

***Lucy : L'ordinateur quantique photonique le plus puissant au monde, déployé dans un centre de calcul implanté au TGCC (Très Grand Centre de Calcul du CEA de Bruyères le Châtel), désormais couplé au super calculateur Joliot-Curie – Perspectives***

## 1. INTRODUCTION

Le 14 avril dernier, sous les auspices de la ministre déléguée à l'Intelligence artificielle et au Numérique, Anne Le Hénauff, et du secrétaire général pour l'investissement, Bruno Bonnell, le Très Grand Centre de Calcul du CEA (TGCC) a inauguré Lucy<sup>1</sup>, le premier ordinateur quantique photonique d'Europe, conçu et fabriqué par la société Quandela, et désormais accessible gratuitement aux chercheurs et industriels. Lucy rejoint au TGCC l'ordinateur quantique Ruby conçu par Pasqal, à base d'atomes neutres, et qui fût pour sa part inauguré en novembre 2025.

Son couplage au supercalculateur Joliot-Curie de GENCI, également hébergé et exploité par le TGCC, constitue une étape importante dans le développement du calcul hybride, qui associe les capacités du calcul intensif<sup>2</sup> classique aux possibilités offertes par l'informatique quantique. Cette infrastructure hybride marque une avancée significative pour l'Europe dans sa volonté de développer une filière quantique souveraine.



**L'informatique quantique c'est quoi** : Elle se fonde sur les principes de la mécanique quantique pour effectuer des calculs. Contrairement aux ordinateurs classiques, qui utilisent des bits représentatifs des 0 ou des 1, les ordinateurs quantiques utilisent des qubits (q pour quantique) un qubit peut représenter un 0 ou un 1, mais aussi des combinaisons des deux, grâce à un phénomène quantique appelé superposition.

Cette particularité permet aux ordinateurs quantiques de traiter simultanément beaucoup plus d'information que les ordinateurs classiques. Ils pourraient résoudre des problèmes actuellement insolubles par les ordinateurs classiques en un temps raisonnable, simuler l'assemblage des molécules pour découvrir de nouveaux médicaments, casser les systèmes de cryptage actuels ou améliorer les algorithmes d'apprentissage machine ou de l'intelligence artificielle. L'ordinateur quantique exploite principalement le concept de qubit, la superposition (le fait d'être dans un état combinaison de 0 et de 1); l'intrication quantique<sup>3</sup> (corrélation particulière entre états quantiques, restant effective même après éloignement arbitraire des entités concernées), les interférences ondulatoires.

<sup>1</sup> Le prénom Lucy, choisi pour baptiser l'ordinateur du CEA, vient du latin lux, la lumière).

<sup>2</sup> Calculs utilisant de nombreux processeurs pour effectuer des simulations ou traitements complexes.

<sup>3</sup> Voir définition en annexe..

## 2. HISTORIQUE

Le calculateur Lucy a été conçu et développé par la société Quandela, une start-up issue de recherches réalisées au sein du laboratoire C2N (Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies de Palaiseau), unité mixte du CNRS, de l'Université Paris-Saclay et de l'Université Paris Cité.

La fabrication de Lucy résulte d'une coopération industrielle franco-allemande entre Quandela et la société allemande Attocube systems AG spécialiste de cryogénie, qui a fourni des modules cryogéniques. L'entreprise francilienne Quandela conçoit et fournit la technologie photonique. L'Entreprise Commune européenne EuroHPC Joint Undertaking (dont le siège est au Luxembourg) a fait l'acquisition de Lucy, à 50 % avec un financement français géré par le Grand équipement national de calcul intensif (GENCI)<sup>4</sup>.

Les dispositifs quantiques ont été fabriqués sur la ligne pilote de Quandela à Palaiseau et l'intégration finale a été réalisée dans son usine de Massy. Avec 80 % de ses composants – et l'ensemble des composants critiques – d'origine européenne, Lucy incarne la capacité de l'Europe à concevoir et livrer des technologies quantiques souveraines.

Il s'agit du calculateur quantique photonique le plus puissant d'Europe.

- EuroHPC JU est le propriétaire du système acheté
- GENCI est l'entité d'accueil au sens EuroHPC (« Hosting Entity ») du calculateur quantique photonique
- Le CEA est le site d'accueil (« Hosting Site »), le calculateur quantique est hébergé au TGCC.

La partie française de cette acquisition a été réalisée dans le cadre de la Stratégie Nationale Quantique, portée par le Secrétariat Général pour l'Investissement (SGPI) via France 2030.

## 3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCES DU CALCULATEUR LUCY

Lucy exploite la technologie photonique, qui utilise la lumière comme support de l'information quantique. Lucy utilise douze qubits photoniques, multiplexés à partir d'une source de photons uniques<sup>5</sup>, de grande qualité et très précisément contrôlés.

Les photons parcourent un Photonic Integrated Circuit qui agit comme un interféromètre programmable superposant et intriquant les photons pour effectuer des calculs configurables, à partir de séparateurs de faisceaux optiques à lames et de déphaseurs avançant ou retardant les photons. Cette puissance peut être combinée à celle du supercalculateur Joliot-Curie qui dispose d'une capacité de 14 pétaflops (14 millions de milliards d'opérations par seconde) ; cette synergie permet d'aborder certains types de problèmes complexes dans des domaines variés, en accélérant certaines parties du calcul conventionnel par un traitement quantique (calcul dit « hybride » classique/quantique).

Les domaines ciblés sont par exemple l'optimisation de réseaux logistiques, la simulation de nouveaux matériaux, la modélisation de risques financiers, l'apprentissage machine ou la conception aérospatiale.

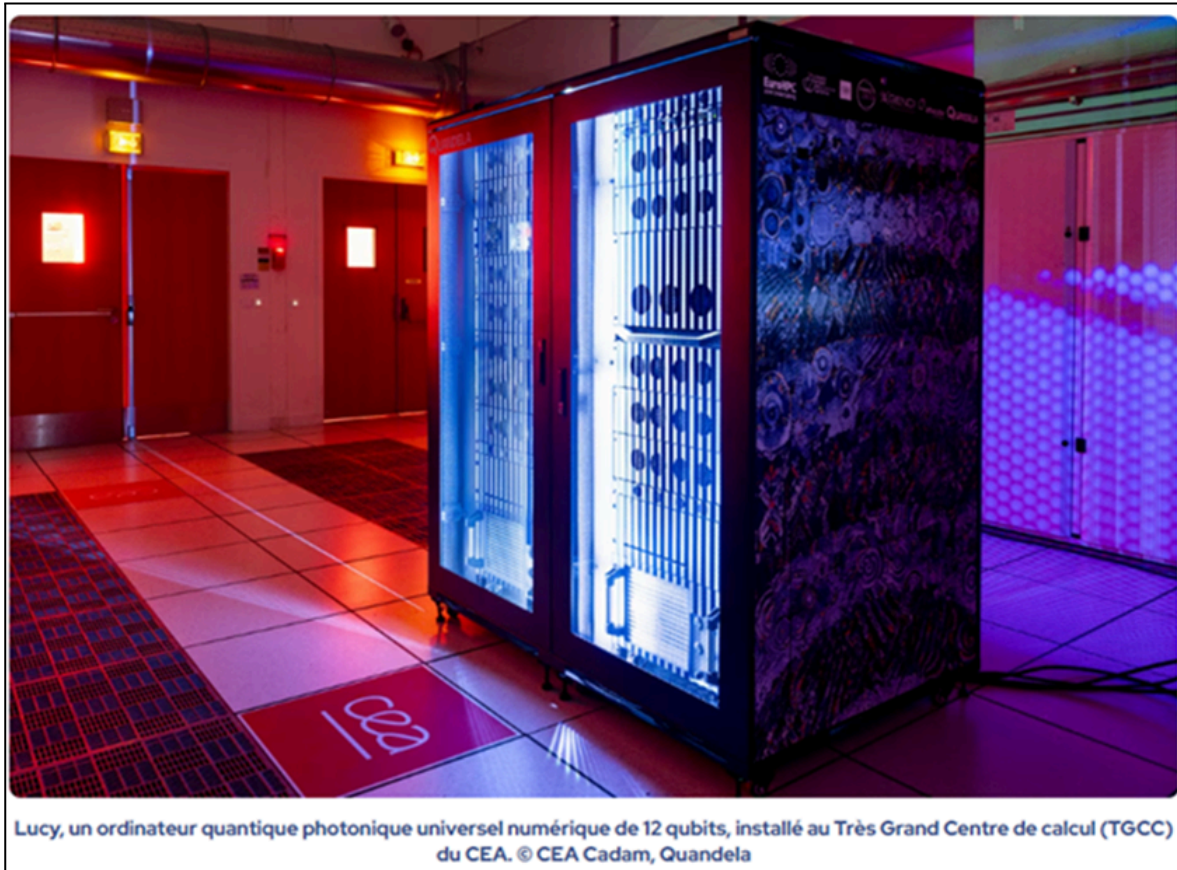
La réalisation physique des *qubits* et ordinateurs quantiques peut se faire selon différentes technologies, les principales familles de modalités sont :

- Les circuits supraconducteurs, de taille micrométrique, dont le courant exhibe une quantification, et contrôlées par impulsions micro-ondes
- Les atomes neutres piégés individuellement dans des réseaux optiques
- Les ions individuels confinés dans un piège électromagnétique
- Les spins (en général d'électrons) dans des semiconducteurs
- Les photons
- Des sites altérés dans des réseaux cristallins de diamant (centres dit colorés = atome d'azote remplaçant un atome de carbone + site voisin vacant)

---

<sup>4</sup> GENCI : Grand Equipement National de Calcul Intensif est une société civile détenue à 49 % par l'État, représenté par le ministère en charge de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 20 % par le CEA, 20 % par le CNRS, 10 % par les Universités représentées par France Universités et 1 % par Inria.

<sup>5</sup> Photons produits un par un de manière individuelle, et non pas en énormes quantités à la fois comme dans des faisceaux lumineux ordinaires



La technologie photonique présente plusieurs avantages opérationnels. Contrairement aux systèmes quantiques supraconducteurs, elle se dispense de dispositifs de protection thermique et anti-vibrations sophistiqués. Sa consommation énergétique demeure également modeste, environ cinq fois inférieure à celle de certains systèmes concurrents. Cette frugalité énergétique représente un atout dans un contexte où l'empreinte environnementale des infrastructures numériques fait l'objet d'une attention croissante ; cette technologie permet d'envisager un passage à échelle bien supérieure (très grand nombre de photons permettant de résoudre des problèmes de taille significative).

#### 4. UTILISATION DU CALCULATEUR LUCY

Désormais opérationnel, Lucy est à la disposition des scientifiques de toute l'Europe pour des travaux de recherche et d'exploration industrielle dans des domaines aussi variés que la cybersécurité, la finance et la blockchain<sup>6</sup>, mais aussi le développement de moteurs à combustion, la mise au point de systèmes de navigation pour drones ou encore l'étude de phénomènes d'écoulement, sans parler d'autres cas d'usage dans la chimie, les mathématiques, et même l'IA...

Des industriels français comme Thales, EDF, l'Onera, TotalEnergies, mais aussi des acteurs européens tels que l'Université polytechnique de Bucarest, le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF) ou l'Irish Centre for High-End Computing (ICHEC) » ont d'ores et déjà manifesté leur intérêt pour ce super ordinateur quantique.

#### 5. CADRE INSTITUTIONNEL DE LUCY

Lucy s'intègre dans un écosystème européen structuré autour de différents projets européens et français, HPCQS (High-Performance Computer and Quantum Simulator hybrid), qui visait à créer des machines hybrides combinant calcul intensif et accélérateurs-simulateurs quantiques. La France avait déjà franchi une première étape en juin 2024 avec la livraison par Pasqal de Ruby, un ordinateur quantique de plus de cent qubits (atomes neutres) également couplé à Joliot-Curie. Le projet EuroQCS-France a permis ensuite l'acquisition conjointe de Lucy avec EuroHPC.

<sup>6</sup> Mode de stockage et de transmission de données sous forme de blocs liés les uns aux autres et protégés contre toute modification – base par exemple du bitcoin

Le gouvernement français soutient ces initiatives via le programme Hybrid Quantum Infrastructure et a lancé en 2024 PROQCIMA, un accord-cadre de quinze ans associant cinq entreprises nationales pour développer d'ici 2032 des prototypes d'ordinateurs quantiques universels. Ces développements témoignent de l'ambition française et européenne de se positionner parmi les acteurs majeurs des technologies quantiques.

## 6. CONCLUSION

La révolution des ordinateurs quantiques est en marche et elle envisage de plus en plus de joindre ses forces à celles du calcul haute performance (HPC), rendu possible par des supercalculateurs classiques comme le Joliot-Curie du GENCI-CEA, qui permet déjà de conduire des simulations numériques dans des domaines aussi divers que la géophysique, l'astrophysique et la physique des plasmas ou encore le climat et la biologie.

En 2027, Joliot-Curie sera remplacé par la machine Exascale Alice Recoque d'EuroHPC, fournie par Bull, 50 fois plus puissante [Réf. 6]. L'ordinateur quantique photonique Lucy, issu d'une coopération industrielle franco-allemande formée par Quandela et Attocube, est désormais accessible gratuitement – en combinaison avec le Joliot-Curie et à l'avenir Alice Recoque – aux acteurs de la recherche et de l'industrie européennes, pour explorer le potentiel du calcul quantique et relever de grands défis scientifiques [Réf. 7].

## 7. SOURCES

[Réf. 1] : Communiqué de presse CEA du 14 avril 2026. Inauguration de l'ordinateur quantique photonique Lucy <https://www.cea.fr>

[Réf. 2] : Lucy, l'ordinateur quantique de Quandela qui brille désormais sur l'Europe. <https://www.techniques-ingenieur.fr>

[Réf. 3] : Informatique quantique Wikipédia <https://fr.wikipedia.org>

[Réf. 4] : L'ordinateur Lucy s'allie au supercalculateur Joliot-Curie <https://www.futura-sciences.com>

[Réf. 5] : Souveraineté numérique : inauguration de l'ordinateur quantique photonique « Lucy » au TGCC du CEA. <https://www.quandela.com/>

[Réf. 6] : CEA-DAM – HPC – Alice recoque

[Réf. 7] : CEA-DAM – HPC – Calcul quantique

---

## Annexe

### Définition de la notion d'intrication quantique

L'intrication quantique est un phénomène fondamental de la physique quantique, peu intuitif, dans lequel deux particules ou plus deviennent liées de telle sorte que l'état de l'une dépend instantanément de l'état de l'autre, même si elles sont très éloignées dans l'espace. Cela signifie que leurs propriétés physiques ne peuvent plus être décrites indépendamment : elles forment un système unique.

Par exemple, si deux photons sont intriqués, la mesure de la polarisation de l'un conditionne immédiatement l'état possible de l'autre. Avant la mesure, chaque particule existe dans une superposition d'états possibles. Ce n'est qu'au moment de l'observation que l'état se fixe. L'intrication ne permet pas de transmettre de l'information plus vite que la lumière, mais elle révèle des corrélations impossibles à expliquer par la physique classique.

Ce phénomène a été mis en évidence théoriquement dans ce qui est appelé le paradoxe EPR proposé en 1935 par Albert Einstein, Boris Podolsky et Nathan Rosen, qui questionnaient la complétude de la théorie quantique. Plus tard, les travaux de John Bell ont montré comment tester expérimentalement l'intrication grâce aux inégalités de Bell. De telles expériences furent réalisées seulement dans les années 1970, puis de manière considérée probante par Alain Aspect et ses collègues en 1982, ce qui lui valut d'être un des lauréats du prix Nobel de physique en 2022, confirmant l'intrication telle que ci-dessus mentionnée.

Aujourd'hui, l'intrication est au cœur de technologies émergentes comme l'ordinateur quantique, la cryptographie quantique et la téléportation quantique.

