



AMBASSADE
DE FRANCE
EN INDE

Liberté
Égalité
Fraternité

Service économique de Delhi

2023-047

New Delhi, le 20 février 2023

Affaire suivie par : F. Visco, M. Khater (avec
les compléments de l'IFI)

Relue par B. Gauthier

Quelles perspectives pour les technologies quantiques en Inde ?

L'Inde a annoncé en 2020 un programme de soutien aux technologies quantiques doté d'un budget d'1 Md USD, qui n'a toutefois pas encore été mis en œuvre. La complémentarité entre la stratégie indienne et l'expertise française en matière de hardware quantique, et l'important bassin de talents indiens en matière de développement logiciel semble prometteuse pour approfondir la coopération franco-indienne sur les technologies au bénéfice des deux pays, dans un contexte de course technologique menée notamment par la Chine et les États-Unis.

L'Inde souhaite se positionner dans la course à la suprématie quantique

Les technologies quantiques pourraient permettre la résolution de certains calculs à des vitesses sans comparaison avec les ordinateurs classiques actuels, **avec des perspectives substantielles dans de nombreux secteurs (cryptographie, secteur financier, logistique, santé, etc)**. D'après le Boston Consulting Group, ces ordinateurs pourraient générer une valeur ajoutée de l'ordre de 450 à 850 Mds USD dans les 15 à 30 prochaines années (voir annexe 1). Plusieurs pays ont récemment annoncé des plans dotés de moyens importants (plusieurs milliards de dollars pour l'Europe, les États-Unis, le Japon et la Chine, cf. annexe 3) afin de soutenir leurs instituts de recherche et développer leur industrie, tandis que les investissements annuels dans les entreprises développant des technologies quantiques ont été multipliés par cent entre 2011 (7 MUSD) et 2020 (679 MUSD).

L'Inde se positionne depuis peu sur les technologies quantiques avec le lancement depuis 2018 de nombreuses initiatives de R&D (cf. annexe 2), l'émergence de start-up indiennes spécialisées sur le quantique¹ et la création en février 2020 d'une **Mission nationale sur les technologies et applications quantiques (NM-QTA)** mise en œuvre par le *Department of Science and Technology* (DST) dotée d'un budget d'1 Md USD sur 5 ans, qui est toutefois toujours en attente de la validation par le Conseil des Ministres. D'après le DST, quatre thématiques prioritaires ont été arbitrées : le calcul quantique, la communication quantique, les matériaux et dispositifs quantiques, et les capteurs et métrologie quantiques.

Les atouts de l'Inde en matière de quantique résident dans son vaste réservoir d'ingénieurs et de développeurs de logiciels dont l'intérêt pour la technologie quantique semble s'accroître. Ce sont ces développeurs que D-Wave, AWS et IBM cherchent à mobiliser et familiariser à leurs solutions via divers programmes annoncés ces dernières années (cf. annexe 1). DWAVE a récemment annoncé avoir recruté plus de 25 000 utilisateurs indiens pour sa plateforme Leap depuis son ouverture en Inde en juillet 2020.

L'Inde pâtit toutefois d'une très faible expertise en matière de hardware, et d'une stratégie peu claire en la matière. Bien qu'elle se soit fixée l'objectif de construire un ordinateur de 50 Qbits d'ici 2026, la note de cadrage de sa mission quantique ne pose aucune stratégie pour développer une chaîne d'approvisionnement en matières premières ou pour développer les technologies nécessaires à la création d'un écosystème complet autour des technologies quantiques comme la cryogénie². Enfin, le soutien aux partenariats entre la recherche et l'industrie, essentiels pour le développement de cas d'usage et de

¹ Il s'agit notamment de QNu Labs, BosenQ Psi, Qulabs et Taqbit Labs (cryptographie quantique), QpiAI Tech et Quantica Computacao (simulation quantique) et QRDLab (soutien à la recherche et innovation).

² La cryogénie est l'étude et la production des basses températures (inférieures à -150 °C) dans le but de comprendre les phénomènes physiques qui s'y manifestent.

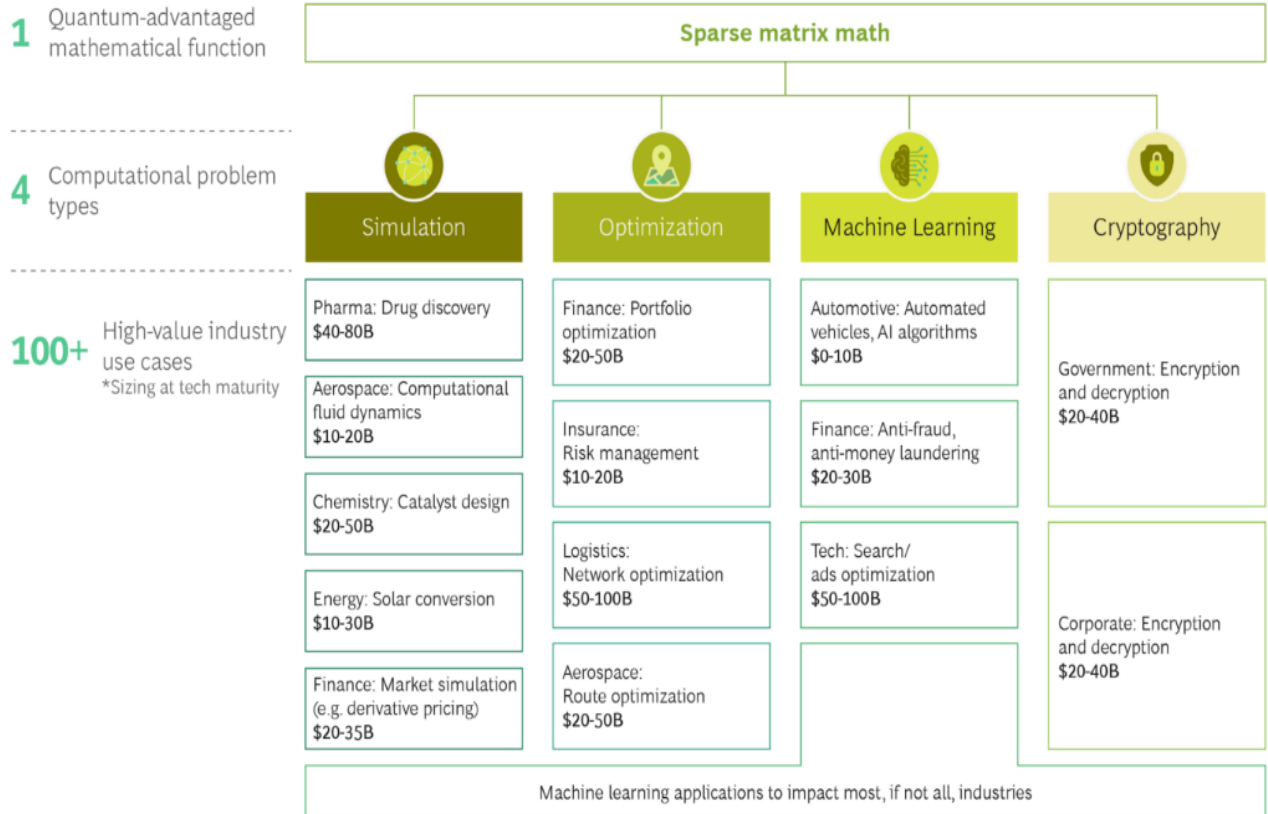
l'investissement privé, ne sont pas ciblés par la Mission récemment annoncée, contrairement aux programmes français (cf. annexe 4), britannique et américain.

Le potentiel de coopération franco-indienne sur le quantique

Au niveau international, **l'Inde a signé depuis 2019 quatre collaborations intergouvernementales mentionnant le quantique** en premier avec la France dans le cadre d'une feuille de route sur la cybersécurité et le numérique (puis l'Union Européenne, la Finlande et l'Australie), tandis que plusieurs multinationales (dont Atos, Amazon Web Services et IBM) ont signé des partenariats visant à donner accès à leurs solutions aux talents indiens.

Depuis cinq ans, la France et l'Inde sont devenus des partenaires privilégiés en matière de calcul haute performance (supercalcul et calcul quantique), soutenus par une ambition partagée d'autonomie stratégique dans le domaine numérique, notamment vis-à-vis des acteurs américains et chinois. Cette vision conjointe est actée dans la feuille de route de 2019 (*cf. supra*), qui identifie le supercalcul, le calcul quantique, l'intelligence artificielle et le rapprochement des écosystèmes de startups comme domaines prioritaires de coopération. Atos est pour sa part devenu le partenaire de référence de l'Inde pour le supercalcul. Dans le domaine quantique, la mise en œuvre de la feuille de route a conduit à la mise en service dans les locaux du C-DAC (agence de recherche du Ministère de l'Électronique et de l'IT en Inde) à Pune d'un centre d'excellence sur le calcul quantique équipé d'une machine Atos simulant 35 Qbits à l'été 2019. Par ailleurs, le Centre franco-indien pour la promotion de la recherche avancée (CEFIPRA), chargé du financement de programmes de recherche bilatéraux, a fait des matériaux quantiques un des thèmes prioritaires de son appel à projet 2019-2020.

Annexe 1 : Analyse du BCG sur le potentiel de l'ordinateur quantique



Sources: Industry interviews, BCG analysis.

Annexe 2 - Une accélération des initiatives indiennes de recherche et d'innovation sur le quantique depuis 2018

Jusqu'à la fin des années 2010, seuls quelques rares laboratoires indiens travaillaient sur les technologies quantiques. Il s'agit notamment de l'*Indian Space Research Organisation*, de l'Institut de recherche Raman (communication et la cryptographie quantique), et de l'Institut Tata pour la recherche fondamentale (supraconducteurs).

Depuis 2018, l'Inde a lancé de nombreuses initiatives de R&D sur les technologies quantiques avec la création en 2018 de 50 groupes de recherche dédiés au quantique via un financement de 25 MUSD du Ministère des sciences et des technologies (plus précisément du *Department of Science and Technology*, DST) dans le cadre du programme QuEST³, le lancement en 2021 :

- i. d'un centre d'innovation quantique à l'Indian Institute of Science Education & Research (IISER) de Pune dans le cadre de la *National Mission on Interdisciplinary Cyber-Physical Systems*,
- ii. d'un partenariat entre le Center for *Development of Advanced Computing* (C-DAC) et le *Defence Institute of Advanced Technology* (DAIT) pour développer conjointement des ordinateurs quantiques,
- iii. d'un simulateur quantique QSim développé par l'*Indian Institute of Technology Roorkee* et le C-DAC pour permettre aux chercheurs de réaliser des simulations quantiques sur les supercalculateurs PARAM Shavak et PARAM Siddhi,
- iv. d'un laboratoire sur les technologies quantiques pour les communications par le Centre for Development of Telematics (C-DOT), et
- v. d'un laboratoire sur la cryptographie quantique au *Military College of Telecommunication Engineering*. Enfin, en février 2022 une équipe conjointe du *Defence Research and Development Organisation* (DRDO) et de l'IIT-Delhi a annoncé avoir réussi à créer un lien de clé de distribution quantique pour une communication très sécurisée sur une distance de plus de 100 km.

³ Le programme Quantum Enabled Science and Technology (QuEST) se concentre sur quatre thématiques de recherche : photonique, lacunes d'azote et résonance magnétique, piège à ion et réseaux optiques, et supraconducteurs et quantum dots.

Annexe 2 : Programmes quantiques annoncés

Pays	Budget (USD Mds)	Réalisations
Japon	15-20	<ul style="list-style-type: none"> En 2018, a lancé l'initiative Quantum Leap (Q LEAP) pour des projets de R&D en matière de simulation et de calcul, de détection et de lasers à impulsions ultracourtes. Annonce en 2019 du projet Moonshot visant à créer un ordinateur quantique universel tolérant aux pannes d'ici 2050.
Chine	10 (estimation)	<ul style="list-style-type: none"> Début à la fin des années 90 Une priorité clé du 13e plan quinquennal (2016-2020) A développé le premier satellite de communication quantique au monde, Micius, en 2016 Un laboratoire national de 10 milliards de dollars pour les sciences de l'information quantique en 2017 A revendiqué la suprématie quantique en utilisant un prototype d'ordinateur quantique basé sur la lumière (76 photons), "Jiuzhang", en décembre 2020.
France	1,95	<ul style="list-style-type: none"> Stratégie nationale sur les technologies quantiques (janvier 2021) soutenue par un engagement d'1,8 Md€ sur cinq ans et promouvant notamment l'attractivité vis-à-vis des acteurs internationaux et des meilleurs talents mondiaux. 439 MEUR, soit un quart de l'engagement, sont ciblés vers l'entrepreneuriat.
Allemagne	1,6	<ul style="list-style-type: none"> En 2018, annonce d'un programme-cadre visant à mettre sur le marché des technologies quantiques. En juillet 2020, financement supplémentaire de 2 Mds EUR alloué sur le budget de l'UE. Le premier ordinateur quantique d'IBM hors d'Amérique et le plus puissant d'Europe se trouve en Allemagne.
Canada	1,4	<ul style="list-style-type: none"> Classement au 5e rang des dépenses mondiales en technologies quantiques en 2015.
Etats-Unis	1,2	<ul style="list-style-type: none"> En 2014, la coordination de la recherche entre les agences fédérales commence,

		<ul style="list-style-type: none"> En 2018, lancement de la loi sur l'initiative nationale Quantum, dotée d'un budget de 1,2 MdUSD, qui prévoit d'investir 625 MUSD dans cinq centres de recherche sur cinq ans et 340 MUSD supplémentaires dans le secteur privé.
Royaume-Uni	1,2	<ul style="list-style-type: none"> Début du premier plan quinquennal en 2015. Création de 4 hubs impliquant 30 universités pour la recherche de détecteurs de gravité sensibles, de simulateurs quantiques, d'ordinateurs quantiques et d'horloges atomiques miniatures. Création d'un centre national de calcul quantique en 2018. Le deuxième plan quinquennal a débuté fin 2019 avec un nouvel accent sur l'industrialisation des technologies quantiques.
Pays-Bas	0,9	<ul style="list-style-type: none"> En 2019, publication de l'Agenda national sur les technologies quantiques L'institut de technologie quantique QuTech, l'Université de technologie DELFT, le TNO (Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique appliquée) et Quantum Delta Netherlands, composé de 5 grands centres quantiques, ont reçu des fonds jusqu'à présent.
Russie	0,7	<ul style="list-style-type: none"> Début en 2019 120 experts en recherche impliqués Recherche sur 4 thèmes : 1) calcul et simulation, 2) communications, 3) métrologie et détection, 4) technologies habilitantes.
Australie	0,1	<ul style="list-style-type: none"> Financement fédéral En 2017, deux centres d'excellence ont été créés en tant que programmes quinquennaux.
Singapour	0,1	<ul style="list-style-type: none"> En 2007, un centre pour les technologies quantiques a été créé. Il a publié plus de 2000 articles scientifiques. Un nouveau programme quinquennal d'ingénierie quantique a été lancé.
Corée du Sud	0,05	<ul style="list-style-type: none"> Annonce d'un programme quinquennal en 2019 Créer 33 groupes de recherche (7 pour l'informatique quantique et 26 pour les technologies prometteuses) Mettre en œuvre un processeur quantique polyvalent de classe 5 qubits avec une fiabilité supérieure à 90 % d'ici 2023.

Annexe 3 : Comparaison des stratégies françaises et indiennes de soutien au quantique

