



Observatoire Quantique

DÉPENDANCE ÉCONOMIQUE ET MATÉRIELLE DU CALCUL QUANTIQUE

QUANTIQUE: LA COURSE INVISIBLE

*Dépendances matérielles, technologiques et juridiques
dans la bataille pour la souveraineté quantique*

Observatoire Quantique

Jonathan Chaste

24 juillet 2026

Sommaire

Résumé exécutif.....	3
Introduction: la course visible et les deux dépendances invisibles	5
Mécanisme n° 1: l'accès aux matériaux comme condition préalable	5
La chaîne de valeur physique et ses points de passage	7
L'écart avec le CRMA: une possibilité de préemption normative pour l'Europe	9
Mécanisme n° 2: la dépendance par l'accès technologique	11
Le rapport de force juridique: l'extraterritorialité, le contrôle des exportations et les instruments européens	12
Des régimes juridiques distincts au sein d'une même chaîne de dépendance	18
Ce que révèle l'analyse	20
Solutions, par nature	20
Conclusion: une possibilité d'initiative européenne.....	22

Résumé exécutif

Le débat public sur le calcul quantique se concentre presque entièrement sur ses indicateurs les plus visibles: nombre de qubits, performances de correction d'erreur et annonces de « suprématie quantique ». Cette dernière expression a été popularisée par Google en 2019 à propos de sa puce *Sycamore*, puis discutée sur le plan méthodologique, notamment par IBM¹. Le présent document adopte un autre point de vue. La compétition se joue aussi, en amont, dans l'accès à quelques matériaux dont la production ou la transformation est fortement concentrée. Elle se joue, en aval, dans l'accès contractuel à la puissance de calcul d'un tiers pour les acteurs dépourvus d'infrastructure propre. L'*IBM Quantum Network* compte plus de trois cents organisations membres, dont HSBC². Selon leur statut et les services souscrits, ces organisations peuvent accéder à distance aux ressources quantiques d'IBM sans posséder l'infrastructure sous-jacente. Ces deux formes de dépendance sont soumises à des règles nationales, européennes et contractuelles dispersées, mais à aucun régime international unifié comparable à ceux qui organisent certaines autres ressources stratégiques.

Cette configuration produit un rapport de force concret. Les États-Unis et la Chine ont développé des instruments de contrôle des exportations et des mécanismes extraterritoriaux qui poursuivent des finalités comparables sans être juridiquement identiques. L'Union européenne combine, pour sa part, plusieurs registres: le blocage de certaines sanctions extraterritoriales³, la réponse à la coercition économique⁴, la protection des données⁵, le contrôle des exportations de biens à double usage⁶ et le filtrage national des investissements⁷. L'analyse croise ces dispositifs avec la concentration géographique et capitalistique des matériaux, puis mesure l'écart entre

¹ Arute et al., « Quantum supremacy using a programmable superconducting processor », article scientifique, *Nature*, vol. 574, p. 505-510, 23 octobre 2019, DOI : 10.1038/s41586-019-1666-5, disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>, consulté le 25 juillet 2026 ; IBM Research, « On «Quantum Supremacy» », billet de blog, 22 octobre 2019, disponible à l'adresse : <https://www.ibm.com/quantum/blog/on-quantum-supremacy>, consulté le 25 juillet 2026.

² IBM Newsroom, présentation du programme IBM Quantum Network, liste des organisations partenaires incluant HSBC, page dédiée, disponible à l'adresse : <https://www.ibm.com/quantum/ibm-quantum-network>, consultée le 25 juillet 2026.

³ Conseil de l'Union européenne, Règlement (CE) n° 2271/96 du 22 novembre 1996 portant protection contre les effets de l'application extraterritoriale d'une réglementation adoptée par un pays tiers, règlement, JO L 309/1, disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/1996/2271/oj/fra>, consulté le 25 juillet 2026.

⁴ Parlement européen et Conseil, Règlement (UE) 2023/2675 du 22 novembre 2023 relatif à la protection de l'Union et de ses États membres contre la coercition économique exercée par des pays tiers, règlement, disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2675/oj/fra>, consulté le 25 juillet 2026.

⁵ Parlement européen et Conseil, Règlement (UE) 2016/679 du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel (RGPD), règlement, JO L 119/1, disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/fra>, consulté le 25 juillet 2026.

⁶ Commission européenne, Règlement délégué (UE) 2025/2003 du 8 septembre 2025, règlement délégué, disponible à l'adresse : https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2025/2003/oj/fra, consulté le 25 juillet 2026.

⁷ République française, Code monétaire et financier, articles L. 151-3 et R. 151-1 et suivants, codification en vigueur, disponible à l'adresse : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000038589686, consulté le 25 juillet 2026.

le panel suivi par l'Observatoire et la liste du règlement européen sur les matières premières critiques, le *Critical Raw Materials Act*.

Cette analyse ne constitue ni un conseil en investissement, ni un conseil juridique, ni un conseil fiscal. L'indice de criticité de la chaîne de valeur (ICV), repose sur une méthode propriétaire non divulguée. Seuls les scores, les classements et les principes nécessaires à leur interprétation sont publiés.

Introduction: la course visible et les deux dépendances invisibles

Le calcul quantique pourrait rendre accessibles certaines catégories de problèmes qui demeurent hors de portée pratique de l'informatique classique, notamment en simulation moléculaire, en optimisation et, à terme, en cryptanalyse de systèmes cryptographiques encore largement déployés.

Cette perspective a nourri un récit presque exclusivement centré sur la performance scientifique et technologique. Deux dimensions pourtant décisives de la compétition quantique restent ainsi au second plan.

La première est matérielle. Aucune architecture quantique, qu'elle soit supraconductrice, photonique, à ions piégés, à atomes neutres ou fondée sur les spins, ne fonctionne sans des matériaux, des gaz, des composants et des équipements hautement spécialisés. L'extraction, la séparation, le raffinage, la purification et la transformation constituent des maillons distincts, dont les centres de gravité géographiques se recouvrent rarement. La maîtrise d'un gisement n'emporte donc ni celle du raffinage, ni celle des procédés permettant d'atteindre les niveaux de pureté requis. La souveraineté quantique suppose de sécuriser l'ensemble de ces capacités, et non le seul qubit.

La seconde dimension est technologique. Lorsqu'un acteur ne possède ni chaîne d'approvisionnement sécurisée ni infrastructure quantique propre, sa dépendance ne disparaît pas, mais elle se déplace vers les capacités de calcul, les environnements logiciels, les interfaces et les conditions contractuelles d'un fournisseur tiers. Le cloud quantique, notamment le modèle d'accès proposé par IBM et analysé dans la partie consacrée à la dépendance technologique, élargit l'accès au calcul tout en maintenant une dépendance envers le propriétaire de l'infrastructure et de la pile technologique.

Ces deux mécanismes ont un point commun: ils ne relèvent d'aucune règle internationale unique et contraignante. Ils sont encadrés par un assemblage de contrôles nationaux et européens, de régimes de biens à double usage, de règles relatives aux données et de stipulations contractuelles. L'enjeu n'est donc pas l'absence de droit, mais sa fragmentation et l'asymétrie de ses effets.

Mécanisme n° 1: l'accès aux matériaux comme condition préalable

La concentration de la production de certaines ressources critiques, telles que les terres rares lourdes, le niobium et l'hélium-3, sont documentées depuis plusieurs années. Le risque tient moins à une absence absolue de régulation qu'à l'absence d'un cadre multilatéral propre aux intrants quantiques. Le contrôle effectif peut en outre

résulter de la propriété de l'actif, de la maîtrise du raffinage, de la technologie de séparation ou du régime de licences, et non de la seule localisation du gisement.

Le cas du césium l'illustre. La mine canadienne de Tanco, à Bernic Lake au Manitoba, déclare détenir 82 % des réserves mondiales connues de pollucite, principal minéral du césium. Depuis juin 2019, elle appartient à *Sinomine Rare Metals Resources*, filiale du groupe chinois coté *Sinomine Resources Group*, après la cession par l'américain *Cabot Corporation* de son activité de fluides spéciaux pour 135 millions de dollars⁸. Le gisement demeure au Canada et reste soumis au droit canadien, mais son centre de décision capitalistique est désormais chinois. Cette distinction entre souveraineté territoriale et contrôle de l'actif est essentielle.

Un précédent multilatéral existe, mais sa portée demeure étroite. En 2014, l'Organe d'appel de l'Organisation mondiale du commerce a condamné les restrictions chinoises à l'exportation visant les terres rares, le tungstène et le molybdène, notamment au regard de l'article XI du GATT⁹ (*General Agreement on Tariffs and Trade*). Cette décision ne résout toutefois ni le contrôle capitalistique d'un actif, ni la dépendance au raffinage, ni l'administration de licences conformes en apparence au droit commercial international.

La coopération récente privilégie d'ailleurs les formats souples. Le *Critical Minerals Ministerial*, réuni à Washington le 4 février 2026, a rassemblé cinquante-quatre pays et la Commission européenne¹⁰. Il n'a pas produit de norme multilatérale contraignante, mais onze nouveaux cadres bilatéraux ou protocoles d'accord, notamment avec le Maroc, l'Ouzbékistan et les Émirats arabes unis. En 2026, la sécurisation des approvisionnements progresse donc surtout par accords bilatéraux, coalitions restreintes et mécanismes de financement.

Le raffinage, davantage encore que l'extraction, constitue le principal goulot d'étranglement. Pour les terres rares destinées aux aimants, la Chine représentait 91 % de la production mondiale raffinée en 2024¹¹. Cette donnée ne doit toutefois pas être extrapolée automatiquement à l'ensemble des terres rares, des isotopes et des grades de pureté employés dans le quantique. Cette maîtrise du maillon intermédiaire

⁸ Cabot Corporation / Sinomine Resource Group Co., Ltd., déclaration réglementaire Form 8-K relative à l'acquisition de *Tanco Corporation*, dépôt SEC, 30 janvier 2019, transaction annoncée pour un montant de 135 millions de dollars, disponible à l'adresse : <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/16040/000119312519025908/d621971d8k.htm>, consulté le 25 juillet 2026 ; Ressources naturelles Canada, cartographie des minéraux critiques, page dédiée, disponible à l'adresse : <https://atlas.gc.ca/critical-minerals/en/index.html>, consultée le 25 juillet 2026.

⁹ Organe d'appel de l'OMC, *China — Measures Related to the Exportation of Rare Earths, Tungsten and Molybdenum*, rapport, WT/DS431/AB/R, WT/DS432/AB/R, WT/DS433/AB/R, 7 août 2014, disponible à l'adresse : https://www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/431_432_433abr_e.pdf, consulté le 25 juillet 2026.

¹⁰ Département d'État des États-Unis, communiqué relatif au *Critical Minerals Ministerial*, communiqué de presse, 4 février 2026, disponible à l'adresse : <https://www.state.gov/releases/office-of-the-spokesperson/2026/02/the-united-states-to-host-critical-minerals-ministerial>, consulté le 25 juillet 2026.

¹¹ Agence internationale de l'énergie, *Rare Earth Elements*, 2026, partie « Executive Summary », indiquant que la Chine représentait 91 % de la production mondiale raffinée de terres rares destinées aux aimants en 2024, disponible à l'adresse : <https://www.iea.org/reports/rare-earth-elements/executive-summary>, consultée le 25 juillet 2026.

confère une puissance de marché et un levier réglementaire supérieurs à ceux que révèle la seule carte des mines.

L'hélium-3 constitue un cas distinct. Utilisé notamment dans les mélanges cryogéniques des réfrigérateurs à dilution, il provient surtout de la décroissance du tritium détenu dans des programmes nucléaires et des stocks stratégiques, auxquels s'ajoutent quelques sources civiles. Son offre n'est donc pas celle d'un marché minier ordinaire. Mais elle dépend de décisions publiques, de capacités de récupération et de contraintes de sécurité et de non-prolifération¹².

La chaîne de valeur physique et ses points de passage

L'Observatoire suit treize matériaux jugés critiques pour au moins une architecture quantique active:

- les terres rares lourdes, dont l'ytterbium;
- l'hélium-3;
- le gallium;
- le niobium;
- le tantale;
- l'indium;
- le strontium;
- le rubidium;
- le silicium-28;
- le niobate de lithium;
- l'aluminium de très haute pureté;
- le diamant synthétique de qualité électronique;
- le germanium enrichi en isotope 70.

Neuf de ces treize entrées disposent d'une cartographie d'origine suffisamment étayée pour être publiée. La Chine apparaît à plusieurs reprises, notamment dans le raffinage du gallium, de l'indium et des terres rares lourdes. Cette récurrence doit toutefois être lue maillon par maillon:

- une part de marché d'extraction;
- une capacité de raffinage;
- un marché d'isotopes enrichis.

¹² U.S. Department of Energy, *National Isotope Development Center*, « Supply and Demand of Helium-3 », page dédiée, disponible à l'adresse : <https://www.isotopes.gov/Supply-and-Demand-of-Helium-3>, consultée le 25 juillet 2026. L'hélium-3 américain provient de la désintégration du tritium des stocks stratégiques d'armement nucléaire, sous contraintes de non-prolifération limitant sa circulation internationale.

Ce ne sont pas des grandeurs directement comparables. Cela concorde avec la place accordée au calcul quantique parmi les domaines technologiques prioritaires du 14e plan quinquennal chinois¹³.

Le Brésil assure environ 93 % de la production¹⁴ minière mondiale de niobium en 2025, tandis que CBMM contrôle à elle seule plus des trois quarts de l'offre. La République démocratique du Congo et le Rwanda concentrent ensemble une part majeure de la production de tantale. Aux États-Unis, la section 1502 du *Dodd-Frank Act* impose encore des obligations de déclaration sur les minerais de conflit. Sa pérennité¹⁵ fait cependant débat, car le projet H.R. 7085, introduit le 15 janvier 2026 et rapporté par la commission compétente le 19 mars¹⁶, vise à l'abroger. La *National Association of Manufacturers* a soutenu cette orientation en avril 2026¹⁷. Il s'agit, au 23 juillet 2026, d'une initiative législative et non d'une abrogation acquise.

¹³ Conseil des affaires d'État de la République populaire de Chine, *Outline of the 14th Five-Year Plan (2021-2025) for National Economic and Social Development and the Long-Range Objectives Through the Year 2035*, texte officiel traduit, 2021, chapitre relatif aux technologies de pointe dont l'information quantique, disponible à l'adresse : https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0284_14th_Five_Year_Plan_EN.pdf, consulté le 25 juillet 2026.

¹⁴ U.S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries 2026*, « Niobium (Columbium) », rapport, 6 février 2026, disponible à l'adresse : <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2026/mcs2026.pdf>, consulté le 25 juillet 2026.

¹⁵ Congrès des États-Unis, *Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act*, section 1502 (minerais de conflit), loi, 21 juillet 2010 ; U.S. Securities and Exchange Commission, fiche explicative sur la règle relative aux minerais de conflit, disponible à l'adresse : <https://www.sec.gov/newsroom/press-releases/2012-2012-163-related-materials>, consultée le 25 juillet 2026.

¹⁶ Congress.gov, *H.R. 7085, 119th Congress*, « To amend the Securities Exchange Act of 1934 to repeal certain disclosure requirements related to conflict minerals », projet de loi, introduit le 15 janvier 2026, disponible à l'adresse : <https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/7085>, consulté le 25 juillet 2026.

¹⁷ *National Association of Manufacturers*, « NAM to State Department : End «Conflict Minerals» Mandate », communiqué de presse, 3 avril 2026, disponible à l'adresse : <https://nam.org/nam-to-state-department-end-conflict-minerals-mandate-36143/>, consulté le 25 juillet 2026.

Figure 1. La chaîne de valeur physique : points de passage identifiés



L'écart avec le CRMA: une possibilité de préemption normative pour l'Europe

Avec le règlement (UE) 2024/1252¹⁸, dit *Critical Raw Materials Act* (CRMA), applicable depuis le 23 mai 2024, l'Union européenne a établi une liste de trente-quatre matières

¹⁸ Parlement européen et Conseil, Règlement (UE) 2024/1252 du 11 avril 2024 établissant un cadre pour garantir un approvisionnement sûr et durable en matières premières critiques (Critical Raw Materials Act), règlement, entrée en

premières critiques, dont dix-sept stratégiques. Le règlement fixe pour 2030 des valeurs de référence, soit 10 % de la consommation annuelle issue de l'extraction dans l'Union, 40 % de la transformation, 25 % du recyclage et, pour chaque matière stratégique, au plus 65 % de la consommation annuelle provenant d'un seul pays tiers à un stade pertinent de transformation.

Le rapprochement avec le panel de l'Observatoire-quantique fait apparaître un écart substantiel. Quatre entrées figurent nommément dans le CRMA:

- le gallium;
- le niobium;
- le strontium;
- le tantale.

Six autres ne sont appréhendées qu'au travers de catégories plus larges ou de leurs matières constitutives, ce qui ne renseigne ni sur le grade, ni sur la pureté, ni sur l'isotope requis par une architecture quantique. Et trois qui ne figurant pas dans le CRMA telles que:

- l'indium;
- le rubidium;
- le diamant synthétique de qualité électronique.

Cette comparaison doit donc être présentée comme une analyse fonctionnelle du panel, et non comme une équivalence juridique.

Cet écart avait déjà été partiellement documenté par *Quantum Delta NL*¹⁹ dans un livre blanc publié le 27 novembre 2023, qui cartographiait vingt matériaux liés aux technologies quantiques et relevait que cinq échappaient à la liste européenne alors applicable. L'apport de l'Observatoire-quantique réside dans le rapprochement avec un indice de criticité propre à chaque matériau et avec les instruments juridiques qui structurent l'accès à la chaîne de valeur.

La Commission a présenté la stratégie *Quantum Europe* le 2 juillet 2025 et annoncé une proposition de *Quantum Act* pour 2026²⁰. L'initiative figurait encore au calendrier indicatif du deuxième trimestre 2026, mais aucune proposition législative publiée n'a été identifiée au 23 juillet 2026. En revanche, le règlement EuroHPC a été modifié²¹

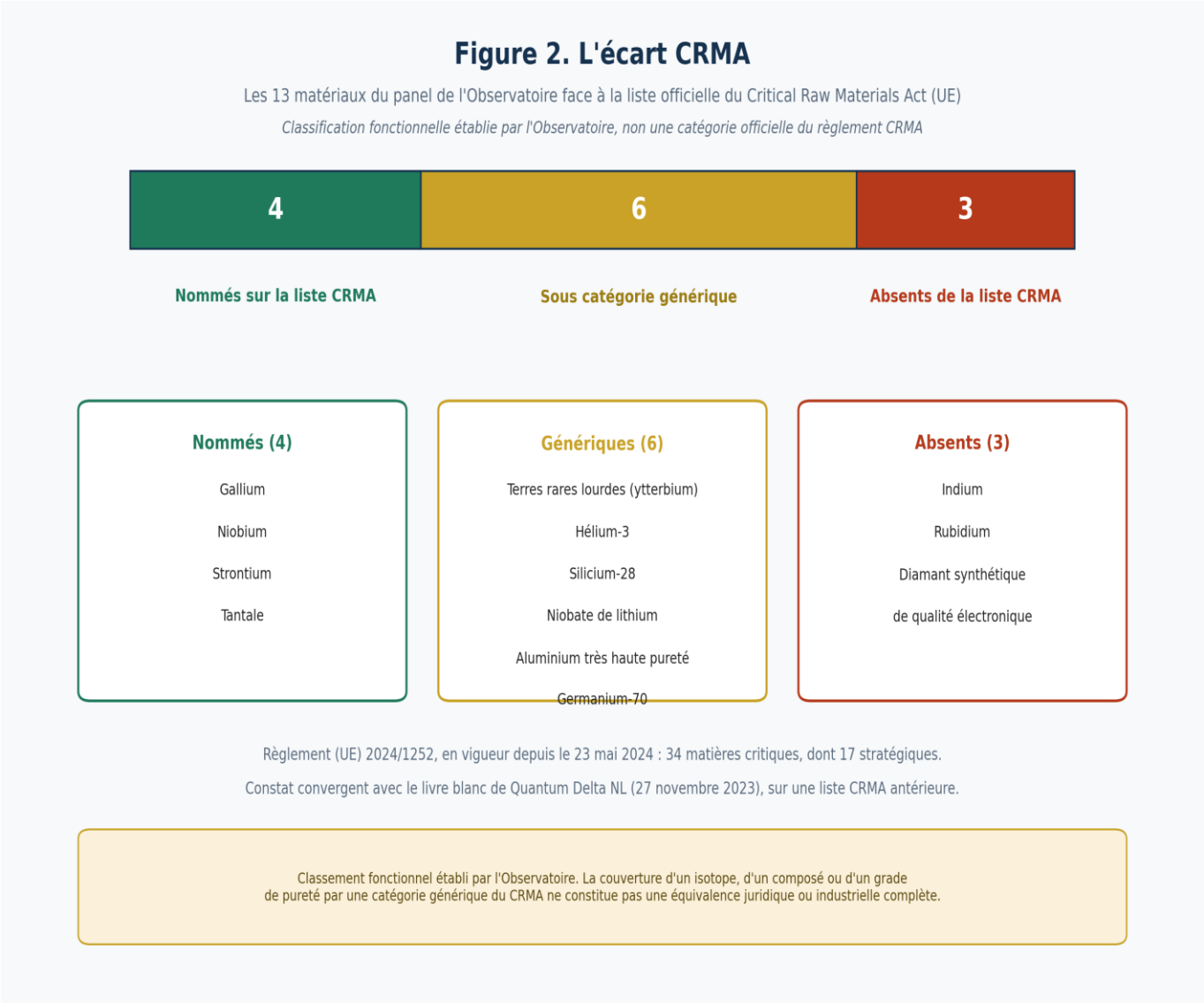
vigueur le 23 mai 2024, disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj/fra>, consulté le 25 juillet 2026.

¹⁹ *Quantum Delta NL*, livre blanc sur les matières premières critiques et les technologies quantiques, livre blanc, 27 novembre 2023, disponible à l'adresse : <https://assets.quantum-delta.prod.verveagency.com/assets/white-paper-crms-for-qt.pdf>, consulté le 25 juillet 2026.

²⁰ Commission européenne, « A Quantum Europe Strategy », communication, COM(2025) 363, 2 juillet 2025, disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52025DC0363>, consultée le 25 juillet 2026 ; Commission européenne, One Europe, One Market Roadmap, rubrique « Quantum Act », mise à jour le 20 juillet 2026.

²¹ Conseil de l'Union européenne / EuroHPC Joint Undertaking, modification du règlement EuroHPC intégrant un pilier consacré aux technologies quantiques, règlement modificatif, entrée en vigueur le 20 janvier 2026, disponible à l'adresse : https://eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-jus-mandate-expanded-under-new-regulation-amendment-2026-01-20_en, consulté le 25 juillet 2026.

en janvier 2026 afin d'y intégrer un pilier consacré aux technologies quantiques. La recherche documentaire conduite par l'Observatoire-quantique, arrêtée au 23 juillet 2026 et portant sur EUR-Lex, les publications de la Commission européenne, de l'OCDE, de l'Office européen des brevets, du CEN-CENELEC, de l'ISO et de Quantum Delta NL, n'a pas identifié de taxonomie européenne publique reliant de manière systématique la liste du CRMA aux grades, aux isotopes, aux composants et aux architectures de qubits.



Mécanisme n° 2: la dépendance par l'accès technologique

Un acteur dépourvu de chaîne matérielle propre peut demeurer compétitif s'il maîtrise son infrastructure. Lorsqu'il ne possède ni l'une ni l'autre, sa dépendance se déplace vers l'accès loué ou concédé sous licence à la puissance de calcul d'un tiers. IBM

indique que son *Quantum Network* réunit plus de trois cents organisations, lesquelles accèdent à distance à ses systèmes. En septembre 2025, HSBC a présenté un essai de trading algorithmique obligataire hybride, classique et quantique, réalisé sur le marché européen des obligations d'entreprise au moyen de ressources IBM accessibles par le cloud²². Cet exemple établit la réalité opérationnelle du modèle, sans permettre à lui seul d'en mesurer la dépendance économique à long terme.

Cette seconde dépendance demeure un sujet ouvert dans la littérature académique et institutionnelle. Le *Congressional Research Service*, l'OCDE et plusieurs travaux de droit international interrogent la souveraineté des données, la compétence juridictionnelle et la continuité d'accès lorsqu'un calcul est exécuté sur une infrastructure quantique étrangère²³. Le risque dépend toutefois des données effectivement transmises, de leur localisation, du contrat, de l'architecture de service et des lois applicables.

IBM a ouvert son premier centre de données quantique européen à Ehningen, en Allemagne, le 1er octobre 2024²⁴. L'entreprise présente cette implantation comme un moyen de rapprocher les systèmes des utilisateurs européens et de favoriser la localisation régionale des données et la conformité réglementaire. Elle ne garantit pas, par elle-même, une souveraineté complète, l'analyse doit encore porter sur les flux de données, les métadonnées, le support, les droits d'audit, la réversibilité et la loi applicable au contrat.

Le rapport de force juridique: l'extraterritorialité, le contrôle des exportations et les instruments européens

Les États-Unis et la Chine disposent désormais d'instruments capables d'affecter une chaîne de valeur au-delà de leur territoire. Leur comparaison est éclairante, mais ils ne sauraient être qualifiés de juridiquement identiques, leurs fondements, leurs seuils, leurs procédures de licence et leurs mécanismes d'exécution diffèrent.

²² HSBC, « HSBC demonstrates world's first known quantum-enabled algorithmic trading with IBM », communiqué de presse, 25 septembre 2025, disponible à l'adresse : <https://www.hsbc.com/news-and-views/news/media-releases/2025/hsbc-demonstrates-worlds-first-known-quantum-enabled-algorithmic-trading-with-ibm>, consulté le 25 juillet 2026.

²³ Congressional Research Service, « Quantum Computing : Concepts, Current State, and Considerations for Congress », rapport, R47685, disponible à l'adresse : <https://www.congress.gov/crs-product/R47685>, consulté le 25 juillet 2026 ; OCDE, panorama des politiques publiques quantiques (référence générale, sans URL stable identifiée à ce jour) ; *NYU Journal of International Law and Politics*, travaux sur la souveraineté des données et l'informatique quantique en nuage (référence générale, sans URL stable identifiée à ce jour).

²⁴ IBM, « First IBM Quantum Data Center in Europe Opens; Will Include IBM's Most Performant Quantum Systems », IBM Newsroom, 1er octobre 2024, disponible à l'adresse : <https://newsroom.ibm.com/2024-10-01-first-ibm-quantum-data-center-in-europe-opens-will-include-ibms-most-performant-quantum-systems>, consulté le 25 juillet 2026.

Le dispositif américain. La *Foreign Direct Product Rule* (FDPR) une famille de règles du droit américain des exportations qui permet, dans des hypothèses déterminées, de soumettre à l'*Export Administration Regulations* (EAR) certains biens produits hors des États-Unis à partir de technologies ou d'équipements américains. Le règlement du *Bureau of Industry and Security* publié le 6 septembre 2024²⁵ n'a pas étendu de manière générale la FDPR au calcul quantique, mais il a créé de nouvelles classifications l'*Export Control Classification Number* (ECCN) et des exigences de licence coordonnées avec plusieurs partenaires. Il a également instauré, pour certaines technologies et certains logiciels quantiques, un rapport annuel concernant des transferts réputés être des exportations vers des ressortissants de pays des groupes D:1 ou D:5 bénéficiant de la *Quantum General License*. L'obligation ne vise donc ni toute technologie quantique ni tout ressortissant étranger.

Le régime de sanctions américain. Ce dispositif de contrôle des exportations est distinct du régime américain de sanctions économiques, fondé sur l'*International Emergency Economic Powers Act* (IEEPA) et administré par l'*Office of Foreign Assets Control* (OFAC) du Département du Trésor, qui peut produire des effets extraterritoriaux par le biais de sanctions dites secondaires visant des personnes non américaines; aucune sanction OFAC spécifiquement dirigée contre la chaîne d'approvisionnement quantique n'a toutefois été identifiée dans les sources examinées.²⁶

Le dispositif chinois. La loi chinoise sur le contrôle des exportations, entrée en vigueur le 1er décembre 2020, prévoit à son article 44²⁷ la possibilité de mesures contre les actes accomplis à l'étranger qui compromettent la sécurité nationale ou entravent l'exécution de la loi. L'arsenal a été complété par les contrôles sur les technologies d'extraction et de séparation des terres rares de décembre 2023, puis par les licences visant sept éléments de terres rares à compter du 4 avril 2025. Les annonces n° 61 et n° 62 du 9 octobre 2025 ont introduit²⁸ des mécanismes de portée

²⁵ U.S. 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 », règle fédérale, 89 Federal Register 72926, 6 septembre 2024, disponible à l'adresse : <https://www.federalregister.gov/documents/2024/09/06/2024-19633/commerce-control-list-additions-and-revisions-implementation-of-controls-on-advanced-technologies>, consulté le 25 juillet 2026 ; Export Administration Regulations, 15 C.F.R. § 743.6. Le texte crée des ECCN et un rapport ciblé lié à la Quantum General License ; il ne constitue pas une extension générale de la FDPR à tout calcul quantique.

²⁶ U.S. Department of the Treasury, *Office of Foreign Assets Control*, cadre général des programmes de sanctions économiques fondés sur l'*International Emergency Economic Powers Act* (IEEPA), page dédiée, disponible à l'adresse : <https://ofac.treasury.gov/faqs/search>, consultée le 25 juillet 2026 ; Congressional Research Service, « Enforcement of Economic Sanctions: An Overview », rapport, IF12063, disponible à l'adresse : <https://www.congress.gov/crs-product/IF12063>, consulté le 25 juillet 2026. Ce régime de sanctions, y compris ses effets extraterritoriaux dits « secondaires », est distinct du contrôle des exportations (EAR/FDPR) et n'est pas spécifique au calcul quantique.

²⁷ Comité permanent de l'Assemblée populaire nationale de la République populaire de Chine, loi sur le contrôle des exportations, loi, adoptée le 17 octobre 2020, entrée en vigueur le 1^{er} décembre 2020, article 44, disponible à l'adresse : https://www.mofcom.gov.cn/zfxgk/gkml/art/2020/art_76b5fa416a4c42afa8af295eeffdfc.html, consultée le 25 juillet 2026.

²⁸ Ministère chinois du Commerce, annonce n° 61 du 9 octobre 2025 (objets liés aux terres rares), disponible à l'adresse : https://www.mofcom.gov.cn/zwgk/zcfb/art/2025/art_7fc9bff0fb4546ecb02f66ee77d0e5f6.html, consultée le 25 juillet 2026 ; annonce n° 62 du 9 octobre 2025 (technologies liées aux terres rares), disponible à l'adresse : https://www.mofcom.gov.cn/zwgk/zcfb/art/2025/art_6cb42957741440c6984de696b70df9ae.html, consultée le 25 juillet 2026, et suspension annoncée jusqu'au 10 novembre 2026.

extraterritoriale inspirés, dans leur effet, des règles américaines; leur application a toutefois été suspendue jusqu'au 10 novembre 2026. Cette suspension ne doit pas être confondue avec l'inscription, le même jour, de quatorze entités sur la liste des entités non fiables. Enfin, le décret n° 834, promulgué le 31 mars 2026 et publié le 7 avril, organise la sécurité des chaînes industrielles. Le décret n° 835, promulgué le 7 avril et rendu public le 13 avril, encadre les contre-mesures face à certaines applications extraterritoriales étrangères²⁹. Ces textes sont transversaux et ne constituent pas, à eux seuls, une réglementation propre au quantique.

Le régime de sanctions chinois. Ce dispositif de contrôle des exportations est également distinct de la loi chinoise de lutte contre les sanctions étrangères, adoptée le 10 juin 2021, qui autorise la Chine à prendre des contre-mesures visant des personnes physiques ou morales étrangères participant à des mesures jugées discriminatoires à son égard. L'ampleur du risque associé est illustrée par le précédent de février 2023: le ministère chinois du Commerce a inscrit Lockheed Martin et une filiale de Raytheon Technologies sur la liste des entités non fiables et leur a infligé une amende fixée au double de la valeur de leurs ventes d'armes à Taïwan depuis 2020, sans en préciser le montant exact; la vente la plus récente, approuvée par les autorités américaines en février 2022, portait sur environ 100 millions de dollars. Ce régime, comme le dispositif américain de sanctions, n'est pas spécifique au calcul quantique.³⁰

Les effets physiques de ces licences sont observables. Les données douanières chinoises montrent que les exportations de plusieurs terres rares contrôlées vers le Japon se sont fortement contractées à partir de la fin de 2025. En juin 2026, aucune exportation chinoise de gallium, de dysprosium, de terbium et d'yttrium vers le Japon n'a été enregistrée³¹. L'interprétation causale exige néanmoins de distinguer refus de licence, lenteur administrative, choix commercial et mesure de rétorsion.

Les instruments européens. Le règlement (CE) n° 2271/96, dit statut de blocage, interdit aux opérateurs européens de se conformer à certaines sanctions extraterritoriales expressément inscrites dans son annexe et ouvre un droit à réparation. Son champ n'est donc pas général. Le règlement (UE) 2023/2675 établit

²⁹ Conseil des affaires d'État chinois, décret n° 834, règlement relatif à la sécurité des chaînes industrielles et d'approvisionnement, promulgué le 31 mars 2026, disponible à l'adresse : https://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/202604/t20260408_1148459.shtml, consulté le 25 juillet 2026 ; décret n° 835 relatif aux contre-mesures face à certaines applications extraterritoriales étrangères, promulgué le 7 avril 2026 et annoncé le 13 avril 2026 (texte officiel non retrouvé à une adresse stable distincte à la date de rédaction ; commenté par plusieurs cabinets d'avocats internationaux).

³⁰ Comité permanent de l'Assemblée populaire nationale de la République populaire de Chine, loi de lutte contre les sanctions étrangères (反外国制裁法), loi, adoptée et entrée en vigueur le 10 juin 2021, disponible à l'adresse : http://www.npc.gov.cn/npc/c2/c30834/202106/t20210610_311892.html, consultée le 25 juillet 2026 ; CNBC, « China sanctions Lockheed Martin, Raytheon for selling weapons to Taiwan », article de presse, 16 février 2023, disponible à l'adresse : <https://www.cnbc.com/2023/02/16/china-sanctions-lockheed-martin-raytheon-for-selling-weapons-to-taiwan.html>, consulté le 25 juillet 2026. Cette loi, distincte de la loi sur le contrôle des exportations, n'est pas spécifique au calcul quantique.

³¹ Administration générale des douanes de Chine, données de commerce extérieur, juin 2026 ; Reuters, « China's heavy rare earth tap stays closed for Japan in June », dépêche reprise, 20 juillet 2026, disponible à l'adresse : <https://money.usnews.com/investing/news/articles/2026-07-20/chinas-heavy-rare-earth-tap-stays-closed-for-japan-in-june>, consultée le 25 juillet 2026.

un instrument anti-coercition permettant à l'Union d'adopter, sous conditions, des mesures de réponse à une coercition économique exercée par un pays tiers³². Le RGPD ajoute un régime extraterritorial de protection des données, mais il ne constitue pas un instrument de contrôle des matières premières. Surtout, le règlement délégué (UE) 2025/2003, entré en vigueur le 15 novembre 2025³³, et a inscrit certains ordinateurs quantiques et équipements associés à l'annexe I du règlement (UE) 2021/821 sur les biens à double usage. Cette harmonisation européenne a conduit la France à abroger, avec effet au 27 avril 2026³⁴, son contrôle national redondant sur les ordinateurs quantiques. Ces instruments sont complémentaires, mais leurs objets juridiques ne sont pas interchangeables.

Le levier français. Le contrôle des investissements étrangers complète ce dispositif. Il repose notamment sur les articles L. 151-3 et R. 151-1 et suivants du code monétaire et financier, remaniés par le décret n° 2019-1590 du 31 décembre 2019³⁵. L'autorisation préalable dépend de la qualité d'investisseur étranger, de la nature de l'opération et de l'exercice d'une activité sensible. L'acquisition du contrôle ou d'une branche d'activité peut concerner un investisseur européen ou non européen. En revanche, les seuils de 25 % des droits de vote, et de 10 % dans une société cotée, ne s'appliquent qu'aux investisseurs situés hors de l'Union européenne et de l'Espace économique européen. Les activités de recherche et développement portant sur les technologies quantiques peuvent relever des secteurs sensibles. La procédure se déroule en deux phases dont la durée maximale cumulée est de soixante-quinze jours ouvrés. En 2024, 392 dossiers ont été déposés, 182 autorisations ont été délivrées et 54 % d'entre elles ont été assorties de conditions³⁶.

Aucun instrument russe spécifiquement conçu pour projeter un contrôle extraterritorial sur la chaîne matérielle quantique n'a été identifié dans les sources examinées. Cette formulation doit rester circonscrite. Néanmoins la Russie dispose par ailleurs de

³² Parlement européen et Conseil, Règlement (UE) 2023/2675 du 22 novembre 2023 relatif à la protection de l'Union et de ses États membres contre la coercition économique exercée par des pays tiers, règlement, en vigueur depuis le 27 décembre 2023, disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2675/oj/fra>, consulté le 25 juillet 2026.

³³ Commission européenne, Règlement délégué (UE) 2025/2003 du 8 septembre 2025 modifiant l'annexe I du règlement (UE) 2021/821, règlement délégué, entré en vigueur le 15 novembre 2025, disponible à l'adresse : https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2025/2003/oj/fra, consulté le 25 juillet 2026.

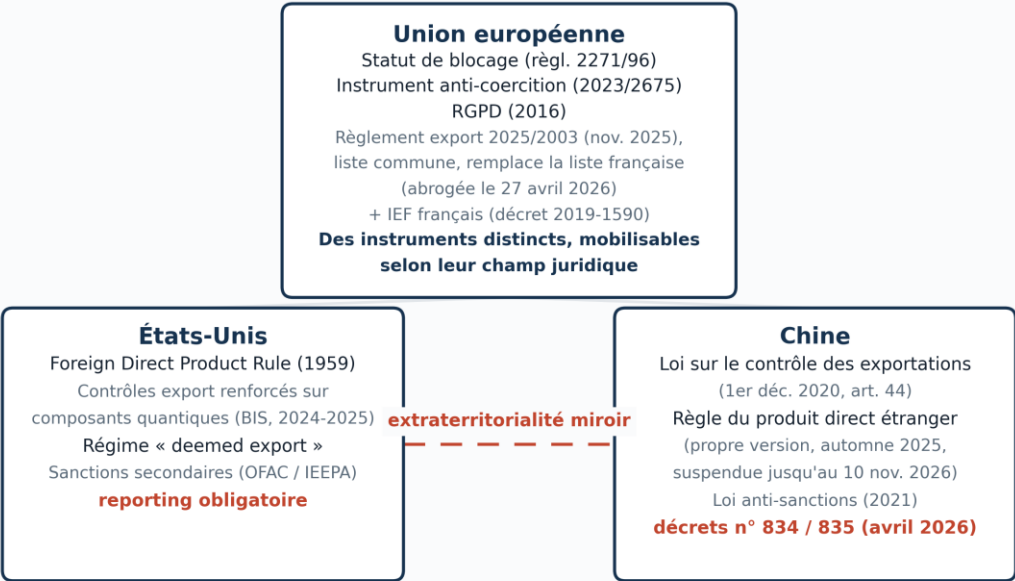
³⁴ République française, arrêté du 10 mars 2026 portant abrogation de l'arrêté du 2 février 2024 relatif aux exportations vers les États non membres de l'Union européenne de biens et technologies associés à l'ordinateur quantique, arrêté, JORF du 26 avril 2026, entrée en vigueur le 27 avril 2026, disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000053958746>, consulté le 25 juillet 2026.

³⁵ République française, Décret n° 2019-1590 du 31 décembre 2019 relatif aux investissements étrangers en France, décret, disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000039727443/>, consulté le 25 juillet 2026 ; Direction générale du Trésor, bilan annuel du contrôle des investissements étrangers en France au titre de 2024, rapport, 30 juillet 2025, disponible à l'adresse : <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2025/07/30/publication-du-rapport-annuel-sur-le-controle-ief-en-2024>, consulté le 25 juillet 2026.

³⁶ République française, Code monétaire et financier, article R. 151-2, version en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2024, disponible à l'adresse : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072026/LEGISCTA000006140476/, consultée le 25 juillet 2026 ; Direction générale du Trésor, « Rapport annuel sur le contrôle des investissements étrangers en France en 2024 », rapport, 30 juillet 2025, disponible à l'adresse : <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2025/07/30/publication-du-rapport-annuel-sur-le-controle-ief-en-2024>, consulté le 25 juillet 2026.

mécanismes généraux de sanctions, de contre-mesures et de contrôle des exportations.

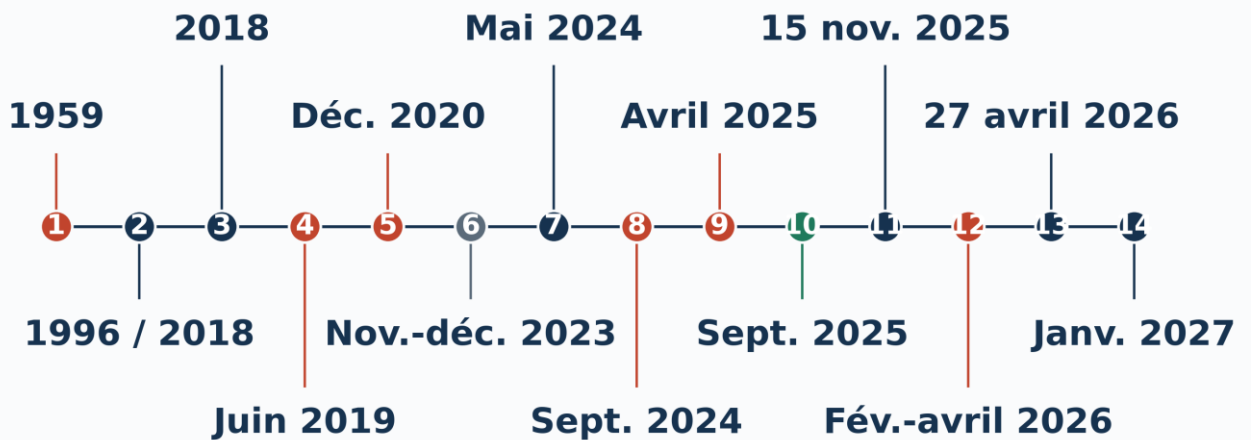
Figure 3. Trois régimes de puissance juridique : Union européenne, États-Unis et Chine
Instruments de contrôle extraterritorial sur la chaîne de matériaux quantiques



La Russie n'a pas été identifiée comme disposant d'un outil offensif équivalent projeté vers des pays tiers.

Figure 4. Frise de l'extraterritorialité, 1959-2027

Échelle non linéaire -- le détail de chaque jalon numéroté figure dans la liste sous la figure



Légende couleur: Union européenne / France | États-Unis / Chine (extraterritorialité)
| Acteur privé | Repère analytique

1. **1959.** FDPR créée (US)
2. **1996 / 2018.** Statut de blocage UE, réactivé
3. **2018.** RGPD (UE)
4. **Juin 2019.** Tanco racheté par Sinomine
5. **Déc. 2020.** Loi chinoise sur le contrôle des exportations
6. **Nov.-déc. 2023.** Livre blanc *Quantum Delta NL*, instrument anti-coercition UE
7. **Mai 2024.** CRMA en vigueur (UE)
8. **Sept. 2024.** Contrôles export renforcés sur le quantique (US, BIS)
9. **Avril 2025.** Régime de licences, terres rares (Chine)
10. **Sept. 2025.** Essai HSBC de trading assisté quantique
11. **15 nov. 2025.** Contrôle export UE quantique (règl. 2025/2003)
12. **Fév.-avril 2026.** *Critical Minerals Ministerial*, décrets n° 834/835 (Chine)
13. **27 avril 2026.** Abrogation liste française (régime UE seul)
14. **Janv. 2027.** Restrictions DoD sur aimants, tantale, tungstène (Chine, Russie, Iran, Corée du Nord)

Des régimes juridiques distincts au sein d'une même chaîne de dépendance

Le premier ensemble, qualifié ici d'occidental par commodité stratégique et non par géographie, se structure autour d'alliances, de partenariats scientifiques et d'une coordination croissante des contrôles. La lettre d'intention entre l'Union européenne et le Japon sur les sciences et technologies quantiques a été signée le 13 mai 2025³⁷. Le partenariat scientifique américano-japonais d'un milliard de dollars, annoncé le 4 juin 2026 dans le cadre de la *Genesis Mission*, couvre plusieurs domaines, dont les sciences de l'information quantique, la fusion, les biotechnologies et les matériaux avancés³⁸. Le Japon appartient en outre au Quad et demeure lié aux États-Unis par le traité de 1960³⁹. Ces éléments décrivent un rapprochement stratégique, non un bloc juridique homogène.

Le rapprochement sino-russe repose notamment sur des complémentarités industrielles. La filiale *Electrochemical Plant* de *Rosatom* est un fournisseur important d'isotopes stables sur le marché mondial, mais sa part de marché actuelle n'est pas établie par les sources publiques disponibles⁴⁰. En avril 2026, le groupe a annoncé des accords destinés à accroître certaines livraisons à la Chine⁴¹. Une dépêche a cité le germanium-72, l'hélium-3 et du « silicium-78⁴² ». Cette dernière désignation est scientifiquement incohérente pour un produit stable et ne doit pas être confondue avec le silicium-28 de qualité quantique. L'annonce établit donc une expansion de flux déterminés, non une réorientation générale des exportations ni un approvisionnement avéré du panel de l'Observatoire-quantique.

³⁷ Commission européenne et Cabinet Office du Japon, lettre d'intention sur la coopération en sciences et technologies quantiques, lettre d'intention, signée le 13 mai 2025, disponible à l'adresse : https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/20250513ryoshi_en.html, consultée le 25 juillet 2026.

³⁸ U.S. Department of Energy, « United States and Japan Announce Historic \$1 Billion Partnership Under President Trump's Genesis Mission », communiqué de presse, 4 juin 2026, disponible à l'adresse : <https://www.energy.gov/articles/united-states-and-japan-announce-historic-1-billion-partnership-under-president-trumps>, consulté le 25 juillet 2026. Ce partenariat concerne conjointement le calcul quantique, la fusion, la biotechnologie, les matériaux avancés et la physique des particules : il n'est pas exclusivement dédié au quantique.

³⁹ États-Unis et Japon, Traité de coopération mutuelle et de sécurité entre les États-Unis et le Japon, traité, signé le 19 janvier 1960, entré en vigueur le 23 juin 1960, 11 U.S.T. 1632, T.I.A.S. n° 4509, disponible à l'adresse : <https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/Volume%20373/volume-373-I-5321-English.pdf>, consulté le 25 juillet 2026.

⁴⁰ *World Nuclear News*, « Electrochemical Plant's revenue from stable isotopes rises by 14% », article, 30 septembre 2021 (données relatives à l'exercice 2020), disponible à l'adresse : <https://world-nuclear-news.org/Articles/Rosatom-revenue-from-stable-isotopes-rises-by-14>, consultée le 25 juillet 2026 — donnée historique, non représentative de la part de marché mondiale actuelle.

⁴¹ Rosatom / Atom Media, annonce relative à l'accroissement de certaines livraisons d'isotopes stables (silicium-78, germanium-72, hélium-3) à des partenaires chinois, communiqué, 22 avril 2026, disponible à l'adresse : <https://www1.ru/en/news/2026/04/22/rosatom-narashchivaet-eksport-redkikh-izotopov-dlia-chipov-v-kitai-kremnii-78-germanii-72-i-gelii-3-otpraviatsia-v-podnebesnuu.html>, consulté le 25 juillet 2026. Cette annonce ne démontre ni une réorientation générale des exportations russes ni l'affectation de ces produits à des usages quantiques.

⁴² Rosatom, Atom Media, « Rosatom presented isotope products at an international exhibition in China », communiqué de presse, 22 avril 2026, disponible à l'adresse : <https://www.rosatom.ru/en/press-centre/news/rosatom-took-part-in-the-xiv-china-international-exhibition-on-nuclear-power-industry-cienpi/>, consulté le 25 juillet 2026.

Les puissances intermédiaires conservent des marges de manœuvre en multipliant les partenariats. En Inde, la *task force* constituée dans le cadre de la *National Quantum Mission* a publié, le 5 février 2026⁴³, un projet de rapport sur la mise en œuvre d'un écosystème résistant au quantique et l'a soumis à consultation publique. Ce document constitue une feuille de route recommandée, non une obligation réglementaire générale déjà entrée en vigueur.

Signal à faible niveau de confiance. L'Iran illustre enfin la distinction entre ressource géologique et capacité industrielle. Dans la province de Yazd, des sources iraniennes font état d'environ 125 millions de tonnes de minerai fer-apatite et d'une installation pilote de traitement de la monazite présentée en avril 2025⁴⁴. Ces données, issues principalement de communications officielles iraniennes, appellent une corroboration indépendante avant d'être traitées comme des capacités industrielles établies et ne doivent pas être placées au même niveau probatoire que les règlements européens ou les données de l'*U.S. Geological Survey* (USGS) citées ailleurs dans ce document. Aux États-Unis, 10 U.S.C. § 4872 et la clause DFARS 252.225-7052 étendent, à compter du 1er janvier 2027, les restrictions applicables à certains aimants, produits au tantale et produits au tungstène provenant de Chine, de Russie, d'Iran ou de Corée du Nord, sur une partie accrue de la chaîne d'approvisionnement⁴⁵. Un décret présidentiel du 20 juillet 2026 a en outre durci⁴⁶, à compter du 1er janvier 2027, les conditions d'octroi de dérogations. Il ne s'agit donc pas d'une interdiction générale de tous les matériaux de terres rares.

⁴³ *Department of Science and Technology, Government of India*, « Report on Implementation of Quantum Safe Ecosystem in India », rapport de la task force, 4 février 2026, disponible à l'adresse : [https://dst.gov.in/sites/default/files/Report_TaskForce_PQMigration_4Feb26%20\(v1\).pdf](https://dst.gov.in/sites/default/files/Report_TaskForce_PQMigration_4Feb26%20(v1).pdf), consulté le 25 juillet 2026, soumis à consultation publique jusqu'au 19 février 2026.

⁴⁴ Données géologiques sur les gisements iraniens de Chah-e Mir et Gazestan (province du Yazd, district de Bâfq), estimés à environ 125 millions de tonnes de minerai fer-apatite ; ouverture d'une usine de traitement de la monazite près de Téhéran, avril 2025, selon *PressTV*, « Iran's new milestone in production of rare earth elements », média d'État iranien, 20 avril 2025, disponible à l'adresse : <https://www.globalsecurity.org/wmd/library/news/iran/2025/iran-250420-presstv04.htm>, consulté le 25 juillet 2026. Il s'agit d'une source officielle iranienne unique, non recoupée par une source indépendante ou une agence de statistiques minières tierce à la date de rédaction ; ces éléments sont rapportés ici comme un signal à faible niveau de confiance, à confirmer.

⁴⁵ U.S. Department of Defense, 48 C.F.R. § 252.225-7052, « Restriction on the Acquisition of Certain Magnets, Tantalum, and Tungsten », règlement, disponible à l'adresse : <https://www.ecfr.gov/current/title-48/chapter-2/subchapter-H/part-252/subpart-252.2/section-252.225-7052>, consulté le 25 juillet 2026. L'interdiction vise des catégories désignées de matériaux et d'aimants (dont les aimants néodyme-fer-bore) d'origine chinoise, russe, iranienne et nord-coréenne dans la chaîne d'approvisionnement de la défense, à compter du 1^{er} janvier 2027.

⁴⁶ The White House, « Securing America's Defense Supply Chains and Ensuring Domestic Acquisition of Critical Materials », executive order n° 14415, 20 juillet 2026, disponible à l'adresse : <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2026/07/securing-americas-defense-supply-chains-and-ensuring-domestic-acquisition-of-critical-materials/>, consulté le 25 juillet 2026 ; *Federal Register*, 2026-15003, 23 juillet 2026, disponible à l'adresse : <https://www.federalregister.gov/documents/2026/07/23/2026-15003/securing-americas-defense-supply-chains-and-ensuring-domestic-acquisition-of-critical-materials>, consulté le 25 juillet 2026 ; 10 U.S.C. § 4872 ; Defense Federal Acquisition Regulation Supplement, clause 252.225-7052. Les restrictions visent des catégories déterminées de produits et d'aimants, et non l'ensemble des terres rares sans distinction.

Ce que révèle l'analyse

Cette cartographie ne vise pas à désigner des États perdants, mais à définir un profil de dépendance reproductible. Un acteur cumule une vulnérabilité élevée lorsqu'il ne maîtrise ni ses approvisionnements critiques, ni une infrastructure de calcul, ni des instruments juridiques ou contractuels de protection et de réversibilité.

L'analyse doit également prévenir le risque inverse attribué à une exposition quantique, à une entreprise en raison de son seul vocabulaire commercial. *Quantum Critical Metals Corp.* (TSX.V:LEAP = bourse canadienne) est une société d'exploration de rubidium, de gallium et de césium au Québec, sa communication relie ces minerais à des usages technologiques, sans que son activité soit celle d'un opérateur de calcul quantique⁴⁷. L'Observatoire-quantique emploie ici l'expression « *quantum-washing* » comme catégorie d'analyse de la communication, non comme qualification juridique d'une pratique trompeuse. Son emploi doit reposer sur des critères explicites et contradictoires.

Solutions, par nature

Ce document propose des leviers complémentaires plutôt qu'une solution unique.

Solutions industrielles:

- diversifier les fournisseurs au-delà des points de passage identifiés;
- constituer des réserves stratégiques ciblées, proportionnées aux délais de substitution;
- développer des capacités de séparation et de raffinage domestiques ou alliées.

Lynas Rare Earths a produit en Malaisie, en mai 2025, du dysprosium séparé à l'échelle commerciale hors de Chine⁴⁸. *Energy Fuels* a produit du dysprosium à l'échelle pilote en 2025, puis a annoncé, en mars 2026, la production d'un premier kilogramme d'oxyde de terbium d'une pureté de 99,9 % à son usine de White Mesa, dans l'Utah⁴⁹. *MP Materials* annonçait viser le démarrage de la mise en service de son

⁴⁷ *Quantum Critical Metals Corp.* (TSX.V : LEAP), communications corporatives relatives au projet NMX East, Québec, disponible à l'adresse : <https://www.quantumcriticalmetals.com/blogs/news/quantum-critical-metals-completes-site-visit-at-nmx-east-quebec>, consulté le 25 juillet 2026.

⁴⁸ *Lynas Rare Earths*, annonce de première production commerciale d'oxyde de dysprosium hors de Chine, usine de Malaisie, 16 mai 2025, couverture de l'annonce disponible à l'adresse : <https://www.miningweekly.com/article/lynas-begins-first-heavy-rare-earth-output-outside-china-2025-05-16>, consultée le 25 juillet 2026 ; portail officiel des annonces à la Bourse australienne : <https://lynasrareearths.com/investors-media/asx-announcements/>.

⁴⁹ *Energy Fuels*, « Energy Fuels Announces First U.S. Primary Production of Critical Heavy Rare Earth Material in Decades », communiqué, usine de White Mesa (Utah), 25 mars 2026, disponible à l'adresse :

unité de séparation des terres rares lourdes à partir du milieu de 2026. La réalisation effective de ce calendrier n'était pas confirmée par une source publique plus récente à la date d'arrêté du rapport⁵⁰, tandis qu'*Iluka* programme la mise en service de la raffinerie d'Eneabba en 2027⁵¹. Ces projets réduisent la dépendance sans l'effacer. Leurs calendriers, leurs volumes, leurs rendements et leurs approvisionnements en concentrés doivent être suivis séparément.

Solutions réglementaires:

Nous proposons une taxonomie européenne des dépendances quantiques organisée en trois couches. La couche matérielle qualifie chaque intrant selon son usage quantique, son traitement dans le CRMA, ses exigences de qualité et la concentration de sa production, de sa transformation et de son contrôle capitalistique. La couche technologique mesure le degré d'autonomie de calcul, la réversibilité et la dépendance à la pile logicielle. La couche juridique évalue l'exposition aux régimes de contrôle des exportations, aux lois extraterritoriales, aux règles de données et aux mécanismes de filtrage des investissements. Cette structure ne divulgue pas la pondération de l'ICV, mais elle rend ses catégories intelligibles et auditable.

- proposer une annexe technique quantique au *Critical Raw Materials Act*, précisant les grades, isotopes et seuils de pureté pertinents pour les architectures de qubits;
- créer un mécanisme européen de suivi des grades, isotopes et capacités de purification, distinct du suivi générique des matières premières;
- introduire des clauses minimales de réversibilité et de portabilité dans les contrats de cloud quantique;
- constituer un registre européen des dépendances critiques organisé par architecture de qubit;
- coordonner le contrôle des exportations, le filtrage des investissements et le financement public autour d'un même référentiel de criticité;
- prévoir un mécanisme d'actualisation annuelle de la taxonomie, afin de suivre l'évolution des architectures et des chaînes d'approvisionnement.

Solutions diplomatiques:

<https://investors.energyfuels.com/2026-03-25-Energy-Fuels-Announces-First-U-S-Primary-Production-of-Critical-Heavy-Rare-Earth-Material-in-Decades>, consulté le 25 juillet 2026.

⁵⁰ *MP Materials*, plans de mise en service d'une capacité de séparation de terres rares lourdes (dysprosium/terbium) à Mountain Pass (Californie), avec le soutien du Department of Defense, communiqué, disponible à l'adresse : <https://mpmaterials.com/news/mp-materials-announces-transformational-public-private-partnership-with-the-department-of-defense-to-accelerate-u-s-rare-earth-magnet-independence/>, consulté le 25 juillet 2026, mise en service prévue mi-2026.

⁵¹ *Iluka Resources*, projet de raffinerie de terres rares d'Eneabba (Australie-Occidentale), mise à jour de financement et d'échéancier, 6 décembre 2024, disponible à l'adresse : <https://www.iluka.com/media/qx4hjxxd/6dec24-eneabba-rare-earths-positive-outcome-of-funding-discussions-and-updated-economics-presentation.pdf>, consulté le 25 juillet 2026, mise en service désormais prévue en 2027.

- conclure des accords d'approvisionnement bilatéraux assortis de clauses de diversification et de transparence;
- organiser un dialogue structuré avec les États qui contrôlent un point de passage sans disposer d'une industrie quantique intégrée.

Solutions capitalistiques:

- créer des mécanismes de financement dédiés à la sécurisation de la chaîne de valeur quantique;
- ouvrir ces dispositifs aux investisseurs institutionnels européens selon des critères de sécurité économique explicites.

Conclusion: une possibilité d'initiative européenne

L'Union européenne ne maîtrise pas aujourd'hui l'ensemble des treize intrants étudiés, mais elle n'en est pas totalement dépourvue de production, de transformation ou de savoir-faire. Elle dispose surtout d'un ensemble d'instruments juridiques et industriels dont les finalités restent dispersées. Le règlement délégué (UE) 2025/2003 a déjà harmonisé le contrôle de certains équipements quantiques à double usage; le *Quantum Act*, annoncé pour 2026, n'avait pas encore fait l'objet d'une proposition publiée au 23 juillet⁵². Relier les architectures de qubits à leurs intrants, à leurs points de transformation et aux régimes juridiques applicables permettrait à l'Europe de définir la norme avant de subir la dépendance.

⁵² Commission européenne, « A Quantum Europe Strategy », communication, COM(2025) 363, 2 juillet 2025, disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52025DC0363>, consultée le 25 juillet 2026 ; Commission européenne, One Europe, One Market Roadmap, rubrique « Quantum Act », mise à jour le 20 juillet 2026.