

A close-up photograph of a microchip mounted on a gold-colored printed circuit board (PCB). The chip is square with a colorful, iridescent surface. It is surrounded by several silver-colored surface-mount components and is held in place by a complex brass assembly with various connectors and screws. The word 'SOUTHWEST' is engraved on several parts of the brass assembly. The background is dark and out of focus.

DOSSIER THÉMATIQUE

LES TECHNOLOGIES QUANTIQUES AU CNRS

LES FORCES DE RECHERCHE CNRS EN TECHNOLOGIES QUANTIQUES

De la diode, du transistor ou du laser, jusqu'à l'imagerie médicale ou les transferts d'informations sécurisés... la physique quantique est à l'origine d'avancées technologiques inédites qui ont révolutionné notre vie quotidienne. Dans un contexte international de recherche et de développement industriel fortement concurrentiel, le CNRS représente l'atout français majeur pour répondre efficacement aux défis des technologies quantiques de demain et pour positionner la France au plus haut niveau de la compétition internationale.

Les fondements de la physique quantique ont été découverts au début du siècle dernier. Ces découvertes fondamentales ont notamment permis la compréhension des lois qui régissent à la fois la matière, la lumière et leurs interactions. Elles sont aujourd'hui à la base de technologies quantiques de rupture. Cette course aux fondements et aux applications quantiques a valu quatre prix Nobel de physique et quatre médailles d'or du CNRS à des chercheurs français au cours des 25 dernières années*.

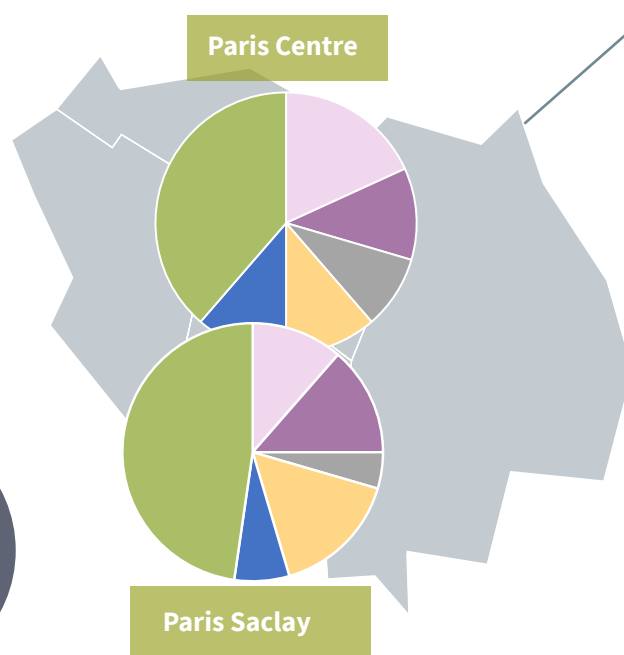
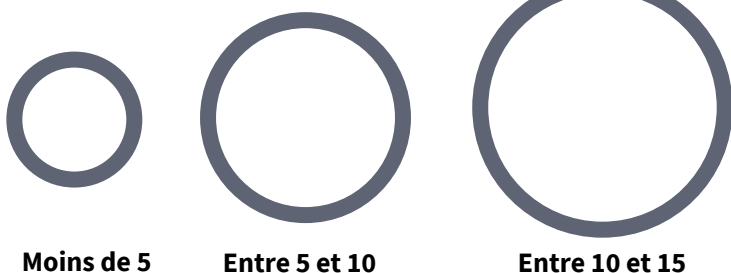
Grâce aux extraordinaires progrès expérimentaux réalisés au cours des dernières décennies, il est aujourd'hui possible d'observer des objets quantiques - photons, atomes ou ions - que l'on a appris à contrôler individuellement et collectivement. Les scientifiques peuvent ainsi les préparer et les manipuler en utilisant les concepts de superposition d'états quantiques et d'intrication. L'immense champ d'applications ainsi ouvert fait aujourd'hui de ce secteur l'un des plus prometteurs et concurrentiels, dans lequel le CNRS possède des atouts indéniables : un tissu de laboratoires qui maille le territoire national, une approche pluridisciplinaire qui allie recherche fondamentale, innovation et transfert technologique, une excellence qui fait référence mondialement. Cette excellence est fondée sur une recherche fondamentale extrêmement forte dans le domaine des sciences et technologies quantiques. L'approche transverse du CNRS permet aujourd'hui la mise en œuvre opérationnelle d'applications relevant de cas d'usage concrets, notamment au travers d'un véritable écosystème alliant recherche académique, start-up et grands groupes industriels.

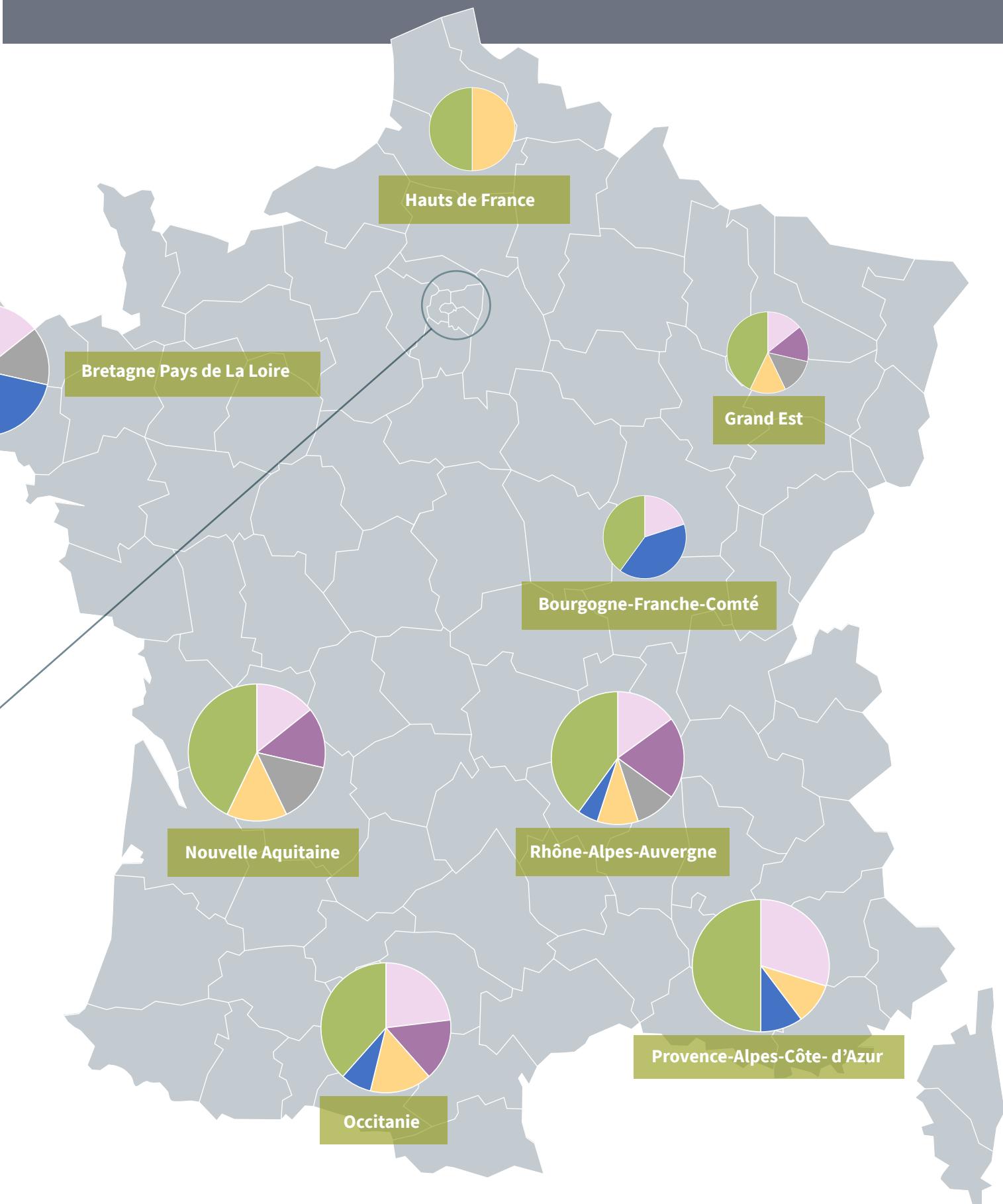
*Les prix Nobel de physique sont Claude Cohen-Tannoudji (1997), Albert Fert (2007), Serge Haroche (2012) et Alain Aspect (2022), qui ont développé respectivement le refroidissement et le piégeage d'atomes par laser, la spintronique, l'électrodynamique quantique en cavité et l'intrication quantique. Albert Fert, Alain Aspect et Serge Haroche avaient reçu la médaille d'or du CNRS en 2003, 2005 et en 2009. Alain Aspect est également membre du Conseil présidentiel de la science depuis fin 2023. Jean Dalibard a lui reçu la médaille d'or du CNRS pour ses travaux pionniers sur la matière quantique ultrafroide, en 2021.

Thématiques abordées :

- Communication quantique
- Calcul quantique hardware
- Calcul quantique software
- Simulation quantique
- Méetrologie et capteurs quantiques
- Sciences fondamentales

Nombre de laboratoires concernés par les technologies quantiques





NOS CHERCHEUSES ET CHERCHEURS À LA POINTE DE LA TECHNOLOGIE QUANTIQUE



« Les capteurs quantiques ouvrent des champs très variés d'application dans des domaines allant des géosciences à la santé. De par leurs propriétés fondamentales, les capteurs quantiques ont vocation à réaliser des références dans leur domaine respectif et à repousser les limites de performance. En complément des études fondamentales, leurs développements nécessitent par essence un échange constant entre les physiciens quantiques, les partenaires industriels amenés à s'emparer des défis technologiques et bien sûr les utilisateurs finaux qui ouvrent ainsi de nouveaux champs de connaissance. »

Arnaud Landragin, directeur de recherche CNRS, directeur du laboratoire SYRTE, lauréat de la médaille de l'innovation du CNRS en 2020

« De nombreux groupes, dont le nôtre, développent des techniques expérimentales pour fabriquer des systèmes quantiques synthétiques atome par atome. Grâce au contrôle que nous avons sur eux, nous étudions des problèmes ouverts tels que le magnétisme de certains matériaux, les propriétés de transports, etc. Plusieurs start-up (dont Pasqal) se sont lancées dans l'aventure et regardent aussi des problèmes d'intérêt industriel. En améliorant ces systèmes nous pourrions sans doute construire un jour un ordinateur quantique. »



Antoine Browaeys, directeur de recherche CNRS au laboratoire Charles Fabry, ERC Advanced Grant 2020, Médaille d'argent du CNRS 2021, co-fondateur de la start-up Pasqal



« Au Centre de nanosciences et de nanotechnologies (C2N), nous développons des composants semi-conducteurs émetteurs de photons uniques qui ont levé un verrou technologique essentiel pour le développement du calcul quantique optique et des réseaux de communications quantiques. La start-up Quandela valorise cette technologie en la commercialisant aux chercheurs et ingénieurs des technologies quantiques au niveau international. C'est cette expérience de l'interdisciplinarité et de l'intersectorialité qui m'a conduit à porter la création de Quantum - le centre pour les sciences et technologies quantiques de Paris Saclay. »

Pascale Senellart-Mardon, directrice de recherche CNRS au C2N, ERC Consolidator Grant 2011, Médaille d'argent du CNRS 2014, co-fondatrice et conseillère scientifique de Quandela et membre du Conseil présidentiel de la science depuis fin 2023

« Le Paris Centre for Quantum Technologies (PCQT) marque la seconde étape de la dynamique lancée en 2013 par la création d'une fédération de recherche CNRS parisienne. PCQT s'élargit thématiquement, en s'intéressant au spectre des technologies quantiques, et institutionnellement, en accueillant Inria, Sorbonne Université, Université de Paris et Université PSL. L'objectif est de fédérer les forces de recherche présentes à Paris sur le calcul, la communication, la cryptographie et les capteurs quantiques en développant leurs synergies dans le domaine de la formation ainsi que leurs relations avec les écosystèmes parisiens et régionaux d'innovation. »



Eleni Diamanti, directrice de recherche CNRS au LIP6, ERC Starting Grant 2017, directrice adjointe du PCQT, Médaille d'argent du CNRS 2024 et co-fondatrice de la start-up Welinq



« La France et Singapour sont des nations fortes en sciences quantiques. En particulier, depuis la création du premier centre de technologies quantiques (CQT) au monde, Singapour n'a cessé de soutenir le déploiement des technologies quantiques par des programmes ambitieux. La France a une tradition d'excellence dans le domaine et soutient un réseau dense de centres quantiques grâce à sa récente stratégie d'accélération, aussi bien sur le territoire national qu'à l'international, dont MajuLab fait partie. Fonctionnant comme un canal quantique entre la France et Singapour, cet IRL représente un lieu idéal pour développer des projets au carrefour de la physique et de l'information et pour favoriser les boucles courtes entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée. »

Alexia Auffèves, directrice d'unité de l'IRL MajuLab à Singapour

POLITIQUE SCIENTIFIQUE

Le CNRS, engagé dans le Flagship Quantique lancé en 2018 dans le contexte du programme-cadre H2020, est un acteur majeur de la structuration européenne autour des trois grands piliers des technologies quantiques : calcul et simulation quantique, communication quantique, métrologie et capteurs quantiques. Le CNRS, dont les recherches couvrent l'ensemble de ces domaines, figure parmi les trois organismes scientifiques* qui pilotent la stratégie nationale d'accélération des technologies quantiques lancée en janvier 2021. L'objectif : organiser les forces industrielles et de recherche académique pour faire de la France un acteur majeur des technologies quantiques.

* CNRS, CEA, Inria

UNE POLITIQUE COLLABORATIVE D'ANTICIPATION

Le CNRS contribue avec ses partenaires (autres organismes et universités) à bâtir un maillage sur l'ensemble du territoire, anticipant l'effort de structuration des forces de recherche dans le domaine des technologies quantiques. Son approche, transverse, permet aujourd'hui la mise en œuvre opérationnelle d'applications, notamment au travers d'un véritable écosystème alliant recherche académique, start-up et grands groupes industriels, favorable aux synergies entre le tissu académique et les filières industrielles civiles et militaires les plus prometteuses. Cette approche permet de :

- soutenir la recherche, que celle-ci soit amont ou déjà bien ancrée dans les piliers des technologies quantiques,
- de garantir 1) l'émergence de nouveaux concepts, 2) la chaîne de valorisation, 3) la création de nouvelles start-up, et 4) l'intérêt des grands groupes industriels pour l'intégration, la mise en œuvre d'applications et la définition de cas d'usage.

Prise dans son ensemble, cette stratégie a pour objectif de contribuer efficacement à la souveraineté nationale, et plus largement européenne, en matière de technologies quantiques.

LES AXES THÉMATIQUES DES TECHNOLOGIES QUANTIQUES

Traiter l'information plus efficacement

L'ordinateur quantique, qui nécessite encore des efforts à moyen et long termes, vise la mise en œuvre d'architectures matérielles ultra-performantes, reposant sur la génération, la manipulation et la lecture de registres composés d'un grand nombre de qubits, unité logique d'information quantique. Ceci permet

de réaliser des calculs massivement parallèles, présentant donc une efficacité accrue par rapport aux solutions classiques existantes. Toutefois, définir un champ d'applications à ce type d'ordinateur nécessite d'écrire en même temps les algorithmes de calcul quantique appropriés. 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. L'ordinateur quantique suscite des efforts de recherche considérables aussi bien dans le milieu académique qu'au sein de grands groupes industriels de l'informatique et d'Internet tels Google, IBM, Intel, Microsoft, ou ATOS, qui y investissent des moyens très importants. Plusieurs start-up françaises se positionnent également sur ce secteur (ex. : Quandela avec des photons, Pasqal avec des atomes et Alice&Bob avec des circuits supra-conducteurs).

Communiquer l'information de manière ultra-sécurisée

La communication de l'information classique permet aujourd'hui de véhiculer et router l'information à très haut débit et sur des distances quasi illimitées, mais reste faillible en matière de sécurisation des données. Or, cet aspect, intervenant dans de très nombreux domaines civils et militaires, représente un enjeu stratégique. Aujourd'hui, les protocoles utilisés pour le chiffrement/déchiffrement des données utilisent des clés publiques de plus en plus longues, à mesure qu'augmente la puissance des ordinateurs (classiques) capables de les casser. Contrairement aux systèmes standards, 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. Certaines villes bénéficient d'un réseau local de cryptographie quan-

tique permanent (Tokyo, Vienne, etc.). En France, Nice Côte d'Azur développe actuellement son réseau, un lien Paris-Saclay/Paris-Centre est en cours de développement et la société Quandela commercialise des sources de photons uniques.

Des capteurs ultra-sensibles pour des mesures aux précisions inégalées

Les états quantiques sont très sensibles à l'environnement. Cette sensibilité permet de mettre au point des capteurs d'une grande précision, le plus souvent construits sur la base d'interféromètres (atomiques, photoniques). Par exemple, les accéléromètres et gyromètres à atomes froids sont fondés sur l'interférométrie atomique. Lorsqu'ils sont embarqués dans un système en mouvement (navire, avion, etc.), ils sont capables de mesurer avec une grande précision l'accélération ou la rotation du système et constituent ainsi des appareils de grande fiabilité. D'autres systèmes existent et couvrent divers champs d'application : gravimètres à atomes froids, horloges atomiques, ou encore les magnétomètres à base de centres colorés dans le diamant, capables de cartographier les champs avec une sensibilité et une précision inégalables et très prometteurs pour la biologie cellulaire. Certains de ces capteurs ont déjà débouchés sur des applications concrètes et au transfert industriel, comme c'est le cas notamment pour les senseurs inertiels à atomes froids avec la société bordelaise Muquans. Ces instruments quantiques sont continuellement rendus plus compacts, passant tour à tour de la démonstration de laboratoire de type preuve-de-concept à l'intégration de prototypes.



© Cohérence quantique - Cyril FRESILLON/CNRS Photothèque/Institut Néel du CNRS

LES RECHERCHES « AMONT » AUX TECHNOLOGIES QUANTIQUES

Ces recherches, qu'elles soient théoriques et/ou expérimentales, visent une mise en application dans les 5 à 10 années à venir. Une bonne partie relève de la matière condensée, ou plus généralement de la matière quantique ou topologique, via la micro et la nano-structuration des matériaux. Il en découle des propriétés quantiques nouvelles, voir exotiques, qui permettent d'envisager de nouvelles fonctionnalités dans les domaines du transport électronique, de la spintronique, des interfaces lumière-matière, etc., en vue d'applications futures dans l'ensemble des piliers des technologies quantiques. Une autre grande part des recherches concerne la théorie des machines NISQ, conçues sur un maillage d'atomes froids, d'ions piégés ou de circuits supraconducteurs faits de jonction Josephson.

ANIMATION SCIENTIFIQUE CNRS

Les moyens d'animer les communautés autour des technologies quantiques et de favoriser l'interdisciplinarité reposent sur la structuration en Groupements de recherche (GDR), en réseau, et sur des plateformes technologiques.

LES GROUPEMENTS DE RECHERCHE (GDR)

Le GDR est une structure du CNRS qui met en réseau et fédère une communauté scientifique et/ou de R&D, autour d'une thématique.

GDR Technologies Quantiques (TeQ)

TeQ rassemble la communauté scientifique française dont les thèmes de recherche couvrent tous les aspects des technologies quantiques, de la physique à l'informatique, en passant par les mathématiques et la chimie. Ses sujets englobent tous les supports physiques de l'information quantique et combinent des développements théoriques et expérimentaux couvrant l'ensemble du domaine, depuis les aspects très exploratoires jusqu'à l'ingénierie des technologies les plus matures.

**1000 CHERCHEURS
ET CHERCHEUSES**
100 LABORATOIRES

GDR Gaz quantiques

Les scientifiques rassemblés au sein du GDR Gaz quantiques s'appuient sur des développements expérimentaux et théoriques, pour aborder des questions d'ordre fondamental ou appliqué autour de la problématique du refroidissement par laser ou par évaporation des atomes.

**220 CHERCHEURS
ET CHERCHEUSES**
28 LABORATOIRES

GDR Physique Quantique Mésoscopique (MESO)

Les thèmes d'activité portent sur le transport électronique cohérent dans les conducteurs de toutes dimensionnalités et nature (systèmes hybrides, isolants topologiques, graphène, supraconducteurs, etc.). Les évolutions récentes portent sur la manipulation des états quantiques dans de tels systèmes, ainsi que sur leur comportement à haute fréquence.

**350 CHERCHEURS
ET CHERCHEUSES**
36 LABORATOIRES

GDR Optomécanique et nanomécanique quantique (MECAQ)

Le GDR MecaQ vise à rassembler la communauté française dont les activités de recherche sont liées à la nanomécanique et à l'optomécanique, notamment dans le régime où les fluctuations quantiques jouent un rôle important. La métrologie, les mesures ultrasensibles ou l'information quantique font partie des sujets de recherche abordés.

**120 CHERCHEURS
ET CHERCHEUSES**
32 LABORATOIRES

LABEX RÉSEAU NATIONAL FIRST-TF Réseau pour la Recherche, l'Innovation, la Formation, les Services et le Transfert en Temps-Fréquence

Il aide à la coordination de la communauté T/F française et à assurer des recouvrements constructifs et complémentaires avec les stratégies des universités et établissements hébergeant les laboratoires (nœuds du réseau) et celles des organismes nationaux (CNRS, LNE, CNES, DGA).

24 LABORATOIRES
28 ENTREPRISES
3 AGENCES TECHNIQUES
**5 AUTRES STRUCTURES AUTOUR DES 5
LABORATOIRES FONDATEURS : SYRTE,
FEMTO-ST, LPL, UTINAM, GEOAZUR.**

PLATEFORME TECHNOLOGIQUE INSTITUTIONNELLE CNRS RENATECH +

RENATECH est un réseau de grandes centrales de technologie qui a pour objectif d'offrir à l'ensemble de la communauté académique et industrielle, des moyens de micro et nano fabrication, souples d'accès et d'utilisation dont les performances se situent au meilleur niveau international.

LE PLAN QUANTIQUE NATIONAL

Le Plan Quantique national annoncé par le Président Emmanuel Macron le 21 janvier 2021, s'appuie en partie sur le rapport Forteza*, remis au gouvernement en janvier 2020, qui confirmait l'excellence de la recherche française mais aussi le retard du pays en termes d'investissements, notamment pour le transfert vers l'industrie. Ce rapport a proposé 37 mesures visant à définir une stratégie nationale ambitieuse, dont plusieurs ont été reprises, dans le domaine des technologies quantiques.



« Le quantique fait partie des quelques clés du futur que la France doit avoir en main », indique Emmanuel Macron lors de la présentation du Plan Quantique le 21 janvier 2021 au C2N, Centre de nanosciences et nanotechnologies. © Élysée - capture d'écran - CNRS Info

UN PLAN AMBITIEUX

Le Plan Quantique national prévoit des actions en faveur de la recherche, l'industrie et la formation, financées par le PIA4 et le plan « France relance », à hauteur de 1,8 milliard d'euros. Cet effort de R&D intensif dans les trois grands piliers des technologies quantiques - le calcul et la simulation quantiques (matériel et logiciel), la communication quantique et la métrologie, et les capteurs quantiques - doit permettre d'identifier les pistes technologiques susceptibles d'aboutir à un marché dans les cinq ans à venir.

Ce Plan se veut à la hauteur des nombreux enjeux stratégiques du secteur « quantique » et le fondement d'une stratégie d'accélération dans la structuration des forces françaises du domaine et des technologies dites « habilitantes » nécessaire à la mise en œuvre

des futurs systèmes quantiques (ex. : matériaux de pointe, cryogénie). Les technologies quantiques relèvent aujourd'hui pour l'essentiel de la recherche fondamentale, d'où la désignation par l'État des trois organismes, CNRS, CEA et Inria, pour établir cette stratégie.

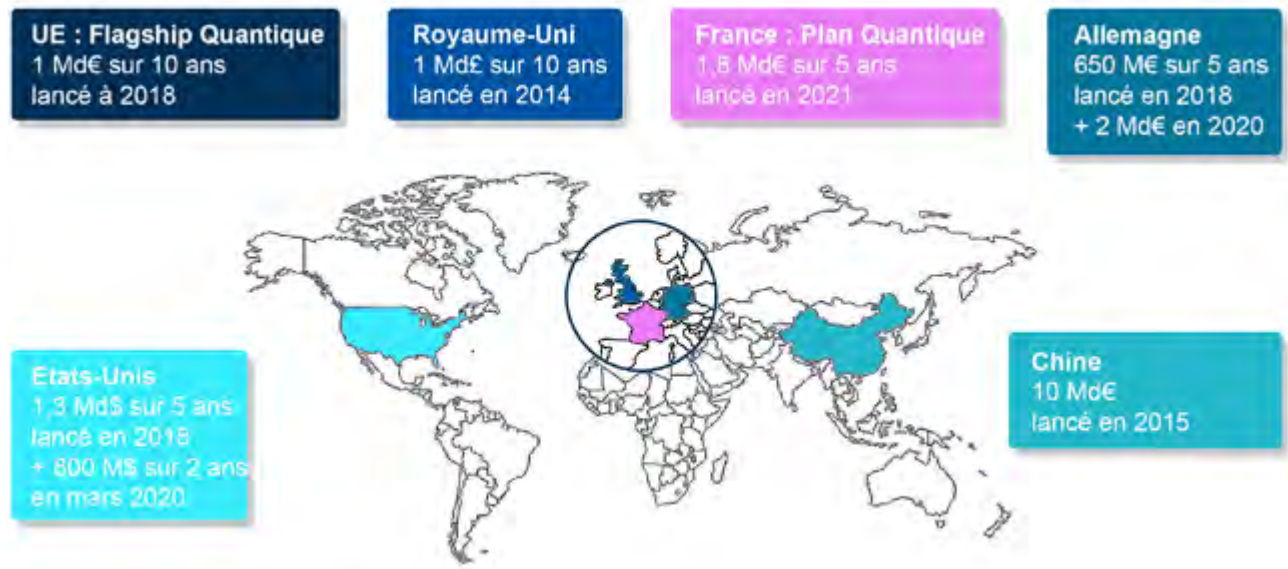
ASSURER LA SOUVERAINETÉ NATIONALE

Le Plan vise ainsi à assurer la souveraineté nationale notamment face aux États-Unis et à la Chine, qui investissent massivement, et aux géants du numérique, tels que Google ou IBM, dont les efforts de recherche se multiplient, avec des résultats majeurs et des budgets alloués conséquents.

*Le rapport « Quantique : le virage technologique que la France ne ratera pas », rendu par la députée Paula Forteza, le chercheur Iordanis Kerenidis (CNRS) et l'ancien PDG de Safran, Jean-Paul Herteman, au Premier ministre Édouard Philippe en janvier 2020.

LE PLAN QUANTIQUE, AMBITIEUX ET ATTENDU

Quelques investissements gouvernementaux dans les technologies quantiques autour du globe



© CNRS - Sources : sites gouvernementaux, rapport Forteza et Olivier Ezratty



Salle blanche dans laquelle sont fabriquées les puces destinées à recevoir les nanotubes de carbone. Ils seront ensuite intégrés dans un processeur utilisé pour développer un ordinateur quantique.

© Hubert RAGUET/C12 Quantum Electronics/LPENS/CNRS Photothèque

INNOVATION

Le CNRS a fait du transfert de connaissances vers les entreprises et vers la société, et de la portée économique de ce transfert, l'un de ses axes prioritaires. L'écosystème dédié à la valorisation et à l'innovation mis en place par l'organisme s'avère bénéfique dans le domaine des technologies quantiques, et plusieurs start-up sont déjà positionnées sur ce secteur porteur.

La valorisation des recherches sur la physique quantique conduites dans les laboratoires du CNRS et de ses partenaires se traduit en premier lieu par une forte croissance du nombre de familles de brevets co-déposés ces cinq dernières années.

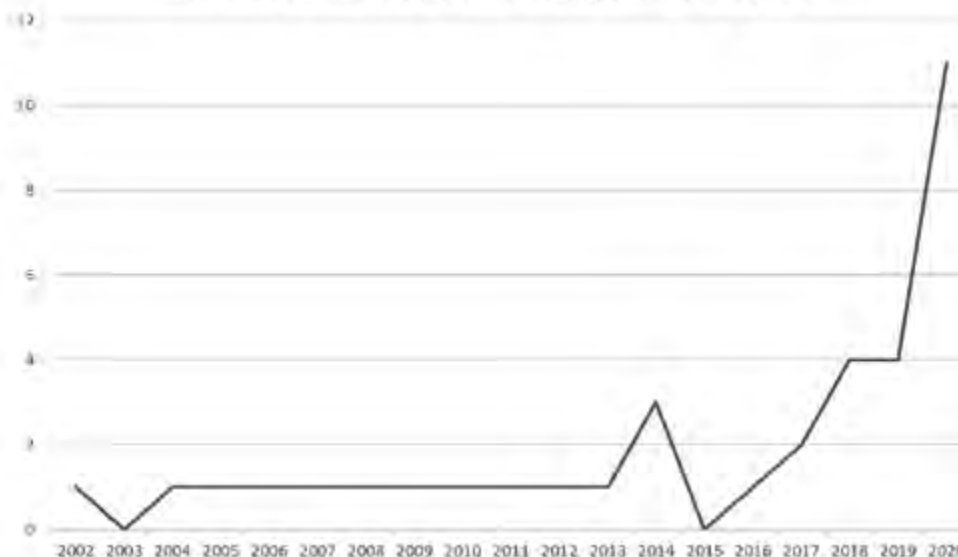
Elle mène également à la création de start-up innovantes, positionnées sur des aspects variés de cet enjeu majeur. Citées dans les pages suivantes, elles illustrent la diversité des recherches menées dans ce domaine. Quatre de ces start-up ont bénéficié du programme RISE d'accompagnement à la création d'entreprise du CNRS.

Entre 2016 et 2020, près d'un million d'euros ont été investis dans le programme de prématuration du CNRS, qui a pour but de détecter et de soutenir les projets de recherche porteurs des innovations les plus prometteuses, dans le domaine du quantique. Ce programme, qui a déjà financé une dizaine de projets dans ce secteur, devrait ainsi permettre l'émergence d'autres innovations au cours des prochaines années.

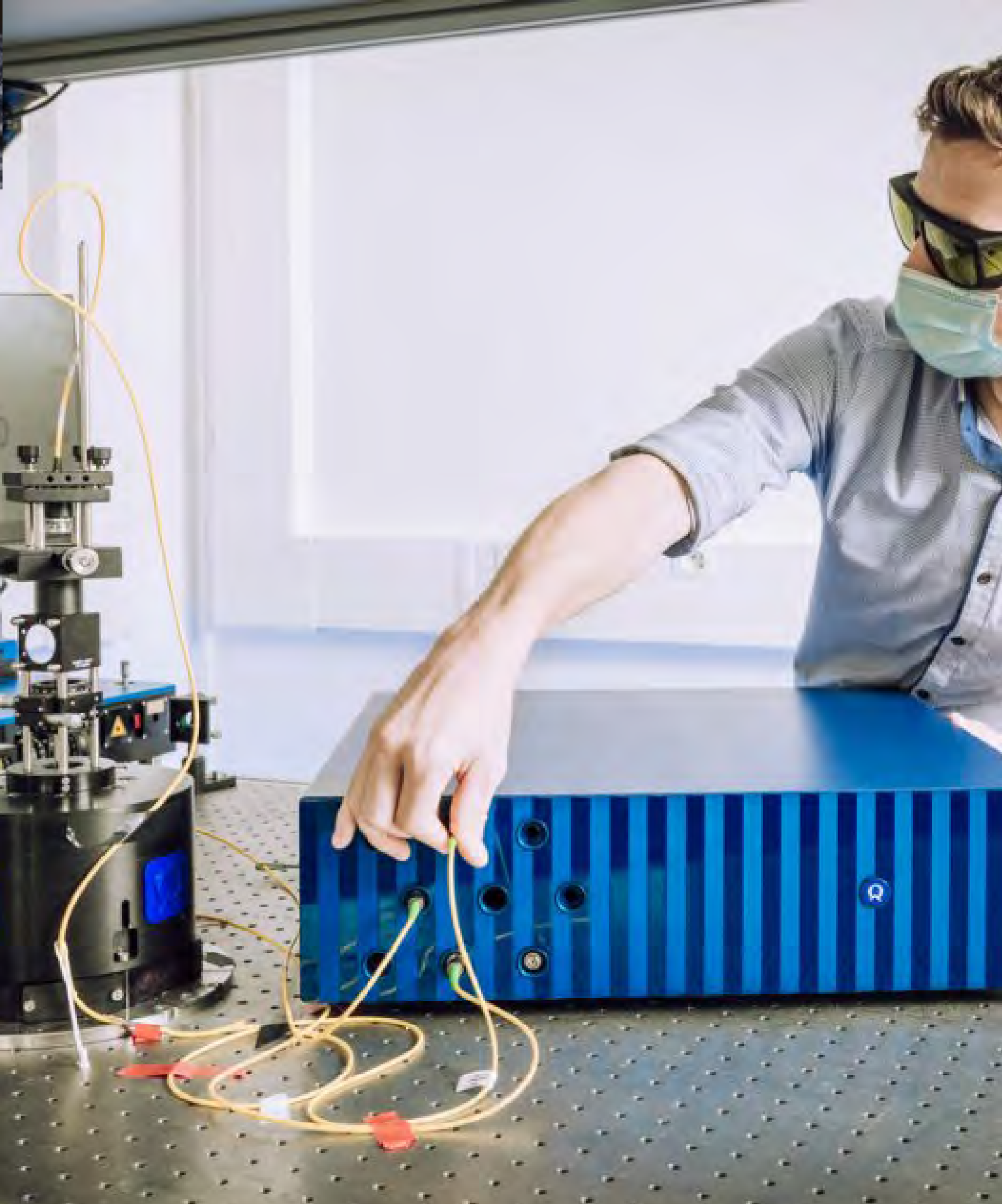


Installation d'une puce supraconductrice dans son porte échantillon (circuit imprimé) et vérification de l'alignement des connecteurs. Ce prototype de puce Cat-Qubits est mis au point par la start-up Alice&Bob . © Hubert RAGUET / Alice&Bob / LPENS / CNRS Photothèque

Nombre de familles de brevets co-déposés par le CNRS



Au total, plus de trente brevets ont été déposés depuis 2002.



La fibre optique tenue en main par l'expérimentateur véhicule des photons uniques (qubits photoniques) issus d'une source semi-conductrice (boîte quantique, non visible) placée dans le cryostat noir à gauche de la photo. Ces photons uniques sont collectés par le biais d'un microscope confocal positionné au-dessus de la chambre du cryostat. Puis les photons uniques sont filtrés en séparant le laser qui a servi pour l'excitation optique de la source. Cette étape est réalisée dans la boîte bleue baptisée QFiber qui sert d'interface entre le laser d'excitation, la source de photons dans le cryostat et le reste de l'expérience. La start-up Quandela, fondée en 2017 par Valérien Giesz, Niccolò Somaschi et Pascale Senellart (directrice de recherche CNRS), travaille sur ces qubits photoniques. Cette approche permet une exploitation simultanée de dizaines de qubits. Le qubit est l'unité de stockage de l'information qui indique la force de calcul des ordinateurs quantiques. La start-up fabrique des sources à base de boîtes quantiques d'une centaine d'atomes, qui sont miniaturisées et stabilisées.

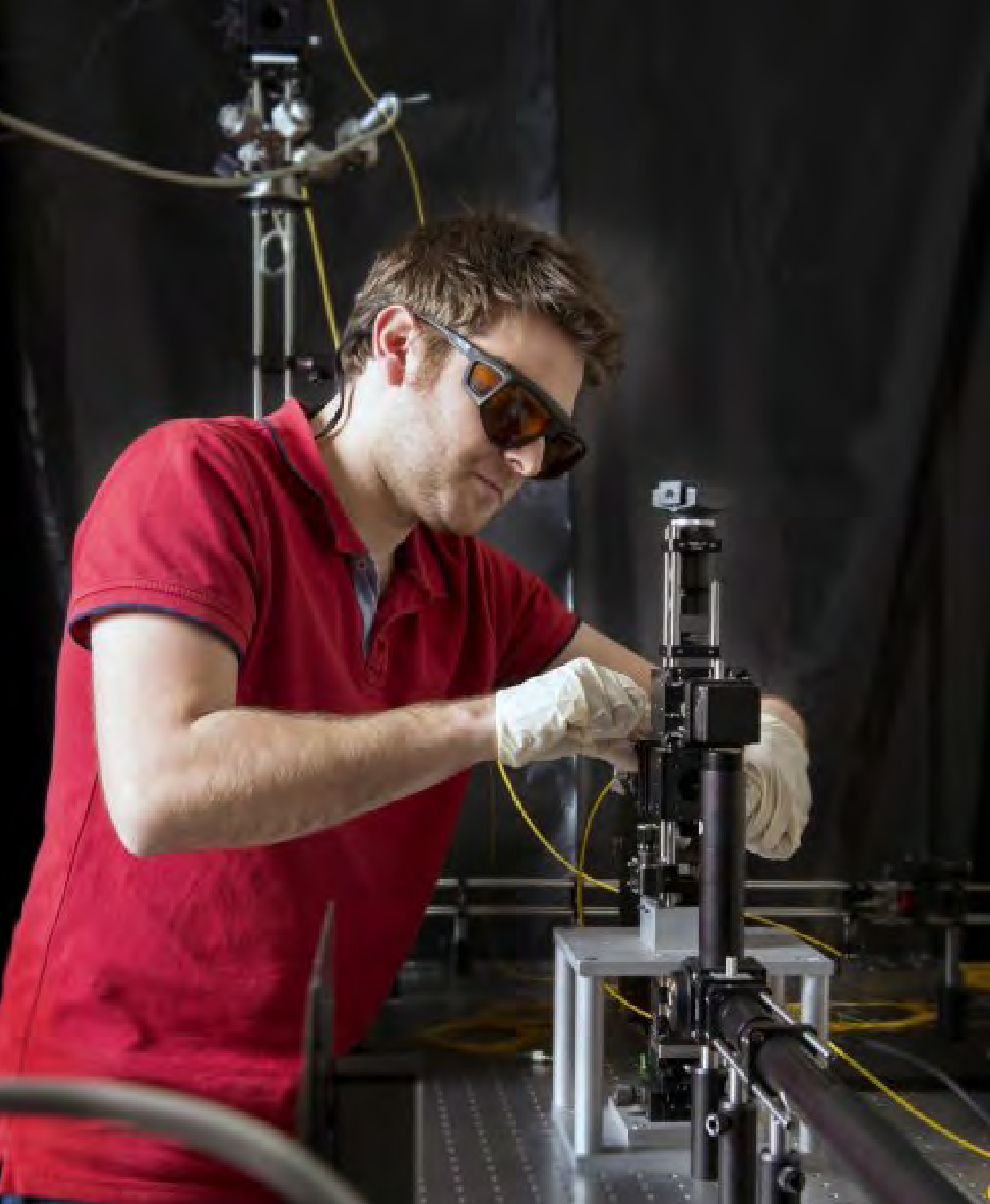
	<p>QEC : QUANTUM ERROR CORRECTION</p> <p>La start-up Alice&Bob, fondée en 2020 et issue des travaux du Laboratoire de physique de l'École Normale Supérieure, fabrique des qubits de type chat (en référence au fameux matou mort et vivant à la fois) qui bénéficient d'un système de rétroaction corrigeant en partie les erreurs. Elle vise la conception du tout premier qubit logique avec autocorrection des erreurs.</p>
	<p>LES NANOTUBES DE CARBONE AU SERVICE DU QUANTIQUE</p> <p>La start-up C12 Quantum Electronics, fondée en 2020 et issue des travaux du Laboratoire de physique de l'École Normale Supérieure, fait tourner des spin qubits dans des nanotubes de carbone suspendus, un matériau dont l'interface minimale avec l'environnement extérieur réduit drastiquement le taux d'échec. Elle a ainsi pour objectif de concevoir les premières machines quantiques à base de nanotubes de carbone.</p>
	<p>LE QUANTIQUE PAR ANALOGIE</p> <p>La start-up Pasqal, fondée en 2019 et issue du Laboratoire Charles Fabry, s'est spécialisée dans l'agencement de simulateurs quantiques basés sur des atomes refroidis par laser.</p>
	<p>LA PHOTONIQUE AU SERVICE DU QUANTIQUE</p> <p>La start-up Quandela, fondée en 2015 et valorisant les travaux du Centre de nanosciences et de nanotechnologies, parie sur les qubits photoniques en employant des boîtes quantiques d'une centaine d'atomes, qu'elle miniaturise et stabilise davantage. Elle a pour objectif de produire le premier ordinateur quantique à base de circuits photoniques.</p>
	<p>SIMPLIFIER POUR GAGNER EN RAPIDITÉ</p> <p>La start-up QuBit Pharmaceuticals, fondée en 2019 et issue des travaux du Laboratoire de chimie théorique, a optimisé des algorithmes de calcul haute performance afin de gagner plusieurs ordres de grandeur en rapidité et fiabilité. Ces algorithmes doivent permettre de concevoir des molécules <i>in silico</i> diminuant la prise de risque en phase préclinique.</p>
	<p>CALCUL QUANTIQUE</p> <p>La start-up Quobly, fondée en 2022, est le fruit d'un travail commun entre le CNRS et le CEA pour le développement d'une technologie de qubits de spin en silicium. L'idée principale est de transformer les transistors classiques en bits quantiques de qualité.</p>
	<p>PRÉPARER LE POST-QUANTIQUE</p> <p>La start-up Cryptonext, fondée en 2019 et issue d'une collaboration entre le LIP6 et Inria, est l'une des pionnières du déploiement de la cryptographie post-quantique, et a pour but d'assurer la transition vers une cryptographie qui résiste aux assauts des ordinateurs quantiques.</p>
	<p>ACCÉLÉRER LA COMMUNICATION QUANTIQUE</p> <p>La start-up VeriQloud, fondée en 2017 et valorisant les travaux du LIP6, accélère la puissance des réseaux de communication quantiques en travaillant sur des applications, des logiciels et des architectures, destinés au futur de l'informatique quantique.</p>

	<p>UN COPROCESSEUR OPTIQUE POUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE</p> <p>La start-up LightOn, fondée en 2016 par trois chercheurs en physique de l'Institut Langevin, du Laboratoire de physique statistique et du Laboratoire Kastler Brossel, a développé un coprocesseur optique qui permet d'accélérer l'apprentissage automatique dans l'informatique quantique.</p>
	<p>DÉCOUVRIR DES NOUVELLES MOLÉCULES AVEC DEEP PHYSICS ET L'IA</p> <p>La start-up Aqemia, fondée en 2019 à l'École Normale Supérieure, est le fruit de huit années de recherche académique sur une théorie de la mécanique quantique et statistique calculant les énergies libres. Ces recherches lui permettent d'utiliser le <i>machine learning</i> et des algorithmes inspirés de la mécanique quantique pour inventer des molécules innovantes.</p>
	<p>COMPTER LES PHOTONS POUR DÉTECTER LA LUMIÈRE</p> <p>La start-up AUREA Technology, issue de l'Institut FEMTO-ST et fondée en 2010, propose des modules de comptage de photons dotés d'un haut rendement quantique permettant de détecter de très faibles niveaux de lumière.</p>
	<p>INTERCONNEXION DE PROCESSEURS QUANTIQUES</p> <p>La start-up Welinq, fondée début 2022, développe une technologie à base de mémoires et répéteurs quantiques à base d'atomes froids dans le but de connecter des ordinateurs quantiques entre eux afin d'en démultiplier la puissance de calcul. Cela permettrait de produire des mémoires quantiques très performantes.</p>



Réacteur dans lequel sont synthétisés les nanotubes de carbone à partir de méthane et grâce à un catalyseur. Ils seront ensuite intégrés dans un processeur utilisé pour développer un ordinateur quantique.

© Hubert RAGUET/C12 Quantum Electronics/LPENS/CNRS Photothèque



Alignement des différents éléments optiques d'un microscope confocal. Il est utilisé pour analyser la statistique de clignotement d'une boîte quantique, un nanocrystal de semi-conducteur. Sa petite taille lui confère des propriétés optiques directement liées à un effet quantique dû au confinement des charges. Lorsqu'elle est excitée en continu par un laser, la boîte quantique a la propriété atypique de clignoter. L'analyse statistique des périodes allumées et éteintes permet de mieux comprendre ce phénomène physique.

© Cyril FRESILLON/ILM/CNRS Photothèque

LISTES DES LABORATOIRES CITÉS DANS LE DOSSIER

Centre de nanoscience et de nanotechnologies (C2N, CNRS/Université Paris Saclay)

GéoAzur (IRD/Observatoire de la Côte d'Azur/CNRS)

Institut Franche-Comté électronique, mécanique, thermique et optique - sciences et technologies
(FEMTO-ST, CNRS/COMUE UBFC)

Institut Langevin (CNRS/ESPCI Paris)

Institut Néel (CNRS)

Laboratoire Charles Fabry (LCF, CNRS/IOGS/Université Paris Saclay)

Laboratoire de chimie théorique (LCT, CNRS/Sorbonne Université)

Laboratoire de physique des lasers (LPL, CNRS/Université Sorbonne Paris Nord)

Laboratoire de physique de l'ENS (LPENS, CNRS/ENS-PSL/Sorbonne Université/Université de Paris)

LIP6 (CNRS/Sorbonne Université)

Laboratoire Kastler Brossel (LKB, CNRS/Sorbonne Université/ENS-PSL/Collège de France)

Laboratoire système de référence temps-espace (SYRTE, CNRS/Sorbonne Université/Observatoire
de Paris-PSL/Laboratoire de métrologie et d'essais)

CNRS

CNRS Physique
3, rue Michel-Ange 75016 Paris
www.physique.cnrs.fr

Réalisation et mise en page : CNRS Physique
Communication
Impression : CNRS DR1 IFSEM secteur de l'imprimé
Juin 2021 - Mise à jour mai 2024

Photo de couverture :
Prototype de puce Cat-Qubits mise au point par la start-up Alice&Bob qui développe un ordinateur quantique à Qubits à auto-correction (appelé Cat-Qubits). Alice&Bob a été cofondée en février 2020 par Théau Peronnin, président, issu du Laboratoire de physique de l'ENS Lyon et Raphaël Lescanne, directeur technique, issu du Laboratoire de physique de l'ENS Paris.

© Hubert RAGUET/Alice&Bob/LPENS/CNRS Photothèque

