



## Actualités quantiques de décembre 2023

Nous démarrons cette année 2024 avec le 54<sup>e</sup> épisode de Quantum, le podcast francophone de l'actualité quantique. Je suis toujours avec **Fanny Bouton**, ci-devant quantum lead chez OVHcloud.

Nous allons évoquer des événements récents comme la Q2B aux USA à laquelle Fanny a participé, ma visite au Danemark, les nombreuses annonces d'IBM, celles des premiers qubits logiques dans les atomes neutres et aussi avec les qubits de chats d'Alice&Bob, ainsi que de la fin du challenge sur le climat de Pasqal.

Voici comme d'habitude le transcript du podcast avec divers compléments, qu'il s'agisse de commentaires, de données, d'images ou de liens.

### Événements

Nous allons commencer par couvrir les événements de décembre 2023.

#### **Q2B à Santa Clara du 5 au 7 décembre**

Cette conférence organisée par QC Ware a lieu tous les ans en Californie début décembre depuis 2017. C'est dans cette première édition que John Preskill, de Caltech, avait lancé l'idée du NISQ. La conférence qui a deux spin-offs, une à Tokyo et une à Paris, rassemble plutôt l'écosystème entrepreneurial et des utilisateurs du quantique. Et Fanny y était cette année pour représenter à la fois France Quantum et OVHcloud. Les startups françaises y étaient bien représentées par des intervenants avec notamment Alice&Bob, Quandela et Pasqal.

Il devait y avoir au moins 500 participants et un village écosystème dans l'un des halls pour networker.

Du côté des interventions, il y avait notamment les fameux **John Preskill** et **Scott Aaronson**. Le premier **faisait le point** sur l'avancée du calcul quantique en déclarant que le NISQ n'était pas en mesure d'apporter un avantage quantique, au sens de la capacité à apporter une capacité de calcul supérieure à celle des supercalculateurs les plus puissants. Et d'indiquer que la seule voie de salut était la tolérance de panne et la création de qubits logiques corrigés. A ceci près qu'en creux, il n'exclue pas forcément qu'en régime NISQ ou puisse obtenir un avantage quantique qualitatif, voire énergétique, sans pour autant dépasser les capacités des grands supercalculateurs. Quand on examine cela de près, on en est cependant encore loin, sauf peut-être avec les ordinateurs quantiques analogiques.

Fanny évoque aussi l'initiative « Women in quantum » qui a permis de créer la photo *ci-dessous* avec une cinquantaine de participantes et intervenantes de la conférence, soit environ 15% de la conférence.



### Visite au Danemark du 6 au 8 décembre

J'étais à Copenhague au même moment que la Q2B à Santa Clara.

J'y étais invité par Lydia Baril qui coordonne l'écosystème quantique de l'Université Technologique du Danemark, DTU (DTU Quantum). J'y suis intervenu à deux reprises pour présenter les défis et opportunités du calcul Quantique (slides) et sur la cybersécurité (slides). Et comme pour chaque pays où j'interviens, j'en profite pour rencontrer des laboratoires et entreprises. Ici, pendant trois jours, j'ai visité plusieurs équipes de recherche dans DTU ainsi qu'au Niels Bohr Institute, le légendaire institut créé en 1920 par Niels Bohr. Les laboratoires que j'ai visités sont très focalisés sur les applications de la photonique, surtout dans les sources de photons et pour des applications couvrant aussi bien les communications quantiques que le calcul quantique. J'ai aussi vu des travaux sur les atomes neutres.

La grande surprise était de creuser pourquoi le plus gros financeur du quantique dans le pays n'est pas l'État mais la fondation Novo Nordisk. Ils ont mis \$200M sur 7 ans dans le calcul quantique avec en ligne de mire ses applications dans la santé. J'ai rencontré Peter Krogstrup qui dirige le NQCP, le laboratoire correspondant à ce projet. Avec Jörg Hubner qui dirige le Nanolab (la fab) de DTU, ils partagent la conviction que le futur du calcul quantique dépend de la qualité de la fabrication de ses composants et ils investissent pour créer un capital d'expertise dans ce domaine.

Le **compte-rendu détaillé** est disponible.

### Atelier de découverte du quantique organisé par LLQ/Les Maisons du quantique

Le **Lab Quantique** et **Les Maisons du Quantique** organisaient le 13 décembre au soir à Station F un atelier de découverte du quantique, surtout sur le calcul quantique. J'y intervenais avec Fanny pendant environ 2 heures pour expliquer tout cela ! D'autres ateliers du genre seront organisés.

Le même jour était organisé en partenariat avec **OVHcloud** un atelier avec **Quandela** pour apprendre à développer avec Perceval, permettant d'accéder à une vraie machine quantique de Quandela.

### Une conférence sur le scepticisme du calcul quantique à l'école Polytechnique le 21 décembre

Le binet QuantX de l'X et leur laboratoire de physique organisait une **conférence** en soirée avec des sceptiques sur le devenir du calcul quantique. L'audience comportait surtout des étudiants et chercheurs de l'X, soit environ une cinquantaine de personnes.



Les intervenants étaient :

- **Michel Dyakonov** qui dit que l'on ne sait toujours pas factoriser 15, et soulevait un point à creuser sur les faibles variations énergétiques d'un registre quantique.
- **Xavier Waintal** du CEA IRIG, qui évoque les nombreux blocages pour créer des ordinateurs quantiques utiles. Et qui prend comme exemple la difficulté à réaliser des opérations mathématiques élémentaires.
- **Thomas Ayrat** d'Eviden, qui enseigne aussi à l'X, qui a mis sur la table pas mal de choses intéressantes concernant les limites du calcul quantique, les classes de complexité accessibles, les questions sur le « long range entanglement », qui méritent toutes de l'approfondissement.

Ils posaient tous des questions pertinentes mais la structure de débat ne permettait pas d'y répondre convenablement, faute de contradiction suffisante. Ces questionnements mériteraient d'être mieux documentés avec arguments et contre-arguments. Et en présence de physiciens qui y croient !

A noter un article dans IEEE qui met aussi en avant le scepticisme sur le calcul quantique utile, notamment de la part de Yann LeCun de Meta. Dans **Quantum Computing's Hard, Cold Reality Check** by Edd Gent, IEEE Spectrum, December 2023.

Xavier Waintal a ensuite publié un papier expliquant rapidement l'origine de son scepticisme : **The Quantum House Of Cards** by Xavier Waintal, arXiv, December 2023 (9 pages). Cela ne fait pas l'unanimité car certains arguments sont un peu rapidement avancés, notamment autour de la correction d'erreurs. Un débat posé et avec toutes les parties prenantes serait le bienvenu.

## Événements 2024

Nous pouvons d'ores et déjà annoncer plusieurs événements de l'écosystème sur le premier semestre de cette nouvelle année 2024 :

- La **Journée Nationale Quantique** le 6 mars, organisée par le SGPI.
- La **Q2B Paris** qui aura lieu les 7 et 8 mars, toujours en partenariat avec Bpifrance.
- La conférence **France Quantum** qui aura lieu le 21 mai 2024 juste avant Vivatech et à Station F ?

## Actualité entrepreneuriale et scientifique

Ce mois de décembre a été bien riche en annonces.

### IBM Quantum Summit le 4 décembre

Comme chaque année en fin d'automne, IBM faisait le point sur sa roadmap et faisait quelques annonces importantes. De nouveaux ordinateurs quantiques, une roadmap détaillée aussi bien côté matériel que logiciel. Peux-tu nous décrire tout cela.

Plusieurs choses essentielles à décrypter :

**Condor**, l'ordinateur quantique supraconducteur à 1121 qubits. Cela fait trois ans qu'il était prévu et il est bien sorti en temps et en heure, mais il ne sert à rien en pratique. Pourquoi donc ? Parce que les fidélités des qubits sont insuffisantes pour qu'il soit possible d'en profiter dans un algorithme quantique. Une règle assez simple permet de le comprendre. La fidélité requise pour un calcul en régime NISQ est  $1/(\text{nbr de qubits} * \text{profondeur de l'algorithme})$ . Avec 1000 qubits sur juste une profondeur de 1, il faudrait avoir 99.9% de fidélité. Or le taux d'erreurs est supérieur à 2%. Cela ne colle pas. Alors pourquoi IBM présentait cette machine ? Elle permet surtout de valider ses éléments externes au processeur : la cryogénie et l'électronique de contrôle. Ils ont réussi une prouesse en la casant dans un cryostat standard XLD de Bluefors. Mais comme elle est trop bruitée, cette machine ne sera pas mise dans le cloud. Osprey avec ses 433 qubits qui était aussi disponible dans le cloud d'IBM depuis mai 2023, a été également débranché pour la même raison. Il n'y a pas de photos de la bête, c'est bien dommage !

**Heron** est enfin présenté avec ses 133 qubits. Et il est disponible en ligne pour les utilisateurs payants d'IBM Quantum Experience. C'est un processeur de meilleure qualité que la génération précédente Eagle de 127 qubits qui la précédait et avait connu plusieurs itérations entre fin 2021 et 2023. Ce processeur introduit les « tunable couplers », qui relient les paires de qubits pour la mise en œuvre de portes à deux qubits. L'approche n'est pas nouvelle puisqu'elle avait été adoptée par Google en 2019. IBM a présenté un papier décrivant les caractéristiques de cette machine. Et depuis qu'elle est en ligne, on sait que la fidélité des portes à deux qubits est de 99.68% pour une CZ, ce qui est un record pour des qubits supraconducteurs commerciaux, et surtout avec ce nombre de qubits. Mais ce n'est pas encore le 99.9% espéré par IBM. Couplée à la mitigation d'erreurs, IBM pense que cette génération de processeur permettra de tirer parti du NISQ dans des applications concrètes dans ce qu'ils appellent la « quantum utility ». En pratique, elles relèvent de certaines formes particulières de simulations physiques intéressant plutôt la recherche fondamentale. Notamment celles qui sont adaptées aux formulations en modèles d'Ising. Ce n'est cependant pas vraiment adapté aux simulations chimiques.

ibm\_torino
Exploratory
OpenQASM 3

**Details**

**133**  
Qubits

**0.8%**  
EPLG

**3.8K**  
CLOPS

Status: ● Online

Total pending jobs: 4 jobs

Processor type ⓘ: Heron r1

Version: 1.0.1

Basis gates: CZ, ID, RZ, SX, X

Median CZ error: 3.950e-3

Median SX error: 2.969e-4

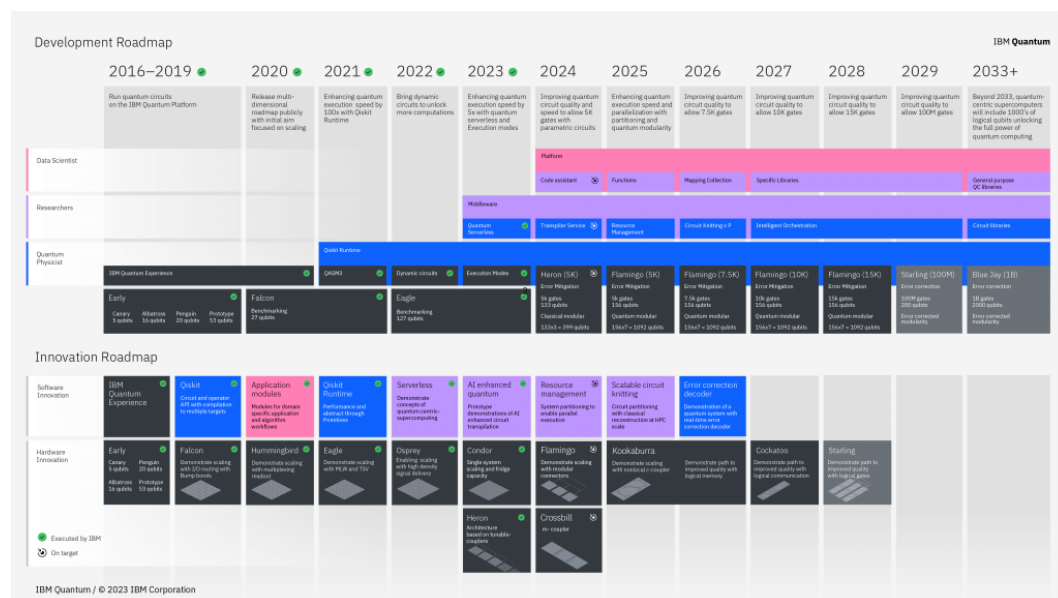
Median readout error: 2.230e-2

Median T1: 184.81 us

Median T2: 134.97 us

**Roadmap.** Du côté matériel, IBM a raffiné sa roadmap pour les années à venir. Elle fait la distinction entre des processeurs de production et de recherche. Comme certains acteurs, les capacités des machines sont exprimées en nombre de portes quantiques exécutables par les algorithmes. On en est aujourd'hui à environ 3000 avec

Eagle/Heron, en intégrant la mitigation d'erreurs. Cela passera à 10K en 2027 avec Flamingo, un QPU avec 7 chips de 156 qubits, puis à 100 millions de portes en 2029 avec Starling et un milliard de portes avec Blue Jay en 2033. Cela correspond à entre 200 et 2000 qubits logiques. Le point clé de cette roadmap est la modularité. Le plus gros processeur supraconducteur d'IBM en restera à 156 qubits, ce qui est peu mieux qu'Heron. Ces chips seront ensuite assemblés. Dans un premier temps, côte à côte, puis de manière plus ou moins distante. Cela nécessite de mettre au point des techniques de liaisons à base de photons intriqués, soit dans les microondes pour la proximité, soit des photons infrarouges pour les distances de plusieurs mètres.



**Qiskit 1.0** : sortira en février 2024. Apports : Qiskit Patterns, un processus en quatre étapes permettant d'exécuter des algorithmes sur un ordinateur quantique. Les modèles Qiskit peuvent être composés à partir de blocs de construction réutilisables, ce qui permet la réutilisation et la simplification du code. Permettra de construire des circuits dynamiques avec des boucles, des branches et des expressions classiques. Plus une réduction de la consommation de mémoire classique. Plus amélioration du transpiler et de l'optimiseur qui sont 16 fois plus rapides et utilisent du machine learning. Exécution du même circuit en parallèle sur plusieurs QPUs avec amélioration de la préparation des batches.

**Watson X** : une IA générative qui sert à automatiser la production de code quantique. Cet assistant de code d'IA génératif dénommé Qiskit Code Assistant utilise un grand LLM alimenté par du code. Le modèle de 20 milliards de paramètres supporte des contextes de 8000 tokens et est entraîné avec 370 millions de tokens.

Liens utiles :

**IBM Debuts Next-Generation Quantum Processor & IBM Quantum System Two, Extends Roadmap to Advance Era of Quantum Utility**, IBM Newsroom, December 2023.

**IBM Quantum Computing Blog | The hardware and software for the era of quantum utility is here by Jay Gambetta**, December 2023.

**New developer tools for quantum computational scientists | IBM Research Blog by Ismael Faro**, IBM Research Blog, December 2023.

## 48 qubits logiques avec des atomes neutres

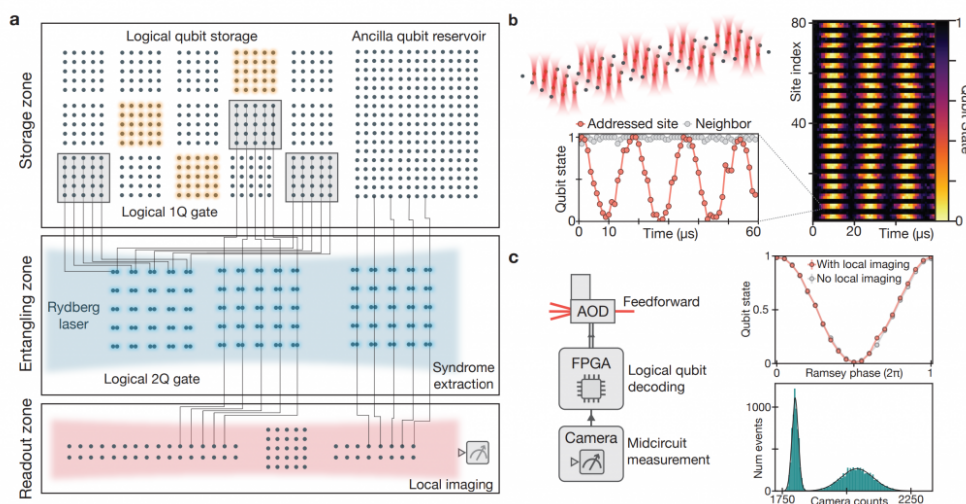
Cette annonce était une sorte de coup de tonnerre. L'équipe de Misha Lukin de Harvard accompagnée de chercheurs du MIT et de QuEra créaient jusqu'à 48 qubits logiques à partir de 280 atomes neutres. Cette



prouesse est une première dans l'absolu en nombre de qubits logiques et aussi au niveau de la capacité à contrôler des atomes neutres comme cela n'avait jamais été fait. Alors, Olivier, ça y est, on les a nos qubits logiques ?

Comme d'habitude, il faut raison garder et analyser de près la performance et ce n'est pas évident car elle est documentée de manière inhabituelle.

L'origine de la prouesse est le déplacement contrôlé des atomes dans le vide, pour les faire se rejoindre et créer des portes à deux qubits et puis pour réaliser des mesures non destructives. Puis le test de plusieurs codes de correction d'erreurs, l'un d'entre eux ayant permis de créer jusqu'à 48 qubits logiques.



Les diables est dans les détails : l'amélioration de la fidélité obtenue avec ces qubits logiques semble modeste et n'est pas chiffrée de manière traditionnelle. Elle passe par une technique dite de post-sélection, que l'on trouve souvent dans les qubits photons. Et cela a un coût computationnel certain. Et ils ne mettent pas en œuvre tous les artifices de la tolérance de pannes. En pratique, les qubits logiques de QuEra semblent être de « bons qubits NISQ » et pas véritablement dans le régime de l'avantage quantique car des qubits logiques à <99.9% de fidélité sont facilement émulables classiquement avec des réseaux de tenseurs.

Leurs benchmarks sont du XEB et des états GHZ. Il y a évidemment aussi des points à creuser sur la scalabilité réelle du dispositif avec un grand nombre d'atomes. M. Lukin envisage en tout cas de faire la même chose avec des dizaines de milliers d'atomes et de générer à terme 100 qubits logiques à  $10^{-6}$  et  $10^{-8}$  erreurs, ce qui commence à devenir intéressant.

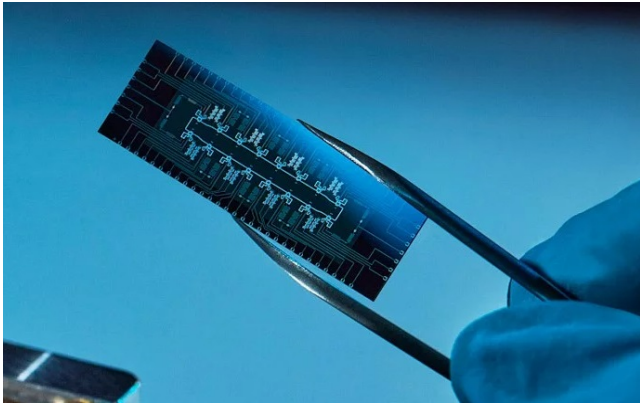
Une proposition d'architecture complémentaire permettrait de contrôler plein de qubits stationnaires avec des photons avec des liaisons  $n$  to  $n$ . Un papier récent (**A scaled local gate controller for optically addressed qubits** by Bichen Zhang et al, Princeton University and Duke University, October 2023 (15 pages)) propose une architecture permettant de faire cela à une échelle de plusieurs milliers de qubits. Cette architecture pourrait d'ailleurs aussi servir pour contrôler des ions piégés, des quantum dots à la Quandela et des centres colorés dans les diamants ou le silicium. La diversité des architectures proposées ne fait qu'augmenter !

Liens utiles : le papier dans Nature : **Logical quantum processor based on reconfigurable atom arrays** by Dolev Bluvstein, Mikhail D. Lukin et al, Nature, December 2023 (42 pages) et l'accès ouvert à l'article dans Nature, la **version arXiv** ainsi que les **commentaires des referees**, l'annonce **LinkedIn** et le **commentaire de Scott Aaronson**.

**Alice&Bob annonce son premier qubit logique**

QeEra et Harvard n'étaient pas seuls à présenter des qubits logiques. Alice&Bob a fait de même mi-décembre !

Ils ont annoncé avoir fabriqué une puce de 16 qubits physiques dénommée Helium-1 permettant à terme de créer des qubits logiques avec une fidélité cible de  $10^{-6}$ . C'est une très bonne nouvelle pour la startup qui semble en mesure de faire mieux qu'Amazon avec son annonce de novembre dernier où ils étaient très imprécis. Les tests ont lieu en ce moment et des résultats doivent être présentés début 2024. Stay tuned. C'est une très bonne nouvelle et une première pour une startup française. On rappelle que l'intérêt de leurs qubits de chats est de permettre de créer des qubits logiques de bonne qualité avec un plus petit nombre de qubits physiques qu'avec les autres types de qubits. Ces qubits ont une protection intégrée au niveau physique contre les erreurs de flip. Il reste l'erreur de phase à corriger, qui coûterait moins cher à corriger.



Voir [Alice & Bob Takes Another Step Toward Releasing Error-Corrected Logical Qubit](#) by Matt Swayne, The Quantum Insider, December 2023.

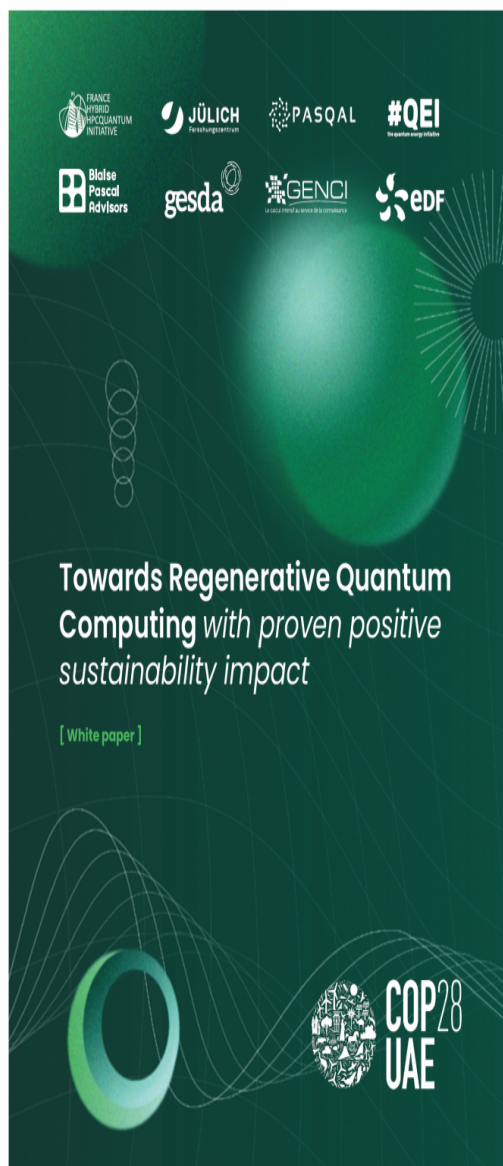
### **Pasqal et le climat**

Pasqal a terminé son challenge sur l'impact du calcul quantique sur le climat et sélectionné **trois équipes finalistes**. Le Blaise Pascal [re]Generative Quantum Challenge. Le jury rassemblait notamment Florent Menegaux (CEO de Michelin), Frederic Magniez du CNRS-IRIF, Kristel Michielsen (EMBD) et Georges-Olivier Reymond, CEO de PASQAL.

Les trois projets sélectionnés :

- La prévision de production d'énergies renouvelables à base de machine learning quantique et de reservoir computing. Étudiants ARTEQ chez EDF et Naval Group. Naomi Mona Chmielewski, Leo Monbroussou and Ulysse Remond.
- L'optimisation de fermes d'éoliennes avec de l'optimisation combinatoire. Maria Demidik (Chypre), Cenk Tuysuk, Manuel Rudolph (EPFL), Giorgio Fecelli, and Ravi Kumar.
- La découverte de molécule avec du « docking » utilisant un modèle à base de graphe. Victor Onofre (Open Source Foundation, Espagne), Noe Bosc-Haddad (Centralien, chez Natixis et Quandela) and Mathieu Garrigues.

Ce n'est pas encore en régime d'avantage quantique mais c'est intéressant. Chaque équipe gagnait 50K€. Il est dommage que Pasqal ne communique pas plus sur l'origine des équipes.

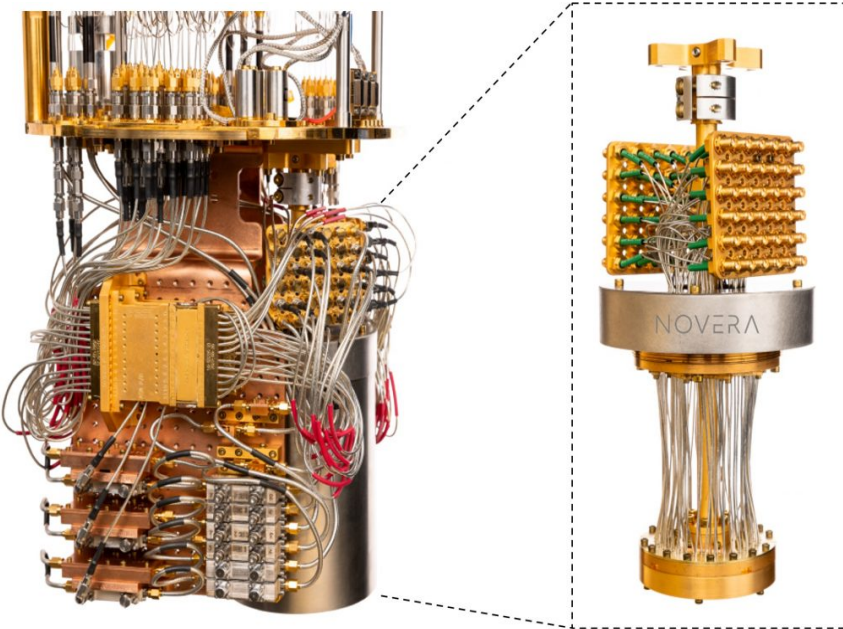


Pasqal a aussi publié un livre blanc de 72 pages présentant ces projets et sa démarche environnementale ainsi que l'avantage énergétique des simulations quantiques à base d'atomes froids. Avec divers partenaires dont EDF, le GENCI, et la QEI. Voir **Regenerative Quantum Computing Whitepaper** by Pasqal, December 2023 (72 pages).

### Rigetti annonce Novera

En décembre 2023, Rigetti **annonçait** Novera, un système équipé d'un processeur de 9 qubits supraconducteurs. Et pour \$900K. Il utilise un processeur de la génération Ankaa avec des tunable couplers pour les portes à deux qubits qui sont des iSWAP. C'est au même prix qu'IQM avec 5 qubits. C'est utile pour les universités. Mais pour les entreprises, cela ne sert à rien en production puisque 9 qubits, cela tourne sur un Raspberry Pi à 50€. Cela fait suite aux offres d'IQM et SpinQ dans le même registre.





Rigetti a publié quelques figures de mérite de ce processeur. Il a un fidélité de portes à deux qubits iSWAP de 98.5% avec un T1 de 16.8  $\mu$ s et un T2 de 13  $\mu$ s. Par comparaison, IBM Heron avec 133 qubits a un T1 de 184  $\mu$ s et un T2 de 133  $\mu$ s et une fidélité de porte à deux qubits de 99.68% avec une porte CZ. Il n'y a pas photo ! Si l'hiver quantique arrive, Rigetti aura très froid !

### Levée de fonds de CryptoNext

Ils lèvent 11M€ ce qui est une première pour une startup logicielle du secteur, même si cela reste de la PQC. Voir **CryptoNext Security Raises €11 Million to Reinforce Leadership in Post-Quantum Cryptography Remediation Solutions And Accelerate International Expansion** by Matt Swayne, The Quantum Insider, December 2023.

### Annnonce du Quantum Pact européen

Avec Thierry Breton, dans une annonce faite en Espagne, qui avait la présidence de l'Union Européenne sur le second semestre de 2023. L'objectif est la consolidation et la coordination entre états membres de leurs stratégies quantiques nationales, histoire d'éviter la dispersion et la fragmentation. Le pacte a été signé par 20 états membres, soit presque l'unanimité. Lien: [the quantum pact](#).

### Science

Voici trois papiers intéressants relevés sur ce mois :

Un très bon « review paper » sur les algorithmes d'optimisation quantiques : **Quantum Optimization: Potential, Challenges, and the Path Forward** by Amira Abbas et al, December 2023 (70 pages).

Un autre review paper qui explique bien les principaux algorithmes quantiques : **Quantum algorithms scientific applications** by R. Au-Yeung, B. Camino, O. Rathore, and V. Kendon, arXiv, December 2023 (60 pages).

Un papier qui présente une méthode permettant de réduire le nombre de portes quantiques dans des algorithmes de simulation chimique, réalisé entre autres par les équipes de Qubit Pharmaceuticals : **Polylogarithmic-depth controlled-NOT gates without ancilla qubits** by Baptiste Claudon, Julien Zylberman, César Feniou, Fabrice Debbasch, Alberto Peruzzo, and Jean-Philip Piquemal, December 2023 (12 pages).

---

Il nous reste à vous souhaiter une bonne année 2024 !

Cet article a été publié le 3 janvier 2024 et édité en PDF le 15 mars 2024.  
(cc) Olivier Ezratty – “Opinions Libres” – <https://www.oezratty.net>