

## Manipulation d'un condensat de Bose-Einstein à l'aide d'un réseau optique : application à la gravimétrie et à la gradiométrie

### Permanents

F. Biraben

P. Cladé

S. Guellati

### Doctorants

M. Andia

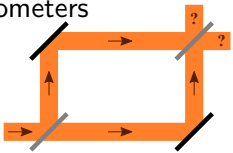
R. Jannin

C. Courvoisier

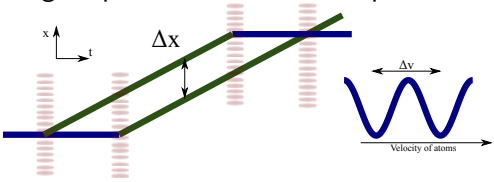
- Activité de l'équipe :
  - Mesure de la vitesse de recul :  $v_r = \frac{\hbar k}{m}$
  - Mesure en 2011 de  $h/m$  avec une incertitude de  $1.3 \times 10^{-9}$
- Objectif :
  - Détermination de la constante de structure fine  $\alpha$
  - Test de QED (calcul du  $g - 2$  de l'électron)
  - Redéfinition du kilogramme
- Interférométrie atomique
  - Mesure locale de la gravité (oscillations de Bloch)
  - Utilisation d'un condensat de Bose-Einstein
  - Lame séparatrice à grand transfert d'impulsions

Atom interferometers are similar to optical interferometers

- **Beamsplitter** (split and recombine a wave)
- Measure the **phase difference**



Light splits the atomic wave packet in two paths



An atom interferometer measures the **kinetic energy**

### Sensitivity in velocity

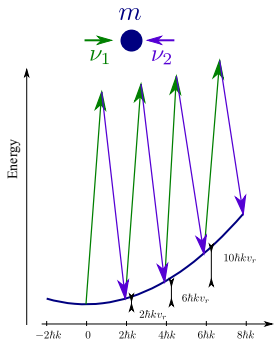
Heisenberg principle :  $\Delta v \simeq \frac{h}{m\Delta x}$

Example :  $\Delta x = 1 \text{ mm} \Rightarrow \Delta v = 5 \text{ } \mu\text{m/s}$  for rubidium atoms.

## ■ Transitions Raman :

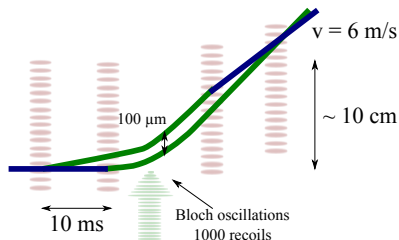


## ■ Oscillations de Bloch



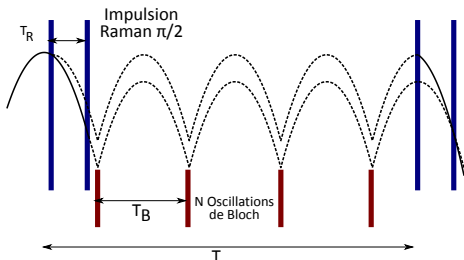
- $\Delta v = 2Nv_r$

- $\eta > 99.9\%$  par oscillation



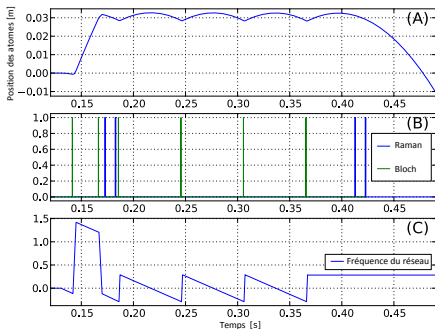
- Gravimètre à atomes froids (chute libre), phase inertielle varie en  $T^2$ .
- Meilleure sensibilité obtenue sur une longueur de chute de 10 cm à 1 m.
- Contrainte sur la réalisation de gravimètre compact.

■ principe



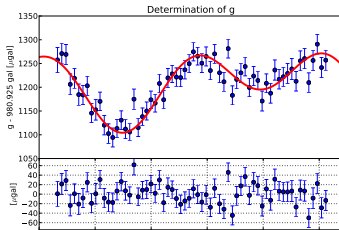
$$2Nv_r = gT_B$$

## ■ Protocole de mesure



■  $\Delta g/g = 4,8 \times 10^{-8}$  sur 4 min

## ■ Effet des marées

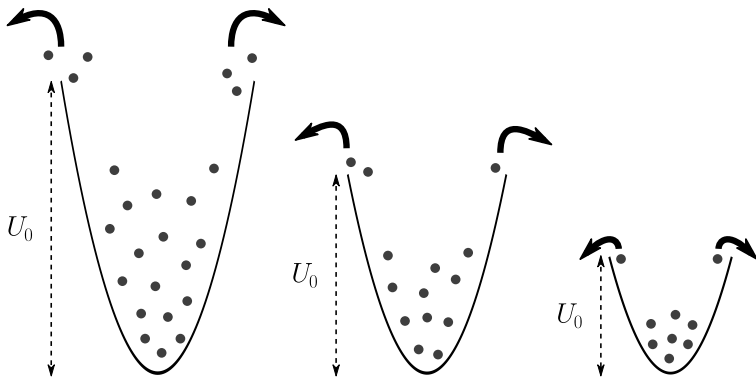


■  $\Delta x = 4,6$  mm,  $N = 50$ ,  $M = 4$  et  $T = 230$  ms

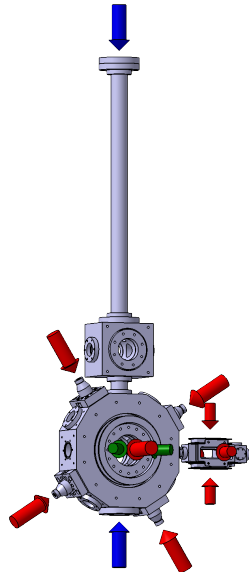
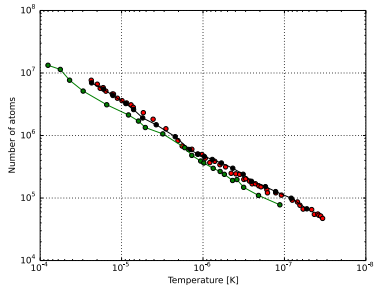
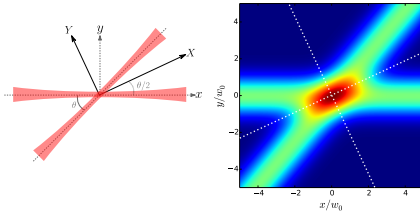
$$g = \frac{1}{T} \times \left( \frac{2NM\hbar k_B}{m_{\text{Rb}}} - \frac{\delta_{\text{R}}}{2(k_1 + k_2)} \right)$$

$k_1$  et  $k_2$  : vecteurs d'onde Raman et  $k_B$  : vecteur d'onde Bloch

- Refroidissement sub doppler :  $\sigma_v \approx 1$  cm/s.
- Limitation dûe à l'étalement transverse du nuage atomique :
  - Durée de la mesure
  - Effets systematiques (coriolis, wave-front)
  - Elargissement inhomogène (chute du contraste)
- Refroidissement par évaporation



## ■ Piège dipolaire croisé



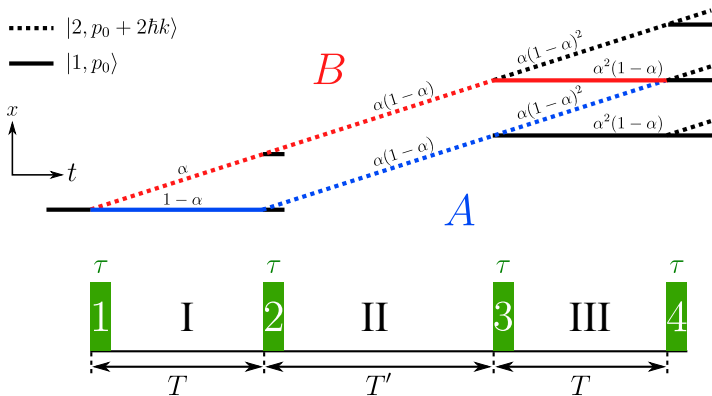


Champ moyen :

- Collisions entre atomes.  $V(\mathbf{r}) = g\delta(\mathbf{r})$  avec  $g = \frac{4\pi\hbar^2 a}{m}$   
où  $a$  est la longueur de diffusion en onde  $s$ .
- Potentiel moyen effectif (vu par une particule):  
 $V = Ng |\Phi(r)|^2$  où  $N$  est le nombre de particules (dans l'état  $\Phi$ )

Ordre de grandeur (gaz dilué):

- $10^5$  atomes dans  $100\mu m^3 \rightarrow \omega = 100$  mHz



$$\Delta\phi|_{\alpha \rightarrow 1/2} \simeq \frac{3}{8}(\omega_{11} - \omega_{22})T - \left[ \frac{5}{4}(\omega_{11} + \omega_{22}) + \frac{3}{4} \frac{\sqrt{\pi}W}{v_r T} \omega_{12} \right] T\delta\alpha. \quad (1)$$

Mesure du principe d'équivalence (tour de 10 m)

En tenant compte de l'étalement du nuage

$$\delta\alpha = \pm 1\%$$

	<b>Source I</b>	<b>Source II</b>
$N$	$4 \times 10^6$ atomes	$10^5$ atomes
$\theta$	50 nK	3 nK
$w$	400 $\mu\text{m}$	60 $\mu\text{m}$
$\omega_{11}$	0,294 $\text{rad.s}^{-1}$	2,176 $\text{rad.s}^{-1}$
$\omega_{22}$	0,278 $\text{rad.s}^{-1}$	2,059 $\text{rad.s}^{-1}$
$\omega_{12}$	0,286 $\text{rad.s}^{-1}$	2,117 $\text{rad.s}^{-1}$
$\Delta\phi$	$1,43 \pm 1$ mrad	$6,5 \pm 4,7$ mrad



- Utilisation des oscillations de Bloch
- Mesure de  $h/m$ , détermination de  $\alpha$ , test de QED
- Outil pour la mesure locale de l'accélération de la pesanteur

Perspectives :

- Refroidissement évaporatif / condensat de Bose-Einstein
- Mesure des effets d'interaction
- Nouvelle mesure de  $h/m$
- Nouvel outil pour la gravimétrie / gradiométrie
- Lame séparatrice à grand transfert d'impulsions