

Gravimètre absolu à atomes froids

Franck Pereira Dos Santos
Patrick Cheinet
Kasper Therkildsen

David Holleville
Arnaud Landragin
André Clairon

Sommaire

- Présentation du projet Balance du Watt
- Présentation générale du gravimètre
- Interférométrie atomique/Capteurs inertiels
- Sensibilité : sources de bruit
- Exactitude : sensibilité à la rotation
- Etat d'avancement
- Perspectives

Le projet Balance du Watt

Objectif : remplacer le Kg étalon par une définition liée à la constante de Planck h

Pourquoi : le Kg étalon est le dernier artefact du système international

la dérive observée sur l'étalon et les étalons secondaires est de $5 \cdot 10^{-8}$ sur 30 ans

Principe : Equilibrer une puissance mécanique par une puissance électrique

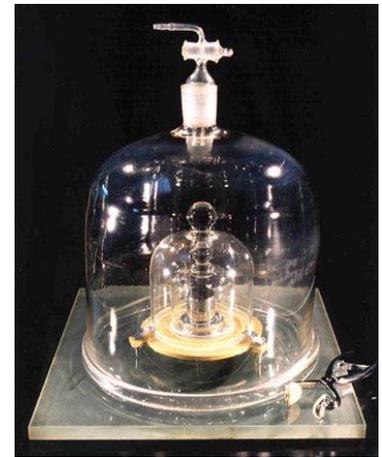
Projet commun des laboratoires du BNM

mesure de g : BNM - SYRTE

mesure de E et i : BNM-LAMA

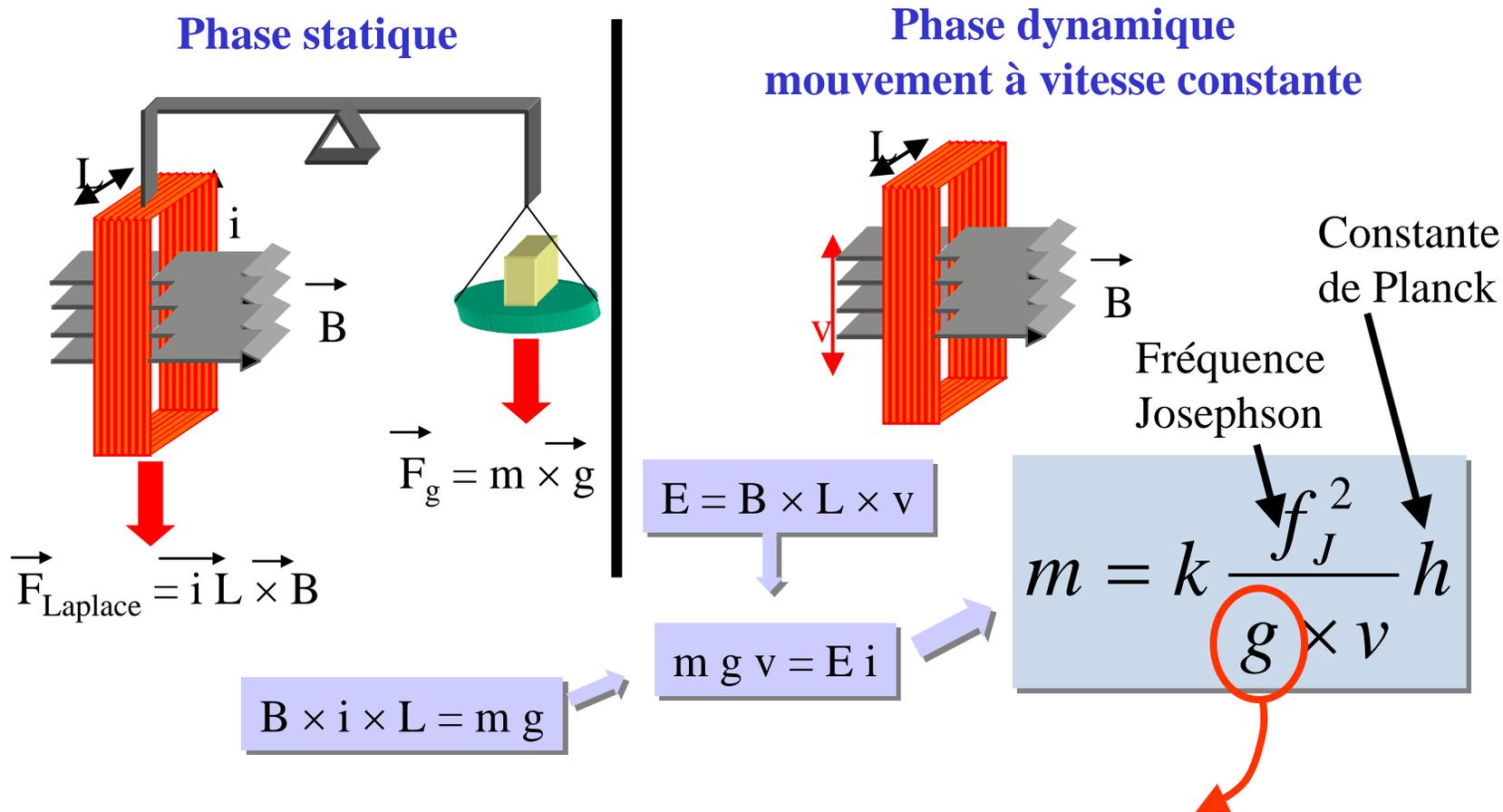
réalisation de m : BNM-INM

mesure et contrôle de ν : BNM-INM et LIRIS-CNRS



Kg étalon du BIPM

Le projet Balance du Watt



Nécessité de mesurer g très précisément

Etat de l'art

Gravimètre commercial FG5

Principe :
Coin de cube
en chute libre

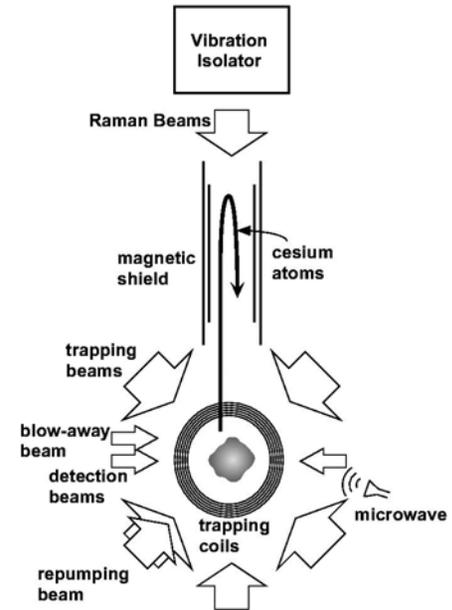


Inconvénients du coin de cube :

Chocs mécaniques

Taux de répétition
faible ($\sim 0,1$ Hz)
Dérives dues à l'usure
du cube

Gravimètre atomique

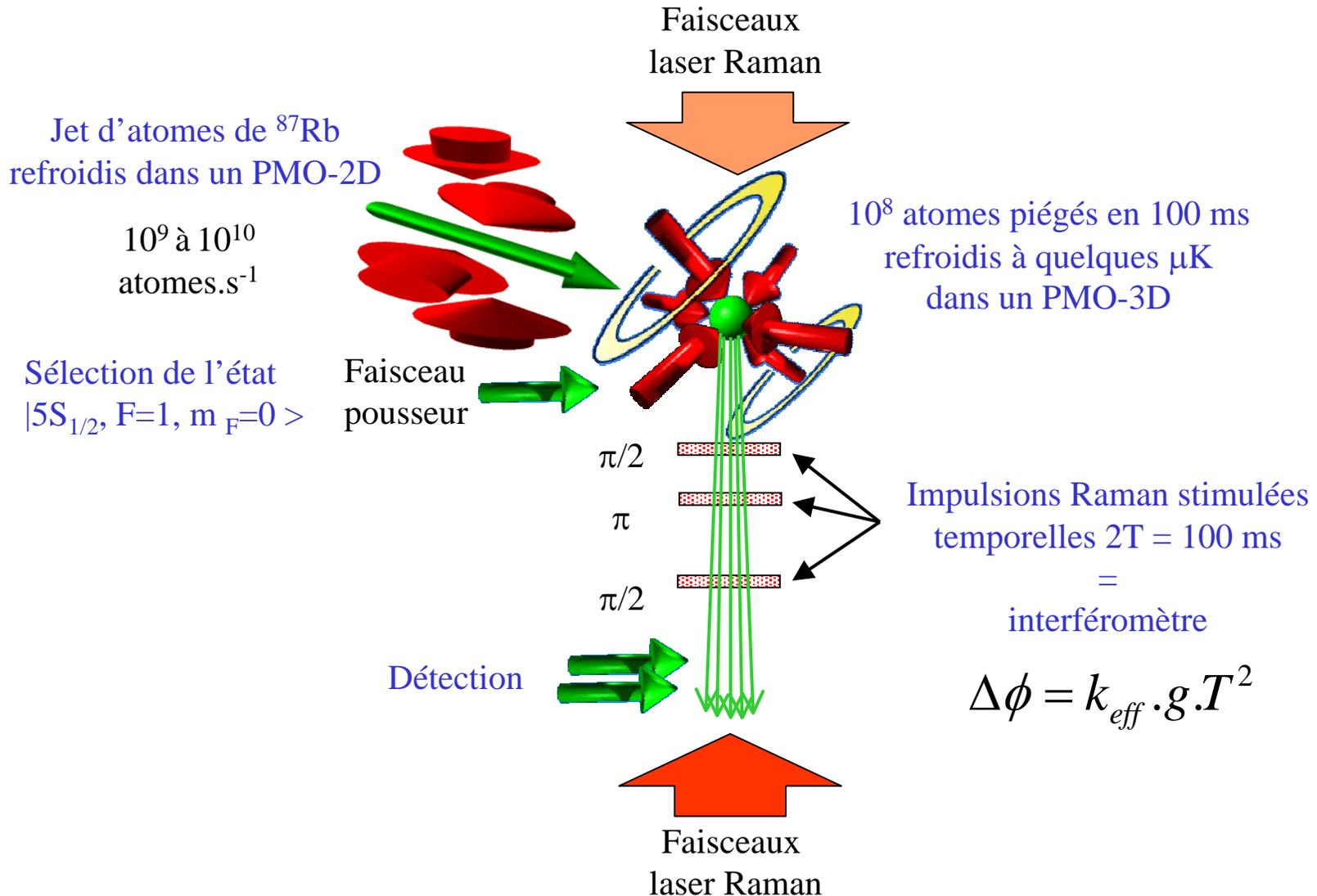


- **Performances:**

- **Résolution:** 3×10^{-9} g après 1 minute
- **Exactitude:** $\Delta g/g < 3 \times 10^{-9}$

D'après A. Peters, K.Y. Chung and S. Chu

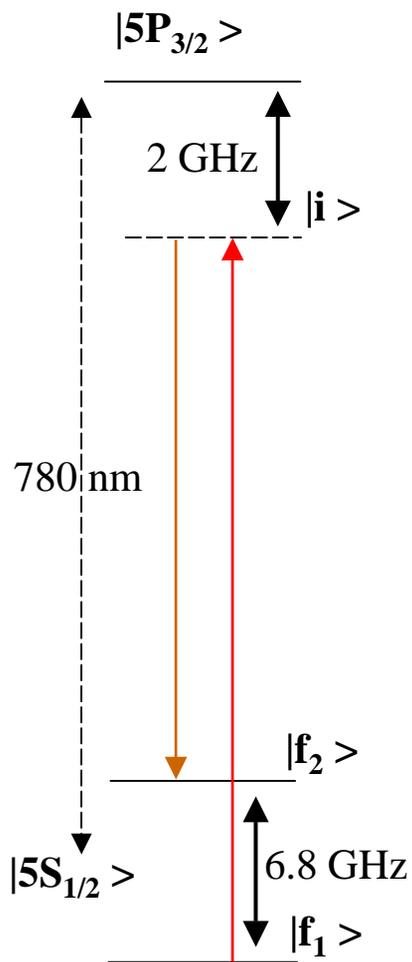
Principe général



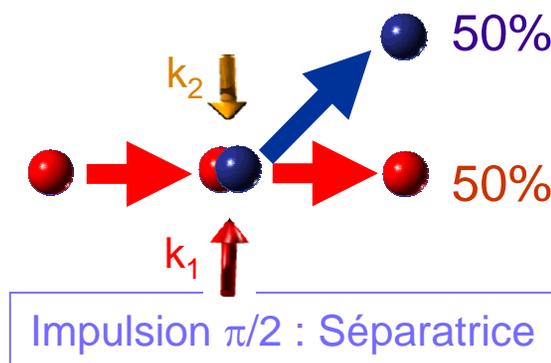
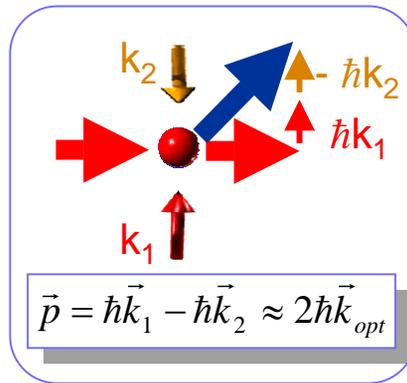
$$\Delta\phi = k_{eff} \cdot g \cdot T^2$$

Transitions Raman stimulées

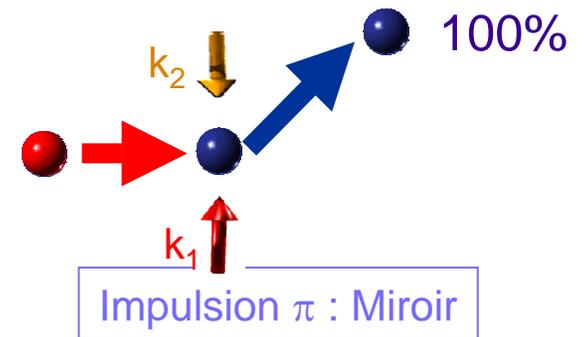
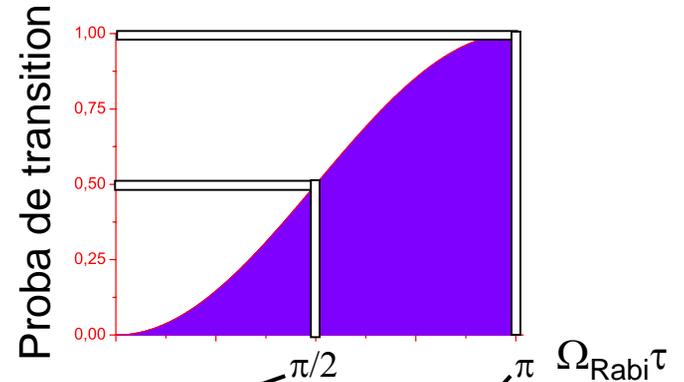
^{87}Rb



Lors de la transition, l'atome acquiert l'impulsion de deux photons et change de trajectoire.

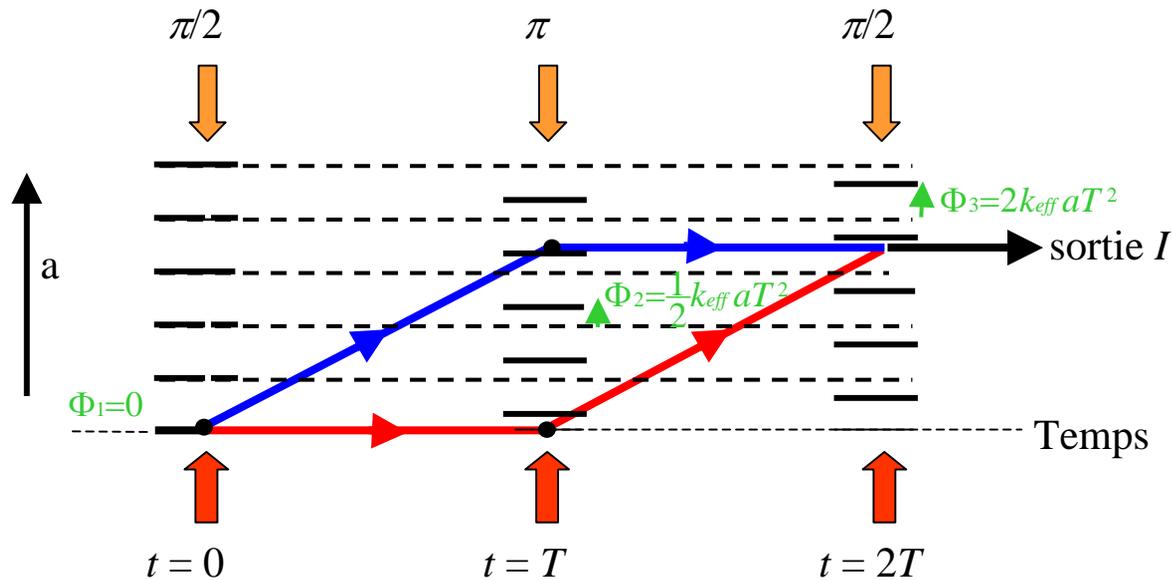


Les lasers couplent les états $|f_1\rangle$ et $|f_2\rangle$ en une superposition quantique.
=> oscillations de Rabi

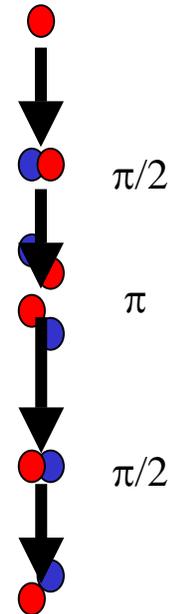


L'interféromètre

En présence d'une accélération a



Gravimètre



Probabilité de transition :
$$P = \frac{1 + \cos(\Delta\phi)}{2}$$

Sensibilité à l'accélération :
$$\Delta\phi = k_{eff} \cdot a \cdot T^2$$

$$\Delta\phi = k_{eff} \cdot g \cdot T^2$$

Mesure du déplacement
du référentiel atomique
/ référentiel des lasers

- Sensibilité au bruit de phase des faisceaux lasers
- Sensibilité aux vibrations

Performances

□ Sensibilité à court terme :

- Taux de répétition élevé > 3 Hz : piège 3D chargé par piège 2D
- Stabilité de phase des faisceaux lasers Raman
Chaîne micro-onde à 6,8 GHz faible bruit de phase
- Vibrations : Niveau souhaité qq $\text{ng}/\text{Hz}^{1/2}$
 - ⌚ isolation et/ou compensation (séismomètre mécanique)

Rapport S/B ~ 1000 sensibilité : $3 \cdot 10^{-9}$ g / coup

□ Exactitude : 10^{-9} g

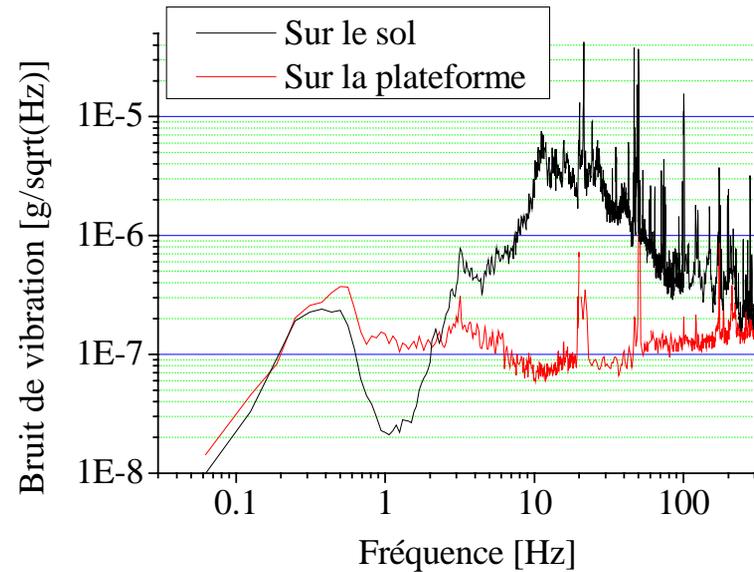
- Limitation : sensibilité résiduelle à la rotation (accélération de Coriolis)

Sensibilité aux vibrations

Plateforme d'isolation active



Niveau de bruit : $<20 \text{ ng/Hz}^{1/2}$



Bruit de vibration sur la plateforme $\sim 10^{-7} \text{ g/Hz}^{-1/2}$



SEISMOMETRE Guralp 40T

Mesure des vibrations
et compensation / post traitement

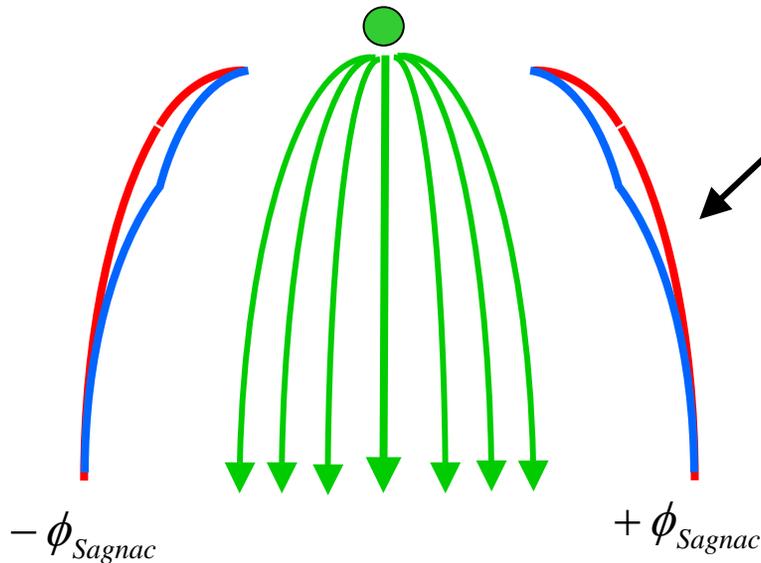
Niveau de bruit : 10^{-10} g à 0.1 Hz, $2 \cdot 10^{-10} \text{ g}$ à 1 Hz, $3 \cdot 10^{-9} \text{ g}$ à 10 Hz

Exactitude

Objectif : $<10^{-9}$ g

Limite liée à la sensibilité à la rotation

Aire comprise entre les deux bras
→ effet Sagnac sensibilité à la rotation



$$\Delta\varphi = \frac{2m}{\hbar} \vec{\Omega} \cdot \vec{A}$$



Rotation de la terre

→ déphasage parasite

$$v = 100 \text{ } \mu\text{m/s} \Rightarrow \Delta g = 1 \text{ } \mu\text{gal}$$

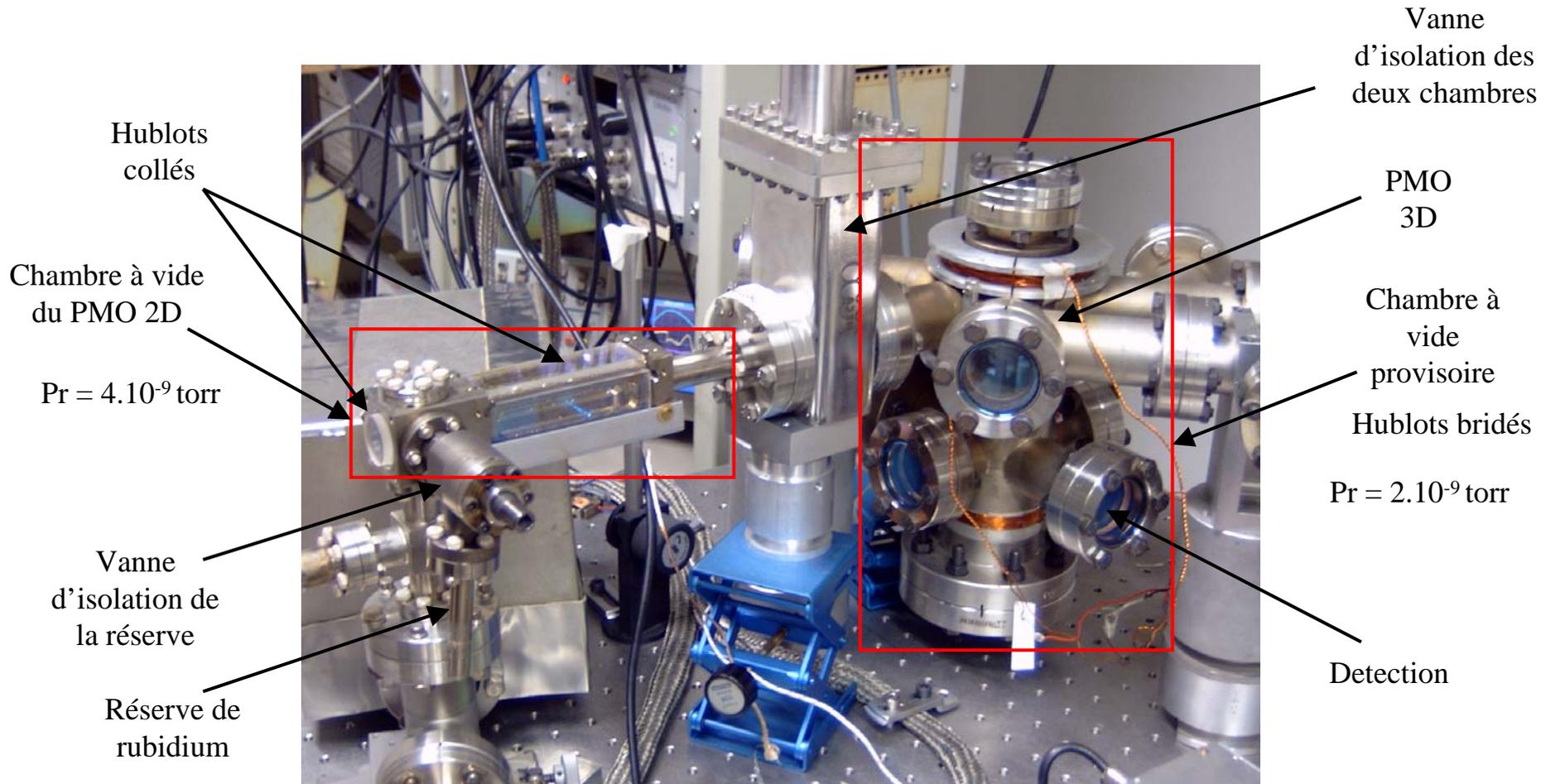
Détection des atomes symétrique

Homogénéité de la détection $\Delta g = 1 \mu\text{gal} \Leftrightarrow 3\%$ sur 1 cm

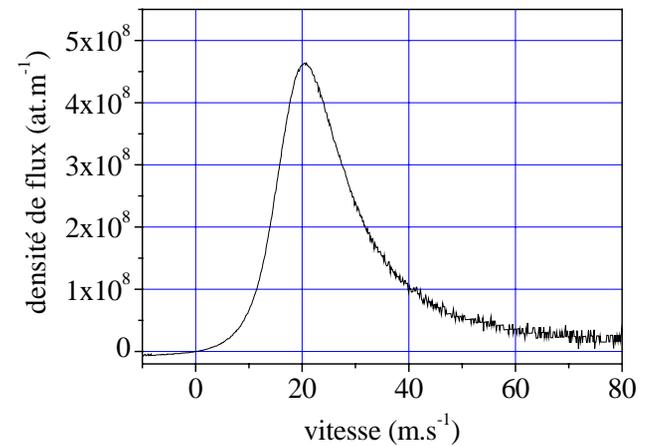
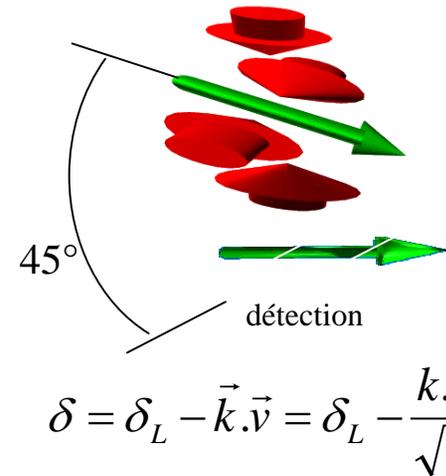
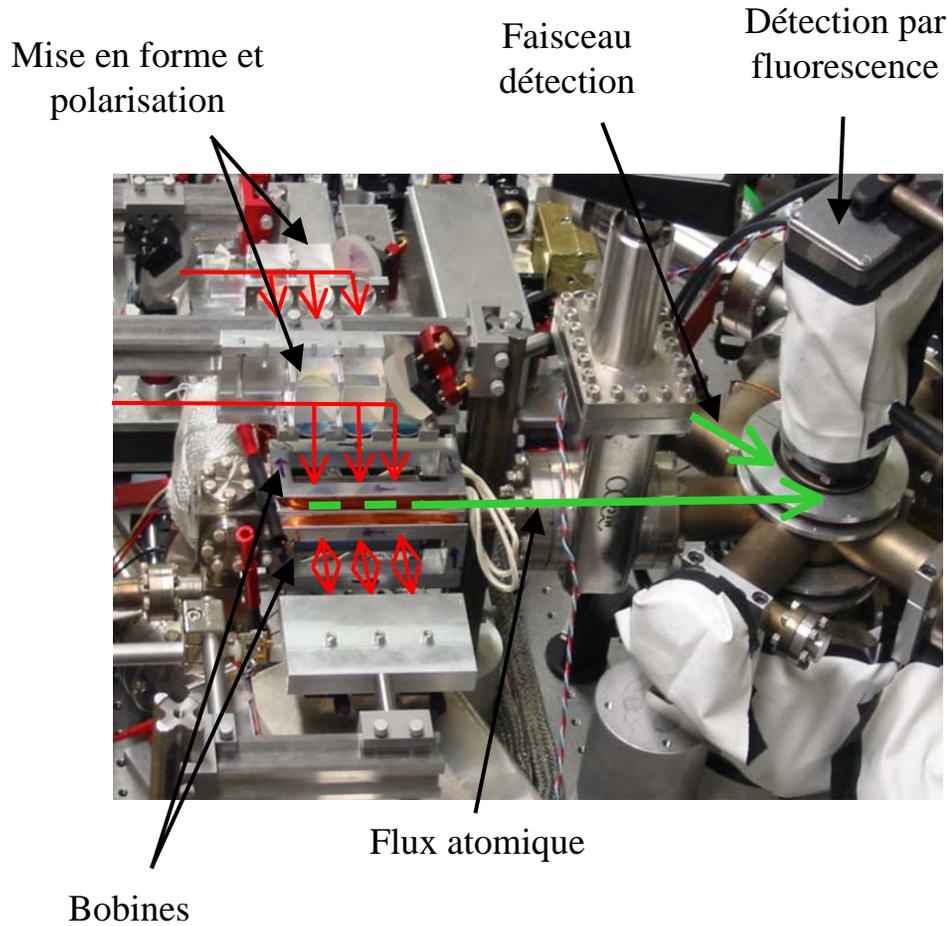
Contrôle de la verticalité

Assurée à quelques dizaines de μrad près si on lance vers le haut

Enceinte à vide



PMO 2D

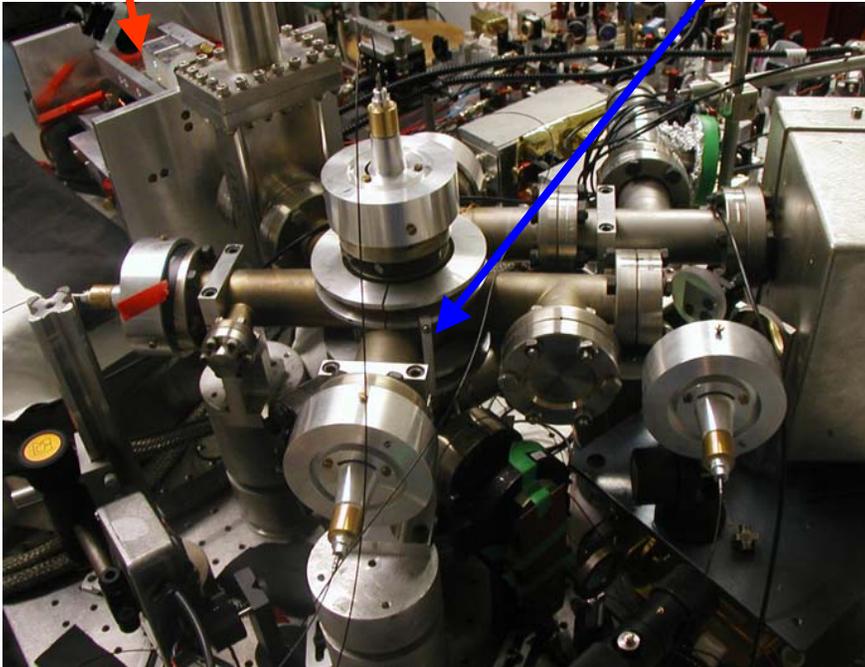


Intégration : 10¹⁰ atomes.s⁻¹

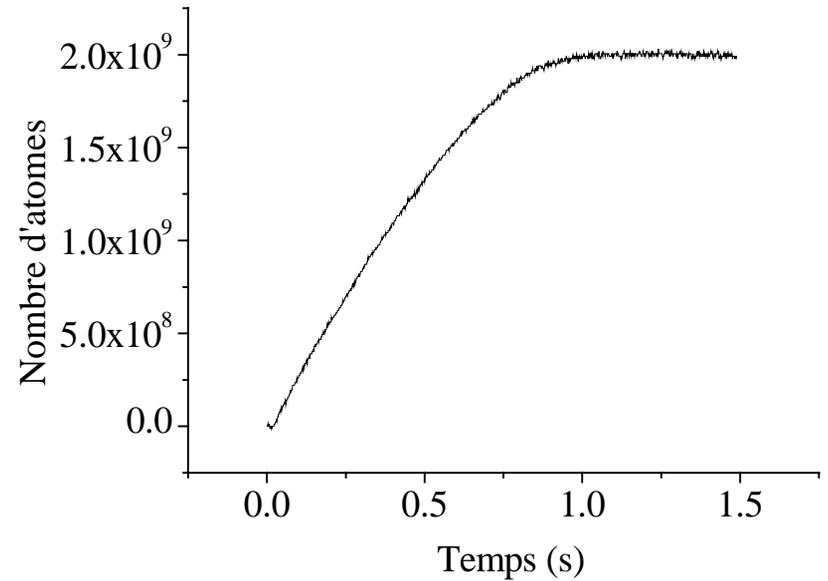
PMO 3D

PMO 2D

PMO 3D



Mesure par fluorescence



4 faisceaux horizontaux
+
1 faisceau vertical rétroréfléchi

Taux de chargement : $3 \cdot 10^9$ atomes/s

Etat stationnaire : $2 \cdot 10^9$ atomes

Perspectives

Fin 2004

- Modifications
- Premiers signaux d'interférométrie atomique

2005

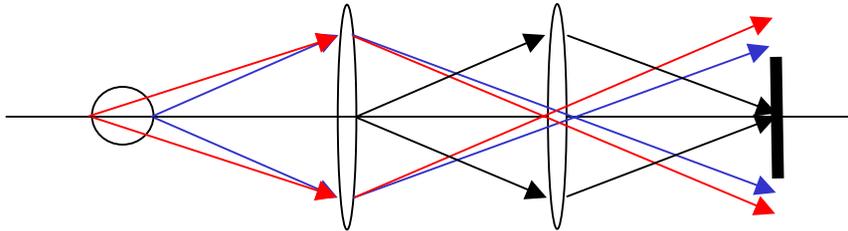
- Exploitation des premiers signaux
- Montage du système à vide définitif
- Acquisition d'un gravimètre relatif : mesure sur le site de Trappes

2006

- Installation à Trappes
- Participation à la Balance du Watt

Homogénéité de la détection

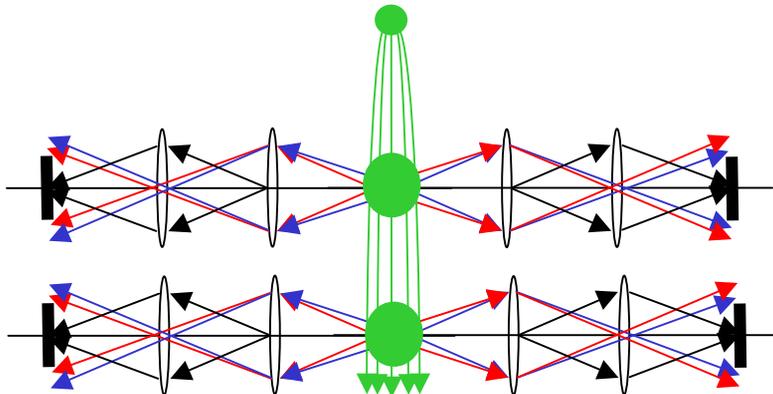
Eclairage Köhler :



On image la première lentille

=> Affranchissement de la structure de la source

Symétrisation de la zone de détection :



Homogénéité des zones de détections $F=1$ et $F=2$