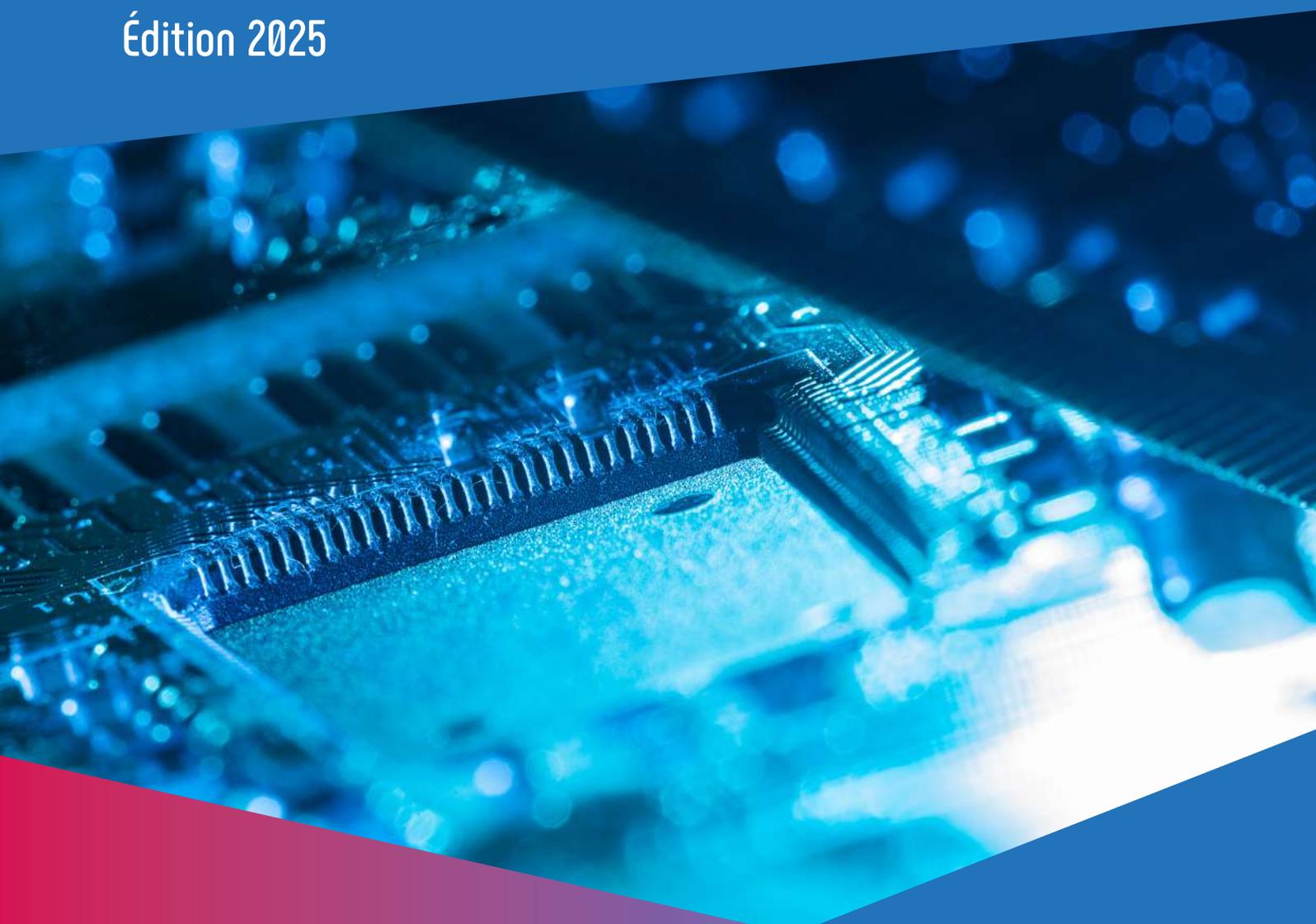


BOOK QUANTXIUM

Édition 2025

Quant*X*ium



DEVENIR UN LEADER MONDIAL
DES TECHNOLOGIES QUANTIQUES

SOMMAIRE

ÉDITORIAL	4	LES LABORATOIRES FRANÇAIS PARMI LES LEADERS MONDIAUX Interview de Salvatore CINÀ	18	INTENSE COMPÉTITION INTERNATIONALE SUR LES TECHNOLOGIES HABILITANTES Interview de Bertrand DEMOTES-MAINARD	30
LA SITUATION DU MARCHÉ	5	DÉVELOPPER DES APPLICATIONS PRATIQUES POUR LA SOCIÉTÉ Interview de Shannon WHITLOCK I	20	UN CONTACT TRÈS ÉTROIT ET PERMANENT AVEC LA RECHERCHE Interview de Bruno DESRUELLE	32
CHIFFRES CLEFS	11	BEAUCOUP DE LIENS ONT ÉTÉ TISSÉS AVEC L'INDUSTRIE Interview de Tristan CREN	22	NOUS SOMMES LE FOND DE RÉFÉRENCE DANS LE DOMAINE Interview d'Olivier TONNEAU	34
CINQ «MAISONS DU QUANTIQUE» DANS CINQ RÉGIONS FRANÇAISES Interview de Loïc LE LOARER	12	SOIT ON PERFORME SUR LA SCÈNE INTERNATIONALE, SOIT ON DÉCÈDE Interview de Théau PERONNIN	24	CHERCHEURS, VOUS AVEZ UN SAVOIR-FAIRE : FAITES-LE SAVOIR ! Interview d'Olivier EZRATTY	36
CHERCHEURS : "AIDEZ-NOUS À TRANSFORMER LE FRUIT DE VOS TRAVAUX EN APPLICATIONS CONCRÈTES" Interview de Ming Long	14	CONCRÉTISER L'ENVIE D'ENTREPRENDRE ET VIVRE L'EXPÉRIENCE Interview de Riadh ISSAOUI	28	LES PARTENAIRES DU CONSORTIUM QUANTXIUM	38
NOUS SOMMES À L'ORÉE DE DISRUPTIONS Interview de Sébastien TANZILLI	16			COMMENT CANDIDATER	39



Contrats ANR

PRÉMATURATION : N° ANR-21-MATP-1401 | MATURATION : N° ANR-21-MATP-1402

Images d'illustration : source @Freepik / Photos : DR

VALORISER LES TECHNOLOGIES QUANTIQUES POUR PERMETTRE À LA FRANCE DE SE POSITIONNER PARMI LES LEADERS MONDIAUX.



Les technologies quantiques constituent un enjeu crucial pour l'avenir. En raison de leur potentiel unique, elles joueront un rôle central dans les prochaines avancées technologiques, transformant des domaines essentiels tels que la santé, l'environnement et la cybersécurité.

Dans ce contexte, la France entend se positionner parmi les leaders mondiaux de ces technologies en développant une stratégie nationale ambitieuse.

Cette stratégie vise à garantir la souveraineté technologique et la compétitivité de la France, en se dotant des infrastructures et des compétences nécessaires. En effet, les ordinateurs quantiques permettront des avancées majeures : modélisation et simulations avancées notamment dans les domaines de chimie et d'industrie ou encore le développement de la cryptographie post quantique.

Aujourd'hui La France dispose d'atouts solides : une recherche de pointe, des industriels précurseurs, et un écosystème dynamique de startups. Grâce à cette stratégie, elle pourra renforcer ses capacités scientifiques et industrielles, tout en formant un vivier de spécialistes, avec pour objectif de doubler ce nombre d'ici 5 ans. Ainsi, la France a les moyens de saisir cette opportunité et de devenir un leader incontournable dans ce domaine. C'est pourquoi il est crucial d'investir dans la recherche et l'industrie quantique.

Dans ce cadre, le dispositif **QuantXium**, lauréat de l'Appel à Projet France 2030, piloté par CNRS Innovation et la SATT AXLR, bénéficie d'un financement de 15 millions d'euros sur 5 ans pour soutenir les projets innovants en

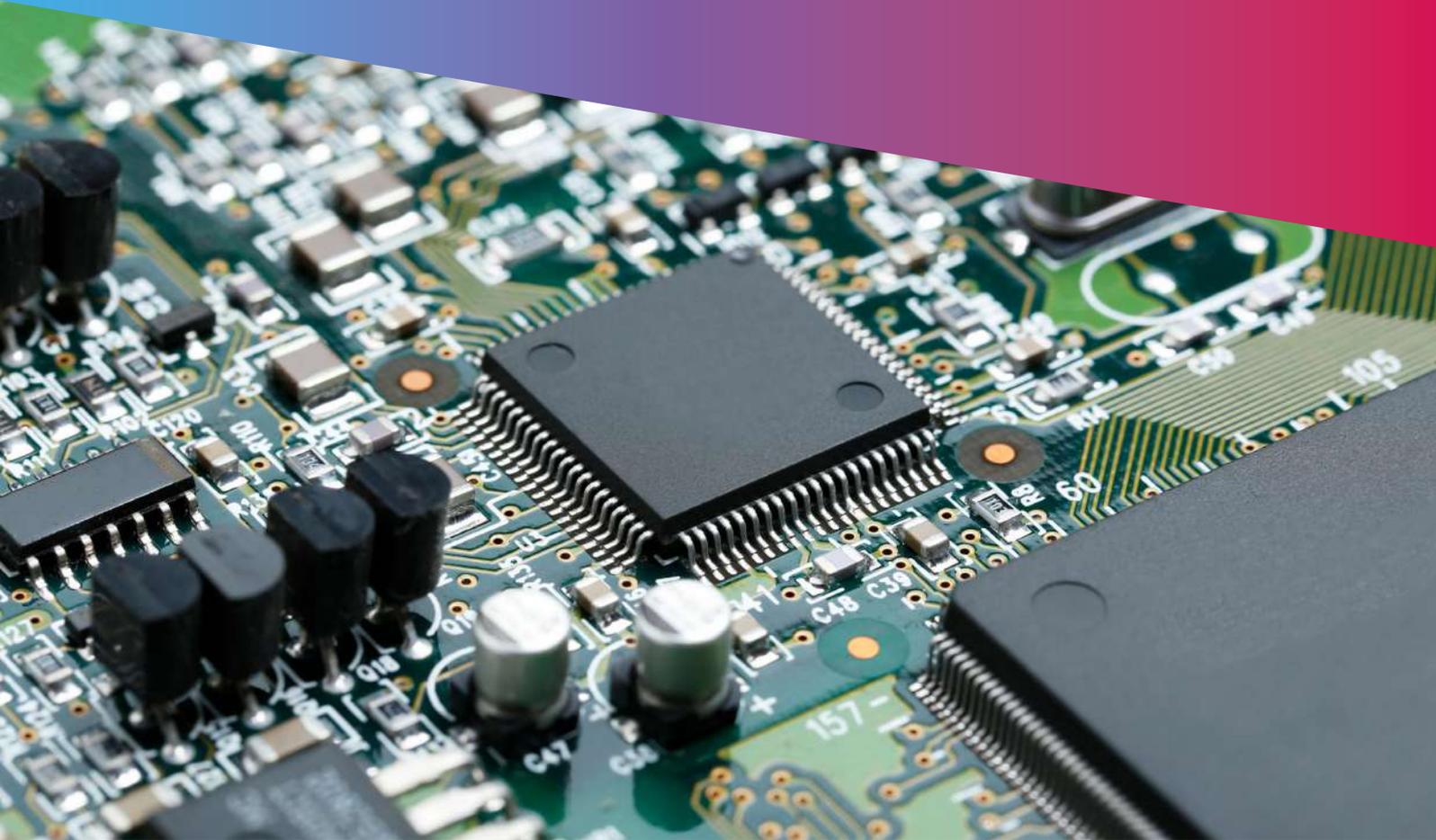
quantique en prématuration et maturation. Ce consortium réunit les acteurs clés du secteur afin de structurer l'écosystème quantique français et de développer des solutions de demain issus des laboratoires académiques.

Les chefs de file du consortium, **CNRS Innovation** pour la prématuration et **SATT AxLR** pour la maturation, ont pour mission de coordonner et animer les efforts du consortium. Leur objectif est de soutenir la communauté scientifique et industrielle en facilitant l'identification et le financement de projets innovants en technologies quantiques à travers tout le territoire.

Pour identifier et sélectionner les projets les plus prometteurs, **QuantXium** organise des comités de sélection réunissant des experts de haut niveau du secteur. Ces projets, issus de la recherche publique, en parfaite cohérence avec la Stratégie Nationale pour les Technologies Quantiques, bénéficient de financements dédiés en prématuration et en maturation. En parallèle, le consortium soutient également des projets en co-développement avec des partenaires industriels, allant des startups aux grandes entreprises, afin d'intégrer dès le début les enjeux liés à leur mise en œuvre industrielle. L'objectif est de préparer ces projets aux futures phases de commercialisation et de scale-up, assurant ainsi leur succès durable.

Mehdi Gmar
Directeur de CNRS Innovation

Philippe Nérin
Président d'Axlr



LA SITUATION DU MARCHÉ

DES TECHNOLOGIES DE RUPTURE À TOUS LES NIVEAUX



La révolution quantique est en marche

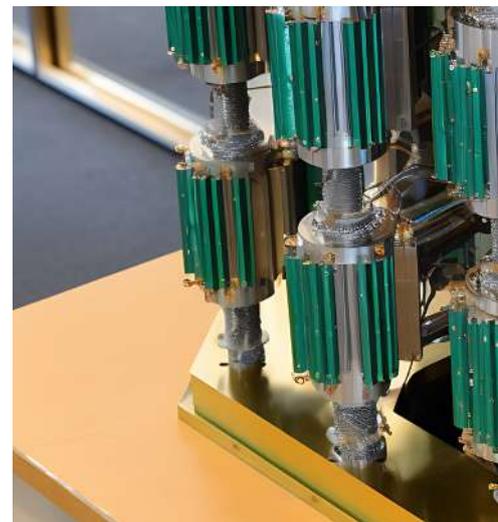
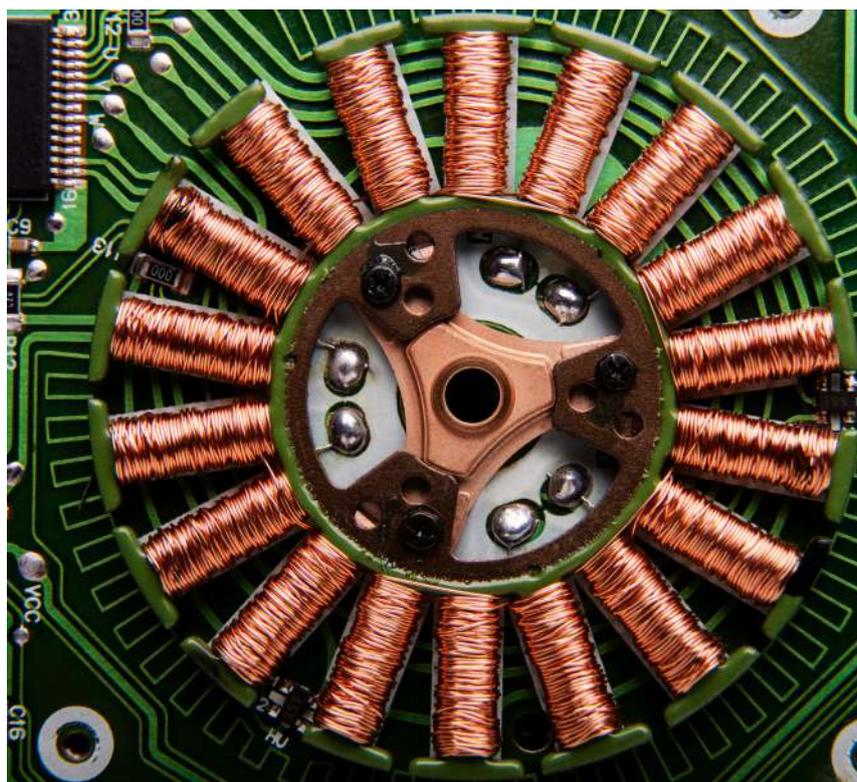
Une brève explication donnée par un article des Echos daté du 15 juin 2021 permet de bien comprendre l'importance de ce qui est en train de se jouer. Comparant les machines actuelles avec celles en train d'émerger, le journaliste écrit : « au lieu d'explorer un à un chacun des chemins, un ordinateur quantique est capable d'explorer tous les chemins en même temps. Et donc de calculer beaucoup plus rapidement ». A titre d'exemple, reprend-il, Google aurait mis au point un processeur capable de mener une opération en trois minutes, là où le plus avancé des ordinateurs actuels mettrait 10 000 ans !

VERS L'ÉMERGENCE DE NOUVEAUX PRODUITS ET MATÉRIAUX

Dès lors, on comprend mieux que les implications sont colossales, en particulier pour les industriels. D'un point de vue matériel, ces ordinateurs peuvent en effet permettre d'inventer des molécules et de nouveaux matériaux. Leur puissance devrait accélérer la mise au point de nouveaux produits grâce à des simulations très rapides, avec, parmi les premiers bénéficiaires, la chimie (notamment des batteries automobiles), l'aérodynamique aéronautique, la pharmacie, ou encore la beauté, qui pourra, entre autres, formuler plus rapidement les produits de soin...

Nicolas Sangouard, directeur de recherche à l'Institut de Physique Théorique du CEA et du CNRS basé à Paris-Saclay, donne cet autre exemple : « Ils pourraient nous permettre de fabriquer un matériau supraconducteur à température ambiante, et donc de transférer de l'électricité sans perte, ce qui serait une avancée incroyable. »

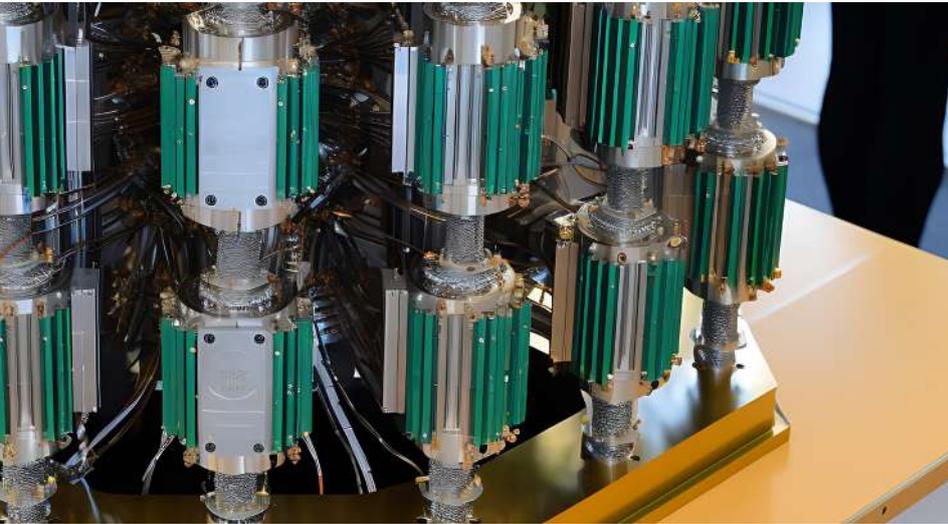
Le CNRS souligne aussi que « les états quantiques sont très sensibles à l'environnement. Cette sensibilité permet de mettre au point des capteurs d'une grande précision (...). Certains de ces capteurs ont déjà débouché sur des applications concrètes et sur le transfert industriel. »



Une optimisation organisationnelle inédite

Sur un plan organisationnel également, ces technologies changent radicalement la donne. Par leur capacité à gérer extrêmement rapidement d'énormes volumes de données, les ordinateurs quantiques peuvent ainsi contribuer à optimiser la logistique ou le trafic en temps réel, apporter des fonctionnalités inédites de navigation sans satellite ou encore proposer de nouveaux outils de simulation et d'optimisation en matière de santé, environnement ou énergie.

La banque pourrait bien être l'un des premiers secteurs impactés, « par exemple pour faire tourner les modèles mathématiques de Monte-Carlo dans le calcul des prix des dérivés », souligne Stéphane Bout, associé senior chez McKinsey.



COMPÉTITIVITÉ : UN TRAIN À PRENDRE DÈS MAINTENANT

Bref, vous l'aurez compris : partout où des calculs complexes sont en jeu, de la finance à l'industrie, ce domaine est sur le point de changer radicalement la donne. Les technologies quantiques représentent des enjeux de compétitivité et de souveraineté primordiaux !

Or, il semble que cette prise de conscience tarde à se concrétiser. Longtemps considérée comme de la science-fiction et encore largement confinée aux laboratoires, l'ordinateur quantique gagne lentement mais sûrement du terrain dans le monde de l'entreprise. Il est impératif de s'y préparer dès maintenant, comme le souligne McKinsey dans une étude parue en avril 2023. Laquelle déplore que moins de 5 % de ses clients aient créé une équipe spécialisée sur ce sujet, pourtant vital pour l'avenir...

Stéphane Bout, qui considère que « la première génération d'ordinateur sera accessible d'ici cinq ans, certainement à travers une poignée d'offres dans le cloud ». Pour lui, c'est donc le moment d'investir pour trois raisons :

- Les usages de ces technologies sont complexes et il faut les anticiper bien avant l'arrivée de la machine pour en tirer le meilleur parti
- Il convient d'attirer dès à présent les talents car ils resteront rares,
- Enfin, les modèles quantiques comprennent de quoi créer de la propriété intellectuelle et des brevets.

Reste que le chemin à accomplir est encore long et parsemé d'embûches...

UNE DONNE SÉCURITAIRE TOTALEMENT BOULEVERSÉE

Enfin, s'il est un dernier secteur qui s'apprête à être chamboulé, c'est assurément celui de la sécurité. En la matière, les ordinateurs quantiques peuvent en effet influencer de manière aussi bien constructive... que destructive.

Leurs formidables puissance et rapidité de calcul peuvent ainsi les amener à casser des clefs de chiffrement aujourd'hui inviolables, notamment celles basées sur le protocole RSA, utilisé par exemple pour les paiements sécurisés par carte bleue.

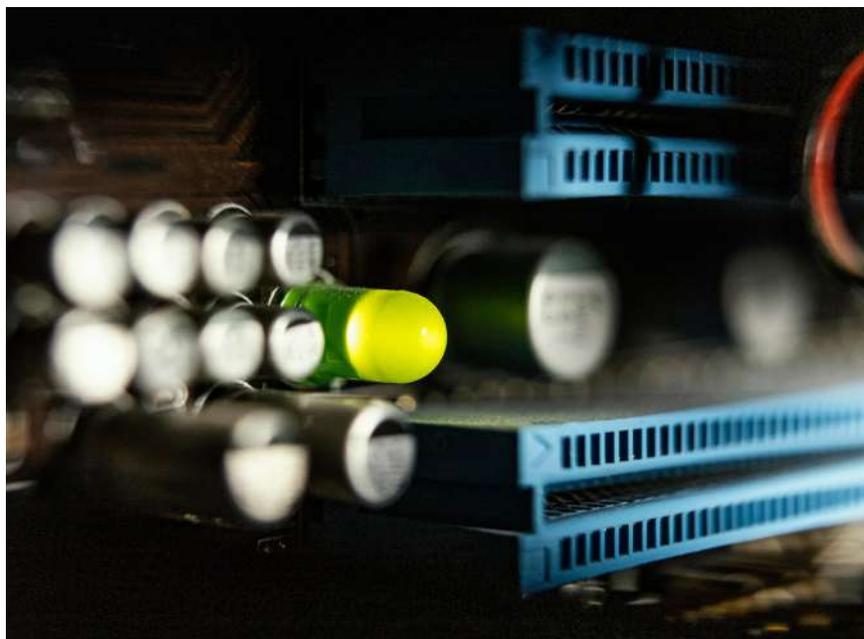
A l'inverse, souligne le CNRS, « contrairement aux systèmes standard, la cryptographie quantique sert à établir, entre divers utilisateurs, des clés privées, utilisées ensuite dans des protocoles de chiffrement classiques. Elle repose sur la distribution de qubits photoniques générés et mesurés aléatoirement. Cet aléa 'purement' quantique permet de garantir inviolabilité et pérennité des clés et des protocoles de communication qui en découlent ».

Cet aspect sécuritaire, particulièrement important, est pris très au sérieux par les différents Etats. En France comme ailleurs, il est en effet crucial de se préparer et de bâtir les infrastructures, les technologies et les compétences nécessaires pour garantir souveraineté et sécurité.

D'IMPORTANTES DÉFIS TECHNOLOGIQUES À RELEVER

Une technologie en devenir

Les obstacles à la mise au point d'un ordinateur quantique demeurent en effet encore nombreux, les premiers d'entre eux étant liés à la nature même des qubits, unités de stockage de l'informatique quantique. Les états quantiques étant extrêmement fragiles, il est ainsi nécessaire, pour les manipuler, d'utiliser des atomes froids, piégés et refroidis par laser à une température frisant les -273 °C, ce qui nécessite un matériel encombrant. Autre écueil : plus ils sont nombreux, plus il est difficile de tous les contrôler, ce qui conduit à des erreurs dans les systèmes de calcul. Aussi, si elle s'accorde à dire qu'une révolution est en marche, « la communauté scientifique n'est pas unanime sur le degré de maturité de l'informatique quantique et des autres technologies associées », affirme Clarisse Angelier, déléguée générale de l'ANRT, l'Association nationale de la recherche et de la technologie, dans un article paru début 2024 sur le site du CNRS. Ce dernier affirme que si « l'avantage quantique, c'est-à-dire le moment où les ordinateurs quantiques résoudre en quelques fractions de seconde des problèmes réclamant des centaines d'années, voire bien davantage, à des machines classiques, sera sans doute atteint un jour, il reste cependant difficile d'estimer quand cela arrivera ! »



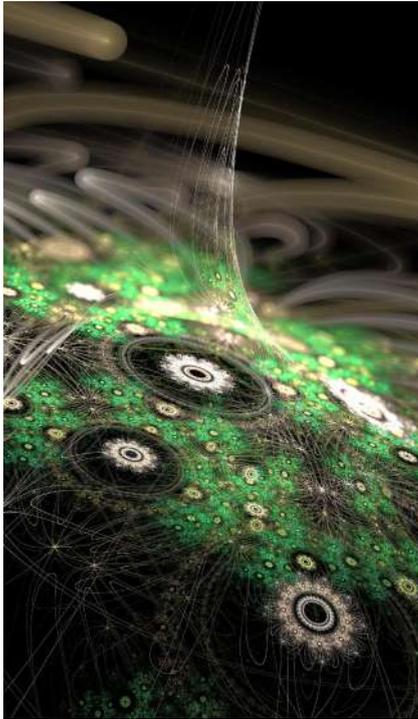
Des chaînes de valeur à construire

Les chercheurs se heurtent en effet à une autre difficulté, que pointe également le CNRS. Or, pour l'instant, seul un petit nombre d'algorithmes a été identifié, pour lesquels les calculs quantiques se montrent plus avantageux que leurs équivalents classiques ».

Il convient d'ajouter à cela des défis franco-français à relever pour la recherche. Le CNRS souligne en effet que « le développement des technologies quantiques repose sur plusieurs chaînes de valeurs, c'est-à-dire des suites d'éléments essentiels, en particulier techniques.

Leurs maillons sont des composants et des techniques issus de filières comme la photonique, le silicium ou les atomes froids. Or ces éléments ne sont pas tous fabriqués, voire disponibles, en France. Assurer leur approvisionnement représente un véritable enjeu de souveraineté nationale ».

Par conséquent, les technologies quantiques demeurent un immense terrain de jeu pour la recherche, aux enjeux centraux tant en matière d'économie que de souveraineté.



DES ENJEUX INTERNATIONAUX DE PREMIER PLAN

Un marché mondial dominé par la Chine

Sur le plan international, comme dans beaucoup de domaines technologiques centraux pour l'avenir, force est de reconnaître que la Chine mène la danse, grâce à des investissements colossaux réalisés depuis plus d'une dizaine d'années.

Si les GAFAs, qui ont investi dans d'importants centres de recherche, sont également bien avancés, une nouvelle fois, l'Europe s'est montrée lente à la détente. Elle n'a en effet commencé à sortir de sa torpeur qu'au début des années 2020, prévoyant d'investir 4,5 milliards d'euros d'ici à 2027 dans les technologies quantiques.

FRANCE : UNE STRATÉGIE NATIONALE D'ACCÉLÉRATION DÉDIÉE

Annoncée par Emmanuel Macron en personne en janvier 2021, la Stratégie nationale sur les technologies quantiques vise à investir 1,8 milliard d'euros en cinq ans dans ce domaine. Principaux bénéficiaires : les centres de recherche, les startups et les groupes industriels. Si ce montant se situe certes bien en deçà de ceux investis par la Chine ou encore les USA, ils s'avèrent supérieurs à ceux du Canada et des autres pays européens, hormis l'Allemagne.

Dans le détail, l'Etat et ses organismes de recherche ont prévu d'injecter 200 millions par an pendant cinq ans, soit 1 milliard au total, les 800 millions restant provenant des

industriels du secteur et de subventions européennes.

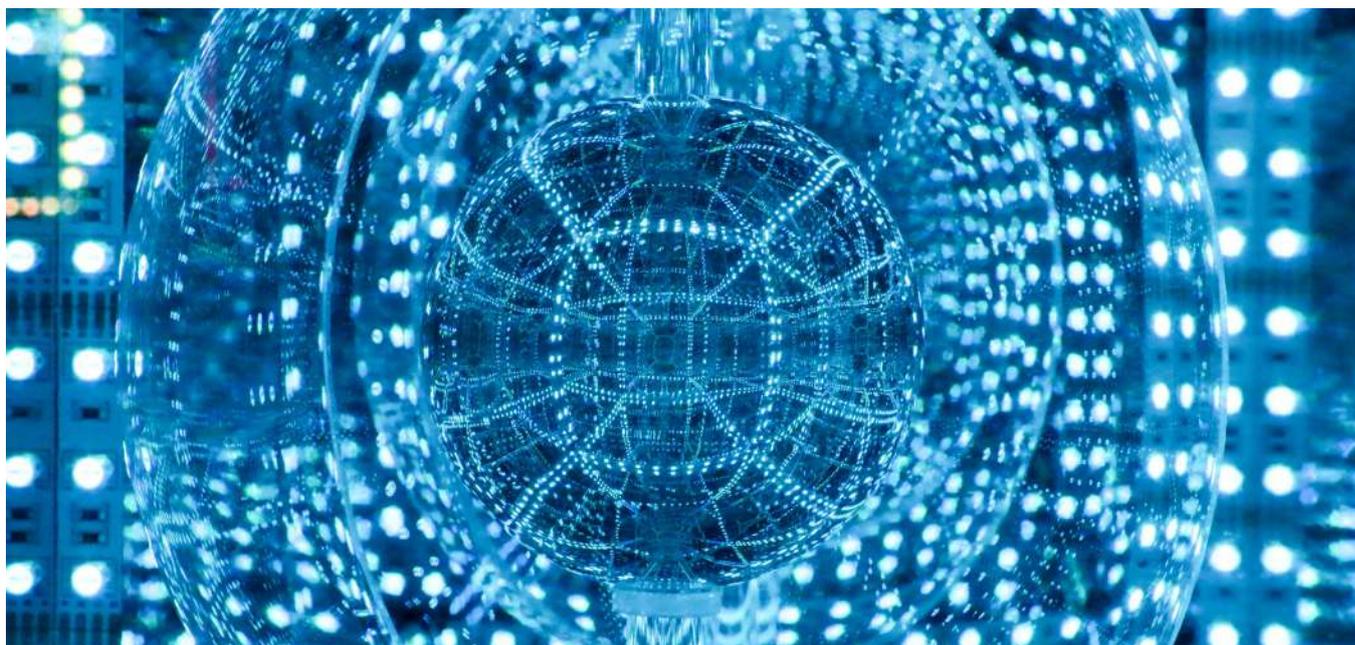
Considérée comme le champ le plus prometteur, l'informatique quantique se taille la part du lion : 350 millions sont en effet destinés au développement de simulateurs quantiques et 430 millions à celui de l'ordinateur quantique. Le solde doit financer les travaux autour des capteurs, des communications et de la cybersécurité.

Parmi les différentes actions entreprises, il convient de citer l'initiative HQI. Dotée d'un budget de 72,3 millions d'euros de France 2030, elle vise à développer une plateforme de calcul hybride, interconnectant des systèmes de calcul classiques et des dispositifs quantiques, utilisés

ici comme accélérateurs.

Destinée à être mise à disposition d'une communauté internationale regroupant des laboratoires, des start-ups et des industriels, elle doit faciliter l'accès aux capacités de calcul quantique pour leur permettre d'identifier, développer et tester de nouveaux cas d'usages.

C'est également dans ce cadre que s'inscrit le programme de recherche (PEPR) pour les Technologies quantiques, piloté par le CNRS, l'INRIA et le CEA. Soutenant des activités de recherche au meilleur niveau mondial, il est destiné à renforcer l'effort national en la matière et à nourrir les actions plus aval de la SNA, telles que cette Plateforme.



UN ÉCOSYSTÈME HEXAGONAL À LA POINTE DE L'INNOVATION

Pour relever ce défi, la France peut s'appuyer sur de nombreux spécialistes universitaires de renom, dont plusieurs prix Nobel, ainsi que sur des industriels de premier plan tels qu'Atos et Thales pour la conception de technologies quantiques, et EDF, Total et Orano pour leur utilisation. Le pays bénéficie également de l'essor de start-ups dynamiques. Le CNRS souligne d'ailleurs que « l'écosystème du quantique en France repose sur des liens solides entre des établissements publics de recherche et des start-ups, souvent créées par des chercheurs et des docteurs issus de ces laboratoires ».

Des perspectives d'autant plus encourageantes que le plan annoncé en 2021, qui contient notamment un objectif de financement de formation de plus de 150 jeunes chercheurs chaque année, a contribué à pallier le principal obstacle qui s'opposait jusqu'alors à l'émergence d'une filière française de première importance : le sous-financement de la recherche. Lequel avait poussé nombre de chercheurs prometteurs à accepter des ponts d'or à l'étranger.

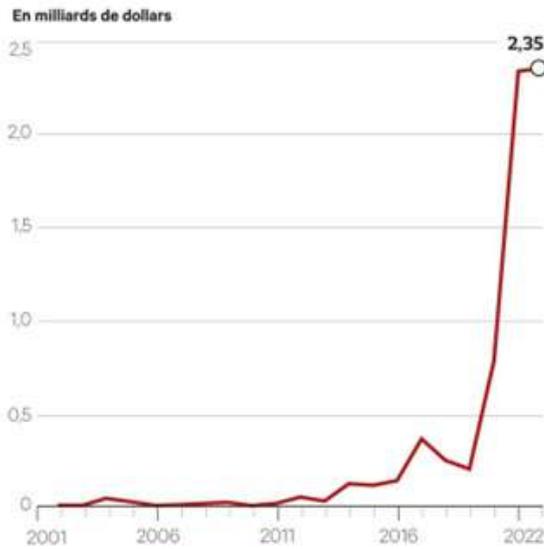
Plusieurs projets concrets et notables ont ainsi émergé dans le pays. Citons par exemple :

- **PASQAL**, qui a levé 100 millions d'euros pour développer un ordinateur quantique à atomes neutres,
- **SIQUANCE**, issu du CEA et du CNRS, qui développe et commercialise un ordinateur quantique basé sur les technologies du semi-conducteur avec les capacités des producteurs de puce européens,
- **ALICE & BOB**, lauréate des concours d'innovation i-PhD et i-Lab de France 2030, qui travaille à la construction d'un ordinateur quantique universel à correction d'erreur,
- ou encore **AQEMIA**, créée à l'automne 2021, partenariat entre l'École normale supérieure (ENS) et le CNRS, spécialisée dans la recherche de médicaments en utilisant l'intelligence artificielle générative pour inventer des clés et des algorithmes uniques inspirés de la mécanique quantique.

CHIFFRES CLÉS

Dans son étude d'avril 2023, McKinsey évalue à 1 300 milliards de dollars l'effet économique que pourrait avoir d'ici à 2035 cette informatique ultrarapide.

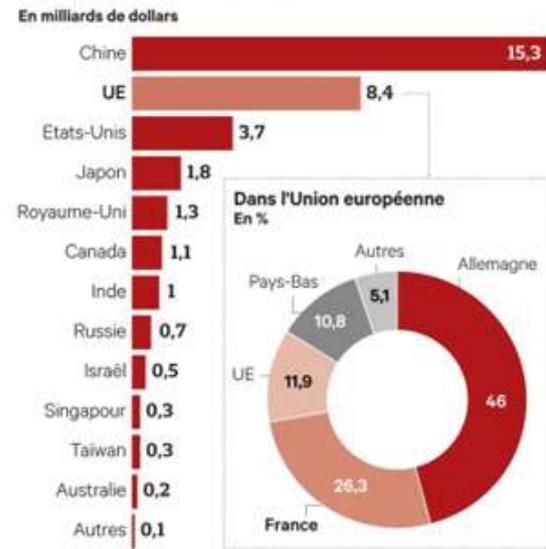
Les investissements dans la technologie quantique



SOURCES : PITCHBOOK, MCKINSEY

LesEchos

Total des investissements publics dans la technologie quantique

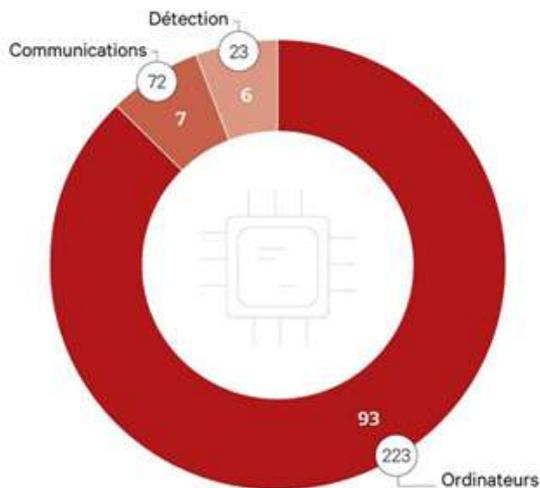


SOURCES : MCKINSEY, JOHNNY KUNG ET MURIAM FANCY, "A QUANTUM REVOLUTION: REPORT ON GLOBAL POLICIES FOR QUANTUM TECHNOLOGY", CIFAR

LesEchos

Parts de marché du secteur technologie quantique en 2040

Estimations, en milliards de dollars
 ○ Nombre de start-up en décembre 2022



SOURCE : MCKINSEY

LesEchos

Sources :

Articles des Echos du 25 avril 2023 « Informatique quantique : il faut investir maintenant, conseille McKinsey », du 15 juin 2021 « Ordinateur quantique : cinq questions pour (enfin) tout comprendre », du 21 janvier 2021 « La France va consacrer 1,8 milliard d'euros aux technologies quantiques » et du 14 juin 2021 « Quantique : fonds et start-up tricolores dévoilent leurs cartes ». « Où en est la révolution quantique? », article du CNRS daté du 25 janvier 2024 « Les technologies quantiques au CNRS », dossier thématique 2021. « Quantum technologies – Patents, publications & investments », Michel Kurek, Ecole Polytechnique, septembre 2020.

CINQ «MAISONS DU QUANTIQUE» DANS CINQ RÉGIONS FRANÇAISES

**Loïc LE LOARER, coordinateur de la Stratégie Nationale
d'Accélération Quantique**



Quels sont les champs de recherche auxquels s'intéresse la Stratégie Nationale d'Accélération Quantique ?

Dans le cadre de la SNA Quantique de France 2030, les champs de recherche et domaines d'application prioritaires se concentrent sur le calcul quantique, les capteurs, les communications quantiques, la cryptographie post-quantique, auxquels il convient d'ajouter les nouveaux matériaux quantiques.

Pourriez-vous situer le niveau qualitatif de la recherche française dans ces domaines vis-à-vis de la concurrence internationale ?

En matière de technologies quantiques, la recherche française s'élève très objectivement au meilleur niveau mondial : plusieurs de nos Prix Nobel, dont un en 2022, peuvent notamment en témoigner.

Nous avons de très bons laboratoires de recherche dans les communications quantiques ou encore, à titre d'exemple, dans les échanges de photons. Nos unités se répartissent sur tout le territoire et nous constatons que certains chercheurs ont déjà monté des startups de tout premier plan.

Avec le PEPR (Programme et Equipement Prioritaire de Recherche) piloté par le CNRS, le CEA et l'INRIA dans le cadre de France 2030, nous aidons les entreprises en fonction de leurs projets, à partir des brevets déposés et des publications des chercheurs.

Afin de poursuivre dans cette dynamique en préservant notre position, nous veillons à ce que les travaux de recherche soient protégés. En France, nous sommes dans un univers technologique d'excellence.

Quelles sont vos priorités au sein de la Stratégie Nationale Quantique ?

Bien entendu, en premier lieu, maintenir notre position. Nous devons encore progresser dans le domaine des algorithmes pour les ordinateurs quantiques ou sur les logiciels quantiques par exemple. Il faut également renforcer les transferts de technologies pour bénéficier de retombées économiques, car notre recherche doit créer de la valeur économique. Nous souhaitons, avec les chercheurs, créer des projets de développements industriels à partir de leurs inventions, de leurs découvertes. Toutes ces perspectives reçoivent de l'aide dans le cadre de la SNA.

Au cours de leur prématuration et leur maturation, les projets sont soutenus par la SNA. Pour accompagner la création d'entreprises innovantes, il faut ajouter la mise en place d'incubateurs de startups. La panoplie des soutiens se complète avec les fonds d'investissements, toujours très présents pour aider les startups en amorçage et en série A.

Enfin, d'une manière générale, toutes ces entreprises peuvent demander des soutiens financiers grâce aux différents types de système proposés, avec BPIFrance qui opère pour le compte de l'Etat dans le cadre de France 2030 dès la sortie du labo, avec des possibilités de financements relayés par i-PhD, Innov'up, i-Lab, i-Nov....

Comment se traduit votre mission sur le plan opérationnel ?

Nous favorisons les échanges à l'intérieur de cet écosystème. D'ores et déjà, cinq «Maisons du Quantique» voient le jour dans cinq régions françaises. Elles permettent d'identifier des initiatives et de favoriser des coordinations intra-européennes auxquelles nous sommes très attachés. En effet, les besoins sont considérables et nous ne pouvons être les seuls porteurs de certains projets. Ainsi, pour les mener à bien, les moyens deviennent suffisants à l'échelle européenne. Ces moyens européens additionnés sont d'ailleurs supérieurs à ceux mis en place aux États-Unis.

Ajoutons que nous sommes aussi tout à fait favorables aux consolidations de jeunes entreprises avec des grands groupes français ou européens.

Quels sont les premiers bouleversements auxquels nous pourrions assister avec les projets issus des laboratoires que vous suivez et des startups que vous soutenez ?

De nombreux cas d'usage sont envisagés. Les premiers auxquels nous pensons opèrent dans le domaine de la chimie et la recherche de médicaments. D'assez près, ils sont suivis par des cas d'optimisation, comme dans le champ de la logistique. D'autres traductions se retrouvent dans le domaine financier par exemple, en présentant un intérêt économique important pour développer certaines filières et élargir les utilisations.

En matière de capteurs, les gravimètres ou les magnétomètres sont déjà très avancés en TRL et nous pouvons aussi citer la cryptographie post-quantique, très proche et très concrète.

Comment pourrait se traduire le succès de la SNA Quantique ?

L'enjeu est mondial. Nous avons pour ambition de décliner l'excellence de notre recherche pour aboutir à une maîtrise des technologies quantiques. Cela doit conduire à nous positionner comme leader avec les retombées économiques que nous pouvons en attendre. Elles sont considérables si nous gagnons une part de marché significative.

Parallèlement, notre souveraineté en la matière sera mécaniquement assurée. Et, aujourd'hui, en fonction du niveau que nous avons déjà atteint, ces objectifs de leadership

sont réalistes, réalisables.

Nous devons poursuivre nos efforts auprès des chercheurs et des startups qu'ils créent, pour qu'elles deviennent des PME, des ETI, et peut-être un jour, un grand groupe au rayonnement mondial. C'est ce qu'il faut viser pour les technologies quantiques.

« L'enjeu est mondial. Nous avons pour ambition de décliner l'excellence de notre recherche pour aboutir à une maîtrise des technologies quantiques. . »

Qu'est-ce qui motive un chercheur à faire du transfert de technologie ?

Je pense que l'idée de voir son «bébé», pour lequel on a énormément travaillé, que l'on a choyé et fait grandir en lui consacrant tant d'efforts, soit capable d'atteindre un jour l'âge adulte et d'avoir un impact social et économique, cela me paraît extrêmement motivant. Cependant, il faut souvent avoir de l'aide pour l'accompagner aussi pendant sa croissance industrielle...

CHERCHEURS : "AIDEZ-NOUS À TRANSFORMER LE FRUIT DE VOS TRAVAUX EN APPLICATIONS CONCRÈTES"

Ming LONG, Manager Calcul Quantique, rattaché à l'Agence du Numérique de Défense (AND)



Quels champs de recherche couvre la Stratégie Nationale pour les Technologies Quantiques ?

La stratégie nationale quantique (SNQ) a été lancée le 21 janvier 2021 par le Président de la République. Elle concrétise la prise de conscience des bouleversements majeurs qui seront amenés par les nouvelles technologies issues de la « seconde révolution quantique ».

Pour rappel, et pour reprendre les propos du Prix Nobel Serge Haroche, la première révolution quantique utilise la physique quantique sans ses aspects « contre-intuitifs » ; elle est fondée sur la connaissance des lois du monde microscopique au niveau des électrons, des atomes. La seconde révolution quantique exploite ces aspects « contre-intuitifs » tels la superposition ou intrication, et aussi la capacité à manipuler des objets quantiques individuels, notamment grâce aux outils issus de la première révolution comme le laser ou la supraconductivité.

Pour en revenir à la stratégie nationale quantique, l'objectif est de ne pas rater ce virage technologique majeur en se dotant de capacités technologiques souveraines et en transformant nos écosystèmes, afin de disposer à moyen terme d'un avantage stratégique certain.

Concrètement, on distingue 4 domaines techniques principaux :

- Les capteurs quantiques

- La cryptographie post-quantique
- Les communications quantiques
- L'ordinateur quantique

Sans oublier tous les enjeux entourant les technologies habilitantes.

Quel est votre rôle dans le cadre de la Stratégie nationale pour les Technologies Quantiques ?

Concernant l'ordinateur quantique, le Ministère des Armées opère et cofinance le programme PROQCIMA, en soutien au Secrétariat Général pour l'Investissement (SGPI) qui pilote la SNQ.

PROQCIMA a été lancé en mars 2024 et son pilotage a été confié à l'Agence du Numérique de Défense (AND) rattachée à la Direction Générale de l'Armement (DGA).

J'occupe dans ce cadre le poste de Manager Calcul Quantique à l'AND, et suis notamment en charge du pilotage du programme PROQCIMA.

Quelles sont vos priorités stratégiques ?

La DGA s'implique évidemment dans l'ensemble des 4 domaines techniques principaux et vise à rester à la pointe de la course technologique.

Concernant plus particulièrement le programme PROQCIMA, il s'agit d'identifier les solutions permettant le développement d'ordinateurs quantiques universels et de doter la France de moyens de calculs destinés à garantir sa souveraineté dans ce domaine.

Le quantique revêt en effet une importance majeure pour les Armées, avec des applications potentielles en cryptographie, dans les communications ou en permettant de découvrir de nouveaux matériaux.

Quelles sont les missions, les objectifs du programme PROQCIMA ?

Les accords-cadres notifiés posent les bases d'un partenariat innovant entre l'Etat et cinq jeunes



sociétés (Alice&Bob, C12, Pasqal, Quandela, Quobly) sur une durée totale d'au moins 10 ans. Grâce à un investissement financier important réalisé avec le soutien de « France 2030 », son objectif est de disposer de deux prototypes d'ordinateurs quantiques universels avec 128 qubits logiques en 2032. Plus précisément, il s'agit de permettre le développement des technologies les plus prometteuses, depuis des prototypes de laboratoire jusqu'à des solutions de calcul quantique à large échelle (LSQ, pour Large Scale Quantum) utilisables pour les besoins de la Défense.

Quels sont les atouts des laboratoires et de l'écosystème français de la recherche dans ce domaine ?

La longue tradition française dans le domaine de la mécanique quantique – des travaux pionniers de Louis de Broglie esquissant la théorie quantique jusqu'à aujourd'hui, en passant évidemment par les plus récents Prix Nobel comme Alain Aspect ou Serge Haroche – illustre parfaitement les nombreux atouts dont dispose l'écosystème français. C'est particulièrement notable dans le cadre de PROQCIMA qui a été construit avec cinq start-ups issues de la recherche française et qui continuent à entretenir des liens étroits avec elle. Plus généralement, la France reste une grande nation scientifique, dotée d'une recherche de rang mondial largement reconnue et très impliquée à l'international. Avec des institutions de premier plan comme par exemple le CNRS ou le CEA, la France fait partie des pays majeurs en termes de volume de publications et de dépôt de brevets. C'est grâce à cette excellence de la recherche française que nous sommes indéniablement en bonne position pour atteindre nos objectifs.

Qu'attendez-vous des chercheurs de ces laboratoires ? Que leur proposez-vous pour qu'ils adhèrent à cette stratégie ?

Les travaux de recherche sont le fondement même des développements et des technologies de demain. C'est peut-être évident pour la recherche appliquée, mais c'est également le cas pour la recherche fondamentale même si le lien est peut-être moins direct en apparence. Nos principales attentes vis-à-vis des chercheurs (y compris les doctorants et post-doctorants) sont donc simples : continuez comme ça, et aidez-nous à transformer le fruit de vos travaux en applications concrètes que nous pourrions ensemble monter en maturité avant de les passer à l'échelle. Pour y contribuer, l'AID a mis en place avec l'ANR le dispositif ASTRID (pour Accompagnement

Spécifique des Travaux de Recherches et d'Innovation Défense) qui vise à soutenir les projets à caractère fortement exploratoire et innovant. Les suites de ces projets peuvent ensuite être accompagnés par le programme ASTRID Maturation ou d'autres dispositifs de financement de l'AID tels que RAPID ou les contrats d'études amont. N'hésitez pas à y candidater ! L'AND n'est pas en reste lorsqu'il s'agit d'accompagner des projets de première priorité, avec si besoin un traitement au cas par cas : PROQCIMA en est l'exemple parfait. Le format du « partenariat innovant » mis en place répond en effet mieux à nos enjeux dans ce secteur, et a permis de répondre rapidement aux orientations de la SNQ. Enfin, le MINARM accueillera bien volontiers des talents issus de la recherche qui permettront à la France de garder une maîtrise souveraine de ces technologies.

Qu'est ce qui peut motiver un chercheur à réaliser un transfert de technologie ?

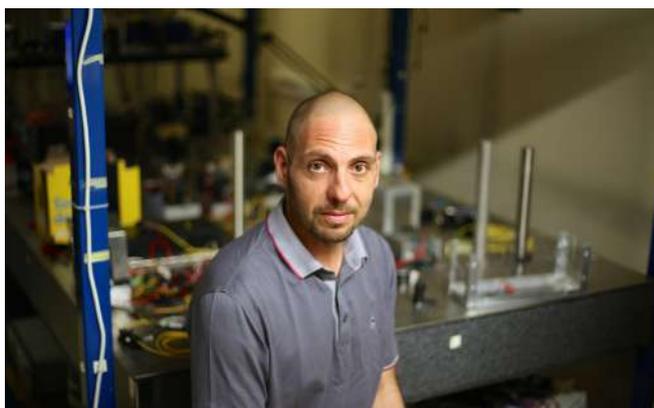
Les ambitions et motivations restant propres à chacun, il m'est difficile de me prononcer pour d'autres. Dans tous les cas, le monde de la recherche constitue un terrain fertile aux transferts technologiques depuis le monde de la recherche vers des structures de type start-up visant à transformer les théories en une proposition de valeur plus concrète et concourir à armes égales avec les grands groupes internationaux. Si les équipes de recherche sont le lieu de formidables rencontres qui constituent un point de départ, nombre d'entités se dotent en complément de services d'accompagnement et de valorisation de l'innovation afin de soutenir ceux qui souhaitent se lancer dans cette voie.

Comment pourrait se traduire le succès de la stratégie Quantique ?

Du point de vue de PROQCIMA, l'objectif est clair : disposer de deux prototypes d'ordinateurs quantiques universels avec 128 qubits logiques en 2032, et passer ensuite à des produits industriels utilisables par de premiers clients (objectif : 2048 qubits logiques). Toutes les sociétés partenaires de PROQCIMA disposent d'atouts pour relever ce défi, mais il est trop tôt pour savoir lesquelles parviendront à lever les différents verrous d'ingénierie, de fabrication et d'industrialisation. La question des technologies habilitantes et de l'adaptation de l'écosystème français pour se doter d'une capacité de calcul souveraine reste primordiale. L'atteinte des objectifs du programme PROQCIMA sera sans nul doute un bon révélateur des succès de la Stratégie Nationale Quantique au global.

NOUS SOMMES À L'ORÉE DE DISRUPTIONS

Sébastien TANZILLI, directeur-coordonateur du PEPR Quantique au titre du CNRS*



Quelle est la fonction du PEPR Quantique associé à la Stratégie Nationale d'Accélération ?

Le PEPR Quantique, comme plusieurs PEPR associés à des Stratégies Nationales d'Accélération, peut être considéré comme la pierre angulaire de la stratégie Quantique. Ce programme s'intéresse aux premiers niveaux de maturité technologiques (Technology Readiness Level), allant de la recherche fondamentale à la preuve de principe (TRL 1 à 4). Dans cette perspective, il s'agit de mettre en synergie l'écosystème de recherche fondamentale avec celui des entreprises, sachant qu'elles peuvent être aussi bien des startups que des grands groupes industriels.

Du point de vue technologique, le Quantique est un domaine très intéressant. Nous sommes à l'orée de disruptions qui pourraient aboutir sur le marché, mais qui ne sont pas encore complètement déployées et en l'occurrence n'ont pas encore véritablement rencontré le niveau grand public.

Nous nous trouvons dans une situation intermédiaire où il est vraiment très important de mobiliser les chercheuses et les chercheurs de l'écosystème académique pour développer la recherche fondamentale, ce qui permettra de créer les ponts entre recherche fondamentale, recherche appliquée et/ou technologique et cas d'usage.

Ces différents aspects se nourrissent les uns des autres, dans une sorte de cercle vertueux, auquel il faut bien entendu rajouter l'enseignement supérieur, sachant qu'il est également nécessaire de former les futurs personnels de recherche et d'ingénierie de demain, qui seront formés à la fois par et pour les technologies quantiques, mais également classiques en application aux technologies quantiques.

Dans l'éventail des technologies quantiques, certains secteurs vous paraissent-ils plus prioritaires que d'autres ?

La question de l'ordinateur quantique, ou calcul quantique en général, prend forcément un peu plus de place un peu partout dans le monde comme en France, ce qui est plutôt factuel.

C'est ainsi parce que les promesses associées au développement d'un ordinateur quantique grande échelle sont telles qu'il est raisonnable de financer et de mettre un accent prioritaire sur cette veine technologique. Il en va également de la souveraineté nationale sur le calcul haute-performance en général.

Parallèlement, il faut préciser que la France est dans une situation extrêmement diversifiée sur le plan thématique. Cela s'explique en partie par son histoire. On ne peut pas dire que la physique quantique soit née en France, mais elle a commencé à s'y élaborer très tôt. Depuis le milieu du siècle du siècle dernier, il y a eu un très grand nombre de développements en recherche fondamentale, voire même en recherche technologique associée aux sciences et technologies quantiques. Même si on ne les appelait pas ainsi à l'époque, nous avons été pionniers dans de nombreux domaines qui représentent les piliers des technologies quantiques que l'on connaît aujourd'hui.

Notre champ d'application nourri par la recherche fondamentale est extrêmement vaste, et la France est présente dans tous les piliers technologiques : le calcul, la simulation, la communication, ainsi que les capteurs et la métrologie quantique.



Pouvez-vous situer la qualité de la recherche dans les laboratoires français en comparaison aux niveaux internationaux ?

Les meilleurs laboratoires en France sont ultra-compétitifs sur tous les piliers des technologies quantiques.

Ceux-ci bénéficient réellement d'une reconnaissance exceptionnelle au niveau international comme au plan européen, où nous avons énormément de coopérations avec les pays importants dans ce paysage comme l'Allemagne, la Grande-Bretagne, la Suisse, l'Italie, les Pays-Bas, l'Espagne, etc.

Nous comptons aussi beaucoup de collaborations transatlantiques avec le Canada et les États-Unis et transcontinentales avec l'Asie. Le CNRS a d'ailleurs plusieurs actions internationales, les International Research Laboratories, comme le Laboratoire Frontières Quantiques à Sherbrooke (Canada) ou le Majulab à Singapour, et est aussi à l'origine du réseau CAFQA** qui associe 10 universités canadiennes et 10 universités françaises.

Qu'attendez-vous des chercheurs des laboratoires dans le cadre du PEPR et de la Stratégie Nationale d'Accélération Quantique ?

Le PEPR Quantique joue un rôle capital puisqu'il est, compte tenu de son positionnement amont, la clé de voûte de l'ensemble des programmes de la stratégie quantique. En effet, certains programmes visent la montée en échelle alors que d'autres relèvent de technologies habilitantes.

Naturellement, avec un tel programme et les moyens importants qui sont alloués, nous attendons l'implication de l'ensemble des chercheuses et des chercheurs concernés. Dès à présent, nous pouvons déjà le constater, ils et elles sont véritablement satisfaits de contribuer à l'effort national.

Nous attendons qu'ils restent toujours très performants - ils le sont déjà de manière exceptionnelle -, qu'ils nourrissent de nouvelles collaborations en France mais également à l'étranger, par exemple, en connexion avec le grand programme européen Quantum Flagship.

Les chercheurs et les chercheuses auxquels vous vous adressez sont-ils ouverts aux transferts de technologie ?

L'état d'esprit a beaucoup évolué ces dernières années, aussi bien à l'international qu'en France. Les personnels de recherche ont beaucoup changé avec l'environnement de la société.

Au fil des années, les jeunes sont maintenant beaucoup plus sensibles aux transferts de technologies, à la valorisation et à la création de startup.

Pour preuve, plus d'une dizaine de startups « quantiques » ont été créées au cours des 10 dernières années. Elles sont toutes à la pointe et comptent véritablement dans le paysage industriel français et international, puisqu'elles nourrissent des coopérations avec des grands groupes industriels ou s'établissent aussi à l'étranger.

Que ce soit de l'autre côté de l'Atlantique ou en Asie, je pense que nous avons aujourd'hui un état d'esprit parfaitement en adéquation avec la proposition « on sait faire de la recherche fondamentale et appliquée et on est prêt à valoriser nos découvertes sur le plan du transfert de technologies, voire à créer des startups ».

Qu'est-ce qui motive les chercheurs à faire du transfert de technologie ?

Je pense que la première chose qui les motive c'est le sourire que l'on peut avoir lorsque on a fait 5-10 ans de recherche fondamentale et que l'on réussit à tout mettre dans une boîte. Quand on voit toute la place qu'une expérience peut prendre dans une salle d'expérimentation et que l'on arrive, au fur et à mesure de ses efforts, de l'augmentation de son savoir-faire et de l'ingénierie système que l'on peut apporter, à « mettre tout ça dans une boîte » dont le fonctionnement est quasi plug-and-play, la satisfaction est sans pareil.

C'est déjà un premier sourire que l'on voit sur la tête des gens et je pense que le deuxième sourire, qui monte jusqu'aux oreilles, c'est celui de voir cette boîte devenir un produit commercial qui a été transféré technologiquement auprès d'un groupe industriel ou via la création d'une startup.

* Le PEPR Quantique est piloté par le CNRS, le CEA, et l'INRIA.

** International Research Network CAFQA, pour "Canada-France Quantum Alliance".

LES LABORATOIRES FRANÇAIS FIGURENT PARMI LES LEADERS MONDIAUX SUR CHACUNE DES TECHNOLOGIES CENTRALES DU QUANTIQUE

Salvatore CINÀ, directeur-coordonateur du PEPR Quantique au titre du CEA et directeur du programme Quantum Technologies à la Direction de la Recherche Technologique du CEA.



Pouvez-vous définir le périmètre couvert par le PEPR consacré au Quantique ?

Le Programme de recherche (PEPR) est au cœur de la Stratégie Nationale d'Accélération (SNA) pour les Technologies Quantiques.

Doté d'un budget de 150 millions d'euros, le PEPR est en charge des projets à TRL les plus bas, de 1 à 4. Il vise ainsi à soutenir la recherche amont sur les technologies de rupture et à alimenter toutes les autres initiatives de la SNA. Pour cela, il implique 41 équipes labos et projets à travers tout le territoire français, 30 universités et grandes écoles, 7 fédérations de recherche et hubs régionaux, 5 réseaux thématiques et 28 start-ups et grands groupes industriels. La présence de ces entreprises, qui ne bénéficient par ailleurs d'aucun financement dans le cadre du PEPR, garantit que les développements engagés correspondent aux besoins du monde économique, de ses stratégies et ses contraintes.

Quelles sont ses missions et les priorités stratégiques que vous mettez en œuvre ?

Le PEPR s'organise autour de quatre axes stratégiques. Le premier d'entre eux porte sur les qubits robustes à l'état solide pour le calcul et la simulation.

Plusieurs voies sont explorées. Les semi-conducteurs, pour exploiter la maturité des technologies de la microélectronique et permettre le passage à l'échelle, nécessaire pour l'implémentation des codes de correction d'erreur. Supraconducteurs et hybrides, protégés par construction contre la décohérence, pour réduire les besoins en correction d'erreur. Les photons, avec un temps de décohérence infini, avec d'excellentes perspectives de passage à l'échelle. Les électrons, grâce au développement de la première plateforme pour la création, la manipulation et la détection d'excitations d'une durée de la picoseconde.

Le deuxième axe, sur lequel la France est très avancée, est dédié aux atomes froids, matrices d'atomes en interaction, confinés dans des pinces optiques, utilisés comme qubits pour la partie calcul et simulation, ainsi que pour des capteurs atomiques. Ils constituent une véritable révolution pour les mesures du champ de pesanteur. Des investissements ont aussi été faits dans le cadre de deux equipex : un premier pour développer des matériaux à base de défauts implantés dans le diamant, pour donner naissance à des capteurs quantiques, et un second pour développer une plateforme de calculs ouverte sur des technologies à base d'atomes froids.

Le troisième axe s'intéresse aux algorithmes quantiques, élargis aux post-quantiques. Il inclut le développement des modèles de calcul et des langages, en vue de rendre la programmation de machines quantiques plus efficace et d'optimiser l'exécution du code. Il couvre aussi les techniques de simulation des ordinateurs quantiques et la conception des codes correcteurs d'erreurs efficaces. Il inclut un volet sur la cryptographie post-quantique, à savoir le développement et l'implémentation de primitives cryptographiques capables de résister à un ordinateur quantique. Enfin, un quatrième axe a pour thème la communication quantique. La cryptographie par



distribution de clés quantiques de type « boîte noire », une solution prometteuse qui permet de garantir la sécurité même lorsque les appareils ne sont que partiellement caractérisés. Les mémoires optiques, composants essentiels pour développer des répéteurs quantiques permettant des communications sécurisées à grande distance. L'implémentation d'un testbed, coordonné à l'échelle nationale, utilisé pour des démonstrations d'applications de communication quantique, pour servir d'accélérateur des technologies développées dans le laboratoire jusqu'au produit commercial. Autant de projets qui nourrissent ainsi toutes les autres activités de la SNA consacrée aux technologies quantiques.

Qubits robustes, atomes froids, algorithmes quantiques, communication quantique... Comment alors ces axes de travail nourrissent les activités de la SNA ?

Je commencerais par citer l'initiative nationale calcul quantique hybride (HQI), nourrie par la recherche logicielle. La correction d'erreurs constitue également une activité importante avec le projet Qloop. Nous travaillons aussi avec le projet MetriQs, porté par le LNE, laboratoire national de métrologie, pour supporter l'activité de standardisation et de benchmark, afin de s'assurer que lors de la comparaison entre des ordinateurs quantiques, les tests réalisés soient honnêtes et ne privilégient pas une solution par rapport à une autre. Le PEPR participe indirectement au partenariat d'innovation PROQCIMA, porté par la DGA, qui finance les start-ups pour développer deux prototypes d'ordinateurs quantiques universels de conception française à horizon 2032. En plus de cela, nous prenons part à des projets pour développer des technologies habilitantes. A commencer par ASIS, qui traite de la chaîne d'approvisionnement pour des isotopes stables critiques pour les technologies quantiques. Nous travaillons aussi avec le projet Cryonext qui vise à développer des cryostats de nouvelle génération, capables de gérer les puissances en jeu avec le passage à l'échelle du calcul quantique, de même qu'avec AtomQTRL, centré sur les lasers pour le refroidissement et le contrôle des atomes froids. Nous participons également au projet QuantEduFrance qui vise à développer l'enseignement supérieur, du master au doctorat, pour former et fournir à terme les personnes aux compétences nécessaires à la réalisation de nos ambitions. Le problème de rareté et compétition pour les scientifiques est présent en France, comme dans le reste du monde. Enfin, nous œuvrons avec QuantXium (NDLR : SNA Quantique).

Comment se déroule cette collaboration ? De quelle manière se traduit votre complémentarité ?

Ce programme finance les activités de prématuration et maturation de technologies, développées principalement dans le cadre du PEPR. Certaines des briques technologiques détectées, qui ne sont pas valorisées directement par les start-ups, doivent en effet monter en maturité. Nous travaillons donc main dans la main avec QuantXium pour développer un processus d'identification de ces technologies qu'il est susceptible de financer. Nous constituons son pourvoyeur principal de technologies. Etant dans la phase initiale du programme, nous n'avons pas encore suffisamment de matière pour l'alimenter autant que nous le souhaiterions.

Nous essayons donc de développer des méthodologies pour mieux identifier ces technologies. Aujourd'hui, notre diffusion se fait exclusivement dans le cadre des projets, en mettant en avant les possibilités de financement. Cela n'est pas suffisant. Aussi, nous nous efforçons de détecter plus en amont tout chercheur désireux de créer une start-up autour d'une nouvelle technologie pour l'inciter à prendre contact avec QuantXium afin d'atteindre le niveau de maturité susceptible d'attirer des investisseurs.

Quels sont les atouts des laboratoires et de l'écosystème français de la recherche en matière de technologies quantiques ?

Si l'on considère les technologies les plus importantes dans le quantique – supraconducteurs, atomes froids, photonique ou encore semiconducteurs –, différents laboratoires français figurent pour chacune parmi les leaders mondiaux. Et ce malgré des investissements bien inférieurs à ceux des grands groupes technologiques américains ou de la Chine notamment.

Des start-ups ont aussi été créées sur chacune d'elles. Or elles collaborent avec ces chercheurs dans le cadre du PEPR pour atteindre un seul et même objectif : développer des technologies pour obtenir des solutions optimales en matière de calcul, de communication et de capteurs. Ce travail en commun constitue un élément-clé pour les laboratoires, guidés à la fois par la cohérence de la SNA, du programme du PEPR, et par les partenariats stratégiques qu'ils ont noués avec les start-ups dont ils sont d'ailleurs souvent à l'origine.

DÉVELOPPER DES APPLICATIONS PRATIQUES POUR LA SOCIÉTÉ

Shannon WHITLOCK, directeur du Laboratoire Exotic Quantum Matter group - Centre Européen de Sciences Quantiques & ISIS, Professeur à l'Université de Strasbourg



«Technologies Quantiques, programme Européen» de l'Université de Strasbourg. Ce programme, intégré dans le programme national QuantEdu-France et le programme Européen Flagship Quantique DigiQ, contribue à former les futures générations de chercheurs et d'ingénieurs quantiques.

« L'informatique quantique représente peut-être la plus grande opportunité technologique du 21^e siècle. »

De quelles manières vos recherches s'insèrent-elles dans la dynamique de la Stratégie Nationale d'Accélération QUANTIQUE ?

Mon expertise principale se situe dans la physique quantique expérimentale, le refroidissement et le piégeage par laser, et les atomes de Rydberg. Les travaux de mon groupe relèvent du domaine de la science fondamentale (physique des systèmes à N corps, systèmes complexes), mais ont évolué ces dernières années vers des applications clés des technologies quantiques telles que le calcul quantique, les technologies habilitantes, et la simulation quantique. Je coordonne le projet d'infrastructure publique nationale française pour l'informatique quantique «Atomic Quantum Computing as a Service - aQCess» qui est soutenu dans le cadre du PEPR quantique de la Stratégie Nationale Quantique française. Le manque de personnel qualifié pour travailler dans les technologies quantiques et leurs applications est un défi important pour le secteur aujourd'hui. C'est pourquoi, dans le domaine de l'éducation, je suis responsable du nouveau master

Quelles sont les fonctions premières des travaux que vous menez ?

Dans notre laboratoire, nous développons de nouvelles méthodes et technologies pour préparer et contrôler les états quantiques d'atomes neutres à l'aide de lasers. Nos principaux intérêts de recherche englobent les études fondamentales des systèmes quantiques complexes à N corps, les interactions lumière-matière, la simulation quantique et le calcul quantique. Nous développons également des systèmes optiques avancés pour manipuler des états quantiques complexes d'atomes neutres ainsi que des méthodes de simulation. Ces briques technologiques seront utilisées pour développer des solutions pour notre plateforme de calcul quantique aQCess et, nous l'espérons, bénéficieront plus largement à la communauté scientifique et industrielle.

En parallèle, nous collaborons avec plusieurs instituts de recherche et entreprises en France et à l'international dans les domaines de la physique, de la chimie, des matériaux, des mathématiques et de l'informatique. L'objectif est d'explorer et de développer des cas d'utilisation du calcul quantique



et hybride (classique+quantique) dans divers domaines d'application tels que la découverte de matériaux, l'optimisation et l'apprentissage automatique, afin de développer des applications pratiques de cette technologie qui répondront aux besoins de l'industrie et de la société.

Vos travaux/ceux de votre laboratoire ont-ils conduit ou vont-ils conduire à de la propriété intellectuelle ?

En 2023-2024, j'ai déposé deux brevets dans le domaine des technologies quantiques et enregistré deux logiciels dans le domaine de l'émulation quantique.

Dans l'affirmative, font-ils/feront-ils ensuite l'objet de contrats de licence, d'une utilisation par des industriels, des startups ?

Les brevets et les logiciels ont été licenciés à la start-up QPerfect qui est actuellement hébergée au sein de notre Centre Européen de Science Quantique.

Avec-vous des collaborations avec le monde économique, des industriels ?

Si oui, Qu'est ce que cela vous apporte ?

Au cours des dernières années, nous avons établi un réseau d'environ 20 partenaires industriels, principalement grâce à la création de programmes de formation innovants et à la co-organisation d'ateliers spécialisés ciblant les professionnels de l'industrie (comme notre série «informatique quantique pour la chimie»). Nous avons une certaine expérience dans la co-supervision d'étudiants CIFRE, faisant le lien entre la recherche académique et les besoins de l'industrie. De plus, notre centre de recherche fournit des installations pour accueillir des start-ups quantiques. En plus de mes fonctions académiques, je consacre une partie de mon temps à soutenir QPerfect, la start-up d'informatique quantique que j'ai co-fondée.

Cela a amélioré notre compréhension des besoins de l'industrie, en particulier dans la façon dont nous préparons nos étudiants à devenir des experts quantiques. Cela a également généré des idées pour de nouvelles directions de recherche et favorisé des interactions plus fortes avec les écosystèmes d'innovation régionaux, nationaux et européens.

Nous travaillons également avec les entreprises sur le développement de technologies habilitantes et les briques technologique pour des solutions dans le domaine de l'informatique quantique dans le cadre de projets de recherche collaborative. Ces projets sont très utiles pour établir des partenariats à long terme entre le monde académique et les entreprises.

Y a-t-il des membres de l'équipe de votre laboratoire, des chercheurs, qui ont créé des startups ?

Je suis cofondateur de QPerfect, une startup spécialisée en informatique quantique. Fondée en 2023, QPerfect est née de la collaboration entre quatre collègues issus de notre laboratoire à l'Université de Strasbourg et au CNRS. Notre expertise se concentre sur les méthodes avancées d'émulation quantique et les techniques de correction d'erreurs pour les ordinateurs quantiques. Nos solutions s'adressent aussi bien aux développeurs d'applications qu'aux concepteurs de matériel quantique.

Quels commentaires feriez-vous sur l'importance de l'évolution, de l'impact, de l'informatique quantique. ?

L'informatique quantique représente peut-être la plus grande opportunité technologique du 21e siècle. Cependant, des défis importants restent à surmonter, tant en termes de développement technologique que d'identification d'applications à court terme. La réalisation de son plein potentiel nécessite un effort concerté et un investissement soutenu, impliquant à la fois les acteurs académiques et industriels.

Qu'est-ce qui peut motiver des chercheurs à s'impliquer dans les transferts de technologie ? Qu'est ce qui peut les freiner ?

Pour motiver les chercheurs à s'orienter vers le transfert de technologie, nous devons accroître leur sensibilisation aux parcours de carrière non traditionnels et fournir davantage de soutien pour les aider à naviguer dans les incertitudes de l'entrepreneuriat. Il est également important de veiller à ce qu'il y ait suffisamment de flexibilité et de mobilité entre les deux secteurs, afin de permettre aux personnes motivées d'explorer les défis et les opportunités des deux mondes.

BEAUCOUP DE LIENS ONT ÉTÉ TISSÉS AVEC L'INDUSTRIE

Tristan CREN, Directeur de recherche au CNRS, Institut des Nanosciences de Paris - Spectroscopie des nouveaux états quantiques



De quelle manière vos recherches s'insèrent-elles dans la dynamique de la SNA consacrée aux technologies quantiques ?

Nous développons des instruments, et ensuite nous les utilisons comme des instruments de physique fondamentale. Ils n'ont pas spécialement vocation à être réservés aux technologies quantiques, mais nous travaillons dans le secteur des matériaux quantiques. Nous sommes sur du fondamental, sur du matériel qui pourrait servir à fabriquer des composants pour le domaine des technologies quantiques.

Il se trouve que pour élaborer nos instruments comme des microscopes à effet tunnel et autres appareils, nous avons besoin de réaliser des développements instrumentaux qui présentent un réel intérêt pour les technologies quantiques.

Ceci a conduit la startup MyCryoFirm, dont l'un des responsables est un ancien membre du laboratoire, à nous demander de breveter des travaux, afin qu'elle puisse ensuite travailler avec des équipements que nous développons.

Nous avons alors proposé à l'un de nos étudiants chercheurs de se concentrer sur cette mission en vue de passer de nos prototypes utiles à nos recherches à des configurations utiles pour l'industrie.

Une licence d'exploitation est en cours d'élaboration et la société avec laquelle nous travaillions, qui depuis a été rachetée par une autre startup, Pasqal (NDLR : l'un des champions français dans le domaine de l'ordinateur quantique), s'est déclarée intéressée par la technologie que nous avons mise au point. Il s'agit de petits moteurs électriques qui fonctionnent à basse température sous vide.

Comment est piloté ce transfert de technologie ?

Il s'agit là d'un transfert de technologie et de savoir-faire. Le dépôt de brevet, avec toutes les opérations préalables requises, est piloté par la SATT Lutec.

Dans les faits, cela se concrétise en deux parties. Il y a d'une part un brevet qui n'est pas en cours de négociation avec Pasqal, car nous sommes en l'attente d'une

preuve expérimentale de la plus-value apportée par le brevet. Une fois que le concept proposé dans le brevet sera validé dans des conditions proches de celles des utilisateurs finaux, nous pourrions négocier le brevet avec Pasqal.

D'autre part, dans l'immédiat, Pasqal nous achète la technologie de l'un des éléments qui n'est pas protégé par le brevet, même si c'est en lien direct avec le brevet. Une fois le brevet validé le design qui bénéficie du transfert de technologie pourra être doté de l'innovation proposée dans le brevet.

Mesurez-vous déjà des impacts des travaux de votre laboratoire en matière de technologie quantique ?

Dans notre laboratoire la partie quantique représente environ 20 % des activités du laboratoire, plutôt dans une orientation recherche fondamentale. Néanmoins, il y a aussi d'autres projets en cours, avec plusieurs brevets qui se déposent et plusieurs startups qui se montent. Je pense particulièrement à deux startups liées aux nanoparticules et à des émetteurs de photons pour l'optique quantique, donc pour les télécommunications quantiques.

Un autre collègue est en contrat avec plusieurs industriels pour des caméras infrarouges qui concernent aussi bien



les applications civiles que militaires. Plusieurs sociétés sont impliquées et tout ceci est aussi géré par la SATT.

Diriez-vous qu'il existe une vraie appétence des équipes du laboratoire pour les startups, les transferts de technologies ?

Oui, mais c'est assez nouveau. Dans ce laboratoire, qui ne travaille quasiment que sur du fondamental, cela montre une réelle évolution des mentalités.

Depuis une dizaine d'années, beaucoup de liens ont été tissés avec l'industrie par les membres de l'équipe. Auparavant, ces liens étaient informels, nous faisons des échanges de travaux contre du matériel... Nous avons décidé de formaliser cette relation afin qu'elle devienne véritablement équilibrée avec nos interlocuteurs.

Qu'apportent ces relations sur le plan opérationnel, pour l'avancée de vos recherches ?

Il peut s'agir de moyens techniques et financiers pour du matériel ou des contrats Cifre. Les industriels peuvent aussi nous servir de bêta testeurs et nous fournir des équipements pour caractériser nos moteurs électriques par exemple.

Ils ont des équipements dont on ne dispose pas, avec lesquels ils sont en mesure de mener pour nous des essais en conditions réelles, beaucoup moins favorables que dans notre environnement habituel. C'est très intéressant pour les laboratoires.

Comment expliquez-vous l'évolution de l'état d'esprit des chercheurs vis-à-vis du monde économique ?

Cela peut s'expliquer par le contenu même de nos travaux et des secteurs sur lesquels nous concentrons nos efforts. Ils sont actuellement assez proches des besoins de l'industrie, ce qui n'était pas le cas il y a dix ans.

J'ajouterais, principalement, qu'il est très stimulant de développer quelque chose qui peut être utile à la société. Notre laboratoire constate aussi une grande appétence des startups des technologies quantiques pour les docteurs issus de nos équipes. Favoriser l'éclosion de sociétés dans ce secteur est très favorable pour l'insertion professionnelle de nos étudiants, ce qui nous rend aussi plus attractifs.

L'évolution de l'état d'esprit est aussi probablement liée à l'espoir d'une gratification financière en cas de succès, la réglementation en vigueur étant fortement incitative dans notre secteur.

Nous avons toujours été très attachés dans l'équipe à essayer de développer le site industriel local, y compris en jouant sur la commande publique pour favoriser des sociétés et pour essayer de les lancer. La startup MyCryoFirm, déjà évoquée, a été lancée par la commande publique de notre laboratoire, qui lui a permis de se développer.

Nous souhaitons continuer à favoriser la croissance du tissu industriel local.

L'INSP en quelques mots

L'Institut des nanosciences de Paris (INSP) est une unité mixte de recherche Sorbonne Université - CNRS

Le thème fédérateur de la recherche menée à l'INSP est la mise en évidence et la compréhension des propriétés nouvelles qui surgissent chaque fois que des phénomènes physiques se trouvent confinés dans des objets de taille inférieure à leur longueur caractéristique. Une attention particulière est portée au contrôle et à la caractérisation des interfaces entre ces petits objets et leur environnement. L'INSP regroupe de larges compétences, tant en termes de moyens de fabrication (croissance d'agrégats, auto-organisation, épitaxie par jet moléculaire, ablation laser, lithographie, etc.) que de moyens de caractérisation et d'études (spectroscopies-microscopies à haute résolution, sondes locales, sources d'ions rapides et d'ions multichargés, simulation numérique, etc.).

L'Institut des nanosciences de Paris regroupe 11 équipes de recherche :

- Photonique et cohérence de spin
- Spectroscopie des nouveaux états quantiques
- Acoustique pour les nanosciences
- Nanostructures et optique
- Couches nanométriques : formation, interfaces, défauts
- Physico-chimie et dynamique des surfaces
- Mécanique multi-échelles des solides faibles
- Croissance et propriétés de systèmes hybrides en couches minces
- Oxydes en basses dimensions
- Agrégats et surfaces sous excitations intenses
- Photons, magnons et technologies quantiques

SOIT ON PERFORME SUR LA SCENE INTERNATIONALE, SOIT ON DÉCÈDE

Théau PERONNIN, Cofondateur et CEO d'Alice & Bob



Qu'est-ce qui vous a conduit à créer une startup dès la fin de vos études ?

Je suis ingénieur et physicien de formation et de passion. J'ai notamment fait une spécialisation en physique quantique à l'École Normale Supérieure de Paris, puis j'ai continué en thèse, en physique quantique expérimentale à l'ENS de Lyon, sur le genre de technologie que l'on utilise aujourd'hui chez Alice & Bob.

J'ai monté la startup avec mon associé Raphaël Lescanne, juste après le passage de nos thèses de doctorat en 2020.

Un double constat m'a poussé à me lancer dans la création d'une startup.

Tout d'abord, une opportunité technologique hors normes, celle d'un nouveau type de bits

quantiques appelés «les qubits de chat» que l'on avait développés en laboratoire, et qui nous offraient et nous offrent toujours un avantage concurrentiel. Ils sont d'ailleurs repris maintenant par l'un de nos compétiteurs AWS (Amazon Web Services).

Le deuxième constat correspond à un rassemblement de physiciens exceptionnels : nos directeurs de thèse dont les travaux étaient complètement sous-exploités à l'époque.

Je ne comprenais pas que personne ne fasse rien de ces atouts qui étaient sous nos yeux, et je pensais humblement à la fin de ma thèse que je n'avais pas grand-chose à perdre et qu'il était idiot de laisser filer tous ces travaux. Finalement, tout le monde nous a suivi dans l'aventure et nous avons démarré Alice & Bob.

A quel stade en est l'entreprise aujourd'hui ?

L'entreprise se porte bien et on progresse bien. Nous sommes maintenant plus d'une centaine et nous avons déjà levé 30 millions d'euros entre le tour d'amorçage et la série A. Dans les mois qui viennent, nous allons lever un peu plus de fonds.

Pourquoi avez-vous fait le choix de créer une startup ?

Tout d'abord il faut préciser que c'est une startup financée par du capital-risque, ce qui est un exercice à la fois parfaitement





canonique et en même temps tout à fait unique. Pour moi, il n'y avait pas tellement de doutes sur le format. Beaucoup d'entreprises se lancent sur un format startup et le regrettent, car être financé par du capital-risque n'est pas adapté à tous les projets.

Dans notre cas, il y a trois éléments à prendre en compte. Le premier, c'est l'intensité capitaliste du projet. Il ne faut pas se méprendre, on cherche à construire une machine qui est au moins aussi compliquée qu'une fusée, sauf que personne n'a jamais réussi à la construire. Donc c'est beaucoup d'argent.

Le deuxième, c'est l'intensité concurrentielle, dans ce genre de course il n'y a pas de place pour un "best in France". Soit on performe sur la scène internationale, soit on décède. Il n'y a pas de demi-mesure possible, une compétition acharnée se joue avec certaines des plus grandes entreprises de la planète : Google, IBM, Amazon, et autres.

Enfin, le dernier aspect tient au fait que je pense qu'il n'y avait pas l'opportunité d'exploiter correctement les atouts qui avaient un ancrage régional, c'est-à-dire à la fois les personnes, la technologie, les institutions présentes ici et en Europe plus largement au sein de structures existantes. Il n'y a pas de grands groupes européens capables de porter un projet comme celui-là.

J'ajouterai un dernier élément en matière de contexte. Au moment où je mûris l'idée, en 2018, 2019, on voit un certain nombre d'autres acteurs se lancer outre-Atlantique sur un format de startup, et parvenir à mobiliser des capitaux sur des atouts bien moindre, à la fois en termes d'équipes et de technologies.

J'ai donc pensé à ce moment-là que la startup était le bon format, avec une abondance des capitaux nettement plus grande qu'aujourd'hui.

Reste à perforer le plafond de verre - enjeu qui est maintenant très bien compris en Europe - pour

un passage à l'échelle des startups prometteuses. Le moment où il faut mobiliser des tickets qui sont plutôt dans la gamme de plusieurs centaines de millions d'euros.

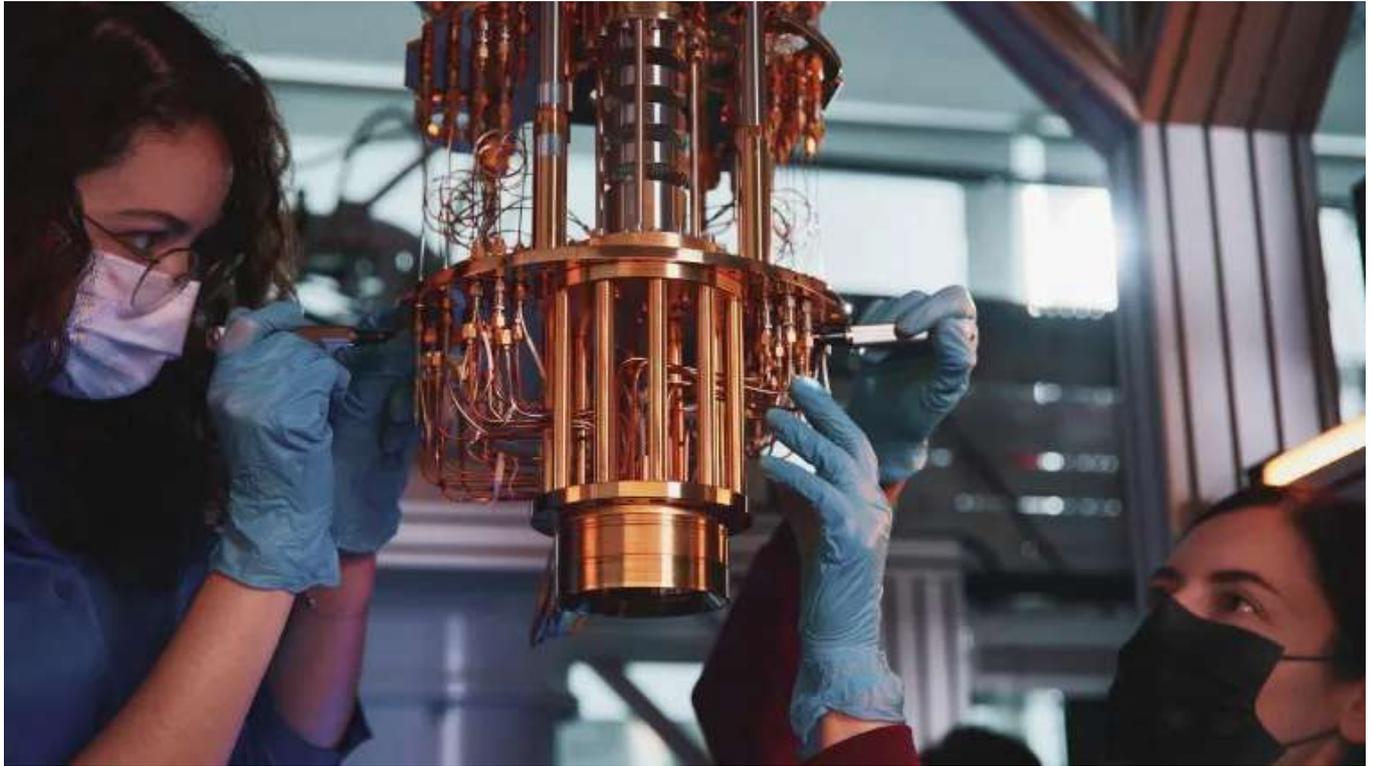
Êtes-vous encore loin de la mise sur le marché d'un produit ?

Aujourd'hui, il n'y a pas d'ordinateur quantique dans le monde qui tienne ses promesses, qui fonctionne au sens de fournir une accélération exponentielle et indiscutable sur un certain nombre de cas d'usage.

Pour autant, il y a des prototypes qui existent. Et chez Alice & Bob, nous avons aujourd'hui trois axes de commercialisation.

Le premier est une activité de conseil, où l'on accompagne un certain nombre de grands groupes industriels dans l'élaboration de leur stratégie quantique et le défrichage de leur cas d'usage. Le second, c'est l'accès à notre techno via le cloud. Nous avons par exemple notre puce Boson 4, qui est accessible sur le cloud de Google ou à travers notre partenariat avec Equinix. Enfin, le dernier se concentre sur la vente de machines. À ce propos, un élément par exemple, est le programme de commande de l'État, appelé Proxima, qui entre dans ce dernier volet et représente notre axe de commercialisation principal.





Avez-vous constitué une équipe de recherche interne ou continuez-vous à travailler avec la recherche publique ?

Quand on essaie de construire un ordinateur quantique, tout ce qu'on fait est fondamentalement de la R&D. Construire la machine en elle-même, c'est non seulement de la R&D et même, c'est encore sous de nombreux aspects de la physique fondamentale.

On pourra parler du défi principal de l'ordinateur quantique, qui est celui d'échapper à la décohérence, d'échapper aux erreurs, aux bruits du monde classique. C'est encore le genre de sujet qui pourrait être sanctionné d'un prix Nobel à terme, pour ceux qui ont théorisé le concept il y a 20 ou 30 ans. Nous parlons donc de ce niveau-là de recherche.

Au sein d'Alice & Bob, pour donner

des éléments de contexte, nous avons 45 % des employés qui sont docteurs et plus de 80 % du personnel qui a un profil technique, avec des backgrounds de physicien, d'ingénieur micro-ondes, ingénieur mécanicien, logiciels, nano fabrication... On réunit un certain nombre de métiers d'ingénierie et de physiciens qui vivent en symbiose. Donc l'ensemble de l'équipe d'Alice & Bob fait de la R&D et développe la machine. Enfin, nous faisons

Pour autant, nous avons conservé notre lien extrêmement fort avec le monde académique. Nous avons aujourd'hui plus d'une dizaine de thésards Cifre, soit 10 % de nos employés, aussi parce que le métier de jeune ingénieur chez Alice & Bob mérite un doctorat par la nature très exploratoire du travail qu'il implique.

Et nous restons en symbiose très forte avec les laboratoires dont nous sommes issus, le CNRS, le CEA, l'Inria, l'ENS Paris,

« Quand on essaie de construire un ordinateur quantique, tout ce qu'on fait est fondamentalement de la R&D..»

tout le hardware, de la conception des maths fondamentales jusqu'à l'intégration de la machine complète que l'on fabrique et que l'on assemble nous-mêmes.

l'ENS Lyon et l'École des Mines, avec lesquels nous sommes en étroites collaborations.



Au regard de votre expérience, qu'est-ce qui pourrait améliorer ou amplifier la création de startups issues du monde de la recherche publique ?

Durant ces dix dernières années, je pense que la BPI a fait un travail absolument remarquable, assez unique au monde. Aujourd'hui les étapes pour l'amorçage sont réussies.

Maintenant il y a des éléments sur lesquels notre attention doit se porter. Si l'on souhaite augmenter la perméabilité des deux mondes, entre le privé et celui de la recherche, le chemin est tracé. En revanche, pour aller de la recherche vers l'entrepreneuriat, il faut poursuivre la réflexion pour

abaisser les barrières. Notamment, avec un chemin retour possible, comment réintégrer après plusieurs années son labo au CNRS, au CEA... Cela décomplexera les chercheurs à aller vers l'entreprise s'ils savent qu'ils peuvent revenir.

Le second élément est un point commun à toutes les startups de la deep tech : l'énorme besoin de cash. Ce que les Américains appellent des «venture capitalists», investisseurs en capital-risque, qui comprennent ce monde et ses fonctionnements.

Cela ne pourra avoir lieu que si l'on autorise et encourage une première génération de fortunes issues de la tech à émerger. Ce cycle est très fort dans la Silicon Valley : les fortunes faites dans les années 70 et 80 dans le hardware,

le semi-conducteur et autres, sont aujourd'hui fléchées vers des fonds de capitaux-risque plus favorables à des sujets tech et hardware en particulier.

La plupart des grandes fortunes françaises actuelles n'ont pas un appétit pour la science fondamentale aussi viscéral qu'un Bill Gates. Donc leurs fortunes prennent d'autres directions.

L'État a bien évidemment un rôle à jouer, mais il ne doit pas se substituer à ce cycle naturel qui a besoin d'être mis en place dès lors que l'on accepte une forme de capitalisme régulé à l'européenne.

Qu'est-ce qui motive généralement un chercheur à faire du transfert de technologie ?

Ce qui motive un chercheur, c'est le projet en lui-même, quelle que soit sa forme. La structure, que l'on soit dans le monde académique, dans une startup, dans un grand groupe, c'est juste un ensemble de règles du jeu. Sont-elles adaptées ou non pour le projet ? Et comment fluidifie-t-on le changement de structure en fonction du stade, de la maturité du projet en gardant les personnes qui accompagnent le projet ?

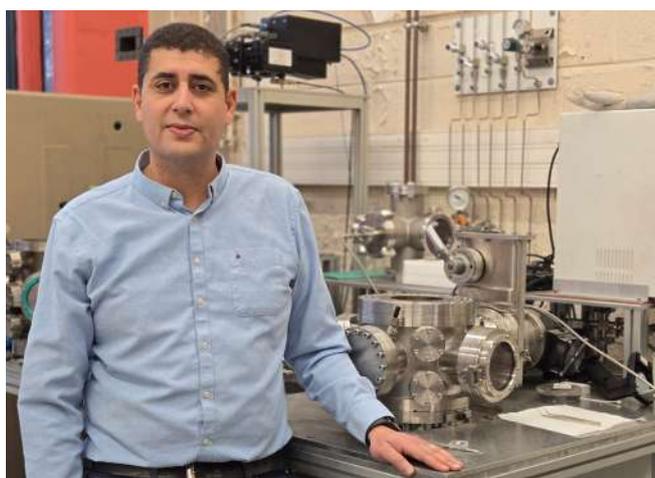
La fascination des Américains pour les fondateurs de startup est un aspect qui n'est pas très bien compris en Europe. Ce ne sont pas des gens hors norme, ce sont des passionnés.

En réponse à votre question, il s'agit vraiment de laisser des humains aller au bout de leurs idées, indépendamment des structures dans lesquelles ces idées et ces humains évoluent.



CONCRÉTISER L'ENVIE D'ENTREPRENDRE ET VIVRE L'EXPÉRIENCE

Riadh ISSAOUI, fondateur et CTO de HiQuTe Diamond



Qu'est-ce qui vous a conduit à créer une start-up ?

Cette décision est née du désir partagé par cinq chercheurs et enseignants-chercheurs de valoriser plus de 30 ans de recherches développées au LSPM*, au CNRS et à l'USPN**. Ce projet nous permettait en effet de transformer ces travaux en applications concrètes ayant un impact réel, tout en promouvant le savoir-faire et l'innovation issus de la recherche publique.

Pourquoi la création d'une start-up se présentait comme la solution la plus appropriée à votre cas de figure ?

Les technologies que nous développons sont complexes par nature et nécessitent souvent un accompagnement spécifique et un contrôle direct pour assurer leur développement et leur mise sur le marché. Ces contraintes rendent leur transfert vers d'autres sociétés difficiles. Nous parlons de deeptech.

De plus, ce choix reflète mon envie personnelle d'entreprendre et de vivre cette expérience au premier plan, en jouant un rôle actif dans le développement de l'innovation et en la menant jusqu'à sa réalisation concrète.

Que pensez-vous de l'environnement destiné à la valorisation de la recherche en France ?

Nous avons la chance, dans notre pays, de bénéficier de nombreux mécanismes pour encourager la valorisation de la recherche. Des initiatives comme les SATT, CNRS Innovation, Bpifrance, et bien d'autres offrent ainsi un cadre très favorable pour démarrer une start-up, notamment dans le domaine deeptech. Ces dispositifs apportent un soutien précieux, que ce soit en matière de financement, d'accompagnement ou de mise en réseau.

Riche de votre expérience, pensez-vous que certains aspects de l'accompagnement pourraient-être renforcés ou améliorés ?

Je citerais la nécessaire sensibilisation et l'accompagnement des chercheurs très en amont, afin qu'ils prennent mieux conscience notamment de l'importance de protéger leur propriété intellectuelle et ainsi les aider à la consolider avant même de se lancer dans leur projet entrepreneurial.

De la même manière, il me semble important de les assister dans l'étude et la compréhension des marchés : ils gagneraient à être mieux accompagnés pour évaluer le potentiel commercial de leurs innovations et identifier les marchés cibles, étapes qui constituent souvent un point faible au démarrage. Toujours en phase précoce, des démarches administratives plus fluides, non seulement pour la gestion juridique et fiscale de leur jeune entreprise, mais aussi pour simplifier l'accès aux financements constitueraient un autre atout : elles peuvent être lourdes, au point de décourager in fine certains porteurs de projet.

Cet accompagnement doit par ailleurs se faire sur le long terme, de nombreuses start-ups manquant de soutien pour leur croissance et leur internationalisation après les premières phases d'incubation, ou encore lorsqu'elles se trouvent en discussion avec de grands groupes. Il pourrait ainsi être utile de développer des plateformes favorisant la collaboration entre start-ups et grandes entreprises sur des projets communs.



Enfin, du point de vue de la reconnaissance académique, il me paraît essentiel de ne pas pénaliser les chercheurs qui choisissent l'entrepreneuriat : ce parcours devrait être perçu comme un enrichissement de leur carrière et non comme une déviation.

Ces améliorations permettraient de compléter un écosystème par ailleurs déjà riche et précieux, et de rendre la valorisation encore plus accessible et attractive.

« Nous avons la chance en France de bénéficier de nombreux mécanismes pour encourager la valorisation de la recherche »

leur être proposé un encadrement sur mesure avec des mentors spécialisés. Il serait également souhaitable de faciliter la transition entre la recherche académique et le monde de l'entreprise en réduisant les risques qui lui sont liés, en accordant par exemple des congés pour création de start-ups ou en permettant un retour à la recherche sans impact. Enfin, il me semble important de valoriser l'échec en le présentant comme une expérience enrichissante plutôt qu'un frein à la carrière.



Votre start-up est-elle toujours en relation avec la recherche publique ou de nouveaux laboratoires, autres que celui à votre origine ?

Oui, absolument. Nous sommes toujours hébergés au LSPM, où nous avons développé un partenariat stratégique pour continuer à bénéficier des synergies avec les activités de recherche. De plus, nous faisons partie d'un consortium ANR impliquant plusieurs institutions académiques, ce qui nous permet de travailler avec des équipes variées et complémentaires.

Nous croyons fermement que le rôle des laboratoires de recherche ne s'arrête pas une fois la start-up créée. Bien au contraire, maintenir et renforcer ces liens contribue à consolider un écosystème dynamique où la recherche et l'entrepreneuriat s'enrichissent mutuellement.

Qu'est-ce qui permettrait d'amplifier le mouvement de la création de startups auprès des chercheurs ?

Plusieurs actions pourraient encourager davantage de chercheurs à franchir le pas, à commencer par une sensibilisation dès le doctorat via des formations sur l'entrepreneuriat et les opportunités de valorisation de la recherche. Il pourrait aussi

HiQuTe Diamond à la pointe

HiQuTe Diamond est une start-up deeptech qui s'appuie sur plus de trois décennies de recherches pionnières menées au CNRS et à l'Université Sorbonne Paris Nord (USPN). Sa création repose sur l'expertise internationalement reconnue de l'unité de recherche LSPM dans la synthèse de diamants synthétiques par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (CVD).

Le diamant offre des perspectives révolutionnaires pour l'électronique de puissance, secteur clé pour la transition énergétique. HiQuTe Diamond ambitionne de transformer ses innovations scientifiques en solutions concrètes pour des systèmes plus efficaces, durables et performants, capables de répondre aux défis énergétiques mondiaux. Conscients de la maturité de certaines technologies basées sur le diamant et animés par la volonté de transférer leur savoir-faire vers le monde socio-économique, les chercheurs Riadh Issaoui, Fabien Bénédic, Jocelyn Achard, Ovidiu Brinza et Alexandre Tallaire ont cofondé HiQuTe Diamond fin 2022 en collaboration avec Technofunders.

*LSPM : Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux

**USPN : Université Sorbonne-Paris-Nord

UNE INTENSE COMPÉTITION INTERNATIONALE SUR LES TECHNOLOGIES HABILITANTES

Bertrand DEMOTES-MAINARD, CTO Hardware Thales



Quelle place tiennent les technologies quantiques au sein du groupe Thales ?

Dans le cas de Thales, nous sommes très intéressés par les technologies quantiques et nous sommes actifs, par nos travaux de recherche dans ce secteur, depuis 25 ans.

En fonction des différents segments d'utilisation de ces technologies, nous avons des questionnements et des positions très différents : nous voulons être un leader dans les capteurs quantiques adaptés à nos domaines, un systémier d'ensemble pour les communications quantiques, un utilisateur intelligent de l'informatique quantique, et être présents avec notre supply chain dans les technologies habilitantes.

Par utilisateur intelligent de l'informatique quantique, il faut comprendre quelqu'un qui est pionnier dans le déploiement d'application pour son domaine et innovant en algorithmie..

La raison de cette posture tient au fait qu'aucune des technologies d'ordinateurs quantiques aujourd'hui ne peut se penser autrement que dans une infrastructure en environnement bien contrôlé, et donc accessible par internet comme un cloud, alors que nos propres produits sont toujours des produits "embarqués" : en avion, sur un satellite, dans une carte à puce dans votre portefeuille.

Comment vos travaux de recherche sont-ils pilotés en la matière ?

Pour les capteurs et les communications quantiques, nous avons plusieurs feuilles de route, et déjà des dizaines de chercheurs et ingénieurs en train de prototyper les produits futurs.

Pour la partie informatique quantique, nous avons une équipe de scientifiques mathématiciens qui étudie les sujets qui peuvent être traités par cette technologie. Nous déterminons quelle famille d'ordinateurs fonctionne le mieux et comment il est possible de créer des algorithmes adaptés à des cas d'usage qui sont les nôtres. Soit il s'agira d'optimiser nos propres ingénieries, soit, enfin et surtout, de mettre au point l'optimisation de fonctions pour nos clients.

Citons par exemple la planification de mission de satellites en temps réel dans une constellation de satellites. C'est un type de calcul que saurait très bien faire un ordinateur quantique.

Partagez-vous vos travaux de recherche avec des équipes dans les laboratoires de la recherche publique ?

Oui, c'est la politique générale que nous menons. Nous avons toujours un travail partenarial assez fort, en particulier dans tous les aspects de la recherche de base à caractère fondamental.

Nous avons des coopérations établies depuis parfois 20 ans avec des laboratoires comme ceux du CNRS par exemple.

Pour la partie informatique, il s'agit surtout de coopérations avec certaines startups, essentiellement françaises et généralement issues de la recherche publique, mais pas exclusivement. Nous travaillons aussi avec le CEA, avec ATOS, et nous avons complété avec un hackathon international interne réunissant des étudiants et des partenaires locaux. Il est à noter qu'en France nous couvrons à peu près toutes les filières des ordinateurs quantiques.

Pouvez-vous nous préciser comment s'amorcent les collaborations avec des startups, à votre initiative, à leur demande ?

C'est souvent un travail en commun. Généralement, les startups cherchent à montrer l'intérêt de leurs machines et vont donc trouver des utilisateurs précoces. A partir de ce cadre-là, nous déterminons une méthode de travail avec elles.



Selon vous, quelles sont les conséquences de l'émergence récente de l'univers quantique sur des potentiels transferts de technologie ?

Cette émergence accélère beaucoup le transfert parce qu'il y a un financement sous la forme d'investissements dans les startups, sans commune mesure avec celui que l'on peut trouver dans d'autres secteurs.

Tout ceci amène beaucoup d'argent, bien que l'on observe un effet de plateau actuellement sur la partie des ordinateurs quantiques (qui représente environ 80 % de l'argent investi). En effet, dès lors qu'il y a quelques startups dans chacune des technologies du quantique, les investisseurs ne voient pas l'intérêt de créer encore une autre startup : ils attendent de voir quelles sont la ou les filières gagnantes.

Ce passage brutal d'idées académiques dans des startups qui lèvent des centaines de millions d'euros indique qu'il y a un 0 de plus dans les financements par rapport à ce qui se passe dans des technologies plus classiques.

Comment analysez-vous cette évolution du business des technologies quantiques ?

Cette évolution est liée au fait que personne ne sait bien quelle sera l'application de ces travaux, mais beaucoup de gens ont l'intuition que cela peut être très important. C'est en cela que les startups, l'investissement en capital-risque, ont vraiment du sens.

Quand on commence à créer une société informatique quantique, on ne sait pas bien si le client va venir du monde de l'aérospatiale, de la recherche médicale, de la chimie...

Il faut être capable de pivoter sur la recherche de l'accès au marché.

Et c'est là que le modèle startup prend tout son sens.

Quelle est la position de Thales en la matière ?

Thales investit aussi considérablement dans ces domaines, mais nous sommes plus orientés vers les capteurs que dans l'informatique quantique. Le capteur est véritablement notre domaine. Nous sommes une société basée sur ces capteurs, on ne peut pas envisager Thales sans ses propres capteurs, radars, sonars, etc.

Nous savons que si un capteur quantique vraiment intéressant apparaît, nous en aurons une application. Et nous trouverons des chemins vers le marché qui seront pour nous traditionnels, nous serons alors tout à fait dans notre rôle.

Que pensez-vous de l'état d'avancement de la recherche française en matière de technologies quantiques ?

Au sens recherche académique, il est à un très bon niveau. D'autre part, la France a de fortes capacités dans toutes les filières, ce qui est un avantage et un risque en même temps. Un avantage car nous pouvons être très compétents et soutenir la comparaison vis-à-vis des autres pays. Le risque, c'est que le soutien de l'État se répartisse aujourd'hui sur tout le monde, et donc les moyens financiers se divisent puisque rien n'indique si c'est une filière ou une autre qu'il faut privilégier. Pour l'instant, il n'y a pas d'éléments objectifs pour dire que l'une est meilleure que l'autre.

Les moyens mis en œuvre par l'État sont-ils à la hauteur des ambitions ?

Il est très positif de clarifier une stratégie et de la promouvoir. Ce qui est peut-être un risque dans le cas du quantique, c'est que l'on peut manquer d'une bonne vision de toutes les technologies habilitantes, c'est-à-dire tout ce qui n'est pas strictement quantique mais qui est indispensable pour faire marcher une unité quantique. Globalement, nous avons en France tous les savoirs et les entreprises pour lever les difficultés qui se présentent dans ces technologies habilitantes. Espérons que les importants moyens mis en œuvre iront fortifier cette base.

Il faut souligner en effet qu'il existe une intense compétition internationale sur ces technologies habilitantes. Chaque pays a sa stratégie, mais les consolidations se jouent au niveau des continents.

Qu'est-ce qui peut motiver un chercheur à faire du transfert de technologie ?

Il y a différents types de motivation. Certains ont vraiment envie de rentrer dans l'aventure de création d'une société, et les technologies quantiques sont un domaine qui permet de le faire, en visant quelque chose qui ne sera pas une PME de niche mais un véritable acteur de transformation.

Là, nous rencontrons des gens qui brillent, qui sont capables d'imaginer quelque chose de transformationnel, de bouleverser une partie du monde. Ce sont des gens vraiment intéressants, et cela démarre d'une startup...

NOUS AVONS EN PERMANENCE UN CONTACT TRÈS ÉTROIT AVEC LA RECHERCHE

Bruno DESRUELLE, directeur de la stratégie Photonique chez Exail



Pourquoi votre entreprise s'est-elle tournée vers la recherche publique pour développer ses produits ?

A l'origine, nous avons fondé en 2011 la start-up Muquans afin d'exploiter, en collaboration avec deux de ses directeurs de recherche, un brevet du CNRS pour développer des produits complètement disruptifs. Comme nous travaillions sur une technologie de rupture innovante, nous étions donc en relation très étroite avec la recherche publique académique, la plus en pointe sur notre sujet, dans le cadre classique d'un transfert de technologies.

Au bout de dix ans, nous avons néanmoins fait le constat que pour poursuivre dans les meilleures conditions le développement exponentiel de notre activité, il nous fallait nous adosser à un groupe de très haute technologie. Nous avons alors fusionné avec la société française Ixblue, qui correspondait à ce schéma et qui s'intéressait à nos technologies afin de se positionner sur de nouveaux marchés. Laquelle s'est ensuite adossée en 2023 à un autre groupe pour donner naissance à Exail.

Nous continuons donc désormais à nous développer dans le cadre de l'activité « systèmes quantiques » de cette entreprise, tout en conservant des relations très étroites avec les laboratoires qui nous accompagnent depuis nos débuts. Nous voyons en effet une grande valeur ajoutée à ces collaborations extrêmement vertueuses qui nous apportent à la fois une expertise scientifique et technique unique, et une grande créativité de la part des chercheurs avec qui nous travaillons depuis toutes ces années.

Comment vous informez-vous sur l'activité des laboratoires dans votre secteur d'activité ?

Il existe une grande variété de canaux différents qui nous permettent de détecter des innovations ou des sujets qui méritent que nous nous y intéressions. En complément de nos coopérations directes avec les chercheurs, nous participons ainsi à des conférences sur nos domaines d'activité et continuons à effectuer une veille sur la littérature scientifique : quand une bonne publication sort sur nos sujets d'intérêt, nos collaborateurs en interne la suivent très attentivement. Parmi les autres canaux d'information figurent notamment la lettre d'innovation du CNRS et des organismes de veille tant internes qu'externes, comme le hub Photonics Bretagne ou le pôle de compétitivité Alpha RLH.

Quels sont les impacts de l'innovation pour votre entreprise, quelle est sa place ?

Elle constitue son essence. Notre objectif consiste en effet à être à la pointe en permanence en détectant les innovations les plus prometteuses pour nous différencier de la concurrence. Cela s'avère particulièrement important dans le domaine de la photonique où elles sont nombreuses et où les technologies sont actuellement en effervescence



et en évolution constante. Ce travail permanent sur l'innovation est donc indispensable si nous ne voulons pas nous retrouver à la traîne. Il est par conséquent systématique et inscrit, pour ainsi dire, dans les gènes de l'entreprise.

« Notre objectif consiste en effet à être à la pointe en permanence en détectant les innovations les plus prometteuses pour nous différencier de la concurrence. »

Qu'y a-t-il de plus satisfaisant pour vous dans la collaboration avec des startups ?

Nous collaborons avec plusieurs d'entre elles et trouvons ce mode de fonctionnement très vertueux, que ce soit pour les technologies quantiques ou d'autres sujets. A la base, le projet d'une start-up consiste en effet à amener sur le marché une technologie de rupture, avec une prise de risque souvent élevée et une grande agilité. Comme nous n'avons malheureusement pas la possibilité de le faire en interne sur tous les sujets, nous détectons des initiatives qui nous intéressent plus particulièrement. Nous nous efforçons alors de maintenir le contact avec leurs responsables pour laisser leur projet mûrir et la technologie se développer afin idéalement de la capter via une acquisition lorsque le niveau de maturité sera atteint. Il existe donc un grand intérêt à encourager l'éclosion de start-ups, tant pour l'industrie française et des groupes établis comme le nôtre que pour la recherche académique qui y voit l'opportunité d'amener ses technologies à maturité et très rapidement sur le marché.

Quels sont vos sujets professionnels prioritaires en lien avec la recherche ?

Nous avons en permanence un contact très étroit avec elle sur la quasi-totalité de nos domaines d'activité : les technologies quantiques, mais aussi la navigation inertielle, le laser et plus généralement les applications basées sur l'utilisation de la lumière, comme le sensing, les télécommunications, ou le material processing.

Avez-vous un pôle de recherche intégré dans votre entreprise ? Quels rapports entretenez-vous avec la recherche publique ?

S'il n'existe pas un pôle dédié, nous faisons effectivement de la recherche sur toutes les activités aujourd'hui développées par le groupe. Par exemple, sur la photonique, nous avons une activité « solutions de modulation », une autre « fibres optiques spéciales », une troisième « systèmes quantiques » ou encore une quatrième sur les « assemblages microoptiques ».

Au sein de chacune de ces divisions, nos équipes sont en contact étroit avec le monde de la recherche de manière à ce que ce soient, de chaque côté, les personnes les plus compétentes et les plus expertes qui collaborent. Cela se fait donc localement au sein de chaque activité, même si nous cherchons bien entendu à établir une cohérence d'ensemble et à éviter les doublons pour plus d'efficacité.

NOUS SOMMES LE FONDS DE RÉFÉRENCE DANS LE DOMAINE

Olivier TONNEAU, cofondateur et Partner Quantonation



À quel stade des besoins de financement des projets peut intervenir Quantonation et quels sont les secteurs que vous privilégiez ?

Quantonation est un fonds d'investissement early stage, véritable fonds d'amorçage en français. Nous intervenons donc en co-création des sociétés.

Par la suite, nous accompagnons ces sociétés. Nous pouvons investir jusqu'à ce que l'on appelle la série B. Nous sommes acteurs sur les 2 ou 3 premiers tours de financement.

Quantonation est le plus important fonds au monde spécialisé sur les technologies quantiques, donc bien entendu pour l'informatique quantique, à la fois hardware et software, mais aussi pour tout ce que l'on appelle les technologies habilitantes.

Parallèlement, nous couvrons les communications quantiques, et nous nous intéressons, par exemple,

aux répéteurs et interconnecteurs quantiques, ainsi que tout ce qui concerne l'algorithmie. Cela peut être l'encryption post-quantique par exemple. Et puis, dernière catégorie, nous sommes aussi intéressés par les capteurs.

Cette position de leader mondial, a amené Quantonation à investir dans combien de sociétés ?

Nous avons aujourd'hui 200 millions d'euros sous gestion, et nous avons déjà investi dans 32 sociétés réparties un peu partout dans le monde, dont une grande majorité en Europe et, pour une bonne partie, en France.

Quelle est votre stratégie d'investissement ?

Nous avons identifié un certain nombre de secteurs qui nous intéressent particulièrement. Notre politique d'investissement conduit à des participations de l'ordre de 10 à 20 % au capital des sociétés choisies. Cela se traduit donc par une augmentation de capital.

Nous pouvons intervenir dès la création de la société, et nous discutons avec les chercheurs. Une fois leur décision prise, nous pouvons être leur premier actionnaire.

Ou bien, nous pouvons venir un peu plus tard, lorsque la société a déjà un petit peu mûri et fait un premier tour de financement. À ce moment-là, nous intervenons

en tour d'amorçage, quand les besoins sont de l'ordre de 2 à 5 millions. Nous essayons alors de trouver des co-investisseurs et nous investissons des montants de quelques millions avec les autres co-investisseurs.

Comment détectez-vous des projets ? Suivez-vous des laboratoires en particulier, des chercheurs viennent-ils spontanément vous voir, êtes-vous en relation avec les SATT ?

Nous avons une spécificité par rapport à nos collègues qui sont dans le monde de l'investissement : une grande partie de notre équipe est composée de docteurs en physique quantique, ce qui nous conduit à avoir des liens directs assez forts avec nombres de labos dans lesquels ils ont pu étudier et travailler.

Sur le plan quantitatif, il y a pour nous une trentaine d'écosystèmes à surveiller dans le monde, ce qui signifie que nous sommes tout à fait capables de le faire à l'échelle de notre équipe. Il y a 4 ou 5 écosystèmes aux États-Unis, 2 ou 3 au Canada, 3 au Royaume-Uni, 4 ou 5 en Allemagne, 1 aux Pays-Bas, et, en France c'est notamment le Laboratoire Kastler Brossel, l'Institut Optique et le CEA-Leti.

Nous sommes un peu le fonds de référence dans le domaine, donc les sociétés qui se créent viennent généralement nous voir,



En parallèle, nous menons également un travail d'identification de projets potentiels : nous identifions des sujets qui nous intéressent, pour lesquels nous pensons qu'il serait intéressant de créer des sociétés et, à la lecture d'articles scientifiques et de publications, nous cherchons les équipes qui travaillent sur ces sujets pour voir avec elles s'il y a le potentiel de créer une société.

Les SATT constituent aussi une source de sujets, nous avons co-investi à plusieurs reprises avec la SATT Lutech par exemple. Il existe des projets qui sortent d'un laboratoire, qui sont incubés au sein des SATT, et dans lesquels nous investissons un petit peu plus tard.

Comment se répartissent vos investissements par famille technologiques ?

Jusqu'à présent, une grosse partie de nos investissements s'est orientée vers des sociétés qui font du hardware, qui construisent des machines. Parmi nos investissements récents, citons par exemple la startup française Quobly, spécialisée dans les qubits de spin de silicium, PioniQ, opérant dans les matériaux quantiques pour le stockage de l'électricité, et les startups de physique Resolve Stroke et Steerlight.

Il a été plus difficile de trouver des sociétés pertinentes dans le domaine du software. C'est en train de changer parce que nous commençons à voir des machines qui sont maintenant à l'échelle et pour lesquelles nous pouvons mettre en œuvre leur fonctionnement sous forme de prototype chez des industriels ou dans des centres de calcul. Cela débloque cet écosystème du software et nous nous attendons à l'émergence de nouvelles sociétés de logiciels.

C'est aussi le cas pour les technologies habilitantes : je prends l'exemple d'une société spécialisée dans les contrôles électroniques, pour contrôler les pulses et par là-même les qubits.

Auparavant ces travaux étaient réalisés en interne par les sociétés intéressées, maintenant elles les externalisent, cela devient une spécialité et nous commençons à voir apparaître différentes sociétés dans la chaîne de valeur sur ces aspects.

Dans l'informatique on était très axés hardware, on a investi dans des sociétés comme Pascal, Quandela et d'autres aussi à l'étranger. Nous espérons maintenant qu'il y aura un peu plus de software.

En "communication" nous avons fait pas mal d'investissements aussi. Ce marché est intéressant, mais il tarde un peu à décoller. Enfin, pour les capteurs, les marchés sont un peu plus matures mais restent encore un peu petits. Nous couvrons vraiment tous les secteurs liés au quantique.

Selon vous, quel est l'intérêt des Stratégies Nationales d'Accélération, notamment en matière de quantique ?

Il est encore difficile de juger à ce stade. Nous sommes les premiers à en attendre le résultat. Si cette stratégie est efficace, nous aurons plus de sociétés dans lesquelles nous pourrions potentiellement investir !

Qu'est-ce qui motive un chercheur à faire des transferts de technologie ?

Je pense qu'il existe une motivation liée à la concurrence internationale. Pour certaines technologies, on observe qu'il y a 3 ou 4 endroits dans le monde

où elles vont naître à peu près simultanément, et donc quand un chercheur voit un de ses concurrents chercheurs créer une startup à partir des mêmes travaux, il y a une dynamique qui s'installe.

Ensuite, quand la startup fonctionne bien, ces chercheurs se retrouvent avec des budgets de R&D nettement supérieurs au budget de fonctionnement qu'ils connaissaient dans leurs labos. C'est très stimulant d'avoir beaucoup plus de moyens pour développer ce qui leur tient à cœur.

Le troisième aspect, c'est de pouvoir se dire que d'ici 5 ou 7 ans, grâce à leur startup, ils auront créé quelque chose qui pourrait avoir une utilité sociétale.

À quel niveau se situe la recherche française en matière de technologie quantique ?

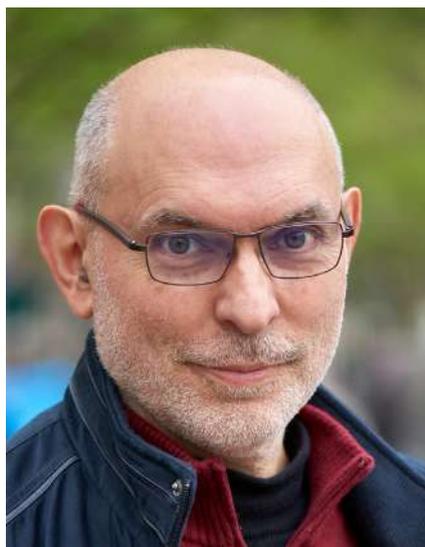
Si l'on compare les grandes zones géographiques du point de vue de leurs publications scientifiques, il y a à peu près autant d'articles publiés aux États-Unis qu'en Europe. Si nous voulons rivaliser avec des pays comme les États-Unis ou la Chine, la bonne échelle, c'est évidemment l'Europe.

Lorsque l'on se situe dans l'Europe des 27, il apparaît que trois pays sont en avance en matière de quantique, c'est l'Allemagne, les Pays-Bas et la France, auxquels on pourrait ajouter le Royaume-Uni, en dehors de l'UE 27.

La France dispose de laboratoires en pointe sur le quantique et plusieurs Prix Nobel en physique quantique. C'est l'un des pays phares en matière de recherche dans le monde sur ces technologies. La force de cet écosystème universitaire est également une force pour la création de startups.

CHERCHEURS, VOUS AVEZ UN SAVOIR-FAIRE : FAITES-LE SAVOIR !

Olivier EZRATTY, auteur du livre *Understanding Quantum Technologies*



Quels champs de recherche sont couverts par la Stratégie Nationale pour les Technologies Quantiques ?

Ils sont vastes. Les physiciens aiment en effet faire de la recherche libre, amont, sans se soucier de prime abord des cas d'usage, et qui ne se révèle utile qu'a posteriori : ils comptent sur la sérendipité du monde technologique pour cela ! Mais les budgets de l'État étant ce qu'ils sont, ajoutés à la volonté de créer de la valeur économique, il a fallu mettre en place un nécessaire fléchage de la recherche. Lequel s'est révélé en pratique relativement large. Dans le calcul quantique, la recherche fondamentale sur des technologies connues comme étant déjà des atouts des laboratoires français ont ainsi été surfinancées de façon à capitaliser sur cette excellence. De l'argent a aussi été mis dans des projets à TRL très bas, comme sur les électrons

volants. Les autres domaines concernent essentiellement les technologies de qubits – atomes silicium, supra...- et la recherche sur les logiciels et les algorithmes.

Dans ce large éventail constatez-vous l'absence de quelques secteurs ?

Il existe effectivement quelques trous dans la raquette liés au tropisme des labos de recherche. Si l'on prend justement le cas des algorithmes et des logiciels, la recherche menée reste très fondamentale, théorique et assez éloignée des usages et des besoins pratiques, au contraire d'autres pays comme l'Allemagne où la littérature scientifique récente s'avère beaucoup plus proche de la recherche appliquée. La conséquence est l'absence à la fois de création de start-ups spécialisées dans le logiciel en France et de compétences tant du côté des thésards que des ingénieurs.

À l'inverse, avons-nous des points forts, connaissons-nous des réussites significatives ?

Un autre pan de la Stratégie Nationale Quantique a abouti à des créations d'entreprises : les technologies dites « habilitantes », plutôt classiques mais qui jouent un rôle dans la montée en puissance des technologies quantiques, en particulier dans le calcul. Elles concernent les lasers, l'électronique de contrôle et la cryogénie. Dans le cadre de la SNA, nombre de projets de ce type ont

été financés, certains débouchant sur la création de start-ups ou l'expansion d'entreprises existantes.

Estimez-vous que la SNA atteint ses objectifs de leadership ?

L'idée était de positionner la France comme un état-phare des technologies quantiques : le 21 janvier 2021, Emmanuel Macron avait ainsi fixé comme objectif de placer la France dans le top 3, derrière la Chine et les USA. Nous ne sommes pas loin de l'avoir atteint sur quelques indicateurs. Si l'on prend ceux de la recherche – nombre de publications, brevets... -, notre pays est plus que moyen, aux alentours de la dixième place. En revanche, il se situe dans le top 5 en nombre de start-ups créées avec plus de 60 acteurs si l'on intègre les PME existantes, ce qui nous place au niveau de l'Allemagne alors qu'elle a un PIB supérieur de 40% au nôtre. Nous sommes également aux avant-postes dans le financement, quatre fois supérieur à celui d'outre-Rhin : 350 millions d'euros, toutes start-ups comprises, contre moins de 100.

Quelles illustrations pourriez-vous donner des atouts et de la qualité de l'écosystème français de la recherche ?

J'éviterais la traditionnelle image d'Épinal de son excellence. Pour avoir la chance de visiter nombre de pays, je peux en effet témoigner qu'il y a des gens excellents partout ! À mon sens, il se distingue par un mélange de TRL très bas utiles sur le long terme et sa maîtrise de

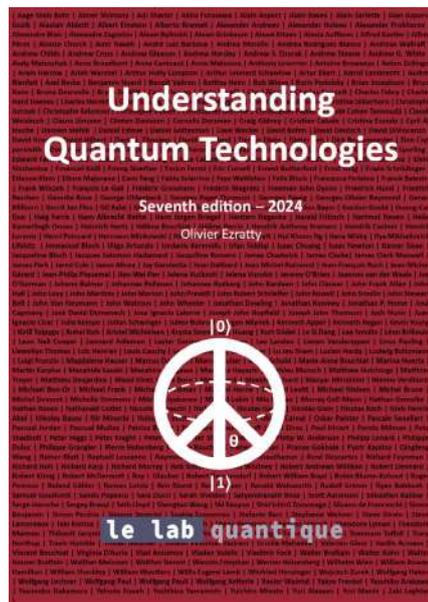


certaines domaines : citons le LKB de l'Ecole Normale Supérieure de Paris, le Collège de France et le hub IOGS (Institut d'Optique Graduate School) à Saclay sur les atomes froids, le C2N (Centre de nanosciences et de nanotechnologies) à Palaiseau sur la génération de photons uniques, l'écosystème de Grenoble autour du silicium et celui qui regroupe les Mines de Paris, INRIA, le CEA et l'ENS de Lyon sur la création des qubits de chat. Ajoutons-y un cinquième dans lequel nous nous distinguons mais manquons malheureusement de moyens car l'Europe n'y croit pas : les communications quantiques, avec notamment le LIP6, laboratoire sous tutelle de Sorbonne Université et du CNRS. Chaque région dispose de spécialités intéressantes comme la Nouvelle Aquitaine dans les lasers. Autre atout, la France abrite le premier fonds mondial dans le quantique, créé par un ingénieur et géré par un physicien, ancien thésard d'un prix Nobel quand la plupart des fonds le sont par des financiers. Nous bénéficions ainsi d'un pont unique entre le monde de l'investissement et celui de la recherche.

Quels sont les points faibles qui demeurent sur lesquels il est important de se concentrer ?

Il existe quelques obstacles. Ainsi, créer une start-up dans le quantique s'avère risqué car le marché ne germera que progressivement, d'ici une quinzaine d'années. Force est aussi de constater que la France est mauvaise au jeu des influences. Il suffit pour s'en rendre compte d'observer les invités aux conférences internationales dans lesquelles nous sommes trop souvent sous-représentés. Ceci semble dû à des lacunes en communication. En particulier, nous ne savons pas promouvoir la nouvelle

génération de chercheurs. Ils ne sont pas assez visibles. Il n'y a pas suffisamment de budget pour les envoyer à l'étranger. A l'inverse, d'autres pays, en particulier anglo-saxons, ont cette culture. Cet éternel problème du faire savoir et du savoir-faire et nos graves lacunes en matière de lobbying nous pénalisent énormément.



Idéalement, qu'attendez-vous des chercheurs de ces laboratoires ?

Commençons par une évidence : des résultats ! Il s'agit de faire progresser la science en élaborant de nouvelles théories, développant des protocoles expérimentaux, comprenant mieux la matière et les états quantiques. La recherche, ce sont aussi des éléments plus appliqués : la création d'algorithmes associés à des cas d'usages, les estimations de ressources, le benchmarking, faire progresser la théorie des langages et le génie logiciel, etc. Il est aussi nécessaire de limiter le fonctionnement en silos, qu'ils se tiennent au courant de ce qui se passe autour d'eux et se rendent mieux compte

de l'utilité potentielle de leurs recherches. Ils doivent travailler en écosystème en se connaissant mieux et en œuvrant en commun. Il faut aussi qu'ils se renseignent davantage sur ce qui se passe dans le monde autour de leurs sujets afin d'éviter les doublons et se différencier. Même si la France s'en sort correctement, il est également nécessaire de renforcer la collaboration internationale : la sérendipité est mondiale. Tout cela est lié : pour faire progresser la recherche, il faut qu'elle soit interconnectée, et pour cela, ses acteurs doivent accepter de communiquer et de se déplacer ! Les chercheurs doivent accomplir un gros effort sur ce point et se rendre plus visibles pour être invités dans les grands évènements internationaux.

Comment analysez-vous les choix des instances de décision ?

Elles ont également des progrès à faire. Elles doivent avoir le nez plus creux pour identifier les zones de progrès et d'investigation à privilégier. Pour prendre un exemple, personne en France ne croit en l'électronique de contrôle supraconductrice, à l'exception d'un chercheur à Chambéry qui travaille par conséquent... avec la IARPA1 et la DARPA2 aux Etats-Unis ! Or ce sujet est stratégique : s'il aboutit, il s'avérera un outil fondamental pour réaliser des ordinateurs de grande taille. Une seule entreprise au monde – américaine – est capable de le faire actuellement et moins d'une dizaine de laboratoires internationaux creusent le sujet. Il serait donc grand temps que la France s'y intéresse. Des lacunes que l'on retrouve aussi dans les logiciels ou les algorithmes. L'Hexagone n'est pas présent dans nombre de sujets sur lesquels il devrait l'être.

LES PARTENAIRES DU CONSORTIUM QUANTXIUM

Chef de file prématuration



Chef de file maturation



Contrats ANR
PRÉMATURATION : N° ANR-21-MATP-1401 | MATURATION : N° ANR-21-MATP-1402

QUANTXIUM, dispositif de soutien à la prématuration et maturation

Dans le cadre de France 2030, l'Etat a déployé 18 stratégies nationales d'accélération (SNA) avec un soutien fort pour la recherche et sa valorisation. Dédié aux thématiques des Technologies Quantiques, l'objectif est de positionner la France dans la course aux grands défis actuels sur le plan international, le dispositif QUANTXIUM propose de nouveaux soutiens financiers pour 2 phases spécifiques du développement de projets innovants : la prématuration et la maturation technologique.

Comment savoir si mon projet est éligible ?

Vous êtes chercheur, enseignant-chercheur, ingénieur d'un laboratoire, d'un établissement ou organisme membre de l'un des établissements partenaires : AxLR, CEA, Conectus, CNRS, Erganeo, Inria, Institut Polytechnique Paris, Linksium, Lutech, PSL, SATT Paris Saclay, SATT Sud-Est, Sayens, Sorbonne Université, Toulouse Tech Transfert, Université Côte d'Azur, Université Grenoble Alpes, Université de Paris Cité de Paris Cité, Université Paris Saclay.

PREMATURATION

TRL	TRL 1 à 3
DURÉE	Maximum 18 mois
BUDGET	Financement : 70% du montant total du budget Plafond : 80k € maximum

MATURATION

TRL	TRL 4 à 6
DURÉE	Maximum 36 mois
BUDGET	Financement : 50% du montant total du budget Plafond : 400k € maximum

Vous avez un projet de recherche portant sur l'une des thématiques suivantes :

CALCUL ET ALGORITHMES QUANTIQUES
SIMULATION QUANTIQUE
CAPTEURS ET METROLOGIE QUANTIQUE
COMMUNICATIONS QUANTIQUES

+ Les technologies habilitantes liées à ces thématiques

Comment candidater ?

Votre projet doit faire l'objet d'une décision de financement, en prématuration ou maturation, de votre établissement ou de la part de votre SATT ou SATT expérimentale, ou de votre structure de valorisation et cibler une des thématiques citées

Rapprochez vous du service de valorisation rattaché à votre laboratoire !

- 1 Obtention d'un financement de votre SATT partenaire
- 2 Préqualification auprès de la cellule dédiée du consortium
- 3 Soumission auprès de la cellule dédiée du consortium

Pour toute question, n'hésitez pas à nous solliciter:

PRÉMATURATION :

contact.premat-mat@cnrsinnovation.fr

MATURATION :

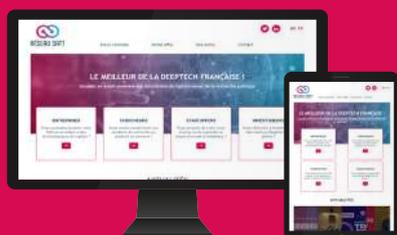
quantxium@axlr.com

**UNE QUESTION,
UNE DEMANDE,
UNE INFORMATION,
UN RENDEZ-VOUS...**

CONTACTS

PRÉMATURATION :
contact.premat-mat@cnsrinnovation.fr

MATURATION :
quantxium@axlr.com



**ACCEDEZ EN AVANT-PREMIERE
AUX INNOVATIONS DE RUPTURE**
issues de la recherche publique

Suivez l'actualité du Réseau SATT
www.satt.fr

