



Actualités quantiques de novembre 2021

Dans un podcast de la série “Quantum”, **Fanny Bouton** et moi-même faisons notre tour mensuel de l’actualité quantique française et mondiale depuis mi-octobre 2021. Nous y couvrons comme d’habitude l’actualité événementielle, puis scientifique et des entreprises du secteur des technologies quantiques.

Voici une version “texte” de ce podcast et les liens associés.

Événements

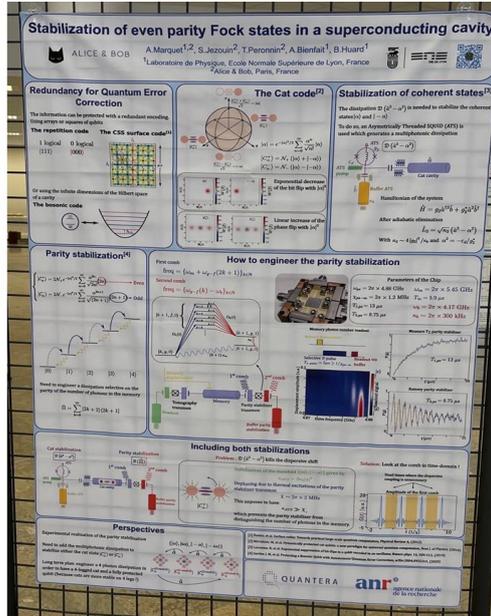
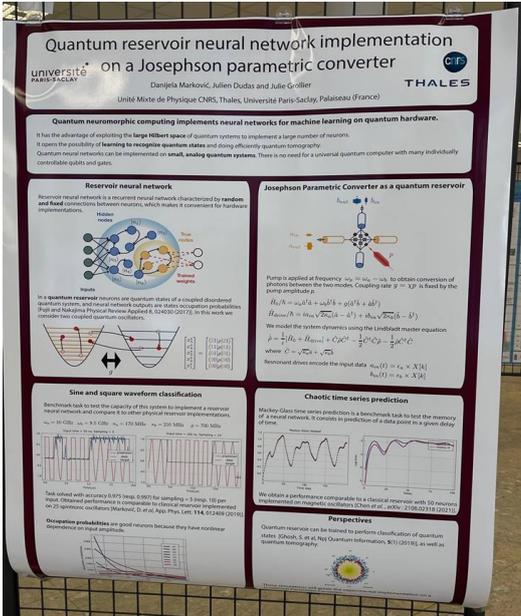
Conférence GDR IQFA

J’étais à la conférence du GDR IQFA à Lyon des 3 au 5 novembre ([lien](#)). C’était l’une des premières conférences « IRL » de chercheurs dans le quantique en France depuis le covid.

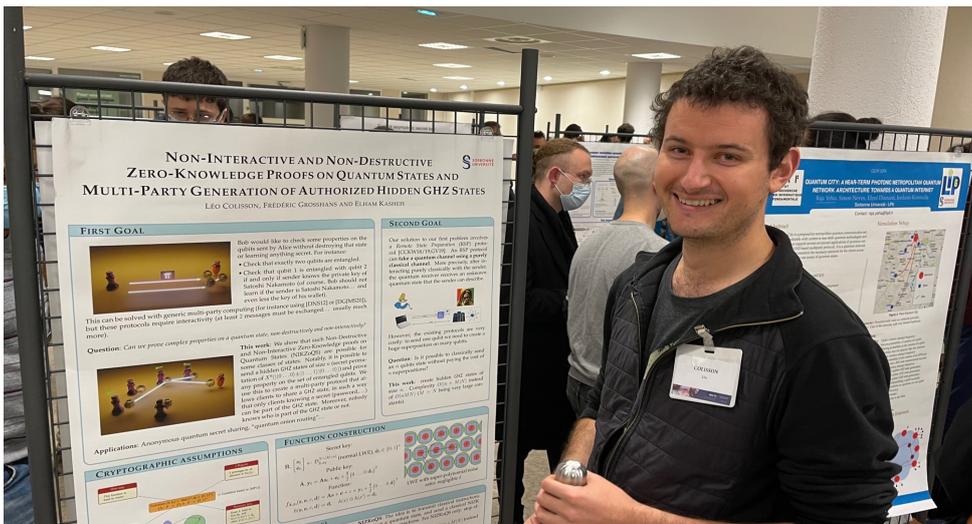
Il s’agissait de la 12e conférence annuelle du groupement de recherche « Quantum Engineering, Fundamental Aspects to Applications », avec 180 participants dont 150 sur place à l’**ENS Lyon**. Elle comprenait des tutoriaux (le point pendant une heure sur un sujet, comme sur le Quantum Machine Learning avec **Iordanis Kerenidis**), des interventions de thésards et post-doctorants de laboratoires de recherche en France (CNRS, CEA, Inria) et des « poster sessions » où les thésards et post-docs présentent leurs travaux pendant des breaks en fin de conférence. Cela couvrait les différentes branches du quantique : physique fondamentale, calcul, métrologie et télécommunications.



Dans ce qui sortait du lot, on pouvait notamment remarquer deux travaux intéressants liés à l’amélioration de la qualité de la lecture des états de qubits supraconducteurs avec “Detecting spins by their fluorescence with a microwave photon counter” par **Léo Balembois** du CEA-Saclay et “Multiplexed photon number measurement” par **Antoine Essig** du Laboratoire de Physique de l’ENS Lyon portant une réalisation d’une mesure quantique multiplexée battant un record de vitesse en photocomptage. **Danijela Markovi?** de Thales TRT/CNRS présentait une intéressante architecture de réseau de neurones à base de qubits supraconducteurs.



Valentina Marulanda Acosta présentait des travaux sur l’usage d’optique adaptative pour améliorer la transmission de clés quantiques par satellite, un travail dirigé par Eleni Diamanti du CNRS LIP6 à Paris. Dans “Satellite-to-ground DV and CV-QKD links with adaptive optics correction” (à paraître). Et *ci-dessous*, Léo Colisson, thésard de Frédéric Grosshans et Elham Kashefi du CNRS LIP6. Je vous laisse cependant interpréter le poster par vos propres moyens... !



Parmi les intervenants étrangers, à noter Menno Veldhorst de QuTech, sur “Spin-qubit processors in silicon and germanium” qui présentait une première, un ensemble de 15 qubits en silicium-germanium et Ronald Walsworth de l’Université du Maryland sur “Quantum sensing with NV centers in diamond”.

Enfin, la présidence du GDR IQFA est passée de Sébastien Tanzilli à Anaïs Dréau, chargée de recherche au laboratoire Charles Coulomb de Montpellier, et spécialiste de sources de photons à base de silicium. Elle annonçait d’ailleurs que la prochaine édition de cette conférence aurait lieu en 2022 en région parisienne.

Q2B 2021 à Santa Clara

Dans les événements internationaux, la conférence Q2B aura lieu du 7 au 9 décembre 2021 (lien). Elle réunit les principaux fournisseurs d’ordinateurs quantiques qui font un point assez technique sur leur technologie. C’est un must annuel organisé par l’éditeur de logiciels américain QC-Ware. Jean-François Bobier du BCG à Paris y interviendra, ainsi que Robert Marino de Qubit Pharmaceuticals et Loïc Henriot et Georges-Olivier

Raymond de la startup Pasqal. Et puis John Martinis (ex-Google), **John Preskill** et **Simone Severini** d'Amazon.

Nous aurons sûrement l'occasion de revenir sur cette conférence en décembre 2021.

En France

J'interviens à **Futurapolis** le 26 novembre, un événement gratuit organisé par Le Point dans un panel quantique avec **Alexia Auffèves** (CNRS Institut Néel) et **Eleni Diamanti** (CNRS LIP6) à Toulouse le 26 novembre et animé par **Guillaume Grallet** du Point. Le thème de l'événement porte sur l'innovation technologique, le changement climatique et la mobilisation politique et citoyenne. Dans notre panel, on parlera calcul quantique, énergétique du calcul et aussi télécommunications quantiques. **Inscriptions**.

Puis à Strasbourg le 6 décembre dans un événement organisé par l'**INSA Strasbourg** en liaison avec les équipes de recherche quantique locales, comme celle de **Shannon Whitlock** de l'Université de Strasbourg et spécialiste des atomes froids. J'y intervins en compagnie d'une spécialiste et enseignante du quantum machine learning à l'INSA, **Kaoutar Benlamine**, pour présenter mon ebook **Understanding Quantum Technologies** et évoquer les grands enjeux du calcul quantique. Ensuite, deux panels permettront d'illustrer les actions de la Région Grand Est dans le quantique. **Inscriptions**.

Enfin, la **conférence NAIA-A** accueille une intervention d'**Eleni Diamanti** et moi-même à Bordeaux le 9 décembre de vulgarisation sur les technologies quantiques. Ce qui permettra de parler un peu plus que de coutume des télécommunications quantiques. On interviendra aussi auprès des enseignants et élèves des écoles d'ingénieur de Bordeaux dont l'Institut d'Optique le 10 décembre en milieu de journée. **Inscriptions**.

A noter que l'**Usine Digitale** publie un condensé hebdomadaire de l'actualité quantique en France. Voici le **lien**.

Actualité technologique

Une initiative dans l'énergétique du calcul quantique

Alexia Auffèves de l'Institut Néel du CNRS à Grenoble propose le lancement d'une initiative sur l'énergétique des technologies quantiques. Elle l'explique dans un dense papier de 10 pages en pre-print "**Quantum technologies need a quantum energy initiative**".

Il s'agit de prendre en compte la dimension énergétique dès la conception des technologies quantiques et pas après coup. C'est à la fois un enjeu sociétal incontournable et de responsabilité des chercheurs et entreprises. La dimension énergétique doit être aussi prise en compte pour faire scaler les ordinateurs quantiques qui sont sous contraintes de ce côté-là. Dans cette démarche, Alexia Auffèves a déjà obtenu le soutien de nombreux chercheurs en France, en Europe, aux USA (comme **Michel Devoret** de Yale et **Michael Frank** des Sandia Labs du Département de l'Energie) et à Singapour. Elle propose une approche pluridisciplinaire très transversale associant physique et thermodynamique quantiques, électronique basse température, matériaux, cryogénie, algorithmie, etc.

Sa conclusion vaut le détour : "*It would ensure that science and technology care about bringing out responsible innovations, by developing conceptual tools and applying them to minimize the resource consumption. It would make quantum technologies a model of virtuous deployment process for future innovations. This is essential in a world where resources get limited, and where the positive impact of science and technology for mankind must be demonstrated more than ever*".

C'était accompagné de la parution du papier **Limitations in Quantum Computing from Resource Constraints** par Marco Fellous-Asiani, Robert Whitney, Alexia Auffèves et Hui Khoon Ng dans PRX Quantum. Le papier explique comment faire du calcul quantique scalable sous contrainte de ressources, notamment énergétiques. Ce travail est le fruit d'une collaboration entre le centre de recherche quantique CQT de Singapour, l'institut Néel et le LPMCM de Grenoble. Ce consortium vient également de décrocher une ANR internationale sur l'optimisation des ressources dans le contexte du calcul quantique.

J'avais assisté à la soutenance de thèse de Marco Fellous-Asiani le 9 novembre à Grenoble. Son jury comprenait Eleni Diamanti (CNRS LIP6), Mazyar Mirrahimi (Inria, récemment invité dans **Decode Quantum**), Maud Vinet (CEA Leti), Franck Ballestro (Institut Néel) et Patrice Bertet (CEA Saclay) illustrant l'intérêt pour le sujet de chercheurs de renom dans les technologies de qubits.

Optimiser la consommation énergétique des calculateurs quantiques : un défi interdisciplinaire

Alexia Auffèves (alexia.auffeves@neel.cnrs.fr)
Institut Néel (LIPMCM) CNRS et Université Grenoble Alpes
25 avenue des Martyrs, BP 1161, 38042 Grenoble Cedex 9

Jusqu'ici, la question de la facture énergétique d'un ordinateur quantique n'a guère été abordée par les programmes de recherche...
Existe-t-il un avantage quantique de nature énergétique ?
Ou bien, au contraire, faudra-t-il une centrale nucléaire par ordinateur quantique ?
Cet article propose des pistes pour répondre à ces questions.

Cout énergétique du calcul classique
Aussi d'aborder la question du calcul classique, il est indispensable de préciser quelques notions de base sur le traitement de l'information classique. Celle-ci est encodée sur des « bits », à savoir des systèmes physiques ne pouvant prendre que deux états identifiés par convention comme 0 ou 1. Un exemple typique est celui des états « chargé » et « déchargé » d'un condensateur. Il peut également s'agir de l'orientation d'un matériau. Un registre comportant N bits peut ainsi encoder une valeur d'une variable à q-1 possibilités.

Un ordinateur peut être décrit de façon très schématisée comme une machine programmable pour effectuer des tâches. À partir de la variable, la fonction f(x) (Fig. 1). Pour ce faire, les N bits d'un registre de calcul « sont traités indépendamment les uns des autres ». Cela correspond à l'état « bit » du registre, sur lequel la variable x est codée. Une séquence de portes logiques est ensuite appliquée sur les différents bits du registre, à une fréquence typique appelée fréquence d'horloge. La porte NAND (dont on a fait à droite de la figure) est un exemple de porte logique à deux bits. Elle est universelle : tous les calculs classiques peuvent en principe être réalisés sous forme de séquences de portes NAND. Au terme des opérations logiques, le résultat f(x) peut être lu sur le registre, qui doit donc finalement être réinitialisé dans l'état 0, pour qu'un nouveau calcul puisse être effectué.

Actuellement, le traitement de l'information classique est caractérisé par son irréversibilité qui conduit à une dissipation de chaleur. L'irréversibilité est d'abord de nature thermodynamique : pour éliminer la rétroaction des composants électroniques, une dissipation de chaleur lors des commutations logiques, qui augmente avec la fréquence d'horloge et le nombre des transistors (2). Il existe également une irréversibilité de nature fondamentale :

.....
A priori, on peut s'attendre à ce qu'un calcul quantique soit moins coûteux en énergie qu'un calcul classique équivalent, pour deux raisons. D'une part, la notion de superposition d'états de la logique quantique permet le nombre d'étapes nécessaires à l'obtention du résultat. D'autre part... le calcul quantique constitue un exemple typique de traitement réversible de l'information.

.....
Composé de bits quantiques ou qubits. Contrairement à leurs homologues classiques, les qubits peuvent être simultanément à la fois dans l'état « 0 » ou dans l'état « 1 », mais aussi dans des superpositions cohérentes d'états « 0 » et « 1 ». Un calcul quantique repose ainsi sur la préparation de superpositions cohérentes d'un grand nombre de qubits. Ces états peuvent être vus comme des « bits de Schrödinger » à la fois morts et vivants, tant qu'aucun mesure de leur état n'est réalisée. C'est ce que l'on appelle à grande échelle que repose une part de l'avantage quantique computationnel, et celle-ci doit être préservée tout au long du calcul.

Cela impose en particulier que les portes logiques quantiques ne dissipent aucune information dans l'environnement : cela revient en effet à mesurer le registre, et à transformer les superpositions cohérentes « 0 » et « 1 » en états « 0 » ou « 1 », appelés notations classiques, sans intérêt pour le calcul quantique. C'est le phénomène de décohérence qui rend toute expérience de physique quantique si délicate à réaliser. Les portes quantiques doivent donc être également réversibles. Dans un monde idéal, un calcul quantique devrait pouvoir être effectué dans le sens direct au prix

d'une certaine énergie, puis l'énergie récupérée en réalisant ensuite le calcul en sens inverse, conduisant à un coût énergétique nul ! Une telle généralité présumerait cependant que le calcul est effectué sans erreurs, ce qui est irréaliste. Comme expliqué ci-dessous, la lutte contre les erreurs est l'enjeu fondamentale du coût énergétique du calcul quantique.

Le coût énergétique de la lutte contre le bruit
Un processeur est toujours couplé à un environnement : par exemple, les qubits supraconducteurs sont en interaction avec des phonons, des charges électriques... Les interactions inévitables qui en résultent sont à l'origine d'un « bruit quantique », c'est-à-dire des perturbations aléatoires de l'état des qubits qui conduisent à des erreurs dans les algorithmes, d'autant plus graves que le taux de bruit est plus important. Évidemment, ce bruit tend à dégrader l'état des qubits dans des états de type « 0 » ou « 1 » sans intérêt pour le calcul. Les expérimentateurs doivent donc relever le défi de taille d'isoler le processeur du bruit quantique (Fig. 2).

3. Un ordinateur quantique est un système hors équilibre. Le processeur est refroidi à la température T₁ < T₂ et T est la température ambiante. Les des amplificateurs le bruit quantique traversent à l'intérieur du cryostat. Le processeur est couplé depuis l'extérieur par des câbles qui dissipent en tant de chaleur (l'électronique externe). Le processeur dissipant q (l'électronique interne), la puissance dissipée ne peut pas être inférieure à la puissance de Carnot P₁ = (T₂/T₁) q (3).

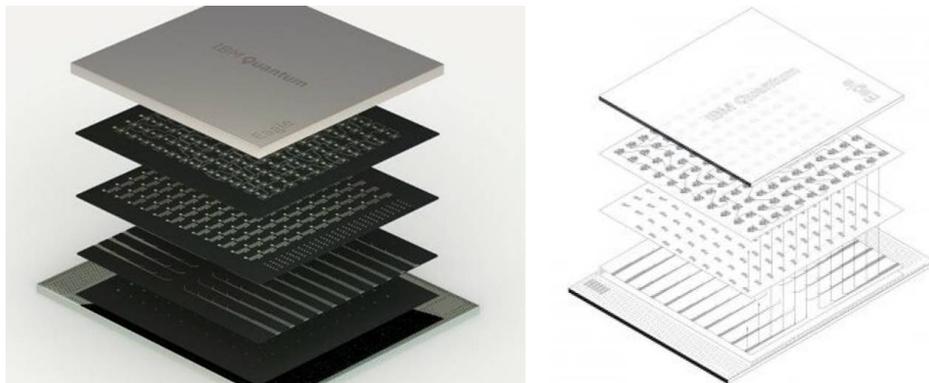
Sur ce même sujet, voir aussi le papier d'Alexia publié dans Reflets de la Physique en juillet 2021 : “**Optimiser la consommation énergétique des calculateurs quantiques**“.

IBM et ses 127 qubits

IBM annonçait en novembre 2021 la mise en service de son ordinateur quantique de 127 qubits ‘Eagle’, respectant sa roadmap présentée en septembre 2020 qui prévoyait cela avant la fin 2021. IBM présente cela comme le premier processeur quantique qui n’est pas émule sur des calculateurs classiques.

Est-ce vraiment le cas ? C’est difficile à évaluer car aucune caractérisation technique de ces qubits n’a été fournie par IBM, notamment au niveau de leur fidélité. Ici, le marketing est arrivé avant la science contrairement à Google en 2019 qui avait publié deux documents détaillés de 70 pages au total pour décrire sa “suprématie quantiques”. Même si celle-ci était contestable, au moins, on pouvait juger sur pièces.

[**correction du 30 novembre 2021** : la fidélité du système à 127 qubits est de 98% pour les portes CNOT à deux qubits et celle de la lecture est de 91,2%, selon ce lien]



Par contre, IBM a dévoilé le fait que le processeur d'Eagle était multicouche avec des couches qui doivent contenir la circuiterie de contrôle des qubits, ce qui permet peut-être de mieux les isoler les uns des autres. Ils utilisent aussi un multiplexage de la lecture des qubits par groupes de 8, une technique semble-t-il déjà utilisée par Google. Il est probable qu'IBM ait bien fait avancer l'état de l'art avec ses qubits.

Pourquoi IBM n'a-t-il pas communiqué de benchmarks comme celui du Quantum Volume dont ils sont eux-mêmes à l'origine ? A leur crédit, on supposera que la création de ces benchmarks prend beaucoup de temps et qu'il risquait de ne pas être prêt avant la fin 2021.

IBM présentait aussi "System Two", le format des ordinateurs quantiques de la génération future, à commencer par le processeur de 433 qubits prévu en 2022. Il utilise un cryostat de forme hexagonale créé par le Finlandais **Bluefors** sous l'appellation **KIDE**. Celui-ci permet de créer des liens cryogéniques entre différents hexagones, dans l'optique de relier entre eux plusieurs processeurs quantiques. C'est une approche dont on entend de plus en plus souvent parler mais qui n'est pas encore au point. Cela n'empêche pas quelques startups de se lancer dans le créneau comme **QPhoX** aux Pays-Bas.



Pour ce qui est de l'impossibilité de l'émulation sur une machine classique, c'est jusqu'à ce que **Xavier Waintal** le fasse comme il l'a proposé pour Google Sycamore en 2020 !

La Chine bat encore des records

Les chercheurs Chinois **font encore du bruit** avec des records dans les qubits aussi bien dans les supraconducteurs (66 qubits) qu'avec des qubits photons (jusqu'à 114 en boson sampling). Il y a une différence entre les deux records. Il est peu significatif dans les qubits supraconducteurs car l'expérience des Chinois reprend quasiment à l'identique celle de Google Sycamore, sans vraiment faire avancer l'état de l'art. Et les 127 qubits d'IBM battent leur record de 66 qubits.

C'est cependant intéressant sur les photons car pour la première fois, ils créent une expérience

d'échantillonnage de boson paramétrable qui ouvre la porte à de la programmation. On demande à voir la suite !

D-Wave et le gate-based

D-Wave annonçait début octobre 2021 se lancer dans les ordinateurs quantiques à base de portes et pas seulement dans l'annealing. D-Wave fournissait quelques informations complémentaires dans une visio-conférence organisée le 20 octobre 2021. J'ai pu y apprendre qu'ils vont en fait créer un nouveau processeur quantique de toutes pièces.

Ils repartent presque à zéro. Mais avec une technologie qu'ils maîtrisent bien, l'électronique supraconductrice de contrôle de qubits (dite SFQ). Ils vont donc sortir d'ici un à deux ans un processeur supraconducteurs avec seulement quelques qubits, et pas les 5000 dont ils disposent actuellement dans leur "quantum annealer". C'est un peu comme s'ils repartaient à zéro, dans la course aux qubits supraconducteurs. Ils annoncent d'ailleurs que leur puce sera multicouches. Comme celle d'IBM ! Mais probablement pas de la même manière car ils intégreront probablement des SFQ, ce qu'IBM n'a pas l'air d'avoir l'intention de faire.

Actualité entrepreneuriale

Quandela annonçait une levée de fonds de 15M€. C'est la seconde la plus importante en France dans le domaine après celle de Pasqal en début d'année. C'est un bon signe. A noter l'arrivée d'un investisseur généraliste, **Omnes**, accompagné de Quantonation (inévitable), Bpifrance et de l'Agence de l'Innovation de la Défense (qui a aussi investi dans Pasqal). Cette levée de fonds fait suite au lancement par la startup cofondée par **Valerian Giesz, Niccolò Somaschi et Pascale Senellard** (du laboratoire C2N du CNRS et de l'Université Paris Saclay) de leur projet d'ordinateur quantique à base de photons. C'est une suite logique de leur excellente offre de sources de photons uniques et indistingables.

La startup américaine **QuEra** lève 17 M€ et annonce un calculateur quantique de 256 qubits. Il s'agit d'une startup lancée par des chercheurs de Harvard et du MIT, et notamment par Mikhail Lukin. Leur produit a l'air d'être un simulateur quantique à base d'atomes froids, mais ils semblent vouloir aussi rapidement le faire fonctionner en mode « portes quantiques ». Leur annonce entretient bien la confusion de ce point de vue-là. Et pour cause, utiliser un tel système en mode "gate-based" plutôt qu'en mode "quantum simulation" est plus délicat à mettre au point. Ce que fait QuEra est sinon très voisin de **Pasqal** (France) et **ColdQuanta** (USA). Un fait qui n'est pas rappelé dans la couverture presse sur le sujet comme dans la **MIT Technology Review**.

Pasqal annonçait un partenariat avec **MBDA**, leader dans les systèmes de missiles et filiale d'Airbus. C'est un nouveau client potentiel pour eux, à l'étape de l'évaluation.

Divers

Enfin, une fois n'étant pas coutume, on appréciera qu'un entrepreneur basé au Royaume Uni **écrive du bien** de la France. Il s'agit d'**Andersen Cheng**, CEO de Post-Quantum et Nomidio. Que dit-il au juste ? Que la stratégie française s'intéresse notamment aux technologies habilitantes et à la PQC. Avec une volonté d'attirer des talents en France. L'auteur était intéressé puisqu'il est CEO de deux startups qui proposent des solutions... de PQC. Mais c'est bien quand même !

Cet article a été publié le 21 novembre 2021 et édité en PDF le 18 mars 2024.
(cc) Olivier Ezratty – “Opinions Libres” – <https://www.oezratty.net>