

Une force très efficace

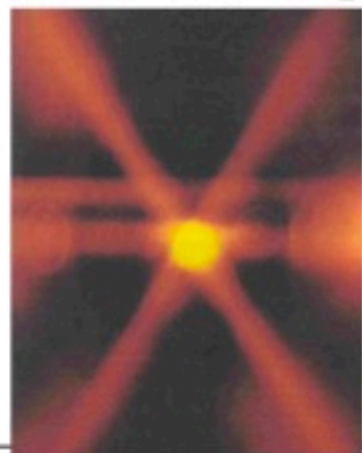
$$\text{Force} \propto \frac{\text{Changement de vitesse}}{\text{Temps pour changer la vitesse}}$$

→ 3 mm/s pour Cs
→ 30 ns pour Cs

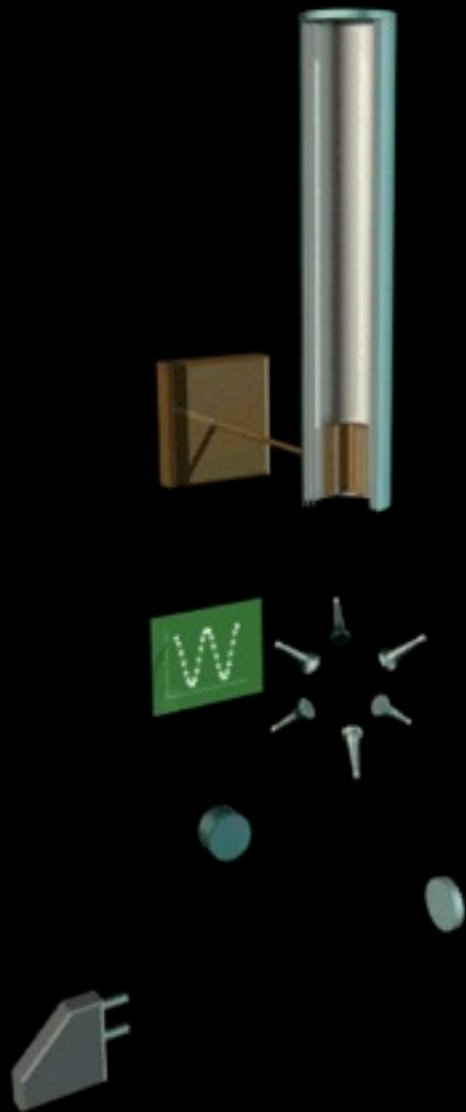
→ **Décélération énorme : 10^4 fois l'accélération de la pesanteur !**

$$\frac{1}{2}mv^2 = kT \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Vitesse : } 300 \text{ m/s} \rightarrow 1 \text{ cm/s} \\ \text{Température : } 300 \text{ K} \rightarrow 1 \mu\text{K} = 10^{-6} \text{ K} \end{array} \right.$$

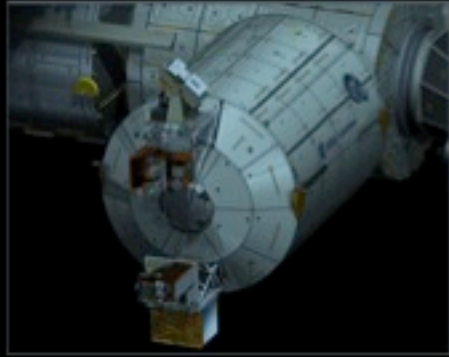
= **1 millionième de degré du zéro absolu !**



**Nouvel état de la matière :
atomes froids « figés » par la lumière**

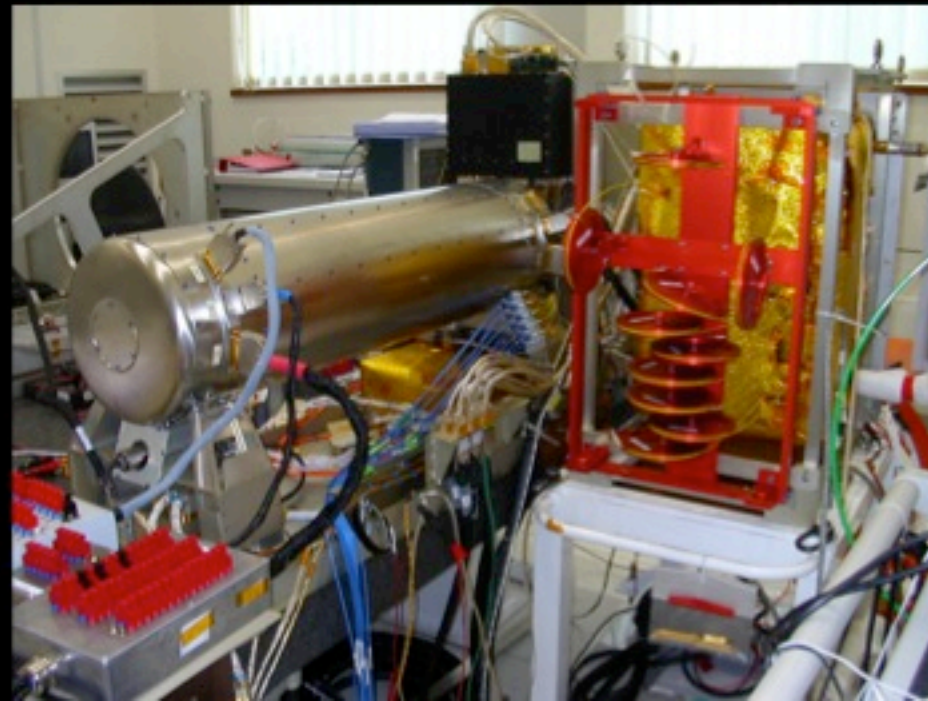
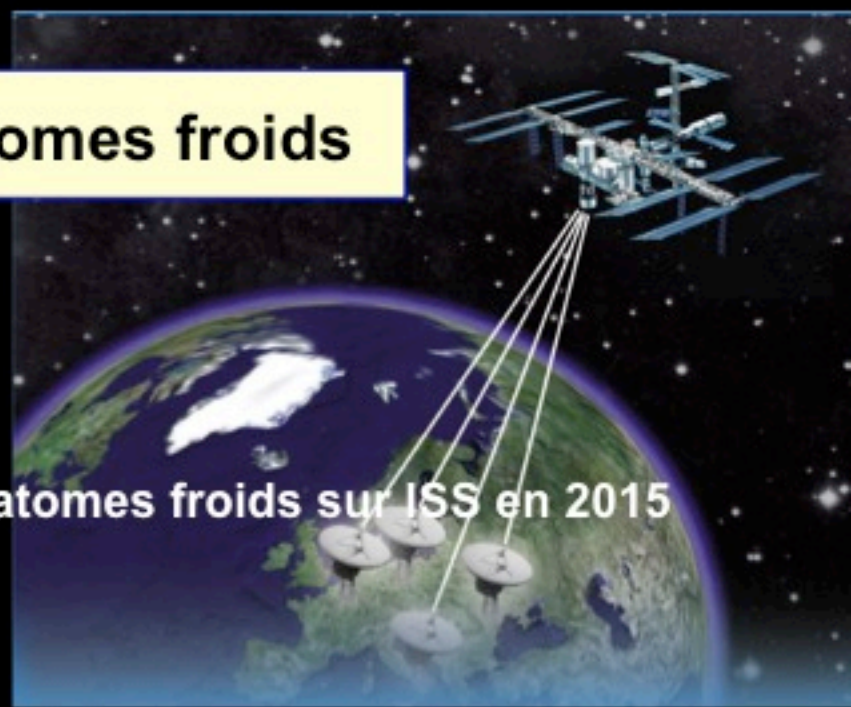


... au-delà des fontaines à atomes froids



L' Espace:

→ PHARAO : horloge à atomes froids sur ISS en 2015



... au-delà des fontaines à atomes froids

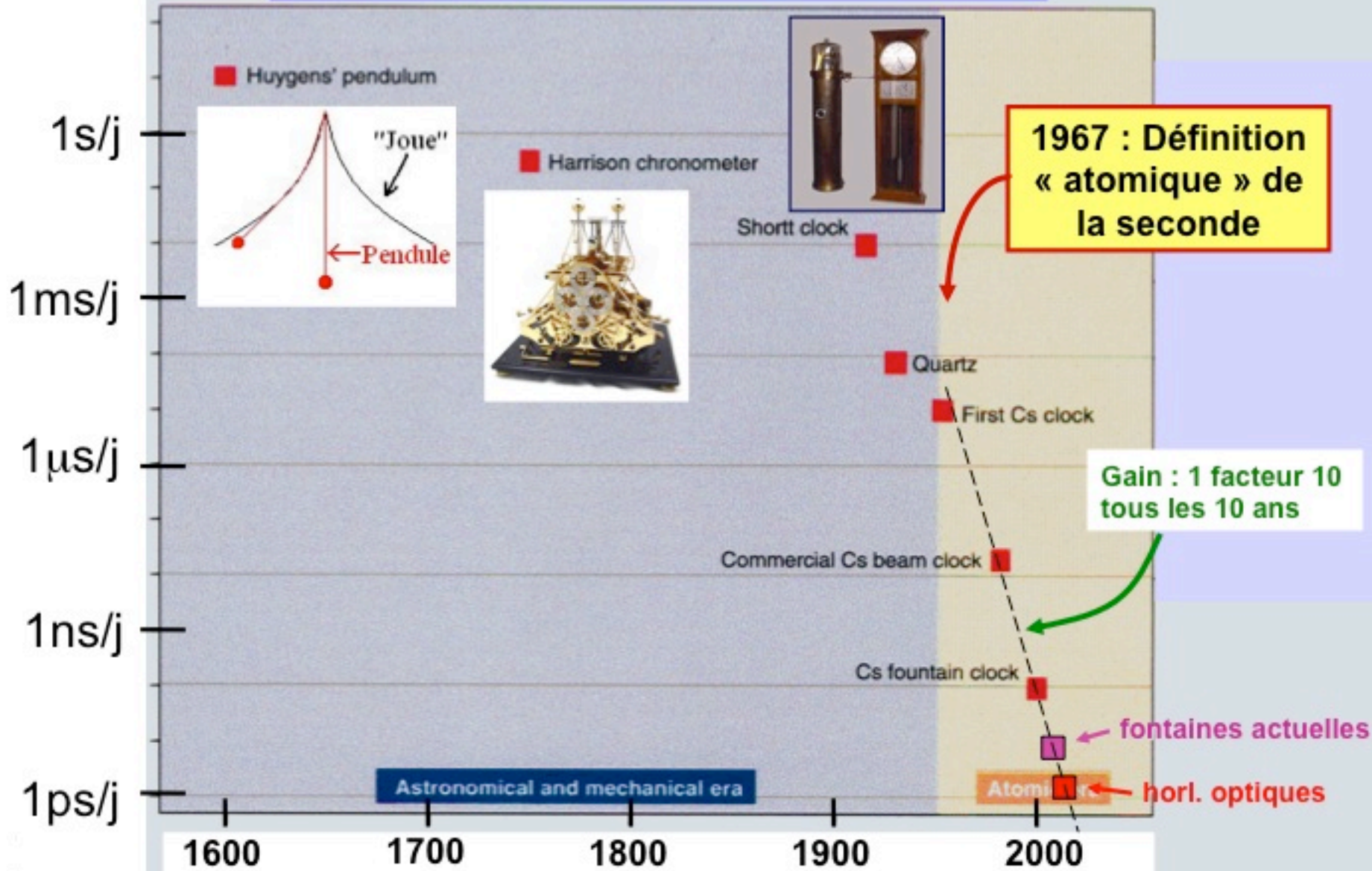


Les horloges optiques :

→ 500 000 000 000 000 battements par seconde !!!

→ Fréquence 50 000 fois plus grande que pour les horloges micro-ondes (Césium)

Précision de la mesure du temps



La définition de la seconde devient atomique en 1967

Qualités : Uniforme (stable), Reproductible, Universelle

Jusqu'en 1956, la seconde était la fraction $1/86\,400$ du jour solaire moyen (*le temps universel TU*)

De 1956 à 1967, la seconde était la fraction $1/31\,556\,925,974\,7$ de l'année tropique 1900 (*le temps des éphémérides TE*);

Depuis 1967, la seconde est la durée de $9\,192\,631\,770$ périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 (*le temps atomique TAI* → *le temps universel coordonné UTC*)

« Astronomie »

« Physique atomique »

Mesure et théories du Temps

- Gnomons, cadrans solaires
- Clepsydras (eau, sables)
- Combustion (bougie, hauteur d'huile)

antiquité

- Horloge mécanique

Moyen-âge

- Horloges à quartz
→ Piézoélectricité

XXème siècle

- Horloges atomiques

Principe de relativité
de Galilée → le temps
reste absolu (Newton)

Principe de relativité
du temps (Einstein)