

BRIEFINGS CHOISEUL

INITIATIVE
SOUVERAINETÉ

La deuxième révolution quantique : une course technologie stratégique pour la France

15ème Rencontre Souveraineté & Résilience

Juin 2024

INSTITUT
CHOISEUL

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	p. 03
INTRODUCTION	p. 04
I. CONSTATS – ENJEUX FACTUELS	p. 05
II. MENACES – ENJEUX DYNAMIQUES	p. 07
III. PROPOSITIONS	p. 09
À PROPOS	p. 11

AVANT-PROPOS

L'Initiative Souveraineté, lancée en janvier 2022, est la plateforme de l'Institut Choiseul dédiée aux enjeux de souveraineté et de résilience. Cette Initiative a pour but d'identifier et de promouvoir des mesures pragmatiques et concrètes destinées à renforcer l'autonomie stratégique de la France et de l'Europe. Au travers de rencontres régulières réunissant acteurs économiques de premier plan et experts reconnus, et par la production de documents de synthèse et d'orientation émanant des écosystèmes réunis, l'Institut Choiseul entend ainsi prendre part au débat sur la nécessaire souveraineté nationale et européenne dans des domaines aussi variés que la défense, l'industrie, l'agroalimentaire ou encore les transports.

La 15ème Rencontre Souveraineté & Résilience s'est tenue le 20 mars 2024 autour d'acteurs de premier plan qui ont partagé leurs témoignages, visions prospectives et bonnes pratiques : Amandine REIX, Sous-directrice du Spatial, de l'Électronique et du Logiciel de la Direction générale des entreprises du Ministère de l'Économie et des Finances, Neil ABROUG, Coordinateur national pour la stratégie quantique au Secrétariat général pour l'investissement, Michel de LEMPDES, Président de France DeepTech & Managing Partner d'Omnes Capital, et Georges-Olivier REYMOND, Président de Pasqal.

INTRODUCTION

« L'émergence de nouvelles technologies, comme l'intelligence artificielle, les applications de la physique quantique ou encore la biologie de synthèse, est porteuse de nombreuses opportunités, mais également source de futures instabilités. » Tels étaient les mots du Président Emmanuel Macron lors de son discours sur la stratégie de défense et de dissuasion à l'École de Guerre, le 7 février 2020.

Au début du XX^{ème} siècle a eu lieu une première révolution quantique. La mise au point des horloges atomiques présentes dans les satellites GPS à partir des années 1950, la création du premier laser en 1960 ou bien encore l'apparition de l'imagerie par résonance magnétique en 1976 sont autant d'innovations technologiques dont l'utilisation repose sur certains principes de la physique quantique.

En 2022, Alain Aspect reçoit le prix Nobel de physique pour des travaux précurseurs ouvrant la voie à une « deuxième révolution quantique », fruit d'un effort en matière de recherche fondamentale initié dès la fin des années 1970.

Cette deuxième révolution quantique recouvre de nombreux champs d'application d'importance vitale pour l'État : l'économie, la sécurité, la souveraineté ou encore la transition énergétique. Il s'agit donc d'une rupture scientifique et technologique qui doit s'inscrire au cœur des stratégies étatiques.

Si la France est l'une des nations pionnières dans la maîtrise de la physique et de l'informatique quantiques, elle doit faire face à une compétition féroce engagée sur la scène internationale par les géants technologiques de la Silicon Valley (IBM, Google, etc.) et par certains États, à l'instar de la Chine.

C'est dans cette perspective que la France, aux côtés de ses partenaires européens, doit concevoir et déployer une stratégie de recherche fondamentale et d'innovation lui permettant de maintenir son rang.



CONSTATS – ENJEUX FACTUELS

DES TECHNOLOGIES COMPLEXES ET UN ENJEU DE RECHERCHE FONDAMENTALE

La multiplicité des technologies associées fait du quantique un champ de recherche particulièrement stratégique pour les États. Les propriétés de superposition et d'intrication quantiques rendent en effet possibles des avancées majeures dans une grande variété de domaines.

La superposition est un principe contre-intuitif pour l'esprit humain, qui établit que des particules peuvent être simultanément dans plusieurs états. Schématiquement, un électron ne tourne pas autour d'un noyau à la façon d'un satellite autour d'une planète : il se trouve en tout point de son orbite en même temps. Ce principe est aussi contraire à notre intuition que fondamental aux théories de la physique quantique. La propriété d'intrication, quant à elle, pose le fait que deux particules, mêmes très éloignées, peuvent être liées l'une à l'autre. C'est-à-dire que si l'état de l'une est modifié, l'autre prend instantanément la même valeur. Superposition et intrication sont à la base du développement des technologies quantiques.

À titre d'exemple, le développement de l'ordinateur quantique répond aux limites que rencontrent l'ordinateur classique et la miniaturisation de ses processeurs. En 2015 déjà, Intel annonçait un retard de six mois dans l'élaboration de ses processeurs Skylake, gravés en 14 nanomètres, du fait de dysfonctionnements. À cette échelle, les fabricants se heurtent à une limite physique appelée « effet tunnel » qui rend inopérants les transistors de ces dimensions. L'ordinateur quantique, au contraire, utilise plusieurs propriétés quantiques afin de réaliser des calculs complexes en un temps beaucoup plus rapide qu'un ordinateur traditionnel. Son intérêt est donc de résoudre des calculs encore inaccessibles – applicables à de nombreux cas d'usage : simulations météorologiques, bio-ingénierie, optimisation des réseaux d'énergie, etc. – et dans des temps records.

Dans le domaine des télécommunications, la communauté scientifique travaille à la construction d'un grand réseau quantique – une sorte d'Internet qui serait capable

de relier des ordinateurs quantiques entre eux. La propriété d'intrication quantique permet déjà le transfert d'informations sur des distances pouvant aller jusqu'à 50 kilomètres au moyen de réseaux reposant sur l'utilisation de technologies classiques, comme les fibres optiques, et de répéteurs quantiques. La création de nouveaux protocoles de cryptographie constitue également une application possible des propriétés de la physique quantique, en permettant une sécurisation plus importante des communications.

Si la pluralité des applications des propriétés quantiques est prometteuse, certaines limites du domaine de la recherche fondamentale demeurent. En particulier, la « décohérence » rend difficile la conception de systèmes quantiques à grande échelle. Cette décohérence décrit le fait que des objets relevant des propriétés quantiques finissent par obéir aux règles de la physique classique sous l'effet des interactions qu'ils ont avec leur environnement. Autrement dit, c'est une forme de dégradation qui met fin aux effets de superposition et d'intrication. Cette dégradation peut prendre jusqu'à une quarantaine de minutes, sous certaines conditions.

La maîtrise des qubits (ou quantum bit), composants fondamentaux des ordinateurs quantiques, n'est encore que partielle : leur stabilité et le taux d'erreur dans les calculs sont encore loin des niveaux attendus. Répondre à ces limites apparaît comme un prérequis afin de passer de la recherche fondamentale à des applications tangibles.

Par ailleurs, les technologies quantiques souffrent du fait que leur potentiel est insuffisamment connu du grand public, et plus particulièrement des acteurs économiques. Leur illustration par des cas d'usage concrets est donc nécessaire, notamment en matière d'optimisation des processus industriels, pour que les dirigeants d'entreprises en saisissent la portée et l'intérêt pour leurs activités respectives.

Entre 450 et 850 Mds de dollars

Selon le BCG, la valeur de marché créée par l'ordinateur quantique pourrait atteindre ces montants au cours des 15 à 30 prochaines années.

270 millions de dollars

Entre 2010 et 2022, c'est la valeur atteinte au sein de l'union en matière d'investissement privé dans le quantique contre 1 800 millions de dollars aux États-Unis.

Environ **15%** des emplois quantiques créés dans le monde viennent d'entreprises françaises.

1,8 Md d'euros
En janvier 2021, le Président Macron a annoncé un « Plan Quantique » public-privé sur 5 ans.

x12 Entre 2011 et 2021, le volume de familles de brevets publiés, ayant pour objet l'informatique quantique, a été multiplié par 12.

En outre, les technologies habilitantes, telles que les systèmes de refroidissement extrême/cryogénie et les systèmes optiques/lasers, représentent des verrous technologiques et des défis d'ingénierie essentiels à relever pour le développement du quantique. Ces briques technologiques sont cruciales pour les constructeurs d'ordinateurs quantiques et pourraient constituer un goulot d'étranglement lorsque les industriels investiront massivement dans ce domaine.

C'est dans ce contexte qu'un « Plan Quantique » de 1,8 milliard d'euros a été annoncé par le Président Emmanuel Macron, en janvier 2021, au Centre de nanosciences et de nanotechnologies. Il témoigne d'une ambition : celle de faire de la France un acteur majeur des technologies quantiques. Le CNRS, le CEA et l'Inria accompagnent l'État dans la définition de cette stratégie quantique, collaboration indispensable alors que le développement de ces technologies demeure du ressort de la recherche fondamentale.

D'importantes opportunités économiques à venir

Les technologies quantiques promettent des innovations de rupture pour lesquelles la France et l'Europe disposent de ressources académiques et techniques d'excellence leur procurant un avantage stratégique. Tout comme les opportunités manquées du début des années 2000 – la digitalisation – et 2020 – l'intelligence artificielle –, le potentiel économique qu'offrent les technologies quantiques est à la fois massif et diversifié. Une stratégie nationale doit être placée à la hauteur de ce potentiel.

La valeur de marché créée par l'ordinateur quantique pourrait, par exemple, atteindre entre 450 et 850 milliards de dollars au cours des 15 à 30 prochaines années, selon une étude du cabinet de conseil en stratégie BCG. Le développement de ces technologies en France permettrait l'acquisition d'avantages comparatifs significatifs dans de nombreux domaines stratégiques, comme la pharmacologie, la cybersécurité, la chimie, l'aéronautique, etc. La France dispose d'expertises sur l'ensemble de la chaîne de valeur du quantique, couvrant les ordinateurs quantiques, les technologies habilitantes et les télécommunications quantiques. Avec ces atouts, la France est amenée à jouer un rôle clé dans la course au développement de l'internet quantique et pour créer un nouveau marché.

La France est bien placée dans cette course tant technologique qu'économique. Le pays compte de nombreuses start-up issues de cette seconde révolution quantique explorant diverses approches technologiques, témoignant de la diversité et de la qualité de la recherche française en physique – dont Pasqal (atomes neutres), Quandela (photonique) Alice & Bob (qubits de chat), C12 (nanotube de carbone) et Quobly (silicium). Ces dernières ont été retenues dans le cadre du programme Proqcima, lancé en mars 2024 par le Gouvernement et piloté par la Direction générale de l'armement et le Secrétariat général pour l'investissement. Son objectif est de concevoir, d'ici huit ans, deux prototypes de calculateurs quantiques de 128 qubits tolérants aux erreurs.

Cette pluralité de choix scientifiques optés par nos industriels distingue la France dans cette course technologique par rapport aux autres pays. En effet, des paris ont été faits sur différents types de particules par nos startups notamment celles impliquées dans le projet Proqcima.

Aujourd'hui, environ 15 % des emplois quantiques créés dans le monde viennent d'entreprises françaises. À l'échelle de l'Europe, la France représente la moitié des emplois créés. La France fait ainsi partie des chefs de file mondiaux, aux côtés du Royaume-Uni, du Canada et des États-Unis : l'enjeu est d'autant plus important qu'il y aura une prime aux premiers adoptants des technologies quantiques.

Par exemple, la société Pasqal travaille avec plusieurs entreprises sur des cas d'usage des technologies quantiques. Un projet avec le Crédit Agricole, en 2023, a ainsi permis d'évaluer la pertinence du calcul quantique dans la valorisation de certains produits dérivés. En 2021, un partenariat a été signé avec Thalès afin d'utiliser le processeur quantique de Pasqal pour optimiser les processus de planification des systèmes critiques. En 2022, c'est avec BASF que la société spécialisée dans la conception et la production de processeurs quantiques noue un partenariat : celui-ci vise à intégrer la puissance de calcul des solutions quantiques aux modèles météorologiques du plus grand groupe chimique au monde.

Un levier de souveraineté et de sécurité dans un environnement incertain

Au-delà des enjeux économiques associés au développement des technologies quantiques, se pose la question des conséquences de ces innovations de rupture sur la souveraineté de la France.

En particulier, le développement du calcul quantique remet en question la robustesse des systèmes de chiffrement traditionnels utilisés afin de garantir le secret d'informations bancaires, administratives ou encore militaires. C'est dans cette perspective que des mécanismes de chiffrement « post-quantiques » doivent être développés, afin de prémunir les réseaux de communication contre l'émergence d'ordinateurs quantiques en mesure de briser les verrous cryptographiques traditionnels. La maîtrise de ces outils est stratégique pour garantir la sécurité des biens et des individus contre toute ingérence ou agression.

Le développement de solutions de communication quantique (à l'instar du protocole « *Quantum Key Distribution* ») reposant sur la propriété de « non-clonage » permettrait d'établir des échanges sécurisés. Cette propriété empêche de copier un qubit qui se trouverait dans un état quantique inconnu – et donc de répliquer l'information dont il est porteur. Si ces technologies demeurent peu matures à ce stade, l'ANSSI recommande de poursuivre les efforts dans cette direction : le déploiement précoce de solutions de communication quantique non-européennes placerait la France en situation de dépendance vis-à-vis de fournisseurs étrangers.

Les capteurs quantiques permettent quant à eux une amélioration de la performance d'infrastructures et d'équipements de défense. En particulier, des solutions quantiques ont déjà été identifiées dans plusieurs domaines. Celui de la navigation d'abord, au travers d'appareils mesurant de façon très précise l'accélération d'un corps et

l'intensité d'un champ magnétique ou gravitationnel. Celui de la télédétection ensuite, puisque les radars quantiques permettraient la détection d'avions furtifs ou de filtrer certaines tentatives de brouillage. Ceci est porteur d'une promesse de gains tactiques importants sur le plan militaire.



MENACES – ENJEUX DYNAMIQUES

ÉTATS-UNIS ET CHINE : DEUX CONCURRENTS DE TAILLE DANS LA COURSE AU QUANTIQUE

Compte tenu des enjeux stratégiques que recouvre la « deuxième révolution quantique », la concurrence mondiale en matière de recherche et d'innovation s'intensifie. Le nombre de brevets déposés augmente de façon exponentielle : entre 2011 et 2021, le volume de familles de brevets publiés, ayant pour objet l'informatique quantique, a été multiplié par 12. À titre de comparaison, tous domaines confondus, le volume de familles de brevets déposés a été multiplié par 3 sur la même période. Ce dynamisme est particulièrement marqué dans les centres de recherche américains et chinois, deux nations qui font montre d'un intérêt prononcé pour les applications de ces technologies.

Les États-Unis sont parmi les premiers pays à avoir fait du développement des technologies quantiques une priorité nationale. En 2018, le *National Quantum Initiative Act* a donné un cadre juridique à cette priorité afin de permettre aux États-Unis de « continuer à jouer un rôle de premier plan dans le domaine de l'informatique quantique ». Le plan d'investissement voté à cette occasion s'est élevé à 1,2 milliard de dollars, consacré notamment au développement de centres de recherches en sciences de l'information quantique (QIS). Cette initiative coordonne l'action de 21 agences fédérales.

En parallèle de cette impulsion publique, la stratégie américaine repose sur d'importants investissements en R&D réalisés par des acteurs privés et s'appuie sur l'industrie des semi-conducteurs, alors qu'IBM, Google ou Microsoft jouent un rôle clé dans l'émergence des nouvelles technologies quantiques. IBM et Google ont, par exemple, investi conjointement en 2023 à hauteur de 150 millions de dollars auprès d'universités américaines et japonaises, afin de financer la recherche fondamentale en physique quantique. Ce volontarisme s'illustre également par des partenariats établis entre le secteur public et le secteur privé, à l'image du *Quantum Artificial Intelligence Lab* créé par la NASA et Google dès 2013.

La Chine a vite pris la mesure de la « seconde révolution quantique ». Dans le cadre du 13^{ème} plan quinquennal et de son volet propre à l'innovation scientifique et technologique (2016-2020), Xi Jinping a fait du développement de l'informatique et de la communication quantiques une priorité nationale. C'est à cette occasion qu'a été lancée la mission « *Quantum Experiments at Space Scale* », dont l'objectif est de développer un système de communication quantique d'une puissance inédite. Plus de 10 milliards de dollars ont

été investis dans ce projet et ont permis la création d'un laboratoire d'informatique quantique en 2017 au sein de l'Université des sciences et technologies de Chine, située à Hefei. En 2020, la Chine réalise, depuis un satellite, la première communication sécurisée par cryptographie quantique. En 2021, à l'occasion de la publication du 14^{ème} plan quinquennal (2021-2025), la Chine annonce un investissement de 15 milliards de dollars dans les technologies quantiques, confirmant l'intérêt stratégique du pays pour ces applications.

Pour ces deux nations, la course aux technologies quantiques est érigée au rang de priorité stratégique. Dans un contexte de forte concurrence, certains choix politiques témoignent des enjeux de souveraineté associés à la maîtrise de telles technologies et des conflits latents : en août 2023, Joe Biden a ainsi signé un décret permettant de limiter dès 2024 les investissements américains en Chine dans certaines technologies sensibles, dont font partie les technologies quantiques.

Des investissements français et européens encore insuffisants

La France et l'Europe se doivent de mobiliser les ressources financières et humaines adaptées afin de répondre à de nouvelles contraintes concurrentielles. Alors que l'Union européenne représente 16,5 % du PIB mondial, la classant au troisième rang des puissances économiques, les efforts fournis dans le domaine des technologies quantiques ne semblent pas être complètement à la hauteur des enjeux. Il a fallu attendre 2018 pour qu'une réelle stratégie européenne se mette en place par le biais du *Quantum Technologies Flagship*, un programme de recherche européen représentant un investissement d'un milliard d'euros sur 10 ans.

Si les pays membres de l'Union européenne disposent également de leurs propres programmes d'investissement dans les technologies quantiques, à l'image du Plan Quantique en France, cette initiative conjointe des pays membres de l'Union Européenne reste bien en-deçà des 15 milliards annoncés par la Chine.

Ce décalage expose la souveraineté européenne à des risques nouveaux, malgré le capital académique d'excellence dont dispose le Vieux Continent. En 2020, on compte environ 136 000 diplômés européens ayant étudié dans un domaine académique en lien avec les technologies quantiques – contre 45 000 pour les États-Unis et 58 000 pour la Chine. Une mesure du H-index (indice de qualité) des pu-

ailleurs l'Union européenne, en 2021, au 2ème rang mondial en termes de qualité de la production scientifique. De même, on recense 34 établissements européens parmi les 100 premières universités mondiales en matière de recherche quantique. Les ressources économiques mobilisées afin d'assurer le développement d'une industrie quantique européenne de premier plan semblent ainsi en décalage avec la qualité de ces ressources humaines.

L'absence de structures financières privées permettant de stimuler la recherche fondamentale et appliquée est un frein économique au développement d'une telle filière européenne. Malgré quelques exceptions à l'instar de Quantonation, premier fonds d'investissement français destiné exclusivement au développement de ces technologies, l'Europe ne dispose pas de structures ayant la profondeur financière suffisante pour soutenir ses start-up et scale-up dans leur phase de croissance.

Ce manque se traduit par une prédominance des États-Unis en la matière. Entre 2010 et 2022, selon le BCG, la valeur de l'investissement privé dans le quantique a atteint environ 1 800 millions de dollars aux États-Unis contre 270 millions pour l'Union européenne. L'un des principaux défis rencontrés par l'Europe et la France dans cette transition de la recherche fondamentale à l'industrialisation – puis à la commercialisation – de technologies quantiques reste donc la mobilisation de financements privés permettant de sécuriser des levées de fonds en séries B et C.

Une coordination européenne inaboutie

Malgré de récents progrès, la coordination européenne dans le domaine des technologies quantiques présente des lacunes. Le développement parallèle d'initiatives européennes, comme le *Quantum Technologies Flagship* ou l'*European Tech Champions Initiative*, et nationales, comme le Plan Quantique en France, a conduit à une forme de dispersion des efforts.

La France a par exemple choisi de mettre en œuvre une stratégie décentralisée, reposant sur plusieurs centres de recherche et pilotée par un coordinateur interministériel. L'Allemagne a opté pour une approche centralisée, s'appuyant sur la coopération des ministères de la recherche et des affaires économiques. Il ne s'agit pas que de différences de vue en matière d'approche à adopter, car les collaborations entre États membres demeurent limitées – tant du point de vue du partage d'informations scientifiques et techniques que de possibles investissements mutualisés dans des infrastructures critiques. Les relations entre acteurs du quantique souffrent d'un manque de synergies à l'échelle européenne. Cela limite de fait les effets bénéfiques d'initiatives telles que le *Quantum Technologies Flagship*.

À titre de comparaison, les États-Unis ont mis en place – par le truchement du *National Quantum Initiative Act* – un consortium nommé *Quantum Economic Development Consortium* (QED-C) rassemblant entreprises privées, universités, centres de recherches et agences fédérales. Son objectif est de créer des espaces de discussions sur les priorités et les feuilles de route pertinentes à déployer dans le cadre du développement des technologies quantiques. Cette mutualisation au niveau européen est une nécessité pour relever les défis posés par la seconde révolution quantique.



III. PROPOSITIONS

RENFORCER LA COORDINATION EUROPÉENNE DANS LE DOMAINE DU QUANTIQUE

La compétitivité de la France et de l'Europe face à aux puissances chinoise et américaine reposera, d'abord, sur une meilleure coordination des États membres dans la conception et le déploiement de leurs politiques publiques en matière de quantique.

Malgré la signature d'accords de coopération – à l'instar de celui datant de décembre 2022 réunissant la France, l'Allemagne et les Pays-Bas – ou de déclarations visant à confirmer le principe d'une collaboration européenne – comme celle de décembre 2023 signée par 20 États membres – les objectifs et les agendas demeurent trop hétérogènes.

Dans ce contexte, il paraît indispensable de :

- **subordonner les objectifs nationaux à une stratégie de filière européenne**, qui viendrait fixer le cap des ambitions européennes et orchestrer la montée en puissance des réseaux de recherche et des filières industrielles associées ;
- **s'appuyer sur une entité centralisée facilitant le suivi de la feuille de route européenne, le partage de bonnes pratiques et l'identification des besoins de financement des entreprises présentes sur ces marchés** – le Quantum Technologies Flagship joue partiellement ce rôle, avec une attention particulière donnée au soutien de projets de recherche, sans toutefois couvrir l'ensemble de la chaîne de valeur, de la recherche fondamentale à la commercialisation en passant par l'industrialisation ;
- **renforcer l'intégration d'associations spécialisées dans le quantique** comme QuantERA ou QuiC, ou plus largement dans la deeptech comme France Deeptech, qui jouent un rôle dans la collaboration des réseaux de recherche et des entreprises concernées, et des programmes EuroQCI et EuroQCS, déployés pour faciliter le développement de certaines technologies quantiques – le déploiement de ressources additionnelles pourrait faciliter l'atteinte des objectifs européens ;
- **s'approprier le calcul quantique au sein des entreprises européennes** afin de favoriser les commandes auprès des écosystèmes français et européen et de ne pas prendre le risque d'être distancés technologiquement ;
- **renforcer la cyber-résilience de nos infrastructures critiques** apparaît être une priorité à très court terme. En effet, les ports, gares, métros, aéroports, hôpitaux, centrales nucléaires, infrastructure satellitaire et spatiale, etc, constituent des cibles pour de futures attaques qui seront rendues possibles avec le développement du quantique. Le renforcement de notre cyber-résilience endiguera les conséquences probables de ces attaques qui pourraient être nuisibles à l'économie française.

Enfin, la stratégie européenne doit répondre à des impératifs de sécurité et d'intelligence économique communs à l'ensemble des États membres dans un environnement fortement concurrentiel.

Il paraît en cela nécessaire de :

protéger le patrimoine scientifique et technologique européen, en s'accordant sur le déploiement de certains partenariats avec des acteurs extra-communautaires (Japon, Corée du Sud, Suisse, etc.) ;

- **s'assurer d'un juste niveau de contrôle des investissements étrangers dans les start-up européennes** du quantique ;
- **prévenir le blocage des développements industriels français** par des normes en cours de définition. Pour cela, il semble nécessaire d'établir une stratégie organisée et bien pilotée avec nos experts académiques et industriels pour ce marché émergent.

Libérer les ressources économiques nécessaires au développement des technologies quantiques

Avec plus de 8 milliards de dollars d'investissements en faveur de la recherche et des innovations quantiques, l'Europe affiche un fort volontarisme et un potentiel de développement lui permettant d'agir à armes égales face aux puissances américaine et chinoise. Le principal frein économique à la transition de la recherche fondamentale à l'industrialisation puis à la commercialisation des technologies quantiques demeure le faible soutien de fonds de capital-risque et de capital-investissement. Le déploiement de la *European Tech Champions Initiative* (ETCI) est un premier pas dans cette direction. Le développement plus poussé de ce modèle « fonds de fonds » peut offrir des garanties aux investisseurs privés afin de faciliter les levées en séries B et C permettant un passage à l'échelle de start-up européennes.

La ETCI reste cependant une initiative globale qui recouvre un domaine technologique plus vaste que les seules applications quantiques. Elle peut être complétée par :

- **un dispositif similaire à celui institué pour favoriser le développement de l'intelligence artificielle en Europe**, à savoir un mécanisme de co-investissement dédié à un ensemble de technologies prédéfini et permettant d'assurer la transition critique des séries B et C – la Banque européenne d'investissement pourrait, via un tel dispositif, appuyer ainsi directement les investisseurs privés dans le cadre des importantes levées requises pour financer l'acquisition et la conception d'équipements de pointe ;

- **une mutualisation accrue des ressources pour répondre à l'impératif de financement et de passage à l'échelle**, dans un contexte où l'investissement privé reste insuffisant et où le déploiement de fonds de capital-risque et de capital-investissement aptes à concurrencer l'écosystème américain est une gageure.

Des objectifs stratégiques partagés, comme présentés plus haut, favoriseraient l'investissement dans des projets de recherches et applicatifs communs, notamment par le biais de *Quantum Technologies Flagship* ou de *Scale-Up Europe*.

Capitaliser sur les ressources académiques européennes

L'Europe est pionnière dans le domaine de la physique quantique et dispose de toute l'expertise nécessaire pour répondre aux impératifs de cette « seconde révolution ». Dans le domaine de la recherche fondamentale, ce sont aujourd'hui 5 000 scientifiques qui travaillent sur des sujets en lien avec le quantique.

La formation d'élites scientifiques et techniques dans le domaine du quantique constitue un avantage stratégique que la France et l'Union européenne doivent pérenniser. À titre d'exemple, l'inauguration du Centre européen de sciences quantiques en octobre 2023 à Strasbourg, focalisé sur les sciences quantiques « expérimentales, théoriques et appliquées », devrait permettre d'accroître l'attractivité des filières de formation dans le domaine du quantique en s'inscrivant dans une stratégie de long terme.

Certains dispositifs existants pourraient être utilisés pour favoriser la collaboration entre les centres de recherche européens et impliquer les entreprises en amont. Le programme « Actions Marie Skłodowska-Curie » a pour objectif de favoriser les transferts de compétences grâce à la mobilité des chercheurs entre États membres. Utiliser ce programme afin de développer de façon structurée les échanges entre les centres de recherche sur les technologies quantiques permettrait un partage de connaissances au sein de l'écosystème européen et l'identification de nouvelles opportunités de recherche. La mise en place de tels dispositifs pourrait être assurée par les équipes du *Quantum Technologies Flagship* afin d'orienter les talents vers les projets soutenus par l'organisation, y compris ceux impliquant des PME et start-up européennes.

En outre, il conviendrait de :

- **anticiper les besoins en ingénieurs et techniciens des filières industrielles** en concevant des parcours de formation avec une spécialisation en ingénierie et en informatique quantique ;
- **continuer de favoriser la R&D des pôles d'excellence**, à l'instar de Paris-Saclay ou de l'écosystème grenoblois.

À PROPOS

INSTITUT CHOISEUL

L'Institut Choiseul est un think and do tank indépendant, non partisan et à but non lucratif. Il se dédie au décryptage des grands enjeux économiques et à la fédération de la jeune génération économique.

Pour alimenter le débat public et incarner les dynamiques économiques en cours, l'Institut Choiseul produit des Notes Stratégiques, des études ponctuelles et des classements de jeunes leaders. Pour fédérer et animer ses communautés, il déploie des événements de haut-niveau mêlant networking convivial, témoignages d'experts et de praticiens et échanges sur des sujets de prospective, sur différents territoires et verticales économiques, en France, en Europe et en Afrique.

Au croisement de la communauté d'affaires et du cercle de réflexion, l'Institut Choiseul offre une plateforme aux décideurs économiques privés comme publics pour s'identifier mutuellement, se mettre en réseau, promouvoir leurs initiatives et réfléchir aux grandes tendances économiques de demain.

INSTITUT
CHOISEUL