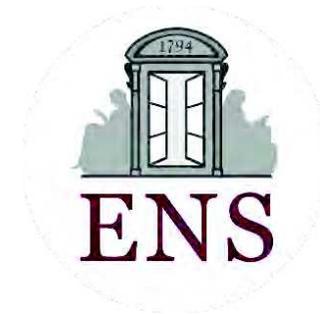
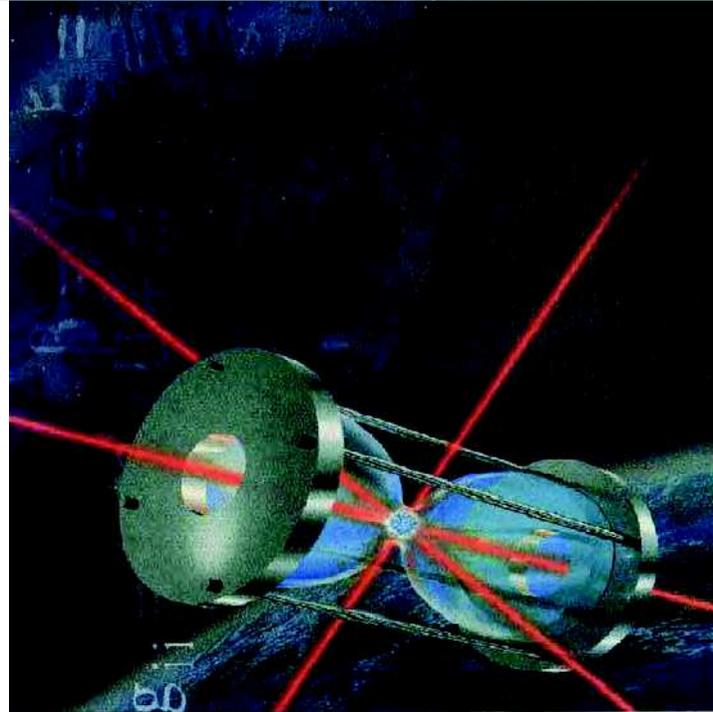


Tests de physique fondamentale

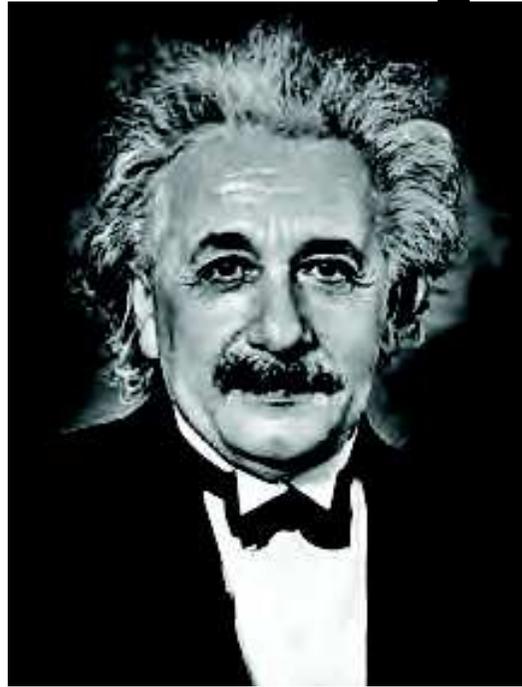


C. Salomon



Ecole Normale Supérieure, Paris, France
La seconde atomique a 50 ans
Observatoire de Paris, 13 octobre 2017

Le temps existe-t-il ?



A la suite des travaux de Minkovski, Poincaré, Lorentz
la réponse d'Einstein est: Non !

L'espace et le temps forment un bloc indissociable
avec quatre dimensions, 3 d'espace et une de temps

Cet Espace-Temps est déformé continûment par la matière.
L'ensemble Espace-Temps-Matière-Energie est décrit par les équations
de la relativité générale (1915)

Une horloge: une réalisation locale du temps propre

Chaque observateur muni d'une horloge locale peut mesurer des intervalles de temps. Ces intervalles peuvent être comparés à ceux d'une autre horloge dans un champ de gravitation différent, et généralement ne donneront pas le même intervalle de temps. **Il y a donc autant de temps que d'observateurs !**

Le temps et son inverse, la fréquence, sont les quantités physiques qui peuvent être mesurées avec la plus grande précision.

Toutes les unités de mesure peuvent se ramener à des mesures de fréquence



Never measure anything but frequency !

Le conseil d'Arthur Schawlow
à ses étudiants à Stanford
Prix Nobel 1981

Et au-delà de la relativité ?

- Unifier théorie quantique et relativité
 - Théorie des cordes, initiée par G. Veneziano en 1968, développée depuis par de nombreux théoriciens, et étendue aux membranes, dites « branes ».
 - Particules remplacées par des « cordes » élastiques, quantifiées.
- Cosmologie

Damour, Polyakov,

Nouvelles particules ? exemple du dilaton:

 - Evolution temporelle des constantes fondamentales, qui peut être testée avec des horloges
 - Violation du principe d'équivalence: microscope
 - Recherche de matière noire

mais si le temps universel n'existe pas, pourquoi fabriquer tant d'horloges aujourd'hui ?





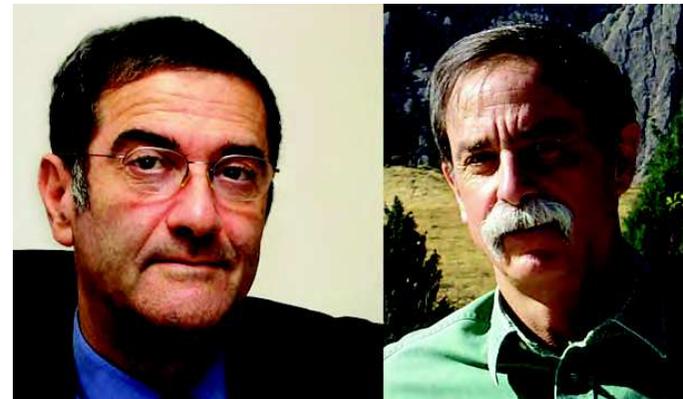
1989: N. Ramsey, W. Paul, H. Dehmelt
Separated oscillatory fields method
for atomic clocks, ion trap techniques



S. Chu, C. Cohen-Tannoudji, W. Phillips
1997: Laser manipulation of atoms

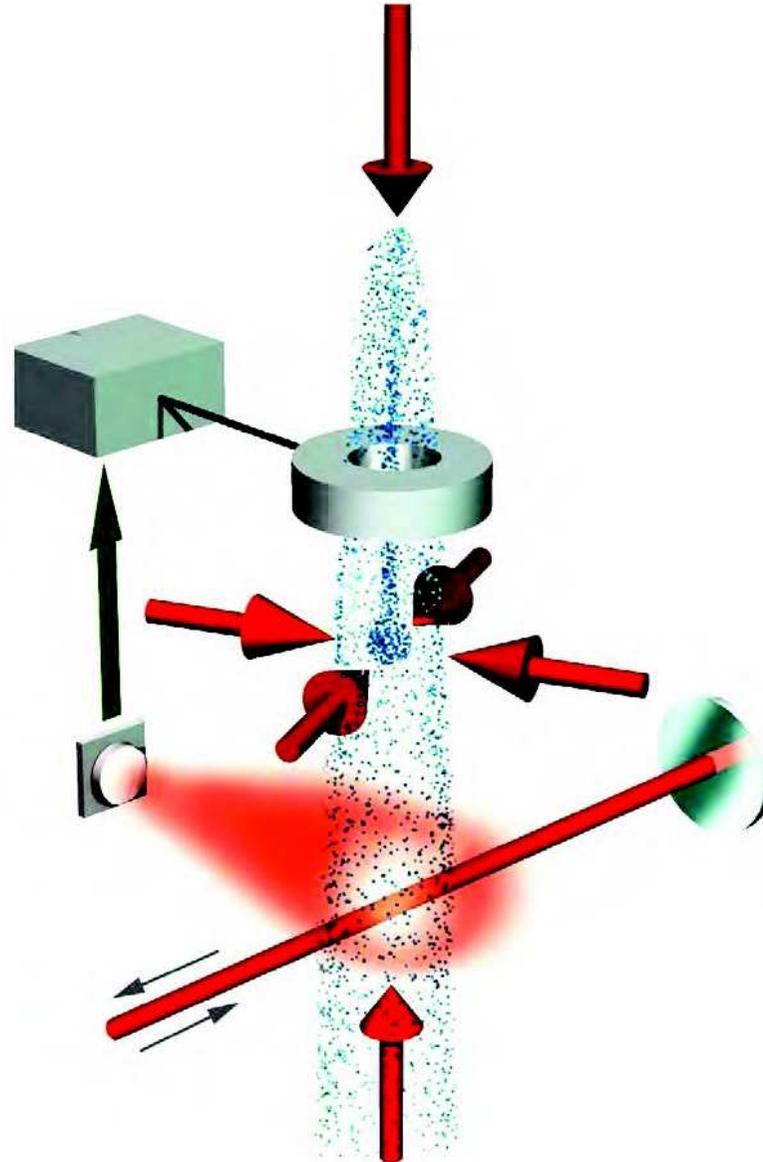


2005: J. Hall, T. Haensch, R. Glauber
Laser precision spectroscopy
Optical frequency comb
Quantum optics



2012: S. Haroche, D. Wineland
Control of individual quantum objects
Photons and atoms

Définition de la seconde fontaine à atomes de césium



A. Clairon

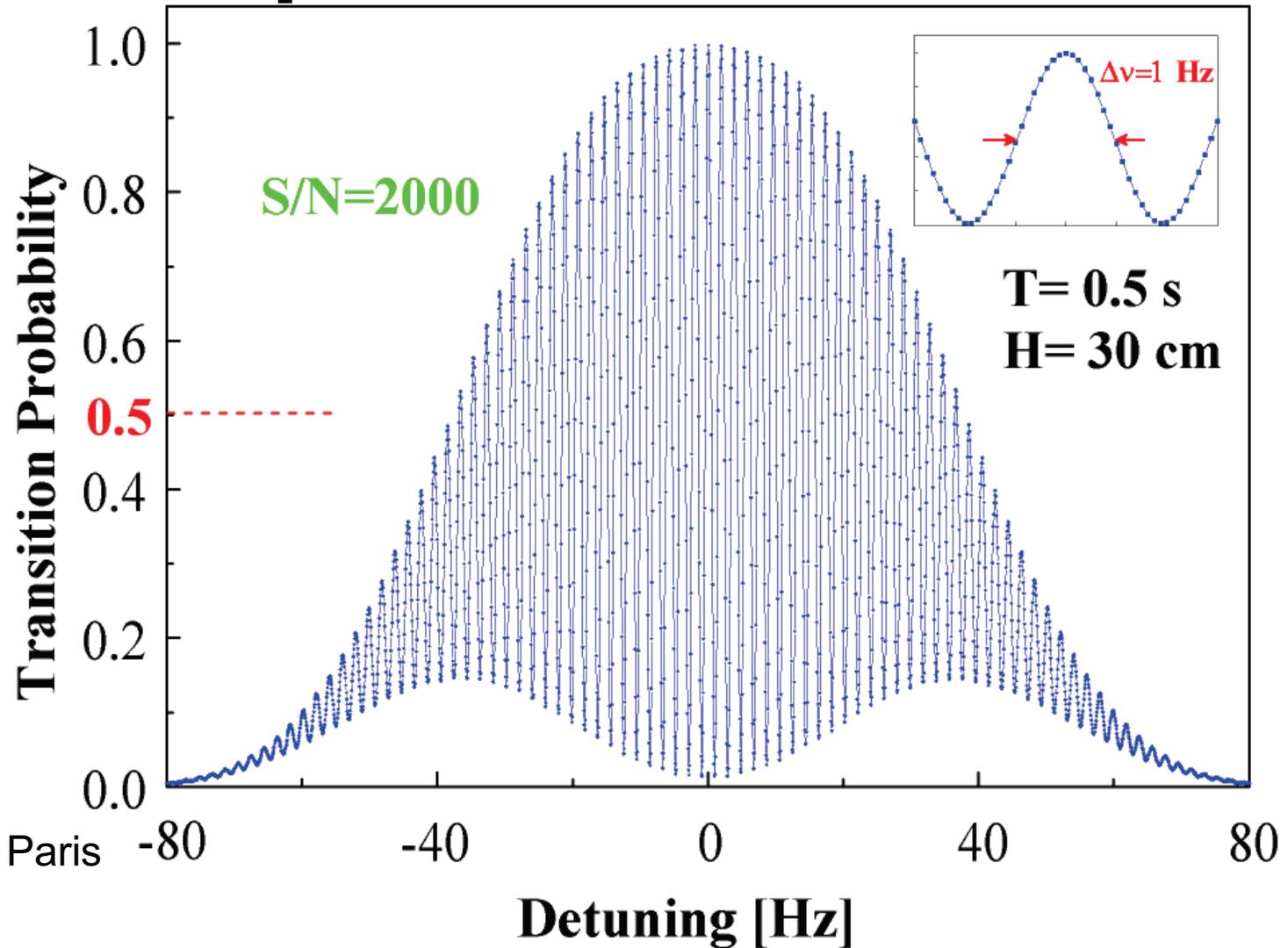




Prix
Nobel
1989

LNE-SYRTE
Observatoire de Paris

Résonance de Ramsey



limite actuelle: bruit de projection quantique: $S / B \propto 1 / \sqrt{N_{at}}$

Variabilité des constantes fondamentales ?

Motivation: théories d'unification,...

Veneziano, Damour, Polyakov, Marciano,....

α_{elm} , m_e/m_p ...

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c}$$

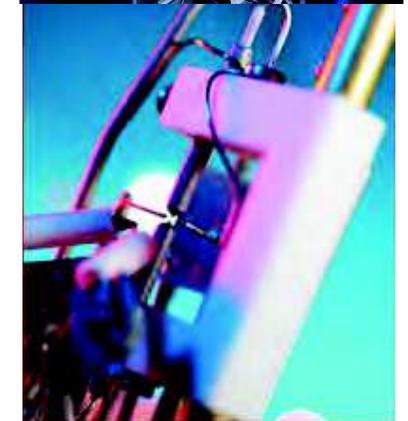
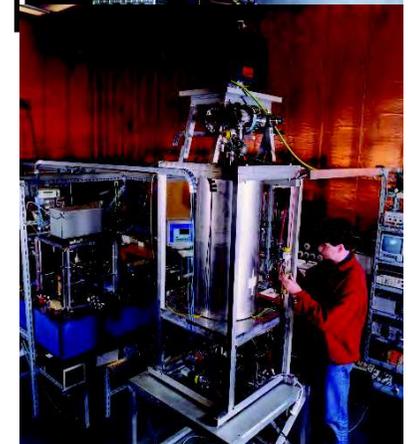
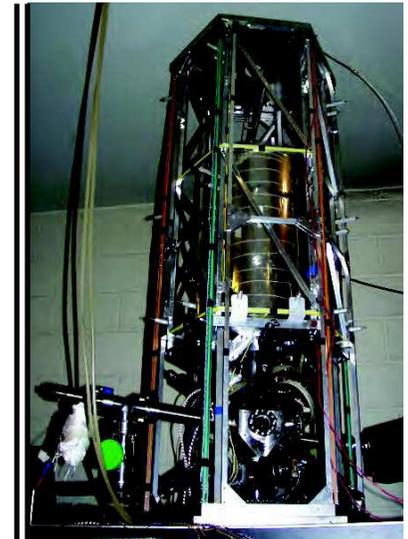
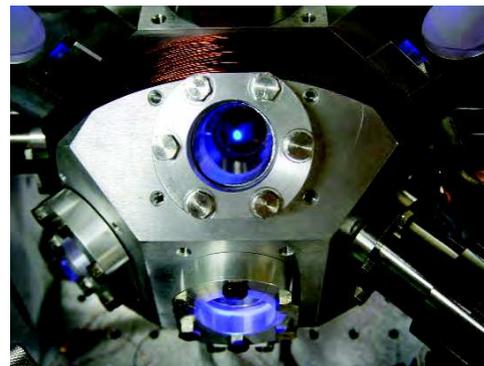
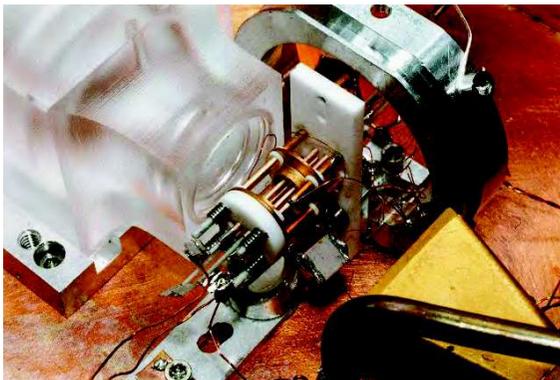
Principe : Comparer deux ou plusieurs horloges de nature différente en fonction du temps

Horloge micro-onde/micro-onde: α , m_e/m_p , $g^{(i)}$

rubidium and cesium

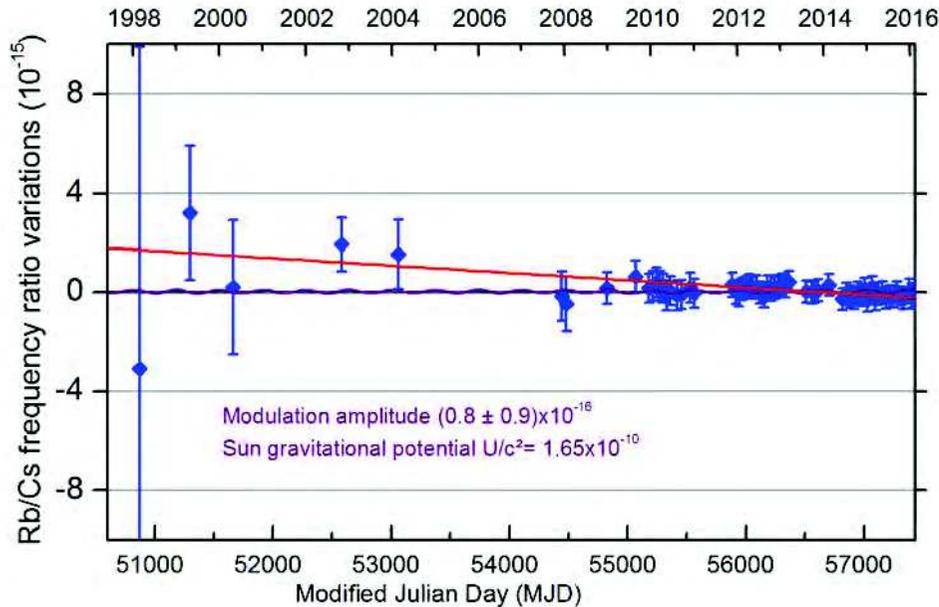
Micro-onde / Optique : α , m_e/m_p , $g^{(i)}$

Optique / Optique: α



The ovens and electrodes of the NPL strontium ion end-cap trap.

SYRTE Comparison Between Rubidium and Cesium Hyperfine Structure over ~ 18 years



Weighted least square fit to a line

$$\frac{d}{dt} \ln\left(\frac{\nu_{Rb}}{\nu_{Cs}}\right) = (-1.07 \pm 0.49) \times 10^{-16} \text{ yr}^{-1}$$

*J. Guéna et al., SYRTE
and Phys. Rev.Lett. 109 (2012)*

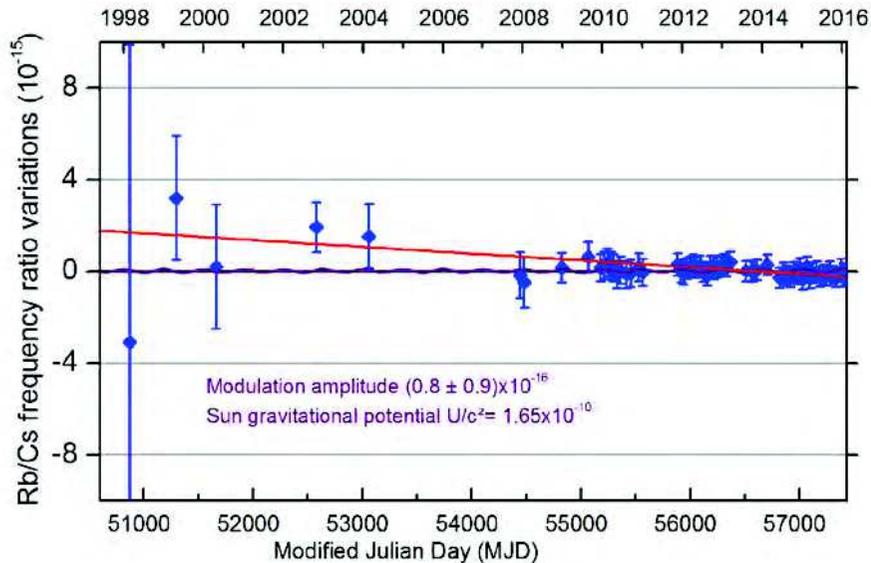
- With QED calculations: *J. Prestage, et al., PRL (1995), V. Dzuba, et al., PRA (1999)*

$$\frac{d}{dt} \ln\left(\frac{g_{Rb}}{g_{Cs}} \alpha^{-0.49}\right) = (-1.07 \pm 0.49) \times 10^{-16} \text{ yr}^{-1}$$

- With QCD calculations: *T.H. Dinh et al., PRA79 (2009)*

$$\frac{d}{dt} \ln\left[\alpha^{-0.49} \left(m_q / \Lambda_{QCD}\right)^{-0.021}\right] = (-1.07 \pm 0.49) \times 10^{-16} \text{ yr}^{-1}$$

SYRTE Comparison Between Rubidium and Cesium Hyperfine Structure over ~ 18 years



Weighted least square fit to a line

$$\frac{d}{dt} \ln\left(\frac{\nu_{Rb}}{\nu_{Cs}}\right) = (-1.07 \pm 0.49) \times 10^{-16} \text{ yr}^{-1}$$

Or search for a modulation at Earth rotation frequency

Differential redshift test $d\nu/\nu = (1 + \beta)dU/c^2$

$$\beta(^{87}\text{Rb}) - \beta(^{133}\text{Cs}) = (-4.7 \pm 5.3) \times 10^{-7}$$

*J. Guéna et al., SYRTE
and Phys. Rev.Lett. 109 (2012)*

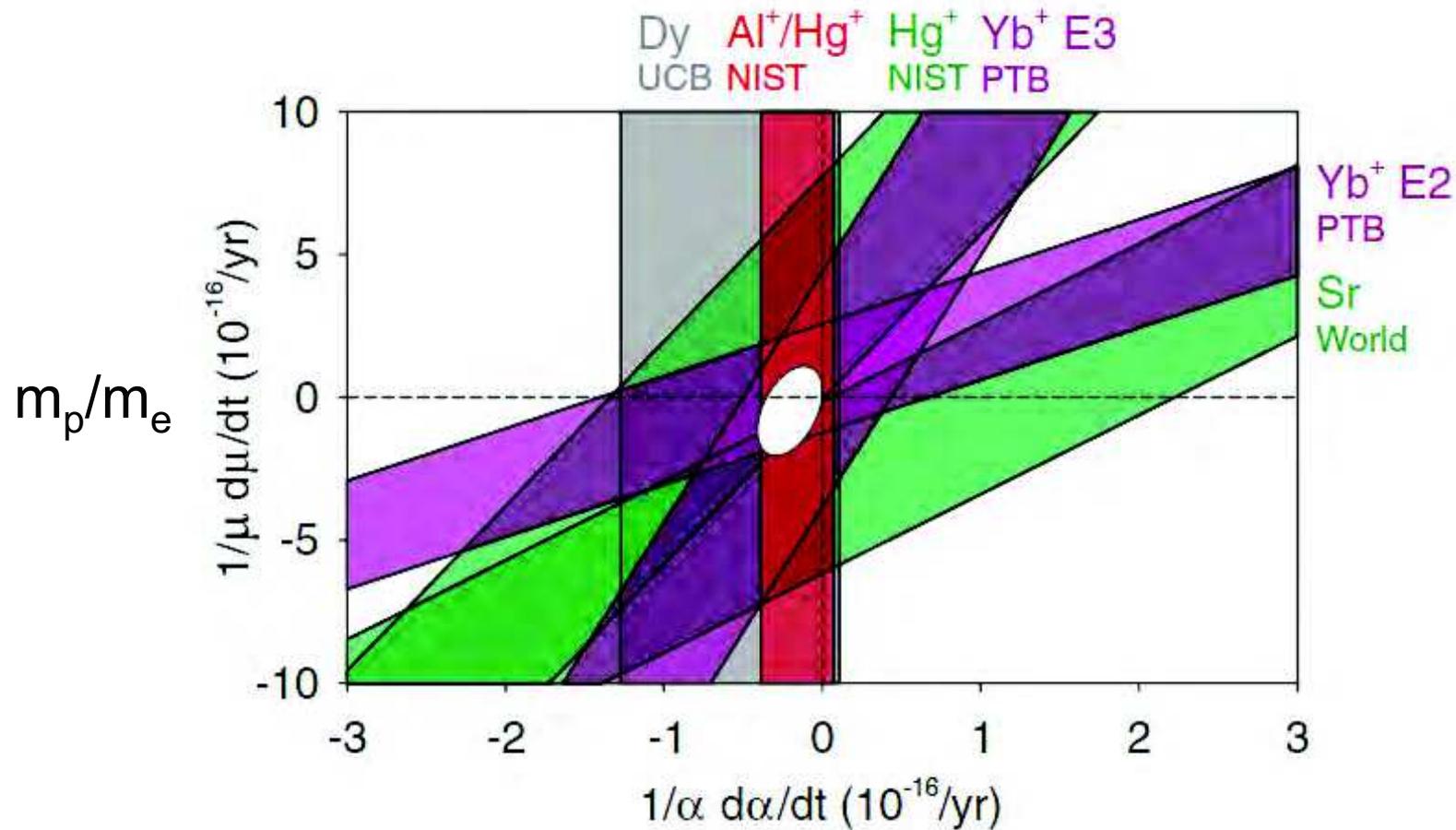
- With QED calculations: *J. Prestage, et al., PRL (1995), V. Dzuba, et al., PRA (1999)*

$$\frac{d}{dt} \ln\left(\frac{g_{Rb}}{g_{Cs}} \alpha^{-0.49}\right) = (-1.07 \pm 0.49) \times 10^{-16} \text{ yr}^{-1}$$

- With QCD calculations: *T.H. Dinh et al., PRA79 (2009)*

$$\frac{d}{dt} \ln[\alpha^{-0.49} (m_q / \Lambda_{QCD})^{-0.021}] = (-1.07 \pm 0.49) \times 10^{-16} \text{ yr}^{-1}$$

Variabilité des constantes fondamentales: limites actuelles



N. Huntemann et al., PRL 113, 210802 (2014)