

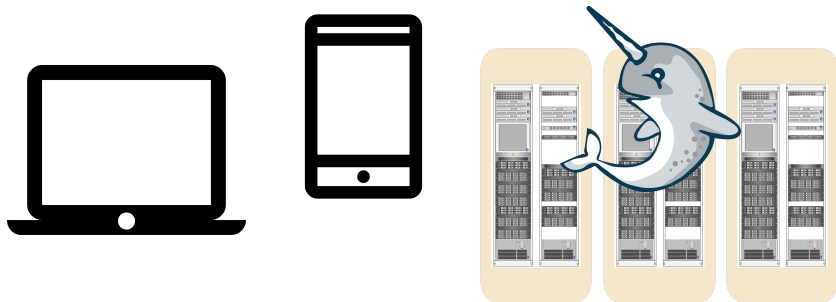


# Chapitre 1 : Intro à l'informatique quantique

# Survol

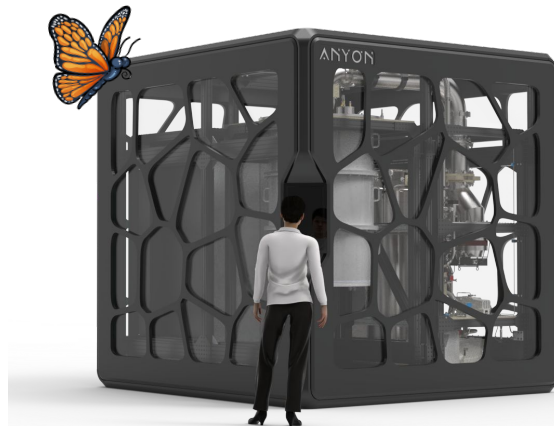
## Informatique classique

- Utilise des états binaires ou des **bits** (0 et 1)
- Calcul déterministe
- Ordinateurs portables, téléphones, grappes de calcul, etc.



## Informatique quantique

- Utilise des bits quantiques ou **qubits**
- Superposition, intrication et interférence
- Calcul probabiliste
- MonarQ



# Qubit : l'objet mathématique



Les qubits sont la réalisation physique d'un système quantique à deux niveaux, qui stocke et traite l'information quantique.

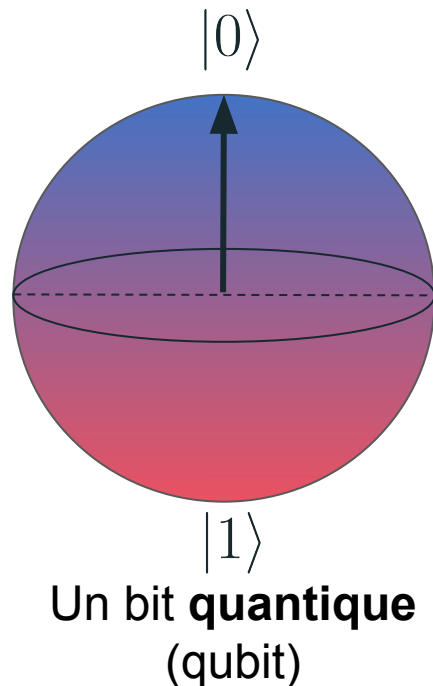
## Base de calcul

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Mathématiquement, un qubit est un vecteur dans un espace vectoriel complexe. On peut le visualiser sur la sphère de Bloch.



Deux bits  
classiques



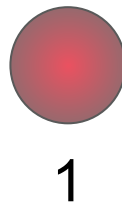
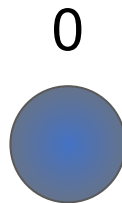
Un bit **quantique**  
(qubit)

# Qubit : l'objet mathématique

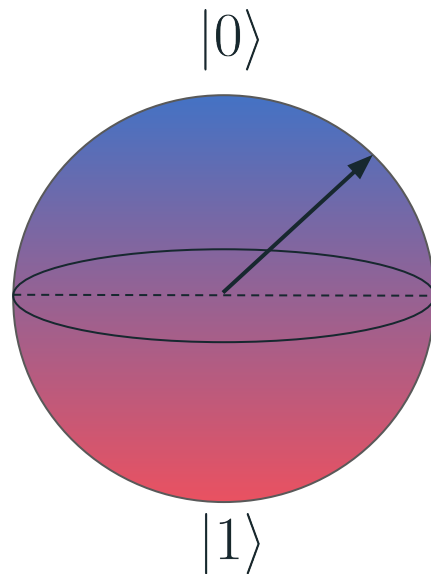
## Superposition

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \text{ avec } |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Une superposition est une **combinaison linéaire** d'états de base comme  $|0\rangle$  et  $|1\rangle$ .



Deux bits  
**classiques**



Un bit **quantique**  
(qubit)

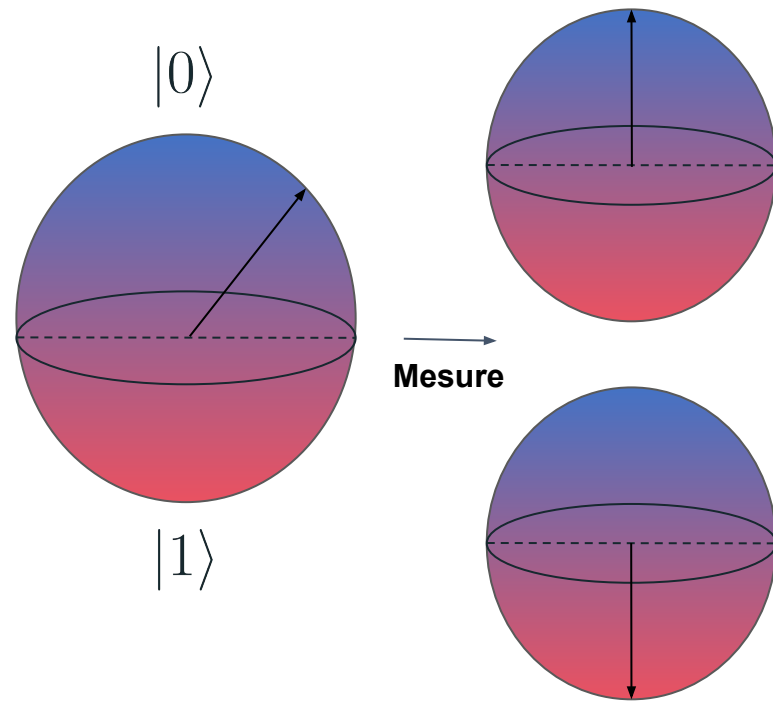
# Qubit : l'objet mathématique

## Mesure probabiliste

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad \text{avec} \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

$$P(|0\rangle) = |\alpha|^2 = \alpha^* \alpha$$

$$P(|1\rangle) = |\beta|^2 = \beta^* \beta$$



# Qubit : l'objet mathématique



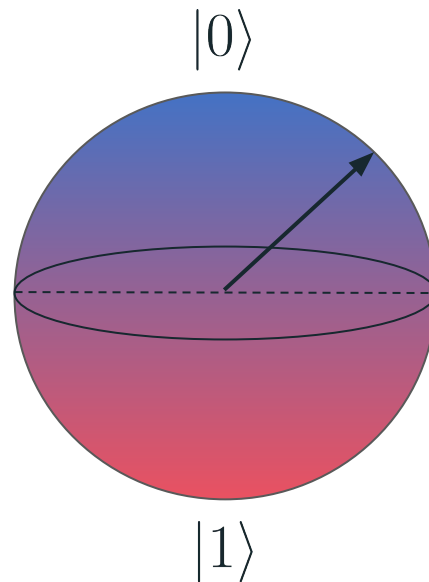
## Interférence

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \text{ avec } |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

$$P(|0\rangle) = |\alpha|^2$$

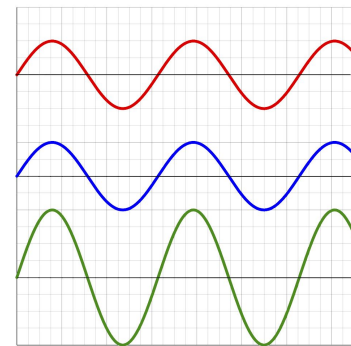
$$P(|1\rangle) = |\beta|^2$$

On peut manipuler les amplitudes et les probabilités avec l'interférence constructive et destructive.

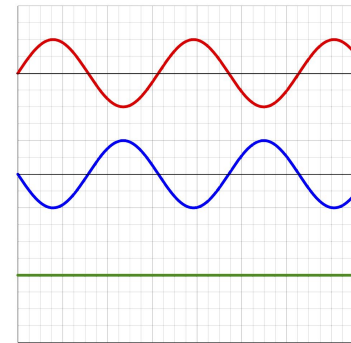


Un bit **quantique**  
(qubit)

Constructive



Destructive



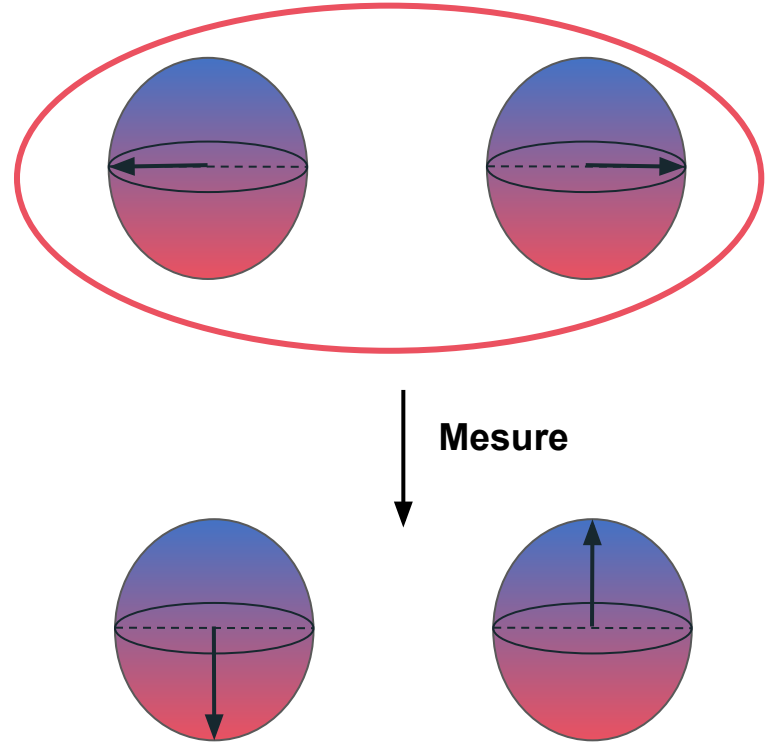
# Qubit : l'objet mathématique



## Intrication

Les qubits intriqués sont corrélés. La mesure de l'un modifie la mesure des autres.

Il n'y a pas d'analogue en mécanique classique.





# Qubit : l'objet physique

Atomes		Électrons			Photons
Ions piégés	Atomes froids	Recuit ("Annealing")	Supraconducteur	Topologique	Photons
IONQ  QUANTINUUM	QuEra Computing Inc.  Pasqal	D-WAVE		Microsoft	

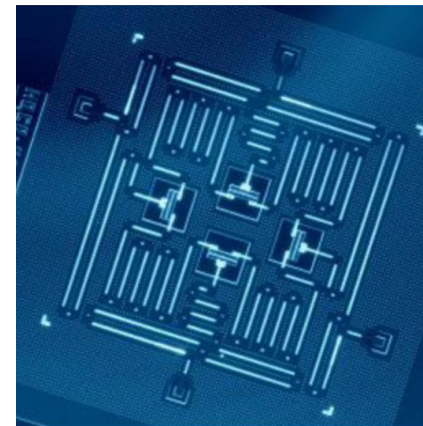


# Qubits

- Élément fondamental de l'informatique présentant les propriétés de la mécanique quantique.
- Les états booléens 0 et 1 sont représentés par une pair d'états quantiques normalisés et orthogonaux  $|0\rangle$  et  $|1\rangle$ .
- En pratique, un qubit est un système microscopique que l'on peut manipuler de manière cohérente



Les qubits de MonarQ sont des **transmons** fabriqués à partir de matériaux supraconducteurs fonctionnant à des températures extrêmement basses et manipulés par des impulsions de micro-ondes.

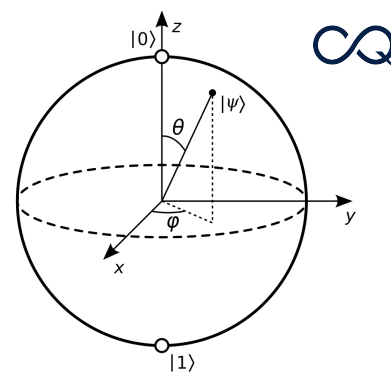


## **Pause programmation**



## **Notebook 1 : Développer un simulateur quantique**

# Notebook 1 : Aide-mémoire



1. **État** d'un qubit
  - $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$  avec  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$
  - Représenté par un vecteur dans un espace vectoriel complexe
2. Notation de **Dirac**
  - Un **ket**  $|\psi\rangle$  est un vecteur colonne et le **bra**  $\langle\psi|$  associé est le vecteur ligne obtenu en prenant le conjugué complexe transposé du ket
3. **Sphère de Bloch**
  - **Représentation visuelle d'un qubit** comme un vecteur sur la sphère avec  $\theta$  et  $\phi$  comme coordonnées de l'état:  $|\psi\rangle = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)|0\rangle + e^{i\phi}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)|1\rangle$
4. Les **portes** quantiques sont des **matrices unitaires** et agissent sur les qubits comme des **rotations** sur la sphère de Bloch
  - Un **circuit quantique** est une séquence de transformations unitaires (portes) appliquées à un état initial  $|\psi_{\text{final}}\rangle = U_n \cdots U_2 U_1 |\psi_{\text{initial}}\rangle$
5. La **mesure** donne des **résultats probabilistes** basés sur l'état final
  - $P(|0\rangle) = |\alpha|^2 = \alpha^* \alpha$  et  $P(|1\rangle) = |\beta|^2 = \beta^* \beta$