



Opinions Libres

le blog d'Olivier Ezratty

Actualités quantiques de décembre 2021

Dans ce 34e podcast “Quantum”, **Fanny Bouton** et moi-même faisons comme d’habitude un tour d’horizon de l’actualité quantique française et mondiale avec l’actualité événementielle, puis scientifique et entrepreneuriale. L’épisode est aussi sur **YouTube**.

L’actualité est dense et variée. On y évoque même à la fin le cas du « tardigrade quantique intriqué » pour voir si c’est un hoax ou pas.

Ce post contient une sorte de version longue du podcast ainsi que les liens permettant de trouver dans la plupart des cas les sources des informations citées.

Post-scriptum sur les 127 qubits d’IBM

Nous commençons par une forme d’erratum concernant IBM et ses 127 qubits. Je me plaignais dans le **Quantum précédent** de ce qu’IBM n’avait pas publié les caractéristiques techniques de ces 127 qubits. Ce n’était pas exact. Comme quelqu’un d’IBM me l’a signalé sous forme de **commentaires**, la société a bel et bien publié des informations sur la fidélité de ses 127 qubits. C’est le cas avec tous les systèmes quantiques mis en ligne dans l’offre IBM Q Experience, sachant que leur accès est gratuit jusqu’à 15 qubits. En l’occurrence donc, les informations sur IBM Q Washington et ses 127 qubits étaient disponibles dès le 16 novembre **sur ce lien**.

Avec donc :

- Des **temps de vie** des qubits d’environ 100 μ s, en ligne avec les versions précédentes. Leur T1 est de 95 μ s et leur T2 de 103 μ s. T1 correspond au “qubit lifetime”, le temps de stabilité en amplitude des qubits, et T2 au temps de stabilité de leur phase. En laboratoire, IBM a obtenu en 2021 un T1 de 1 ms, donc 10 fois meilleur, mais sur une architecture de circuits supraconducteurs différente qui n’est pas en ligne et dont le nombre de qubits n’est pas précisé.
- Des **taux d’erreur de portes CNOT** (à deux qubits) situés selon les jours entre 2% et 6,3%. Ce n’est vraiment pas très bon ni bien stable.
- Des **taux d’erreur sur les portes à un qubit (X)** assez bas, de 0,06%. En règle générale, les portes à un qubit sont plus fidèles que les portes à deux qubits.
- Des **taux d’erreur de lecture** situés entre 2% et 2,8%.
- Un **volume quantique** de 32 (2 puissance 5), ce qui nous fait 5 qubits réellement utilisables. Cela représente une régression que le record précédent de QV de 128 pour les processeurs à 27 qubits correspondant à 7 qubits utilisables. Il faut se rappeler que le volume quantique ne correspond pas à un

nombre de qubits utilisables. C'est son logarithme en base 2 qui l'est. En d'autres termes, un volume quantique est une puissance de deux. C'est cette puissance qui correspond au nombre de qubits pratiquement utilisable [PS: le volume quantique des 127 qubits était passé à 64, comme vu le 17 janvier 2022, ce qui nous fait 6 qubits].

Bref, on a bien 127 qubits mais ils ne sont pas vraiment exploitables à ce stade pour en tirer parti et obtenir un véritable avantage quantique. Sauf éventuellement par des algorithmes pour qui le bruit ne serait pas gênant et il y en a assez peu de disponibles de ce genre. Il faut savoir par ailleurs que l'évaluation des capacités d'un grand ensemble de qubits est plus compliquée que la collecte des données de fidélité ci-dessus. Elle dépend aussi de la topologie des qubits (comment ils sont reliés entre eux) ainsi que de la manière dont ils fonctionnent ensemble. Cela nécessite des techniques de benchmark sophistiquées, le quantum volume en étant une, mais pas la seule. Il y a notamment aussi le Q-score d'Atos (**détails de décembre 2020**).

En théorie, l'espace de calcul de 127 qubits dépasse de loin celui des plus grands supercalculateurs mais le bruit est tel que l'on ne peut pas en tirer grand-chose. Le taux d'erreur de ces qubits est tellement élevé que l'on ne peut même pas assembler ces qubits physiques pour créer des qubits logiques corrigés.

Dans sa **présentation** du 16 novembre 2021, IBM indique que les fidélités de ses autres systèmes s'améliorent continûment au gré de leur calibrage et de l'arrivée de nouvelles générations de processeurs pour un nombre de qubits donné (les Falcon pour 27, Hummingbird pour 65, Eagle pour 127 qubits). Il y a ainsi des Falcon R4, R5, R5.11, etc. Le processeur Hummingbird r2 de 65 qubits a un taux d'erreurs de 2,96% à 4% pour les portes CNOT et de 3,22% à 3,67% pour la lecture des qubits. Le dernier processeur Falcon R5.5 de 27 qubits a un taux d'erreur de 1,23% pour les CNOT et de 1,27% en lecture. En conséquence de quoi, les générations anciennes ayant bénéficié de plus d'améliorations, elles ont toujours des fidélités meilleures que la dernière génération. Reste à voir si IBM arrivera à perfectionner ses 127 qubits pour qu'ils atteignent la fidélité des meilleurs processeurs Falcon à 27 qubit. Sachant que cette fidélité est déjà très moyenne pour que ces processeurs soient réellement utiles.

Événements

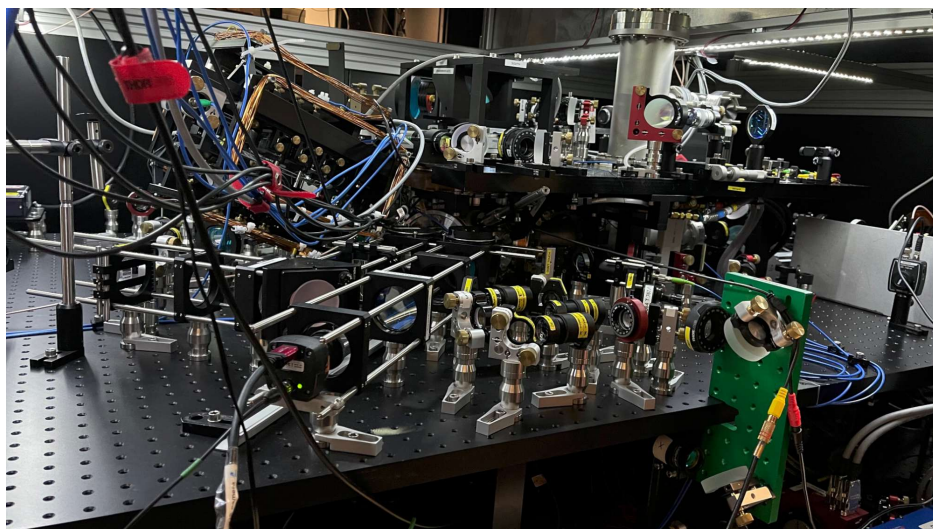
Nous passons en revue quelques événements récents :

La conférence **Q2B** de QC-Ware avait lieu à San José en Californie du 7 au 9 décembre 2021. C'est une grande **conférence** avec les principaux fournisseurs d'ordinateurs quantiques, un must annuel organisé par l'éditeur de logiciels QC-Ware. Y intervenaient notamment Jean-François Bobier du BCG Paris ainsi que Robert Marino de Qubit Pharmaceuticals, puis Loic Henriot et Georges-Olivier Raymond de la startup Pasqal. Ces derniers annonçaient avoir atteint 500 qubits avec leurs atomes froids en mode "simulation quantique". IonQ annonçait aussi passer de l'ytterbium au baryum pour ses ions piégés. Cela leur servirait à améliorer la fidélité des qubits, la rapidité des portes quantiques, d'utiliser des lasers de contrôle dans le visible au lieu de l'ultraviolet, et par conséquent de faciliter la mise en réseau de plusieurs processeurs quantiques via des liaisons photoniques (approche de "scale-out"). Enfin, les modifications apportées aux lasers de contrôle leur permettraient de contrôler plusieurs qubits au lieu de quelques dizaines. On attend évidemment de juger tout cela sur pièces (**source**).

Jean Dalibard se voyait remettre la Médaille d'Or du CNRS à la Sorbonne par la Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche **Frédérique Vidal**. Jean Dalibard est une personnalité importante de la physique quantique. Il avait participé aux expériences d'Alain Aspect en 1982 invalidant les inégalités de Bell. Il aussi inventé au milieu des années 1980 la technique de contrôle des atomes froids avec des pinces lasers ("tweezers"). Les deux précédentes médailles d'or liées à la physique quantique étaient celles de Serge Haroche

en 2009 et d'Alain Aspect en 2002. S'il y a un seul lauréat par an de cette médaille d'or, il y en a une grosse vingtaine pour la médaille d'argent. À noter celle d'Antoine Browaeys (IOGS/Pasqal) en 2021 et de Pascale Senellart (C2N et depuis 2017, aussi chez Quandela) en 2014.

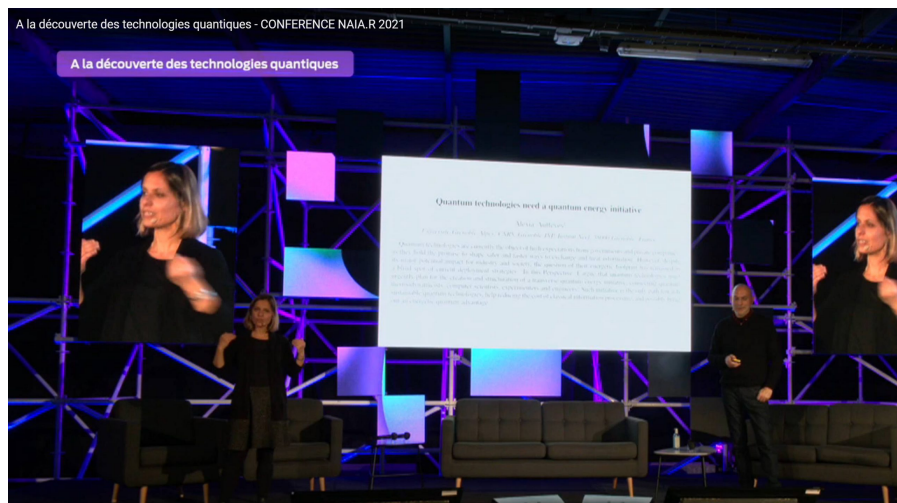
J'intervenais sinon à **Strasbourg** le **6 décembre 2021** autour de la publication de mon ebook **Understanding Quantum Technologies**. Sous la forme d'un débat avec **Kaoutar Benlamine**, qui est enseignante en Quantum Machine Learning à l'INSA Strasbourg, puis dans un panel sur l'état des qubits avec notamment **Shannon Whitlock** de l'Université de Strasbourg ainsi que **Chayma Bouazza** de Pasqal et **Jonathan Attia** (Fondation Feynmann, IEEE), animé par **Inès Jorge**, suivi d'un panel sur l'écosystème quantique de la Région Grand Est (avec **Michel Kurek**, **Denis Cavallucci**, **Eddie Smigiel**, **Guillaume Chevereau** et **Cyriaque Genet**, animé par **Rachel Guez**) (**programme détaillé**). J'ai aussi visité quelques-uns des laboratoires de physique quantique d'Unistra (Université de Strasbourg, ci-dessous, celui de Shannon Whitlock avec une expérience de contrôle d'atomes froids).



Le livre est maintenant disponible sur le fameux site de preprints scientifiques **Arxiv** géré par l'Université Cornell aux USA (**lien**). Le contenu est le même que sur ce blog, avec un petit décalage de publication. Cela permet de mieux faire connaître l'ouvrage auprès des physiciens et des étudiants en physique quantique. Par contre, impossible comme pour toutes les publications de savoir combien de fois le bouquin est téléchargé. C'est une grande bouteille à la mer !

J'ai enregistré mon premier **podcast d'interview** sur le bouquin avec des américains. Il dure une heure avec des rôles inversés puisque je suis interrogé par deux interviewers, **Michael Strike** et **Ryan Malinowski** de @GRLedger. Ils étaient intéressés par le calcul quantique en liaison avec la blockchain mais nous n'avons pas abordé le sujet de la blockchain et des NFT. Heureusement.

J'intervenais aussi le 8 décembre 2021 dans un panel sur les technologies quantiques et leur lien avec l'industrie organisé dans le cadre du parcours de technologie quantique **ARTEQ**. Y participaient **Pascale Senellart**, **Thierry Debuisschert** de Thales R&T et **Olivier Tonneau** du fonds d'investissement Quantonation, le tout préparé par **Jean-François Roch**. Les échanges avec les étudiants étaient animés par **Philippe Grangier**, directeur de recherche CNRS et responsable de SIRTEQ de la région Île-de-France. Les étudiants posaient beaucoup de questions sur l'éthique des technologies quantiques et sur le moyen de s'orienter vers les sujets ayant un impact positif comme dans la santé et sur l'environnement. Cela avait lieu à l'**ENS Saclay** que Fanny et moi avons pu ensuite rapidement visiter.



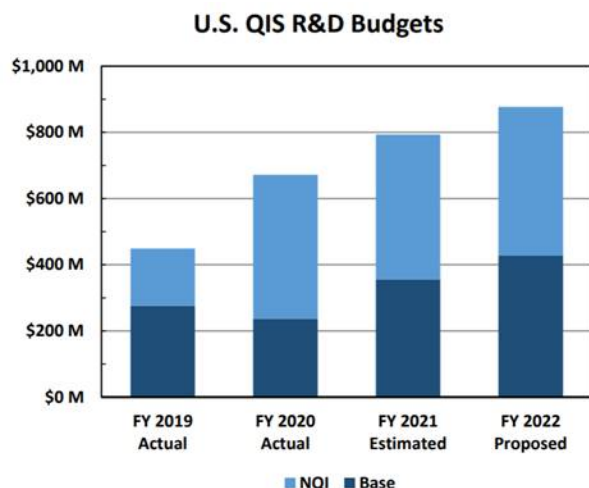
J'intervenais enfin avec **Eleni Diamanti** (CNRS LIP6) à Bordeaux dans le forum **NAIA-A** (vidéo d'une heure 15 qui est plutôt pas mal...) puis à l'**ENSIERB** devant plus d'une centaine d'étudiants les 9 et 10 décembre. Nous en avons profité pour visiter la grande antenne locale de l'Institut d'Optique Graduate School et la société Muquans qui est maintenant intégrée dans **ixBlue**. Nous y avons notamment découvert comment ils avaient adapté leur micro-gravimètre à atomes froids pour mener des expériences à gravité 0 dans des vols paraboliques de d'Airbus A310. Nous étions accueillis sur place par **Audrey Durand** qui pilote le pôle **Naquidis** de Nouvelle Aquitaine.

USA

Le 7 décembre 2021 avait lieu la signature d'un **Joint Statement France USA** par Frédérique Vidal et Eric Lander (le CTO du gouvernement US) à la Maison Blanche, en présence du coordinateur national de la stratégie quantique, Neil Abroug. Il contient des axes de coopération dans différents domaines dont les technologies quantiques (**communiqué**). Ces axes porteront sur des échanges entre la NSF américaine et l'ANR française, des workshops communs et autres échanges restant à préciser.

A noter que pour la première fois, les US ont publié des informations plus détaillées sur leurs investissements dans les technologies quantiques, en intégrant la base de l'existant, permettant de faire des comparaisons avec les plans français et européens.

En gros, les USA investissent au niveau fédéral environ \$4B étalés sur 5 ans dont une moitié provient du plan "National Quantum Initiative Act" lancé en 2018 (\$1,2B) et amendé en 2020 (de \$825M). Cela se compare à un total de 1M€ pour le plan français sur un même laps de temps de 5 ans alors que le ratio de PIB entre les USA et la France est situé autour de 7,8. Ce à quoi s'ajoutent les contributions européennes. Ce qui veut dire que, une fois n'est pas coutume, l'investissement public n'est pas du tout ridicule. La différence est à chercher plutôt du côté du secteur privé, celui des USA étant disproportionné en leur faveur du fait du capital risque (85% du financement mondial des startups quantiques couvre l'Amérique du Nord) et des investissements significatifs des grands acteurs du numérique US (IBM, Google, Microsoft, Intel) qui n'ont pas d'équivalent en Europe à ce jour.



Industrie

Le **CERN** a récemment acquis un émulateur « Atos Quantum Learning Machine » (QLM) selon une **communication d’Atos** du 3 décembre 2021. Atos est en fait le leader mondial de la fourniture de machines dédiées à l’émulation de processeurs quantiques, supportant jusqu’à 40 qubits dans la configuration la plus avancée.

Deutsche Telekom mène le consortium européen QSAFE auquel participe **Thales**, pour mettre au point un Internet quantique sécurisé pour les infrastructures critiques de l’Union Européenne. Il publiait ses **premiers résultats**. Thales est impliqué dans le consortium pour ses activités satellite, servant de support au partage de clés quantiques.

Air Liquide annonçait avoir sécurisé son approvisionnement en hélium 3 avec le Canadien **Laurentis Energy Partners** et pour 10 ans. C’est très important pour pouvoir alimenter les cryostats servant à refroidir les qubits supraconducteurs et à spins d’électrons. Il y a très peu de sources d’He3 dans le monde (**source**).

Démarrage du Projet **HPCQS**, qui vise à créer une plateforme pan-européenne de calcul hybride HPC-Quantique (**lien**). Il prévoit d’intégrer deux simulateurs quantiques de plus de 100 qubits avec des supercalculateurs situés dans deux centres européens de calcul haute performance, le TGCC du CEA à Bruyère le Chatel et celui de Jülich (JSC) en Allemagne. Il devrait y avoir du Pasqal et du Atos dedans sachant que cela passera par un appel d’offre.

Pasqal annonçait conjointement à IonQ et PsiQuantum un partenariat avec Nvidia. Il l’amènera à exploiter une dizaine de serveurs DGX A100 équipés de processeurs A100 (lancés en mai 2020) et AMD pour émuler les simulations quantiques réalisées avec des atomes froids.

Rigetti faisait l’annonce d’un processeur de 40 qubits et d’un doublé associant deux de ces processeurs, totalisant donc 80 qubits (**lien**). Ce sont deux chipsets de 40 qubits supraconducteurs assemblés de la famille Aspen-M. La nature de la liaison entre les deux processeurs n’est pas précisée. Il s’agit probable de guides de microondes et pas de photons. Ils parlent aussi de “**qutrits supraconducteurs**” (avec trois valeurs possibles au lieu de deux) et de réduction par deux du taux d’erreur de lecture des qubits (dont le niveau n’est pas précisé). La moitié d’une inconnue reste une inconnue ! Rigetti annonçait des benchmarks d’applications notamment en Quantum Machine Learning qui dépasseraient les capacités de calculateurs classiques.

“Machine learning classification task that predicted whether the stock market would close higher or lower the following day. Results on both the 40Q and 80Q systems demonstrated quantum processing capabilities competitive with industry standard classical machine learning models”.

“Optimization problem with 65 variables that was able to run on the Aspen-M system in under 5 minutes. Quantum algorithms of this scale are too large to simulate with classical computers”.

On admirera la précision de ces informations ! Ces nouveaux processeurs sont en « private beta » avec disponibilité publique sur Q1 2022. Rigetti est partenaire de avec Deloitte et Strangeworks pour la partie logicielle.

Rigetti fait aussi son apparition dans l’offre cloud Azure Quantum de Microsoft. Il manquait des qubits supraconducteurs à Microsoft. Ils avaient annoncé en 2019 l’intégration de QCI dans l’offre mais les qubits de chats de QCI ne sont visiblement pas encore au point.

OQC (UK) sort du bois : on ne savait pas combien de qubits comprenait l’ordinateur quantique mis dans le cloud UK en juillet dernier. Cela m’agaçait au plus haut point. Je me disais que le fait qu’ils cachent l’information devait signifier qu’ils avaient moins de 5 qubits dans leur processeur supraconducteur. Bingo : OQC a annoncé en décembre qu’ils allaient intégrer le cloud d’Amazon Braket avec 8 qubits tout en indiquant qu’en juillet 2021, ils en avaient 4. On est très loin de l’avantage quantique !

Des nouvelles des qubits silicium de Grenoble

Maud Vinet et son équipe de Grenoble associant le CEA et le CNRS ont publié trois papiers permettant de faire le point sur l’avancement de la mise au point des qubits silicium.

- “The path to scalable quantum computing with silicon spin qubits” by Maud Vinet dans Nature Nanotechnology. C’est un bon tour d’horizon des défis technologiques de la création de qubits silicium et des avancées de la roadmap française en la matière.

The path to scalable quantum computing with silicon spin qubits

Silicon spin qubits have demonstrated some promising properties at the individual level, but the technology is beleaguered by a late start and high barriers to entry. To overcome these challenges, the quantum computing and electrical engineering communities will need to find novel ways to work together.

Maud Vinet

In 2021 not a quarter went by without some major announcement in quantum computing making headlines. Whether it is in hardware or software, progress in quantum computing is happening quickly^{1,2}. Research on superconductors, cold atoms, and trapped ion qubits is driving most of these advances. Of the experimental platforms currently on the drawing board, silicon qubits continue to lag behind. The current state of the art stands at a demonstration of just a handful of silicon qubits in a non-scalable configuration^{3,4}. Yet, silicon qubits hold great promise. Individual silicon qubits have displayed some encouraging properties and collectively they are very well suited to

scale up. Record spin lifetimes have been measured, with coherence times in the millisecond range^{5,6}. High-fidelity single- and two-qubit gates have been reported in a variety of silicon/silicon oxide and silicon/germanium devices, above 99% for both types of gates^{7,8}. And, fast operations, in the microsecond range for all types of gates, have been demonstrated on silicon qubits⁹. Silicon qubits are also naturally well-suited to arrangement in 2D arrays. This is good news for two reasons. First, 2D arrays are compatible with the robust surface code topology needed to implement quantum error correction⁴. Second, 2D arrays can help reduce the number of wires going down to the cryostat through

line-column addressing⁹, reducing at the same time the cryogenic engineering burden. In the same direction, they can operate to 1 K and above¹⁰. Finally — and this is a major advantage — silicon qubits benefit from technology and processes developed to sustain transistor scaling in the semiconductor industry, currently the only industry with proven experience handling billions of semi-identical objects.

Roadblocks for silicon qubits
Quantum computing based on silicon spin qubits is still in its infancy. The first experimental demonstration of a silicon spin qubit only dates back to 2012¹¹; the first complementary metal-oxide-semiconductor

1296

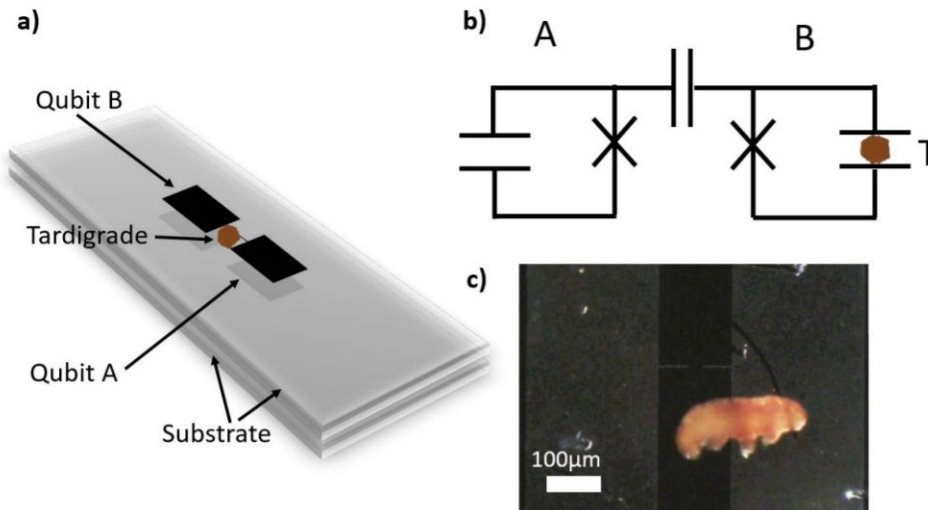
NATURE NANOTECHNOLOGY | VOL 16 | DECEMBER 2021 | 1294-1301 | www.nature.com/naturenanotechnology

- “A new FDSOI spin qubit platform with 40nm effective control pitch”, un papier réalisé pour la conférence IEDM.
- “Material and integration challenges for large scale Si quantum computing” by M. Vinet et al.

Il y a plein d’autres actualités scientifiques, cela tombe en plus régulière, notamment pas mal de papiers sur l’amélioration des codes de correction d’erreurs.

Tardigrades quantiques

Terminons avec un papier scientifique curieux qui parle d'intrication de **qubits supraconducteurs avec un tardigrade**. Le projet est piloté par une équipe de chercheurs du CQT à Singapour. Alors, c'est une blague, c'est un hoax, ils ont fumé du cannabis ? Voir **Entanglement between superconducting qubits and a tardigrade** by K. S. Lee et al, décembre 2021 (10 pages).



En deux mots, ce n'est pas un hoax car il y a de vrais chercheurs derrière cela, venant de Singapour mais aussi du Royaume Uni, du Danemark, de Pologne et de Malaisie. Il a même un lien avec l'Institut Néel du CNRS à Grenoble, avec Farshad Foroughi, un ancien thésard de Vincent Bouchiat qui sont maintenant tous les deux dans la startup **Graphical** qui expose cette année au CES de Las Vegas. Farshad a bien créé (dans la salle blanche de l'Institut Néel) un échantillon de deux qubits supraconducteurs il y a deux ans, qu'il a fourni aux chercheurs du CQT, et via le partenariat Majulab/CQT.

En pratique, ils ont associé un tardigrade, dont ils ont préalablement coupé les pieds, à un qubit supraconducteur relié à un second qubit du même type. Le tardigrade congelé à 15 mK a les propriétés d'un diélectrique qui altèrent les propriétés quantiques du qubit, notamment sa fréquence d'activation. En pratique, ce n'est pas vraiment une intrication. Ce d'autant plus que le papier présente les résultats de l'intrication entre les deux qubits du composant, dont l'un est associé au tardigrade. Le plus intéressant est que le tardigrade revit après l'expérience une fois décongelé. C'est un animal de quelques microns de long qui a d'étonnantes capacités de résistances à des conditions extrêmes. En fait, ce sont deux qubits qui sont intriqués et le second dont les propriétés sont légèrement modifiées par insertion du tardigrade dans la capacité du transmon (le type le plus courant de qubit supraconducteur), ce qui modifie ses caractéristiques sans altérer l'anharmonicité du transmon (qui permet de gérer deux états quantiques bien distincts). Cela modifie aussi la fréquence d'activation du qubit.

Après la publication, des chercheurs se sont un peu insurgés contre cette publication en expliquant par $A+B$ qu'il ne s'agissait pas véritablement d'une intrication quantique entre le tardigrade et l'un des qubits supraconducteurs. Voir **Peers dispute claim that tardigrades were entangled with qubits** par Bob Yirka dans *Phys.org*, décembre 2021.

Enfin, nous dénonçons dans nos podcasts (voir l'épisode 22 de novembre 2020) et dans mes bouquins les escroqueries placebo de la médecine quantique (générateurs d'ondes scalaires, etc). En faisaient partie les pseudo-médailles quantiques qui sont censés permettre de se protéger contre les effets néfastes de la 5G (tout en la recevant...) grâce à des "ions négatifs". Et bien, en fait, ils sont radioactifs et dangereux ! Voir **Anti-5G "quantum pendants" are radioactive** par Jennifer Ouellette dans *Ars Technica*, décembre 2021. Non

seulement, ils ne servent à rien mais en plus ils sont nocifs pour la santé. C'est une nouvelle manifestation du fameux effet Darwin.

Sur ce, avec **Fanny Bouton** et tous nos amis de l'écosystème quantique, il nous reste à vous souhaiter de bonnes fêtes de fin d'année et une excellente année 2022.

Cet article a été publié le 21 décembre 2021 et édité en PDF le 17 janvier 2022.
(cc) Olivier Ezratty – “Opinions Libres” – <https://www.oezratty.net>