

Cours 3 : Systèmes à deux niveaux

1. Deux niveaux et couplage constant

1.1 Motivation, états propres

1.2 Oscillation de Rabi

1.3 Opérations sur la sphère de Bloch

2. Deux niveaux et couplage sinusoïdal

2.1 Atome à deux niveaux, approximation de champ tournant

2.2 Quelques applications

3. RMN

2.1 Approches classique et quantique

2.2 RMN en pratique : des jets atomiques à l'IRM

Etats propres et énergies propres

Dans la base $\{ |a\rangle, |b\rangle \}$:

$$H = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} -\Delta & \Omega \\ \Omega & \Delta \end{pmatrix}$$

Valeurs propres :

$$E_{\pm} = \pm \frac{\hbar}{2} \sqrt{\Delta^2 + \Omega^2}$$

Vecteurs propres :

$$\begin{aligned} |\psi_+\rangle &= \sin \theta |a\rangle + \cos \theta |b\rangle \\ |\psi_-\rangle &= \cos \theta |a\rangle - \sin \theta |b\rangle \end{aligned} \quad \text{où} \quad \tan 2\theta = \frac{\Omega}{\Delta}$$

Etats propres et énergies propres

Dans la base $\{ |a\rangle, |b\rangle \}$:

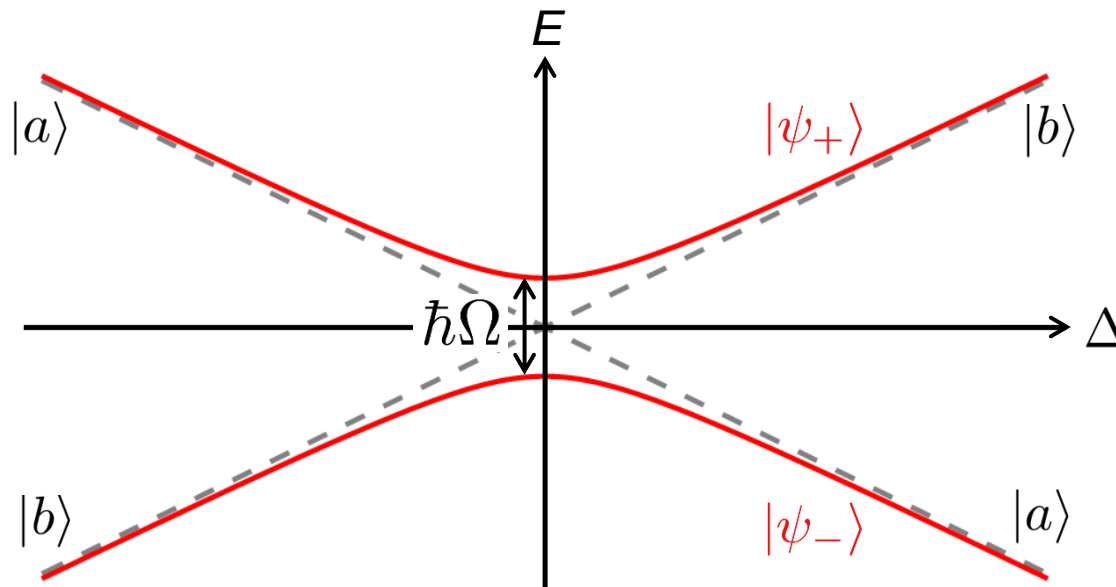
$$H = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} -\Delta & \Omega \\ \Omega & \Delta \end{pmatrix}$$

Valeurs propres :

$$E_{\pm} = \pm \frac{\hbar}{2} \sqrt{\Delta^2 + \Omega^2}$$

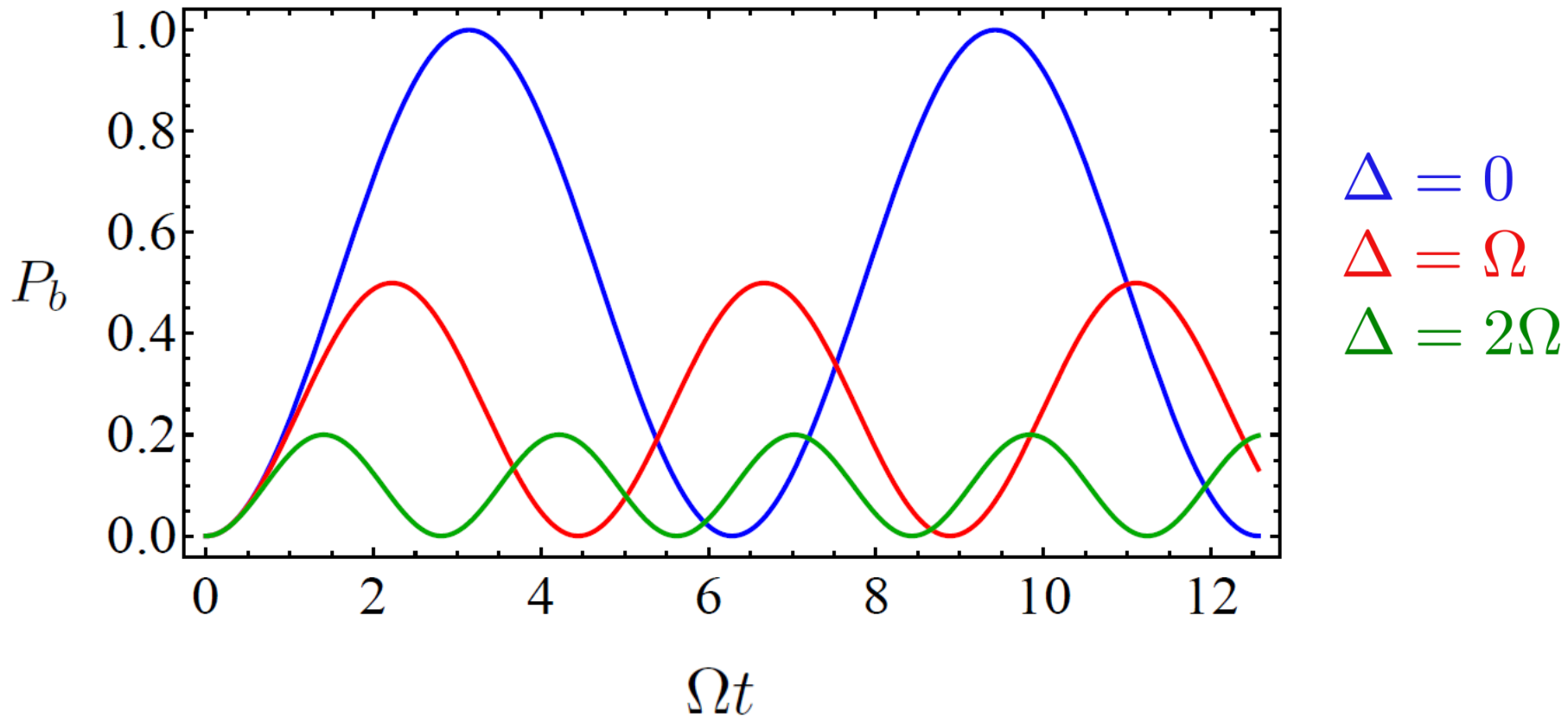
Vecteurs propres :

$$\begin{aligned} |\psi_+\rangle &= \sin \theta |a\rangle + \cos \theta |b\rangle \\ |\psi_-\rangle &= \cos \theta |a\rangle - \sin \theta |b\rangle \end{aligned} \quad \text{où} \quad \tan 2\theta = \frac{\Omega}{\Delta}$$



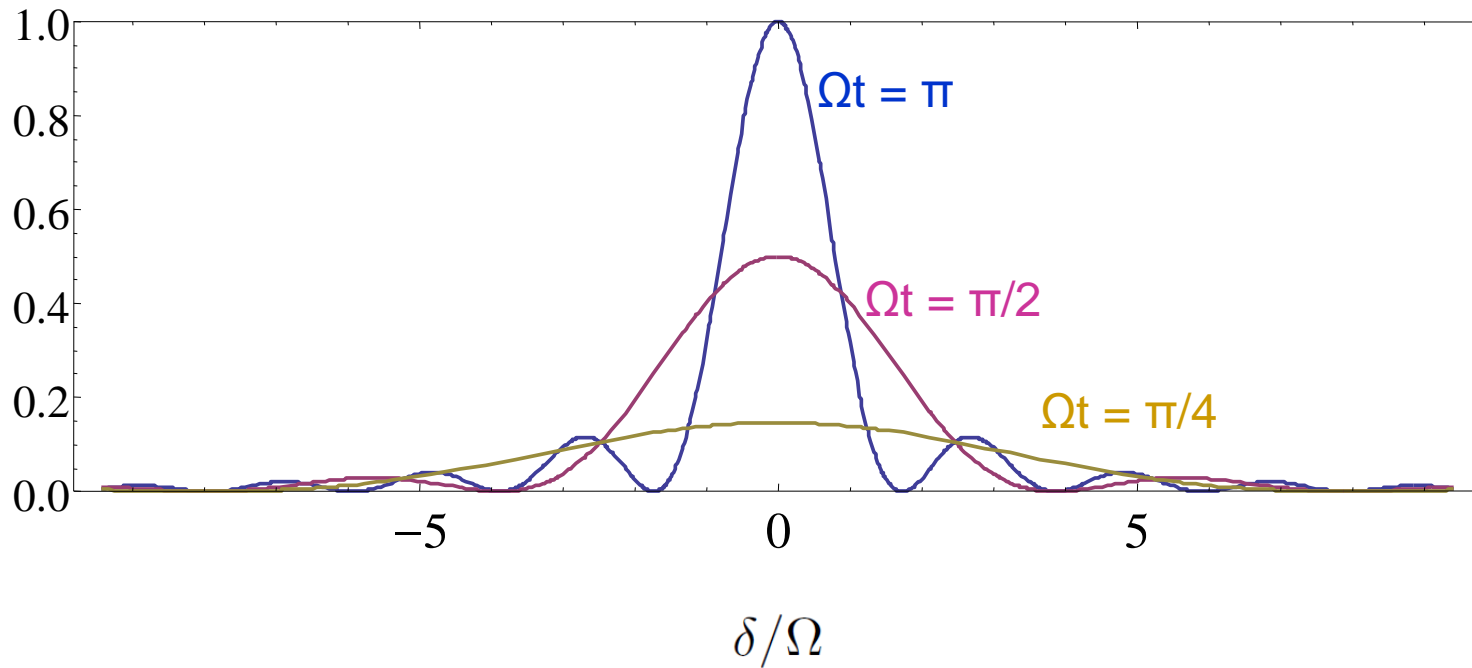
Formule de Rabi : domaine temporel

$$P_b(t) = \frac{\Omega^2}{\Omega^2 + \Delta^2} \sin^2 \left(\sqrt{\Omega^2 + \Delta^2} \frac{t}{2} \right)$$



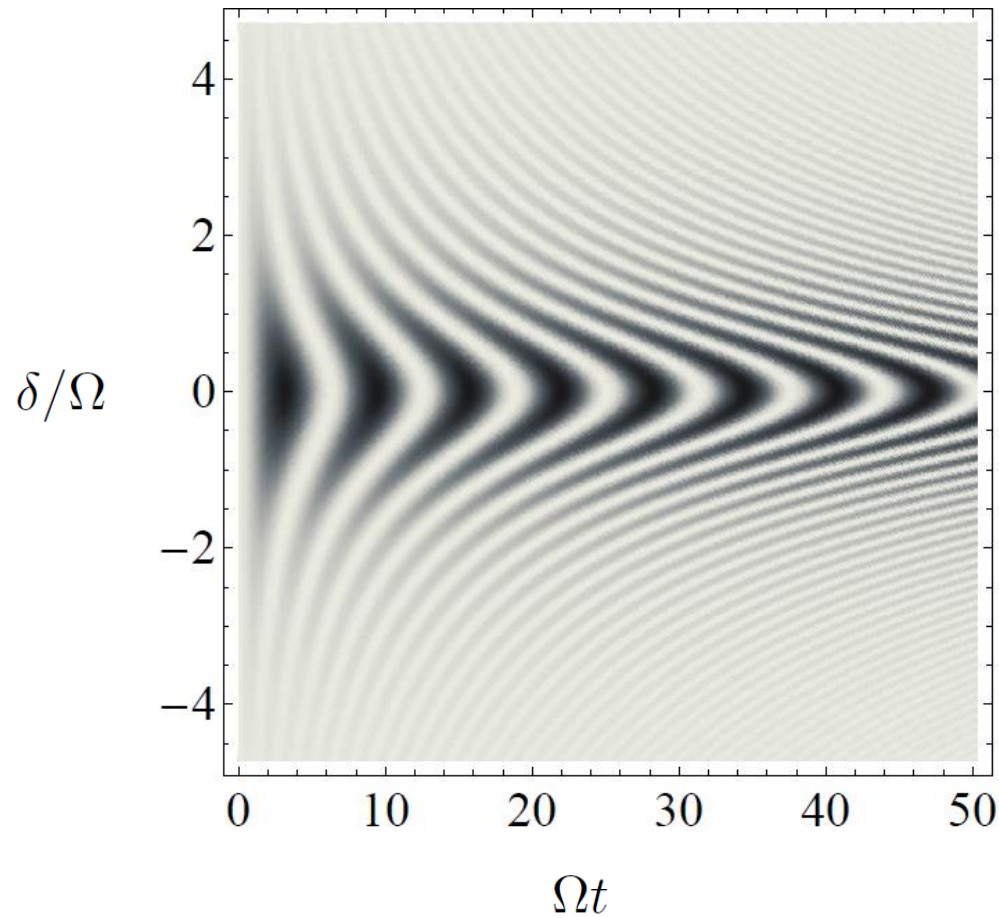
Formule de Rabi : domaine fréquentiel

$$P_b(t) = \frac{\Omega^2}{\Omega^2 + \Delta^2} \sin^2 \left(\sqrt{\Omega^2 + \Delta^2} \frac{t}{2} \right)$$



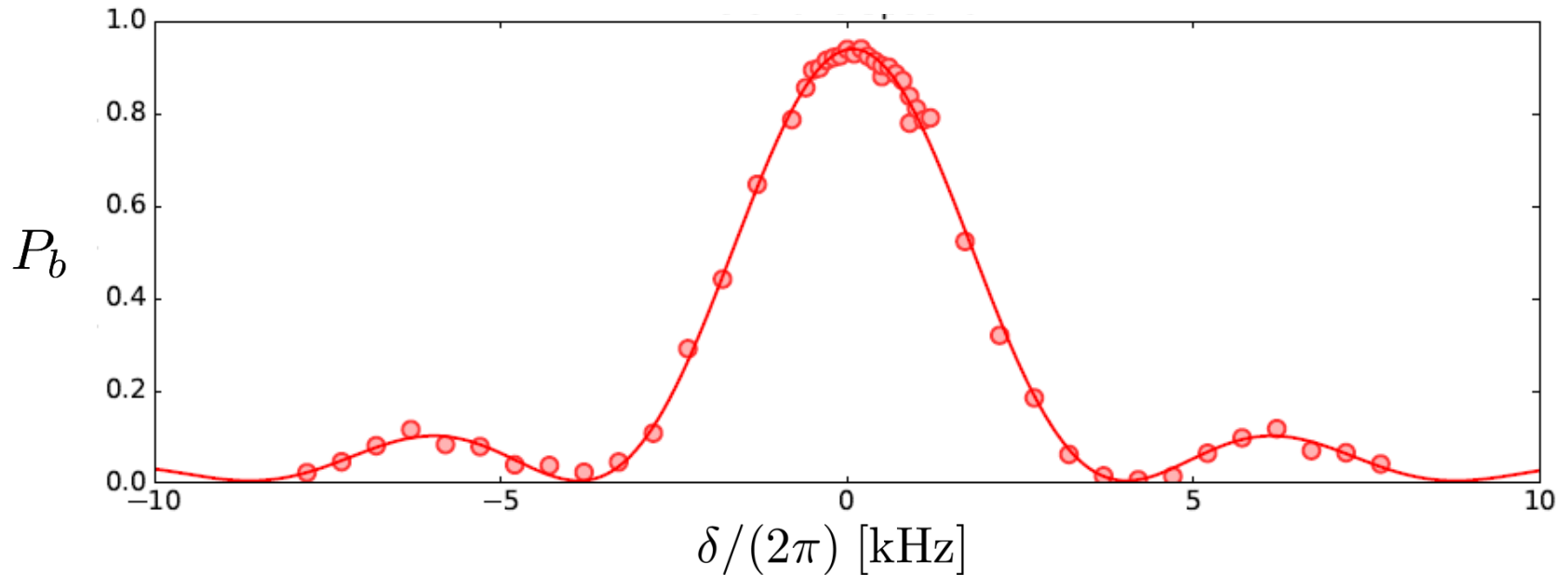
Formule de Rabi

$$P_b(t) = \frac{\Omega^2}{\Omega^2 + \Delta^2} \sin^2 \left(\sqrt{\Omega^2 + \Delta^2} \frac{t}{2} \right)$$



Oscillations de Rabi d'un atome unique

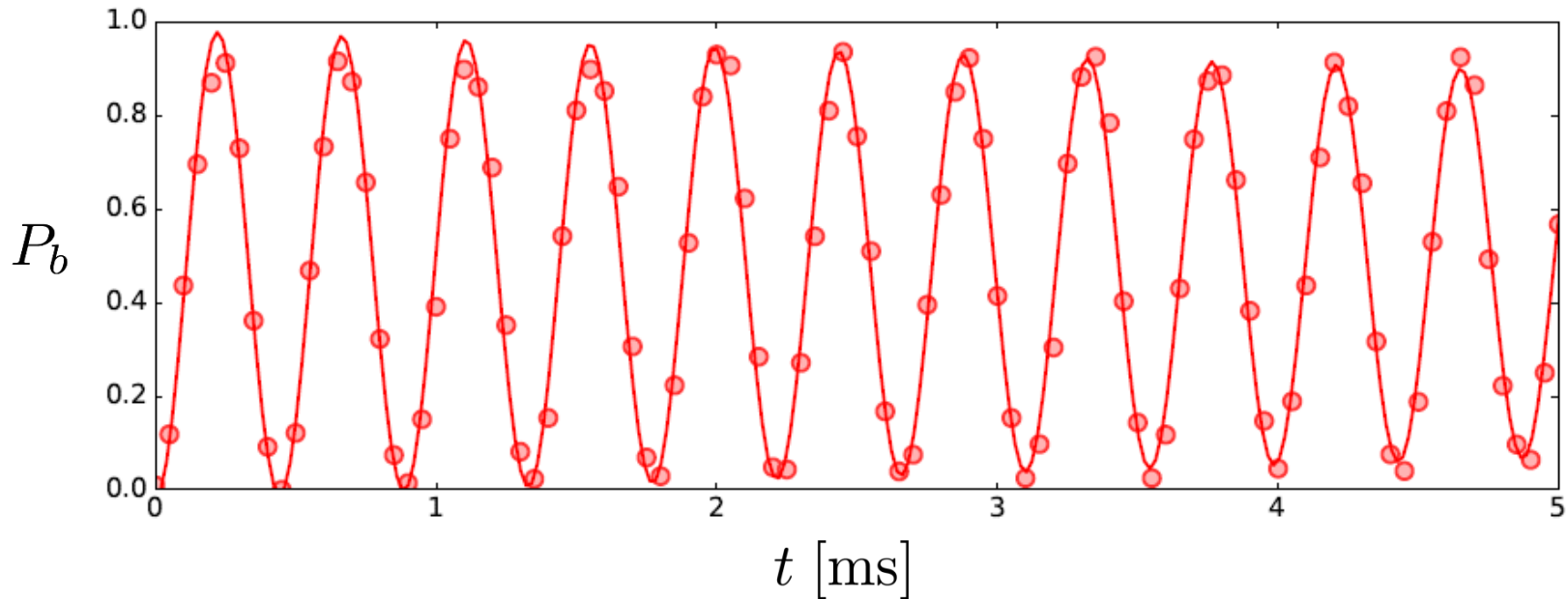
$$P_b(t) = \frac{\Omega^2}{\Omega^2 + \Delta^2} \sin^2 \left(\sqrt{\Omega^2 + \Delta^2} \frac{t}{2} \right)$$



Spectre de la transition entre deux niveaux hyperfins de l'état fondamental du ^{87}Rb (Institut d'optique, Palaiseau)

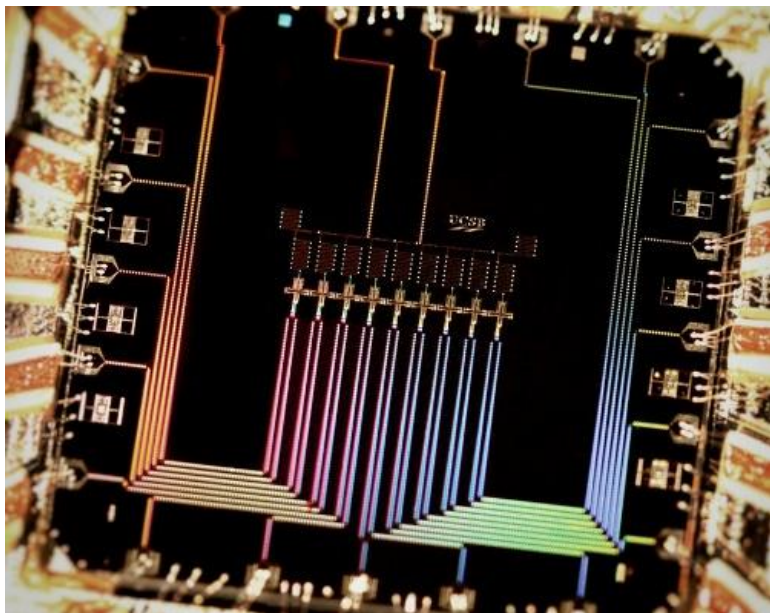
Oscillations de Rabi d'un atome unique

$$P_b(t) = \frac{\Omega^2}{\Omega^2 + \Delta^2} \sin^2 \left(\sqrt{\Omega^2 + \Delta^2} \frac{t}{2} \right)$$

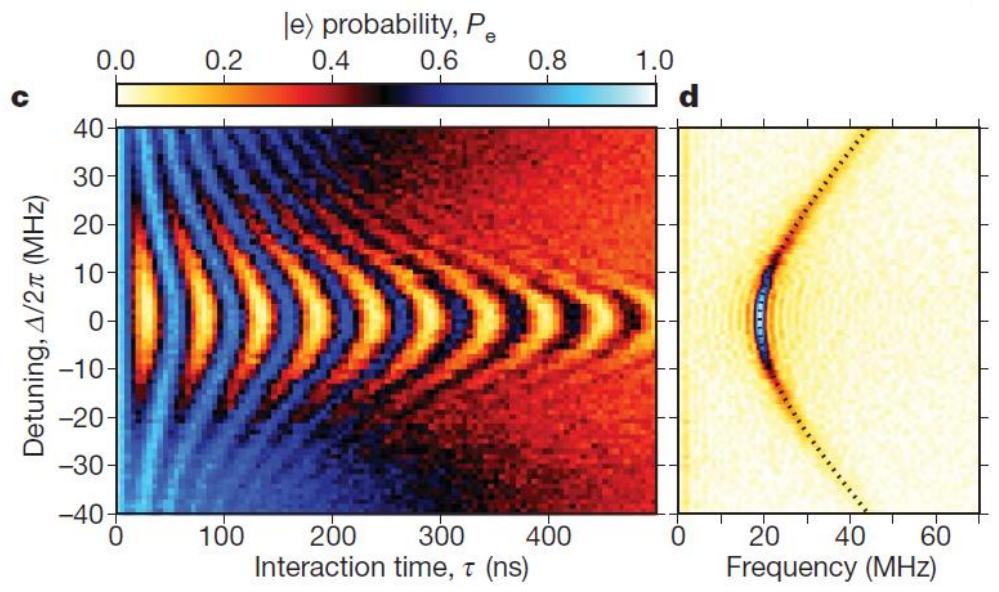


Oscillation de Rabi entre deux niveaux hyperfins de l'état fondamental du ^{87}Rb (Institut d'optique, Palaiseau)

Oscillations de Rabi d'un qubit supraconducteur

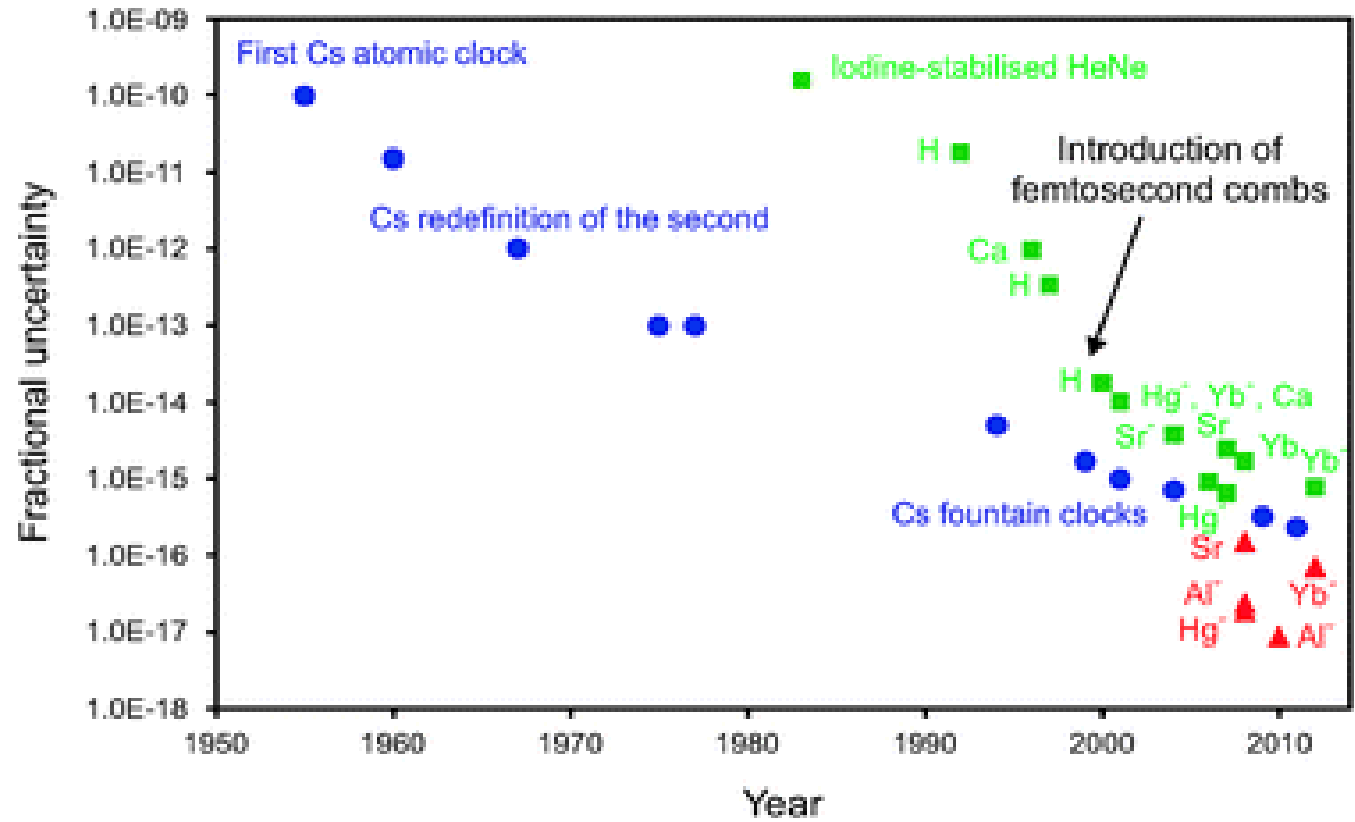


9 qubits supraconducteurs
(John Martinis, UCSB)



Synthesizing arbitrary quantum states in a superconducting resonator
Nature **459**, 546 (2009).

Précision des horloges atomiques



Applications : Physique fondamentale, GPS,...

Horloges optiques : précision actuelle 10^{-18} (horloge au Sr)
Probable redéfinition de la seconde dans les 10 ans qui viennent...