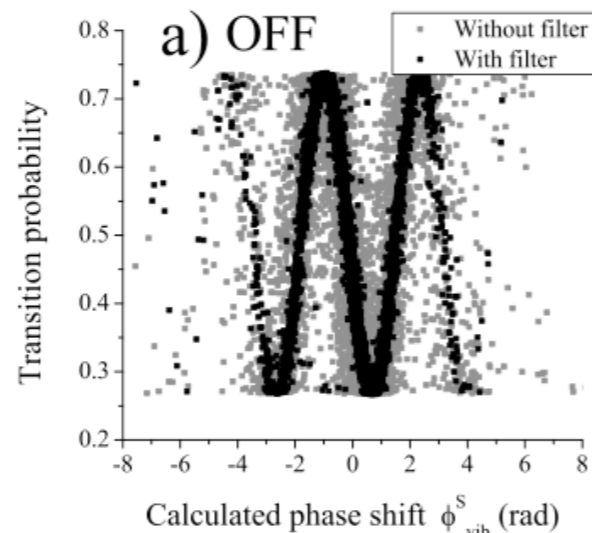


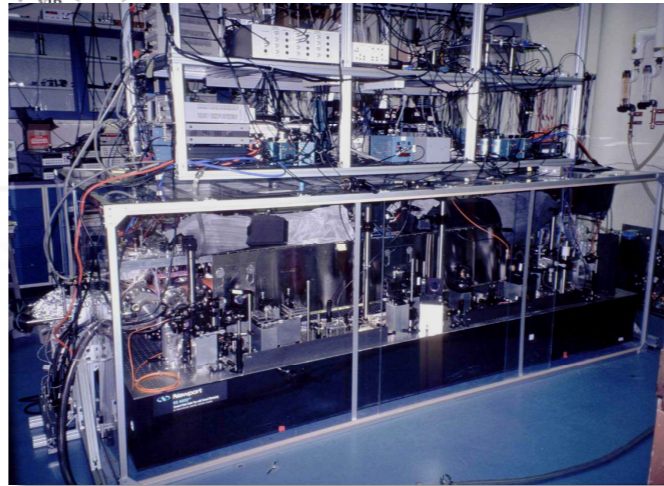
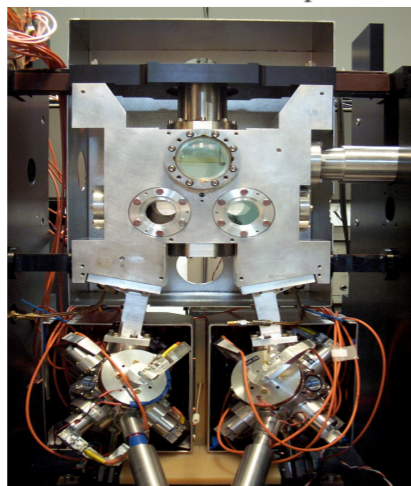
# SENSEUR INERTIELS ATOMIQUES : DU SOL À L'ESPACE

# SENSEUR INERTIELS À ONDES DE MATIÈRE

- On utilise une règle (optique) pour mesurer précisément la position d'une masse d'épreuve (atomique)
- Similaire à un FG5, mais on lit l'accélération directement sur le déphasage des ondes de matière

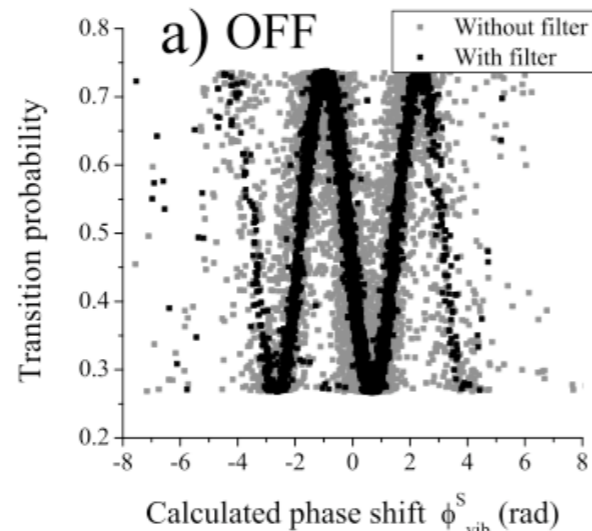


- Interferences:  $N_{\text{at}} \sim \cos(2\pi a T^2 / \lambda + \Phi)$



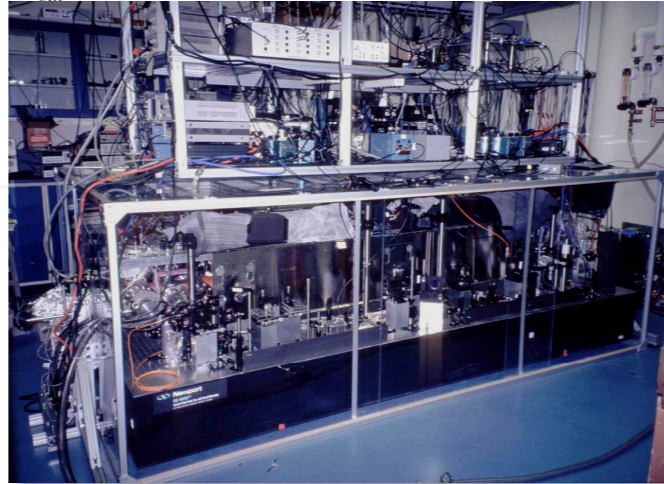
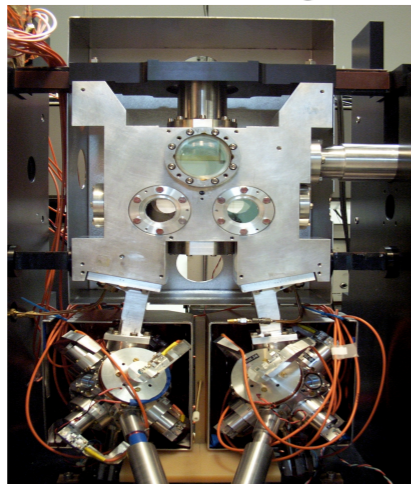
# SENSEUR INERTIELS À ONDES DE MATIÈRE

- On utilise une règle (optique) pour mesurer précisément la position d'une masse d'épreuve (atomique)
- Similaire à un FG5, mais on lit l'accélération directement sur le déphasage des ondes de matière

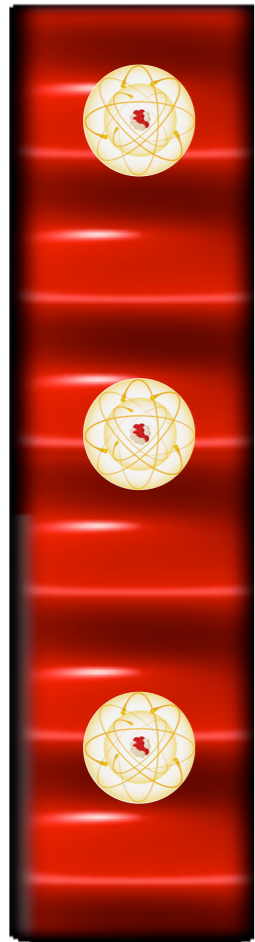


- Interferences:  $N_{at} \sim \cos(2\pi a T^2 / \lambda + \Phi)$

$$\Delta a_{min} = \frac{a \mid \Delta \phi_{acc} = 1 \text{ rad}}{\sqrt{N}} \equiv \frac{1}{R T^2 \sqrt{N}}$$



$$\cos(kx + \Phi_0)$$



# PRINCIPE D'ÉQUIVALENCE ET INTERFÉROMÉTRIE ATOMIQUE DANS L'ESPACE

- Mesure de l'accélération subie par deux objets de nature différente.
- Paramètre UFF :  $\eta = \Delta a/a$ . Meilleur test @  $10^{-13}$ ,  $10^{-7}$  avec des atomes.

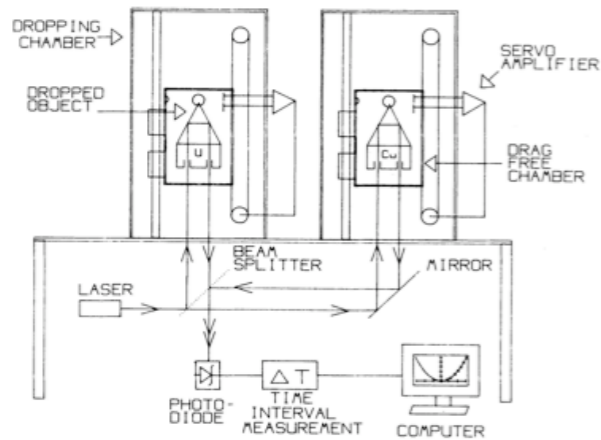
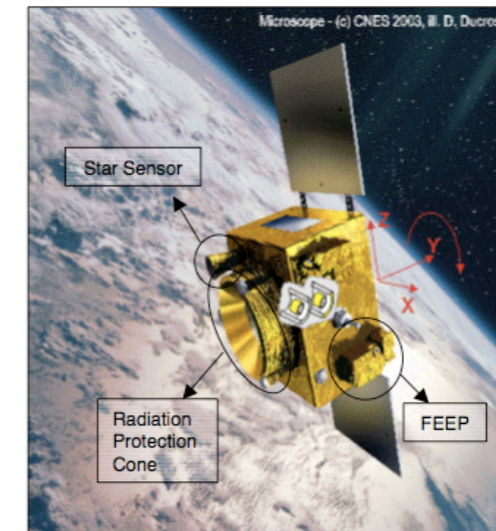


FIG. 1. Schematic diagram of the apparatus used in Joint Institute for Laboratory Astrophysics for the Galilean experiment.

JILA (1987)



D. Scott (1971)



Microscope

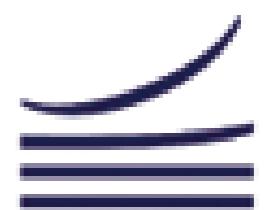
- Compare 2 differentes espèces atomiques (Rb et K)
  - $N_{Rb} \sim \cos(2\pi a_{Rb} T^2_{Rb} / \lambda_{Rb} + \Phi)$ ,  $N_K \sim \cos(2\pi a_K T^2_K / \lambda_K + \Phi)$
  - Déphasage relatif :  $a_{Rb} T^2_{Rb} / \lambda_{Rb} - a_K T^2_K / \lambda_K$ , ajustement  $T^2_{Rb} / \lambda_{Rb}$  and  $T^2_K / \lambda_K$  (3.4 %)



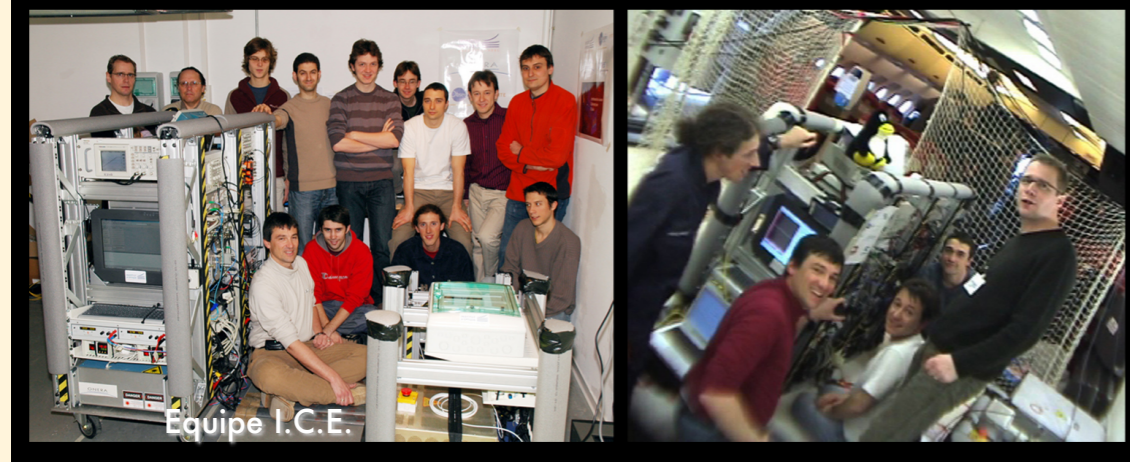
SYRTE



INSTITUT  
d'OPTIQUE  
GRADUATE SCHOOL



De gauche à droite : G. Varoquaux (IO), N. Zahzam (Onera), L. Mondin (CNES), A. Bresson (Onera), P. Bouyer (IO) et A. Landragin(SYRTE).



Équipe I.C.E.



Philippe BOUYER  
Vincent MENORET  
Jean-Philippe BRANTUT  
Rémi GEIGER

Thomas BOURDEL  
Patrick CHEINET  
Guillaume STERN  
Baptiste BATTELIER

André VILLING

Frédéric MORON



Arnaud LANDRAGIN  
Frank PEREIRA  
Christian BORDE

Oualid CHAIBI



Alexandre BRESSON  
Yannick BIDEL  
Nassim ZAHZAM  
Pierre TOUBOUL

Olivier CARRAZ



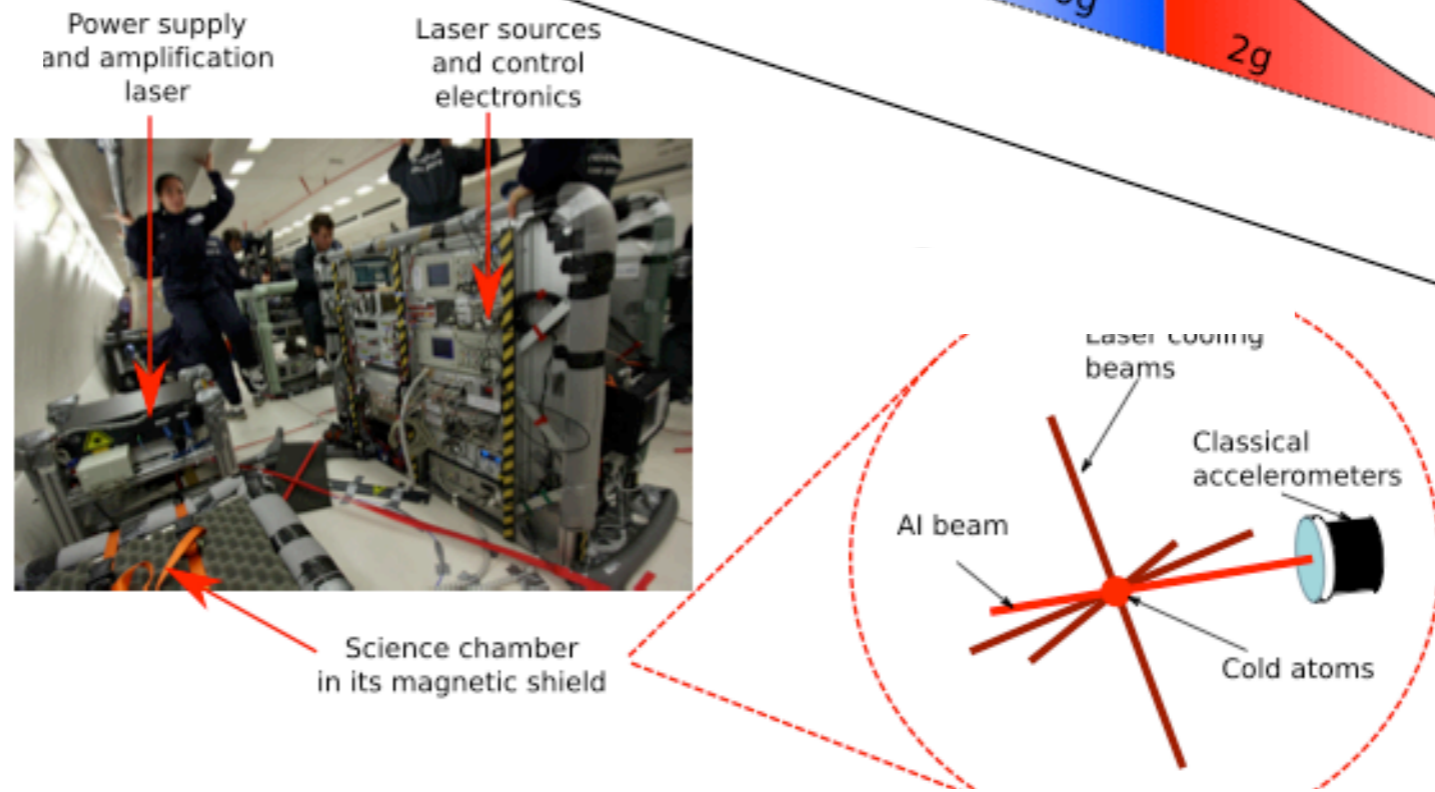
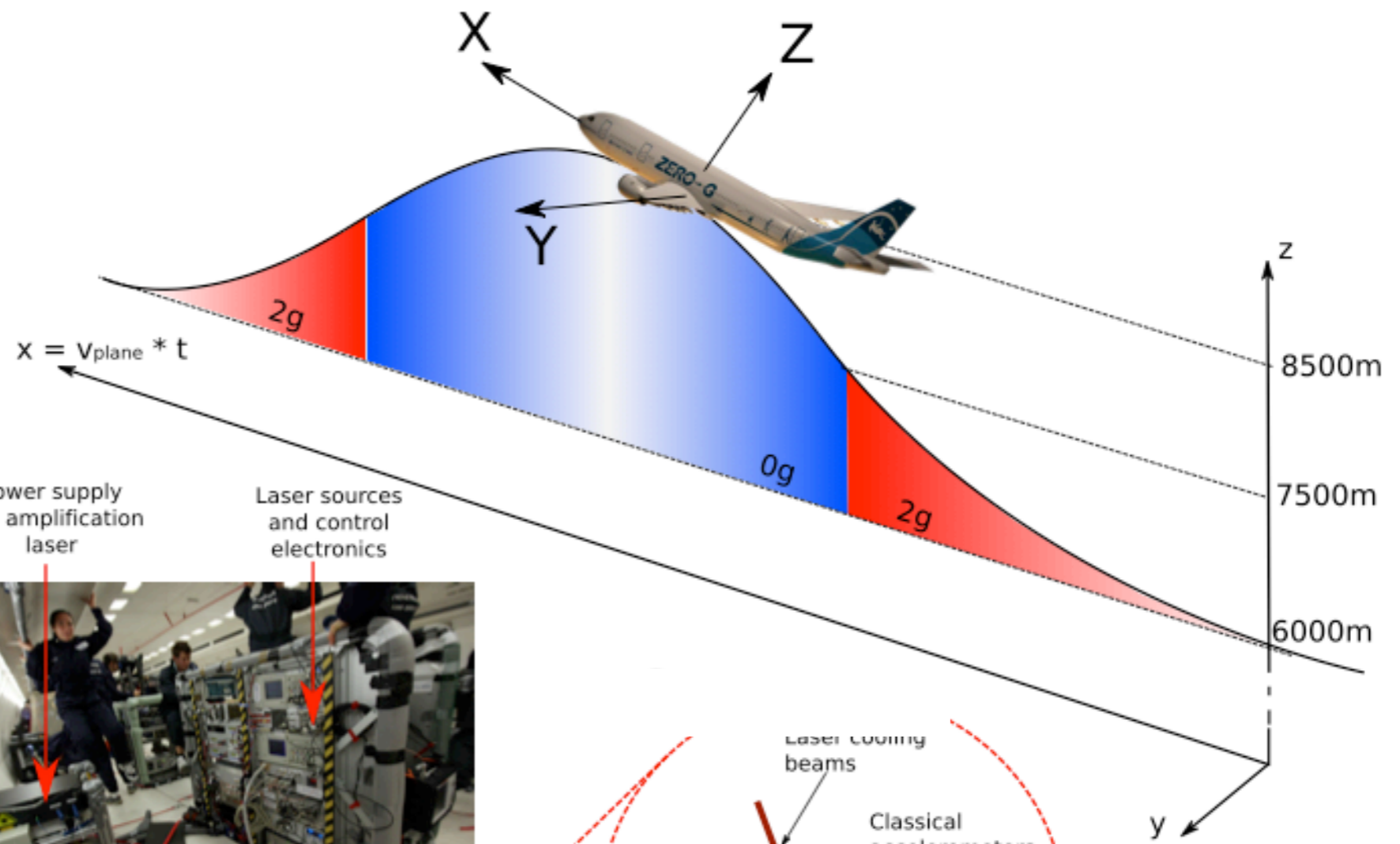
Linda MONDIN

Jean MIGNOT

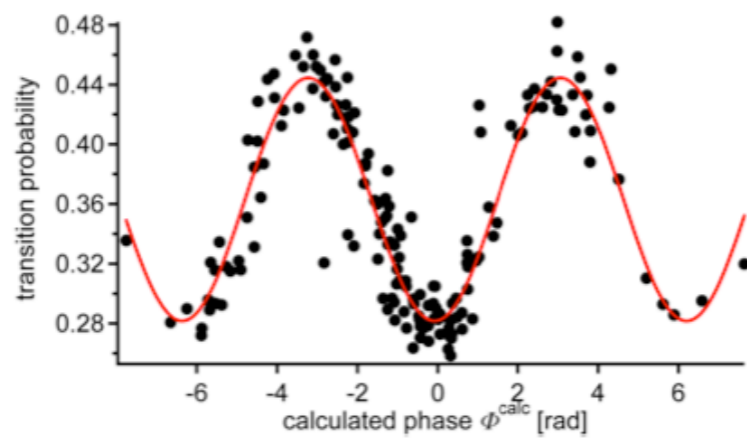
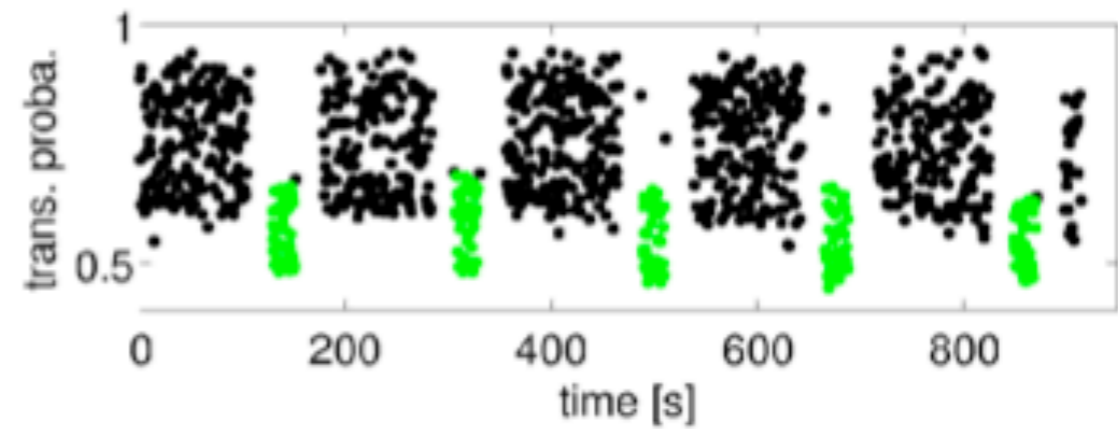
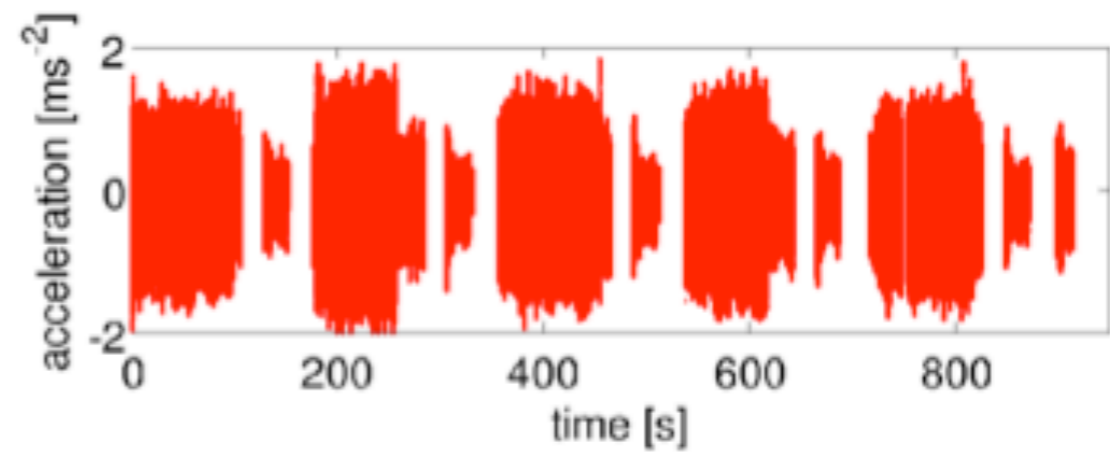
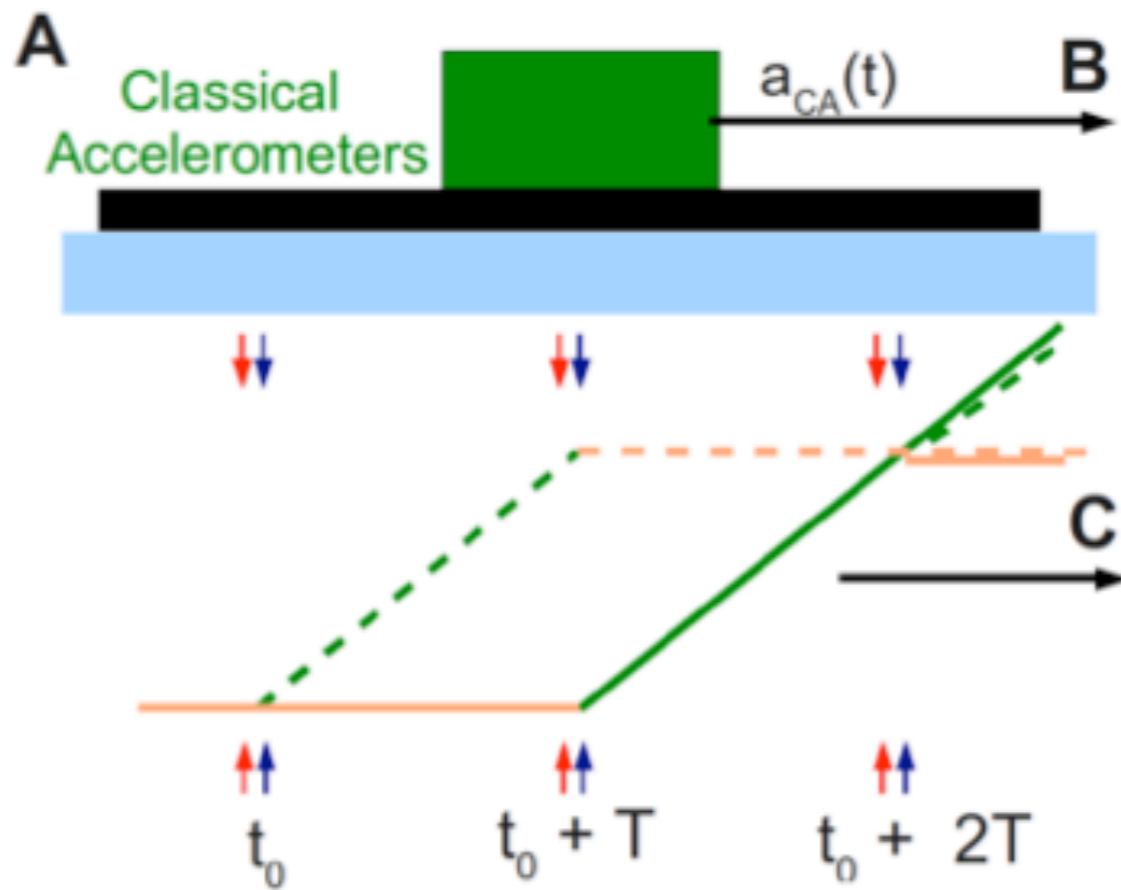


<http://www.IFRAF.org/>  
<http://www.atomoptic.fr/>  
<http://www.ice-space.fr/>

# TEST 0-G DE L'INTERFÉROMÈTRE

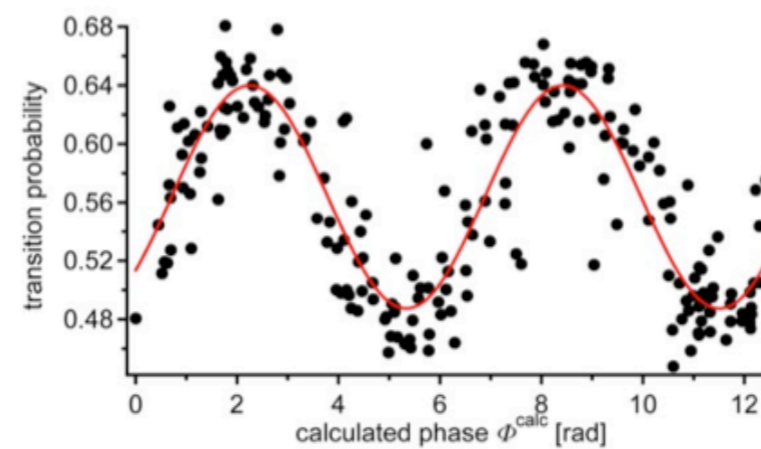


# INTERFÉROMÉTRIE EN MICROGRAVITÉ



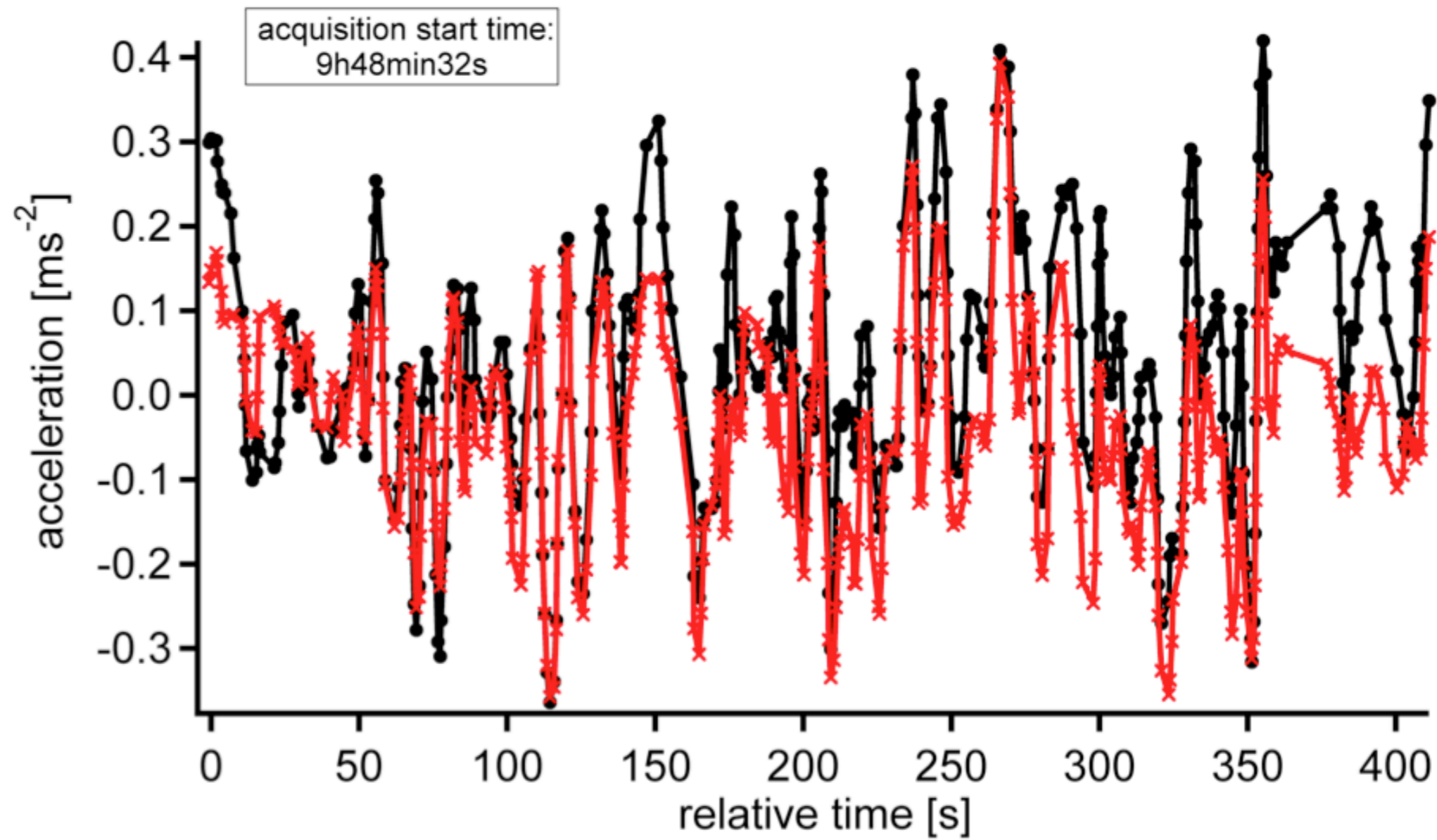
$2T=2\text{ms} \rightarrow \Phi^{\text{calc}} \sim 25\text{rad peak-peak}$

**0g**



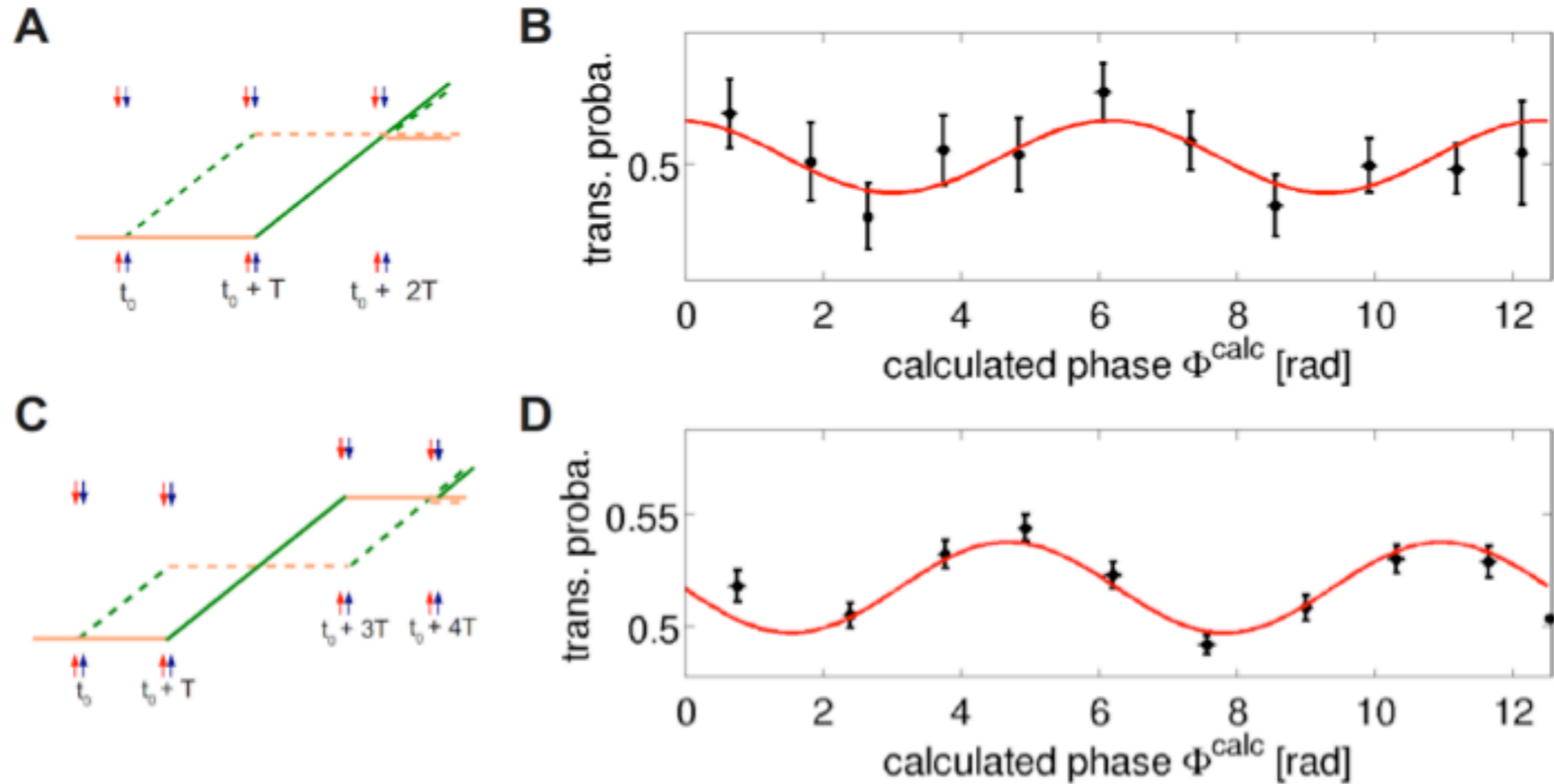
$2T=3\text{ms} \rightarrow \Phi^{\text{calc}} \sim 70\text{rad peak-peak}$

## LECTURE CONTINUE DE L'ACCÉLÉRATION





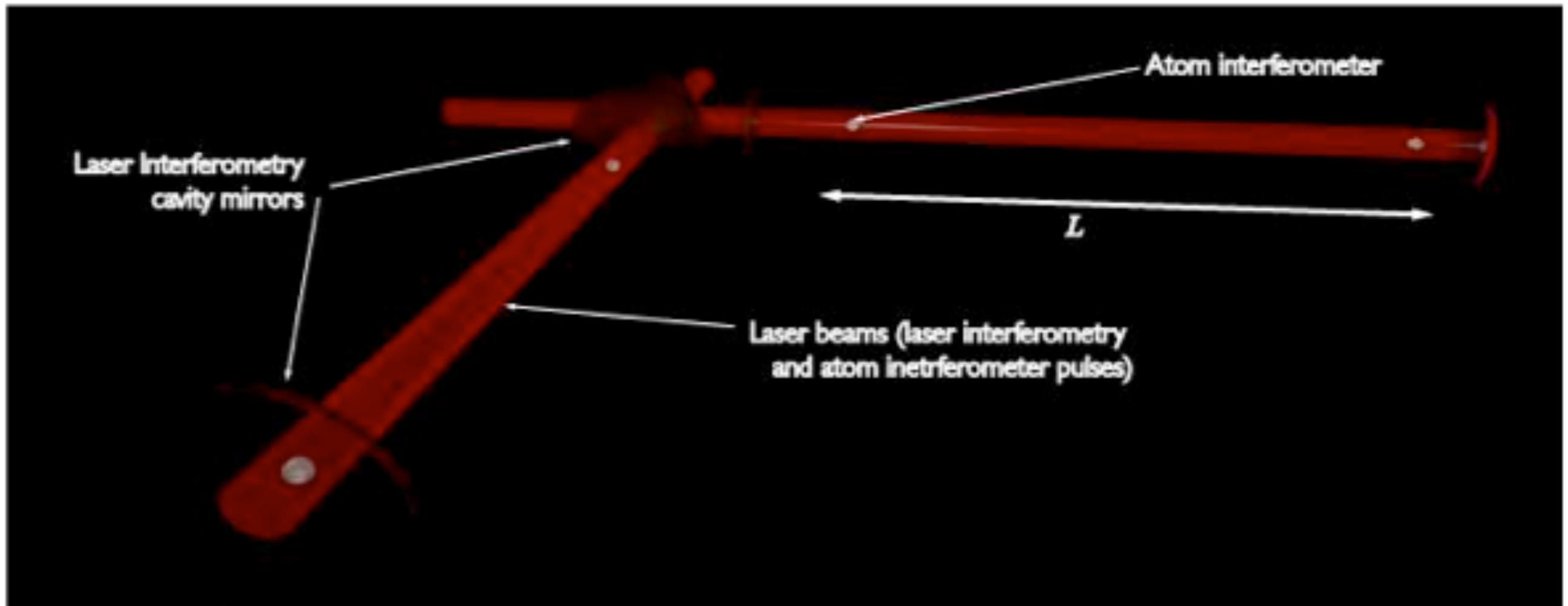
# MESURE DIFFÉRENTIELLE



● La corrélation est améliorée d'un facteur 3 (comme attendu théoriquement) : 2-3 ordres de grandeur avec 2 espèces

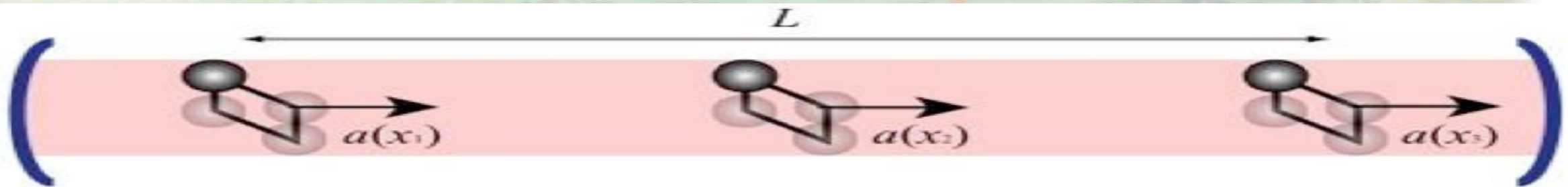
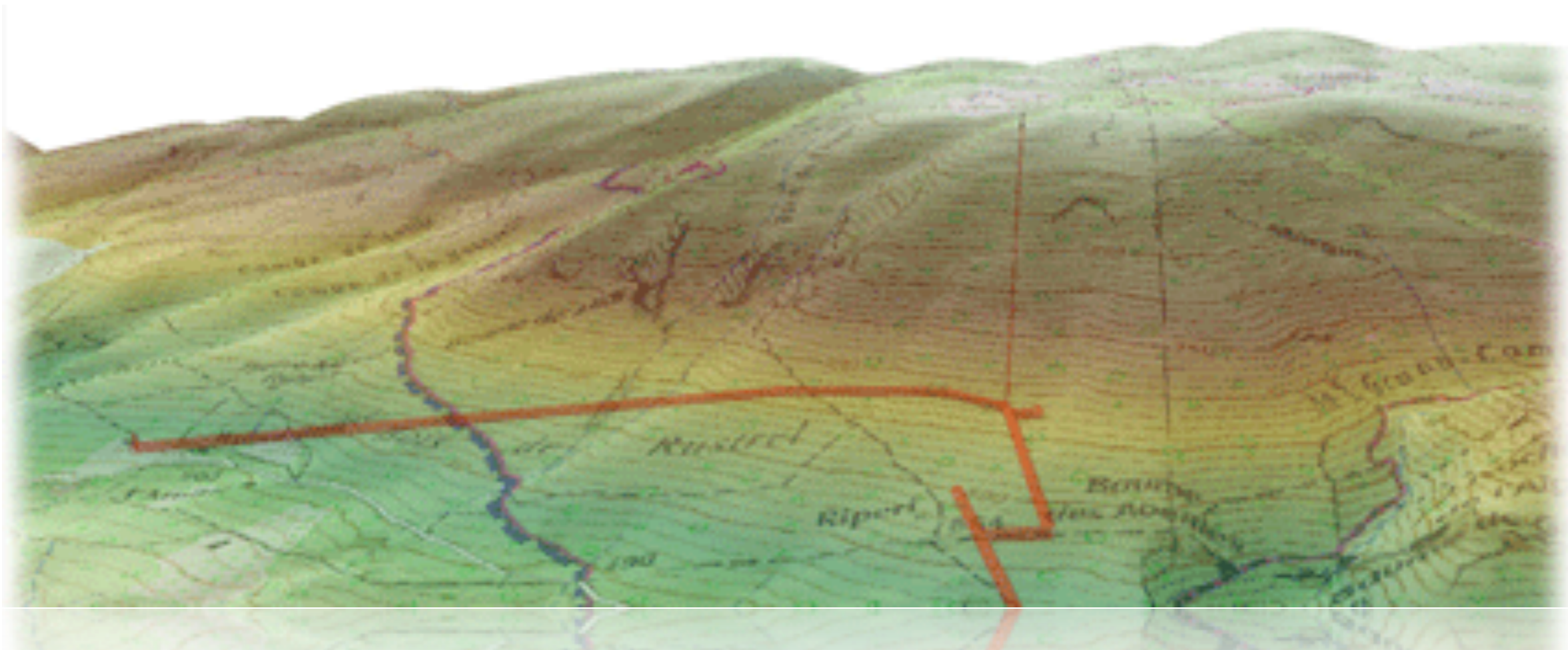
● Sensibilité démontrée 15  $\mu\text{g}$  (vibrations 30 mg).

# MIGA : MATTER-WAVE LASER INTERFEROMETRY GRAVITATION ANTENNA

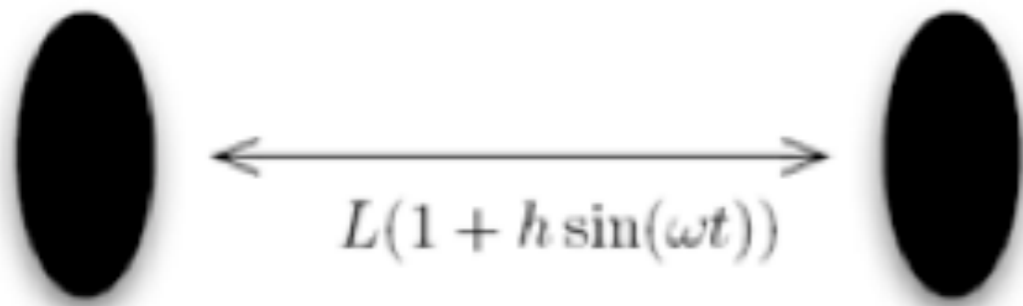


Proposition de Design study FP7 : France - Allemagne - Italie - UK - USA

IOGS - SYRTE - LSBB - ARTEMIS - LKB - Hannover - Laser Zentrum - Univ. Berlin - Univ. Ulm - Univ. Urbino - Univ. Florence - LENS - Univ. Birmingham - Stanford



Un réseau d'interféromètres atomiques corrélés (un seul laser de mesure) peut permettre d'étudier les champs de gravité environnant (sismique, gradient, ...).



Une onde gravitationnelle va moduler la distance vue entre 2 masses d'épreuve par  $h.L$  ou  $h$  est l'amplitude de l'onde et  $L$  est la séparation entre les masses d'épreuves.

**Position**  $\longrightarrow$   $x \sim L(1 + h \sin(\omega t))$

**Acceleration**  $\longrightarrow$   $a \sim hL\omega^2 \sin(\omega t)$

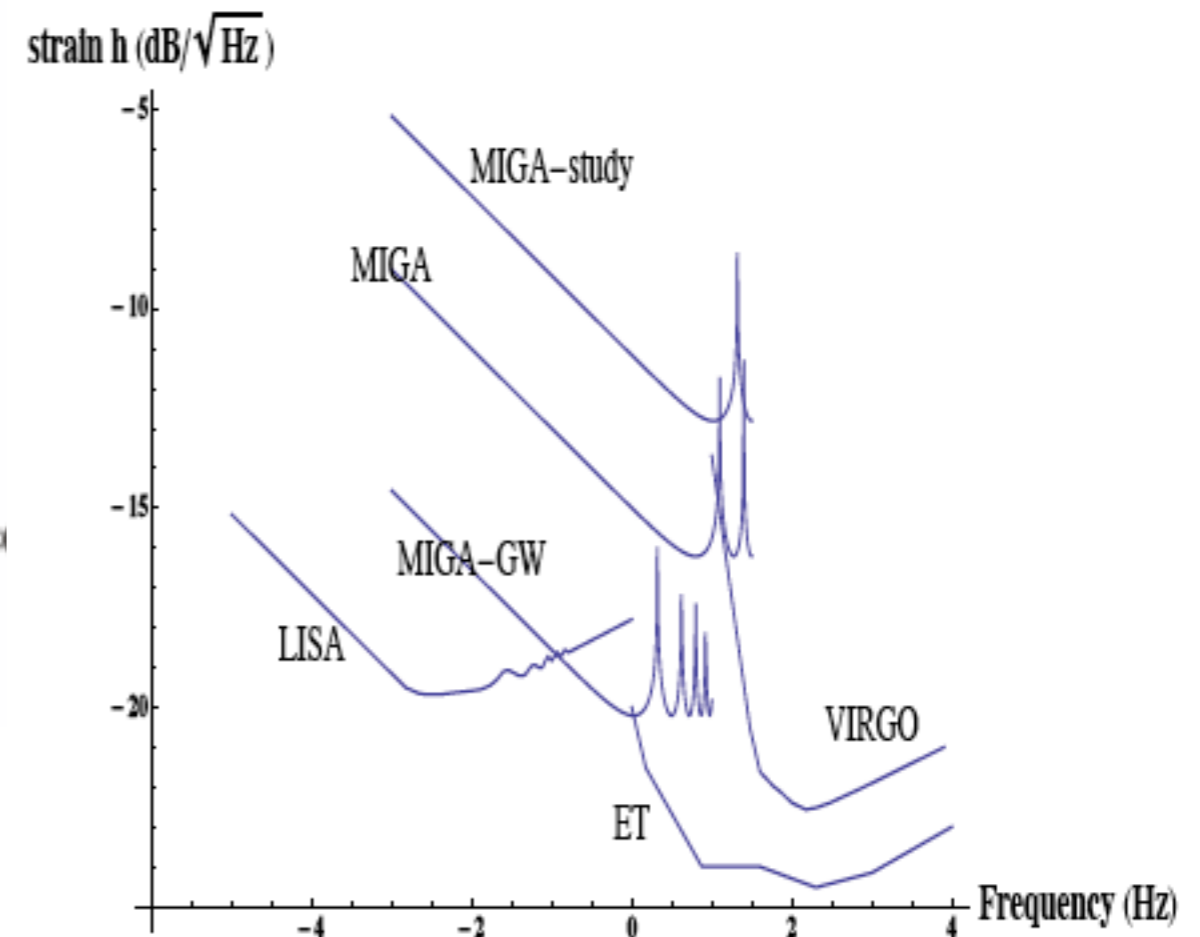
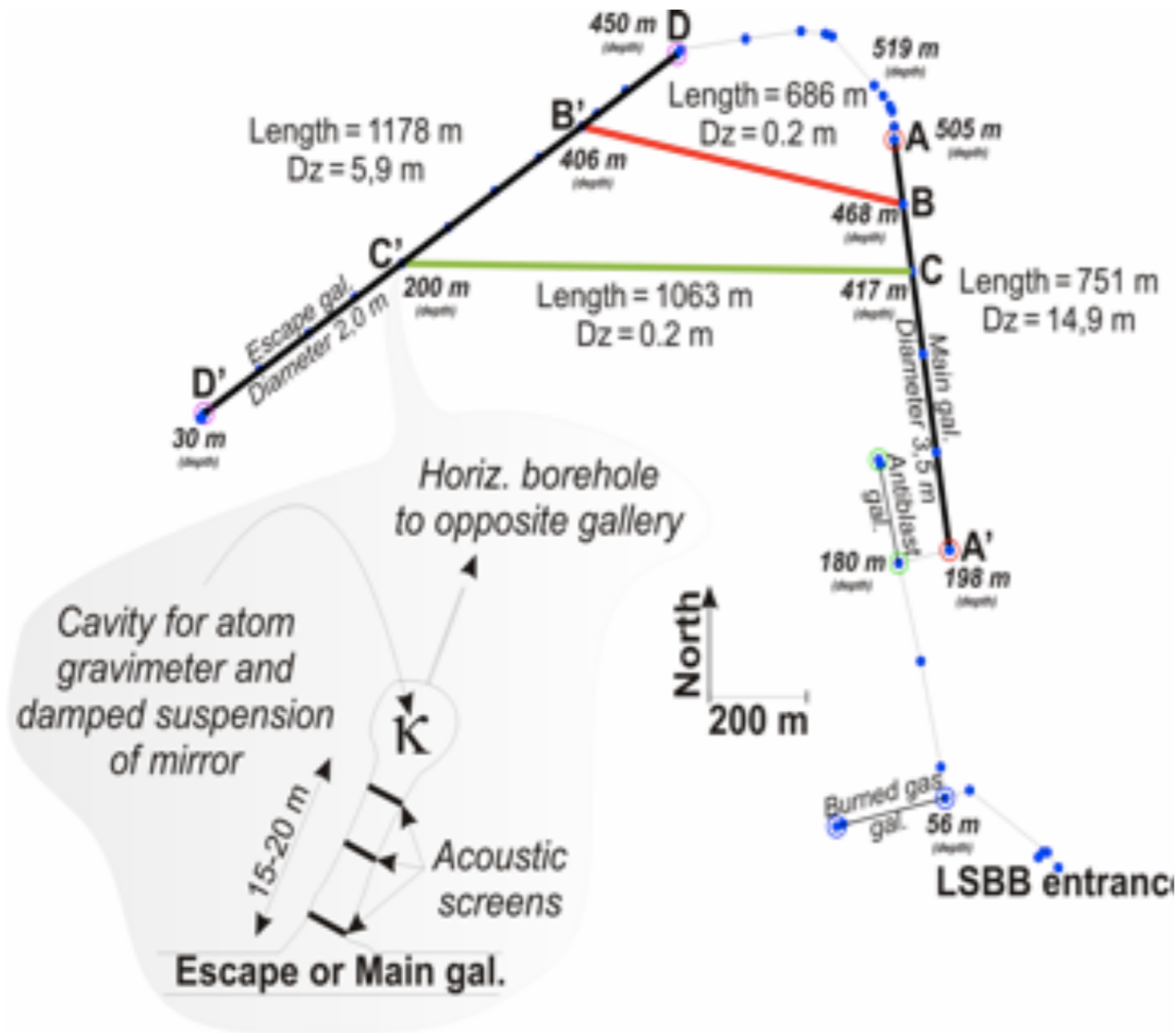
$$\Delta\phi = kaT^2 \sim khL\omega^2 \sin(\omega t)T^2$$

Avantage des atomes : ils sont isolé du bruit sismique (pas de couplage)

# INSTALLATION DANS UN LABORATOIRE SOUTERRAIN

Un agencement au LSBB pourrait permettre l'installation d'une antenne avec 2 bras de env. 1 km avec un angle de 80 deg.

Premier tests possibles rapidement avec les instruments existants dans les laboratoires.



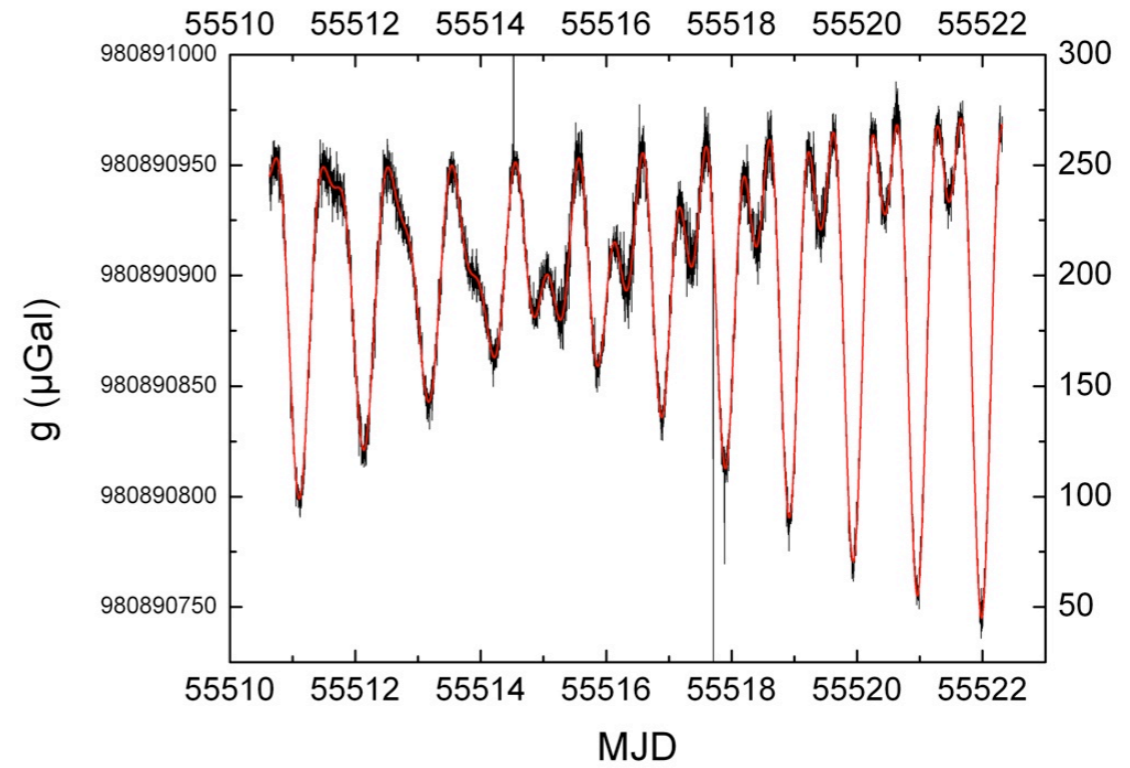
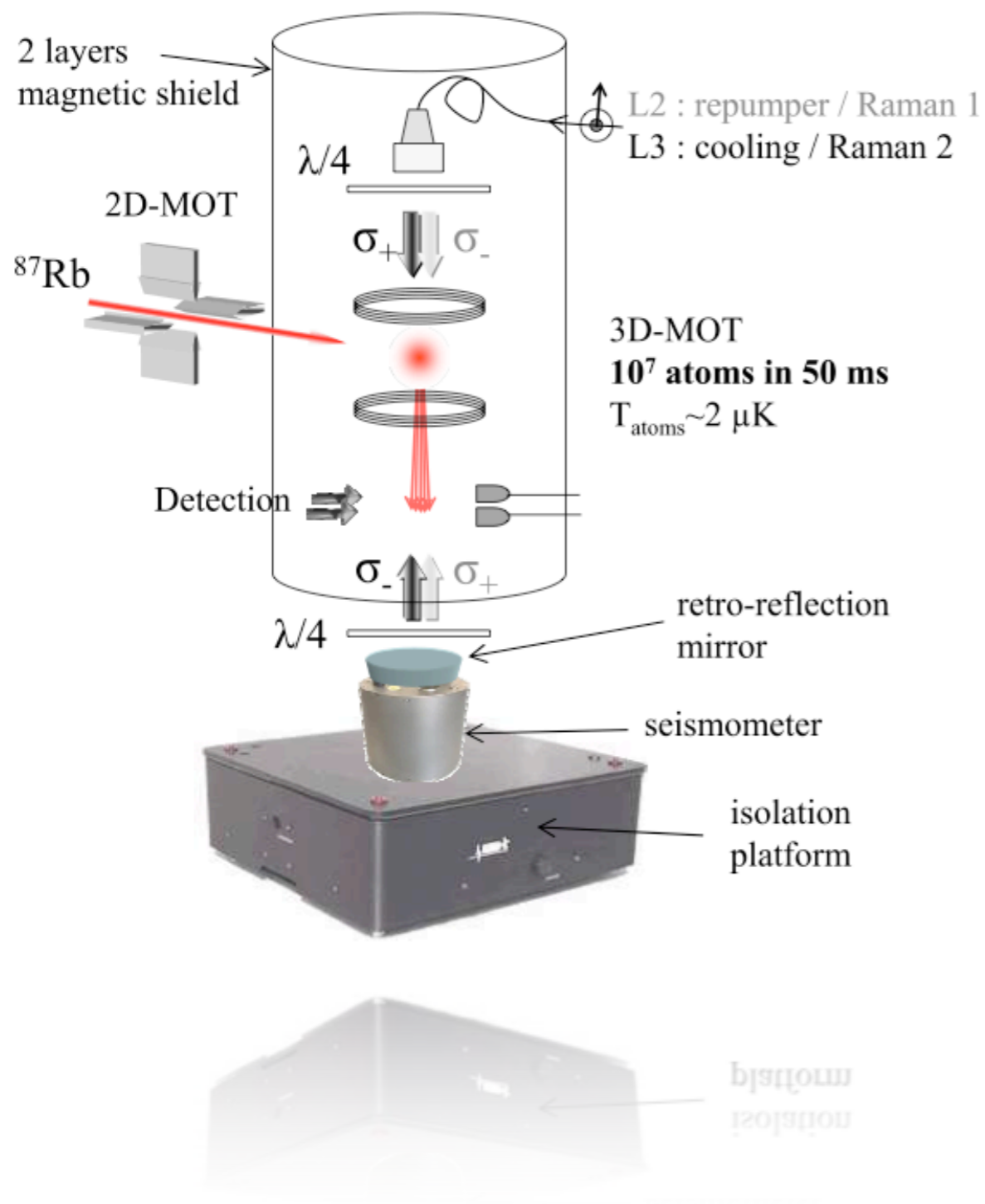
Une collaboration regroupant géophysiciens, spécialistes atomes froids et spécialistes des ondes gravitationnelles

Déjà plusieurs laboratoires Français du GRAM.

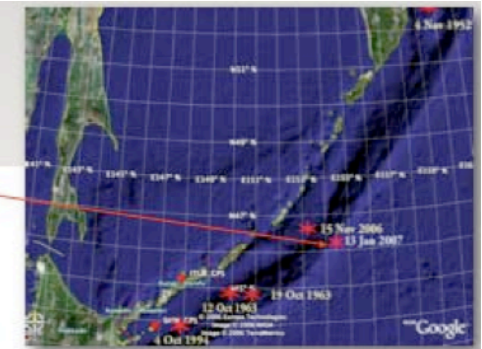
Etudier les meilleures configurations pour améliorer nos connaissances sur les champs de gravité, bruit sismique ...



# GRAVIMÈTRES



2007, January 13 - 04:23 UTC  
 Kuril Islands **Magnitude 8.1**



Signal in Paris

Period  $\sim 17$  s

