

## CONCEPTION D'UN COUPLEUR DE QUBITS SUPRACONDUCTEURS AVEC SUPPRESSION EXPONENTIELLE À LA DEMANDE DES INTERACTIONS VIRTUELLES

Conception d'un circuit de processeur quantique de niveau mondial pour le futur ordinateur quantique



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

### Contexte

L'informatique quantique est née dans les années 1980, lorsqu'il a été proposé qu'un ordinateur basé sur la mécanique quantique puisse simuler des algorithmes qu'un superordinateur classique serait incapable d'exécuter dans "le temps de l'Univers". Plusieurs décennies plus tard, l'informatique quantique n'en est encore qu'à ses débuts, mais elle connaît depuis peu un certain nombre de développements importants dans le monde entier. Les découvertes en matière de technologie quantique s'accroissent nettement au XXI<sup>e</sup> siècle.

Malgré cela, les processeurs quantiques restent aujourd'hui à petite échelle et sont limités dans leurs applications et leurs avantages. La promesse d'un calcul quantique de haute performance réside dans le remplacement des transistors qui codent les *bits* d'information avec des valeurs discrètes 0 et 1, par un objet abstrait appelé qubit. Ce dernier peut exister dans une superposition des deux valeurs 0 et 1. De plus, il est possible d'enchêtrer deux qubits, de sorte que la probabilité de mesurer 0 ou 1 dans le premier qubit dépend de l'état du second. C'est ce qui provoque le gain exponentiel des performances d'un ordinateur quantique, d'un point de vue théorique.

Le qubit peut être mis en œuvre dans différents systèmes physiques régis par la mécanique quantique. L'un de ces systèmes est le circuit supraconducteur, objet de la présente invention.

### Description

Cette invention est un nouveau type de coupleur entre deux qubits, plus précis que tout autre proposé aujourd'hui. Cette technologie est, entre autres, une réponse à la question : comment améliorer les futures générations de processeurs quantiques à grande échelle. L'objectif ultime est d'effectuer des calculs quantiques rapides et de haute fidélité. La technologie de cette invention est basée sur un nouveau mécanisme physique pour les coupleurs, la soi-disant délocalisation des états de calcul du coupleur, dans l'espace des systèmes auxiliaires, ici des résonateurs. La nouveauté apparaît lorsque l'on souhaite ne pas activer d'opération entre les qubits, en manipulant leurs composants, ce qui permet d'éliminer de façon exponentielle toute interaction résiduelle non désirée entre eux. En général, les qubits sont très difficiles à contrôler, et cette invention permet d'améliorer ce contrôle, et donc d'augmenter la fiabilité des calculs quantiques. Ce dispositif permet le contrôle de nombreux qubits, ce qui est fondamental pour le fonctionnement haute-fidélité de ces dispositifs.

Ce "commutateur quantique" permet d'atténuer les interactions parasites entre de nombreux qubits, appelées "diaphonie". Ces interactions indésirables sont très nuisibles à la fidélité de calcul d'un processeur et, en particulier, à la correction quantique des erreurs. Pour ces raisons, cette technologie pourrait devenir un outil de calcul quantique de haute fidélité et donc un élément clé des processeurs quantiques supraconducteurs.

Nous présentons une nouvelle conception de coupleur supraconducteur-qubit présentant un rapport marche-arrêt exponentiellement grand qui est contrôlé par les amplitudes des commandes micro-ondes. Nous démontrons comment ce schéma peut être utilisé pour réduire de plusieurs ordres de grandeur les interactions résiduelles de *cross-Kerr* dans les processeurs quantiques à base de transmon-qubit. Enfin, nous présentons une mise en œuvre du dispositif en circuit supraconducteur, qui peut simultanément permettre des portes paramétriques à deux qubits et contribuer à réduire la diaphonie.

## Applications

- Ordinateurs quantiques - un composant du processeur supraconducteur.
- Un marché en pleine croissance - Markets & Markets
  - o Le marché des ordinateurs quantiques devrait atteindre 1,8 milliard de dollars américains d'ici 2026.
  - o L'adoption précoce dans les secteurs bancaire et financier devrait alimenter la croissance du marché mondial. Les autres facteurs de croissance sont :
    - L'augmentation des investissements des gouvernements nationaux pour mener des activités de R&D liées à la technologie de l'informatique quantique.
    - Plusieurs entreprises se concentrent sur le QCaaS (Quantum Computing as a Service).
  - o Les qubits supraconducteurs occupent la première place par type de technologie de processeur quantique - estimation de 966 millions de dollars d'ici 2026.

## Avantages

- Une solution totalement unique pour un coupleur ou un commutateur :
  - o Il n'y a pas besoin de réglage fin des paramètres dans ce système.
  - o Le coupleur est extensible à un processeur
  - o Il peut être utilisé en conjonction avec d'autres solutions actuellement à l'étude.
- Coupleur (commutateur) qui peut supprimer de manière exponentielle l'interaction entre 2 qubits :
  - o Se produit assez rapidement et à la demande, ce qui signifie que l'interaction peut être activée et désactivée rapidement pour mettre en place ou empêcher des portes à 2 qubits selon les besoins,
  - o L'état "off" du commutateur est résistant au bruit, ce qui est assuré par la suppression exponentielle des interactions, ce qui rend cette technologie unique et bien supérieure aux approches précédentes en matière de coupleurs.
- Avantage concurrentiel par rapport aux technologies comparables sur le marché :
  - o Un processeur quantique de haute qualité et à grande échelle, très difficile à réaliser.
  - o Une technologie supraconductrice de pointe évolutive pour les calculs quantiques
  - o Un nouveau mécanisme physique pour les coupleurs
  - o Peut être utilisé en conjonction avec d'autres techniques de suppression d'erreurs
  - o Pourrait améliorer la fidélité des algorithmes quantiques longs et complexes
  - o Pourrait améliorer les performances de toute technologie qui nécessite un commutateur
  - o Par rapport à d'autres technologies :
    - Ne nécessite pas de réglage fin
    - Réduction exponentielle de la sensibilité au bruit
    - Réduction exponentielle de l'erreur ZZ
    - Réduction exponentielle de la délocalisation de l'information
    - Réduction exponentielle de la diaphonie
    - Contrôle rapide du dispositif
- Nouvelle mise en œuvre d'une forte interaction *cross-Kerr* dans les circuits supraconducteurs, également utile dans d'autres contextes.
- Une fois le dispositif fabriqué, l'architecture de l'invention est conçue pour être compatible avec les processeurs déjà construits aujourd'hui.

## Mots clés

- Commutateur quantique supraconducteur protégé contre le bruit, coupleur quantique supraconducteur, suppression exponentielle des interactions entre les qubits supraconducteurs, atténuation de la diaphonie, rapport marche/arrêt élevé.

## Niveau de maturité technologique (TRL)

### - TRL 2-3

- o Développement théorique terminé :  
<https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.16.064062>
- o Dispositif de preuve de concept en cours de développement dans une institution partenaire.
  - La première version est imminente
  - Elle sera suivie de plusieurs itérations de raffinement.
  - Une preuve de concept satisfaisante est attendue dans les 3 ans, ce qui portera la technologie à TRL 4-5.

### - Entreprises ciblées

- o Les entreprises de matériel quantique pourraient obtenir une licence pour ce produit afin de l'intégrer dans leurs processeurs quantiques. Elles vendent déjà des services.
  - IBM Quantum
  - Google AI <https://research.google/teams/applied-science/quantum/>
  - Amazon Braket <https://aws.amazon.com/braket/>
  - Alibaba Group <https://damo.alibaba.com/labs/quantum>
  - Rigetti Computing <https://www.rigetti.com>
  - D-Wave Sys. <https://www.dwavesys.com>
  - Anyon Sys. <http://www.anyonsys.com>
  - IQM Quantum Computers <https://www.meetiqm.com>
  - Quantum Circuits <https://quantumcircuits.com>

## Propriété Intellectuelle

- Brevet en instance aux États-Unis.

## Opportunité

-L'octroi de licences.

## Contact de l'inventeur

Professeur Alexandre Blais  
[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)

