



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



**CNRS  
O.C.A.**

**UMR Gemini**

Etienne Samain

Jonathan Weick

Patrick Vrancken

Franck Para

Robert Dalla

Dominique Albanese

Jean-Marie Torre

**CNES**

Philippe Guillemot

Karine Gasc

Isabelle Petitbon

## Transfert de Temps par Lien Laser L'expérience T2L2 sur Jason-2



SF2A Astronomie Fondamentale - Paris – 27 Juin 2006



- 🍏 Principe de T2L2
- 🍏 Historique
- 🍏 T2L2 sur Jason-2
- 🍏 Objectifs de la mission
- 🍏 Bilan de performance préliminaire
- 🍏 Bilan d'avancement
- 🍏 Conclusion

# Principe de T2L2



## 🍏 Datation de pulses laser émis depuis une station laser en direction du satellite

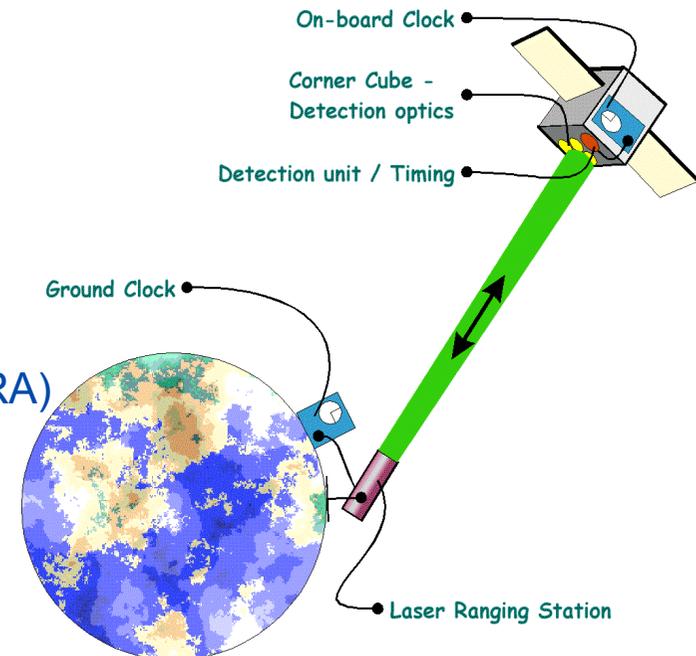
- | Date de départ de la station  $t_{\text{tir}}$  (datation sol)
- | Date d'arrivée au satellite  $t_{\text{bord}}$  (datation bord)
- | Date de retour à la station  $t_{\text{retour}}$  (datation sol)

## 🍏 Instrumentation à bord :

- | Oscillateur, Photo détecteur et dateur, Réflecteur (LRA)

## 🍏 Instrumentation sol :

- | Station de télémétrie Laser avec détecteur, dateur et horloge



## 🍏 Transfert de temps entre une horloge sol et l'oscillateur bord

- | Constitution de triplets de mesures  $\{t_{\text{tir}}, t_{\text{bord}}, t_{\text{retour}}\}$
- | Calcul de l'écart sol-bord :

$$\Delta t = \frac{t_{\text{retour}} - t_{\text{tir}}}{2} - \Delta t_{\text{relativité}}$$



- 🍏 1972 : Concept de transfert de temps par lien laser : LASSO (ESA, CNES)
- 🍏 1992 : Transfert de temps entre McDonald, Texas et Grasse, France avec LASSO sur Meteosat P2
  
- 🍏 1994 : Proposition T2L2 (OCA)
- 🍏 1996 : T2L2 sur MIR 99 (Phase A)
- 🍏 1997 : T2L2 sur ISS avec ACES (Phase B)
- 🍏 2002 : T2L2 sur un microsatellite Myriade CNES
  
- 🍏 **2005 : T2L2 accepté sur JASON 2 en tant que passager**
  - ] Phase B : Septembre - Décembre 2005
  - ] Phase C/D en cours
  - ] Livraison de l'instrument : fin 2006
  - ] Mise en orbite Jason-2 : mi-2008



## Instrumentation Jason-2

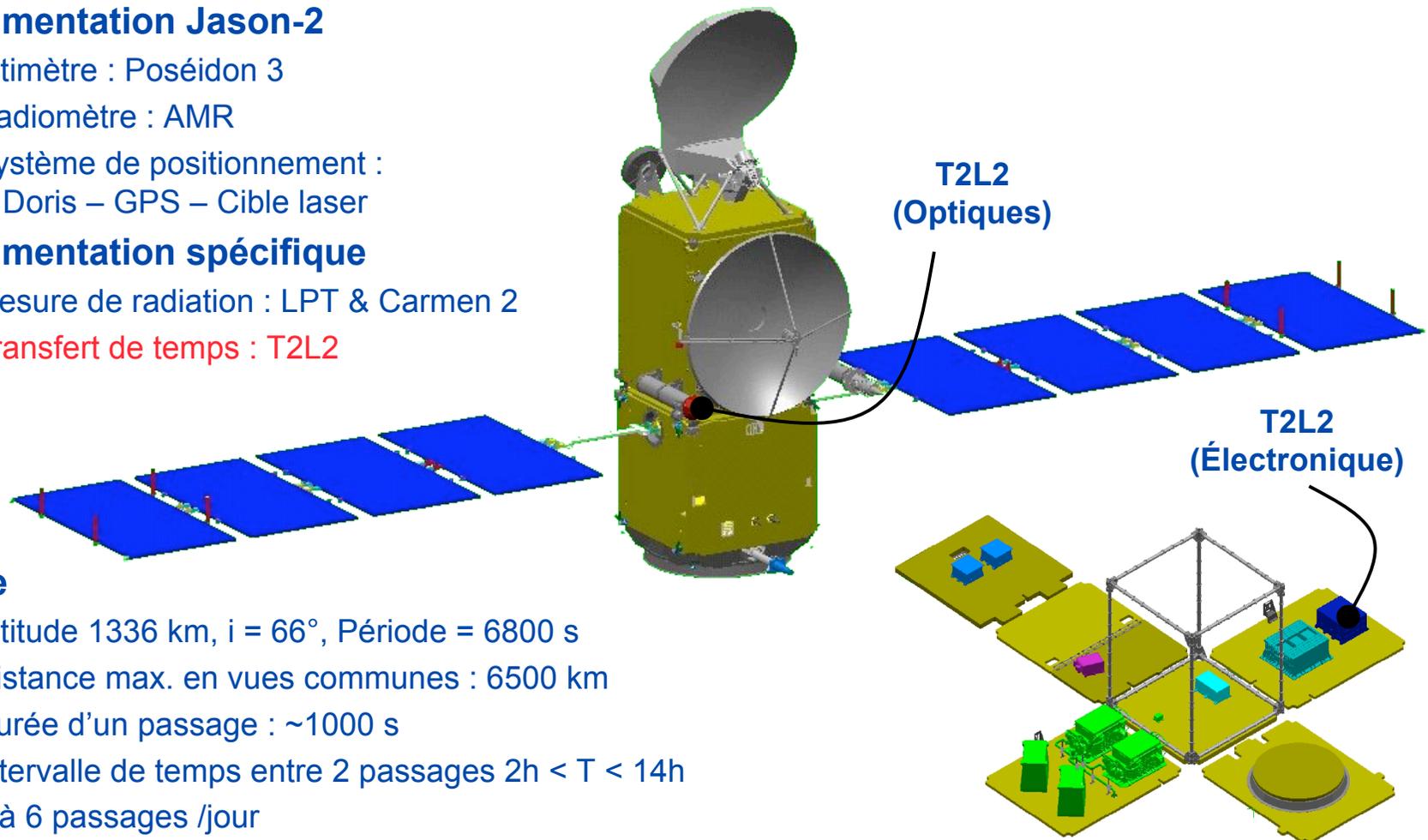
- | Altimètre : Poséidon 3
- | Radiomètre : AMR
- | Système de positionnement :  
Doris – GPS – Cible laser

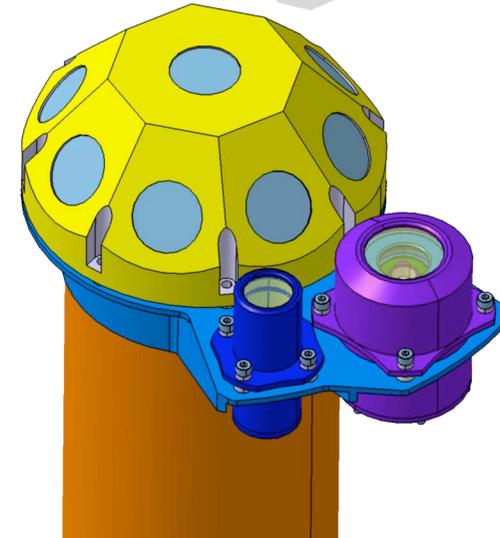
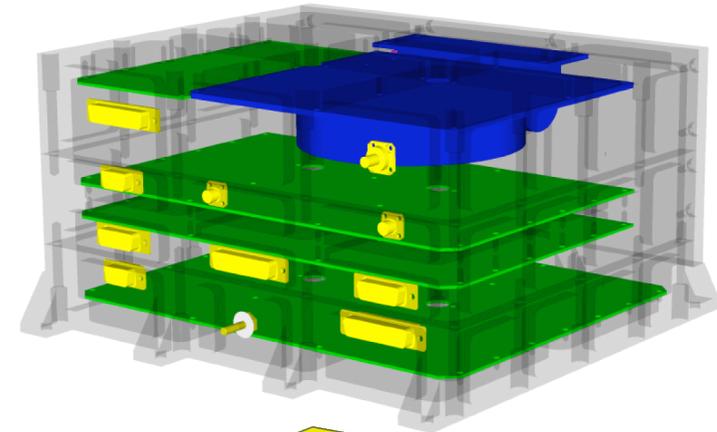
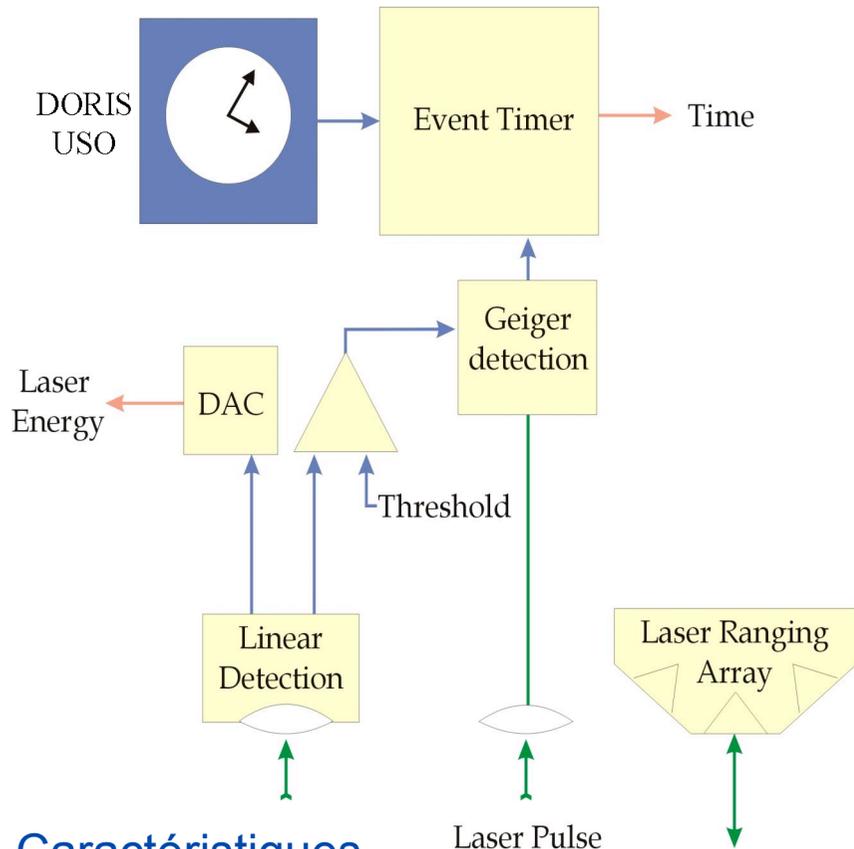
## Instrumentation spécifique

- | Mesure de radiation : LPT & Carmen 2
- | **Transfert de temps : T2L2**

## Orbite

- | Altitude 1336 km,  $i = 66^\circ$ , Période = 6800 s
- | Distance max. en vues communes : 6500 km
- | Durée d'un passage :  $\sim 1000$  s
- | Intervalle de temps entre 2 passages  $2h < T < 14h$
- | 3 à 6 passages /jour





## Caractéristiques

🍏 Masse : 8,0 kg (Elect.) + 1.1 kg (Optique)

🍏 Power : 40 W

🍏 Volume : 270x280x150 mm<sup>3</sup> (Elect.) et 160x116x102 mm<sup>3</sup> (Optique - Ø 30x100 & Ø62x100)



## 🍏 Validation technologique du transfert de temps optique

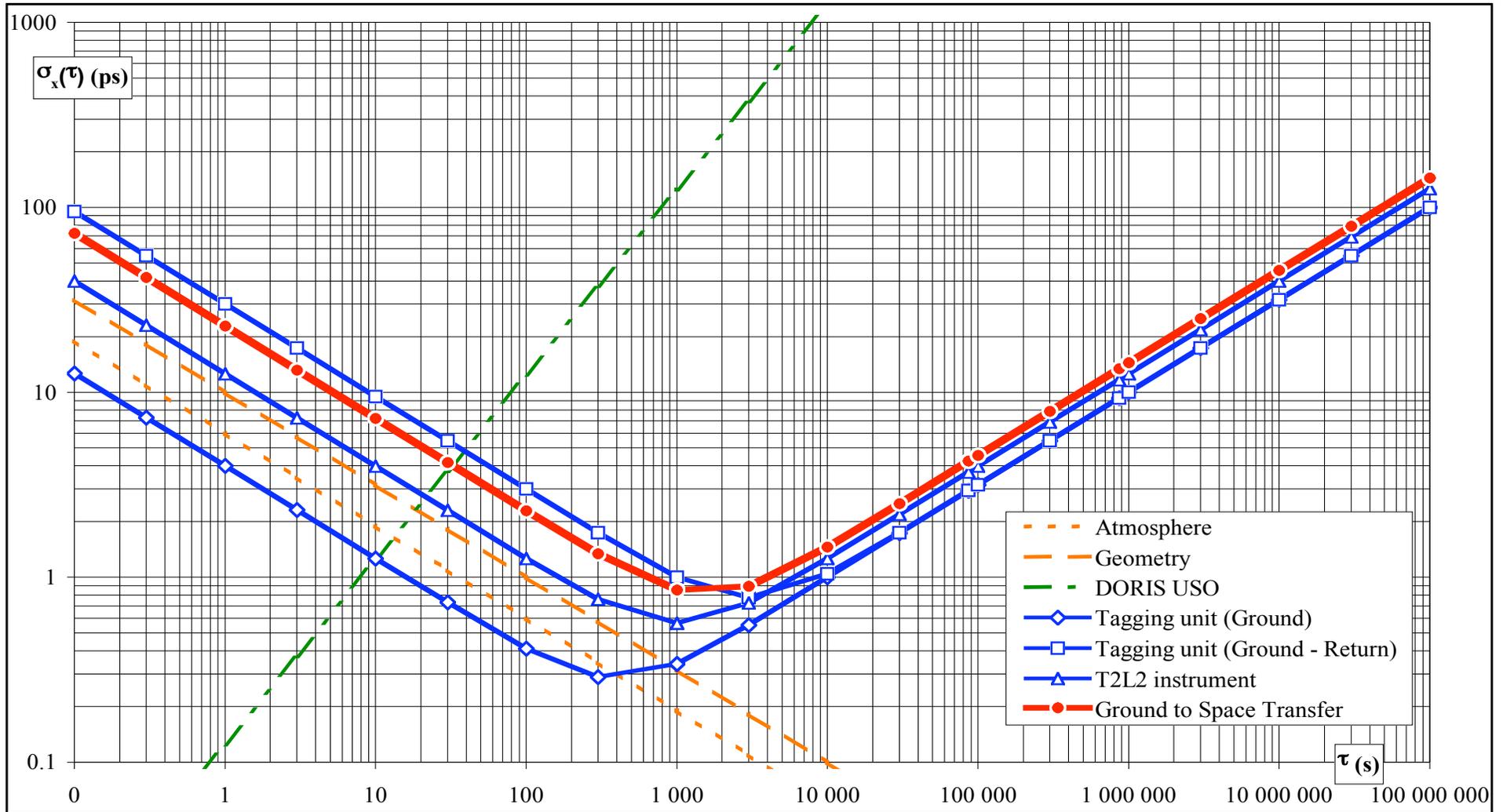
- └ Validation du principe de l'expérience
- └ Vérification de la précision et de la stabilité temporelle
- └ Amélioration de la télémétrie laser par décorrélation des effets de cible
- └ Évaluation du principe de transfert de temps une voie pour expériences futures (TIPO)

## 🍏 Applications scientifiques

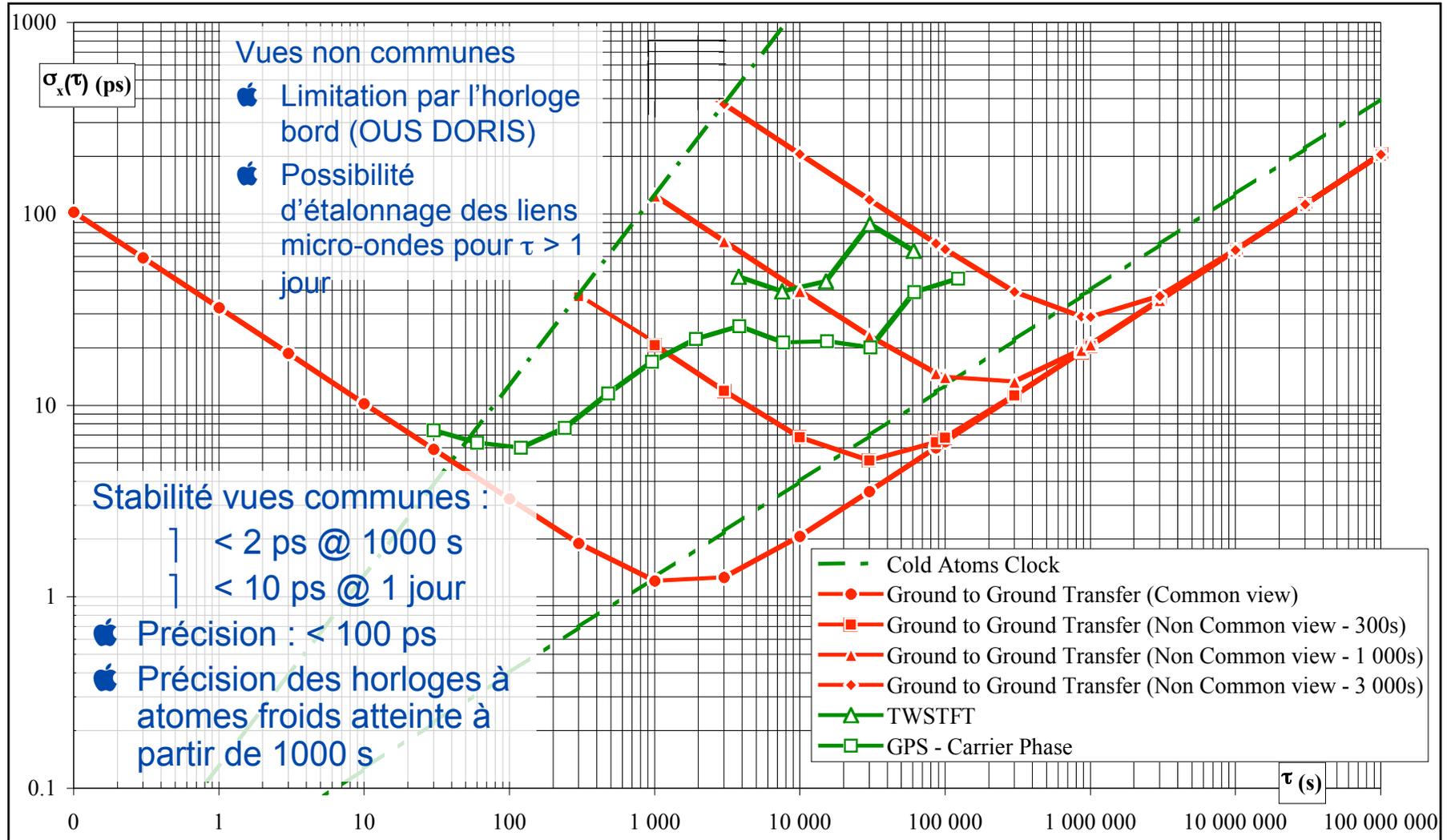
- └ Métrologie T/F
- └ Physique fondamentale

## 🍏 Caractérisation de l'OUS DORIS vis-à-vis de l'environnement radiatif

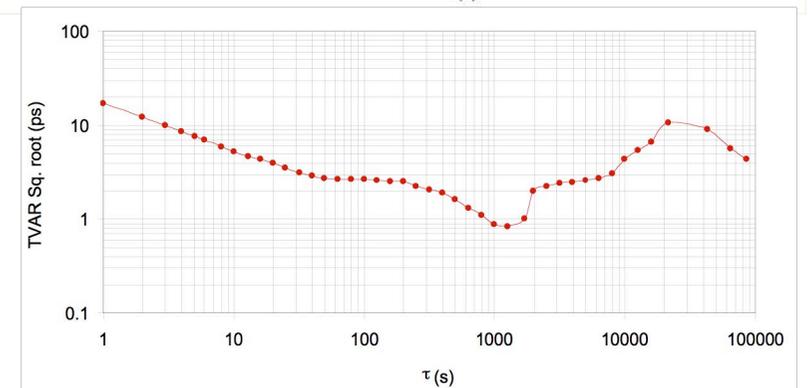
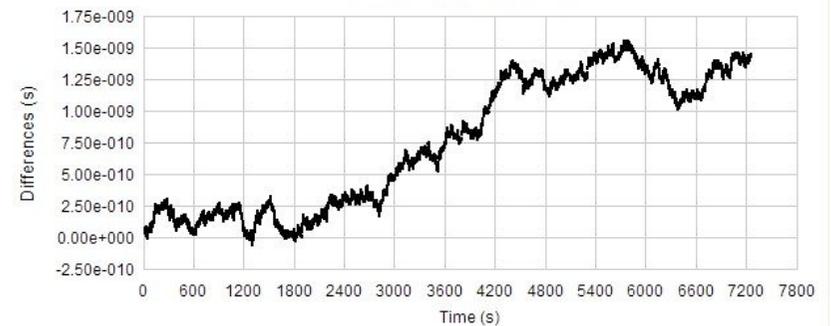
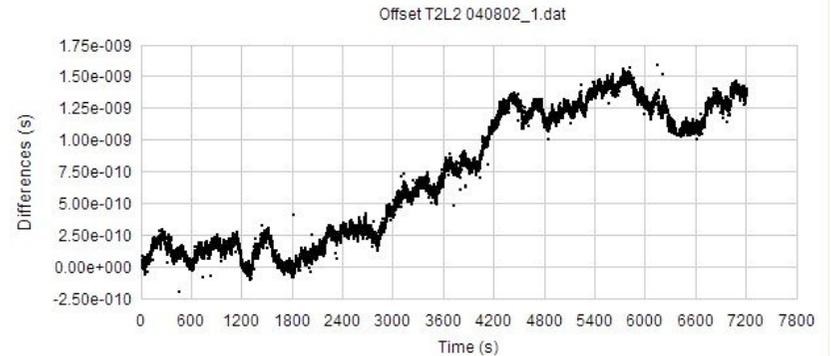
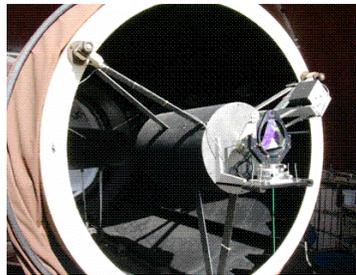
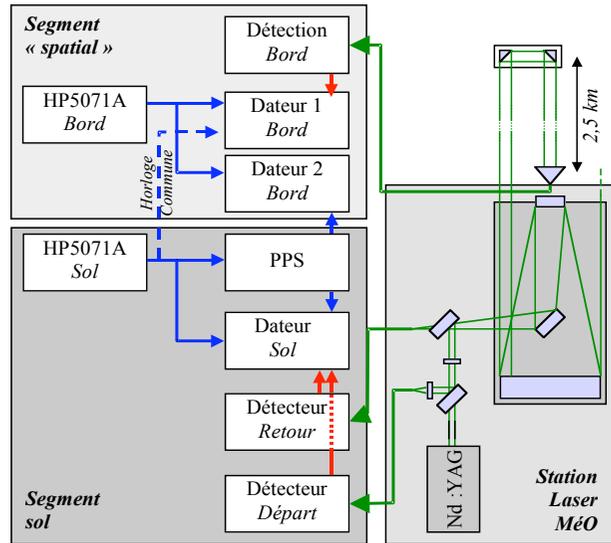
- └ Étude et évaluation de la dérive de l'oscillateur au-dessus de l'Atlantique Sud
- └ Corrélation avec les mesures de radiation fournies par Carmen-2
- └ Amélioration du positionnement DORIS



# Transfert de temps sol-sol



## Expérience de transfert Sol-Sol (2004)



### Stabilité temporelle :

└ Bruit blanc de phase sur le court terme :

$$\sigma_x(t) = 17 \times 10^{-12} \times \tau^{-1/2} @ \tau_0 = 1 \text{ s}$$

└ Dérive long terme : < 5 ps/jour

## 🍏 Bancs de tests T2L2

### ] Carte détection

| Précision : 15 ps

| Stabilité (10 Hz,  $\tau_0 = 0.1$  s) :

- ♣  $\sigma_x(\tau) = 5 \times 10^{-12} \times \tau^{-1/2}$   
 $\tau = 0.1$  à 300 s

- ♣  $\sigma_x(\tau) = 300 \times 10^{-15} \times \tau^0$   
 $\tau > 300$  s

| Dérive : < 12 ps/h

### ] Carte datation

| Précision asynchrone : 2 ps

| Stabilité de la synthèse de fréquence

- ♣  $\sigma_x(\tau) = 1.3 \times 10^{-13} \times \tau^{-1/2}$   
 $t = 0.01$  à 100 s

| Stabilité (synchrone,  $\tau_0 = 0.025$  s) :

- ♣  $\sigma_x(\tau) = 1.3 \times 10^{-13} \times \tau^{-1/2}$   
 $\tau = 0.01$  to 100 s

- ♣  $\sigma_x(\tau) = 8 \times 10^{-16} \times \tau^0$   
 $\tau > 10$  s

| Dérive : < 1 ps/h





- 
- |  |                 |
|--|-----------------|
| 🍏 Début des phases C/D                           | Début 2006      |
| 🍏 Mise au point des maquettes métrologie à l'OCA | Jan.-Avril 2006 |
| 🍏 Mise au point des MI & MV                      | Mai 2006        |
| 🍏 Tests performances avec le MI                  | Juil. 2006      |
| 🍏 Tests sur MV                                   | Déc. 2006       |
| 🍏 Livraison du MV à Alcatel                      | Début 2007      |
| 🍏 Tests en intégration                           | 2007            |
-



## 🍏 Expérience sol T2L2

- | Validation des performances T2L2, stabilité temporelle proche des prévisions

## 🍏 Instrument T2L2

- | Bancs de tests : Résultats en accord avec les attentes
- | Modèle d'Ingénierie livré en juillet pour mesures et tests
- | Livraison du modèle de vol prévu pour début 2007

## 🍏 T2L2 offre :

- | Transfert de temps au niveau de la ps
  - | Gain d'un à deux ordres de grandeur par rapport aux liens micro-ondes actuels
- | Communautés Télémétrie laser et Temps/Fréquence
  - | Possibilité de lier les horloges à atomes froids et les stations laser

## 🍏 Lancement de Jason-2 prévu en juin 2008

- | Durée de mission : 2 ans (Jason : 5 ans)