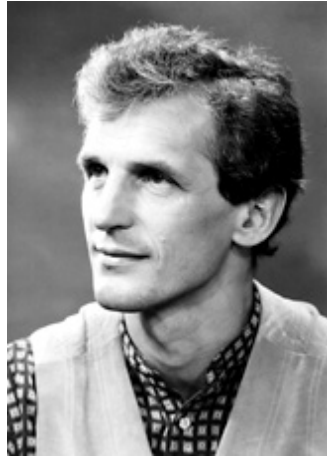


Tests fondamentaux avec des gaz quantiques

Nouvelle frontière: mesures de précision et physique à N corps



E. Cornell



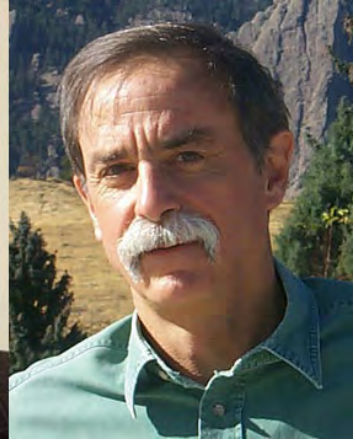
W. Ketterle



C. Wieman



S. Haroche



D. Wineland

Nobel prize 2001: Bose-Einstein condensation

Nobel prize 2012: quantum systems

Les interactions entre atomes: une limite à la précision

Exemple: fontaines à césium ou Rubidium

Utiliser la statistique quantique ou les interactions entre atomes

Pour améliorer la précision

Spin squeezing, lasers à atomes, interférométrie

Bosons et fermions ultrafroids

Condensation de Bose-Einstein et fermions dégénérés

Science, 269, 198 (1995)

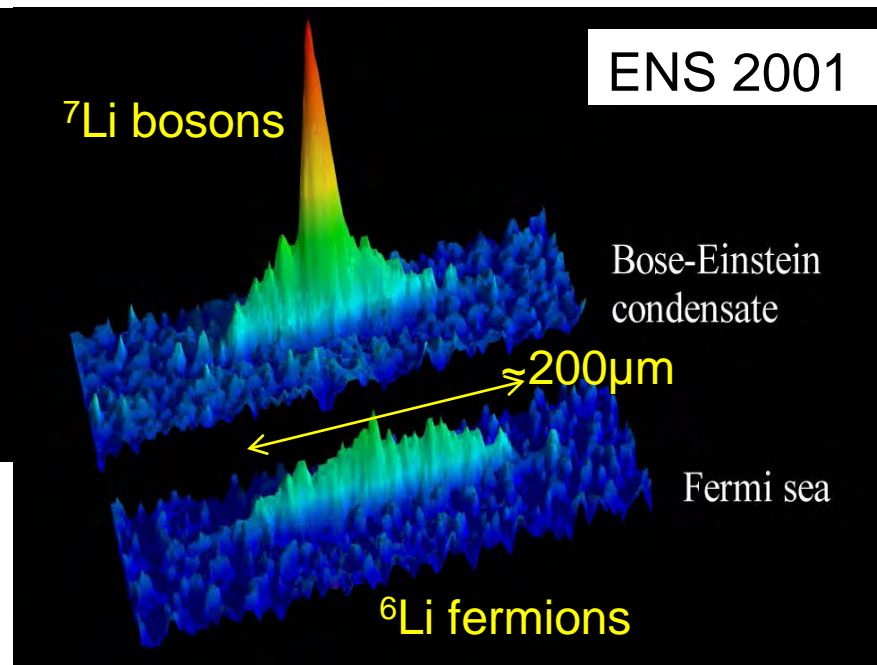
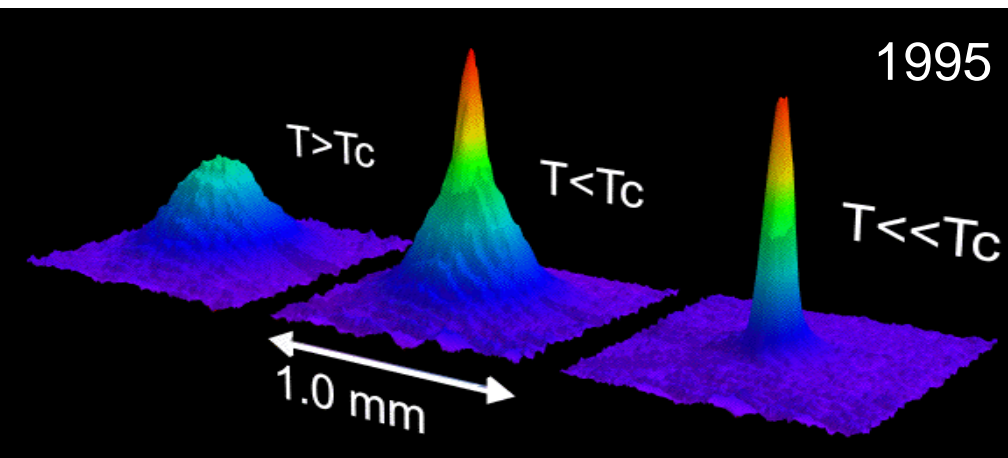
E. Cornell and C. Wieman,

Phys. Rev. Lett. 75, 3969 (1995)

W. Ketterle

F. Schreck et al.,

Phys. Rev. Lett. 87, (2001)



Janvier 2017:
premier condensat de Bose – Einstein
dans l'espace.

Vers des atomes au picoKelvin !

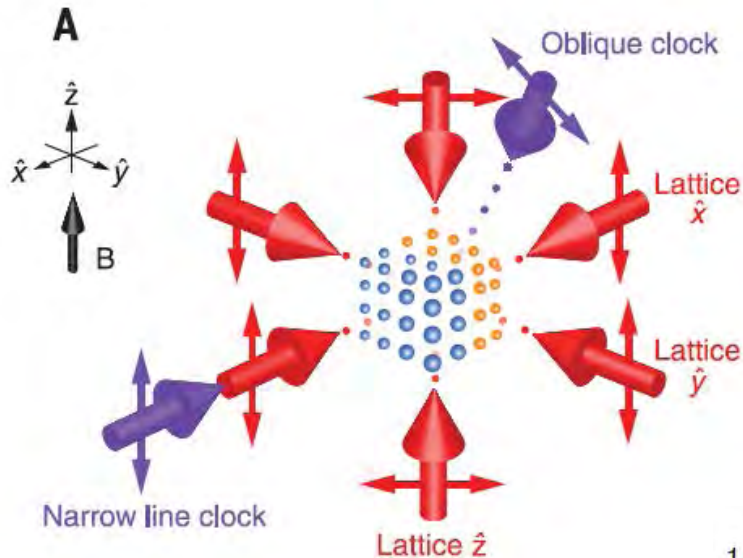
E. Rasel, W. Ertmer, Hannover

Un seul fermion par état
quantique du piège

Horloges à fermions dégénérés: ${}^{87}\text{Sr}$

Une horloge optique avec des fermions dans un réseau optique à 3 dimensions

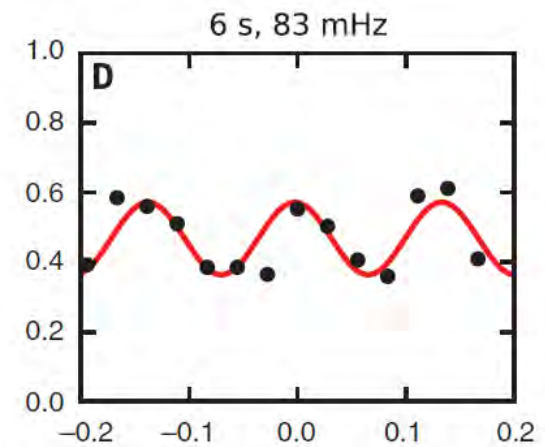
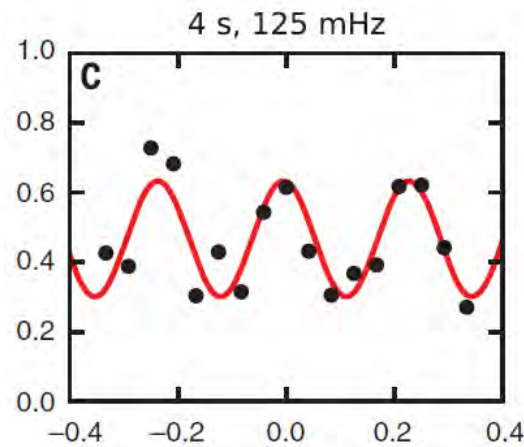
S.L. Campbell et al., JILA, Science, Oct 6th, 2017



Seulement 0, 1, 2 ou 3 atomes par site

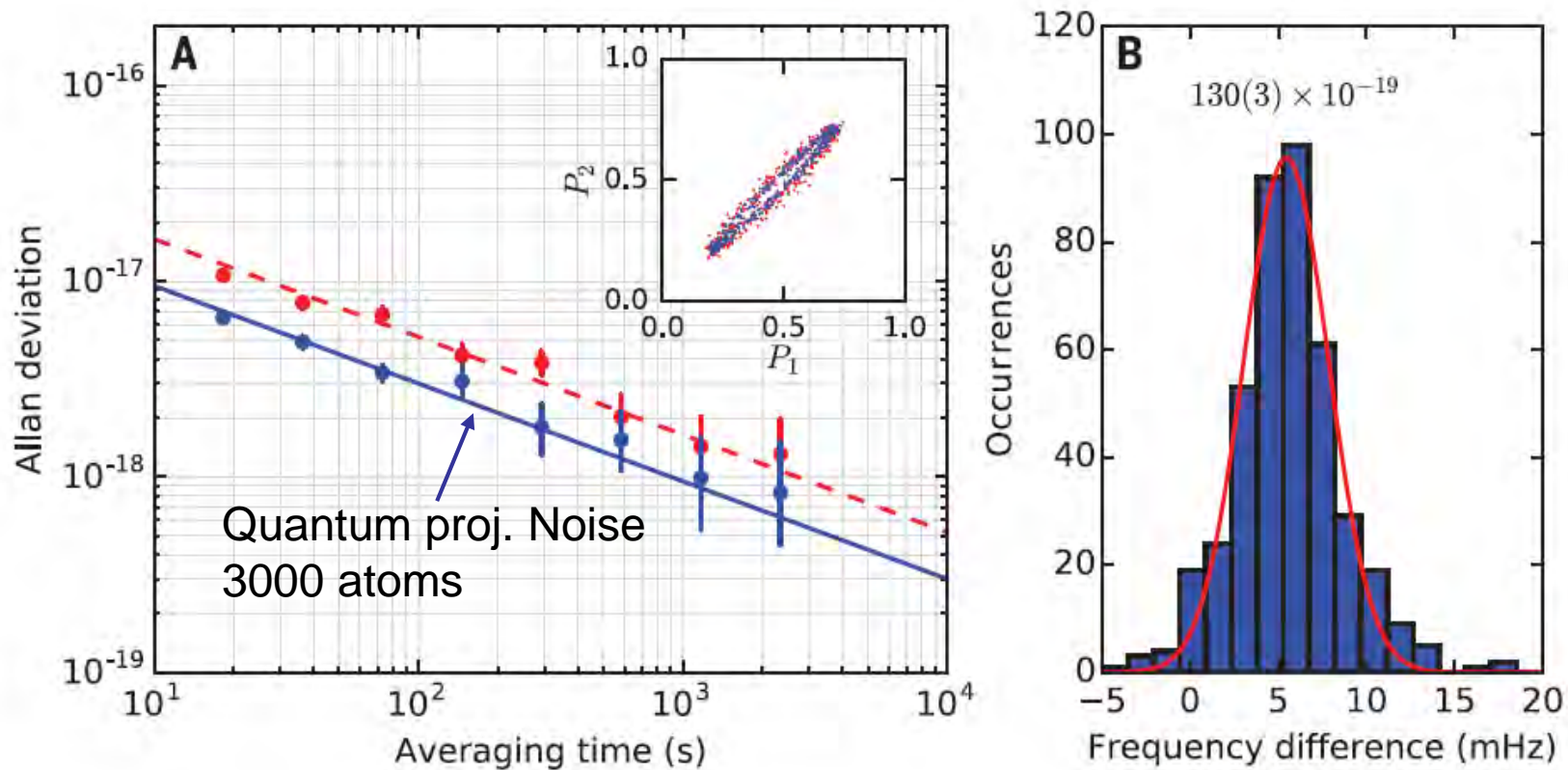
Résonance très étroite: l'énergie d'interaction pour 2 ou 3 atomes par site est résolue.
Pour 1 at/ site: pas de décalage en fréquence

Long temps de cohérence:
4s ou 6s



Detuning (Hz)

Une horloge optique avec des fermions ^{87}Sr dégénérés (2)



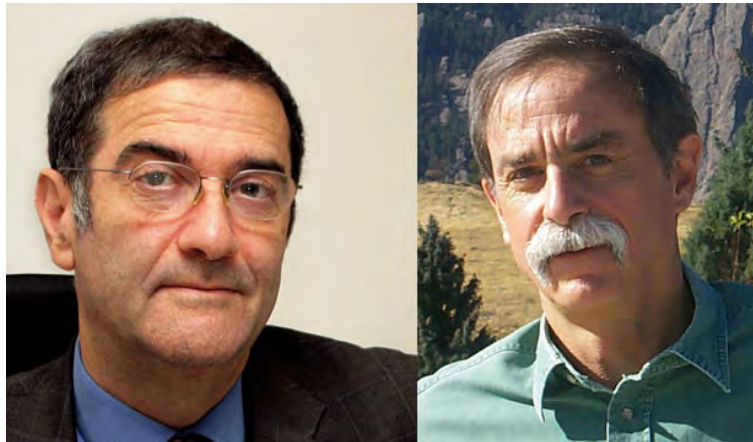
Deux zones du piège sur la même image: le bruit du laser est en mode commun.
Sensibilité différentielle sur une image: $3 \cdot 10^{-17}$ @1s et $3 \cdot 10^{-19}$ @10 000 s soit le QPN

Possibilité de mesurer le décalage gravitationnel
entre le haut et le bas du nuage d'atomes sur 3 mm !

Une révolution en marche

La métrologie quantique

Utiliser l'intrication quantique entre particules pour améliorer la précision des mesures



S. Haroche

D. Wineland

Prix Nobel 2012

Vers la limite de Heisenberg

Les fontaines atomiques fonctionnent au bruit de projection quantique:

atomes non corrélés: LQS : stabilité de fréquence proportionnelle à $1/N^{1/2}$

N atomes à 2 niveaux: un ensemble de spin $1/2$, formant un spin collectif $|J| = N/2$

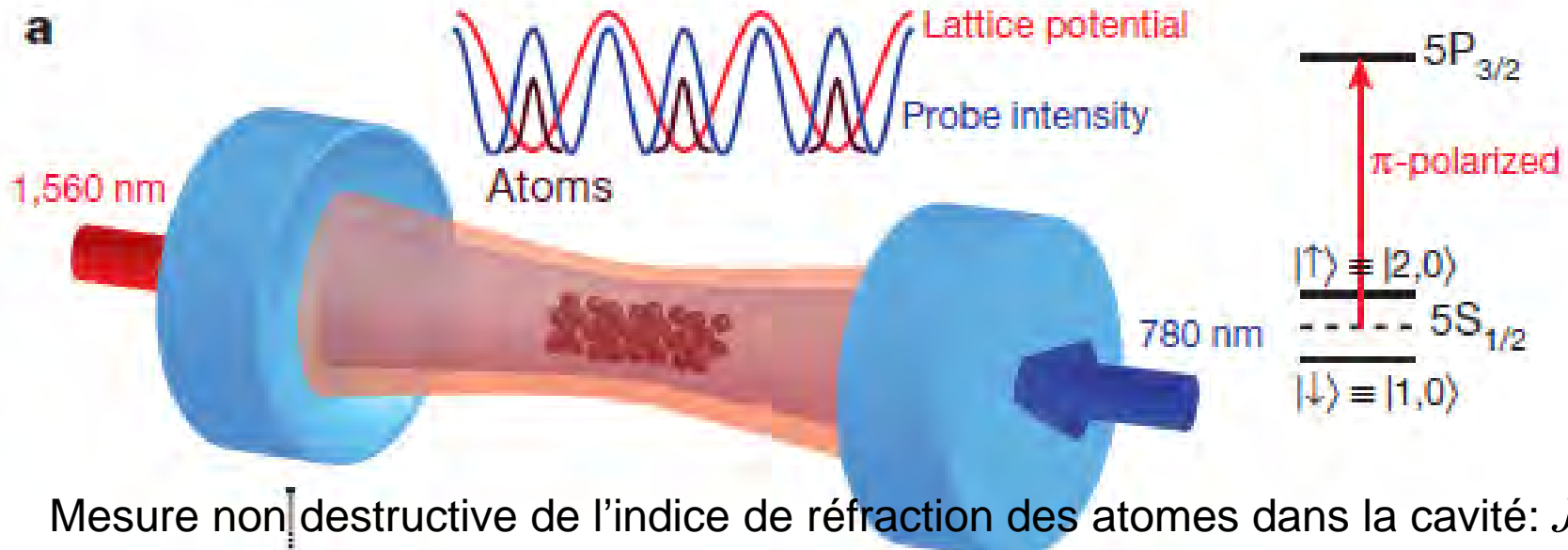
$$\Delta J_z \cdot \Delta J_y \geq |J_x / 2|$$

Spin squeezing: réduire la variance dans une direction, la direction utile pour la mesure
Kitagawa et Ueda, 1993, Wineland et al. 1994, approcher $1/N$

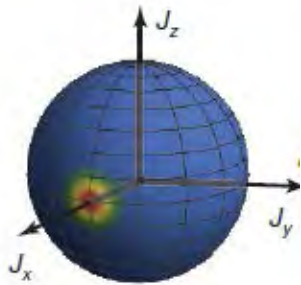
LETTER

Nature 2016

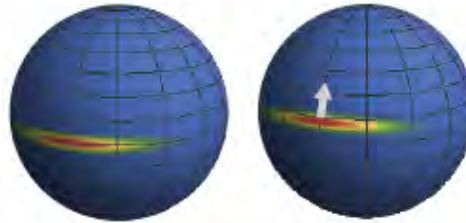
doi:10.1038/nature16176



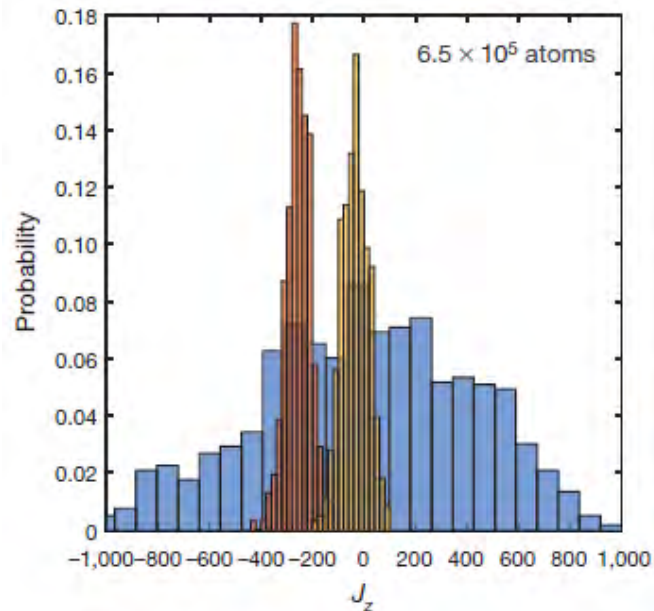
Méetrologie quantique



b

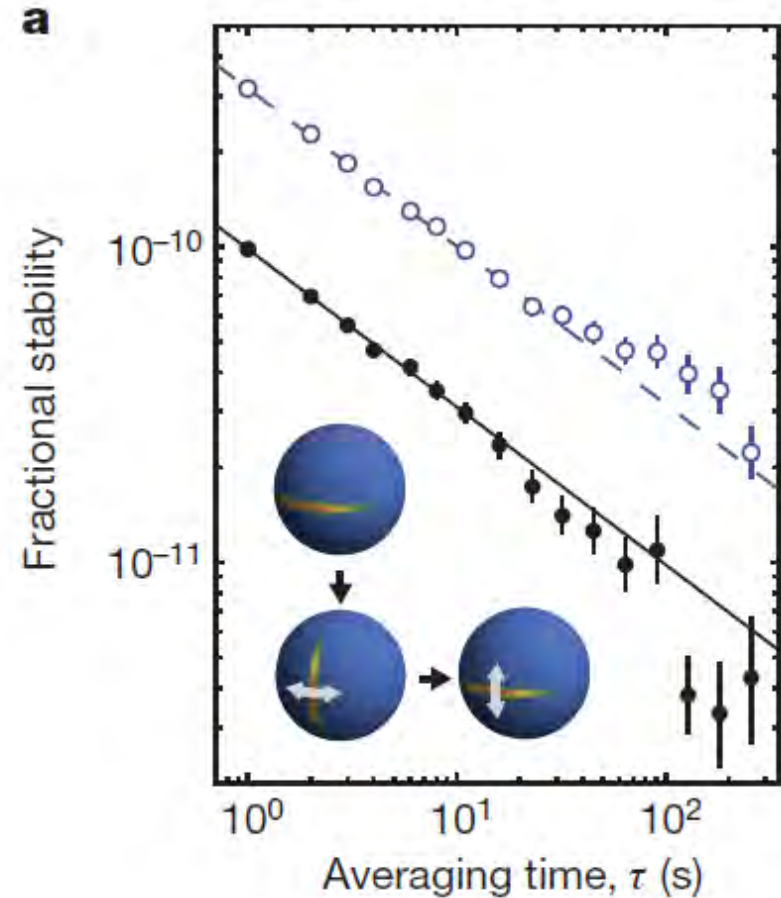
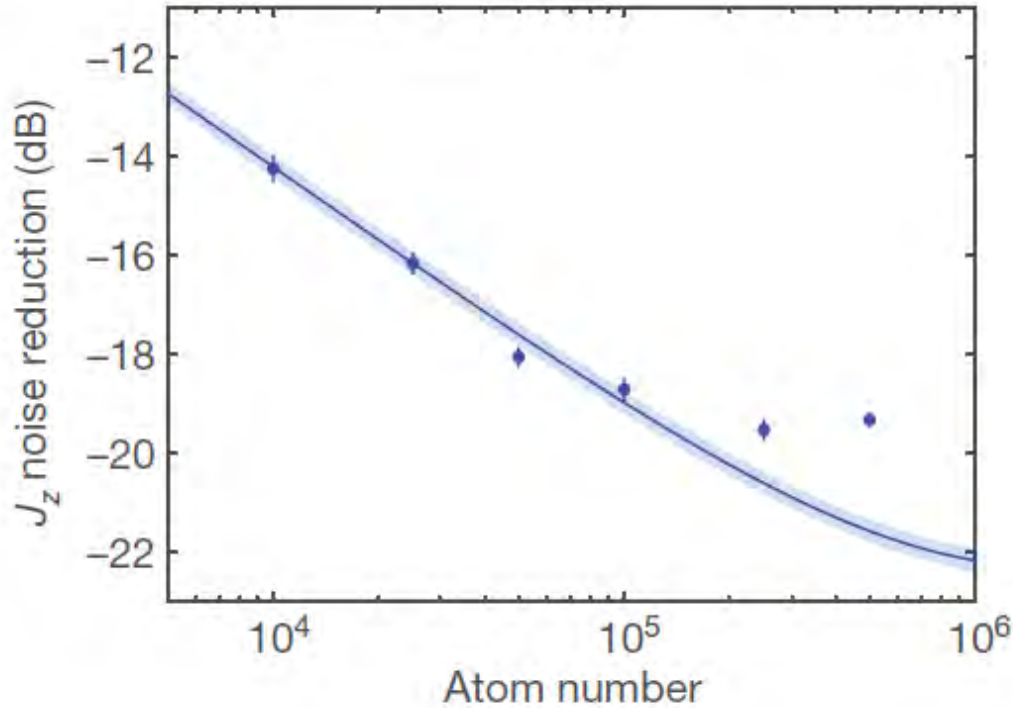


Rotation de $660 \mu\text{rad}$



Gain en rapport signal sur bruit : facteur 10 pour 5×10^5 atomes
Sensibilité en phase: 147 microradians par cycle
Ceci implique l'intrication quantique d'au moins 680 particules

Vers une horloge à états corrélés



Il « reste » à augmenter le temps d'interaction au-delà de $228 \mu\text{s}$ tout en préservant les corrélations quantiques

Perspectives

- 1) Les horloges optiques présentent des fluctuations de temps inférieures à 1 picoseconde par jour. Nouvelle définition de la seconde requise. Progrès rapides.
- 2) Un temps précis délivré par satellites et fibres optiques terrestres avec une stabilité de la nano à la picoseconde.
- 3) Effet Einstein: un test fondamental et géodésie relativiste
- 4) Les fluctuations du potentiel gravitationnel vont limiter la précision du temps au sol à 10^{-18} - 10^{-19} (soit du cm au mm):
Solution: mettre les horloges de références en orbite haute où ces fluctuations sont fortement réduites
- 5) Utiliser l'intrication quantique pour améliorer la précision des mesures, horloges et senseurs inertiels