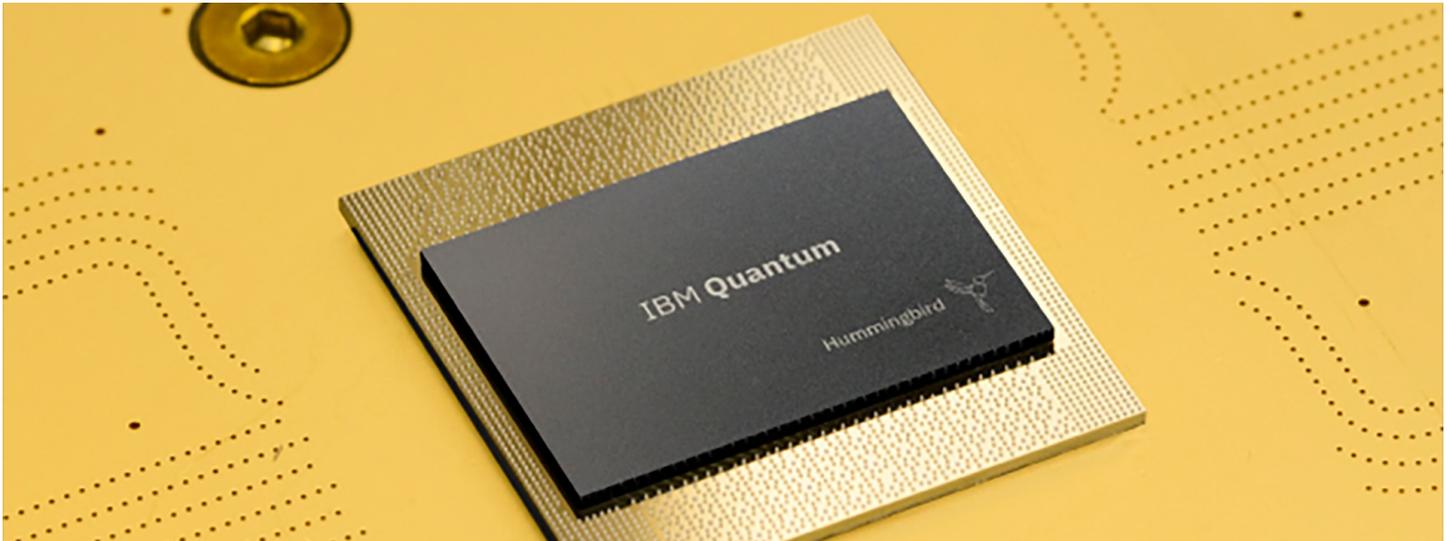


[Communiqués de presse](#)

Avec la tolérance aux erreurs comme objectif ultime, l'atténuation de ces dernières est la voie qui rendra l'informatique quantique utile



Par Jay Gambetta, Kristan Temme, Ewout van den Berg et Abhinav Kandala, le 20 juillet 2022 :

L'atténuation des erreurs quantiques est le cheminement continu qui nous mènera du matériel quantique d'aujourd'hui aux ordinateurs quantiques tolérants aux erreurs de demain. Cette voie nous permettra d'exécuter des circuits assez grands pour obtenir l'avantage quantique. Une amélioration matérielle à la fois.

L'histoire de l'informatique classique est celle des progrès de la technologie des transistors et des puces, qui se traduisent par des gains correspondants en termes de performances de traitement de l'information. Bien que les ordinateurs quantiques aient connu des améliorations considérables en termes d'échelle, de qualité et de vitesse au cours des dernières années, une telle évolution progressive mérite d'être soulignée. En effet, il est généralement admis qu'il faut d'abord construire un grand processeur quantique tolérant aux erreurs avant de pouvoir mettre en œuvre les algorithmes quantiques dont l'accélération superpolynomiale a été prouvée. La construction d'un tel processeur est donc l'objectif central de notre développement.

Cependant, les récentes avancées dans les techniques que nous appelons généralement "atténuation des erreurs quantiques" nous permettent de tracer une voie plus fluide vers cet objectif. Sur cette voie, les progrès en matière de cohérence des qubits, de fidélité des portes et de vitesse se traduisent immédiatement par des avantages mesurables en matière de calcul, à l'instar des progrès constants observés historiquement avec les ordinateurs classiques.

Bien sûr, l'ultime test décisif pour l'informatique quantique pratique est de fournir un avantage sur les approches classiques pour un problème utile. Un tel avantage peut prendre de nombreuses formes, la plus importante étant une amélioration substantielle du temps d'exécution d'un algorithme quantique par rapport

aux meilleures approches classiques. Pour que cela soit possible, l'algorithme doit avoir une représentation efficace sous forme de circuits quantiques, et aucun algorithme classique ne doit pouvoir simuler efficacement ces circuits quantiques. Cet objectif ne peut être atteint que pour des types de problèmes spécifiques.

Pour accéder à un avantage quantique, nous devons donc répondre à deux questions. Premièrement, quels sont les problèmes que nous pouvons associer à des circuits quantiques dont les solutions sont meilleures que les approches classiques ? Deuxièmement, comment pouvons-nous obtenir des résultats fiables pour ces circuits sur du matériel quantique avec un temps d'exécution plus rapide ?

Nous ne pouvons pas répondre à la première question seuls. Nous nous engageons à travailler avec la communauté et les experts de l'industrie pour identifier les problèmes qui peuvent être résolus avec des circuits quantiques connus pour être difficiles à simuler de manière classique. C'est la raison pour laquelle nous avons conçu le plus grand écosystème quantique du monde avec l'IBM Quantum Network, composé d'entreprises du Fortune 500, d'institutions académiques, d'entités nationales, de start-ups et de la communauté Qiskit, pour explorer l'espace des problèmes et y définir ceux qui peuvent générer des applications et une valeur réelles.

Comment alors tracer une voie pour répondre à la deuxième question dans la pratique ?

Le matériel quantique actuel est soumis à différentes sources de bruit, les plus connues étant la décohérence des qubits, les erreurs des portes individuelles et les erreurs de mesure. Ces erreurs limitent la profondeur du circuit quantique que nous pouvons mettre en œuvre. Cependant, même pour les circuits peu profonds, le bruit peut conduire à des estimations erronées. Heureusement, l'atténuation des erreurs quantiques fournit un ensemble d'outils et de méthodes qui nous permettent d'améliorer la précision des estimations à partir de circuits quantiques bruités et peu profonds, avant même l'avènement de la tolérance aux erreurs.

Ces dernières années, nous avons [développé](#)¹ et mis en œuvre deux méthodes générales d'atténuation des erreurs, appelées extrapolation à bruit nul ([ZNE](#))² et annulation probabiliste des erreurs ([PEC](#))³. Par une méthode d'extrapolation des mesures obtenues à différents niveaux de bruit, la méthode ZNE permet de réduire les erreurs d'estimation de résultats de quelques ordres de grandeur pour les circuits quantiques. Plus récemment, des avancées théoriques et expérimentales ont montré que la PEC peut déjà permettre des estimateurs sans bruit de circuits quantiques sur les ordinateurs quantiques actuels.

Dans la PEC, nous caractérisons et inversons efficacement le bruit du circuit d'intérêt pour le calcul des valeurs mesurées en faisant la moyenne d'instances échantillonnées aléatoirement de circuits bruités. L'inversion du bruit, cependant, conduit à une surcharge d'échantillonnage du circuit. Ce surcoût est exponentiel en fonction du nombre de qubits n et de la profondeur du circuit d . La base de cette exponentielle, représentée par $\bar{\gamma}$, est une propriété du modèle de bruit appris expérimentalement et de son inversion. Nous pouvons donc commodément exprimer le surcoût d'échantillonnage du circuit sous la forme d'un temps d'exécution quantique, J :

$$J = \bar{\gamma}^{nd} \beta d$$

Ici, $\bar{\gamma}$ est une puissante métrique de qualité des processeurs quantiques - en termes techniques, $\bar{\gamma}$ est une mesure de la négativité de la distribution de quasi-probabilité utilisée pour représenter l'inverse du canal de bruit. Les améliorations de la cohérence des qubits, de la fidélité des portes et de la diaphonie se traduiront par des valeurs de $\bar{\gamma}$ plus faibles et, par conséquent, réduiront considérablement le temps d'exécution de la PEC. Parallèlement, β est une mesure du temps par opération de la couche de circuit (voir [CLOPS](#))⁴, une mesure importante de la vitesse.

L'expression ci-dessus met donc en évidence la raison pour laquelle la voie de l'avantage quantique passera par l'amélioration de la qualité et de la vitesse des systèmes quantiques à mesure que leur échelle augmentera pour s'attaquer à des circuits de plus en plus complexes. Ces dernières années, nous avons repoussé les limites sur les fronts suivants :

- Nous avons dévoilé notre processeur [Eagle de 127 qubits](#), repoussant l'échelle de ces processeurs bien au-delà des limites de la simulabilité classique exacte.
- Nous avons également introduit une métrique pour quantifier la vitesse des systèmes quantiques - les CLOPS - et démontré une [réduction de 120x](#) du temps d'exécution pour une simulation moléculaire.
- Les temps de cohérence de nos qubits transmon ont dépassé 1 ms, une étape incroyable pour la technologie des qubits supraconducteurs.

- Depuis lors, ces améliorations se sont étendues à nos plus gros processeurs, et nos processeurs Hummingbird de 65 qubits ont vu leur cohérence multipliée par 2 ou 3, ce qui permet de réaliser des portes de plus haute fidélité.
- Dans notre dernier processeur Falcon r10, IBM Prague, les erreurs de porte à deux qubits sont passées sous la barre des 0,1 %, une autre première pour la technologie quantique à supraconducteurs, permettant à ce processeur de démontrer deux étapes dans le volume quantique de 256 et [512](#).

Ces améliorations de la qualité des processeurs quantiques ont conduit à une diminution continue de la valeur de $\bar{\gamma}$. Mesurée sur les meilleures chaînes de 10 qubits sur nos grands processeurs, voici quelques exemples de l'estimation de $\bar{\gamma}$:

Améliorations		$\bar{\gamma}$
Hummingbird r2 (Brooklyn, 65Q)		1.038
Hummingbird r3 (Ithaca, 65Q)	Amélioration de la cohérence de 2-3x par rapport à r2	1.024
Falcon r10 (Prague, 32Q)	Portes à deux qubits de pointe, diaphonie réduite	1.012

Tableau 1 : Comparaison des $\bar{\gamma}$ de trois processeurs IBM Quantum récents.

Bien que ces améliorations de $\bar{\gamma}$ puissent sembler modestes, il est important de ne pas sous-estimer la puissance des exponentielles. Les implications en temps d'exécution de ces améliorations $\bar{\gamma}$ sont énormes - par exemple, pour un circuit de 100 qubits et de profondeur 100, le surcoût en temps d'exécution en passant de la qualité de Hummingbird r2 à Falcon r10 est réduit de manière très spectaculaire de 110 ordres de grandeur.

Pour en savoir plus, vous pouvez consulter le blog dans son intégralité [ici](#).

Contacts Presse :

Weber Shandwick pour IBM

IBM

Gaëlle Dussutour

Tél. : + 33 (0)6 74 98 26 92

dusga@fr.ibm.com

Louise Weber / Jennifer Tshidibi

Tél. : + 33 (0)6 89 59 12 54 / + 33 (0)6 13 94
26 58

ibmfrance@webershandwick.com
