



UNIDIR

Technologie quantique, paix et sécurité

Introduction

ZHANNA L. MALEKOS SMITH • GIACOMO PERSI PAOLI



Remerciements

L'ensemble des activités de l'UNIDIR reposent sur le soutien apporté par les principaux bailleurs de fonds de l'Institut. Cette publication a été financée par l'Union européenne dans le cadre du Programme sécurité et technologie de l'UNIDIR, également soutenu par les gouvernements de l'Allemagne, de la France, de l'Italie, de la Norvège, des Pays-Bas, de la République tchèque et de la Suisse, ainsi que par Microsoft.

Nous remercions tout particulièrement M. Irving Lachow et M. Andrew Reddie de l'Université de Californie à Berkeley, ainsi que l'équipe dévouée d'assistants de recherche de West Point, l'Académie militaire des États-Unis : la Première-lieutenant Christina Huynh et les cadets Jason Ingersoll, Christopher T. Konin, Conner R. Leggett et Riley Hoyes.

À propos de l'UNIDIR

L'Institut des Nations Unies pour la recherche sur le désarmement (UNIDIR) est un institut autonome au sein des Nations Unies financé par des contributions volontaires. L'UNIDIR est l'un des rares instituts politiques du monde à se concentrer sur le désarmement. Il génère des connaissances et encourage le dialogue et l'action en matière de désarmement et de sécurité. Basé à Genève, l'UNIDIR aide la communauté internationale à développer les idées pratiques et innovantes nécessaires pour trouver des solutions aux problèmes de sécurité les plus graves.

Remarque

Les désignations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent, de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies, aucune prise de position quant au statut juridique de tel ou tel pays, territoire, ville ou zone, ou de ses autorités, ni quant au tracé de ses frontières ou limites. Les points de vue exprimés dans la présente publication n'engagent que leurs auteurs. Ils ne reflètent pas nécessairement ceux des Nations Unies, de l'UNIDIR ou de l'Union européenne, de leur personnel ou des organismes qui lui apportent leur concours.

Pour citer cette publication

Malekos Smith, Zhanna L., et Persi Paoli, Giacomo. "Technologie quantique, paix et sécurité : introduction". Genève, Suisse : UNIDIR, 2024.

Crédit d'images : © Adobe Stock.

À propos des auteurs



Zhanna L. Malekos Smith

Membre non résidente, Sécurité et technologie

Zhanna L. Malekos Smith JD est membre non résidente de l'UNIDIR et professeur de droit international à l'Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche (UNITAR). En outre, elle est attachée principale au Projet de sécurité aérospatiale et au Programme de technologies stratégiques du Centre d'études stratégiques et internationales (CSIS) à Washington, chercheuse invitée au Carnegie Council pour l'éthique dans les affaires internationales, et chercheuse à l'Institut cybernétique de l'armée à l'Académie militaire américaine de West Point. Auparavant, Malekos Smith était professeur adjointe au département d'ingénierie des systèmes de West Point et professeur d'études sur la cyberguerre à l'US Air War College. Ancienne capitaine et avocate au sein du Judge Advocate General's Corps de l'Armée de l'air américaine, elle a obtenu son grade à l'issue du programme Reserve Officers' Training Corps (ROTC) du Massachusetts Institute of Technology. Les opinions exprimées ici sont uniquement celles de l'auteure et non celles des Nations Unies, du gouvernement des États-Unis ou du Département de la défense des États-Unis.



Dr. Giacomo Persi Paoli

Dirigeant de programme, Sécurité et technologie

M. Giacomo Persi Paoli dirige le Programme sécurité et technologie de l'UNIDIR. Ses compétences couvrent les domaines de la science et de la technologie et mettent l'accent sur les implications des technologies émergentes pour la sécurité et la défense. Avant de rejoindre l'UNIDIR, Giacomo était directeur associé à RAND Europe, où il dirigeait le portefeuille des sciences, des technologies et de l'innovation en matière de défense et de sécurité, ainsi que le Centre for Futures and Foresight Studies de RAND. Il est titulaire d'un doctorat en économie de l'université de Rome, en Italie, et d'un master en sciences politiques de l'université de Pise, en Italie.

Abréviations et acronymes

IA	Intelligence artificielle
SAA	Système d'armes autonomes
SAD	Système d'aide à la décision
GNSS	Système global de positionnement par satellites
TIC	Technologies de l'information et des communications
ISR	Renseignement, surveillance et reconnaissance
GTCNL	Groupe de travail à composition non limitée
PQC	Cryptographie post-quantique
QKD	Distribution quantique de clé
SQUID	Dispositif supraconducteur à interférence quantique

Table des matières

Résumé exécutif	6
1. Introduction : l'essor de la technologie quantique	8
2. Concepts fondamentaux de la mécanique quantique	10
3. Explorer les applications militaires de la technologie quantique	12
3.1. Détection quantique	12
3.2. Imagerie quantique	13
3.3. Systèmes radar quantiques	14
3.4. Communications quantiques	14
3.5. Distribution quantique de clé	15
3.6. Informatique quantique	15
4. Implications de la technologie quantique pour la sécurité internationale	17
4.1. Sécurité mondiale des TIC	17
4.2. Renseignement, surveillance et reconnaissance basés sur la technologie quantique	18
4.3. Systèmes d'aide à la décision et systèmes d'armes autonomes	18
4.4. Suivi et vérification	19
5. Exemples d'initiatives quantiques nationales et régionales	20
6. Conclusion	23

Résumé exécutif

Cette introduction fournit aux décideurs politiques et aux diplomates une vue d'ensemble de la technologie quantique et de son impact anticipé sur la sécurité internationale, en mettant l'accent sur ses avantages potentiels et ses risques, dans les domaines militaire et civil. Les progrès quantiques promettent des transformations dans les domaines de la détection, de l'informatique, de la communication et de la cryptographie, et offrent des capacités accrues en matière de renseignement, de surveillance et de reconnaissance (ISR), ainsi que des avancées essentielles en matière de sécurité de l'information et de résilience cryptographique. Toutefois, ces mêmes technologies posent également des défis susceptibles de déstabiliser les cadres de sécurité qui sous-tendent la paix mondiale.

La détection quantique, par exemple, représente un progrès considérable dans la précision des mesures, avec des applications qui vont des opérations militaires à la vérification du désarmement. Cette capacité pourrait améliorer considérablement les techniques de surveillance essentielles à la maîtrise des armements, en permettant une détection très sensible des matières nucléaires et d'autres marqueurs environnementaux essentiels. Les capteurs quantiques sont également prometteurs dans le domaine maritime, où ils pourraient révéler des actifs sous-marins auparavant indétectables, tels que les sous-marins, ce qui constituerait un défi stratégique pour les technologies de furtivité navale traditionnelles.

L'informatique quantique, encore en développement, devrait révolutionner les domaines nécessitant un traitement avancé des données, tels que la cryptographie, les simulations complexes et l'automatisation basée sur l'intelligence artificielle. Au fur et à mesure que cette technologie évolue, elle pourrait compromettre les systèmes cryptographiques

existants qui sécurisent les infrastructures critiques et les communications sensibles. Cela souligne l'urgence de passer à des normes cryptographiques post-quantiques afin de sécuriser les données gouvernementales, militaires et civiles contre les cybermenaces à venir.

Au-delà du domaine de la sécurité de l'information et de la communication, les capteurs quantiques et l'informatique quantique peuvent avoir un impact plus large sur la paix et la sécurité internationales, à la fois positif et négatif. Par exemple, la technologie quantique pourrait permettre des techniques de vérification plus précises, soutenir les efforts de non-prolifération et offrir des capacités de télésurveillance suffisamment sensibles pour détecter l'activité nucléaire depuis l'espace, ce qui étendrait encore la portée de la surveillance dont dispose la communauté internationale.

Les États portent un vif intérêt au développement des capacités quantiques, en raison des avantages concurrentiels et de l'amélioration de la sécurité qu'elles peuvent apporter. Certains ont intégré le développement quantique dans leurs stratégies de sécurité nationale, souvent en formant des partenariats public-privé qui accélèrent la recherche et comblent le fossé entre l'innovation scientifique et l'application pratique. Ces initiatives soulignent la nécessité d'une collaboration multilatérale pour remédier aux asymétries croissantes en matière de capacités quantiques, qui pourraient exacerber les fractures numériques existantes entre les États à la pointe de la technologie quantique et les pays en développement.

Pour progresser, il convient de mettre en place des cadres de gouvernance solides et des partenariats intersectoriels, ainsi que de mettre l'accent sur le renforcement des capacités afin

de soutenir une main-d'œuvre compétente dans le domaine quantique. La coopération multilatérale sera essentielle pour établir des normes relatives à l'utilisation responsable de la technologie quantique, promouvoir la stabilité plutôt que la concurrence et veiller à ce que les avancées quantiques profitent à tous. Une approche holistique de la technologie quantique, prenant en compte l'ensemble de son cycle de vie, aidera les États à anticiper et à atténuer les opportunités et les défis qu'elle représente pour la paix et la sécurité internationales.

1. Introduction : l'essor de la technologie quantique

L'essor de la recherche, de l'innovation et de l'investissement dans la technologie quantique devient un phénomène mondial.¹ Cette technologie est très prometteuse pour permettre des avancées significatives en faveur de nombreux objectifs de développement durable.²

Malgré les avantages séduisants de la technologie quantique, les risques qu'elle pourrait faire peser sur la paix et la sécurité internationales suscitent également des appréhensions. En 2022, le Secrétaire général des Nations Unies a averti l'Assemblée générale que les ordinateurs quantiques pourraient "détruire la cybersécurité et accroître le risque de dysfonctionnement des systèmes complexes. Nous n'avons pas l'ébauche d'une architecture mondiale pour faire face à tout cela."³

Certes, la mesure dans laquelle les technologies quantiques peuvent façonner le caractère futur de la guerre, ou de la sécurité de manière plus générale, reste très incertaine, en particulier compte tenu de la fragilité et de la nouveauté des systèmes quantiques.⁴ Malgré cette ambiguïté, du point de vue de la sécurité

mondiale, il est important d'investir dans l'éducation et le développement des connaissances à un stade précoce, car la science et la technologie quantiques pourraient révolutionner profondément le domaine de l'informatique.

Les États manifestent un intérêt accru pour cette technologie, comme le montrent les investissements croissants dans la recherche sur la technologie quantique⁵ et le grand nombre de références à la technologie quantique faites par les États Membres de l'ONU lors des sessions officielles du groupe de travail à composition non limitée des Nations Unies (GTCNL) sur la sécurité du numérique et de son utilisation.⁶

À l'approche de 2025, qui a été proclamée par les Nations Unies comme l'Année internationale des sciences et technologies quantiques, cette introduction vise à sensibiliser aux implications potentielles de la technologie quantique sur la sécurité internationale. Elle vise à doter les décideurs politiques et les diplomates d'un cadre de référence pour examiner l'écosystème des risques entourant les sciences et technologies quantiques.

1 Alina Clasen, "Germany Strives to Catch Up with US, China in Quantum Tech Race" (L'Allemagne s'efforce de rattraper les États-Unis et la Chine dans la course à la technologie quantique), Euractiv, 12 mai 2023, <https://www.euractiv.com/section/digital/news/germany-strives-catch-up-with-us-china-in-quantum-tech-race/>.

2 Open Quantum Institute, *Progress Report 2024: Initiative Quantum for All* (Rapport d'étape 2024 : l'initiative quantique pour tous) (Genève : GESDA, octobre 2024), https://gesda.global/wp-content/uploads/2024/10/GESDA-Quantum-For-All-Progress-Report-2024_Final.pdf.

3 Nations Unies, "Our World Is in Big Trouble", Secretary-General Warns General Assembly, Urging Member States to Work as One United Nations" (Le Secrétaire général avertit l'Assemblée générale que "notre monde est au plus mal" et exhorte les États Membres de l'ONU à travailler comme une coalition mondiale), communiqué de presse SG/SM/21466, 20 septembre 2022, <https://press.un.org/fr/2022/sgsm21466.doc.htm>.

4 Lauren Biron, "Five Ways QSA Is Advancing Quantum Computing" (Cinq façons dont le QSA fait progresser l'informatique quantique), Berkeley Lab News Center, 10 avril 2023, <https://newscenter.lbl.gov/2023/04/10/five-ways-qa-is-advancing-quantum-computing/>.

5 Indra, "ADEQUADE: Advanced, Disruptive and Emerging QUAntum Technologies for Defence" (ADEQUADE : technologies quantiques avancées, innovantes et émergentes pour la défense), 2022, <https://www.indragroup.com/en/innovation-projects/adequade-advanced-disruptive-emerging-quantum-technologies-defence>.

6 Nations Unies, Bureau des affaires de désarmement, "Groupe de travail à composition non limitée sur la sécurité du numérique et de son utilisation", <https://meetings.unoda.org/open-ended-working-group-on-information-and-communication-technologies-2021>.

Pour aider le lecteur à s'y retrouver dans la complexité du sujet, après cette introduction, la section 2 donne un aperçu d'une sélection d'initiatives nationales et régionales sur la question. La section 3 présente ensuite plusieurs concepts fondamentaux de la mécanique quantique. La section 4 décrit les applications militaires de la technologie quantique. La section 5 dresse un premier aperçu des implications possibles de la technologie quantique pour le paysage de la sécurité internationale, avant les conclusions formulées à la section 6.



2. Concepts fondamentaux de la mécanique quantique

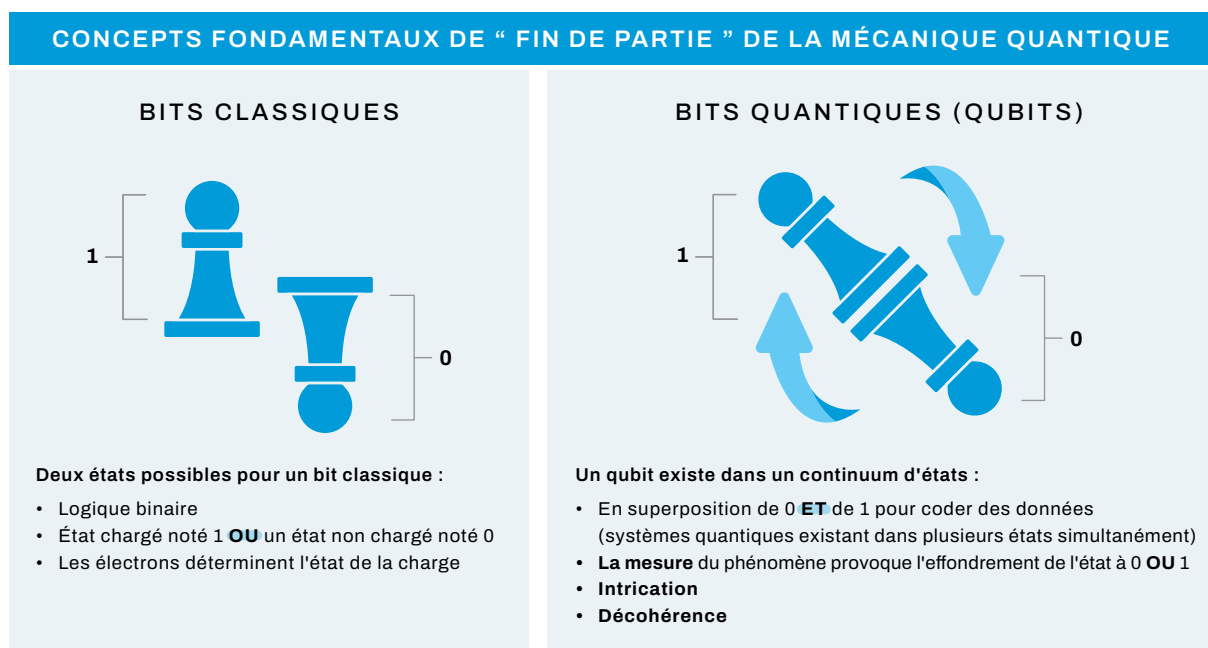
La mécanique quantique étudie le comportement des atomes et des particules. Les atomes sont constitués d'un noyau, composé de protons et de neutrons, autour duquel gravitent des électrons. Les électrons se déplacent en quanta discrets (c'est-à-dire la plus petite unité d'énergie) et peuvent également se déplacer en ondes continues, comme un filet d'eau provenant d'un robinet. Les électrons peuvent occuper plusieurs états simultanément, dans ce que l'on appelle la superposition.⁷ Ce phénomène a valu à la mécanique quantique d'être qualifiée de "bizarre" par certains physiciens.⁸

Au niveau quantique, les événements ne sont pas simplement déterminés. Par exemple,

au lieu de deux états de charge discrets, non chargé (noté 0) et chargé (noté 1), les deux peuvent s'appliquer simultanément, et de manière aléatoire. La célèbre expérience de la double fente démontre ces propriétés uniques des phénomènes quantiques. En résumé, les scientifiques ont observé que lorsque des ondes électroniques passaient à travers deux fentes, elles produisaient des ondes plus petites qui s'amplifiaient et s'annulaient les unes les autres jusqu'à ce qu'elles entrent en collision avec le mur arrière de la zone de test. Ce modèle d'interférence se produit parce que "les électrons semblent se comporter comme des ondes jusqu'au moment où ils sont observés ou mesurés, où ils redeviennent des particules".⁹

FIGURE 1.

Représentation visuelle des bits classiques et des bits quantiques



7 Ibid.

8 Michio Kaku, *Physics of the Future: How Science Will Shape Human Destiny and Our Daily Lives by the Year 2100* (La physique du futur : comment la science façonnera le destin de l'humanité et notre vie quotidienne d'ici à l'an 2100) (New York : Anchor, 2012).

9 Amit Katwala, *Quantum Computing: How It Works and How It Could Change the World* (L'informatique quantique : comment ça marche et pourquoi ça pourrait changer le monde) (Londres : Random House Business Books, 2021), p. 16.

La superposition peut être expliquée plus en détail à l'aide de l'image des pions d'échecs de la figure 1. Imaginez que le pion puisse être placé debout (indiquant un état chargé noté 1) ou retourné à l'envers (indiquant un état non chargé noté 0). Cette logique binaire constitue le mode de fonctionnement des ordinateurs numériques modernes. Un bit classique (l'unité de base de l'information), ou le pion classique dans cet exemple, peut représenter soit un 0, soit un 1. En revanche, les ordinateurs quantiques sont des systèmes plus complexes qui utilisent différentes unités d'information, appelées bits quantiques ou qubits, qui existent dans une superposition de 0 et de 1 pour coder les données.¹⁰ Le pion quantique de la figure 1 peut exister dans un continuum d'états en rotation, un atome peut ainsi “ contenir beaucoup plus d'informations qu'un 0 ou un 1 ”, explique le physicien théoricien Michio Kaku.¹¹ Sous un microscope spécialisé, les qubits ressemblent à des “ signes plus argentés ”.¹² Ils permettent aux ordinateurs quantiques d'effectuer des tâches de modélisation complexes et de résoudre des problèmes à plusieurs variables plus efficacement que les ordinateurs numériques.¹³

En outre, les qubits peuvent également interagir avec d'autres qubits dans un phénomène appelé intrication. L'intrication est un état dans lequel “ deux objets ou plus dans un

système quantique peuvent être intrinsèquement liés les uns aux autres, de telle sorte que la mesure d'un objet dicte les résultats possibles de la mesure d'un autre objet, quelle que soit la distance qui sépare les objets ”.¹⁴ Cette propriété permet aux systèmes quantiques d'effectuer plusieurs calculs à la fois.¹⁵ Cependant, les états quantiques sont très sensibles aux perturbations environnementales, telles que le son, le mouvement et les changements de température.

Les scientifiques étudient comment tirer parti de la superposition pour améliorer la puissance de calcul et la vitesse des ordinateurs quantiques. Parmi les nombreux défis que posent le développement et le déploiement de la technologie quantique, il convient de s'assurer que les quanta très sensibles ne sont pas influencés par la décohérence ou l'incertitude de la mesure de la fréquence.¹⁶ La raison en est que le simple fait de mesurer des systèmes quantiques pourrait altérer l'intégrité du résultat, en le réduisant à une forme binaire de 0 ou de 1.¹⁷ Ces perturbations environnementales conduisent à l'atrophie (c'est-à-dire à la décohérence), ce qui rend difficile pour les systèmes quantiques de maintenir la superposition et l'intrication pendant des périodes de temps plus longues pour l'expérimentation.

10 IBM, “ IBM Quantum Learning ” (L'apprentissage quantique d'IBM), s.d., <https://learning.quantum.ibm.com/>.

11 Kaku, *Physics of the Future* (La physique du futur).

12 Katwala, *Quantum Computing* (Informatique quantique), p. 45.

13 Lily Chen et al, *Report on Post-Quantum Cryptography* (Rapport sur la cryptographie post-quantique) (Washington : National Institute of Standards and Technology, avril 2016), <https://doi.org/10.6028/nist.ir.8105>.

14 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Quantum Computing: Progress and Prospects* (Informatique quantique : progrès et perspectives) (Washington : National Academies Press, 2019), <https://doi.org/10.17226/25196>, p. 26.

15 Alexandre Menard et al, “ A Game Plan for Quantum Computing ” (Un plan d'action pour l'informatique quantique), McKinsey & Company, 6 février 2020, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/a-game-plan-for-quantum-computing>.

16 Adrian Cho, “ A Quantum Sense for Dark Matter ” (Un sens quantique pour la matière noire), *Science*, 28 avril 2022, <https://www.science.org/content/article/crack-mystery-dark-matter-physicists-turn-super-sensitive-quantum-sensors>.

17 Ibid.

3. Explorer les applications militaires de la technologie quantique

Les propriétés fondamentales de la mécanique quantique décrites à la section 2 permettent d'explorer de multiples applications militaires ou de sécurité. En fait, les technologies quantiques ont le potentiel d'offrir des capacités de calcul, de communication et de connaissance de la situation inégalées par rapport aux technologies actuellement disponibles.¹⁸

Cette section donne un aperçu préliminaire des applications les plus couramment mentionnées dans la littérature universitaire et générale: détection quantique, imagerie quantique, systèmes radar quantiques, communications quantiques, distribution quantique de clé (QKD) et informatique quantique.

3.1. Détection quantique

Fondamentalement, les capteurs quantiques sont des outils de mesure. Si les principes physiques et les matériaux utilisés pour construire les capteurs quantiques sont les mêmes que ceux des capteurs conventionnels, les premiers sont ultrasensibles. Ils sont par exemple capables de détecter les moindres perturbations environnementales dans les champs électriques et magnétiques, et la présence de radiations. La principale différence entre les capteurs quantiques et les capteurs conventionnels réside toutefois dans le fait que les capteurs quantiques possèdent des capacités de précision remarquables qui leur permettent de détecter la plus petite unité

d'énergie ou de mesure, appelée quanta.¹⁹

Compte tenu de la précision des capteurs quantiques, qui permettent de détecter des changements infinitésimaux dans le temps et la gravité, les scientifiques explorent les possibilités d'application de cette technologie afin de renforcer les capacités de détection militaires actuelles, tant sur le plan défensif que sur le plan offensif. Par exemple, les capteurs quantiques pourraient offrir aux militaires la possibilité de maintenir la précision de la synchronisation et du positionnement dans des environnements où le système mondial de navigation par satellite (GNSS) est confronté à des interférences électroniques sous la forme de brouillage et d'usurpation de signaux.²⁰

En 2017, l'Académie chinoise des sciences a annoncé qu'elle avait mis au point un capteur, appelé dispositif supraconducteur à interférence quantique (SQUID), qui s'appuie sur des capteurs quantiques pour détecter des changements environnementaux ultrasensibles (par exemple, des champs magnétiques de faible intensité dans l'activité cérébrale). Le SQUID est si sensible qu'il peut enregistrer des activités à distance dans l'espace (par exemple, des éruptions solaires). En outre, le SQUID peut détecter les avions dans le cadre de la défense nationale et peut également soutenir les avions de lutte anti-sous-marin grâce à une meilleure détection des anomalies magnétiques. Les chercheurs chinois développent

18 Organisation du traité de l'Atlantique Nord (OTAN), " Summary of NATO's Quantum Technologies Strategy " (Synthèse de la stratégie de l'OTAN relative aux technologies quantiques), 17 janvier 2024, https://www.nato.int/cps/fr/natohq/official_texts_221777.htm.

19 David Chandler, " Quantum Sensor Can Detect Electromagnetic Signals of Any Frequency " (Un capteur quantique peut détecter des signaux électromagnétiques de toute fréquence), MIT News, Massachusetts Institute of Technology, 21 juin 2022, <https://news.mit.edu/2022/quantum-sensor-frequency-0621>.

20 Département de la défense des États-Unis, Defense Science Board (DSB), " DSB Reports " (Rapports du DSB), s.d., <https://dsb.cto.mil/reports.htm>.

également différents types de détecteurs magnétiques, dont certains pourraient être montés sur des satellites²¹ qui pourraient être utilisés à bord d'avions pour localiser avec précision les minéraux présents sous la surface de la Terre.²²

En outre, les capteurs quantiques apparaissent comme une technologie prometteuse pour améliorer les capacités de détection des sous-marins sous l'eau. Qu'il s'agisse de systèmes basés sur des satellites, de systèmes sous-marins fixes ou de systèmes montés sur des avions ou des navires, les futurs capteurs quantiques pourraient avoir un impact considérable sur la furtivité des opérations sous-marines, y compris pour les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE), qui constituent un atout crucial pour la dissuasion nucléaire. En particulier :

- ▶ Les magnétomètres quantiques pourraient être utilisés pour détecter d'infimes changements dans les champs magnétiques causés par la coque métallique ou le système de propulsion d'un sous-marin. Cela permettrait d'étendre considérablement la portée de la détection des sous-marins immergés.
- ▶ Les gravimètres quantiques pourraient être utilisés pour mesurer les plus petites variations de la force gravitationnelle, révélant ainsi la présence de la masse d'un sous-marin. Les gravimètres quantiques

pourraient détecter les sous-marins sans que ceux-ci ne puissent se protéger.²³

3.2. Imagerie quantique

L'imagerie quantique est une méthode d'imagerie spécialisée qui permet aux scientifiques de prendre des images optiques de qualité supérieure d'un objet.²⁴ Cette méthode utilise des particules de lumière intriquées pour créer des images détaillées de longueurs d'onde autrement très sensibles et impossibles à observer.²⁵ En manipulant les paires de photons, les scientifiques peuvent obtenir une résolution d'image de meilleure qualité que celle des méthodes traditionnelles.²⁶

Pour les opérations militaires, des capacités avancées d'imagerie infrarouge pourraient être développées pour renforcer les capacités de renseignement, de surveillance et de reconnaissance (ISR). Par exemple, les systèmes d'imagerie quantique pourraient être utilisés pour détecter la présence de gaz nocifs sur les champs de bataille et contribuer à l'analyse médico-légale des armes chimiques et de la composition des plastiques.²⁷ En outre, la technologie quantique pourrait permettre l'imagerie fantôme, une technique qui utilise les corrélations quantiques entre les photons pour créer des images d'objets sans les "voir" directement, ce qui pourrait permettre d'imager des cibles à travers des obstacles tels que les

21 Henk H.F. Smid, " An Analysis of Chinese Remote Sensing Satellites " (Analyse des satellites chinois de télédétection), *Space Review*, 26 septembre 2022, <https://www.thespacereview.com/article/4453/1>.

22 Stephen Chen, " Has China Developed the World's Most Powerful Submarine Detector? " (La Chine a-t-elle mis au point le détecteur de sous-marins le plus puissant au monde ?), *South China Morning Post*, 24 juin 2017, <https://www.scmp.com/news/china/society/article/2099640/has-china-developed-worlds-most-powerful-submarine-detector>.

23 Rudy Ruitenbergh, " Armed with Quantum Sensors, France Eyes Leaps in Electronic Warfare " (Armée de capteurs quantiques, la France veut franchir une nouvelle étape dans la guerre électronique), *Defense News*, 25 juin 2024, <https://www.defense-news.com/global/europe/2024/06/25/armed-with-quantum-sensors-france-eyes-leaps-in-electronic-warfare/>.

24 " Quantum Imaging " (Imagerie quantique), *Nature*, s.d., <https://www.nature.com/collections/gehjgebjcc>.

25 Fraunhofer-Gesellschaft, " Quantum Imaging: Pushing the Boundaries of Optics " (Imagerie quantique : repousser les limites de l'optique), *Phys.org*, 3 janvier 2022, <https://phys.org/news/2022-01-quantum-imaging-boundaries-optics.html>.

26 Ibid.

27 Ibid.

nuages, le brouillard ou la fumée. Cela serait utile pour la reconnaissance et le ciblage militaires.²⁸ Un concept similaire permettrait une amélioration significative dans des conditions de très faible luminosité, un autre scénario de première importance pour la réussite des opérations ISR.²⁹

3.3. Systèmes radar quantiques

Les systèmes radar conventionnels sont soumis à des dispositifs de brouillage radar et à des interférences sonores dues à des phénomènes naturels. En revanche, un système radar quantique résilient pourrait détecter les avions furtifs avec une plus grande précision en utilisant un système de relais de photons plus sophistiqué.³⁰

Certains chercheurs estiment que l'impact potentiel du radar quantique sur les opérations militaires ne devrait pas être remis en question car, une fois que la technologie aura atteint la phase de mise en œuvre, elle marquera la " fin de l'ère de la furtivité ".³¹ À l'inverse, selon d'autres experts, le radar quantique pose " encore de grands défis techniques ", qu'il s'agisse de construire des détecteurs sensibles ou de trouver un moyen de stabiliser les flux de photons enchevêtrés.³² Dans

l'ensemble, les théoriciens débattent vigoureusement de la valeur ajoutée de la technologie des radars quantiques dans les opérations militaires.

En ce qui concerne les opérations spatiales, certains chercheurs émettent l'hypothèse que le radar quantique pourrait être utilisé dans l'espace extra-atmosphérique pour détecter les engins spatiaux furtifs, pour suivre le mouvement de débris orbitaux minuscules mais dangereux, ainsi que pour surveiller les missiles balistiques.³³ D'autres restent sceptiques quant à l'étendue de l'amélioration de la capacité de détection des objets.³⁴

Collectivement, les technologies de détection, d'imagerie et de radar quantiques offrent la possibilité d'améliorer les capacités de connaissance de la situation des armées, tout en menaçant de réduire les capacités de furtivité militaire dans certains contextes.³⁵

3.4. Communications quantiques

De toutes les catégories de technologies quantiques présentées dans cette introduction, les communications quantiques sont celles qui sont les moins développées pour des applications militaires à l'heure actuelle. Les

28 Rajesh Uppal, " Quantum Imaging Technique Can Have Military Applications, US and China Racing to Deploy Quantum Ghost Imaging in Satellites for Stealth Plane Tracking " (La technique d'imagerie quantique peut avoir des applications militaires ; les États-Unis et la Chine rivalisent pour déployer l'imagerie fantôme quantique dans les satellites afin de suivre les avions furtifs), IDST, 26 juin 2022, <https://idstch.com/technology/photonics/revolutionary-new-quantum-imaging-technique-can-have-military-applications/>.

29 National Security Technology Accelerator (NSTXL), " Quantum Technology in the Military " (La technologie quantique dans le domaine militaire), 1er février 2023, <https://nstxl.org/quantum-technology-in-the-military/>.

30 Martin Giles, " The US and China Are in a Quantum Arms Race That Will Transform Warfare " (Les États-Unis et la Chine se livrent à une course aux armements quantiques qui va transformer la guerre), *MIT Technology Review*, 3 janvier 2019, <https://www.technologyreview.com/2019/01/03/137969/us-china-quantum-arms-race/>.

31 Voir, par exemple, le professeur Seth Lloyd du Massachusetts Institute of Technology, cité dans ibid.

32 Voir, par exemple, le professeur Jonathan Baugh de l'Université de Waterloo, cité dans ibid.

33 Chris Jay Hoofnagle et Simson Garfinkel, " Quantum Sensors-Unlike Quantum Computers-Are Already Here " (Les capteurs quantiques, contrairement aux ordinateurs quantiques, sont déjà là), *Defense One*, 27 juin 2022, <https://www.defenseone.com/ideas/2022/06/quantum-sensorsunlike-quantum-computersare-already-here/368634/>.

34 Département de la défense des États-Unis, Defense Science Board (DSB), " DSB Reports " (Rapports du DSB)

35 Hoofnagle et Garfinkel, " Quantum Sensors-Unlike Quantum Computers-Are Already Here " (Les capteurs quantiques, contrairement aux ordinateurs quantiques, sont déjà là).

communications quantiques utilisent l'intrication, le processus par lequel les qubits peuvent communiquer entre eux simultanément, pour transférer des données à travers des canaux de transmission et des emplacements.³⁶

Alors que la communication quantique n'en est qu'à ses débuts, le sous-domaine de la QKD est un peu plus développé pour les applications militaires.

3.5. Distribution quantique de clé

Dans le contexte militaire, la sécurité des communications est d'une importance capitale pour garantir la capacité d'exercer un commandement et un contrôle efficaces et d'assurer le succès de la mission. À cet égard, le chiffrement des données et des informations a toujours joué un rôle important dans le domaine militaire. La distribution quantique de clé utilise les principes de la mécanique quantique pour chiffrer les données. Dans le monde physique, une clé est utilisée pour verrouiller et déverrouiller des systèmes. En informatique, une clé peut représenter une chaîne de 1 et de 0 qui peut être utilisée pour chiffrer et déchiffrer des informations.

En 2017, la Chine a mis en place avec succès le tout premier réseau intercontinental de communications QKD sol-satellite et satellite-sol entre le satellite quantique Micius et une station

terrestre de communication quantique dans la province de Hebei.³⁷ Selon le commandant du système Micius, ce réseau de communication quantique est " la méthode de communication la plus sûre, car toute écoute clandestine perturberait l'intrication et serait détectée ".³⁸ Ce test a été important car il a démontré que des communications sécurisées basées sur la technologie quantique étaient possibles dans l'espace. En outre, un article paru dans la *Revue de l'OTAN* affirme que la QKD pourrait être utilisée pour permettre une communication de données " ultra-sécurisée, voire totalement inviolable " dans les communications de défense militaire.³⁹

3.6. Informatique quantique

L'informatique quantique est une forme avancée d'informatique qui utilise les principes de la physique quantique pour traiter l'information. Cela peut permettre de résoudre des problèmes qui prendraient des milliers d'années aux ordinateurs classiques. À ce titre, l'informatique quantique est une technologie habilitante très prometteuse dans tous les secteurs de la société, y compris le domaine militaire. Les principales applications militaires sont les suivantes :⁴⁰

- ▶ Cryptographie et cybersécurité, y compris le déchiffrement et le chiffrement résistant aux quanta (voir section 4)

36 US National Science Foundation (NSF), " NSF and White House Office of Science and Technology Policy Initiate Collaborative Effort to Develop Critical Resources for Quantum Education " (La NSF et le Bureau de la politique scientifique et technologique de la Maison-Blanche lancent une initiative de collaboration visant à développer des ressources essentielles pour l'enseignement quantique), 18 mai 2020, https://www.nsf.gov/news/special_reports/announcements/051820.jsp.

37 " China Achieves a Quantum Jump " (La Chine fait un bond dans la technologie quantique), *China Daily*, 18 juin 2017, <http://en.people.cn/n3/2017/0618/c90000-9229972.html>.

38 Ibid.

39 Michiel van Amerongen, " Quantum Technologies in Defence & Security " (Technologies quantiques dans le domaine de la défense et de la sécurité), *Revue de l'OTAN*, 3 juin 2021, <https://www.nato.int/docu/review/articles/2021/06/03/quantum-technologies-in-defence-security/index.html>.

40 National Security Technology Accelerator (NSTXL), " Quantum Technology in the Military " (La technologie quantique dans le domaine militaire).

- ▶ Intelligence artificielle (IA) et apprentissage automatique, qui soutiennent à la fois des systèmes d'aide à la décision (SAD) de qualité supérieure et une nouvelle génération de systèmes autonomes
- ▶ Logistique et problèmes d'optimisation complexes, tels que la gestion de la chaîne d'approvisionnement et la planification de missions
- ▶ Simulation et modélisation, fournissant des simulations plus précises et plus complexes des conditions du champ de bataille pour l'entraînement militaire
- ▶ Sciences des matériaux, en accélérant la découverte et le développement de nouveaux matériaux pour des applications militaires, telles que des protections plus résistantes et plus légères.



4. Implications de la technologie quantique pour la sécurité internationale

Après avoir donné un bref aperçu de la technologie quantique et de ses utilisations militaires potentielles dans les sections précédentes, la présente section donne un premier aperçu de haut niveau des implications possibles pour la sécurité internationale dans quatre domaines clés : sécurité mondiale des TIC, ISR, SAD et SAA, et surveillance et vérification.

4.1. Sécurité mondiale des TIC

Comme indiqué dans l'introduction, un nombre croissant d'États Membres de l'ONU participant au GTCNL sur la sécurité du numérique ont mis en évidence les menaces potentielles posées par la technologie quantique. Comment ces menaces peuvent-elles se manifester dans la pratique ?

Par exemple, les ordinateurs quantiques pourraient déjouer de nombreuses méthodes de chiffrement actuelles, y compris des systèmes de cryptographie à clé publique largement utilisés (RSA et ECC, par exemple). Cela menacerait la sécurité des communications gouvernementales, militaires et de renseignement sensibles, tant au niveau national qu'entre les États. Cette capacité permettrait également aux acteurs malveillants de déchiffrer les communications chiffrées précédemment interceptées et stockées. Dans ce type d'acte malveillant lié aux TIC, appelé HNDL (Harvest Now Decrypt Later), les données chiffrées

sont exfiltrées et stockées dans l'immédiat, pour être déchiffrées plus tard à l'aide d'algorithmes PQC.⁴¹ Cette situation est alarmante car ces protocoles de sécurité sécurisent les communications et les opérations quotidiennes basées sur l'Internet, y compris celles des services critiques tels que la finance et les soins de santé.⁴² Bien qu'aucun ordinateur quantique ne soit actuellement équipé de suffisamment de qubits pour calculer rapidement les facteurs premiers nécessaires au déchiffrement de communications sensibles,⁴³ cela ne doit pas inciter les décideurs politiques à relâcher la vigilance sur ce risque croissant pour la cybersécurité.⁴⁴

Les États devraient commencer à planifier la mise à jour des systèmes sensibles aux algorithmes PQC afin de mieux les protéger contre l'environnement de risque PQC. Toutefois, le passage des infrastructures critiques aux normes PQC est un défi complexe qui nécessiterait du temps, des investissements et une coopération bien structurée entre les secteurs public et privé. Dans le cadre d'une planification initiale, les décideurs politiques devraient s'attacher à prendre en compte ces considérations et s'engager avec les parties prenantes à instaurer un climat de confiance autour de la modernisation des systèmes et des infrastructures vulnérables.

41 US National Institute of Standards and Technology, Information Technology Laboratory, Computer Security Division, " Post-Quantum Cryptography " (Cryptographie post-quantique), s.d., <https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography>.

42 Ibid.

43 QuTech Academy, " Shor's Algorithm " (L'algorithme de Shor), s.d., <https://www.qutube.nl/quantum-algorithms/shors-algorithm>.

44 Menard et al, " A Game Plan for Quantum Computing " (Un plan d'action pour l'informatique quantique).

4.2. Renseignement, surveillance et reconnaissance basés sur la technologie quantique

Les capteurs quantiques se développent rapidement. Certains technologues pensent qu'ils passeront du laboratoire à un contexte opérationnel plus rapidement que l'informatique quantique.⁴⁵

Les capteurs quantiques devraient d'abord être mis à l'échelle avant d'être déployés dans des environnements militaires.⁴⁶ Les capteurs quantiques pourraient augmenter les capacités ISR (comme expliqué au point 3.1), notamment pour redéfinir le concept d'opérations furtives dans tous les environnements. Au moins au niveau théorique, cela pourrait avoir des répercussions en cascade sur la sécurité et la stabilité internationales, étant donné la capacité potentielle des capteurs quantiques à révolutionner la planification et la conduite des opérations militaires ainsi que la dissuasion nucléaire (par exemple, grâce à leur impact sur la détection des sous-marins, comme expliqué à la section 3.1).

4.3. Systèmes d'aide à la décision et systèmes d'armes autonomes

Les systèmes quantiques ont également le potentiel d'accélérer la recherche sur l'IA avancée et les capacités d'apprentissage automatique qui peuvent donner naissance à une nouvelle génération de systèmes d'IA complexes pour soutenir à la fois des SAD

plus avancés et une nouvelle génération de systèmes autonomes, y compris les SAA. Par exemple, une puissance de calcul accrue et la capacité d'exécuter des modèles d'IA avec des algorithmes quantiques permettraient une prise de décision en temps réel plus efficace et plus rapide (par des humains ou des systèmes autonomes) et permettraient de s'attaquer à des problèmes d'optimisation complexes qui sont souvent insolubles pour les ordinateurs classiques.

Pour donner une idée de l'ampleur de cette innovation, en 2019 déjà, l'ordinateur quantique de Google a été capable d'accomplir en seulement 200 secondes une tâche qui aurait pris 10 000 ans à un ordinateur classique.⁴⁷ Cette capacité est essentielle pour les opérations militaires qui impliquent de nombreuses variables et résultats potentiels. Outre une capacité accrue de traitement des données en temps réel, l'intégration de l'informatique quantique et de l'IA permettra aux planificateurs militaires de simuler divers scénarios et résultats de manière beaucoup plus efficace, ce qui se traduira par une prise de décision mieux informée.

Dans des secteurs tels que les soins de santé, la gestion de l'eau et la sécurité alimentaire, la technologie quantique donne déjà des résultats prometteurs en termes d'efficacité, de productivité, de précision et de rapidité. Il est donc important que les discussions sur le développement, le déploiement et l'utilisation responsables de l'IA dans le domaine militaire t

45 Marco Lanzagorta et Jeffrey Uhlmann, " Opportunities and Challenges of Quantum Radar " (Possibilités et défis du radar quantique), *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 35, no. 11 (1er novembre 2020) ; 38–56, <https://doi.org/10.1109/maes.2020.3004053>.

46 Marcus Doherty, " Quantum Technology: The Defence Imperative " (Technologie quantique : l'impératif de défense), Centre de recherche de l'armée australienne, 5 mai 2020, <https://researchcentre.army.gov.au/library/land-power-forum/quantum-technology-defence-imperative>.

47 Cameron Wood et Alex Krijger, " The Convergence of Artificial Intelligence and Quantum Computing: Unravelling the Complex Geopolitical Nexus " (La convergence de l'intelligence artificielle et de l'informatique quantique : démêler l'écheveau géopolitique complexe), Forums sur la transformation, 18 juin 2023, <https://www.transformationforums.com/the-convergence-of-artificial-intelligence-and-quantum-computing-unravelling-the-complex-geopolitical-nexus/>.

ient également compte de l'impact potentiel de la technologie quantique.⁴⁸

4.4. Suivi et vérification

Un dernier domaine d'application, mais important, de la technologie quantique dans la sécurité internationale serait la surveillance et la vérification à l'appui de la non-prolifération et des garanties. Il s'agit d'éléments essentiels pour garantir l'utilisation pacifique de la technologie nucléaire et empêcher la prolifération des armes nucléaires. Les capteurs quantiques apparaissent comme des outils prometteurs pour renforcer ces efforts de différentes manières :

- ▶ Capacités de détection renforcées : les capteurs quantiques permettent d'améliorer considérablement la détection des matières et des activités nucléaires. Ils améliorent notamment la sensibilité et la portée de la détection des rayonnements.⁴⁹ Ils permettent donc une surveillance plus efficace des installations nucléaires et des frontières afin de prévenir le trafic de matières nucléaires.
- ▶ Amélioration de l'échantillonnage environnemental : les technologies de détection quantique pourraient améliorer l'analyse des échantillons environnementaux prélevés à des fins de contrôle de sécurité. Cela permet de détecter des traces de matières nucléaires avec une plus grande précision.⁵⁰

- ▶ Amélioration des techniques de vérification : les techniques avancées de détection quantique peuvent permettre une mesure non destructive plus précise des quantités et de la composition des matières nucléaires. Ces mesures sont essentielles pour vérifier les déclarations et détecter les détournements.⁵¹
- ▶ Amélioration des capacités de surveillance à distance : Les futurs capteurs quantiques déployés sur des satellites pourraient détecter des activités nucléaires depuis l'espace avec une sensibilité sans précédent, renforçant ainsi les capacités de surveillance mondiale.

48 Open Quantum Institute, *c (SDGs) (Rapport de renseignement sur la diplomatie quantique pour les objectifs de développement durable [ODD])* (Genève : Gesda, octobre 2024), https://open-quantum-institute.cern/wp-content/uploads/2024/10/GESDA_OQI_Intelligence-Report-2024_Final.pdf.

49 Samanvya Hooda, "Quantum Sensors and Submarine Invulnerability" (Capteurs quantiques et invulnérabilité des sous-marins), 16 octobre 2023, <https://www.9dashline.com/article/quantum-sensors-and-submarine-invulnerability>.

50 Henning Soller et Niko Mohr, "Quantum Sensing's Untapped Potential: Insights for Leaders" (Le potentiel inexploité de la détection quantique : perspectives pour les dirigeants), 17 septembre 2024, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-sensings-untapped-potential-insights-for-leaders>.

51 Ibid.

5. Exemples d'initiatives quantiques nationales et régionales

Certains États ont investi ou annoncé des investissements dans la technologie quantique. Nombre d'entre eux ont également tiré parti de partenariats public-privé structurés avec des acteurs du secteur privé, qu'il s'agisse de start-up ou de grandes entreprises technologiques.⁵²

L'Allemagne, par exemple, aspire à prendre la tête de la course mondiale à l'innovation quantique selon son Programme-cadre conceptuel sur les technologies quantiques 2023.⁵³ Ce document présente le cadre stratégique de l'Allemagne et son plan d'investissement de 3 milliards d'euros pour développer un ordinateur quantique universel d'ici 2026. Le Canada entend également se placer sur le devant de la scène en s'appuyant sur sa stratégie quantique nationale de 2023, qui a alloué 360 millions de dollars canadiens à l'avancement de la recherche, de l'innovation et de la commercialisation quantiques.⁵⁴

En 2023, le gouvernement australien a publié une stratégie quantique nationale et s'est engagé à consacrer 1 milliard de dollars australiens à l'accélération de l'innovation quantique.⁵⁵ Selon certaines estimations, la Chine investit 15 milliards de dollars dans la technologie quantique et pourrait dépasser les investissements du reste du monde réunis.⁵⁶ En revanche, l'Union européenne prévoit d'investir 7,2 milliards de dollars (6,8 milliards d'euros) dans des projets d'informatique quantique d'ici à 2025⁵⁷ et les États-Unis se sont engagés à dépenser 1,9 milliard de dollars d'ici à 2025.⁵⁸ En outre, la Fédération de Russie s'est engagée à investir 800 millions de dollars dans le développement de la technologie quantique jusqu'en 2025 et a adopté une feuille de route quinquennale pour la technologie quantique russe.⁵⁹

En Europe, l'entreprise commune pour le calcul à haute performance (EuroHPC JU) a annoncé son intention d'investir 100 millions

52 Voir, par exemple, IBM, " IBM and Government of Quebec Launch Groundbreaking Partnership to Accelerate Discovery with First IBM System in Canada " (IBM et le gouvernement du Québec lancent un partenariat novateur pour accélérer la découverte avec le premier système IBM au Canada), 3 février 2022, <https://newsroom.ibm.com/2022-02-03-IBM-and-Government-of-Quebec-Launch-Groundbreaking-Partnership-to-Accelerate-Discovery-with-First-IBM-Quantum-System-in-Canada>.

53 Ministère fédéral de l'éducation et de la recherche, " Quantum Technologies Conceptual Framework -Programme of the Federal Government " (Cadre conceptuel des technologies quantiques : programme du gouvernement fédéral), avril 2023, https://www.quantentechnologien.de/fileadmin/public/Redaktion/Dokumente/PDF/Publikationen/Quantum-Technologies-Conceptual-Framework-2023_english_bf_C1.pdf.

54 Gouvernement du Canada, " Overview of Canada's National Quantum Strategy " (Présentation de la stratégie nationale relative à la technologie quantique du Canada), 31 juillet 2023, <https://ised-isde.canada.ca/site/national-quantum-strategy/en>.

55 Gouvernement australien, " National Quantum Strategy " (Stratégie nationale quantique), 3 mai 2023, <https://www.industry.gov.au/publications/national-quantum-strategy>.

56 Mateusz Masiowski et al, " Quantum Computing Funding Remains Strong, But Talent Gap Raises Concern " (Le financement de l'informatique quantique reste important, mais la pénurie de talents suscite des inquiétudes), McKinsey, 15 juin 2022, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-funding-remains-strong-but-talent-gap-raises-concern>.

57 Ibid.

58 Ibid.

59 " Russia's Quantum Patent Applications Decline Amid Sanctions " (Les demandes de brevets quantiques en Russie diminuent sous l'effet des sanctions), *Moscow Times*, 14 juin 2023, <https://www.themoscowtimes.com/2023/06/14/russias-quantum-patent-applications-decline-amid-sanctions-a81499>.

d'euros dans la construction de six sites pour les ordinateurs quantiques européens, en Allemagne, en Espagne, en France, en Italie, en Pologne et en République tchèque.⁶⁰ Autre exemple, le projet ADEQUADE (Technologies quantiques avancées, innovantes et émergentes pour la défense) de la Commission européenne, qui compte plus de 30 partenaires dans 8 États européens, cherche à tirer parti de la technologie de détection quantique pour accroître les capacités de combat.⁶¹ Celles-ci vont de l'amélioration des capacités de positionnement, de navigation et de synchronisation à l'avancement de la détection des radiofréquences et de la détection optronique.⁶² Les gouvernements français et danois collaborent pour tester un capteur quantique permettant de déterminer le champ gravitationnel de la Terre et d'évaluer comment naviguer à l'aide de systèmes quantiques si les services de navigation par satellite de positionnement global étaient interrompus en cas de crise.⁶³ Enfin, avec l'adoption en 2023 de sa Stratégie nationale quantique, le Royaume-Uni s'est engagé à plus que doubler les investissements dans le domaine quantique en

investissant 2,5 milliards de livres sterling au cours des dix prochaines années.⁶⁴ Le Royaume-Uni développe également des prototypes de capteurs quantiques pour des satellites compacts, appelés CubeSats, dans le cadre d'une initiative visant à explorer les applications de la technologie quantique de la Terre à l'espace.⁶⁵

En ce qui concerne l'Indo-Pacifique, le secrétariat du Conseil national de sécurité de l'Inde a créé un laboratoire quantique au Collège militaire d'ingénierie des télécommunications afin de se tenir au courant des menaces que représente l'information quantique pour les systèmes militaires, telles que la cryptographie post-quantique (PQC).⁶⁶ Le gouvernement japonais a également annoncé qu'il produirait un ordinateur quantique national et qu'il créerait quatre centres de recherche quantique.

Ces dernières années ont montré comment les promesses de la technologie quantique façonnent la formation de partenariats bilatéraux et multilatéraux dans ce domaine, tels que les accords signés par les États-Unis

60 Laura Kabelka, " Commission Announces Six Sites for European Quantum Computers " (La Commission annonce six sites pour des ordinateurs quantiques européens), Euractiv, 5 octobre 2022, <https://www.euractiv.com/section/digital/news/commission-announces-six-sites-for-european-quantum-computers/>.

61 Indra, " ADEQUADE: Advanced, Disruptive and Emerging QUANTUM Technologies for DEfence " (ADEQUADE : technologies quantiques avancées, innovantes et émergentes pour la défense).

62 Ibid.

63 Université technique du Danemark, " Navigation Quantum Sensor Being Tested in Greenland " (Capteur quantique de navigation testé au Groenland), The Mirage, 12 juin 2023, <https://miragenews.com/navigation-quantum-sensor-being-tested-in-1024820>.

64 Département britannique de l'innovation, de la science et de la technologie, " National Quantum Strategy " (Stratégie nationale quantique), 15 mars 2023, <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy#full-publication-update-history>.

65 Alanna Madden, " Researchers to Test Limits of Quantum Technologies with Nanoparticles in Space " (Des chercheurs testeront les limites des technologies quantiques avec des nanoparticules dans l'espace), Courthouse News Service, 21 juin 2023, <https://www.courthousenews.com/researchers-to-test-limits-of-quantum-technologies-with-nanoparticles-in-space/>.

66 Ministère indien de la défense, " Indian Army Establishes Quantum Laboratory at MHow (MP) " (L'armée indienne crée un laboratoire quantique à MHow [MP]), 29 décembre 2021, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1786012>.

avec la Suisse, le Japon et l’Australie.⁶⁷ Les partenariats sont également un élément clé de la stratégie de l’OTAN relative aux technologies quantiques, qui souligne qu’“ une Alliance prête pour les technologies quantiques exige avant tout une coopération plus étroite entre les Alliés et un écosystème quantique résilient qui va au-delà de la disponibilité d’un financement approprié ”.⁶⁸

Certaines projections prévoient que, d’ici à la fin de 2027, les États et l’industrie privée auront probablement investi plus de 16 milliards de dollars dans l’informatique quantique.⁶⁹

67 Thomas Wong, “ The United States and Switzerland Sign Joint Statement to Strengthen Collaboration on Quantum ” (Les États-Unis et la Suisse signent une déclaration commune pour renforcer leur collaboration dans le domaine quantique), National Quantum Initiative, 21 octobre 2022, <https://www.quantum.gov/the-united-states-and-switzerland-sign-joint-statement-to-strengthen-collaboration-on-quantum/> ; Département d’État des États-Unis, “ Tokyo Statement on Quantum Cooperation ” (Déclaration de Tokyo sur la coopération quantique), 19 décembre 2019, <https://www.state.gov/tokyo-statement-on-quantum-cooperation/> ; Maison-Blanche, “ The United States and Australia Partner to Build Quantum Future ” (Les États-Unis et l’Australie s’associent pour construire un avenir quantique), 18 novembre 2021, <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2021/11/18/the-united-states-and-australia-partner-to-build-quantum-future/>.

68 Organisation du traité de l’Atlantique Nord (OTAN), “ Synthèse de la stratégie de l’OTAN relative aux technologies quantiques ”, 17 janvier 2024, https://www.nato.int/cps/fr/natohq/official_texts_221777.htm.

69 IDC, “ IDC Forecasts Worldwide Quantum Computing Market to Grow to \$7.6 Billion in 2027 ” (IDC prévoit que le marché mondial de l’informatique quantique atteindra 7,6 milliards de dollars en 2027), 17 août 2023, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS51160823>.

6. Conclusion

À mesure que la technologie quantique progresse, elle introduit à la fois un potentiel de transformation et des risques complexes pour la sécurité internationale. Une approche holistique de l'innovation quantique, prenant en compte l'ensemble du cycle de vie, du développement au déploiement, est essentielle pour comprendre ses implications pour la stabilité mondiale et la maîtrise des armements. En particulier, la possibilité pour les ordinateurs quantiques de compromettre les protocoles cryptographiques actuels souligne l'importance de la transition vers les normes PQC. Cette transition sera indispensable pour sécuriser les infrastructures critiques, les communications et les systèmes de défense contre les nouvelles menaces en matière de cybersécurité.

Pour relever ces défis, une collaboration solide entre les gouvernements, l'industrie et le monde universitaire est nécessaire. De tels partenariats intersectoriels sont essentiels pour former une main-d'œuvre compétente en

matière de technologie quantique et réduire les fractures numériques qui pourraient apparaître au fur et à mesure que la technologie quantique progresse. En outre, l'élaboration de cadres de gouvernance multilatéraux, de mesures de consolidation de la confiance et d'initiatives de renforcement des capacités soutiendra l'innovation quantique responsable.

La loi d'Amara stipule que “ nous avons tendance à surestimer l'effet d'une technologie à court terme et à le sous-estimer à long terme ”. Dans cette optique, l'avenir de la technologie quantique exige une action prudente et coordonnée.

En encourageant la coopération et la préparation au niveau mondial, la communauté internationale peut intégrer de manière responsable les avancées quantiques. Cela permettra de garantir qu'elles servent d'outils pour la stabilité et la sécurité, plutôt que de sources de conflits et de troubles.



-  @unidir
-  /unidir
-  /un_disarmresearch
-  /unidirgeneva
-  /unidir



Palais des Nations
1211 Geneva, Switzerland

© 2026, UNIDIR

UNIDIR.ORG