Harrow–Hassidim–Lloyd (HHL) promettent une complexité en $O(\text{polylog}(N))$ contre $O(\text{poly}(N))$ classiquement, cette supériorité reste théorique, faute d'évaluations concrètes basées sur des implémentations explicites de circuits. Les auteurs combrent ce manque en construisant un circuit quantique complet pour inverser une matrice de Toeplitz spécifique, en utilisant l'ensemble universel de portes Clifford+T.

L'approche repose sur la *Quantum Singular Value Transformation* (QSVT), qui applique un polynôme approximant la fonction $1/x$ aux valeurs singulières de la matrice A . Les étapes clés sont : le *block-encoding* de la matrice (encodage dans un circuit unitaire), la recherche des angles QSP (*Quantum Signal Processing*) via un algorithme de sculpture, et la décomposition des portes non-Clifford en portes T via l'algorithme de Ross-Selinger.

En guise de résultats, les évaluations numériques montrent que la précision de l'inversion s'améliore exponentiellement avec le degré d du polynôme approximant, et est indépendante de la taille N de la matrice pour leur choix spécifique. Le nombre de qubits logiques est donné par la formule $n = 2\log_2 N + \log_2 N_{\text{data}} + 6$, indépendant du degré d . Le nombre de portes T (T-count) dépend de d et de la précision de décomposition des portes de rotation, et croît logarithmiquement avec N .

Quelles sont les limites et perspectives ? Les auteurs soulignent que la préparation des états quantiques d'entrée et la lecture des résultats restent des défis ouverts pouvant nécessiter un coût exponentiel, ce qui pourrait annuler l'avantage quantique dans un contexte bout-en-bout. ■

Les articles

Towards Large-Scale Satellite Acquisition Scheduling with Hybrid Quantum-Classical Optimization	p. 83
Quantum Emulator Benchmarking Made Easy	p. 88
Resource Estimation for Matrix Inversion via QSVT with the Clifford+T Gate Set	p. 93