



Décoder l'annonce de la stratégie quantique française

Après plusieurs années de longue gestation, rallongée par la pandémie covid-19 et un bon nombre d'aléas politiques, la stratégie quantique nationale a enfin été lancée le jeudi 21 janvier 2021 par le Président de la République Emmanuel Macron à l'occasion d'une visite du laboratoire C2N du CNRS sur le Plateau de Saclay.

Ce moment était attendu de longue date par les acteurs du domaine qui commençaient à s'impatienter. Si l'État est souvent critiqué pour avoir tendance à vouloir se mêler de tout, il était attendu au tournant dans ce domaine. En effet, les technologies quantiques relèvent d'un investissement à long terme et avec une forte pondération de recherche publique, le tout dans un paysage mondial où tous les États se sont engagés dans cette course. On est en plein dans les attributions de l'état entrepreneurial, un motto popularisé par l'économiste italo-américaine **Mariana Mazzucato** dans le fameux **The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths** (2013).

Les enjeux sont de se donner les moyens de compter à l'échelle mondiale dans les technologies quantiques et de disposer d'un minimum d'autonomie stratégique dans ces technologies notamment dans leur dimension duale. Si Emmanuel Macron a relayé l'idée de faire rentrer la France dans le trio de tête, derrière les USA et la Chine, il n'y a heureusement pas de prétention à devenir "le champion mondial" du secteur. Le tout avec une enveloppe de 1,8 milliards d'euros, à comparer aux 1,5 milliards d'euros du plan sur l'intelligence artificielle de 2018.

Comme le veut la tradition de ce blog, ce texte est un "long read" détaillé. Il permet au passage de valoriser un bon nombre d'acteurs de l'écosystème quantique français. Derrière tout plan, il y a de vrais gens en chair et en os, autant dans les administrations, chez les politiques que chez les chercheurs, les entrepreneurs et dans les entreprises ! Et notamment de véritables serviteurs de l'État ayant une vision long terme. Bref, nous sommes un peu ici dans "*les yeux dans les Bleus du quantique français*". Vous pouvez même aussi en profiter en version **audio** et **vidéo** avec le 25e épisode des podcasts **Quantum**, enregistré comme d'habitude avec **Fanny Bouton**.

Lieu de l'annonce

L'exercice de style d'une annonce présidentielle suit un canevas bien rôdé : il doit avoir lieu dans un endroit symbolique du secteur d'activité, permettre la valorisation de quelques acteurs clés et au passage de capter de belles images. C'est à la fois un outil de reconnaissance vis à vis d'un métier et de communication politique au plus grand nombre, via le relai des médias.

Le **Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies** du CNRS situé à Palaiseau dans la zone Est du centre universitaire de Paris-Saclay était un lieu de choix côté élaboration de technologies quantiques. C'est à un laboratoire de recherche de 400 personnes qui comprend une salle blanche de 2900 m² où sont élaborés des composants divers. Cette salle fait partie du **réseau Renatech** du CNRS qui comprend en tout 5 salles blanches réparties dans toute la France avec en plus du C2N, celles de l'IEMN de Lille, de Femto-ST de Besançon, du LTM de Grenoble et du LAAS de Toulouse. Elles sont complétées par la grande salle blanche du CEA-Leti.

C'est dans ces salles blanches que sont mises au point les recettes de production de semi-conducteurs et capteurs divers. La production en série est réalisée ailleurs.

Le C2N comprend quatre départements : nanophotonique, matériaux, nano-électronique et microsystèmes/nanobiofluidique. Le département nanophotonique comprend neuf équipes dont l'équipe **Quantum Optics in the Solid State** où officient en particulier **Jacqueline Bloch**, référence mondiale du domaine des polaritons et **Pascale Senellart**, grande spécialiste de la génération de photons uniques à partir de cavités exploitant des quantum dots. Pascale est par ailleurs cofondatrice de la startup **Quandela** et elle dirige aussi Quantum, le cluster quantique de Paris-Saclay. C'est à tous ces titres qu'elle faisait partie de l'équipe qui accueillait le Président de la République au C2N le 21 janvier 2021. Pascale avait été la première des participants aux entretiens **Decode Quantum** lancés par Fanny Bouton, Richard Menneveux et moi-même en mars 2020 (voir son épisode). On la voit à droite *ci-dessous* avec **Giancarlo Faini** qui dirige le C2N et **Sylvie Retailleau**, la présidente de l'Université Paris-Saclay, elle-même physicienne, en conversation avec le Président. La connaissant bien, c'était un plaisir de voir son travail et celui de ses équipes ainsi valorisé.



La visite du président comprenait celle de la salle blanche du C2N puis du laboratoire de l'équipe de Pascale Senellart et de **Quandela**, la startup qui en est issue. Elle se poursuivait ensuite par des stands créés pour l'occasion avec **Thales** et ses capteurs quantiques, **Atos** et son émulateur quantique aQML qui émule du code quantique sur un serveur classique et la startup **Pasqal** et son ordinateur quantique à base d'atomes froids. Sachant que le laboratoire de Thales (TRT) est à deux pas du C2N et que l'équipe de recherche d'**Antoine Browayes** à l'origine de Pasqal est sise à l'Institut d'Optique, également dans les parages du C2N. Il y avait donc une logique géographique cohérente dans ce casting.

Ci-dessous, **Elie Girard**, CEO d'Atos, présentant l'aQML à Emmanuel Macron accompagné de Pierre Barnabé et Philippe Duluc. Il s'agit d'un serveur équipé de processeurs Intel et optionnellement de GPU Nvidia optimisé, notamment du côté de la gestion de la mémoire, pour l'émulation d'ordinateurs quantiques.



Et *ci-dessous* **Christophe Jurczak** (Chairman) et **Georges-Olivier Reymond** (CEO) de la startup **Pasqal** qui présentaient la maquette de leur futur ordinateur quantique à base d'atomes froids. En laboratoire, ils ont déjà réussi à réaliser une simulation quantique avec 196 qubits/atomes, un record mondial. Une simulation quantique est une sorte de calcul quantique analogique qui utilise des interactions paramétrées entre particules élémentaires, ici des atomes, pour simuler le fonctionnement d'un autre système quantique. Cela peut notamment servir en simulation chimique de molécules.



Le parcours présidentiel ne représentait qu'un tout petit bout de l'écosystème de la recherche et de l'entrepreneuriat en technologies quantiques en France. Les deux autres principaux clusters sont celui de Paris et celui de Grenoble. Ils étaient dignement représentés lors de l'événement par **Eleni Diamanti** (CNRS LIP6) et **Iordanis Kerenidis** (CNRS IRIF) pour le premier et par **Alexia Auffèves** (CNRS Institut Néel / UGA) pour le second. Le CEA dont le Leti de Grenoble est investi dans les qubits silicium dans le projet mené par **Maud Vinet** en liaison avec celle de **Tristan Meunier** du CNRS Institut Néel était représenté par **François Jacq**, l'administrateur général du CEA. N'oublions pas non plus les laboratoires de recherche que l'on trouve ailleurs, comme à Bordeaux, Toulouse, Marseille, Nice, Lyon, Besançon et Lille.

Je précise tout cela car le casting d'une visite présidentielle oblige à faire des choix difficiles qui laissent de côté des acteurs de l'écosystème valorisé. En plus des autres pôles régionaux, citons d'autres startups du secteur (**Muquans**, **Alice&Bob**, **C12 Nanotech**, **Veriqloud**, **Quantfi**, **Qubit Pharma**) ainsi que **Air Liquide** qui, avec son acquisition de CryoConcept annoncée en septembre 2020, est devenu un acteur clé de la cryogénie très basses températures, incontournable pour les ordinateurs quantiques à base de qubits supraconducteurs ou à spin d'électrons.

Il y avait en tout environ une centaine d'invités à cette annonce, y compris les officiels (Ministres comme Frédérique Vidal, Bruno Lemaire et Cédric O), préfet, élus, membres de cabinets, etc.



Et puis un autre invité s'était glissé dans la partie, en arrière-plan du Président, un double monolithe bleu (*ci-dessus*). Il n'avait pas été installé là par des extra-terrestres après un passage par le désert de l'Utah. Il s'agissait de la dernière génération du générateur de photons indistingables de **Quandela**, baptisé Prometheus, exploitables notamment pour du calcul quantique.

Discours du Président

Et l'**intervention** du Président Macron ? On peut la visualiser sur **Youtube** (38 minutes). C'est une innovation en soit car aucun chef d'État ne s'était exprimé de la sorte sur un plan quantique. J'ai notamment en mémoire la piteuse signature du National Quantum Initiative Act américain par Donald Trump le 20 décembre 2018 dans le bureau ovale en présence de deux de ses conseillers et de sa fille Ivanka. Angela Merkel s'est exprimée en juin 2020 sur le sujet, mais noyé dans le fourre-tout d'un plan de relance multithématique.

Un tel discours est le résultat de contributions et influences très diverses, venant de toutes parts, qui sont consolidées par les conseillers des Ministères et de la présidence, notamment **Matthieu Landon** qui suit les dossiers recherche/industrie. Lorsque l'on lit ou écoute un discours, on peut en utilisant une analogie biologique faire son séquençage d'ADN pour identifier ses différents gènes. Reste à voir les protéines et l'organisme que cela peut générer ! Le discours est ensuite mis en forme par un *speech writer* de l'équipe de communication. Dans le cas présent, le Président semble être très peu sorti de l'épure avec une touche personnelle. Cela manquait d'ailleurs d'humour. Mais comme il allait communiquer la même journée dans un autre endroit du Plateau de Saclay sur la vie étudiante à l'heure de la pandémie, le sérieux était de rigueur.

Le discours comportait une longue première partie sur le Plateau de Saclay où il était accueilli et où il était déjà venu en 2017. Il faisait un long inventaire des économies d'échelle lui permettant de tenir un rang international respectable, notamment dans le classement de Shanghai. Il rappelait en filigrane l'impérieux objectif de réunir le plateau pour mettre fin à la guerre larvée entre d'un côté l'**Université Paris Saclay** (comprenant notamment CentraleSupélec et l'ENS Saclay) et de l'autre l'**IPP** (Institut Polytechnique de Paris, qui regroupe l'École Polytechnique et ses écoles d'application Télécom Paris, ENSAE et ENSTA) en soulignant des progrès récents de ce point de vue.



En second lieu, le message insistait sur l'importance de la recherche, des liens entre recherche fondamentale et recherche technologique pour faire face aux défis mondiaux comme dans la santé ou l'environnement. Et d'évoquer le lien entre recherche fondamentale et souveraineté, française comme européenne.

Et d'inscrire la stratégie quantique dans ce cadre, en expliquant le continuum entre la première et la seconde révolution quantique. Il avait eu l'occasion de se la faire expliquer la veille par l'incontournable **Alain Aspect** lors d'une visioconférence rassemblant également les dirigeants du CNRS (**Antoine Petit**), du CEA (**François Jacq**), d'Inria (**Bruno Sportisse**), complétés par **Sylvie Retailleau** (Université Paris-Saclay) et **Eric Labaye** (Institut Polytechnique de Paris).

En plus de Saclay, il ne manquait pas de citer l'écosystème quantique de Grenoble : *“Je pense aussi à Grenoble, à l'Institut Néel avec les équipes mixtes entre le CEA, le CNRS et l'université de Grenoble qui porte des projets dans le domaine du calcul quantique en s'appuyant sur les technologies de semi-conducteurs de l'industrie microélectronique, là aussi il y a des effets de cluster, on le sait, avec toutes les équipes qui sont impliquées sur ces sujets”*.

Il citait l'état des lieux de l'écosystème entrepreneurial avec quelques startups citées un peu plus haut ainsi que les outils du financement public (**Bpifrance**, où le sujet est géré par **Jean-Christophe Gougeon**) et privé (**Quantonation**) puis les entreprises utilisatrices qui explorent les usages du calcul quantique comme **Total** et **EDF**.

Dans les points à améliorer, il se focalisait sur les salaires des chercheurs en militant sur une hybridation entre le système français et le système anglo-saxon, un sujet en toile de fond de la LPR (Loi de Programmation de la Recherche). Et d'évoquer ensuite les montants qui seront investis dans la recherche dans un jeu de pacman difficile à suivre, alimenté notamment par les **Programmes d'Investissements d'Avenir** dont le PIA4 qui était annoncé début janvier par le Premier Ministre.

Le président décrivait ensuite les grandes lignes de la stratégie quantique avec un programme de développement technologique couvrant la recherche fondamentale jusqu'à l'industrialisation, des efforts sur l'enseignement supérieur et la quête de l'ordinateur quantique scalable, nous y reviendrons plus loin. Le discours mettait aussi l'accent sur les partenariats européens. Côté mise en œuvre, il citait le **Programme et Equipements Prioritaires de Recherche (PEPR)** quantique pour lequel les grands organismes de recherche seront à la manœuvre, ainsi que la nécessité de contrôler autant que possible toute la chaîne de valeur des technologies quantiques. Il doit être concocté conjointement par le CNRS, le CEA et Inria.

On a enfin eu droit à la petite phrase sur les “66 millions de procureurs” à l'affût des erreurs, qui empêcheraient le progrès, la prise de risque et l'échec, sorte de “Amish Episode 2” suite à l'intervention du Président dans son discours sur le plan de relance et la French Tech du 14 septembre 2020 à l'Élysée. La petite phrase a été retenue par les médias sans en décoder le sens. Il s'agissait surtout d'encourager les chercheurs à prendre des risques.

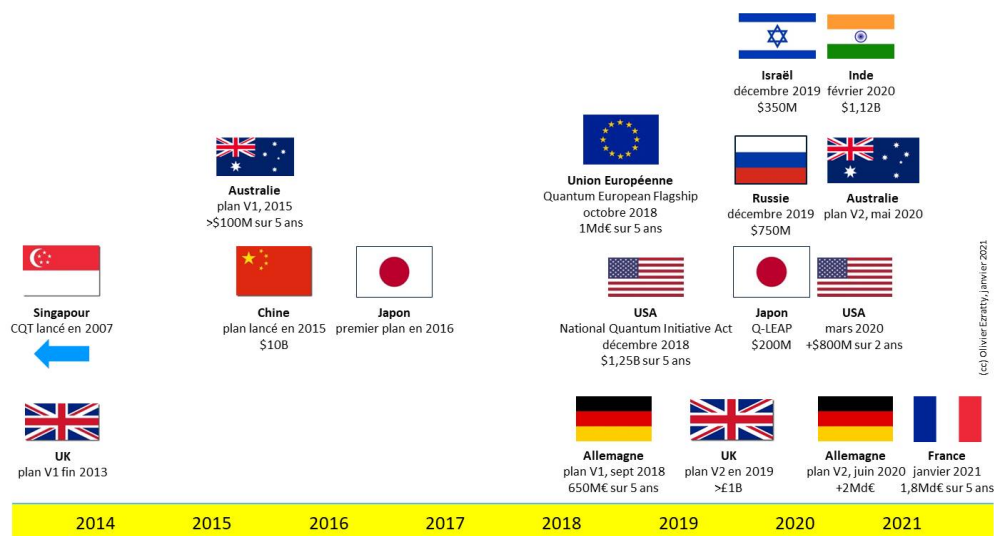
Contenu de la stratégie

Les détails de la stratégie quantique sont exposés dans le dossier de presse **Stratégie nationale sur les technologies quantiques**, qui fait 26 pages. Pour avoir consulté les stratégies quantiques de pas mal de pays, on peut dire que c'est sans doute l'un des plus détaillés qui soit. Il expose les différents domaines, instruments et montants d'investissements.

Si vous consultez le plan quantique US (**National Quantum Initiative Act** de décembre 2018, qui ne fait que quelques pages), vous devez vous contenter d'un découpage budgétaire par agence fédérale (DoE, NIST, NFS) des \$1,25B (2018, sur 5 ans) complétés par \$860M en mars 2020 (sur 2 ans). C'est seulement au gré de la mise en œuvre de la stratégie que l'on découvre des montants plus détaillés par le truchement d'appels à projets divers. Pour les plans allemands de septembre 2018 et juin 2020, on ne dispose que d'un montant global de respectivement 650M€ et 2Md€ sans savoir si les seconds englobent les premiers. Les plans US ne comprennent que des crédits publics fédéraux incrémentaux.

La Chine avait annoncé des montants mirobolants, de l'ordre de \$10B en 2017, mais ils étaient et sont toujours difficiles à vérifier et surtout à ventiler. On dispose seulement d'informations sur la volumétrie des publications et des brevets chinois, qui est au niveau ou dépasse celle des USA, mais sans que leur dimension qualitative soit évaluée. On connaît aussi la dimension impressionnante du nouveau laboratoire de recherche de Jian Wei-Pan à Hefei, qui comprend plusieurs centaines de chercheurs travaillant dans tous les domaines des technologies quantiques avec des moyens matériels impressionnants.

Les plans Allemands et de nombreux autres pays comprennent aussi des financements privés. Les investissements publics structurés du Royaume Uni dans le quantique ont été annoncés en 2013. On sait que cumulés avec le privé, ils ont largement dépassé £1,2B, mais le détail n'est pas évident à reconstituer.



On ne connaît que trop rarement les investissements existants aussi bien publics que privés. Donc, cela ne rime à rien de vouloir comparer les 1,8Md€ du plan français aux premiers \$1,25B du plan US de 2018. Je détaille tous ces éléments dans mon ebook **Comprendre l'informatique quantique**, septembre 2020 (684 pages) qui comprend 46 pages de description des plans et écosystèmes quantiques de 21 pays.

Le décodage de ces budgets pour la France demande aussi une bonne connaissance à la fois du sujet et aussi de la mécanique administrative française.

Stratégie nationale sur les technologies quantiques



SACLAY
21 janvier 2021



Comme le Président l'indiquait, la stratégie se garde de faire des choix technologiques marqués. Il couvre les habituels champs de la simulation et du calcul quantique, de la cryptographie et des télécommunications

quantiques et de la métrologie quantique. Tous les pays qui investissent dans le quantique font de même. La stratégie française se distingue peut-être en mettant aussi l'accent sur les technologies capacitantes comme la cryogénie et les lasers (capacitantes = habilitantes = enabling en anglais, pour 292M€).

Sans grande surprise et en ligne avec les opportunités de marché connues, la simulation et le calcul quantique ont la part belle de ces investissements. Dans le jargon de la stratégie et du secteur, le **NISQ** (Noisy Intermediate Scale Quantum, 352M€) recouvre les ordinateurs quantiques bruités dotés d'un faible nombre de qubits (quelques centaines maximum) pour les premiers usages, un effort comprenant le volet logiciels, et le **LSQ** (Large Scale Quantum, 352M€) correspond aux ordinateurs à tolérance de panne doté d'un grand nombre de qubits physiques assemblés en qubits logiques avec des systèmes de correction d'erreurs. Ce volet de la stratégie présuppose largement un pari sur la filière silicium, piloté par l'écosystème de Grenoble associant le CEA, le CNRS et UGA. La métrologie quantique bénéficie d'une convenable enveloppe de 258M€, suivie des communications quantiques comprenant la cryptographie quantique pour 325M€ et de la cryptographie post-quantique permettant de rendre les systèmes de chiffrement classiques résilients aux ordinateurs quantiques, pour 156M€.

Axes technologiques de la stratégie nationale						Total 2021 – 2025 [M€]
NISQ	LSQ	Capteurs quantique	Communications quantiques	Cryptographie post quantique	Technologies capacitantes	
352	432	258	325	156	292	1815

Cette stratégie représente un investissement de 1815M€ étalés sur 5 ans. Ce montant comprend un effort de financement public d'environ 1Md€, dont 594M€ issus du PIA4 qui sont bien additionnels par rapport au rythme d'investissement existant de la recherche publique. D'autres financements publics additionnels sont dans la stratégie. On passe précisément de 312M€, l'existant prorogé des 5 dernières années, à 1050M€ de financements publics sur 5 ans.

Le reste provient de financements européens escomptés (238M€, via le projet EuroHPC, les futurs projets du Flagship Européen, des bourses ERC, pour European Research Council dont le montant peut atteindre 14M€, et d'autres sources de financement de la recherche du programme Europe Next... mais sans que cela soit forcément incrémental) puis de financements privés issus du capital risque (Quantonation, autres fonds français et étranger), de financements publics issus principalement de Bpifrance et de fonds souverains divers (notamment dans le secteur de la défense) puis d'investissements des grandes entreprises soit dans leur propre R&D soit dans des startups. Ce financement privé représente 545M€. Il représente un abondement attendu des industriels, par effet incitatif de la dépense publique. Mais ce n'est pas garanti !

À ce titre, un avertissement mérite d'être lancé concernant les investissements de filiales françaises d'acteurs américains tels qu'**IBM**, **Google** et **Microsoft**. En effet, ils visent à propager en France des technologies américaines. En langage non diplomatique, cela revient "*à faire de nous des colonies numériques*". On est d'ailleurs symboliquement trompé par le fait que ce sont des salariés français qui font le job. J'en faisais partie lorsque j'étais chez Microsoft France entre 1990 et 2005 ! Si ces acteurs américains pourront contribuer à accélérer l'adoption des technologies quantiques par les entreprises françaises, ils contribueront, sauf changement majeur de doctrine, peu au développement d'une industrie française du quantique. Ce genre de financement est plus problématique que l'investissement de fonds étrangers dans des startups françaises, dont on peut dans une certaine mesure éviter les effets pervers.

En l'état, la stratégie quantique française comme celui des autres pays se focalise largement sur la politique de l'offre (supply side) plus que celle de la demande, même si le rôle de client de l'État est cité pour les armées, pour les centres de calcul comme le GENCI et pour le rôle des entreprises utilisatrices. Mais c'est un équilibre

très différent de celui du plan sur l'intelligence artificielle où un accent fort est mis sur son adoption par l'État alors qu'il ne représente que 72M€ d'achats publics dans la stratégie quantique. C'est lié au niveau de maturité de la technologie. Cette dimension "supply side" est une force implicite de cette stratégie quantique, liée à son lancement intervenant bien en amont d'une large adoption par le marché. Sa conséquence est d'éviter une dilution des actions dans des programmes d'adoption. Les choses sont ainsi plus claires car cela oriente plus nettement l'effort sur la création d'une offre compétitive à l'échelle mondiale plutôt qu'à surfocaliser les acteurs sur notre rikiki marché intérieur.

Total 2021 – 2025 [M€]	1815
PIA 4	594
Subvention aux organismes de recherche	274
Autres contributions nationales	164
Financements européens	238
Secteur Privé	545

La stratégie quantique annoncée présente également la ventilation des montants par type d'action, sachant qu'à chaque fois, l'équilibre financement public et privé est différent mais pas précisé. Heureusement d'ailleurs. La recherche se taille la plus grande part du gâteau et c'est une bonne chose, alignée sur ce que font tous les pays investissant dans les technologies quantiques (725Md€). La formation est un peu en retrait avec seulement 61M€. La maturation technologique à 171M€ et le déploiement industriel à 224M€ couvrent les actions faisant le lien entre la recherche, la valorisation et les entreprises, notamment les startups, notamment via des Programmes de Déploiement Industriels. Le volet entrepreneuriat de 439M€ s'appuie à la fois sur de l'investissement public (Bpifrance avec 120M€ d'abondement de fonds d'investissement dédiés aux startups quantiques) et privé (fonds d'investissements et Corporate Venture).

Un dernier volet tout à fait pertinent concerne la protection de la propriété intellectuelle. La situation mérite un travail de fonds car la France n'est pas très bien placée dans le concert mondial des brevets comme l'illustre le travail de **Michel Kurek** sur le sujet.

Total 2021 – 2025 [M€]	1815
Recherche (Organismes CNRS, CEA, INRIA, ONERA, CNES; programmes UE, infrastructures)	725
Formation (PhD, Ingénieurs, masters, techniciens)	61
Maturation Technologique	171
Innovation de rupture (ordinateur quantique)	114
Soutien au déploiement industriel (lignes pilotes et cryogénie)	224
Politique d'Achat Public (calcul, défense)	72
Entrepreneuriat (fonds d'investissement, incubateurs)	439
Intelligence Economique (standardisation, PI)	9

Le gouvernement annonce des objectifs économiques comme la création de 16 000 emplois directs et indirects d'ici 2030 et un poids économique représentant à terme entre 1 et 2 % des exportations françaises. C'est probablement aller un peu vite en besogne en l'état actuel des connaissances. La volumétrie d'emploi élevée est notamment justifiée par les emplois de techniciens qui seraient/seront nécessaires au déploiement de réseaux de

télécommunications quantiques. L'État se donne comme objectif de former 5000 nouveaux techniciens, ingénieurs et docteurs en technologies quantiques dont 800 jeunes chercheurs en thèse. Tout ceci dépendra aussi d'un indicateur important mais et qui sera sûrement dans les tableaux de bord : la création de startups devenant des PME ou des ETI et/ou l'étendue des activités quantiques d'acteurs existants comme Atos, Thales et Air Liquide.

Origine de la stratégie quantique

Comment une telle stratégie est-elle lancée ? Est-ce que des fonctionnaires ou des politiques se lèvent tôt le matin et se disent, tient, on va lancer un plan quantique ? Pas vraiment. En pratique, c'est le résultat d'interactions entre la "société civile" et l'État. **Cédric O** explique bien cela dans le **17e entretien** de la série **Decode Quantum** enregistré avec lui le 21 janvier 2021, en compagnie de **Fanny Bouton** et **Richard Menneveux**. Une veille de l'actualité permet aux politiques de détecter une tendance. Des rencontres diverses ont ensuite lieu avec des spécialistes, soit à leur demande, soit sur sollicitation de l'État. Dans le gouvernement, on peut d'ailleurs considérer que Cédric O était le véritable sponsor de cette stratégie et ce, depuis fin 2018.

Il faut souligner le rôle moteur de **Thierry Breton**, qui annonçait engager Atos dans les technologies quantiques en 2016 et qui, dès cette époque, en parlait aux Ministres dont un certain **Emmanuel Macron** qui officiait alors à Bercy. Le Président rappelait cet épisode en visitant le stand d'Atos au C2N le jour de l'annonce de la stratégie. La sensibilisation des cabinets ministériels par les chercheurs, organismes de recherche et entreprises a suivi.

Cela a amené à la création d'une mission parlementaire menée par la députée (à l'époque) "En marche" **Paula Forteza** accompagnée de **Jean-Paul Herteman** (ancien CEO de Safran) et **Iordanis Kerenidis** (Directeur de Recherche CNRS à l'IRIF). Lancée début avril 2019, son rapport a été remis au gouvernement en octobre 2019 et publié officiellement le 9 janvier 2020 lors d'une présentation aux Ministres **Frédéric Vidal** (recherche et enseignement supérieur), **Florence Parly** (armées) et **Cédric O** (économie numérique). Le rapporteur de cette mission était **Neil Abroug**, à l'époque à la DGE. Après la remise de ce rapport était lancée une task force ressemblant des chercheurs, entreprises, entrepreneurs et investisseurs public (Bpifrance) et privés, lancée par Neil Abroug. Son objectif était de publier une feuille de route pour le gouvernement ce qui fut fait en juillet 2020 et validé en réunion interministérielle début septembre 2020. Une bonne partie du travail a donc eu lieu pendant la pandémie covid-19.

En plus d'un bon nombre de personnes déjà citées plus haut, j'ajouterai les contributions de **Sébastien Tanzilli** (CNRS), **Philippe Duluc** (Atos) et **Stéphane David** (DGE). **Maud Vinet** (CEA-Leti) a été aussi très impliquée pour le CEA tout comme **Philippe Chomaz** (CEA-DRF, direction de la recherche fondamentale), **Alain Schuhl** (directeur scientifique du CNRS) ainsi que **Jean-Frédéric Gerbaud** (même fonction chez Inria). Sans compter les équipes de la **DGA** au Ministère des Armées, et d'autres à l'**ONERA**, au **CNES** et au **LNE** (Laboratoire National d'Essais).

À partir de septembre 2020, il a fallu trouver une date et un lieu pour annoncer le plan. Le Président avait choisi de le faire lui-même. L'actualité politique a retardé plusieurs fois cette annonce. L'annonce avait été un moment planifiée le 4 novembre puis annulée du fait du reconfinement relancé fin octobre. C'était reporté à début 2021 et finalement planifié le 21 janvier. Le C2N était l'une des options naturelles pour l'annonce, en plus de l'Institut d'Optique, ou IOGS, un haut lieu de la recherche sur le quantique depuis plusieurs décennies, situé à deux pas-laiseau, ou bien encore la presque-Île de Grenoble qui abrite le CEA-Leti et l'Institut Néel. Les contraintes d'agenda du Président ont naturellement fait converger le choix sur le Plateau de Saclay.

Clivages et solutions

La mise au point d'une telle stratégie n'était pas chose évidente. Elle a nécessité de concilier des points de vue parfois divergents et des approches différentes. Lorsque l'on définit une stratégie, il est utile de se poser ce genre de questions. Où sont les lignes de tensions ? Où doit-on faire des choix ? Où doit-on au contraire ne pas faire de choix ?

En voici une belle douzaine avec la manière dont elles ont été traitées dans l'élaboration de cette stratégie quantique française :

- Poids de l'investissement entre la **recherche et les entreprises**, startups comprises : avec en gros le Ministère de la Recherche favorisant la première et Bercy les secondes. C'est l'habituel débat entre l'amont et l'aval de l'innovation. Au finish, le poids de la recherche est resté très important et c'était justifié, notamment du fait de boucles de plus en plus courtes entre la recherche et l'innovation. Par contre, il faudra traiter le fait que la volumétrie de la création de startups est faible dans les technologies quantiques, un peu comme partout en Europe. Ce n'est d'ailleurs pas qu'une question de financement. Les startups quantiques lancées récemment (Pasqal, Quandela, Alice&Bob, C12, Quantfi, Qubit Pharma, Veriqloud) illustrent la bonne capacité des chercheurs de ce domaine à adopter les codes de l'entrepreneuriat. Ils m'impressionnent d'ailleurs pas mal de ce point de vue-là. Au gré des évolutions technologiques, l'accompagnement de la croissance des startups quantiques devient un sujet critique pour éviter les habituels déboires de nos deep-techs.
- Poids des investissements entre **filières de qubits** : en gros, entre les qubits silicium poussés par le CEA-Leti vs les autres (surtout : atomes froids, supraconducteurs et photons). Les qubits silicium, dont la mise au point a démarré plus tardivement, constituent un pari à long terme sur lequel la France est bien placée dans le concert européen du fait d'une maîtrise de la fabrication de semi-conducteurs avec la filière Leti-STmicroelectronics-SOITEC. Cependant, le plan a été convenablement équilibré avec les investissements dans le NISQ et dans le LSQ, le premier (NISQ) permettant de pousser la filière des atomes froids (IOGS + startup Pasqal), supraconducteurs (CEA, Inria, startup Alice&Bob) et photons (C2N, Quandela, etc), le second (LSQ) étant focalisé sur la filière silicium. Cet équilibrage des risques permettra d'éviter le syndrome du vaccin Pasteur/Sanofi contre le virus covid, qui utilisait un procédé moins efficace que les vaccins à base d'ARN messenger.
- Équilibre entre **calcul quantique et le reste** : c'est-à-dire, les télécommunications et la cryptographie quantiques ainsi que les capteurs quantiques. Thales a évidemment fait du lobbying pour que la filière des capteurs soit bien soutenue et y est arrivé. Le sujet des télécommunications et de la cryptographie quantiques est traité globalement, le premier englobant la seconde.
- Équilibre entre **cryptographie quantique** (QKD, s'appuyant sur de la photonique) et **post-quantique** (PQC, s'appuyant sur du chiffrement classique résistant au calcul quantique). L'ANSSI avait publié un mémo en 2020 soulignant les défauts de la QKD. Le point QKD est tout de même couvert dans le plan en rappelant qu'un Internet quantique a d'autres applications que la protection du chiffrement, telles que le calcul quantique distribué.
- Entre **matériel et logiciel** : le logiciel est un talon d'Achille de l'écosystème quantique français actuel. Ce d'autant plus que les batailles de plateformes se situeront au niveau des outils de développement et du middleware une fois que le hardware sera mis au point. La France compte relativement peu de laboratoires impliqués dans le domaine (quelques-uns à l'Inria et au CNRS, puis le CEA-LIST) et le nombre de startups logicielles quantiques se compte sur les doigts d'un bout de main. Il en va de même pour l'enseignement

supérieur avec très peu de cursus en algorithmie quantique dans les universités et les grandes écoles. La stratégie quantique vise à corriger cela.

- Entre **thématiques des deep techs** : la stratégie quantique complète d'autres initiatives telles que celles qui concerne l'IA, l'hydrogène, la cybersécurité et le cloud. La stratégie quantique a été jugée au moins aussi importante que ces autres domaines et, du fait que les jeux ne sont pas encore faits, présente plus d'opportunités de réussite du fait de l'incertitude scientifique et technologique qui prévaut dans le quantique, surtout côté calcul.
- Entre **autonomie et centralisation** des décisions d'investissement, surtout dans la recherche. Les grands organismes de recherche souhaitent reprendre de la liberté pour décider de ces investissements. Les Universités tout autant. L'enjeu est de raccourcir le cycle de l'innovation associant les laboratoires de recherche fondamentale, de recherche appliquée et technologique et les entreprises.
- Entre **anciens et plus jeunes** dans la recherche et entre **optimistes et pessimistes** sur le calcul quantique. C'est la version quantique de la **querelle des Anciens et des Modernes** du XVIIe siècle ! Je vous passe les détails.
- Sur le plan **civil vs militaire** : la stratégie quantique comprend une composante liée aux besoins du Ministère des Armées mais il n'est pas prééminent. Il était au départ focalisé sur capteurs mais le spectre d'intérêt des armées s'est depuis élargit. L'impulsion vient de la **DGA** et de son agence d'innovation, l'**AID** (Agence d'Innovation de la Défense).
- Sur le **sentiment d'urgence** : il n'était pas partagé par les équipes de Matignon sous Édouard Philippe mais cela a changé depuis. Ce sentiment d'urgence ou son absence pourra avoir un impact sur le choix qui est en cours du coordinateur de cette stratégie quantique. La question se pose également pour le timing de la création de startups issues de la recherche fondamentale et technologique. Celle d'Alice&Bob et **C12 Nanotech** interpelle alors que leur risque scientifique encore élevé avec un faible "TRL" (Technology Readiness Level). Ces faibles TRL se retrouvent dans les créations de startups de tous les pays. Il ne faut pas rater le coche et accepter ces prises de risques et créer aussi rapidement des startups se positionnant sur les marchés clés ! Je pense notamment à la filière silicium.
- Sur la **collaboration vs la concurrence internationales** : les pays avancent en ordre dispersé dans cette bataille du quantique et veulent leur place au Soleil. La France affiche la volonté d'arriver dans le trio de tête derrière la Chine et les USA. Ce n'est probablement pas la bonne dimension. Il faudra que ce soit l'Europe qui arrive en troisième position, avec certes deux piliers pouvant être la France et l'Allemagne. Il faut donc gérer la capacité à être bons chez nous et bons avec les autres.
- Sur la **fuite des cerveaux** : à quoi bon former des chercheurs et des ingénieurs si les entreprises étrangères les recrutent ? Ce *brain drain* est souvent évoqué, en référence à ce qui se produit en ce moment dans l'IA. Heureusement, pour l'instant, il ne s'est pas encore trop manifesté dans les technologies quantiques. L'équivalent de Yann Le Cun dans le quantique est Michel Devoret, parti aux USA en 2002. Il avait fondé en 1984 le groupe de Quantronique du CEA avec Daniel Estève et Cristian Urbina. Il a aussi occupé une chaire au Collège de France entre 2007 et 2012. Il est parti aux USA, attiré notamment par de meilleures sources de financement de la recherche. Il est maintenant l'une des références aux USA sur les qubits supraconducteurs, officiant dans l'Université de Yale. A la différence de Yann Le Cun, il ne travaille pas pour un GAFAMI ! Mais il y en a peu du même genre. La réponse ? D'abord offrir des conditions

attractives aux jeunes enseignants-chercheurs recrutés sur ce thème dans les universités, en terme de salaire mais surtout de financement et de souplesse de fonctionnement. Et puis créer des startups qui grandissent et permettre aux originaux d'avoir des parcours originaux. Cela créera peut-être une fuite des cerveaux, mais au moins, ils resteront en France ! On ne pourra pas empêcher les cerveaux de voyager. S'ils le font trop, il ne faudra s'en prendre qu'à nous-mêmes.

Finalement, définir une stratégie, c'est avoir un objectif et faire des choix. Quels choix ont été réalisés dans cette stratégie ? J'en identifie quelques-uns : bien couvrir la recherche fondamentale, favoriser l'émergence d'une filière industrielle complète intégrant notamment les technologies habilitantes, faire le pari du silicium pour le LSQ tout en encourageant les autres technologies sur le NISQ, pas trop de focalisation sur les usages car c'est trop tôt. Si les partenariats internationaux sont encouragés, ils doivent s'appuyer sur une position forte des acteurs français.

Je note une difficulté à bien définir les spécificités de la France dans le concert mondial et les véritables faiblesses à corriger. S'il est bien possible que nous puissions faire la différence dans la science et l'ingénierie quantiques, on reviendra sans-doutes à nos démons habituels dans les lacunes sur le marketing, la communication et la vente à l'international. Notre salut viendra peut-être de ce que ces notions comptent moins que dans des marchés grand public. À ses débuts, les marchés des technologies quantiques seront des niches très spécialisées avec une vente très technique, des domaines où la France et l'Europe s'en sortent encore bien.

De là à dénoncer un "techno-colbertisme" comme le fait l'économiste **Mathieu Mucherie** dans **Relance made in France : les impasses du techno-colbertisme**, septembre 2020 ? Non. Ce d'autant plus qu'en finançant la recherche publique sur des domaines porteurs, l'État joue parfaitement son rôle comme dans tous les pays développés.

Une critique courante consiste à dire que cette stratégie est un avatar du plan calcul de 1966, et qui est donc voué à l'échec. Et bien non. Le parallèle historique avec le plan calcul n'est pas approprié. La stratégie quantique ne crée ni une entreprise nouvelle (comme la CII), ni un nouvel organisme de recherche (IRIA, devenu Inria). Comme l'indique Cédric O dans l'entretien Decode Quantum, l'État est moins dirigiste que dans les années 1960/1970. Il intervient en amont de l'innovation en finançant la recherche publique comme le font tous les autres pays industriels. Il crée les conditions d'un flux optimum allant de la recherche aux entreprises, petites et grandes. L'État ne fait pas trop de choix sur telle ou telle technologie (quantique) dans la mesure où l'incertitude scientifique reste élevée. Il cofinance avec le secteur privé les startups du secteur. C'est une politique qui n'est pas spécifique à la France et qui est commune à tous les pays européens.

L'État joue aussi le rôle de client là où c'est pertinent, surtout côté centres de calcul et secteurs régaliens. A ceci près qu'étant "petit" (vs Chine/USA), cela ne joue pas le même effet de levier et doit pousser les startups à exporter plus rapidement. Il y a un code des marchés publics à respecter et la préférence doit être au mieux européenne.

La CII lancée en 1966 avait fait le choix de construire des ordinateurs sous licence US. Ici, l'effort consiste à créer des technologies françaises ou franco-européennes. La CII a été ensuite digérée par Honeywell-Bull en 1975, devenu ensuite Bull en 1982, ce dernier ayant été acquis par Atos en 2014. Ce dernier boucle la boucle en s'engageant dans les technologies quantiques. On ne pourra pas affirmer que c'est grâce au plan calcul !

Prochaines étapes

Bon nombre de chercheurs et d'entrepreneurs se demandent déjà comment ils vont pouvoir profiter de cette manne attirante de 1,8 milliards d'Euros. Il leur faudra être patients. Tout d'abord, cette stratégie s'étale sur cinq ans. Ensuite, les crédits seront distribués sur appels à projets thématiques divers. Leur montage prendra du

temps. La communauté quantique espère que ce sera le moins possible, et en tirant parti des retours d'expériences, notamment du déploiement du plan IA. Un peu comme ce qui a concerné la pandémie covid-19, l'enjeu pour l'État est d'apprendre à fonctionner plus vite, une critique que le Président a entendu à plusieurs reprises, et aucun algorithme quantique n'est en mesure de le faire. S'en suit la question du choix du coordinateur qui est encore en suspens.

Second point, une telle stratégie ne se déroule pas dans un monde inerte. Les autres pays bougent et investissent et les progrès scientifiques et technologiques peuvent rapidement changer la donne. L'écosystème et l'État devront s'adapter aux évolutions aussi bien scientifiques que du marché.

La stratégie quantique étant programmée sur 5 ans, il faudra aussi s'assurer qu'elle sera poursuivie sur le long terme. D'ici à peine deux à trois ans, il faudra donc remettre ça et préparer sa seconde phase. Exactement comme Outre-Manche, où le premier plan lancé fin 2013 a été suivi d'une seconde phase en 2019.

Voir en complément :

La recherche française au cœur du Plan Quantique, par le CNRS, 21 janvier 2021.

Quantique, le virage technologique que la France doit prendre, un dossier de 28 pages créé par l'UDICE, l'association des universités de recherche françaises créée en octobre 2020. Il décrit notamment les trois principaux hubs quantiques français (Paris, Saclay, Grenoble) ainsi que les activités quantiques d'autres universités membres de l'association (Strasbourg, Lyon, Bordeaux, Aix-Marseille et Nice).

Description du **PAck Quantique** lancé par la Région Ile de France en novembre 2020 qui vise à créer des synergies entre industriels et startups. Ce programme doté de 1,5M€ alloue des subventions d'environ 200K€ à des projets applicatifs quantiques. Ce programme est une initiative régionale qui ne fait pas partie du plan national venant d'être annoncé.

« **La France doit construire un écosystème des technologies quantiques** », une tribune de Christophe Jurczak, Jean-Christophe Gougeon, Elvira Shishenina et Jean-François Bobier publiée dans Le Monde, 24 janvier 2021.

Cet article a été publié le 25 janvier 2021 et édité en PDF le 15 mars 2024.
(cc) Olivier Ezratty – “Opinions Libres” – <https://www.oezratty.net>