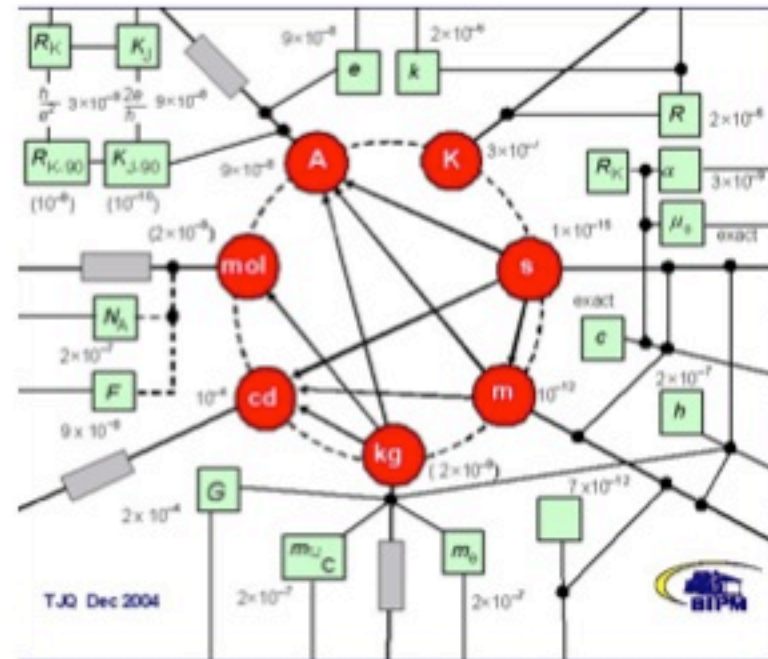


TEMPS & HORLOGES

- ❑ Ecoulements - Astronomie
- ❑ Oscillateurs et horloges atomiques
- ❑ **Applications**

Métrie fondamentale

(Re)définition des unités



Construction d'échelles de temps atomique



Métrologie fondamentale et appliquée

Diffusion d'échelles de temps atomique par :

Horloge parlante



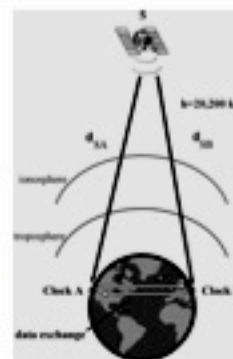
Réseau hertzien



Internet
(NTP)



Satellites



Lien laser
fibré



Précision :

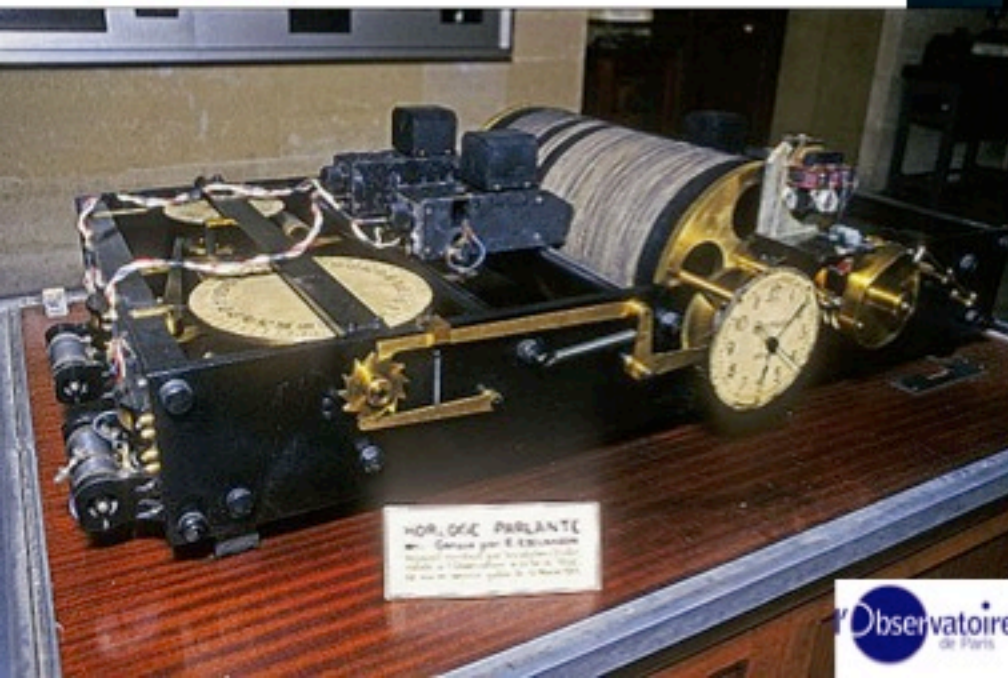
1 - 50 ms

1 ns

< 100 ps

L'horloge parlante

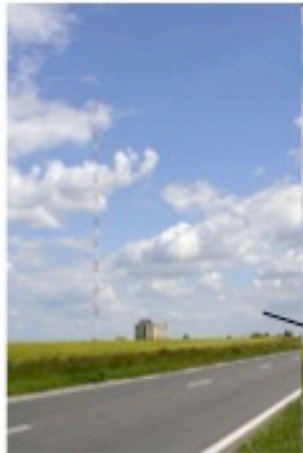
1933



1991

**Incertitude dans la
synchronisation ~ 50 ms**

Radio-pilotage par ondes hertziennes



**Emetteur d'Allouis
(Cher)**

**162 kHz (France Inter),
1 MW**



**Emetteur de Mainflingen
(Allemagne)**

77 kHz (DCF 77), 50 kW



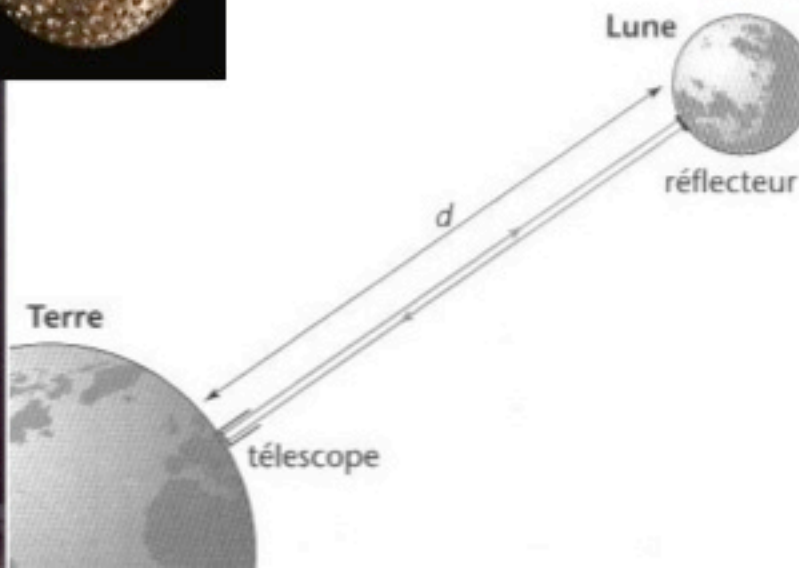
Mesures de distances

→ *Mesure de durée = mesure de distance ($d = c \cdot \Delta t$)*

- Télémétrie ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s} \rightarrow 30 \text{ cm}$)

- Télémétrie Laser-Lune ou laser-satellite pour l'orbitographie, mesure de la distance Terre-Lune, tests de physique fondamentale, orientation de la Terre, ...)

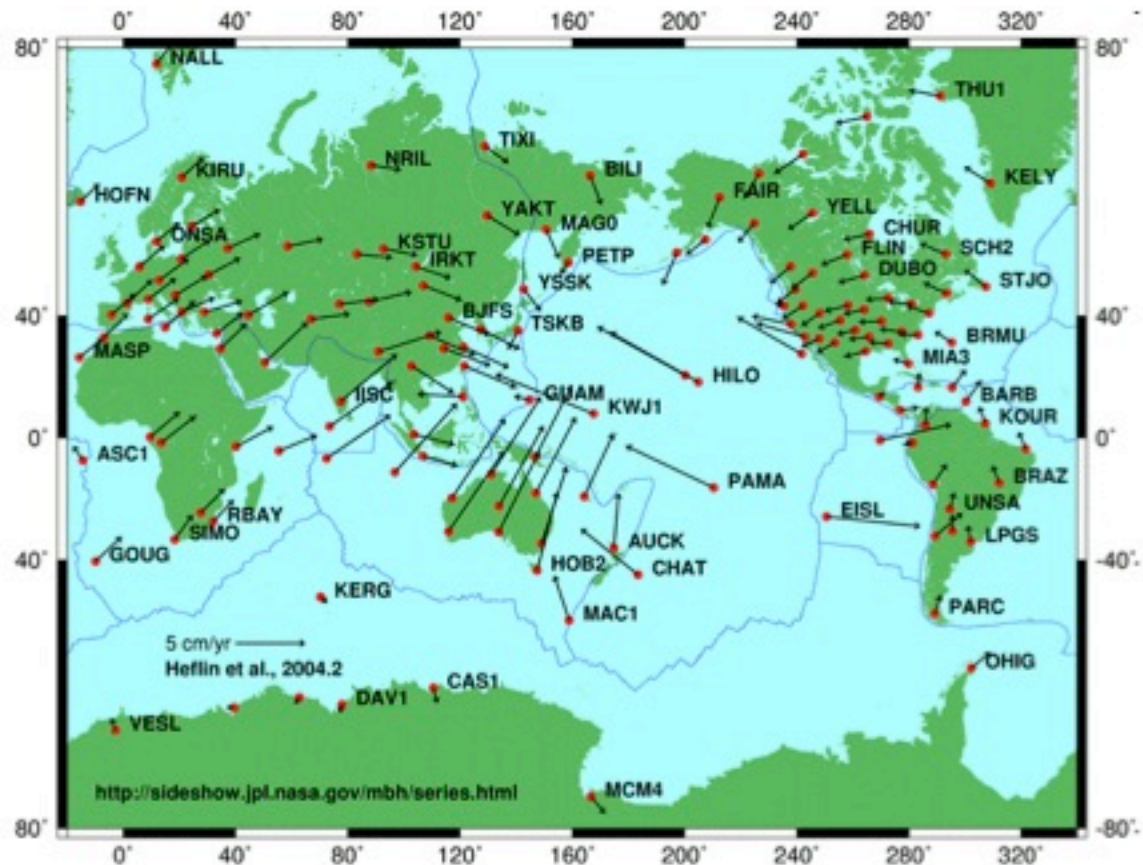
- RADAR & LIDAR,



Positionnement par satellites

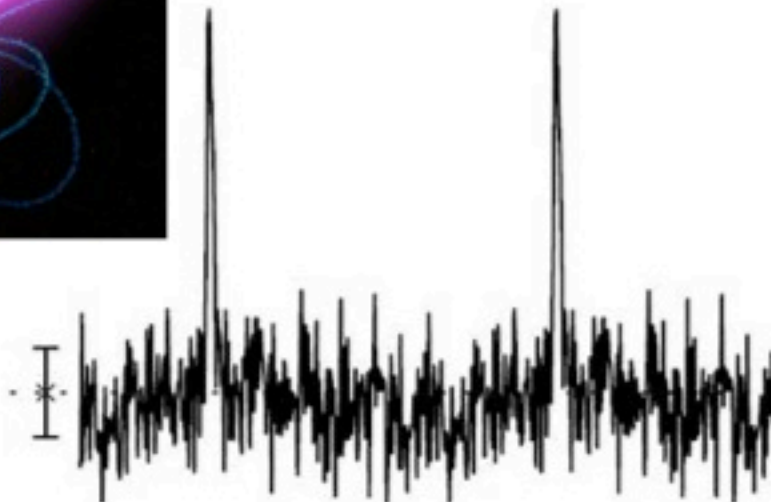
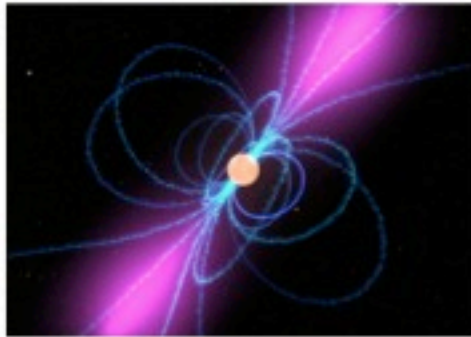
Positionnement par satellites (GPS, GALILEO, GLONASS, BEIDOU, ...)

- Nombreuses applications : positionnement, navigation, atterrissage des avions, géophysique, ...



Autres applications en astrophysique

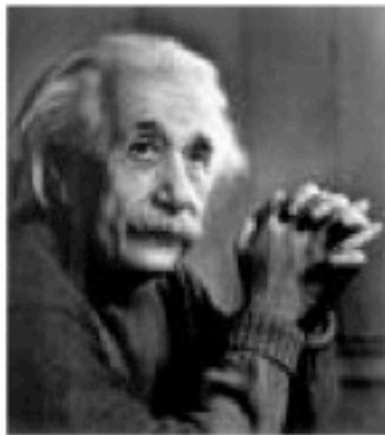
- Interférométrie à très longue base (VLBI) ;
résolution ~ 1 milliseconde d'arc)
- Suivi des sondes dans le système solaire par le
Deep Space Network (DSN)
- Datation des pulsars



Tests des lois fondamentales de la physique

Tests de la théorie de la relativité :

- La vitesse de la lumière est-elle constante / isotrope ? → OUI à 10^{-10} près
- Les constantes fondamentales sont-elles constantes ? → OUI à 10^{-16} / an près



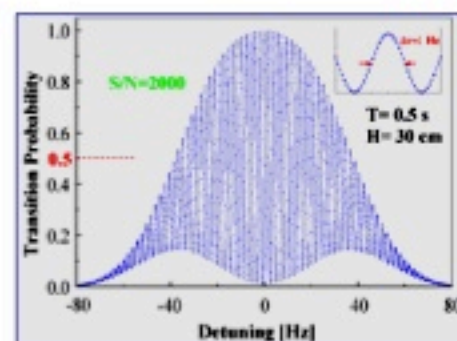
Mesures de fréquences d'horloges dans différents référentiels et/ou à différents instants

CONCLUSIONS

- ❑ Les mesures de temps avec des atomes sont de très loin les plus précises (10^{-16} – 10^{-17})
- ❑ Nombreuses retombées (science fondamentale au grand public)
- ❑ La révolution du refroidissement d'atomes par laser :
 - amélioration de la précision
 - exploration d'un nouvel état de la matière

les atomes sont des corpuscules

mais aussi des ondes



Les horloges atomiques sont des « interféromètres atomiques »
Nouvelle génération d'instruments de mesures de précision
(temps, accélération, rotation, gravité, ...)

Un domaine de recherche très actif



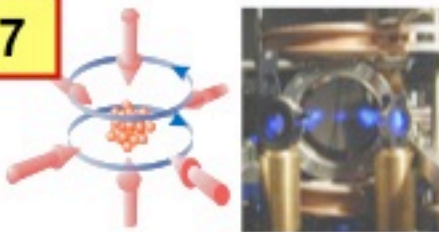
Separated oscillatory fields method
N.F. Ramsey
Pièges à ions
H.G. Dehmelt, W. Paul
Nobel Prize 1987

1987



Refroidissement et piégeage par laser
S. Chu, C. Cohen-Tannoudji, W. Phillips
Nobel Prize 1997

1997



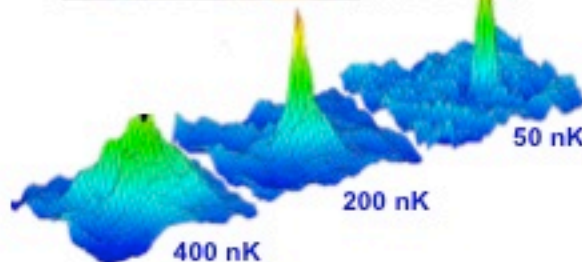
2012

Contrôle et mesure d'états quantiques
S. Haroche, D. Wineland
Nobel Prize 2012



2001

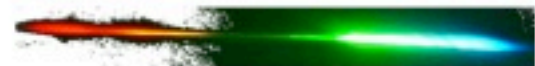
Condensation de Bose-Einstein
E. Cornell, C. Wieman, W. Ketterle
Nobel Prize 2001

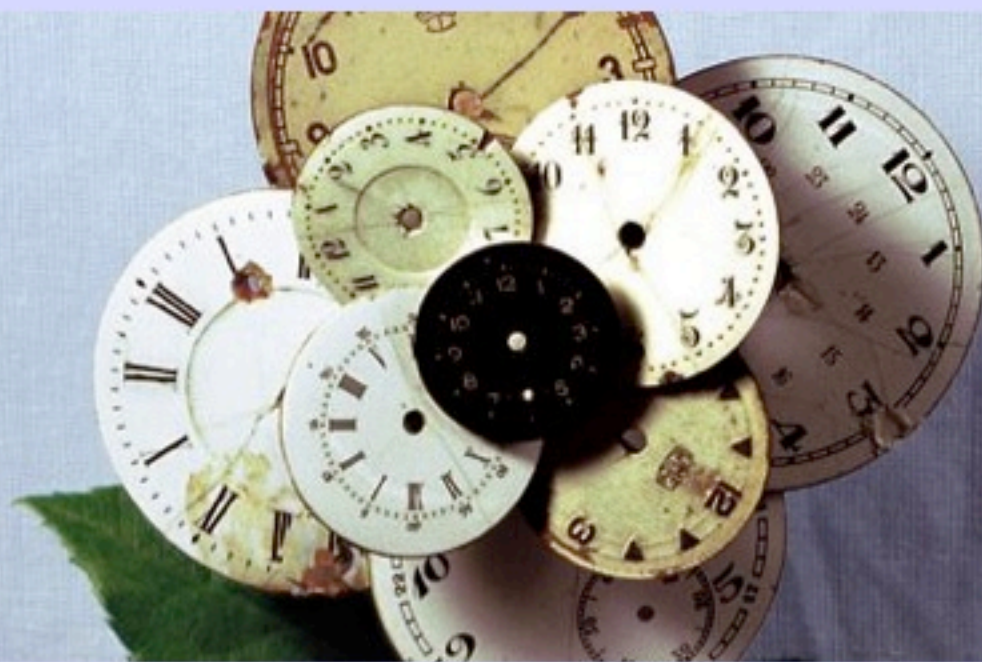


2005



Spectroscopie laser de précision
et peignes de fréquences fs
J. Hall and T. Hänsch
Nobel Prize 2005





© Michal Batory

Merci pour votre attention