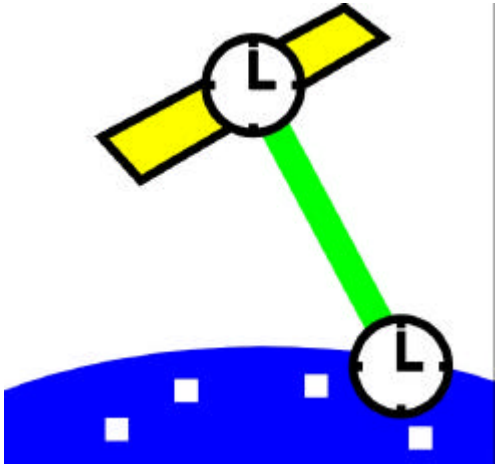
# Liens optiques

Transfert de Temps T2L2

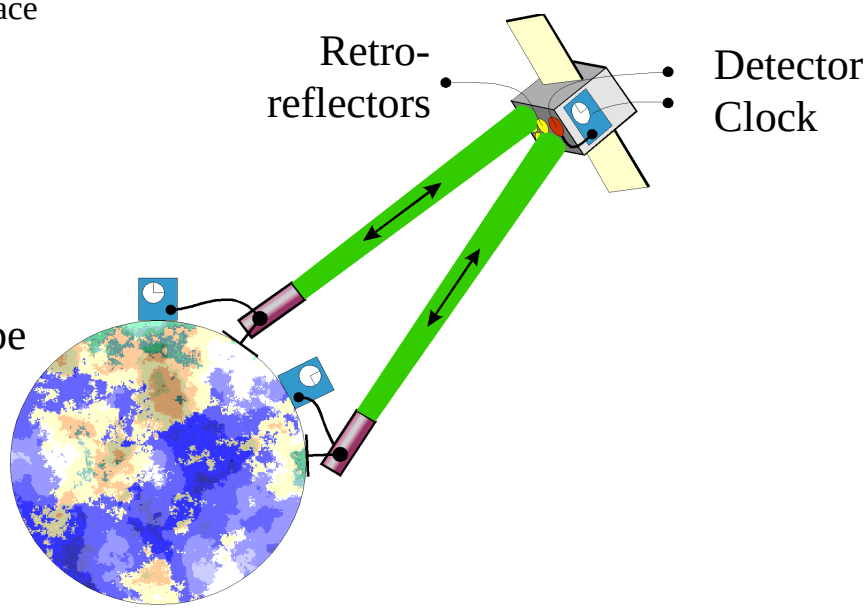
&

Télémétrie Interplanétaire TIPO & ASTROD



# T2L2 (Time Transfer by Laser Link) OCA/CNES

- 1997: T2L2 on board ISS : Scrapped in 2001
  - » ACES (ESA, CNES) : Atomic Clock Ensemble in Space
- 2001: T2L2 on board Microsat Myriade
  - » Phase A for the vehicle
  - » Phase B for the space instrument
- 2001: T2L2 on board the first Galileo prototype

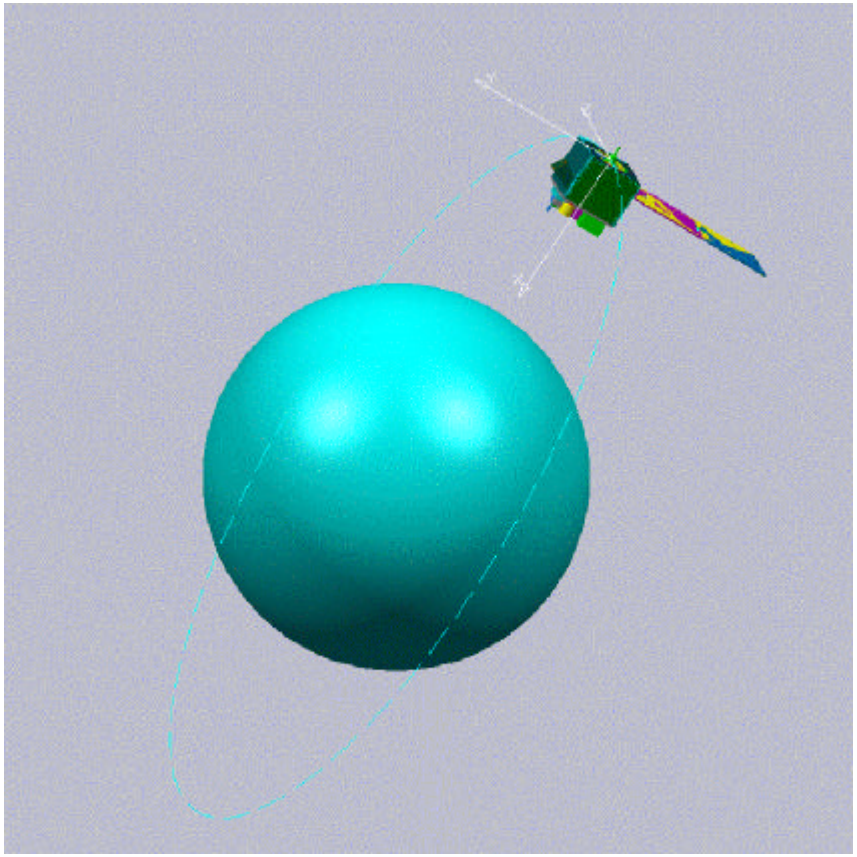


# Objectifs T2L2

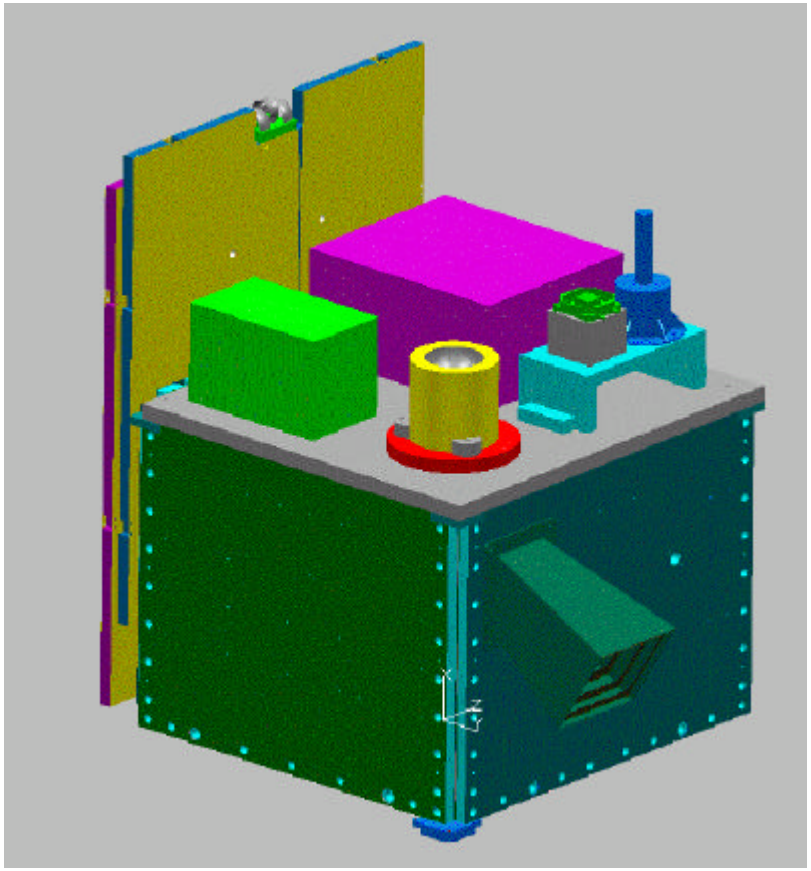
- Transfert de temps
  - » Sol-Sol
  - » Sol-Espace
- Métrologie du temps
  - » Validation du lien optique, comparaison lien micro-onde
  - » Validation horloges ultra-stable
  - » Échelle de temps
- VLBI
  - » Augmenter la durée des observations
  - » Observer des sources plus faibles
- Physique fondamentale
  - » Mesure de la dérive de la constante de structure fine
  - » Effet Einstein

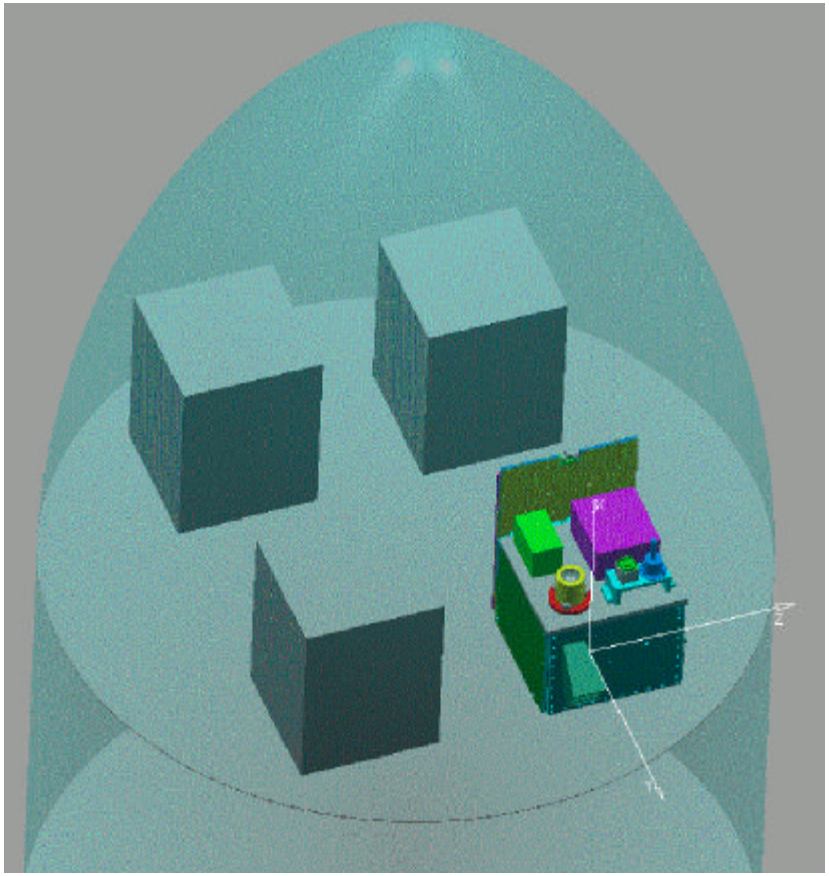
# Microsat Myriade

- Masse totale  < 120 kg
- Masse charge utile < 38 kg
- Attitude contrôlée 3 axes
- Propulsion hydrazine
- TM/TC : 400 kbits/20 kbits (S)
- Puissance ~ 40 Watts
- Altitude : 750 km



# T2L2 sur Microsat Myriade

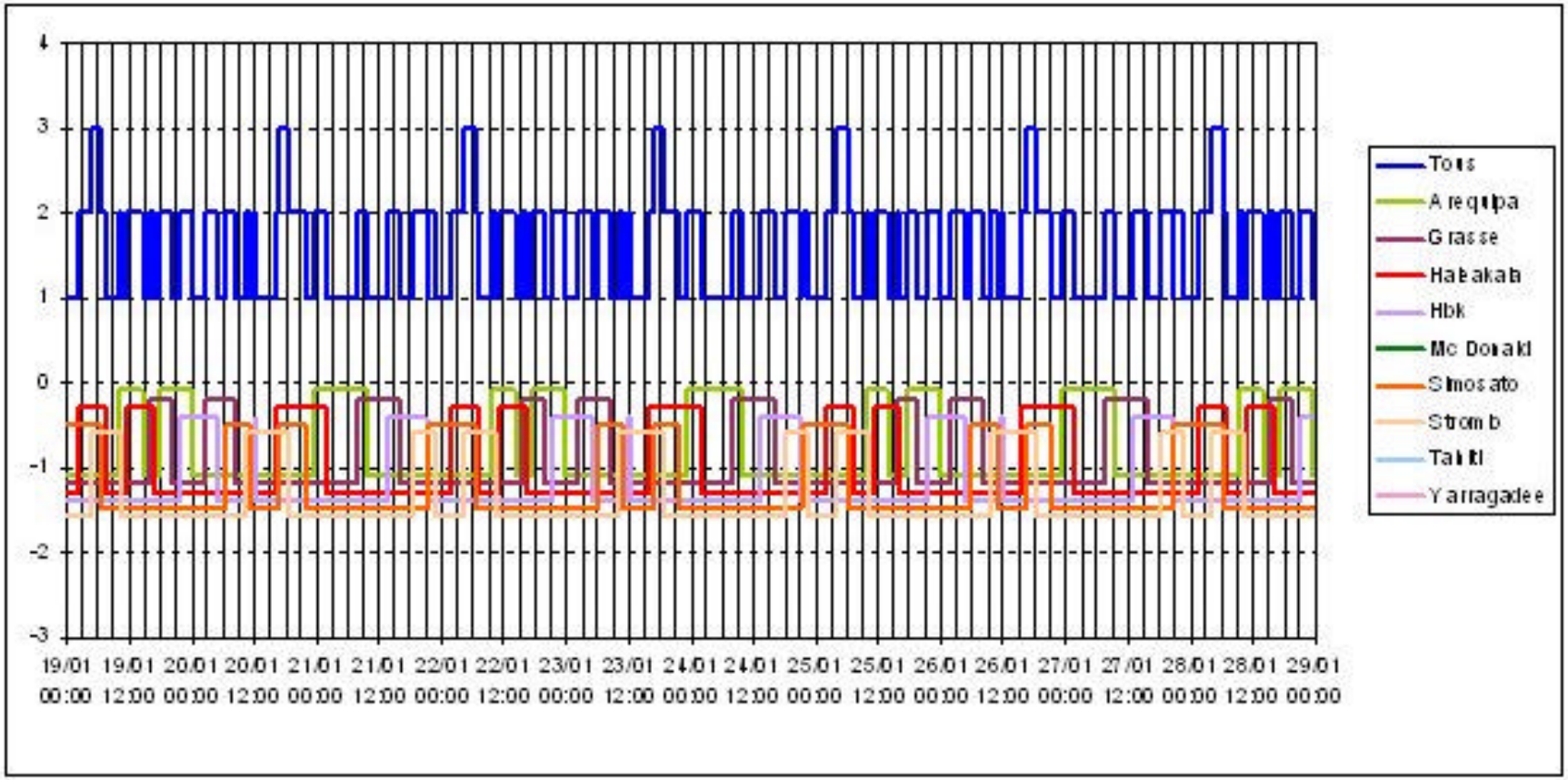




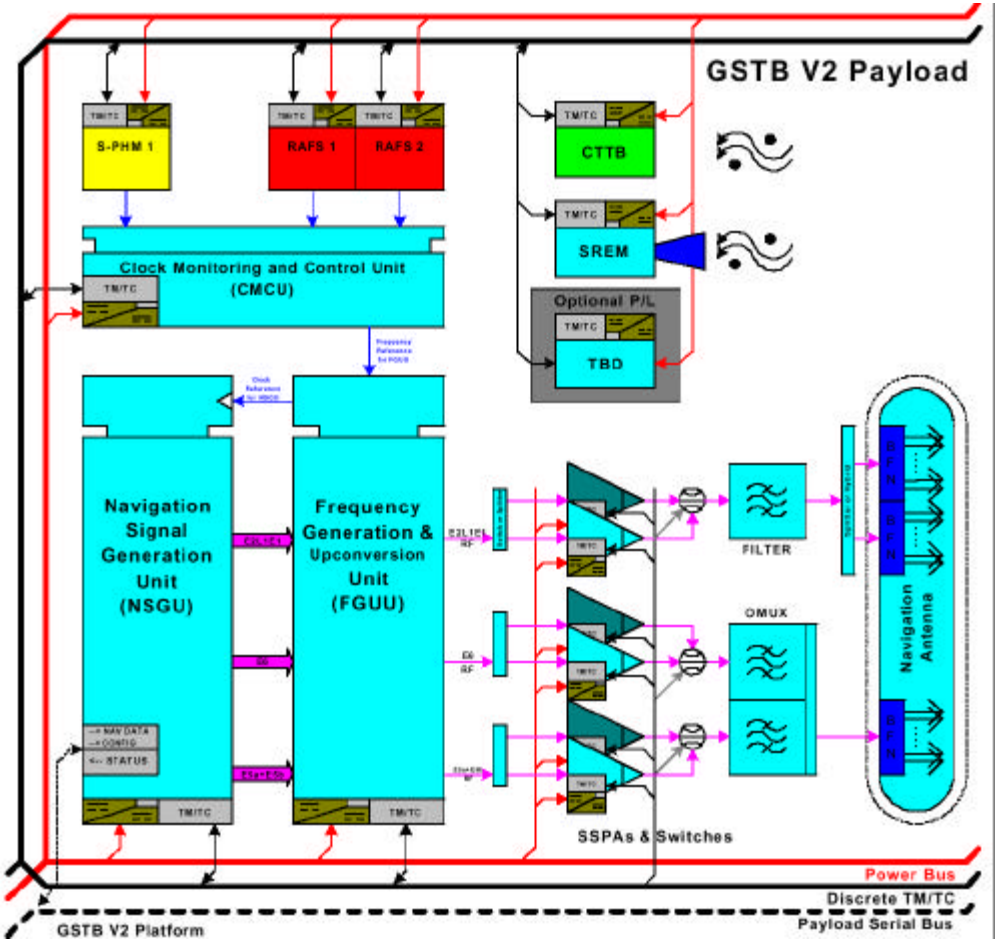
# T2L2 sur Prototype Galileo : GSTB V2

- Utilisation des bandes de fréquences allouées
- ***Mesure des performances des horloges en orbite***
- ***Calibration du système de détermination d'orbite***
- ***Calibration du transfert de temps micro-onde***
- Analyse du milieu
- Tests fonctionnels

# Visibilité Galiléo : 6 stations laser

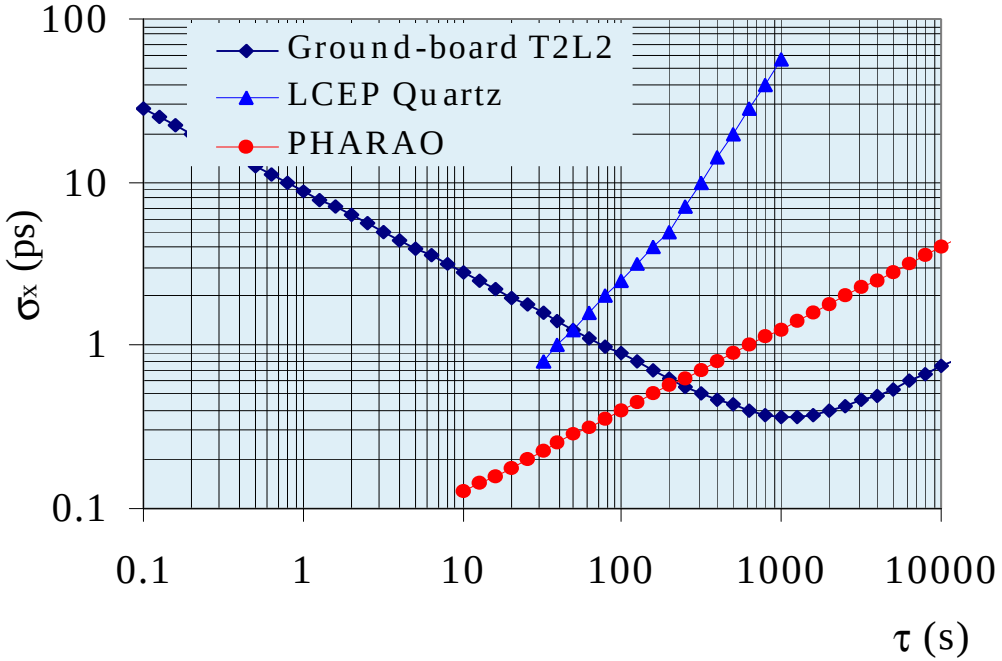


# Organigramme GSTB V2 ESA



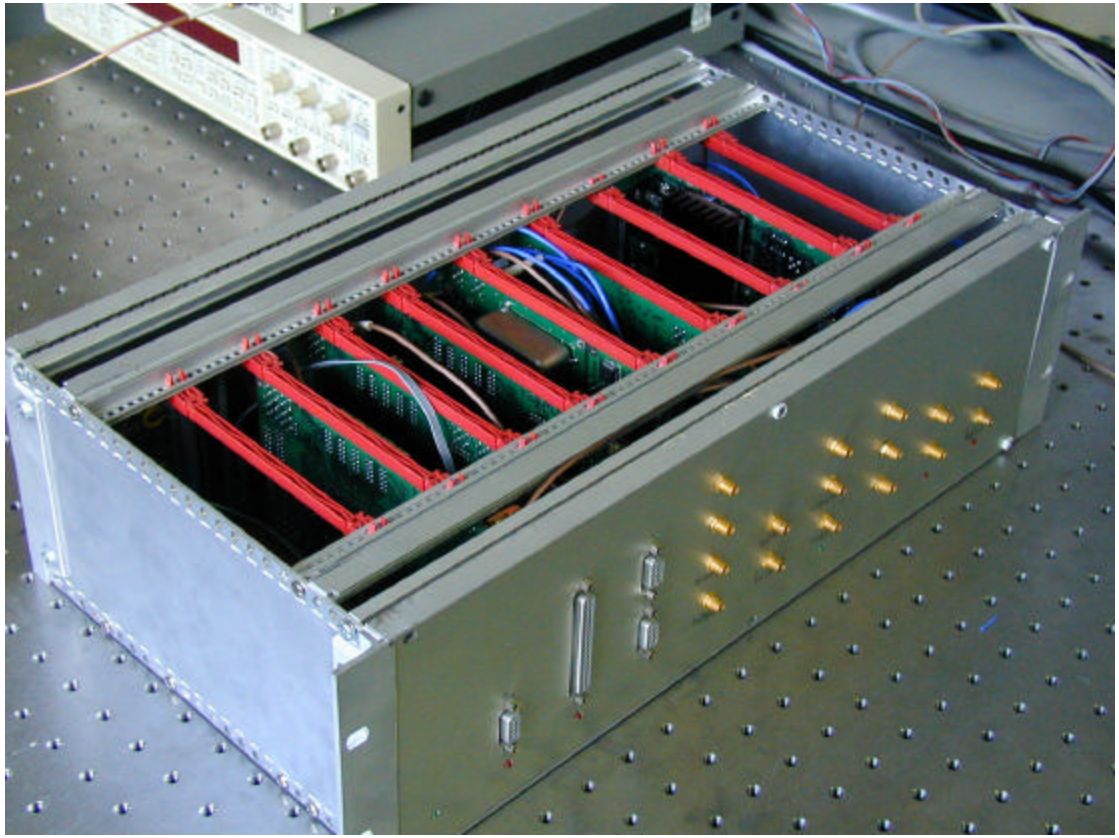
# Spécifications des performances du transfert de temps T2L2

- Stabilité entre horloges sol/bord

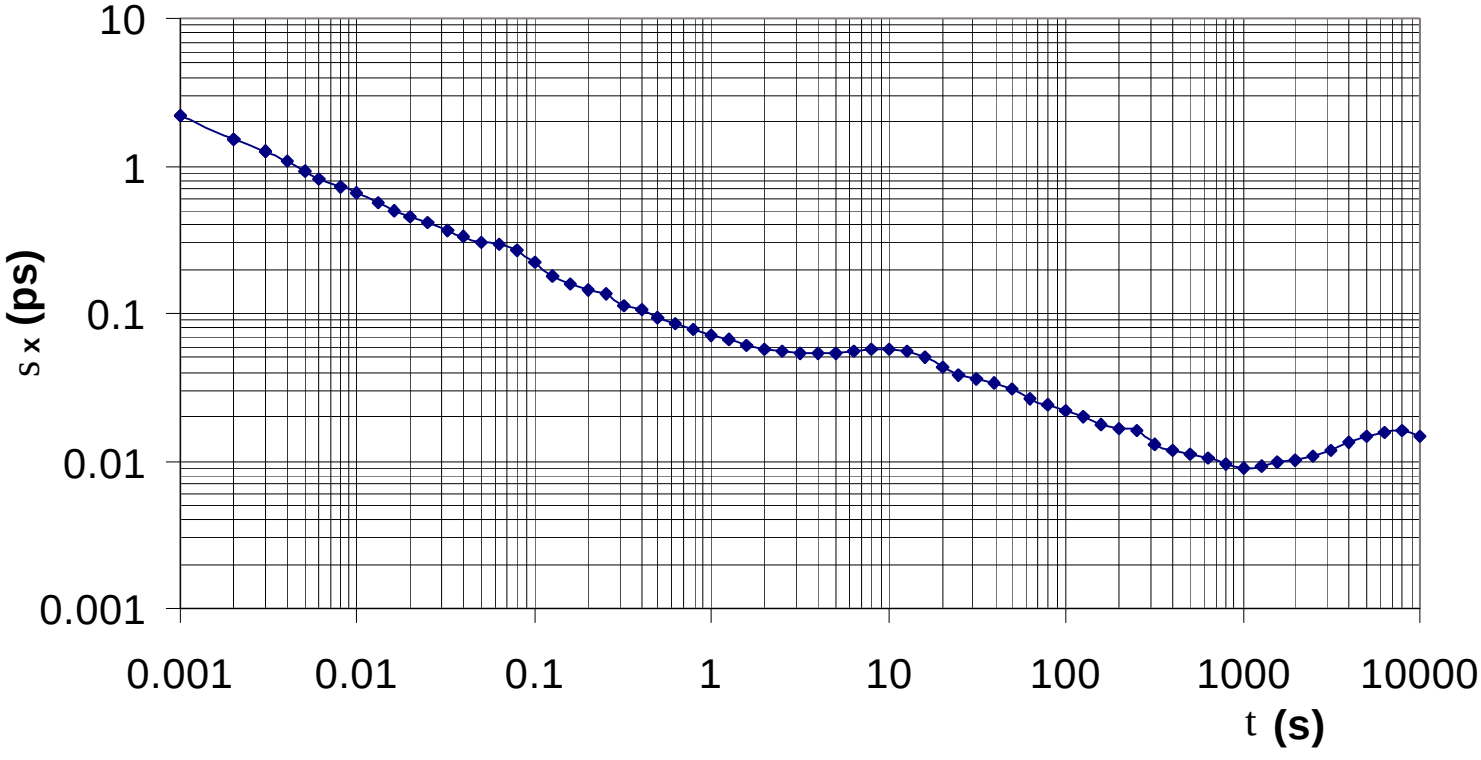



- Exactitude entre horloges au sol : 50 ps

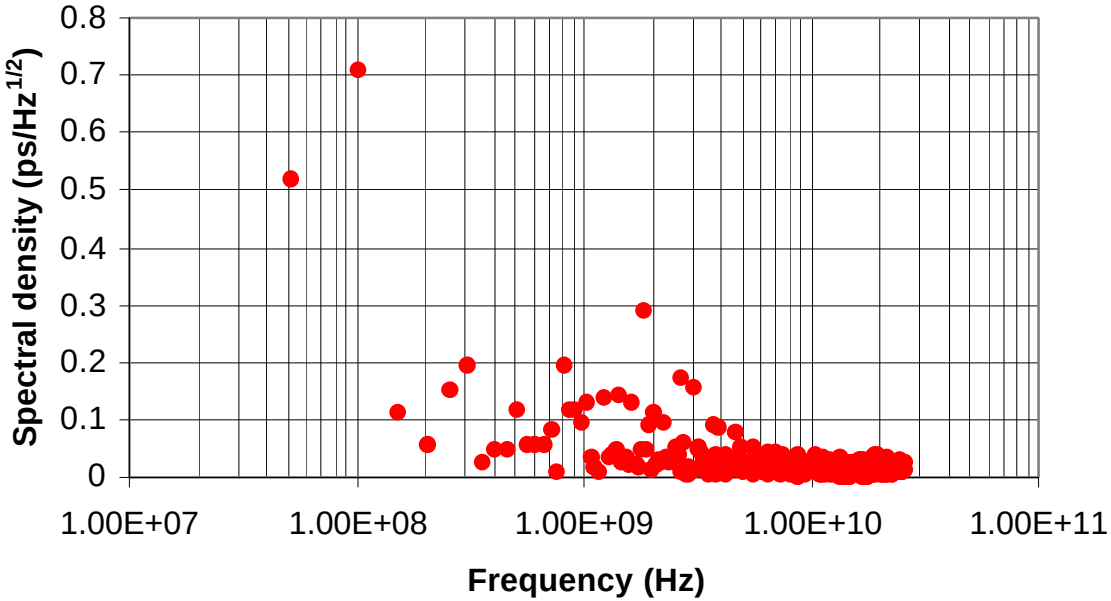
# OCA Event Timer
# Ground design



# OCA Event timer Time stability

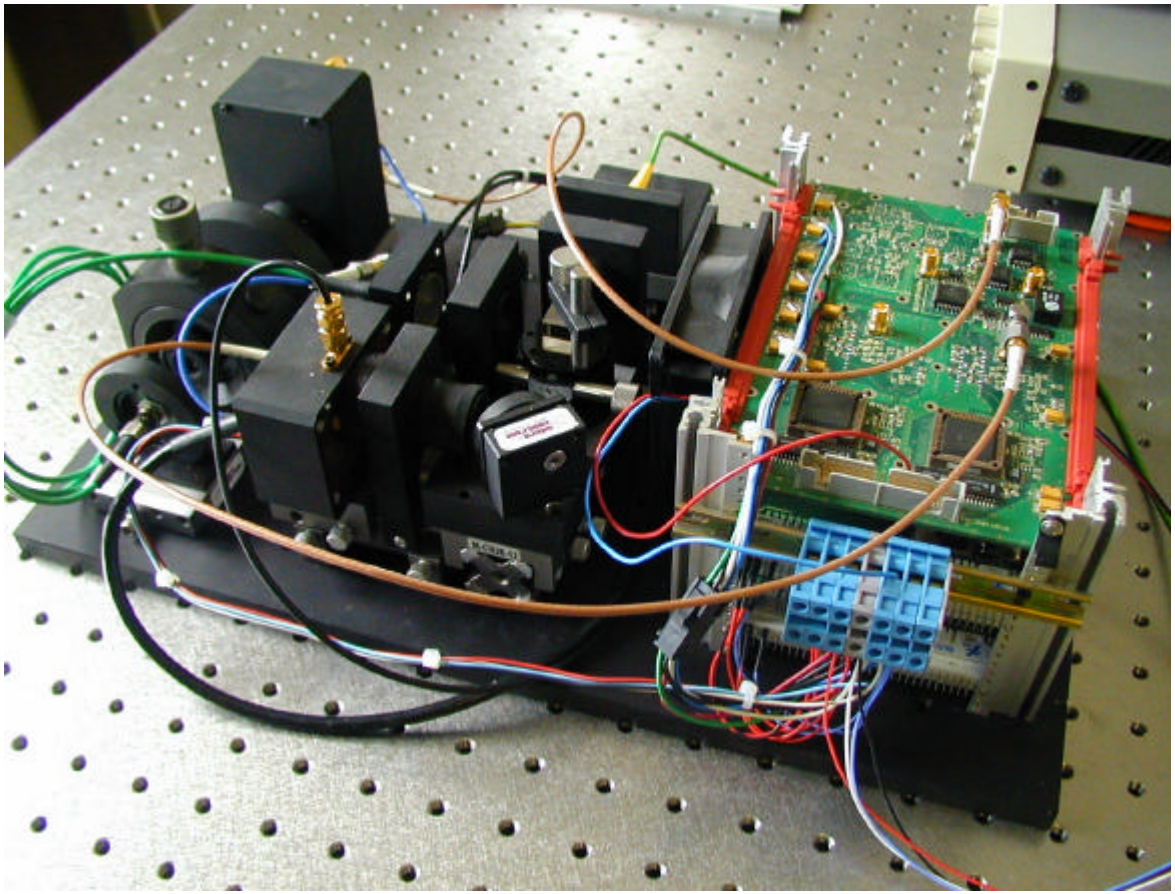


# Spectral density of the vernier linearity error

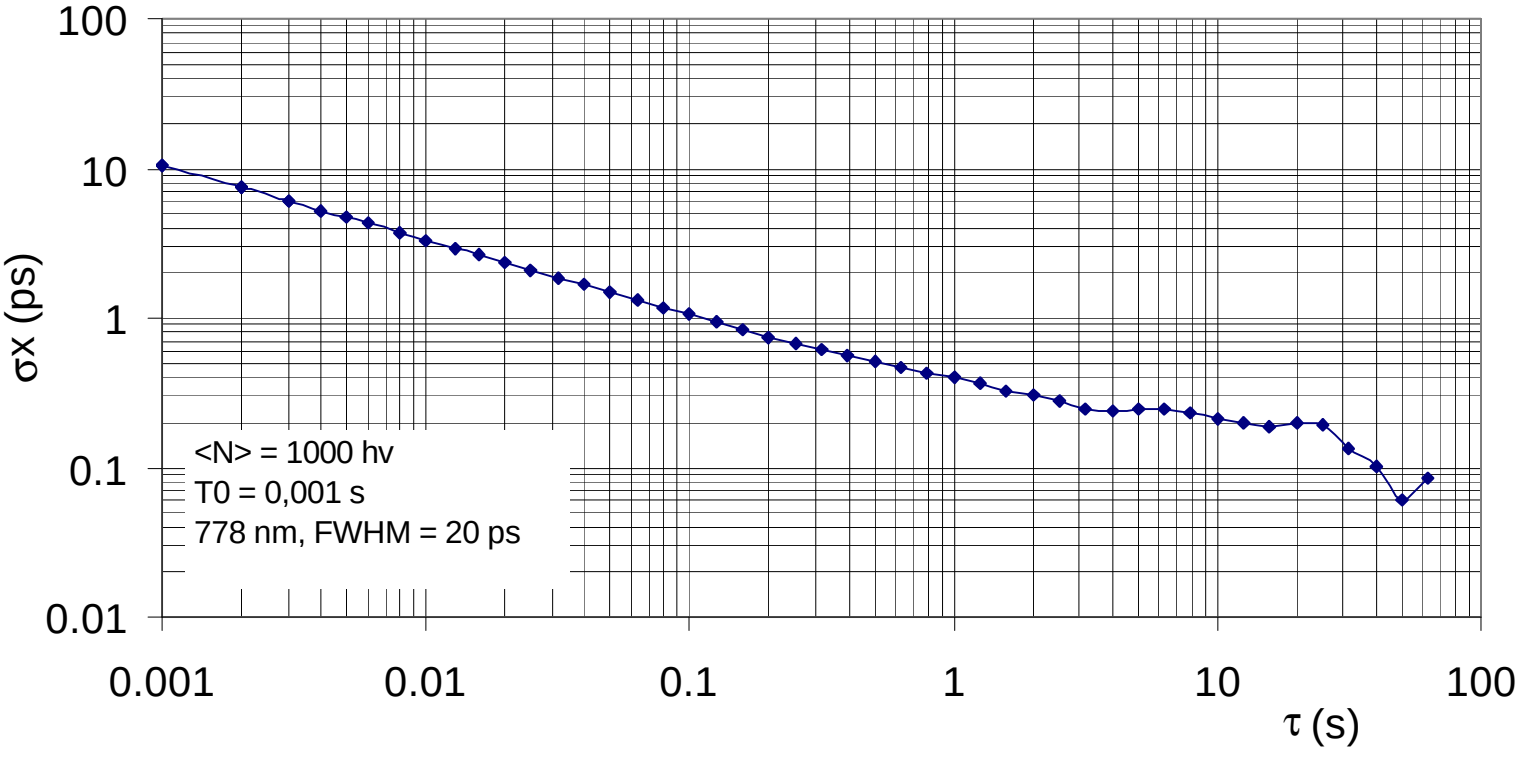



➡ Linearity: 1 ps rms, +/- 1.5 ps

# Space segment prototype



# Time stability @ 778n nm 1 kHz
# Overall Photo detection instrument

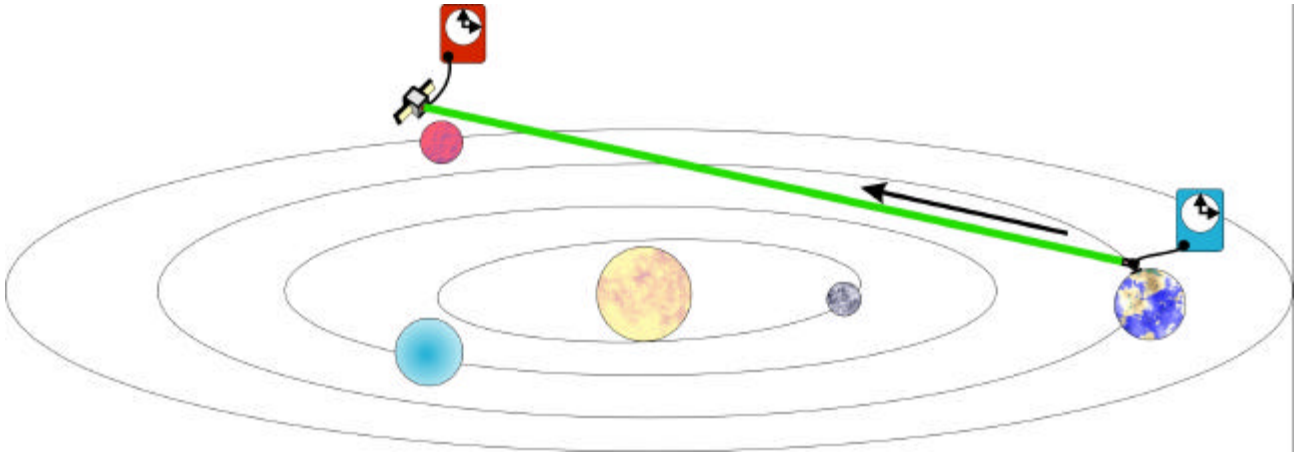


# Télémétrie InterPlanétaire Optique TIPO

- Télémétrie par laser deux voies
  - » Bilan de liaison $\alpha$ $1/d^4$
  - » Distance limite : Terre-Lune

- Télémétrie par laser une voie
  - » Bilan de liaison $\alpha$ $1/d^2$
  - » Distance limite : au-delà du système solaire
  - » Projet Tipo (Télémétrie InterPlanétaire Optique)

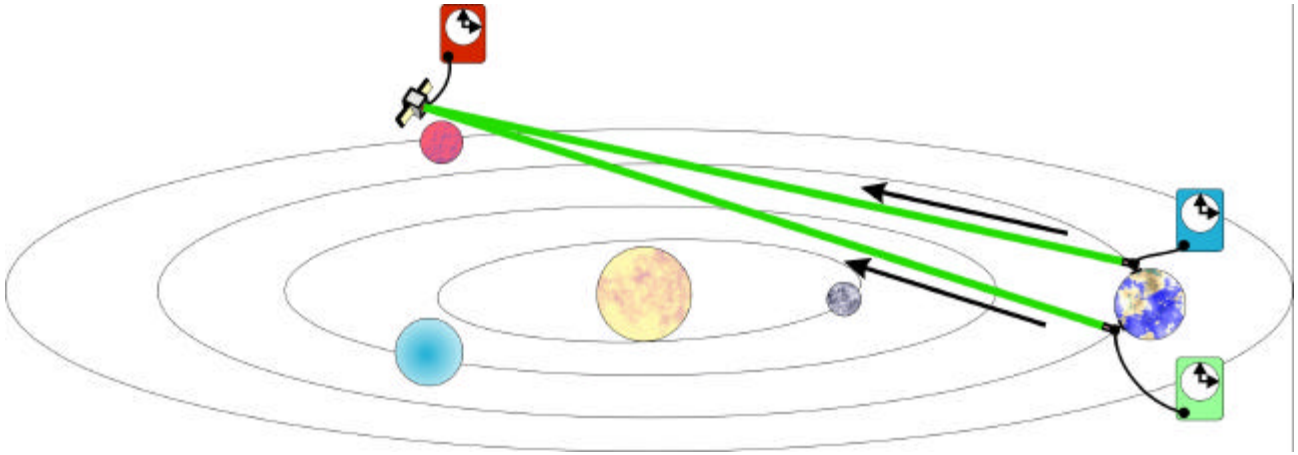
# Principe télémétrie laser une voie
# Mesure distance radiale



Stabilité des oscillateurs Rubidium : qqs $10^{-15}$ (1 jour)

Mesure différentielle sur 1 jour ~ qqs cm

# Principe  télémétrie laser une voie
# Mesure angulaire



Longueur de base au sol ~ 10 000 km
Mesure différentielle entre les stations : 1 cm
Synchronisation des horloges sol : 30 ps

Détermination angulaire : 2 10-9 rd = 200 m @ 100 millions de km

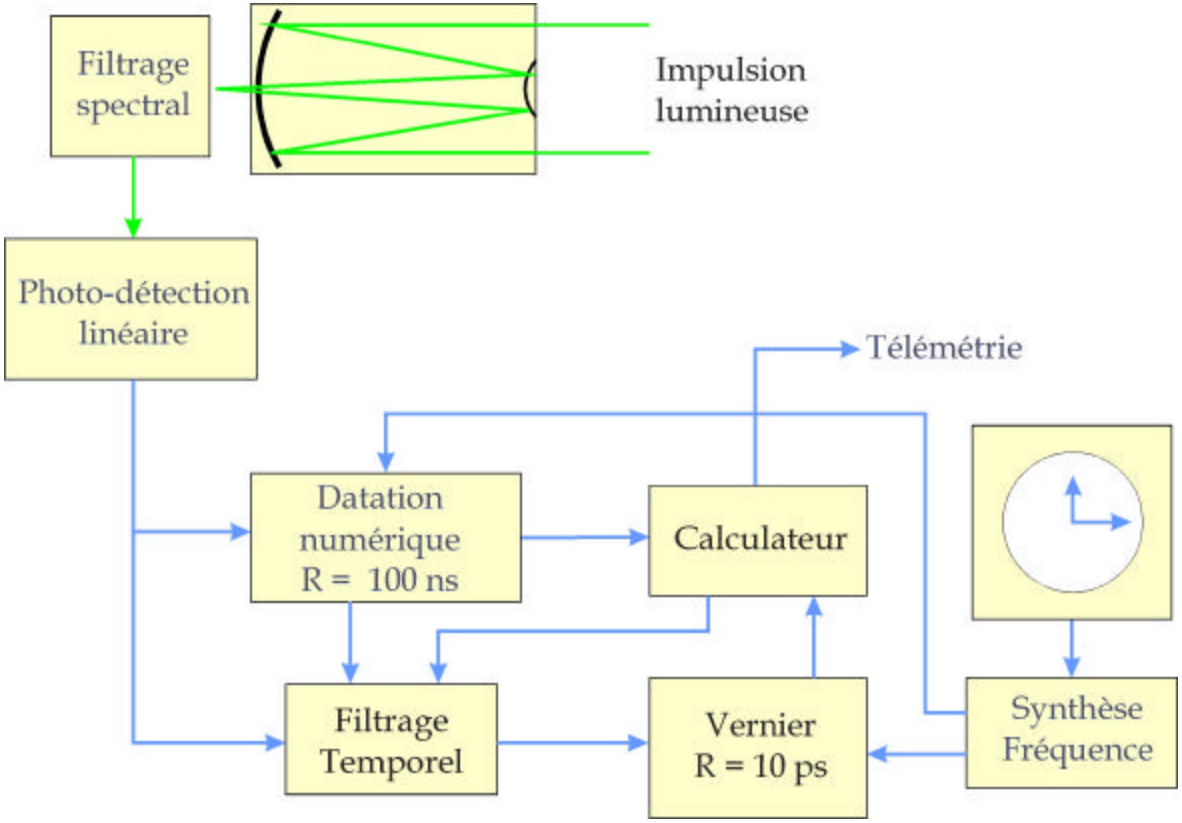
# Bilan de liaison Terre-Mars

- Données
  - » Distance : $60\ 10^6$ km < d < $380\ 10^6$ km
  - » Divergence laser : $\theta = 5$ arcsec
  - » Énergie par tir : E = 300 mJ
  - » Surface de détection $S = 8\ 10^{-3}$ m² (100 mm)

- Signal : $0.8 < N_{laser} < 31$ e-

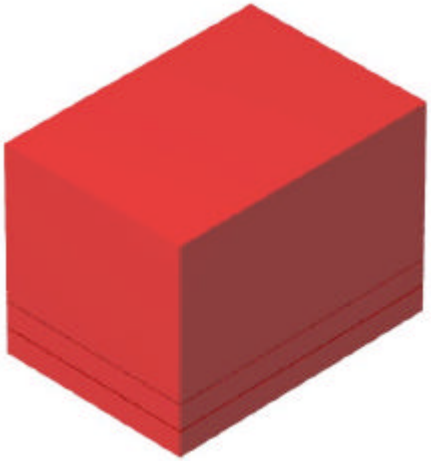
- Filtrage temporel basé sur des impulsions laser émises avec un code pseudo-aléatoire

# Synoptique Instrument Spatial



# Instrument Spatial

- Volume :
  - » Electronique : 220 x 155 x 160
  - » Optique : 110 x 120
- Masse : 9 kg



Horloge

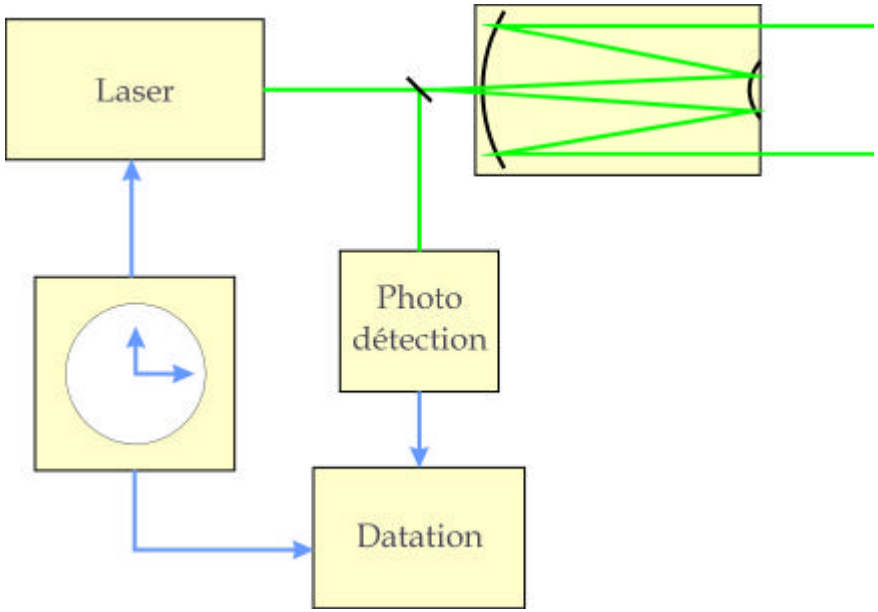
Chronométrie

Convertisseur

Optique Photo-détection

# Synoptique instrument sol

- Émission, pas de réception
- Codes pseudo-aléatoires
- Datation départ



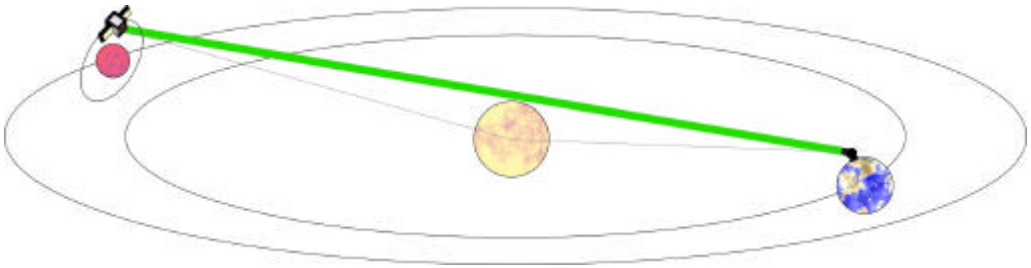
# Station Laser Lune OCA

# Détermination du paramètre γ

- Effet Shapiro :

$$\Delta t = \frac{(1+\gamma)GM_s}{c^3} \ln\left(\frac{R_0 + R_1 + \rho}{R_0 + R_1 - \rho}\right)$$

- Avec
  - » $R_0$ : Distance Terre Soleil
  - » $R_1$ : Distance Mars Soleil
  - ≈ $\rho$ : Distance Terre Mars
  - ≈ $\gamma$ : Paramètre PPN
  - » G : 6.67 $10^{-11}$ $m^3kg^{-1}s^{-2}$
  - » $M_s$ : Masse solaire : 2 $10^{30}$ kg

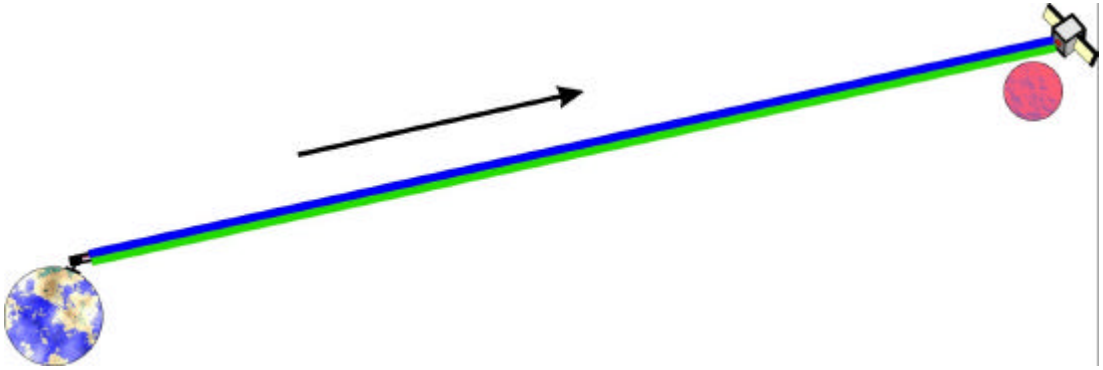


# Analyse du champ de gravité Mars

- Champ de gravité local
  - » mascon
  - » volcan
- Champ de gravité global
  - » masse de la planète
  - » prévision d’orbites

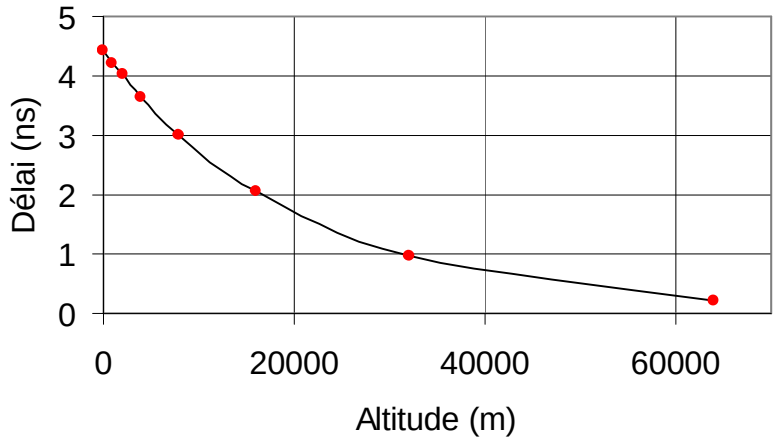
# Navigation

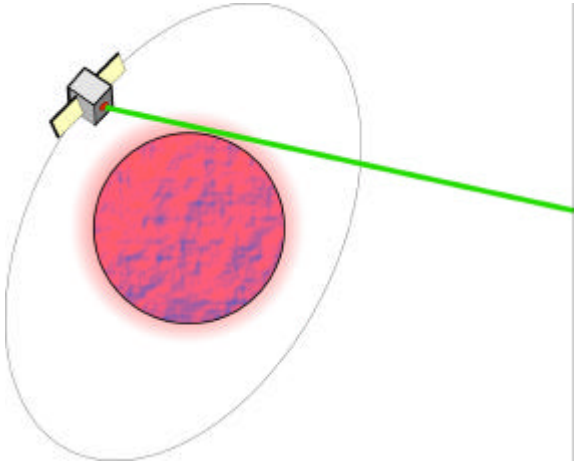
- Différentielle radiale : centimétrique/jour
- Absolue plan normal : 200 m



# Mesure atmosphérique optique

$$\delta t = \frac{2}{c}\int_0^{\infty}(1-n(x))dx$$

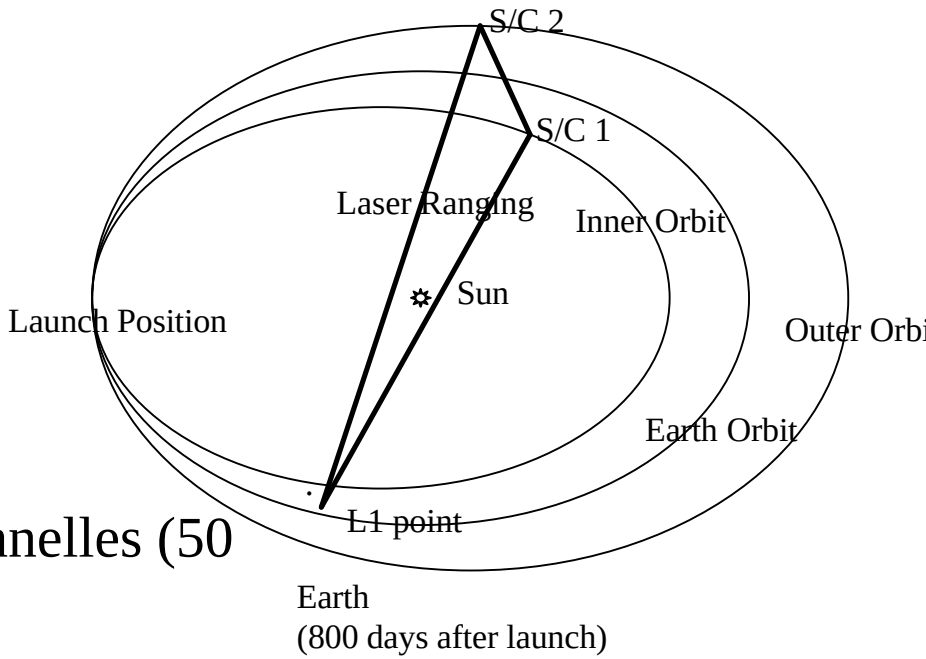


Hsat = 500 km : durée analyse 40 s

# *A*STROD*D*ynamical **S**pace **T**est of **R**elativity using **O**ptical **D**evices

- Physique fondamentale
  - » Mesure de γ
  - » dG/dt
- Astro dynamique
  - » Moment angulaire du soleil
  - » planète et astéroïde : Orbite et Masse
- Détection des Ondes gravitationnelles (50 µHz-50 mHz)
  - » trou noir
  - » Etoiles binaires

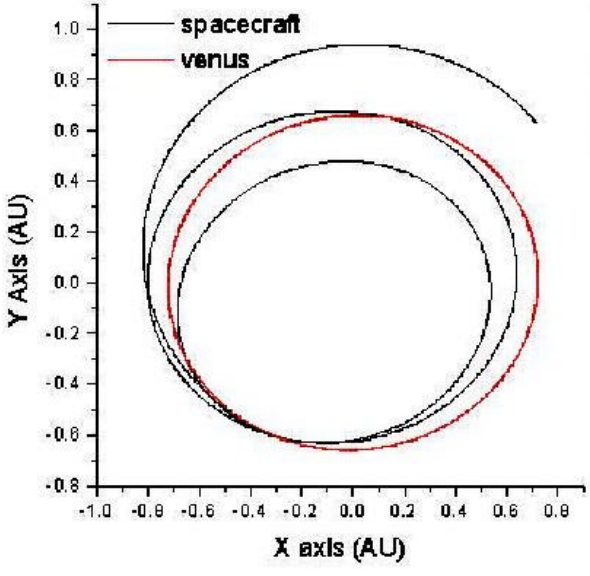


# Mini-Astrod

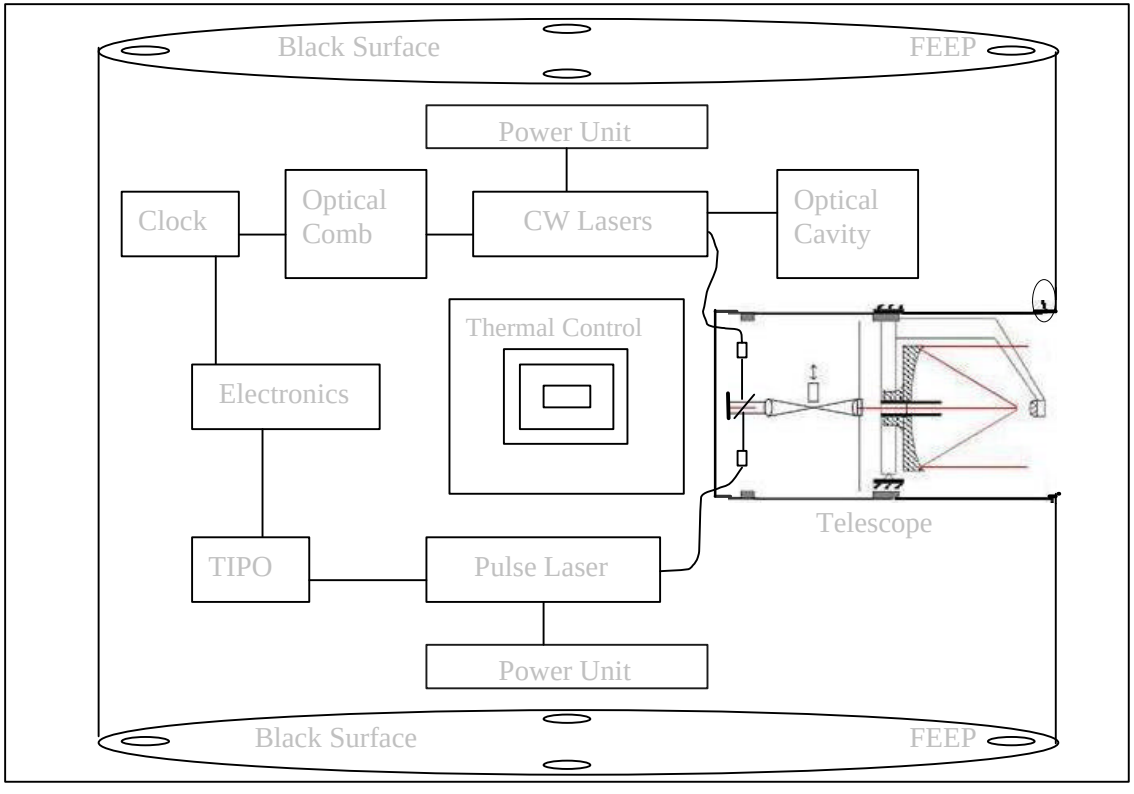
- Concept de la mission :
  - » 1 sonde en orbite autour du soleil : 300 jours
  - » 1 station au sol

- Configuration :
  - » Transpondeur optique
  - » Télémétrie laser pulsée : TIPO
  - » Comparaison fréquence laser / Césium
  - » Traînée compensée

- Lancement 2008



# Schematic Diagram of the Mini-ASTROD Spacecraft

- Cylindrical spacecraft with diameter 2.5m, height 2m and surface covered with solar panels.
- In orbit, the cylindrical axis is perpendicular to the orbit plane with the telescope pointing toward the ground laser station.
- Power : 500 W
- Total mass: 300-350 kg,  Payload mass: 100-120 kg.

# Schematic Diagram of the Mini-ASTROD Spacecraft