

TheCodingMachine

l'ordinateur quantique

27- 01 - 2023

Youssouf LY



SOMMAIRE

01

Le monde
quantique ? (Qu'est
ce que c'est ?)

02

Comment ça
marche !

03

A quoi ça
sert ?

04

les défis à
relever

05

C'est pour
quand ?

01 Le monde (physique) quantique ?

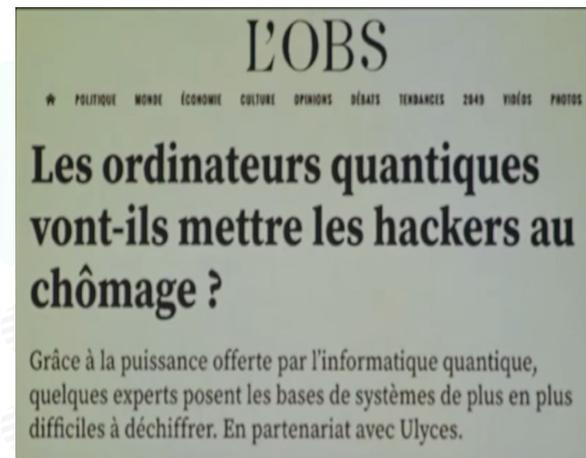
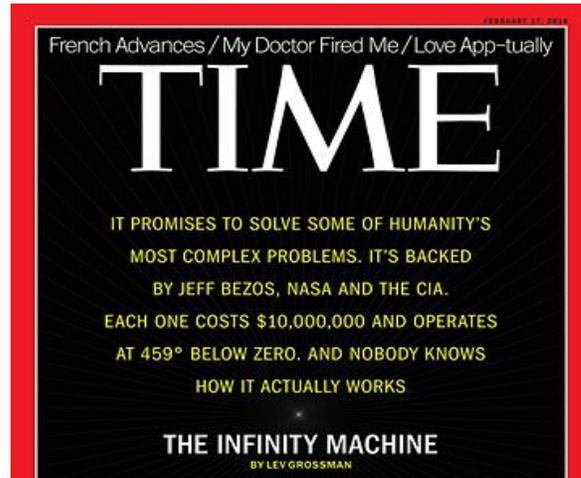
02

03

04

05

- Lois de la **nature** à toutes petite échelle (à l'échelle de l'atome par exemple)





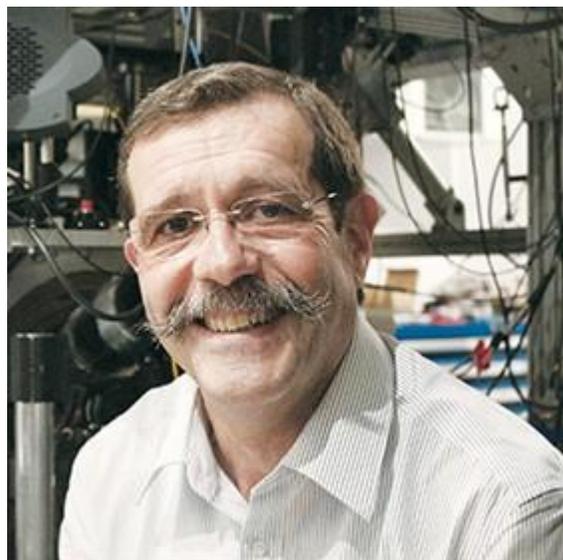
En janvier 2021 :

lancement de la **Plateforme Nationale de Calcul Quantique** avec un budget de 1,8 Milliard €

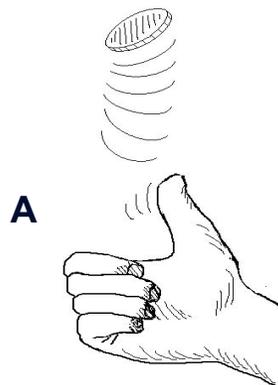
- A construire dans la région parisienne, siège CEA
- des supers calculateurs classiques,
- le simulateur quantique d'Atos (logiciel)
- 2 processeurs quantiques de la startup Pasqal

Pasqal c'est une société française qui fabrique des processeurs quantique

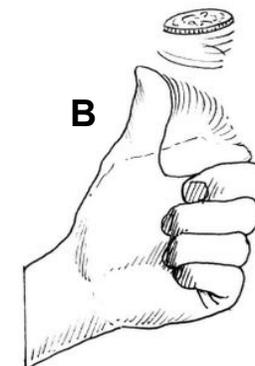
Récemment : Prix nobel Alain Aspect (violation du principe de Localité)



phénomène d'intrication



Comme si ça former un système unique quelque soit la distance qui les sépare



L'état d'un objet ne dépend que de son environnement immédiat : Localité

Oup's

01 Le monde (physique) quantique ?

02

03

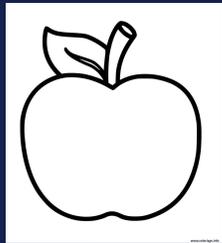
04

05

- **Intrication** : lien fantomatique => corrélation parfaite entre 2 objets quantiques
- **Superposition** : (dualité)

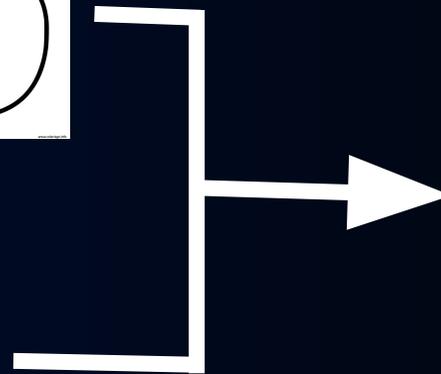
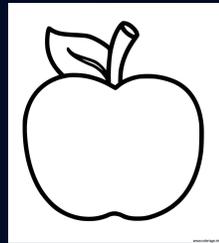
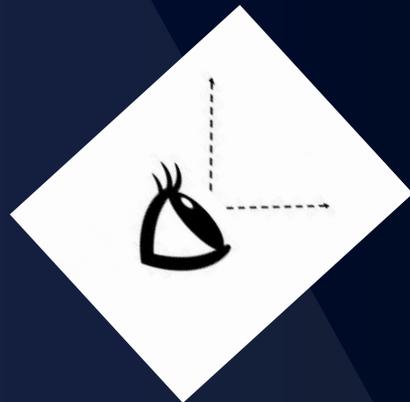
l'état observé à un moment ne préexiste pas à la mesure : c'est la mesure qui le fait advenir.

Supposons que cette pomme soit un objet quantique



??

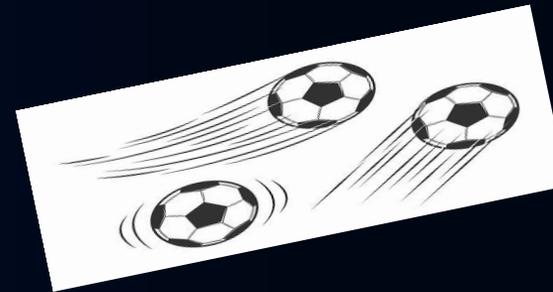
50% Rouge
50% Verte



- Effet Tunnel



mur



On sait pas ! et j'ai pas tort de le dire

Rien de nouveau ⇒ les propriétés de la physique quantique sont déjà au cœur de notre vie quotidienne.

- **nos PC actuels ont vu le jour grâce à la mécanique quantique: transistors**
- **lasers**
- **GPS ...**

Pour l'ordinateur quantique on parlera de **Qubit** (quantum bit).

- **Qubits supraconducteurs** : qui repose sur des circuits électriques qui fonctionnent à très basse température (-273 ° C),
- **les ions** (regroupements d'atomes) : Atomes de Rubidium
le qubits à base de silicium,
- **le photon** (lumière)

| | | |
|---------------|---|--------------------------------------|
| IBM et Google | ⇒ | Supraconducteurs |
| Pascal | ⇒ | qubits à partir d'atomes de Rubidium |
| Quandela | ⇒ | Qubits à base de photon |
| Alice & Bob | ⇒ | Qubits à base de photon |

des procédés assez compliqués !!!

01

02

Comment ça
marche !

03

04

05

Avec 2 bits : 0 et 1

00 01 10 11

Avec un ordinateurs avec des bits on ne traite qu'un seul état à la fois,
Pour traiter tous les etats, obligé de répéter l'action pour chaque etat.

2 bits vont contenir l'information sur 1 seul état

Avec 2 qubits : $|0\rangle$ et $|1\rangle$

$|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle$

$\alpha |00\rangle + \beta |01\rangle + \delta |10\rangle + \lambda |11\rangle$

Avec l'ordinateur quantique, on est capable de traiter tous ses état à la fois en une opération
(superposition)

2 qubits vont contenir l'information sur 4 états.

avec 3 qubits $\Rightarrow 2^3$

n qubits $\Rightarrow 2^n$

Rechercher un prénom en connaissant le numéro dans un annuaire ?

| | | |
|-----|----------|----------------|
| 000 | Alice | 06 10 47 64 85 |
| 001 | Bob | 06 57 68 48 31 |
| 010 | Camille | 06 22 65 86 07 |
| 011 | Daenerys | 06 88 95 75 30 |
| 100 | Elon | 06 91 52 47 68 |
| 101 | Julien | 06 18 62 24 58 |
| 110 | Zakarya | 06 37 19 45 23 |

$$|000\rangle + |001\rangle + |010\rangle + |011\rangle + |100\rangle + |101\rangle + |110\rangle + |111\rangle$$

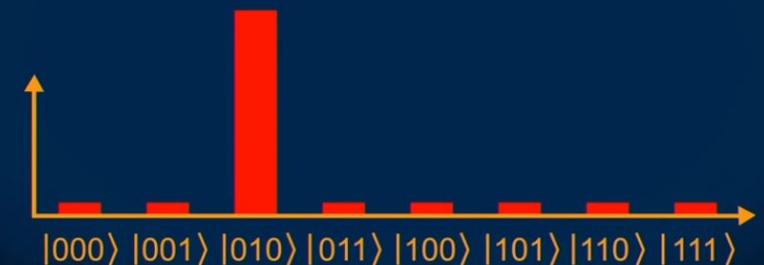
superposition d'états : somme de tous les prénoms



Porte logique P
parallélisation

$$P |000\rangle + P |001\rangle + P |010\rangle + P |011\rangle + P |100\rangle + P |101\rangle + P |110\rangle + P |111\rangle$$

$$0.01 |000\rangle + 0.01 |001\rangle + 9.99 |010\rangle + 0.01 |011\rangle + 0.01 |100\rangle + 0.01 |101\rangle + 0.01 |110\rangle + 0.01 |111\rangle$$



Mais avec un ordi quantique, on peut être un peu plus malin !

01

02

Comment ça
marche !

03

04

05

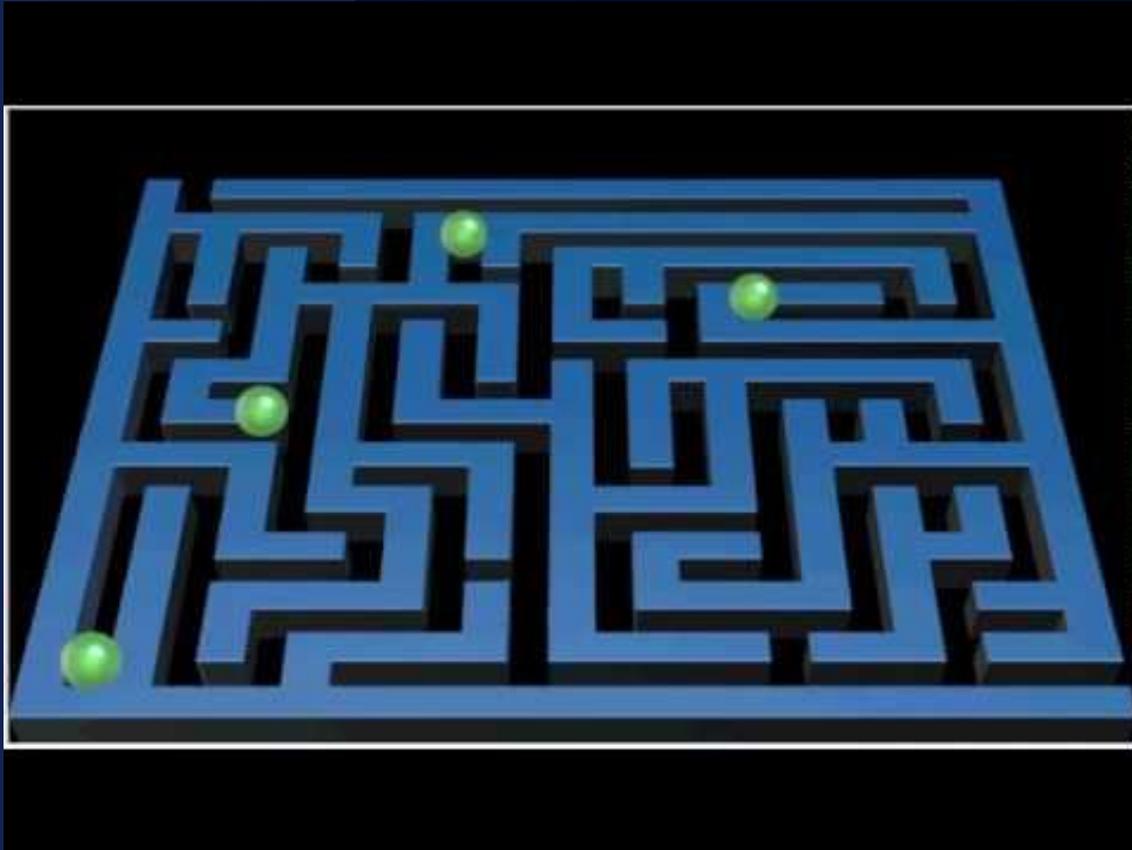
Rechercher un prénom en connaissant le numéro dans un annuaire ?

| | | |
|-----|----------|----------------|
| 000 | Alice | 06 10 47 64 85 |
| 001 | Bob | 06 57 68 48 31 |
| 010 | Camille | 06 22 65 86 07 |
| 011 | Daenerys | 06 88 95 75 30 |
| 100 | Elon | 06 91 52 47 68 |
| 101 | Julien | 06 18 62 24 58 |
| 110 | Zakarya | 06 37 19 45 23 |

 N noms**Ordinateur classique:** **N opérations au pire des cas****Ordinateur quantique:** **\sqrt{N} opérations au pire des cas
avec l'algo de groover**

Une amélioration en racine mais c'est déjà quand même pas mal

Exemple d'un labyrinthe



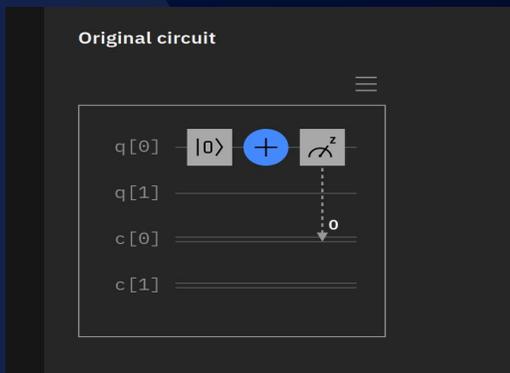
Algorithme de Shor (amélioration exponentielle)

on effectue déjà des milliards de calculs par seconde !

- Accélérer de manière exponentielle la résolution de certains problèmes,
- Communication digital impossible à pirater (reposant sur le principe d'**intrication quantique**) grâce aux nouveaux protocoles de crypto qui seront mis en place : Protocol BB84
- Résoudre la plupart des problèmes NP (problème du sac à dos par exemple, coloriage des graphes, problèmes d'emplois du temps, factorisation des nombres entiers)
- Régler les problèmes d'optimisations Exemple EDF avec la distribution d'électricité
- Modéliser de nouvelles molécules efficaces à certains maladies qui n'ont pas de remèdes de nos jours
- ~~Mettre en mal les algo de chiffrements existants RSA par exemple~~

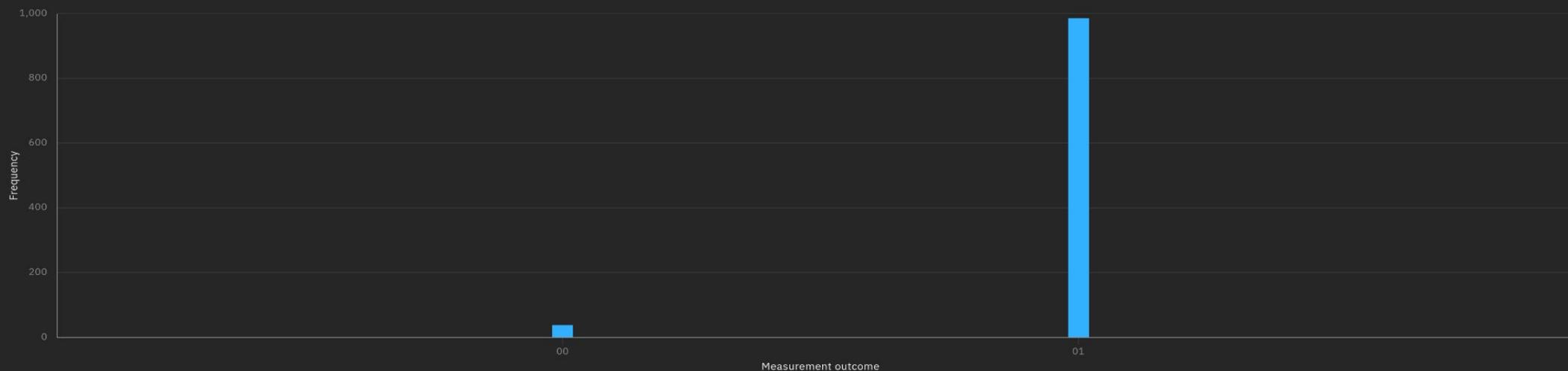
Réduire les erreurs de calculs : (contrôler la **décohérence quantique**)

<https://quantum-computing.ibm.com/composer/files/e83c17e25fa131419c1ff9dec6d45a6f1ad6f374d684be9c4c4d62e3612e54e1>



Original circuit

```
1 from qiskit import QuantumRegister, ClassicalRegister, QuantumCircuit
2 from numpy import pi
3
4 qreg_q = QuantumRegister(2, 'q')
5 creg_c = ClassicalRegister(2, 'c')
6 circuit = QuantumCircuit(qreg_q, creg_c)
7
8 circuit.reset(qreg_q[0])
9 circuit.x(qreg_q[0])
10 circuit.measure(qreg_q[0], creg_c[0])
```



- Maintenir un qubit dans son état quantique : **Le temps de Cohérences** (temps ou l'objet est dans son état quantique)
- Atteindre la **suprématie quantique** : google dit l'avoir atteint en 2019 (calcul en 1 s \Rightarrow 10.000 ans)
- Déterminer les mécanismes de l'environnement qui vont dégrader la qualité des qubits
- Connaître le chemin suivi dans le calcul
- Inventer des algorithmes post quantique: systèmes résistant aux ordinateurs quantiques
- Réduire les erreurs

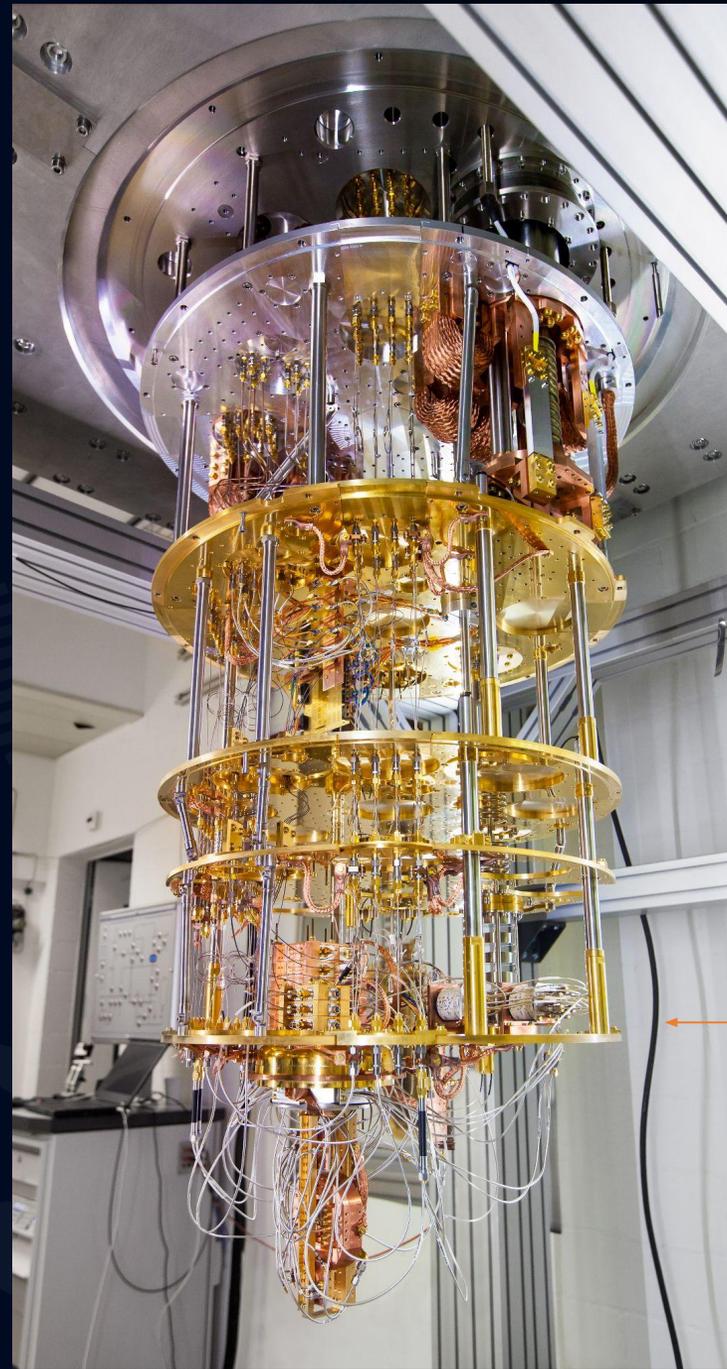
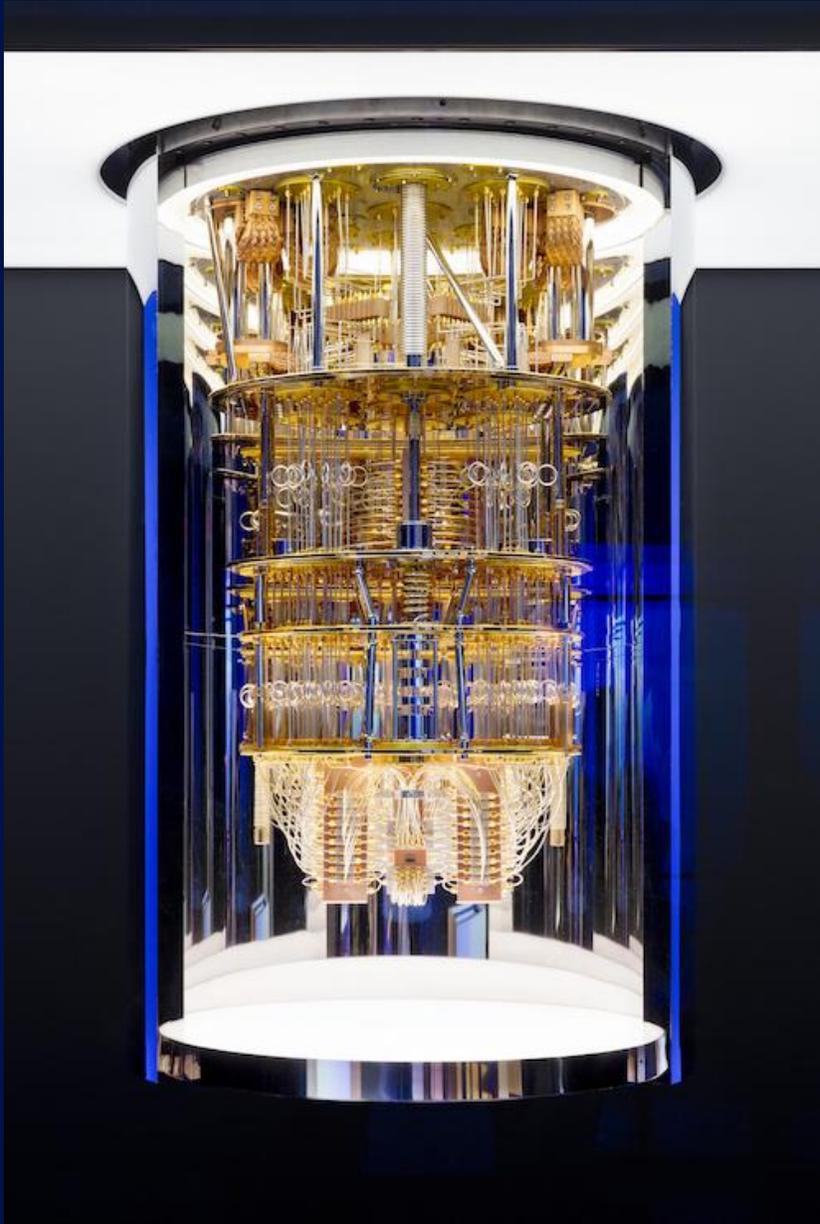
Des processeurs sont en construction mais font beaucoup trop d'erreurs à cause de cette décohérence !

La correction d'erreurs:

instabilité des qubits \Rightarrow Appliquons la redondances d'informations

| | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|----------------------|-------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
| $ 0\rangle \Rightarrow 000\rangle$ | | erreur | | | | | |
| $ 1\rangle \Rightarrow 111\rangle$ | 000 | \Rightarrow | 001 | \Rightarrow correction d'erreur (Vote de majorité) \Rightarrow | 001 \Rightarrow 000 |  | |
| | 000 | erreur \Rightarrow | 011 | \Rightarrow correction d'erreur (Vote de majorité) \Rightarrow | 011 \Rightarrow 111 |  | |
| $ 0\rangle \Rightarrow 00000\rangle$ | 00000 | erreur \Rightarrow | 01001 | \Rightarrow correction d'erreur (Vote de majorité) \Rightarrow | 00000 |  | |

- **Seuil** : Il faut que de base qu'on ai une erreur assez basse pour la correction d'erreur marche
- Plus on veut une erreur finale basse, plus il faut de qubits pour encoder l'information de manière redondante



Et ça coûte cher !:
ordre de grandeur
multiple de millions

-273,14 °C

Merci de votre attention !

Avez-vous des questions ?

contact@thecodingmachine.com
www.thecodingmachine.com

TheCodingMachine
56 rue de Londres - 75008 - Paris



Bibliographie

Youtube avec Diego Ruiz de Alice et Bob

