GINS PC

GÉODÉSIE PAR INTÉGRATIONS NUMÉRIQUES SIMULTANÉES

Formation GINS 6-8 avril 2016

Traitement GNSS avec GINS

Félix Perosanz

cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

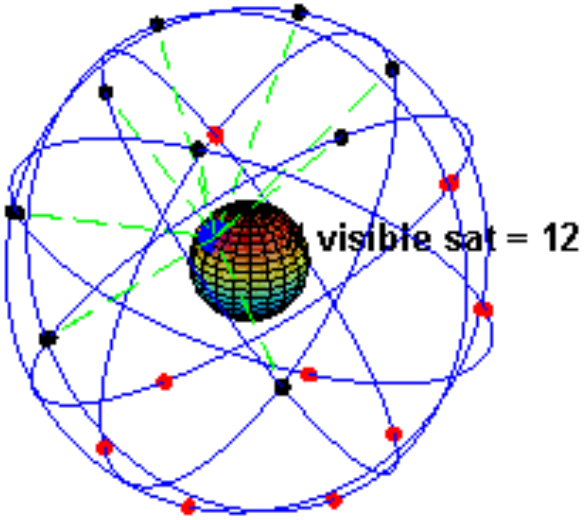
GRGS
GROUPE DE RECHERCHE DE GEODESIE SPATIALE

Observatoire Midi-Pyrénées
OMP

GET
GÉOSCIENCES ENVIRONNEMENT TOULOUSE

GNSS data content

Mesure	=	Position du récepteur
	+	Position satellite
	+	centre de phase récepteur
	+	centre de phase satellite
	+	horloge récepteur
	+	horloge satellite
	+	Ionosphère
	+	troposphère
	+	relativité
	+	Ambiguité
	+	phase “wind-up”
	+	Biais electronique récepteur
	+	Biais electronique satellite



Measure – model = residual

Residuals = . Instrumental/environmental errors (noise, bias, drift, radio mask, multi-path, bad operation…)

. model errors (orbit/clock, signal propagation, Earth deformation,…)

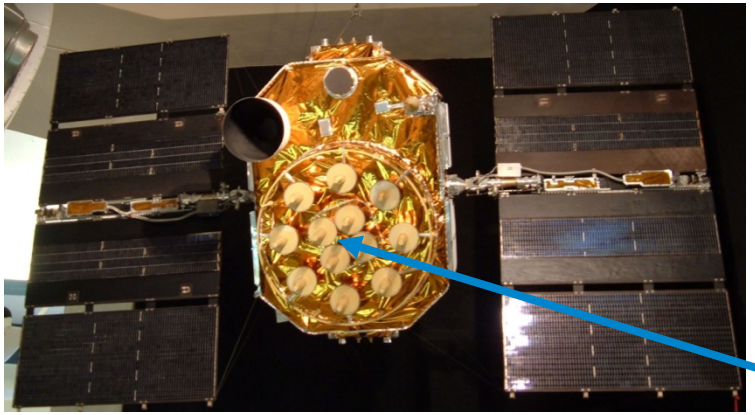
. Algorithm errors (bad parameterization,

Inverse method (least square):

- *Identify measurements and model parameters to be estimated*
  - GNSS observations can be used for positioning but also for a huge variety of applications: time/frequency transfer, atmospheric sounding, space weather,…
- *Over-determined system: much more measurements than unknowns*
  - Warning: correlations between parameters

Phase center correction: PCO and PCV

PCO=Phase Center Offset
PCV=Phase Center Variation



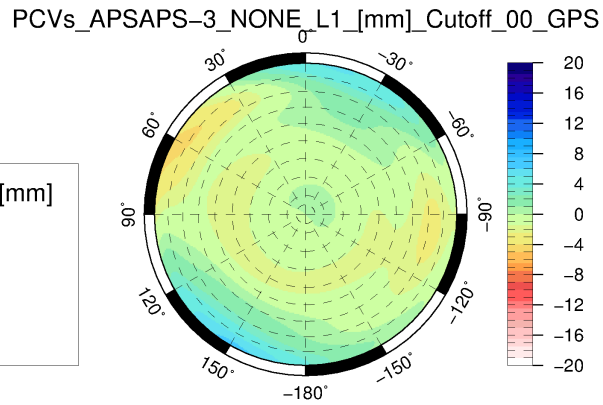
Satellite :

- PCO between the center of mass of the satellites and the phase center of the transmiting antenna
- Between 1 and 2 meters depending on the satellites
- Conventional values aligned with the ITRF realization
  - ➢ Given by the IGS: ANTEX file
- PCV unknown

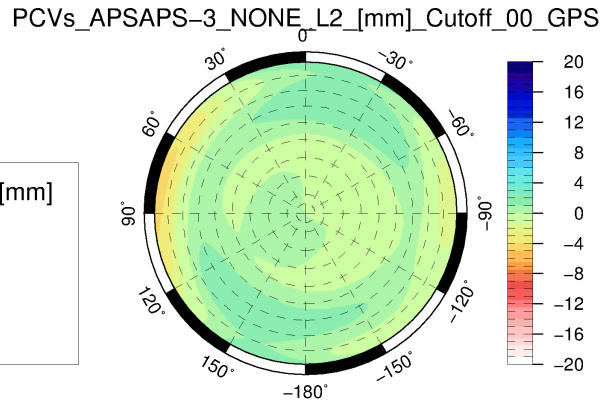
Receiver :

- PCO between the geodetic benchmark and the Antenna reference point
  - ➢ Input from the user
- PCV calibrated on ground for any geodetic antenna
  - ➢ Given by the IGS: ANTEX file

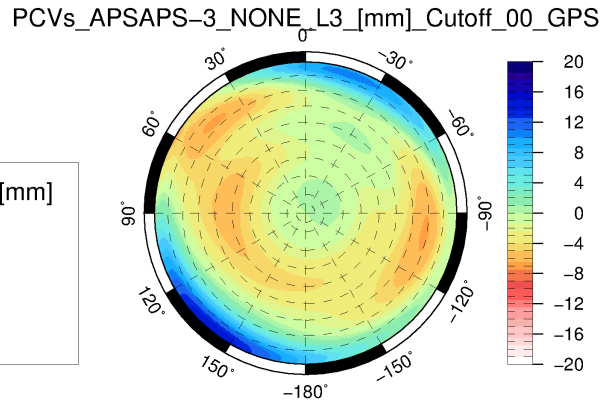
Exemple de PCO/PCV (igs08.atx)



PCOs_L1_[mm]
E=0.420
N=0.270
U=90.550



PCOs_L2_[mm]
E=0.990
N=1.110
U=81.150



PCOs_L3_[mm]
E=−0.461
N=−1.028
U=105.080

L1

L2

LC

Antenne : GPS
Modèle : APSAPS-3
Radôme : aucun

- Les antennes de récepteurs géodésiques ont été étalonnées
- Marqueur-ARP: mesuré par l'utilisateur
- ARP-PCO: ~10cm
- PCO-PCV: +/- 10mm selon la direction d'arrivée des signaux

Traitement des mesures zéro-difference

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

Ambiguités
(entier par passage)

Code
Bruit ~m

Phase
Bruit ~ mm

$$
\begin{aligned}
P_1 &= D_1 + e + \Delta h_{p1} \\
P_2 &= D_2 + \gamma e + \Delta h_{p2} \\
\lambda_1 L_1 &= D_1 + \lambda_1 d_{windup} - e + \Delta h_{L1} - \lambda_1 N_1 \\
\lambda_2 L_2 &= D_2 + \lambda_2 d_{windup} - \gamma e + \Delta h_{L2} - \lambda_2 N_2
\end{aligned}
$$

Distance géométrique
+ effets de propagation
(sauf ionosphère)

Phase Wind-Up

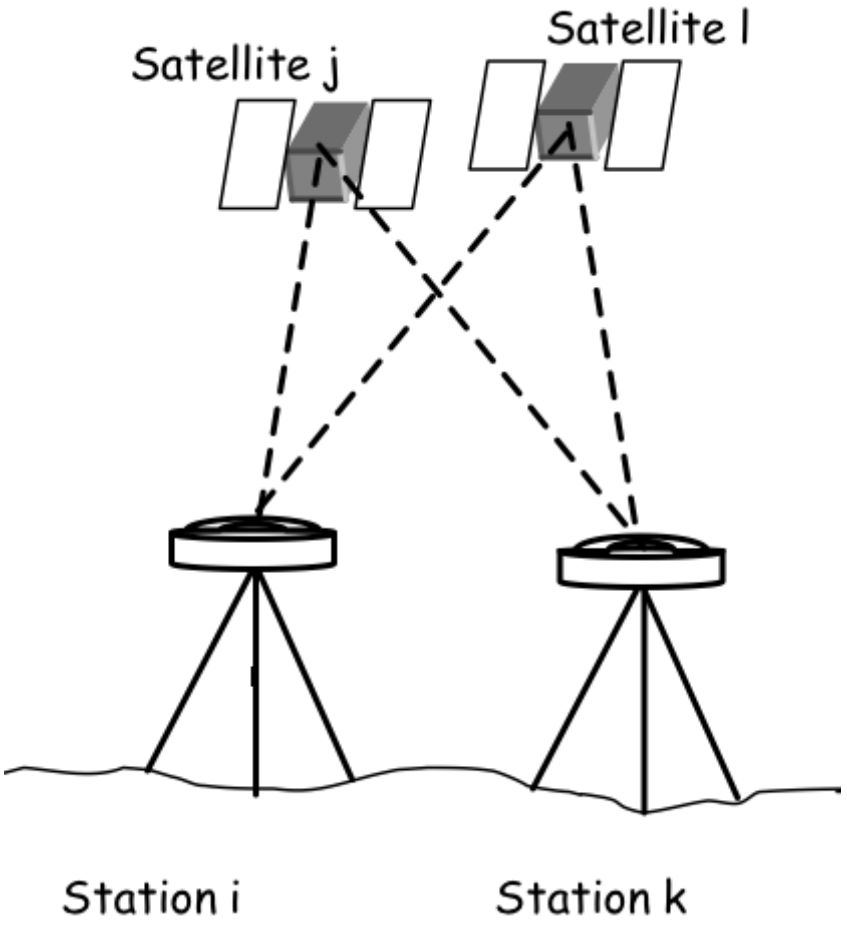
Ionosphere
(premier ordre)

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

Paramètres à estimer: cas PPP cinématique

Mesure	=	Position du récepteur	Estimé
	+	Position satellite	Donnée: SP3 (IGS/GRG)
	+	centre de phase récepteur	Donnée: ANTEX (IGS)
	+	centre de phase satellite	Donnée: ANTEX (IGS)
	+	horloge récepteur	Estimé à chaque époque
	+	horloge satellite	Donnée: CLK (IGS/GRG)
	+	Ionosphère	Eliminé
	+	troposphère	Estimé toutes les 2 heures
	+	relativité	Modèle IERS
	+	Ambiguité	Estimé par « passage » de satellite
	+	phase “wind-up”	Modèle IGS
	+	Biais electronique récepteur	Estimé au prétraitement
	+	Biais electronique satellite	Donnée: WSB (GRG)

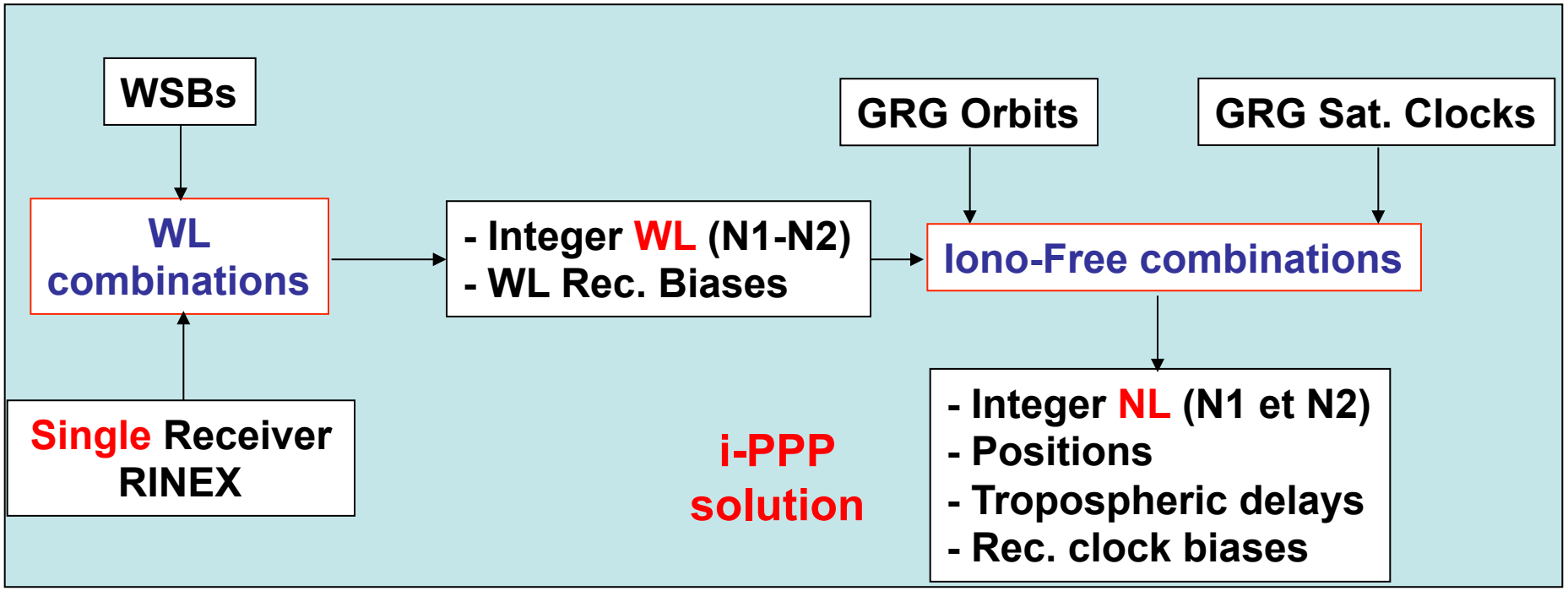
Approche classique: Double-différence



- 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

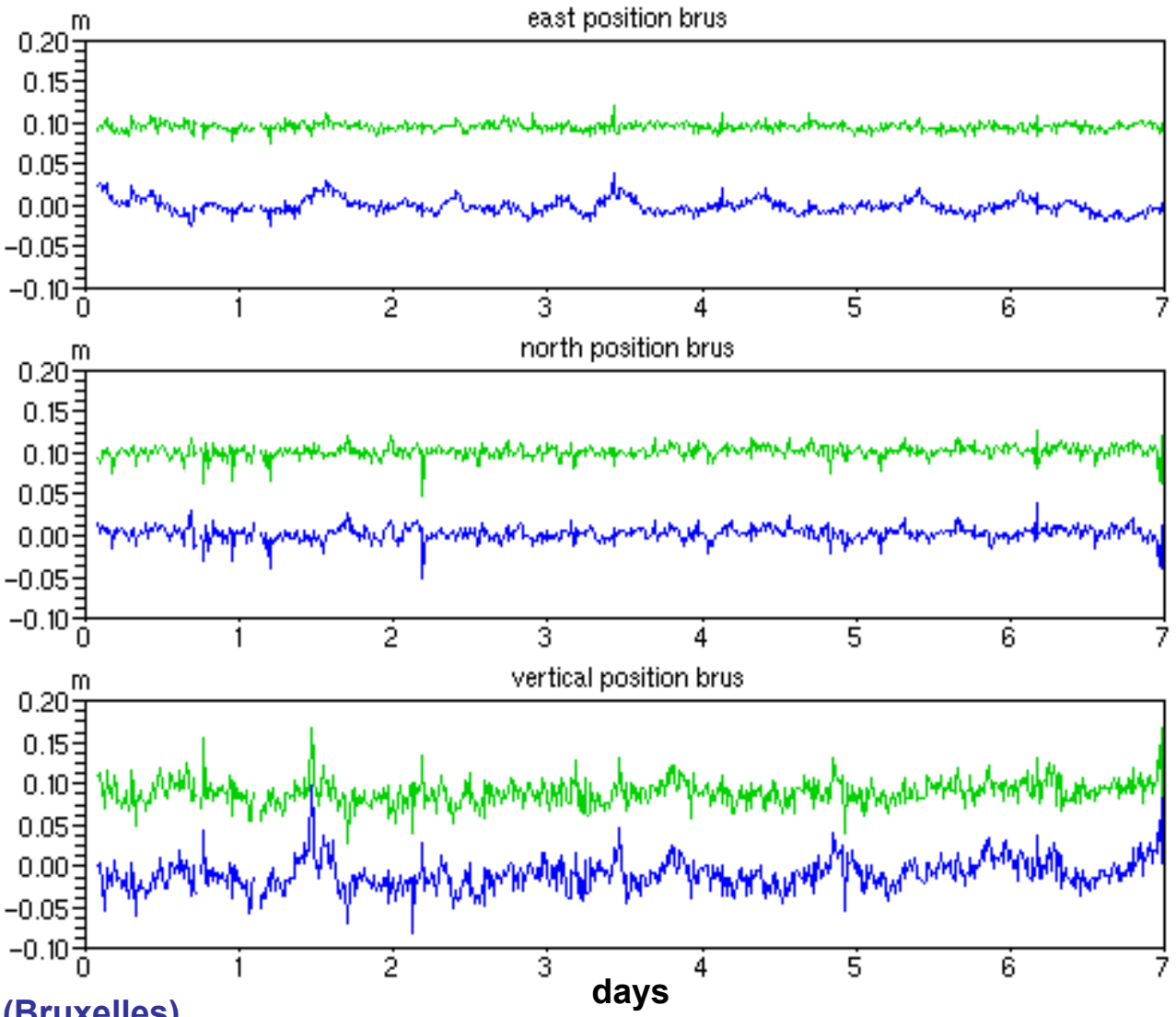
… mais les DD ne mesurent que la position/déformation relative entre les (deux) stations

Traitement iPPP



Comparaison répétabilité PPP vs IPPP

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

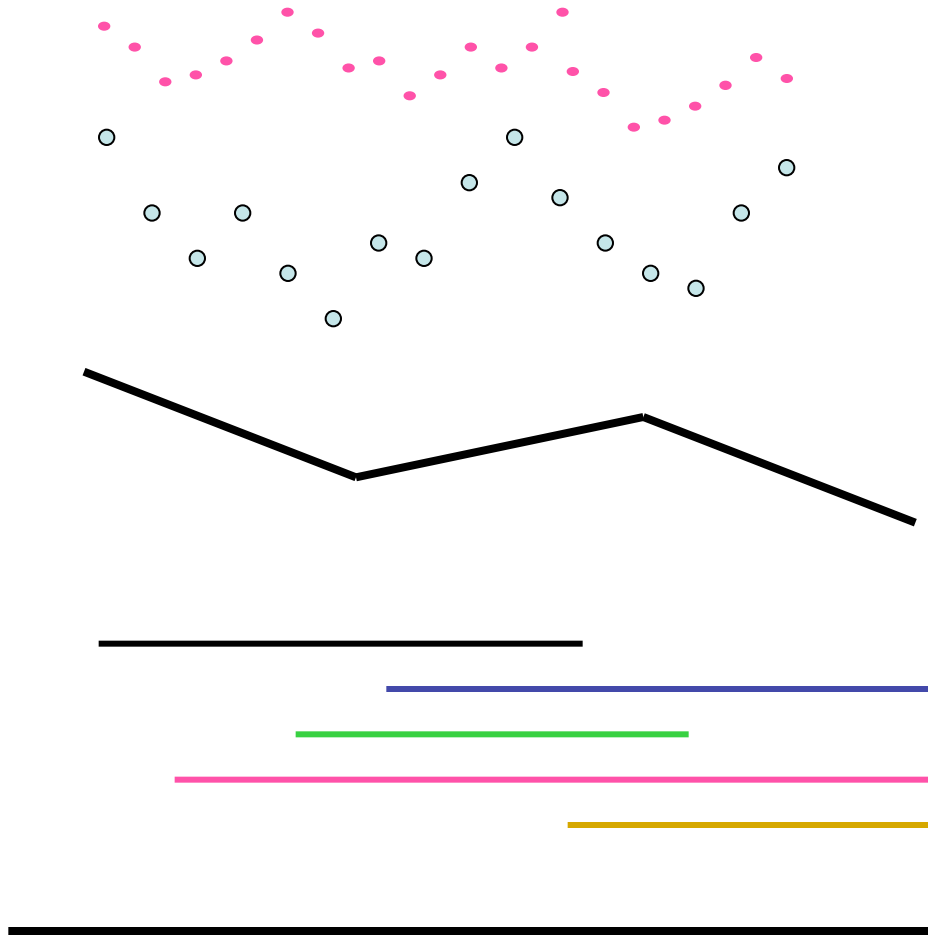


Exemple du la station IGS BRUX (Bruxelles)

Cadence : 30 secondes

Pseudo-Range	P_i , P_j	•non ambigüe •bruité
Phase	L_i , L_j	•ambigüe •non bruité
Ionospheric-Free	$\mathrm{IF}(L_i, L_j) = \frac{f_i^2}{f_i^2 - f_j^2} \cdot L_i - \frac{f_j^2}{f_i^2 - f_j^2} \cdot L_j$	•élimine le signal iono
Geometry-Free	$L_4 = L_i - L_j$	•élimine la géométrie •permet d'identifier les sauts de cycles
Wide-Lane	$L_5 = \frac{1}{f_i - f_j}\left(f_i L_i - f_j L_j\right)$	•permet de fixer N_i-N_j

Paramètrisation du problème



• **Horloge récepteur:**
1 inconnue/époque

• **Coordonnées:**
3 inconnues/30s

•**Troposphère:**
linéaire par segment de 2h

•**Ambiguïtés:**
constantes par passage

temps

Paramètres à estimer: cas PPP cinématique

Mesure	=	Position du récepteur	Estimé à chaque époque
	+	Position satellite	Donnée: SP3 (IGS/GRG)
	+	centre de phase récepteur	Donnée: ANTEX (IGS)
	+	centre de phase satellite	Donnée: ANTEX (IGS)
	+	horloge récepteur	Estimé à chaque époque
	+	horloge satellite	Donnée: CLK (IGS/GRG)
	+	Ionosphère	Eliminé
	+	troposphère	Estimé toutes les 2 heures
	+	relativité	Modèle IERS
	+	Ambiguité	Estimé par « passage » de satellite
	+	phase “wind-up”	Modèle IGS
	+	Biais electronique récepteur	Estimé au prétraitement
	+	Biais electronique satellite	Donnée: WSB (GRG)

Quels sont les « ingrédients » ?

- Des fichiers de mesures:
  - *De bonne qualité, au bon format, avec les bonnes entêtes,…*
- Des outils de prétraitement des mesures
  - *Détection des outliers, sauts de cycles, résolution des ambiguités WL,…*
- Choix des paramètres de traitements
  - *Période a traiter, cadence des mesures, choix des inconnues, mode DD, PPP, IPPP,…*
- Disposer de toutes les informations complémentaires :
  - *Orbites/horloges précises, Modèle de marée, fichier pole,…*
- Modèle de mesure
  - *Modélisation fine des mesures (à jour des évolutions)*
- Algorithmes de résolution adaptés à la stratégie
  - *Moindre carrés, Kalman, DD, PPP, IPPP,…*
- Gestion du programme (bug) et de ses évolutions

Exemple de données au format Rinex

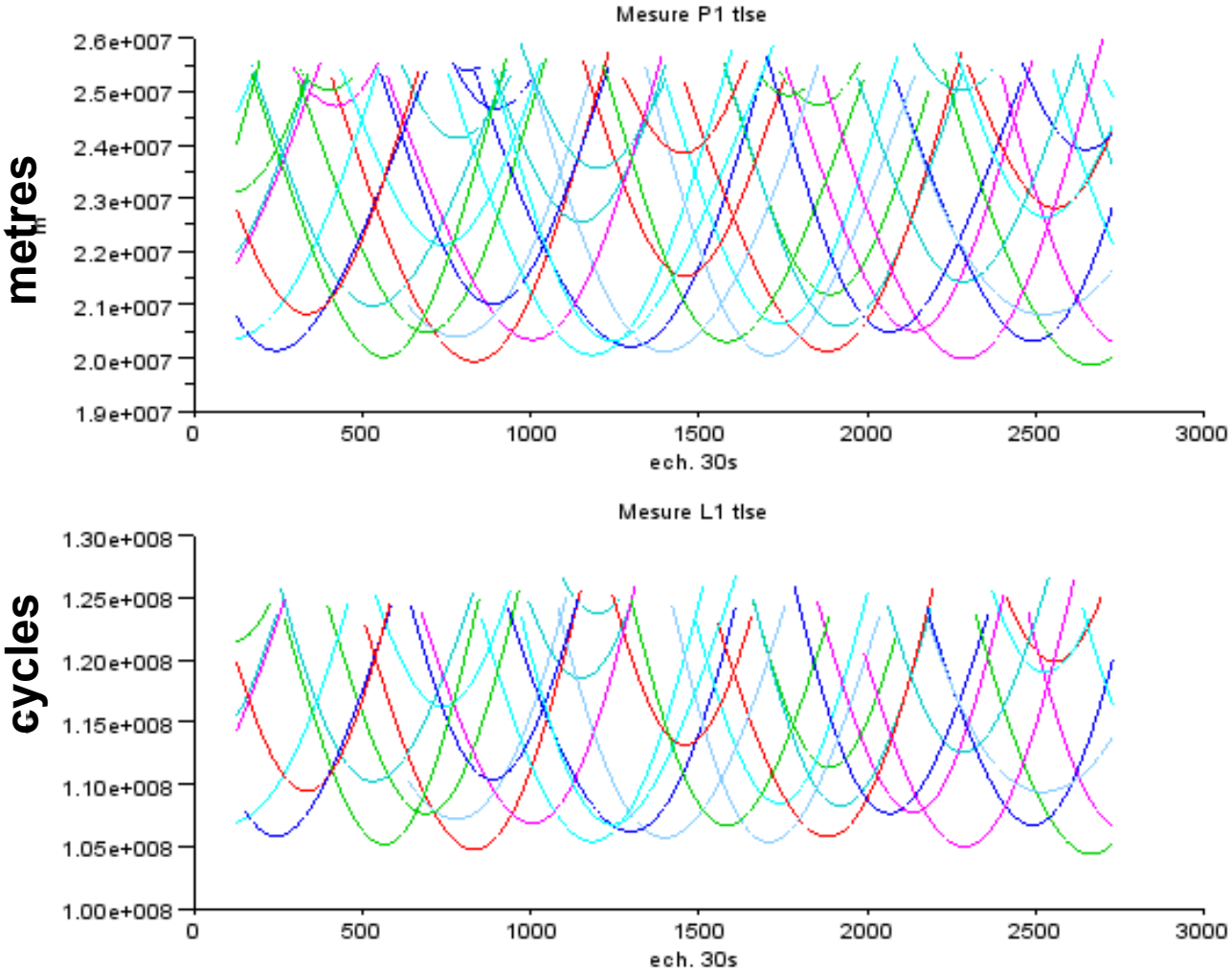
```
 05  5 19  0 39  0.0000000  0  7G20G16G 6G30G25G14G 1
  22347750.9714  -11719900.01149  -8871204.26747  22347750.2684   22347756.3244
  21741171.6964  -13088258.22849  -9911759.63347  21741171.2644   21741176.9964
  23780572.8644   -3109715.43549  -2415889.26246  23780573.0284   23780581.4994
  23438602.1644   -5475464.58249  -3785012.47646  23438603.2354   23438608.6214
  20807334.3784  -22194152.56749 -17267841.83348  20807334.4404   20807340.3414
  22171363.3284  -14020623.31649 -10893360.08547  22171362.7104   22171368.6224
  20326010.5214  -26317591.58049 -20488656.13948  20326010.6224   20326017.1854
 05  5 19  0 39 30.0000000  0  8G20G16G23G 6G30G25G14G 1
  22339474.1834  -11763395.23649  -8905096.63947  22339473.1454   22339479.5994
  21724962.7254  -13173434.27249  -9978130.52247  21724962.4534   21724968.8154
...
```

C1 (m) L1 (cy) L2 (cy) P1 (m) P2 (m)

phase

Exemple : mesures code et phase fréquence 1

Station de Toulouse, une journée à 30 s, une couleur par satellite, mesures fonction du temps



Fichier d'orbite SP3

```
#cP2012  9  1  0  0  0.00000000      96 d     IGS08 FIT AIUB
## 1703 518400.00000000   900.00000000 56171 0.0000000000000
+   55   G01G02G03G04G05G06G07G08G09G10G11G12G13G14G15G16G17
+        G18G19G20G21G22G23G25G26G27G28G29G30G31G32R01R02R03
+        R04R05R06R07R08R09R10R11R12R13R14R15R16R17R18R19R20
+        R21R22R23R24  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
+          0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
...

/* CENTER FOR ORBIT DETERMINATION IN EUROPE (CODE)
/* THIS IS THE OFFICIAL CODE RAPID 3-DAY SOLUTION
/* SOLUTION RA_12245, BROADCAST CLOCKS INCLUDED
/* PCV:IGS08      OL/AL:FES2004  NONE     YN ORB:CoN CLK:BRD
*  2012  9  1  0  0  0.00000000
PG01  16921.819384  13762.982632 -15202.395305    271.857250
PG02   6208.829840 -14772.286352  21274.094077    401.527621
PG03  -7224.820983  23955.152521  -9009.156949     95.599331
PG04  20531.101557  -7550.693238  15011.814108    291.056000
PG05     20.922404 -23887.653372  11452.131597   -348.304864
...
PG32   7182.271388  25850.246047    411.196956   -482.934993
PR01   9731.130403  17494.038662  15827.805141 999999.999999
PR02  11052.323721  -1421.381696  22956.219651 999999.999999
PR03   5933.793449 -18146.407263  16971.112864 999999.999999
PR04  -2659.650571 -25358.097929    880.122287 999999.999999
PR05  -9706.254994 -17595.301374 -15711.481816 999999.999999
...
PR23  10611.600018   5347.134862 -22580.924142 999999.999999
PR24  20600.231106  -7703.540430 -12945.789422 999999.999999
*  2012  9  1  0 15  0.00000000
PG01  15071.494033  13670.235123 -17110.203126    271.858580
PG02   8563.990796 -14388.582237  20661.659093    401.528644
PG03  -7926.802370  24508.671306  -6386.290163     95.603833
PG04  22113.397104  -7092.797771  12902.234432    291.066129
PG05    785.658449 -22630.418015  13756.073853   -348.307627
```

PROCESSING STRATEGY

Data Preprocessing:

- undifferenced and single-difference
- detect cycle slip **and fix WL ambiguities**
- remove outliers
- eliminate short passes.

Basic Observables:

- **Zero-difference ionosphere-free linear combination carrier phase and code (for unfixed ambiguities)**
- Elevation angle cut-off : 10 degrees
- Sampling rate: 15 minutes.
- **Weighting:** 3.5 mm/350 mm for zero-difference ionosphere-free PHASE/RANGE observations

Ambiguity fixing methodology (see dedicated section)

- Zero-difference solution with ambiguity fixing (two steps : 1) wide lane, 2) iono-free combination)
- Integer phase clocks (allowing PPP with ambiguity fixing)

Geometric model:

- Ground antenna phase center : Absolute elevation-dependent phase center corrections are applied according to IGS05.atx
- Satellite center of mass offsets and phase center calibration from IGS08.atx

Troposphere: Meteo data input: ECMWF (6 hours maps)

Ionosphere: ionopheric-free L1 L2 combination + second order effect

PRAIRIE

Rôle :Prépare les fichier RINEX pour les traitements GINS (observables GNSS).

Rinex = Receiver Independant EXchange format

1. Découpe en passages
2. Fixe les ambigüités WL (application des WSB et résolution des WRB)
3. Met au format d'entrée GINS (ou programme double)
4. Peut traiter GPS/Glonass/Galileo

DOUBLE90

Rôle : Forme les doubles différences à partir d'un fichier issu de prairie (observables GPS).

Entrée : un fichier de sortie de prairie contenant
l'ensemble des stations sur lesquelles on veut former les DDIF

Sortie : un fichier contenant les doubles différences formées
(acceptable par PREPARS et GINS)

1. La formation est automatique , les lignes de base formant le plus de mesures DDIF sont choisies en priorité.

2. Les mesures DDIF formées sont indépendantes et corrélées (au sens mathématique). La corrélation est prise en compte dans GINS.

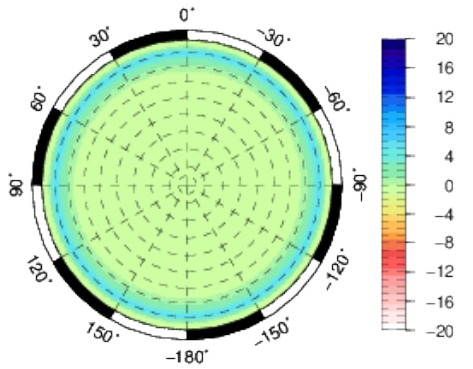
Après chaque exécution vérifier les indicateurs suivants :

- L'état du processus itératif (convergence ?)
- Les WARNINGS
- Le RMS des résidus
- Le nombre de mesures éliminées
- La solution des paramètres
- Le nombre d'itérations
- Les résidus à chaque itération
- Le taux de blocage des ambiguités (mot clé « Statfix »)

État du Processus	*État des indicateurs*	*Cause Possible*
Convergence	Tous OK	RAS
Convergence	Résidus trop forts	• Mauvaise paramétrisation et/ou modélisation • Critères d'élimination des mesures mal adaptés
Convergence inachevée	Nombre iter >= Iter max	• Iter max insuffisant • Système mal contraint • Critères d'élimination des mesures mal adaptés
Divergence	Résidus trop forts	• Mauvaise paramétrisation
Divergence	Trop de mesures éliminées	• Critères d'élimination des mesures mal adaptés
Erreur : PLOUF	RAS	Message explicite
Erreur de calcul	KO	Analyser le problème
Erreur de calcul	Tous OK	Mail la hot line !

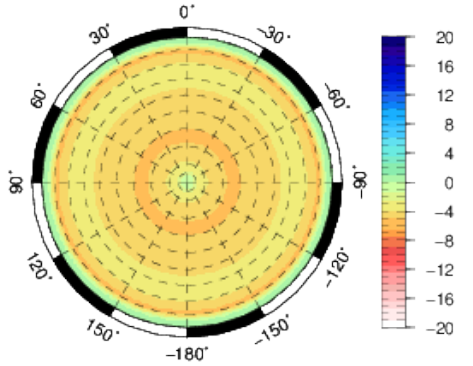
PCVs_TPSPG_A1_NONE_L1_[mm]_Cutoff_00_GPS

PCOs_L1_[mm]
E=1.830
N=1.280
U=36.150



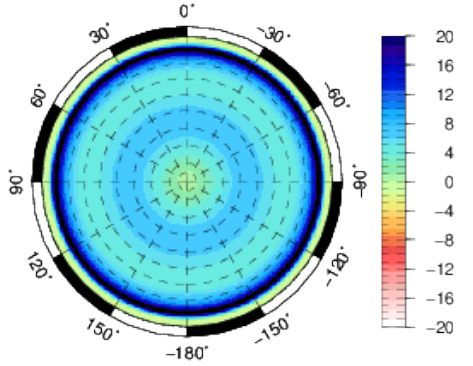
PCVs_TPSPG_A1_NONE_L2_[mm]_Cutoff_00_GPS

PCOs_L2_[mm]
E=-0.790
N=0.320
U=52.850



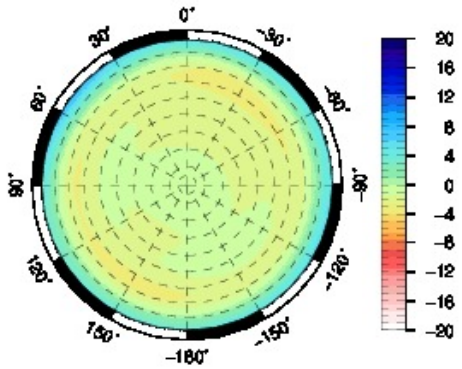
PCVs_TPSPG_A1_NONE_L3_[mm]_Cutoff_00_GPS

PCOs_L3_[mm]
E=5.880
N=2.764
U=10.336



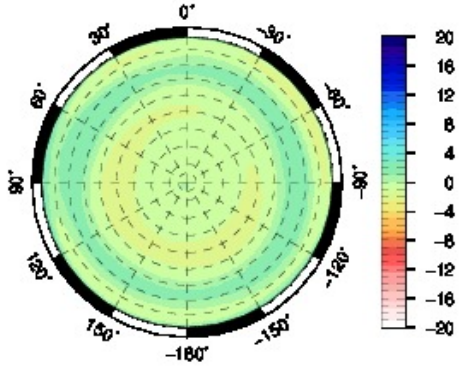
PCVs_TPSPG_A1+GP_NONE_L1_[mm]_Cutoff_00_GPS

PCOs_L1_[mm]
E=0.020
N=–0.090
U=34.770



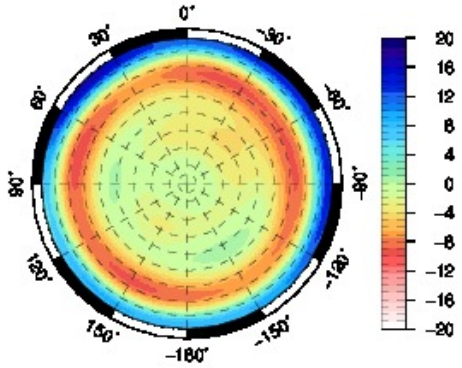
PCVs_TPSPG_A1+GP_NONE_L2_[mm]_Cutoff_00_GPS

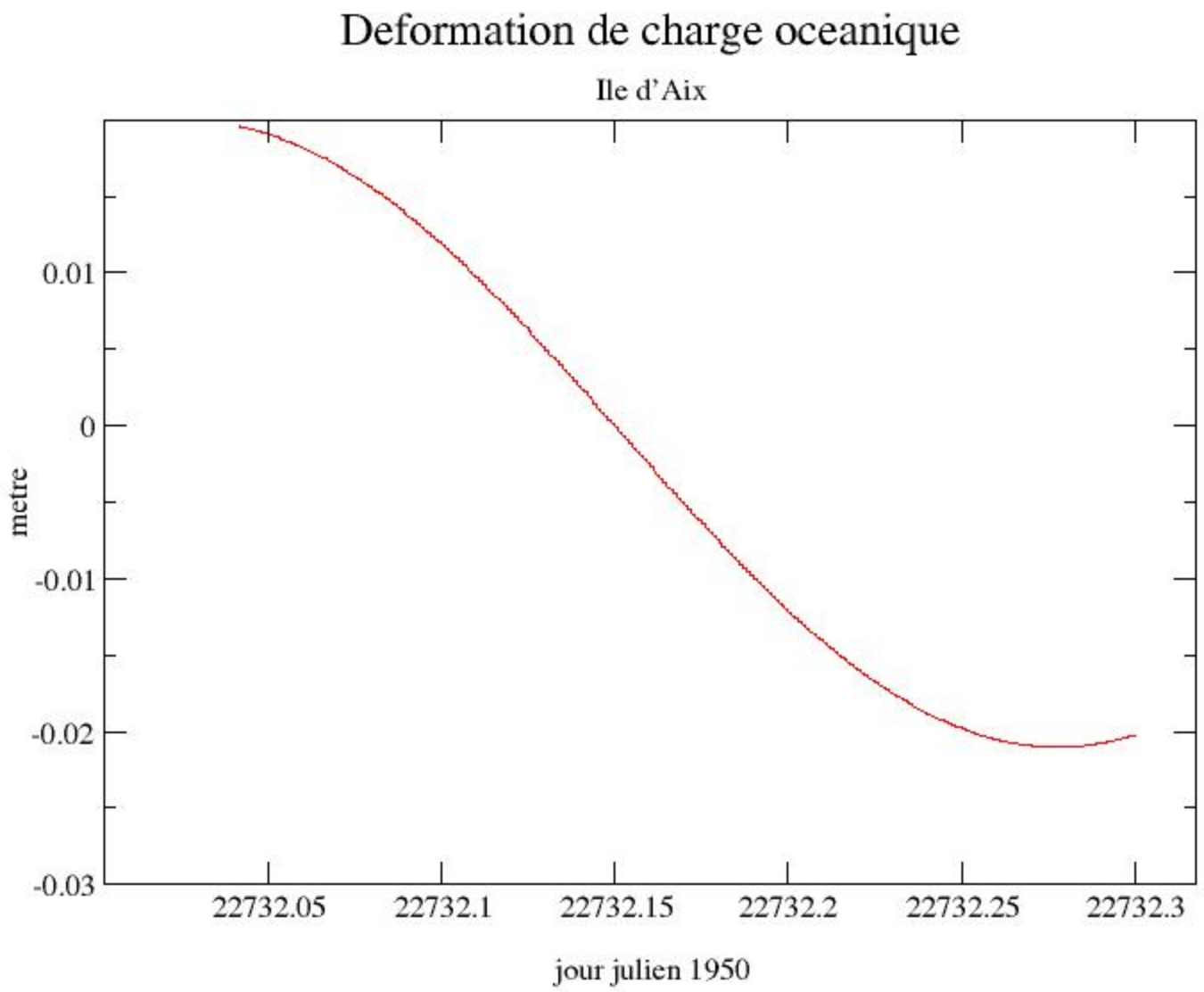
PCOs_L2_[mm]
E=–0.270
N=–0.010
U=40.030

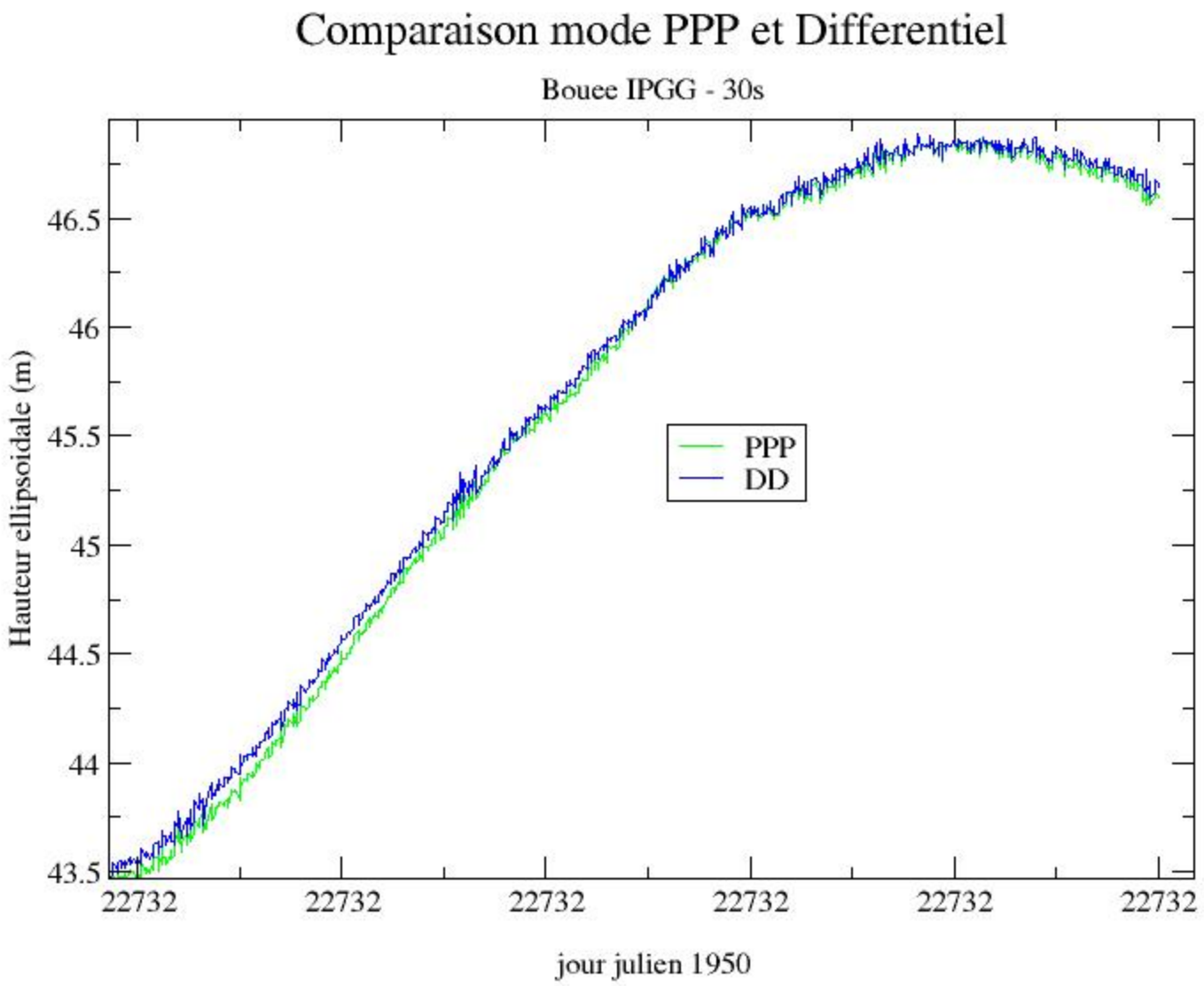


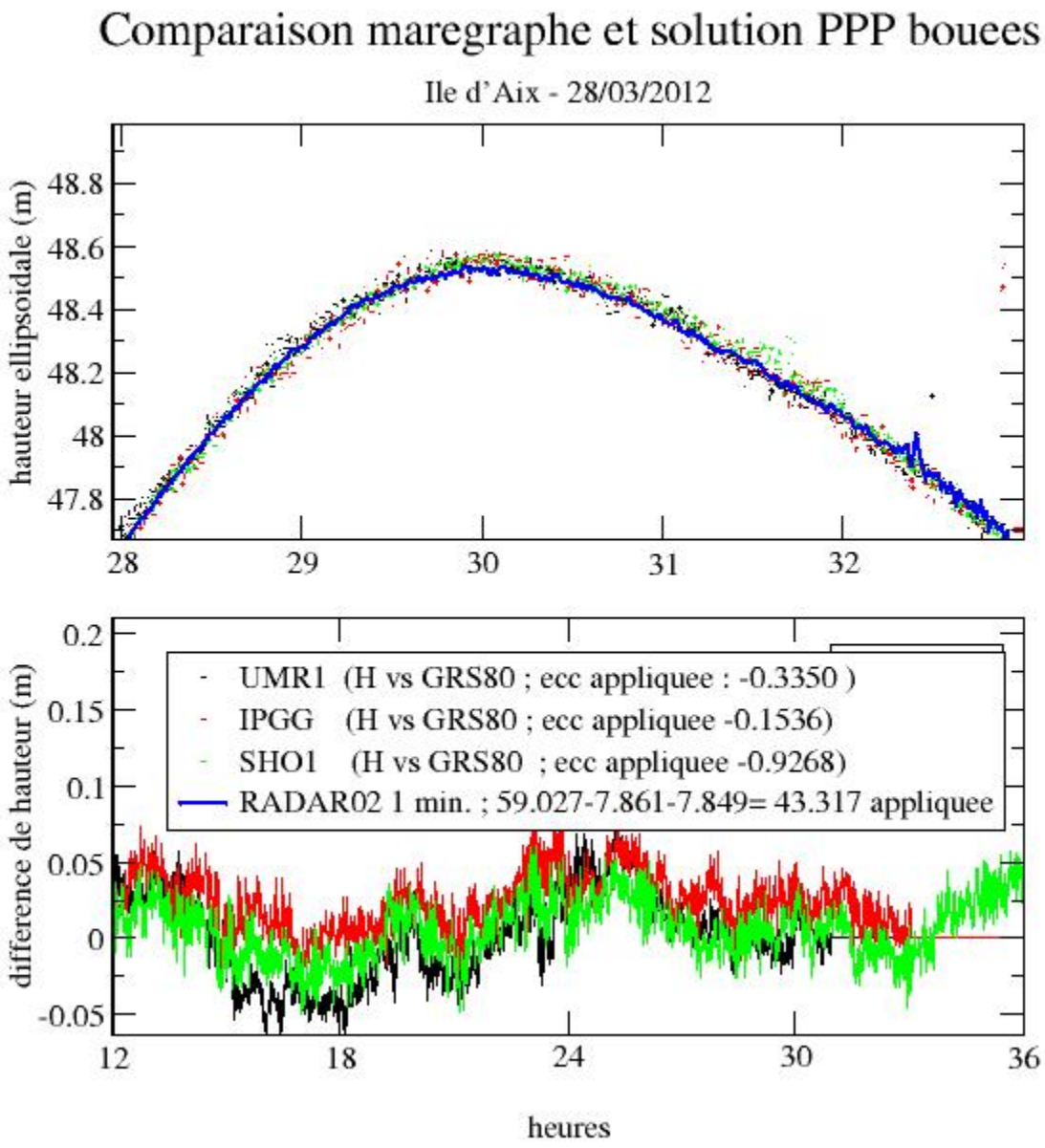
PCVs_TPSPG_A1+GP_NONE_L3_[mm]_Cutoff_00_GPS

PCOs_L3_[mm]
E=0.468
N=–0.214
U=26.639

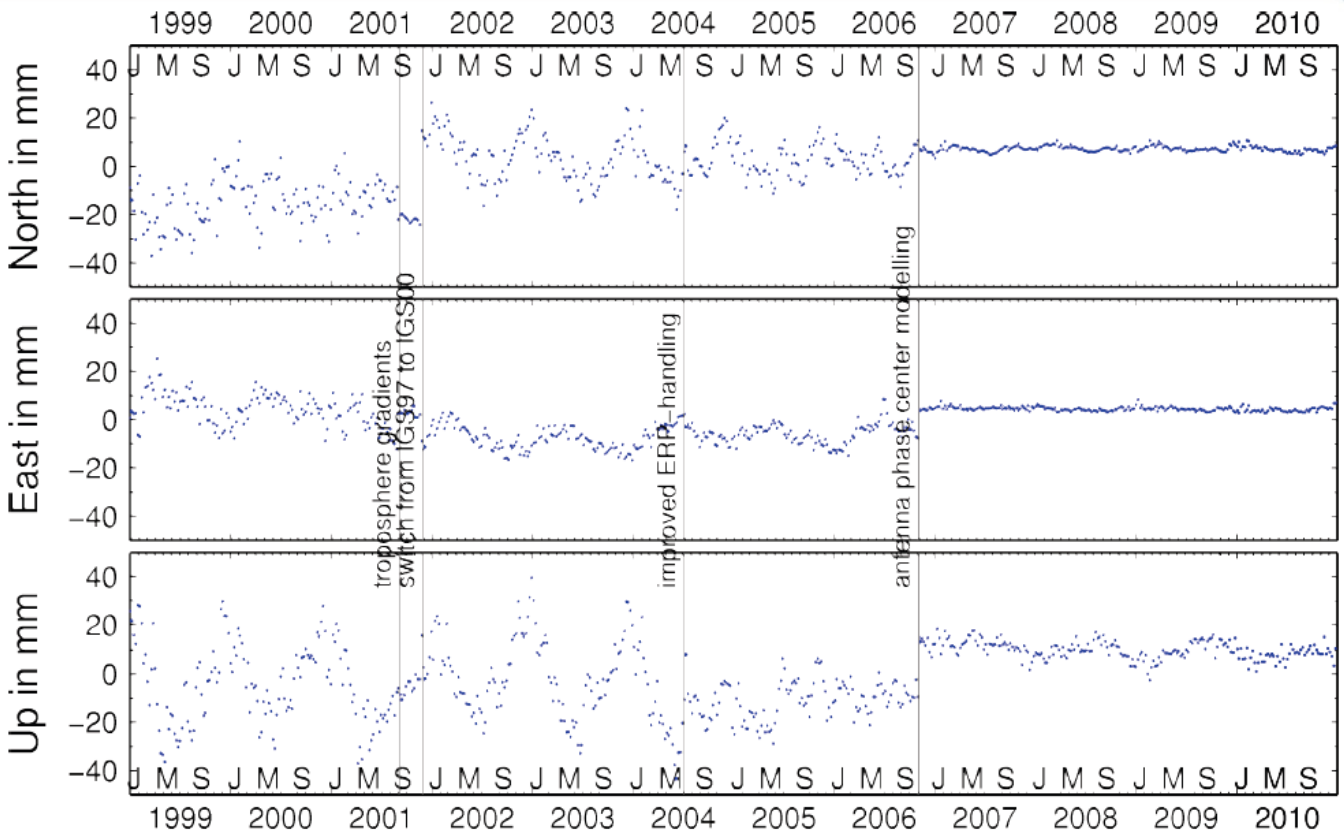



Deformation de charge oceanique
Ile d'Aix
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
metre
22732.05
22732.1
22732.15
22732.2
22732.25
22732.3
jour julien 1950


Comparaison mode PPP et Differentiel
Bouee IPGG - 30s
Hauteur ellipsoidale (m)
46.5
46
45.5
45
44.5
44
43.5
PPP
DD
22732
22732
22732
22732
22732
22732
jour julien 1950


Comparaison maregraphe et solution PPP bouees
Ile d'Aix - 28/03/2012
hauteur ellipsoidale (m)
48.8
48.6
48.4
48.2
48
47.8
28
29
30
31
32
difference de hauteur (m)
0.2
0.15
0.1
0.05
0
-0.05
UMR1 (H vs GRS80 ; ecc appliquee : -0.3350)
IPGG (H vs GRS80 ; ecc appliquee -0.1536)
SHO1 (H vs GRS80 ; ecc appliquee -0.9268)
RADAR02 1 min. ; 59.027-7.861-7.849= 43.317 appliquee
12
18
24
30
36
heures

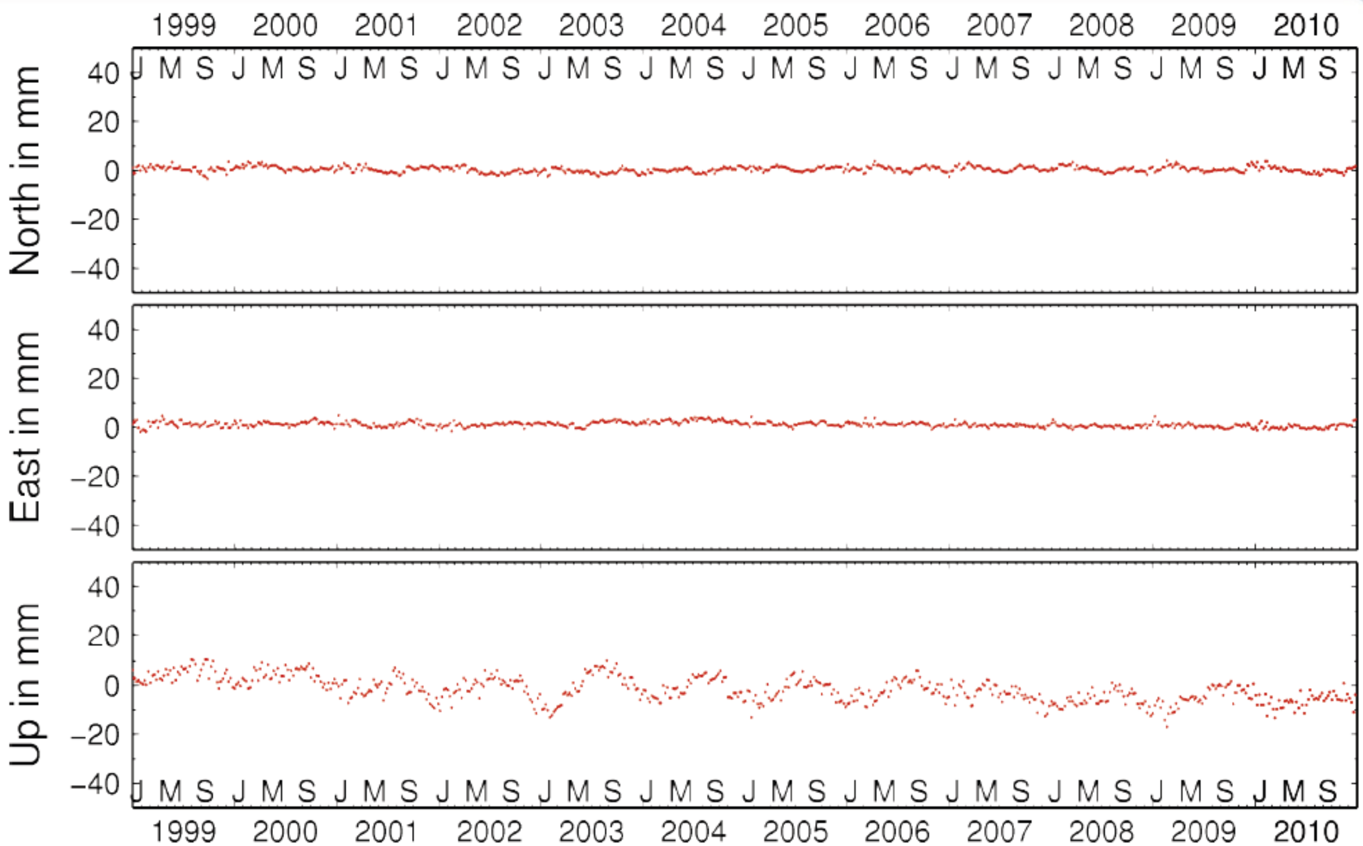
Coordinate time series for Zimmerwald



Operational series from CODE, weekly solutions

Courtesy Rolf Dach AIUB, Bern

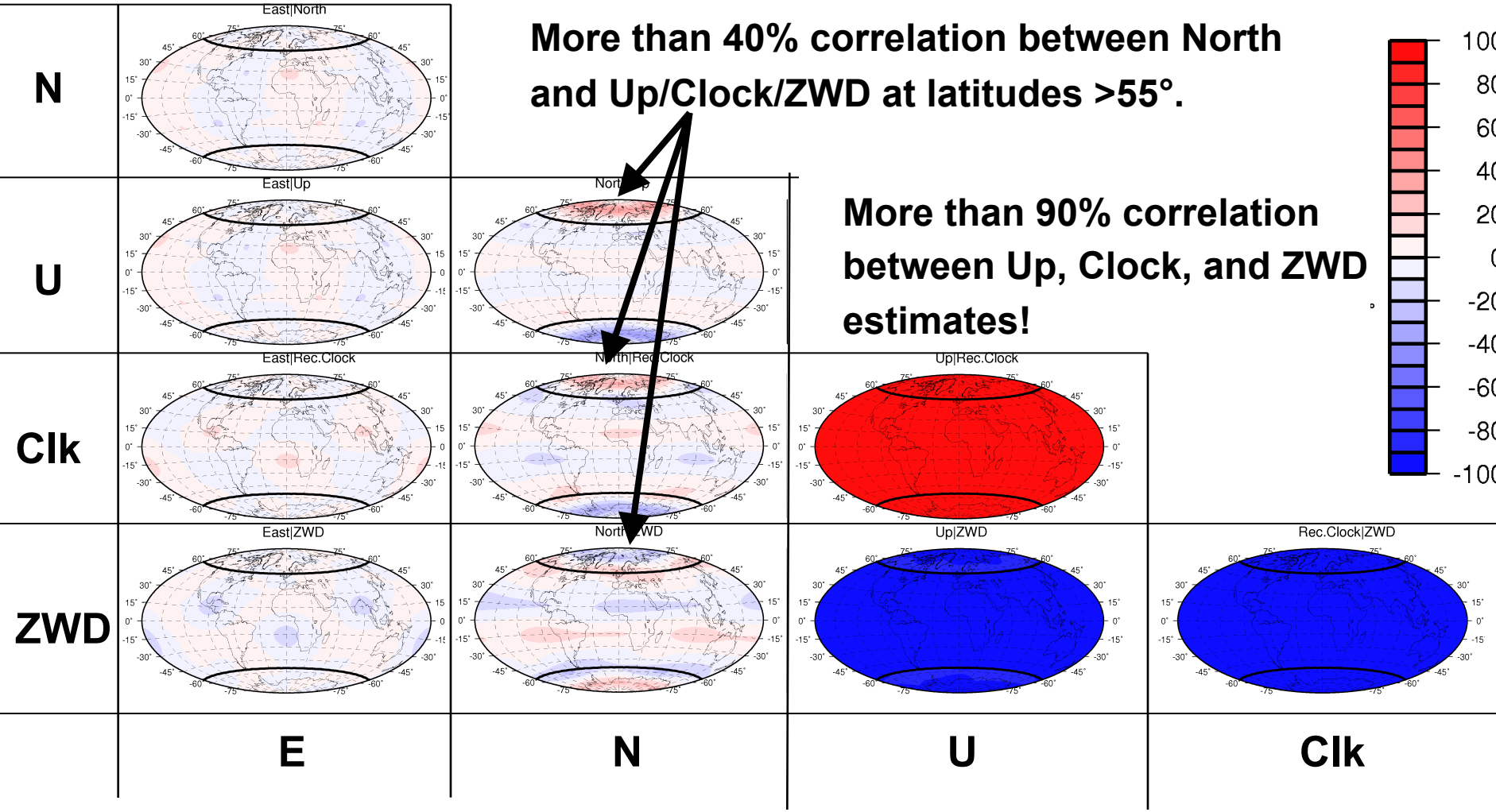
Coordinate time series for Zimmerwald



Reprocessed series from CODE, weekly solutions

CORRELATION SPATIAL VARIATIONS

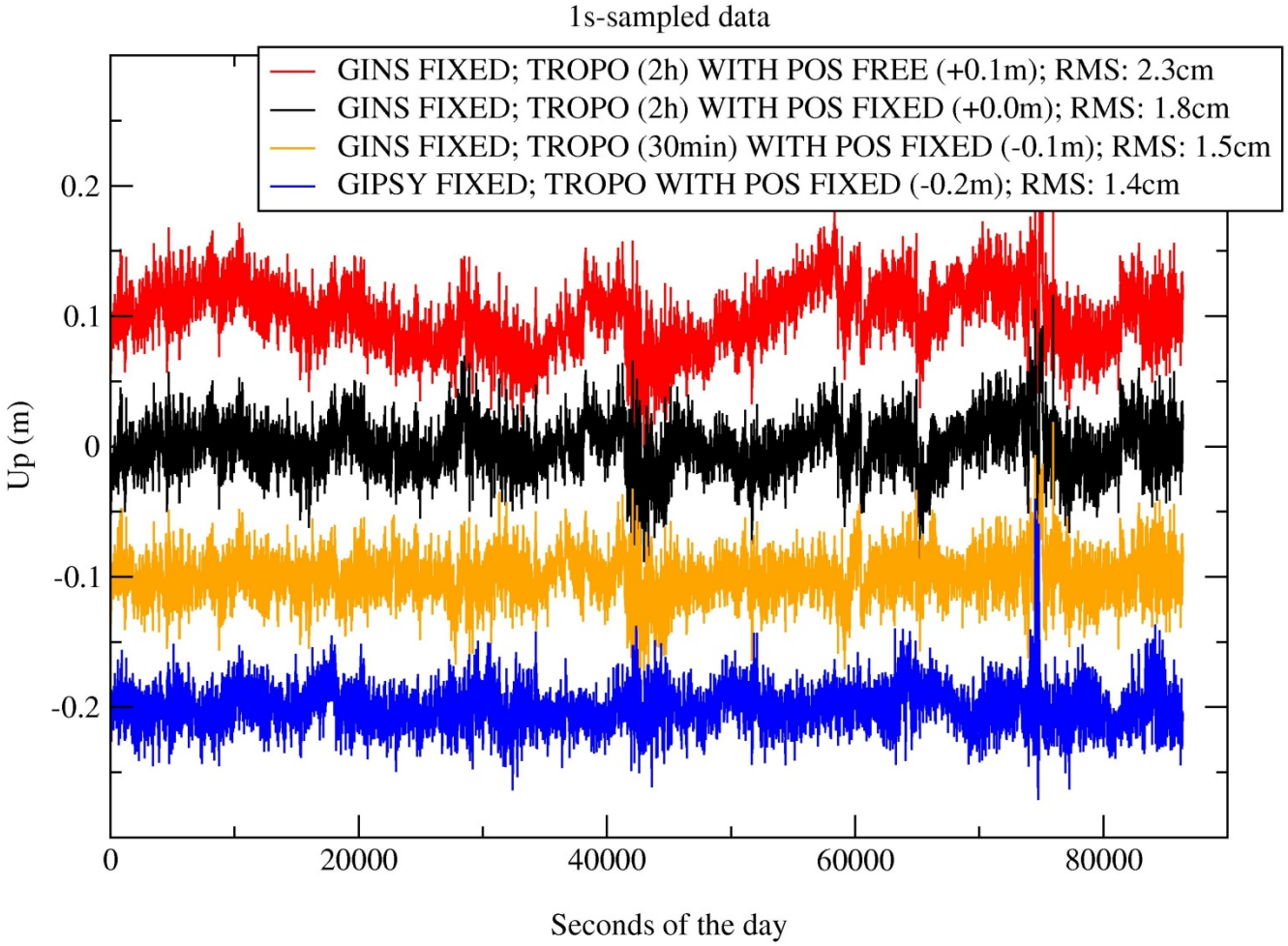
East not significantly correlated.



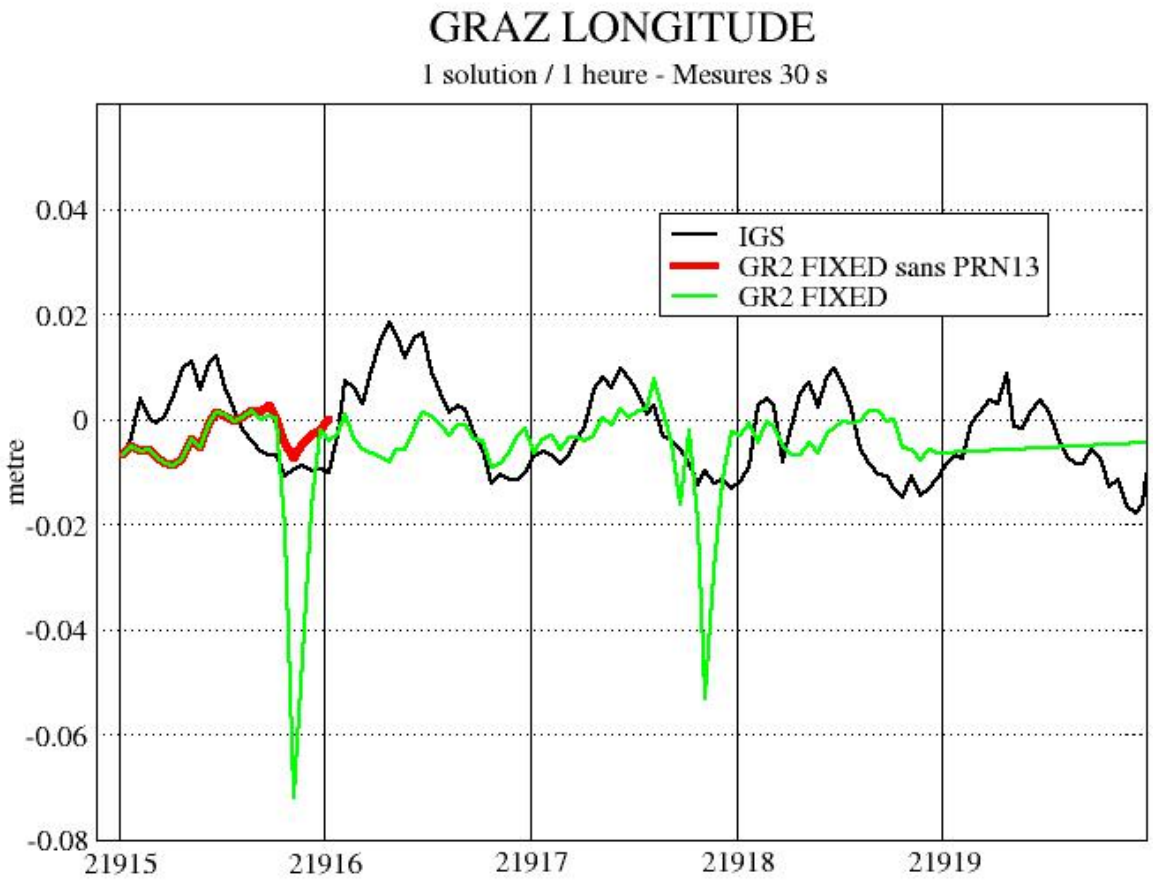
More than 40% correlation between North and Up/Clock/ZWD at latitudes >55°.

More than 90% correlation between Up, Clock, and ZWD estimates!

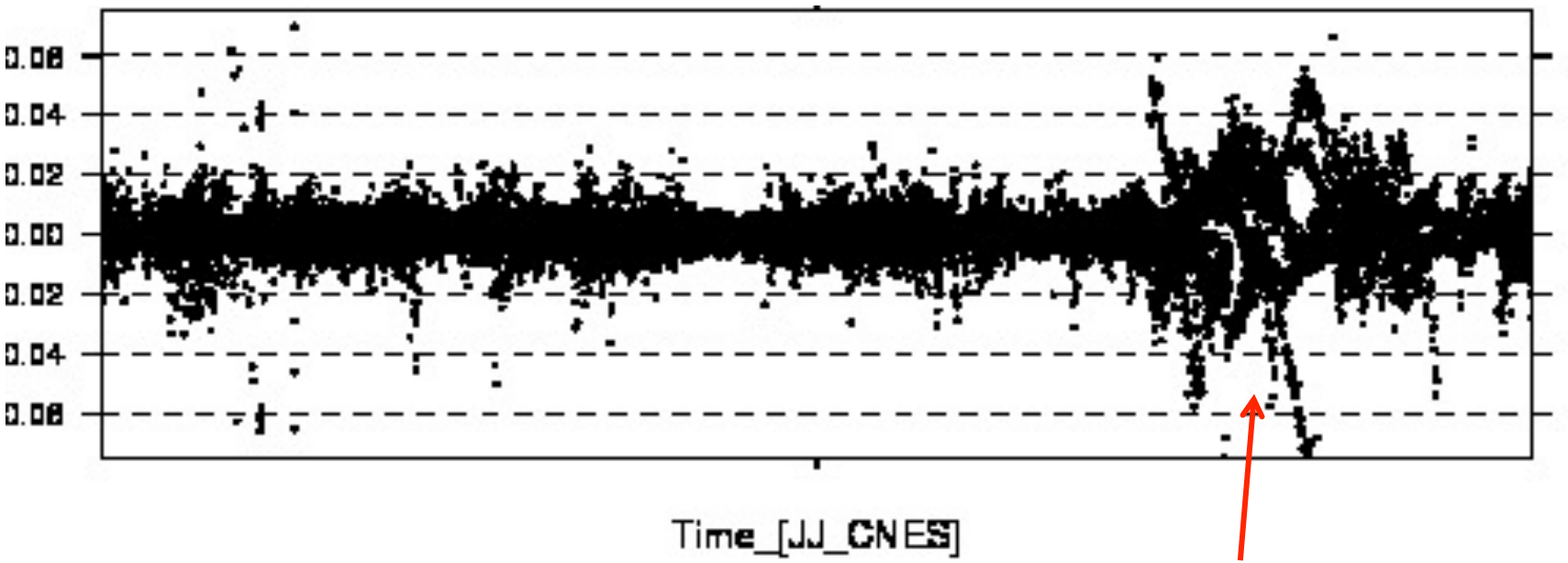
Impact de la paramétrisation



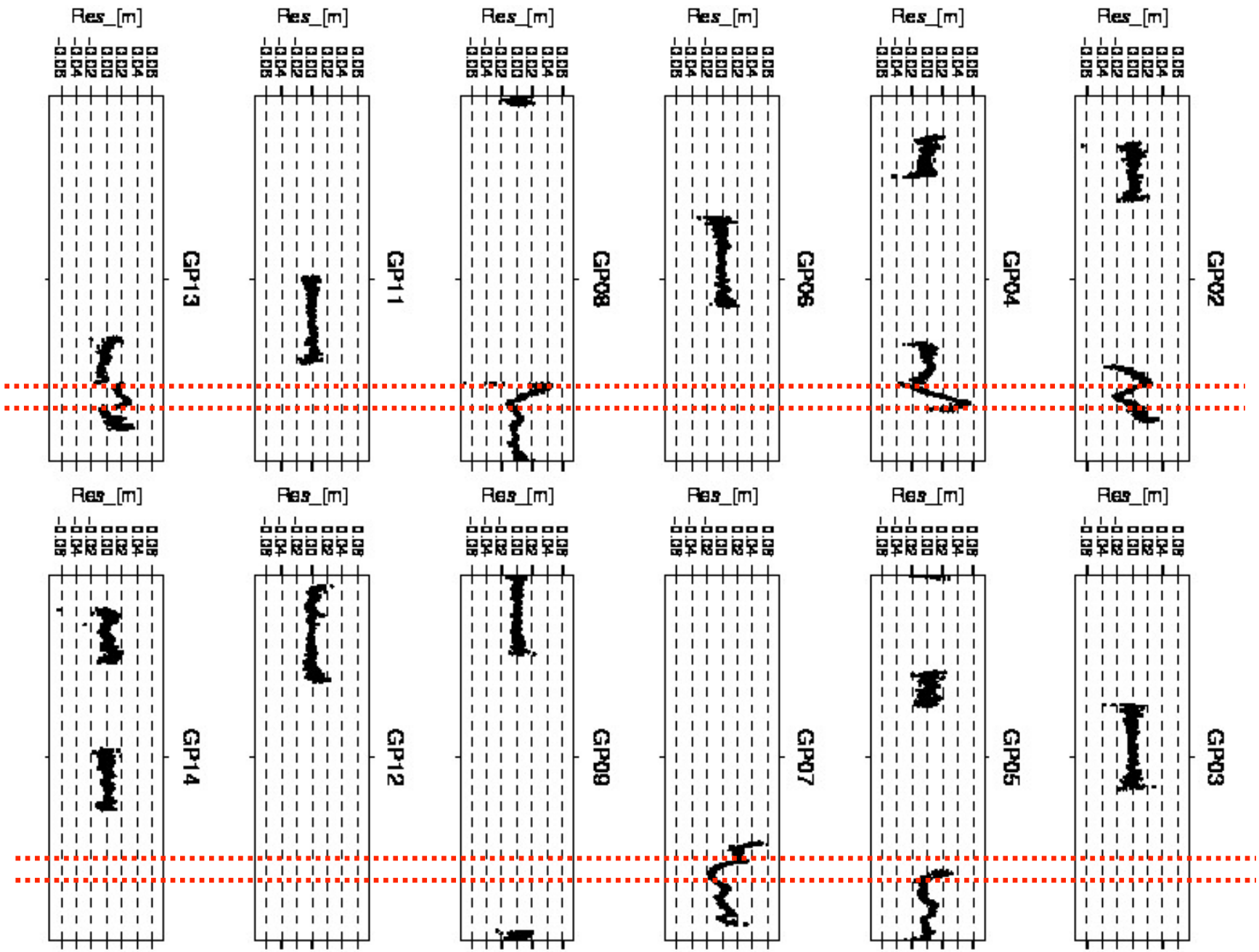
Solution avec et sans le GPS13

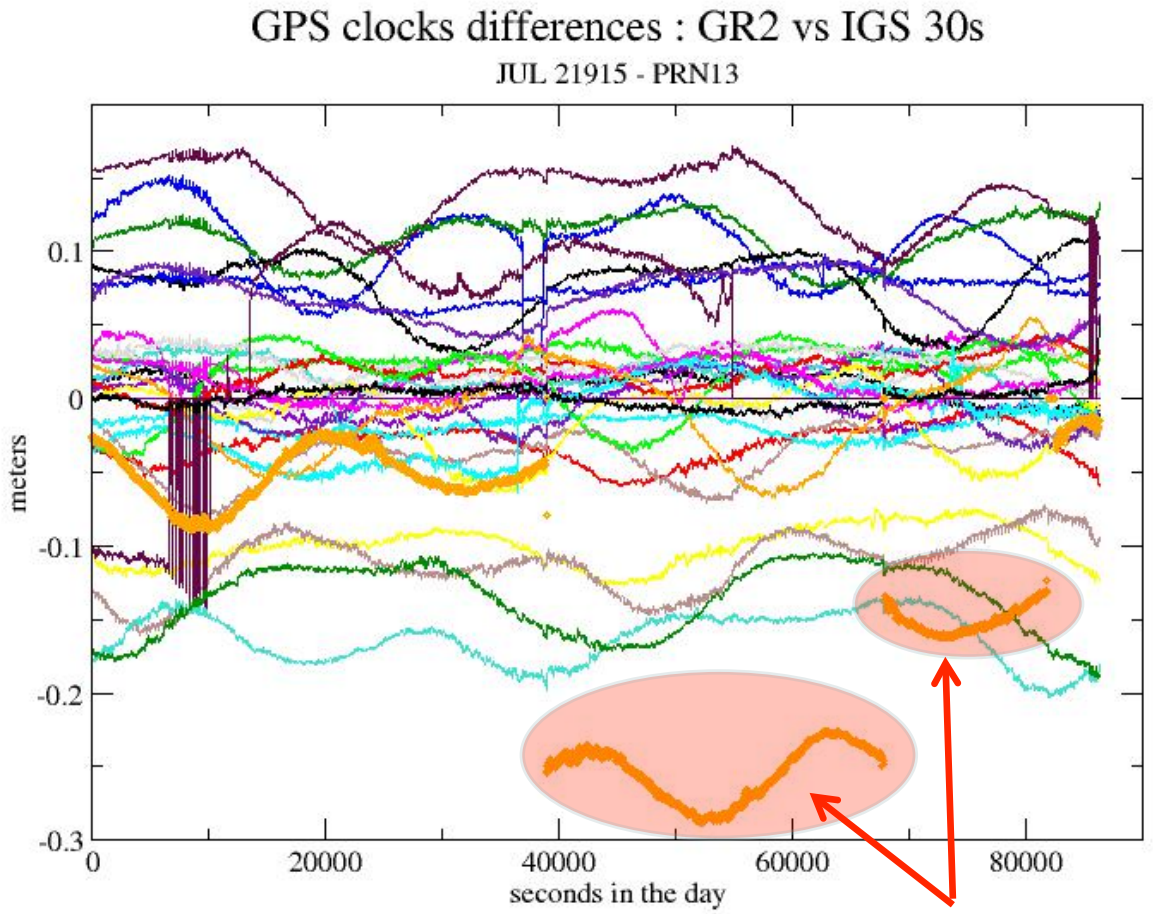


Analyse des résidus



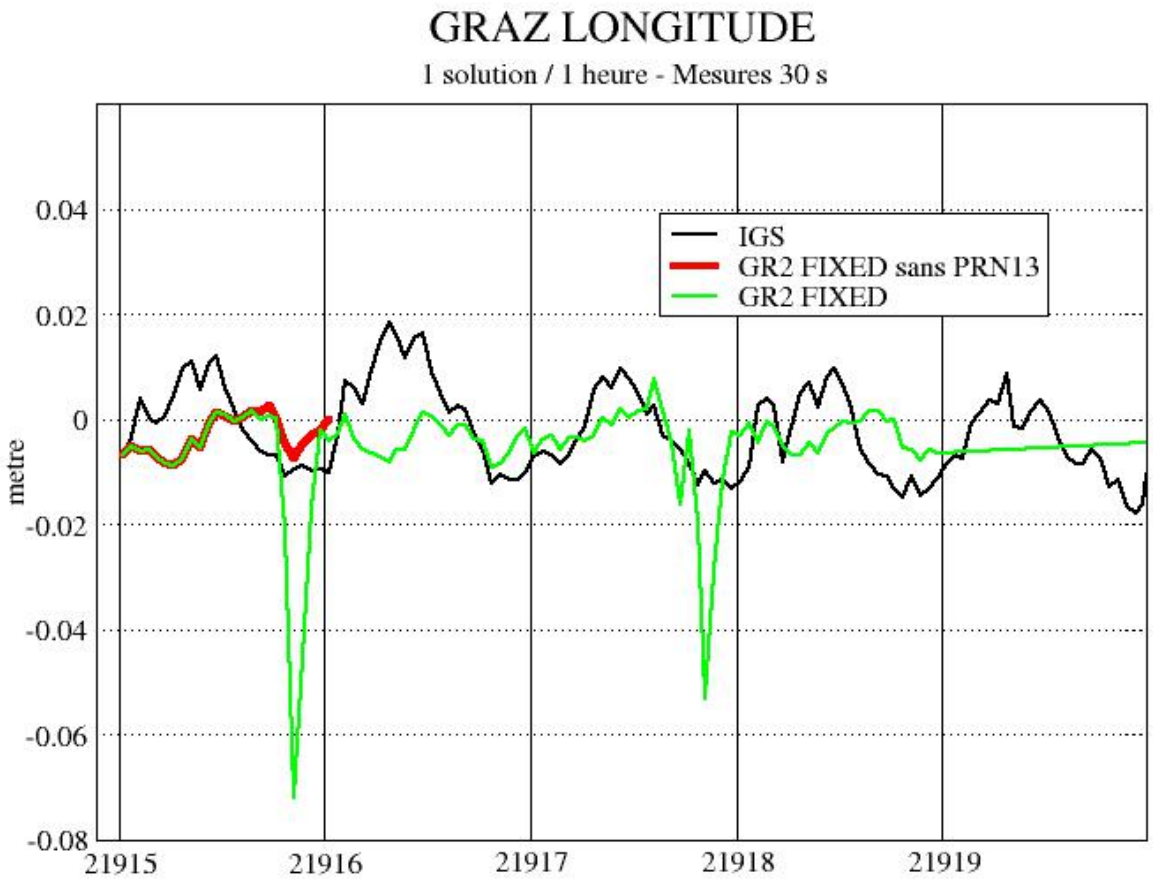
Comportement anormal des résidus en fonction du temps


Res_[m]
GP13
GP11
GP08
GP06
GP04
GP02
GP14
GP12
GP09
GP07
GP05
GP03

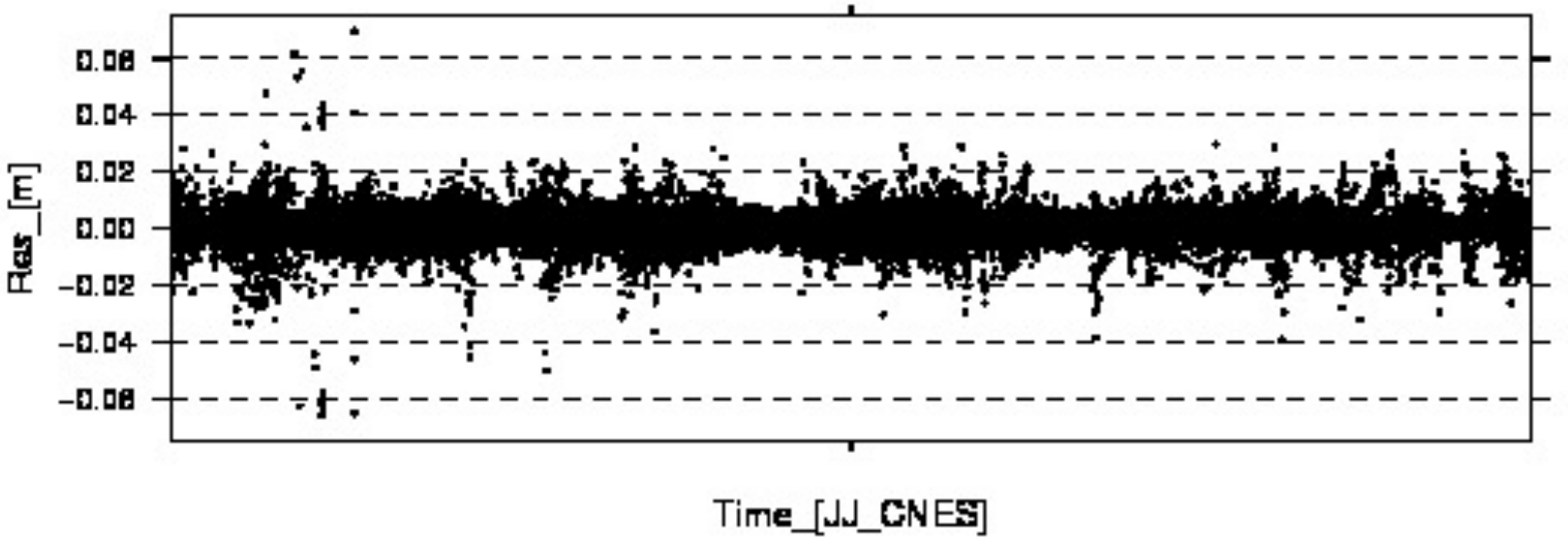


La correction d'horloge du GPS13 est discontinue

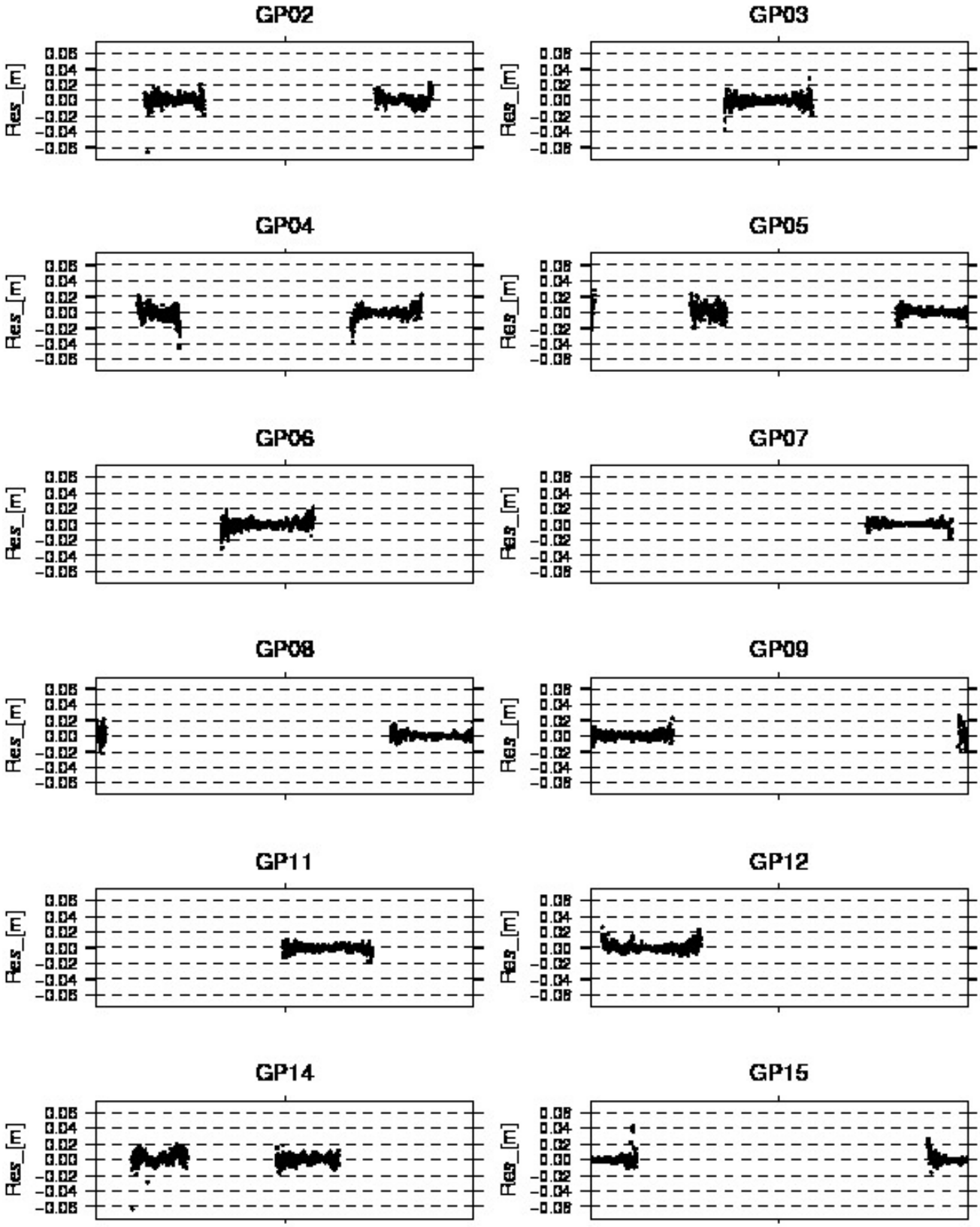
Solution avec et sans le GPS13



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


GP02
GP03
GP04
GP05
GP06
GP07
GP08
GP09
GP11
GP12
GP14
GP15
Res_[m]
0.06
0.04
0.02
0.00
-0.02
-0.04
-0.06

Conversion de dates

- DATE = 26 11 2012
  J/AN = 331
  JUL50 = 22975
  J2000 = 4712.5
  GPS = 1716 1

- jjul 26 11 2012

System	Freq. Band	Frequency	Channel or Code	Observation Codes			
				Pseudo Range	Carrier Phase	Doppler	Signal Strength
GPS	L1	1575.42	C/A	C1C	L1C	D1C	S1C
			L1C (M)	C1S	L1S	D1S	S1S
			L1C (L)	C1L	L1L	D1L	S1L
			L1C (M+L)	C1X	L1X	D1X	S1X
			P	C1P	L1P	D1P	S1P
			Z-tracking and similar (AS on)	C1W	L1W	D1W	S1W
			Y	C1Y	L1Y	D1Y	S1Y
			M	C1M	L1M	D1M	S1M
			codeless	--	L1N	D1N	S1N
	L2	1227.60	C/A	C2C	L2C	D2C	S2C
			L1(C/A)+(P2-P1) (semi-codeless)	C2D	L2D	D2D	S2D
			L2C (M)	C2S	L2S	D2S	S2S
			L2C (L)	C2L	L2L	D2L	S2L
			L2C (M+L)[1]	C2X	L2X	D2X	S2X
			P	C2P	L2P	D2P	S2P
			Z-tracking and similar (AS on)	C2W	L2W	D2W	S2W
			Y	C2Y	L2Y	D2Y	S2Y
			M	C2M	L2M	D2M	S2M
			codeless	--	L2N	D2N	S2N
	L5	1176.45	I	C5I	L5I	D5I	S5I
			Q	C5Q	L5Q	D5Q	S5Q
			I+Q	C5X	L5X	D5X	S5X
GLONASS	G1	1602+k*9/16 k= -7...+12	C/A	C1C	L1C	D1C	S1C
			P	C1P	L1P	D1P	S1P
	G2	1246+k*7/16	C/A (GLONASS M)	C2C	L2C	D2C	S2C
			P	C2P	L2P	D2P	S2P

Galileo	E1	1575.42	A PRS	C1A	L1A	D1A	S1A
			B I/NAV OS/CS/SoL	C1B	L1B	D1B	S1B
			C no data	C1C	L1C	D1C	S1C
			B+C	C1X	L1X	D1X	S1X
			A+B+C	C1Z	L1Z	D1Z	S1Z
	E5a	1176.45	I F/NAV OS	C5I	L5I	D5I	S5I
			Q no data	C5Q	L5Q	D5Q	S5Q
			I+Q	C5X	L5X	D5X	S5X
	E5b	1207.140	I I/NAV OS/CS/SoL	C7I	L7I	D7I	S7I
			Q no data	C7Q	L7Q	D7Q	S7Q
			I+Q	C7X	L7X	D7X	S7X
	E5 (E5a+E5b)	1191.795	I	C8I	L8I	D8I	S8I
			Q	C8Q	L8Q	D8Q	S8Q
			I+Q	C8X	L8X	D8X	S8X
	E6	1278.75	A PRS	C6A	L6A	D6A	S6A
			B C/NAV CS	C6B	L6B	D6B	S6B
			C no data	C6C	L6C	D6C	S6C
			B+C	C6X	L6X	D6X	S6X
			A+B+C	C6Z	L6Z	D6Z	S6Z
SBAS	L1	1575.42	C/A	C1C	L1C	D1C	S1C
	L5	1176.45	I	C5I	L5I	D5I	S5I
			Q	C5Q	L5Q	D5Q	S5Q
			I+Q	C5X	L5X	D5X	S5X
Compass	E1	1589.74	?	?	?	?	?
	E2	1561.098	I	C2I	L2I	D2I	S2I
			Q	C2Q	L2Q	D2Q	S2Q
			I+Q	C2X	L2X	D2X	S2X
	E5b	1207.14	I	C7I	L7I	D7I	S7I
			Q	C7Q	L7Q	D7Q	S7Q
			I+Q	C7X	L7X	D7X	S7X
	E6	1268.52	I	C6I	L6I	D6I	S6I
			Q	C6Q	L6Q	D6Q	S6Q
			I+Q	C6X	L6X	D6X	S6X