Thales et le quantique

Par Patrice CAINE
Président-directeur général du Groupe Thales

Dans cet article, Patrice Caine revient sur la place singulière qu'occupe Thales dans la course aux technologies quantiques : grâce à son implication de longue date dans ce domaine, ses partenariats académiques structurants, et une expertise unique pour les cas d'usage de défense et d'aéronautique, le Groupe se positionne comme acteur clé pour transformer les promesses de la seconde révolution quantique en atouts pour l'autonomie stratégique française et européenne.

Introduction

Toutes les révolutions technologiques ne se ressemblent pas. Certaines surgissent brutalement et bouleversent les usages en quelques mois ; d'autres se déploient lentement, longtemps en marge de l'actualité, avant de transformer en profondeur nos sociétés. Alors que l'IA générative et les modèles de langage illustrent la première catégorie, les technologies quantiques appartiennent clairement à la seconde.

Plusieurs décennies ont été nécessaires entre la formalisation de la théorie quantique au début du XXe siècle et l'émergence de produits de rupture comme les transistors, les lasers ou les horloges atomiques. Ces briques élémentaires sous-tendent l'informatique moderne, les communications par fibre optique et les systèmes de positionnement par satellite. Il a fallu un long temps d'assimilation pour que les industriels s'approprient ce nouveau paradigme, en dégagent les implications concrètes, puis le traduisent en technologies fiables et industrialisables.

Un héritage industriel déjà quantique

Thales est l'un de ces acteurs industriels qui ont su inscrire le quantique au cœur de leur trajectoire technologique. L'histoire du Groupe est intimement liée à celle de la physique quantique appliquée.

Thales s'est, notamment, illustré dans la conception et la réalisation de circuits hyperfréquences à base de semi-conducteurs III-V. Cette technologie, très performante dans des conditions extrêmes, équipe aujourd'hui les radars militaires, ainsi que les détecteurs infrarouges utilisés par nos forces armées. Le Groupe a également contribué à la mise au point de lasers d'extrême puissance, d'horloges atomiques embarquées pour les systèmes de positionnement par satellite, ou encore de solutions d'imagerie par résonance magnétique.

Si Thales a su anticiper et accompagner ces transformations, c'est parce que le Groupe est en contact direct avec la science fondamentale. Depuis plus de quarante ans, il tisse des liens structurants avec le monde académique, au travers de partenariats stratégiques avec le CNRS, le CEA, l'École polytechnique, l'ENS, l'Université Paris-Saclay, l'Institut d'Optique, Télécom Paris, Sorbonne Université, sans oublier l'École des Mines, ainsi que plusieurs universités européennes.

En 1995, Thales, le CNRS et l'Université Paris-Saclay ont cofondé le laboratoire commun Albert-Fert, mondialement reconnu pour ses recherches dans le domaine du quantique et des matériaux avancés. En interne, Thales Research & Technology rassemble une centaine d'experts quantiques, à l'interface entre recherche et industrie. Une analyse de la revue *Nature*[1] a d'ailleurs positionné Thales comme l'industriel européen leader en nombre de publications en physique en 2025. Ce lien étroit avec la science irrigue l'ensemble de l'entreprise, nous a permis d'être au rendez-vous de la première révolution quantique, et nous a préparés, en amont, à l'avènement de la seconde.

Préparer la seconde révolution quantique

Depuis une vingtaine d'années, Thales investit résolument dans les technologies émergentes de la « seconde révolution quantique ». Celle-ci repose sur la maîtrise active des propriétés quantiques de la matière et de la lumière – en particulier, la superposition et l'intrication – pour développer de nouvelles générations de capteurs, de communications sécurisées et de calculateurs.

Les travaux pionniers des prix Nobel français Alain Aspect et Claude Cohen-Tannoudji, d'une part, et de Serge Haroche, d'autre part, dans les années 1980-1990, en ont établi les fondements expérimentaux. Restait aux industriels à convertir ces avancées en technologies robustes, intégrables dans des systèmes complexes, et à en assurer le passage à l'échelle.

[1] *Nature Index 2025.*

Sur ce chemin, Thales dispose d'atouts très importants :

- Une connaissance intime des cas d'usage dans les domaines de la défense, de l'aéronautique et du spatial.
- Une maîtrise des technologies habilitantes critiques – cryogénie, photonique, optique, lasers… –, indispensables à l'embarquabilité, la stabilité et à la fiabilité des dispositifs quantiques.
- Un savoir-faire dans la conduite de programmes de R&D de long terme, mobilisant sur plusieurs années industriels, laboratoires académiques et agences publiques.

Notre stratégie quantique se structure autour d'un triptyque : capteurs, communications, calcul. Au sein de cet ensemble, les capteurs occupent aujourd'hui une place centrale.

Les capteurs quantiques au cœur de la stratégie de Thales

Les capteurs quantiques promettent des gains de sensibilité et de précision spectaculaires, entre 10 et 1 000 fois supérieurs aux technologies actuelles. Pour les applications de défense, l'avantage opérationnel induit est potentiellement décisif : meilleures capacités de détection, de navigation, de surveillance ou de guerre électronique, y compris dans des environnements contestés ou dégradés.

Thales est déjà l'un des leaders européens des capteurs avancés. Il entend consolider cette position en développant des capteurs quantiques de nouvelle génération capables de répondre à des exigences fortes en matière de miniaturisation, d'embarquabilité et de frugalité énergétique. Les cas d'usage visés vont de la navigation autonome indépendante des systèmes de positionnement par satellite, à la détection de radiofréquences, en passant par la magnétométrie de haute sensibilité.

Parmi les technologies les plus prometteuses développées par la R&D de Thales, on peut citer :

- les filtres interférentiels quantiques supraconducteurs (SQIF) ;
- les centrales inertielles à atomes froids sur puce ;
- les diamants à centres NV.

Filtres interférentiels quantiques supraconducteurs (SQIF)

Les filtres interférentiels quantiques supraconducteurs – des circuits intégrés refroidis par cryostat – se caractérisent par une sensibilité extrême aux variations du champ magnétique.

Contrairement aux antennes classiques, leur dimensionnement est largement indépendant de la longueur d'onde du signal. Ils ouvrent ainsi des perspectives de miniaturisation substantielles : des surfaces de plusieurs mètres carrés pourraient être réduites à quelques centimètres carrés.

Ces capteurs présentent en outre une large bande passante naturelle, la détection du flux magnétique étant, par principe, indépendante de la fréquence. Un seul capteur miniature pourrait ainsi couvrir de nombreuses gammes de radiofréquences, là où des installations classiques nécessitent plusieurs antennes de tailles différentes.

Les gains opérationnels attendus sont majeurs : allongement des distances de détection, meilleure sensibilité aux signaux faibles ou furtifs ainsi qu'une compacité accrue permettant l'intégration sur des plateformes contraintes en volume et en masse.

Les antennes SQIF développées par Thales sont actuellement au stade de maquettes, et pourront bientôt faire l'objet d'essais en conditions réalistes.

Centrales inertielles à atomes froids

Parallèlement, Thales développe des centrales inertielles quantiques à atomes froids, qui exploitent le caractère ondulatoire des atomes pour réaliser des interférences et mesurer d'infimes variations de mouvement (rotations et accélérations). En théorie, cette technologie permettrait des mesures jusqu'à 10^{11} fois plus précises que celles obtenues avec des gyrolasers classiques.

Cet écart s'explique par la physique : les atomes ont une masse, contrairement aux photons, ce qui leur confère une énergie bien supérieure. L'interférométrie atomique bénéficie de ce surplus d'énergie pour accroître la sensibilité. En pratique, les contraintes de miniaturisation, de robustesse et d'embarquement limitent ce gain à un facteur compris entre 10 et 100, ce qui reste suffisant pour atteindre, voire dépasser, la précision des systèmes de navigation par satellite (GPS, Galileo, etc.).

Intégrées dans des avions, des sous-marins ou des drones, ces centrales inertielles quantiques offriraient une capacité de navigation autonome en cas de brouillage, de dégradation ou de destruction des satellites, et permettraient de réduire les vulnérabilités liées au besoin fréquent de recalage.

Thales travaille activement à la mise au point de ces systèmes à atomes froids : l'un des enjeux est aujourd'hui de miniaturiser en s'appuyant sur la photonique intégrée, pour contrôler les impulsions laser nécessaires au refroidissement des atomes et à l'interférométrie.

Centres NV du diamant

Enfin, Thales travaille sur les centres NV (azote-lacune) dans le diamant pour l'analyse de signaux radiofréquence, la magnétométrie et la navigation. Le diamant est réputé pour sa grande pureté cristalline, mais il est possible de créer des défauts contrôlés dans son réseau. En remplaçant un atome de carbone par un atome d'azote (N) et en créant une lacune (V) adjacente, on obtient un centre NV : un système quantique extrêmement sensible aux champs électro-magnétiques.

Très compacts, les capteurs développés par nos équipes pourraient, à terme, équiper des drones, des sous-marins ou des bouées de surveillance pour détecter des cibles furtives. Cette technologie présente l'avantage de fonctionner à température ambiante, sans dispositif de cryogénie ni refroidissement par laser, ce qui simplifie grandement l'intégration et réduit les coûts d'exploitation.

Des démonstrateurs compacts transportables pour l'analyse radiofréquence ont déjà été présentés à plusieurs salons internationaux. Par ailleurs, des explorations préliminaires sont en cours pour évaluer le potentiel des centres NV dans des applications de navigation.

Construire un réseau quantique européen

Au-delà des capteurs, Thales se positionne comme un acteur important des technologies de communication quantique, en particulier, les réseaux d'information quantique (QIN) et la distribution quantique de clés (QKD).

Le principe de la QKD consiste à encoder des clés de chiffrement – celles qui sécurisent nos communications – sur des bits quantiques (qubits) plutôt que sur des bits classiques, en utilisant par exemple la polarisation de photons comme support d'information. Toute mesure sur un qubit modifie irrémédiablement son état : toute tentative d'interception par un tiers est donc immédiatement détectable, ce qui ouvre la voie à des communications d'un niveau de sécurité inédit.

Les QIN prolongent la logique de la QKD en cherchant à interconnecter plusieurs nœuds quantiques (capteurs, calculateurs, répéteurs…) au sein d'une véritable « infrastructure réseau » capable, à terme, d'offrir toute une gamme de services quantiques distribués.

C'est dans ce contexte que Thales et ses partenaires académiques ont réalisé, dès 2012, des premiers liens terrestres de communication quantique en Autriche. Plus récemment, Thales Alenia Space a signé un accord de collaboration avec la start-up SpeQtral pour tester la transmission de photons intriqués par satellite entre l'espace et la Terre, avec l'objectif d'interconnecter des réseaux quantiques terrestres situés sur différents continents.

Étant donné les investissements nécessaires et les enjeux de souveraineté associés, ces technologies doivent être abordées à l'échelle européenne. Thales est un partenaire industriel majeur du projet d'infrastructure européenne EuroQCI, qui vise à construire des réseaux de communication sécurisés par le quantique. Thales Alenia Space s'est vu confier le développement de la composante spatiale de ce projet.

Le Groupe est également membre du consortium NOSTRADAMUS, piloté par Deutsche Telekom, en charge de déployer l'infrastructure d'essais de communication quantique de l'Union européenne. Là encore, l'enjeu est double : bâtir une capacité technologique européenne de premier plan et garantir la souveraineté numérique des États membres.

Anticiper les cas d'usage du calcul quantique

Le troisième axe stratégique de Thales sur le quantique est le calcul. Le Groupe ne développe pas directement de processeurs quantiques, mais se positionne comme coconcepteur d'algorithmes afin d'identifier les cas d'usage civils et militaires pertinents pour ses métiers et pour ses clients.

Nos travaux concernent, d'une part, l'application du calcul quantique pour l'ingénierie, d'autre part, l'utilisation en opération des algorithmes quantiques.

Les premiers cas d'usage explorés concernent, notamment, l'optimisation, la combinatoire et le traitement du signal. On peut citer entre autres exemples :

- la simulation électromagnétique avancée d'antennes et de radars ;
- l'optimisation de trajectoires (drones…) ou de déploiement de constellations de satellites ;
- l'amélioration de l'analyse d'images dans des environnements très bruités ;
- l'accélération de certains algorithmes de détection ou de classification ;
- la recherche et mise au point de nouveaux matériaux.

Thales se positionne également comme un acteur de référence du *benchmarking* des calculateurs quantiques, un sujet crucial pour dépasser les effets d'annonce et mesurer objectivement la performance réelle des machines pour des applications qui intéressent notre industrie.

Le Groupe pilote le projet BACQ (Benchmarks Applicatifs des Calculateurs Quantiques) au sein du programme MetriQsFrance du Laboratoire national de métrologie et d'essais. Thales représente aussi la France au sein du European Quantum Computing Benchmarking Coordination Committee. Le Groupe a contribué à la rédaction du chapitre consacré au *benchmarking* des calculateurs quantiques dans le rapport 2025 de l'Académie des technologies, ainsi qu'au rapport 2024 du GIFAS sur les technologies quantiques pour les applications aéronautiques, spatiales et de défense.

En 2023, nous avons organisé un *hackathon* quantique à grande échelle, qui a mobilisé plus de 80 experts dans 5 pays simultanément, sur la base de cas d'usage fournis conçus par différentes activités du Groupe.

Dans le domaine de la défense, Thales collabore avec les cinq start-ups du programme PROQCIMA piloté par la Direction générale de l'Armement, et à un Groupe de travail de l'OTAN.

Faire émerger une base industrielle et technologique quantique en Europe

La seconde révolution quantique connaît aujourd'hui une phase d'accélération. Les premiers capteurs quantiques devraient être testés par les forces armées d'ici cinq ans et entrer en phase d'industrialisation d'ici une dizaine d'années. Pour réussir cette transition, une stratégie européenne cohérente est indispensable. Celle-ci devrait prochainement être matérialisée par un "Quantum Act" à l'échelle de l'Union.

À plusieurs occasions, Thales et d'autres industriels ont souligné auprès des pouvoirs publics la nécessité de synchroniser les efforts des États membres et de construire une véritable *supply chain* européenne du quantique. Les projets nationaux doivent être complémentaires, alignés, et s'inscrire dans une continuité recherche-développement-industrialisation.

Pour rester dans la course, l'Europe ne peut se permettre des initiatives dispersées. Il est impératif que les budgets de défense et de recherche soient coordonnés et que l'ensemble des acteurs – PME, start-ups, laboratoires, grands groupes – convergent autour d'une feuille de route partagée. Le temps presse : le ralentissement, voire l'arrêt, du dépôt de brevets dans certains domaines par les États-Unis et la Chine laisse penser que des applications sensibles ont atteint un degré de maturité suffisamment avancé pour que ces pays privilégient désormais le secret à la protection de la propriété intellectuelle.

Notre souveraineté dépendra aussi de notre capacité à bâtir une base industrielle résiliente couvrant toute la chaîne de valeur : matériaux de base, terres rares, technologies habilitantes.

En particulier, les start-ups et PME spécialisées dans ces domaines doivent pouvoir atteindre une masse critique afin d'assurer leur pérennité, ce qui dépend fortement de la capacité de l'Europe à construire une vision industrielle coordonnée. Il faut éviter les duplications de capacités et structurer des marchés suffisamment larges à l'échelle de l'Union.

Cette exigence de mutualisation vaut aussi pour les technologies à double usage civil-défense. L'élargissement vers des marchés adjacents constitue d'ailleurs un levier efficace pour assurer la viabilité et la compétitivité de la filière européenne. La production de semiconducteurs III-V en fournit un exemple : pour garantir notre souveraineté sur ces briques critiques, Thales et Airbus ont créé dès 1996 la filiale United Monolithic Semiconductors (UMS), dont les usines en France et en Allemagne auraient été difficilement compétitives si elles ne servaient que des applications de défense. Leur charge a donc été complétée par des marchés civils (médical, automobile…), permettant d'atteindre les volumes et les coûts nécessaires.

Notre souveraineté dépend de notre capacité à trouver, pour chaque maillon de la chaîne d'approvisionnement, la bonne équation industrielle et financière.

Inscrire le quantique dans la durée

Enfin, la responsabilité des industriels est de soutenir des cycles d'innovation longs. Les technologies quantiques de seconde génération nécessitent des programmes de R&D qui se déploient sur des horizons de dix à quinze ans. Les cycles de financement publics de trois ans, qui structurent la plupart des appels à projets, sont trop courts pour assurer la continuité nécessaire à la maturation de ces technologies.

Si l'Europe veut rester dans la course, elle doit assumer une vision de long terme, associant États, agences, industriels et investisseurs privés. Le décloisonnement entre civil et défense sera déterminant : le monde civil avance sur certains fronts, la défense sur d'autres. Le succès de la seconde révolution quantique reposera sur notre capacité à mutualiser les efforts, à partager les résultats, et à coordonner les priorités dans le cadre d'une feuille de route européenne ambitieuse.

Thales prendra sa part dans cet effort, fidèle à son rôle d'interface entre science et industrie : transformer les promesses du quantique en capacités concrètes, au service de la souveraineté, de la sécurité et de la compétitivité de l'Europe.