

## IBM dévoile sa feuille de route concernant l'évolution de sa technologie quantique

**Par Jay Gambetta, IBM Fellow et VP IBM Quantum, le 17 septembre 2020 :** En 1969, les humains ont surmonté des obstacles technologiques sans précédent pour entrer dans l'histoire : nous avons envoyé deux des nôtres sur la Lune et les avons ramenés sains et saufs. Les ordinateurs actuels sont efficaces, mais assurément terribles, lorsqu'il s'agit de capturer avec précision les plus petits détails de notre univers. Concevoir un système qui imite réellement le comportement des atomes - et qui peut exploiter ces comportements pour résoudre certains des problèmes les plus difficiles de notre époque - peut sembler impossible si nous limitons notre réflexion au monde informatique que nous connaissons. Mais comme pour l'alunissage, nous avons un objectif ultime pour accéder à un domaine au-delà de ce qui est possible sur les ordinateurs classiques : nous voulons construire un ordinateur quantique à grande échelle. L'ordinateur quantique du futur prendra le relais là où les ordinateurs classiques échouent, en contrôlant le comportement des atomes afin d'exécuter des applications révolutionnaires dans tous les secteurs, en générant des matériaux qui changent le monde ou en transformant notre façon de faire du business.

Aujourd'hui, IBM publie sa feuille de route qui, selon nous, nous permettra de passer des systèmes actuels encore imparfaits et de petite taille aux systèmes du futur de plus d'un million de qubits. Notre équipe développe une série de processeurs évolutifs, de plus en plus grands et de meilleure qualité, avec un système de plus de 1 000 qubits, appelé [IBM Quantum Condor](#), prévu pour fin 2023. Afin d'accueillir des systèmes encore plus denses en termes de nombre de qubits que le Condor, nous mettons au point un réfrigérateur à dilution plus grand que tous ceux actuellement disponibles sur le marché. Cette feuille de route nous met sur la voie des processeurs du futur de plus d'un million de qubits grâce à des connaissances de pointe, des équipes multidisciplinaires et une méthodologie agile améliorant chaque élément de ces systèmes. En même temps, notre feuille de route matérielle se situe au cœur d'une mission plus vaste : concevoir un ordinateur quantique complet déployé via le Cloud, accessible à tout un chacun dans le monde.

L'équipe IBM Quantum conçoit des processeurs quantiques, des processeurs qui reposent sur les mathématiques des particules élémentaires afin d'étendre nos capacités de calcul, en faisant fonctionner des circuits quantiques plutôt que les circuits logiques. Nous représentons les données en utilisant les propriétés des états quantiques simulant des « atomes artificiels », connus sous le nom de qubits transmon supraconducteurs, qui sont connectés et manipulés par des séquences d'impulsions micro-ondes. Mais les qubits oublient rapidement leurs états quantiques en raison de l'interaction avec le monde extérieur. Le plus grand défi auquel notre équipe est confrontée aujourd'hui est de trouver la façon de contrôler de grands systèmes de ces qubits pendant suffisamment longtemps, et avec suffisamment peu d'erreurs, pour faire fonctionner les circuits quantiques complexes requis par les futures applications quantiques.

IBM explore les qubits supraconducteurs depuis le milieu des années 2000, a augmenté les temps de cohérence et diminué les erreurs pour permettre l'utilisation de systèmes multiqubits au début des années 2010. Des améliorations et des progrès continus à tous les niveaux du système, des qubits au compilateur, ont permis de mettre le premier ordinateur quantique dans le Cloud en 2016. Nous sommes fiers de notre travail. Aujourd'hui, nous maintenons plus de deux douzaines de systèmes stables sur le Cloud IBM pour que nos clients et le grand public puissent en faire l'expérience, notamment avec nos processeurs IBM Quantum Canary de 5 qubits et nos processeurs IBM Quantum Falcon de 27 qubits - sur l'un desquels nous avons récemment fait fonctionner un circuit quantique suffisamment long pour déclarer [un volume quantique de 64](#). Il ne s'agissait pas d'augmenter le nombre de qubits, mais plutôt d'améliorer la qualité du compilateur, d'affiner l'étalonnage des portes à deux qubits et enfin d'améliorer à la fois la gestion des erreurs et du bruit et la lecture en fonction des modifications apportées aux impulsions micro-ondes. Tout cela repose sur un matériel dont les mesures sont les meilleures au monde et qui est fabriqué selon des procédés uniques permettant d'obtenir un rendement fiable.

Parallèlement à nos efforts pour améliorer nos systèmes actuels, nous intégrons également les nombreuses leçons apprises dans une feuille de route agressive pour le passage à l'échelle vers des systèmes plus évolués, c'est-à-dire intégrant un plus grand nombre de qubits. En fait, ce mois-ci, nous avons mis en service notre processeur IBM Quantum Hummingbird de 65 qubits pour les membres du [réseau IBM Q](#). Ce système est doté d'un « multiplexage de lecture 8:1 », ce qui signifie que nous combinons les signaux de lecture de huit qubits en un seul, réduisant ainsi la quantité totale de câblage et de composants nécessaires à la lecture et améliorant notre capacité de mise à l'échelle, tout en préservant toutes les caractéristiques de haute performance des processeurs de la génération suivante appelée Falcon. Nous avons considérablement réduit le temps de latence du traitement du signal dans le système de contrôle associé en prévision des futures capacités de « feedback » et de « feed-forward » du système, qui nous permettront de contrôler les qubits sur

la base des conditions classiques pendant que le circuit quantique fonctionne.

L'année prochaine, nous lancerons notre processeur IBM Quantum Eagle de 127 qubits. Eagle comporte plusieurs améliorations afin de dépasser le cap des 100 qubits : des vias traversants (TSVs : through-silicon vias)\* et le câblage à plusieurs niveaux permettent de répartir efficacement une grande densité de signaux de commande classiques tout en protégeant les qubits dans une couche séparée afin de maintenir des temps de cohérence élevés. Entre-temps, nous avons trouvé un équilibre délicat entre la connectivité et la réduction des erreurs de diaphonie grâce à notre approche à fréquence fixe des portes à deux qubits et à la disposition hexagonale des qubits introduite dans la génération Falcon. Cette disposition des qubits nous permettra de mettre en œuvre le code de correction d'erreurs « heavy-hexagonal » que notre équipe a lancé l'année dernière. Ainsi, à mesure que nous augmenterons le nombre de qubits physiques, nous pourrions également explorer la façon dont ils fonctionneront ensemble en tant que qubits logiques à code de correction d'erreurs - chaque processeur que nous concevons intègre ces éléments de tolérance aux pannes.

Avec le processeur Eagle, nous allons également introduire des capacités de calcul classique en temps réel simultané qui permettront l'exécution d'une famille plus large de circuits et de codes quantiques.

Les principes de conception établis sur nos systèmes précédents nous permettront de mettre sur le marché un système IBM Quantum Osprey de 433 qubits en 2022. Des contrôles plus efficaces et plus denses et une infrastructure cryogénique garantiront que la mise à l'échelle de nos processeurs ne sacrifiera pas les performances de nos qubits individuels, n'introduira pas d'autres sources de bruit et n'occupera pas une trop grande surface.

En 2023, nous lancerons le processeur IBM Quantum Condor de 1 121 qubits, en intégrant les leçons tirées des processeurs précédents tout en continuant à réduire les erreurs critiques sur les portes à deux qubits afin de pouvoir faire fonctionner des circuits quantiques plus longs. Nous considérons Condor comme un point d'inflexion, un jalon qui marque notre capacité à mettre en œuvre la correction des erreurs et à augmenter de façon très importante le nombre de qubits de nos systèmes quantiques. En parallèle, nous poursuivons l'amélioration de l'ensemble des composants qui permettra de traiter des problèmes que nous pouvons résoudre plus efficacement sur un ordinateur quantique que sur les meilleurs supercalculateurs du monde (avantage quantique).

Le développement nécessaire à la conception de Condor aura résolu certains des défis les plus urgents dans la manière de mettre à l'échelle un ordinateur quantique. Cependant, alors que nous explorons des domaines encore plus loin, au-delà de la barre des mille qubits, les réfrigérateurs à dilution actuellement disponibles ne seront plus capables de refroidir et d'isoler efficacement de tels systèmes potentiellement complexes et volumineux.

C'est pourquoi nous lançons également un « super-réfrigérateur » de 3 mètres de haut et de 2 mètres de large, dont le nom de code interne est « Goldeneye », un réfrigérateur à dilution plus grand que tous ceux disponibles sur le marché aujourd'hui. Notre équipe a conçu ce mastodonte en pensant à un système d'un million de qubits et a déjà commencé des tests de faisabilité fondamentaux. En fin de compte, nous envisageons un avenir où les interconnexions quantiques relieront les réfrigérateurs à dilution, chacun contenant un million de qubits, comme l'intranet relie les processeurs de supercalculateurs, créant ainsi un ordinateur quantique massivement parallèle capable de changer le monde.

Connaître la voie à suivre ne supprime pas les obstacles ; nous sommes confrontés à certains des plus grands défis de l'histoire du progrès technologique. Mais, grâce à notre vision claire, un ordinateur quantique tolérant aux pannes semble désormais un objectif atteignable dans la décennie à venir.

Ces avancées technologiques essentielles autour de l'informatique quantique s'accompagnent d'une forte demande de l'enseignement supérieur pour former les étudiants et les préparer aux compétences nécessaires. L'université de Montpellier a été la première à s'engager dans un partenariat scientifique avec l'IBM Q Hub de Montpellier (projet QuantUM) en décembre 2018 et d'autres s'y intéressent vivement.

Plus largement, grâce à ses relations avec les grandes écoles et les universités, IBM développe des cours

complets autour du quantique incluant des TPs avec la mise en œuvre sur IBM Qiskit et propose et encadre des projets scientifiques collectifs dédiés au quantique.

Ce sujet remporte un vif succès auprès d'étudiants curieux et passionnés de mathématiques!

\* Dans le domaine de l'industrie des semi-conducteurs, un via traversant (en anglais through-silicon via) est un contact électrique réalisé dans la verticalité du substrat, permettant d'établir une connexion entre les deux faces. Ainsi les contacts peuvent être repris sur la face du substrat opposée à la face active où se trouve les dispositifs microélectroniques ou électromécaniques.

### **Contacts presse**

#### **IBM France**

Gaëlle Dussutour

Tél : +33 (0)6 74 98 26 92

[dusga@fr.ibm.com](mailto:dusga@fr.ibm.com)

#### **Weber Shandwick pour IBM France**

Morad Salehi / Robin Legros

Tél : + 33 (0) 6 89 59 12 54

[ibmfrance@webershandwick.com](mailto:ibmfrance@webershandwick.com)

---