

La mesure du temps: evolution historique, recherche et applications actuelles



Gaetano Mileti

Laboratoire Temps - Fréquence (LTF)

Institut de Physique, Faculté des Sciences

Université de Neuchâtel, Suisse



LABORATOIRE TEMPS – FRÉQUENCE (LTF)

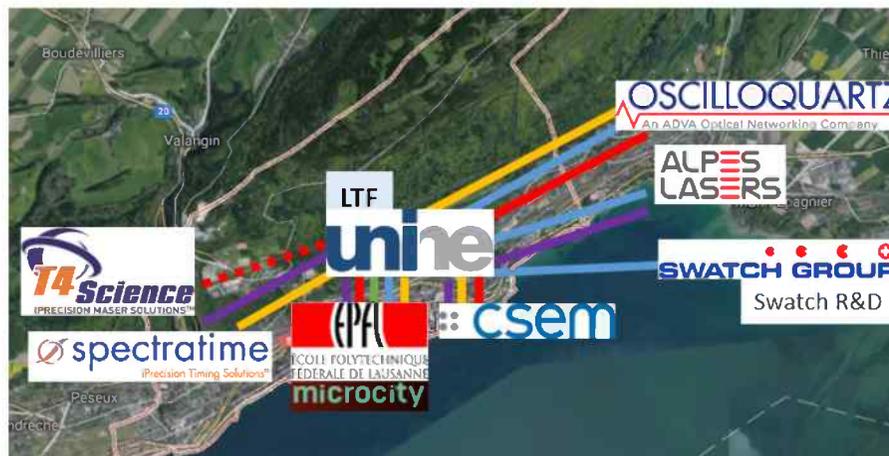


PROJETS ET COLLABORATIONS DU LTF

Depuis 2007: ~ **80 projets** de recherche (> **20 Mio. CHF** de « Fonds de Tiers » pour le LTF)
Dont presque la moitié (35) en collaboration avec des partenaires locaux.

Sources de financements:

- **FLRH, ASRH**
- **Projets CTI (y c. EURIPIDES)**
- **Projets FNS**
(y c. R'Equip, Sinergia, NanoTera)
- **Projets EU (FP5-FP7, INTAS, etc.)**
- **Autres programmes SSO/SEFRI**
- **Projets ESA**

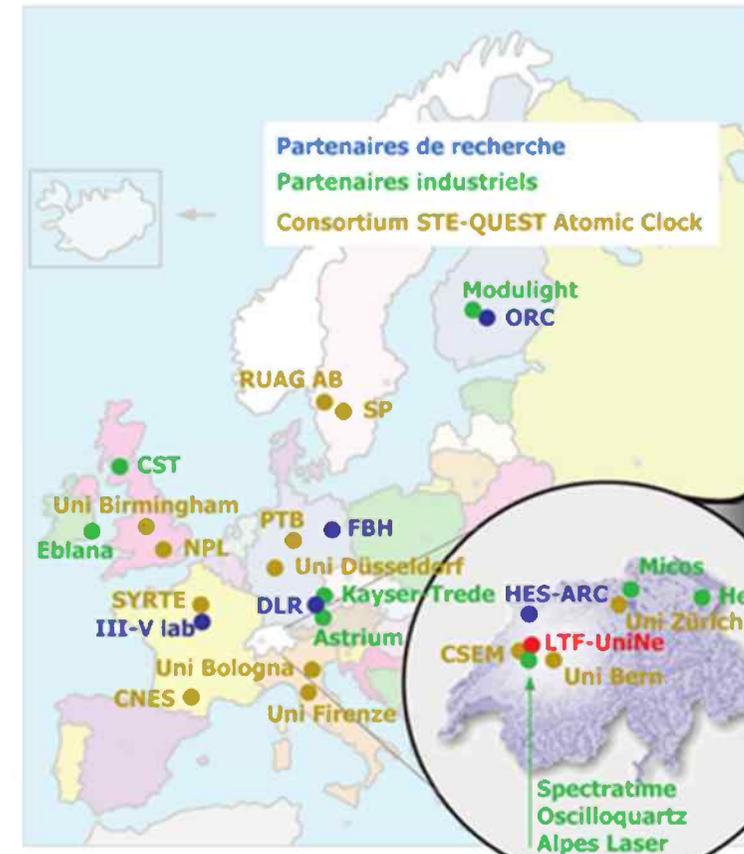


COLLABORATIONS INTERNATIONALES

Domaine des horloges compactes (haute-performance et miniature)



Domaine des lasers stabilisés





Introduction (historique et applications).

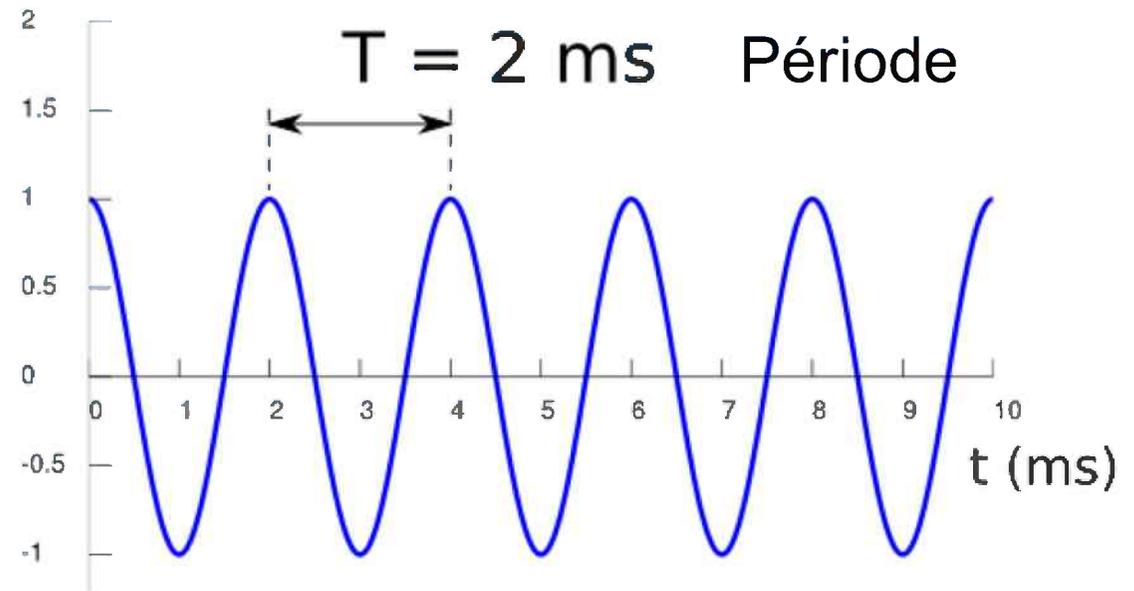
Exemples de recherches :

- Horloges à jet de Césium
- Masers à Hydrogène
- Peignes et étalons optiques
- Horloges à vapeur de Rubidium
- Miniaturisation

- Sujet de l'exposé: La mesure du temps.
Instruments qui « mesurent le temps » de manière très *précise*
Garde-temps. Horloges atomiques.
- Plus exactement: Instruments qui mesurent **des intervalles de temps**
étalons de fréquence. Fréquence = 1 / Période ou $f = 1 / T$
- A quoi ça sert? heure exacte, position exacte, synchronisation de réseaux, etc.

PÉRIODE ET FRÉQUENCE D'UN OSCILLATEUR

Oscillation
Phénomène périodique



Fréquence

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.002} = 500 \text{ Hz}$$

A QUOI ÇA SERT. QUELLE HEURE EST-IL?

Quelques souvenirs de l'Observatoire Cantonal de Neuchâtel



1750
-
1850



A. L. Breguet

F. Berthoud



1883

A. Hirsch

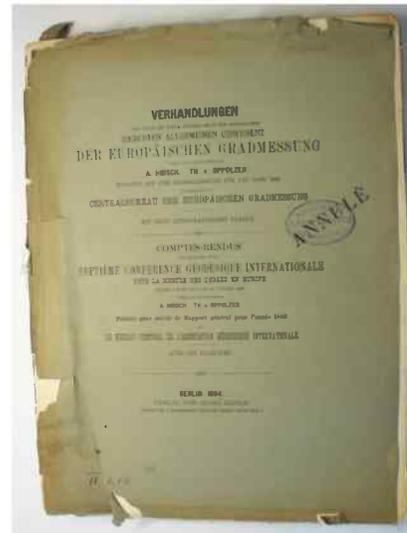


C. E. Guillaume

1920



G. Milet
Laboratoire Temps – Fréquence (LTF)



POSITION EXACTE. OÙ SUIS-JE?

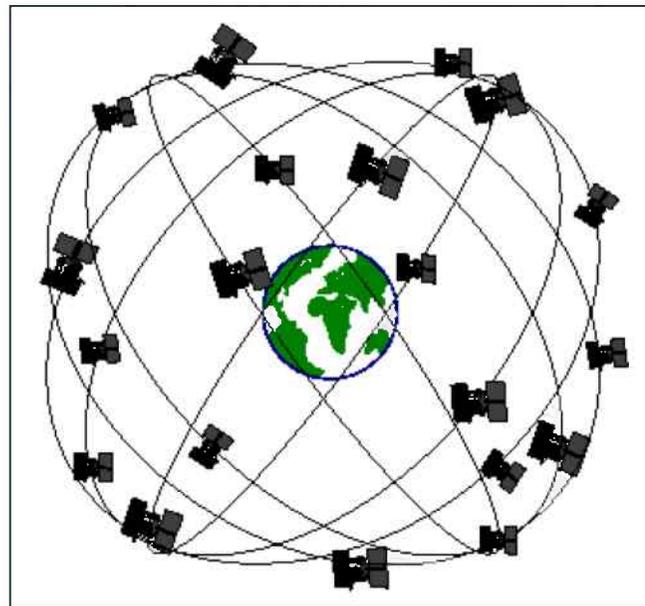


Détermination de la longitude en mer:

1 seconde d'erreur

~

500 m d'erreur
(à l'équateur)



Positionnement par satellite:

1 nano seconde d'erreur
(0.000'000'001 s)

~

30 cm d'erreur



SYNCHRONISATION. SUIS-JE CONNECTÉ?



Réseaux de télécommunication et de distribution d'énergie «intelligents»:

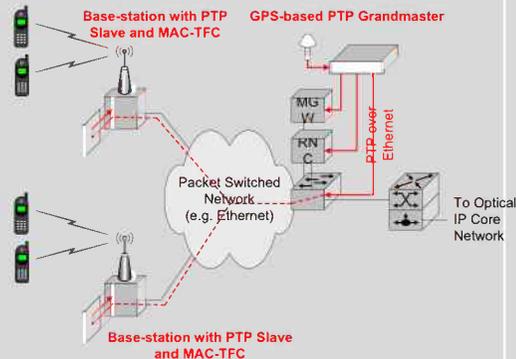
ont besoin d'une synchronisation à environ **1 microseconde**

(0.000'0001 s)

4G LTE base stations:

Phase time synchronization for online TDD and MBSFN

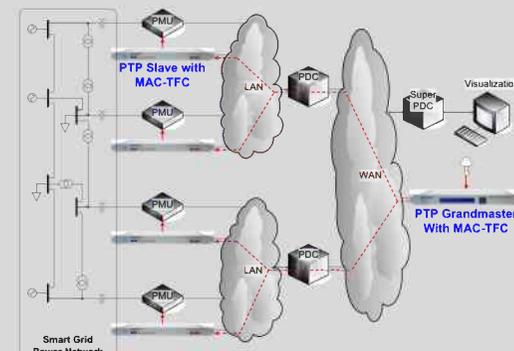
High jitter rejection
Holdover >> 24 h



POWER Smart Grid:

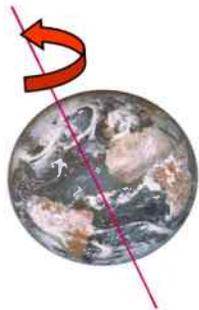
1 µsecond synch of Phase Measurement Units

Holdover >> 24 h



RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Motivation? Besoin (parfois vital) et curiosité.
Domaine? En constante évolution!



Rotation de la Terre



Précision
en
secondes
par jour

10 ps

Horloges
atomiques
(1950)

1 ns

Maser à
hydrogène,
Jet au césium,
Vapeur de rubidium

10 ns

Horloges
à quartz
(1930)

1 ms

Chronomètre
de marine (1750)
Harrison

1 s

Pendule de Huygens (1650)
pendule

10 s

Horloges de tour (1300)
balancier à verge et foliot

1000 s

-3000

-1500

-170

800

1300

1600

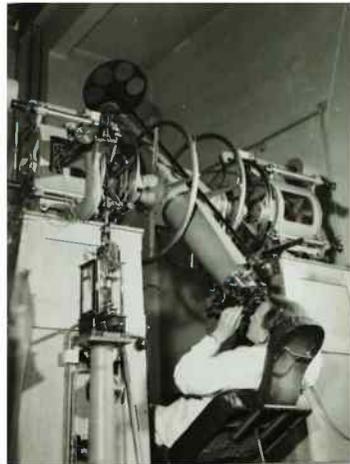
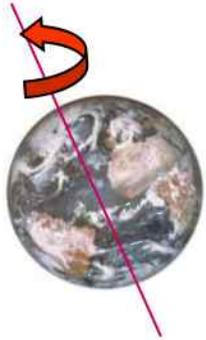
1700

1900

2000

TEMPS ASTRONOMIQUE (ET OSCILLATEURS MÉCANIQUES)

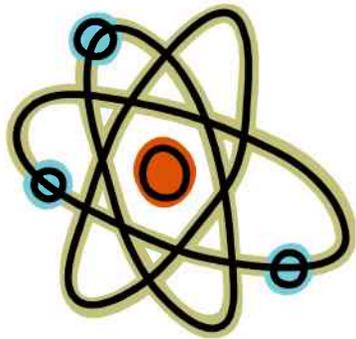
Observatoire de Neuchâtel (1858 – 2007)



Oscillateurs mécaniques (garde-temps)



TEMPS ATOMIQUE (ET OSCILLATEURS À QUARTZ)



Atome
(nouvelle
référence)

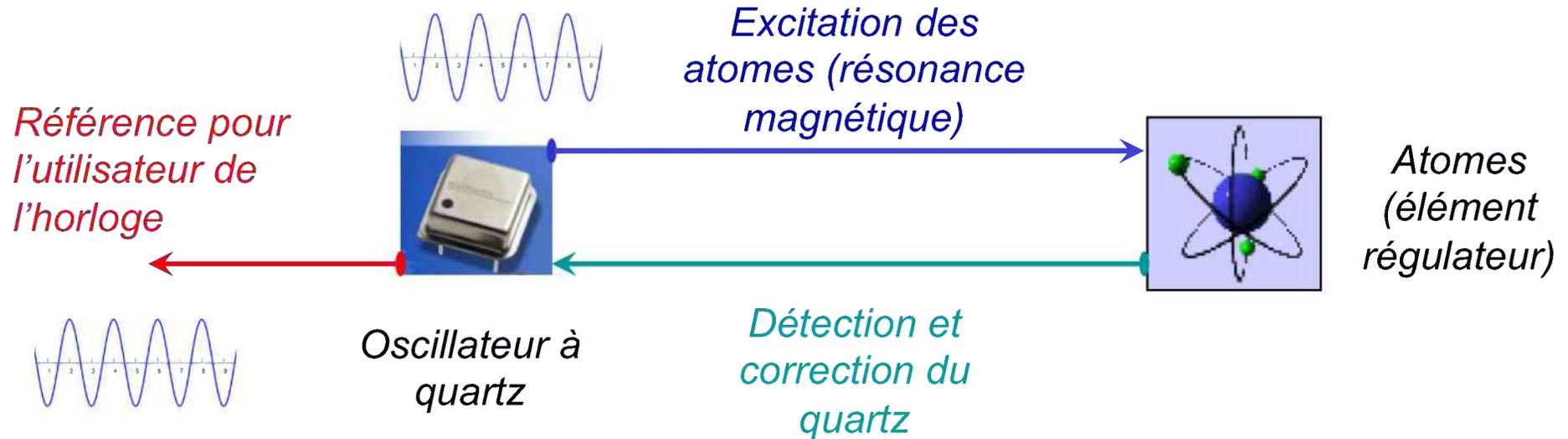
Observatoire de Neuchâtel (1858 – 2007)



Oscillateurs à quartz
(nouveaux garde-temps)



PRINCIPE D'UNE HORLOGE ATOMIQUE



Définition dans le système SI

La **seconde** est la durée de 9 192 631 770 périodes du rayonnement correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental du césium 133 (1967)



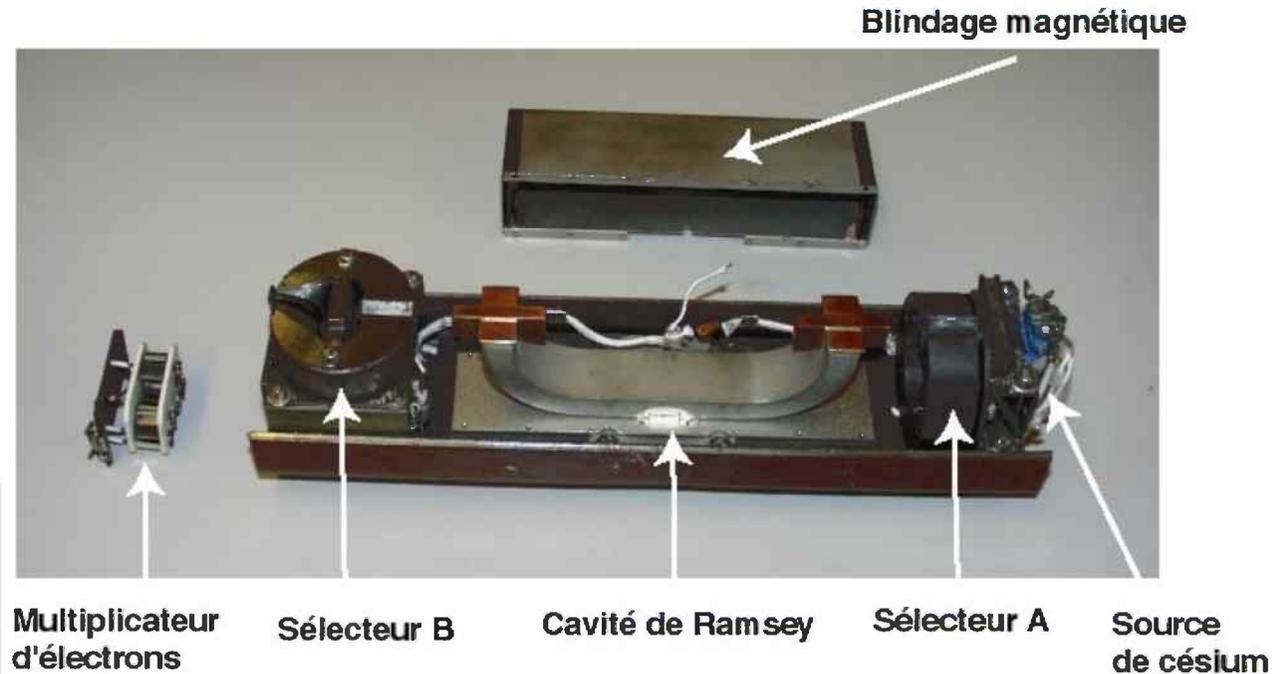
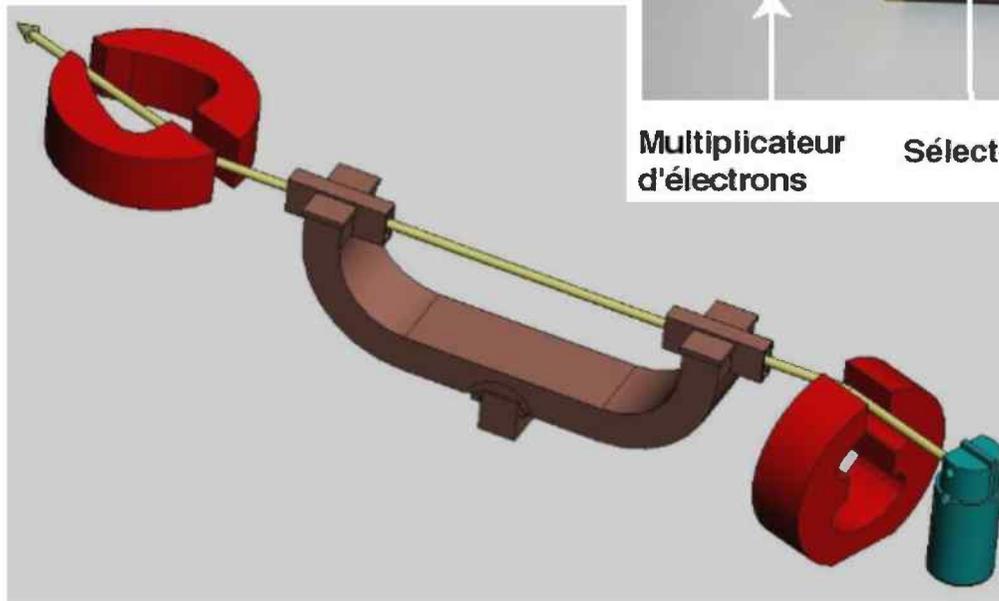
$$\text{Fréquence } \nu_0 = \frac{E_2 - E_1}{h} = 9192631770 \text{ Hz}$$

HORLOGES ATOMIQUES

Résonance magnétique

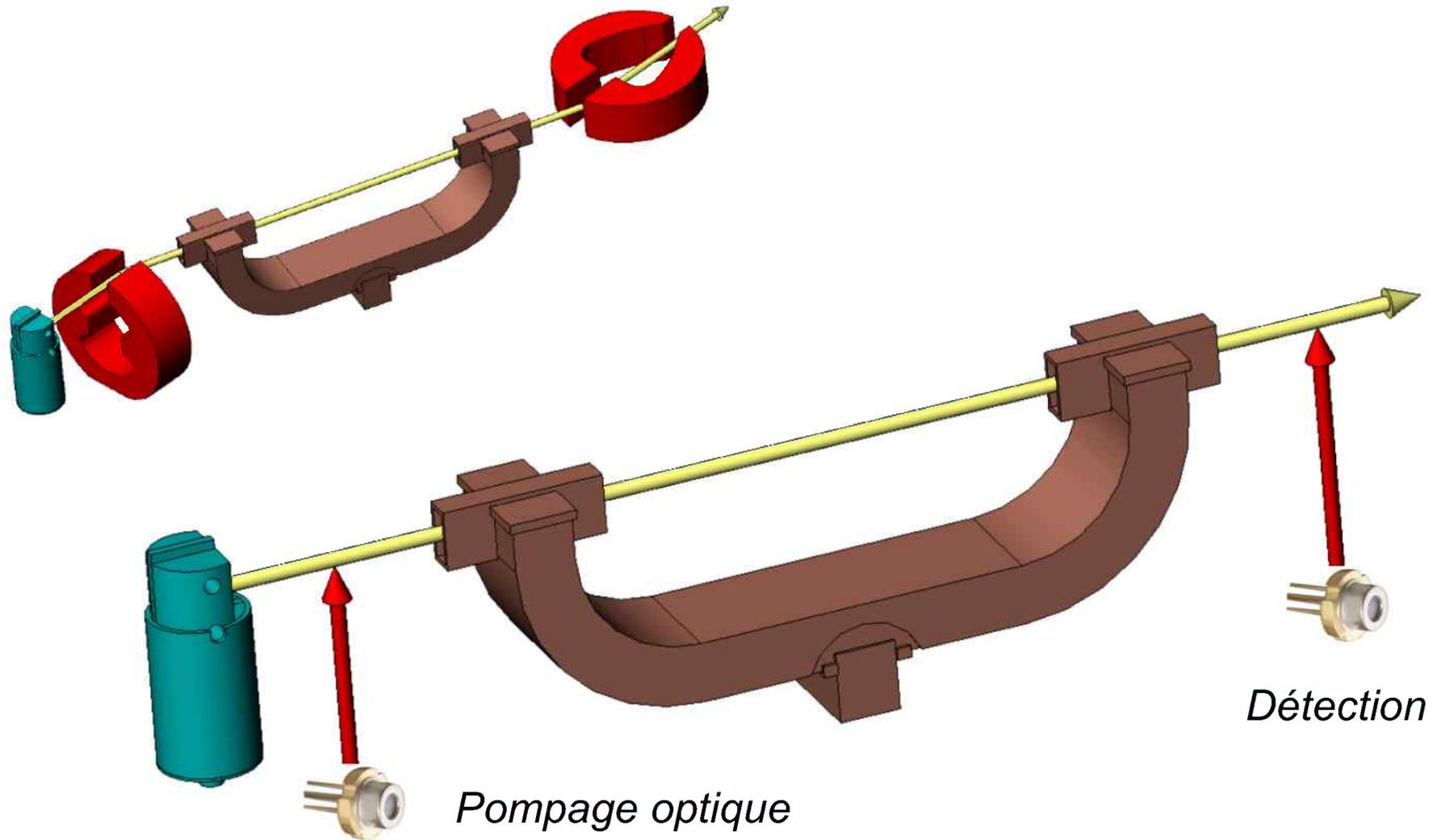
3 familles d'horloges atomiques commerciales: césium, Masers, rubidium.

Environ 15 types d'horloges atomiques expérimentales et/ou pour la recherche

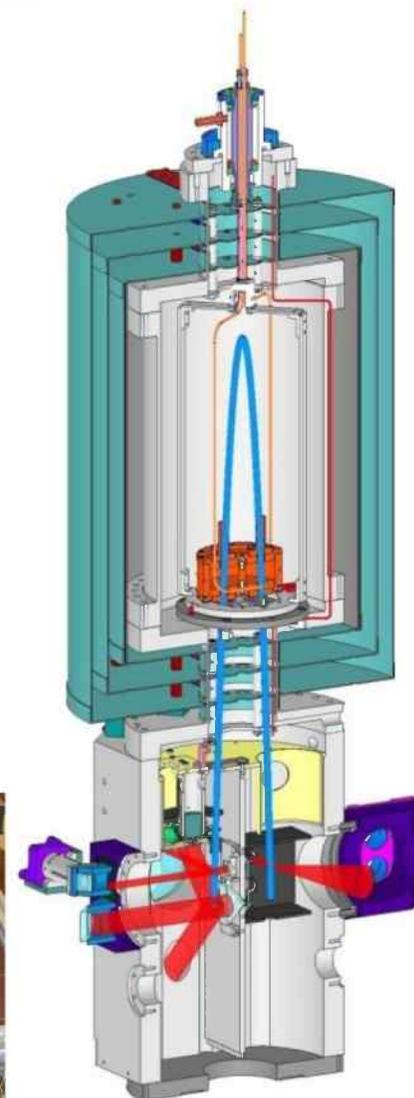
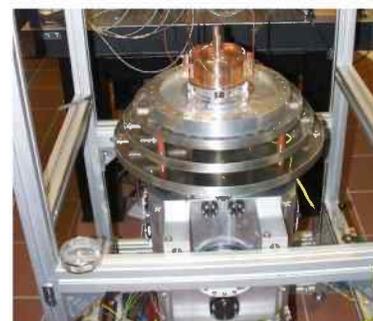
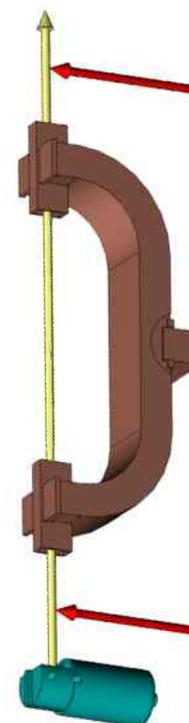
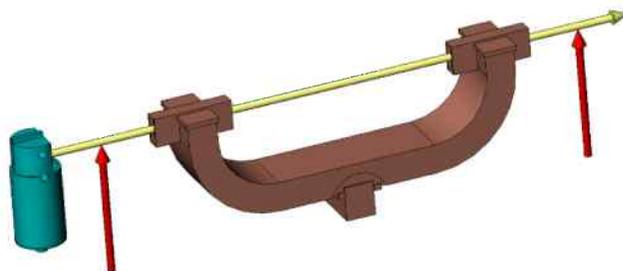


Horloge à jet de Césium

HORLOGE AVEC POMPAGE OPTIQUE LASER



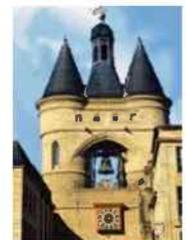
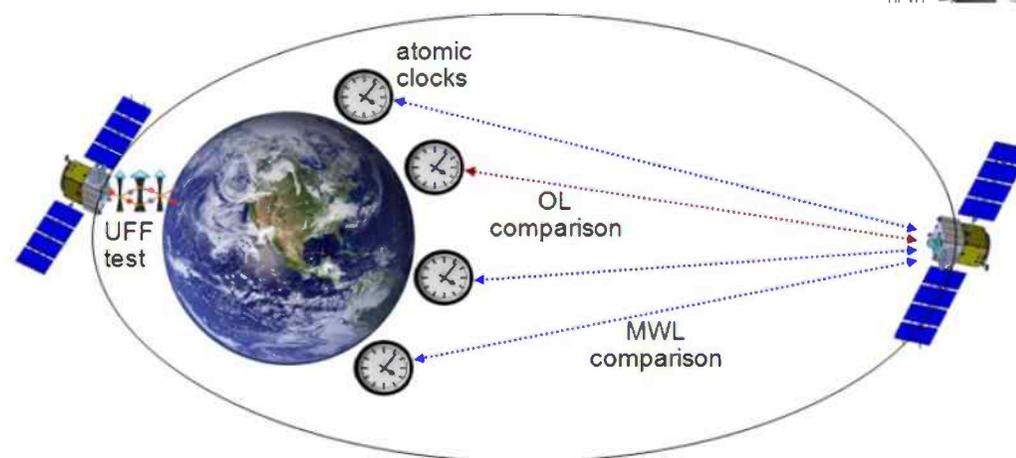
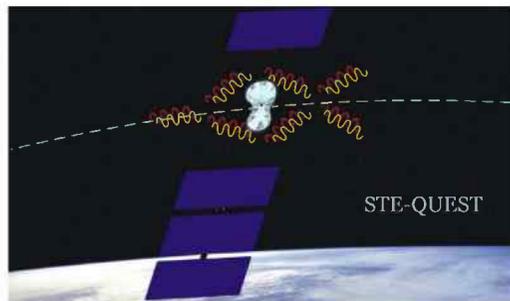
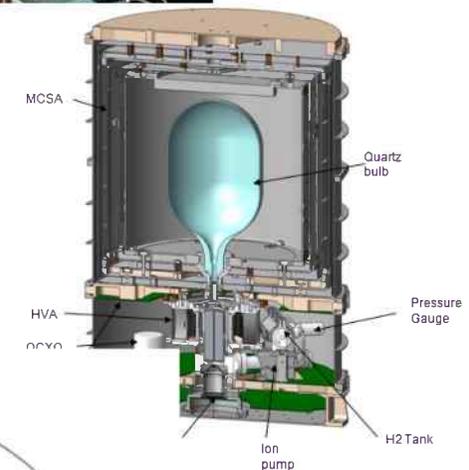
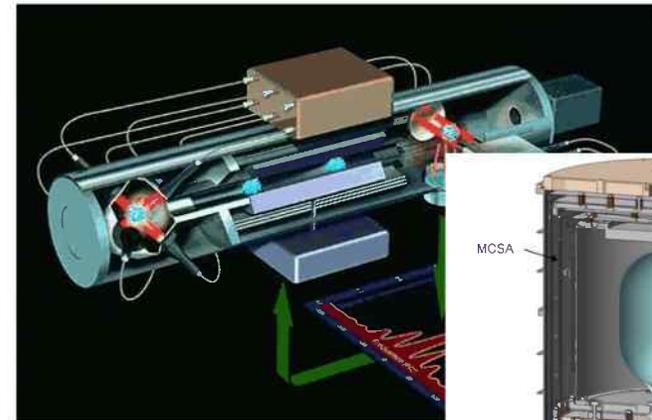
FONTAINE PRIMAIRE A ATOMES FROIDS



HORLOGES A ATOMES FROIDS DANS L'ESPACE

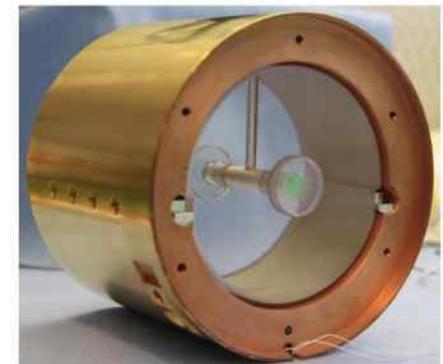


Atomic Clock Ensemble in Space

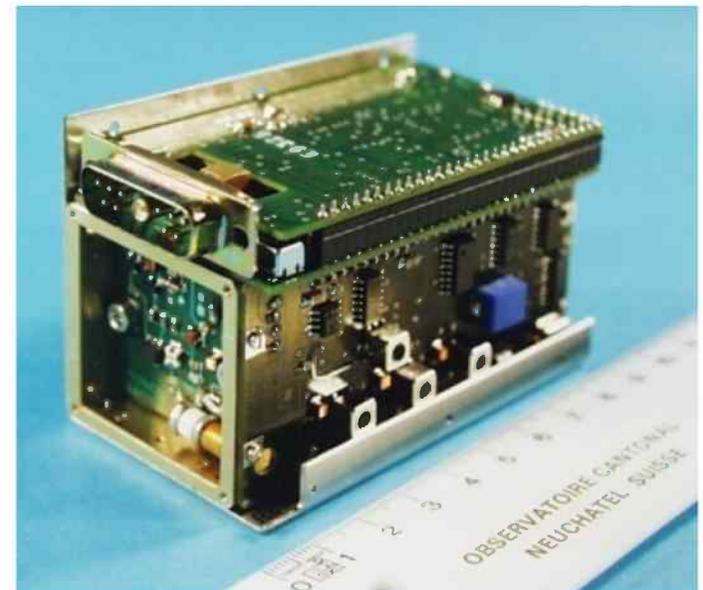
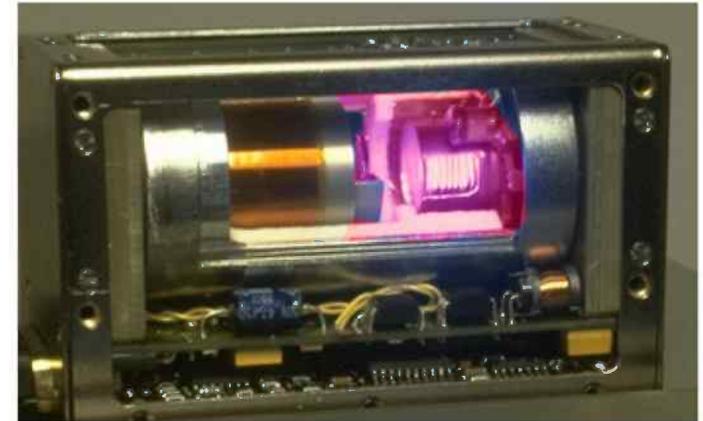
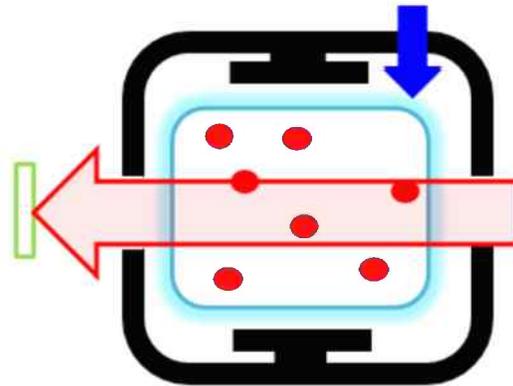


Facteur de qualité: proportionnel à la fréquence de résonance

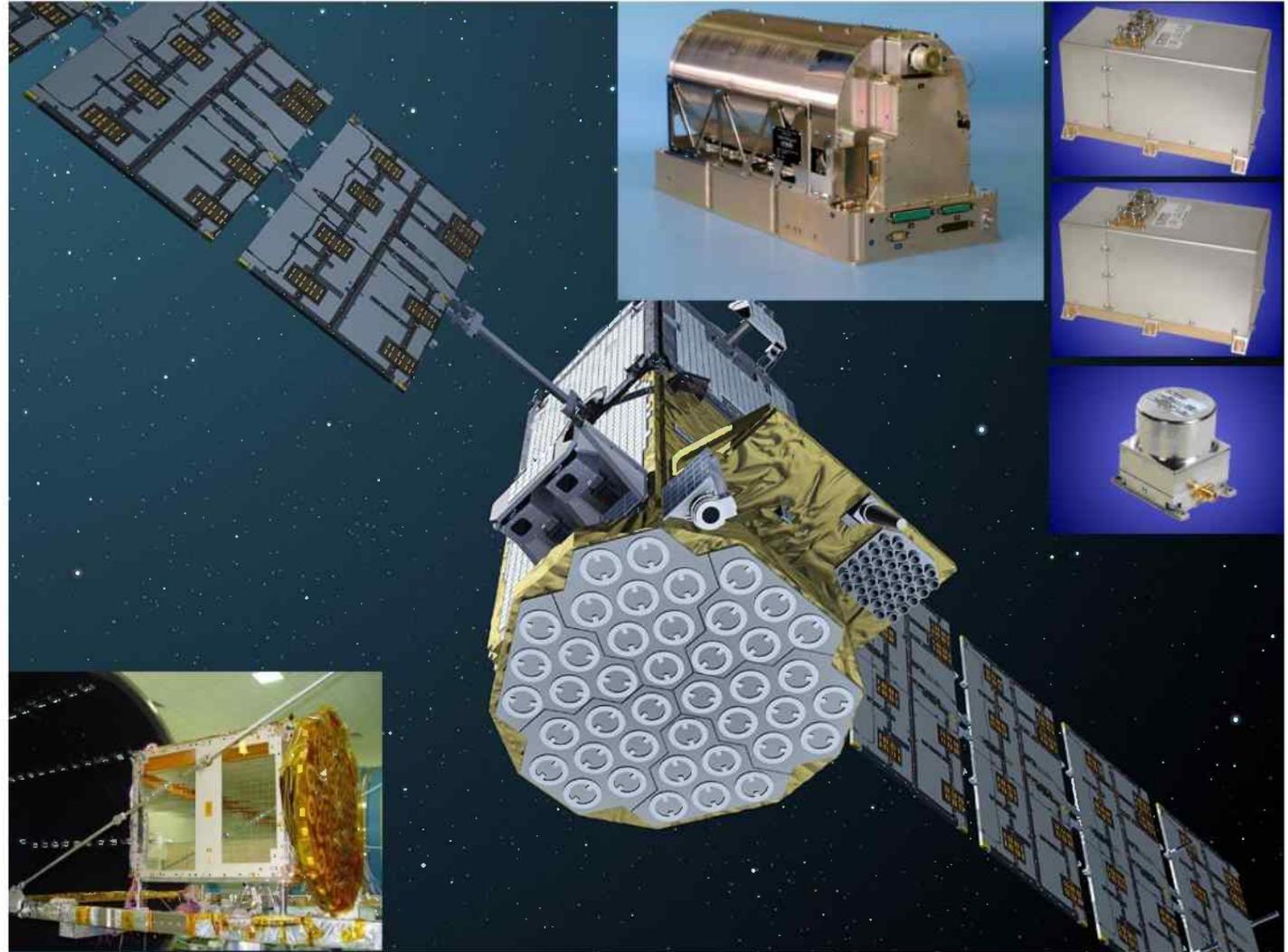
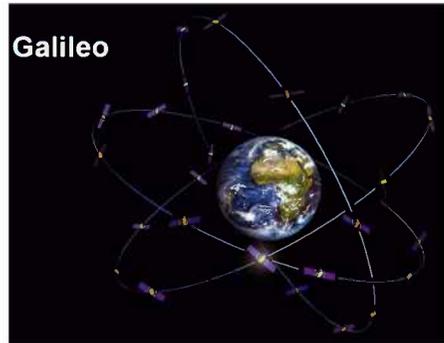
$$Q \propto \omega_0 \cdot \tau$$



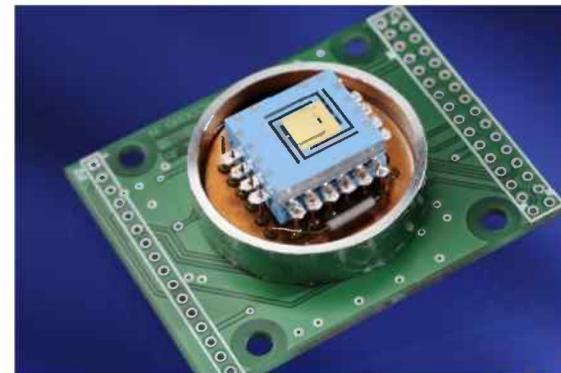
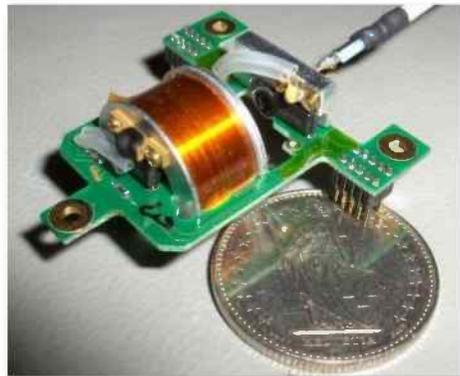
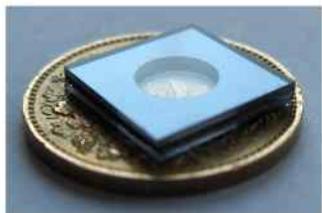
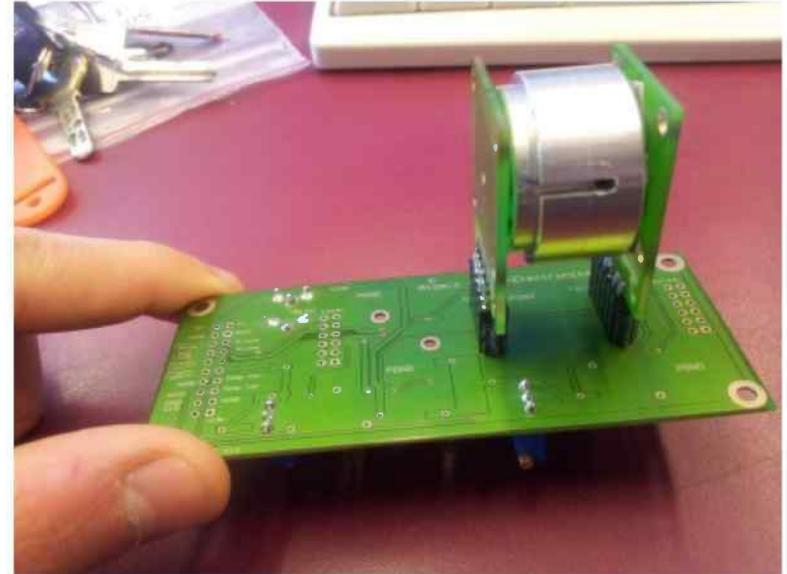
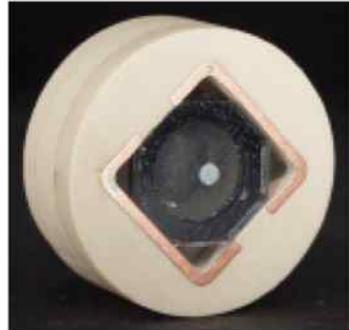
HORLOGE ATOMIQUE À VAPEUR DE RUBIDIUM



SYSTÈME EUROPÉEN DE NAVIGATION



MINIATURISATION



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Prof. **Gaetano Mileti**

Gaetano.Mileti@unine.ch

Laboratoire Temps – Fréquence (LTF)

<http://www2.unine.ch/cms/lang/fr/pid/4058>

www.unine.ch

