



Observatoire
de la CÔTE d'AZUR



Expériences de Transfert de Temps par Lien Optique à l'OCA

*P. Exertier, N. Martin, C. Courde, M. Laas-Bourez, Cl. Foussard,
E. Samain, Ph. Guillemot^{CNES}*



Objectifs de la mission

_ Validation T2L2

Transfert de temps	sol -> Espace	
	sol - sol	en Vue commune
	sol - sol	en Vue NON commune

_ Métrologie Temps-Fréquence

Comparaison d'horloges sol

Echelles de temps

meilleure exactitude possible

les transferts de temps 2-way et GNSS doivent être comparés par des méthodes indépendantes

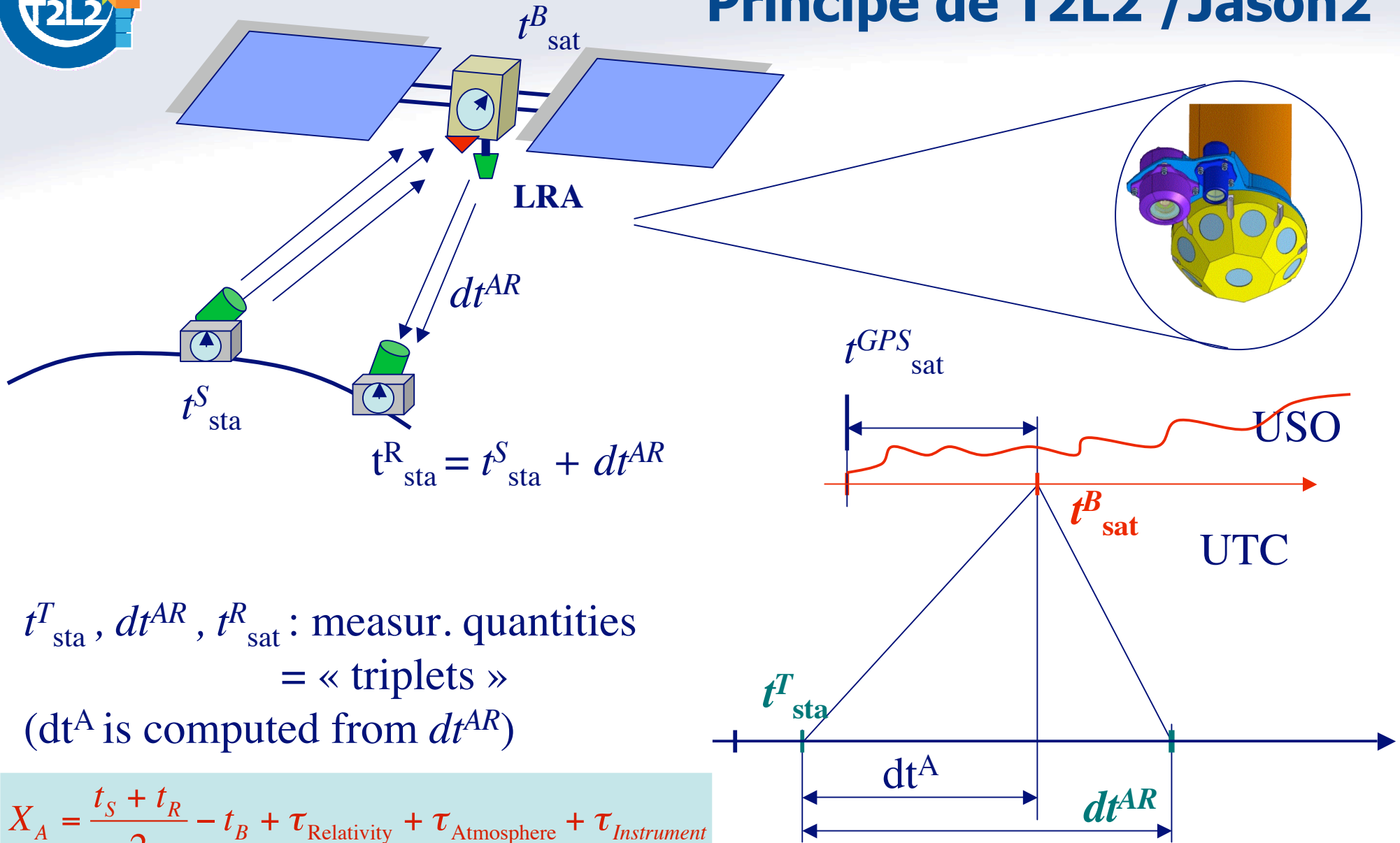
Etalonnage des liens RF

_ Physique Fondamentale

Anisotropie de c



Principe de T2L2 / Jason2



t_{sta}^T , dt^{AR} , t_{sat}^R : measur. quantities
= « triplets »

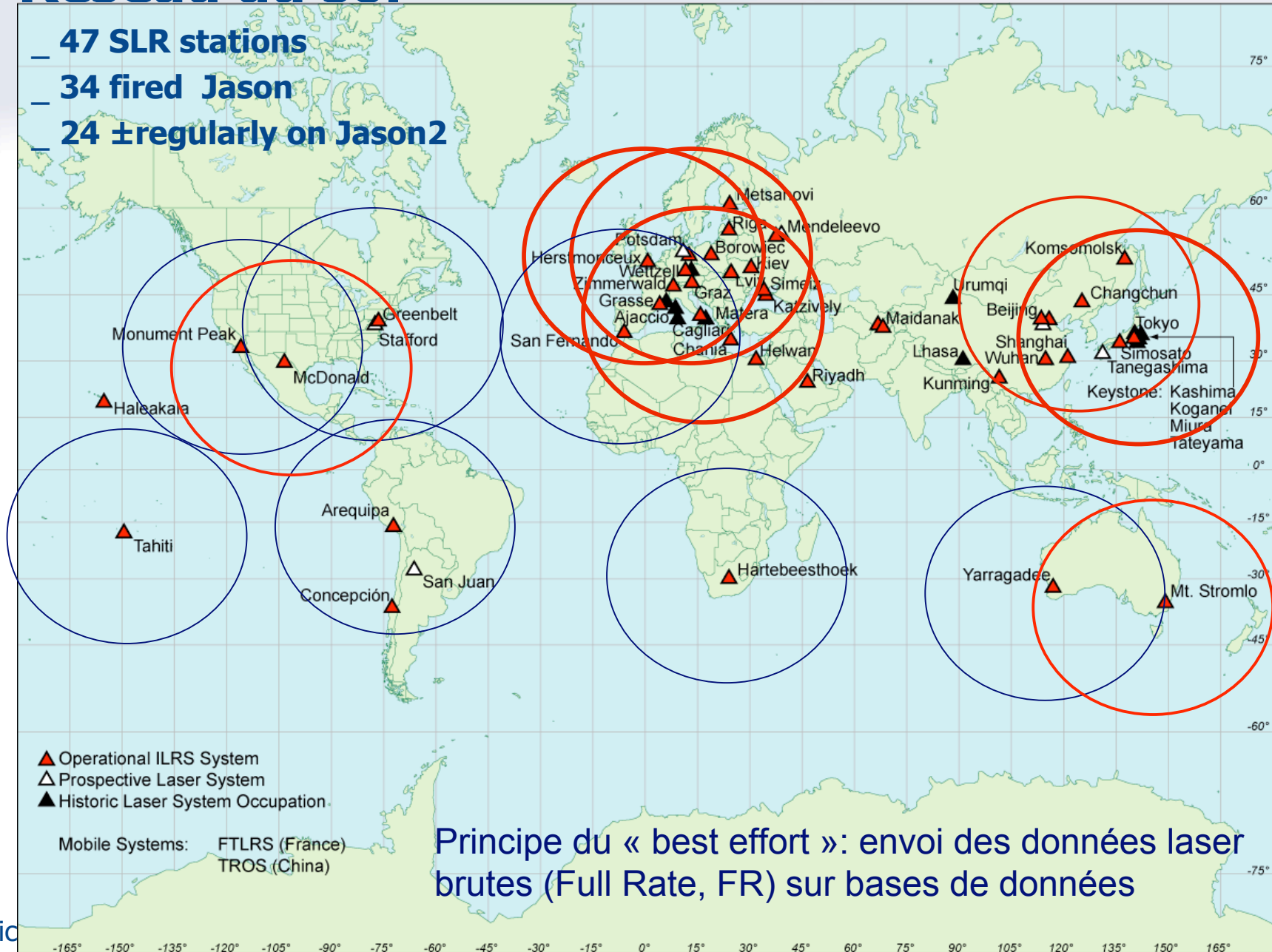
(dt^A is computed from dt^{AR})

$$X_A = \frac{t_S + t_R}{2} - t_B + \tau_{\text{Relativity}} + \tau_{\text{Atmosphere}} + \tau_{\text{Instrument}}$$



Réseau au sol

- _ 47 SLR stations
- _ 34 fired Jason
- _ 24 ± regularly on Jason2





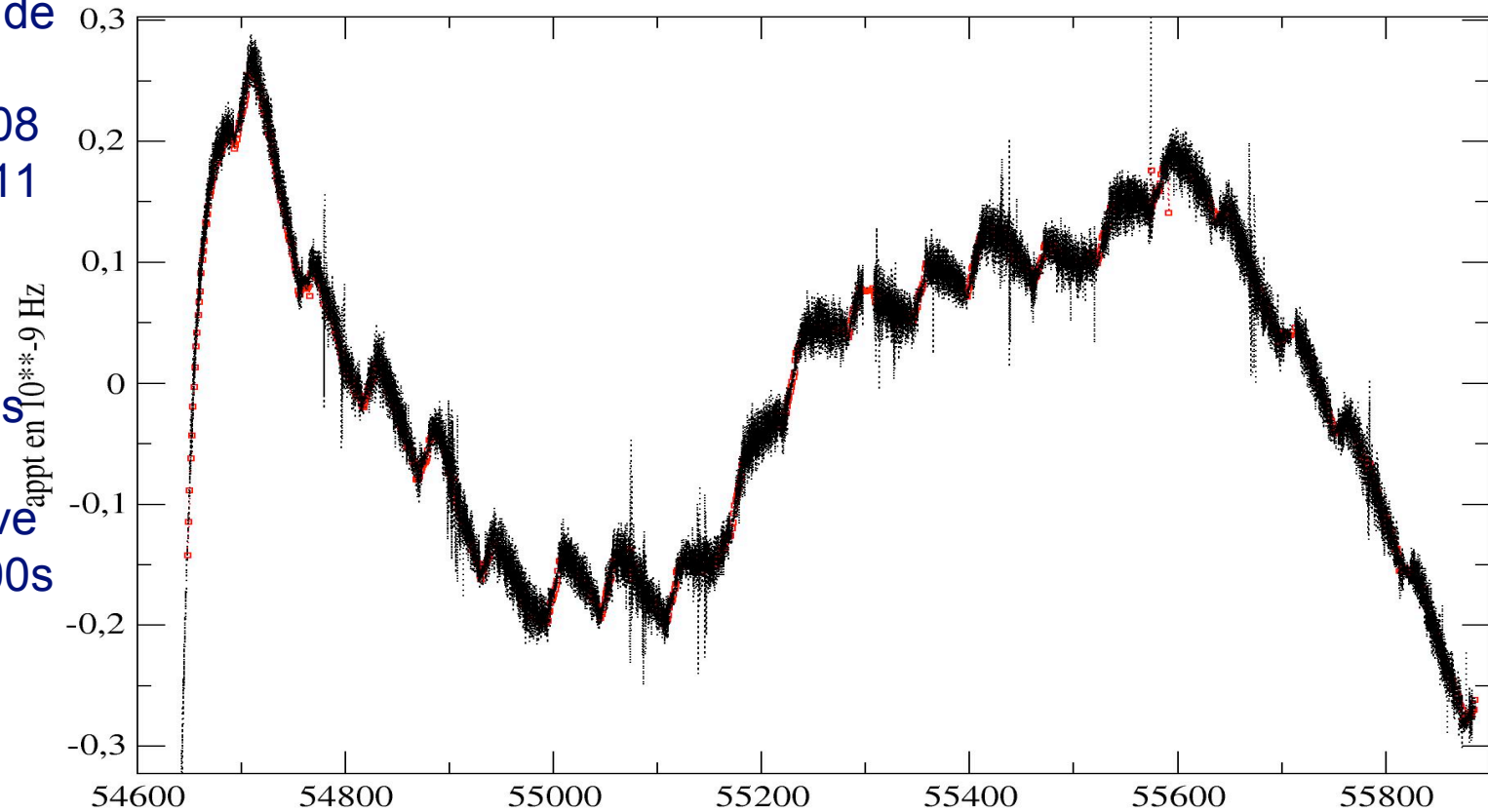
L'horloge à bord de Jason2

DORIS à bord de J2 :
variations de fréq. de
l'OUS de :
 ± 20 ns /sec en 2008
 ± 40 ns /sec en 2011

traitement local des
triplets avec
estimation de dérive
de ± 30 μ sec / 1000s

Historique des appts Freq DORIS (- quadratiq. fit)

(juin 2008 a nov 2011; moy/Jour en rge)





Organisation & Centre de Mission Sci.

La mission T2L2 est organisée autour d'un double Centre de Mission :

CNES - Toulouse, le Centre Instrument (CMI) met en forme les données spatiales

UMR Geoazur, le Centre Scientifique (CMS) qui met en oeuvre les analyses (méthodologie) et les traitements

Equipe Astrogateo /UMR Geoazur : assure le développement R&D, les opérations au sol (étalonnage, observation /télémétrie laser)

« Service » : assurer le maintien d'une base de données/résultats homogène sur le long terme, avec accès aisé

Pb : sources de données très hétérogènes et non permanentes :

Télémétrie laser, T2L2, GPS, Two-Way, Horloges (fontaines,... et liens), OUS DORIS



Méthode

Le transfert de temps sol espace est une synchronisation entre 2 horloges : au sol près de la station laser et dans l'espace à bord de Jason2 (OUS Doris)

Les données sol et bord sont corrigées (attitude satellite, eff. Sagnac, biais en temps de la diode /énergie reçue)

Les bruits rencontrés sont filtrés :

- datation : au sol et à bord,
- détection : au sol (mesure de la distance -> à 15sec) et à bord
- l'équation de tt : $t_{Sta} + dT_{all.} - t_{Bord}$ + corrections -> à 60sec

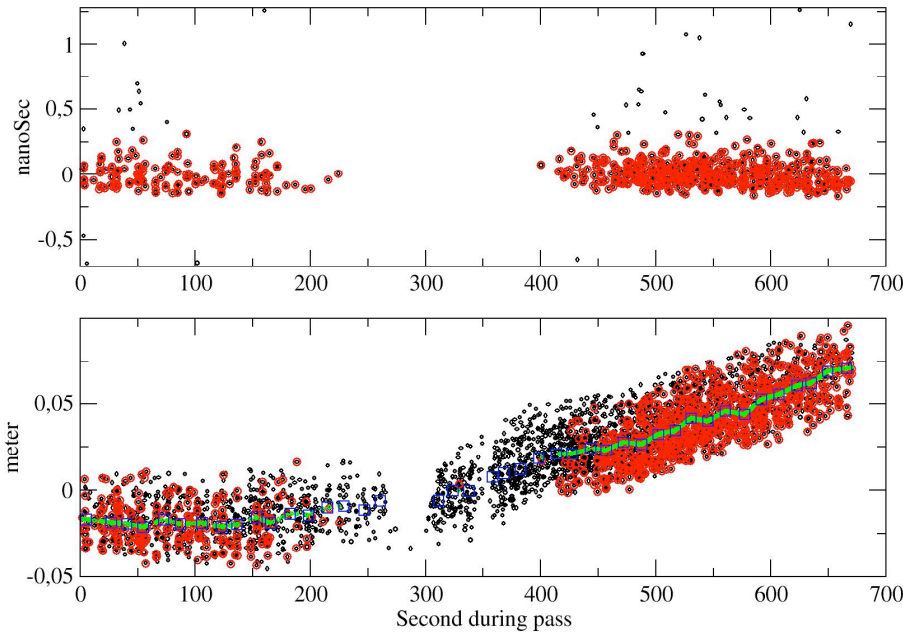
Le filtrage s'opère par une convolution du signal /porte : pb . la densité de données dans le temps varie de 3-4/sec à .3/sec voire moins



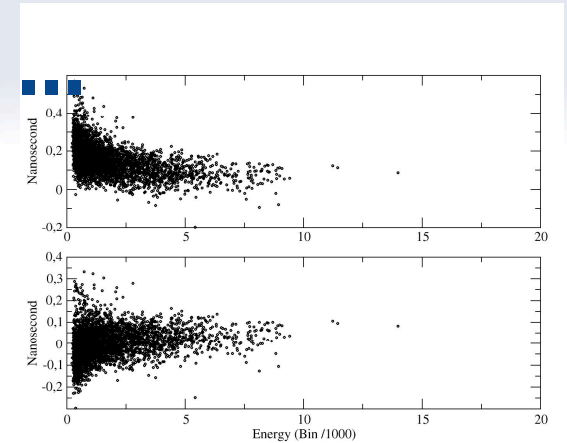
Distances, corrections instrum.,

T2L2/Jason2, ground to space time transfer

SLR 7308, October 28, 2009



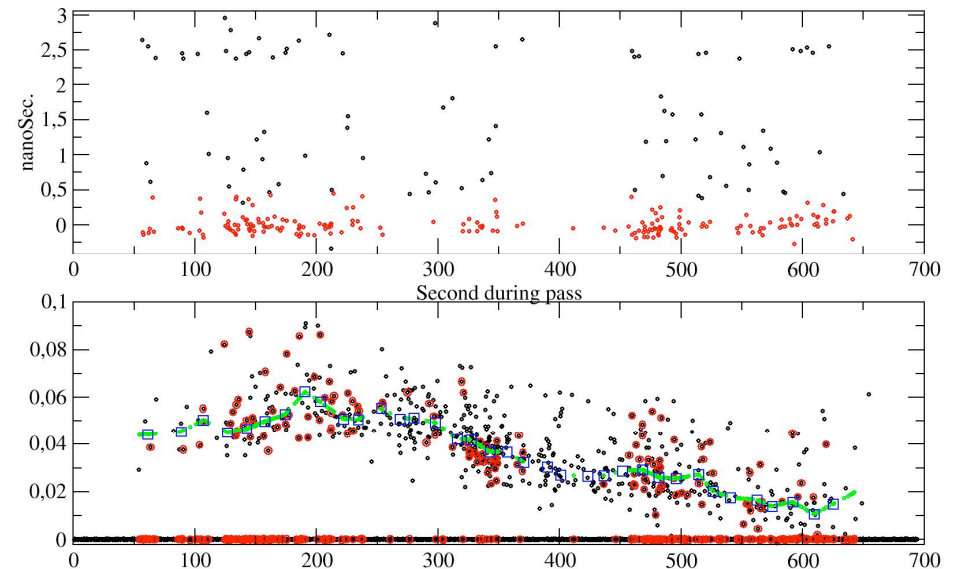
Exemples de filtrages, sélections de mesures sur télémétrie laser, et transfert de temps sol-espace



Ex: correction diode bord

T2L2/Jason2, ground to space time transfer

SLR 7829, April 07, 2009



Filtrage & dérivées locales (en 10^{-9})

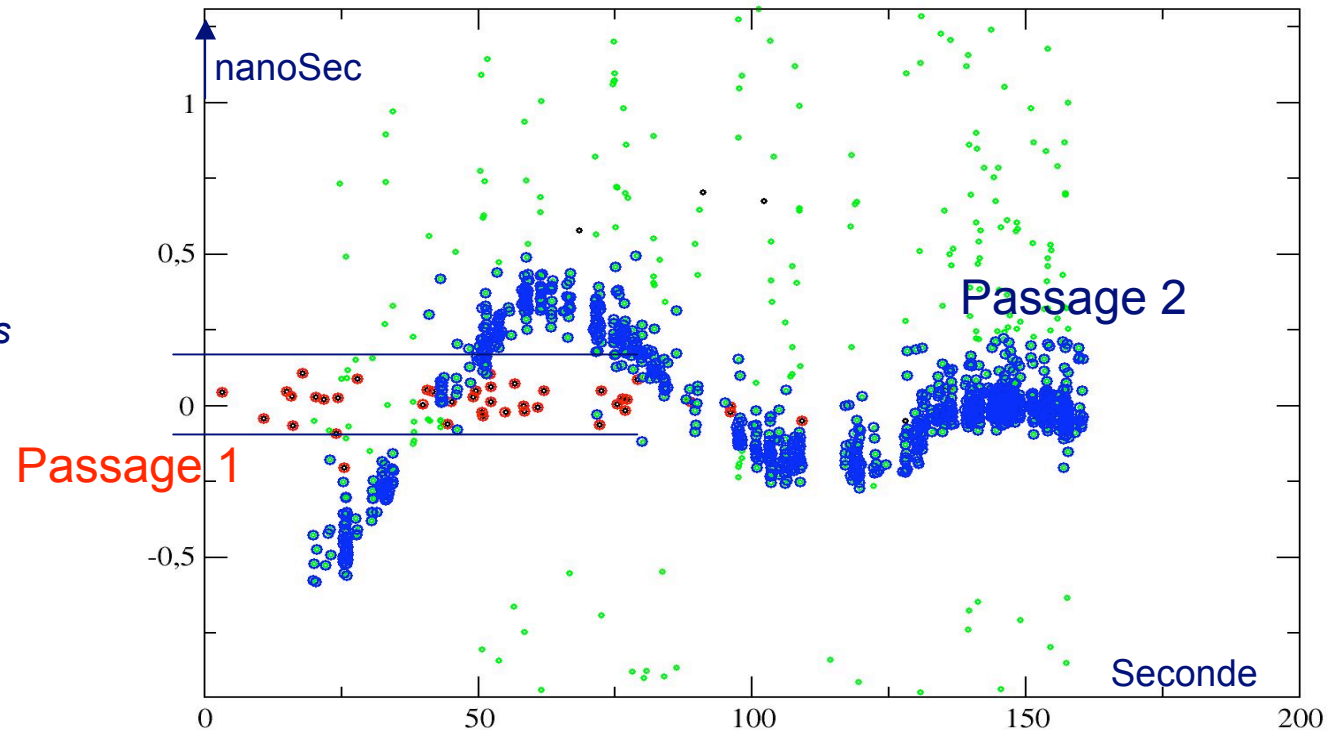


Analyse / passage (\neq stations sol)

Exemples de filtrages, sélections de mesures sur télémétrie laser, et transfert de temps sol-espace :

- recherche de la dérive locale
- élimination / itérations
- robustesse (type norme-L1)
- pb des trains laser
- calcul & ajout des faux triplets
- filtrage / porte des distance à 15s
- filtrage de l'éq. de TT
- correct. instrumentales
- synchronisation à 1 sec.
- édition des triplets -> fmt CRD
- dérivée -> DORIS
- synchro. aux pps GPS (bord)

T2L2/Jason2, Ground to space time transfer
SLR 7840 (May, 9 & 13, 2010)

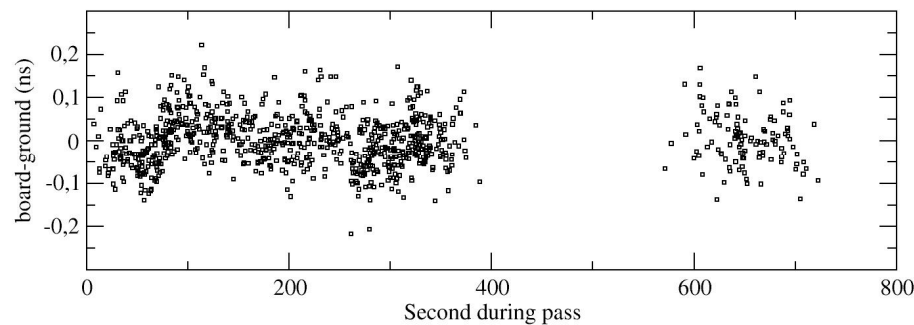
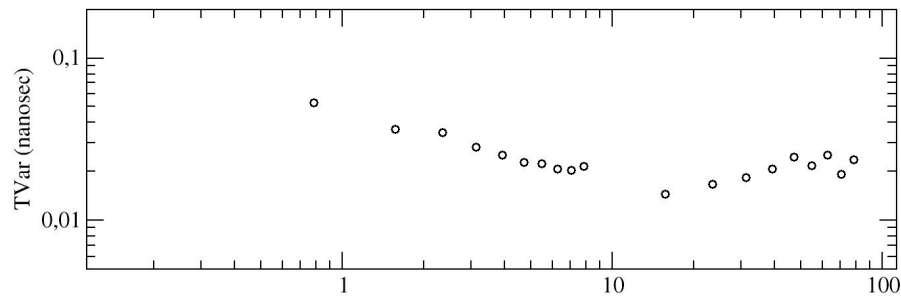




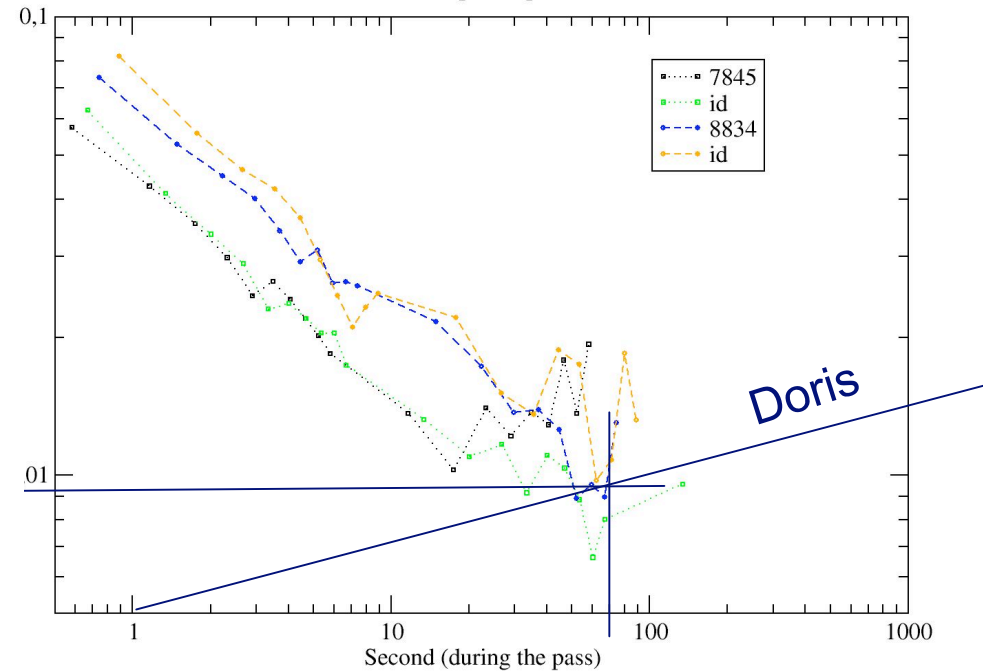
Performances « sol espace »

Meilleures perf. : 6ps @ 25 sec
 Grasse, Wettzell, ZimmerW
 Hx, Matera, MacDo.

T2L2/Jason2, ground to space time transfer
 SLR 7845, 2010 April, 2



Allan variance of ground to board time transfer
 (from 2 SLR passes per station)

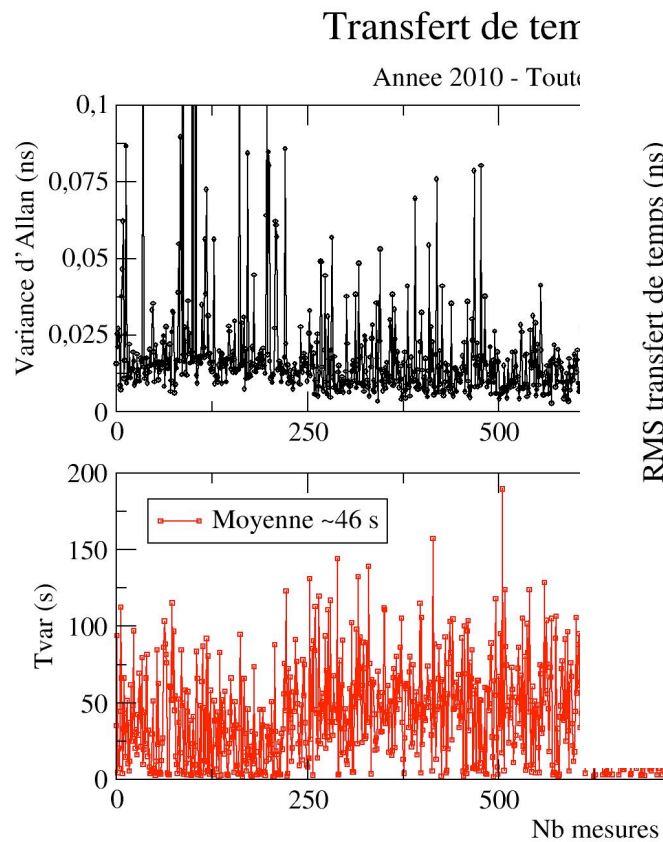


Résidus de l'éq. de transfert de temps



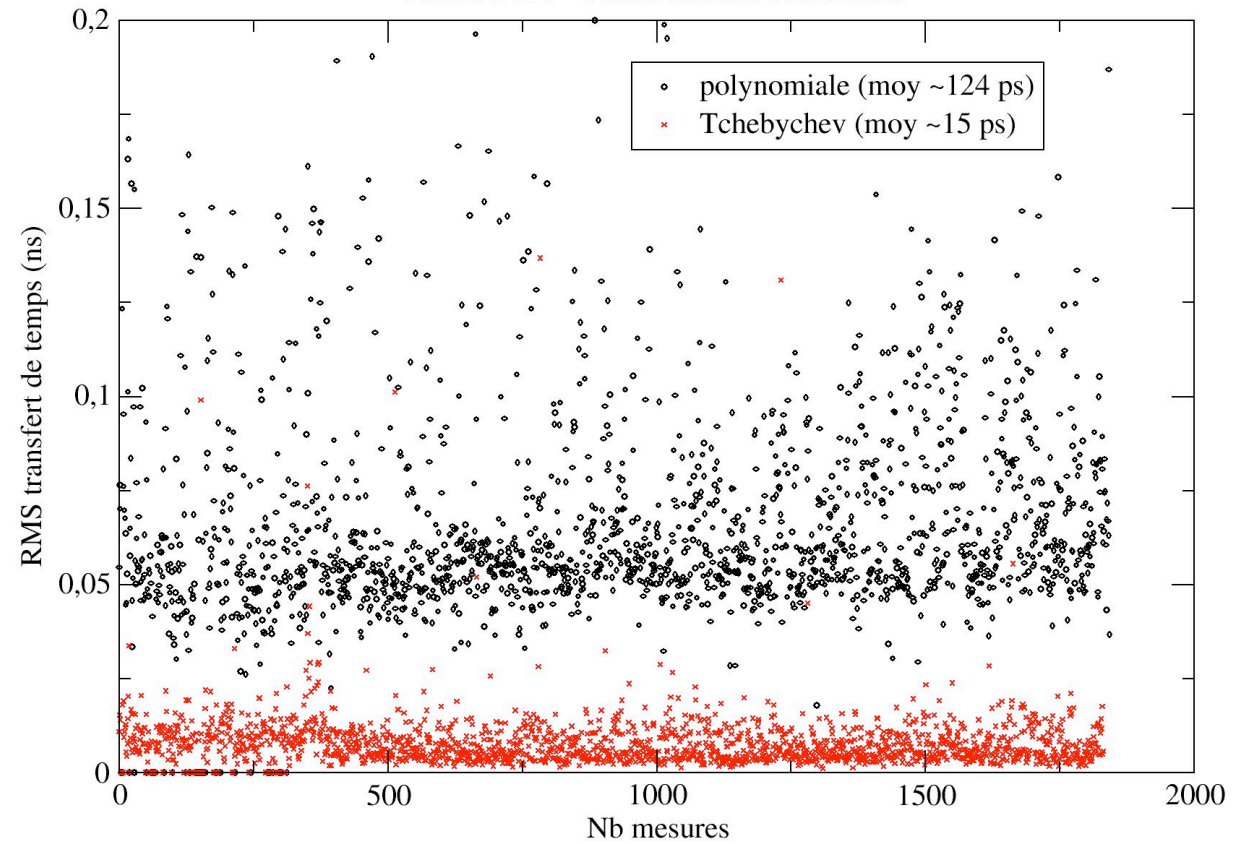
Base T2L2, performances

Statistiques sur la période 2010, en TT sol-espace



Transfert de temps sol/bord T2L2

Annee 2010 - Toutes stations confondues

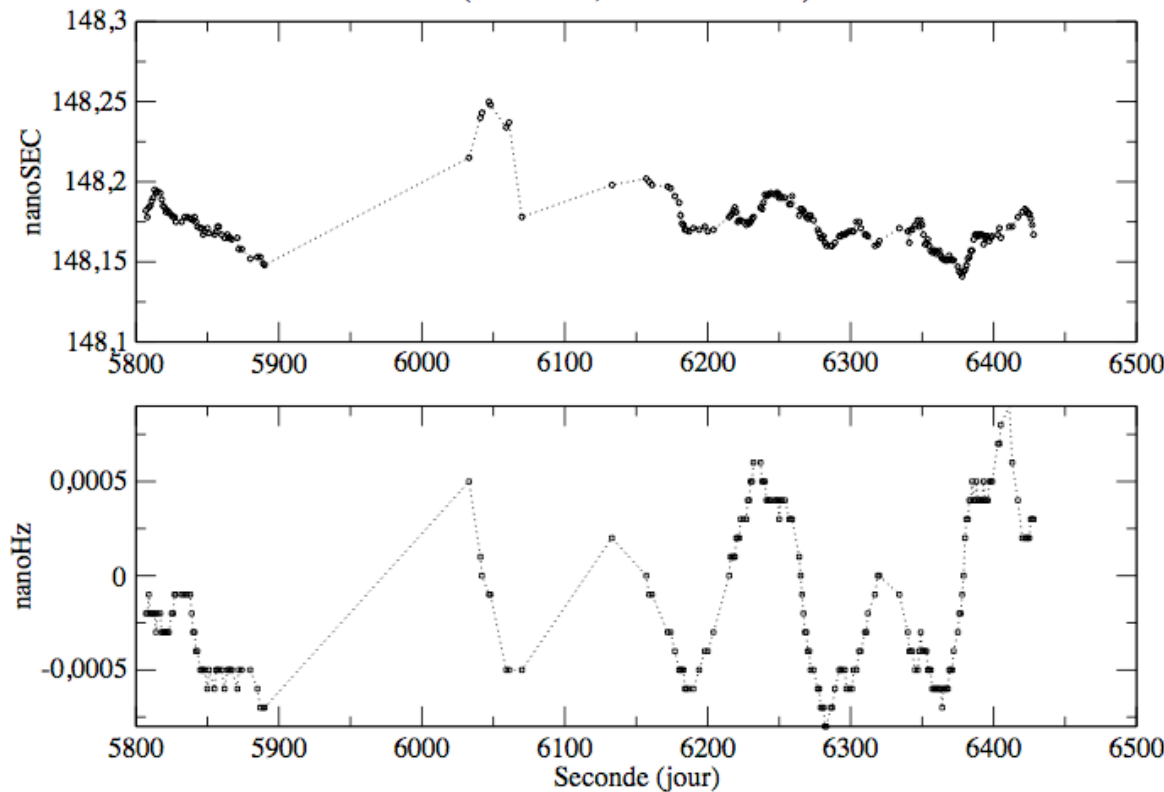




Analyses TT : sol-espace -> sol -sol

Tentative de séparation des signaux résiduels, pour le TT sol sol

TT sol sol en vue commune
(7845-7829, Grasse 20100518)



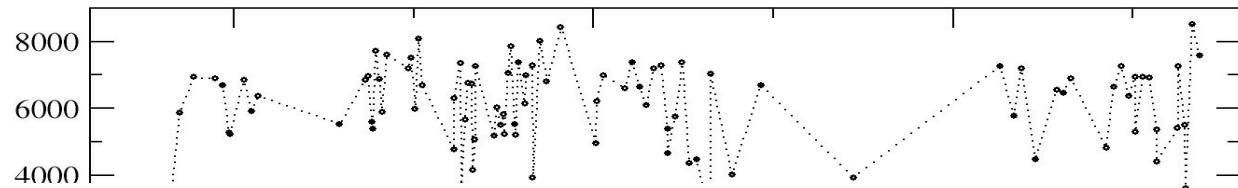
TT sol sol :
entre 15ps et 40ps avec une reproductibilité de :
 $\pm 30ps$ avec Mh ou Cés.
à Calern

TT sol sol en Europe :
disponible /base de données
à 1 sec en temps bord

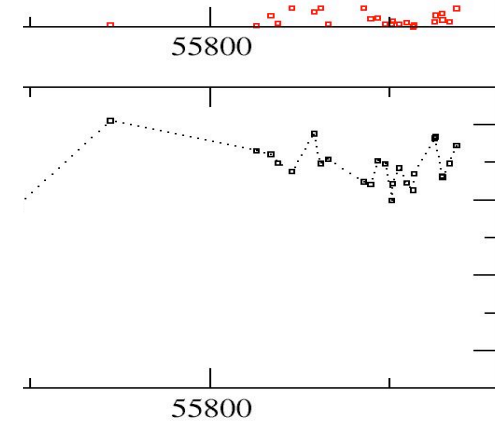
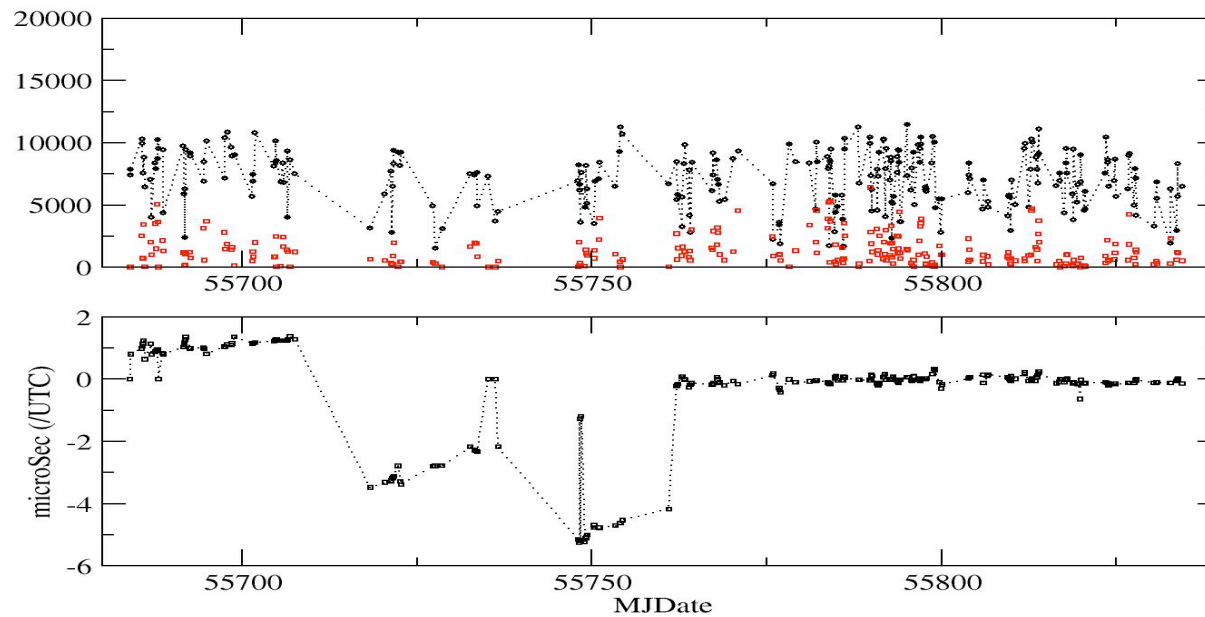


Suivi station / Temps bord (pps)

FTLRS-Tahiti, 7822 (201105 -> 201109)



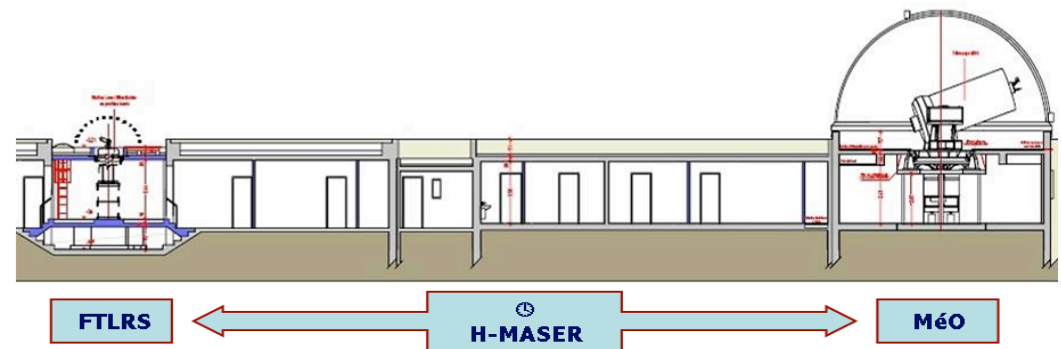
Grasse, 7845 (201105 -> 201109)





Exactitude -1

- Validation T2L2 en vue commune
- Métrologie temps fréquence
- Inter comparaison des liens



- _ Etalonnage relatif MeO – FTLRS
- _ Mise au point de l'assimilation des données sol
- _ Campagnes d'observation en 2012 (Calern)
- _ Analyses des résultats en terme d'exactitude



Exactitude, -2

- **Validations**
- **Métrologie temps fréquence**
- **Inter comparaison des liens**
 - **μ Ondes**
- **Physique fondamentale**

_ Installations spécifiques

- ◆ **FTLRS à OP (2010), FTLRS à Tahiti (2011)**
- ◆ **FOM à OCA (2010)**
- ◆ **Césium / Hmaser : GPS et T2L2 à l'OCA (2012)**

_ Apports des campagnes / GPS

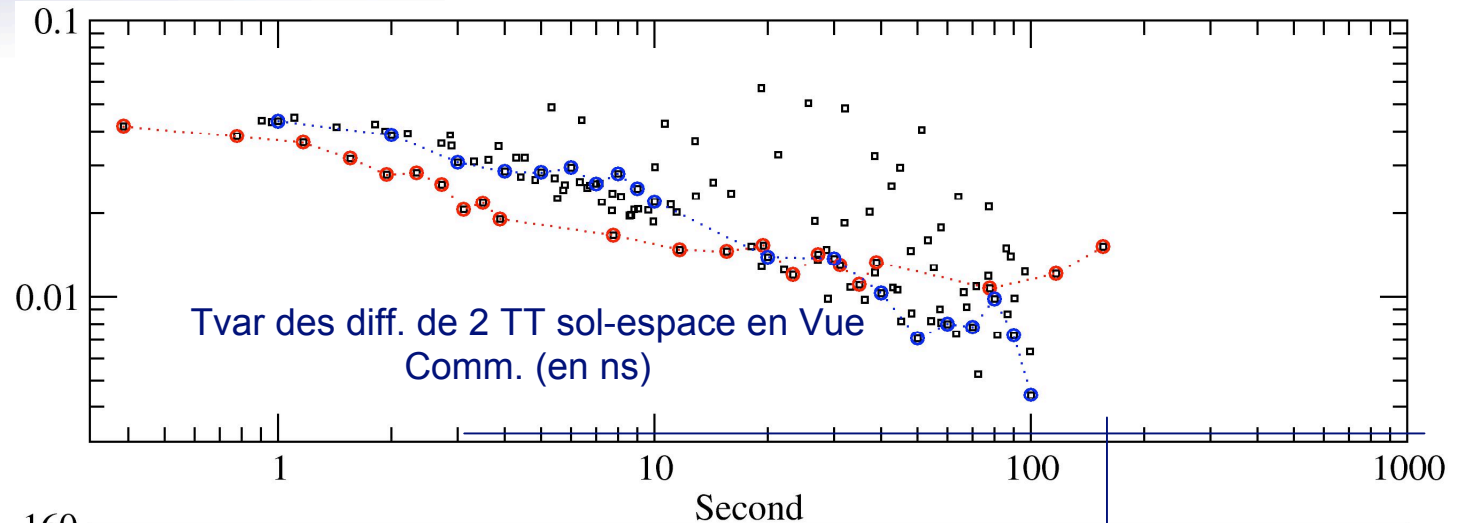
_ TT en vue non commune



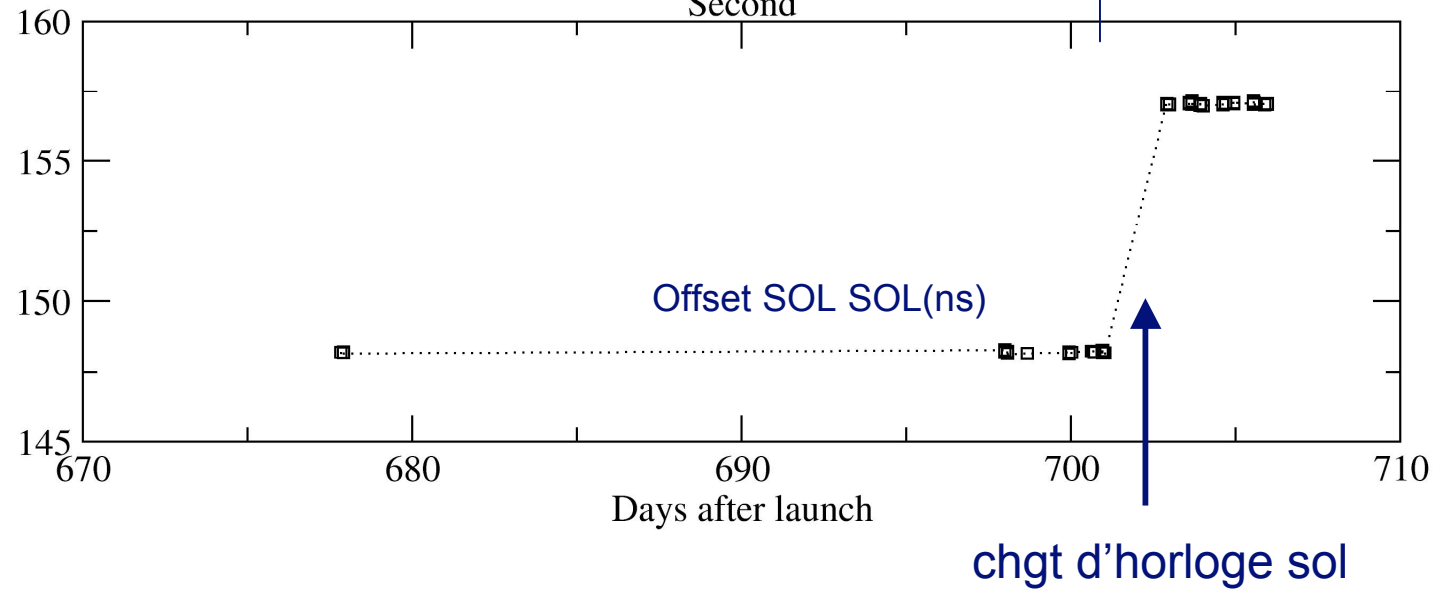


Exemple de TT sol sol (Calern, 2010)

Exemples de TT après traitement Vers.3



Vers.4 :
75-80 ps -> 15-35 ps
stabilité moy. : 55 ps





Exemple de TT sol sol (Calern, 2012)

Traitements :

FTLRS (7829) : en mode CRD (sur Cesium)

MeO (7845) : id (sur maser-H)

Etalonnage sol STX / maser-H / Cesium / GPS

Passages observés : avril 2012

Triplets : en augmentation

< 0.1 ns en sol-espace

Analyses sol - sol : 7829 / 7845 (en vue commune)

15 ps à 35 ps / passage, et un écart moyen de : -102.093 ns

avec CALibrations : +362(MeO-mH) -164(FTLRS-Cs)

=> CMS : 95.952 // STX: 96.213

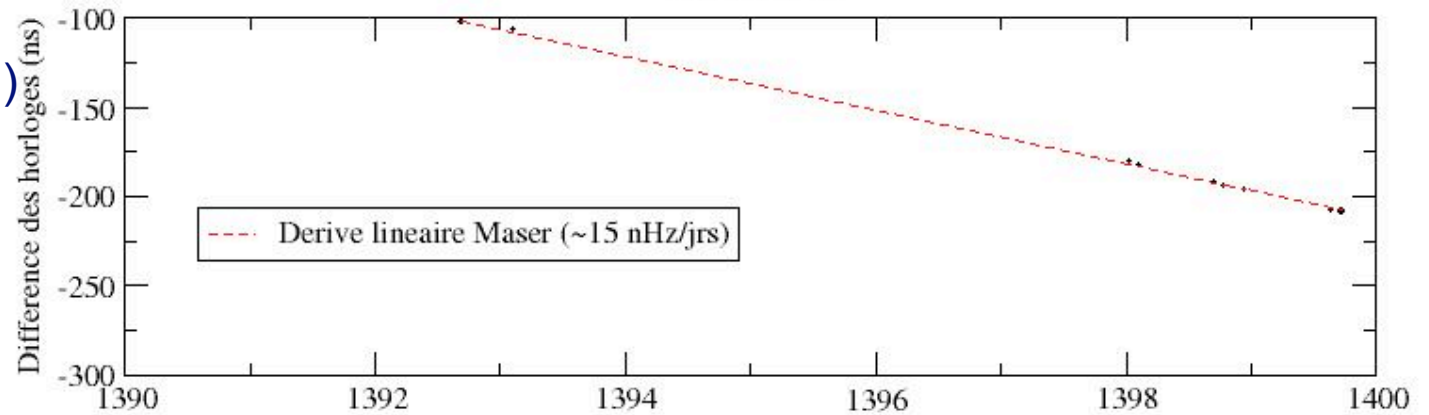


suite, Calern 2012

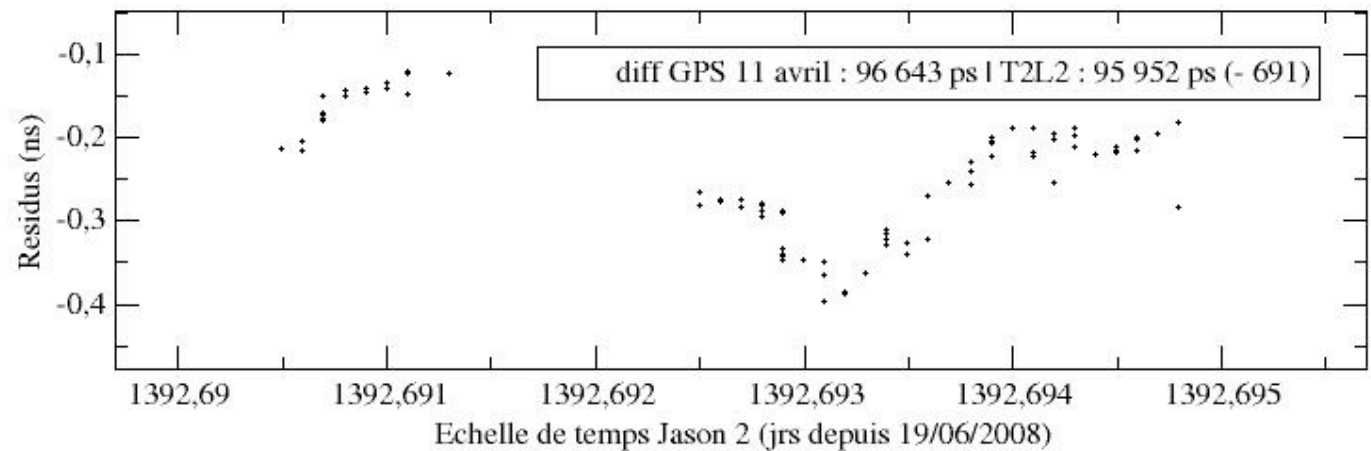
Dérive du maser-H (MeO)
/ Cesium (FTLRS)

Transfert de temps FTLRS-MEO campagne Calern 2012

11 au 18 avril



Résidus (1 pass.)





Exemple de TT sol sol (Tahiti, 2011)

Traitements :

FTLRS (7822) : en mode CRD (sur maser-H)	10 pass
Moblas-8 (7124) : en mode « merit »	
-> 47 ns en sol-espace	17 pass

Datation sol STX / maser-H -> Moblas-8

Retraitement des passages observés : 4->14 oct. 2011

Triplets : en augmentation
Moblas-8 : -> 0.6 ns en sol-espace

Analyses sol - sol : 7822 / 7124 (en vue commune)	8 pass
précisions (ps) : 12, 42, 9, 32, 18, 26, 35, 50	
nbre pts comm.: 311,50,82,35, 45,118,281,47	



suite, Tahiti

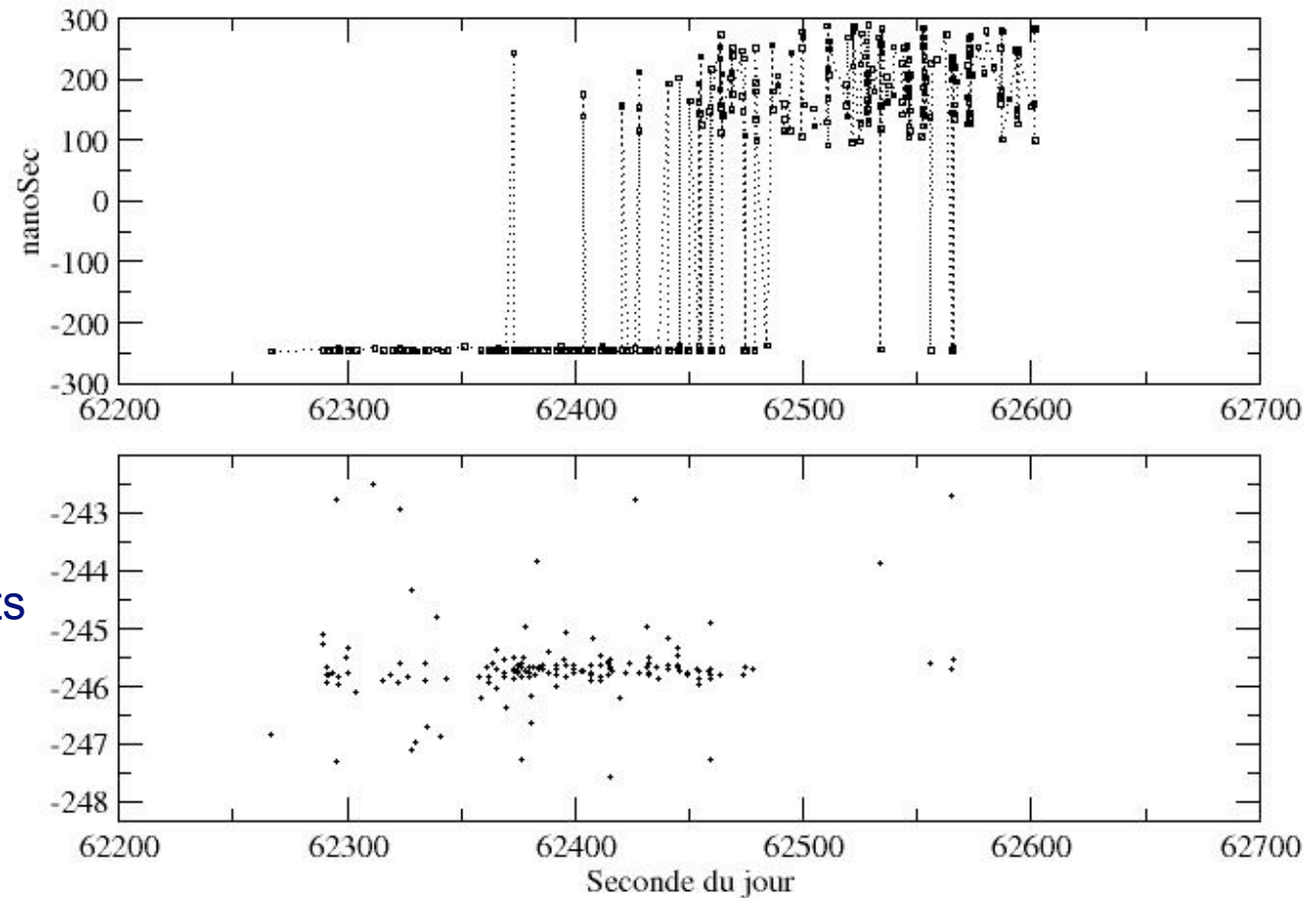
Mixage des dates entre
Moblas-8 à 100ns
et
STX à 1ps

Horloge commune
FTLRS & Moblas-8

Elimination des dates
Récupération des Triplets
(vrais et synthétiq.)
et des mes. de distance

Passage Moblas avec et sans datation STX

T2L2 /J2, 4 oct. 2011





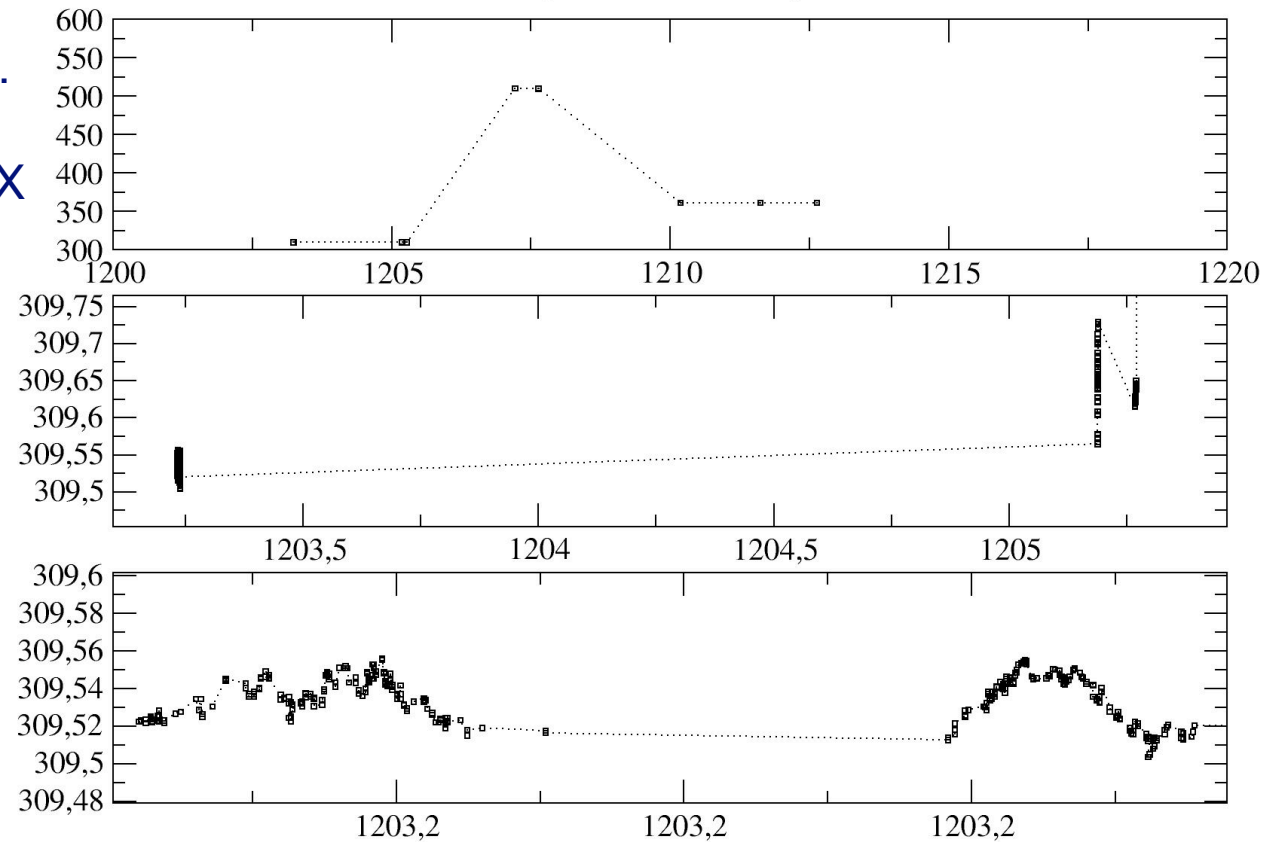
suite, Tahiti

Campagne Tahiti, 4-> 14 oct. 2011

(7822 - 7124 + STX)

Passages en vue comm.

FTLRS - Moblas-8 + STX



précis. < 30 ps



suite, Tahiti

TT sol sol 7822 7124 : 969 pts comm. a 1 sec
55839 (20111005) 10 j
(sans mesures synthetiques)

Nbre de Pass. commun(s) : 8

Nbre de Diff /Pass comm. : 311 50 82 35 45 118 281 47

Passage(s) en vue commune : 8

7822	1	7124	1	55839	20380	-> Moy et Sigma (ns)	309.535	0.012	311	634.0s
7822	1	7124	1	55841	16282	-> Moy et Sigma (ns)	309.649	0.042	50	44.0s
7822	2	7124	2	55841	23242	-> Moy et Sigma (ns)	309.636	0.009	82	201.0s
7822	1	7124	1	55843	18658	-> Moy et Sigma (ns)	509.695	0.032	35	108.0s
7822	2	7124	2	55843	55014	-> Moy et Sigma (ns)	509.583	0.018	45	290.0s
7822	1	7124	1	55846	16212	-> Moy et Sigma (ns)	360.817	0.026	118	175.0s
7822	1	7124	1	55847	53701	-> Moy et Sigma (ns)	361.017	0.035	281	519.0s
7822	1	7124	1	55848	55127	-> Moy et Sigma (ns)	360.934	0.050	47	106.0s



Diffusion des données / serveur Web

Historique de l'activité :

◆ Données stations reçues (par jour et par passage)

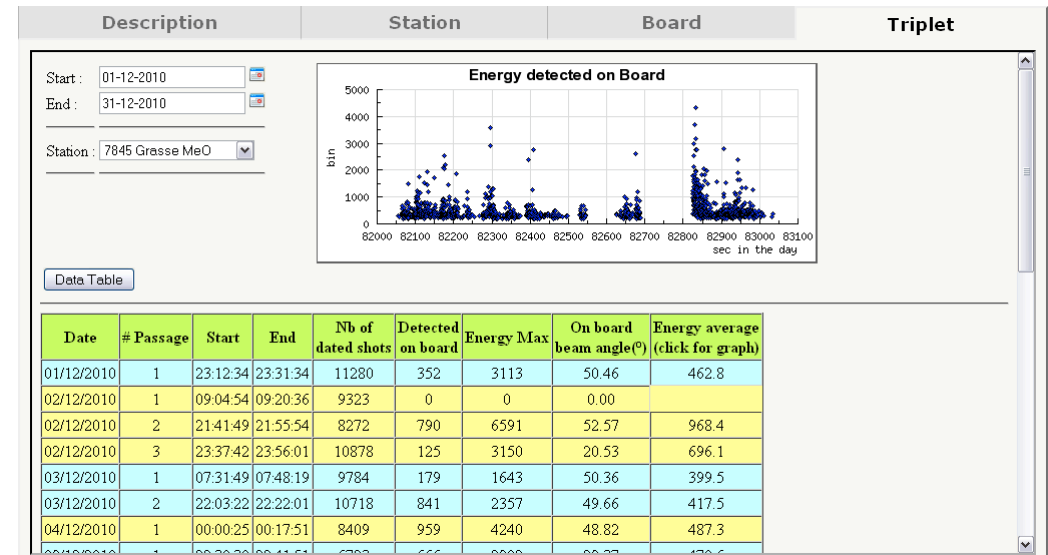
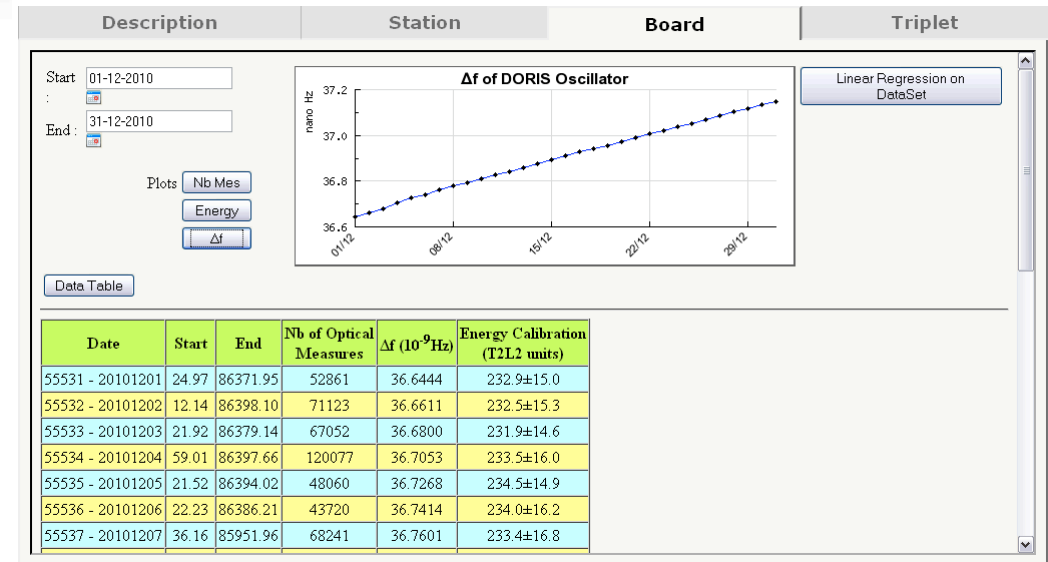
- Nombre de tirs
- Nombre d'échos

◆ Données bord (par jour)

- Nombre d'évènements optiques
- Tracé de l'écart de fréquence DORIS (Vu via le PPS bord)
- Tracé de l'étalonnage de la mesure d'énergie (TM)

◆ Triplets reconstitués (Par station et par passage)

- Nombre de triplets disponibles
- Tracé de l'énergie des tirs laser (pour l'instant TM en bits)





Conclusion

Le transfert de temps sol espace est réalisé à 6ps à 30sec

Chaque passage de satellite détecté apporte des synchronisations sol-espace ré-interpolées à 1sec (en échelle de temps bord)

Les transferts de temps sol - sol sont directement estimés par comparaison des dates sol de 2 stations à la même sec. bord :

- bruit du TT sol - sol : 35 ps**
- stabilité du TT sol - sol (capacité du système à retrouver une même valeur) : 150 ps**
- exactitude du lien spatial / mesure au sol : 166 ps**
- comparaison T2L2 - GPS à la station de Grasse : 6 ns (en cours d'analyse)**

Perspectives :

- élaborer une échelle de temps bord + exacte que l'OUS Doris (qui dérive)**
- raccorder les dates d'une station de référence à UTC via l'étalonnage au sol et les comparaisons à GPS**
- propager le modèle bord pour les transferts de temps en vue non commune**

- déterminer l'ensemble des synchronisations possibles pour améliorer la télémétrie laser**
- préparer une nouvelle campagne OCA-OP entre fontaines atomiques**