



# **pour que le quantique nous rapproche...**

**Olivier Ezratty**

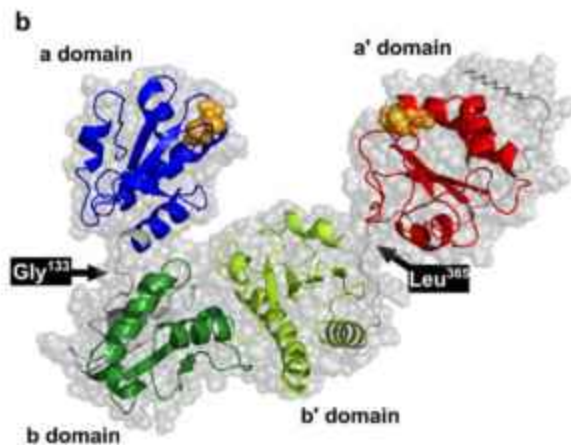
⟨ ... | ingénieur quantique | QEI cofounder | ... ⟩

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

ADN Ouest, en ligne, 23 septembre 2025

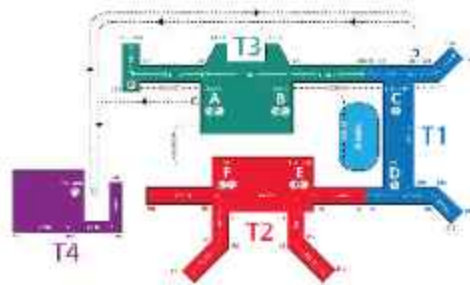


# problèmes cibles typiques

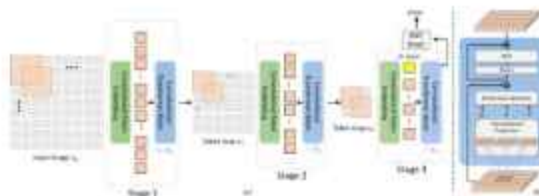


$$i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x)\Psi(x,t)$$

simuler la matière quantique  
chimie, matériaux



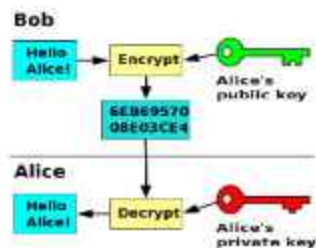
optimisations combinatoires  
et problèmes de décision



machine learning  
et deep learning



résolution d'équations  
aux dérivées partielles



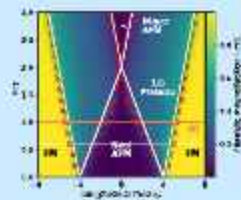
cryptanalyse

# usages, de la recherche aux opérations

recherche fondamentale

recherche appliquée

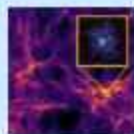
opérations



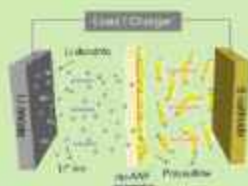
**matière condensée**



**particules à hautes énergies**



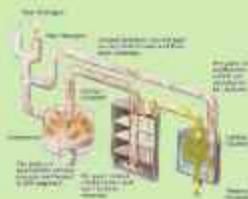
**astrophysique**



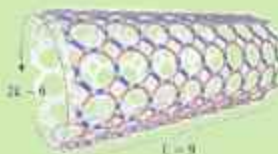
**batteries**



**biotech**



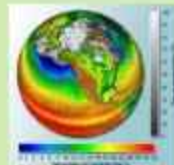
**production d'engrais**



**matériaux**



**semiconducteurs**



**modélisation**



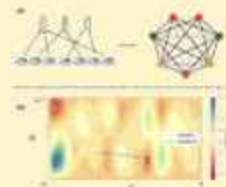
**transports**



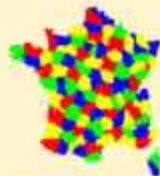
**services financiers**



**logistique  
et commerce**



**énergie**



**télécommunications**



**industrie**

# quelques métaphores du calcul quantique

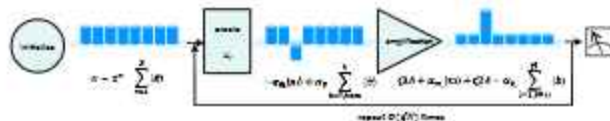
transformation unitaire  
avec une porte à 3 qubits

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

**mathématiques**

calcul vectoriel et matriciel,  
vecteurs d'état, parallélisme

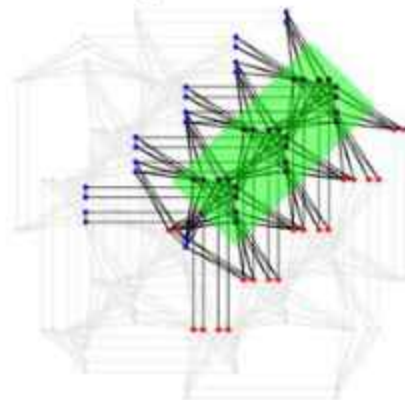
amplification d'amplitude  
dans l'algorithme de Grover



**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

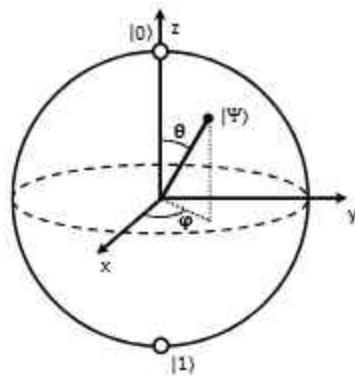
mathématiquement

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

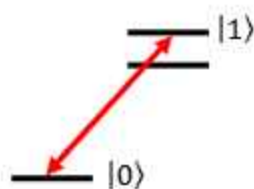


physiquement

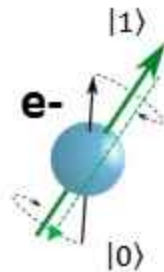
objet quantique  
à deux états contrôlables



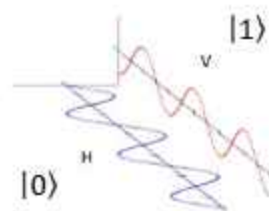
souvent représenté sous la  
forme d'une amplitude et  
d'une phase d'une onde,  
dans la sphère de Bloch



deux niveaux d'énergie  
d'un atome

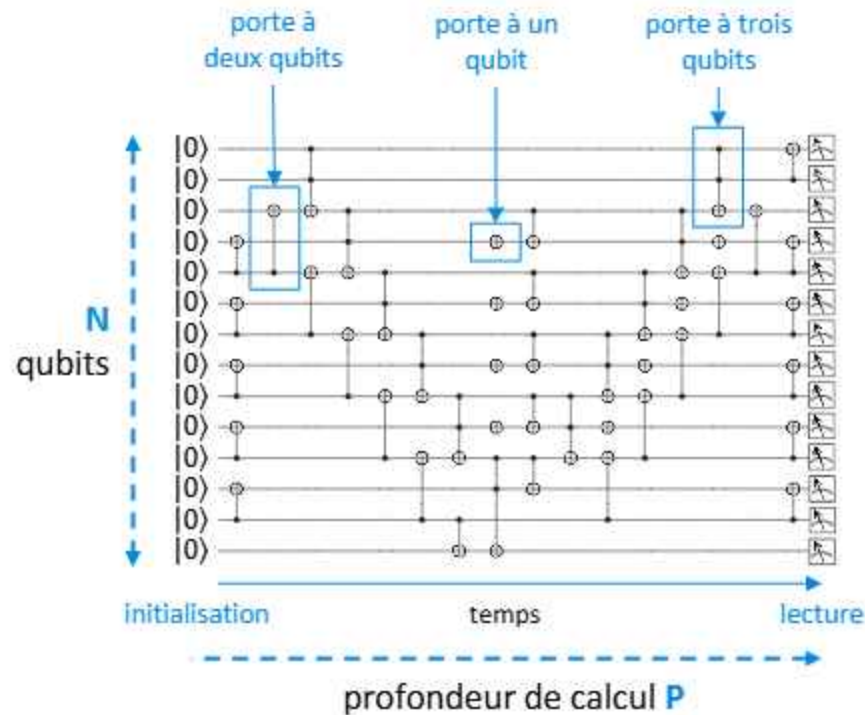


spin d'un  
électron



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.

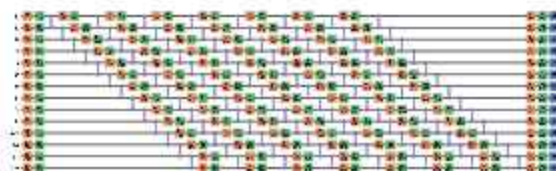
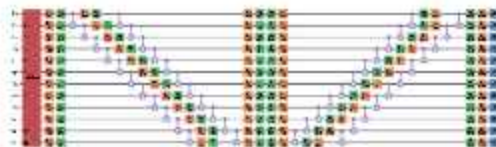
**mécanisme** : exploite diverses techniques pour faire ressortir une valeur d'intérêt sous forme de bits classiques lus en sortie.

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

# quelques différences clés

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

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



```
# Initialize counting qubits
# in state |0>
for q in range(n_count):
    qc.h(q)

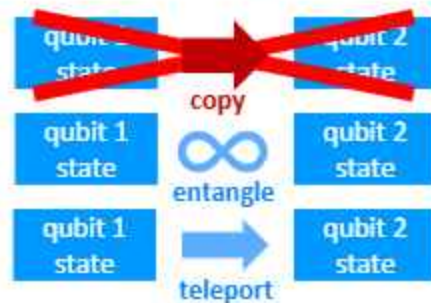
# And auxiliary registers in state |0>
qc.x(3+n_count)

# Do controlled-U operations
for q in range(n_count):
    qc.append(su2d19(n, 3+n),
              [q] + [i+n_count for i in range(4)])

# Do inverse-FFT
qc.append(qft_dagger(n_count), range(n_count))

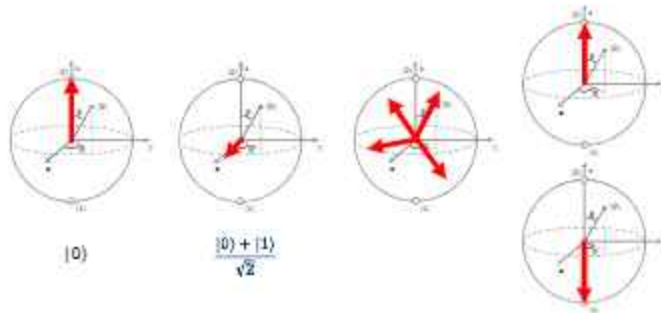
# Measure circuit
qc.measure(range(n_count), range(n_count))
qc.draw(output='text')
```

formalisme de l'algèbre linéaire



données non copiables, mais transférables ou « intriqués »

programmation de « circuits » visuelle ou en Python



résultats probabilistes, et calculs répétés pour générer une moyenne déterministe



# déjà ≈90 acteurs du calcul quantique

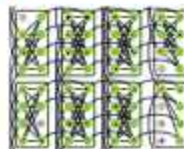
## atoms



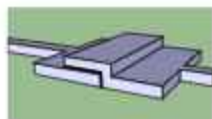
trapped ions



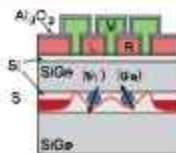
cold atoms



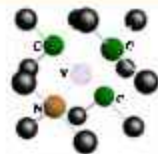
annealing



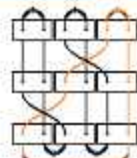
superconducting



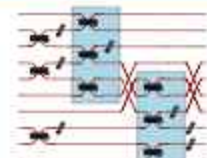
silicon



vacancies



topological



photons

## electrons controlled spin and microwave cavities



1



4



ILMANARO

NEC



7



8



9

10

11



12

13



QUANTUM

NOKIA



14

15

16

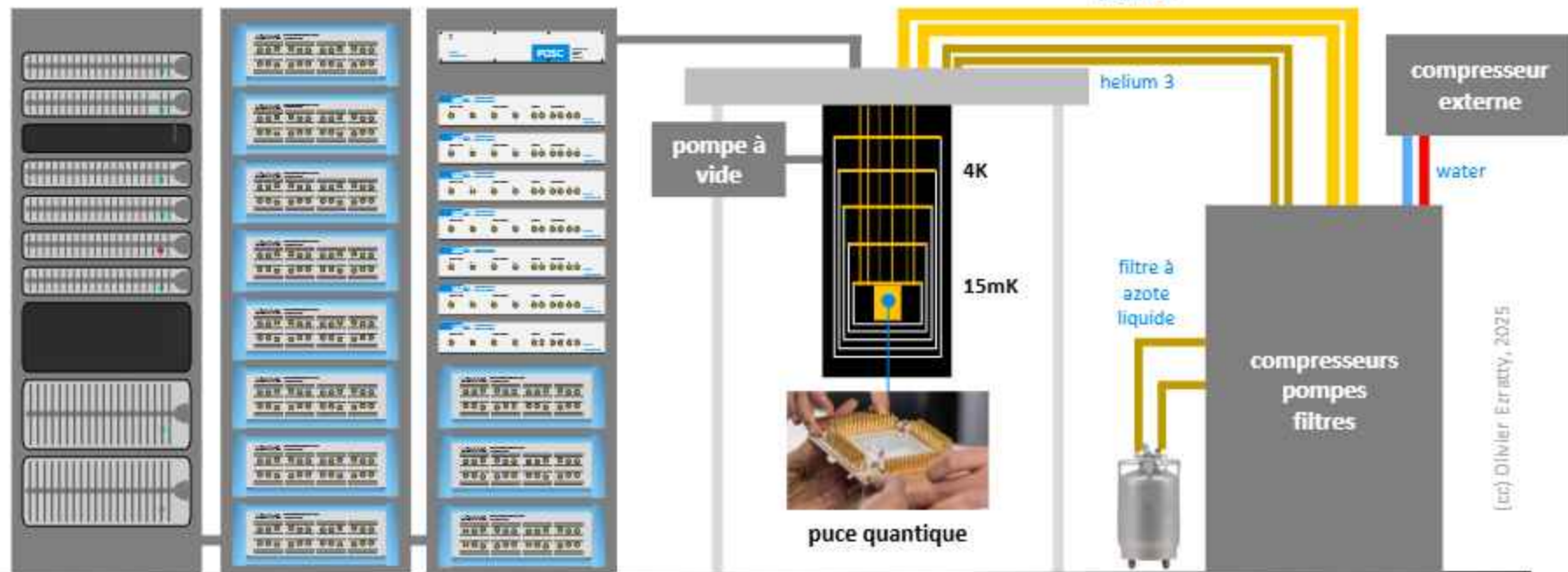
# composantes d'un ordinateur quantique

informatique

électronique

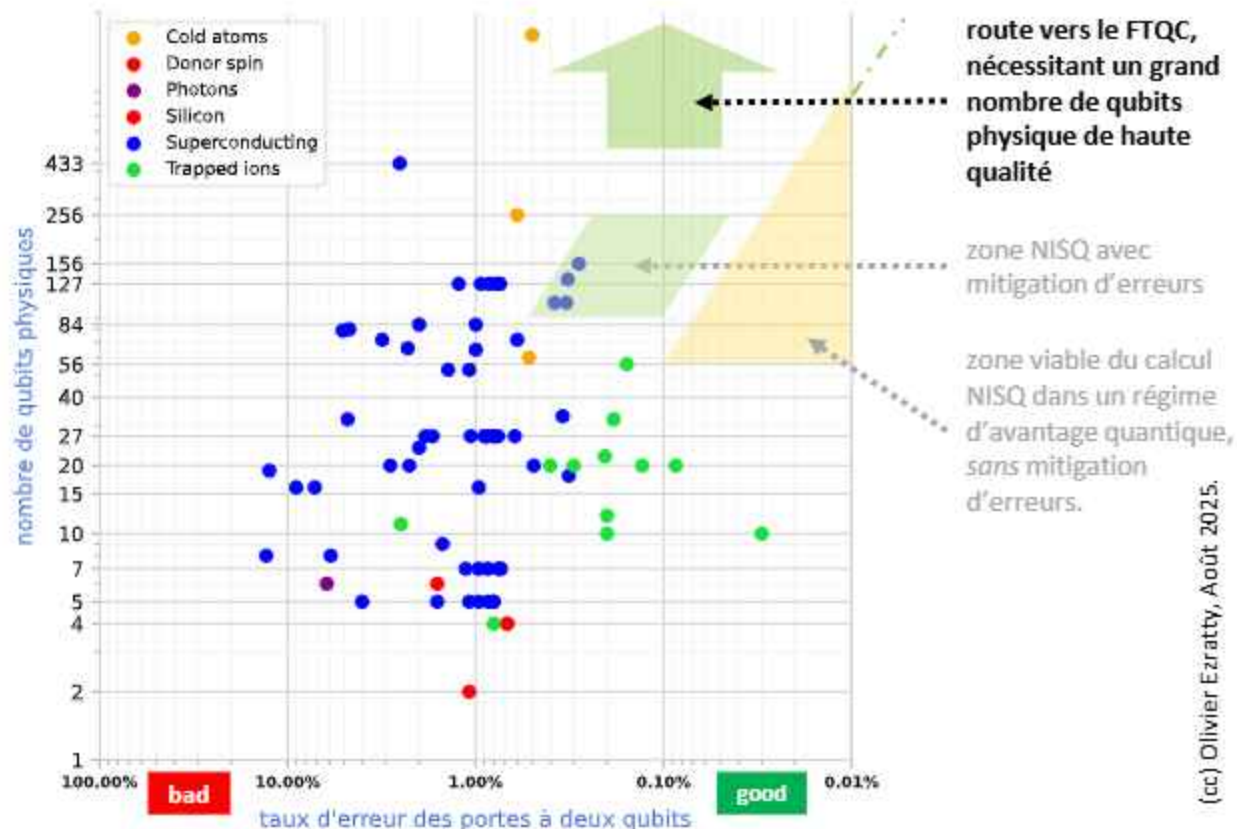
qubits isolés

cryogénie



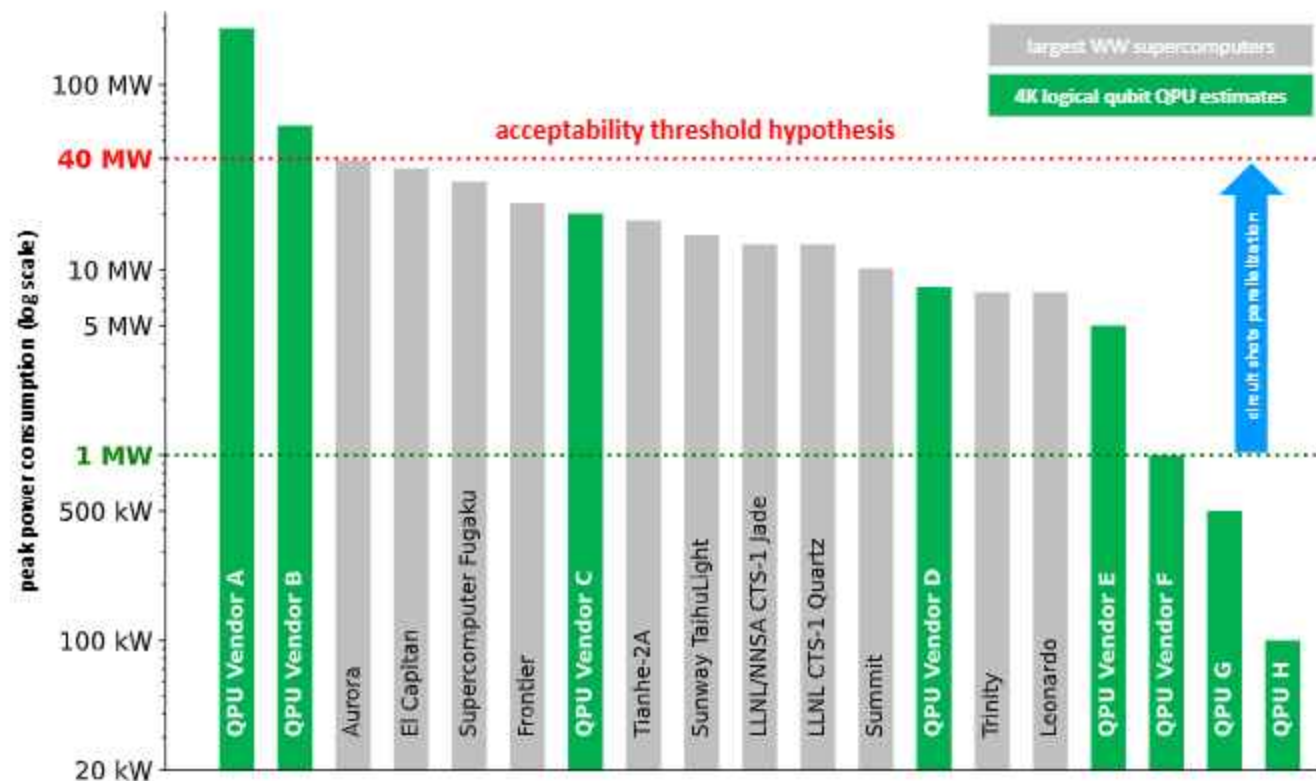
for superconducting or electron spin qubits

(cc) 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





# accéder à des ordinateurs quantiques

quantum computing emulation

hybrid  
computing  
centers

OVHcloud

IBM

aws

Microsoft Google

40 qubits

EVIDEN

EVIDEN ALICE & BOB  
Pasqal  
QUANDELA

Qiskit on  
your own  
hardware

34-50 qubits

30 qubits

40 qubits

hybrid  
quantum

TGCC

JÜLICH

LUMI

in 2023

Pasqal  
100 qubits (simulation)

QUANDELA

...

IBM

127, 133  
& 156 qubits

IQEra>  
256 qubits (simulation)

IONQ

36 qubits

rigetti

84 qubits

IQM

20 qubits

Pasqal  
100 qubits (simulation)

IONQ

25-32 qubits

rigetti

84 qubits

IQM

20 qubits

QUANTUM

56 qubits

IONQ

11 qubits

ALICE & BOB

1 cat-qubit

# entreprises explorant des cas d'usage



energie, chimie, santé



**BASF**

We create chemistry

**MERCK**

IT & services cloud

**T Systems**

sopra **steria**

**Capgemini**

services financiers



Crédit **Mutuel**



**Raiffeisen Bank International**  
Member of RIBI Group

**CaixaBank**

aérospatial et défense

**AIRBUS**  
**MBDA**  
MISSILE SYSTEMS

**NAVAL**  
GROUP

**THALES**

**ONERA**  
THE FRENCH AEROSPACE LAB

**cnes**  
CENTRE NATIONAL  
D'ETUDES SPATIALES



transports

**BOSCH**



Mercedes-Benz



**CMA CGM**

**SNCF**

**FERROVIE**  
DELLO STATO  
ITALIANE



# entreprises de l'offre quantique

computing



Pasqal



ALICE & BOB



quobly

QUANDELA



CRYSTAL  
QUANTUM COMPUTING

EVIDEN  
an atos business

software

Qubit  
PHARMACEUTICALS

EVIDEN  
an atos business



COLIBRATO

mol|ket>



VeriCloud

QPerfect

QbitSoft  
Quantum as a Service



QUANTUM  
SIGNALS

cybersecurity



CRYPTONEXT  
SECURITY

CRYPTO  
EXPERTS

CAVEL

SECURE-IC  
THE SECURITY SERVICES COMPANY

CYFERVALL

QuRISK  
ADVISORY

sensing

THALES

exail



chipiron



kwan-tek

MAG <sup>4</sup>He alth

cryogeny

Air Liquide

CryoConcept

ABSOLUTE  
SYSTEM

electronics



SILENT WAVES

ViaThor

Weling

Radiall

MECA  
MAGNETIC

SILENTSYS

photonics

cailabs

Lytid

exail

SPARK  
LASERS

LUMIBIRD

AUREA

teem  
PHOTONICS

SCINTIL  
PHOTONICS

GLOphotonics

QUANDELA

manufacturing



PLASSYS



RIBER



SERMA  
TECHNOLOGIES

materials



orano

PIONIQ

DIAMFAB

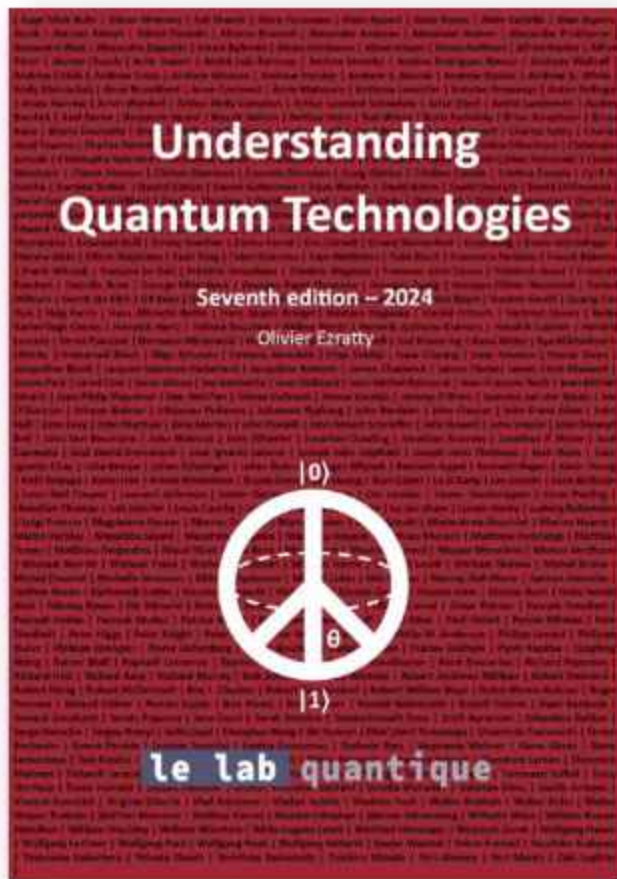
HIQUITE  
DIAMOND



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