

# Revue Lamy

## Droit de l'immatériel

### Les perspectives d'encadrement des technologies quantiques : le droit du développement des technologies quantiques

*Raphaël MAUREL*

**Le droit d'auteur économique au secours d'un modèle Hermès**  
*Mathilde MARCHAL*

**La contrefaçon de la marque de couleur positionnelle Louboutin  
à l'épreuve du juge pénal**  
*Delphine MARTIN*

**Un an de droit des jeux vidéo (novembre 2024 – novembre 2025)**  
*Philippe MOURON et Gaylor RABU*

**Le droit de se taire devant la CNIL**  
*Émilie DEBAETS*

**Newsletter gratuite et prospection commerciale : les enseignements  
de l'arrêt *Inteligo Media***  
*Aurélie BANCK*

**L'exploitation des dossiers patients informatisés à des fins de recherches  
rétrospectives**  
*Agathe VOILLEMET*

## Revue Lamy Droit de l'immatériel

### CONSEIL SCIENTIFIQUE

**Président d'honneur** Michel Vivant : Professeur émérite des universités

**Directeur scientifique** Thibault Douville : Professeur à l'université de Caen Normandie

Tristan Azzi : Professeur à l'École de droit de la Sorbonne – université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Jean-Michel Bruguère : Professeur à l'université Grenoble-Alpes

Anne-Sophie Choné-Grimaldi : Professeure à l'université Paris-Nanterre

Lucie Cluzel-Métayer : Professeure à l'université Paris-Nanterre

Pierre Favilli : Conseil en propriété industrielle

Marion Ho Dac : Professeure à l'université d'Artois

Anne-Emmanuelle Kahn : Professeure à l'université Lumière Lyon 2

Philippe Mouron : Professeur à l'université d'Aix-Marseille

Emmanuel Netter : Professeur à l'université de Strasbourg

Yann Padova : Avocat aux barreaux de Paris et Bruxelles

Ludovic Pailler : Professeur à l'université Jean Moulin Lyon 3

Thierry Revet : Professeur à l'École de droit de la Sorbonne – université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Jean-Luc Sauron : Conseiller d'État, délégué au droit européen

Marina Teller : Professeure à l'université Côte d'Azur

Bertrand Warusfel : Professeur à l'université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, avocat au barreau de Paris

**Éditeur** : Lamy Liaisons, SAS ayant son siège social 7, rue Emmy Noether - 93400 Saint-Ouen

**Représentante légale** : Rokhaya Pondi

**Associé unique** : Karnov HoldCo France

**Directrice de la publication** : Rokhaya Pondi

**Directrice des rédactions** : Sylvie Duras

**Responsable des rédactions** : Chloé Mathonnière

**Directeur scientifique** : Thibault Douville

**Rédacteur en chef** : Arthur du Mesnil

Dépôt légal : à parution • Prix au numéro : 97,82 € TTC

N° ISSN (version en ligne) : 2257-297X

N° ISSN (version imprimée) : 1772-6646

Périodicité : mensuel • N° CPPAP : 0227 T 86065

• Crédit photos : Getty Images • Imprimeur : Duplprint,

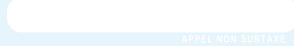
2, rue Descartes - 95330 Domont • Origine du

papier : Portugal • Taux de fibres recyclées : 0 %

• Certification : imprimé sur papier FSC

• Eutrophisation : Ptot 0.08 kg/tonne

Pour contacter le service client :



Courriel : [contact@lamyliaisons.fr](mailto:contact@lamyliaisons.fr)

Internet : [www.liaisons-sociales.fr](http://www.liaisons-sociales.fr) - [www.lamylinenew.fr](http://www.lamylinenew.fr) - [www.lamy-liaisons.fr](http://www.lamy-liaisons.fr)



Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, du contenu issu de la présente publication, effectuée sans autorisation de l'éditeur, est illicite et constitue une contrefaçon.

Cette revue peut être référencée de la manière suivante : RLDI 2026, n° 232-1 (année, n° de la revue, n° du commentaire)

**LAMY** | KARNOV  
GROUP  
**LIAISONS**

## PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

### ACTUALITÉS DU MOIS PASSÉ

- Propriété littéraire et artistique ..... 5
- Propriété industrielle ..... 6
- Concurrence déloyale et parasitisme ..... 7

### COMMENTAIRE

- Le droit d'auteur économique au secours d'un modèle Hermès ..... 8  
*Par Mathilde MARCHAL*
- La contrefaçon de la marque de couleur positionnelle Louboutin à l'épreuve du juge pénal ..... 14  
*Par Delphine MARTIN*

### CHRONIQUE

- Un an de droit des jeux vidéo (décembre 2024 – novembre 2025) ..... 18  
*Par Philippe MOURON et Gaylor RABU*

## NUMÉRIQUE ET MÉDIAS

### ACTUALITÉS DU MOIS PASSÉ

- Droit du marché numérique ..... 28
- Données personnelles ..... 30
- Intelligence artificielle ..... 32
- Cybersécurité ..... 32

### COMMENTAIRE

- Le droit de se taire devant la CNIL ..... 35  
*Par Émilie DEBAETS*
- Newsletter gratuite & prospection commerciale : les enseignements de l'arrêt *Inteligo Media* ..... 39  
*Par Aurélie BANCK*
- L'exploitation des dossiers patients informatisés à des fins de recherches rétrospectives ..... 42  
*Par Agathe VOILLEMET*

### ÉTUDE

- Les perspectives d'encadrement des technologies quantiques : le droit du développement des technologies quantiques ..... 46  
*Par Raphaël MAUREL*



**Raphaël MAUREL**

Maître de conférences HDR en droit public à l'Université Bourgogne Europe – CREDIMI  
Chaire Encadrement éthique et juridique des technologies quantiques à l'Institut Universitaire de France

RLDI 232-29

## Les perspectives d'encadrement des technologies quantiques: le droit du développement des technologies quantiques

Les « technologies quantiques » ne sont pas inconnues de notre société. Grâce notamment aux intuitions de Max Planck, aux recherches d'Albert Einstein et aux démonstrations de Louis de Broglie sur la dualité onde-particule, une première révolution quantique a mené, depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle et la compréhension que la physique newtonienne ne parvenait pas à expliquer l'ensemble de la réalité, au développement dès les années 1940 d'outils devenus indispensables, comme le transistor ou le laser<sup>(1)</sup>. C'est au même moment que débute la deuxième révolution quantique, fondée sur des travaux d'abord philosophiques et théoriques (Albert Einstein, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, respectivement prix Nobel de physique 1922, 1921, 1932 et 1933), puis empiriques – on retiendra notamment les travaux d'Alain Aspect dans les années 1980 sur l'intrication. Richard Feynman (prix Nobel 1965) ou encore David Deutsch imaginent dans les années 1980 des applications concrètes des principes de superposition et d'intrication quantiques en matière informatique. Des mathématiciens (comme Peter Shor en 1994<sup>(2)</sup>) et informaticiens (comme Lov Grover en 1996<sup>(3)</sup>) inventent sur ces bases des algorithmes de calcul fondés sur les principes de la mécanique quantique, et imaginent dès les années 1990 des codes permettant de corriger les erreurs les plus communes générées par la décohérence – phénomène de sortie de l'état quantique qui pose, aujourd'hui, de nombreux obstacles au passage à l'échelle de technologies pourtant connues. Ces recherches ont sonné le départ de la course mondiale aux technologies quantiques

débutée à la fin des années 1990<sup>(4)</sup>, avec un point d'orgue atteint à partir des années 2010 et les annonces, plus ou moins fantasmées, d'une commercialisation prochaine d'ordinateurs quantiques fonctionnels, capables de réaliser des calculs impossibles à mener par les meilleurs supercalculateurs actuels. Depuis le début des années 2020, les États n'ont cessé de publier et déployer des stratégies quantiques nationales afin soit d'être les premiers à être « dotés » de certaines technologies, soit de signifier leur souhait de ne pas être les laissés-pour-compte de cette nouvelle révolution technologique<sup>(5)</sup>.

Si les technologies quantiques sont, donc, une réalité scientifique tout à fait concrète, la présente étude reste doublement prospective.

D'une part, les technologies quantiques demeurent, fin 2025, un objet peu connu du monde socio-économique, bien que les attributions récentes du Prix Nobel de physique à des scientifiques français (Serge Haroche en 2014, Alain Aspect en 2022, Michel Devoret en 2025) fassent émerger peu à peu le sujet auprès du grand public. Il faut dire que pour l'instant, les enjeux sont essentiellement militaires, raison pour laquelle les premières traces d'un encadrement par le droit, en France, sont à trouver du côté de la loi de programmation militaire<sup>(6)</sup>. Pour autant, la place de ces technologies dans les priorités stratégiques de l'État pour la période 2024-2030, qu'il s'agisse

(1) V. la vidéo pédagogique « L'histoire de la physique quantique » proposée par le CEA (<https://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/technologies/histoire-quantique.aspx>).

(2) P. W. Shor, « Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring », Proceedings 35<sup>th</sup> Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Santa Fe, 1994, pp. 124-134.

(3) LK Grover, « A Fast Quantum Mechanical Algorithm for Database Search », 28<sup>th</sup> Annual ACM Symposium on the Theory of Computing, 1996, pp. 212-219.

(4) V. les ouvrages grand public d'Alain Aspect qui résument bien ces grandes avancées historiques, notamment Si Einstein avait su, Odile Jacob, 2025; Einstein et les révolutions quantiques, CNRS Éditions, 2019.

(5) Le Centre d'étude des évolutions des technologies quantiques (CevoteQ) propose une cartographie interactive et évolutive des stratégies d'une trentaine d'États du monde (<https://www.cevoteq.com/ressources-et-donnees/strategies-quantiques-nationales.html>).

(6) L. n° 2023-703, 1<sup>er</sup> août 2023, relative à la programmation militaire pour les années 2024 à 2030 et portant diverses dispositions intéressant la défense. V., à ce sujet, R. Maurel, « Technologies quantiques et transformations du droit – Premières pistes de réflexion », Revue générale de droit 2024, n° 65119.



du volet militaire (elles occupent deux des 10 priorités stratégiques mentionnées par la loi<sup>(7)</sup>) ou du volet économique (les investissements nationaux sont massifs), fait qu'il n'est plus possible d'ignorer leur existence *a minima* en tant qu'objet de discours politique, économique et militaire.

D'autre part et en complément, si les technologies quantiques sont un objet de discours situés dans plusieurs champs appréhendés par les sciences sociales, celui du droit est dans l'ensemble peu exploré, de sorte qu'il existe à la fois peu de droit positif de prime abord applicable et peu de doctrine sur laquelle s'appuyer pour mener une réflexion solide.

Ces prolégomènes achevés, on présentera ici quelques éléments de réponse à trois questions principales : que peut-on encadrer, comment encadrer, et qui peut encadrer les technologies quantiques ? Pour sa part, la question « faut-il encadrer les technologies quantiques » s'avère transversale – mais pas nécessairement préliminaire, le raisonnement juridique n'étant pas fermé à la réflexion *in abstracto*. Dans le premier volet de cette étude, il s'agira d'étudier l'encadrement du processus de développement des technologies quantiques, qui se présente, du fait de son caractère on ne peut plus actuel, comme le sujet offrant le plus de prises à une analyse de droit positif.

Pour identifier le droit applicable au développement de ces technologies (II), il est d'abord nécessaire de se faire une idée, sans se référer de manière systématiquement précise aux publications scientifiques en physique quantique<sup>(8)</sup>, des grandes directions que prend la recherche en la matière (I).

## I. La question de l'objet : quel développement technologique encadrer ?

Si les technologies quantiques sont déjà considérées par des universitaires comme des « innovations totales<sup>(9)</sup> », leurs cas d'usages concrets restent encore d'ordre essentiellement prospectif, ce qui rend difficile l'appréhension des enjeux qu'elles soulèvent. Autrement dit, une analyse par les risques<sup>(10)</sup> est pour l'instant difficile à mener sous un angle positiviste, pour peu qu'elle soit pertinente. La situation devrait toutefois évoluer à la faveur de la remise, attendue incessamment, du rapport que le gouvernement devait remettre au Parlement

(7) V. le rapport annexé à la loi n° 2023-703, point 2.2.3 « Efforts prioritaires pour les armées du futur », indiquant que « [l]es axes prioritaires [...] sont : [...] 7. Les capteurs à l'ère des technologies quantiques ; [...] 10. Le calcul quantique au service de capacités souveraines comme le renseignement ou la dissuasion ».

(8) Un nombre considérable d'articles (entre 600 et 1 000 par mois) présentant diverses avancées en matière de physique quantique est publié sur la plateforme de pré-publication arXiv, proposée par la Cornell University (<https://arxiv.org/archive/quant-ph>). On peut également utilement se référer aux publications du chercheur indépendant Olivier Ezratty, qui opère une synthèse mensuelle des avancées les plus importantes et observe en parallèle l'évolution du secteur économique civil pertinent (<https://www.oezratty.net/wordpress/>).

(9) J. Charpenet, M. Teller, « La régulation des technologies quantiques : un cas d'école pour la régulation des innovations "totales" », D. IP/IT, n° 9, 2024, p. 459.

(10) A. Latil, *Le droit du numérique. Une approche par les risques*, 2<sup>e</sup> éd., Dalloz, 2024. L'auteur indique d'ailleurs qu'on « peut imaginer qu'un droit des activités quantiques verra le jour dans quelques temps » (p. 7).

« sur les utilisations possibles de la technologie quantique dans les armées françaises<sup>(11)</sup> ». Par ailleurs, l'ordinateur quantique ou encore la cryptographie post-quantique, qui relève du plus vaste ensemble des communications quantiques, sont déjà des réalités concrètes. Depuis 2016, IBM propose ainsi l'accès gratuit, en ligne et pour quelques secondes, à un ordinateur quantique permettant de réaliser des calculs complexes<sup>(12)</sup>. Les recherches actuelles se focalisent aujourd'hui sur trois domaines distincts et complémentaires : le calcul quantique (A), les capteurs quantiques (B) et les communications quantiques (C).

### A. Le calcul quantique

Le calcul quantique exploite les principes de la superposition et de l'intrication pour résoudre des problèmes hors de portée des ordinateurs classiques. Contrairement aux bits traditionnels, les qubits peuvent exister dans plusieurs états simultanément, permettant d'explorer un nombre exponentiel de solutions en parallèle. Les recherches actuelles<sup>(13)</sup> se concentrent sur l'amélioration de la stabilité des qubits, qu'ils soient supraconducteurs, à ions piégés ou topologiques, tout en développant des algorithmes adaptés à des applications comme la chimie quantique, l'optimisation complexe ou la cryptographie. La correction des erreurs reste un défi majeur des recherches actuelles, qui visent à atténuer les « bruits » ; la scalabilité et le coût des infrastructures cryogéniques ou laser limitent encore leur déploiement à grande échelle. Les ordinateurs quantiques pourraient, à terme et d'après la littérature scientifique, révolutionner des secteurs comme la découverte de médicaments ou la logistique, mais leur intégration dans des systèmes existants nécessite des progrès tant matériels qu'algorithmiques. Il n'en demeure pas moins que des ordinateurs quantiques utilisant de telles capacités de calculs existent déjà : outre l'exemple d'IBM donné *supra*, en mars 2024, la société française Quandela a ainsi installé un ordinateur quantique photonique d'une puissance de base de 2 qubits dans l'un des centres de données d'OVHCloud ; en juin 2024, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) a reçu un ordinateur quantique à atomes froids de plus de 100 qubits fabriqué par la société française Pasqal ; en mai 2025, Quandela a annoncé la mise en service de Belenos, un ordinateur quantique photonique à 12 qubits, accessible par l'intermédiaire d'un cloud aux chercheurs et industriels partenaires de la société. Une version évoluée de cet ordinateur, baptisé Lucy, a été livré en octobre 2025 au Très grand centre de calcul (TGCC) du CEA pour une mise en service début 2026.

La principale question aujourd'hui soulevée par le calcul quantique est moins l'émergence des ordinateurs quantiques – ils sont une réalité mais restent, au-delà des enjeux de passage à l'échelle, difficilement commercialisables en raison de leur utilité très ciblée – que l'hybridation quantique / intelligence artificielle : *quid* de systèmes d'intelligence artificielle demain « dopés » par des puces quantiques proposant des capacités de

(11) Rapport précité, point 4.

(12) V. en ligne : <https://quantum.cloud.ibm.com/>.

(13) Les éléments scientifiques utilisés pour la présentation des trois grands domaines sont tirés de la consultation d'une soixantaine d'articles publiés, au 25 octobre 2025, sur la plateforme arXiv.

calcul démultipliées? Ce type de questionnement est à l'étude sous l'angle de l'« intelligence artificielle quantique » (QAI), un domaine placé à l'intersection de l'informatique quantique et de l'IA. Le projet global repose sur l'utilisation du calcul quantique (algorithmes hybrides quantique-classique, optimisation, apprentissage automatique) pour résoudre des problèmes complexes sous l'angle des sciences de l'IA (par exemple: la planification, la vision par ordinateur ou encore le traitement du langage naturel)<sup>(14)</sup>.

## B. Les capteurs quantiques

Les capteurs quantiques exploitent les mêmes propriétés de la mécanique quantique pour réaliser des mesures d'une précision inégalée, bien au-delà des limites des technologies classiques. Par exemple, les centres NV intégrés dans des diamants permettent de détecter des champs magnétiques ou électriques avec une sensibilité suffisante pour repérer l'activité d'un seul neurone ou des anomalies géologiques profondes. Les gyromètres superfluides, quant à eux, pourraient mesurer des rotations infimes, comme celles induites par la relativité générale, ouvrant par exemple la voie à des applications en navigation sans satellite. Le fonctionnement de capteurs repose toutefois sur des conditions expérimentales extrêmes, comme des températures proches du zéro absolu, ce qui limite pour l'instant leur utilisation en dehors des laboratoires. Leur potentiel reste significatif en médecine (pour des diagnostics précoces), en archéologie (pour localiser des artefacts enfouis), en navigation maritime et aérienne ou en exploration de l'Univers ou encore bien sûr en matière de sécurité (par exemple pour détecter des substances explosives à distance). L'un des enjeux contemporains est leur miniaturisation et leur intégration dans des dispositifs portables et abordables, sans altérer leur sensibilité.

## C. Les communications quantiques

Enfin, les communications quantiques exploitent également ces lois pour transmettre des informations de manière intrinsèquement sécurisée et théoriquement inviolable. Contrairement aux méthodes classiques de chiffrement des transferts d'informations, qui reposent sur des algorithmes mathématiques potentiellement vulnérables, les protocoles quantiques comme la distribution quantique de clés (QKD) garantissent que toute tentative d'interception serait immédiatement détectée, grâce à la fragilité des états quantiques. Une autre branche des communications quantiques, au-delà du chiffrement, consiste à exploiter les possibilités de l'intrication pour communiquer sans transfert d'information. Les avancées récentes, comme le multiplexage temporel ou les répéteurs quantiques, permettent d'étendre la portée et la fiabilité de ces communications, bien que les distances restent encore limitées à quelques kilomètres sans répéteurs. Ces technologies devraient avoir des impacts

concrets sur la sécurisation des transactions financières, des élections électroniques et des communications militaires; leur déploiement à grande échelle se heurte néanmoins à des obstacles techniques, comme la nécessité de détecteurs hautement sensibles et de fibres optiques spécifiques, ainsi qu'à des coûts élevés d'infrastructure. À l'horizon 2030, l'objectif européen reste de créer un « Internet quantique », au sein duquel les données voyageraient de manière instantanée et parfaitement sécurisée à travers le globe, tout en intégrant les infrastructures de télécommunication existantes<sup>(15)</sup>.

La compréhension de ces trois domaines ne suffit toutefois pas à appréhender l'ensemble des éléments susceptibles de faire l'objet d'un encadrement juridique. Nombre de recherches menées impliquent, en effet, de développer ou d'acquérir des technologies dites « habilitantes », c'est-à-dire qui ne sont pas fondées sur les principes de la physique quantique – elles sont donc conventionnelles – mais qui sont indispensables en ce qu'elles fournissent un accès, ou un accès facilité, à des technologies quantiques. Tel est par exemple le cas des lasers de refroidissement et de manipulation d'atomes<sup>(16)</sup>. C'est donc un vaste ensemble de procédés et technologies dont le développement peut être, en théorie, encadré par le droit.

## II. L'identification du droit applicable

Le développement de nouvelles technologies, qu'elles soient quantiques ou non, est classiquement appréhendé par plusieurs branches du droit. Le contexte étant celui d'une « course mondiale<sup>(17)</sup> », ce sont d'abord les branches du droit international qui sont mobilisées dans la réflexion à la fois sur les dynamiques de financement régionales ou internationales de la recherche, sur les réflexes protectionnistes de certains États souhaitant éviter la fuite des cerveaux et des technologies à l'étranger, ou encore sur leurs conséquences en matière de paix et de sécurité internationales. Une première observation montre que les enjeux principaux se situent actuellement à trois niveaux distincts, et potentiellement contradictoires. D'une part, les États encouragent et entretiennent la coopération scientifique (A). D'autre part et à l'inverse, ils limitent de plus en plus fortement les exportations de technologies quantiques, en s'appuyant sur des dispositifs et arrangements internationaux (B). Enfin, suivant une logique de construction d'indépendances stratégiques nationales, ils contrôlent les investissements entrant sur leurs territoires en matière de technologies quantiques (C).

(14) V. la synthèse, incluant une deuxième branche de la QAI consistant à exploiter l'IA pour résoudre certaines difficultés du développement des technologies quantiques, de M. Klusch, J. Lässig, D. Müssig, A. Macaluso, F. K. Wilhelm, « Quantum Artificial Intelligence: A Brief Survey », *Künstliche Intelligenz*, vol. 38, 2024, pp. 257-276.

(15) Voir l'exposé du projet sur <https://quantuminternetalliance.org/members-of-the-alliance/> et R. Maurel, « Some Ethical Issues of a Potential "Quantum Internet" », *CevoteQ Working Paper 2025/02*, juin 2025, en ligne ([https://www.cevoteq.com/assets/files/2025/cevoteq-wp-2025\\_02-maurel.pdf](https://www.cevoteq.com/assets/files/2025/cevoteq-wp-2025_02-maurel.pdf)).

(16) Cet exemple est cité sur le portail de la stratégie quantique de la France (<https://quantique.france2030.gouv.fr/perimetre/technologies-habilitantes/>).

(17) J. Krause, « The Quantum Race: U.S.-Chinese Competition for Leadership in Quantum Technologies », UC San Diego: University of California Institute on Global Conflict and Cooperation, Policy Briefs Series, 2024; A. Pannier, « La course aux technologies numériques Accélération après-Covid », in T. De Montbrial et D. David (dir.), *Ramses 2022: Au-delà du Covid*, IFRl, pp. 90-95; K. Singh, « The Race for Quantum Technology in Asia », *Defence & Diplomacy*, vol. 13(3), 2024, pp. 77-88.



## A. La médiatisation d'un droit de la coopération scientifique « de façade »

Le droit international de la coopération scientifique, essentiellement bilatéral, est d'abord mobilisé dans le cadre de déclarations<sup>(18)</sup> ou mémorandums d'accords<sup>(19)</sup> de coopération scientifique. Ceux-ci comprennent des déclarations de bonnes intentions liées au partage des connaissances, à des investissements coordonnés voire au développement de standards communs. De manière plus générale, les technologies quantiques figurent parmi les « technologies émergentes » dont le développement fait l'objet de mesures spécifiques par certains accords commerciaux récents ; ainsi en est-il des accords conclus par le Royaume-Uni avec la Nouvelle Zélande<sup>(20)</sup> ou de manière multilatérale avec le Liechtenstein, l'Islande et la Norvège<sup>(21)</sup>, qui prévoient tous deux un régime d'information mutuelle et de coopération concertée en matière d'« emerging technologies ».

D'un autre côté, certains États en développement se préoccupent de leur manque d'accès aux outils permettant de déployer de telles technologies. Il est ainsi notable que ce soit le Ghana qui soit à l'origine de la résolution 78/287, adoptée par l'Assemblée générale des Nations Unies le 7 juin 2024, proclamant 2025 « Année internationale des sciences et technologies quantiques »<sup>(22)</sup>, et que celle-ci rappelle qu'il « importe de mobiliser et d'accroître les moyens, notamment financiers, de faire avancer la science, la technologie et l'innovation, notamment dans les domaines des sciences et technologies quantiques, en particulier dans les pays en développement, à l'appui de la réalisation des objectifs de développement durable<sup>(23)</sup> ». Pour l'heure, ce défi est loin d'être relevé, le droit applicable s'arrêtant pour l'essentiel à des déclarations et des mémorandums non contraignants, ou à des normes de soft law plaidant en ce sens dans des accords commerciaux isolés<sup>(24)</sup>.

Le développement des technologies quantiques fait donc déjà l'objet de mesures diplomatiques et dans une moindre mesure de droit de la coopération internationale, cet ensemble relevant du droit de la coopération scientifique internationale. On peut toutefois constater que si les stratégies quantiques des États du monde font largement état de volontés de coopérations scientifiques dans l'objectif affiché de parvenir le plus rapidement possible à la maîtrise des technologies évoquées<sup>(25)</sup>, la réalité juridique est bien plus nuancée. Sans même aborder les éventuels enjeux de droit de la propriété intellectuelle que peuvent soulever les découvertes récentes<sup>(26)</sup>, l'explication est à rechercher à la fois du côté des espoirs de chaque État de se positionner en tant que « leader » mondial dans tous les domaines des technologies quantiques<sup>(27)</sup> et de celui de leurs caractéristiques particulières. Ces technologies, bien que susceptibles d'applications civiles – ce qui reste à démontrer – sont en effet surtout appréhendées par les États sous l'angle de la sécurité et de la défense<sup>(28)</sup>. Le transfert international de technologies quantiques, qu'encourage en théorie la coopération scientifique internationale, ne peut en effet conduire à une mise en danger les États qui en sont « dotés », lesquels cherchent en parallèle à conserver leurs éventuels avantages stratégiques en la matière – ce qui peut impliquer, de manière contre-intuitive voire contraire aux annonces de façade, de limiter les exportations et la coopération internationale.

## B. L'émergence d'un contrôle des exportations de technologies quantiques

La dualité du régime juridique des technologies quantiques tient à leur dualité intrinsèque. Elles constituent en effet des « biens à double usage » en droit international comme au sens du règlement (UE) 2021/821, qui les définit comme « les produits, y compris les logiciels et les technologies, susceptibles d'avoir

(18) V. le Joint Statement of the United States of America and France on Cooperation in Quantum Information Science and Technology du 17 mars 2023 (<https://2021-2025.state.gov/joint-statement-of-the-united-states-of-america-and-france-on-cooperation-in-quantum-information-science-and-technology/>).

(19) V. par exemple le Memorandum of Understanding on cooperation within the area of quantum science and technology between the United Kingdom and Denmark, conclu en avril 2024 (<https://techamb.um.dk/-/media/country-sites/techamb-en/techplomacy/impact/dk-uk-mou.ashx>), ou le Protocole de coopération entre le ministère de l'Industrie du Canada, le ministère des Affaires étrangères, du Commerce et du Développement du Canada, le ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie du Japon et le ministère des Affaires étrangères du Japon concernant la science et les technologies industrielles du 25 octobre 2023.

(20) Free Trade Agreement between the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland and New Zealand, London, 28 févr. 2022, art. 15.19 et 15.21.

(21) Free Trade Agreement between Iceland, the Principality of Liechtenstein and the Kingdom of Norway and the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, London, 8 juill. 2021.

(22) AGNU, résolution 78/287 adoptée le 7 juin 2024, A/RES/78/287. Le projet de résolution a été porté conjointement par l'Afrique du Sud, la Finlande, le Ghana, l'Inde, le Pérou et le Turkménistan.

(23) *Ibid.*

(24) On pense ici à l'accord Royaume-Uni / Nouvelle Zélande précité et à son article 15.4 (b), qui implique que la coopération pourra inclure « cooperating on developments relating to emerging technologies, including ethical use, industry-led standards, and algorithmic transparency, to address issues such as unintended biases and exacerbation of existing divides, by ensuring human diversity is recognised in the development of technologies ».

(25) V. la cartographie précitée et les données publiées sur le site du CevoteQ ; v. également R. Maurel, « Les stratégies quantiques des États du monde », in O. Delas, M. Mondélice, O. Bichel, R. Ouellet (dir.), *L'espace transatlantique à l'épreuve du numérique global*, Bruylant, Coll. Mondialisation et droit international, 2025, pp. 313-330.

(26) V. sur ce sujet K. Balarabe, « Quantum Computing and the Law: Navigating the Legal Implications of a Quantum Leap », *European Journal of Risk Regulation*, vol. 16, 2025, pp. 794-813, spéc. pp. 800-801. L'auteur défend l'idée, à ce jour peu étayée, que le développement des technologies quantiques remet en cause les cadres traditionnels de la propriété intellectuelle en raison de la tension entre la nécessité de protéger les innovations (via des brevets) pour stimuler l'investissement, et l'impératif de favoriser leur diffusion pour éviter les monopoles étouffant l'innovation collaborative. Les décideurs devront selon l'auteur réformer le droit des brevets et explorer des modèles alternatifs (licences croisées, pools de brevets, open source) pour concilier accès équitable, sécurité nationale et innovation mondiale, tout en évitant les blocages technologiques. Il nous semble néanmoins que les États ne manifestent pas l'intention d'explorer ces pistes, privilégiant une approche sécuritaire du sujet.

(27) Ce point ressort particulièrement de l'étude de discours déployé dans les stratégies quantiques nationales ; v. R. Maurel, « Les stratégies quantiques des États du monde », art. préc.

(28) V., sur ce sujet, l'intervention éclairante du ministre des Armées Sébastien Lecornu en clôture de l'événement France Quantum 2025 le 10 juin 2025, disponible en rediffusion sur la page « Plan quantique : une stratégie ambitieuse et souveraine » (<https://www.defense.gouv.fr/actualites/plan-quantique-strategie-ambitieuse-souveraine>).

une utilisation tant civile que militaire [...]»<sup>(29)</sup>. La qualification de bien à double usage, issue de l'Arrangement de Wassenaar<sup>(30)</sup>, a initialement été conçue pour limiter la prolifération des armes de destruction massive. Elle s'étend aujourd'hui à d'autres technologies comme les technologies quantiques, dont les applications militaires (cryptographie, force de calcul, détection, simulation de systèmes nucléaires...) en font des objets de vigilance particulière. La France, s'appuyant sur l'article 9 du règlement 2021/821, a ainsi intégré à la liste des biens soumis à autorisation d'exportation à la fois les ordinateurs quantiques, les ensembles électroniques et les composants qui leur sont destinés (comme les « dispositifs qubits et circuits qubits contenant ou supportant des réseaux de qubits physiques, et spécialement conçus<sup>(31)</sup> » pour les ordinateurs quantiques) dès février 2024. En mars 2025, elle a élargi et précisé la liste des biens et technologies soumis à contrôle, en intégrant de nouvelles catégories de biens et en actualisant les seuils techniques du contrôle pour tenir compte, par exemple, des avancées de la recherche en matière de communications quantiques (s'agissant du contrôle des amplificateurs de signaux paramétriques) ou d'ordinateur quantique (s'agissant du contrôle des systèmes de refroidissement cryogénique)<sup>(32)</sup>. L'arrêté de 2025 intègre par ailleurs des technologies habilitantes à la liste des contrôles, à l'instar des technologies pour revêtements protégeant les composites à matrice céramique à plus de 1100°C – qui ne sont pas directement des technologies quantiques mais protègent les composants structuraux des cryostats et des enceintes quantiques (comme ceux des ordinateurs supraconducteurs ou des capteurs) contre la corrosion et d'autres contraintes thermomécaniques, ouvrant la voie vers une stabilité et une augmentation de la durée de vie des systèmes opérant près du zéro absolu.

D'autres États, à l'instar de l'Espagne en mai 2023<sup>(33)</sup>, de l'Italie en juillet 2024<sup>(34)</sup>, de l'Allemagne en août 2024<sup>(35)</sup>, des États-Unis en septembre 2024<sup>(36)</sup>, ou encore des Pays-Bas en juin 2023 et octobre 2024<sup>(37)</sup>, ont pris des mesures similaires voire plus strictes. Aux Pays-Bas, une licence d'exportation est ainsi requise. En Allemagne, l'exportateur d'un ordinateur quantique supérieur à 34 qubits doit déposer une demande d'autorisation auprès du BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) incluant une description technique détaillée, le pays de destination et l'utilisateur final du produit, ainsi le cas échéant qu'une justification de l'usage civil du bien; le BAFA examine la demande sous un à deux mois et peut décider, si l'export présente un risque de prolifération militaire, de violation des droits de l'homme garantis en Allemagne, ou de menace pour la sécurité nationale, de refuser l'exportation ou de la conditionner à des restrictions d'usage ou à un suivi ultérieur<sup>(38)</sup>.

En créant une liste de contrôle et en l'actualisant régulièrement (en élargissant son périmètre et en modulant les seuils du contrôle en fonction des avancées de la recherche), les États encadrent en tout état de cause la prolifération des biens à double usage et maîtrisent les technologies développées sur leur territoire – tout en posant des obstacles aux transferts internationaux de technologies<sup>(39)</sup>.

### C. Un objet de droit des investissements

Ce qui est valable pour l'export l'est logiquement également pour les investissements entrants, moins sur le fondement de la lutte contre la prolifération de biens à double usage que sur celui de la protection du marché national et européen. Ainsi les mécanismes du droit des investissements internationaux sont-ils mobilisables pour limiter les investissements étrangers en matière de technologies quantiques.

L'article 4 du règlement établissant un cadre commun de filtrage des investissements étrangers dans l'Union, qui vise à établir un système européen de coopération, d'alerte et

(29) Règl. (UE) 2021/821, 20 mai 2021, instituant un régime de l'Union de contrôle des exportations, du courtage, de l'assistance technique, du transit et des transferts en ce qui concerne les biens à double usage, art. 2, 1).

(30) L'Arrangement de Wassenaar est « un arrangement multilatéral global pour le contrôle des exportations d'armements conventionnels et de biens et technologies à double usage servant à leur fabrication » conclu en juillet 1996 et rassemblant 42 États; ce forum a pour objet de « s'assurer que les transferts d'armes et de biens et technologies à double usage conventionnels [que les États parties] effectuent ne contribuent pas au développement ou au renforcement de capacités militaires pouvant nuire à la sécurité et à la stabilité régionales et internationales » (v. les explications claires du Ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères français : [https://www.diplomatie.gouv.fr/fr/politique-etrangere-de-la-france/securite-desarmement-et-non-proliferation/desarmement-et-non-proliferation/commerce-transport-et-exportations-d-armes-et-materiels-sensibles/article/contrôle-des-biens-et-technologies-sensibles-a-double-usage#sommaire\\_2](https://www.diplomatie.gouv.fr/fr/politique-etrangere-de-la-france/securite-desarmement-et-non-proliferation/desarmement-et-non-proliferation/commerce-transport-et-exportations-d-armes-et-materiels-sensibles/article/contrôle-des-biens-et-technologies-sensibles-a-double-usage#sommaire_2)).

(31) A., 2 févr. 2024, relatif aux exportations vers les pays tiers de biens et technologies associés à l'ordinateur quantique et à ses technologies habilitantes et d'équipements de conception, développement, production, test et inspection de composants électroniques avancés. Ces dispositifs « incluent les puces à qubits semi-conducteurs, supraconducteurs ainsi que photoniques et les réseaux de puces; des réseaux de pièges à ions; d'autres technologies de confinement de qubits; et des interconnexions cohérentes entre ces éléments ».

(32) A., 27 mars 2025, modifiant l'arrêté du 2 février 2024 relatif aux exportations vers les pays tiers de biens et technologies associés à l'ordinateur quantique et à ses technologies habilitantes et d'équipements de conception, développement, production, test et inspection de composants électroniques avancés.

(33) Orden ICT/534/2023, de 26 de mayo, por la que se modifican los anexos I.1, III.2 y III.5 del Reglamento de control del comercio exterior de material de defensa, de otro material y de productos y tecnologías de doble uso, aprobado por el Real Decreto 679/2014, de 1 de agosto (anexo III.5, Lista de productos sometidos a control en la exportación no incluidos en el anexo I del Reglamento (UE) 2021/821).

(34) Decreto del Vice Ministro degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale n. 1325/BIS/371, 1<sup>er</sup> juill. 2024.

(35) Einundzwanzigste Verordnung zur Änderung der Außenwirtschaftsverordnung, Drucksache 20/12685, 30 août 2024.

(36) US Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, Commerce Control List Additions and Revisions; Implementation of Controls on Advanced Technologies Consistent With Controls Implemented by International Partners, 9 juin 2024, 89 FR 72926.

(37) Regeling van de Minister voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingshulp van 11 oktober 2024, nr. BZ2405833 houdende invoering van een vergunningplicht voor de uitvoer van producten die niet zijn genoemd in bijlage I van Verordening 2021/821 (Regeling aanvullende controlemaatregelen op de Verordening producten voor tweemaal gebruik).

(38) De la même manière que « [l']autorisation donnée peut être assortie le cas échéant de conditions visant à assurer que l'investissement projeté ne portera pas atteinte aux intérêts nationaux » en France (CMF, art. L. 151-3, II).

(39) V. sur ce sujet P. A. Earls Davis, M. Abov, T. Minssen, « Regulatory Challenges and Opportunities of Export Controls on Quantum Computing », in M. Abov, M. Corrales Compagnucci, T. Minssen, (eds.), Quantum Technology Governance: Law, Policy, and Ethics in the Quantum Era, Springer, à paraître.



de recommandations<sup>(40)</sup>, classe les investissements directs étrangers portant sur les technologies quantiques (et les biens à double usage de manière générale) parmi les investissements susceptibles « de porter atteinte à la sécurité ou à l'ordre public » à propos desquels un filtrage est recommandé<sup>(41)</sup>. Dès le 31 décembre 2019, la France avait classé les technologies quantiques parmi les sept « technologies critiques » mentionnées au 1° du III de l'article R. 151-3 du code monétaire et financier<sup>(42)</sup> – c'est-à-dire les activités de recherche et développement portant sur des technologies critiques, qui sont dans certains cas de nature à porter atteinte aux intérêts de la défense nationale. Dès lors, tout investissement étranger en la matière est soumis à autorisation préalable du ministre chargé de l'économie les investissements étrangers<sup>(43)</sup>.

Si les États, incités en ce sens par des organisations régionales ou non, contrôlent de manière tout à fait compréhensible les investissements étrangers dans des secteurs qu'ils jugent stratégiques<sup>(44)</sup>, il est notable que cette logique devrait trouver une limite géographique dans le futur Quantum Act, annoncé pour 2026<sup>(45)</sup>. Celui-ci devrait en toute logique poser les fondements d'un marché européen des technologies quantiques et promouvoir, en tant qu'environnement « favorable à l'initiative

et au développement des entreprises de l'ensemble de l'Union, et notamment des petites et moyennes entreprises<sup>(46)</sup> » et à « la coopération entre entreprises<sup>(47)</sup> », des investissements intra-européens significatifs. Il sera, dès lors, intéressant d'observer la manière dont le futur Quantum Act opérera la synthèse des enjeux liés d'une part à la nécessaire sécurité des États souhaitant que les technologies quantiques ne soient pas acquises par des États tiers, d'autre part à la nécessité annoncée de favoriser un développement rapide, massif et harmonieux des mêmes technologies à l'échelle européenne.

Bien en amont de la question de l'encadrement des usages des technologies quantiques, dont on peut d'ores et déjà se demander si une distinction entre leur caractère pacifique et leur caractère non pacifique ne serait pas pertinente (si elle est possible), les technologies quantiques sont donc un objet spécifique de droit à la fois du développement scientifique pacifique et du droit de la non-prolifération, qui s'exprime moins – pour l'instant – par l'intermédiaire des organisations internationales classiques que par celui des mécanismes régionaux et nationaux de limitations des exportations et des importations de technologies. ■

(40) Sur ce point, v. notamment J. Cazala, « La contribution du cadre européen relatif au filtrage des investissements directs étrangers au droit européen des investissements », in R. Maurel (dir.), *Nouveaux regards sur le droit européen des investissements*, LexisNexis, coll. des Travaux du CREDIMI, 2023, pp. 199-212.

(41) Règl. (UE) 2019/452, 19 mars 2019, établissant un cadre pour le filtrage des investissements directs étrangers dans l'Union, tel que modifié en dernier lieu par le règlement délégué (UE) 2021/2126 de la Commission du 29 septembre 2021 modifiant l'annexe du règlement (UE) 2019/452 établissant un cadre pour le filtrage des investissements directs étrangers dans l'Union.

(42) A., 31 déc. 2019, relatif aux investissements étrangers en France, art. 6.

(43) CMF, art. L. 151-3.

(44) V., sur ce sujet spécifique, R. Maurel, « Le contrôle des investissements stratégiques opérés par les fonds souverains », in Ph. Cossalter, G. J. Guglielmi (dir.), *Propriété, souveraineté, mondialisation*, éd. Panthéon-Assas, 2024, pp. 121-135.

(45) Le calendrier de travail de la Commission, officieusement diffusé en octobre 2025, indique que le texte, fondé sur les articles 173, 180 et 184 TFUE, est attendu pour le deuxième trimestre 2026.

(46) TFUE, art. 173.

(47) *Ibid.*