

## « QUBIT-DRIVER » – SYSTÈME DE MESURE D'UN SYSTÈME QUANTIQUE

Un pas de plus vers l'ordinateur quantique – une méthode pionnière pour lire et réinitialiser un bit quantique supraconducteur

Référence – Blais 2023-021



200-35, Radisson  
Sherbrooke QC J1L 1E2  
CANADA  
t 819 821-7961

### Contexte

Les technologies quantiques exploitent les qubits, les ingrédients de base. La réalisation d'ordinateurs quantiques, de simulateurs quantiques ou de détecteurs quantiques nécessite la mesure de l'état des qubits qui les composent. Les performances de ces dispositifs quantiques dépendent fortement de la vitesse et de la fidélité de la mesure des qubits. C'est notamment le cas des protocoles de correction d'erreurs, élément clé d'un ordinateur quantique.

Les qubits supraconducteurs sont le type de qubits le plus répandu dans les technologies quantiques. Ces qubits sont mesurés par des résonateurs. Jusqu'à présent, il était difficile de les mesurer avec une grande précision en raison de transitions indésirables induites par les résonateurs et mal comprises. C'est l'un des problèmes les plus importants dans le domaine et cette invention améliore l'état de la technique. « QBIT-DRIVER » propose donc une solution à ce problème avec l'objectif de raccourcir la mise sur le marché des futurs ordinateurs quantiques.

### Description

Cette invention concerne un procédé permettant de faire fonctionner un système quantique. Il précise quels signaux électromagnétiques doivent être envoyés aux qubits et aux résonateurs. Cela ne nécessite aucune modification du matériel ou des logiciels des ordinateurs quantiques à qubits supraconducteurs actuels.

« QBIT-DRIVER » est une méthode pionnière pour lire et réinitialiser un qubit supraconducteur. Elle a été développée par une équipe internationale de chercheurs renommés, marquant une avancée significative dans le domaine de la lecture quantique. L'invention est le fruit d'une collaboration entre l'Université de Sherbrooke au Canada avec l'École normale supérieure de Lyon (ENS) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) en France.

La méthode « QBIT-DRIVER » permet de mesurer des qubits supraconducteurs avec une grande rapidité et fidélité. La mesure est effectuée par un résonateur couplé aux qubits qui ensemble forment un « ensemble ». Un port micro-ondes est dédié à l'adressage du qubit, tandis qu'un autre port est utilisé pour adresser le résonateur. L'approche consiste à irradier simultanément les deux ports de manière à exciter le résonateur sans affecter le qubit. Le qubit peut ainsi être contrôlé en même temps que le résonateur est préchargé avec de nombreux photons de mesure en prévision de la mesure. Pour lancer la mesure, l'une des deux irradiations est désactivée, ce qui permet de bénéficier du large champ électromagnétique accumulé dans le résonateur pour lire rapidement l'état du qubit.

L'un des principaux avantages de l'invention est qu'elle permet d'utiliser des champs micro-ondes de mesure d'une amplitude bien supérieure à ce qui est possible avec l'état de la technique présentement, ce qui permet de lire des qubits avec une vitesse et une fidélité record. Ceci est d'une importance capitale pour tout protocole quantique de rétroaction basé sur des mesures. En particulier, cela peut considérablement accélérer la correction des erreurs quantiques basée sur les mesures, où plusieurs séries de mesures de qubits sont effectuées entre deux opérations quantiques logiques. L'invention est extrêmement simple à utiliser puisqu'elle ne nécessite aucune modification des dispositifs quantiques actuels, seulement une manière améliorée de les faire fonctionner.

En outre, le procédé présenté dans cette invention peut être appliqué à diverses autres plates-formes de technologies quantiques. Plus précisément, il peut être utilisé chaque fois qu'un qubit ou un atome est couplé à un résonateur.

### Applications

- Le domaine d'application est celui des technologies quantiques à base de qubits supraconducteurs,
- Calcul/ordinateur quantique,
- Simulateurs et détecteurs quantiques,
- S'applique à d'autres types de qubits en interaction avec un résonateur.
- **Marché :**
  - o Le marché de l'informatique quantique connaît une croissance importante, qui devrait passer de 866 millions de dollars américains en 2023 à plus de 4,4 milliards de dollars américains d'ici 2028, à un TCAC de 38,3 %.
  - o Le segment des qubits supraconducteurs devrait représenter la plus grande part du marché de l'informatique quantique, passant de 479 millions de dollars américains en 2023 à 2,5 milliards de dollars américains en 2028. La croissance de ce segment peut être attribuée au fonctionnement plus rapide des ordinateurs quantiques basés sur la technologie des qubits supraconducteurs comparés aux ordinateurs équipés d'autres technologies.

### Avantages

- Presque tous les dispositifs à qubits supraconducteurs qui existent aujourd'hui disposent des exigences matérielles (« hardware ») nécessaires pour utiliser cette méthode; certainement les dispositifs du calcul quantique.
- Améliore la précision et accélère la mesure des informations stockées dans un dispositif quantique – Démonstré.
- Améliore la précision des opérations logiques sur les qubits – Démonstré.
- Protège les états quantiques de certaines erreurs – Démonstré.
- Prépare le dispositif quantique dans des états ressources pour le calcul quantique, la métrologie et la communication – Démonstré par des simulations numériques.
- L'invention peut être déployée aujourd'hui dans des dispositifs de toute taille, de quelques-uns à quelques centaines de qubits supraconducteurs.
- La méthode n'est pas limitée à améliorer la mesure. Elle permet, entre autres choses, d'annuler des accumulations de phase non désirées (dû au « ac-Stark shift ») et d'améliorer certaines opérations logiques.
- L'invention n'est pas limitée non plus aux qubits supraconducteurs mais s'applique à tous qubits couplés à un résonateur.
- La technique actuellement employée par les groupes de recherche universitaires et par l'industrie pour la lecture des qubits supraconducteurs est appelée « mesure dispersive ». Cette méthode, bien que largement utilisée, se caractérise par des précisions typiques inférieures à 99 %. Ces niveaux de précision sont jugés insuffisants pour atteindre l'objectif ambitieux de construire un ordinateur quantique à grande échelle – cette invention améliore cette approche.
- La réaction de la communauté quantique à cette invention a été extrêmement positive. La simplicité et la puissance de l'invention ont été immédiatement comprises.
- Une nouvelle approche plus performante tout en restant simple d'utilisation.

### Mots clés

- Qubits supraconducteurs, transmon, électrodynamique quantique des circuits, lecture de qubits.

### Niveau de maturité de la technologie (TRL)

#### TRL 7

- Le fonctionnement de la méthode a été démontré expérimentalement dans un dispositif à un qubit supraconducteur par les collaborateurs de l'ENS Lyon.
- Des articles scientifiques avec des détails et des résultats sont disponibles ici :
  - o Cloaking a qubit in a cavity – <https://arxiv.org/abs/2211.05758>
  - o Qubit readouts enabled by qubit cloaking – <https://arxiv.org/abs/2305.00895>
  - o *Nature Communications* – Cloaking a qubit in a cavity – <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42060-5>

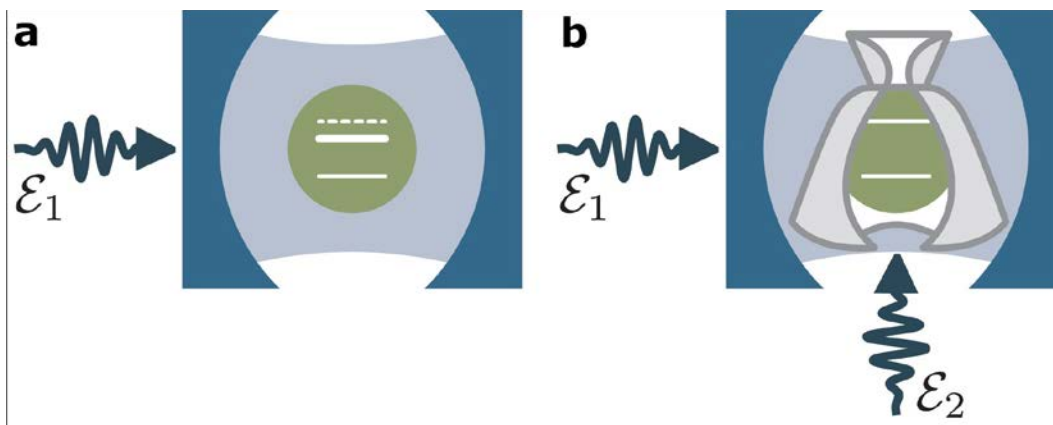


Illustration de la méthode – Figure adaptée de Lledó, C., Dassonneville, R., Moulinas, A. *et al.* Cloaking a qubit in a cavity. *Nat Commun* **14**, 6313 (2023).

<https://doi.org/10.1038/s41467-023-42060-5>.

Dans le panneau (a), nous voyons un entraînement sur le résonateur accumulant un champ électromagnétique à l'intérieur, ce qui affecte négativement le qubit en déplaçant sa fréquence et en le déphasant. Dans le panneau (b), nous voyons le résonateur rempli du champ électromagnétique mais le qubit est désormais protégé, illustré par son enveloppe environnante (« cloak » en anglais) et sa division d'énergie non décalée. Ceci est obtenu en commandant directement le qubit avec un second signal électromagnétique ayant une amplitude, une fréquence et une phase prescrites par le présent procédé.

### Propriété intellectuelle

- Demandes de brevet américain et international déposées.

### Ce que nous recherchons

- Partenaires commerciaux
- Partenaires au développement
- Investissements
- Exploitants de la technologie via un accord de licence exclusif ou non-exclusif.

### Compagnies d'intérêt

- L'approche pourrait rapidement être utilisée par la majorité des groupes académiques et des compagnies travaillant dans le domaine avec peu ou pas de modifications à leurs dispositifs expérimentaux.
  - o Essentiellement toutes les compagnies travaillant sur les qubits supraconducteurs couplés avec résonateurs pourraient être intéressées.
  - o Peut être utilisée pour améliorer les ordinateurs quantiques commerciaux qui existent aujourd'hui !
- IBM, Google, Intel, D-Wave, Quantum Inc., Amazon, Microsoft, Rigetti Computing, IQM, Alice & Bob, Nord Quantique, autres.

### Chefs d'équipes de recherche

- Université de Sherbrooke – Le professeur Alexandre Blais est directeur scientifique de l'Institut Quantique de l'Université de Sherbrooke et chef de file dans l'étude théorique des circuits supraconducteurs quantiques.
- École Normale Supérieure de Lyon – Le Professeur Benjamin Huard y dirige le Groupe Circuits Quantiques et est expert en mesure et rétroaction des circuits supraconducteurs.

### Contact Inventeurs – Université de Sherbrooke

Professeur Alexandre Blais

Directeur Scientifique – Institut Quantique de l'Université de Sherbrooke  
[Alexandre.Blais@USherbrooke.ca](mailto:Alexandre.Blais@USherbrooke.ca)

### Contact TransferTech Sherbrooke

François Nadeau  
[f.nadeau@transfertechn.ca](mailto:f.nadeau@transfertechn.ca)  
873 339-2028  
[www.transfertechn.ca](http://www.transfertechn.ca)



200-35, Radisson  
Sherbrooke QC J1L 1E2  
CANADA  
t 819 821-7961

