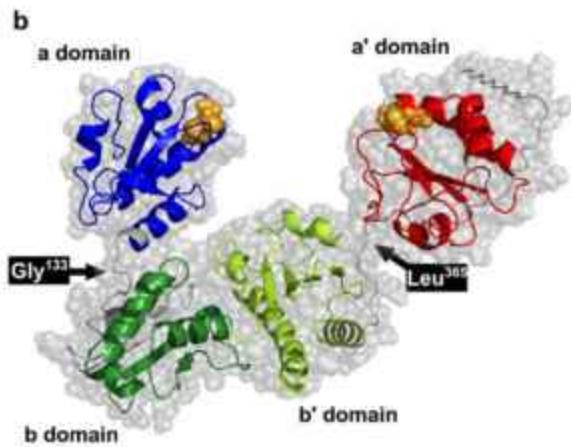




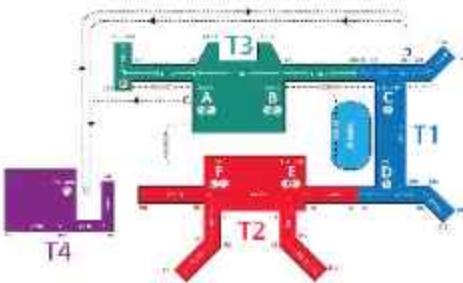


# problèmes cibles typiques

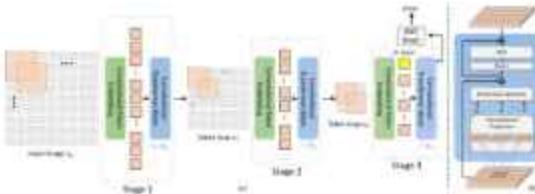


$$i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x)\Psi(x,t)$$

simuler la matière quantique  
chimie, matériaux



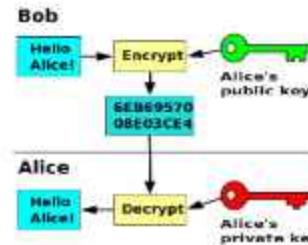
optimisations combinatoires  
et problèmes de décision



machine learning  
et deep learning



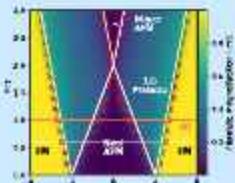
résolution d'équations  
aux dérivées partielles



cryptanalyse

# usages, de la recherche aux opérations

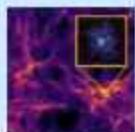
## recherche fondamentale



matière condensée

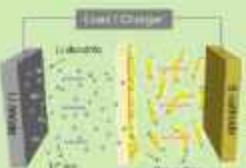


particules à hautes énergies



astrophysique

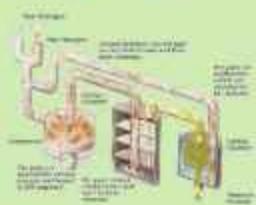
## recherche appliquée



batteries



biotech



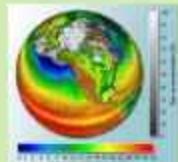
production d'engrais



matériaux



semiconducteurs



modélisation

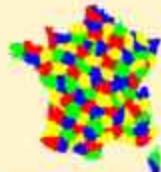
## opérations



transports



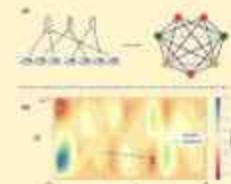
logistique et commerce



télécommunications



services financiers



énergie



industrie

# quelques métaphores du calcul quantique

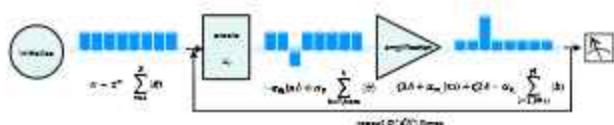
transformation unitaire  
avec une porte à 3 qubits

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## mathématiques

## calcul vectoriel et matriciel, vecteurs d'état, parallélisme

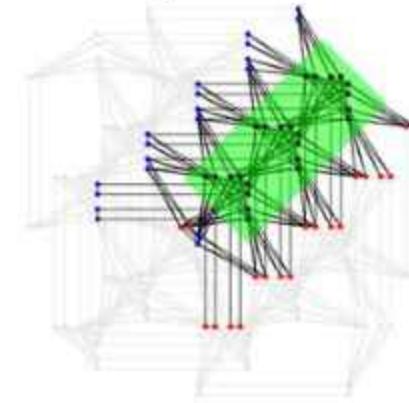
amplification d'amplitude dans l'algorithme de Grover



## électronique analogique

détection de phase et amplitude,  
interférences, amplification,  
analyse de signaux

connectivité entre qubits  
dans les systèmes de D-Wave



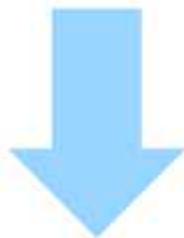
## réseaux de neurones

## calcul quantique « analogique »

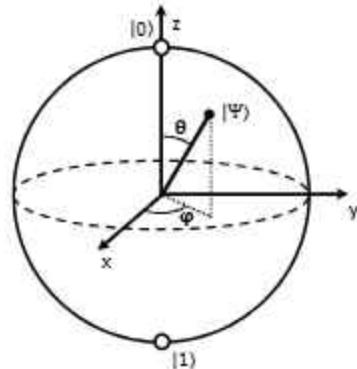
# le « quantum bit » du calcul quantique

mathématiquement

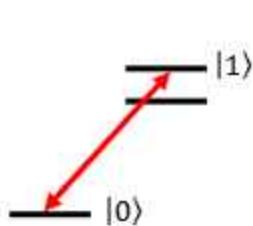
unité de gestion de l'information  
équivaut à deux nombres réels



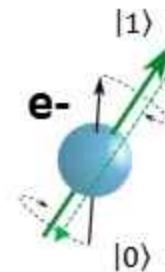
objet quantique  
à deux états contrôlables



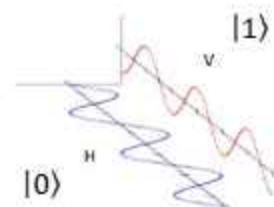
souvent représenté sous la forme d'une amplitude et d'une phase d'une onde, dans la sphère de Bloch



deux niveaux d'énergie  
d'un atome

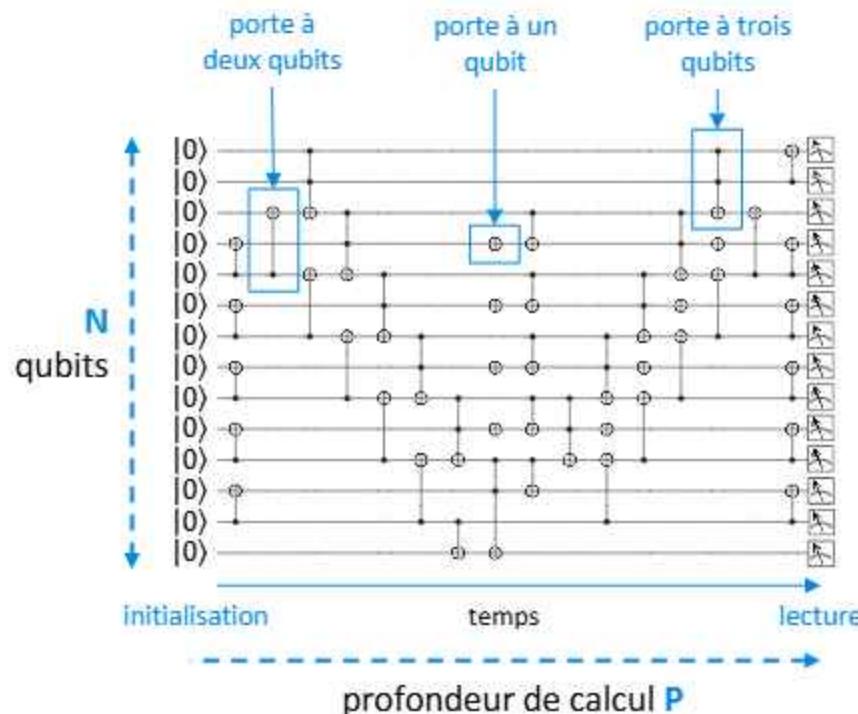


spin d'un  
électron



polarisation  
d'un photon

# qu'est-ce qu'un algorithme quantique?



**algorithme quantique** : décompose un problème mathématique en circuit quantique.

**circuit quantique** : suite d'opérations agissant sur une mémoire quantique de qubits, individuellement (superposition) ou les reliant entre eux (intrication).

**calcul matriciel** : opérant sur un espace mémoire de  $2^{N+1}$  nombres réels.

**mécanisme** : exploite diverses techniques pour faire ressortir une valeur d'intérêt sous forme de bits classiques lus en sortie.

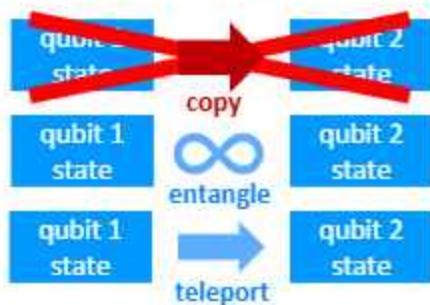
**calcul classique** : utilisé pour préparer le circuit, y encoder les données, et extraire les résultats.

# quelques différences clés

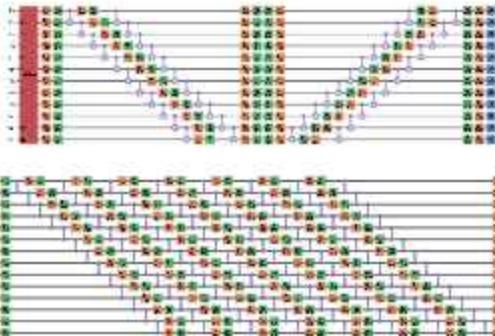
$$\langle \Psi_1 | \Psi_2 \rangle = [\overline{\alpha_1}, \overline{\beta_1}] \times \begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \end{bmatrix} = \overline{\alpha_1} \alpha_2 + \overline{\beta_1} \beta_2$$

$$|\Psi_2\rangle \langle \Psi_1| = \begin{bmatrix} \alpha_2 \\ \beta_2 \end{bmatrix} \times [\overline{\alpha_1}, \overline{\beta_1}] = \begin{bmatrix} \alpha_2 \overline{\alpha_1} & \alpha_2 \overline{\beta_1} \\ \beta_2 \overline{\alpha_1} & \beta_2 \overline{\beta_1} \end{bmatrix}$$

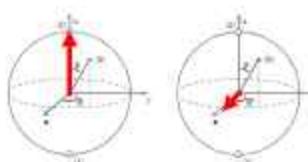
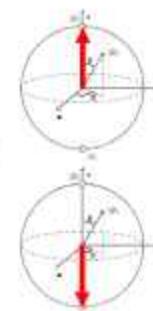
formalisme de l'algèbre linéaire



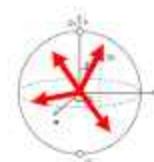
données non copiables, mais transférables ou « intricables »



programmation de « circuits » visuelle ou en Python



$|0\rangle + |1\rangle / \sqrt{2}$



résultats probabilistes, et calculs répétés pour générer une moyenne déterministe

```
# Initialize quantum qubits
qc = QuantumCircuit(4)
for q in range(n_count):
    qc.h(q)

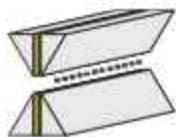
# Add auxiliary registers in state |0>
qc.x[3+n_count]

# Do controlled-U operations
for q in range(n_count):
    qc.append(cu, q, 2*q),
    i0 = 1+n_count for i in range(4))

# Do inverse-CP
qc.append(cu_dagger, n_count), n_count)
qc.draw(fold=1) # 1 means do not fold
```

# déjà $\approx 90$ acteurs du calcul quantique

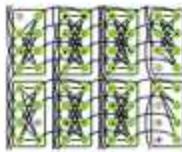
## atoms



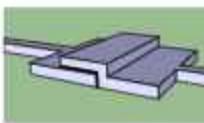
trapped ions



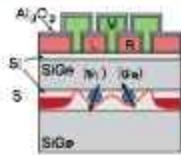
cold atoms



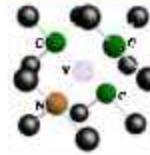
annealing



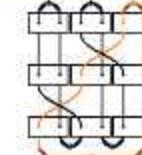
superconducting



silicon



vacancies



topological



photons

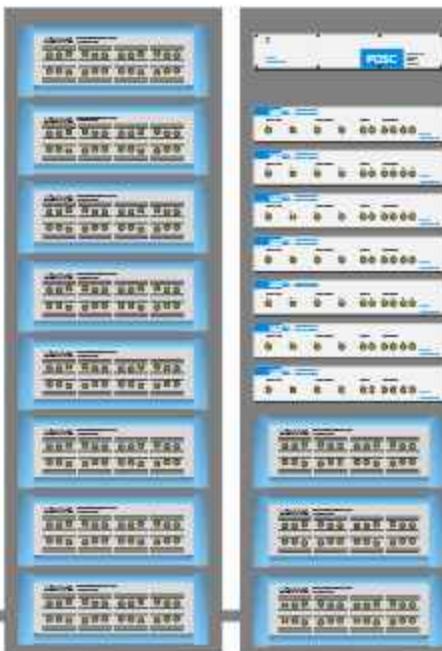


# composantes d'un ordinateur quantique

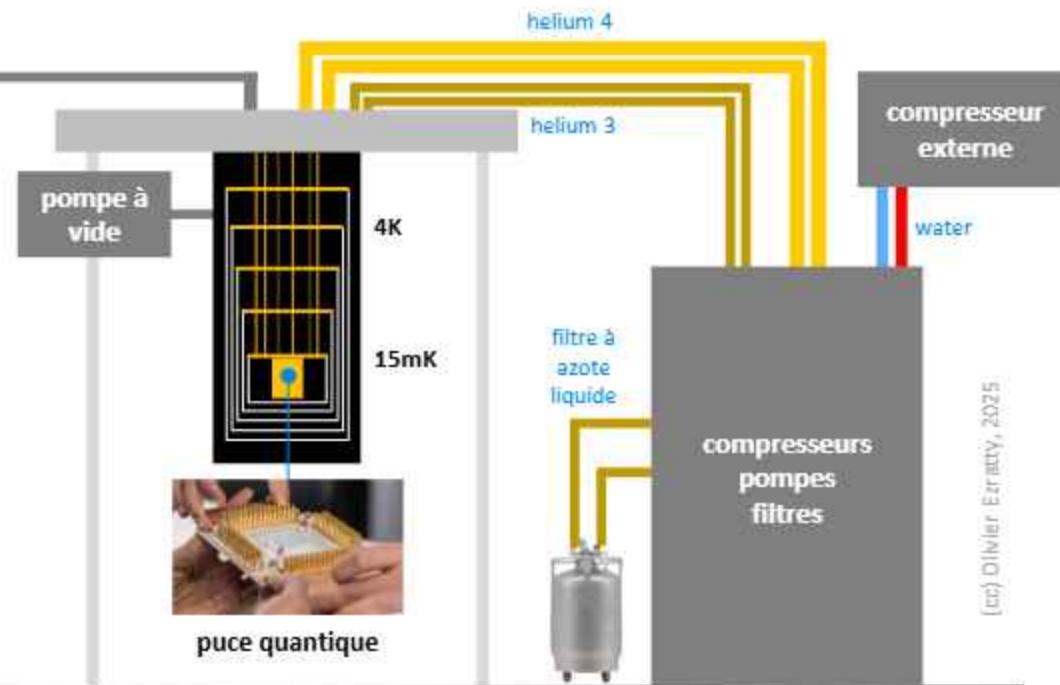
informatique



électronique

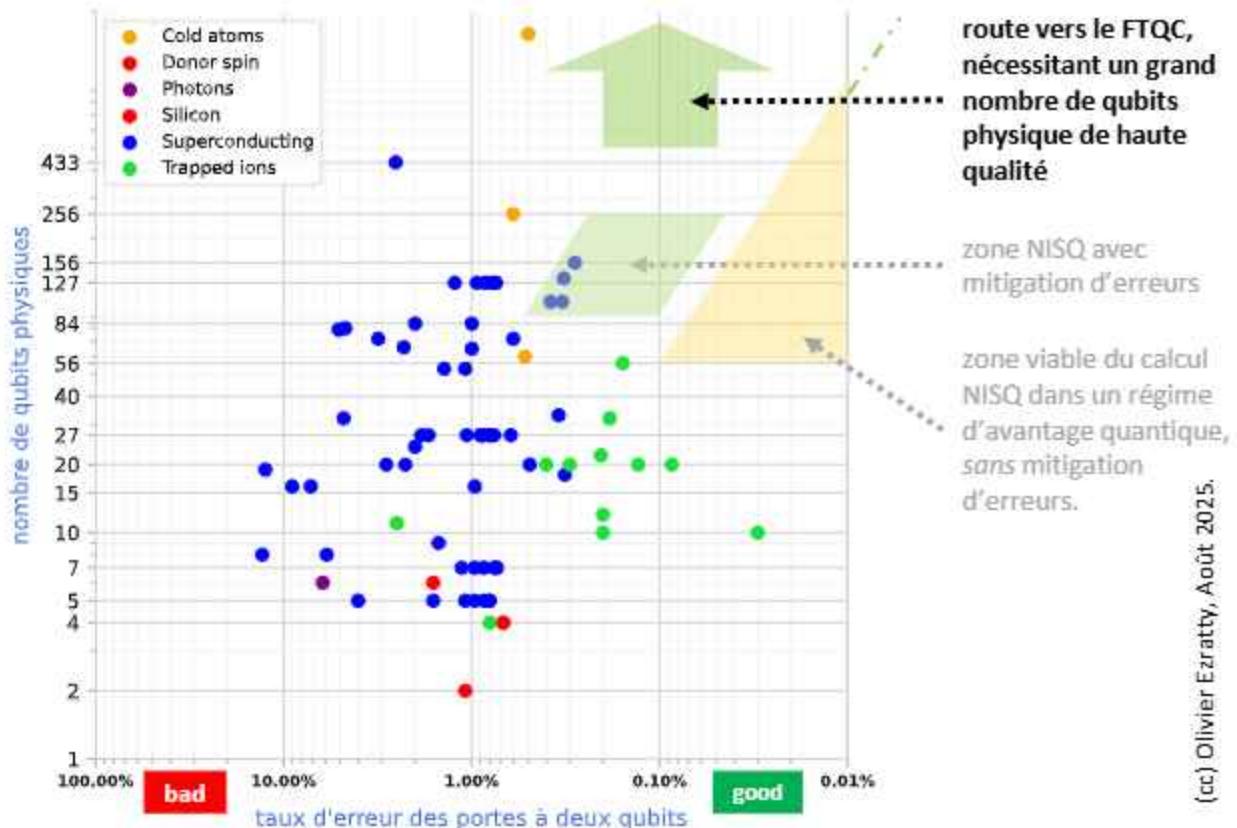


qubits isolés



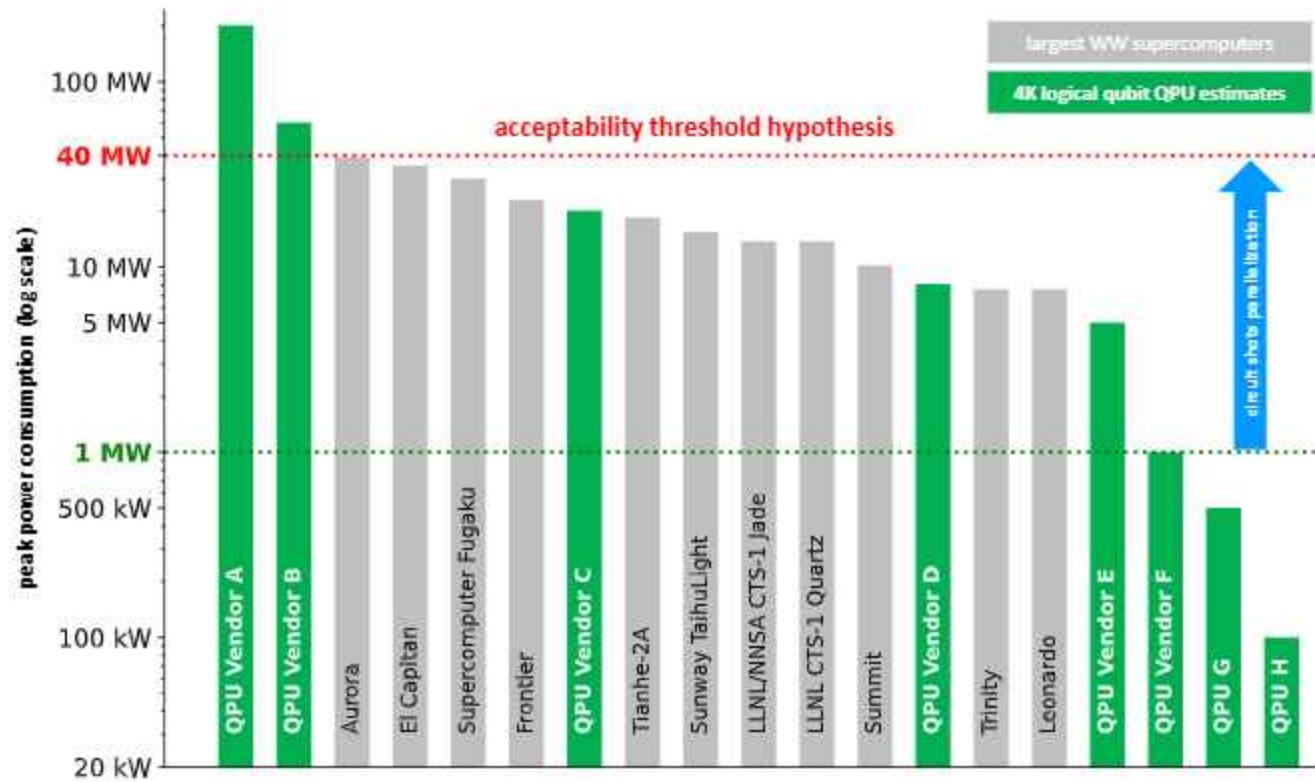
for superconducting or electron spin qubits

[cr] Olivier Erratty, 2025



(cc) Olivier Ezratty, Août 2025.

# Quid de la consommation d'énergie ?



estimate base power for various QPUs and actual for existing largest HPCs WW.

HPC source: <https://www.top500.org/lists/top500/2024/06/>.

#QEI  
the quantum energy initiative

IEEE

# accéder à des ordinateurs quantiques

## quantum computing

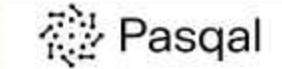
hybrid computing centers

40 qubits  
**EVIDEN**

hybrid quantum



in 2023



...



Qiskit on  
your own  
hardware



34-50 qubits



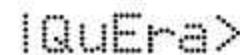
30 qubits



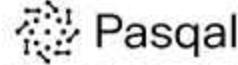
40 qubits



127, 133  
& 156 qubits



256 qubits (simulation)



100 qubits (simulation)



36 qubits



84 qubits



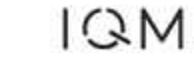
20 qubits



25-32 qubits



84 qubits



20 qubits



11 qubits



1 cat-qubit



56 qubits

# entreprises explorant des cas d'usage



énergie, chimie, santé



**BASF**

We create chemistry

**MERCK**

IT & services cloud

**T Systems**

sopraSsteria

**Capgemini**

services financiers



Crédit Mutuel



**Raiffeisen Bank International**  
Member of IBB Group

CaixaBank

aérospatial et défense

**AIRBUS**

**MBDA**  
MISSILE SYSTEMS

**NAVAL**  
GROUP

**THALES**

**ONERA**  
THE FRENCH AEROSPACE LAB

**cnes**  
CENTRE NATIONAL  
D'ÉTUDES SPATIALES

**DLR**

transports

**BOSCH**



Mercedes-Benz



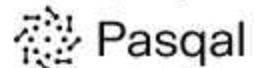
**CMA CGM** **SNCF**

**FERROVIE  
DELLO STATO  
ITALIANE**



# entreprises de l'offre quantique

computing



Pasqal



ALICE & BOB



quobly



CRYSTAL  
QUANTUM COMPUTING

EVIDEN  
an atos business

cryogeny



software



Qubit  
PHARMACEUTICALS



EVIDEN  
an atos business



molket



COLIBRITO



QPerfect



VeriCloud



QbitSoft  
Quantum as a Service



QUANTUM  
SIGNALS

cybersecurity



CRYPTO  
EXPERTS



ravel  
SECURE-IC  
THE SECURITY SCIENCE COMPANY

CYFERNULL QuRISK  
ADVISORY

photronics



cailabs



Lytid



exail



SPARK  
LASERS



LUMIBIRD



AUREA



teem  
PHOTONICS



SCINTIL  
PHOTONICS



GLOphotonics



sensing



exail



MAG  
4Health

manufacturing



PLASSYS



RIBER



SERMA  
TECHNOLOGIES

materials



orano



PIONIQ



DIAMFAB

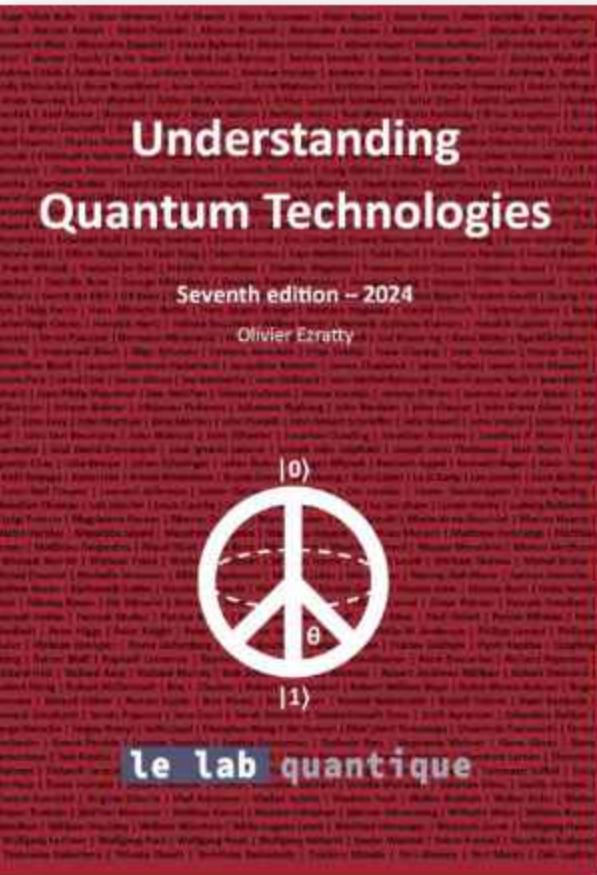


HIQUITE  
DIAMOND

# pour en savoir (beaucoup) plus



PDF gratuit  
1554 pages  
7<sup>ième</sup> édition  
+ “exec summary”  
de 26 pages



# podcasts quantiques



[www.oezratty.net](http://www.oezratty.net)



**Quantum** : le podcast  
de l'actualité  
quantique  
un épisode par mois  
*Fanny Bouton et  
Olivier Ezratty*

**Decode Quantum** : les entretiens du quantique

un à deux épisodes par mois  
avec les chercheurs et entrepreneurs du  
quantique  
*Fanny Bouton et Olivier Ezratty*