CIFAR

UNE RÉVOLUTION QUANTIQUE :

RAPPORT SUR LES POLITIQUES MONDIALES EN MATIÈRE DE TECHNOLOGIES QUANTIQUES

AUTEURS : JOHNNY KUNG, PH.D., ET MURIAM FANCY

AVRIL 2021

À PROPOS DU CIFAR

Le CIFAR est une organisation de recherche mondiale basée au Canada qui rassemble de brillants cerveaux pour trouver réponse aux plus grandes questions auxquelles font face la science et l'humanité.

En soutenant la collaboration interdisciplinaire de longue durée, le CIFAR offre aux chercheurs un environnement incomparable centré sur la confiance, la transparence et le partage des connaissances. Notre modèle éprouvé inspire de nouvelles orientations de recherche, accélère la découverte et donne lieu à des percées par-delà les frontières et les disciplines universitaires. Grâce à la mobilisation du savoir, nous sommes des catalyseurs du changement au sein de l'industrie, du gouvernement et de la société. La communauté des membres du CIFAR est forte de 20 lauréats d'un prix Nobel et de plus de 400 chercheurs de 20 pays. En 2017, le gouvernement du Canada a chargé le CIFAR de formuler et de diriger la Stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle, première stratégie nationale en matière d'IA au monde.

Le CIFAR reçoit l'appui des gouvernements du Canada, de l'Alberta, de l'Ontario et du Québec, ainsi que d'organisations internationales partenaires, de donateurs individuels, de fondations et d'entreprises.

TABLE DES MATIÈRES

4 Introduction

5 Résultats clés

6 Technologies quantiques : Un aperçu

10 Approches globales à l'appui des technologies quantiques

23 Se préparer aux répercussions sociétales des technologies quantiques

25 Conclusion et perspectives

26 Annexe

© CIFAR, 2021.
Tous droits réservés. Il est interdit de reproduire, de distribuer ou de transmettre sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, y compris par capture d'écran, enregistrement ou autres méthodes électroniques ou mécaniques, toute partie de ce matériel sans l'autorisation écrite préalable de l'éditeur, sauf dans le cas de brèves citations figurant dans des critiques.

INTRODUCTION

Un siècle de recherche sur les phénomènes étranges du monde quantique a donné naissance à des technologies qui sont au cœur de la société moderne : lasers, imagerie par résonance magnétique, horloges atomiques (donc, GPS), électronique à semiconducteurs (donc, ordinateurs). Le contrôle et la manipulation des systèmes quantiques s'améliorent sans cesse, ce qui prépare le terrain à ce que les physiciens Jonathan Dowling et Gerard Milburn ont appelé, dans un article publié en 2003, la deuxième révolution quantique (« 2nd Quantum Revolution »).

La possibilité excitante de technologies comme un réseau sûr et inviolable ou des ordinateurs qui sont des milliards de fois plus rapides que les superordinateurs actuels, ainsi que leur impact sur l'économie et la société, a poussé les gouvernements et l'industrie à consacrer des milliards de dollars à la recherche et au développement pour tenter d'ouvrir une nouvelle ère. Certains pays privilégient depuis longtemps un soutien généreux à la recherche dans les universités et les instituts nationaux, tandis que d'autres ont tenté de mobiliser l'industrie locale ou les géants technologiques multinationaux; certains gouvernements ont formulé des stratégies nationales pour coordonner une approche pangouvernementale à la création d'un écosystème quantique, tandis que d'autres ont jusqu'à présent partagé la responsabilité (et le financement) entre des organismes gouvernementaux voués à la science, à la défense ou aux télécommunications.

Le CIFAR appuie la recherche dans ce domaine scientifique important depuis plus de trente ans; il finance des programmes de recherche interdisciplinaire sur les matériaux quantiques depuis 1987 et sur l'informatique quantique depuis 2002. Le présent rapport offre un aperçu des trois principaux domaines des technologies quantiques, puis met en évidence les mesures stratégiques adoptées par différents pays pour appuyer la R et D quantique. L'intention n'est pas d'évaluer les différentes approches nationales ou, à ce stade, de tenter d'établir des liens de causalité entre les politiques et l'état actuel de développement des technologies quantiques dans les divers pays. Le document cherche plutôt à donner un aperçu du paysage mondial des politiques en rapide évolution et de fournir aux décideurs politiques un document de référence et une boîte à outils de mesures éventuelles pour orienter le développement de ce domaine dans leur propre pays.

RÉSULTATS CLÉS

En janvier 2021, dix-sept pays possèdent une forme quelconque d'initiative ou de stratégie nationale à l'appui de la R et D dans le domaine des technologies quantiques; trois disposent de stratégies qui en sont à divers stades de développement. Douze autres pays ont d'importantes initiatives financées ou approuvées par le gouvernement. Quatorze pays européens et des pays avoisinants qui ne disposent pas de leur propre programme national participent à un certain nombre d'initiatives à l'échelle européenne.

Les stratégies quantiques nationales comptent en général deux objectifs stratégiques principaux : réunir les parties prenantes du monde universitaire et de l'industrie pour la R et D, et faciliter la transposition de la recherche en applications. Souvent, les stratégies mettent aussi l'accent sur le développement du capital humain.

De manière générale, les stratégies quantiques nationales prévoient quatre mesures stratégiques : la création de centres d'excellence ou de pôles d'innovation, des appels à propositions ou des concours ciblés, le financement direct de projets spéciaux d'importance nationale et la mobilisation d'investissements publics ou de capital-risque au profit des entreprises en démarrage.

De nombreuses stratégies nationales affirment soutenir les trois principaux domaines des technologies quantiques (détection, communication, informatique), mais à court terme, elles mettent clairement l'accent sur le développement des technologies de communication quantique. Certaines se sont aussi fixé les objectifs explicites à moyen terme (d'ici 2030 ou avant) de construire un ordinateur quantique pratique et de formuler des cas d'utilisation qui contribueront à créer un marché pour ces technologies.

Certains gouvernements reconnaissent explicitement dans leurs politiques nationales la nécessité de commencer à examiner les répercussions éthiques, sociales, juridiques et économiques des technologies quantiques, notamment l'impact sur la cybersécurité et le système financier mondial, le risque de monopolisation par certains pays ou multinationales, et les questions de respect de la vie privée et d'équité.

TECHNOLOGIES QUANTIQUES
UN APERÇU

La naissance de la mécanique quantique au tournant du XXe siècle nous a permis de comprendre le comportement souvent contre-intuitif du monde atomique et subatomique :

- la lumière et la matière peuvent exister à la fois sous forme d'ondes et de particules (*dualité onde-particule*)
- il y a certains ensembles de propriétés physiques (comme la position et la quantité de mouvement) qu'il est impossible de déterminer avec une précision absolue (*principe d'incertitude*)
- un système quantique peut exister en tant que combinaison de deux états distincts ou plus jusqu'à ce qu'il soit mesuré (ou interagisse avec l'environnement), auquel cas il s'« effondrerait » dans un état spécifique (*superposition*)
- deux particules ou plus peuvent interagir de manière à ce que leurs états quantiques soient corrélés et le demeurent quelle que soit la distance qui les sépare, si bien que la mesure d'un état spécifique d'une particule détermine instantanément l'état de l'autre particule (*intrication*)
- une particule peut traverser une barrière autrement infranchissable pour atteindre un lieu ou un état énergétique différent (*effet tunnel*)

Au cours des dernières décennies, notre capacité à comprendre et à manipuler ces phénomènes quantiques a permis le développement de diverses technologies, telles que les systèmes de communication et les ordinateurs quantiques, qui promettent de procurer des avantages économiques et sociétaux considérables, ainsi que d'engendrer des répercussions majeures sur la sécurité.

De manière générale, la recherche et les investissements réalisés par l'industrie et les gouvernements sont axés sur trois domaines technologiques de la 2e révolution quantique :

DÉTECTION ET MÉTROLOGIE QUANTIQUES

Grâce à leurs propriétés, notamment de superposition et d'intrication, ainsi qu'à leur sensibilité exquise à l'environnement extérieur, il est possible d'exploiter les systèmes quantiques (aussi petits que des atomes individuels) afin de concevoir de nouveaux types de capteurs pour réaliser des mesures très sensibles, précises et exactes. Ces systèmes peuvent détecter ou mesurer diverses propriétés comme le temps (nouvelles horloges atomiques plus précises), la gravité (en génie civil, exploitation minière ou séismologie), l'accélération (p. ex., systèmes de navigation résistants au piratage du GPS) et les champs magnétiques (p. ex., inspection des circuits électroniques). À titre d'exemple de la transposition de technologies de détection quantique en applications commerciales, citons le projet SPLICE soutenu par le National Quantum Technologies Programme (NQTP) (Programme national des technologies quantiques) du Royaume-Uni, dans le cadre duquel un consortium réunissant le secteur universitaire et l'industrie (dont les géants de l'énergie National Grid et BP) met au point des caméras pour surveiller les fuites de gaz à effet de serre.

COMMUNICATIONS QUANTIQUES

Les progrès en matière de technologies quantiques auront un impact majeur sur les télécommunications et la cybersécurité. La cryptographie moderne repose souvent sur des systèmes qui échangent des « clés » de sécurité pour décrypter des données sécurisées. Pour briser ces clés, il faut avoir recours à une opération mathématique de factorisation et, pour des nombres suffisamment importants, un ordinateur classique ne pourrait trouver la solution dans un délai raisonnable. Cependant, la vitesse que permettent les ordinateurs quantiques (voir ci-dessous) pourrait vaincre les systèmes actuels de chiffrement à clé publique. Les scientifiques créent déjà des systèmes de *distribution quantique de clés* (DQC) où les clés de chiffrement sont partagées sous forme de particules quantiques. Vu la sensibilité des systèmes quantiques, il est impossible de copier ou de « cloner » les clés, car les parties qui partagent des données sécurisées pourraient détecter tout accès aux clés ou toute modification de celles-ci par d'éventuels pirates informatiques. (Il convient de noter que certaines parties prenantes comme la National Security Agency des États-Unis recommandent de ne pas mettre l'accent sur la DQC et de privilégier plutôt la mise au point d'algorithmes cryptographiques « résistants aux attaques quantiques ».) Il est possible de protéger davantage les communications quantiques grâce à la *téléportation quantique* où deux particules intriquées placées à des endroits différents transmettent de l'information (dans ce cas-ci, l'état quantique d'une troisième particule interagissant avec l'une des deux particules intriquées) sans qu'aucune information directe sur cette troisième particule ne passe par ces deux endroits.

La communication quantique est actuellement limitée par le fait que les signaux circulant sur un réseau, tel que les câbles à fibres optiques, subissent des pertes sur de longues distances. Dans les réseaux classiques, il est possible de renforcer le signal à l'aide d'un amplificateur, mais la propriété de « non-clonage » qui sécurise l'information quantique empêche le recours à cette méthode. Il serait possible d'utiliser des appareils appelés « nœuds de confiance » à divers endroits du réseau pour recevoir puis réencoder l'information, mais cela introduirait des points de vulnérabilité éventuellement non sécurisés. Pour mener à bien un réseau quantique à grande échelle, il faudra probablement utiliser des satellites (les signaux transmis dans l'espace

subissent moins de pertes) et réaliser des percées dans la conception de *répéteurs quantiques* permettant une intrication de bout en bout.

L'Europe, les États-Unis et la Chine, entre autres pays, investissent massivement dans la mise au point de réseaux protégés par la DQC. Depuis 2017, la Chine exploite un réseau à fibres optiques entre Pékin et Shanghai (connectés par des nœuds de confiance) sur lequel sont transmises des transactions bancaires et, cette même année, le satellite chinois Micius a transmis un appel vidéo à sécurité quantique entre Pékin et Vienne. En Europe, la Quantum Internet Alliance, l'un des programmes Quantum Flagship de l'Union européenne (UE), travaille au développement du matériel, des logiciels et des cas d'utilisation d'un réseau quantique paneuropéen.

INFORMATIQUE QUANTIQUE

Parmi les différentes technologies quantiques, celle qui a peut-être suscité le plus d'attention est l'ordinateur quantique. Alors que les ordinateurs classiques fonctionnent avec des signaux électroniques qui représentent des bits d'information ayant une valeur de 1 ou 0, les ordinateurs quantiques fonctionnent avec des « bits quantiques » ou *qubits* qui peuvent représenter simultanément 1 et 0, en raison de la superposition quantique. En théorie, cela permet d'effectuer des calculs avec une vitesse exponentiellement plus rapide que les ordinateurs classiques. Parmi les tâches de calcul que les ordinateurs quantiques pourraient effectuer incroyablement plus rapidement, citons la factorisation (avec des répercussions sur la cryptographie et la cybersécurité, comme il est mentionné ci-dessus), la fonction de recherche, l'optimisation et la simulation.

L'un des objectifs souvent évoqués dans le développement des ordinateurs quantiques est la réalisation de la *suprématie quantique* — lorsqu'un ordinateur quantique pourra résoudre un problème qu'un ordinateur classique est incapable de résoudre dans un délai raisonnable. En 2019, Google a annoncé avoir atteint la suprématie quantique grâce à un ordinateur quantique de 53 qubits qui a effectué en 200 secondes un calcul qui, selon la société, aurait pris des milliers d'années à un ordinateur classique. Même s'il s'agissait d'un calcul très spécifique et d'une pertinence limitée en dehors d'un cadre expérimental, et malgré la prétention de son concurrent IBM qu'un superordinateur classique pourrait effectuer le calcul en quelques jours, ce développement a néanmoins permis d'attirer davantage l'attention du public sur la possibilité de la suprématie quantique. En décembre 2020, une équipe dirigée par le Centre d'excellence en informatique quantique et en physique quantique de l'Académie chinoise des sciences a publié des résultats portant sur un ordinateur quantique qui a réalisé en 200 secondes un calcul qui aurait pris 2,5 milliards d'années à un superordinateur. Bien que de nombreux experts du domaine estiment que cette démonstration est convaincante, l'ordinateur en question est non programmable — en d'autres termes, il ne peut effectuer que cette seule tâche à moins que des modifications soient apportées au matériel, et non seulement au logiciel.

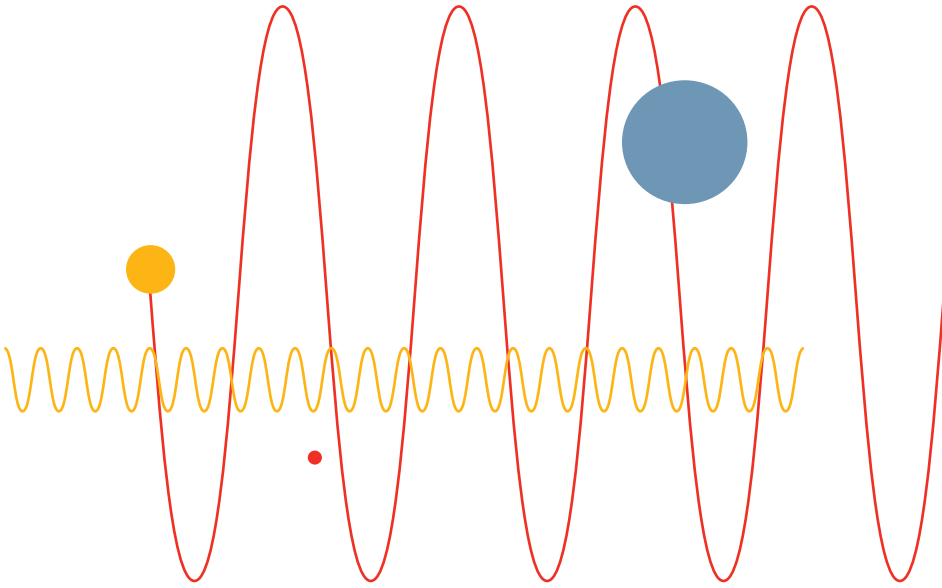
Cependant, même sans atteindre la suprématie quantique, de nombreux chercheurs et technologues pensent que l'*avantage quantique* (où un ordinateur quantique ne fait qu'accroître considérablement la vitesse de calcul par rapport aux ordinateurs classiques) pourrait suffire à justifier l'intérêt commercial des ordinateurs quantiques. Selon les prévisions, dans les prochaines années, nous aurons à notre disposition des appareils « quantiques bruyants de taille intermédiaire » (noisy intermediate scale quantum, NISQ) (d'une centaine de qubits) pour commencer à explorer les possibilités offertes par les ordinateurs quantiques, et des sociétés comme IBM espèrent lancer des machines de plus de 1000 qubits vers le milieu de la présente décennie. Toutefois, le plein potentiel des ordinateurs quantiques ne se réalisera probablement pas avant la mise en œuvre de la *correction d'erreurs quantiques* pour contrecarrer le bruit et les erreurs causés par la fragilité des systèmes quantiques.

Les possibilités d'applications technologiques des qubits sont nombreuses et, comme le développement des ordinateurs quantiques n'en est qu'à ses balbutiements, on ignore encore lesquelles verront le jour. La technologie à base de qubits la plus avancée a recours aux *supraconducteurs*, un type de matériau dans lequel le courant électrique circule sans résistance; dans un tel système, chaque qubit est un petit circuit supraconducteur. Google et IBM mettent l'accent sur les qubits supraconducteurs

et, en septembre 2020, le gouvernement britannique a annoncé le financement d'une initiative de 10 millions de livres sterling en collaboration avec la société Rigetti, basée à Berkeley, pour construire le premier ordinateur quantique commercial du pays à base de qubits supraconducteurs. Les qubits supraconducteurs présentent les inconvénients éventuels suivants : ils sont de relativement grande taille, ils maintiennent leur état quantique pendant une durée relativement courte (de l'ordre de dix millièmes de seconde ou moins) et doivent être réfrigérés à une température proche du zéro absolu. D'autres sociétés comme Honeywell et IonQ du Maryland (financée en partie par un fonds d'investissement souverain des Émirats arabes unis) se concentrent sur les systèmes à *ions piégés* où les qubits sont des atomes chargés électriquement (ions) qui sont refroidis et « piégés » par des lasers pour maintenir la superposition. Le programme Quantum Flagship de l'UE finance le projet AQTION visant à construire « un ordinateur quantique à ions piégés pour l'Europe ».

Une autre méthode consiste à utiliser des qubits en exploitant le *spin* (une propriété intrinsèque des particules qui, en gros, dicte leur comportement magnétique) d'électrons individuels dans le silicium, le même élément qui compose les circuits des ordinateurs classiques d'aujourd'hui. Cette méthode pourrait donc permettre une meilleure intégration avec l'architecture et les processus de fabrication des puces informatiques existantes. Intel investit dans des ordinateurs quantiques à base de qubits de spin de silicium (en plus des qubits supraconducteurs), tandis que Silicon Quantum Computing, qui appartient en partie au gouvernement australien, collabore avec le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives de France pour concevoir un ordinateur quantique à base de silicium. Parmi les autres technologies, mentionnons les ordinateurs quantiques *photoniques* qui utilisent des photons (particules de lumière) plutôt que des électrons comme porteurs d'information, tels que les systèmes en développement de Xanadu, basé à Toronto, et de PsiQuantum, basé à Palo Alto (ainsi que l'ordinateur quantique chinois de l'Académie chinoise des sciences qui revendique la suprématie quantique); et les ordinateurs quantiques basés sur un type de supraconducteurs exotiques appelés *matériaux topologiques*, auxquels s'intéresse Microsoft.

Depuis le début des années 2010, la société D-Wave Systems de Colombie-Britannique commercialise une gamme d'ordinateurs quantiques à base de supraconducteurs dotés d'un mécanisme radicalement différent. Alors que les systèmes mentionnés ci-dessus utilisent des circuits à base de portes logiques comme dans les ordinateurs classiques, les ordinateurs de D-Wave font appel au *recuit quantique* qui simule essentiellement les problèmes de calcul comme des « paysages énergétiques » et tire parti de l'effet tunnel pour trouver des solutions optimales. Il n'est pas universellement admis que les recuits quantiques puissent atteindre la suprématie quantique pour certains calculs, en particulier les types de problèmes de factorisation qui posent des défis à la cryptographie classique, mais ils pourraient tout de même accroître de façon utile la vitesse de calcul pour d'autres applications.



APPROCHES GLOBALES À L'APPUI DES TECHNOLOGIES QUANTIQUES

À l'instar d'autres technologies émergentes comme l'intelligence artificielle (IA), les technologies quantiques présentent des possibilités majeures pour toute une gamme d'applications, qu'il s'agisse des soins de santé, des services bancaires, des télécommunications, de la sécurité nationale ou de l'armée. Des pays du monde entier ont reconnu les possibilités liées aux technologies quantiques, et de grands États comme la Chine, la Russie et les États-Unis se livrent une course pour mettre au point ces technologies.

Cette course s'explique en partie par des raisons économiques — selon une estimation, le marché émergent des ordinateurs quantiques pourrait, à lui seul, valoir plus de 800 millions de dollars américains d'ici 2024. Les pays sont très motivés, tant sur le plan géopolitique qu'économique, à s'investir dans le développement des technologies qui sont au cœur de cette nouvelle économie quantique, comme ils l'ont fait pour les secteurs de la technologie numérique ou de la biotechnologie à la fin du XXe siècle et au début du XXIe siècle. Les répercussions importantes des technologies quantiques sur la sécurité suscitent également l'intérêt des gouvernements dans ce domaine. Un ordinateur quantique pleinement fonctionnel pourrait permettre à un pays ou à un acteur non étatique de briser n'importe quelle clé de chiffrement publique, ce qui lui permettrait d'accéder à des données protégées par les technologies actuelles et de les modifier. L'avènement des technologies quantiques nous obligera à repenser la sécurité des informations et des données.

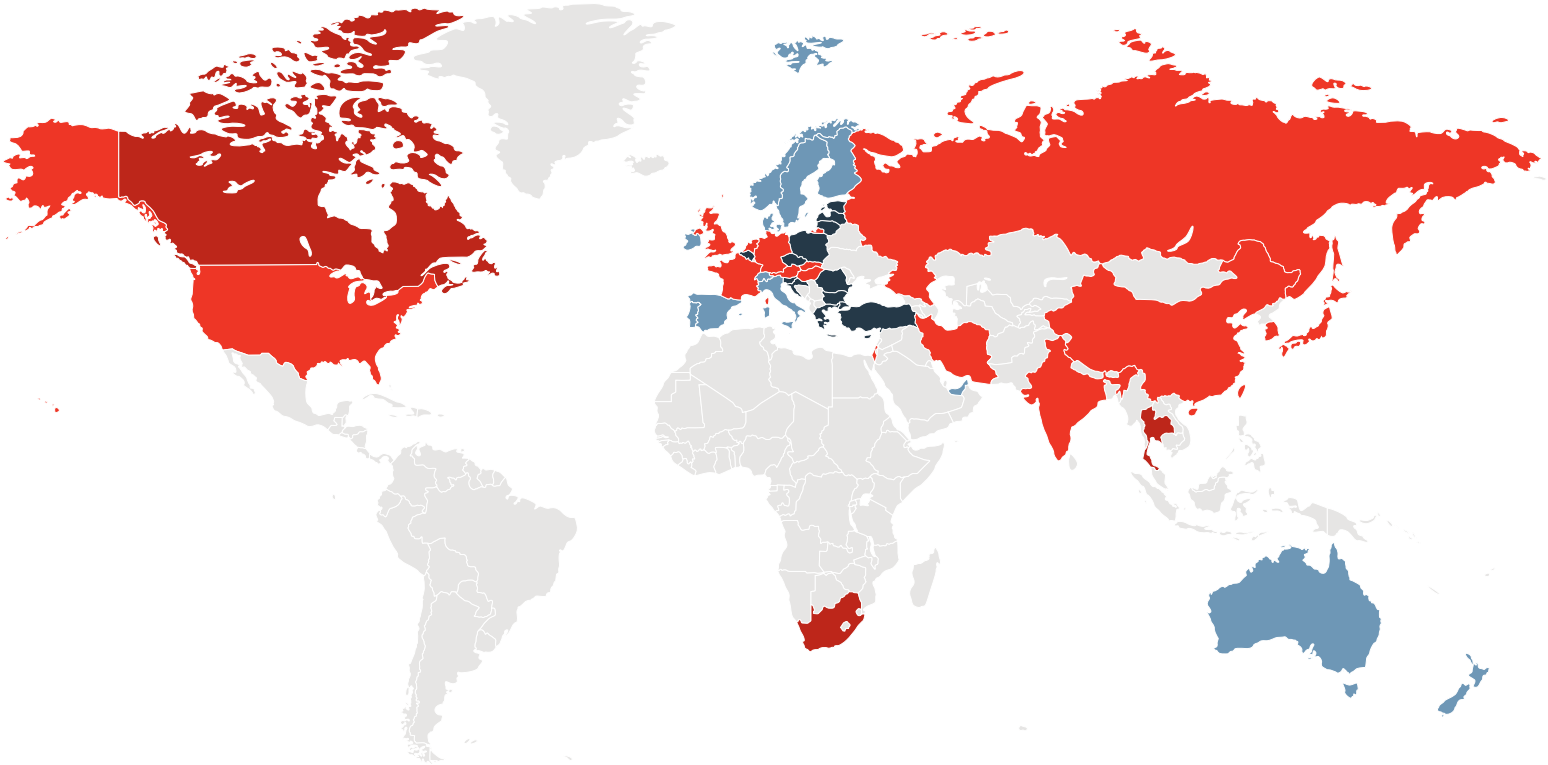
Dans cette section, nous présentons un aperçu des différents aspects des politiques ou stratégies nationales visant à soutenir la recherche et le développement dans le domaine des technologies quantiques, y compris les types de financement et les mesures stratégiques.

TYPES DE STRATÉGIES

À l'échelle mondiale, on peut classer les initiatives nationales en matière de R et D sur les technologies quantiques en trois grandes catégories : les pays qui disposent d'une stratégie nationale coordonnée (y compris ceux dont les stratégies sont en cours d'élaboration); les pays qui n'ont pas de stratégie coordonnée, mais qui disposent d'un financement ou de programmes gouvernementaux majeurs; et les pays qui participent principalement par l'entremise de partenariats internationaux.
(Voir les tableaux 1 et 2, les figures 1 et 2 et l'annexe)

FIGURE 1

Paysage mondial des politiques de R et D en matière de technologies quantiques.



- Pays disposant d'une stratégie quantique nationale coordonnée
- Pays dont les stratégies sont en voie d'élaboration
- Pays sans stratégie nationale, mais disposant d'importantes initiatives dirigées ou appuyées par le gouvernement
- Pays sans initiatives majeures, mais qui participent à des partenariats internationaux

TABLEAU 1

Liste de pays classés par type d'initiatives en matière de R et D sur les technologies quantiques.

PAYS DISPOSANT D'UNE STRATÉGIE QUANTIQUE NATIONALE COORDONNÉE

- Allemagne
- Autriche
- Chine
- Corée du Sud
- États-Unis
- France
- Hongrie
- Inde
- Iran
- Israël
- Japon
- Pays-Bas
- Royaume-Uni
- Russie
- Singapour
- Slovaquie
- Taïwan

PAYS DONT LES STRATÉGIES SONT EN VOIE D'ÉLABORATION

- Afrique du Sud
- Canada
- Thaïlande

PAYS SANS STRATÉGIE NATIONALE, MAIS DISPOSANT D'IMPORTANTES INITIATIVES DIRIGÉES OU APPUYÉES PAR LE GOUVERNEMENT

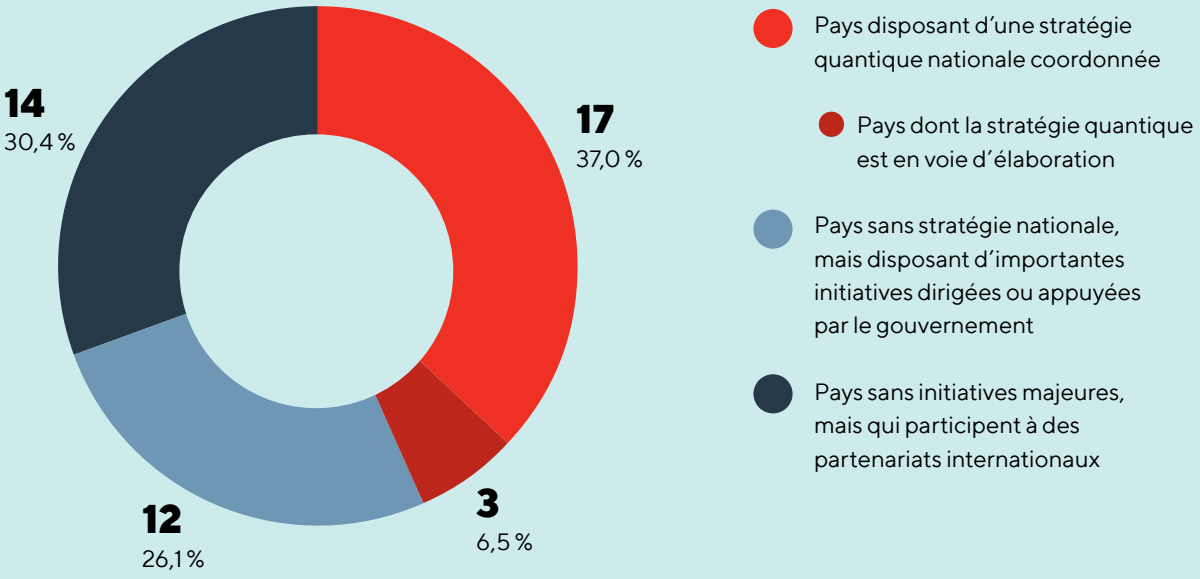
- Australie
- Danemark
- Émirats arabes unis
- Espagne
- Finlande
- Irlande
- Italie
- Norvège
- Nouvelle-Zélande
- Portugal
- Suède
- Suisse

PAYS SANS INITIATIVES MAJEURES, MAIS QUI PARTICIPENT À DES PARTENARIATS INTERNATIONAUX

- Belgique
- Bulgarie
- Chypre
- Croatie
- Estonie
- Grèce
- Lettonie
- Lituanie
- Malte
- Pologne
- République tchèque
- Roumanie
- Slovénie
- Turquie

FIGURE 2

Proportion des pays par type de politiques relatives à la R et D sur les technologies quantiques.



Voici la situation en janvier 2021 : dix-sept pays, dont les États-Unis, la Chine, la Russie et le Royaume-Uni, disposent d'une forme d'initiative ou de stratégie nationale à l'appui de la R et D sur les technologies quantiques. Trois autres pays, dont le Canada, ont des stratégies qui en sont à divers stades d'élaboration. Dans douze autres pays comme le Danemark, l'Espagne et les Émirats arabes unis (ainsi que le Canada), le gouvernement et des fondations à but non lucratif ont consacré beaucoup de ressources à la recherche ou au développement technologique dans le domaine des technologies quantiques. Bien qu'il ne s'agisse pas de stratégies nationales coordonnées ni pleinement étoffées, elles ont néanmoins une portée nationale en appuyant, par exemple, des initiatives de recherche universitaire à travers le pays. Dans deux de ces pays (Australie et Suisse), les organismes scientifiques nationaux ont donné des conseils à leurs gouvernements en 2020 sur la nécessité d'établir une stratégie quantique nationale.

Des pays européens et des pays avoisinants, dont quatorze qui ne disposent pas de stratégie quantique nationale ni de programme national d'importance, participent à un certain nombre d'initiatives européennes liées au domaine quantique. La plus importante d'entre elles est le programme Quantum Flagship de l'Union européenne, doté d'un budget d'un milliard d'euros, qui constitue actuellement le plus important cadre de financement international à l'appui des technologies quantiques et qui rassemble des parties prenantes du secteur public, des universités et de l'industrie de 32 pays de l'UE et d'ailleurs. Le cadre actuel de financement de la recherche de l'UE soutient d'autres projets liés aux technologies quantiques, notamment QuantERA (un consortium d'organismes subventionnaires de la recherche de 27 pays qui coordonne un financement international et interdisciplinaire) et OpenQKD (un consortium d'entreprises, d'universités et d'instituts nationaux de treize pays dont l'objectif est de faire avancer la technologie de distribution quantique de clés).

TABLEAU 2

Stratégies et initiatives de R et D en matière de technologies quantiques dans une sélection de pays dotés de mesures stratégiques exhaustives.

VOIR L'ANNEXE POUR LA LISTE COMPLÈTE ET LES DÉTAILS (P. 26)

PAYS (*Y COMPRIS L'UNION EUROPÉENNE)	STRATÉGIE NATIONALE	PRINCIPALES INITIATIVES OU MESURES STRATÉGIQUES EN MATIÈRE DE R ET D DANS LE DOMAINE QUANTIQUE (DEPUIS 2015, SAUF INDICATION CONTRAIRE; MONTANTS EN DOLLARS AUX TAUX DE CONVERSION DE JANVIER 2021)
Allemagne	Technologies quantiques — De la recherche fondamentale au marché (2018)	• 2 G€ (2,4 G$ US) pour soutenir la recherche sur les technologies quantiques dans la reprise post-COVID • Propositions relatives au cadre quantique : ◦ Centre d'excellence sur les technologies quantiques ◦ Appels à propositions de projets de collaboration industrie-universités ◦ « Groupes de recherche junior » pour former les futurs cadres dans le domaine des technologies quantiques ◦ Grand défi en communication quantique ◦ Jusqu'à trois grappes d'excellence en informatique quantique • Sept grappes d'excellence actuelles de la Fondation allemande pour la recherche, axées sur la recherche quantique; Alliance quantique des centres de recherche • QuNET : plateforme centrale de communication quantique sécurisée • Collaboration Fraunhofer-Gesellschaft - IBM pour la construction du premier ordinateur quantique d'Europe d'ici 2021
Australie	S.O.	• Quatre Centres d'excellence de l'Australian Research Council (Conseil de recherches d'Australie) axés sur la recherche quantique (130,8 M$ A [98,6 M$ US] pour 2017-2024) • Appel à propositions en technologies quantiques du Next Generation Technologies Fund (Fonds pour les technologies de prochaine génération) du ministère de la Défense (6 M$ A [4 5 M$ US]) • Propriété partielle de Silicon Quantum Computing par les gouvernements fédéral et étatiques • Sydney Quantum Academy (Académie quantique de Sydney) • Feuille de route de mai 2020 de la CSIRO « Growing Australia's Quantum Technology Industry » (Favoriser la croissance de l'industrie des technologies quantiques en Australie)
Canada	S.O. (La stratégie quantique du Canada est en élaboration depuis 2016)	• En 2015-2018, financement du gouvernement fédéral à l'appui de quatre centres de recherche quantique (191,3 M$ CA [149,7 M$ US]) • Mission du satellite de cryptographie et physique quantiques (QEYSSat - Quantum Encryption and Science Satellite) de l'Agence spatiale canadienne • Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture du Conseil national de recherches du Canada : Programme Défi « capteurs quantiques » • Appel conjoint du Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie et de UK Research and Innovation en vue de la création de consortiums industrie-universités pour le développement de technologies quantiques (4,4 M$ CA [3,4 M$ US]) • Investissements en capital-risque dans de jeunes entreprises quantiques • Le budget de 2021 propose de fournir 360 M$ CA (288 M$ US) pour lancer une stratégie quantique nationale

PAYS (*Y COMPRIS L'UNION EUROPÉENNE)	STRATÉGIE NATIONALE	PRINCIPALES INITIATIVES OU MESURES STRATÉGIQUES EN MATIÈRE DE R ET D DANS LE DOMAINE QUANTIQUE (DEPUIS 2015, SAUF INDICATION CONTRAIRE; MONTANTS EN DOLLARS AUX TAUX DE CONVERSION DE JANVIER 2021)
Chine	R et D sur les technologies quantiques en tant qu'industrie stratégique selon des plans quinquennaux et « Made in China 2025 » (Fait en Chine 2025)	• Centre d'excellence en informatique quantique et en physique quantique de l'Académie chinoise des sciences • Expériences quantiques à l'échelle spatiale (QUESS - Quantum Experiments at Space Scale) (satellite Micius) • Réseau de communication quantique sécurisée (Quantum Secure Communication Backbone) Beijing-Shanghai • Laboratoire quantique national (100 G¥ [15,3 G$ US] sur cinq ans)
Corée du Sud	Projet de développement des technologies d'informatique quantique (2019)	• 44,5 G₩ (40,9 M$ US) sur cinq ans • Parmi les objectifs figurent le développement de matériel de base pour les ordinateurs et les simulateurs quantiques (machine pratique à 5 qubits avec une fiabilité de 90 % d'ici 2023, démonstration de cas d'utilisation pour les simulateurs quantiques), et de logiciels pour les ordinateurs quantiques • Réseau pilote national de DQC dans le cadre de la « Nouvelle Donne numérique » post-COVID
États-Unis	Initiative quantique nationale (2018)	• Jusqu'à 1,275 G$ US de dépenses • Bureau national de coordination quantique au sein du bureau de la Maison-Blanche pour la Science et la Technologie • National Science Foundation (Fondation nationale des sciences) : trois Quantum Leap Challenges Institutes (Instituts de défis quantiques); Quantum Foundry (Fonderie quantique); Center for Quantum Networks (Centre des réseaux quantiques) • Département de l'Énergie : cinq centres d'informatique quantique; plan d'action pour un Internet quantique à l'échelle nationale • Quantum Economic Development Consortium (QED-C) (Consortium pour le développement économique du domaine quantique) composé d'acteurs industriels, universitaires et gouvernementaux pour construire un écosystème et des chaînes d'approvisionnement • National Q-12 Education Partnership (Partenariat national en éducation Q-12)

France	Stratégie nationale sur les technologies quantiques (2021)	• Plan de 1,8 G€ (2,2 G$ US), dont 1 G€ (1,2 G$ US) du gouvernement
		• Principaux éléments du plan quantique :
		  ◦ Appel à projets axé sur quatre domaines technologiques
		  ◦ Grand défi sur les accélérateurs quantiques NISQ de première génération
		  ◦ Programme de développement industriel pour soutenir la R et D collaborative de quasi-marché sur les technologies habilitantes entre le secteur public et le secteur privé
		  ◦ Programme de maturation technologique pour la R et D dans le secteur privé et le secteur public à moyen terme
		  ◦ Fonds de contrepartie pour les entreprises en démarrage
		  ◦ Financement de centaines de nouveaux doctorants, postdoctorants et jeunes chercheurs par an
		  ◦ Formation quantique pour les étudiants en diplôme technique, de premier cycle et de maîtrise

PAYS (*Y COMPRIS L'UNION EUROPÉENNE)	STRATÉGIE NATIONALE	PRINCIPALES INITIATIVES OU MESURES STRATÉGIQUES EN MATIÈRE DE R ET D DANS LE DOMAINE QUANTIQUE (DEPUIS 2015, SAUF INDICATION CONTRAIRE; MONTANTS EN DOLLARS AUX TAUX DE CONVERSION DE JANVIER 2021)
Inde	Mission nationale sur les technologies et applications quantiques (2020)	• Budget quinquennal (2020-2024) de 80 G₹ (1,08 G$ US) axé sur la science fondamentale, la recherche translationnelle, le développement technologique et l'entrepreneuriat dans quatre domaines : informatique, matériaux, communication, détection et métrologie • Établissement de 4 parcs de recherche et 21 pôles quantiques
Israël	Programme national de science et de technologies quantiques (2019)	• 125 G₪ (380 M$ US) sur six ans, dont 190 M₪ (58 M$ US) en nouveau financement • Recommandations du programme : créer de nouveaux laboratoires de recherche; construire une infrastructure nationale de matériel d'informatique quantique; créer un centre de R et D appliquée; accélérer les projets d'application dans l'industrie et la défense • Consortium sur les technologies quantiques, cofinancé par l'Autorité israélienne de l'innovation et l'Administration pour le développement des armes et des infrastructures technologiques

Japon	Stratégie d'innovation en matière de technologies quantiques (2020)	• 21,5 G¥ (206 M$ US) alloués dans le budget de l'exercice 2020
		• Principes et stratégies pour les dix à vingt prochaines années :
		  ◦ Feuilles de route pour quatre domaines technologiques prioritaires et trois domaines d'innovation intégrés (IA, biotechnologie, sécurité)
		  ◦ Au moins cinq centres d'innovation quantique
		  ◦ Au moins dix entreprises de capital-risque soutenues par des investissements publics, les marchés publics, etc.
		• Quantum Leap Flagship Program (trois projets phares et soutien à la recherche fondamentale)
		• Projet de développement d'une puce innovante basée sur l'IA et de technologies informatiques de prochaine génération (axe de R et D sur le recuit quantique et les logiciels)
		• Programme interministériel de promotion de l'innovation stratégique (volet « Photonique et technologies quantiques »)
		• Objectif 6 du programme de recherche et développement Moonshot — ordinateur NISQ pratique de 100 qubits et correction efficace des erreurs quantiques d'ici 2030; ordinateurs quantiques à grande échelle tolérants aux fautes d'ici 2050

PAYS (*Y COMPRIS L'UNION EUROPÉENNE)	STRATÉGIE NATIONALE	PRINCIPALES INITIATIVES OU MESURES STRATÉGIQUES EN MATIÈRE DE R ET D DANS LE DOMAINE QUANTIQUE (DEPUIS 2015, SAUF INDICATION CONTRAIRE; MONTANTS EN DOLLARS AUX TAUX DE CONVERSION DE JANVIER 2021)
Pays-Bas	Programme national des technologies quantiques : « Quantum Delta NL » (2019)	• 615 M€ (740 M$ US) sur sept ans • Trois programmes catalyseurs : 1. Bâtir la première plateforme européenne d'informatique quantique 2. Créer un réseau quantique national 3. Mettre au point des applications de détection quantique • Cinq pôles d'innovation; la Maison quantique sera un lieu de rencontre pour l'écosystème de l'innovation • Laboratoires de terrain, installations de salles blanches nationales élargies, fonds pour les PME et les jeunes entreprises • Deux mille chercheurs d'ici 2027, programmes éducatifs élargis, stages en entreprise, cours pour les personnes travaillant actuellement en industrie et le public • Le Living Lab Quantum & Society soutiendra la recherche et le dialogue sur les aspects ELSA
Royaume-Uni	Programme national des technologies quantiques (2013)	• 400 M£ (540 M$ US) pour la première phase (2014-2019), au moins 350 M£ (473 M$ US) pour la deuxième phase • Quatre pôles de technologies quantiques • Le National Quantum Computing Centre (Centre national d'informatique quantique) va élaborer des cas d'utilisation avec l'industrie et promouvoir la mise sur pied d'une chaîne d'approvisionnement quantique basée au Royaume-Uni • Centres de formation doctorale; centres de formation et de compétences en génie des systèmes quantiques • Un consortium dirigé par Rigetti va construire le premier ordinateur quantique du Royaume-Uni d'ici 2023 • Industrial Strategy Challenge Fund pour les projets des consortiums industrie-universités visant à commercialiser des technologies • Investissement dans les entreprises quantiques en démarrage
Russie	Feuille de route des technologies quantiques (2019)	• Budget quinquennal de 51,1 B₽ (691 M$ US) • Responsabilité partagée par trois organismes publics : Rosatom pour l'informatique quantique, RZD (chemins de fer russes) pour les communications quantiques, Rostec pour la détection et la métrologie quantiques • Proposition de fabriquer un ordinateur de 30 à 100 qubits d'ici 2024 et un ordinateur de 1000 qubits d'ici 2030 • Laboratoire quantique national avec infrastructure partagée et aide au démarrage • Projet pilote d'Internet quantique par RZD en 2021; fonds d'investissement à risque en partenariat avec Russian Venture Company

PAYS (*Y COMPRIS L'UNION EUROPÉENNE)	STRATÉGIE NATIONALE	PRINCIPALES INITIATIVES OU MESURES STRATÉGIQUES EN MATIÈRE DE R ET D DANS LE DOMAINE QUANTIQUE (DEPUIS 2015, SAUF INDICATION CONTRAIRE; MONTANTS EN DOLLARS AUX TAUX DE CONVERSION DE JANVIER 2021)
Singapour	Programme de génie quantique (2018)	• Programme national de 121,6 M$ SG (90,9 M$ US) (2018-2025) pour financer la recherche et la création d'écosystèmes • Centre de technologies quantiques, centre de recherche d'excellence soutenu par la Fondation nationale de la recherche (100 M$ SG [74,8 M$ US] de financement de base pour 2017-2022) ◦ Collaboration de commercialisation avec SGInnovate ◦ Technologie de DQC pour le réseau à fibres optiques de Singtel ◦ QKD Qubesat (partenariat avec RAL Space au Royaume-Uni)
Union européenne*	Quantum Technologies Flagship (2018) Déclaration EuroQCI	• Quantum Flagship : programme décennal d'un milliard d'euros, 152 M€ (181 M$ US) attribué pour 2018-2021 ◦ 21 projets techniques dans cinq domaines (communication, simulation, détection et métrologie, informatique, sciences fondamentales) plus 3 activités horizontales ◦ QTEdu ◦ Consortium de l'industrie quantique • QuantERA : Partenariat international coordonné de financement de la recherche de 39,8 M€ (48,8 M$ US) • OpenQKD : consortium industrie-universités pour le développement de la DQC • European Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI) (Infrastructure européenne de communication quantique) : vers un Internet quantique sécurisé à l'échelle européenne

*L'Union européenne est une union politique et économique composée de 27 États membres situés principalement en Europe.

OBJECTIFS STRATÉGIQUES

En ce qui concerne le soutien au développement des technologies quantiques dans les divers pays, deux grands objectifs stratégiques se dégagent.

Tout d'abord, les gouvernements peuvent servir de rassembleurs nationaux et réunir de multiples parties prenantes pour créer un réseau de recherche et de conception. Une grande importance est accordée au rôle des centres d'excellence en recherche ou des pôles d'innovation (voir ci-dessous) où les chercheurs universitaires peuvent collaborer avec le gouvernement et l'industrie pour faire avancer la recherche, cerner les domaines d'application et lancer de jeunes entreprises. En outre, de nombreux gouvernements ont lancé de grands projets stratégiques dans le domaine du développement des technologies quantiques que dirigent des consortiums industrie-universités.

Le deuxième objectif stratégique est de faciliter la transposition de la recherche en applications, ainsi que leur commercialisation. Les pays sont fortement incités à s'investir dans l'économie quantique mondiale en accordant des fonds et des ressources afin de favoriser un écosystème local pour le développement des technologies quantiques. Parmi les mesures stratégiques figurent la création de bancs d'essai technologiques, le soutien aux entreprises en démarrage, le renforcement de la chaîne d'approvisionnement en composants des technologies quantiques (tels que la fibre et les satellites nécessaires à l'Internet quantique ou l'infrastructure de fabrication

de puces et d'ordinateurs quantiques) et la création de débouchés commerciaux pour les applications quantiques. Un certain nombre de gouvernements, dont ceux de la Chine, de la Corée du Sud et de l'Allemagne, ont explicitement mis l'accent dans leurs stratégies quantiques sur la « souveraineté technologique » ou sur la nécessité du développement et du contrôle des technologies de base des systèmes quantiques à l'échelle locale.

Le développement du capital humain constitue un autre élément essentiel, à la fois pour former les chercheurs capables de faire progresser les technologies et pour créer une main-d'œuvre qualifiée en soutien à une économie quantique intégrée.

MESURES STRATÉGIQUES

Que ces mesures s'inscrivent dans une stratégie nationale coordonnée ou non, la plupart des gouvernements ont déployé un certain nombre de mesures stratégiques similaires, au-delà des mécanismes de financement de la science habituels, pour soutenir la R et D sur les technologies quantiques dans leur pays. (Voir tableau 3, figure 3)

La mesure stratégique la plus courante et la plus ancienne est la création de centres d'excellence, de centres de R et D appliquée ou de pôles d'innovation pour appuyer la recherche quantique et le développement technologique. Certains de ces centres existent déjà depuis une vingtaine d'années : le Centre d'excellence des technologies d'informatique et de communication quantiques de l'Australian Research Council remonte à 2000, tandis que l'Institut d'informatique quantique du Canada a été fondé en 2002 grâce à un financement philanthropique et au soutien gouvernemental subséquent. Ces centres — dont d'autres exemples incluent QuTech et QuSoft aux Pays-Bas, ou le Centre de technologies quantiques de Singapour — jouent un rôle essentiel en rassemblant les chercheurs des universités, instituts de recherche et laboratoires nationaux des pays respectifs pour réaliser des recherches fondamentales; en s'associant avec l'industrie pour le développement et la commercialisation de technologies; et en formant la main-d'œuvre universitaire et industrielle. Dans de nombreux pays, le conseil national de recherches octroie un financement pluriannuel à ces centres par voie de concours ouverts à tous les domaines; il est possible de prolonger ou de renouveler ce financement dans certains régimes subventionnaires, mais pas dans d'autres (comme c'est le cas pour les instituts quantiques financés par le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada). D'autre part, les stratégies nationales coordonnées de plusieurs pays appuient spécifiquement la création de pôles de recherche quantique comme le réseau national des Quantum Technology Hubs (Pôles des technologies quantiques) du Royaume-Uni. Dans le cadre de son initiative quantique nationale, la National Science Foundation (NSF) des États-Unis finance une série de Quantum Leap Challenge Institutes (Instituts de défis quantiques) pour promouvoir la recherche multidisciplinaire, tandis que le département de l'Énergie finance les Quantum Information Science Centers (Centres d'informatique quantique) dans ses laboratoires nationaux pour accélérer le développement technologique.

Plusieurs pays ont également lancé des appels à propositions ciblés, des concours ou des « Grands défis » pour soutenir la R et D quantique ou en ont l'intention. Depuis 2017, QuantERA a lancé deux appels à propositions de projets de collaboration auprès d'équipes internationales parmi ses membres pour faire progresser les technologies quantiques. En 2018, Taïwan a lancé un appel à propositions dans le cadre de son projet d'ordinateur quantique qui visait à coordonner la R et D sur les technologies quantiques à l'échelle nationale. En 2020, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada et UK Research & Innovation ont lancé un appel conjoint auprès de consortiums industrie-universités du Royaume-Uni et du Canada pour la mise au point de technologies quantiques.

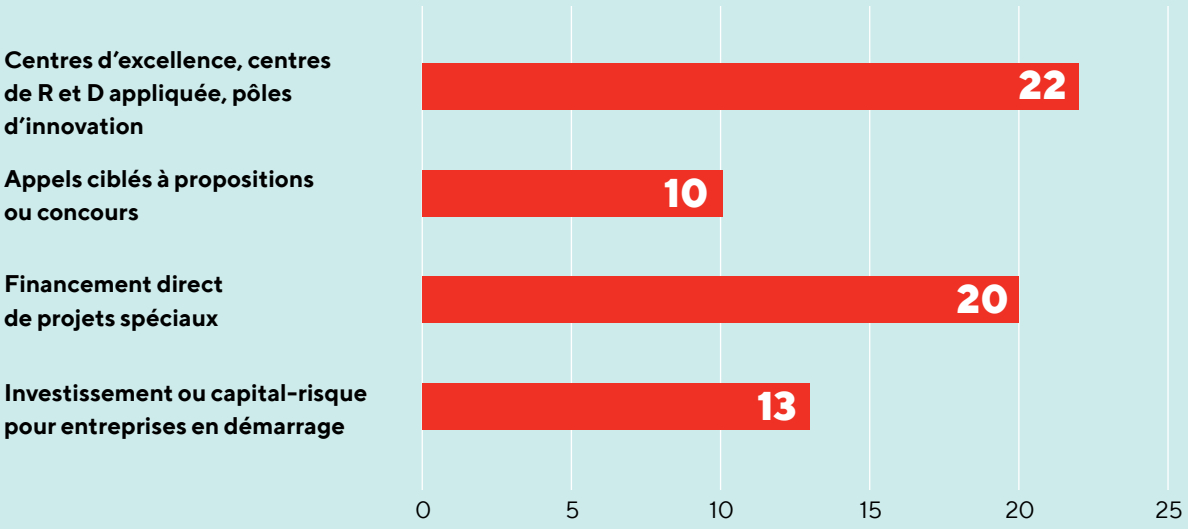
TABLEAU 3

Quatre grandes mesures de soutien à la R et D quantique et leur utilisation dans les stratégies quantiques nationales.

PAYS (*Y COMPRIS L'UNION EUROPÉENNE)	CENTRES D'EXCELLENCE, CENTRES DE R ET D APPLIQUÉE, PÔLES D'INNOVATION	APPELS CIBLÉS À PROPOSITIONS OU CONCOURS	FINANCEMENT DIRECT DE PROJETS SPÉCIAUX	INVESTISSEMENT PUBLIC OU CAPITAL-RISQUE POUR ENTREPRISES EN DÉMARRAGE
Allemagne	●	●	●	
Australie	●	●	●	●
Autriche	●			●
Canada	●	●	●	●
Chine	●		●	●
Corée du Sud			●	
Danemark	●		●	
Émirats arabes unis	●		●	●
États-Unis	●	●	●	●
Finlande	●		●	●
France	●	●	●	●
Hongrie	●			
Inde	●		●	
Irlande			●	
Israël	●		●	
Japon	●		●	●
Norvège	●			
Nouvelle-Zélande	●			
Pays-Bas	●	●	●	●
Royaume-Uni	●	●	●	●
Russie	●		●	●
Singapour	●	●	●	●
Suisse	●			
Taïwan	●	●	●	
Union européenne*		●	●	

FIGURE 3

Nombre de pays déployant chacune des quatre principales mesures stratégiques pour la R et D quantique.



Outre le soutien à la R et D quantique par l'entremise de subventions de recherche et d'appels à propositions, les gouvernements peuvent aussi fournir un financement direct et ciblé à des projets quantiques jugés d'importance stratégique nationale afin d'accélérer le développement de technologies cruciales de manière spécifique. Par exemple, divers ministères et organismes du gouvernement japonais soutiennent un certain nombre de projets réalisés par des consortiums réunissant entreprises, universités et instituts de recherche nationaux dont les objectifs sont notamment la mise au point d'un recuit quantique à grande vitesse et à haute précision, d'un nuage quantique protégé par technologie photonique et d'un ordinateur pratique à 100 qubits, avec démonstration de la correction efficace des erreurs quantiques, d'ici 2030. Entre-temps, la Corée du Sud, dans le cadre de sa « Nouvelle Donne numérique » post-COVID, a choisi plusieurs entreprises pour établir un réseau de DQC pilote à l'échelle nationale.

Enfin, un certain nombre de pays ont mis l'accent sur le soutien aux entreprises locales axées sur les technologies quantiques. Nombre des centres de recherche et des pôles d'innovation existants ou proposés pour les technologies quantiques œuvrent à l'appui d'entreprises en démarrage et d'entreprises dérivées en partageant des infrastructures, telles que des installations de nanofabrication, des programmes de transfert de technologies, des services comme le soutien juridique ou à la commercialisation, de même que des incubateurs et accélérateurs. Plusieurs des stratégies quantiques nationales, dont celles du Japon et de la France, proposent aussi d'apporter un soutien financier direct aux entreprises en démarrage en créant des fonds d'investissement avec des capitaux recueillis auprès d'entités financières affiliées au gouvernement ainsi que du secteur privé. Des pays comme le Royaume-Uni, le Canada, l'Autriche et la Finlande ont déjà réalisé des investissements stratégiques dans des entreprises quantiques en démarrage, soit par des subventions gouvernementales directes, soit par l'intermédiaire de leurs banques publiques de développement. Le gouvernement fédéral australien et l'État de Nouvelle-Galles-du-Sud sont copropriétaires de Silicon Quantum Computing, tandis qu'en novembre 2020, la Scottish National Investment Bank, la banque publique de développement d'Écosse, a acquis une participation en capital sur dix ans dans M Squared.

PROJETS ET DOMAINES D'APPLICATION

De nombreuses stratégies nationales indiquent qu'elles appuieront les trois principaux domaines des technologies quantiques (détection, communication, informatique). Cependant, à

court terme, la priorité est clairement donnée à la mise au point de technologies de communication quantique, notamment les satellites quantiques, la DQC et la cryptographie post-quantique. Des pays comme la Chine et la Corée du Sud ont lancé d'importants projets soutenus par le gouvernement pour déployer un réseau national de DQC satellitaire ou à fibres optiques. En même temps, les communications quantiques offrent des possibilités de collaboration mondiale ou régionale. Par exemple, le projet OpenQKD, lancé dans le cadre du programme de l'UE pour la recherche Horizon 2020, réunit de nombreux pays pour mettre au point des applications protégées de communication quantique dont pourraient profiter de multiples secteurs de la société. OpenQKD sert de banc d'essai pour les technologies qui serviront à construire une infrastructure de communication quantique (QCI) cybersécuritaire à l'échelle de l'UE; 25 États membres de l'UE ont signé une déclaration sur l'EuroQCI dont la réalisation sera appuyée par l'Agence spatiale européenne. Certains pays européens (comme l'Italie et les Pays-Bas) ont déjà commencé à créer leurs réseaux quantiques locaux qui, au bout du compte, se connecteraient au réseau paneuropéen. Et depuis 2018, l'Organisation du traité de l'Atlantique Nord collabore avec Malte pour développer la cryptographie post-quantique et établir une liaison de DQC sous-marine entre Malte et l'Italie.

Un certain nombre de pays, dont le Royaume-Uni, la Suède et le Japon, se sont fixé comme objectif précis à moyen terme (d'ici 2030 ou avant) de construire localement un ordinateur NISQ pratique à portes logiques. De nombreux gouvernements apportent aussi leur soutien à des projets qui permettent aux chercheurs et aux utilisateurs de l'industrie de collaborer pour explorer des cas d'utilisation et des applications qui créeront un marché pour les ordinateurs quantiques, ce qui est essentiel à la viabilité à long terme du développement de cette technologie. Au nombre des principaux domaines d'application envisagés figurent les simulations moléculaires qui sont importantes pour les industries chimique, pharmaceutique et des matériaux, la modélisation pour les secteurs de la finance, de la logistique et de l'énergie, ainsi que les applications en IA et en apprentissage automatique. Des initiatives gouvernementales, telles que le Quantum Economic Development Consortium (QED-C) des États-Unis, réunissent des chercheurs universitaires, des organismes gouvernementaux, des parties prenantes de l'industrie et le milieu des affaires dans son ensemble pour repérer les applications spécifiques d'importance pour les utilisateurs finaux afin de favoriser le développement technologique nécessaire. Certains pays ont l'intention de mettre à profit les compétences nationales existantes dans certains secteurs. Par exemple, en Israël, le ministère de la Défense et l'industrie de la défense au sens large représentent des parties prenantes majeures dans la recherche quantique au pays; Taïwan s'efforce de tirer parti de la force de l'industrie locale des semiconducteurs; et la Corée du Sud vise à maintenir et à renforcer son avantage stratégique dans le secteur des technologies de l'information et des communications.

Les pays ont aussi mis en œuvre des programmes de soutien au développement des technologies de détection quantique. Parmi ceux-ci, notons le Programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques » du Conseil national de recherches du Canada qui octroiera des fonds à des collaborateurs universitaires, industriels et à but non lucratif afin de développer des applications pour l'environnement, les soins de santé et la défense; et le Quantum Technology Hub Sensors and Timing (Pôle de technologies quantiques sur les capteurs et la synchronisation) du NQTP du Royaume-Uni qui réunit des chercheurs universitaires, le National Physical Laboratory (Laboratoire national de physique) et des parties prenantes de l'industrie.

En conclusion, les stratégies ou les initiatives de recherche nationales de nombreux pays mettent l'accent sur la découverte et l'ingénierie de nouveaux *matériaux quantiques* plus robustes et contrôlables. Ces matériaux, tels que les supraconducteurs, les matériaux topologiques et des matériaux plus « classiques » (comme le silicium ou le diamant) qui présentent certains défauts ou impuretés, possèdent des propriétés électroniques et magnétiques telles qu'ils peuvent être utilisés comme capteurs quantiques, qubits et autres composants de systèmes d'informatique et de communication quantiques. La NSF aux États-Unis a financé sa première fonderie quantique en 2019 pour concevoir de nouveaux matériaux et s'associer à l'industrie en vue de les transformer en technologies quantiques, tandis que le Centre des matériaux et technologies quantiques d'Eindhoven (QT/e) accueille l'un des cinq pôles d'innovation du programme national néerlandais de technologies quantiques.

SE PRÉPARER AUX RÉPERCUSSIONS SOCIÉTALES DES TECHNOLOGIES QUANTIQUES

Comme dans le cas d'autres technologies nouvelles très prometteuses pour notre économie et la vie quotidienne, telles que l'IA et la génomique, les technologies quantiques soulèvent d'importantes questions sociétales et éthiques sur lesquelles il faut se pencher alors même que la recherche et le développement sont en cours.

La préoccupation la plus évidente est peut-être l'impact éventuel des ordinateurs quantiques sur la cybersécurité, la stabilité du système financier mondial et la vie privée des citoyens; à l'inverse, la possibilité de communications quantiques à l'épreuve de l'écoute électronique pourrait également avoir des implications pour les forces de l'ordre. Il pourrait également y avoir des répercussions plus larges en matière de géopolitique et de sécurité : la technologie et les ressources nécessaires pour concevoir et fabriquer des systèmes quantiques (notamment les métaux de terres rares ou l'hélium nécessaire à la réfrigération des ordinateurs quantiques) pourraient devenir un facteur limitant majeur à la diffusion à grande échelle de ces technologies, et les pays qui auront pris les devants dans ce domaine ou qui auront le contrôle de certaines ressources ou technologies de base pourraient en tirer un avantage économique et géopolitique important. À cet égard, il serait essentiel de déployer des initiatives à l'échelle internationale pour garantir une concurrence et une coopération saines.

De plus, certains pays ou géants technologiques multinationaux pourraient monopoliser ces technologies. À l'heure actuelle, un grand nombre des premiers grands développeurs commerciaux d'ordinateurs quantiques ont ouvert l'accès à leurs prototypes dans le nuage. Les gouvernements pourraient avoir à envisager les politiques à adopter, le cas échéant, pour garantir une vaste participation à tous les échelons de la société et de l'économie.

On prévoit également que les ordinateurs quantiques auront une incidence sur l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique en accélérant considérablement les opérations informatiques de recherche et d'optimisation. Des enjeux éthiques liés à l'IA, notamment les décisions liées au phénomène de la « boîte noire », pourraient être exacerbés.

Le manque de diversité de la main-d'œuvre en sciences et en génie demeure un problème important qui aura un impact négatif sur le secteur quantique. Les données de la NSF aux États-Unis démontrent que les domaines qui contribuent le plus directement au secteur quantique (physique, génie, informatique) restent ceux où la sous-représentation des femmes et des minorités raciales et ethniques (en particulier les Noirs et les Latino-Américains) est la plus marquée en matière de diplomation, d'emploi et de salaire. Les données d'autres pays, comme le Royaume-Uni, brossent un tableau similaire. Pour veiller à ce que la recherche et le développement quantiques puissent mobiliser les meilleures idées et profiter à la plus grande tranche de la société, il sera essentiel de promouvoir l'égalité et l'inclusion dans ces domaines.

Certains gouvernements nationaux ont explicitement reconnu la nécessité de commencer à prêter attention aux questions d'ordre social et éthique dans leurs politiques quantiques. Par exemple, le Consortium des logiciels quantiques, financé par le Conseil de recherches des Pays-Bas, a constitué un « groupe de réflexion juridique et sociétale » chargé de réaliser des analyses sur les aspects éthiques, juridiques et sociaux (ELSA) des technologies quantiques, et le programme national néerlandais sur les technologies quantiques propose de former un comité ELSA national où tenir de telles discussions. Comme le développement des technologies quantiques en est encore à un stade relativement précoce, il serait temps d'intégrer des éléments de développement technologique responsable et éthique dans l'intégralité du domaine.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Quelque vingt années après certains des premiers grands investissements gouvernementaux dans des centres de recherche quantique, et sept ans après l'une des premières stratégies quantiques nationales coordonnées (le National Quantum Technologies Programme du Royaume-Uni), le monde entier assiste depuis quelques années à une prolifération d'initiatives ou de projets stratégiques nationaux grâce auxquels les différents pays espèrent se positionner en vue de la 2e révolution quantique.

Bien que de nombreuses stratégies comportent des mesures similaires au chapitre des politiques, les différences en matière de priorités pourraient avoir un impact considérable sur leur succès — p. ex., avoir une stratégie coordonnée plutôt qu'une série d'initiatives issues de divers ministères; privilégier le soutien à la recherche dans les universités et les laboratoires nationaux plutôt que de préconiser une mobilisation et une collaboration précoces avec l'industrie; ou encore, faire des appels à propositions ciblés mais ouverts plutôt que des projets stratégiques nationaux. Parmi d'autres questions stratégiques, notons :

- Dans quelle mesure les gouvernements ont-ils donné suite aux stratégies publiées et ont-ils coordonné les ressources ou élaboré des politiques à l'appui de ces stratégies?
- Quels sont les mécanismes de reddition de comptes qui sont établis pour suivre la mise en œuvre des stratégies et évaluer la valeur apportée par la création de ces stratégies?
- Quel a été l'impact de l'adoption de ces stratégies sur le recrutement des talents, les résultats de la recherche ou les activités économiques dans les pays respectifs?

Pour la deuxième phase, dans sa nouvelle intention stratégique, le NQTP du Royaume-Uni a souligné l'impact du programme sur la production d'articles de recherche, la formation de la main-d'œuvre, l'essaimage et l'attraction de financement du secteur privé. Comme un nombre croissant de stratégies nationales entament leur troisième ou quatrième année, une analyse comparative pourrait se révéler instructive. En fin de compte, le succès d'une stratégie quantique se mesurera à la réalisation de ses objectifs technologiques — le déploiement d'un réseau quantique sécurisé, d'un ordinateur quantique pratique ou d'applications utiles pour l'industrie et la société. Au fil des progrès rapides des technologies quantiques, les politiques scientifiques dans le domaine sont appelées à évoluer elles aussi.

ANNEXE
PROFILS DES STRATÉGIES QUANTIQUES NATIONALES

Chaque profil fournit les informations suivantes, là où elles sont disponibles :

- **Objectifs stratégiques**
- **Projets choisis**
- **Talent**
- **Financement gouvernemental** (Financement à l'appui de la stratégie nationale, ou financement important depuis 2015, sauf indication contraire)
- **Principaux acteurs publics**
- **Autres acteurs**
- **Sources primaires** (Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63)

Afrique du Sud	27
Allemagne	28
Australie	29
Autriche	30
Belgique	31
Bulgarie	31
Canada	32
Chine	34
Chypre	35
Corée du Sud	35
Croatie	36
Danemark	36
Émirats arabes unis	37
Espagne	37
Estonie	38
États-Unis	38
Finlande	40
France	41
Grèce	42
Hongrie	42
Inde	43
Iran	43
Irlande	44
Israël	45
Italie	46
Japon	47
Lettonie	48
Lituanie	48
Malte	48
Norvège	49
Nouvelle-Zélande	49
Pays-Bas	50
Pologne	51
Portugal	51
République tchèque	52
Roumanie	52
Royaume-Uni	52
Russie	54
Singapour	55
Slovaquie	56
Slovénie	56
Suède	57
Suisse	58
Taïwan	59
Thaïlande	59
Turquie	60
Union européenne	61

AFRIQUE DU SUD

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée (en cours d'élaboration)
Titre : Cadre pour l'informatique et les technologies quantiques

Objectifs stratégiques

- En décembre 2019, le ministère de la Science et de l'Innovation (DSI) a constitué un groupe de travail national chargé d'élaborer un cadre pour l'informatique et les technologies quantiques (NWG:QC&QT) pour l'Afrique du Sud. Après avoir analysé le paysage actuel, le NWG:QC&QT définira les domaines prioritaires, les besoins en infrastructures et l'adéquation avec le plan décennal du DSI.

Projets choisis

- En juin 2019, IBM Research à Johannesburg s'est associé à l'Université de Witwatersrand pour élargir le réseau IBM Q à travers l'Afrique et en offrir l'accès aux quinze autres universités de recherche africaines au sein de l'Alliance des universités africaines de recherche (ARUA).

Principaux acteurs publics

- Ministère de la Science et de l'Innovation (DSI)

Autres acteurs

- IBM

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

ALLEMAGNE

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée / Participation à des partenariats quantiques internationaux
Titre : Technologies quantiques — De la recherche fondamentale au marché

Objectifs stratégiques

- Voici les priorités du cadre allemand sur les technologies quantiques dévoilé en septembre 2018 :
  - Promouvoir le paysage de la recherche sur les technologies quantiques
  - Créer des réseaux de recherche pour de nouvelles applications
  - Établir la compétitivité industrielle par des projets phares
  - Garantir la sécurité et la souveraineté technologique
  - Façonner la collaboration internationale
  - Mobiliser la population allemande

Projets choisis

- En vertu de ce cadre, le ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche (BMBF) va créer un Centre d'excellence sur les technologies quantiques à l'Institut national de métrologie (PTB), en mettant particulièrement l'accent sur le soutien à l'industrie dans la transposition de la recherche en applications. Le BMBF entend aussi lancer des appels à propositions de projets collaboratifs entre le secteur universitaire et l'industrie, organiser un grand défi dans le domaine des communications quantiques et financer jusqu'à trois grappes d'excellence en informatique quantique.
- La Fondation allemande pour la recherche (DFG) finance actuellement sept grappes d'excellence axées sur le domaine quantique :
  - Matière et lumière pour l'informatique quantique (ML4Q)
  - Centre pour la science et les technologies quantiques de Munich (MCQST)
  - QuantumFrontiers
  - Complexité et topologie des matériaux quantiques (CT.QMAT)
  - CUI : Imagerie avancée de la matière
  - STRUCTURES
  - La cybersécurité à l'ère des grands adversaires (CASA)
- Afin de coordonner les activités, les cinq premières grappes, ainsi que la grappe PhoenixD (innovation en photonique, en optique et en génie à travers les disciplines) et le Centre pour la science et les technologies quantiques intégrées (IQST, avec un financement de l'état de Bade-Wurtemberg), sont réunis au sein du consortium Alliance quantique.
- Le BMBF, la Fraunhofer-Gesellschaft, l'Institut Max-Planck et le Centre aérospatial allemand collaborent sur QuNET pour concevoir une plateforme centrale de communications quantiques afin de créer un Internet quantique en Allemagne et un espace de données européen.
- La Fraunhofer-Gesellschaft et IBM collaborent pour fabriquer le premier ordinateur quantique d'Europe d'ici 2021; les entreprises et les institutions de recherche y auront accès grâce à des centres de compétence situés dans six états.
- Dans le cadre de la reprise post-COVID, le gouvernement allemand offrira son appui à la recherche sur les technologies quantiques dans l'objectif d'attribuer des contrats à des consortiums compétents pour la fabrication d'au moins deux ordinateurs quantiques.
- Des institutions et des entreprises allemandes participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. Le ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche est un partenaire de QuantERA. L'Allemagne est signataire de la déclaration EuroQCI.

Talent

- Des « groupes de recherche junior » vont offrir une formation en technologies quantiques à de futurs cadres en vue de soutenir de jeunes scientifiques aptes à combler le fossé entre la recherche fondamentale et les applications, et susceptibles de devenir des dirigeants dans l'industrie.
- L'académie « Avenir quantique » pour les étudiants universitaires avancés.
- Créer un catalogue des pratiques exemplaires pour l'intégration des technologies quantiques à des cours autres que la physique afin de créer des liens interdisciplinaires plus solides.

Financement gouvernemental

- Le gouvernement fédéral allemand a annoncé un financement de 650 M€ (786 M$ US) (2018-2022) à l'appui de son cadre sur les technologies quantiques.
- Le BMBF accorde une subvention initiale de 25 M€ (30 M$ US) à QuNET.
- L'État de Bade-Wurtemberg fournit 40 M€ (48 M$ US) à la collaboration IBM-Fraunhofer.
- Dans le cadre de la reprise post-COVID, le gouvernement allemand consacrera 2 G€ (2,4 G$ US) aux technologies quantiques.

Principaux acteurs publics

- Ministère fédéral de l'Éducation et de la Recherche (BMBF)
- Ministère de l'Économie
- Ministère de l'Intérieur
- Ministère de la Défense
- Centre aérospatial allemand (DLR)
- Institut national de métrologie d'Allemagne (PTB)
- Fondation allemande pour la recherche (DFG)
- Gouvernements des états de Bavière et de Bade-Wurtemberg
- Fraunhofer-Gesellschaft
- Société Max-Planck
- Association Helmholtz
- Association Leibniz

Autres acteurs

- Deutsche Telekom
- IBM
- Volkswagen

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

AUSTRALIE

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement

Objectifs stratégiques

- En mai 2020, le CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), organisme national australien de recherche scientifique, a publié la feuille de route « Growing Australia's Quantum Technology Industry » (Favoriser la croissance de l'industrie des technologies quantiques en Australie) pour que l'Australie maintienne ses avantages concurrentiels en matière de R et D sur les technologies quantiques et mette sur pied une industrie durable dans ce domaine. Voici les principales recommandations adressées au gouvernement australien :
  - Formuler une stratégie quantique nationale
  - Soutenir la démonstration et la commercialisation des technologies quantiques
  - Bâtir la main d'œuvre quantique de l'Australie
  - Évaluer et renforcer les capacités industrielles et les infrastructures
  - Établir des projets pour présenter les applications commerciales
  - Favoriser l'engagement des utilisateurs finaux locaux et des gouvernements dans l'écosystème quantique.

Projets choisis

- L'Australian Research Council (ARC) (Conseil de recherches d'Australie) soutient quatre centres d'excellence axés sur la recherche quantique qui réunissent plusieurs universités, instituts de recherche et entreprises : Centre for Quantum Computation and Communication Technology (CQC2T) (Centre des technologies d'informatique et de communication quantiques, financé depuis 2000), Engineered Quantum Systems (EQUS), Exciton Science, Future Low-Energy Electronics Technologies (FLEET) (Centre des technologies de l'électronique de faible énergie).
- En 2017, le ministère de la Défense a consenti à QuintessenceLabs son investissement le plus important dans le cadre du pôle d'innovation dans le domaine de la défense pour la mise au point de la technologie de DQC. En 2018, le ministère a lancé un appel à propositions pour le développement de la technologie quantique au titre du Next Generation Technologies Fund (Fonds pour les technologies de prochaine génération).
- Le Pawsey Supercomputing Centre, une coentreprise du CSIRO, s'est associé à Quantum Brilliance pour installer un émulateur quantique et en fournir l'accès.
- Silicon Quantum Computing, une entreprise dérivée de CQC2T et détenue en partie par les gouvernements d'Australie et de Nouvelle-Galles-du-Sud, collabore avec le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives de France pour concevoir le premier ordinateur quantique à base de silicium.
- Microsoft exploite un laboratoire quantique à Sydney.

Talent

- La Sydney Quantum Academy (SQA) (Académie quantique de Sydney), un partenariat entre quatre universités, a été créée en 2019 pour former la prochaine génération de scientifiques et d'ingénieurs quantiques. Elle propose des bourses d'études de premier cycle et de doctorat, des bourses pour universitaires, un programme d'expérience pratique au doctorat, un soutien au démarrage et des activités de diffusion auprès de la communauté.

Financement gouvernemental

- Entre 2017 et 2024, l'ARC investit 130,85 M$ A (98,59 M$ US) dans ses quatre centres d'excellence axés sur les technologies quantiques.
- En 2017, les gouvernements d'Australie et de Nouvelle-Galles-du-Sud ont investi respectivement 25 M$ A (18,8 M$ US) et 9 M$ A (6,8 M$ US) dans Silicon Quantum Computing. Ce dernier investissement provient du Quantum Computing Fund d'une valeur de 26 M$ A (19,6 M$ US) destiné à soutenir la commercialisation des technologies quantiques.
- La Défense a investi 3,26 M$ A (2,46 M$ US) en 2017 dans QuintessenceLabs, et 6 M$ A (4,5 M$ US) pour son appel à propositions de 2018.
- En 2019, le gouvernement de Nouvelle-Galles-du-Sud a investi 15,4 M$ A (11,6 M$ US) du Quantum Computing Fund pour établir la SQA.

Principaux acteurs publics

- Australian Research Council
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)
- Ministère de la Défense — Groupe de la science et de la technologie pour la défense (DST)
- Gouvernement de l'État de Nouvelle-Galles-du-Sud.

Autres acteurs

- Q-CTRL
- Quantum Brilliance
- QuintessenceLabs
- Silicon Quantum Computing
- Microsoft
- Commonwealth Bank of Australia
- Telstra

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

AUTRICHE

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée / Participation à des partenariats quantiques internationaux
Titre : Initiative autrichienne sur les technologies quantiques

Objectifs stratégiques

- L'Initiative autrichienne sur les technologies quantiques vise à accroître la participation des entreprises et des chercheurs autrichiens en Europe et à l'échelle internationale, à permettre l'acquisition de compétences et la mise en place d'infrastructures dans le domaine des technologies quantiques et à soutenir la transposition des résultats de la R et D en applications.

Projets choisis

- L'Institut d'optique quantique et d'informatique quantique (IQOQI) de l'Académie autrichienne des sciences a été créé en 2003. Les chercheurs de l'IQOQI et d'autres institutions de la région de Vienne ont créé conjointement un centre de collaboration, le Centre de Vienne pour la science et la technologie quantiques (VCQ).
- Les chercheurs de l'IQOQI sont des partenaires majeurs du projet QUAPITAL dont l'objectif est de construire un réseau quantique à fibres optiques à travers l'Europe centrale.
- Le ministère fédéral de l'Éducation, des Sciences et de la Recherche appuie le Centre Erwin Schrödinger pour la science et les technologies quantiques (ESQ) qui réunit des groupes de recherche du secteur universitaire et de l'IQOQI et finance la recherche à risque élevé grâce au programme Découverte.
- Des institutions et des entreprises autrichiennes participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD (dont l'Institut autrichien de technologie est le coordonnateur). Le Fonds scientifique autrichien et l'Agence autrichienne de promotion de la recherche sont des partenaires de QuantERA. L'Autriche est signataire de la déclaration EuroQCI.

Talent

- Le VCQ offre un programme conjoint de doctorat. L'ESQ finance un programme pour les postdoctorants.

Financement gouvernemental

- Financement de 1 M€ (1,2 M$ US) par an pour l'ESQ.
- 32,7 M€ (39,6 M$ US) destinés à la phase de démarrage (2017-2021) du programme national de financement de la R et D au profit de la recherche et des technologies quantiques, y compris le soutien aux projets Quantum Flagship de l'UE.
- En 2018, le gouvernement autrichien a accordé 10 M€ (12,1 M$ US) à l'entreprise dérivée Alpine Quantum Technologies. En 2019, Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft, la banque fédérale de développement, a accordé un financement de prédémarrage supplémentaire.

Principaux acteurs publics

- Ministère fédéral de l'Éducation, des Sciences et de la Recherche (BMWFW)
- Ministère fédéral de l'Action pour le climat, de l'Environnement, de l'Énergie, de la Mobilité, de l'Innovation et de la Technologie (BMK)
- Ministère fédéral des Affaires numériques et économiques (BMDW)
- Fonds autrichien pour la science (FWF)
- Agence autrichienne pour la promotion de la recherche (FFG)
- Académie autrichienne des sciences (ÖAW)
- Institut autrichien de technologie (AIT)
- Société autrichienne de services aux entreprises (AWS).

Autres acteurs

- Alpine Quantum Technologies

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

BELGIQUE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des experts belges siègent au réseau communautaire Quantum Flagship de l'UE. Le Fonds belge pour la recherche scientifique et la Fondation de recherche de Flandre sont des partenaires de QuantERA. La Belgique est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Fonds de la recherche scientifique (FNRS)
- Fondation de recherches de Flandre (FWO)

Autres acteurs

- imec (Centre interuniversitaire de microélectronique)

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

BULGARIE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Les institutions bulgares participent au programme Quantum Flagship de l'UE. Le Fonds scientifique bulgare est un partenaire de QuantERA. La Bulgarie est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Fonds scientifique bulgare (NSFB)

CANADA

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée (en cours d'élaboration)

Objectifs stratégiques

- En 2016, le gouvernement fédéral du Canada a lancé une série d'activités, telles que des consultations et des symposiums, en vue de formuler la stratégie Quantique Canada dont les objectifs sont de définir une vision cohérente pour les intérêts nationaux du Canada dans le domaine quantique, de faire en sorte que le Canada conserve et élargisse l'avantage dont il bénéficie actuellement, et d'étendre la R et D afin de trouver des solutions sociales, économiques et environnementales pour le Canada. Dans le budget d'avril 2021, le gouvernement a proposé un financement pour lancer une stratégie quantique nationale.

Projets choisis

- En 2002, l'Institut d'informatique quantique (IQC) de l'Université de Waterloo a été fondé grâce à un financement philanthropique. Depuis 2009, il reçoit le soutien du gouvernement fédéral canadien et, de 2006 à 2019, il a reçu le soutien du gouvernement provincial de l'Ontario.
- Le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC), administré par les trois Conseils (les trois organismes de financement de la recherche fédéraux), appuie trois instituts ou initiatives quantiques : Institut quantique de l'Université de Sherbrooke, Institut Stewart-Blusson sur la matière quantique de l'Université de la Colombie-Britannique et Technologies quantiques transformatrices de l'Université de Waterloo.
- Depuis 2017, l'Agence spatiale canadienne (ASC) collabore avec l'IQC et Honeywell à la mission du satellite de cryptographie et physique quantiques (QEYSSat, Quantum Encryption and Science Satellite) pour faire la démonstration de la communication spatiale avec un protocole de DQC.
- En décembre 2019, le gouvernement provincial de la Colombie-Britannique a créé l'Institut d'algorithmes quantiques à l'Université Simon Fraser qui rassemble plusieurs universités et entreprises travaillant à concevoir des logiciels d'informatique quantique pour diverses applications.
- Depuis septembre 2020, le Centre de recherche sur les technologies de sécurité et de rupture du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) organise un programme Défi « Internet des objets : capteurs quantiques » afin de favoriser la mise au point de capteurs quantiques destinés à diverses applications dans les domaines de l'environnement, des ressources naturelles, des soins de santé et de la défense.
- En novembre 2020, le CRSNG et UK Research and Innovation ont annoncé leur soutien à huit consortiums R.-U.-Canada entre le milieu universitaire et l'industrie en vue de la réalisation de technologies quantiques.
- Le CNRC, Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC, l'organisme du ministère de la Défense nationale qui se consacre à l'élaboration de nouvelles solutions technologiques) et le Centre de la sécurité des télécommunications (CST, l'organisme national de cryptologie) ont créé le Centre d'accès à la technologie de sécurité quantique (Q-STAC) afin de coordonner et de renforcer les initiatives internes du gouvernement en matière de recherche quantique pertinente pour des enjeux stratégiques. En décembre 2020, Anyon Systems a annoncé qu'elle allait fournir à RDDC le premier ordinateur quantique canadien à portes logiques.
- Plusieurs entités d'investissement public, dont la Banque de développement du Canada, Technologies du développement durable Canada et deux régimes de retraite provinciaux (OMERS et Office d'investissement des régimes de pensions du secteur public, PSP), investissent dans des entreprises quantiques comme D-Wave et Xanadu.

Talent

- En 2020, Quantum BC, une initiative conjointe créée par des universités de la province, a établi le programme FONCER (formation orientée vers la nouveauté, la collaboration et l'expérience en recherche), un programme d'études supérieures en informatique quantique destiné à offrir aux étudiants à la maîtrise et au doctorat une formation en recherche et des stages en industrie.

Suite à la page suivante

Financement gouvernemental

- En 2015-2016, le Fonds d'excellence en recherche Apogée Canada (FERAC) a octroyé 176,3 M$ CA (138 M$ US) à trois instituts quantiques.
- À partir de 2018, le gouvernement fédéral a alloué 15 M$ CA (11,7 M$ US) sur trois ans à l'IQC.
- En 2019, l'ASC a attribué un contrat de 30 M$ CA (23,5 M$ US) à Honeywell pour QEYSSat. L'agence fédérale de développement économique pour le Sud de l'Ontario (FedDev Ontario) a investi 33,7 M$ CA (26,5 M$ US) dans une entreprise sans but lucratif et deux entreprises en démarrage dans la région de Waterloo.
- En décembre 2019, le gouvernement provincial de la Colombie-Britannique a annoncé un financement de 17 M$ CA (13,3 M$ US) sur cinq ans pour établir l'Institut des algorithmes quantiques. En juin 2020, le gouvernement du Québec a investi 4,5 M$ CA (3,5 M$ US) dans l'Institut quantique pour établir un espace IBM Q.
- En octobre 2020, le gouvernement de l'Alberta a octroyé 3 M$ CA (2,3 M$ US) à l'Université de Calgary et au réseau Quantum Alberta.
- En juin 2020, le CRSNG a versé 1,65 M$ CA (1,29 M$ US) au programme d'études supérieures de Quantum BC. En novembre 2020, le CRSNG a fourni 4,4 M$ CA (3,4 M$ US) à l'appel à propositions conjoint Canada-R.-U. sur les technologies quantiques.
- Dans son budget de 2021, le gouvernement fédéral a proposé de fournir 360 M$ CA (288 M$ US) pour lancer une stratégie quantique nationale.

Principaux acteurs publics

- Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISCE)
- Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG)
- Conseil national de recherches du Canada (CNRC)
- Fondation canadienne pour l'innovation (FCI)
- Centre de la sécurité des télécommunications (CST)
- Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC)
- Agence spatiale canadienne (ASC)
- Ressources naturelles Canada (RNCan)
- Banque de développement du Canada (BDC)
- Technologies du développement durable Canada (TDDC)
- OMERS
- Office d'investissement des régimes de pensions du secteur public (PSP)
- Gouvernements provinciaux du Québec, de l'Ontario, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique

Autres acteurs

- CIFAR
- Mitacs
- Laboratoire de destruction créative
- Quantum Valley Ideas Lab (QVIL)
- Fondation de la famille Lazaridis
- 1 QBit
- Anyon Systems
- D-Wave Systems
- ISARA
- Quantum Benchmark
- Xanadu
- Zapata Computing

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

CHINE

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée

Objectifs stratégiques

- Depuis la 11e édition (2006-2010) des plans quinquennaux de la Chine (plans de développement économique et social de la Chine) et dans « Made in China 2025 » (plan stratégique de la Chine pour le secteur manufacturier de 2015), la R et D sur les technologies quantiques avait été désignée comme une industrie stratégique et un domaine d'innovation.
- Dans un discours prononcé en octobre 2020 devant le Politburo (l'organe exécutif central du Parti communiste), le président chinois Xi Jinping a souligné la nécessité d'accélérer les progrès dans le domaine des technologies quantiques pour promouvoir le développement et garantir la sécurité nationale, en mettant l'accent sur :
  - coordonner la R et D sur les technologies quantiques et soutenir les industries stratégiques
  - renforcer le soutien aux politiques et accroître les investissements
  - accélérer la mise en œuvre des projets de S et T quantiques
  - réaliser des percées dans des technologies clés et garantir la sécurité de la chaîne d'approvisionnement industrielle
  - cultiver les talents de haut niveau
  - promouvoir la collaboration entre l'industrie, les universités et les instituts de recherche

Projets choisis

- Créé en 2014, le Centre d'excellence en informatique quantique et en physique quantique (CCE-QIQP) de l'Académie chinoise des sciences (CAS) regroupe des chercheurs de plusieurs universités et instituts de la CAS. Le laboratoire d'informatique quantique CAS-Alibaba a pour sa part ouvert ses portes à Shanghai en 2015. En 2019, la CAS et le gouvernement municipal de Shanghai ont convenu de créer le Centre de recherche de Shanghai pour les sciences quantiques. Le Laboratoire national quantique (NQL) du CCE-QIQP à Hefei est en construction et devait ouvrir à la fin de l'année 2020.
- En 2017, le gouvernement municipal de Beijing, en partenariat avec la CAS et un certain nombre d'universités, a créé l'Académie d'informatique quantique de Beijing.
- En 2016, dans le cadre du projet Expériences quantiques à l'échelle spatiale (QUESS, Quantum Experiments at Space Scale) de la CAS, la Chine a lancé Micius, le premier « satellite quantique », pour réaliser des expériences avec une liaison de DQC spatioterrestre. Le satellite a été utilisé pour sécuriser des appels entre la CAS à Beijing et son collaborateur de l'Académie autrichienne des sciences à Vienne.
- En 2017, la CAS a lancé le réseau de communication quantique sécurisé Beijing-Shanghai (Quantum Secure Communication Backbone), une ligne de jonction de DQC à fibres optiques de 2 032 km reliant plusieurs réseaux de DQC métropolitains, dont l'expansion est prévue dans tout le pays. Les transactions bancaires sécurisées comptent parmi les premières utilisations prévues.
- En décembre 2020, une équipe dirigée par le CCE-QIQP a publié des résultats sur un ordinateur quantique photonique (non programmable) qui a atteint la suprématie quantique, achevant en 200 secondes un calcul qui aurait pris à un superordinateur 2,5 milliards d'années.

Talent

- Dans le cadre de sa stratégie quantique, la Chine mettra l'accent sur le perfectionnement des talents : établissement de programmes de formation pour les spécialistes du domaine quantique, renforcement des programmes universitaires et optimisation du mécanisme d'évaluation du personnel technique.

Financement gouvernemental

- Le financement gouvernemental pour la construction et l'exploitation du NQL représente 100 G¥ (15,3 G$ US) sur cinq ans.
- En février 2021, Origin Quantum, une entreprise dérivée de CCE-QIQP, a obtenu « plusieurs centaines de millions de yuans » en financement, y compris de plusieurs investisseurs affiliés au gouvernement et dirigés par le China Internet Investment Fund.

Principaux acteurs publics

- Ministère de la Science et de la Technologie (MOST)
- Ministère de l'Industrie et des Technologies de l'information (MIIT)
- Commission nationale de développement et de réforme (NDRC)
- Fondation nationale des sciences naturelles de Chine (NSFC)
- Académie chinoise des sciences (CAS)
- Banque industrielle et commerciale de Chine
- Banque de construction de Chine
- Fonds d'investissement Internet de Chine
- Fonds de la réforme de Chine
- Gouvernements municipaux de Shanghai et de Beijing

Autres acteurs

- Alibaba
- Baidu
- Huawei
- Origin Quantum
- QuantumCTek
- Tencent

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

CHYPRE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des experts chypriotes siègent au réseau communautaire quantique du programme Quantum Flagship de l'UE. La Chypre est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

CORÉE DU SUD

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée
Titre : Projet de développement des technologies d'informatique quantique

Objectifs stratégiques

- En janvier 2019, le ministère de la Science et des TIC de Corée du Sud a annoncé un projet quinquennal de développement des technologies d'informatique quantique afin de maintenir la compétitivité et l'avantage stratégique de l'industrie sud-coréenne des TIC, notamment par le développement de technologies de base de prochaine génération et d'un écosystème de recherche.
- En outre, dans le cadre de la « Nouvelle Donne numérique » post-COVID, la Corée du Sud pilotera un réseau national de DQC.

Projets choisis

- Le projet de développement a deux objectifs principaux :
  - Mettre au point le matériel de base pour les ordinateurs et les simulateurs quantiques, en particulier, a) d'ici 2023, mettre en œuvre une machine pratique de 5 bits avec une fiabilité de 90 %, et b) démontrer des cas d'utilisation de simulateurs quantiques présentant des avantages sociétaux et économiques
  - Créer les logiciels nécessaires aux ordinateurs quantiques comme de nouveaux algorithmes et architectures

Talent

- L'un des piliers majeurs du projet de développement consiste à créer un solide écosystème national de recherche quantique, grâce à la formation de 33 groupes de recherche en informatique quantique, dont sept équipes clés pour les technologies de base.

Financement gouvernemental

- 44,5 G (40,9 M$ US) sur 5 ans (2019-2023).

Principaux acteurs publics

- Le ministère de la Science et des TIC (MSIT)
- Fondation nationale de recherche de Corée
- KRISS (Institut coréen de recherche sur les normes et les sciences)
- Institut de technologies quantiques

Autres acteurs

- SK Telecom
- KT
- Samsung
- LG
- Hanwha Systems

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

CROATIE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des experts croates siègent au réseau communautaire quantique du programme Quantum Flagship de l'UE. La Fondation croate des sciences est un partenaire de QuantERA. La Croatie est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Fondation croate des sciences (HRZZ)

DANEMARK

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Le Fonds d'innovation danois a réalisé son plus gros investissement au profit de Qubiz, le Centre d'innovation quantique, aux côtés de partenaires universitaires et industriels, pour promouvoir la recherche scientifique dans le domaine des technologies quantiques (2016-2018). En 2020, il a investi dans deux consortiums réunissant le secteur universitaire et l'industrie pour la mise au point de technologies de communication quantique sécurisée, le projet FIRE-Q et le projet CryptQ.
- La Fondation nationale de recherche du Danemark subventionne actuellement quatre centres de recherche liés aux technologies quantiques : Centre sur les systèmes quantiques complexes (CCQ), Centre sur les états quantiques macroscopiques (bigQ), Centre sur les réseaux quantiques hybrides (Hy-Q), Centre sur les appareils quantiques (QDev).
- La Fondation Novo Nordisk finance deux nouveaux centres et collaborations : Simulateurs quantiques à l'état solide pour la biochimie (Solid-Q) et Le quantique au service de la vie (Quantum for Life).
- Microsoft exploite deux laboratoires quantiques, à Copenhague et à Lyngby.
- Des institutions danoises participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. Le Fonds d'innovation danois est un partenaire de QuantERA. Le Danemark est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- 80 M DKK (12,8 M$ US) pour Qubiz (2016-2018) et 40,3 M DKK (6,6 M$ US) pour deux projets de cryptographie quantique (2020) par le Fonds d'innovation du Danemark.
- 302,8 M DKK (48,9 M$ US) par la Fondation nationale de recherche du Danemark pour quatre centres de recherche (2012-2026)
- 108,6 M DKK (17,5 M$ US) par la Fondation Novo Nordisk pour deux centres de recherche et collaboration (2020).

Principaux acteurs publics

- Fonds d'innovation du Danemark
- Fondation nationale de recherche du Danemark
- Institut Niels Bohr

Autres acteurs

- Novo Nordisk
- Microsoft
- Danske Bank
- Energienet

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

ÉMIRATS ARABES UNIS

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux

Objectifs stratégiques

- Les EAU considèrent l'informatique quantique comme un pilier majeur de leurs politiques scientifiques et technologiques. Ils espèrent travailler au développement de technologies quantiques qui amélioreront de nombreux domaines : sécurité des communications, analyse de données, imagerie, apprentissage automatique, intelligence artificielle, science des matériaux et exploitation énergétique.

Projets choisis

- Le groupe de recherche sur l'informatique quantique de l'Université de Khalifa collabore avec le milieu universitaire et l'industrie afin d'établir une base de recherche en informatique et en communications quantiques, en privilégiant des applications comme les communications sûres, l'analyse de données, l'imagerie, l'apprentissage automatique, l'intelligence artificielle, la science des matériaux et l'exploitation énergétique. Au nombre des projets figure une collaboration avec D-Wave et Oak Ridge National Lab en vue d'optimiser les portefeuilles financiers.
- L'Administration de l'électricité et des eaux de Dubaï (DEWA) collabore avec Microsoft pour mettre au point des solutions d'inspiration quantique pour des initiatives d'optimisation énergétique et de durabilité.
- En novembre 2020, le Conseil de recherches sur les technologies avancées d'Abu Dhabi a créé le Centre de recherche quantique, un centre d'excellence au sein du nouvel Institut d'innovation technologique.
- Mubadala Capital, l'un des plus grands fonds souverains d'Abu Dhabi, est l'un des principaux investisseurs d'IonQ, basé au Maryland.

Principaux acteurs publics

- Administration de l'électricité et des eaux de Dubaï (DEWA)
- Société d'investissement Mudabala
- Conseil de recherche sur les technologies avancées

Autres acteurs

- Microsoft
- D-Wave

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

ESPAGNE

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- La plateforme des technologies quantiques (QTEP) du Conseil national de recherches espagnol (CSIC) réunit des chercheurs des instituts du CSIC de toute l'Espagne et des collaborateurs de l'industrie. Parmi les partenaires, notons BBVA (pour le développement d'algorithmes quantiques destinés aux applications financières) et le réseau IBM Q.
- Des institutions et des entreprises espagnoles participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. L'Agence nationale espagnole de la recherche est un partenaire de QuantERA. L'Espagne est signataire de la déclaration sur l'EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de la Compétitivité (MINECO) - Agence nationale de la recherche (AEI)
- Conseil national de recherches de l'Espagne (CSIC)
- Centro de Supercomputación de Galicia (CEGSA)

Autres acteurs

- Telefónica
- BBVA
- IBM

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

ESTONIE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des institutions et entreprises estoniennes participent au programme Quantum Flagship de l'UE. L'Estonie est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

ÉTATS-UNIS

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée

Titre : Initiative quantique nationale

Objectifs stratégiques

- Les principaux objectifs de la National Quantum Initiative Act (Loi sur l'initiative quanti que nationale), promulguée en décembre 2018, sont les suivants :
  - Définir les méthodes scientifiques permettant de relever les défis recensés en vue d'un progrès transformateur
  - Développer une main-d'œuvre quantique qui puisse répondre à la croissance de l'industrie
  - Promouvoir la mobilisation de l'industrie pour créer des partenariats public-privé
  - Promouvoir la croissance économique
  - Assurer la sécurité nationale
  - Promouvoir et établir des partenariats et des collaborations à l'échelle internationale

Projets choisis

- La Maison-Blanche a créé un bureau de coordination quantique national pour mettre en œuvre et coordonner le programme décennal de l'Initiative quantique nationale (NQI) pour les applications des technologies quantiques et des sciences de l'information.
- La National Science Foundation (NSF) a créé trois Quantum Leap Challenges Institutes (Instituts de défis quantiques) qui rassemblent des chercheurs universitaires, des laboratoires nationaux et des entreprises afin de promouvoir la recherche pluridisciplinaire et de former une main-d'œuvre prête pour les technologies quantiques. Ces instituts sont les suivants :
  - Q-SEnSE : Quantum Systems through Entangled Science and Engineering (Systèmes quantiques par la science et le génie de l'intrication)
  - HQAN : Hybrid Quantum Architectures and Networks (Architectures et réseaux quantiques hybrides)
  - Institute for Present and Future Quantum Computing (Institut pour l'informatique quantique d'aujourd'hui et de demain)
- Dans le cadre de son programme « Quantum Leap », la NSF a également créé une fonderie quantique qui réunit le secteur universitaire et l'industrie pour fabriquer de nouveaux matériaux destinés aux technologies quantiques, et le Center for Quantum Networks (Centre des réseaux quantiques) dont l'objectif est de construire un réseau quantique à correction d'erreurs.

Suite à la page suivante

- Le département de l'Énergie (DOE) s'est associé à de grands acteurs industriels et à des institutions universitaires pour mettre sur pied cinq centres d'informatique quantique dans ses laboratoires nationaux afin de mener des recherches, de créer des prototypes, de fournir des bancs d'essai et d'accélérer le transfert de connaissances et la commercialisation. Ces centres sont les suivants :
  - Q-NEXT : Next Generation Quantum Science and Engineering (Science et génie quantiques de prochaine génération) (Argonne National Lab)
  - C2QA : Co-design Center for Quantum Advantage (Centre de co-conception pour l'avantage quantique) (Brookhaven National Lab)
  - SQMS : Superconducting Quantum Materials and Systems Center (Centre des matériaux et systèmes quantiques supraconducteurs) (Fermilab)
  - QSA : Quantum Systems Accelerator (Accélérateur de systèmes quantiques) (Lawrence Berkeley National Lab)
  - QSC : The Quantum Science Center (Centre de science quantique) (Oak Ridge National Lab)
  - De plus, le DOE travaille à l'élaboration d'un projet d'Internet quantique à l'échelle nationale.
- Par l'intermédiaire du National Institute for Standards and Technology (NIST) (Institut national des normes et de la technologie), il y a eu création du Quantum Economic Development Consortium (QED-C) (Consortium pour le développement économique du domaine quantique) qui réunit l'industrie, le secteur universitaire et le gouvernement afin de créer une industrie quantique et les chaînes d'approvisionnement connexes.
- Outre les centres de la NQI, plusieurs organismes gouvernementaux américains maintiennent un soutien de longue date à la recherche quantique, notamment les travaux des instituts conjoints du NIST, les laboratoires nationaux du DOE, les centres de la NSF et le Quantum Artificial Intelligence Laboratory (QuAIL) (Laboratoire d'intelligence artificielle quantique) de la NASA.
- En mars 2020, le DARPA a lancé le programme ONISQ (Optimization with Noisy Intermediate-Scale Quantum devices) (Optimisation à l'aide d'appareils quantiques bruyants de taille intermédiaire) afin d'explorer la possibilité de combiner les systèmes NISQ et classiques pour résoudre les problèmes d'optimisation combinatoire. Le DARPA et l'IARPA appuient d'autres programmes de recherche quantique.

Talent

- Le National Q-12 Education Partnership (Partenariat national en éducation Q-12) est dirigé par l'OSTP (Bureau pour la Science et la Technologie) de la Maison-Blanche et la NSF pour favoriser la création d'une main-d'œuvre quantique diversifiée et équitable. Le partenariat entre l'industrie, les sociétés universitaires, les éducateurs et le programme Q2Work, financé par la NSF, permettra de mettre au point du matériel pédagogique (du secondaire à l'université) et d'assurer le perfectionnement professionnel des enseignants.

Financement gouvernemental

- La National Quantum Initiative Act a autorisé des dépenses à hauteur de 1,275 G$ US pour le département de l'Énergie, la National Science Foundation et le National Institute of Standards and Technology. Selon l'OSTP de la Maison-Blanche, le gouvernement fédéral a octroyé au cours de l'exercice financier 2020 un financement de 579 M$ US pour la recherche en informatique quantique.
- Le gouvernement fédéral appuie de jeunes entreprises et d'autres sociétés quantiques à l'aide de subventions et de contrats accordés par divers organismes comme le DARPA, l'IARPA et les programmes Small Business Innovation Research (SBIR) et Small Business Technology Transfer (STTR). En outre, In-Q-T (le fonds de capital-risque à but non lucratif soutenu par la CIA), la NSA et d'autres organismes gouvernementaux ont investi dans des entreprises quantiques, notamment Q-CTRL, QuintessenceLabs et D-Wave.

Principaux acteurs publics

- White House Office of Science and Technology Policy (OSTP)
- Department of Energy (DOE)
- Deparment of Defense (DOD)
- Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)
- Intelligence Advanced Research Projects Activity (IARPA)
- National Science Foundation (NSF)
- National Institute of Standards and Technology (NIST)
- National Aeronautics and Space Administration (NASA)
- National Science and Technology Council (NSTC)
- Subcommittee on Quantum Information Science (SCQIS)
- In-Q-T

Autres acteurs

- Google
- Honeywell
- IBM
- Intel
- IonQ
- Microsoft
- PsiQuantum
- Rigetti
- SRI International
- Amazon
- Boeing
- GE
- Lockheed Martin
- Northrop Grumman
- Raytheon

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

FINLANDE

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- L'Académie de Finlande finance Technologies quantiques Finlande (QTF), le Centre national d'excellence en technologies quantiques, qui soutient la recherche fondamentale et les infrastructures de recherche pour la création d'applications quantiques à l'état solide.
- Le gouvernement finlandais finance VTT, une entreprise publique de R et D, et IQM, une entreprise dérivée de VTT et de l'Université d'Aalto, pour construire le premier ordinateur quantique de Finlande.
- Le bureau de Microsoft à Espoo fournit l'expertise de fabrication pour le programme quantique de la société.
- Des institutions finlandaises participent au programme Quantum Flagship de l'UE. L'Académie de Finlande est un partenaire de QuantERA. La Finlande est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- 20,7 M€ (25 M$ US) pour le projet d'ordinateur quantique de VTT.
- Investissement de 3,3 M€ (4 M$ US) (2020) dans IQM par Business Finland, une organisation gouvernementale de financement de l'innovation.

Principaux acteurs publics

- Centre de recherche technique VTT de Finlande
- Académie de Finlande
- Business Finland

Autres acteurs

- IQM
- Nokia

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

FRANCE

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée / Participation à des partenariats quantiques internationaux
Titre : Stratégie nationale sur les technologies quantiques

Objectifs stratégiques

- Le plan quantique français, lancé en janvier 2021, vise à permettre à la France d'être parmi les premières nations à concevoir un ordinateur quantique universel pour garantir la souveraineté technologique et contribuer à l'autonomie stratégique de l'Europe. Cette stratégie renforcera les capacités scientifiques et technologiques de la France, la chaîne de valeur industrielle, le développement du capital humain et l'anticipation des besoins en matière de compétences des marchés futurs.
- Objectifs clés :
  - Maîtriser cinq domaines technologiques stratégiques : accélérateurs et simulateurs NISQ; ordinateurs quantiques à grande échelle et logiciels; capteurs; communication; cryptographie
  - Devenir le premier État à mettre au point un prototype d'ordinateur quantique général, d'ici 2023
  - Maîtriser les secteurs industriels critiques dans le domaine des technologies quantiques, y compris les technologies habilitantes
  - Devenir un chef de file mondial dans le domaine des lasers et de la cryogénie
  - Mettre en place une chaîne de production industrielle complète de silicium 28 pour la production de qubits
  - Développer les compétences et le capital humain, renforcer l'infrastructure technologique, créer un environnement favorable à l'intensification de l'entrepreneuriat et du transfert technologique, et attirer les talents mondiaux

Projets choisis

- Un coordonnateur ministériel, au sein du conseil interministériel de l'innovation, assurera la direction du plan quantique. Le gouvernement est responsable de la conception de la stratégie en collaboration avec les principaux organismes de recherche et comptera trois pôles ou grappes à Paris, à Saclay et à Grenoble.
- Voici les principaux éléments du plan :
  - Appel à projets au titre de « Programme et équipement pour la recherche prioritaire » (PEPR) axé sur 4 domaines : qubits à l'état solide, atomes froids, algorithmes quantiques, frontières de la calculabilité et de la sécurité
  - Grand défi de mise au point d'accélérateurs quantiques NISQ de première génération
  - Programme de développement industriel pour soutenir la R et D collaborative public-privé de quasi-marché sur les technologies habilitantes, notamment Si-28, lasers et cryogénie
  - Programme de maturation technologique pour soutenir la R et D collaborative public-privé à moyen terme sur les capteurs, les protocoles de correction d'erreurs et les algorithmes post-quantiques
  - Mise au point de plateformes de fabrication et d'une plateforme de métrologie quantique
  - Incubateurs et initiatives de type « pôle » pour promouvoir le transfert technologique
  - Fonds de contrepartie pour les entreprises en démarrage grâce à des fonds publics tels que French Tech Seed et French Tech Souveraineté
  - Marchés publics de technologies quantiques pour l'informatique et la défense
- Silicon Quantum Computing (qui appartient en partie au gouvernement australien) et la Commission française de l'énergie atomique et des énergies alternatives collaborent à la fabrication du premier ordinateur quantique à base de silicium.
- Des institutions et entreprises françaises participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. L'Agence nationale de la recherche est un partenaire de QuantERA. La France est signataire de la déclaration EuroQCI.

Talent

- Former 5 000 nouveaux talents dans les technologies quantiques et 1 700 jeunes chercheurs, dont 200 nouvelles thèses de doctorat, 200 nouveaux contrats postdoctoraux et environ 10 bourses pour jeunes talents par an.
- Mettre en place des programmes interdisciplinaires qui associent la physique quantique, l'algorithmique et le génie dans les écoles de génie et les programmes de maîtrise.
- Introduire des modules de formation sur les technologies quantiques dans les diplômes techniques de premier cycle (DUT) de deux ans.

Financement gouvernemental

- Investissement total sur 5 ans de 1,8 G€ (2,2 G$ US), dont 1 G€ (1,2 G$ US) provient du gouvernement (y compris le financement du 4e plan d'investissements futurs, dans le cadre de la reprise post-COVID); le reste provient du secteur privé et de sources de l'UE.

Principaux acteurs publics

- Commission de l'énergie atomique et des énergies alternatives (CEA)
- Agence nationale de la recherche (ANR)
- Centre national de la recherche scientifique (CNRS)
- Institut français de recherche en informatique et en automatique (INRIA)
- Bpifrance (banque publique d'investissement de la France)
- SGPI (Secrétariat général pour l'investissement)
- Électricité de France

Autres acteurs

- Atos
- Airbus
- Orange
- Thales
- Total

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

GRÈCE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des experts grecs siègent au réseau communautaire quantique du programme Quantum Flagship de l'UE. Le Secrétariat général pour la recherche et la technologie (GSRT) du ministère grec de l'Éducation, de la Recherche et des Affaires religieuses est un partenaire de QuantERA. La Grèce est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Le Secrétariat général pour la recherche et la technologie (GSRT) du ministère de l'Éducation, de la Recherche et des Affaires religieuses

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

HONGRIE

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée /Participation à des partenariats quantiques internationaux

Titre : Programme national sur les technologies quantiques

Objectifs stratégiques

- Le programme national hongrois sur les technologies quantiques s'efforcera de connecter la Hongrie à l'Internet quantique européen en développement, de maintenir et d'améliorer la compétitivité des chercheurs dans le domaine des technologies quantiques et d'accroître le nombre d'ingénieurs et de chercheurs dans ce domaine en Hongrie.

Projets choisis

- Le consortium HunQuTech est responsable de la mise en œuvre de la stratégie et rassemble des universités, des instituts de recherche et des partenaires de l'industrie. Le consortium se concentre sur la communication et la cryptographie quantiques, mais réalise aussi des projets portant sur la détection, la mémoire, la manipulation des qubits et d'autres sujets.
- Des experts hongrois siègent au réseau communautaire quantique du programme Quantum Flagship de l'UE. L'Office national hongrois de la recherche, du développement et de l'innovation est un partenaire de QuantERA. La Hongrie est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- 3,5 G HUF (11,8 M$ US) sur 4 ans (2018-2022).

Principaux acteurs publics

- Recherche nationale, développement et innovation (NRDI)
- Académie hongroise des sciences

Autres acteurs

- Bonn Hungary Electronics
- Ericsson Hungary
- Nokia-Bell Labs
- Femtonics

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

INDE

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée
Titre : Mission nationale sur les technologies et applications quantiques

Objectifs stratégiques

- L'Inde a lancé une mission nationale sur les technologies et applications quantiques dans son budget de l'Union de 2020 qui portera sur la science fondamentale, la recherche translationnelle, le développement technologique et l'entrepreneuriat dans quatre domaines : informatique, matériaux, communication, détection/métrologie.

Projets choisis

- Dans le cadre de la mission nationale, l'Inde va créer quatre parcs scientifiques et 21 pôles quantiques (chacun d'entre eux mènera des activités de R et D fondamentale et appliquée, de développement technologique, de formation et d'incubation d'entreprises en démarrage). Le Conseil d'information, de prévision et d'évaluation technologique met sur pied actuellement des comités d'experts et des consultations afin de rédiger un rapport de projet détaillé de mission.
- En 2019, le ministère de la Science et de la Technologie a commencé à financer le programme Quantum-Enabled Science & Technology (QuEST) (Science et technologies quantiques) pour soutenir des projets collaboratifs qui jettent les bases de la recherche et de l'infrastructure de l'informatique et des communications quantiques.
- Depuis 2017, l'Institut de recherche Raman et l'ISRO collaborent dans le domaine des communications quantiques satellitaires.

Talent

- La mission nationale se concentre sur le développement des ressources humaines et la formation de la prochaine génération de travailleurs.

Financement gouvernemental

- 80 G₹ (1,08 G$ US) sur 5 ans (2020-2024) pour la Mission nationale. 800 M₹ (10,8 M$ US) sur 3 ans (2019-2021) pour le programme QuEST.

Principaux acteurs publics

- Ministère de la Science et de la Technologie (DST)
- Conseil de l'information, de la prévision et de l'évaluation technologiques (TIFAC)
- Institut de recherche Raman
- Institut indien des sciences
- Organisation indienne de recherche spatiale (ISRO)
- Organisation de recherche et développement pour la défense (DRDO)
- Ministère de l'Énergie atomique (DAE)

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

IRAN

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée

Objectifs stratégiques

- L'Organisation iranienne de l'énergie atomique (OIEA) a annoncé en septembre 2019 l'achèvement d'une feuille de route pour le développement des technologies quantiques.

Projets choisis

- En juillet 2018, le Centre national iranien de science et technologie laser a ouvert un laboratoire de recherche sur la DQC.

Talent

- L'OIEA a lancé une campagne d'information publique sur la physique quantique.

Principaux acteurs publics

- Organisation iranienne de l'énergie atomique

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

IRLANDE

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- En 2008, l'Ireland Centre for High-End Computing (ICHEC) (Centre irlandais d'informatique de pointe) a créé l'initiative Quantum Programming Ireland (QPI) (Programmation quantique Irlande) afin de mettre au point des logiciels pour des applications quantiques dans les domaines de l'IA, de la chimie et de l'énergie.
- Le projet Quantum Computing in Ireland (QCoir) (Informatique quantique en Irlande), mené par un consortium d'entreprises, d'universités et d'instituts de recherche, a été lancé en octobre 2020. Le projet vise à développer une pile logicielle agnostique à la technologie qubit pour des applications éventuelles de l'informatique quantique dans des domaines comme la logistique, la finance et la découverte de médicaments.
- Des institutions irlandaises participent au projet Quantum Flagship de l'UE. Science Foundation Ireland (SFI) (Fondation irlandaise des sciences) est un partenaire de QuantERA.

Financement gouvernemental

- En mars 2019, Intel et Enterprise Ireland ont octroyé 150 K€ (181 K$ US) à l'ICHEC pour le projet de traitement quantique du langage naturel dans le cadre du QPI.
- Le QCoir est un projet de 11 M€ (13 M$ US), dont 7,3 M€ (8,8 M$ US) proviennent du Disruptive Technologies Innovation Fund (Fonds d'innovation pour les technologies transformatrices), un fonds de collaboration géré par le ministère de l'Entreprise, du Commerce et de l'Emploi; le reste du financement provient de partenaires industriels.

Principaux acteurs publics

- Irish Centre for High-End Computing (ICHEC)
- Tyndall National Institute
- Science Foundation Ireland (SFI)
- Ministère du Commerce, de l'Entreprise et de l'Innovation
- Enterprise Ireland

Autres acteurs

- Intel
- IBM
- Mastercard

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

ISRAËL

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée / Participation à des partenariats quantiques internationaux
Titre : Programme national de science et de technologies quantiques

Objectifs stratégiques

- En 2018, le ministère de la Défense, le Conseil de l'enseignement supérieur et la Fondation israélienne des sciences, conformément à la recommandation du Comité consultatif national sur la science et les technologies quantiques, ont créé un fonds de recherche pour la science et les technologies quantiques afin de jeter les assises d'un écosystème quantique axé sur la communication, la simulation, la détection et les matériaux quantiques.
- En 2019, le forum TELEM (Forum national sur les infrastructures de R et D) a approuvé un plan national de R et D quantique axé sur le développement d'applications et de matériel périphérique.

Projets choisis

- Au nombre des recommandations du plan approuvé par TELEM, notons : création de nouveaux laboratoires de recherche; mise en place d'une infrastructure nationale de matériel informatique quantique; établissement d'un centre de R et D appliquée, à l'appui des industries dans le domaine de la détection, des communications et des composants quantiques; et accélération des projets d'application dans l'industrie et la défense.
- En septembre 2018, l'Autorité israélienne de l'innovation, en partenariat avec l'Administration pour le développement des armes et des infrastructures technologiques du ministère de la Défense, a lancé le Consortium des technologies quantiques (QTC), un consortium MAGNET (mécanisme de soutien à la R et D préconcurrentielle) qui réunit les universités et l'industrie.
- IBM Research - Haïfa mène des recherches sur la simulation de circuits quantiques.
- Des institutions et des entreprises israéliennes participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. Le Centre industriel israélien pour la R et D est un partenaire de QuantERA.

Talent

- Le plan de TELEM recommande de mettre l'accent sur les ressources humaines, y compris le recrutement de personnel universitaire, la mise en place de programmes et de bourses universitaires, et des mesures pour attirer des chercheurs étrangers.

Financement gouvernemental

- Le fonds de recherche de 2018 octroie 100 M₪ (30,7 M$ US) sur cinq ans (2018-2022). Dans le plan de 2019, le gouvernement compte investir 1,25 G₪ (380 M$ US) sur 6 ans, dont 190 M₪ (58 M$ US) constitueraient un nouveau financement.

Principaux acteurs publics

- Ministère de la Défense - Administration pour le développement des armes et de l'infrastructure technologique (MAFAT)
- Ministère des Finances
- Ministère de la Science et de la Technologie
- Fondation israélienne des sciences
- Conseil de l'enseignement supérieur
- Autorité israélienne de l'innovation
- Académie des sciences et des lettres d'Israël - forum TELEM (Forum national sur les infrastructures de R et D)
- Industries aérospatiales israéliennes
- Systèmes de défense avancés Rafael
- Centre industriel israélien de R et D

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

ITALIE

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- L'Institut national de recherche métrologique (INRIM) a construit un réseau quantique italien à fibres optiques qui s'étend de la frontière française jusqu'à Matera en passant par Turin, Milan, Florence, Bologne, Rome et Naples. Il sert de banc d'essai pour la DQC, la mesure de la gravité et la géodésie spatiale. Les projets actuels et futurs comprennent un réseau régional entre Udine et Trieste avec des liens éventuels avec le réseau QUAPITAL en Europe centrale, et de la Sicile à Malte.
- Des institutions et des entreprises italiennes participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. Le ministère italien de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et le Conseil national de recherches sont des partenaires de QuantERA. L'Italie est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Ministère de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MIUR)
- Conseil national de recherches (CNR)
- Institut national de recherche métrologique (INRIM)
- Institut national d'optique (INO)
- Institut national d'astrophysique (INAF)
- Agence spatiale italienne (ASI)
- Laboratoire européen de spectroscopie non linéaire (LENS)

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

JAPON

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée
Titre : Stratégie d'innovation en matière de technologies quantiques

Objectifs stratégiques

- Le rapport final de la stratégie, publié en janvier 2020, expose les principes et les stratégies pour les dix à vingt prochaines années, notamment :
  - Élaborer des feuilles de route pour quatre domaines technologiques prioritaires (informatique et simulation quantiques, détection et métrologie quantiques, communication et cryptographie quantiques, matériaux quantiques) aux fins de soutien stratégique
  - Élaborer des feuilles de route pour trois domaines d'innovation intégrés (IA quantique, biotechnologie quantique, sécurité quantique) comme étant les domaines de développement futur les plus importants pour l'industrie japonaise
  - Mettre en place cinq centres d'innovation quantique ou plus pour réunir les universités, les instituts de recherche et l'industrie
  - Créer un Conseil de l'innovation en matière de technologies quantiques composé d'universités, d'instituts de recherche, d'entreprises, etc. pour chaque domaine technologique
  - Créer dix entreprises à risque ou plus par des investissements d'institutions financières affiliées au gouvernement ou à l'Innovation Network Corporation of Japan, des programmes de soutien au démarrage, des marchés publics, etc.

Projets choisis

- Le programme Q-LEAP (Quantum Leap Flagship Program) du ministère de l'Éducation est un programme décennal (2018-2027) de R et D visant à établir des réseaux de recherche dans trois domaines technologiques (technologie de l'informatique quantique, métrologie et détection quantiques, laser de prochaine génération) afin de réaliser un projet phare dans chaque domaine et de soutenir la recherche fondamentale.
- Le projet décennal (2018-2027) de l'Organisation pour le développement des nouvelles énergies et des technologies industrielles (NEDO) concernant le développement d'une puce innovante basée sur l'intelligence artificielle et de technologies informatiques de prochaine génération finance des consortiums réunissant l'industrie et le secteur universitaire dans quatre axes de R et D, dont deux sont liés au domaine quantique : la réalisation d'un recuit quantique à haute vitesse et haute précision et la plateforme logicielle connexe.
- Le programme interministériel de promotion de l'innovation stratégique (SIP) est un projet national axé sur la science, la technologie et l'innovation, dirigé par le Conseil pour la science, la technologie et l'innovation du bureau du conseil des ministres. L'un des thèmes retenus pour la deuxième phase du SIP (2018-2022) est la photonique et les technologies quantiques pour la société 5.0, dont l'un des volets de R et D est la communication photonique quantique, avec un accent sur le développement de la technologie infonuagique quantique sécurisée.
- Le sixième objectif du programme de recherche et développement Moonshot, un programme décennal lancé par le cabinet du conseil des ministres en 2020, propose d'appuyer la R et D en vue de mettre au point un ordinateur NISQ pratique de 100 qubits et de démontrer l'efficacité de la correction des erreurs quantiques d'ici 2030; de faire la démonstration d'un ordinateur NISQ distribué et connecté par un réseau de communication quantique sécurisé et d'utiliser des algorithmes quantiques avec correction d'erreurs pour effectuer des tâches utiles, d'ici 2040; et de réaliser des ordinateurs quantiques à grande échelle tolérants aux fautes d'ici 2050.
- IBM et l'Université de Tokyo ont lancé le consortium QIIC (Quantum Innovation Initiative Consortium), avec d'autres partenaires universitaires et industriels, pour fabriquer un ordinateur quantique au Japon d'ici 2021, accroître la collaboration entre les universités, l'industrie et le gouvernement, et faire progresser la R et D sur les technologies quantiques et les technologies de soutien.

Talent

- La stratégie d'innovation propose de promouvoir le développement des ressources humaines par des programmes éducatifs systématiques dans les universités, de recruter des talents étrangers (par exemple, par l'entremise des centres d'innovation quantique), et de favoriser une génération quantique locale par l'amélioration des programmes de sciences et de mathématiques dans les écoles secondaires et les collèges techniques et par des activités de communication scientifique.

Financement gouvernemental

- Dans le budget de l'exercice financier 2020, 21,5 G¥ (206 M$ US) ont été affectés à la Stratégie d'innovation en matière de technologies quantiques qui englobe notamment les projets Q-LEAP, NEDO et SIP.
- Le budget quinquennal proposé pour l'ensemble du programme Moonshot représente 100 G¥ (960 M$ US).

Principaux acteurs publics

- Bureau du conseil des ministres (CAO)
- Ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, de la Science et de la Technologie (MEXT)
- Ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie (METI)
- Agence japonaise pour la science et la technologie (JST)
- Organisation pour le développement des nouvelles technologies énergétiques et industrielles (NEDO)
- RIKEN
- Institut national d'informatique
- Institut national des sciences et technologies industrielles avancées (AIST)
- Instituts nationaux des sciences et technologies quantiques et radiologiques (QST)
- Institut national des technologies de l'information et des communications (NTIC)

Autres acteurs

- IBM
- Fujitsu
- Hitachi
- Mitsubishi
- NEC
- NTT
- Toshiba
- Mizuho Financial Group

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

LETTONIE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des entreprises et des experts lettons participent au programme Quantum Flagship de l'UE. L'Agence lettone de développement de l'éducation nationale est un partenaire de QuantERA.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Agence de développement de l'éducation nationale (VIAA)

LITUANIE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des experts lituaniens siègent au réseau communautaire quantique du programme Quantum Flagship. La Lituanie est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

MALTE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Le programme OTAN pour la science au service de la paix et de la sécurité (SPS) a lancé deux projets conjoints avec Malte, en tant que pays membre du Partenariat pour la paix de l'OTAN, sur la cybersécurité post-quantique et les communications sécurisées. Le premier projet vise à mettre au point des protocoles cryptographiques post-quantiques. Le second consistera à établir une liaison de communication quantique à fibres optiques entre Malte et l'Italie.
- Des institutions et des experts maltais participent au programme Quantum Flagship de l'UE. Malte est signataire de la déclaration EuroQCI.

Principaux acteurs publics

- Université de Malte

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

NORVÈGE

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Le Conseil de recherches de Norvège finance QuSpin, un centre d'excellence en recherche axé sur la spintronique quantique.
- SINTEF, le plus grand organisme de recherche indépendant de Norvège, a lancé en 2019 un projet stratégique de recherche sur les algorithmes pour les applications de l'informatique quantique, y compris l'optimisation et l'apprentissage automatique.
- Des entreprises et des experts norvégiens participent au programme Quantum Flagship de l'UE. Le Conseil de recherches de Norvège est un partenaire de QuantERA.

Financement gouvernemental

- 129,2 M NOK (14,7 M$ US) sur 10 ans (2017-2027) pour QuSpin

Principaux acteurs publics

- Conseil de recherches de Norvège

Autres acteurs

- SINTEF

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

NOUVELLE-ZÉLANDE

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement

Projets choisis

- Le Centre Dodd-Walls de technologies photoniques et quantiques est un centre national d'excellence en recherche constitué d'un réseau de six universités dont l'objectif est de réaliser des recherches fondamentales et de promouvoir l'innovation en appuyant la commercialisation et le développement de prototypes.

Talent

- Le Centre Dodd-Walls forme des étudiants diplômés et leur offre des occasions de réseautage et de recrutement avec l'industrie.

Financement gouvernemental

- De 2015 à 2021, le financement du Centre d'excellence en recherche (CoRE) au profit du Centre Dodd-Walls a été de 5,04 M$ NZ (3,57 M$ US) par an. Il a été renouvelé en octobre 2020 à hauteur de 36,75 M$ NZ (26,06 M$ US) pour une période de sept ans (2021-2028).

Principaux acteurs publics

- Commission de l'enseignement supérieur (TEC)

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

PAYS-BAS

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée / Participation à des partenariats quantiques internationaux
Titre : Programme national des technologies quantiques

Objectifs stratégiques

- Le programme national, d'abord publié en septembre 2019, entend positionner les Pays-Bas comme un centre international et un pôle de premier plan dans le domaine des technologies quantiques. Il a pour objectif de former 2000 chercheurs et ingénieurs, de favoriser l'expansion de 100 jeunes entreprises et de mettre en place trois laboratoires d'entreprises en R et D d'ici 2027. Le programme est mené par la fondation publique-privée Quantum Delta NL. Il y a quatre principales lignes d'action :
  - Promouvoir la recherche et l'innovation dans six domaines (informatique, simulation, communication, détection, algorithmes, cryptographie)
  - Établir un écosystème, créer un marché et mettre en place une infrastructure
  - Renforcer le capital humain en mettant l'accent sur l'éducation, les connaissances et les compétences
  - Soutenir et diffuser la recherche sur les aspects éthiques, juridiques et sociaux (ELSA) des technologies quantiques
- Le programme définit également trois programmes catalyseurs pour réunir les parties prenantes de l'écosystème et accélérer l'introduction des technologies quantiques dans la société :
  - Créer la première plateforme européenne d'informatique quantique, avec développement d'applications
  - Créer un réseau quantique national ayant des liens avec l'UE et l'espace
  - Mettre au point des applications de détection quantique

Projets choisis

- Cinq pôles d'innovation, dont l'objectif est différent, réuniront des universités, des instituts de recherche, des entreprises et des jeunes pousses :
  - Quantum Delft, appuyé par QuTech (Centre de recherche avancée sur l'informatique quantique et l'Internet quantique)
  - Quantum.Amsterdam, appuyé par QuSoft (Centre de recherche sur les logiciels quantiques)
  - QT/e (Centre des matériaux et technologies quantiques d'Eindhoven)
  - aQa (Algorithmes quantiques appliqués - Leyde)
  - un pôle à l'Université de Twente axé sur les nanotechnologies pour les applications quantiques
- Afin de créer un écosystème d'innovation quantique, le programme prévoit la mise sur pied d'une « Maison quantique » qui sera un lieu de rencontre pour les scientifiques, les étudiants, les entrepreneurs, les financiers et les entreprises. Le programme prévoit aussi la création de laboratoires de terrain pour mettre à l'essai et appliquer des solutions ciblées en coopération avec diverses industries; la mise en place d'un fonds de soutien à l'innovation pour les PME et de fonds de prédémarrage et de démarrage pour les jeunes entreprises; ainsi que la modernisation et l'expansion de l'infrastructure nationale de salles blanches pour les nanotechnologies.
- Le programme établira le « Living Lab Quantum & Society » afin de mobiliser la société au sujet des aspects éthiques, juridiques et sociaux des technologies quantiques et de créer des boîtes à outils, des normes et des cadres de gouvernance pour une innovation quantique responsable. Le Living Lab soutiendra la recherche, conseillera les entreprises et mettra en place un « centre de soutien sur la société quantique » pour informer les citoyens et recevoir leurs commentaires.
- Intel Labs collabore avec QuTech depuis 2015 pour faire avancer l'informatique quantique. Microsoft a également ouvert un Quantum Lab à Delft en 2019.
- Des institutions néerlandaises participent à l'initiative Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. L'Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique est un partenaire de QuantERA. Les Pays-Bas sont signataires de la déclaration EuroQCI.

Suite à la page suivante

Talent

- En se fondant sur l'Académie QuTech à Delft, le module d'informatique quantique et la maîtrise de QuSoft à Amsterdam, ainsi que sur le certificat sur les matériaux et technologies quantiques de QT/e, le programme propose d'élargir et de renforcer les programmes d'enseignement. Au nombre des autres propositions, notons des stages en industrie et des cours pour ceux qui travaillent actuellement dans l'industrie, des activités pour les enseignants et le public et des mesures pour attirer des talents internationaux
(par exemple, des postes de professeurs ou d'entrepreneurs).

Financement gouvernemental

- En février 2020, le gouvernement néerlandais a affecté 23,5 M€ (30 M$ US) au programme national. En avril 2021, le Fonds national de croissance a accordé 615 M€ (740 M$ US) à Quantum Delta NL pour son budget septennal (2021-27)

Principaux acteurs publics

- Ministère des Affaires économiques et du Climat
- Organisation néerlandaise de recherche scientifique appliquée (TNO)
- Organisation néerlandaise de recherche scientifique (NWO)
- Techleap.nl

Autres acteurs

- Microsoft
- Intel
- Google
- Shell
- ABN AMRO
- Thales
- EuroFiber
- KPN
- Rabobank

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

POLOGNE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis
- Des institutions et des entreprises polonaises participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. Le Centre national des sciences de Pologne est le coordonnateur de QuantERA, et le Centre national de recherche et développement en est un partenaire. La Pologne est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental
- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics
- Centre national des sciences (NCN)
- Centre national de recherche et développement (NCBR)
- Ministère de la Science et de l'Enseignement supérieur
- Centre de superinformatique et de mise en réseau de Poznan (affilié à l'Académie polonaise des sciences)

Autres acteurs
- Fondation des sciences de Pologne

Sources primaires
Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

PORTUGAL

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis
- QuantaLab est un consortium composé du Laboratoire ibérique international de nanotechnologie (INL) (un institut basé au Portugal et financé conjointement par les gouvernements de l'Espagne et du Portugal), de l'Université du Minho, de l'INESC TEC (un institut de recherche axé sur la R et D et le transfert technologique) et du Ceiia (Centre d'excellence et d'innovation dans l'industrie automobile). Il s'agit également d'un espace IBM Q.
- Des institutions portugaises participent au programme Quantum Flagship de l'UE. La Fondation portugaise pour la science et la technologie est un partenaire de QuantERA. Le Portugal est signataire de la déclaration EuroQCI.

Talent
- La Quantum Portugal Initiative est un appel à candidatures pour des bourses de doctorat lancé par l'INL et la Fondation portugaise pour la science et la technologie.

Financement gouvernemental
- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics
- Fondation pour la science et la technologie (FCT)
- Laboratoire international ibérique de nanotechnologie (INL)
- INESC TEC (Institut de l'ingénierie, de la technologie et de la science des systèmes et de l'informatique)
- Instituto de Telecomunicações (IT)

Autres acteurs
- Ceiia
- IBM

Sources primaires
Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

RÉPUBLIQUE TCHÈQUE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des institutions et des entreprises tchèques participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. Le ministère tchèque de l'Éducation, de la Jeunesse et des Sports est un partenaire de QuantERA. La République tchèque est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Ministère tchèque de l'Éducation, de la Jeunesse et des Sports

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

ROUMANIE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des experts roumains siègent au réseau communautaire et au conseil consultatif stratégique du programme Quantum Flagship de l'UE. L'Agence exécutive roumaine pour le financement de l'enseignement supérieur, de la recherche, du développement et de l'innovation est un partenaire de QuantERA. La Roumanie est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Agence exécutive roumaine pour le financement de l'enseignement supérieur, de la recherche, du développement et de l'innovation (UEFISCDI)

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

ROYAUME-UNI

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée / Participation à des partenariats quantiques internationaux
Titre : Programme national des technologies quantiques

Objectifs stratégiques

- Le National Quantum Technologies Programme (NQTP) (Programme national des technologies quantiques) du Royaume-Uni a été lancé en 2013 pour créer une communauté quantique cohérente réunissant les universités, le gouvernement et l'industrie, positionner le Royaume-Uni comme chef de file mondial du marché quantique et accroître la valeur des industries britanniques.
- En 2020, les intentions stratégiques renouvelées sont les suivantes :
  - Stimuler la croissance du marché et l'innovation, et favoriser la croissance d'un écosystème prospère
  - Maintenir et renforcer l'excellence du Royaume-Uni en matière de recherche et de technologie
  - Mettre sur pied un réseau solide d'atouts nationaux et de relations internationales mutuellement bénéfiques
  - Développer, attirer et retenir les talents

Suite à la page suivante

Projets choisis

- Dans le cadre du NQTP, l'EPSRC finance un réseau national de quatre pôles de technologies quantiques qui réunissent chacun plusieurs universités, instituts de recherche et entreprises pour transformer les atouts de la recherche en technologies :
  - UK Quantum Technology Hub Sensors and Timing (Pôle de technologies quantiques sur les capteurs et la synchronisation du R.-U.)
  - QuantIC (imagerie quantique améliorée)
  - Quantum Computing & Simulation Hub (Pôle d'informatique et de simulation quantiques) (anciennement Networked Quantum Information Technologies Hub) (Pôle des technologies de l'informatique quantique en réseau)
  - Quantum Communications Hub (Pôle de communications quantiques)
- Le National Quantum Computing Centre (NQCC) (Centre national d'informatique quantique) a été lancé en septembre 2020 pour relever les défis de la mise à l'échelle de l'informatique quantique. Parmi les priorités, notons l'élaboration de cas d'utilisation en collaboration avec l'industrie, la promotion de la création d'une chaîne d'approvisionnement quantique basée au Royaume-Uni et la mise au point d'un appareil NISQ de plus de 100 qubits d'ici 2025.
- Le National Physical Laboratory (Laboratoire national de physique) ouvrira l'Advanced Quantum Metrology Laboratory (Laboratoire de métrologie quantique avancée) en 2021.
- Ral Space du Science and Technology Facilities Council (Conseil des installations scientifiques et technologiques) et le Centre for Quantum Technologies (Centre des technologies quantiques) de l'Université nationale de Singapour se sont associés pour lancer QKD Qubesat, un programme spatial conjoint visant à construire un banc d'essai de DQC sécurisé, d'ici 2021.
- Un consortium réunissant le secteur universitaire et l'industrie, dirigé par Rigetti, prévoit de construire le premier ordinateur quantique du Royaume-Uni d'ici 2023.
- La troisième vague de l'Industrial Strategy Challenge Fund (ISCF), un concours destiné aux consortiums entre les universités et l'industrie pour favoriser la commercialisation de technologies, assorti d'un financement de contrepartie du secteur privé, soutiendra d'autres projets quantiques.
- Des institutions et des entreprises britanniques participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. L'UKRI est un partenaire de QuantERA.

Talent

- Le NQTP appuie la formation de doctorants dans les domaines quantiques par l'intermédiaire des centres de formation doctorale financés par l'EPSRC. L'EPSRC finance également des centres de formation et de compétences en génie des systèmes quantiques afin d'offrir une formation en génie et en entrepreneuriat aux étudiants, ainsi que des possibilités de perfectionnement professionnel et de placement en entreprise, etc.

Financement gouvernemental

- 400 M£ (540 M$ US) de financement public pour la première phase du NQTP (2014-2019). Lors de la deuxième phase (2019-2024), le gouvernement investira 94 M£ (126 M$ US) dans les quatre centres quantiques, 93 M£ (125 M$ US) dans le NQCC, 153 M£ (205 M$ US) dans les projets quantiques de l'ISCF et au moins 11,6 M£ (15,6 M$ US) dans les centres de formation doctorale.
- La British Business Bank, la banque de développement du gouvernement britannique, a investi dans un certain nombre d'entreprises quantiques en démarrage, y compris dans des participations à long terme détenues par son National Security Strategic Investment Fund. En novembre 2020, la Scottish National Investment Bank, la banque de développement publique d'Écosse, a acquis une participation en capital de 12,5 M£ (16,5 M$ US) sur 10 ans dans M Squared.

Principaux acteurs publics

- UK Research and Innovation (UKRI) - Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC)
- National Physical Laboratory (NPL)
- Defence Science and Technology Laboratory (Dstl)
- Government Communications Headquarters (GCHQ)
- RAL Space
- UK Space Agency
- British Business Bank
- Scottish National Investment Bank

Autres acteurs

- AstraZeneca
- BAE Systems
- BP
- BT
- GlaxoSmithKline
- HSBC
- Toshiba
- Cambridge Quantum Computing
- M Squared
- Oxford Instruments
- Oxford Quantum Circuits
- Rigetti

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

RUSSIE

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée
Titre : Feuille de route des technologies quantiques de Russie

Objectifs stratégiques

- En décembre 2019, le gouvernement fédéral russe a annoncé son appui à la Feuille de route des technologies quantiques qui détaille les plans et les paramètres de la recherche et du développement en matière de technologies quantiques au pays afin que la Russie puisse suivre le rythme des autres pays développés et maintenir sa sécurité nationale et son indépendance technologique.
- Trois organismes publics sont responsables de différents volets de la feuille de route : Rosatom (Société nationale de l'énergie atomique) pour l'informatique quantique, RZD (chemins de fer russes) pour les communications quantiques, Rostec (Société nationale d'assistance au développement, à la production et à l'exportation de produits industriels de technologie avancée) pour la détection et la métrologie quantiques.

Projets choisis

- La feuille de route propose de fabriquer un ordinateur de 30 à 100 qubits d'ici 2024 et un ordinateur de 1000 qubits d'ici 2030.
- En novembre 2020, un laboratoire quantique national (NQL) a été lancé pour réunir les universités, les instituts de recherche et les entreprises. Le NQL construira des infrastructures comme un centre de nanofabrication, offrira un soutien en matière de droit, de marketing, de finances et de propriété intellectuelle, et créera un incubateur et un accélérateur pour les entreprises en démarrage.
- RZD a élaboré une feuille de route pour faire progresser les technologies de communication quantique afin de créer une infrastructure de communication sécurisée. Un Internet quantique pilote devrait être lancé en 2021, avec le soutien de la Russian Venture Company (RVC).

Talent

- La feuille de route propose d'enrichir l'enseignement lié aux technologies quantiques dans la formation générale, de définir des normes pour les programmes de technologies quantiques dans l'enseignement supérieur et d'attirer des spécialistes étrangers (y compris des russophones à l'étranger).
- En 2019, la RVC, le RQC et l'Université nationale des sciences et technologies MISIS se sont associés pour créer un programme de maîtrise en gestion de projet dans le domaine des communications quantiques, ainsi que trois programmes de formation continue en commerce.

Financement gouvernemental

- Le budget de la feuille de route représente 51,1 G₽ (691 M$ US) sur cinq ans, dont 8.7 G₽ (120 M$ US) proviennent d'entreprises privées.
- RVC, un fonds de fonds et un organisme d'investissement institutionnel de l'État russe, fournit des investissements de capital-risque à des entreprises et à des projets en phase de démarrage par l'intermédiaire du fonds de capital-risque de l'Initiative technologique nationale ainsi que par des fonds qui seront lancés en 2021 en partenariat avec RZD.

Principaux acteurs publics

- Ministère de la Science et de l'Enseignement supérieur
- Fondation russe pour la science
- Fondation russe pour la recherche fondamentale
- Fondation russe pour les projets de recherche avancée
- Centre quantique russe (RQC)
- Tsifrum
- Rosatom
- RZD
- Rostec
- Institut de science et de technologie de Skolkovo
- Académie russe des sciences
- Russian Venture Company (RVC)
- Sberbank
- Gazprom (Gazprombank, Gazprom Neft)
- Fondation Skolkovo

Autres acteurs

- SIBUR

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

SINGAPOUR

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée
Titre : QEP – Programme de génie quantique

Objectifs stratégiques

- Le QEP, un programme national qui bénéficie du soutien du cabinet du premier ministre, a été lancé en 2018 pour financer la recherche et la création d'écosystèmes en vue d'appliquer les technologies quantiques à la résolution de problèmes définis par les utilisateurs. L'industrie et les organismes utilisateurs peuvent collaborer en faisant des contributions en espèces ou en nature. Les projets financés devraient générer des résultats en matière de propriété intellectuelle et industrielle (par exemple, des entreprises dérivées ou des prototypes). Le QEP appuiera la mise au point de systèmes (à la fois des instruments quantiques et des technologies habilitantes) qui feront la démonstration de l'avantage quantique.

Projets choisis

- Le QEP appuie actuellement des projets dans les domaines de l'informatique, de la communication et de la détection quantiques; une fonderie quantique pour renforcer les capacités de conception, de fabrication et de caractérisation des puces pour les technologies quantiques; et une collaboration avec IBM pour donner accès à son nuage quantique.
- Le Centre de technologies quantiques (CQT) de l'Université nationale de Singapour (NUS), un centre de recherche d'excellence soutenu par la Fondation nationale de la recherche (NRF), a été créé en 2007 pour mener des recherches fondamentales sur les technologies quantiques et créer des technologies quantiques.
- SGInnovate, une entité d'investissement publique, collabore avec le CQT pour commercialiser des innovations quantiques. Jusqu'à présent, il y a eu création de trois entreprises dérivées du CQT.
- Le CQT fait partie du Laboratoire de recherche et développement en cybersécurité NUS-Singtel créé en 2016 afin de mettre au point la technologie de DQC pour le réseau à fibres optiques du secteur des télécommunications.
- RAL Space du Royaume-Uni et le CQT se sont associés pour lancer QKD Qubesat, un programme spatial conjoint visant à construire un banc d'essai de DQC sécurisé, d'ici 2021.

Talent

- L'éducation est l'un des piliers du travail du CQT à travers un programme de doctorat, des stages pour les étudiants de premier cycle et de maîtrise, et des ateliers de formation pour l'industrie et les utilisateurs.

Financement gouvernemental

- De 2018 à 2025, la NRF investit 121,6 M$ SG (90,9 M$ US) dans le QEP.
- De 2007 à 2017, le NRF et le ministère de l'Éducation ont octroyé 195 M$ SG (146 M$ US) en financement de base au CQT; un financement de 100 M$ SG (74,8 M$ US) est prévu pour 2017-2012.

Principaux acteurs publics

- Ministère de l'Éducation
- SGInnovate
- Fondation nationale de la recherche de Singapour

Autres acteurs

- Singtel
- IBM

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

SLOVAQUIE

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée / Participation à des partenariats quantiques internationaux
Titre : QUTE.sk – Plateforme nationale slovaque de recherche sur les technologies quantiques

Objectifs stratégiques

- L'objectif de la plateforme QUTE.sk est de créer un environnement en Slovaquie qui favorise la R et D dans le domaine des technologies quantiques et la formation de la prochaine génération d'experts. Le ministère de l'Éducation, de la Science, de la Recherche et des Sports appuie cette initiative conformément au programme Quantum Flagship de l'UE.

Projets choisis

- QUTE.sk met en place un institut virtuel, iQUTE, pour coordonner les activités de recherche de huit groupes de recherche interinstitutionnels qui s'articulent autour de cinq objectifs : structures d'information et métrologie quantiques, électronique quantique pour la communication et l'informatique quantiques, mise en œuvre de qubits, simulations quantiques et complexité quantique, cryptographie quantique et post-quantique.
- Un chercheur slovaque dirige le projet conjoint OTAN-Malte sur la communication sécurisée à l'ère quantique.
- Des experts slovaques siègent au réseau communautaire et au conseil consultatif stratégique du programme Quantum Flagship de l'UE. L'Académie slovaque des sciences est un partenaire de QuantERA. La Slovaquie est signataire de la déclaration EuroQCI.

Talent

- L'initiative éducative de QUTE.sk, eduQUTE, propose de lancer des programmes d'études de troisième cycle et des bourses d'études dans le domaine des sciences quantiques, des écoles d'été doctorales et un soutien aux chercheurs postdoctoraux.

Financement gouvernemental

- Le ministère slovaque de l'Éducation, de la Science, de la Recherche et des Sports a accordé 100 K€ (121 K$ US) en soutien au lancement de QUTE.sk

Principaux acteurs publics

- Académie slovaque des sciences
- Ministère de l'Éducation, de la Science, de la Recherche et des Sports

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

SLOVÉNIE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des institutions et des entreprises slovènes participent au programme Quantum Flagship de l'UE. Le ministère slovène de l'Éducation, de la Science et des Sports est un partenaire de QuantERA. La Slovénie est signataire de la déclaration EuroQCI.

Financement gouvernemental

- Voir la section sur l'Union européenne

Principaux acteurs publics

- Ministère slovène de l'Éducation, de la Science et des Sports

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

SUÈDE

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux
Titre : Centre Wallenberg des technologies quantiques (WAQCT)

Projets choisis

- La Fondation Knut et Alice Wallenberg, une importante fondation de recherche privée, œuvre à l'appui de la création d'un centre national de recherche quantique afin de développer de larges compétences en matière de technologies quantiques en Suède et de mettre au point un ordinateur quantique suédois. Le projet principal du WAQCT consiste à construire un ordinateur quantique de 100 qubits en 10 ans. Un programme d'excellence appuie la recherche en informatique, en simulation, en communication et en détection quantiques.
- Des institutions et des entreprises suédoises participent au programme Quantum Flagship de l'UE. Le Conseil de recherches de Suède est un partenaire de QuantERA. La Suède est signataire de la déclaration EuroQCI.

Talent

- Le WAQCT comprend une école d'enseignement supérieur avec 60 doctorants (dont 20 doctorants industriels), un programme postdoctoral avec 30 boursiers, un programme de financement pour 12 professeurs adjoints et un programme de professeurs invités à court terme.

Financement gouvernemental

- Le WACQT est une initiative décennale qui représente 1 G SEK (118 M$ US), dont 600 M SEK (70,9 M$ US) proviennent de la Fondation Wallenberg; le reste provient de l'industrie et des universités participantes.

Principaux acteurs publics

- Conseil de recherches de Suède (VR)

Autres acteurs

- Fondation Knut et Alice Wallenberg
- Ericsson

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

SUISSE

Catégorie : Aucune stratégie nationale, mais d'importantes initiatives gouvernementales ou approuvées par le gouvernement / Participation à des partenariats quantiques internationaux

Objectifs stratégiques

- En octobre 2020, le Conseil suisse de la science (CSS), organe consultatif scientifique fédéral, a publié un livre blanc sur « Les technologies quantiques en Suisse » afin de formuler des recommandations sur la manière dont la Suisse peut exploiter au maximum son potentiel et ses avantages stratégiques dans le domaine des technologies quantiques.

Projets choisis

- Le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) finance actuellement deux Pôles de recherche nationaux (PRN) axés sur la recherche quantique : le PRN QSIT (Science et technologie quantiques), axé sur la détection, la communication, la simulation et les matériaux; et le PRN SPIN, dont le but est de fabriquer un ordinateur quantique à base de silicium.
- IBM Research – Zurich est un important pôle de recherche quantique comprenant de nombreux projets financés par l'UE.
- Des institutions et des entreprises suisses participent au programme Quantum Flagship de l'UE et à OpenQKD. Le Fonds national suisse de la recherche scientifique est un partenaire de QuantERA.

Talent

- L'ETH Zurich a récemment lancé un programme de maîtrise en génie quantique. Le CSS recommande la création de programmes industriels au doctorat et au postdoctorat, ainsi que l'élargissement du rôle des hautes écoles spécialisées.

Financement gouvernemental

- Le FNS finance chaque PRN pour trois mandats de quatre ans. Il fournit actuellement 14,95 M CHF (16,8 M$ US) au QSIT (troisième et dernier mandat, 2018-2021) et 17 M CHF (19 M$ US) au SPIN (premier mandat, 2020-2023).

Principaux acteurs publics

- Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS)
- Services Industriels de Genève (SIG)
- Centre suisse d'électronique et de microtechnique (CSEM)
- CERN

Autres acteurs

- ID Quantique
- Qnami
- Zurich Instruments
- IBM

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

TAÏWAN

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée
Titre : Projet d'ordinateur quantique

Objectifs stratégiques

- Le projet d'ordinateur quantique a été lancé en 2018 pour coordonner la R et D sur les technologies quantiques à l'échelle nationale. Le projet compte intégrer les ressources de la vigoureuse industrie des semiconducteurs pour renforcer les capacités nationales de fabrication de composants quantiques, tout en favorisant les avancées dans le domaine des communications et des algorithmes quantiques. Il y aura aussi création d'une alliance de collaboration avec l'industrie.

Projets choisis

- Le projet d'ordinateur quantique finance un certain nombre de projets individuels des milieux universitaires et industriels sur une période de 5 ans (2018-2022), y compris le soutien à la création du Centre de technologies quantiques à l'Université nationale Tsing Hua et à l'établissement d'un espace IBM Q à l'Université nationale de Taïwan.
- De 2021 à 2025, le projet propose de soutenir le développement de l'informatique quantique à base de silicium à l'Institut de recherche sur les semiconducteurs de Taïwan (TSRI).

Talent

- Le projet encouragera les talents nécessaires à la maîtrise et au doctorat pour assurer l'avenir des technologies quantiques.

Financement gouvernemental

- Le financement annuel des initiatives en cours liées au Projet d'ordinateur quantique avoisine les 120 M$ NT (4,25 M$ US). Le financement annuel proposé pour le projet d'ordinateur à base de silicium au TSRI représente 150 M$ NT (5,32 M$ US).

Principaux acteurs publics

- Ministère de la Science et de la Technologie (MOST)
- Academia Sinica
- Institut de recherche sur les semiconducteurs de Taïwan (TSRI)

Autres acteurs

- IBM
- Taiwan Semiconductor Manufacturing Company

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

THAÏLANDE

Catégorie : Stratégie quantique nationale coordonnée (en développement)

Objectifs stratégiques

- En septembre 2020, le ministre de l'Enseignement supérieur, de la Science, de la Recherche et de l'Innovation a annoncé qu'une partie du nouveau programme de développement de la recherche scientifique et de l'innovation du pays portera sur les technologies quantiques, avec un accent particulier sur les applications dans les domaines de l'informatique, de la détection et de l'imagerie médicale.

Projets choisis

- Dans le cadre du programme 2020, des experts quantiques thaïlandais discuteront des plans de création d'un Institut national de technologies quantiques d'ici cinq ans.

Financement gouvernemental

- 200 M฿ (6,6 M$ US) sur huit ans (2021-2028)

Principaux acteurs publics

- Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Science, de la Recherche et de l'Innovation
- Centre d'excellence en physique de Thaïlande
- Institut national de métrologie
- Institut national d'astronomie de Thaïlande

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

TURQUIE

Catégorie : Participation à des partenariats quantiques internationaux

Projets choisis

- Des experts turcs siègent au réseau communautaire du programme Quantum Flagship de l'UE. TÜBİTAK est un partenaire de QuantERA.

Principaux acteurs publics

- TÜBİTAK (Conseil de la recherche scientifique et technologique de Turquie) – BİLGEM (Centre de recherche en informatique et sécurité de l'information)
- UME (Institut national de métrologie)

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

UNION EUROPÉENNE

Titre : Quantum Technologies Flagship

Objectifs stratégiques

- Le programme Quantum Technologies Flagship, lancé en octobre 2018, vise à réunir les institutions de recherche, l'industrie et les bailleurs de fonds publics pour promouvoir la recherche européenne dans le domaine quantique. L'objectif de ce programme est de créer une industrie concurrentielle en matière de commercialisation en Europe, appuyée par la recherche européenne.
- En outre, les États membres de l'UE, la Commission européenne et l'Agence spatiale européenne ont convenu de collaborer à la mise en place d'une infrastructure européenne de communication quantique (EuroQCI), jetant ainsi les bases d'un Internet quantique sûr à l'échelle européenne.

Projets choisis

- Le programme Quantum Flagship se compose actuellement de 21 projets techniques dans cinq domaines (communication, simulation, détection et métrologie, informatique, sciences fondamentales) et de trois activités horizontales financés par le cadre de financement de la recherche de l'UE (Horizon 2020 / Horizon Europe). Chaque projet réunit plusieurs universités, instituts de recherche et entreprises de nombreux pays européens.
- En 2020, un consortium de l'industrie quantique a été fondé pour favoriser l'évolution de l'écosystème de l'industrie quantique européenne.
- Le cadre de recherche de l'UE finance aussi d'autres projets liés au domaine quantique, notamment QuantERA (un consortium d'organismes de financement de la recherche en Europe pour coordonner le financement international et interdisciplinaire par l'entremise d'appels à propositions) et OpenQKD (un consortium d'entreprises, d'universités et d'instituts nationaux pour faire progresser la technologie de distribution quantique de clés).
- En 2018, l'Agence spatiale européenne a conclu un accord avec le consortium QUARTZ (Quantum Cryptography Telecommunication System), dirigé par l'exploitant de satellites SES, et d'autres entreprises et organismes de recherche pour mettre au point un système de DQC par satellite.

Talent

- En septembre 2020, QTEdu a été lancé dans le cadre du programme Quantum Flagship afin de créer un « public sensibilisé aux questions quantiques et une main-d'œuvre prête pour le domaine quantique ». Parmi les activités proposées figurent la mise à l'échelle des programmes de formation et d'éducation (en mettant l'accent sur la formation secondaire, tertiaire et industrielle) et le rapprochement entre les étudiants de maîtrise et l'industrie.
- La Quantum Future Academy, tenue pour la première fois en 2018 en Allemagne, et conjointement en Allemagne et en France en 2019, sera paneuropéenne en 2021. Des étudiants au baccalauréat et à la maîtrise de 30 pays d'Europe et du Moyen-Orient assisteront à des conférences, à des ateliers et à des activités de réseautage avec l'industrie.

Financement gouvernemental

- Quantum Flagship est un programme décennal de plusieurs milliards d'euros. Dans la phase actuelle de démarrage (octobre 2018 - septembre 2021), le budget alloué est de 152 M€ (181 M$ US).
- Le budget total (2016-2022) de QuantERA s'élève à 39,8 M€ (48,8 M$ US), dont 11,5 M€ (14,1 M$ US) en financement de l'UE.
- Le budget octroyé par l'UE à OpenQKD s'élève à 15 M€ (18,4 M$ US) sur 3 ans (2019-22).

Principaux acteurs publics

- États membres de l'UE
- Commission européenne
- Agence spatiale européenne

Autres acteurs

- Thales
- Atos
- IQM
- SES S.A.

Sources primaires

Les sources pour tous les pays sont énumérées à la page 63.

SOURCES PRIMAIRES

Afrique du Sud : https://www.wits.ac.za/news/latest-news/research-news/2019/2019-12/wits-leads-quantum-computing-national-working-group-.html; https://www.wits.ac.za/news/latest-news/research-news/2019/2019-06/wits-enters-the-quantum-computing-universe-with-ibm-q.html; https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20200826110136903

Allemagne : https://www.bmbf.de/de/quantentechnologien-7012.html; https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Quantum_technologies.pdf; https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2019/may/german-ministry-and-research-sector-join-forces-to-launch-major-quantum-communications-initiative.html; https://sciencebusiness.net/network-updates/ibm-and-fraunhofer-bring-quantum-computing-germany

Australie : https://www.csiro.au/en/work-with-us/services/consultancy-strategic-advice-services/CSIRO-futures/Futures-reports/Quantum; https://www.cqc2t.org/; https://equs.org/; http://www.fleet.org.au/; https://excitonscience.com/; https://www.sydneyquantum.org/; https://www.quintessencelabs.com/press_release/quantum-key-distribution-investment/; https://www.quintessencelabs.com/press_release/quantum-key-distribution-investment/; https://www.minister.defence.gov.au/minister/christopher-pyne/media-releases/6-million-injection-quantum-technologies-research; https://www.zdnet.com/article/australia-and-france-strike-quantum-deal/; https://www.industry.nsw.gov.au/media/releases/2017/2017-media-releases/$ 26-million-to-support-quantum-computing

Autriche : http://ec.europa.eu/newsroom/document.cfm?doc_id=43132; https://www.oeaw.ac.at/esq/home; https://www.globenewswire.com/news-release/2020/04/21/2019077/0/en/QUANTUM-TECHNOLOGIES-MADE-IN-AUSTRIA-AIT-COORDINATES-PILOT-PROJECT-OF-EUROPEAN-QUANTUM-COMMUNICATION-INITIATIVE-QCI.html; https://investinaustria.at/en/news/2018/03/quantum-computer.php; https://quapital.eu/index.php?id=1

Belgique : https://www.imec-int.com/en/articles/imec-and-cea-leti-join-forces-on-artificial-intelligence-and-quantum-computing

Canada : https://quantumcomputingreport.com/the-canadian-ecosystem-that-supports-quantum-innovation/; https://prod5.assets-cdn.io/event/4884/assets/8415902632-532109e749.pdf; https://www.canada.ca/en/space-agency/news/2019/06/cybersecurity-from-space-the-government-of-canada-invests-in-quantum-technology.html; https://nrc.canada.ca/en/research-development/research-collaboration/programs/quantum-canada; https://www.asc-csa.gc.ca/eng/sciences/qeyssat.asp; https://nrc.canada.ca/en/research-development/research-collaboration/programs/internet-things-quantum-sensors-challenge-program; canada.ca/en/innovation-science-economic-development/news/2019/04/government-of-canada-partners-with-digital-industries-to-invest-in-ground-breaking-technology-and-businesses.html; https://www.newswire.ca/news-releases/uk-and-canada-collaborate-to-launch-world-first-programme-of-quantum-technologies-896283559.html; https://nrc.canada.ca/en/stories/quantum-computing-temple-science; https://www.sfu.ca/sfunews/stories/2019/12/new-quantum-algorithms-institute-at-sfu-to-position-b-c-as-worl.html; https://betakit.com/linstitut-quantique-becomes-the-first-ibm-q-hub-in-canada/; http://quantumalberta.ca/province-gives-11-8m-to-u-of-c-for-quantum-research-other-projects/; https://qmi.ubc.ca/news/jun-18-2020/create-program-crystalize-eminence-quantum-computing-training-bc; https://www.globenewswire.com/news-release/2020/12/15/2145338/0/en/Anyon-Systems-to-Deliver-a-Quantum-Computer-to-the-Canadian-Department-of-National-Defense.html; https://www.prnewswire.com/news-releases/xanadu-receives-4-4m-investment-from-sdtc-to-advance-its-photonic-quantum-computing-technology-300987885.html

Chine : https://www.canada.ca/en/security-intelligence-service/corporate/publications/china-and-the-age-of-strategic-rivalry/chinese-military-innovation-in-emerging-technologies.html; https://jamestown.org/program/quantum-leap-part-1-chinas-advances-quantum-information-science-elsa-kania-john-costello/; https://www.technologyreview.com/2018/12/19/1571/the-man-turning-china-into-a-quantum-superpower/; https://en.ndrc.gov.cn/newsrelease_8232/201612/P020191101481868235378.pdf; http://www.cittadellascienza.it/cina/wp-content/uploads/2017/02/IoT-ONE-Made-in-China-2025.pdf; http://www.xinhuanet.com/politics/2020-10/17/c_1126623288.htm (en chinois); http://www.xinhuanet.com/tech/2020-11/10/c_1126719068.htm (en chinois); https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/2019060507/Documents/Yong_Zhao_Presentation.pdf ; http://www.quantumcas.ac.cn/main.htm (en chinois); http://www.baqis.ac.cn/en/; http://english.pudong.gov.cn/2019-06/18/c_383577.htm; https://www.nature.com/articles/d41586-020-03434-7; https://academic.oup.com/nsr/article/4/1/144/3092288; https://asia.nikkei.com/Business/36Kr-KrASIA/China-s-Origin-Quantum-has-raised-funds-to-catch-up-with-IBM

Corée du Sud : https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156315923; https://sociable.co/technology/korea-invest-quantum-computing/; http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=28881; https://www.ajudaily.com/view/20200914105610612; https://www.idquantique.com/id-quantique-and-sk-broadband-selected-to-build-a-pilot-qkd-infrastructure-in-public-medical-and-industrial-sectors-in-korea/; https://www.idquantique.com/id-quantique-and-sk-broadband-selected-for-the-construction-of-the-first-nation-wide-qkd-network-in-korea/

Danemark : http://qubiz.dk/partners/; https://www.nbi.ku.dk/english/industrial-collaboration-at-nbi/cases/fire-q-field-ready-single-photon-quantum-technology/; https://investindk.com/insights/new-large-investment-in-danish-quantum-cryptography; https://www.nbi.ku.dk/english/news/news16/massive-investment-from-theoretical-quantum-physics-to-usable-quantum-technology/; https://www.science.ku.dk/english/press/news/2020/tomorrows-pharmaceuticals-could-be-discovered-by-quantum-simulators/

Émirats arabes unis : https://u.ae/en/about-the-uae/science-and-technology/quantum-computing-in-the-uae/the-quantum-computing-research-group-at-khalifa-university; https://news.masdar.ac.ae/explore-news/stories-by-type/innovation/item/10013-financial-portfolio-optimization-problem-solved-in-less-than-one-second-with-quantum-computing.html; https://www.quantaneo.com/Microsoft-and-DEWA-bringing-quantum-computing-to-Dubai_a114.html; https://quantum.tii.ae/; https://www.reuters.com/article/us-samsungelec-quantum-idUSKBN1X118G

Espagne : https://qst.csic.es/; https://www.bbva.com/en/bbva-and-csic-research-the-potential-of-quantum-computing-in-the-financial-sector/; https://newsroom.ibm.com/2019-07-03-Leading-European-institutions-partner-with-IBM-to-accelerate-joint-research-and-educational-opportunities-in-quantum-computing

États-Unis : https://www.quantum.gov/; https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/09/National-Strategic-Overview-for-Quantum-Information-Science.pdf; https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/12/A-Strategic-Vision-for-Americas-Quantum-Networks-Feb-2020.pdf; https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/12/Artificial-Intelligence-Quantum-Information-Science-R-D-Summary-August-2020.pdf; https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227; https://science.osti.gov/Initiatives/QIS/QIS-Centers; https://www.nsf.gov/news/special_reports/announcements/072120.jsp; https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/QuantumWkshpRpt20FINAL_Nav_0.pdf; https://www.darpa.mil/news-events/2020-05-11a

Finlande : https://qtf.fi/; https://www.itwire.com/development/quantum-computing-in-finland.html; https://www.hpcwire.com/off-the-wire/finland-selects-iqm-to-build-its-first-quantum-computer/; https://techcrunch.com/2020/06/11/european-quantum-computing-startup-takes-its-funding-to-e32m-with-fresh-raise/amp/

France : https://www.entreprises.gouv.fr/fr/numerique/politique-numerique/strategie-nationale-pour-technologies-quantiques; https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/secteurs-d-activite/numerique/enjeux/quantique/dossier_de_presse_quantique.pdf; https://www.cnrs.fr/en/node/5471; https://www.gouvernement.fr/en/quantum-plan; https://www.lemonde.fr/politique/article/2021/01/21/emmanuel-macron-presente-un-plan-quantique-de-1-8-milliard-d-euros-sur-cinq-ans_6067037_823448.html; https://www.zdnet.com/article/australia-and-france-strike-quantum-deal/; https://www.eetimes.eu/french-president-details-e1-8b-quantum-plan/; https://forteza.fr/wp-content/uploads/2020/01/A5_Rapport-quantique-public-BD.pdf

Grèce : https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/nine-more-countries-join-initiative-explore-quantum-communication-europe

Hongrie : https://nkfih.gov.hu/english-2017/news-of-the-office/jozsef-palinkas-eur-11; https://nkfih.gov.hu/english-2017/promising-projects/revolution-in-quantum; https://wigner.hu/quantumtechnology/en

Inde : https://www.psa.gov.in/technology-frontiers/quantum-technologies/346; https://dst.gov.in/budget-2020-announces-rs-8000-cr-national-mission-quantum-technologies-applications; http://dst.gov.in/sites/default/files/QuST%20-%20CFP1.pdf; https://timesofindia.indiatimes.com/city/mangaluru/covid-19-impedes-implementation-of-national-mission-on-quantum-technologies-and-applications/articleshow/76665051.cms; https://www.iisc.ac.in/initiative-on-quantum-technologies/; https://thewire.in/science/isro-space-secure-quantum-communications; https://www.tifac.org.in/index.php/announcements/909-national-mission-on-quantum-technologies-applications-nmqta; http://dst.gov.in/sites/default/files/QuST%20-%20CFP1.pdf; https://www.indiatoday.in/technology/news/story/india-starts-working-on-quantum-computers-1428902-2019-01-11

Iran : https://en.irna.ir/news/82981806/Iran-unveils-quantum-safe-communications-technology-laboratory; https://en.mehrnews.com/news/150038/Iran-to-open-1st-quantum-physics-lab-in-a-year-AEOI-head; https://edudotiran.com/iran-to-be-the-1st-country-in-quantum-technology-field-in-the-islamic-world/

Irlande : https://www.ichec.ie/qpi; https://www.tyndall.ie/news/11m-qcolr-project-launches-ireland-into-the-forefront-of-quantum-computing-research/; https://www.tyndall.ie/contentFiles/whitepapers/Tyndall_Position_Paper_on_QuTech_WEb(1).pdf; https://newsroom.intel.ie/news-releases/intel-to-support-the-irish-centre-for-high-end-computing-on-new-collaborative-quantum-computing-project/#gs.nn7i2l

Israël : https://www.timesofisrael.com/27-million-fund-set-up-to-boost-quantum-research/; https://www.israeldefense.co.il/en/node/36794; https://www.haaretz.com/israel-news/business/.premium-israel-gets-ready-to-join-global-quantum-computing-race-1.8202806; https://en.globes.co.il/en/article-israel-joins-the-quantum-club-1001309384; https://innovationisrael.org.il/en/sites/default/files/2020-04/hadshanut%202020%20engl%20pages.pdf

Italie : https://www.cnr.it/en/press-release/9115/primo-test-italiano-di-crittografia-quantistica; https://www.iInuovosaggiatore.sif.it/article/200; https://www.iit.cnr.it/sites/default/files/presentazioniVolterra/07Cataliotti.pdf; https://www.sisfvg.it/project/quantum-fvg; https://qubitreport.com/quantum-computing-cybersecurity-and-cryptography/2020/09/08/italy-demonstrates-quantum-communication-technology-prowess-at-esof-2020/

Japon : https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2058-9565/ab0077; https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/2019060507/Documents/Akihisa_Tomita_Presentation.pdf; https://www8.cao.go.jp/cstp/panhu/sip_english/p30-31.pdf; https://www8.cao.go.jp/cstp/english/moonshot/sub6_en.html; https://www.soumu.go.jp/main_content/000690543.pdf (en japonais); https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siryo4-2.pdf (en japonais); https://www.state.gov/tokyo-statement-on-quantum-cooperation/; https://www.jst.go.jp/stpp/q-leap/en/index.html#; https://www.jst.go.jp/pr/announce/20161021/index.html (en japonais); https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100123.html (en japonais); https://www.nec.com/en/press/201812/global_20181212_03.html; https://asia.nikkei.com/Business/Technology/Japan-plots-20-year-race-to-quantum-computers-chasing-US-and-China; https://newsroom.ibm.com/2020-07-30-IBM-and-the-University-of-Tokyo-Unveil-the-Quantum-Innovation-Initiative-Consortium-to-Accelerate-Japans-Quantum-Research-and-Development-Leadership

Malte : https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_165733.htm

Norvège : https://www.ntnu.edu/quspin/; https://www.usn.no/research/our-research/technology/quantum-technology/; https://blog.sintef.com/digital-en/diving-deep-into-quantum-computing/

Nouvelle-Zélande : https://doddwalls.ac.nz/; https://www.otago.ac.nz/news/news/otago745370.html

Pays-Bas : https://quantumdelta.nl/; https://qutech.nl/wp-content/uploads/2019/09/NAQT-2019-EN.pdf; https://qutech.nl/national-agenda-on-quantum-technology-the-netherlands-as-an-international-centre-for-quantum-technology/; https://qutech.nl/state-secretary-mona-keijzer-invests-e235-million-in-quantum-technologies/; https://www.tudelft.nl/en/2019/tu-delft/the-netherlands-as-an-international-centre-for-quantum-technology/; https://www.quantumsc.nl/; https://www.intel.com/content/www/us/en/research/quantum-computing.html; https://news.microsoft.com/europe/2019/02/21/microsofts-new-quantum-computing-lab-in-delft-opens-its-doors-to-a-world-of-possibilities/

Pologne : https://thequantumdaily.com/2019/11/28/polands-vibrant-qc-representative/; http://quantum-warsaw.pl/

Portugal : http://www.quantalab.org/; https://inl.int/quantum-portugal-initiative/; https://www.it.pt/News/NewsPost/3470

République tchèque : https://www.swissinfo.ch/eng/sci-tech/secure-networks_eu-quantum-communications-project-unveils-swiss-partners/45249796

Roumanie : https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/austria-bulgaria-denmark-and-romania-join-initiative-explore-quantum-communication-europe

Royaume-Uni : https://uknqt.ukri.org/; https://epsrc.ukri.org/newsevents/pubs/quantumtechstrategy/; https://uknqt.epsrc.ac.uk/files/strategicintent2020/; https://www.nqcc.ac.uk/wp-content/uploads/2020/09/NQCC-Strategic-Intent-v1.0.pdf; https://www.gov.uk/government/news/uk-and-singapore-come-together-to-launch-10m-quantum-space-programme; https://www.osa-opn.org/home/industry/2020/november/m_squared_financing_highlights_scotland_quantum_ef/; https://www.telegraph.co.uk/technology/2020/07/18/secretive-uk-fund-behind-governments-500m-investment-oneweb/

Russie : https://www.nature.com/articles/d41586-019-03855-z?sf226284065=1; https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2058-9565/ab4472/pdf; https://www.railwayage.com/analytics/rzd-outlines-road-map-to-develop-quantum-communications/; https://falling-walls.com/event/russian-roadmap-on-quantum-computing/; https://rosatomnewsletter.com/2020/02/25/quantum-breakthrough/; http://rusatom-energy.com/media/rosatom-news/russia-sets-up-national-quantum-lab/; https://www.rvc.ru/en/press-service/news/invest/152991/?sphrase_id=32457

Singapour : https://qepsg.org/; https://www.quantumlah.org/; https://www.quantumlah.org/media/presentation/annualreport2019.pdf; https://www.quantumlah.org/about/highlight/2016-10-nus-singtel-lab; https://www.sginnovate.com/news/sginnovate-and-nus-unit-boost-deep-tech-singapore; https://www.gov.uk/government/news/uk-and-singapore-come-together-to-launch-10m-quantum-space-programme; https://www.channelasia.tech/article/674874/national-university-singapore-enhances-quantum-computing-focus-ibm/

Slovaquie : http://qute.sk/index.php?q=home; https://re-search.info/overview

Slovénie : https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/nine-more-countries-join-initiative-explore-quantum-communication-europe

Suède : https://kaw.wallenberg.org/en/research/major-research-initiative-will-put-sweden-map-artificial-intelligence-and-quantum; https://www.chalmers.se/en/news/Pages/Engineering-of-a-Swedish-quantum-computer-set-to-start.aspx; https://www.chalmers.se/en/news/Documents/programme_description_WCQT_171114_eng.pdf; https://www.kth.se/en/aktuellt/nyheter/sweden-s-king-pays-visit-to-quantum-lab-1.906361

Suisse : https://www.swiss-quantum.ch/SwissQuantum.pdf; https://www.swissinfo.ch/eng/sci-tech/secure-networks_eu-quantum-communications-project-unveils-swiss-partners/45249796; https://nccr-qsit.ethz.ch/; https://www.unibas.ch/en/Research/NCCR/Spin.html; https://wissenschaftsrat.ch/images/stories/pdf/en/Policy-analysis_SSC_2020_White-Paper-QT.pdf

Taïwan : https://www.most.gov.tw/folksonomy/detail?subSite=&l=en&article_uid=e7dc24b6-010c-4f7f-9589-3877444993a8&menu_id=0e80f224-5109-4ead-b60a-f24141e610e3; http://en.ctimes.com.tw/DispNews.asp?O=HK24CBEKA4QSAA00NZ; https://www.most.gov.tw/most/attachments/cbf78725-c7a1-4be1-a4e7-1f6e77db77fb (en chinois); https://www.techspot.com/news/77905-tsmc-partners-taiwan-ministry-science-technology-create-quantum.html; http://quantum.ntu.edu.tw/en.html; https://www.ithome.com.tw/news/140905 (en chinois)

Thaïlande : https://www.bangkokpost.com/thailand/general/1740175/cabinet-backs-37bn-baht-science-innovation-scheme; https://medium.com/qtft/the-future-of-thailand-and-the-second-quantum-revolution-7f8be39e6ad8

Turquie : http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12623266/index.pdf

Union européenne : https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/quantum-technologies; https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/quantum-technologies-flagship; https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/projects-quantum-technology; https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC101632/lbna28103enn.pdf; https://qt.eu/app/uploads/2018/04/93056_Quantum-Manifesto_WEB.pdf; https://www.ses.com/press-release/esa-and-ses-led-consortium-develop-satellite-based-cybersecurity

CIFAR

Le CIFAR est une organisation de recherche mondiale basée au Canada qui rassemble de brillants cerveaux pour trouver réponse aux plus grandes questions auxquelles font face la science et l'humanité.

Centre MaRS, tour Ouest
661, av. University, bureau 505
Toronto (Ontario) M5G 1M1
Canada

Numéro d'enregistrement d'organisme de bienfaisance : 11921 9251 RR0001

cifar.ca/fr

@CIFAR_News
Facebook.com/CIFAR
Linkedin.com/company/CIFAR

Pour des possibilités de partenariat, veuillez écrire à donations@cifar.ca