



L'Europe et le quantique

Lors de mon tour d'horizon des **stratégies industrielles** des pays développés autour de l'informatique quantique de ma série de l'été 2018 sur l'informatique quantique, j'avais relevé que la France était un des rares pays à ne pas en avoir formulée. Je me disais que, peut-être, la France serait une cheville ouvrière de projets européens, notamment dans le cadre du Flagship européen sur le quantique dont on entend parler depuis 2016.

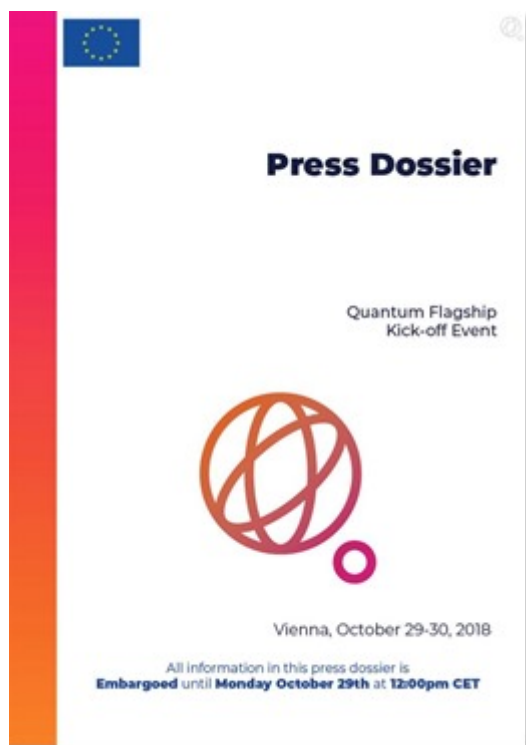
En quelques jours fin octobre 2018, la Commission Européenne a annoncé coup sur coup le financement de 22 projets dans le quantique, d'un côté dans la première phase du **Quantum Technologies Flagship** et via des attributions de **ERC Synergy Grants**.

Je vais essayer d'examiner ces projets au vu de la concurrence qui est déjà active entre les USA, la Chine et l'Europe dans ce futur secteur critique qu'est le quantique et en particulier le calcul quantique. Ce sont tous des projets de recherche plutôt éloignés de l'industrialisation. La France y joue un rôle intermédiaire, sauf au niveau des ERC Synergy Grants avec l'écosystème grenoblois du quantique CMOS comme nous allons le voir.

Quantum Technologies Flagship

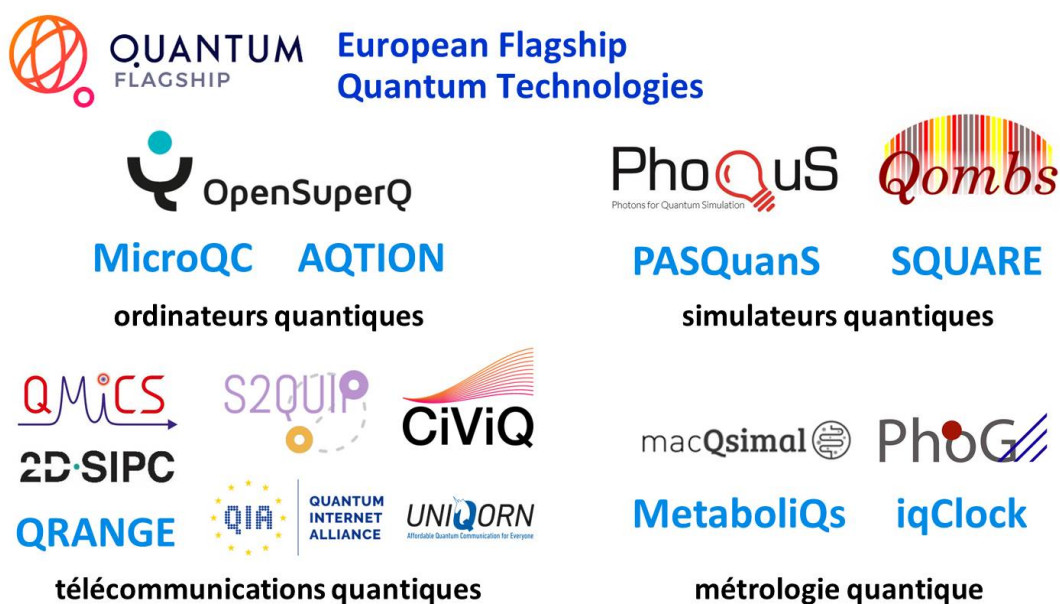
Le Quantum Technologies Flagship est un des trois "flagships" européens qui visent à placer l'Europe en tête de pont de ruptures technologiques majeures avec un fort investissement communautaire dans la recherche. Le ticket de base est de 1 milliard d'Euros, étalés sur plusieurs années. Les deux autres Flagship sont le "Human Brain Project" piloté par le Suisse Henri Markram et le projet Graphene dans les nanotechnologies.

Le Flagship Quantique annoncé en 2017 devait être financé à hauteur de 1Md€ (un milliard d'Euros) étalés sur 10 ans. La première phase annoncée en octobre 2018 comprend une première tranche de 132M€ qui sont alloués à 20 projets sélectionnés sur 140 candidats. Ce montant couvre trois années de besoins des projets.



Lancé par la Commission Européenne le 29 octobre à Vienne, le programme **Quantum Technologies Flagship** est réparti dans quatre domaines : le calcul quantique, la simulation quantique, la communication quantique et la métrologie quantique. Cette répartition est assez habituelle. On la retrouve dans les plans de pays comme les USA ou la Chine. Voir le **Dossier de Presse** (28 pages), la **liste complète des projets** et **L'Europe accélère l'industrialisation des technologies quantiques** du 31 octobre 2018, dont le titre est quelque peu trompeur dans la mesure où la majorité des projets financés sont des projets de recherche, au mieux appliquée, et pas vraiment des projets d'industrialisation, qui supposeraient que la recherche est terminée.

Parcourons la liste de ces projets financés dans cette première tranche. A chaque fois, j'indique le pays leader du projet et les montants européens accordés au projet. Ces projets impliquent en moyenne au minimum une demi-douzaine d'autres pays européens, voire autres comme la Suisse et Israël. Il n'est d'ailleurs pas toujours facile d'obtenir en ligne la liste exacte des parties impliquées dans les projets.



Cela commence avec trois projets côté liés au calcul quantique, probablement l'aspect le plus stratégique du plan et pourtant le moins bien représenté et financé :

- **AQTION** (Autriche, 9,57M€) est un projet d'ordinateurs quantiques à base d'ions piégés qui veut atteindre une capacité de 50 qubits. L'Autriche a un long historique sur le sujet et y est tout à fait légitime. Elle fait notamment face à IonQ, une startup issue de l'Université de Maryland aux USA.
- **MicroQC** (Bulgarie, 2,36M€) pour la création d'un autre ordinateur quantique à base d'ions piégés. Ce projet de recherche est moins connu. Mais on sent l'approche européenne consistant à ne pas défavoriser les membres les plus récents de l'Union Européenne.
- **OpenSuperQ** (Allemagne, 10,33M€) est un projet d'ordinateur quantique à base de qubits supraconducteurs, piloté par l'Université de Saarlandes. Le projet associe également l'Espagne, la Suède, la Suisse et la Finlande et en tout 10 laboratoires de recherche. C'est une filière classique et la concurrence industrielle est rude avec Outre-Atlantique, au minimum, IBM, Google, Intel et Rigetti. L'ambition est de créer dans un premier temps un ordinateur quantique supraconducteur à 100 qubits. Pour mémoire, Rigetti pense arriver à 128 qubits en 2019. Il semblerait que ce projet consiste surtout à créer un calculateur quantique disponible via le cloud, et focalisé sur des recherches en chimie. En étant mauvaise langue, c'est une sorte de Cloudwatt du quantique.

Nous avons ensuite quatre projets de simulateurs quantiques. Ces simulateurs sont des ordinateurs quantiques qui permettent de simuler des processus physiques quantiques. Ils sont utilisables en particulier pour simuler la physique des matériaux. On ne les programme pas comme les ordinateurs quantiques universels à portes quantiques de la catégorie précédente. Ces simulateurs sont pour l'instant des objets de recherche. Dans mon **ebook sur l'informatique quantique**, je n'avais pas identifié d'entreprise privée, établie ou startup, se lançant dans cette voie. C'est donc pour l'instant surtout une voie de recherche. Elle est cependant en train de passer doucement de la recherche fondamentale à la recherche appliquée, ne serait-ce que pour créer des algorithmes destinés aux applications cibles.

- **PASQuans** (Allemagne, 9,25M€) est un projet de simulateur quantique à base d'ions piégés allant jusqu'à 1000 qubits. Il implique aussi le Royaume-Uni.
- **Qombs** (Italie, 9,3M€) est un projet de simulateur quantique à base de photonique et de "peignes de lasers".
- **PhoQuS** (France, 3M€) est un projet de simulateur quantique également à base de photonique. Il est piloté par une équipe de chercheurs de PSL.
- **SQUARE** (Allemagne, 2,99M€) ou "Scalable Rare Earth Ion Quantum Computing Nodes" est un projet de simulateur quantique à base d'ions de terres rares (rubidium, ...). Il est piloté par l'Université de Karlsruhe et implique des laboratoires du Danemark, de Suède, Espagne et de France, comprenant Thales.

Continuons avec les projets dans la communication quantique et la sécurisation des télécoms. On peut y constater une apparente redondance entre les projets financés qui sont tous positionnés sur la crypto quantique à base de clés symétriques et de QKD (Quantum Key Distribution, la technique d'envoi sécurisée de clés par voie optique). Curieusement, il n'y a rien sur la "cryptographie post-quantique" qui semble être plus prometteuse sur le marché de la cybersécurité. Elle ne rentre visiblement pas dans le cadre de ce Flagship puisque les techniques et algorithmes utilisés ne sont pas quantiques. Ils permettent de résister au décryptage de clés publiques classiques par des ordinateurs quantiques. Donc, exit.

- **Quantum Internet Alliance** (Pays-Bas, 10M€) (QIA) vise à déployer un réseau Internet protégé par clés quantiques (QKD) en mode réseau maillé et non seulement point à point. Les nœuds ou relais quantiques seront constitués de systèmes exploitant des atomes froids. Ils vont commencer par un réseau à trois ou quatre nœuds. Le projet est piloté par l'Université TU Delft. Le CNRS y participe et notamment Elena Diamanti que j'avais eu l'occasion de voir et croiser lors de l'Échappée Volée en juillet 2018. L'Université de la Sorbonne y participe également. On y trouve sinon des Suisses, des Allemands, des Danois et des Autrichiens (**liste complète**).
- **QRANGE** (Suisse, 3,87M€) est un projet d'amélioration des techniques de génération quantiques de nombres aléatoires. La startup suisse ID Quantique ne doit pas être loin derrière puisqu'elle est leader sur ce marché.
- **CiViQ** (Espagne, 9,9M€), ou Continuous Variable Quantum Communications, est un autre projet de sécurisation de télécommunications par fibre à base de QKD. Le projet comprend 21 parties prenantes couvrant le monde académique et industriel dont le CNRS, Institut Mines-Telecoms, Nokia Bell Labs France, Inria, Orange, ainsi que l'Israélien Mellanox qui est spécialisé dans les produits de communication très haut débit entre serveurs dans les data-centers exploitant l'architecture Infiniband. Il est probable qu'ils aient dans leurs cartons des produits exploitant des QKD.
- **Uniqorn** (Autriche, 9,9M€) est dans le même créneau et travaille sur un générateur de nombres aléatoires et un système de QKD. Il associe 17 organisations de 9 pays (Autriche, Pays-Bas, Italie). L'Israélien Mellanox est aussi de la partie.

- **S2QUIP** (Pays Bas, 3M€), Scalable Two-Dimensional Quantum Integrated Photonics, est un autre projet de communication sécurisée à base de QKD.
- **2D-SIPC** (Espagne, 2,9M€) est un projet de développement de composants de photo-électronique potentiellement exploitable pour créer des réseaux Internet sécurisés par clés quantiques (QKD).
- **QMICS** (Allemagne, 3M€) ou “Quantum Microwave Communication and Sensing” planche une technologie de création de réseau local à base de micro-ondes sur câble reliant des nœuds de réseaux supraconducteurs. Elle pourrait avoir des applications dans la communication entre processeurs de calcul quantique. Ils travaillent notamment sur la création de détecteurs de photons uniques.

Nous avons ensuite cinq projets en métrologie quantique :

- **macQsimal** (Suisse, 10,2M€) ou “Miniature Atomic vapor-Cells Quantum devices for Sensing and Metrology Applications”, est un projet de création de capteurs quantiques visant le marché du pilotage des véhicules autonomes et pour l’imagerie médicale. Cela comprend la création d’horloges atomiques, de gyroscopes, de détecteurs de champs magnétiques, de systèmes d’imagerie exploitant des micro-ondes et des champs électromagnétiques de l’ordre du tera-Hertz ainsi que des détecteurs de gaz.
- **ASTERIQS** (France, 9,7M€) ou “Advancing Science and Technology through diamond Quantum Sensing” est un projet de métrologie à base de diamants ultra-purs contenant des lacunes (diamond vacancies) mené par Thales. Il devrait permettre de faire avancer les techniques de mesure de champs magnétiques, électriques, de température et de pression. Les applications sont nombreuses comme les capteurs de contrôle des batteries de véhicules, les capteurs haute résolution pour l’imagerie médicale nucléaire (RMN, résonance magnétique nucléaire). ou pour créer des analyseurs de spectre de radiofréquences. La startup suisse Qnami est impliquée dans le projet et fournit des diamants artificiels.
- **MetaboliQs** (Allemagne, 6,7M€) est un projet d’imagerie médicale cardiaque de résonance magnétique nucléaire à base de diamants. Il semble légèrement redondant avec le projet ASTERIQS, et réciproquement.
- **iqClock** (Pays-Bas, 10M€) est un projet d’horloge quantique à très haute précision.
- **PhoG** (Royaume Uni, 2,6M€) ou “**Sub-Poissonian Photon Gun by Coherent Diffusive Photonics**”, est un projet de création de sources de lumières stables pour des applications diverses, notamment en métrologie quantique. Il implique aussi des chercheurs en Biélorussie, Allemagne et en Suisse.

Enfin, nous avons le vingtième projet, le **QFLAG** (Allemagne, 3,48M€), qui est la structure de pilotage et de coordination des projets du Flagship quantique européen. Il est curieux que la Commission Européenne présente cela comme un projet. Mais il est bien normal qu’une telle structure existe et soit budgétisée.

Pour comprendre la structure de ces projets avec leurs forces et faiblesses, il faut intégrer les

conditions dans lesquels ils sont montés. La politique de la Commission Européenne consiste à gérer équilibre délicat entre les pays de l'Union, petits comme grands. Les aides à la R&D favorisent aussi une recherche multi-partenaires et multi-pays. On se retrouve ainsi avec jusqu'à 20 partenaires et 9 pays impliqués dans ces différents projets. Les leaders des projets sont tous des laboratoires de recherche, en général publics. Il est difficile dans ces conditions d'identifier les voies d'industrialisation associées même si quelques entreprises privées participent à ces projets, telles que Thales, ID Quantique ou Qnami. Cela tient aux modes de financement de ces projets : pour respecter les règles d'intervention du secteur public, ces financements doivent couvrir les besoins de R&D mais pas ceux de l'industrialisation et de la commercialisation. Il n'est pas étonnant dans ces conditions que les projets de ce genre qui débouchent sur un véritable leadership industriel soient bien rares. Le pilotage industriel de ces projets devrait être plus fort et plus explicite, au moins dans les phases amont.

Dans les autres pays développés, des financements de projets de recherche sont aussi attribués sur des modalités voisines. Les laboratoires de recherche publics et privés font leur lobbying pour obtenir des financements, comme cela vient d'être le cas dans le **National Quantum Initiative Act (H.R. 6227)** lancé par le Congrès US, et qui doit encore être validée par le Sénat et la Maison Blanche. Ces financements sont le résultat d'approches "bottom-up" avec des demandes des chercheurs consolidées par les politiques et les grandes agences (Département de l'Energie, NSF, NIST, ...) et d'approches "top-bottom" avec des demandes précises émises par des agences comme la DARPA (Département de la Défense) ou l'IARPA (Directorate of National Intelligence) qui organisent souvent des challenges sur cahier des charges.

On note une forte prédominance de projets pilotés par des laboratoires de recherche allemands (5), suivis par les Pays-Bas (3), puis la France, l'Espagne et l'Autriche qui pilotent chacun 2 projets. Suivent l'Italie, le Royaume Uni et la Suisse qui pilotent chacun un seul projet. La France est aussi impliquée dans nombre de ces projets mais sans en avoir lead. En tout, 13 laboratoires du CNRS sont impliqués dans 10 des 19 projets scientifiques du Flagship (source).

On peut observer une certaine dispersion des efforts, que ce soit dans les simulateurs quantiques ou les systèmes de protection des télécommunications à base de clés quantiques (QKD). La redondance scientifique apparente est cependant justifiée par l'état de l'art du quantique. L'incertitude scientifique autour de ces sujets est tellement grande qu'il est bon de ne pas mettre tous les œufs dans le même panier, surtout du côté des calculateurs et simulateurs quantiques.

Ces projets ont un autre point commun : ils sont tous pilotés par des physiciens et concernent exclusivement le matériel. Il est très inquiétant de constater que ces projets quantiques ne comprennent pas d'efforts visibles pour créer des algorithmes, des outils de développement et des solutions logicielles métier adaptées aux ordinateurs quantiques. On peut espérer que de tels projets seront financés dans les phases suivantes de ce Flagship. Si l'Europe, et par extension la France, ne s'y lancent pas dès maintenant, c'est une bataille industrielle de plus qui sera perdue dès son lancement. Il en va de même de l'absence de projets de cryptographie post-quantique, qui est un champ entièrement mathématique et logiciel, même si cela peut s'expliquer comme nous l'avons déjà vu.

ERC Synergy Grant

A peu près au même moment que les projets du Quantum Technologies Flagship était annoncé le financement du projet **QuQube** à hauteur de 14M€ d'un autre projet, piloté par l'équipe grenobloise associant Silvano De Franceschi (INAC, CEA), Tristan Meunier (Institut Néel, CNRS)

et Maud Vinet (CEA-Leti) (la photo *ci-dessous* vient du CEA). Ce projet sera étalé sur 6 ans pour produire un processeur quantique de 100 qubits CMOS à spin d'électrons. Voir **Un ERC Synergy Grant pour la recherche grenobloise sur les technologies quantiques**, octobre 2018 (6 pages).



De gauche à droite : Tristan Meunier, Maud Vinet, Silvano De Franceschi

Un European Research Council Synergy Grand finance des « moonshots » dans la recherche européenne associant au moins deux laboratoires de recherche. La liste des projets financés en 2018 **est ici**.

Un seul autre projet quantique a bénéficié d'un financement ERC Synergy Grant, **ReNewQuantum** (Recursive and Exact New Quantum Theory) qui implique aussi le CEA ainsi que l'Institut des Hautes Etudes Scientifiques, les Universités de Genève et de Aahrus (Danemark). Il s'agit visiblement de recherche dans la physique des particules, explorant les relations entre la gravitation et la mécanique quantique. Donc, aucun rapport avec l'informatique quantique.

14M€ est le financement maximum d'un tel projet, dont 10M€ de financement de base et 4M€ qui peuvent notamment couvrir des investissements lourds où l'accès à de grosses infrastructures. Dans le projet QuQube, cela permet d'accéder à la Fab 300 du CEA-Leti à Grenoble qui sert à prototyper les processeurs quantiques développés par cette équipe. Comme pour tous ces projets financés par l'Europe, les montants alloués s'additionnent à des frais de structure et salaires déjà pris en charge par les équipes de recherche impliquées. Ils permettent par exemple d'embaucher plus de doctorants et de post-docs dans les équipes projets et parfois, d'en attirer qui viennent d'autres pays.

Au-delà de cette source de financement différente, ce projet présente quelques autres particularités vis à vis des projets du Flagship Quantique. La première est qu'il est mono-pays, tout en étant multi-laboratoires. Cela facilite grandement la coordination des équipes, qui sont toutes basées à Grenoble. La seconde est qu'il intègre visiblement une plus grande variété de compétences allant de la physique à l'ingénierie, avec une capacité de fabrication de composants que n'ont visiblement pas les projets d'ordinateurs quantiques du Flagship.

Ce projet est le seul qui semble permettre à terme de créer des processeurs quantiques capables d'aligner un très grand nombre de qubits, jusqu'à plusieurs millions alors que les processeurs à base d'ions piégés ou de supraconducteurs des projets du Flagship européen sont assez limités de de point vue-là, pour des raisons pratiques comme la dimension des dispositifs de contrôle des qubits ou des contraintes thermiques diverses.

L'échéance est aussi différente et plus appropriée : le financement ERC s'étale sur 6 ans alors que les projets du Flagship couvrent 3 ans de besoins. Les projets quantiques ont besoin de temps !

Dernière caractéristique de ce projet : un partenariat extra-communautaire avec l'Australie et précisément avec les équipes de l'UNSW (South Wales). Il se trouve qu'une équipe de l'UNSW été pionnière dans les calculs quantiques à base de silicium. Ils ont prouvé la faisabilité de la création de qubits dans des structures CMOS et mis au point des protocoles de lecture de l'état des spins de ces qubits sans avoir de recours au moyennage via processus dénommé "Pauli spin blockade" ouvrant la voie à la mise en oeuvre de codes de correction d'erreurs et de la création d'ordinateurs quantiques à grande échelle en nombre de qubits. La spin-off **SQC** (Silicon Quantum Computing) de l'UNSW veut produire un démonstrateur de 10 qubits d'ici 2022. Ceci s'inscrit dans le cadre du partenariat entre la France et l'Australie qui étudie l'opportunité de la création d'une joint venture de commercialisation de qubits CMOS, associant l'équipe d'Andrew Dzurak de l'UNSW avec celle de Maud Vinet du CEA-LETI. Voir **Tests show integrated quantum chip operations possible**, octobre 2018.

On a donc là une équipe franco-australienne qui a bien l'intention de mettre sur le marché un ordinateur quantique et de ne pas simplement faire de la recherche en physique. On croise des doigts !

J'en profite pour annoncer une légère mise à jour de l'ebook "**Comprendre l'informatique quantique**", édition de novembre 2018 qui remplace celle de septembre 2018. Elle intègre de nouvelles startups, quelques actualités scientifiques ainsi que les annonces évoquées ici. Au passage, le document est passé de 332 à 342 pages.

Je continuerai dans la mesure du possible à le mettre à jour au fil de l'eau en fonction de la riche actualité du secteur.

Cet article a été publié le 8 novembre 2018 et édité en PDF le 17 février 2019.
(cc) Olivier Ezratty - "Opinions Libres" - <https://www.oezratty.net>