Olivier Ezratty

TEDx MinesNancy

x = independently organized TED event

l'informatique quantique

un immense défi scientifique et technologique

olivier ezratty

⟨ auteur | … ⟩

Nancy, 4 mai 2024

olivier@oezratty.net www.oezratty.net @olivez


14 mai 2018
Alain Aspect
Fanny Bouton
photo: Fanny Bouton

un vaste champ scientifique

physique

physique quantique
photonique
électromagnétisme
thermodynamique
mécanique des fluides

mathématiques

algèbre linéaire
théorie des groupes
analyse
théories de la complexité

SHS

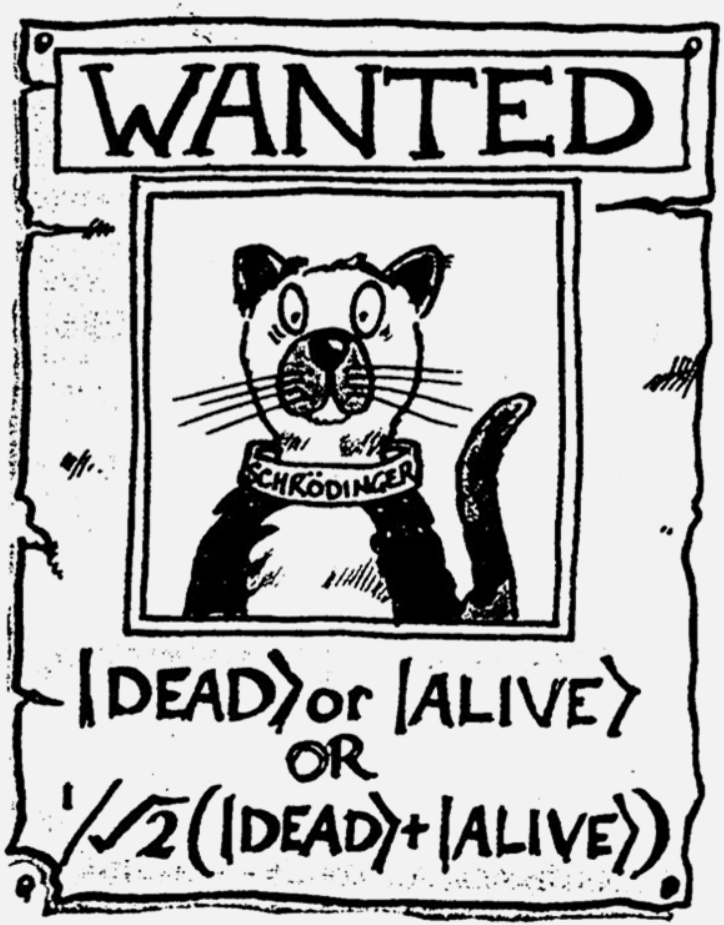
philosophie
épistémologie
sociologie
éthique
prospective
économie de l'innovation
géopolitique
entrepreneuriat

ingénierie

matériaux
électronique
cryogénie

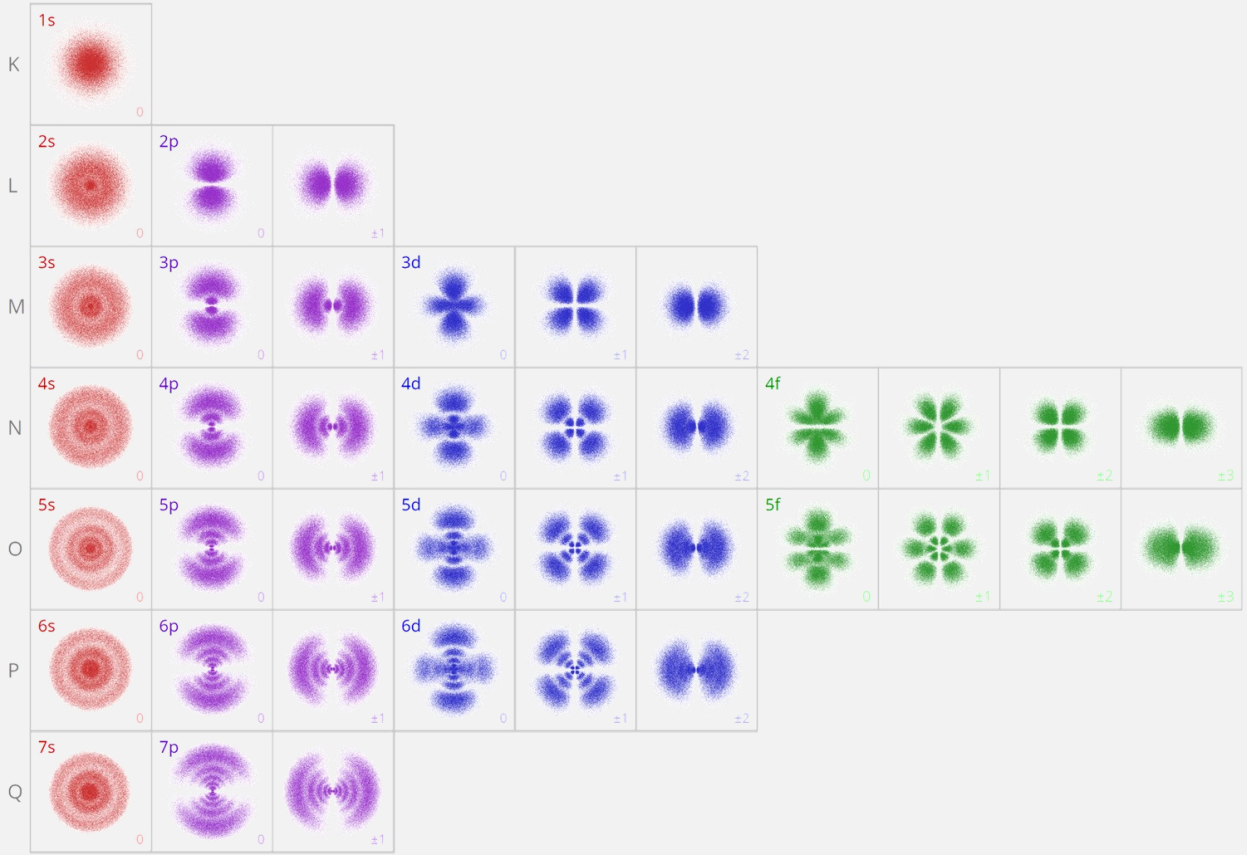
informatique

algorithmie
théorie de l'information
programmation
informatique classique
Intelligence artificielle
télécommunications


WANTED
SCHRÖDINGER
|DEAD⟩ or |ALIVE⟩
OR
1/√2(|DEAD⟩+|ALIVE⟩)


Shutterstock/S Castelli)

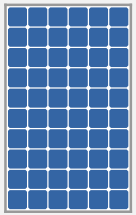
$$i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x)\Psi(x,t)$$

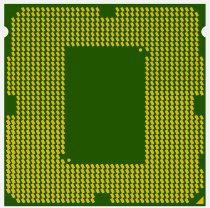


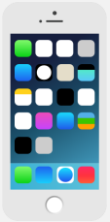
source: Keith Enevoldsen, elements.wlonk.com/Orbitals.htm

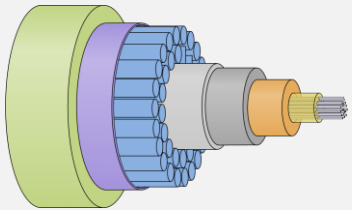
première révolution quantique

transistors, lasers, …







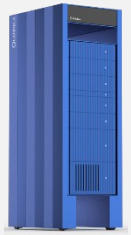


ère numérique actuelle

1947-*

seconde révolution quantique

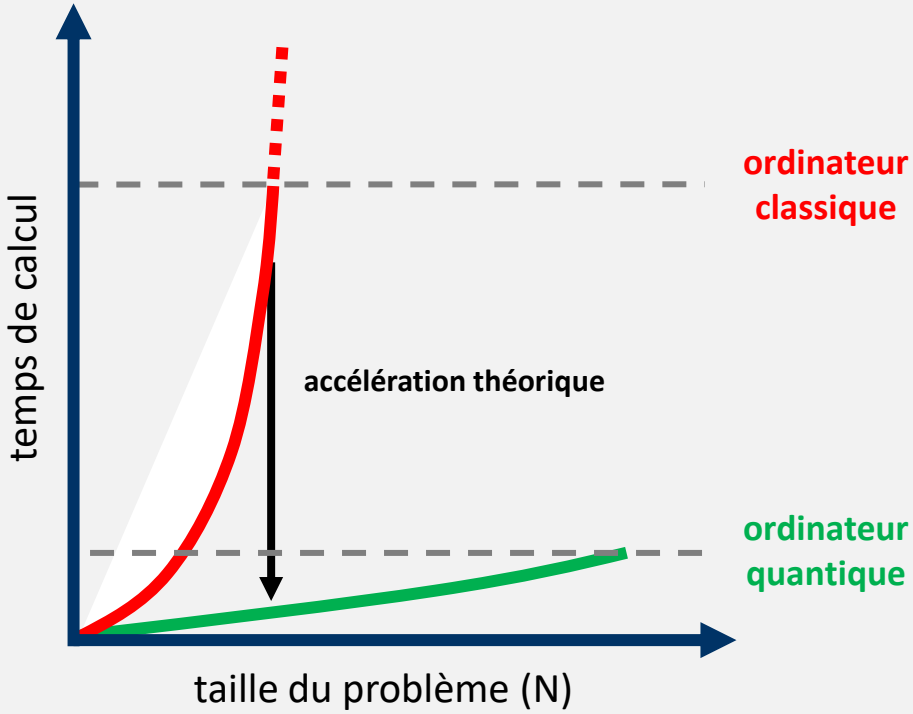
superposition, intrication
et contrôle d'objets quantiques individuels



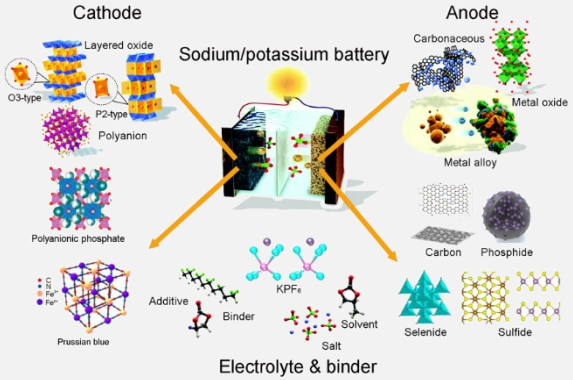
ordinateurs quantiques
capteurs quantiques
cryptographie quantique
communications quantiques

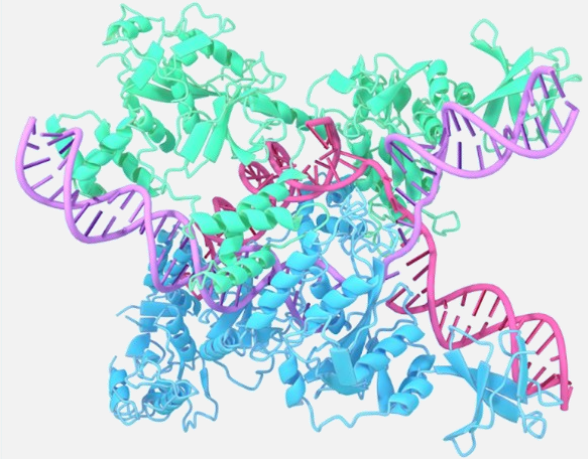
1982-*

promesse du calcul quantique



simuler la matière pour…





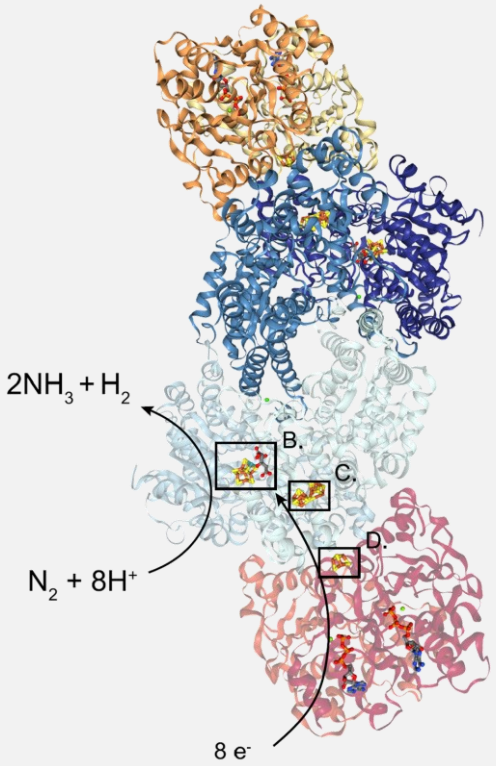


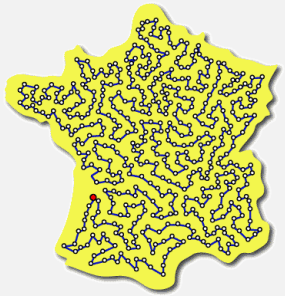
image sources: Royal Society of Chemistry, Deepmind, Biosynthesis of Nitrogenase Cofactors by Stefan Buren et al, Chemical Reviews, 2020

créer de meilleures batteries

créer de nouvelles thérapies

produire les engrais avec moins d'énergie

optimiser les opérations pour…



réduire délais et coûts dans les transports et la logistique

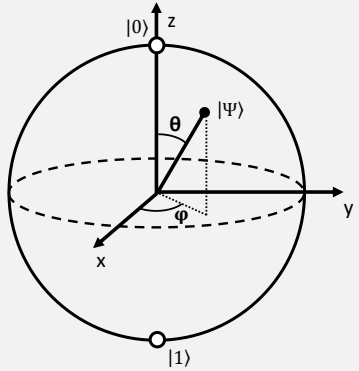
distribuer les énergies renouvelables intermittentes

le « quantum bit » du calcul quantique

mathematiquement

unité de gestion de l'information

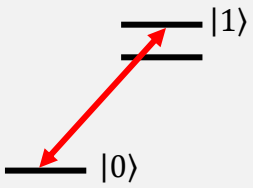
équivaut à deux nombres réels



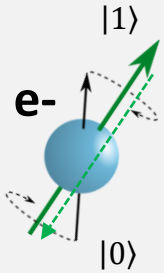
souvent représenté sous la forme d'une amplitude et d'une phase d'une onde

physiquement

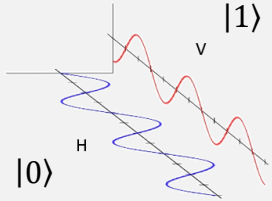
objet quantique
à deux états contrôlables



deux niveaux d'énergie d'un atome



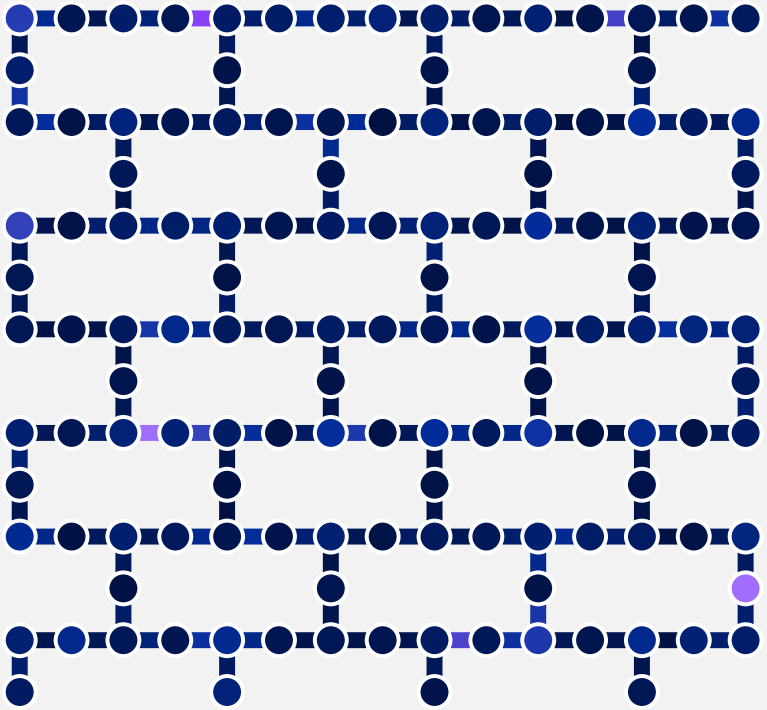
spin d'un électron



polarisation d'un photon

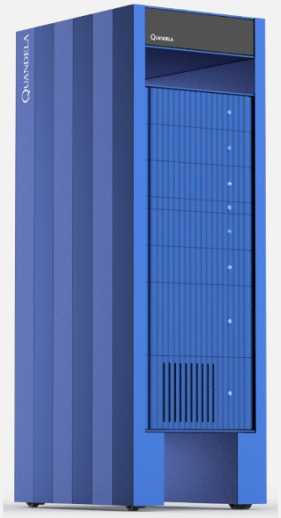
N qubits manipulent
l'équivalent de
2^{N+1} nombres réels
pendant le calcul

celui-ci bénéficie du
parallélisme quantique
apporté par la
superposition, l'intrication
et des interférences



exemple de liens entre qubits
dans un processeur quantique de 133 qubits

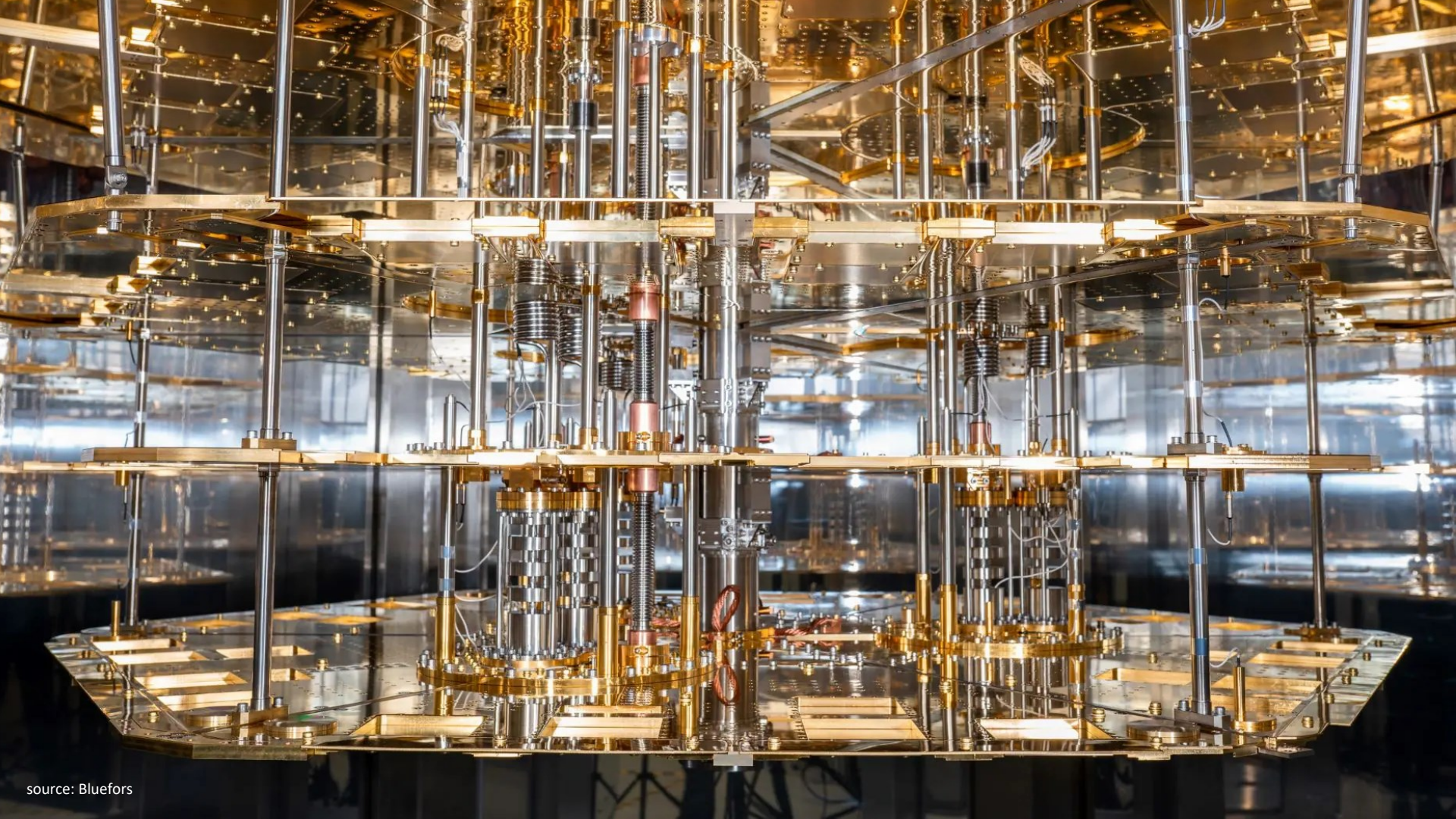
IBM



QUANDELA

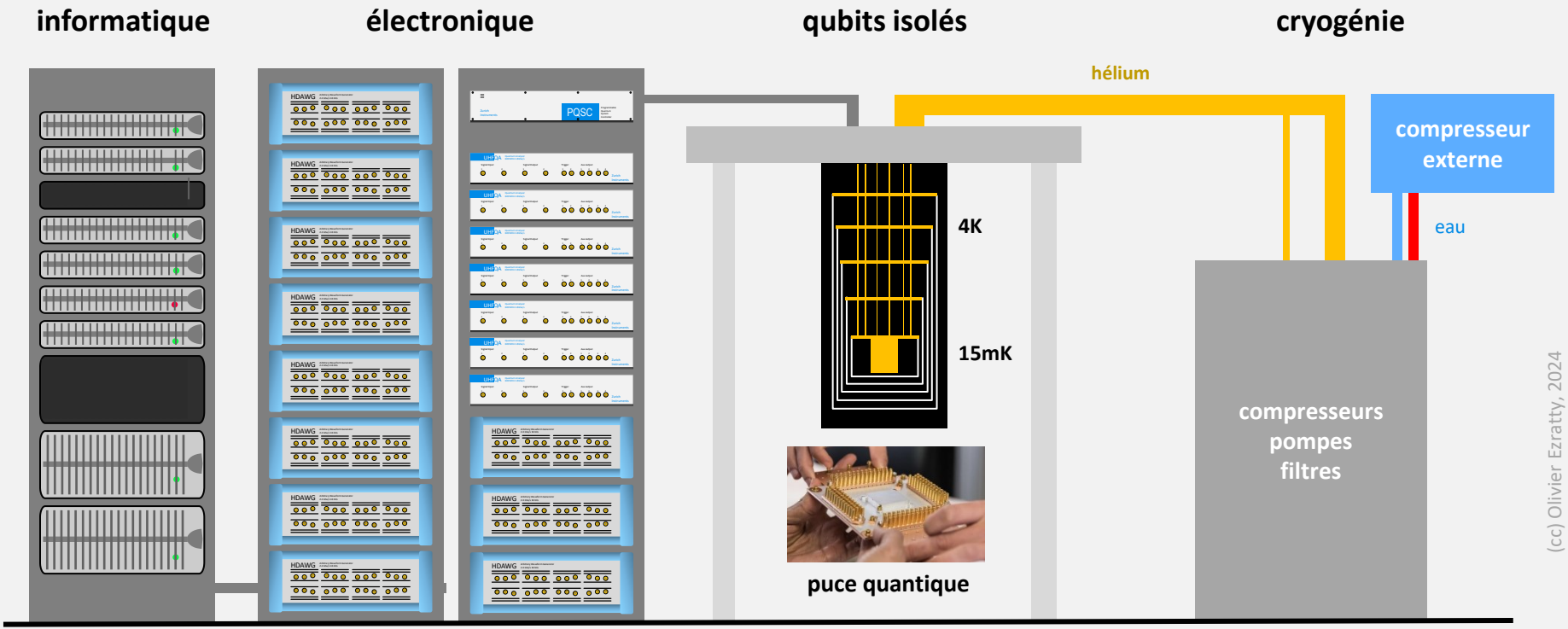
IONQ

PASQAL



source: Bluefors

à l'intérieur d'un ordinateur quantique



pour les qubits supraconducteurs ou à spin d'électrons

BCG BOSTON CONSULTING GROUP

BCG Quantum Computing Is Becoming Business Ready

QUANTUM COMPUTING / ARTICLE

Quantum Computing Is Becoming Business Ready

MAY 04, 2023

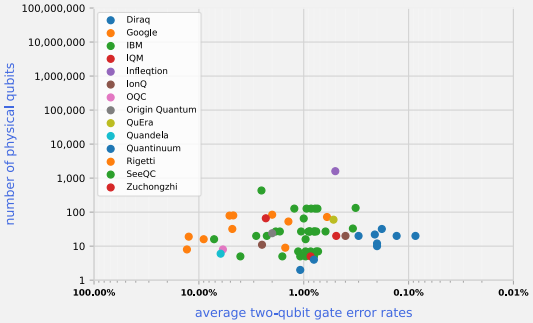
By Matt Langione, Jean-François Bobier, Zheng Cui, Cassia Naudet-Baulieu, Amit Kumar, and Antoine Gourévitch

READING TIME: 8 MIN

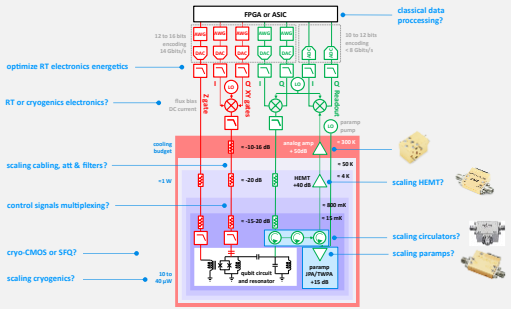
« L'ordinateur quantique est comme le projet de découverte des ondes gravitationnelles il y a 30 ans. C'est théoriquement possible mais demandera beaucoup de temps à mettre au point technologiquement. »

***Alain Aspect**, 14 mai 2018*

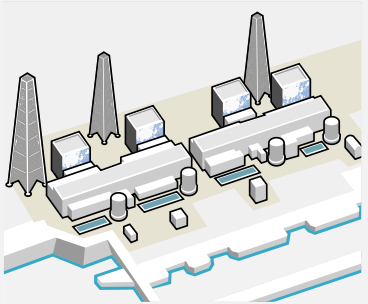
défis scientifiques et technologiques



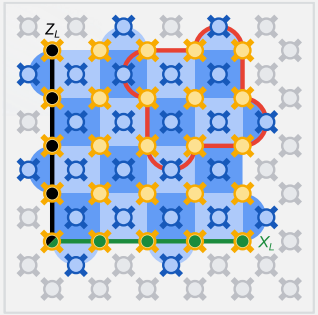
qualité des qubits



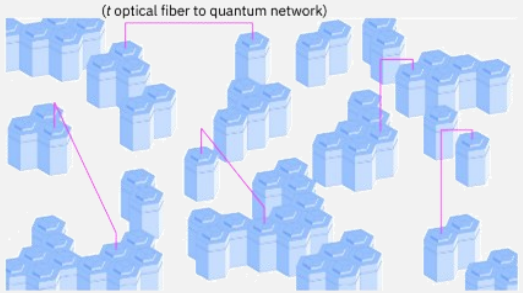
électronique, câblage, cryogénie



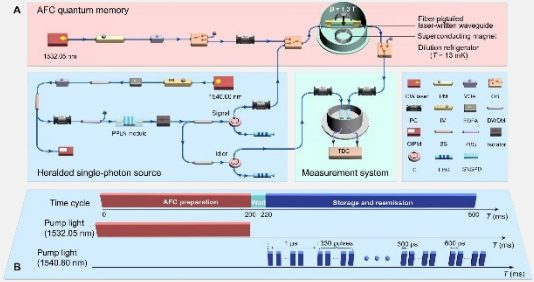
consommation d'énergie



correction d'erreurs

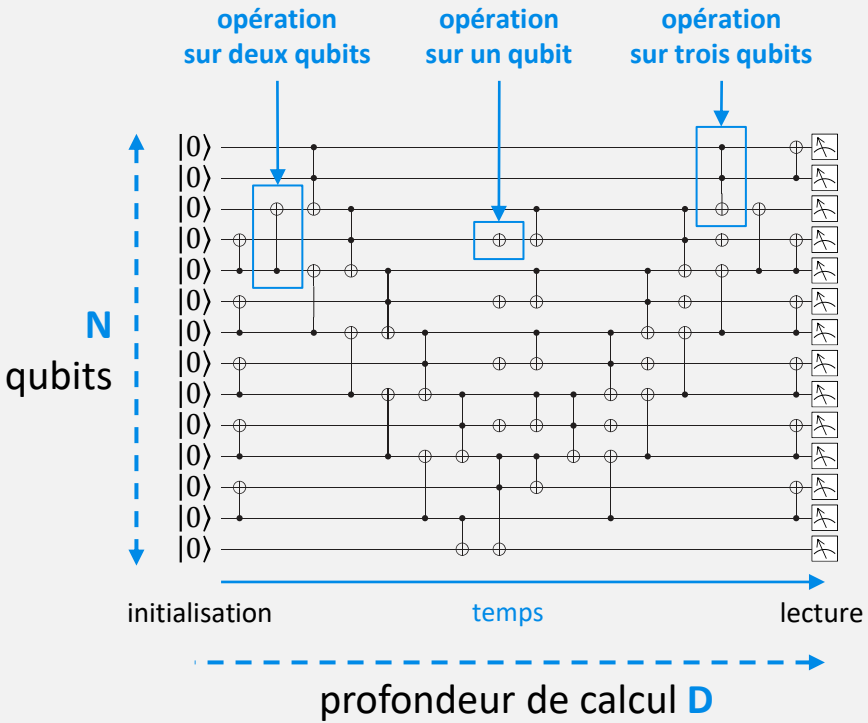


interconnexion



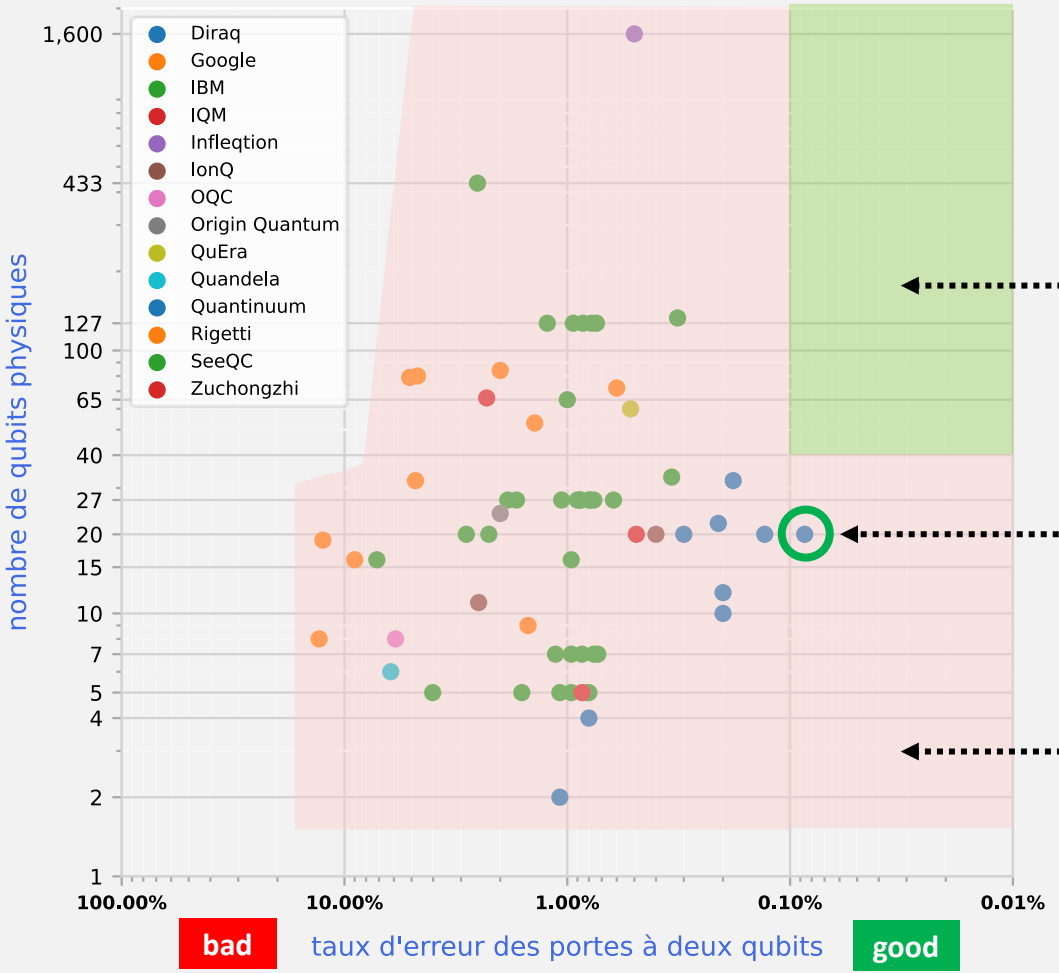
mémoires quantiques

besoins en fidélité de qubits



$$\text{taux d'erreurs requis} < \frac{1}{N \times D}$$

N qubits	D profondeur	erreur requise (%)	fidélité requise (%)	fidélité existante (%)
50	100	0.02000%	99.98%	**99.30%**
133	300	0.00251%	99.9975%	**99.6%**
433	1000	0.00023%	99.9998%	**98%**
1121	2000	0.00004%	99.99996%	N/A



besoin

record de 99,9%
16 avril 2024

QUANTINUUM

état de l'art

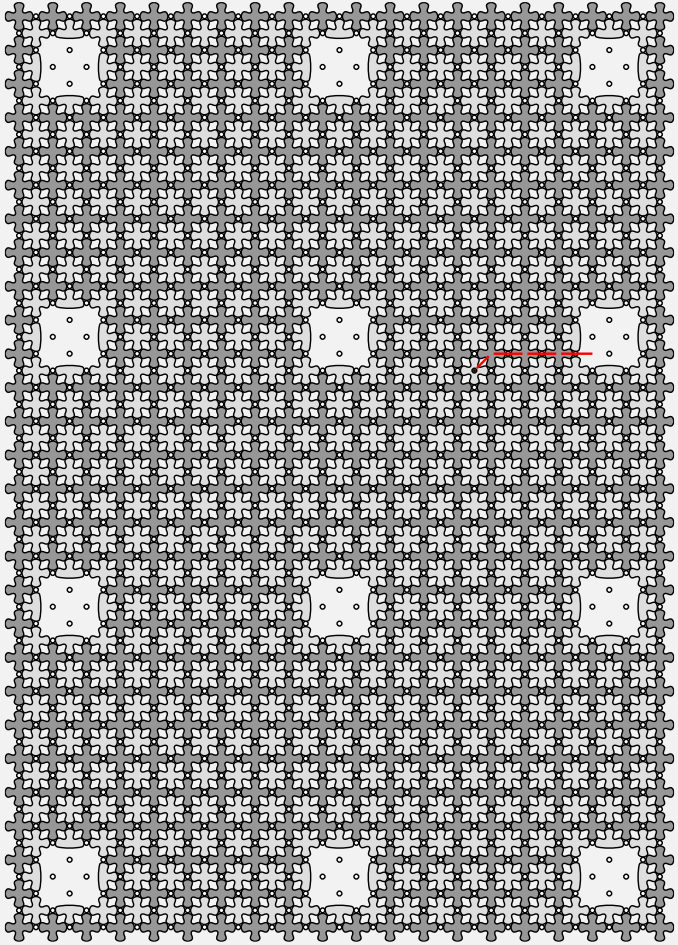
qubits logiques

qubit physique

taux d'erreurs ≈0.1%

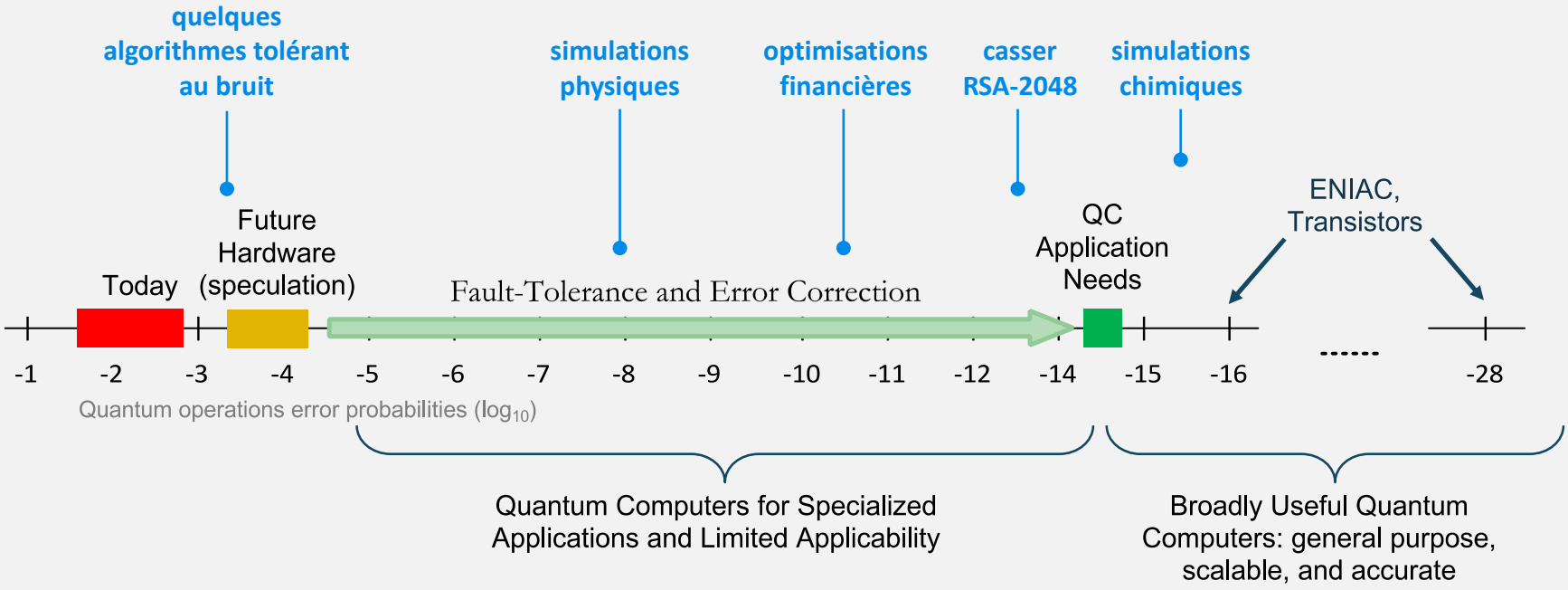
qubit logique

taux d'erreur $<10^{-8}$ to $<10^{-15}$



https://arxiv.org/abs/1202.2639

besoins applicatifs



source: How about quantum computing? by Bert de Jong, DoE Berkeley Labs, June 2019 (47 slides) + Olivier Ezratty additions.

besoins pour simuler une batterie

6652 qubits logiques

soient des millions de qubits physiques

VOLKSWAGEN

XANADU

source: Simulating key properties of lithium-ion batteries with a fault-tolerant quantum computer by Alain Delgado et al, April-September 2022 (31 pages).

PHYSICAL REVIEW A **106**, 032428 (2022)

Simulating key properties of lithium-ion batteries with a fault-tolerant quantum computer

Alain Delgado,[1,*] Pablo A. M. Casares,[2,*] Roberto dos Reis,[1,3] Modjtaba Shokrian Zini,[1] Roberto Campos,[2,4] Norge Cruz-Hernández,[5] Arne-Christian Voigt,[6] Angus Lowe,[1] Soran Jahangiri,[1] M. A. Martin-Delgado,[2,7] Jonathan E. Mueller,[6] and Juan Miguel Arrazola[1,†]

[1]*Xanadu, Toronto, Ontario, M5G 2C8, Canada*

[2]*Departamento de Física Teórica, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain*

[3]*Department of Materials Science and Engineering, Northwestern University, Evanston, Illinois 60208, USA*

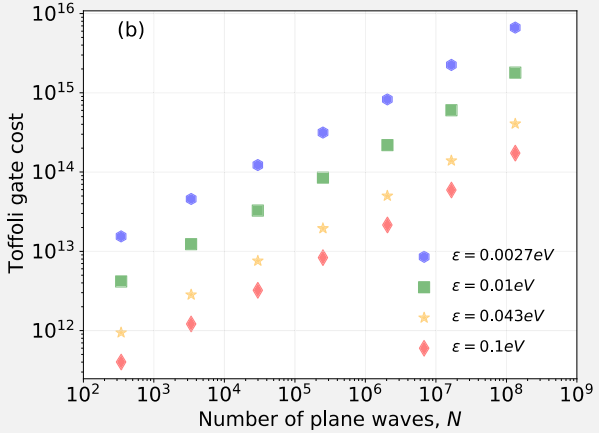
[4]*Quasar Science Resources SL, 28231, Las Rozas de Madrid, Spain*

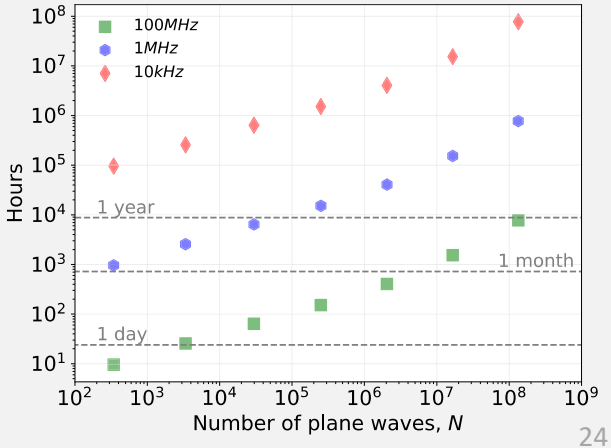
[5]*Departamento de Física Aplicada I, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Sevilla, Seville, E-41011, Spain*

[6]*Volkswagen AG, Berliner Ring 2, 38440 Wolfsburg, Germany*

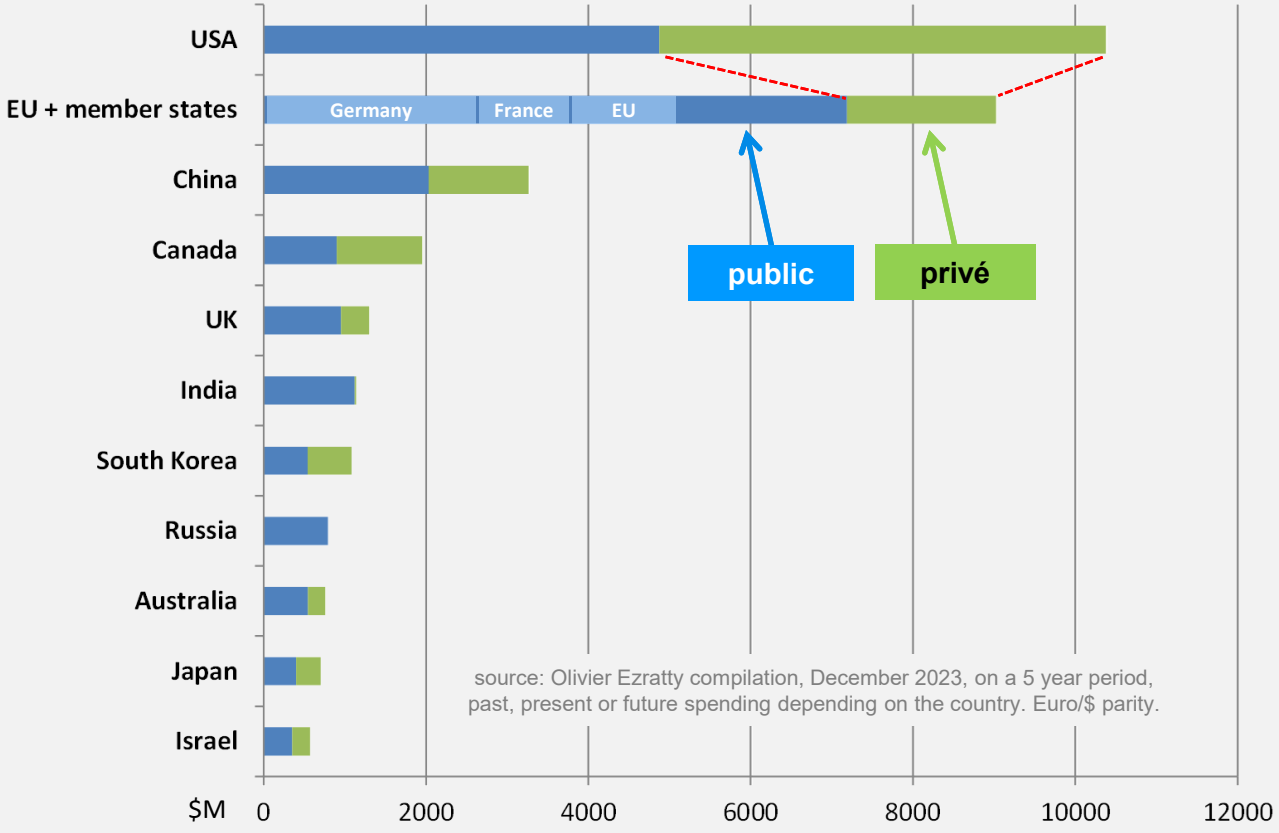
[7]*CCS-Center for Computational Simulation, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid, Spain*

(Received 27 April 2022; revised 14 July 2022; accepted 10 August 2022; published 26 September 2022)





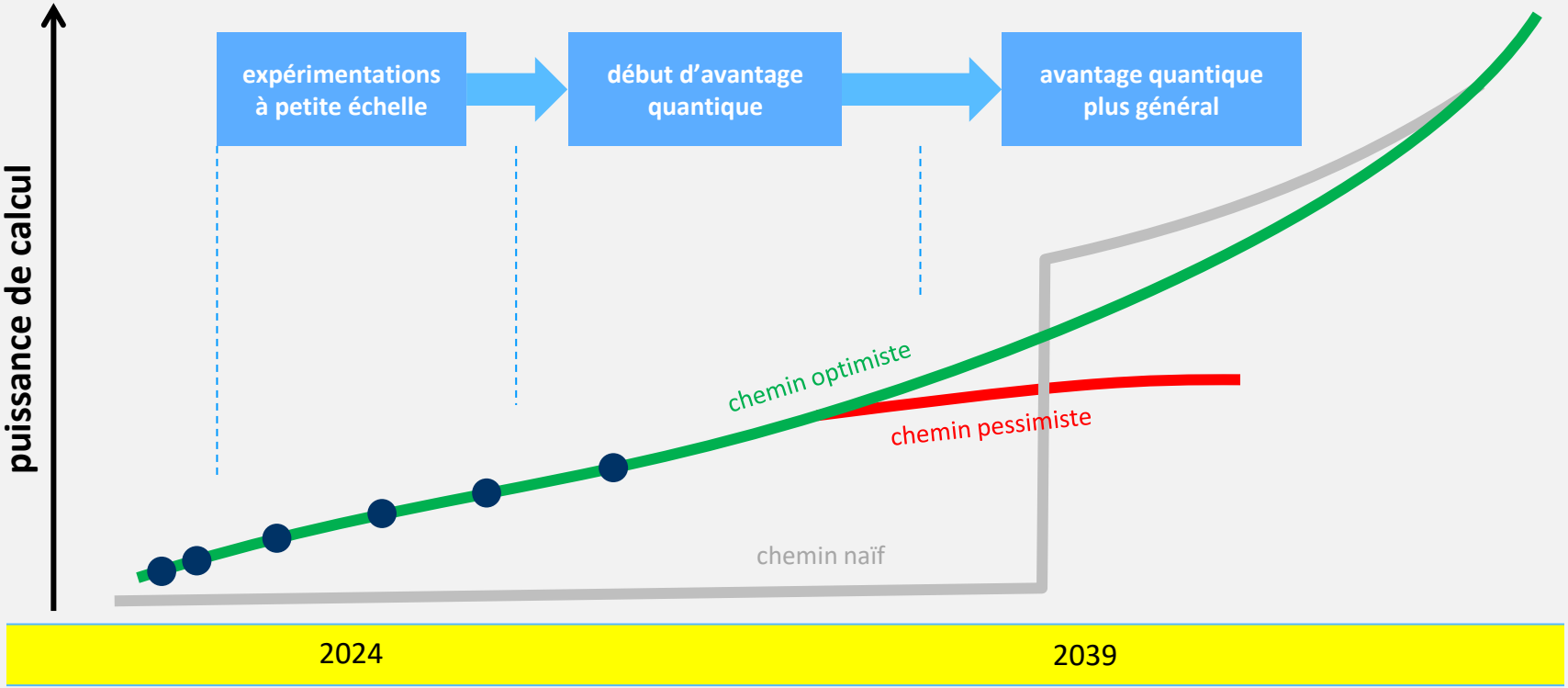
investissement mondial public et privé



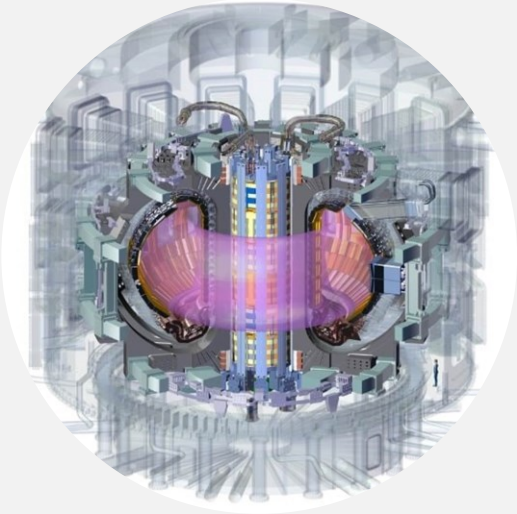
des startups de R&D associées à la recherche fondamentale

atomes		spins d'électrons		cavités micro-ondes	photons
ions piégés	atomes froids	silicium	nanotubes de carbone	qubits de chats	photons
CRYSTAL QUANTUM COMPUTING	Pasqal	quobly	C12	ALICE & BOB	QUANDELA
2021	2019	2022	2020	2020	2017
cnrs, Université Paris Cité	cnrs, INSTITUT d'OPTIQUE GRADUATE SCHOOL	cea, cnrs, NÉEL institut	cnrs, LPENS	cea, cnrs, Lab PHYS ENS de LYON, MINES ParisTech, Inria	cnrs, cea, C2N, université PARIS-SACLAY

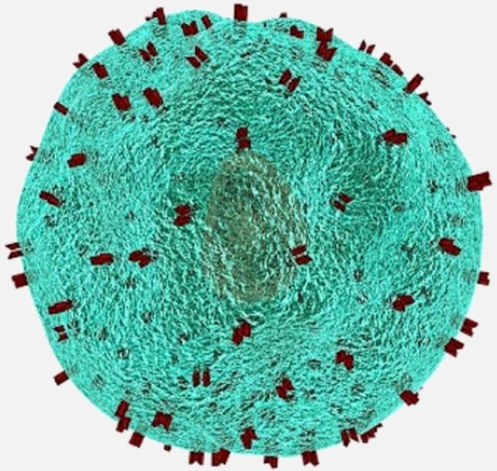
un développement au temps long



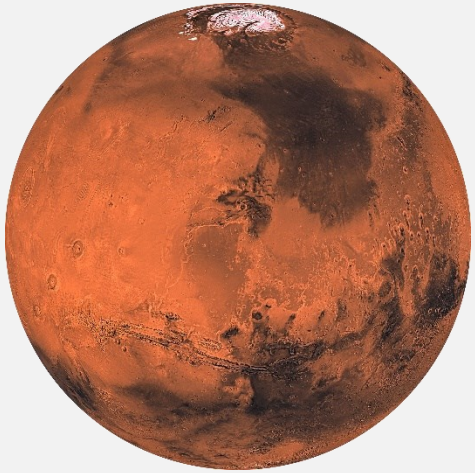
d’autres sciences au temps long



fusion nucléaire



biotechs



deep space

sources: ITER, Nature Communications Biology,, NASA


Hope to see you again next year!
QuantAlps


#QEI
the quantum energy initiative


PASQAL


quobly


EPITA


ALICE & BOB

l’incertitude scientifique n’est pas un obstacle

c’est une opportunité !

Olivier Ezratty