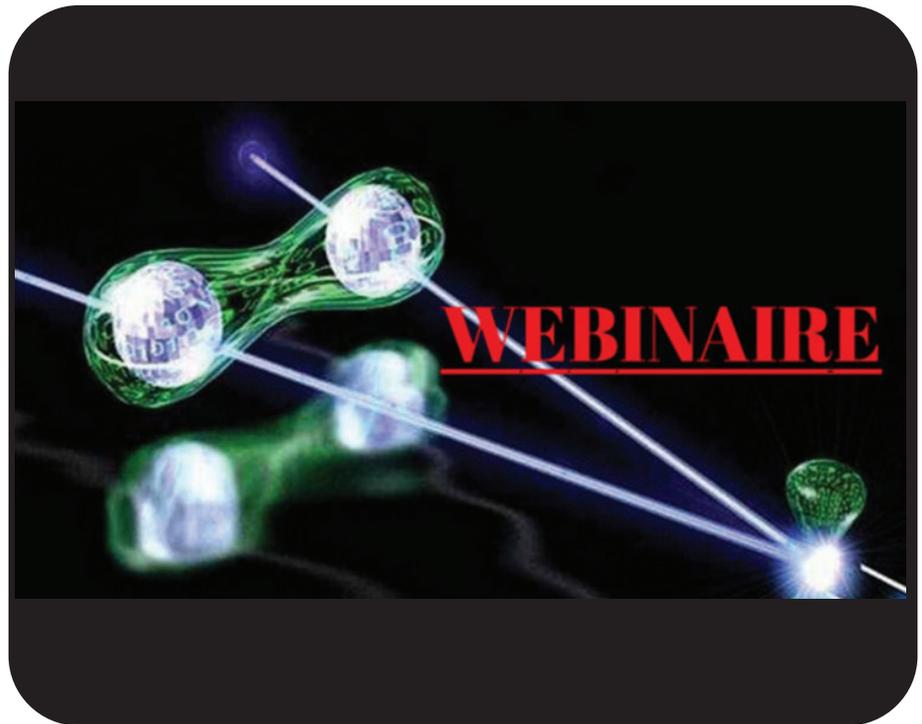


Wébinaire en anglais

Where is the quantum computer revolution in France ? : start-ups in sight

Jeudi 05 novembre 2020



Coordination scientifique :

- Elvira Shishenina (QuantX)
- Christophe Calvin (CEA)
- David Menga (EdF)



Renseignements, programme...

<https://www.association-aristote.fr/ou-en-est-la-revolution-de-lordinateur-quantique-en-france-les-start-ups-en-vue/>

ARISTOTE

À la croisée des révolutions numériques

Conférence QuantX et Aristote

QC hardware in France: startups in sight



La conférence est organisée par Quant X, une association de diplômés de d'Ecole Polytechnique, pionniers de l'industrie de l'informatique quantique et la société savante Aristote. Elle a été élaborée par Elivra Shishenina, Quantum Computing research scientist chez Total, ainsi que David Menga, ingénieur chercheur chez EDF R&D. Elle a pour but de présenter le travail et le positionnement de cinq jeunes pousses spécialisées dans l'informatique quantique.

Table des matières

1. C12 Quantum Electronics	2
2. Pasqal.....	2
3. DiamFab	3
4. Alice & Bob	4
5. Quandela	5

1.C12 Quantum Electronics

[Voir la présentation vidéo](#)

Crée par Pierre Desjardins et Matthieu Desjardins, la société est une émanation du laboratoire de physique de l'Ecole Normale Supérieure. Elle a pour but de concevoir des processeurs quantiques à partir de matériaux élémentaires: des nanotubes de carbone. « *Un nanotube de carbone est le plus petit fil électrique qu'il est possible d'imaginer, son diamètre et de l'ordre du millième de diamètre d'un cheveu* » détaille Pierre Desjardins. Le problème des matériaux quantiques consiste dans leur instabilité, ce qui provoque des erreurs. Donc à ce jour, les processeurs quantiques font beaucoup d'erreurs et l'on n'est jamais sûr du résultat. Mais le laboratoire de physique de l'Ecole Normale a découvert après 10 ans de recherche, que des nanotubes de carbone pouvaient consister en de très bons transistors quantiques. C'est donc à partir de ce matériau que C12 a choisi de réaliser des processeurs.

Les nanotubes de carbone offrent trois avantages: ils sont stables (minimisent les erreurs), commutables (peuvent être allumés ou éteints, sans interférer avec leur environnement), et peuvent être connectés facilement (tout Qubit peut être connecté à un autre Qubit). La jeune pousse devrait aboutir à un premier prototype en 2022, pour un processeur de 5 Qubits. En 2025, elle espère atteindre la commercialisation de processeurs de 50 à 100 Qubits, mais devra pour cela réaliser encore de gros progrès technique et scientifique, notamment sur la gestion de l'hétérogénéité des nanotubes.

2.Pasqal

[Voir la présentation vidéo](#)

Constantin Daylac, R&D Quantum software Engineer présente l'entreprise, qui travaille déjà en partenariat avec EDF. Elle est spécialisée dans les simulations quantiques à partir d'atomes froids (cold atoms). Les atomes froids sont peu connus encore dans le monde de l'informatique quantique. Constantin Daylac revient d'abord sur la définition des simulations. Elles viennent aider, à partir d'équations « d'évolution » - à opposer à des équations de définition - à faire des prédictions sur les variations des paramètres d'un objet au cours du temps. Mais les résoudre reste souvent très difficile, et les solutions sont seulement approchées par des méthodes itératives. D'où la nécessité pour les physiciens de faire des simulations. Elles permettent par exemple de se représenter une galaxie, l'évolution d'un fluide sur une aile, ou de micro-postillons lors d'un éternuement.

De la même manière, les physiciens, pour certains problèmes, utilisent les équations de Schrödinger, pour se représenter l'évolution d'un système quantique, à l'aide de la fonction hamiltonienne. Mais ces équations sont insolubles pour un ordinateur classique, car le nombre d'opérations itératives est trop élevé. Pasqal fournit donc de la « matière quantique artificielle », développée par Antoine Broweys et Thierry Lahaye, de l'institut d'optique de Saclay. Ce sont des particules de rubidium qu'ils arrivent à organiser dans l'espace comme ils le souhaitent, et dans un état énergétique particulier.

Ils ont choisi du rubidium car il correspond à un atome de Rydberg, avec une distance noyau - électron très élevée. Cette propriété fait qu'un atome excité dans un état quantique particulier, ne peut exciter les atomes voisins. Ce qui confère une certaine stabilité.

A partir de ces propriétés, Pasqal réalise des hamiltoniens personnalisés, réalisé dans cette matière quantique, afin de résoudre en observant la matière, des problèmes industriels, par simulation quantique. La physique quantique et ses propriétés sont utilisées à des fins de modélisation et de résolution d'équations évolutives. Par exemple, pour résoudre des questions de répartition de grilles de recharges électriques de véhicules, pour EDF, en modélisant les paramètres sur un graphe particulier de répartition des bornes de charges. A ce jour, Pasqal cherche d'autres cas d'applications pour ses hamiltoniens personnalisés, afin de réaliser plusieurs POC.

3. DiamFab

[Voir la présentation vidéo](#)

La présentation est réalisée par Gauthier Chicot, CEO et co-fondateur de DiamFab, une émanation du CNRS. La société produit des diamants synthétiques pour des systèmes électroniques. « *Concrètement, nous fabriquons des plaques de diamants de synthèse pour des systèmes électroniques de hautes performances*», explique-t-il. Les diamants sont utilisés pour les bijoux, mais aussi en mécanique, en optique, en médecine (pour des stimulations neuronales, par exemple), en électronique, et aussi pour des composants électroniques quantiques, ou pour des capteurs quantiques.

Dans les années 50, General Electric a réussi à synthétiser du diamant, et à la fin des années 60, il a été rendu possible de le doper, pour lui conférer des propriétés électroniques particulières, notamment avec du bore, ensuite, dans les années 80. Dans les années 2000, la recherche est arrivée à un substrat de diamant de qualité commercialisable, et en 2019, seulement, (c'est très récent) avec DiamFab, il a été possible de réaliser des plaques (wafer) de diamant de haute valeur ajoutée, pour des composants électroniques. Le diamant a beaucoup d'atout: il est composé de carbone, résistant à haute température, et à haute pression (à la différence du graphite, résistant seulement au CNTP). Le but de Diamfab est de le synthétiser et de le doper en nitrogène, en bore et en phosphore, pour le doter de propriétés électroniques particulières. Le diamant possède de meilleures propriétés physiques concernant les applications électroniques, et pourrait donc remplacer les composants à base de silicone ou de gallium. Par exemple le diamant résiste à des courants 5000 fois supérieurs à ceux du silicone, des tensions 30 fois supérieures, et des températures de plus de 200 degrés. Une aubaine.

La société possède ce point fort d'arriver, à partir d'un matériau de haute pureté, à contrôler le dopage d'impuretés pour contrôler leur quantité, et donc les propriétés physiques associées. Mais aussi l'épaisseur des couches et d'arriver à superposer plusieurs couches de propriétés différentes.

Ceci en fait un matériau de choix pour la physique quantique, et donc pour l'informatique quantique. En substituant un atome d'Azote à un atome de carbone,

DiamFab arrive à créer un spin d'électron variable, permettant de stocker de l'information, sans toutefois avoir besoin de basses températures, ni de vide important. C'est cette propriété qui permet d'en faire un composant adapté à l'informatique quantique, et un matériau d'avenir, pour les problèmes (notamment de basse température) qu'il résout.

En contrôlant les propriétés de cette espace de vide de carbone rempli par un atome d'Azote (Nitrogen-Vacancy Center) DiamFab arrive à déterminer différentes propriétés quantiques de son matériau de base.

Il ne lui reste qu'à travailler sur l'industrialisation du procédé pour obtenir de grande quantité de wafer de bonne qualité.

4. Alice & Bob

[Voir la vidéo de présentation](#)

La présentation est réalisée par Théau Peronnin, CEO et cofondateur d'Alice & Bob, une start-up qui cherche à réaliser un ordinateur quantique universel visant à minimiser les erreurs intrinsèquement liées au qubit. Si des machines quantiques par supraconduction existent déjà de l'ordre de 50 à 70 Qubits, développée par Google et IBM, par exemple, elles ne sont pas quantiquement fiables. Le problème avec les phénomènes quantiques, c'est que les composants sont extrêmement sensibles, et donc sujets à tous les bruits et toutes les interactions possibles. « *Ainsi une machine quantique est un paradoxe: vous avez un système isolé et parfaitement quantique, mais dès que vous interagissez avec, vous le troublez et introduisez du bruit,* » explique Théau Peronnin. Toutes les machines, même les plus élaborées perdent alors la totalité de leurs informations seulement après 20 itérations. C'est un problème très sensible... Les ordinateurs aussi puissants soient-ils ont un défaut majeur: ils font des erreurs. Au rythme où avancent les recherches, il ne sera pas possible de faire tourner le moindre algorithme correctement avant 2050 sur une machine quantique, car la technologie aura besoin d'atteindre préalablement « l'universalité », ie, la capacité de faire tourner un algorithme sans erreur.

Alice & Bob s'attache à chercher à réduire ces erreurs par un twist, directement dans le processus physique de la machine.

Pour comprendre, il faut revenir aux bases: dans l'informatique classique, une information se caractérise par un Bit, en l'occurrence, 0 ou 1. Si l'on veut réduire les erreurs liées aux composants physiques de la machine, on répète l'opération. On réalise plusieurs copies de l'information, et on récupère le résultat le plus courant. Par exemple, si l'information est 1, on part de 11111, pour aboutir à 11101 après copies. Le résultat majoritaire sera alors 1, ce qui constitue un bit logique (le résultat du vote des copies). Cette méthode permet de palier les imperfections matérielles de la machine.

Un Qubit, lui, est représenté par un point sur une sphère, avec une trajectoire définie. Le bruit va aller croissant (le Qubit est bien plus sensible), car il va dévier la trajectoire du point sur la sphère. Au total, on accumule donc deux erreurs: le changement de bit (0 ou 1) mais aussi une erreur quantique pure (le spin). Il est possible, comme dans le premier

cas, de pallier ces deux erreurs par une méthode de redondance. Il faut ainsi corriger dans une matrice à deux dimensions, sur une ligne pour une erreur et sur une colonne pour l'autre erreur. Cela augmente considérablement le nombre de calcul par rapport au bit. Pour aboutir à 1 qubit logique, il faut plus de 1000 qubits imparfaits, et pas loin de 100 000 qubits imparfaits pour aboutir à un qubit logique universel.

En s'appuyant sur les travaux de Mazyar Mirrahimi, de l'Inria, et de Zaki Leghtas de l'Ecole des Mines, Alice & Bob développe des Qubits qui s'autocorrigent de manière autonome sur une erreur. Le principe mélange des concepts d'automatique pour la régulation, et la superposition en état de « chat de Schrödinger » d'un oscillateur harmonique.

Ce qu'il faut retenir, c'est que pour obtenir un Qubit logique, on réduit de manière exponentielle les Qubit imparfaits à avoir puisque dans le tableau on ne considère plus que les lignes ou les colonnes. Ainsi, pour produire un Qubit logique, cela ne nécessite que 30 Qubits imparfaits et idem pour un Qubit universel. Ceci est une avancée considérable qui divise par 3000 la quantité de machines nécessaires. Cela fait gagner 11 ans sur les avancées informatiques, si on part du principe qu'on divise par deux tous les ans la surface de machines nécessaires pour produire 1 qubit.

5. Quandela

[Voir la présentation](#)

La présentation est réalisée par Shane Mansfield, le directeur de la start-up, fondée en 2017, émanation du CNRS, et regroupe 12 personnes. Elle s'attache à développer un ordinateur quantique optique, et travaille autour de l'utilisation de la lumière en informatique quantique. La start-up a développé et commercialise une source à photon unique. Tout repose sur un « semiconductor dot », c'est à dire de taille nanométrique. Il fonctionne comme un atome artificiel.

Lorsqu'il est excité par un laser, et qu'il revient à son état énergétique initial, il émet un photon d'une énergie spécifique. En tournant en chaîne, il est possible d'émettre des chaînes de photons, absolument identiques.

L'informatique quantique repose sur le Qubit (un bit ordonné dans une sphère, dans une multiplicité d'état, et non juste deux états 0 ou 1), et il est possible, très facilement, d'encoder des Qubits dans un photon. En le faisant passer par un miroir semi-réfléchissant, il ressortira comme une combinaison possible de deux états, et en ajoutant un mouvement de rotation, on obtient un deuxième paramètre d'état du photon. Les deux sont contrôlables et permettent de coder, donc un Qubit dans un photon. Le problème ? Ces états sont extrêmement sensibles, et les états du photon sont, très fragiles, prêts à se modifier à tout moment. Mais tout l'intérêt réside dans le fait qu'il n'y a pas de phénomène de décohérence: je maîtrise les paramètres du photon. « *En tant que théoricien, je préfère travailler avec quelque chose que je connais statistiquement parlant. Les photons uniques ainsi paramétrables me paraissent donc bien plus faciles à manipuler* », explique Shane Mansfield.

Mais on ne peut s'arrêter là. Le but de l'informatique quantique n'est pas de reproduire des Qubits, qui peuvent être synthétisés à partir de bits, eux-mêmes, sur un ordinateur normal. Pour en goûter tous les avantages et savouer la magie quantique, et profiter des capacités considérables de calculs se déploient, ces qubits ont besoin d'interagir entre eux. Pour cela, Quandela se base sur les interactions de Hong-ou-Mandel. Si l'on émet deux photons sur un miroir semi transparent, on obtient 4 différentes occurrences de chemin de lumière (les deux photons sont réfléchis, transmis, ou l'un des deux seulement est réfléchis). « *Mais c'est là que la magie quantique opère, et nous obtenons au bout du compte, l'annulation de l'amplitude de ces différentes occurrences* », détaille Shane Mansfield. Les paires de photons finissent par être intriquées. C'est ainsi que Quandela arrive à créer de l'intrication photonique, et peut faire en sorte que les Qubits interagissent ensemble, ce qui est le cœur de l'informatique quantique.

Shane Mansfield détaille ensuite les compétences techniques de sa source de photons, bien supérieures à celle d'une source optique par conversion paramétrique descendante spontanée (spdc), notamment en termes de fréquence et de vitesse.

De ces capacités, la start-up a produit son premier ordinateur quantique à photon entièrement fonctionnel: le prometheus, programmable via un ordinateur classique pour y effectuer des calculs. Il est déjà commercialisé. A long terme, le but est d'arriver à implémenter des programmes de machine learning sur ce type d'ordinateur. La start-up cherche donc maintenant à développer la partie logicielle pour bien tourner sur ces types d'ordinateurs.