

Quantique: quels sont et seront les impacts et les opportunités

4th of February 2025

Eric Mounier



— YOLE GROUP —

We provide industrial companies, financial investors and R&D organizations, with market research and marketing analysis, technology, supply chain and cost analysis, as well as performance evaluation, to help our customers in their decision-making about their future business and manufacturing strategy in the semiconductor, photonic and electronic sectors.

3 CORE ACTIVITIES BASED ON DEEP SYNERGIES

Market & Technology

- Market, technology, and strategy consulting
- M&A, Due Diligence and evaluation of companies

Teardown Reverse engineering and costing

- Technology, process & cost analysis
- Teardown and reverse engineering
- Comparative analysis

Performance analysis

- Test of electric and electro-optical performance of devices
- Comparison of performances and related technical choice

ACSIEL Alliance Électronique est l'organisation professionnelle des acteurs industriels de la chaîne de valeur de la filière électronique en France.

De la recherche académique et l'innovation au test et mesure en passant par la fabrication de composants et de semi-conducteurs et d'équipements pour l'industrie électronique, #ACSIEL est un écosystème intégré et cohérent, accélérateur de l'électronique française.

Les missions d'ACSIEL:

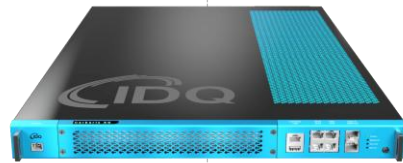
-  **Dynamiser et fédérer** l'ensemble des acteurs de l'industrie électronique présents sur le territoire français
-  **Soutenir l'innovation et les échanges** avec les universités, les laboratoires et les écoles d'ingénieur
-  **Promouvoir et défendre** l'industrie électronique française et européenne
-  **Renforcer la visibilité** de nos adhérents
-  **Développer les initiatives et les synergies** entre adhérents / filières amont et aval
-  **Stimuler la formation professionnelle** aux métiers de l'électronique
-  **Etre force de proposition** auprès des instances publiques, nationales et internationales

QUANTUM TECHNOLOGIES FOR THREE USE CASES



Quantum technologies are at the crossroads of numerous applications and fields: fundamental physics, engineering, manufacturing, software, education, etc. It is still an early-stage technology but with large potential.

The growing need for more secure communications, more accurate sensors, and better performing computers requires new approaches.

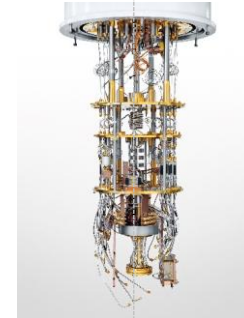


New ways of ultra-secure transmission will be required
Quantum Cryptography.



Sensors need to be more sensitive and existing technologies are becoming limited
Quantum Sensors.

Big Data will require new ways for searching and processing
Quantum Computing.



Today

Tomorrow

ADVANTAGES OF QUANTUM

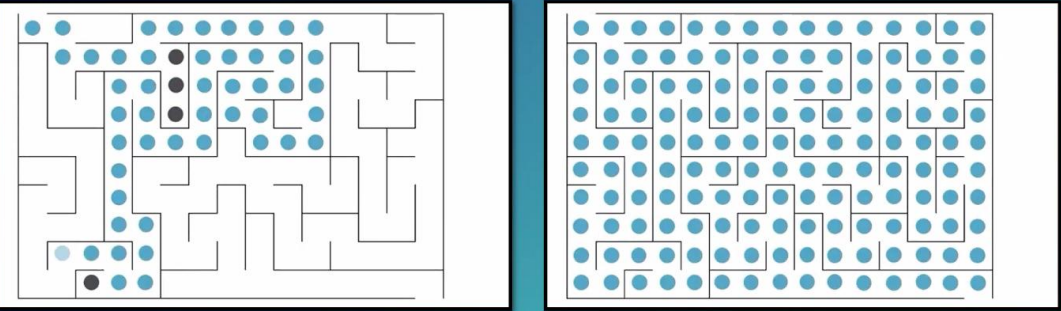


The main advantage of quantum-based computing is parallelization in calculation and its three associated consequences:

1. Time-saving
2. Energy-saving
3. Increased computing power

A good summary of quantum's benefit is the following: solving a maze using a quantum computer is like **searching for the right exit by testing all the options at the same time.**

Example: solving a maze



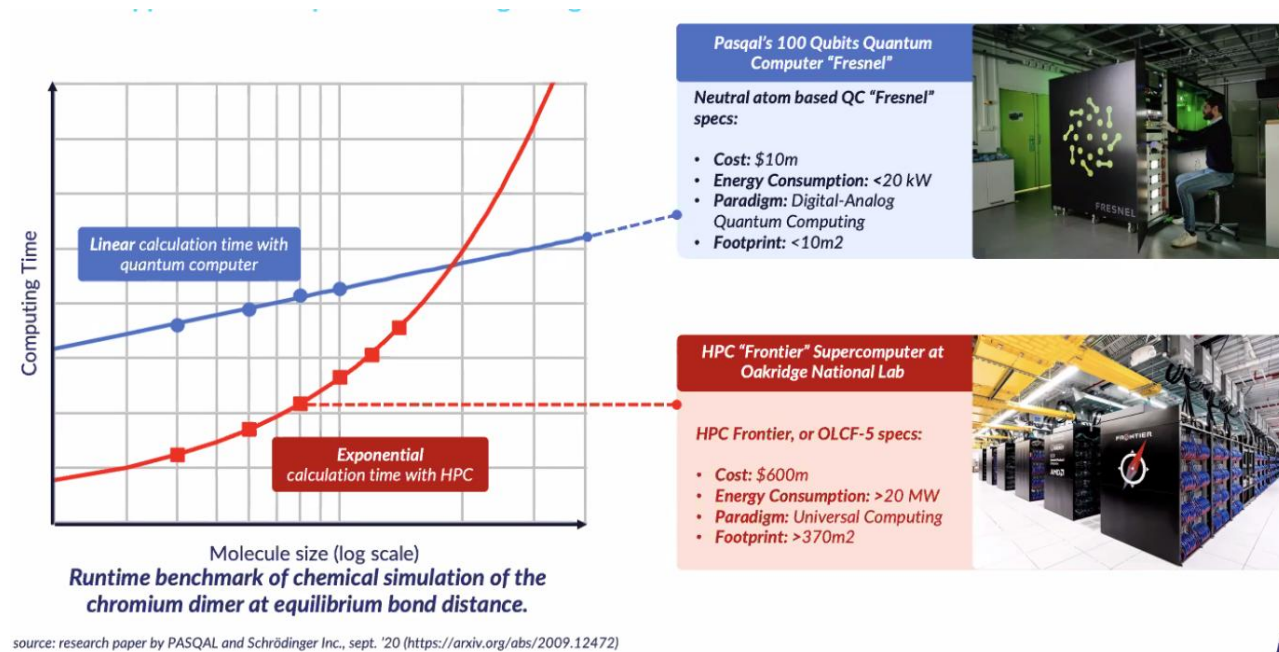
A classical computer needs to try every possible route in order to solve the maze...

...while a quantum computer can search through a superposition of all possible paths and find the correct solution.

Source: <https://andela.com/insights/quantum-computing-the-real-game-changer/>

6-Dec-22 BB-AA-UA | KSU-Klasse: xx.x – xx Jahre 3

Solving a maze using a quantum computer is like searching for the right exit by testing all the options at the same time.



Quantum processors promise exponential performance improvements for some computational problems (example of computer-aided drug design).

THE FOUR PILLARS OF QUANTUM



Wave-particle duality:
every particle or quantum entity may be described as either a particle or a wave. Possible to interact with qubits through interference.

Superposed states:
a quantum register exists in a superposition of all its possible configurations of 0's and 1's at the same time*.
This allows superposed calculations and decreasing computing time.

$$\frac{1}{\sqrt{2}}|\text{cat}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\text{cat}\rangle$$

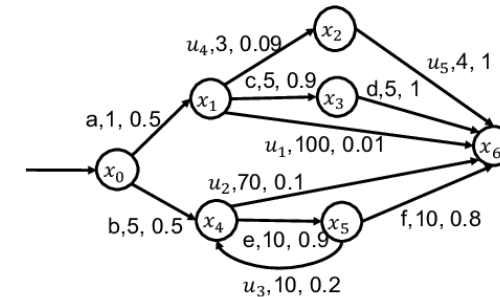
Entanglement:
used to link the qubits (2 or 3-qubit logic gate) in computing and synchronize them.

Probabilistic system:
any given state will be observed if the system is measured.
The result is an evaluation of the qubits' final state**.

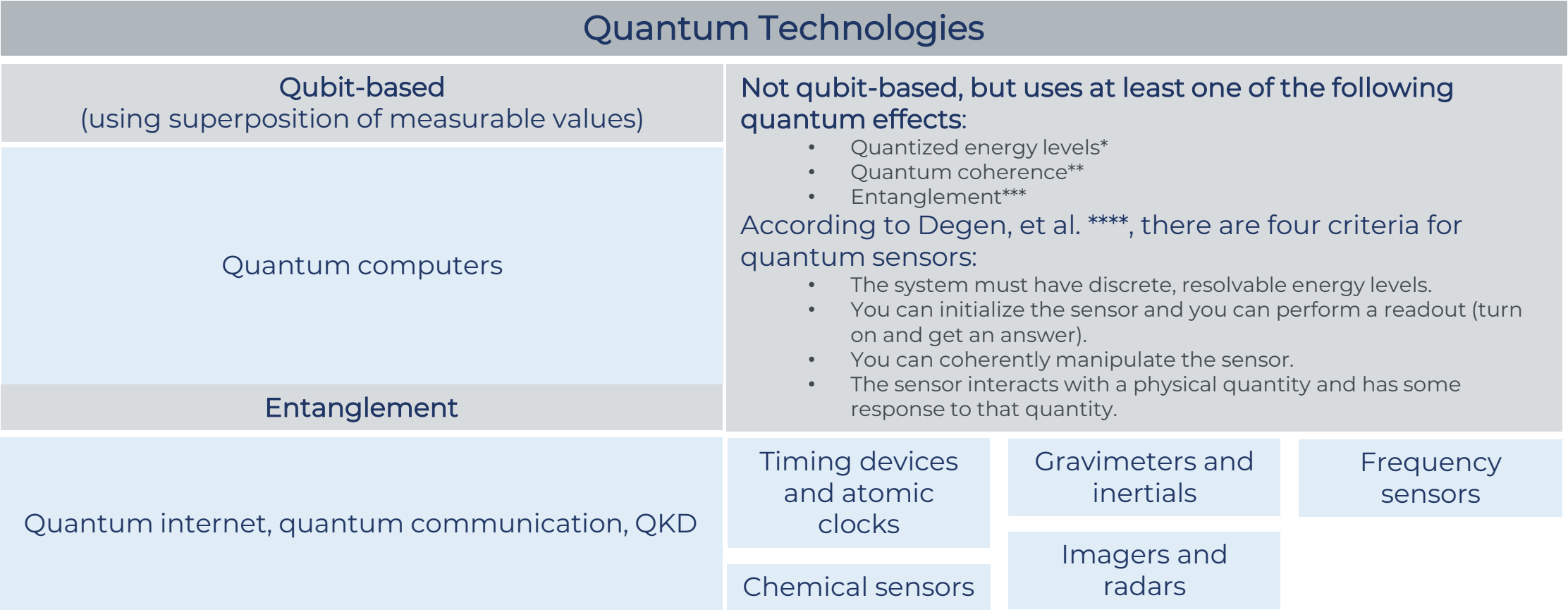


* It is not until the system is observed that it collapses into an observable, definite classical state. For example, the electron spin can be up and down at the same time.

** Quantum computation is performed by increasing the probability of observing the correct state to a sufficiently high value so that the correct answer may be found with a reasonable amount of certainty.



QUBIT OR NOT QUBIT? WHAT DOES «QUANTUM» MEAN?



*Only certain photon energies are allowed when electrons jump down from higher levels to lower levels

**Two separate states are superposed (e.g., interference)

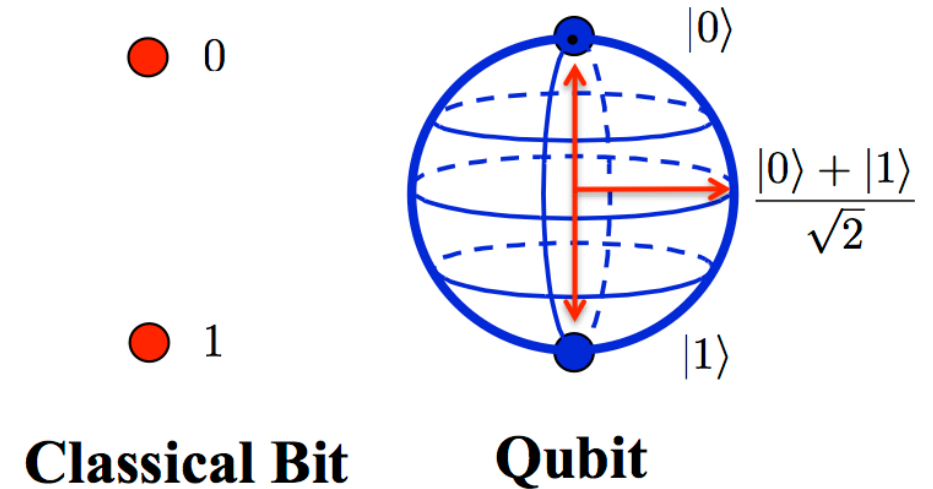
***Quantum entanglement is a physical phenomenon that occurs when pairs or groups of particles are generated, interact, or share spatial proximity in ways such that the quantum state of each particle cannot be described independently of the state of the others, even when the particles are separated by a large distance.

**** Degen, C. L.; Reinhard, F.; Cappellaro, P. (2017). "Quantum sensing". Reviews of Modern Physics. 89 (3): 035002. arXiv:1611.02427. Bibcode:2017RvMP...89c5002D. doi:10.1103/RevModPhys.89.035002.

THE QUBIT, THE FUNDAMENTAL UNIT FOR QUANTUM COMPUTING



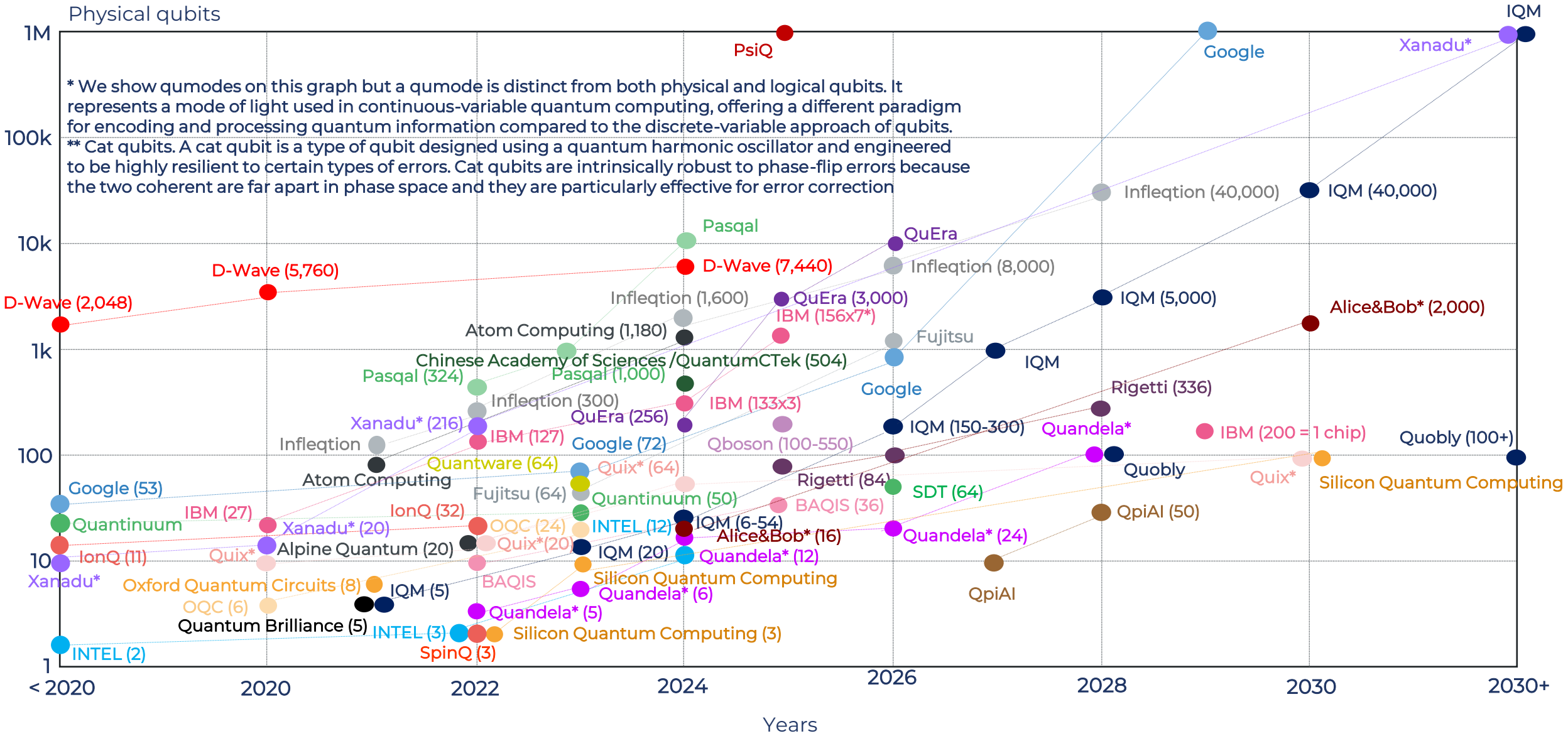
- Physical property of a quantum object (electron spin, photon polarization, atom energy level).
- Not a 0 or a 1 but a linear superposition between states $|0\rangle$ and $|1\rangle$.
- N qubits allow 2^N operations in parallel.
- Very sensitive to errors (e.g., temperature, radiation).
- Needs error correction codes with a lot of qubits (million).
- Qubits must be assembled in logical qubits groups.
- Probabilistic results. Needs to run the quantum algorithm a large number of times (up to 1000s of times) and averaging the result.



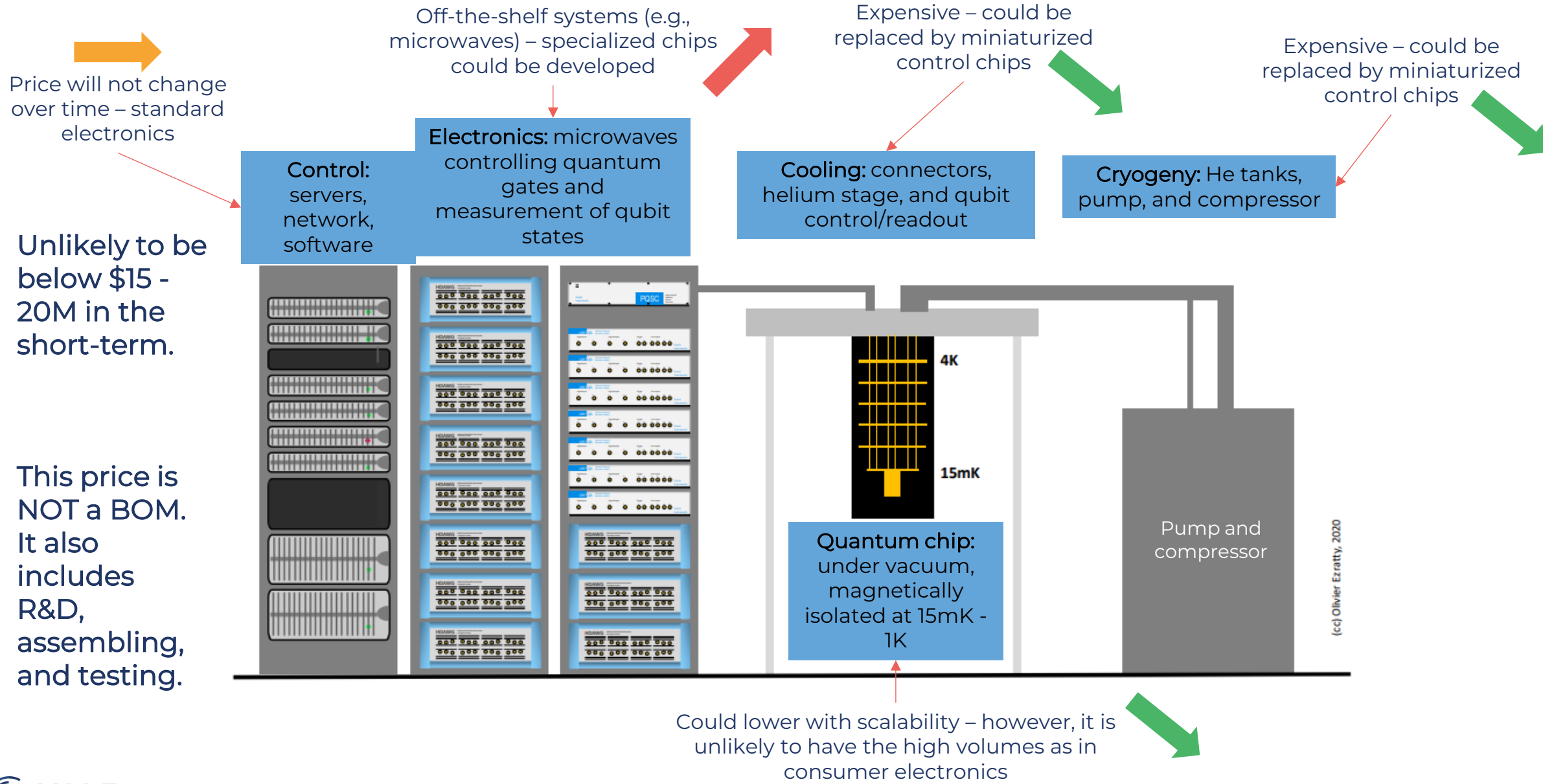
PHYSICAL QUBITS ROADMAP



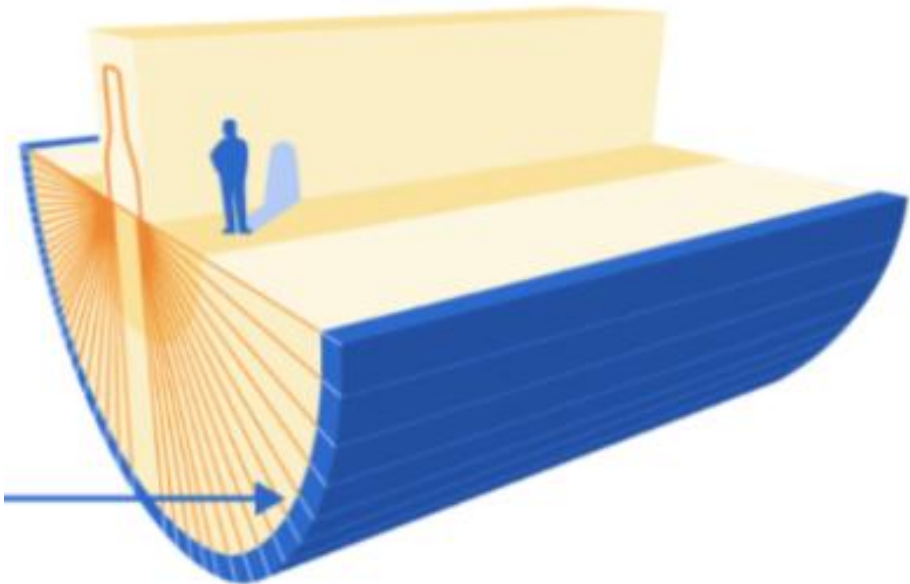
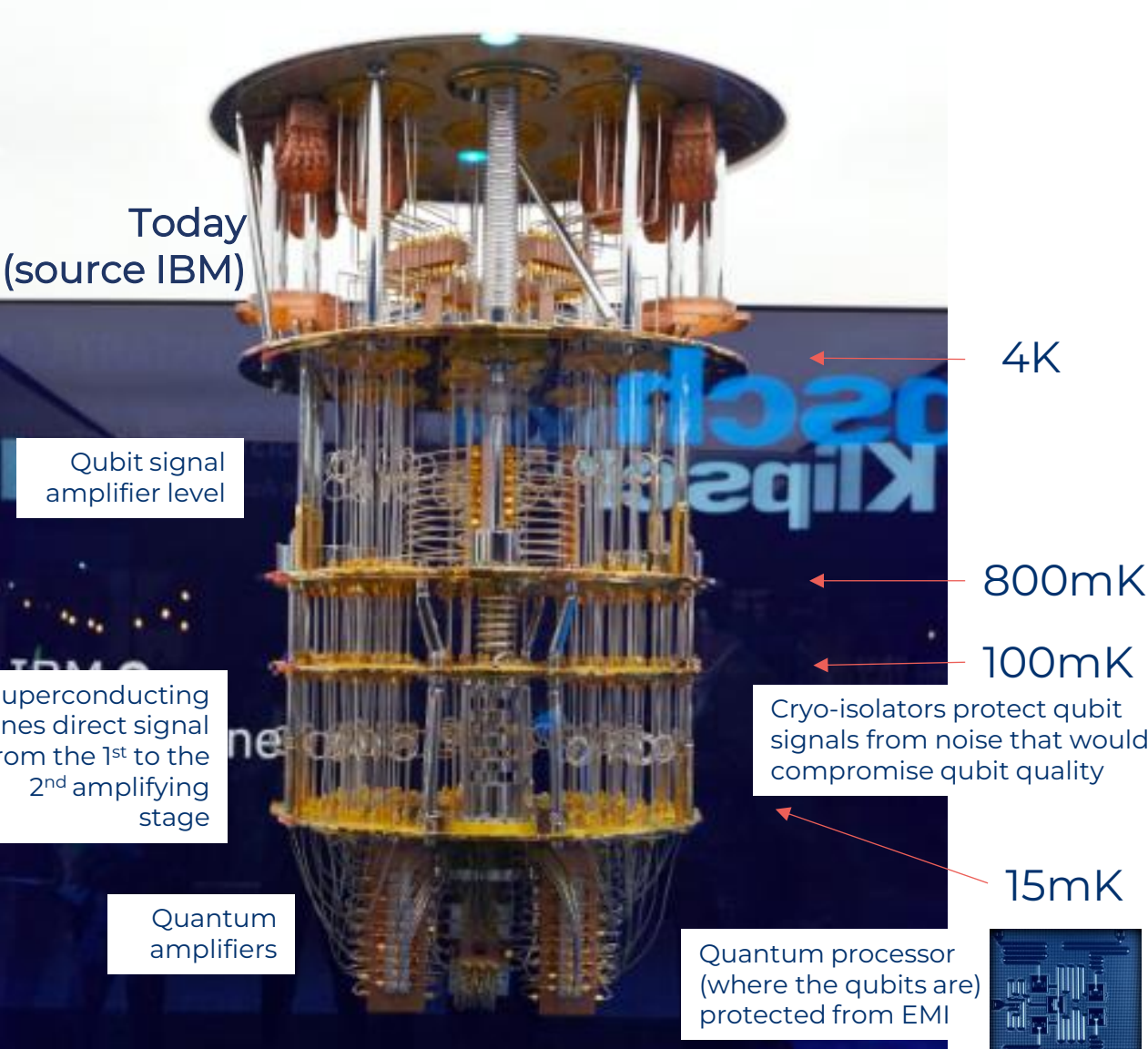
Russia has developed multiple 50-qubit quantum computers, including ion-based systems, and plans to scale to 75 qubits by 2025



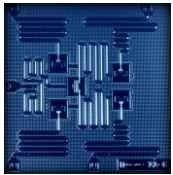
EXAMPLE OF QUANTUM COMPUTER ARCHITECTURE



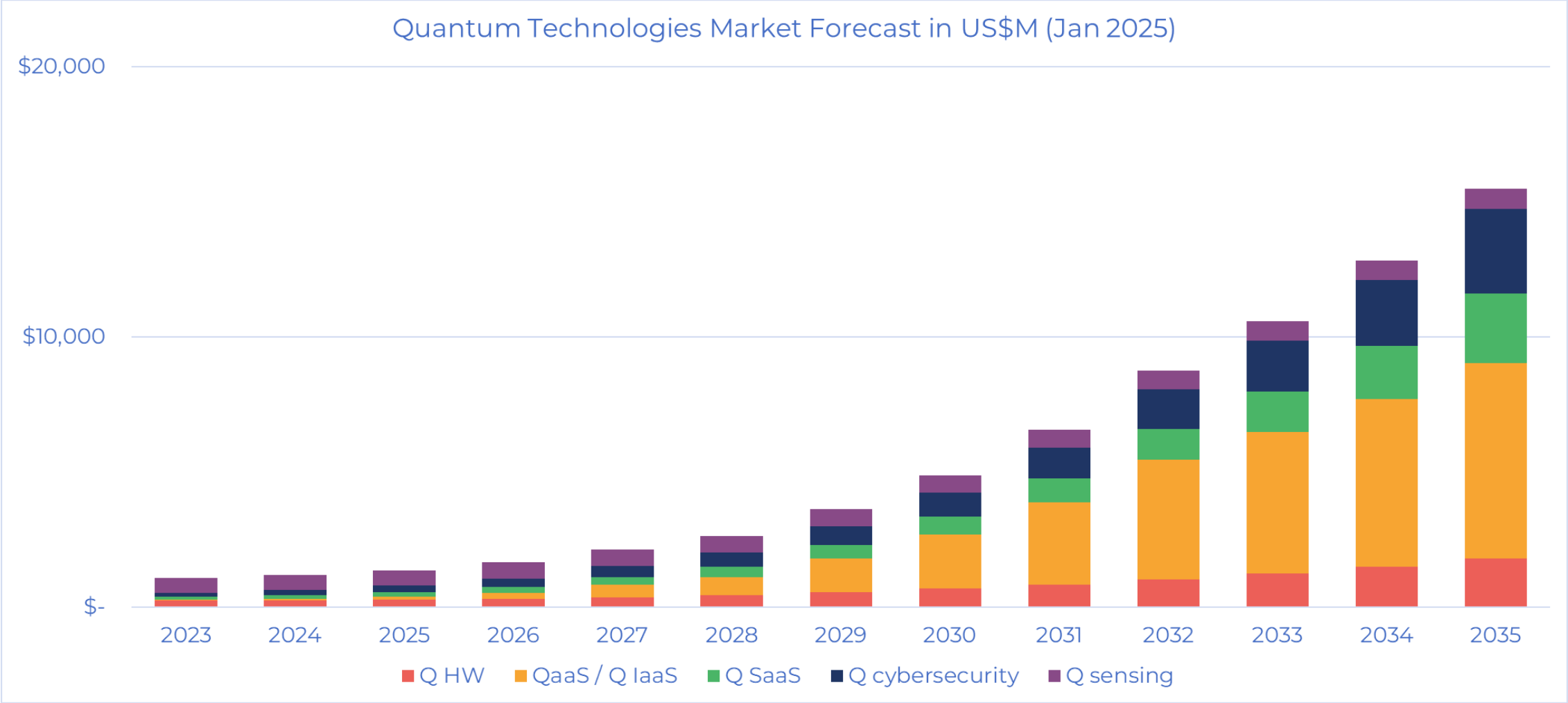
QUANTUM COMPUTER STRUCTURE TODAY AND TOMORROW



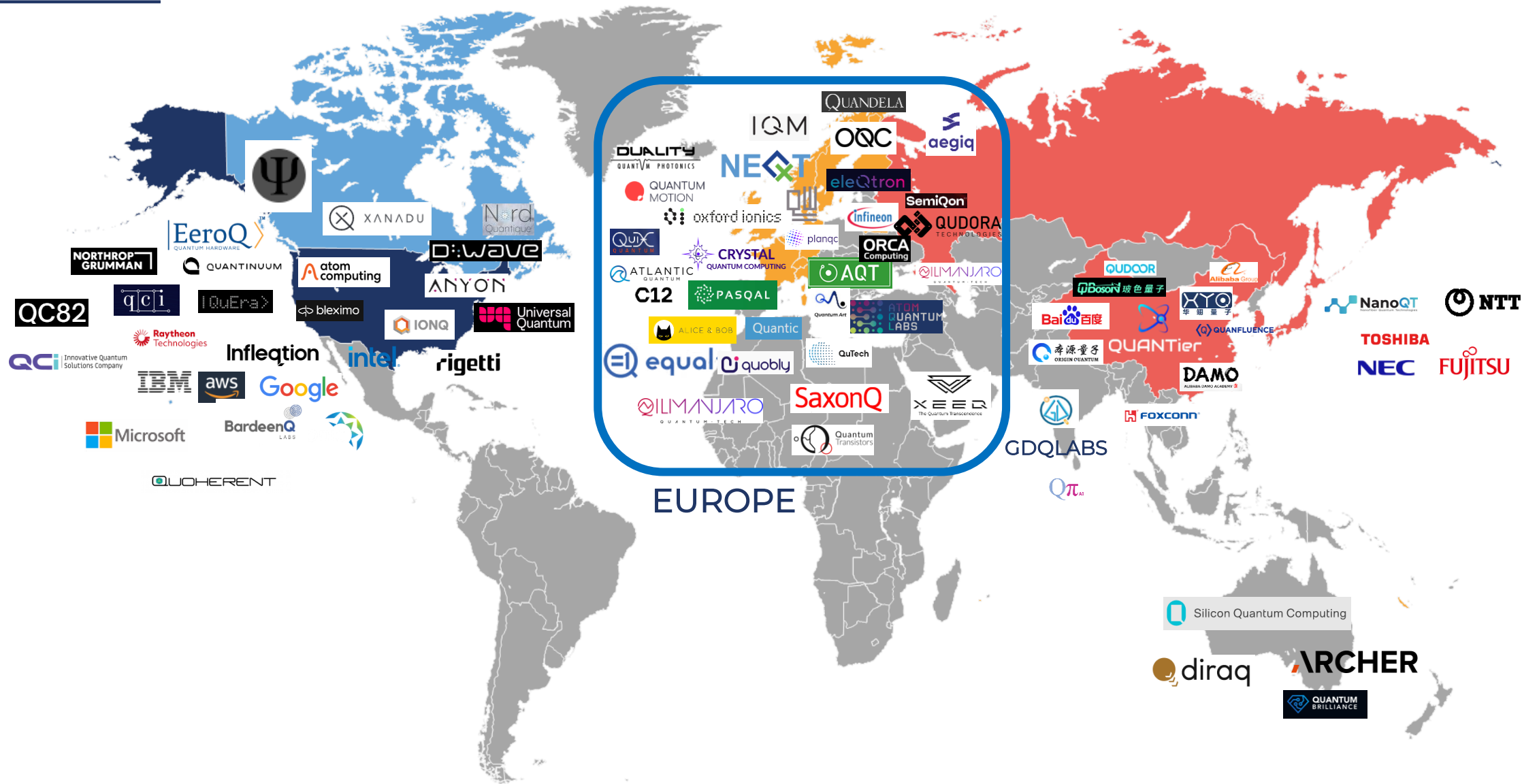
Tomorrow (source Google)



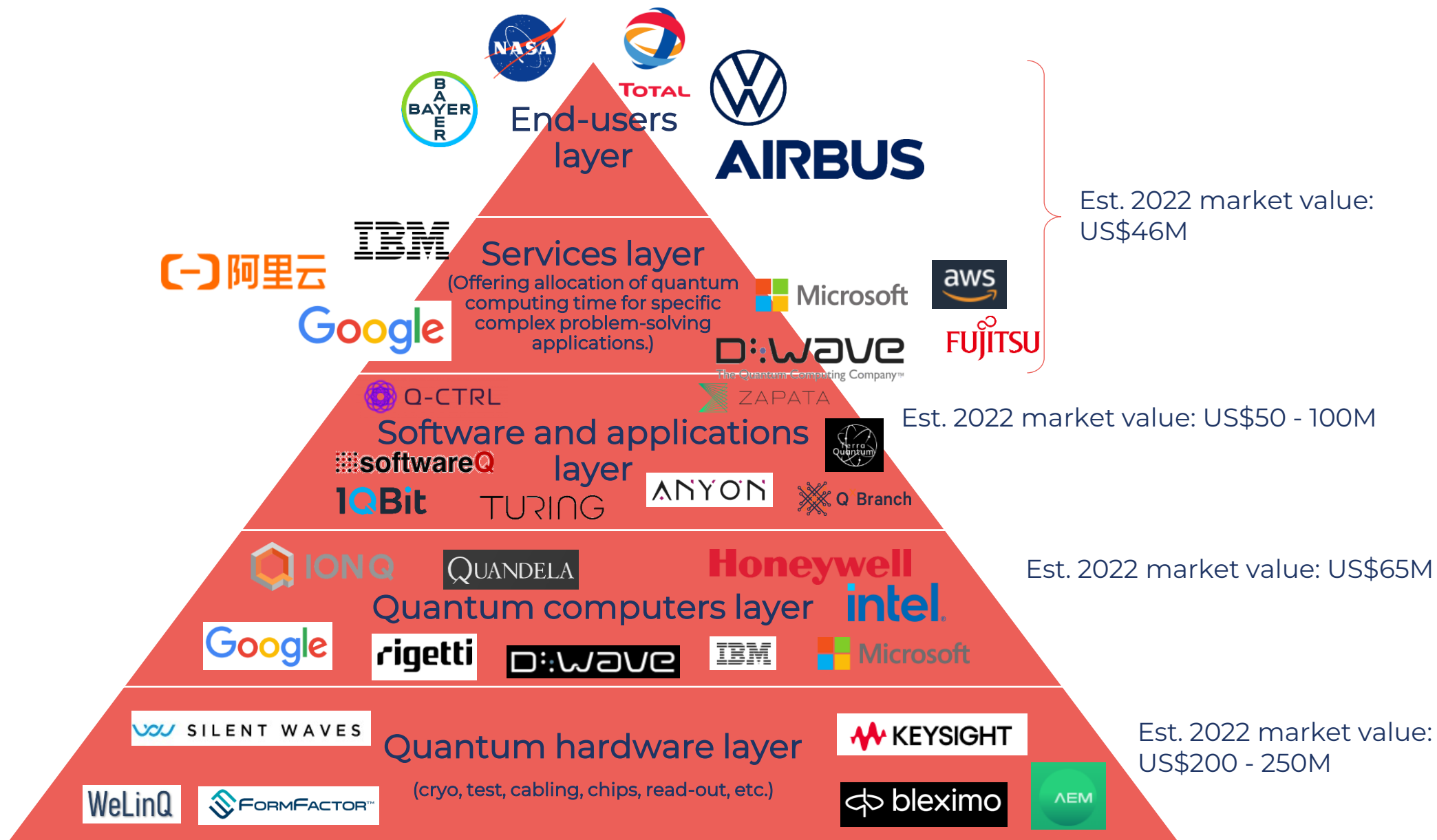
IBM chip



QUBITS – INDUSTRIAL PLAYERS (NOT EXHAUSTIVE)

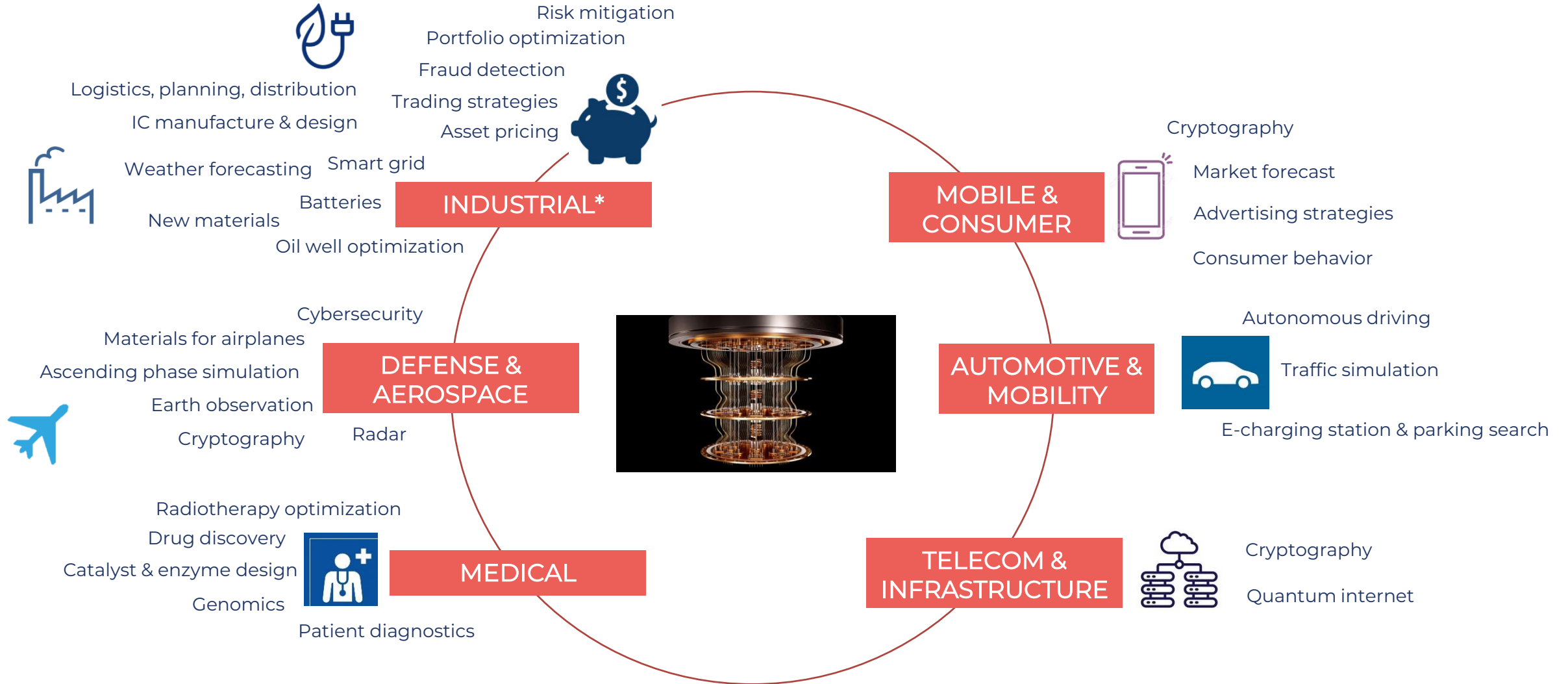


THE QUANTUM COMPUTING SUPPLY CHAIN PYRAMID



More a collaborative mesh than an industrial value chain.

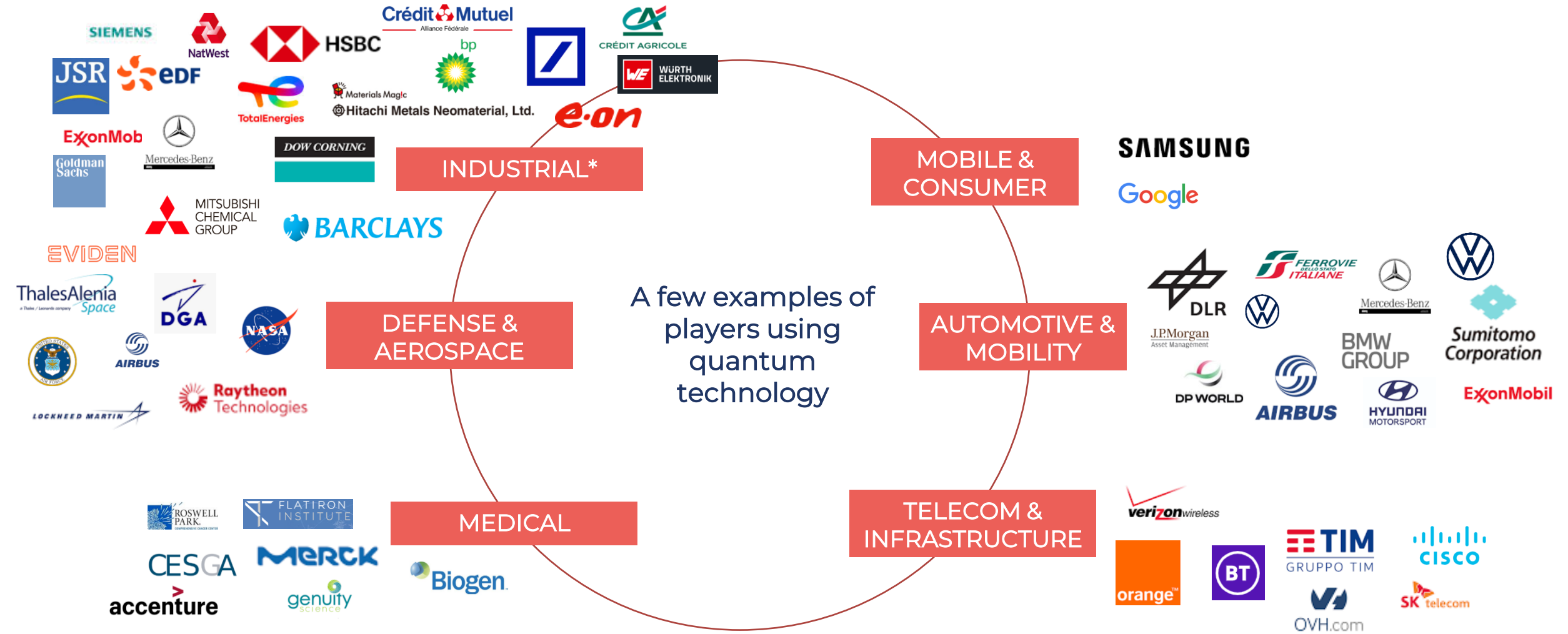
QUANTUM COMPUTING MARKETS AND APPLICATIONS (1/2)



* We include B2B applications such as banks and finance

QUANTUM COMPUTING MARKETS AND APPLICATIONS (2/2)

Examples of end-users involved into quantum projects

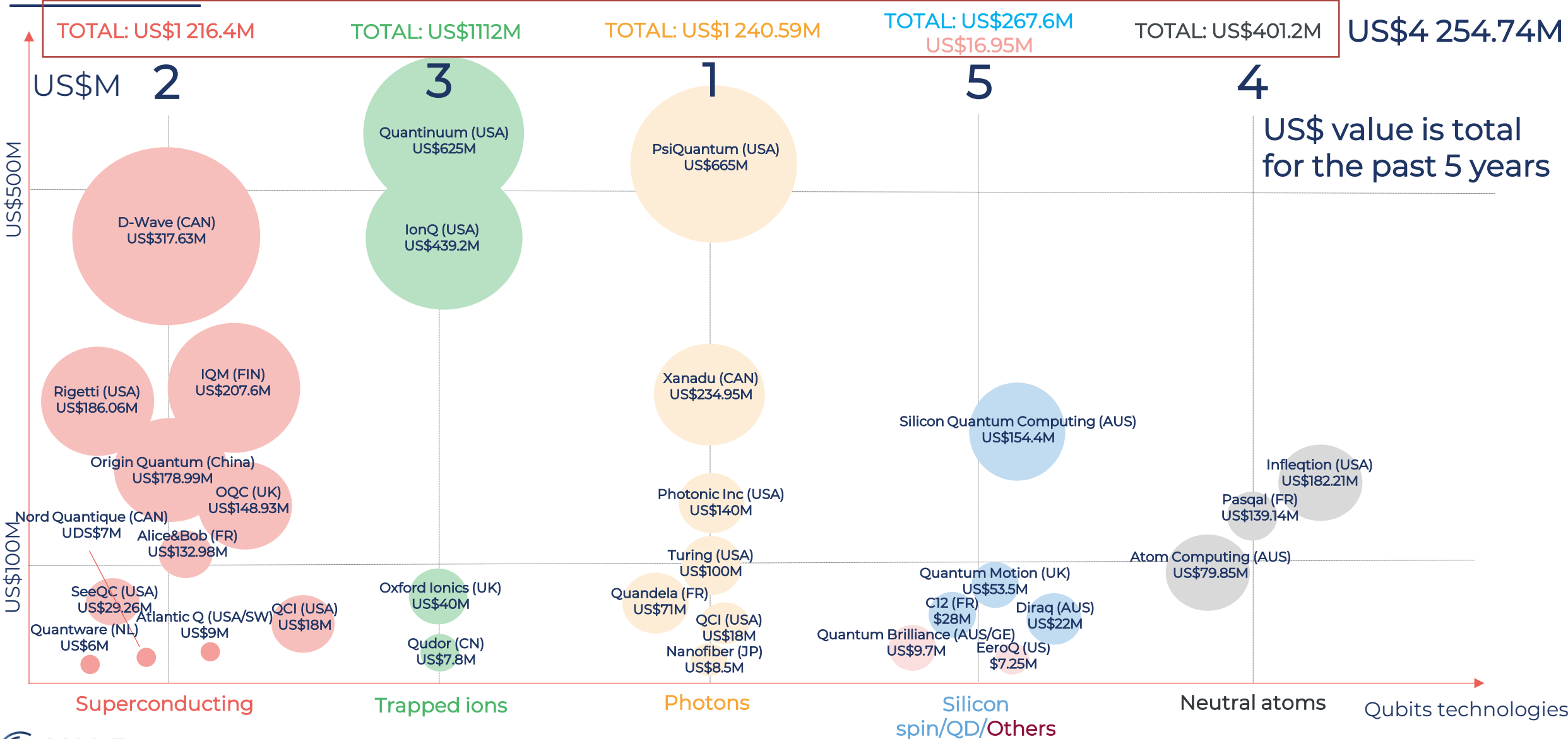


* We include B2B applications such as banks and finance



INVESTMENT FOR QUANTUM COMPUTING

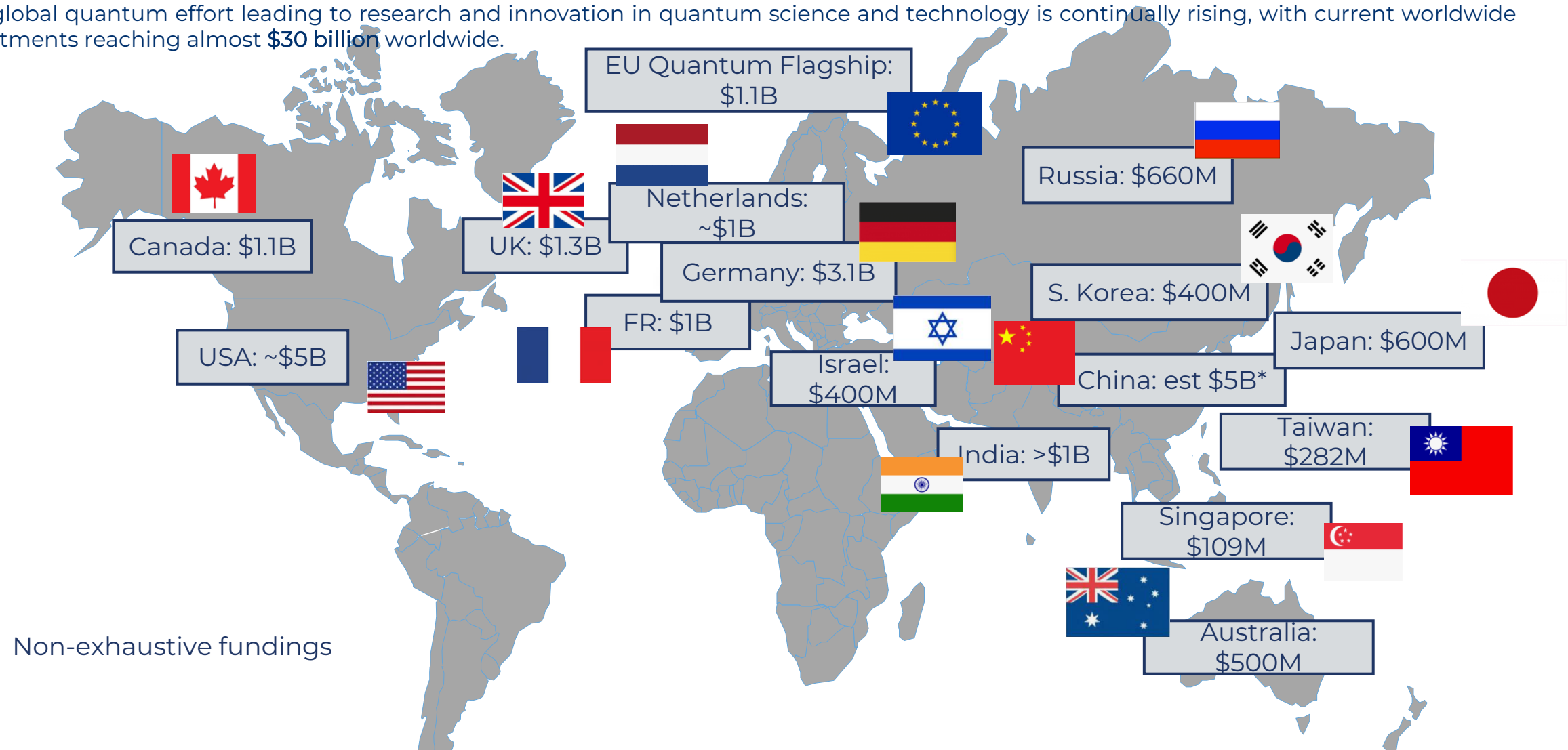
By technology and main players – not including IPO



PUBLIC FUNDING IN QUANTUM

Main public initiatives

The global quantum effort leading to research and innovation in quantum science and technology is continually rising, with current worldwide investments reaching almost **\$30 billion** worldwide.



Non-exhaustive fundings

** This is an estimate as real amount is hard to evaluate.*



Quantum's Strategic and Sovereign Role: Quantum technology is emerging as a key domain with wide-ranging implications across various fields in computing, cryptography and sensing.

Applications in computing: Quantum computing shows high promise in areas like healthcare, finance, energy, industry, ML, ... complementary to AI.

Maturity and technical challenges: Quantum computing lags behind cryptography and sensing in maturity, with still a lot of technological challenges to have a universal systems (FTQC).

Key hurdles include qubit noise, error correction, scalability, and maintaining qubit quality.

Developments are progressing fast to handle these issues.

THANK YOU

Questions?



Eric Mounier

eric.mounier@yolegroup.com



2025 edition released soon in Q1 2025

L'interaction entre l'écosystème quantique et le développement d'instrumentation de test

Arnaud Carignan-Dugas, PhD



Arnaud a obtenu un doctorat en mathématiques appliquées (spécialisation en informatique quantique) à l'université de Waterloo à l'institut d'informatique quantique (IQC), et a ultimement joint l'équipe d'ingénierie quantique à Keysight. Cette équipe est en charge de l'effort technologique en informatique quantique au sein de la compagnie, ce qui inclue le développement – autant logiciel que matériel -- de systèmes de contrôle de haute précision. L'expertise d'Arnaud consiste à l'étude des systèmes quantiques ouverts, de la caractérisation des erreurs et de mécanismes de suppression d'erreur. De façon plus générale, il est intéressé par le développement de méthodes pour sonder les ordinateurs quantiques, quantifier leur performance, ainsi que trouver des moyens pour élargir l'étendue de leur capacité computationnelle.

Une brève histoire de Keysight



1939–1998:

Les années Hewlett-Packard

Une compagnie fondée sur l'innovation des mesures électroniques.



1999–2013:

Les années Agilent

Issue de HP, Agilent est devenue la plus grande compagnie de mesure.

En septembre 2013, elle annonce une scissions partielle de ses affaires en ce qui a trait aux mesures électroniques



2014+:

Les années Keysight

Keysight devient une compagnie indépendante focalisée sur les mesures électroniques.

La division d'ingénierie quantique à Keysight

Entièrement dédiée aux technologies quantiques

Doctorant.e.s, professeur.e.s et
ingénieur.e.s de grandes universités



Acquisitions dans
l'écosystème quantique



Utilisation des rouages dévoués au
développement électronique et
logiciel de Keysight



Équipe d'ingénierie quantique

Informatique
quantique



Communications
quantiques

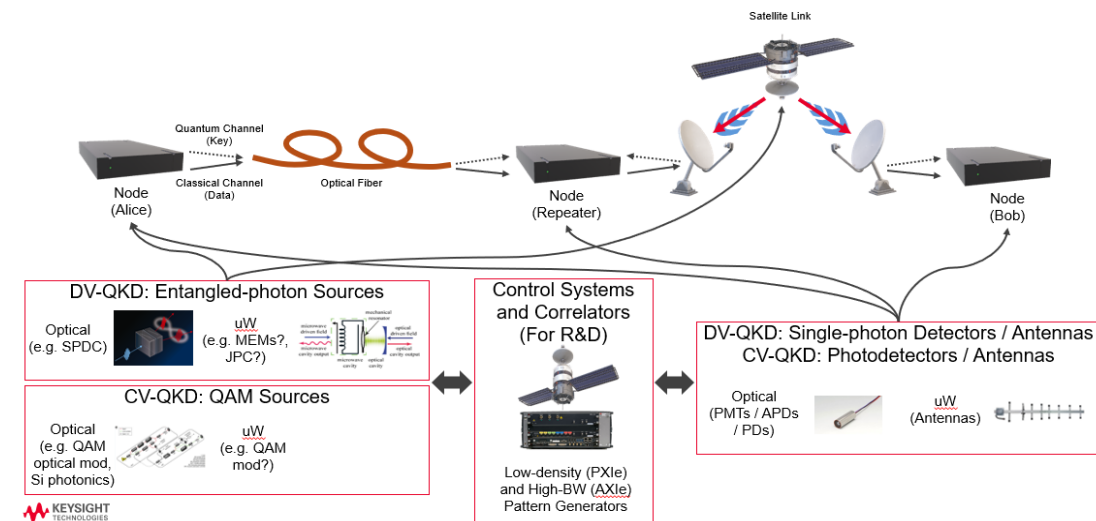


Détection
quantique

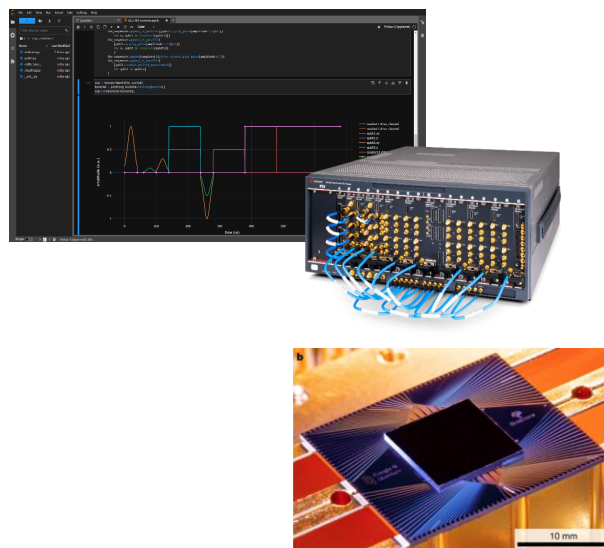


Marchés

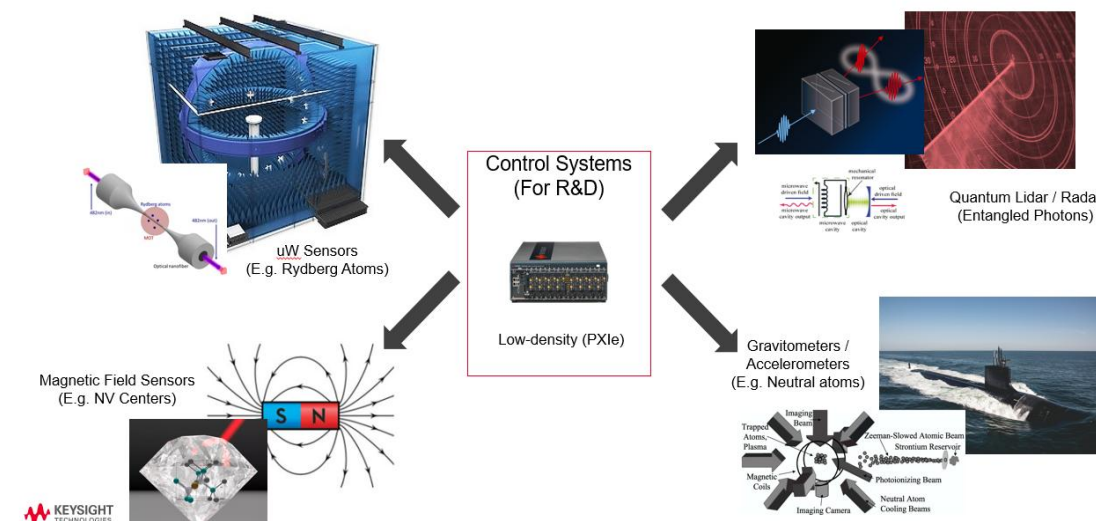
Communications quantiques



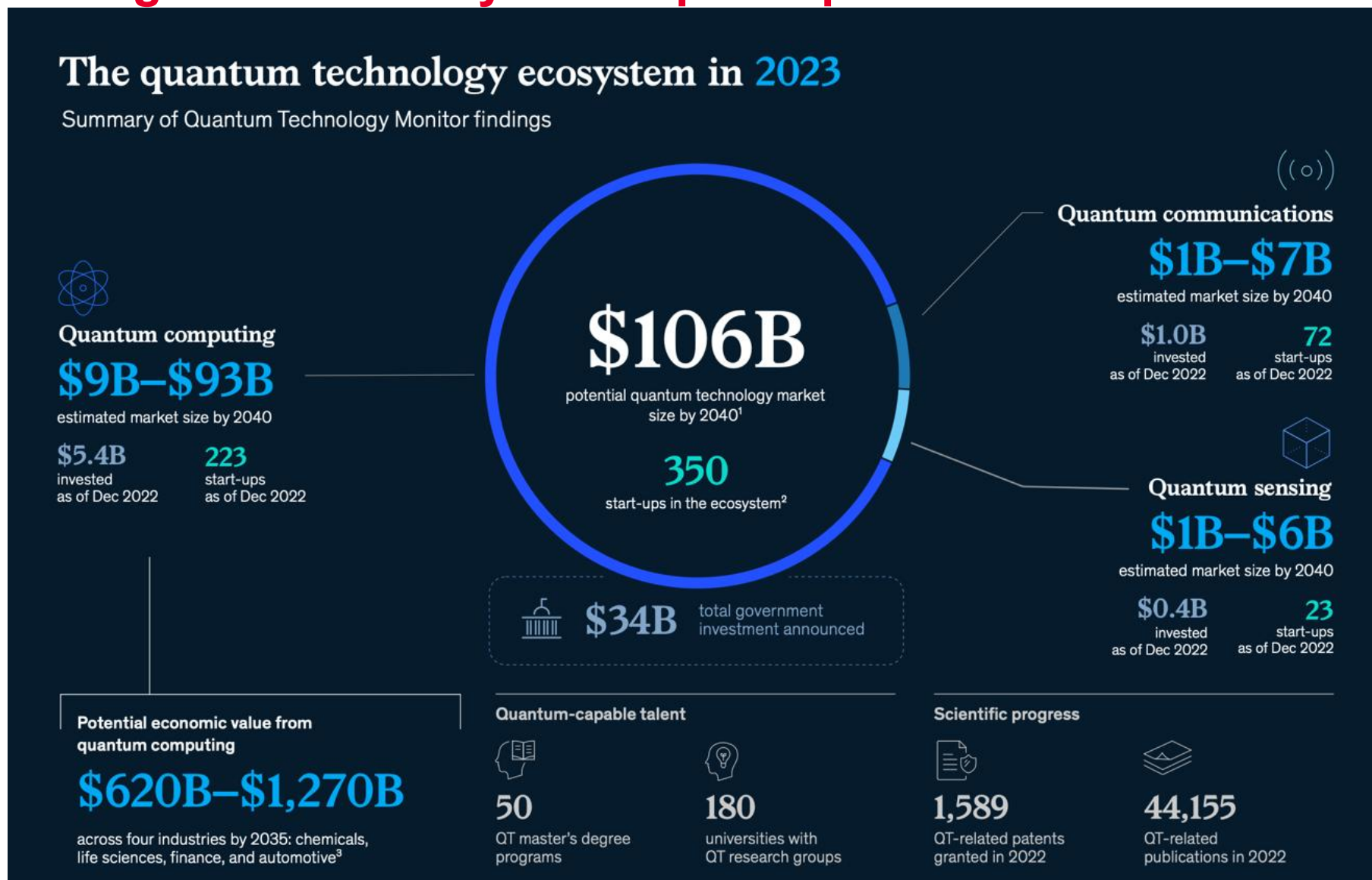
Informatique quantique



Détection quantique



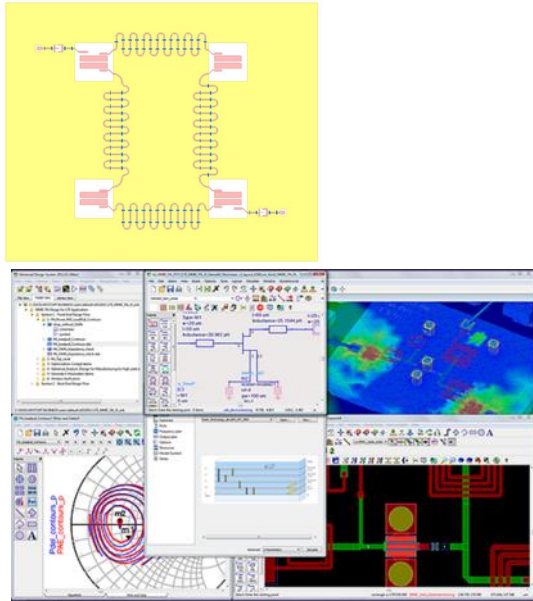
Un regard sur l'écosystème quantique



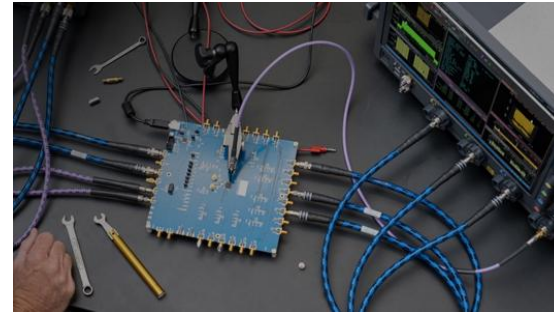
Stades de recherche



Logiciels de design électronique



Instrumentation de test et mesure



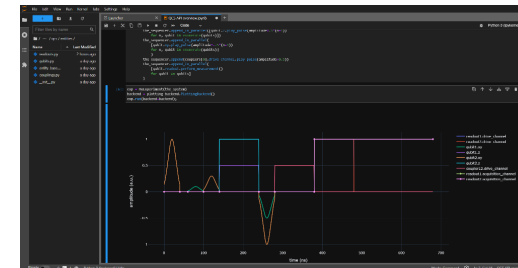
Instrumentation de contrôle quantique



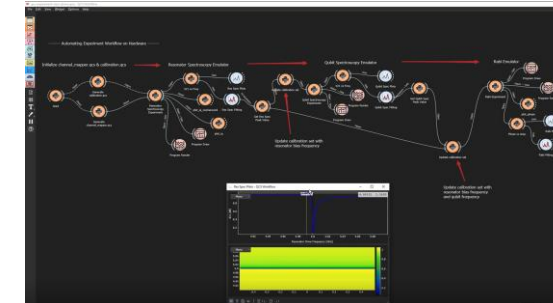
Contrôle à grande échelle



Logiciel de contrôle



Logiciel de calibration à grande échelle



Network Analyzers



Oscilloscopes



Photonics and Optical Instruments



Wideband ARBs & Digitizers



Stades de développement

Du concept à l'implémentation



Laboratoires de recherche et start-ups

- Design de nouveaux appareils et de nouvelles technologies
- Simulation and analyse avant le prototypage
- Fabrication de prototypes
- Caractérisation des appareils
- Expériences en laboratoire avec les appareils (incluant des algorithmes)

Mise à l'échelle et l'industrie

- Développement de technologies quantiques à grande échelle
- Commercialisation des applications quantiques
- Intégration entre le HW et le SW (+ HPC)
- Standardisation et interopérabilité
- Collaboration avec le monde académique et les instituts de recherche

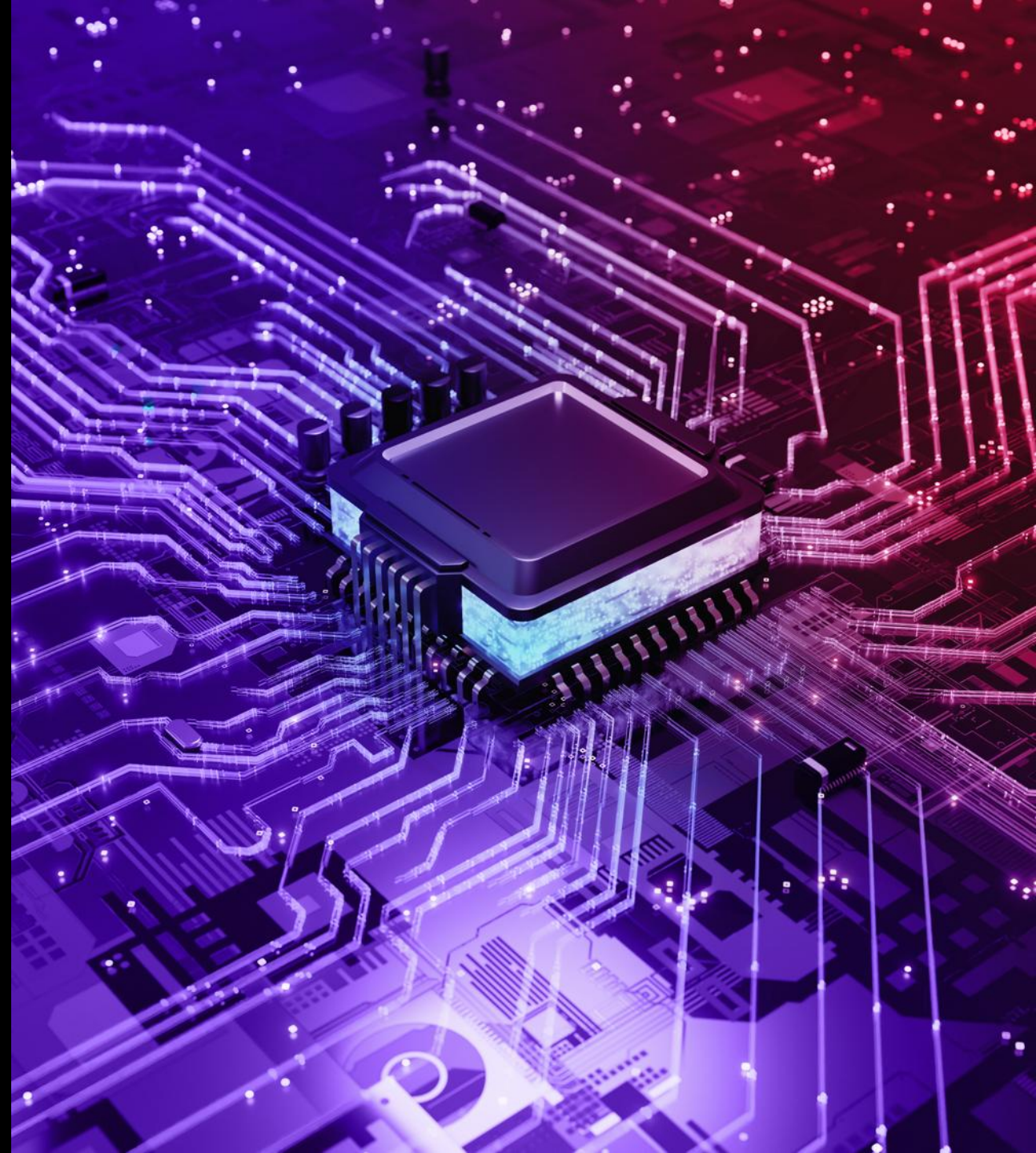
Concept

Design

Design et conceptualisation

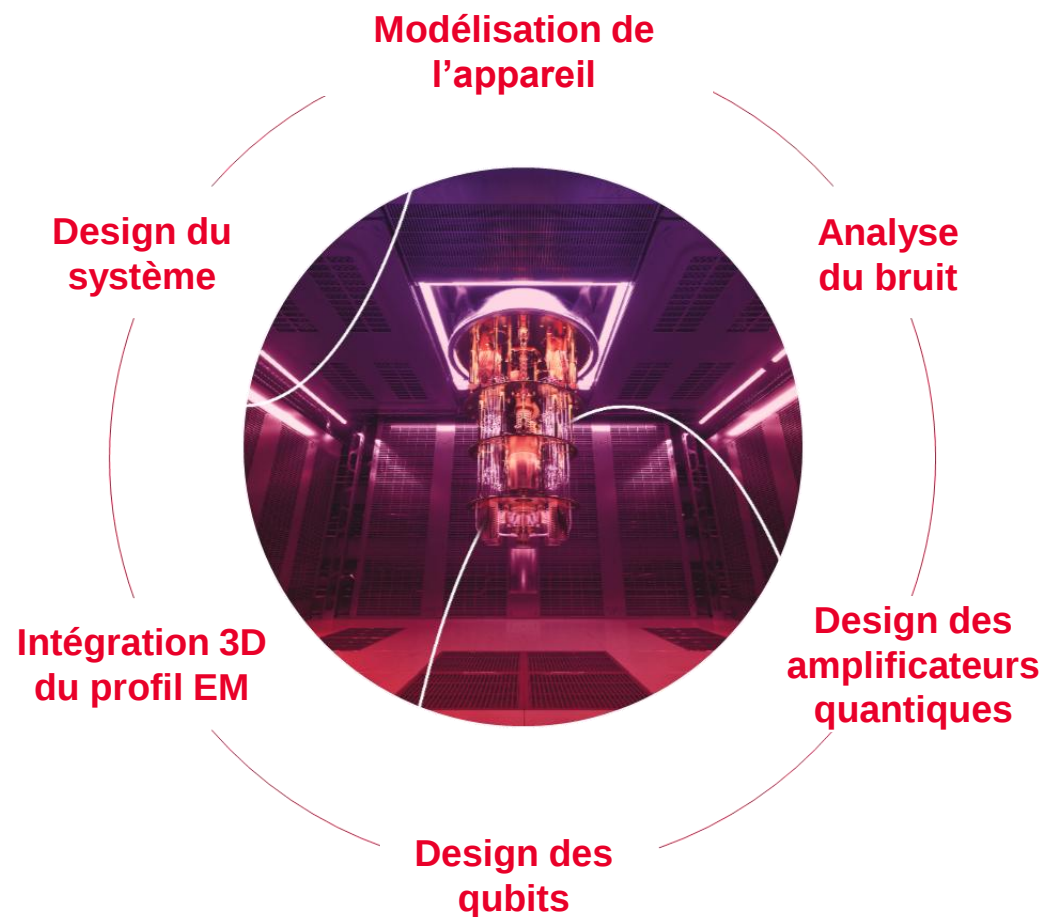
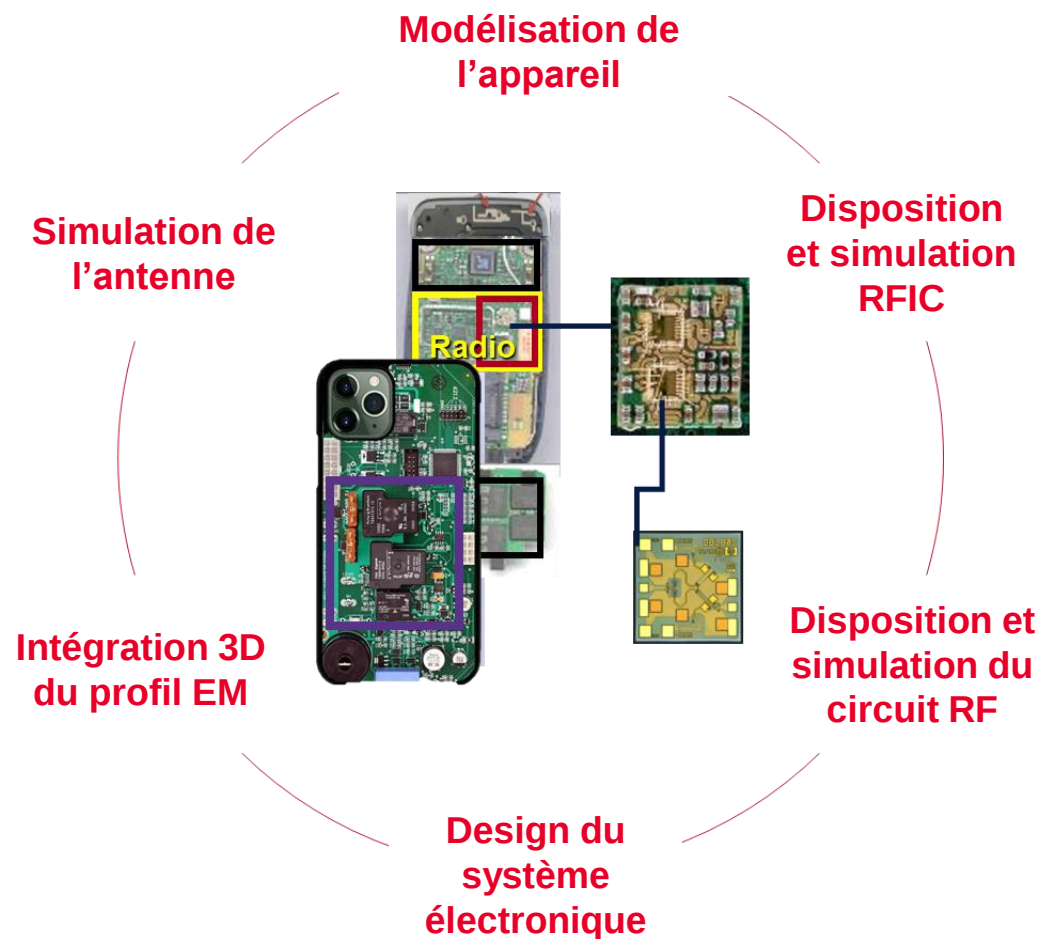
Défis

- Considérant la très petite échelle des éléments électroniques, les hautes fréquences auxquelles ils sont sujets et les nouveaux matériaux utilisés dans leur conception, la modélisation devient encombrante et complexe.
- Les solutions maison mènent à un entretien manuel de la gestion des données, ce qui affecte la qualité et nuit à l'interopérabilité.



Téléphone cellulaire vs. ordinateur quantique

Comparaison des besoins vis-à-vis l'automatisation de la conception électronique



Exemple avec les qubits superconducteurs

Un cycle de conceptualisation rapide est important

Q

Extracted Parameters

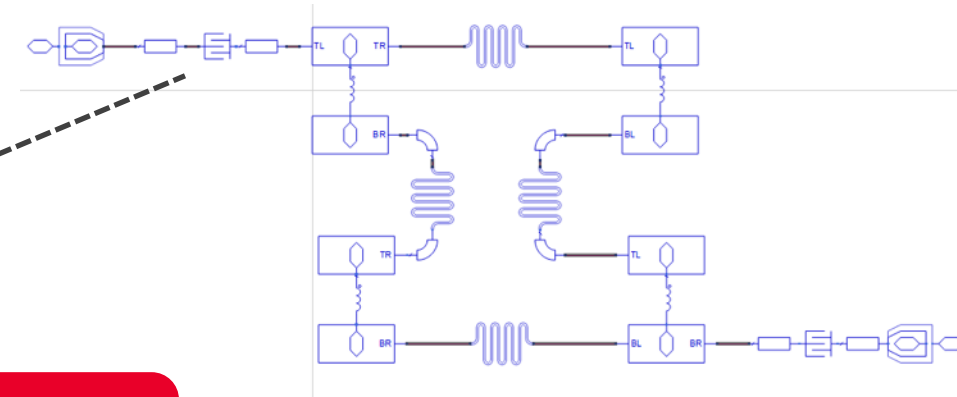
	Q1	Q2	Q3	Q4	R1	R2	R3	R4
L	11.5 nH	11 nH	10.5 nH	10 nH				
Freq	5.95 GHz	6.1 GHz	6.3 GHz	6.44 GHz	8.65 GHz	8.92 GHz	9.41 GHz	9.67 GHz
Q1	311 MHz					1.22 MHz		0.865 MHz
Q2		313 MHz			1.49 MHz			1.01 MHz
Q3			319 MHz			1.62 MHz	1.21 MHz	
Q4				317 MHz	2.12 MHz		1.27 MHz	
R1		1.49 MHz		2.12 MHz	10.6 kHz			
R2	1.22 MHz		1.62 MHz			6.48 kHz		
R3			1.21 MHz	1.27 MHz			4.84 kHz	
R4	0.865 MHz	1.01 MHz						2.83 kHz

Qubit Anharmonicity

Resonator Anharmonicity

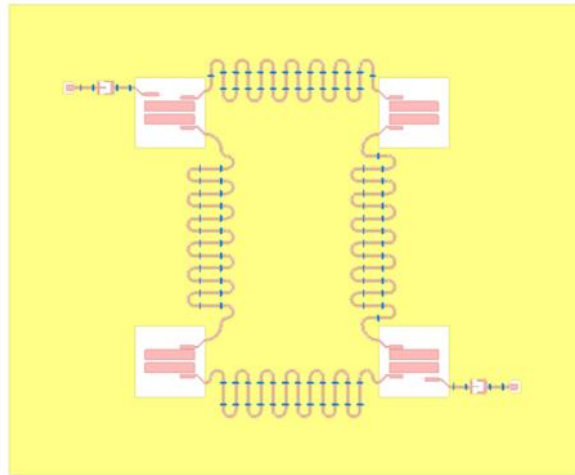
Cross-Kerr

Circuit de qubits



Paramètres quantiques

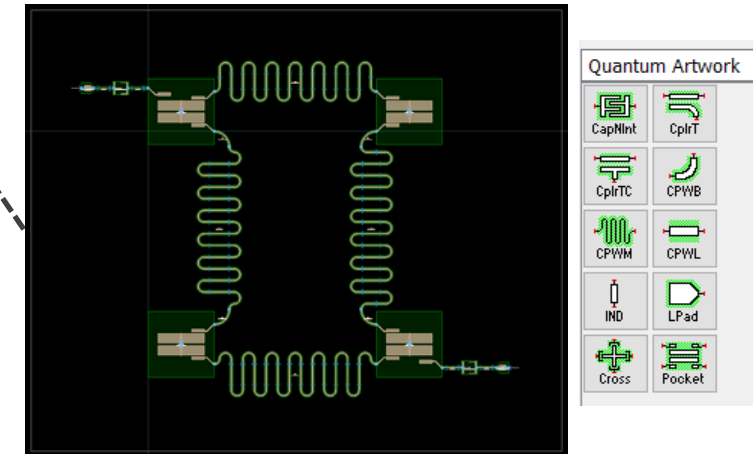
Disposition des qubits



MoM,
FEM

Solution
E&M

Configuration
E&M



Instrumentation de test

Instruments autonomes

Exemples d'instruments de test:

- Appareils de mesure à source
- Analyseurs de réseau
- Oscilloscopes

Bien qu'utiles et polyvalents, ces instruments sont coûteux par canal, prennent de l'espace, et de la puissance électrique.

Défis:

- Miniaturisation des instruments
- Plus grande densité de canaux
- Réduction du coût par canal



Instruments modulaires

Exemples d'instruments modulaires

Plusieurs instruments existent aussi en format modulaire (e.g. PXIe). L'idée est de compactifier l'électronique et d'augmenter la densité de canaux. Parfois, ces instruments sont plus spécialisés.

Défis:

- Capturer les exigences quantum afin de pouvoir spécialiser les instruments de test et les miniaturiser.

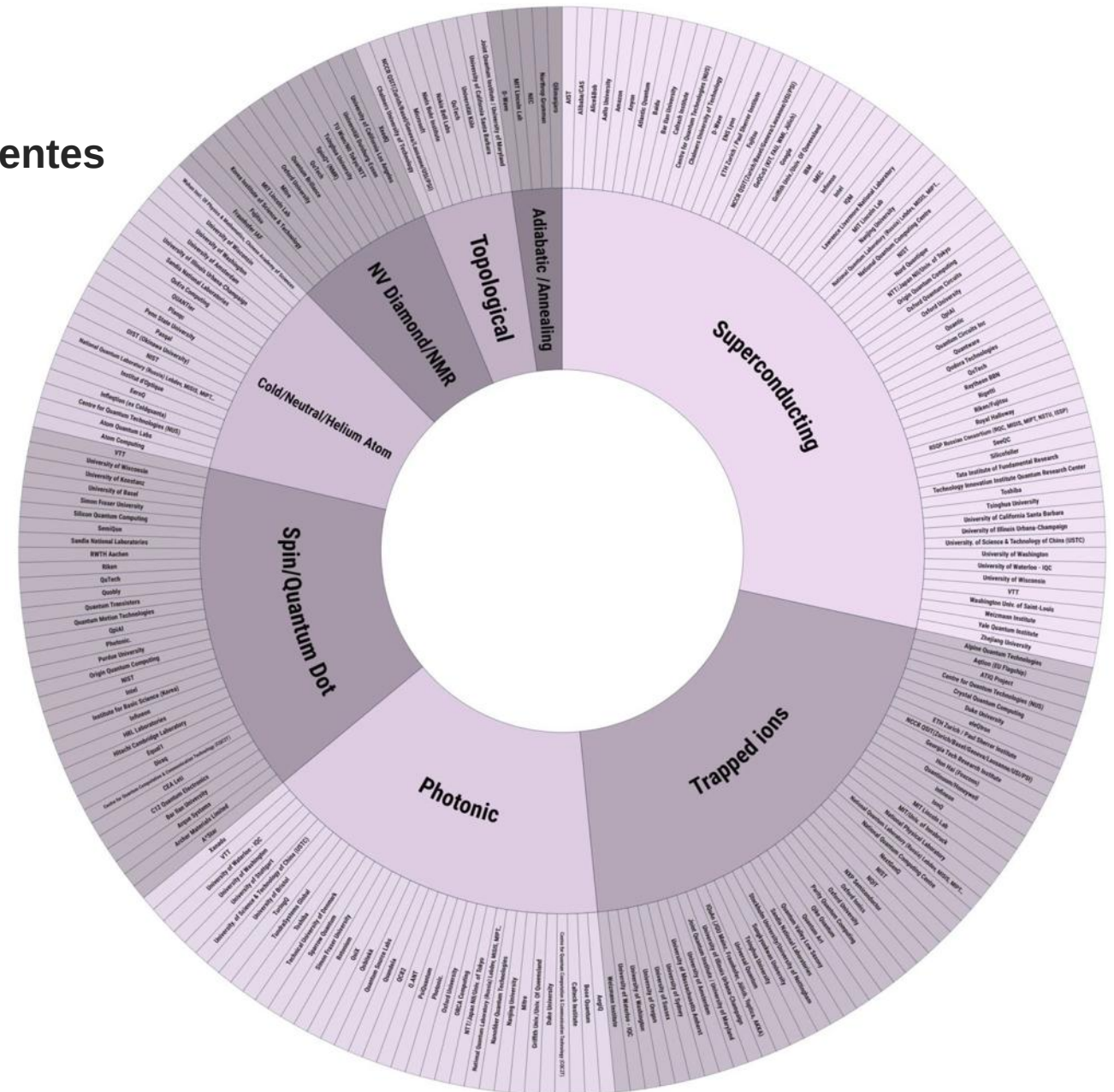


Exigences mouvantes

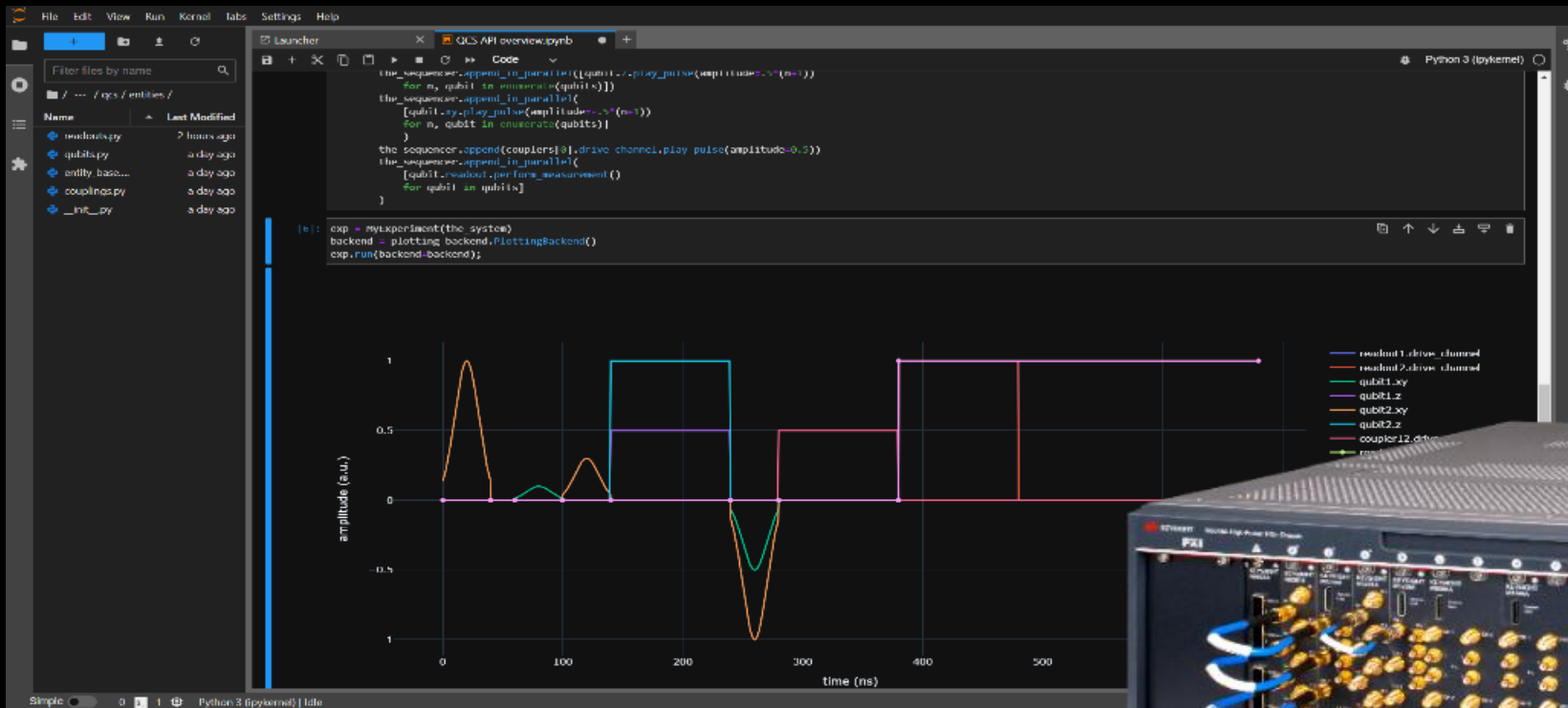
Le quantum est un jardin de technologies émergentes

Créer des instruments qui couvrent de larges exigences amène plusieurs défis:

- Miniaturisation et densité viennent avec spécialisation.
- Couvrir une large bande peut affecter la performance ou le coût.
- Les utilisateurs ont besoins d'expressivité, de flexibilité (et garder la capot ouvert demande un degré supplémentaire de développement).
- Les standards n'existent pas.



Instruments de contrôle



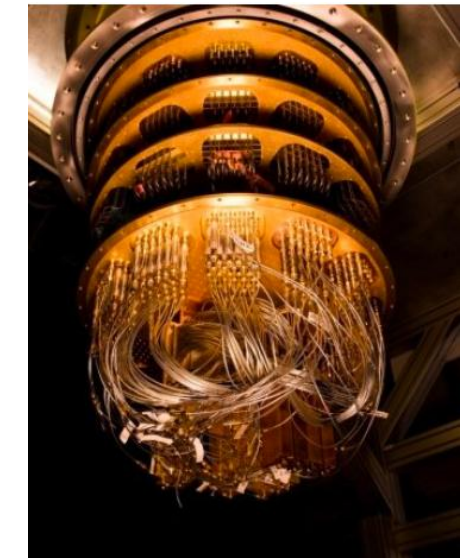
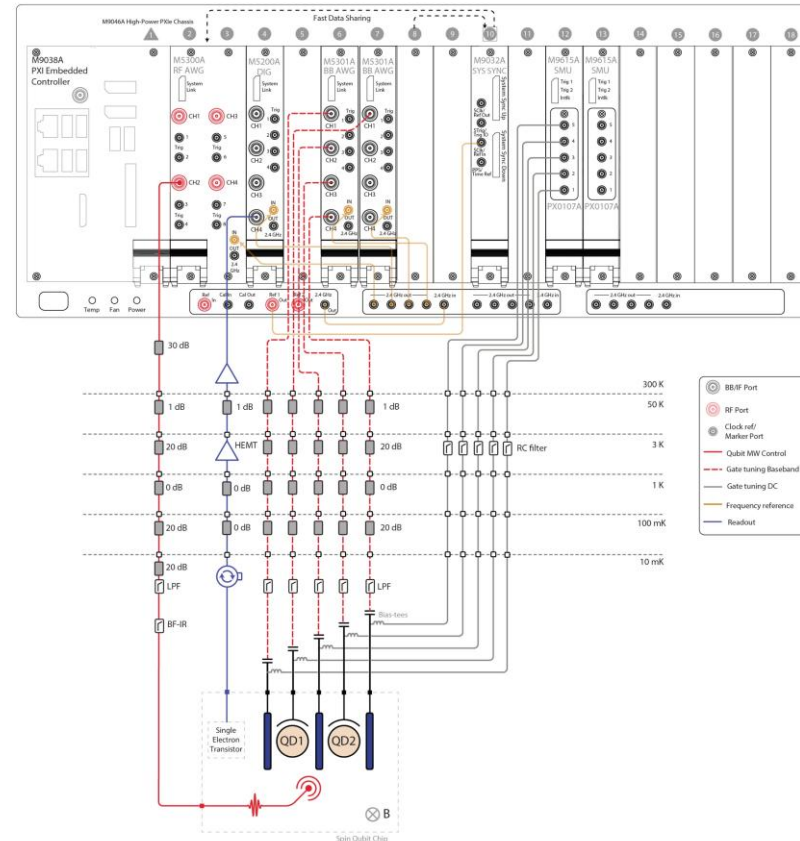
Du test au contrôle

Les tests qui demandent le contrôle

Défis:

- **Permettre une synchronisation entre les instruments, et un contrôle à l'échelle de la nanoseconde.**
- **Permettre des communications ultra-rapides entre les instruments.**
- Demande une solution intégrale, et donc un effort de développement coopératif.
- Développer des logiciels de contrôle et des interfaces pour la visualisation de données.
- Développer des logiciels d'automatisation et de calibration.
- Permettre d'exprimer différentes expériences à différents niveaux d'abstraction.
- Permettre une grande expressivité sans compromettre la performance.
- Permettre une rapidité d'exécution malgré l'expressivité.

Certains tests demandent une synergie entre différents instruments.



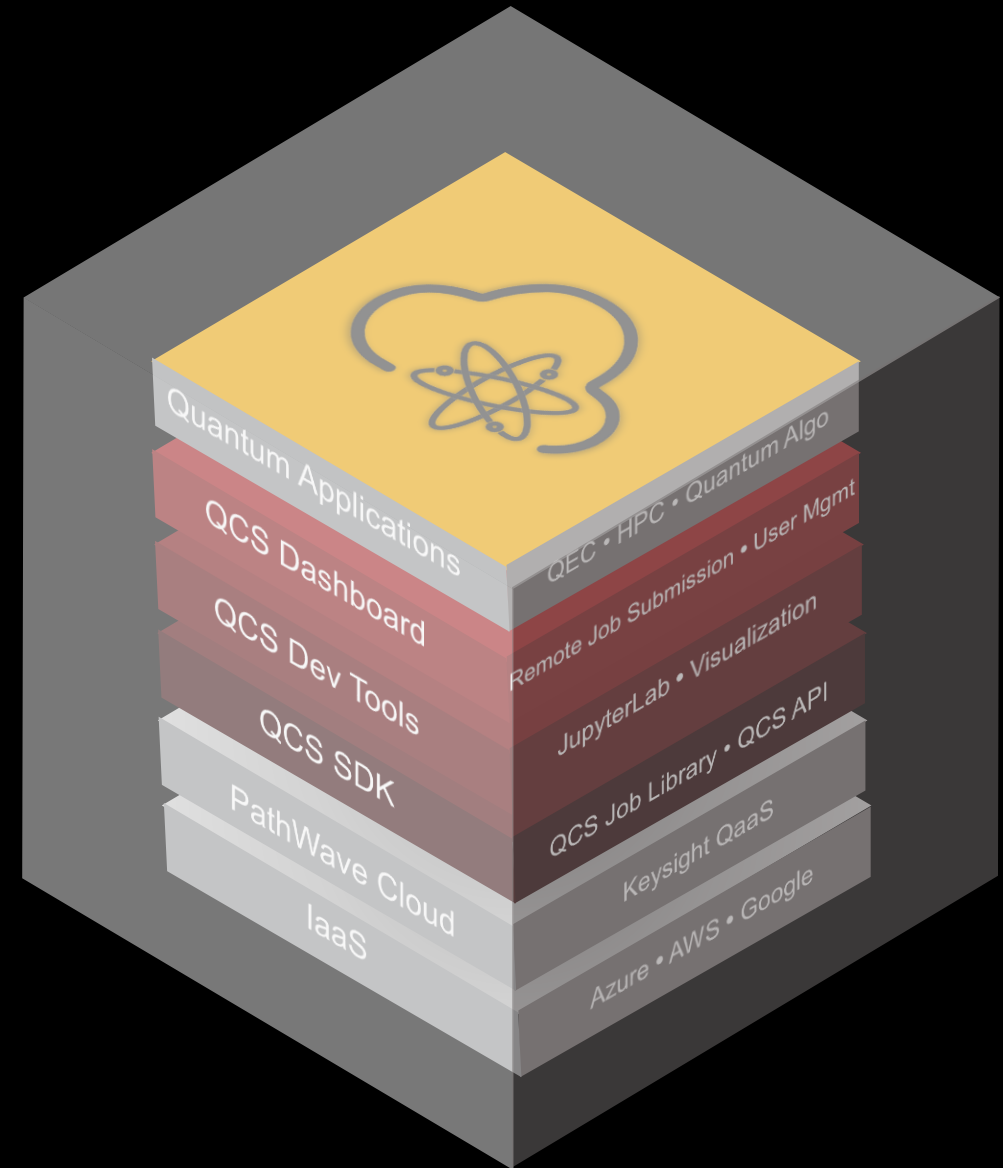
Du test au contrôle

Les tests qui demandent le contrôle

Défis:

- Permettre une synchronisation entre les instruments, et un contrôle à l'échelle de la nanoseconde.
- Permettre des communications ultra-rapides entre les instruments.
- **Demande une solution intégrale, et donc un effort de développement coopératif.**
- Développer des logiciels de contrôle et des interfaces pour la visualisation de données.
- Développer des logiciels d'automatisation et de calibration.
- Permettre d'exprimer différentes expériences à différents niveaux d'abstraction.
- Permettre une grande expressivité sans compromettre la performance.
- Permettre une rapidité d'exécution malgré l'expressivité.

Une solution intégrale demande un effort coopératif, et une communication accrue entre les équipes, et avec les utilisateurs



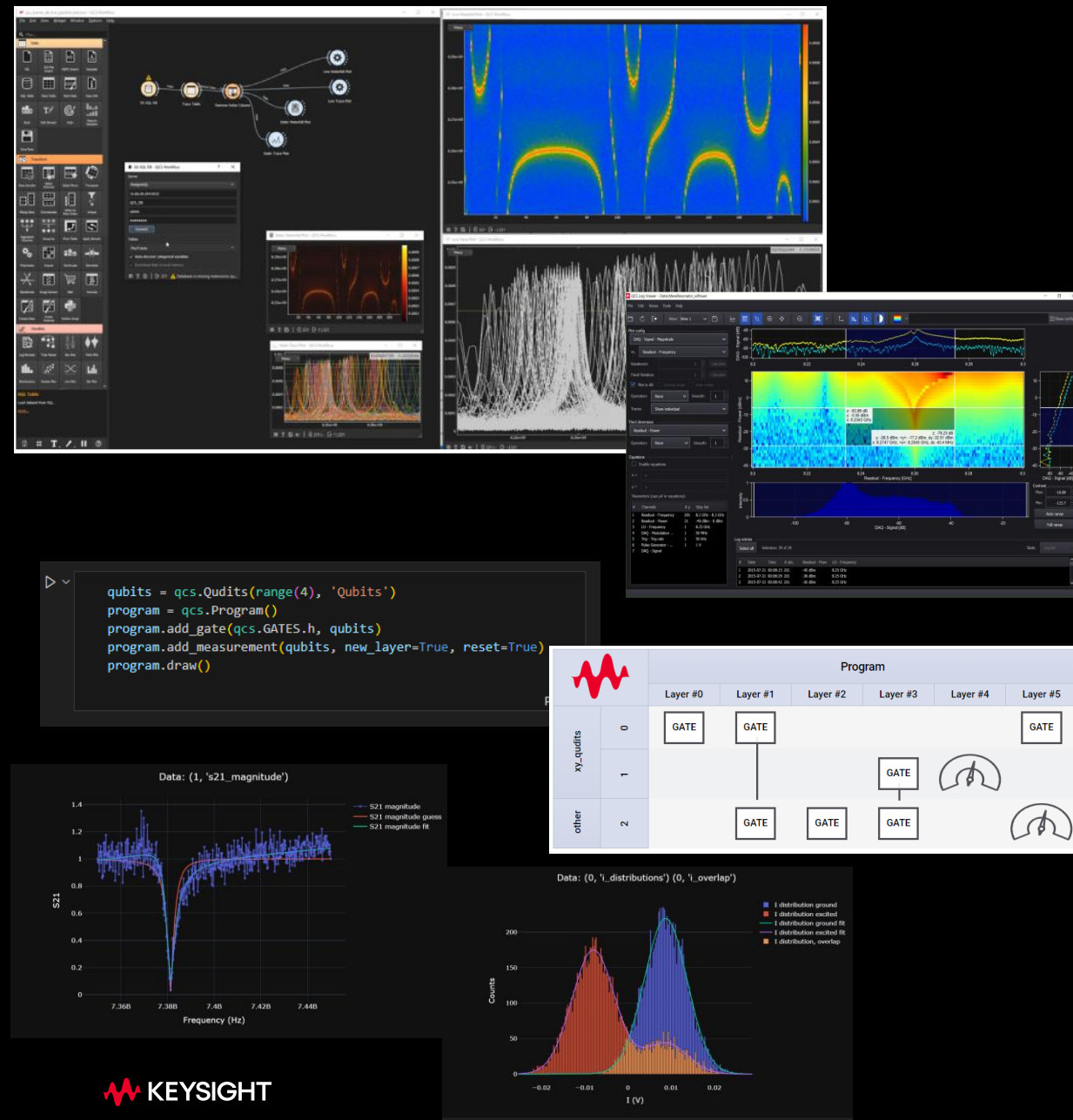
Du test au contrôle

Les tests qui demandent le contrôle

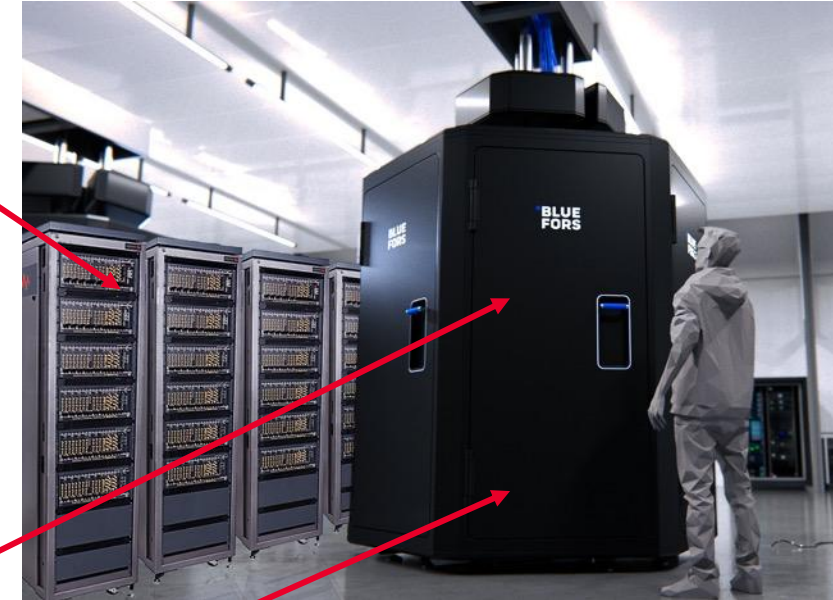
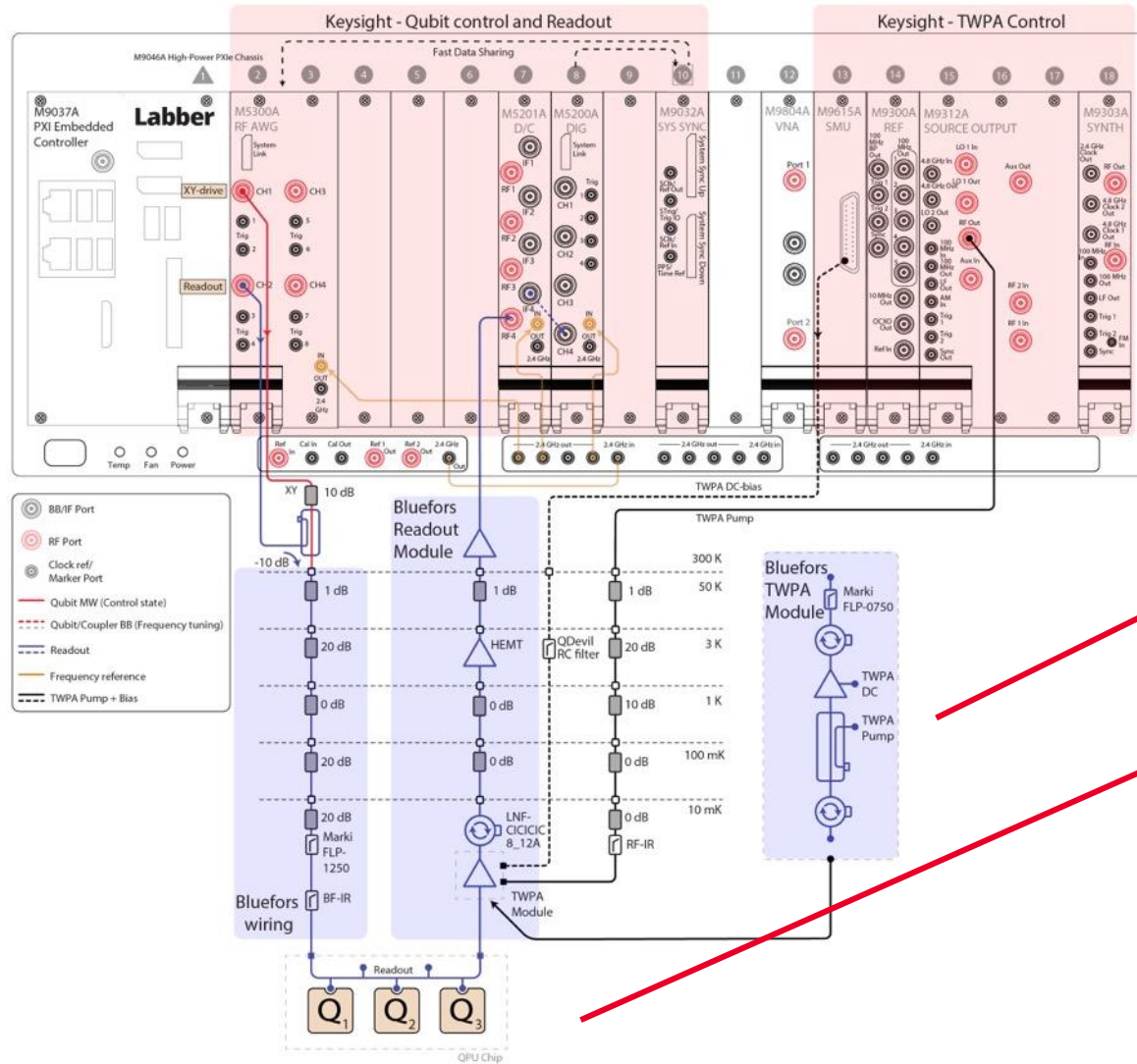
Défis:

- Permettre une synchronisation entre les instruments, et un contrôle à l'échelle de la nanoseconde.
- Permettre des communications ultra-rapides entre les instruments.
- Demande une solution intégrale, et donc un effort de développement coopératif.
- Développer des logiciels de contrôle et des interfaces pour la visualisation de données.
- Développer des logiciels d'automatisation et de calibration.
- Permettre d'exprimer différentes expériences à différents niveaux d'abstraction.
- Permettre une grande expressivité sans compromettre la performance.
- Permettre une rapidité d'exécution malgré l'expressivité.

Certains tests sont formulés à un niveau d'abstraction supérieur (par exemple, en terme d'algorithmes quantiques).



Mise à l'échelle



Défis

Réduction du prix par canal.
Augmentation de la densité électronique.
Logiciels de calibration et de contrôle.

Tout en permettant une certaine **expressivité**
et une compatibilité avec des **exigences mouvantes**.

Conclusion

L'écosystème quantique comprend plusieurs sphères et est en constante évolution.

Les exigences vis-à-vis l'instrumentation sont à la fois larges et mouvantes.

Étant donnée l'émergence des technologies quantiques, l'expressivité et la flexibilité sont de mise.

Les efforts de développement doivent être coopératifs pour fournir des outils intégrés et complets.

Une forte communication avec la communauté et les acteurs principaux du marché est importante pour bien capturer les cas d'utilisation et s'assurer de pouvoir envisager la mise en échelle.



FROM TECHNOLOGIES TO MARKET

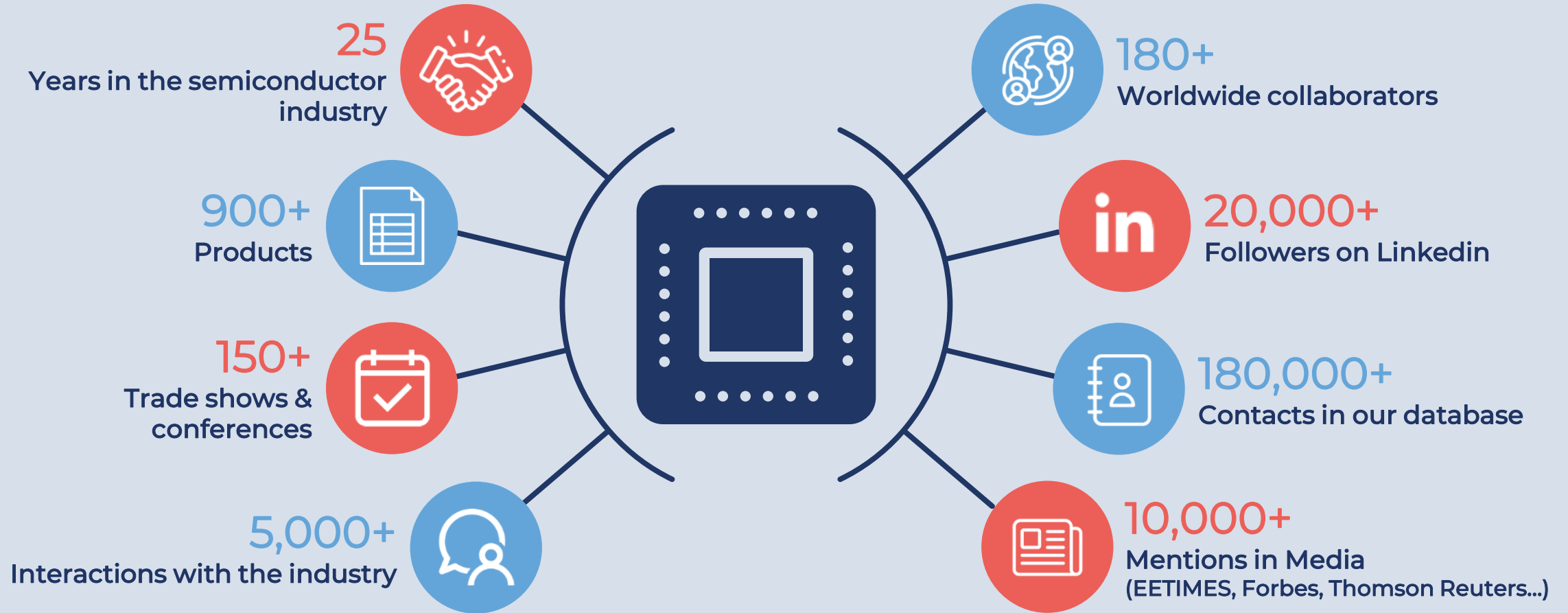
Corporate Presentation

— OUR EXPERTISE —

SEMICONDUCTOR INDUSTRY

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| • Imaging | • Memory |
| • Battery | • Photonics and Lighting |
| • Display | • Power Electronics |
| • Electronic Systems | • Radio Frequency |
| • Computing and Software | • Semiconductor Equipment |
| • Compound Semiconductor | • Semiconductor Packaging |
| • Global Semiconductor Trends | • Sensing and Actuating |

YOLE GROUP – KEY FIGURES



CONTACTS

REPORTS, MONITORS & TRACKS

NORTH AMERICA

sales.us@yolegroup.com
+1 833 338 4999

EMEA

sales.emea@yolegroup.com
+49 69 9621 7675

JAPAN, KOREA, REST OF ASIA

sales.japan@yolegroup.com
sales.korea@yolegroup.com
sales.restofasia@yolegroup.com
+81 3 4405 9204

GREATER CHINA

sales.gc@yolegroup.com
+886 979 336 809 +86 136 6156 6824

GLOBAL OPERATIONS

CUSTOM SERVICES

custom@yolegroup.com

MARKETING

marketing@yolegroup.com

PUBLIC RELATIONS & EXTERNAL COMMUNICATIONS

publicrelations@yolegroup.com
communication@yolegroup.com

GENERAL INQUIRIES

contact@yolegroup.com | +33 4 72 83 01 80

FOLLOW US ON



General terms and conditions of sales

