



Strasbourg, 17-19 novembre 2014

***Contribution du GRGS à la campagne REPRO2 de l'IGS:
Intérêts pour les traitements GPS statiques et
dynamiques en mode IPPP***



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

GET 2013

Félix Perosanz
Sylvain Loyer
Flavien Mercier
Hugues Capdeville
Adrien Mezerette





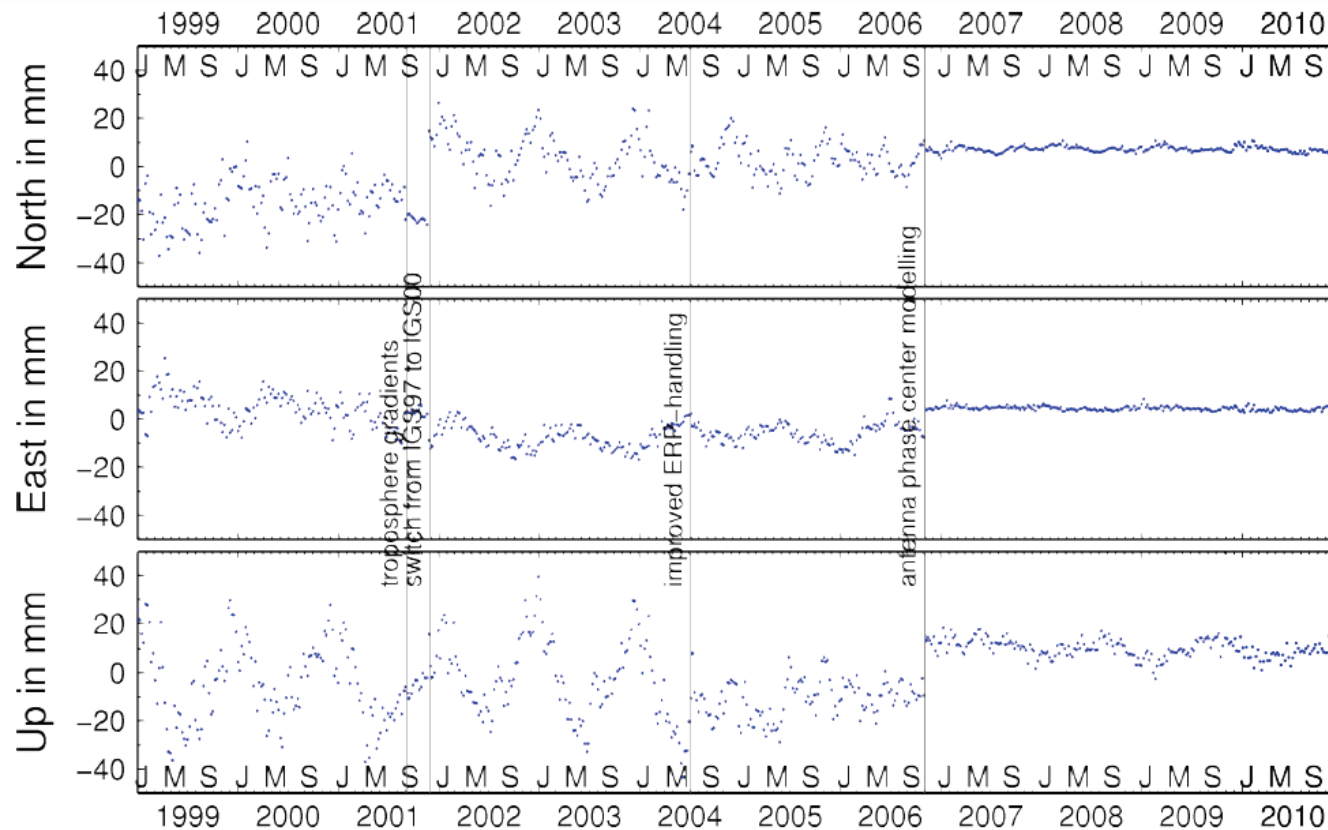
2nd Data Reprocessing Campaign

second full reanalysis of all IGS GPS data collected since 1994



- Motivé par la contribution à la réalisation d'un nouvel ITRF
- REPRO1 : 2007
- REPRO2 inclut les données jusqu'au 31/12/2013
- Effort coordonné multi-technique: IGS, ILRS, IDS, IVS
- Chaque Centre d'Analyse a recalculé une solution complète avec le maximum de données disponibles
- Génération de produits (coordonnées, EOP, orbito/synchro,...) :
 - de meilleure qualité
 - homogènes en terme de standards
 - gestions a posteriori des séismes, changements de matériels, monumentation,...

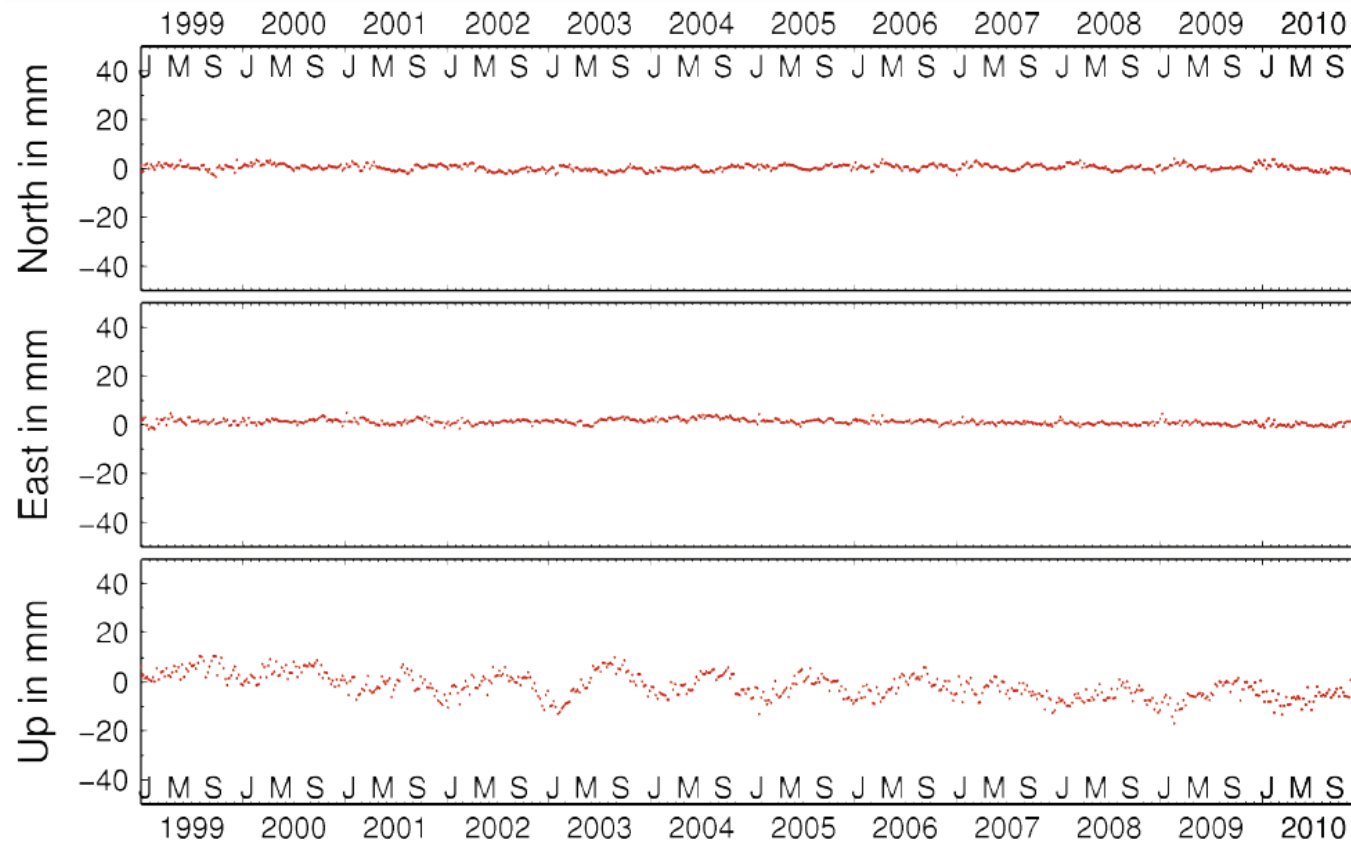
Coordinate time series for Zimmerwald



Operational series from CODE, weekly solutions

Courtesy Rolf Dach AIUB, Bern

Coordinate time series for Zimmerwald



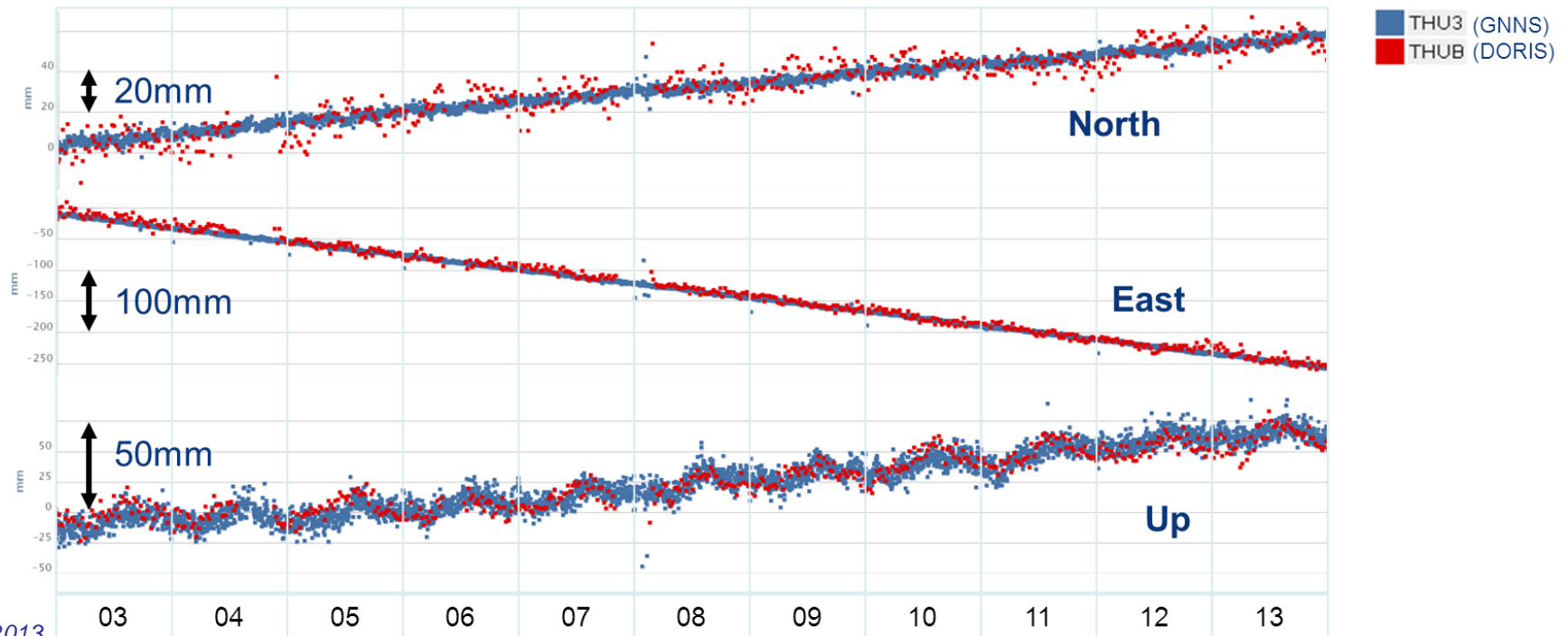
Reprocessed series from CODE, weekly solutions

Traitements REPRO2 du CA CNES-CLS de l'IGS (1/2)

- Rappel : CNES et CLS exploitent le logiciel GINS (CNES/GRGS) pour ses activités de Centre d'Analyse :
 - *GPS depuis 2010*
 - *GLONASS depuis 2011*
 - *Galileo depuis 2012 (Working Group M-GEX)*
- REPRO2 première expérience de retraitement massif :
 - *Contribuer à l'ITRF*
 - *Développement d'outils de gestion des traitements dédiés*
 - *Retour d'expérience sur les :*
 - données (stations, block satellite, type de récepteur,...)
 - logiciels (modèles, bugs,...)
 - algorithmes (fixation ambiguïtés de données anciennes)

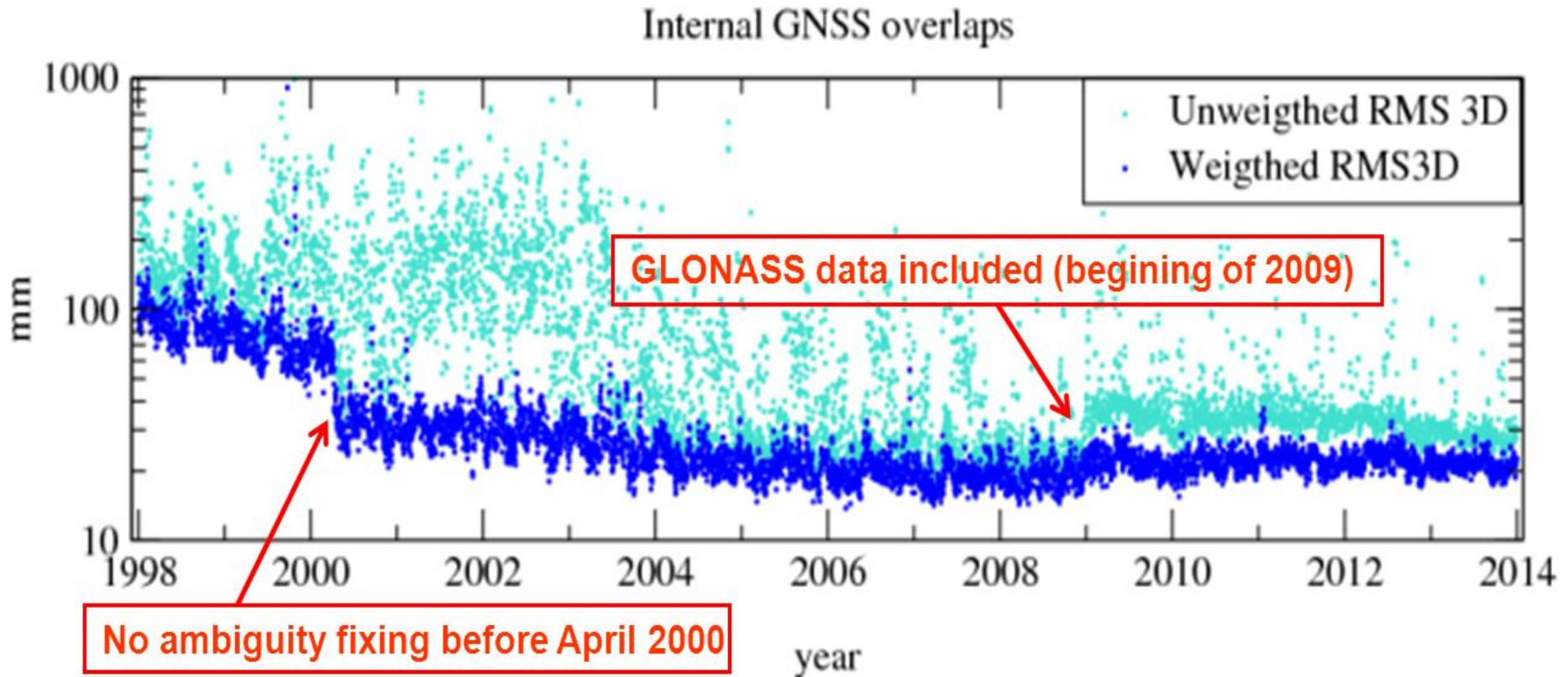
Traitements REPRO2 du CA CNES-CLS de l'IGS (2/2)

- Réseau entre 110 et 230 stations
- GPS depuis 1998
- GLONASS depuis 2009
- Plus de 1.2 million de RINEX à traiter
- Difficultés liées au blocage des ambiguïtés avant 2005 (impossible avant 2000)



Solution orbite GNSS

- La cohérence de la solution d'orbite est meilleure que 3 cm WRMS (après 2000)

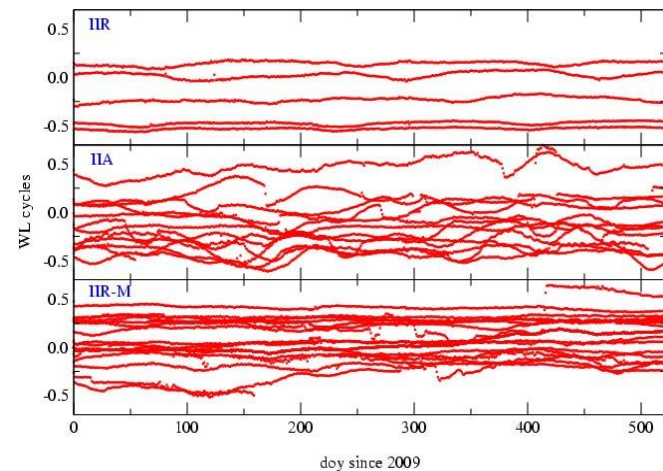


Our products are available at the IGS Data Centers sites:

<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/repro2/www/gr2.....>

Spécificités des produits du CA CNES-CLS

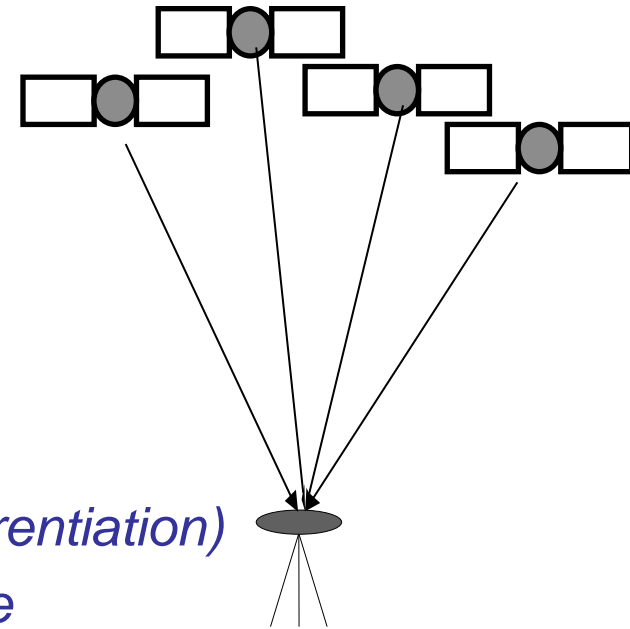
- Traitement non-différentiée des mesures
- Nécessite une stratégie spécifique de fixation des ambiguïtés entières des mesures de phase: les biais « hardware » satellites et récepteurs doivent être connus :
 - *P1C1 (convention IGS)*
 - *Biais hardware satellite (connus a priori)*
 - *Biais hardware récepteur (doivent être estimés)*



- En conséquence, les produits d'horloge délivrés conservent la nature entière des ambiguïtés
- Associés au biais satellites (font partie des produits délivrés), permettent aux utilisateurs de traiter leurs propres données en mode non-différentié avec fixation des ambiguïtés entières de phase

Precise Point Positioning (PPP): une alternative au positionnement différentiel

- Calcul de point (sans « ligne de base »)
 - *Pas de station de référence au niveau utilisateur*
- Nécessite :
 - *a priori des orbites/horloges précises (issues du traitement d'un réseau global)*
 - *Modélisation très fine des mesures (pas d'élimination des « erreurs » par différentiation)*
 - *Estimation des paramètres tropo et horloge récepteur (+++ corrélations !)*

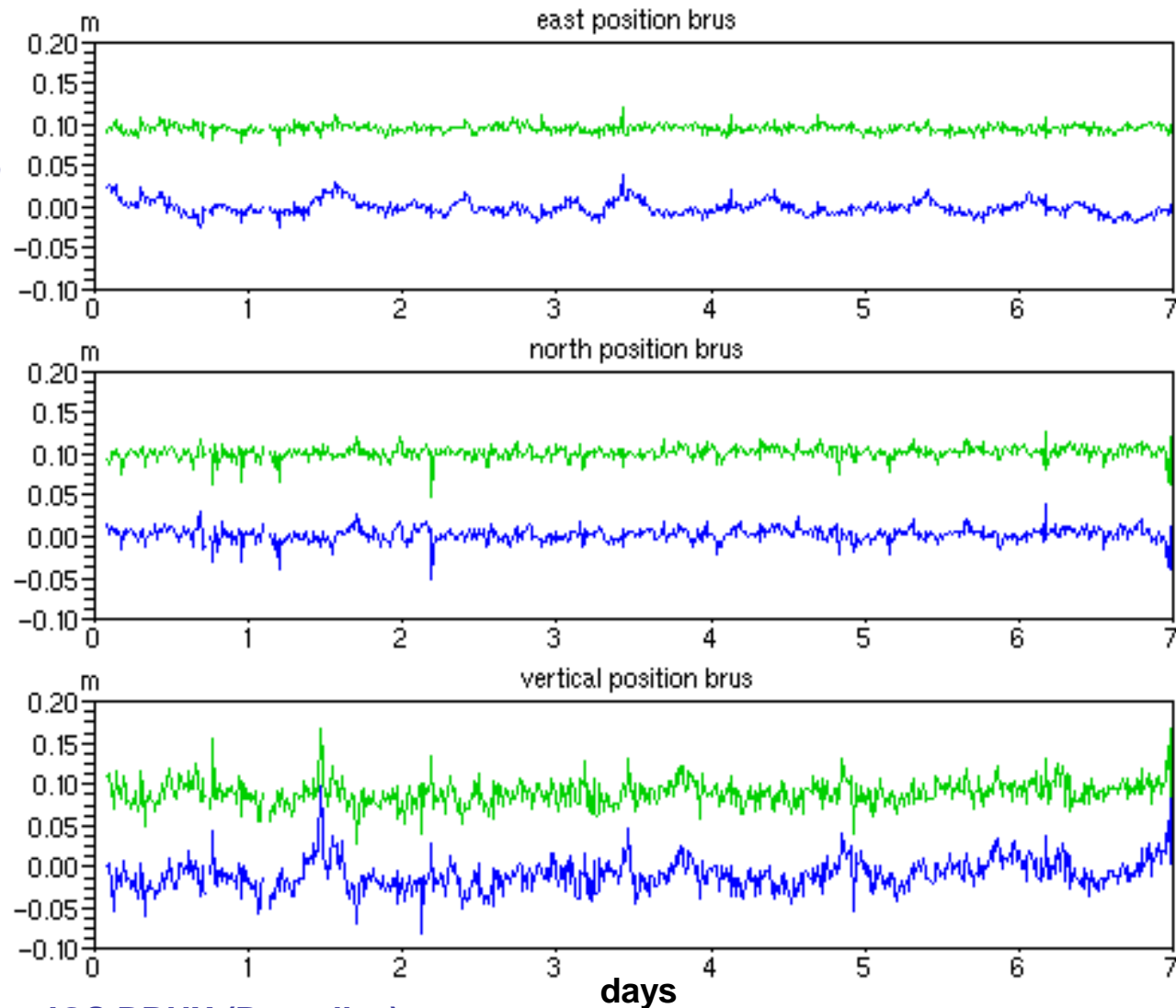


Intérêts du mode PPP

- Traitements GNSS dans des zones non équipées de récepteurs permanents par exemple :
 - *Oceans*
 - *Antarctique*
 - *Amazonie...*
- Traitement dynamique sur de grandes distances
 - *exemple: avions « géodésiques »*
- Traitement de réseaux
 - *Traitements indépendants*
 - Pas de mise en référence nécessaire
 - Pas affecté par les déformations de la zone d'étude
 - pas affectés par les défauts d'une station
 - *Facilité/rapidité du traitement (parallélisation aisée)*
- Les solutions horloges GR2 conservent la propriété entière des mesures de phase :
 - *IPPP pour une meilleur précision*
 - *Traitements continus (sur plusieurs jours)*
 - Exemple : comparaison d'horloges atomiques (transfert de fréquence)

Comparaison répétabilité PPP vs IPPP

- PPP vs IPPP
- *Solution dynamique d'un point statique*
- *PPP : en bleu*
- *IPPP: en vert (+0.10m)*

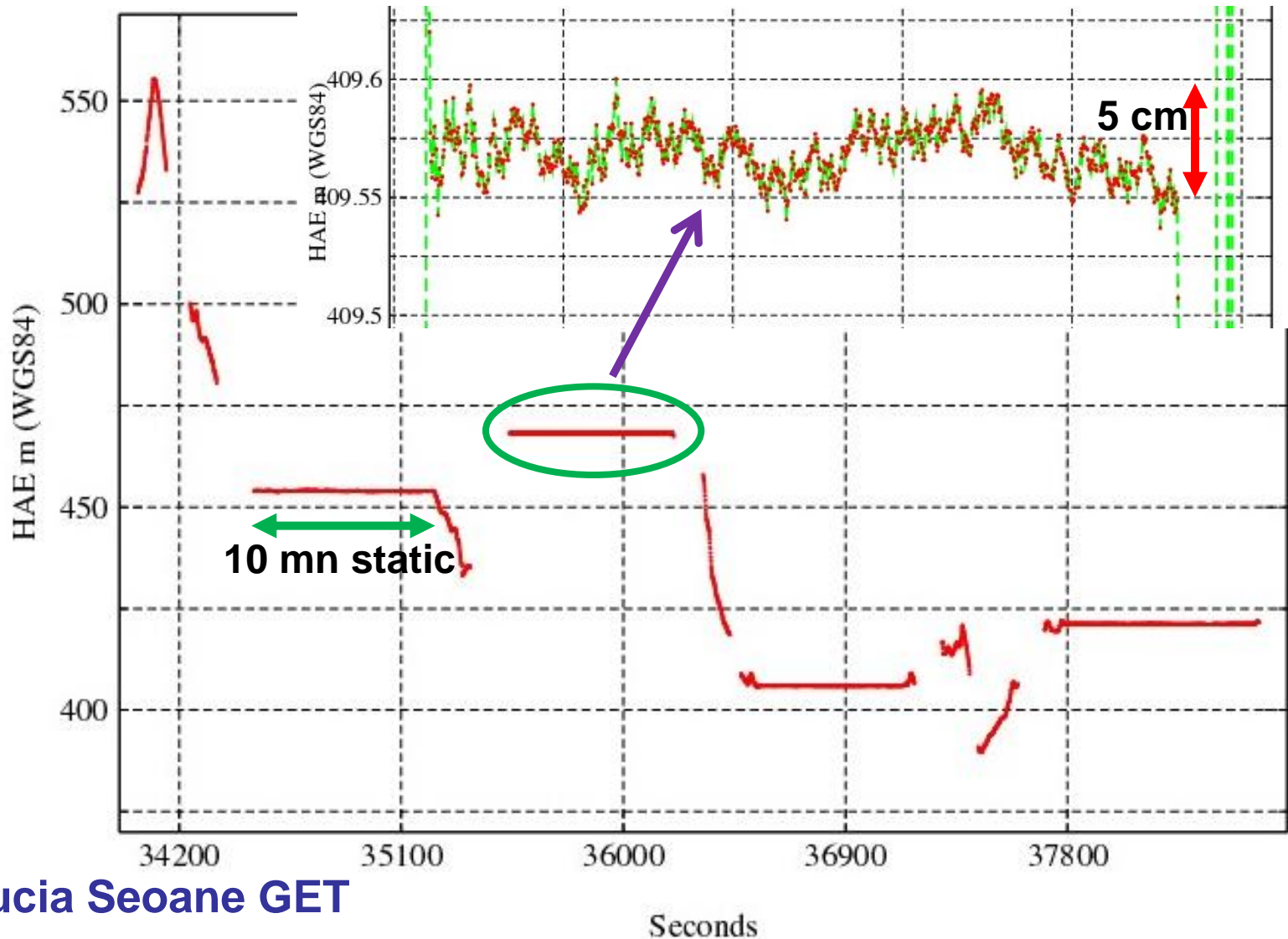


Exemple du la station IGS BRUX (Bruxelles)

Cadence : 30 secondes. F. Mercier , CNES

Exemple : « stop and go » sur des points gravimétriques

Rover Pyrenees - PPP 1Hz solution

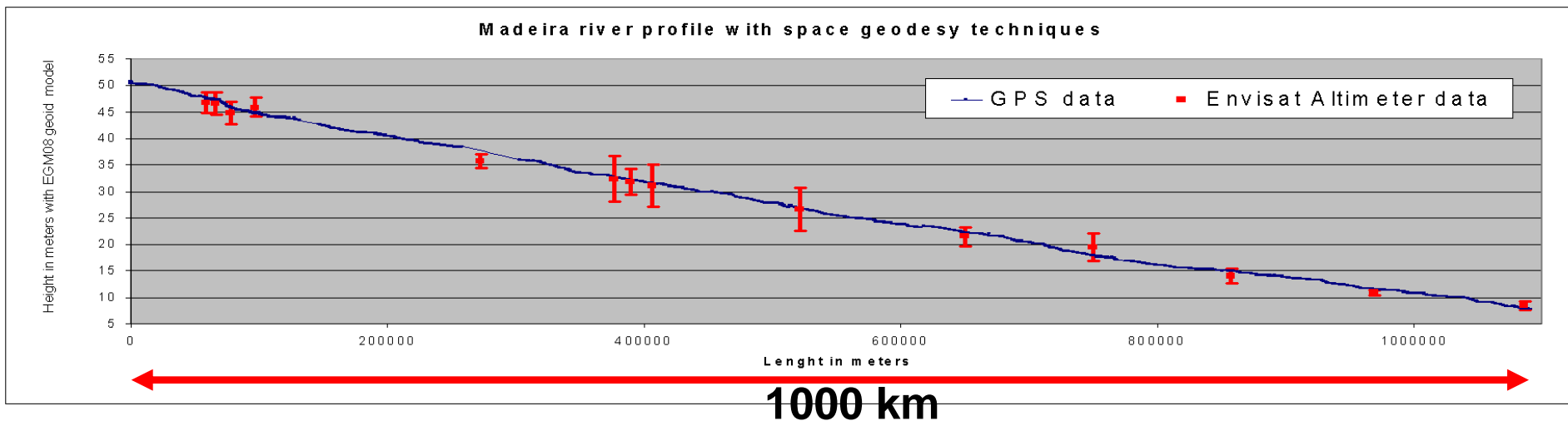


Lucia Seoane GET

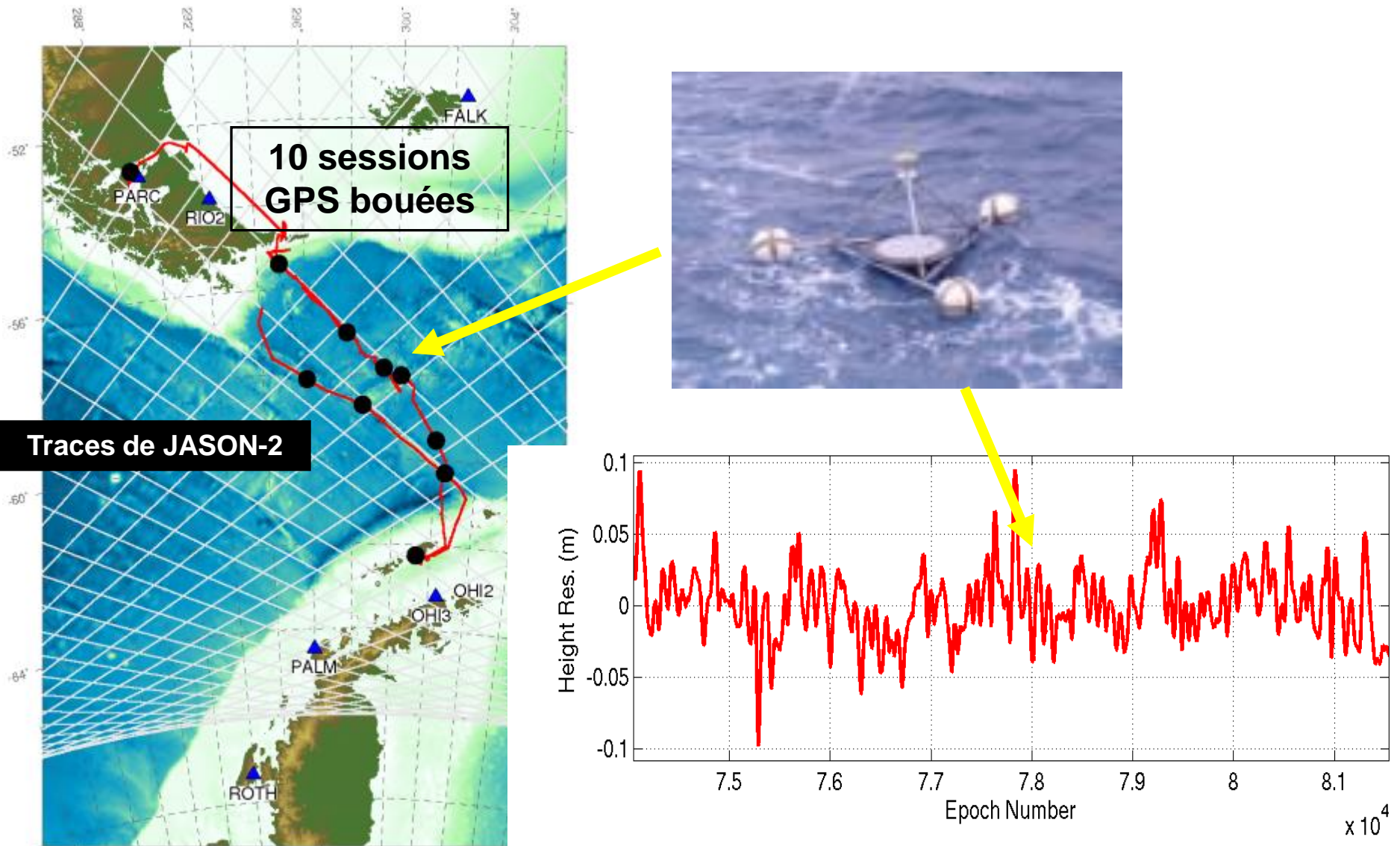
Exemple : réalisation de profils hydrologiques dans le bassin Amazonien



Daniel Moreira CPRM, Rio

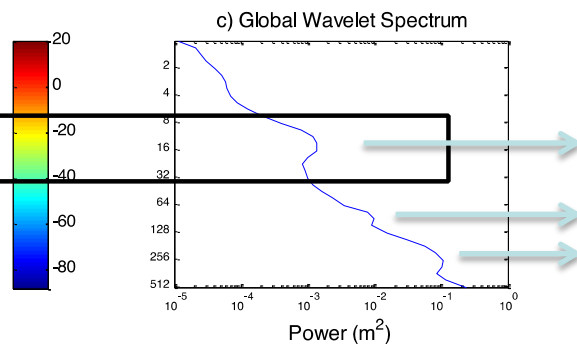
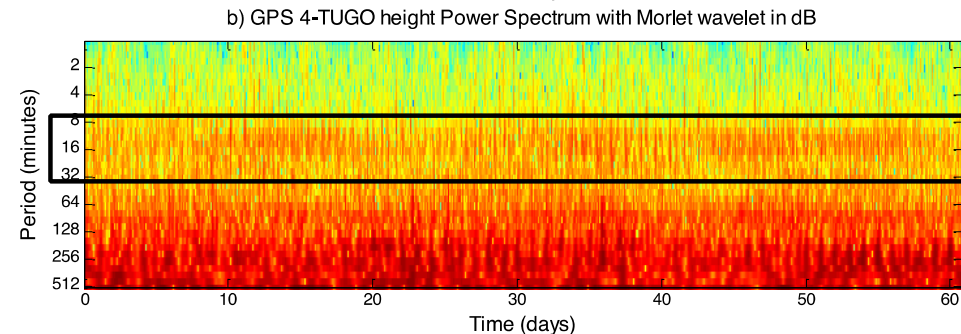
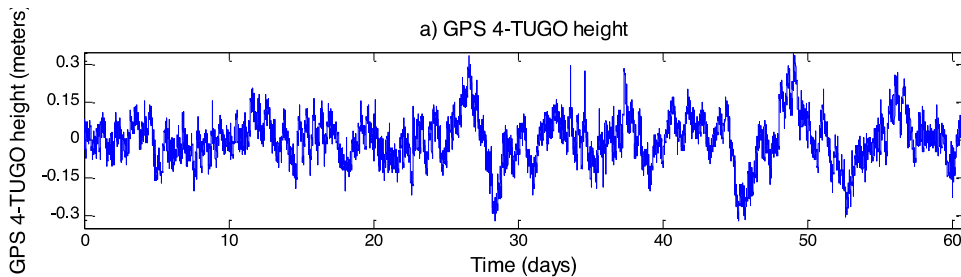


Exemple : campagne océanographique DRAKE-2009



Exemple : déformation du glacier Mertz (Antarctique)

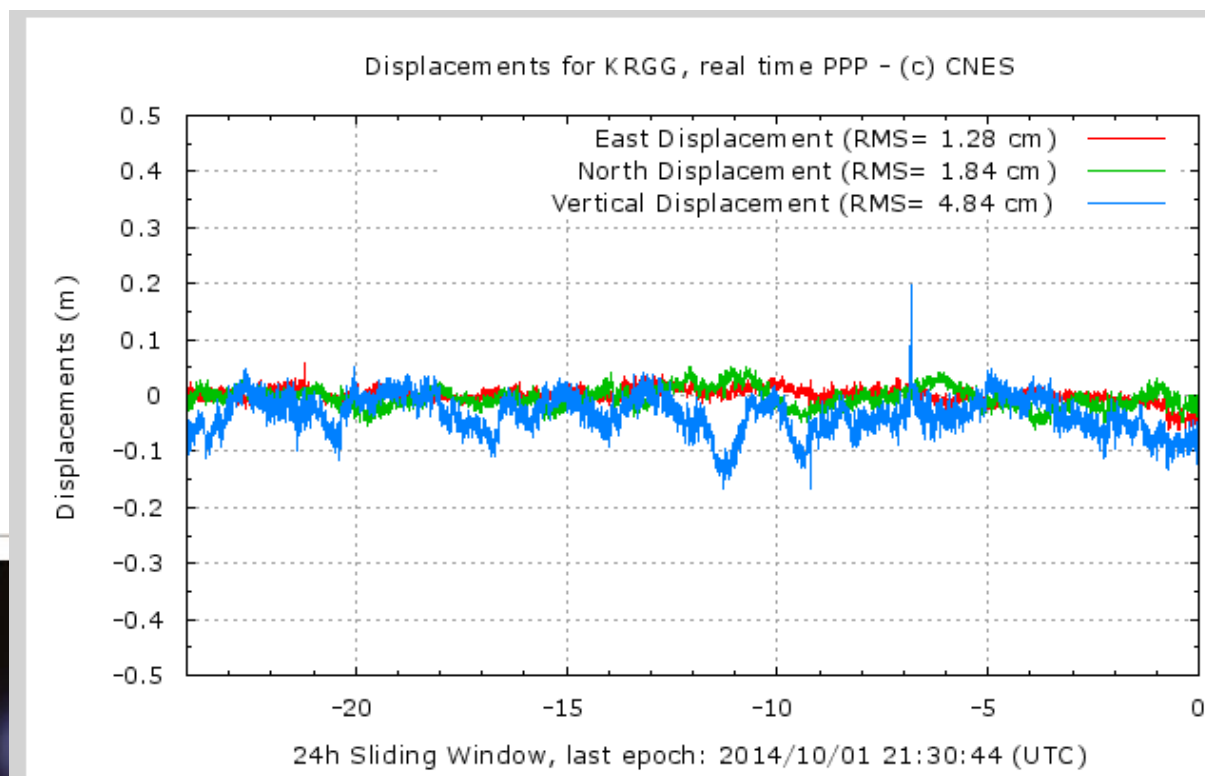
- Positionnement cinématique de 2 récepteurs GPS en mode IPPP
- Mise en évidence de modes propres de vibrations du glacier



5 to 30 min
1 to 2 hr
4 to 6 hr

<http://www.ppp-wizard.net>

Denis Laurichesse, CNES.



PPP-Wizard
Project

SSR
Computation

CNES
Caster

Network/PPP
Monitoring

Links
Contacts

PPP-Wizard: Precise Point Positioning With Integer and Zero-difference Ambiguity Resolution Demonstrator

The PPP-WIZARD demonstrator is a 'proof of concept' of the zero-difference ambiguity resolution method developed in the orbit determination service at [CNES](#).

One can find all the details on this method in the publications available in the [links](#) page.

Synthèse

- Les produits REPRO2 du centre d'analyse CNES-CLS de l'IGS sont disponibles
- Possibilité de traitement PPP/IPPP depuis 1998
- Le logiciel GINS mis à la disposition de la communauté scientifique
- Des solutions IPPP temps réel se mettent en place

CA CNES-CLS : www.igs-ac.cnes.cls.fr

GRGS : <http://grgs.obs-mip.fr>

- *Logiciel GINS*
- *Ecole d'été 2012 (positionnement précis)*
- *bibliographie*

Plottool : http://ids-doris.org/grgs_webservice

Final products generated for REPRO2 IGS campaign

Our products are available at the IGS Data Centers sites:

<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/repro2/www/gr2.....>

<ftp://ftpsedr.cls.fr/pub/igsac/Wide Lane GPS satellite biaises.wsb>

files	description	Sample interval	format	Accuracy
gr2wwwwn.CLK	Daily GPS clock	at 5-min intervals (30 s clocks available on request)	CLK	60 ps
gr2wwwwn.SP3	Daily GPS ephemeris/clock	at 15-min intervals	SP3	20-25 mm
gr2www7.SNX	EOP and Stations coordinates solutions	EOP : 1 pt / day Coord. : 1pt/week	SINEX	4mm Horizontal 6mm Up
gr2www7.ERP	EOP solution	1 pt / day	in IGS IERS ERP format	EOP : 30 uas EOP rate: 150 uas/day LOD : 15us
grgwwwwd.WSB	Wide Lane Satellite Biases	1 value per satellite per day	text	0.1 WL cycles

- Crétaux, JF., Bergé-Nguyen, M., Calmant, S., Romanovski, V., Meyssignac, B., Perosanz, F., Tashbaeva, S., Arsen, A., Fund, F., Martignano, N., Bonnefond, P., Laurain, O., Maisongrande, P. (2013) Calibration of Envisat radar altimeter over the Lake Issykkul. *Advances in Space Research* 51(8): 1523–1541
- Petit G., Harmegnies A., Mercier F., Perosanz F., Loyer S., The time stability of PPP links for TAI, *Proc. Joint Meeting of the EFTF and IEEE FCS*, 2011, pp. 1041-1045
- Fund, F., Perosanz, F., Testut, L. and Loyer, S. (2013). An Integer Precise Point Positioning technique for sea surface observations using a GPS buoy. *Advances in Space Research* 51(8): 1311-1322.
- Frappart F., N. Roussel, R. Biancale, J.J. Martinez Benjamin, F. Perosanz, J. Garate Pasquin, J. Martin Davila, B. Perez., C. Gracia Gomez, R. Lopez Bravo, A. Tapia GOMEZ, J. Gili Ripoll, I. Berenguer Valles Casanova Gomez. The 2013 Ibiza calibration campaign of Jason-2 and Saral altimeters. Submitted for publication in *Marine Geodesy* (2014)
- Lescarmontier, L., Legresy, B., Coleman, R., Perosanz, F., Mayet, C. and Testut, L. (2012). Vibrations of Mertz Glacier ice tongue, East Antarctica. *Journal of Glaciology* 58(210): 665-676.
- Loyer, S., Perosanz, F., Mercier, F., Capdeville, H. and Marty, J. C. (2012). Zero-difference GPS ambiguity resolution at CNES-CLS IGS Analysis Center. *Journal of Geodesy* 86(11): 991-1003.
- Algorithmic Documentation of the GINS Software, Rapport GRGS, December 2013.

BONUS

Ecole d'été

J Geod

DOI 10.1007/s00190-012-0559-2

ORIGINAL ARTICLE

Zero-difference GPS ambiguity resolution at CNES–CLS IGS Analysis Center

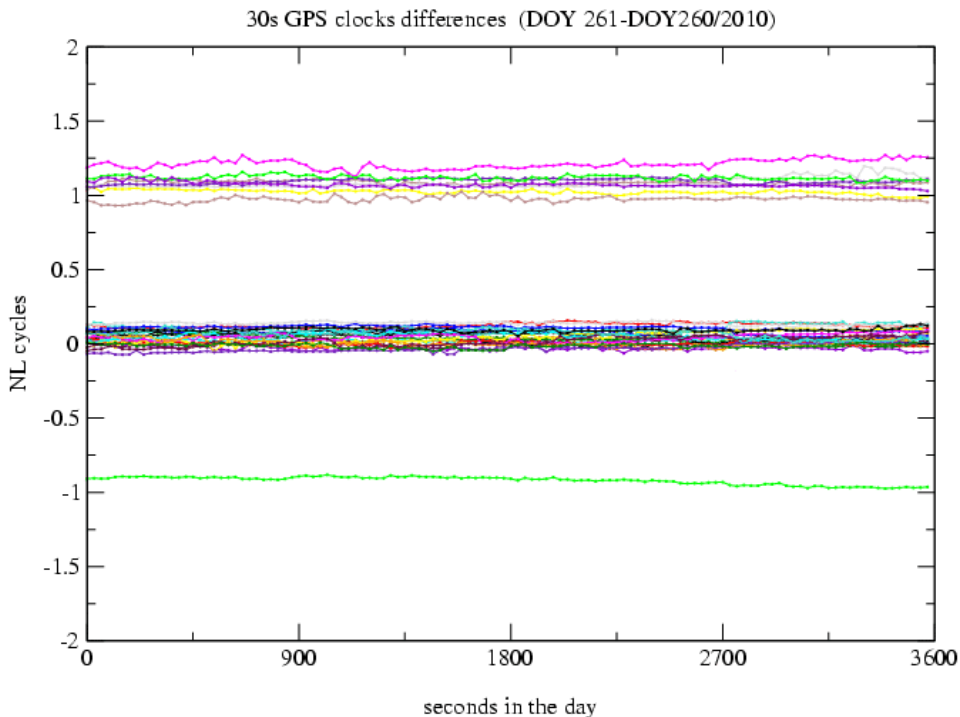
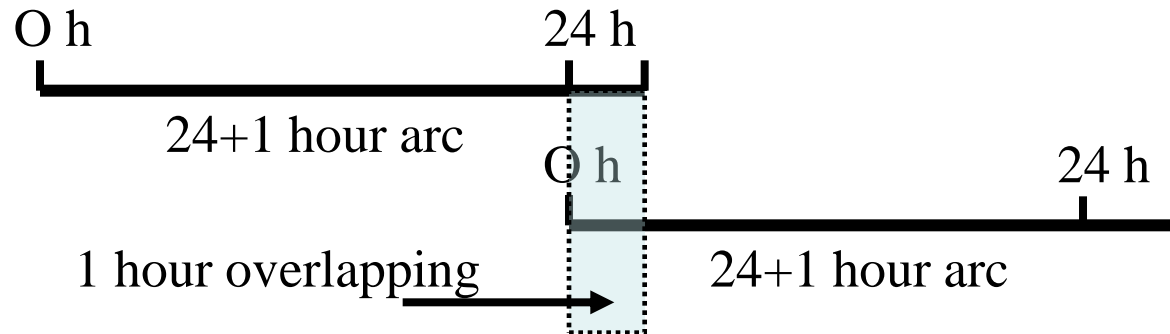
Sylvain Loyer · Félix Perosanz · Flavien Mercier ·
Hugues Capdeville · Jean-Charles Marty

Received: 26 October 2011 / Accepted: 21 March 2012

Propriété des produits « synchro » du CA CNES-CLS

Produits GRG : “Integer Property” of the GRG clock products

Overlaps of two successive clock solutions

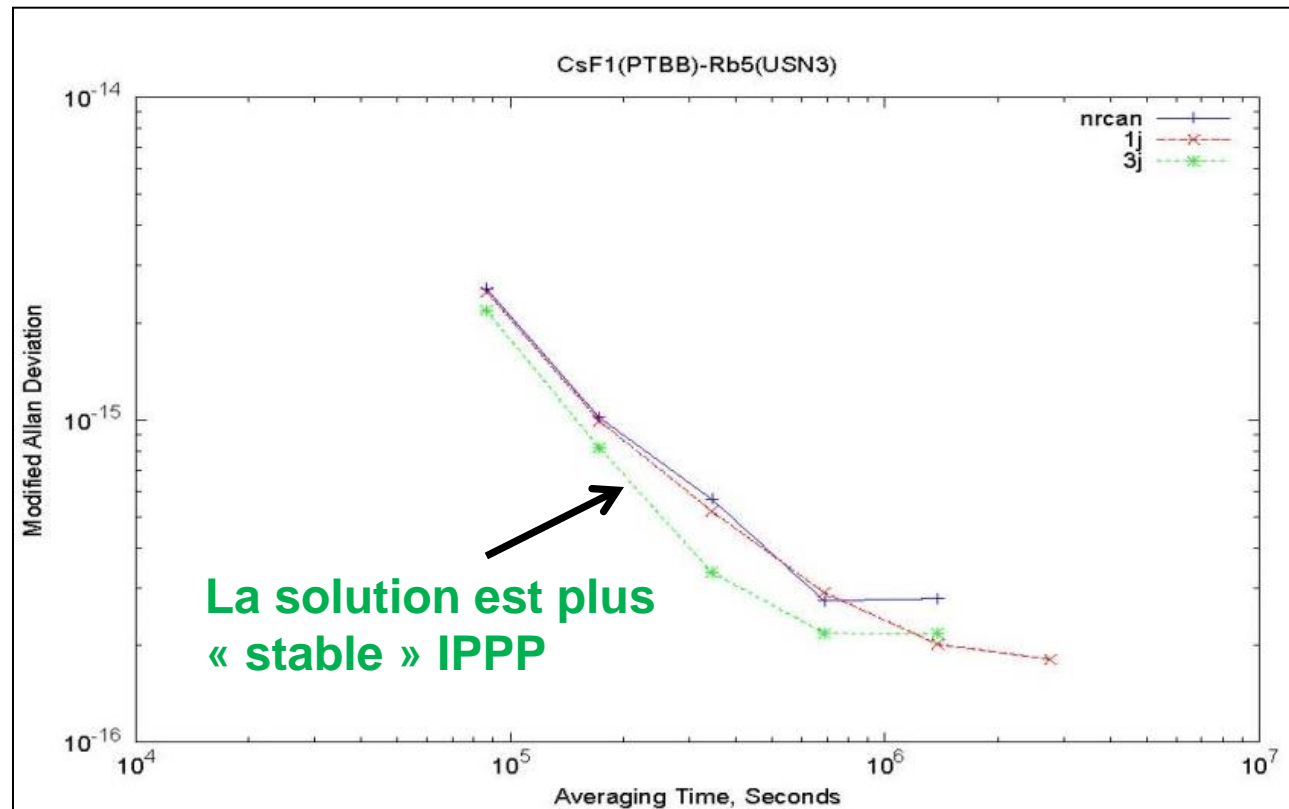


- Ils conservent par construction la nature entière des ambiguïtés
- Associés au WSB (fournis) il permettent le PPP avec blocage des ambiguïté: IPPP
- Les horloges sont continues d'un arc a l'autre (à un nombre entier de cycles prêt)

EXPLOITATION DES PRODUITS GRG : TRANSFERT DE TEMPS PAR IPPP

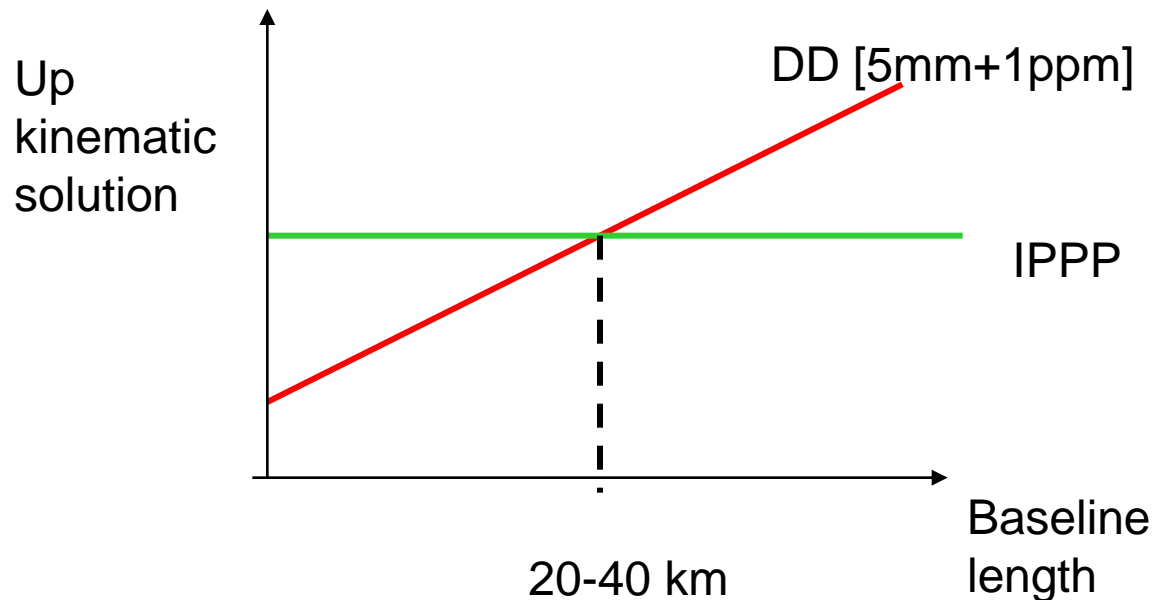
➤ La technique IPPP assure la **continuité** des solutions d'arc en arc ce qui présente un **grand intérêt pour l'observation du comportement d'horloges atomiques** (connectées à des récepteurs GNSS) à long terme.

G. Petit et al. (BIPM)



IPPP vs DD

- La solution DD reste très performante :
 - *Tant que des stations de références sont accessibles*
 - *Tant que la longueur de la base permet de fixer les ambiguïtés entières (50 km en dynamique)*
- La technique i-PPP
 - *Permet de bloquer les ambiguïtés dans « tous les cas »*



Horloges récepteur-satellite
(une valeur par époque)
**Inclus les biais hardware
satellite et récepteur**

Ambiguïtés
(entier par passage)

Code
Bruit $\sim m$

$$\begin{aligned} P_1 &= D_1 + e + \Delta h_{p1} \\ P_2 &= D_2 + \gamma e + \Delta h_{p2} \end{aligned}$$

Phase
Bruit $\sim mm$

$$\begin{aligned} \lambda_1 L_1 &= D_1 + \lambda_1 d_{windup} - e + \Delta h_{L1} - \lambda_1 N_1 \\ \lambda_2 L_2 &= D_2 + \lambda_2 d_{windup} - \gamma e + \Delta h_{L2} - \lambda_2 N_2 \end{aligned}$$

Distance géométrique
+ effets de propagation
(sauf ionosphère)

Phase Wind-Up

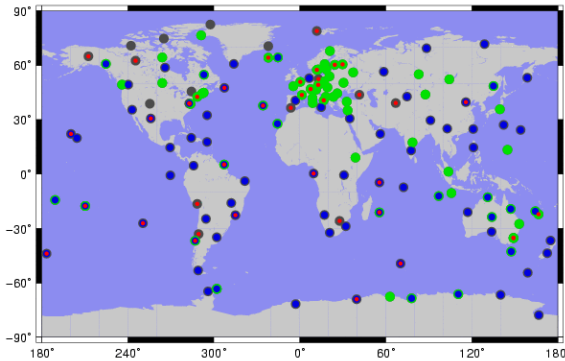
Ionosphere
(premier ordre)

Avec : $\Delta h = h_i - h^j$
la différence d'horloges
récepteur i – satellite j

Traitement

CNES-CLS Analysis Center

<http://igsac-cnes.cls.fr/>



Hardware WSBs (1/sat/day)

Satellite Orbits (300s)

“Integer” Satellite Clocks (30s)

IGS

WSBs

WL
combinations

Single Receiver
RINEX

- Integer **WL** (N1-N2)
- WL Rec. Biases

GRG Orbits

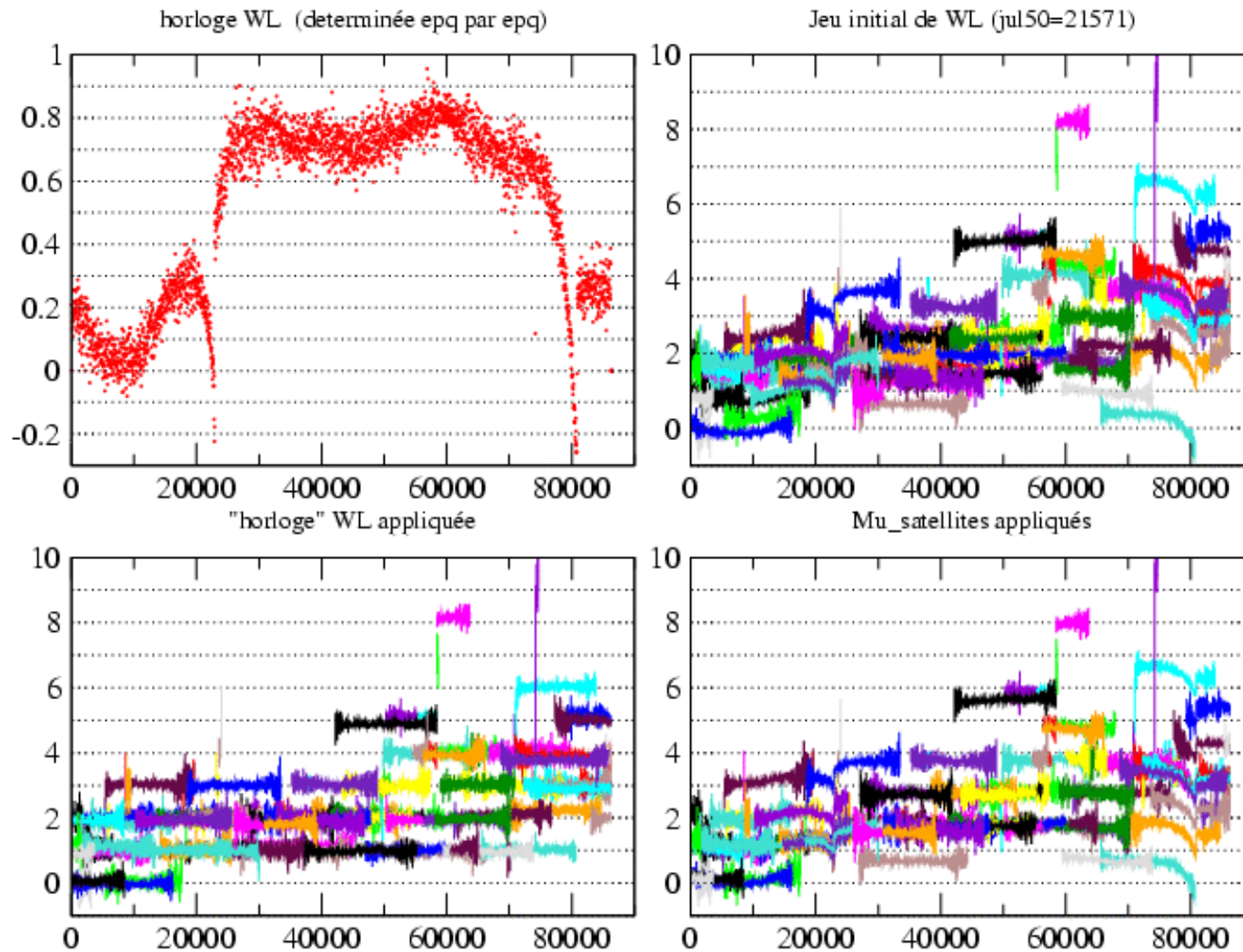
GRG Sat. Clocks

Iono-Free combinations

i-PPP
solution

- Integer **NL** (N1 et N2)
- Positions
- Tropospheric delays
- Rec. clock biases

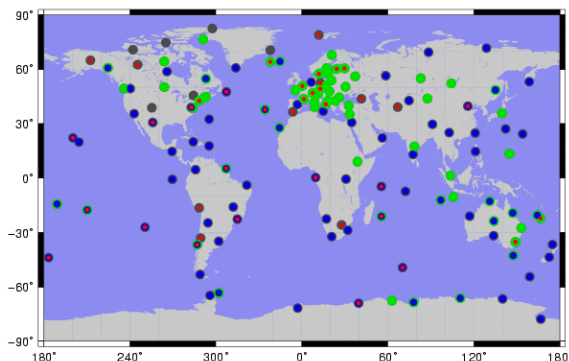
PPP : fixation entière des ambiguïtés



i-PPP

CNES-CLS Analysis Center

<http://igsac-cnes.cls.fr/>



Hardware WSBs (1/sat/day)

Satellite Orbits (300s)

“Integer” Satellite Clocks (30s)

IGS

WSBs

WL
combinations

Single Receiver
RINEX

- Integer **WL** (N1-N2)
- WL Rec. Biases

GRG Orbits

GRG Sat. Clocks

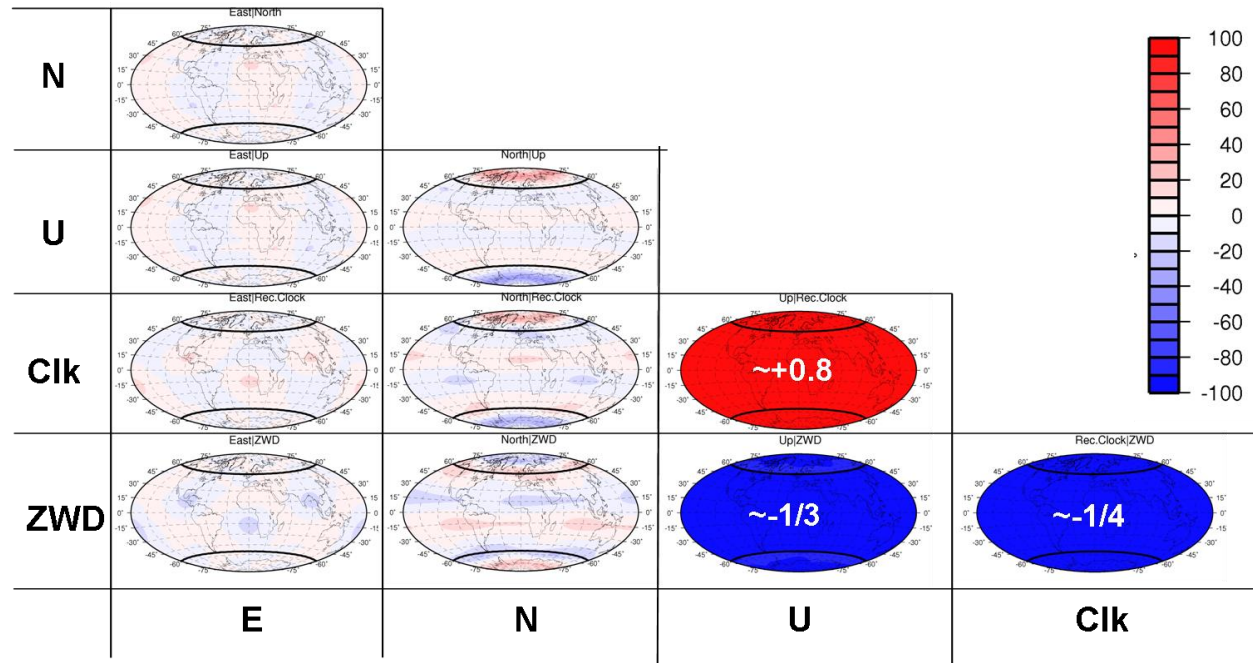
Iono-Free combinations

**i-PPP
solution**

- Integer **NL** (N1 et N2)
- Positions
- Tropospheric delays
- Rec. clock biases

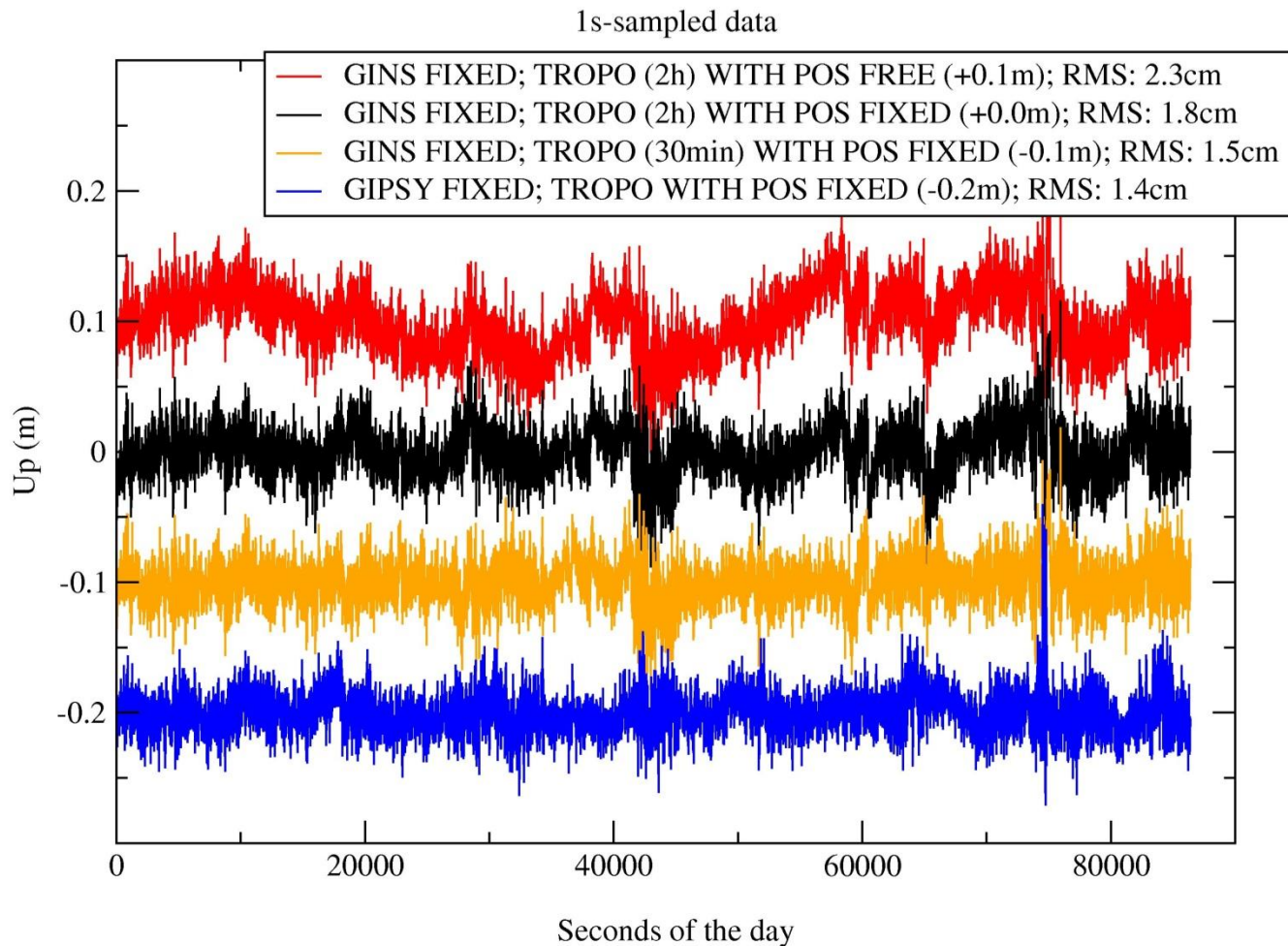
Mode i-PPP/PPP : mise en garde (1/2)

- Contient des « artefacts »
 - Sensible à la géométrie de la constellation
 - Parade : Filtrage « sidéral », analyse en ondelettes, Multi-GNSS,...
 - Intrinsèquement affecté par des corrélations importantes entre les paramètres estimés



- ... qui sont implicitement éliminés par DD différentiation (base courte)
- Possibilité de « i-PPP différentiel » : en mode statique permet de gérer l'ajout ou la suppression d'une station beaucoup plus facilement

Impact de la paramétrisation



Résolution des ambiguïtés Step 1

1. Wide-lane / Melbourne Wubbena combination :

$$L_2 - L_1 - f(P_1, P_2) - (c\tau_{WSB} / \lambda_{WL}) = -N_W - (c\tau_{WRB} / \lambda_{WL})$$

$$N_w = N_2 - N_1$$

$$\lambda_{wl} = 86.19 \text{ cm}$$

$$c\tau_{WSB} / \lambda_{WL}$$

Wide-lane Satellite Bias is provided by CNES-CLS

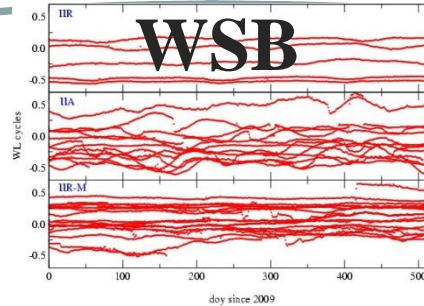
$$N_W + (c\tau_{WRB} / \lambda_{WL})$$

Wide-lane ambiguity NW+ Wide-Lane Receiver Bias is unknown

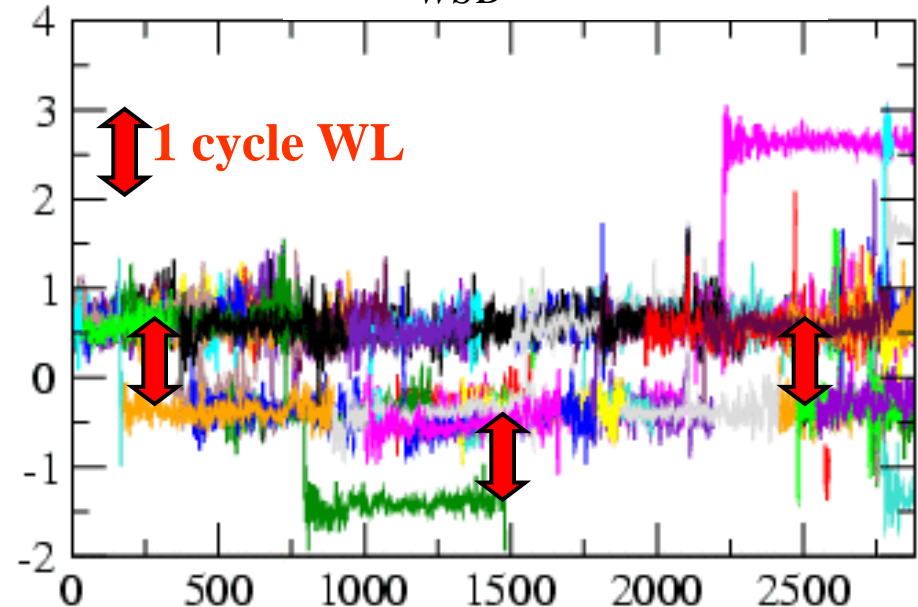
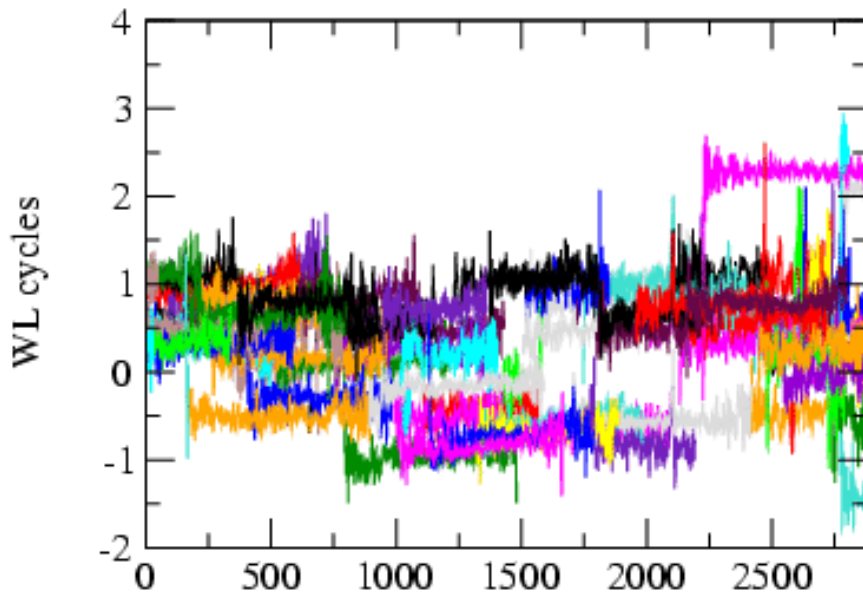
Résolution des ambiguïtés Step 1

- Zero difference wide-lane residuals before and after correction with WSB values

$$L_2 - L_1 - f(P_1, P_2)$$



$$L_2 - L_1 - f(P_1, P_2) - c\tau_{WSB} / \lambda_{WL}$$



- The WL ambiguity $N_w = N_2 - N_1$ can be fixed to an integer value
- The Wide-lane Receiver Bias is the remaining fractional part (modulo 1 WL cycle)

Résolution des ambiguïtés Step 2

2. Ionosphere free phase equation & Narrow lane:

L'ambiguïté Wide-Lane N_w est «injecté » dans la combinaison ionospheric-free de L1 et L2 (plus de mesures de phase a partir de là)

$$\gamma = (\lambda_1 / \lambda_2)$$

$$\frac{\gamma \lambda_1 L_1 - \lambda_2 (L_2 + N_w)}{\gamma - 1} = D + \lambda_c d_{windup} + \Delta t - \lambda_c N_1$$

Measurements

Propagation model

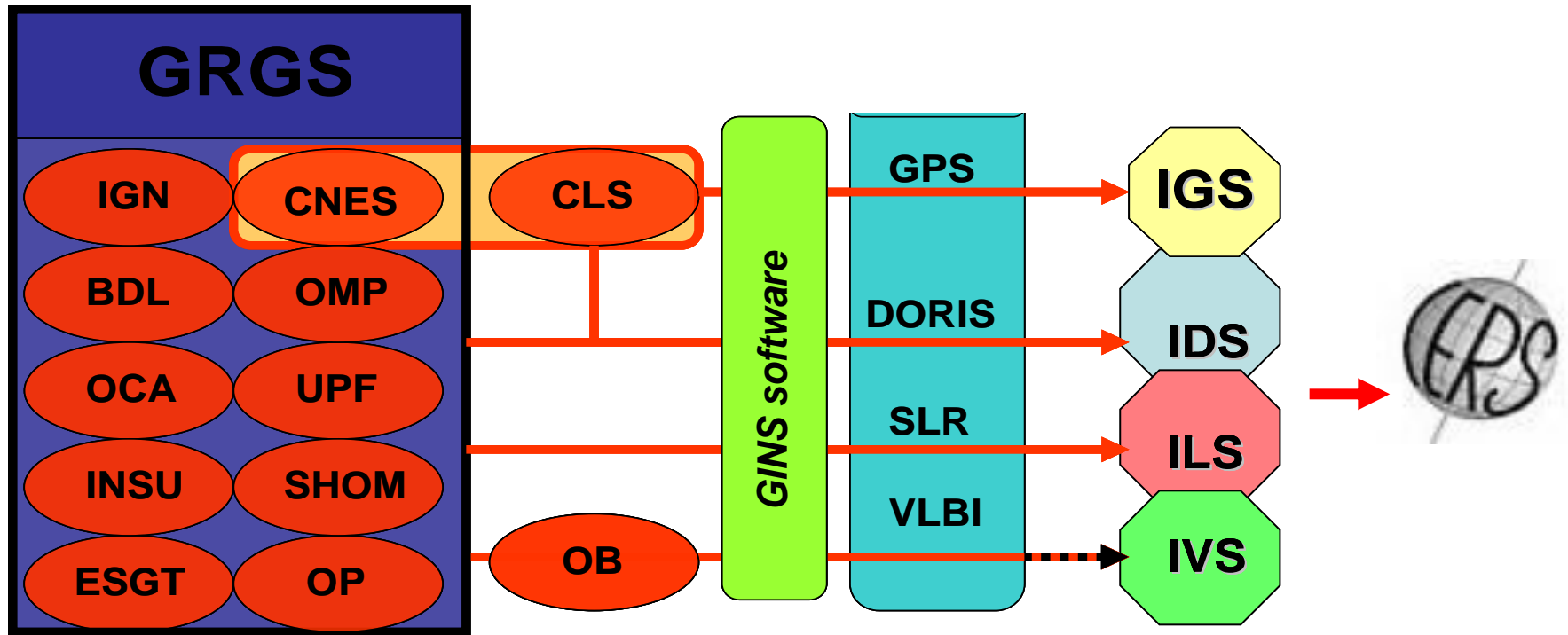
Iono-Free phase clock differences

Integer ambiguity

Narrow-Lane wavelength 10.7 cm

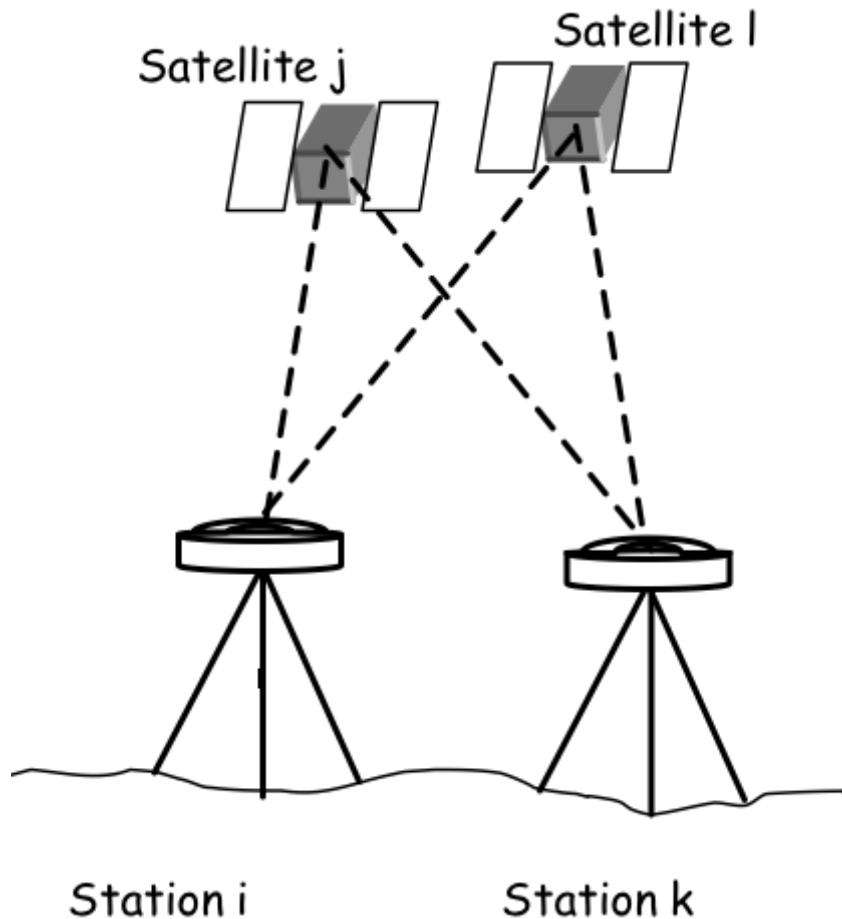
Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (1971)

<http://grgs.obs-mip.fr>



- Contribution aux services internationaux de l'IAIG
- Distribution des produits (orbites/horloges,...) et du logiciel GINS
- Détermination de modèles: Champ de gravité, thermosphère,...

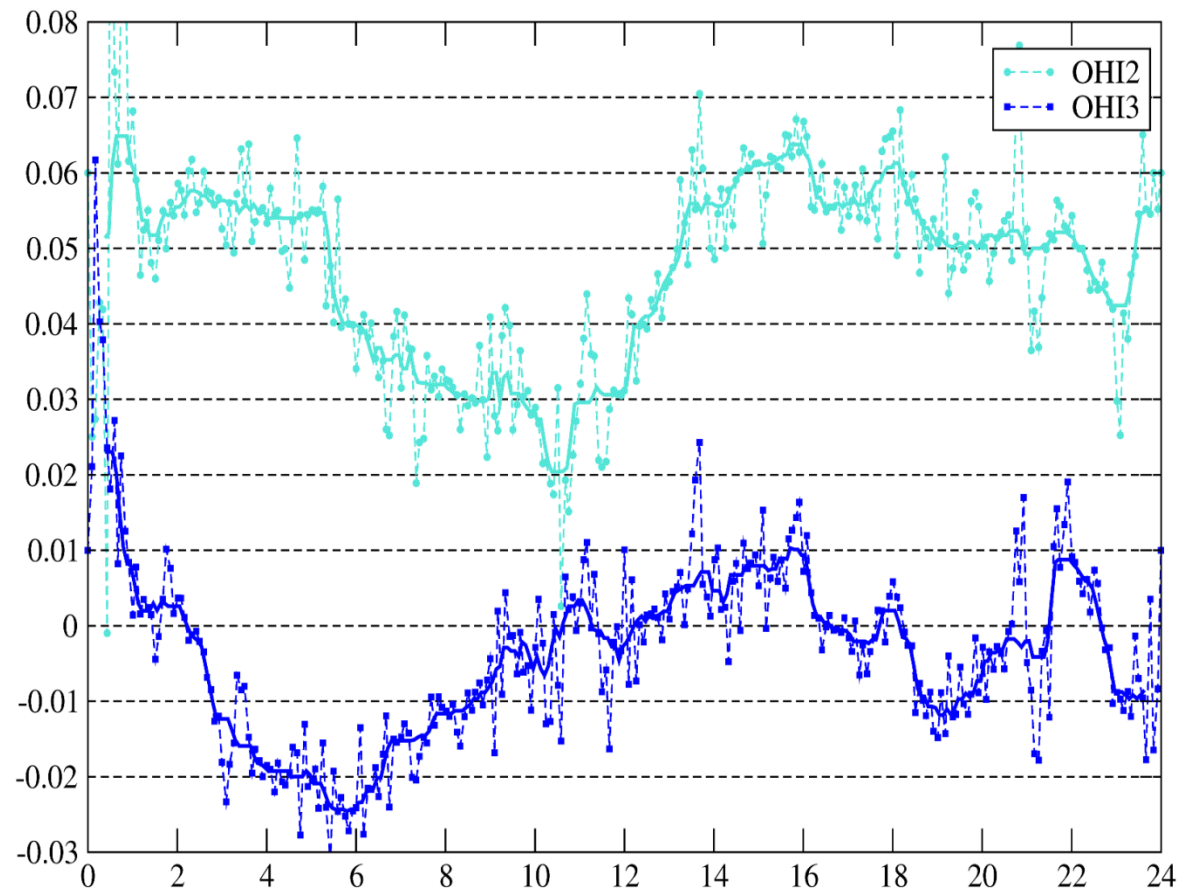
Approche classique: Double-différence



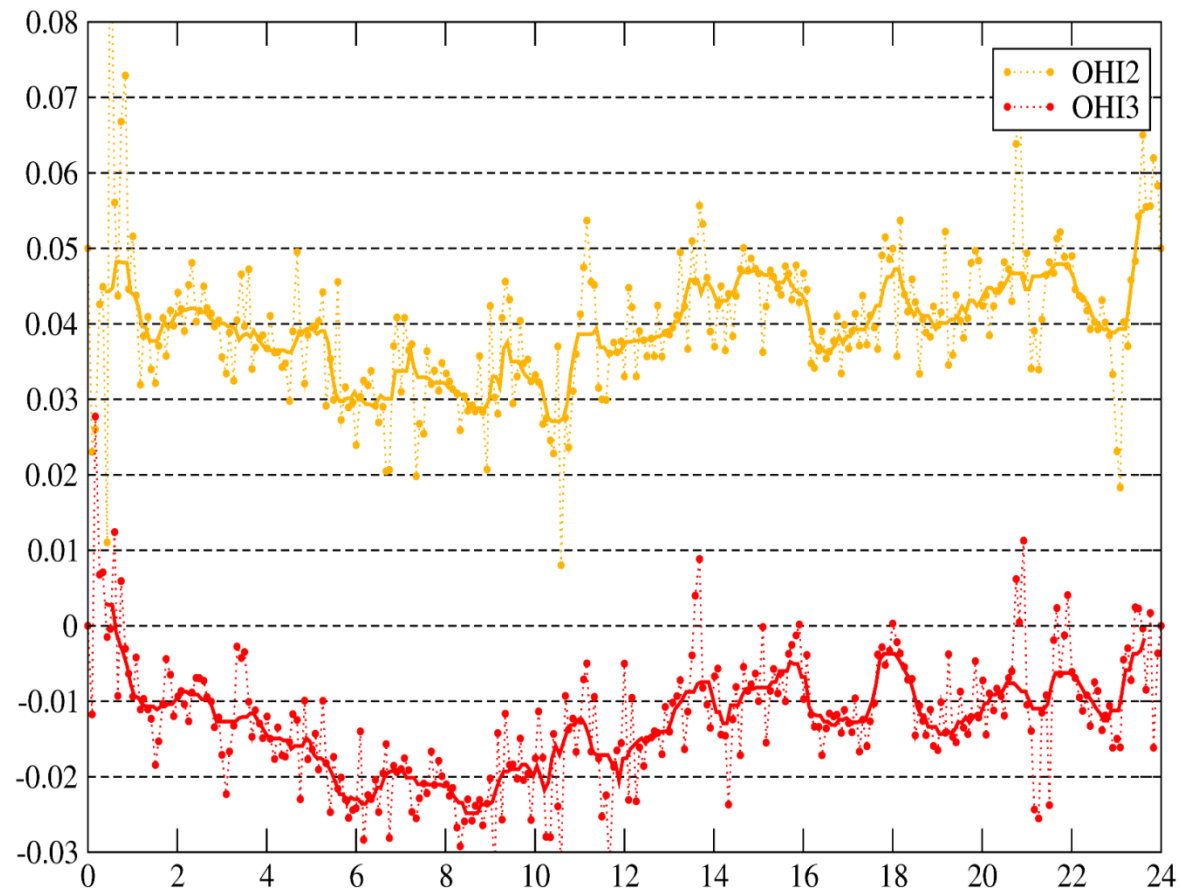
- Diminuer les erreurs d'orbite et horloges satellite et récepteur
- Pour éliminer l'impact des biais hardware satellite
- ... et récepteur
- et fixer les ambiguïtés entières de phase à des entiers

*... mais les DD ne mesurent que la position/déformation **relative** entre les (deux) stations*

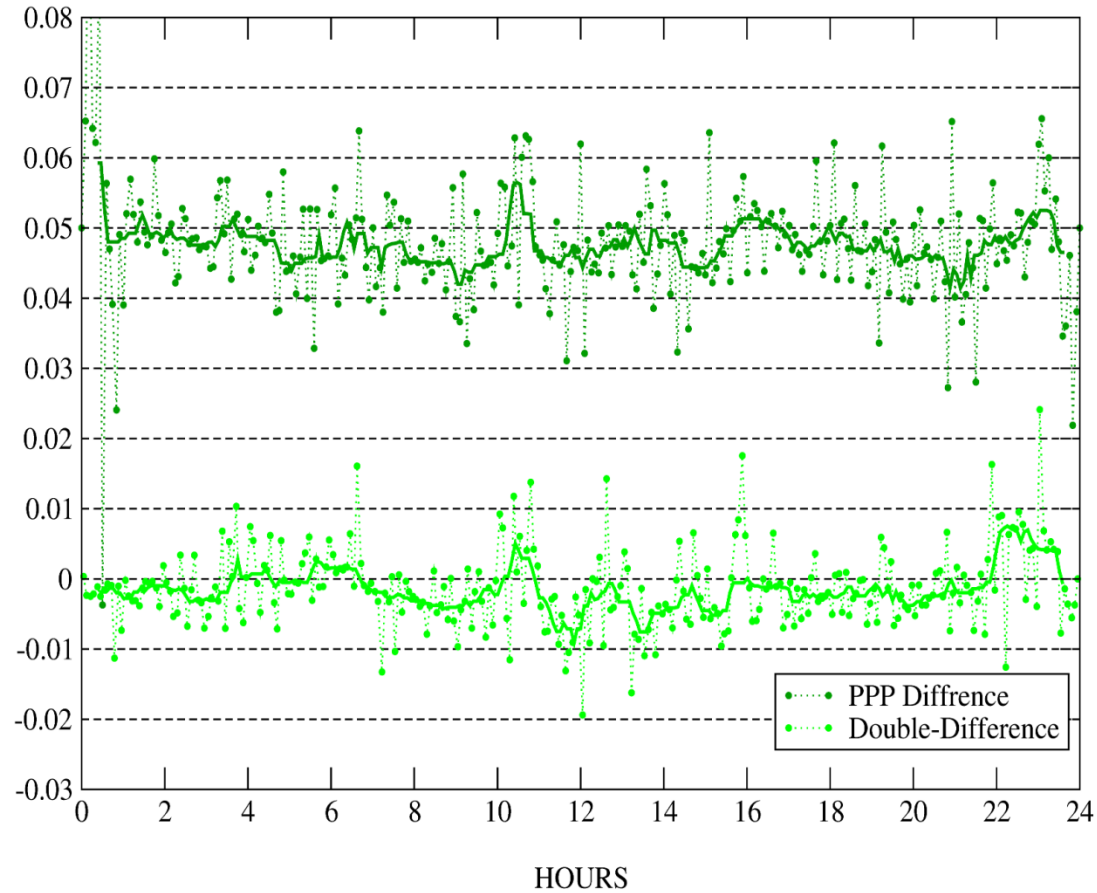
Solution PPP Dynamique Est-Ouest

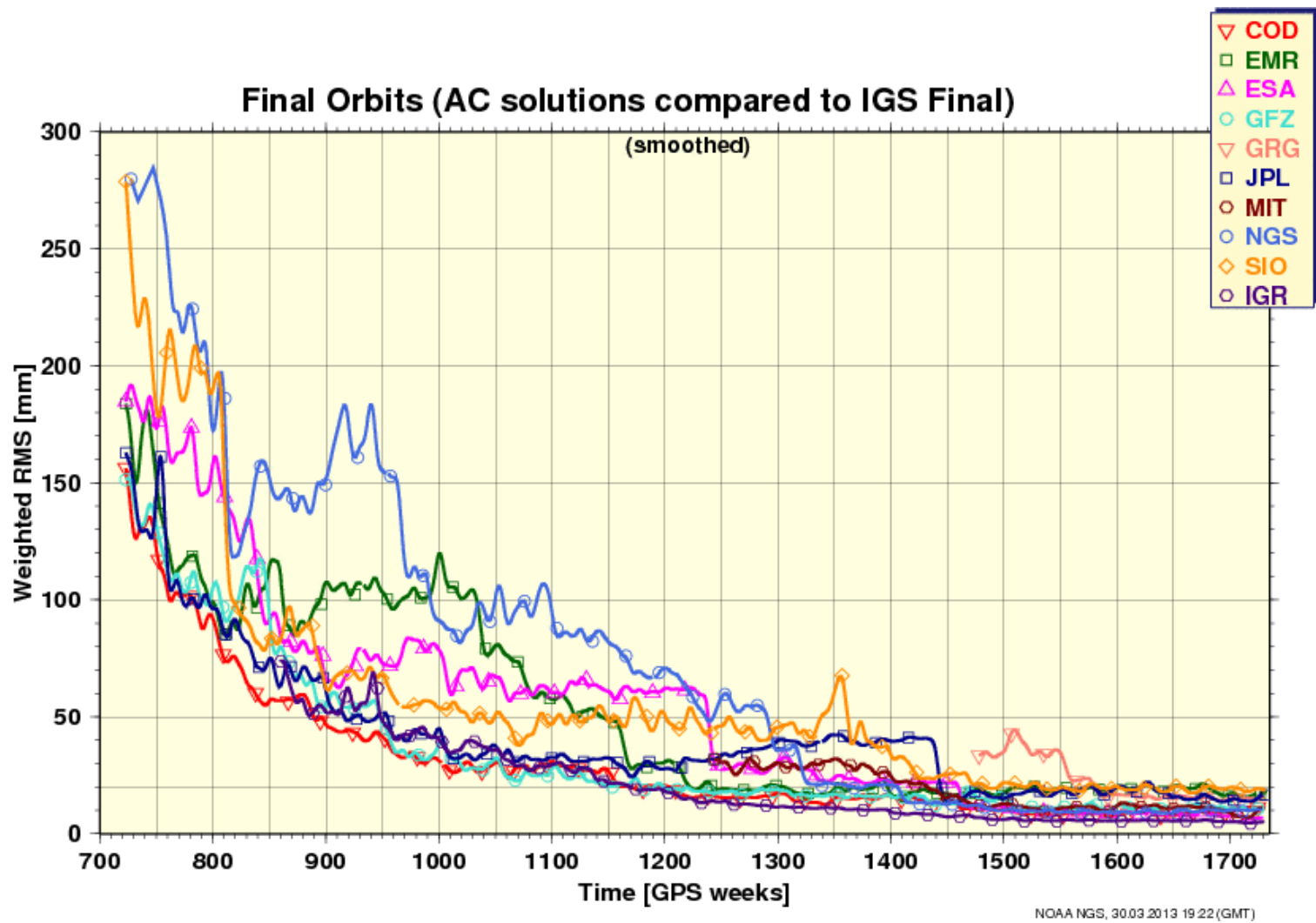


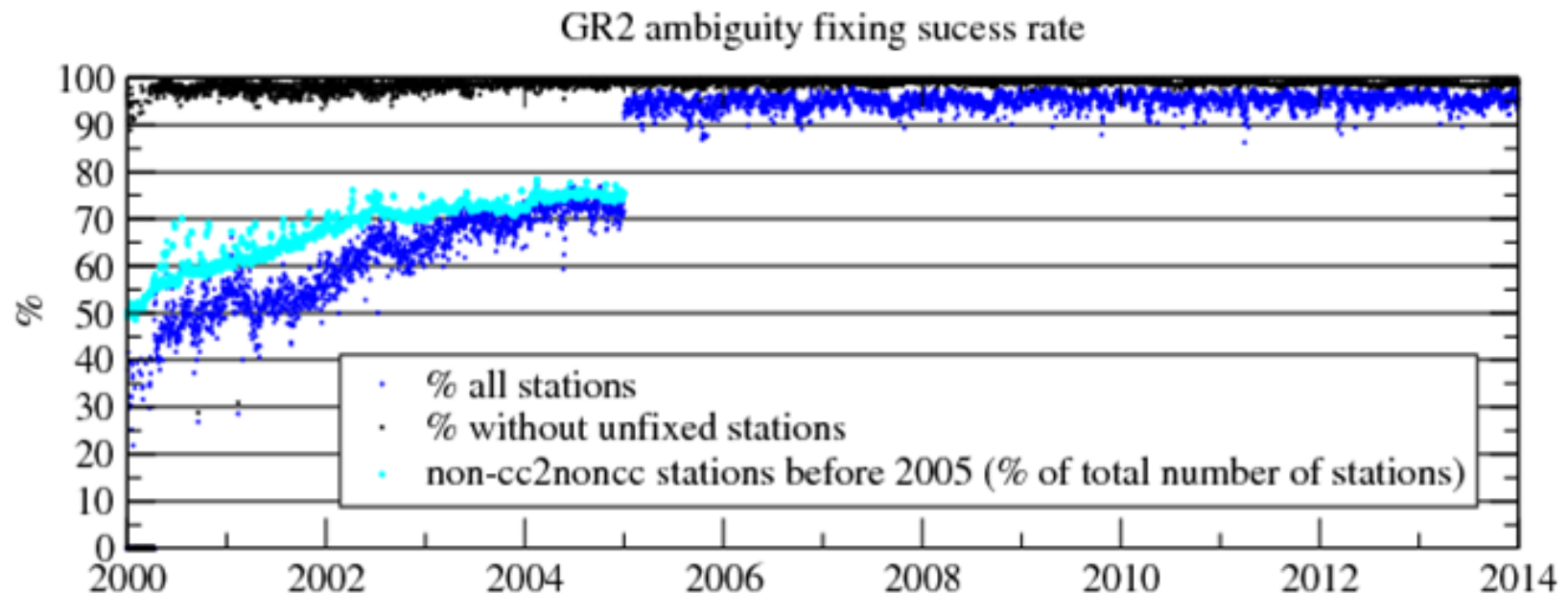
Solution i-PPP Dynamique Est-Ouest



Difference (i-PPP) vs DD Solution Dynamique Est-Ouest





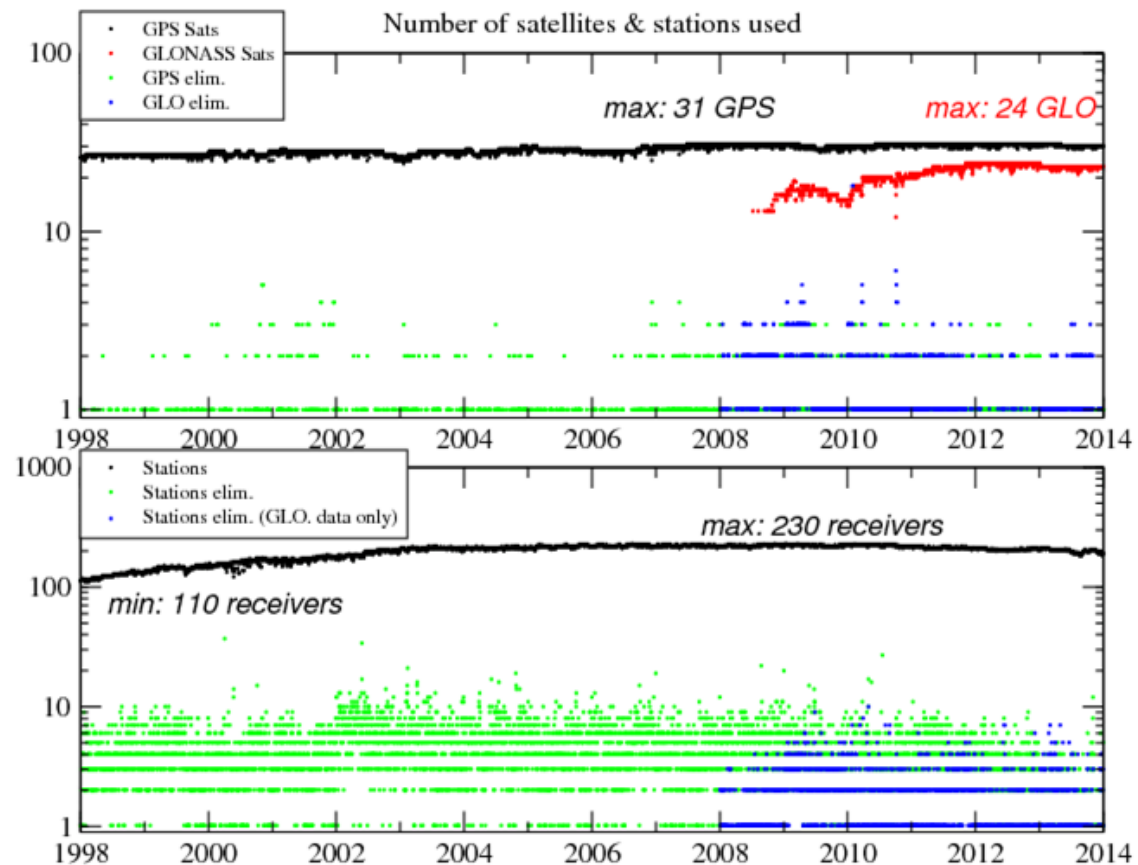


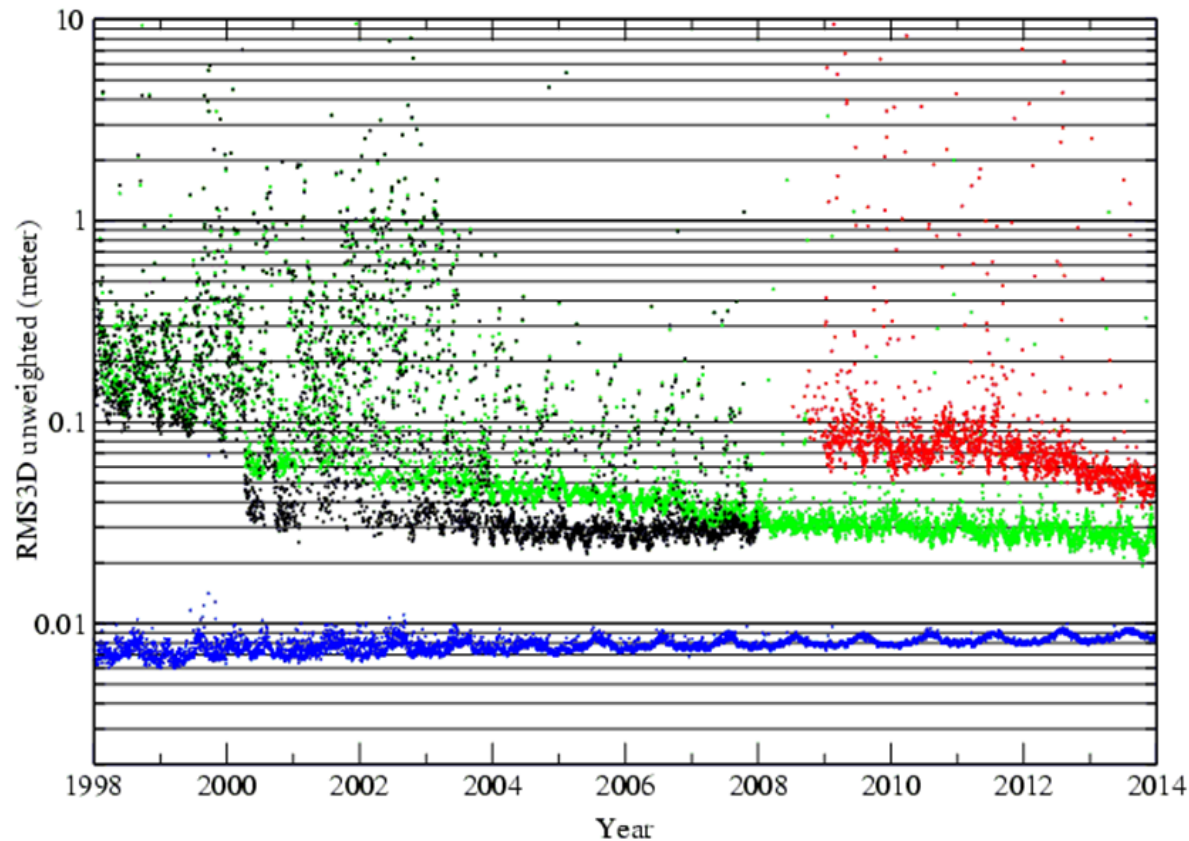
- Year

- *GR2 ambiguity fixing success rate. The fixation rate is very good from 2005 to the end of 2013. From 2000 to the end of 2004 we fix only the stations which do not require a code data correction with the program cc2noncc. This topic is discussed in the poster “**Wide-Lane ambiguity fixing anomalies observed in Repro2 solutions**” by F. Mercier et al. in the session PS03 - Bias and Calibration -.*

Traitements REPRO2 du CA CNES-CLS de l'IGS

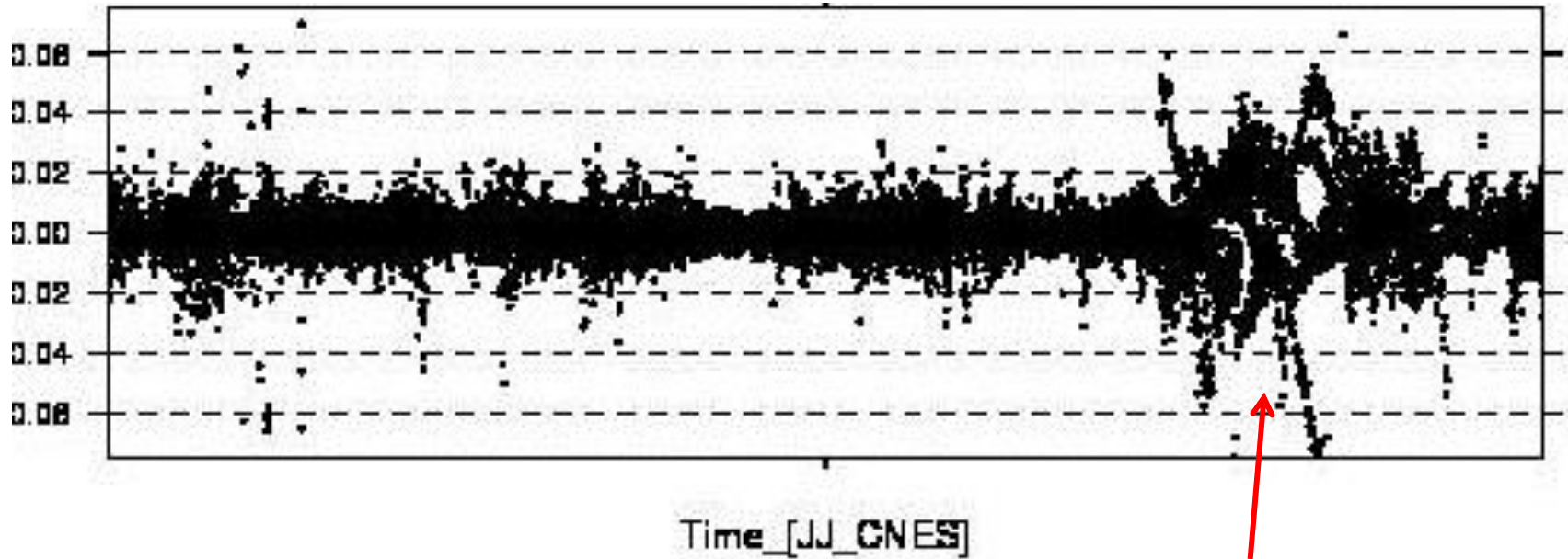
- Plus de 1.2 million de RINEX a traiter
- Reseau entre 110 et 230 stations
- GPS depuis 1998
- GLONASS depuis 2008



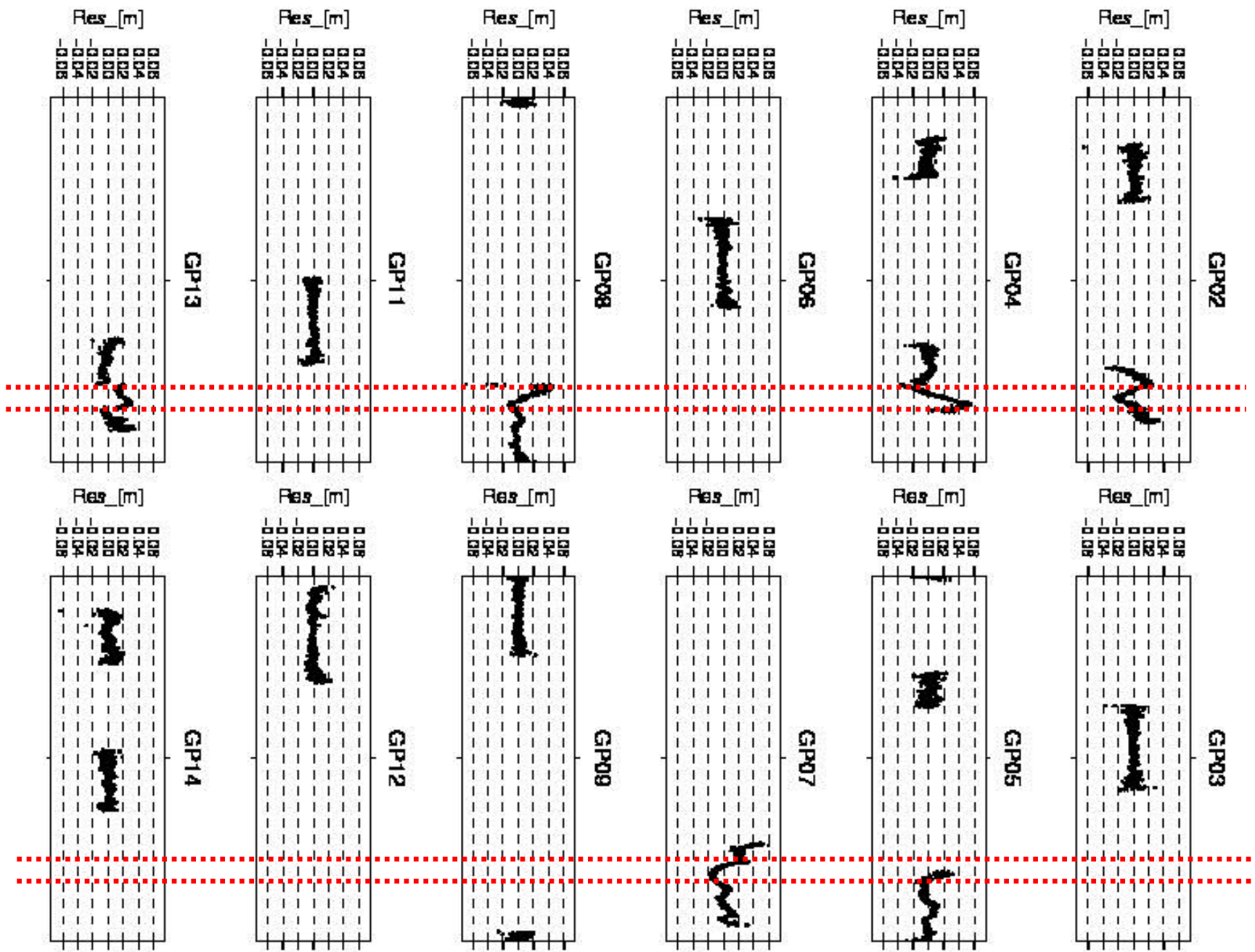


- Phase measurement residuals and the RMS3D orbit comparisons to the IGS orbits on the overall ITRF2013 processing period.
- The phase measurement residuals range between 8 and 10 mm (blue curve).
- In green on the graph, GR2 orbits compared to the weekly IGS orbits. We can see a slight increase of the RMS3D comparison before 2008.
- However, when we compare GR2 orbits to the REPRO1 IGS orbit (IG1, in black), the RMS3D is at the same level, about 3 cm. Indeed, the GR2 orbits are more consistent with the IG1 orbits which have been reprocessed for the ITRF2008.
- The comparison for GLONASS orbits is illustrated by the red curve.
- The discrepancy to the IG1 orbits decreases with time

Analyse des résidus

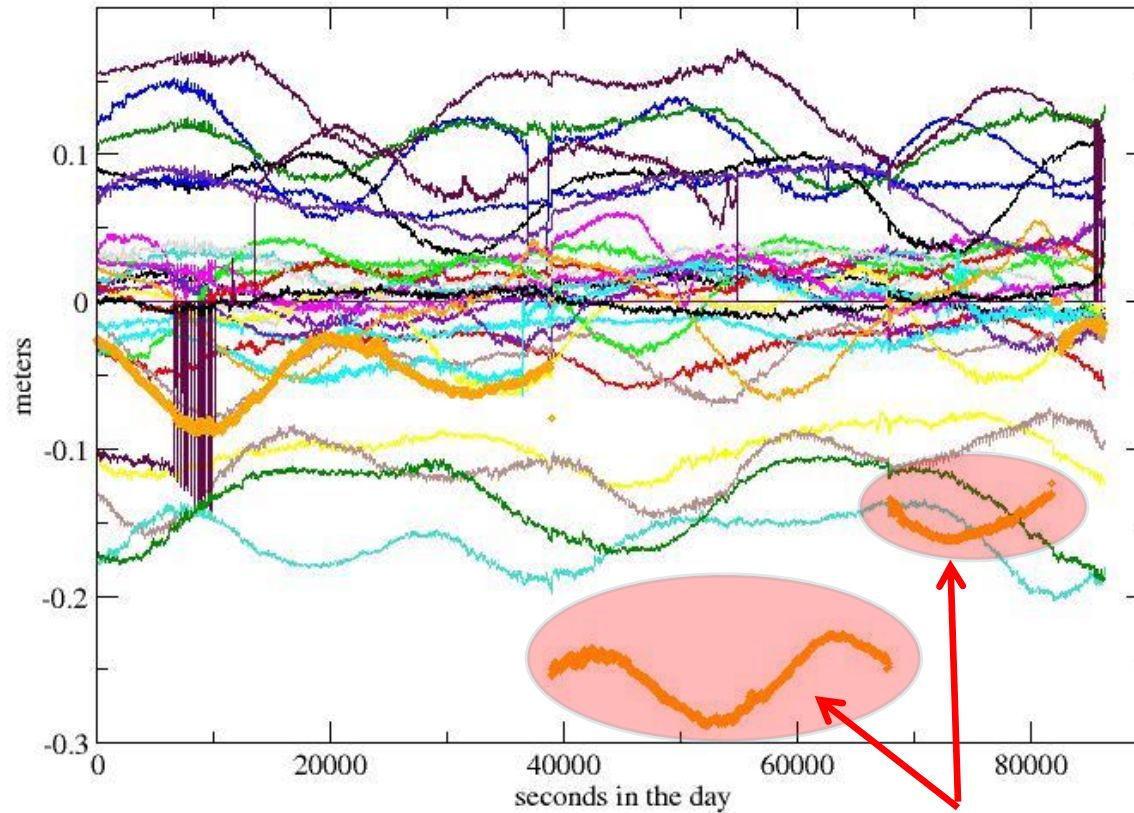


Comportement anormal des résidus en fonction du temps



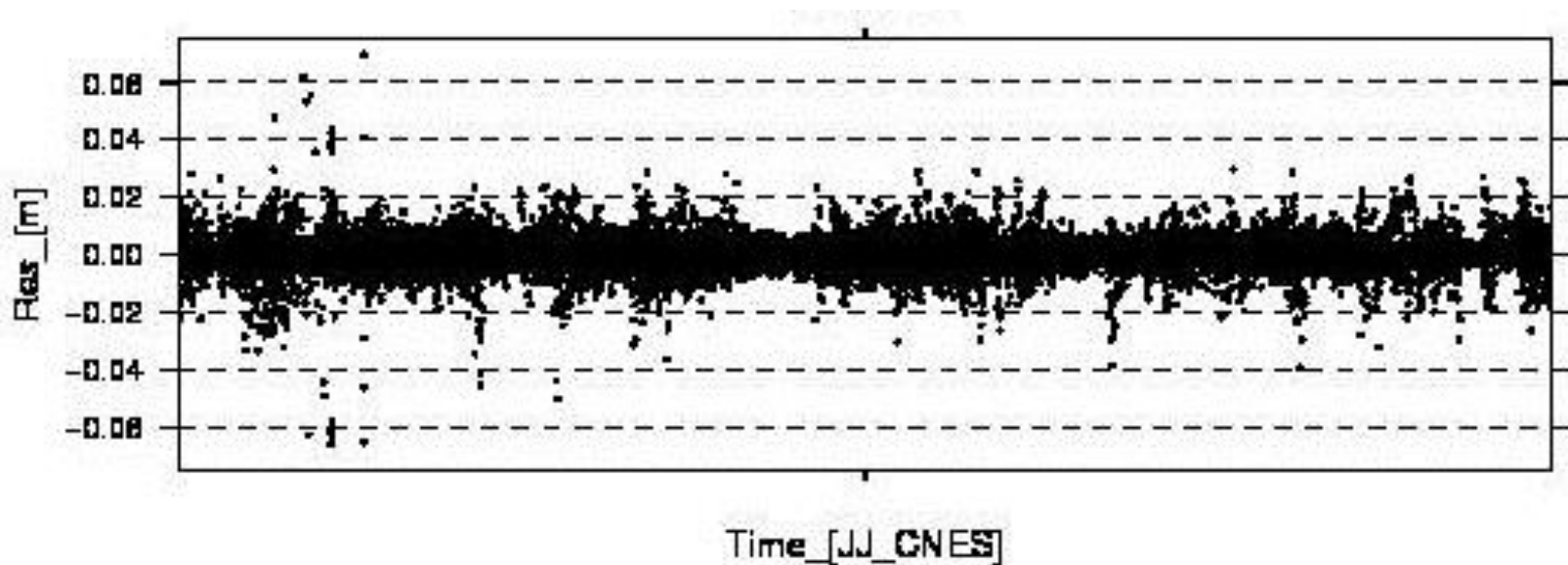
GPS clocks differences : GR2 vs IGS 30s

JUL 21 1915 - PRN13

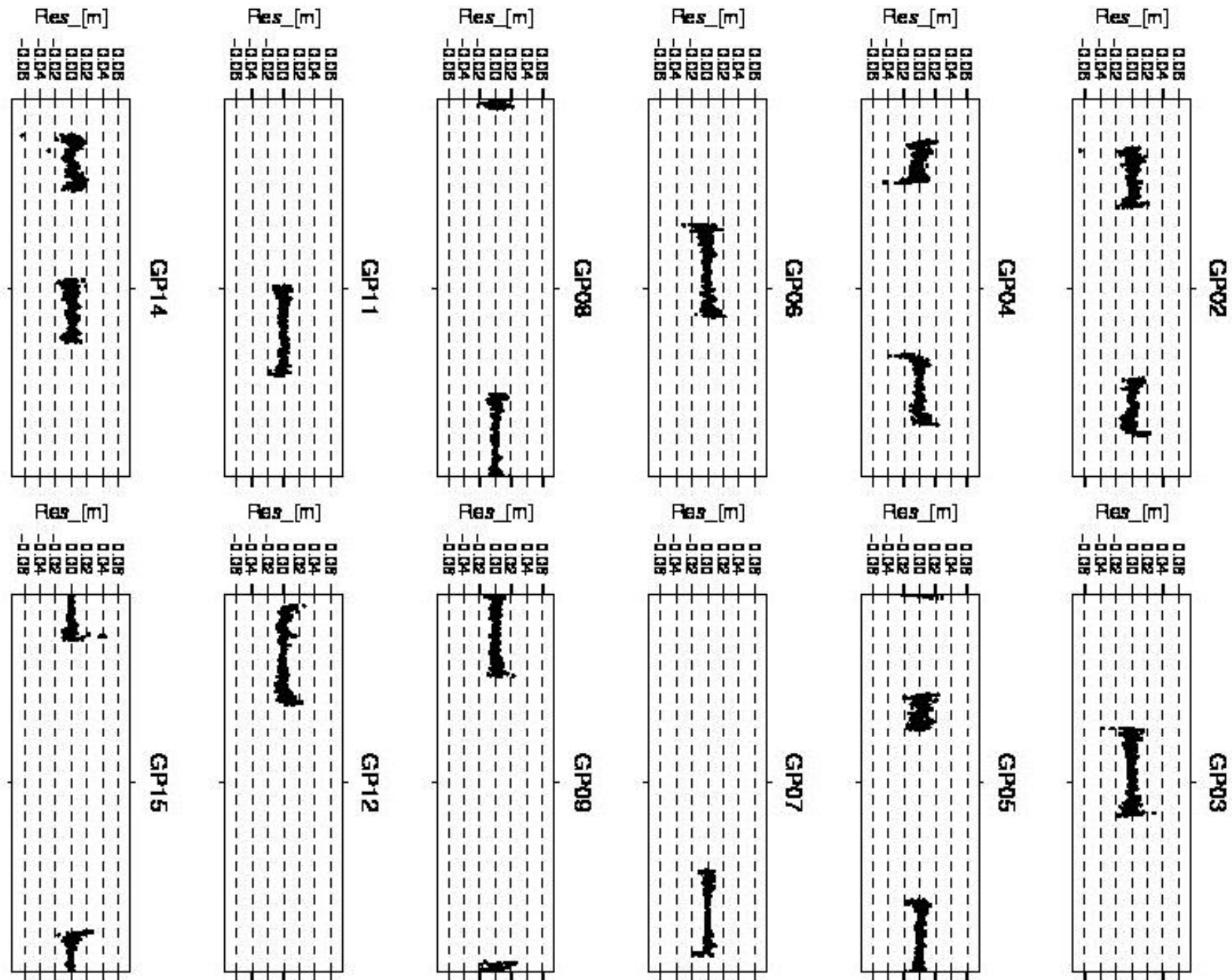


La correction d'horloge du GPS13 est discontinue

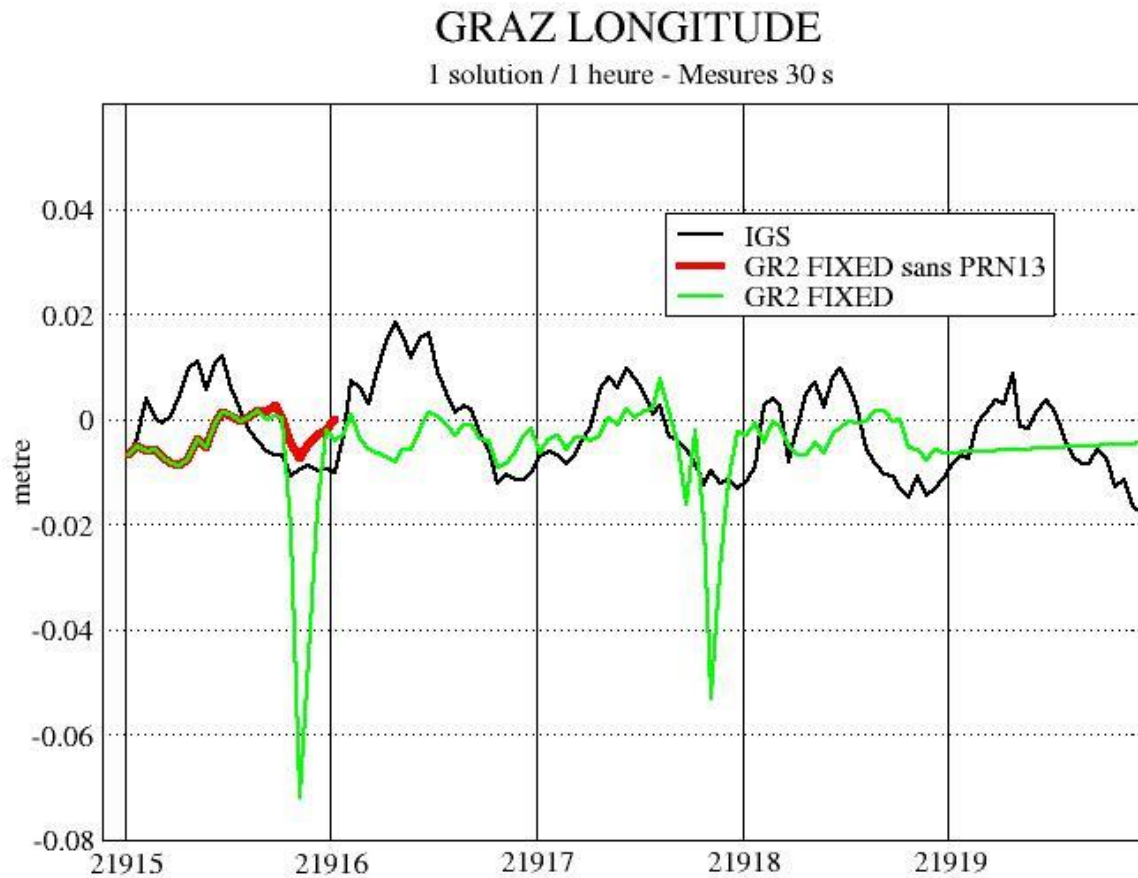
Analyse des résidus après suppression du satellite GPS13



- Une erreur sur 1 seul des satellites impactait quasiment les résidus de l'ensemble des observations (via les corrélations des paramètres)
- Cela rend difficile l'analyse de problèmes



Solution avec et sans le GPS13



EXPLOITATION DES PRODUITS GRG : TRANSFERT DE TEMPS PAR IPPP

➤ La technique IPPP assure la **continuité** des solutions d'arc en arc ce qui présente un **grand intérêt pour l'observation du comportement d'horloges atomiques** (connectées à des récepteurs GNSS) à long terme.

G. Petit et al. (BIPM)

