

Fondements des Conventions IERS

Technique d'observation GNSS

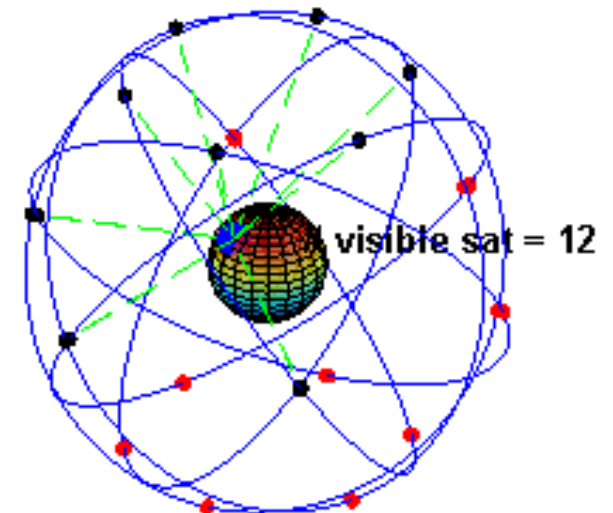
Félix Perosanz CNES/GET/GRGS

Sylvain Loyer CLS

Flavien Mercier CNES/GET/GRGS

- Quels sont les standards à prendre en compte pour le traitement GNSS ?
- Quels sont modèles/paramètres (IERS et autre) des traitements GNSS qui impactent la « mesure » du système Terre (TRF, EOP,...) ?

➤ Illustrations au travers de cas concrets



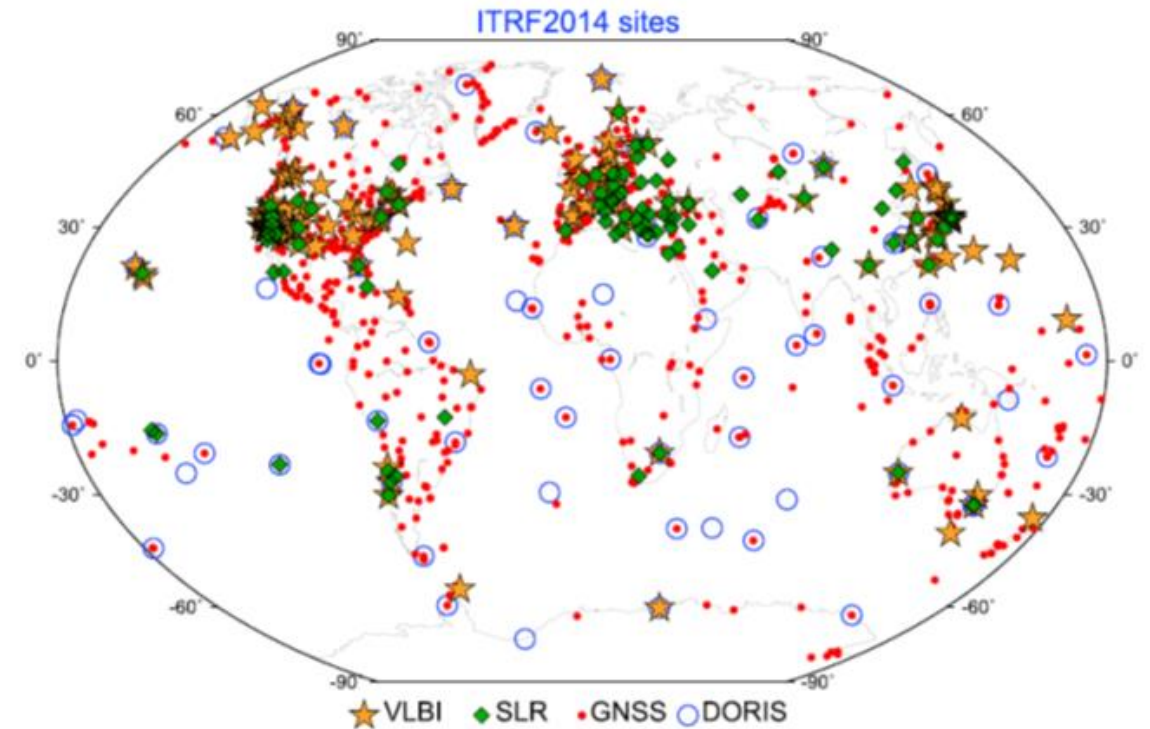
Statut des GNSS (Global Navigation Satellite System)

	Code RINEX	2018
GPS	G	Operationel 32
GLONASS	R	Operationel 24
Galileo	E	26
Beidou	C	Beidou 3: 12(+5)

~100 satellites

~1000 stations

➤ source d'information considérable pour l'étude du système Terre



Z. Altamimi et al. 2016

Les mesures radioélectriques GNSS...

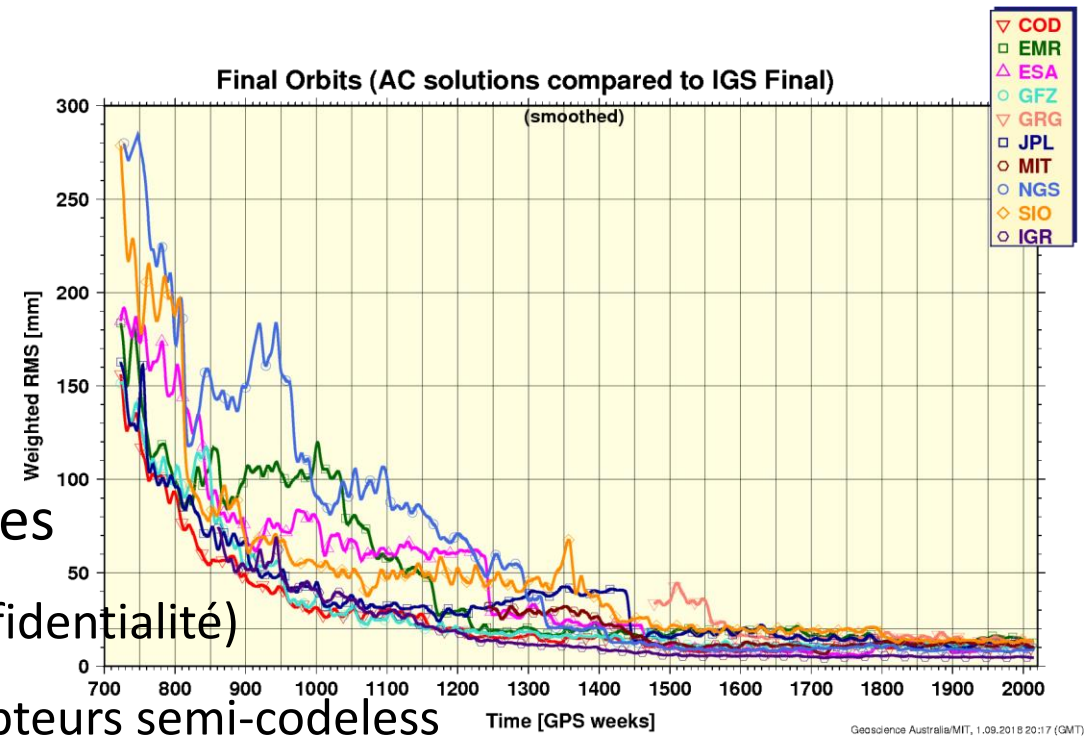


GPS signal	Frequency (f)	Wavelength (λ)	Resolution $< 1\% \lambda$
Code C/A	1.023 MHz	300 m	< 3 m
Code P ₁ ,P ₂ /Y	10.23 MHz	30 m	< 30 cm
Carrier L ₁ ,L ₂	1.2 , 1.6 GHz	19 cm , 24 cm	< 3 mm

	Précis	Exact
Range	-	+
Phase	+	-
Phase avec ambiguïtés fixées	+	+

... ont une qualité géodésique !

GNSS, géodésie et conventions



Les GNSS n'étaient pas destinés aux usages géodésiques

- Satellites de forme/attitude complexe et mal connus (confidentialité)
- Pour GPS la fréquence L2 est brouillée : nécessité de récepteurs semi-codeless
- La modélisation de la mesure est complexe : biais d'horloges, propagation, hardware,...

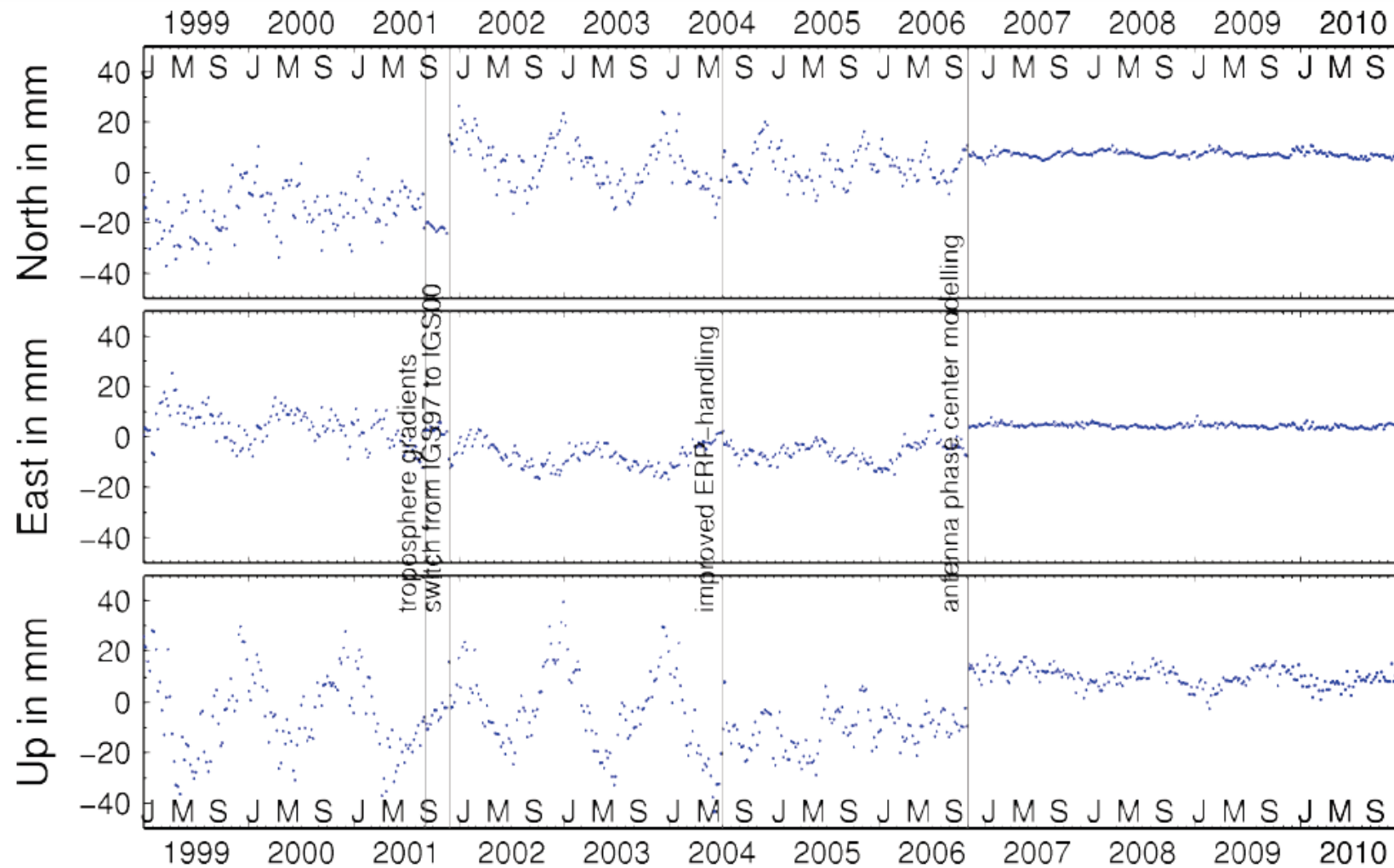
L'International GNSS Service (IGS) de l'IAG créé en 1995

- Les GNSS sont devenus une technique géodésique
- Les Centres d'Analyses (CA) réalisent un traitement systématique et des campagnes de retraitement
- Discussion entre CA pour adopter/adapter/proposer des standards
- Les conventions/modèles/systèmes GNSS eux mêmes évoluent (+nouveaux systèmes):

Modèle de mesure GNSS	Commentaire	Statut
Position satellite	Intégration de l'équation de la dynamique (dans le repère céleste).	Paramètre estimé (impact de la qualité du modèle/paramétrage dynamique) ou utilisation des produits précis de l'IGS
Position du récepteur (incluant la déformation de la Terre)	Exprimée dans le repère terrestre. Les EOP sont nécessaires pour exprimer les coordonnées du satellite et du récepteur dans le même repère	Paramètre estimé. Impact de la qualité des modèles de déformation de la Terre.
Vecteur centre de masse – centre de phase satellite (« Phase Center Offset/Variations » PCO/PCV)	Dépend de l'attitude du satellite souvent mal « contrôlée » lors des passages dans l'ombre de la Terre.	PCO/PCV/attitude sont mal connus. PCO produits par méthode inverse et corrélées avec le facteur d'échelle du repère
Biais d'horloge satellite	Horloges embarquées de plus en plus stables mais ce biais reste imprédictible aujourd'hui	Paramètre estimé à chaque époque de mesure
Biais d'horloge récepteur	Asservi au temps GPS +/- 1 ms (les récepteurs sont synchronisés)	Paramètre estimé à chaque époque de mesure
Vecteur marqueur géodésique – point de référence de l'antenne récepteur (ARP+PCO+PCV)	ARP mesuré par un opérateur. PCO/PCV mesuré en chambre anéchoïque	PCO/PCV non disponibles pour certaines mesures GNSS (ex: E5 Galileo)

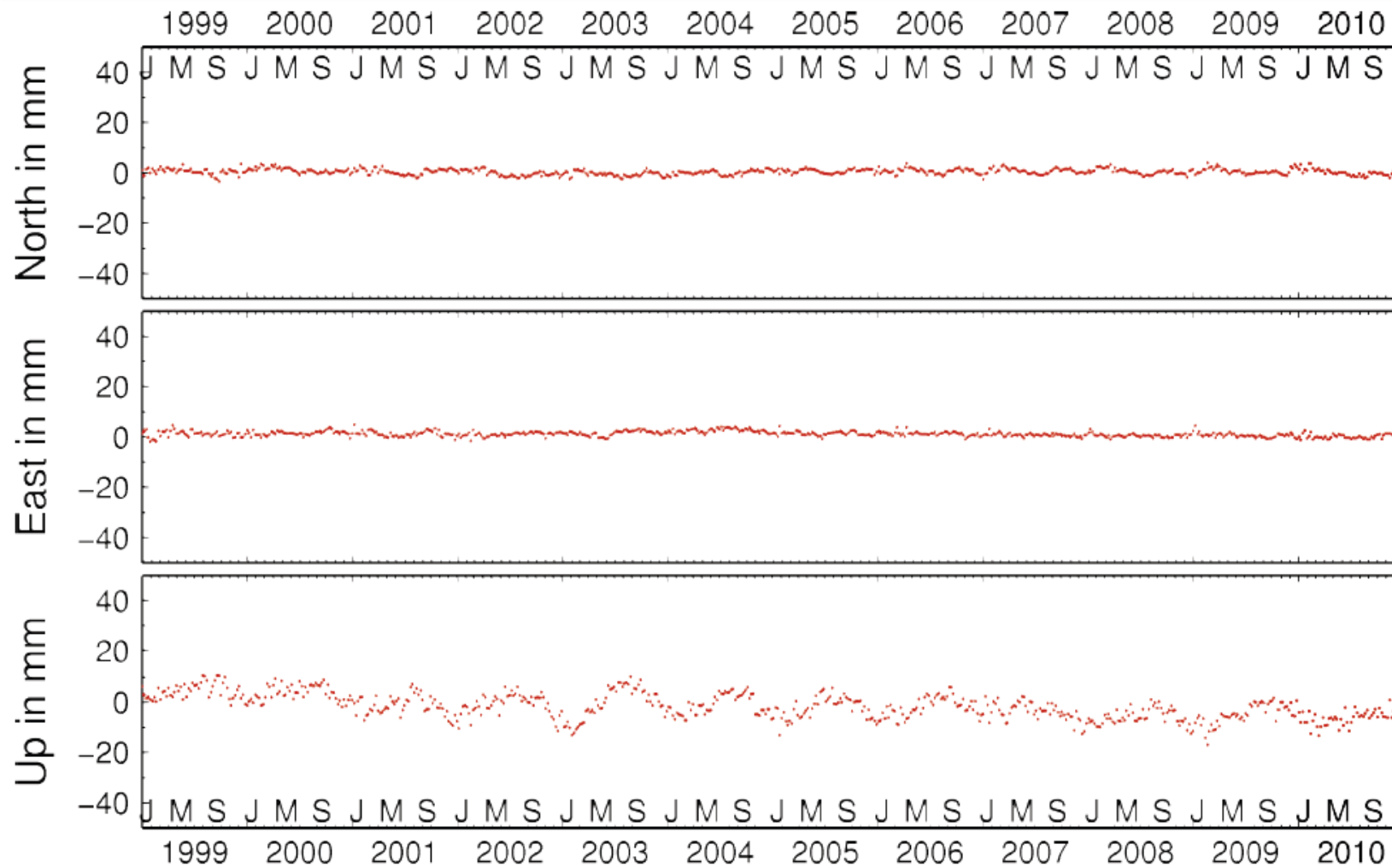
Modèle de mesure GNSS	Commentaire	Statut
Délais ionosphérique	Les variations brutales (orage géomagnétique, scintillation) affectent la détection des sauts de cycles et la disponibilité des signaux	Les modèles actuels n'ont pas la qualité, la résolution spatiale et temporelle suffisante pour se passer du calcul/élimination du délais ionosphérique
Délais troposphérique	Sensible aux conditions météo dans toute la région autour du récepteur (fonction du « cut-off » en élévation)	Les modèles actuels n'ont pas la qualité, la résolution spatiale et temporelle pour se passer de l'estimation de ce paramètre
Corrections relativistes	Le terme constant (biais de fréquence) appliqué en amont	Les autres termes sont modélisés
Délais de « phase wind-up »	Dépend de l'attitude du satellite	Modélisé
Ambiguïté de phase	Nombre entier de cycles de phase	Nécessite un traitement lourd, délicat et simultané de mesures de Range et de Phase sur au moins 2 fréquences
Biais « hardware » satellite	Source diverse mais stables à l'échelle de la journée en dehors de reboots satellites	Éliminé par différentiation des mesures ou estimé journalièrement
Biais « hardware » récepteur	Variable et imprédictible	Éliminé par différentiation ou estimé par époque de mesure

Coordinate time series for Zimmerwald



Operational series from CODE, weekly solutions

Coordinate time series for Zimmerwald



Reprocessed series from CODE, weekly solutions

Comparaison des standards pour REPRO2

Courtesy: Jim Ray, Jake Griffiths (NGS)

		CODE (COF)	EMR	ESA	GFZ	GRG	JPL
Geopotential	Static Gravity Field	EGM2008 (12x12)	EGM2008	EIGEN-GL05C (12x12)	EGM2008 (12x12)	EIGEN-GL04S1 (12x12) EIGEN6	EGM2008 (12x12)
	Low-degree time variations*	C20, C30, C40 use secular rates from IERS 2010, Table 6.2; C21/S21 from eqn 6.5 with mean pole*	?	None	C20, C30, C40 use secular rates from IERS 2010, Table 6.2; C21/S21 from eqn 6.5 with mean pole*	secular rates + annual/ semi-annual terms up to degree 12	C20, C30, C40 use secular rates from IERS 2010, Table 6.2; C21/S21 from equation 6.5 with mean pole.
	Earth Tides	IERS 2010	IERS 2010	IERS 2010	IERS 2010	IERS 2010	IERS 2010
	Ocean Tides	IERS 2010 – FES2004	IERS 2010 – FES2004	IERS 2010 – FES2004	IERS 2010 – FES2004	IERS 2010 – FES2004	Convolution Formalism (Desai and Yuan, 2006) GOT4.8ac
	Earth Pole Tide*	IERS 2010	IERS 2010	IERS 2010; Ch 6.4 with mean pole*	IERS 2010	IERS 2010	IERS 2010
	Ocean Pole Tide*	IERS 2010; eqn 6.23 a,b	IERS 2010	IERS 2010; eqn 6.23 a,b with mean pole*	IERS 2010; eqn 6.23 a,b	IERS 2010; eqn 6.23 a,b	IERS 2010; eqn 6.23 a,b
	*Mean Pole Model	Cubic Mean Model; Ch 7.1.4, eqn 7.25, & Table 7.7	?	Cubic Mean Model; Ch 7.1.4, eqn 7.25, & Table 7.7	Cubic Mean Model; Ch 7.1.4, eqn 7.25, & Table 7.7	Cubic Mean Model; Ch 7.1.4, eqn 7.25 & Table 7.7	Cubic Mean Model; Ch 7.1.4, eqn 7.25, & Table 7.7

		CODE (COF)	EMR	ESA	GFZ	GRG	JPL
<i>Displacements at Stations</i>	Solid Earth Tide	IERS 2010; dehantideinel.f	IERS 2010	IERS 2010; dehantideinel.f	IERS 2010; dehantideinel.f	IERS 2010	IERS 2010
	Solid Earth Pole Tide*	IERS 2010	IERS 2010	IERS 2010; Ch. 7.1.4 with mean pole*	IERS 2010; Ch. 7.1.4 with mean pole*	IERS 2010	IERS 2010
	Ocean Pole Tide	none	IERS 2010 (repro2 / week 1786)	none	IERS 2010 (Ch. 7.1.5)	IERS 2010 (Ch. 7.1.5)	IERS 2010 (Ch. 7.1.5)
	Ocean Loading	FES2004; hardisp.f	FES2004; hardisp.f	FES2004; hardisp.f	FES2004; hardisp.f	FES2012	GOT4.8ac; hardisp.f
	Ocean Loading CMC	sites & SP3	sites & SP3	sites & SP3	sites & SP3	sites & SP3	sites & SP3
	Atmospheric S1/S2	IERS 2010	none	none	IERS 2010	IERS 2010	none
	Atmospheric S1/S2 CMC	none	none	none	none	IERS 2010	none
	Atmospheric Pressure Loading (non-tidal)	none	none	none	none	none	none

		CODE (COF)	EMR	ESA	GFZ	GRG	JPL
Satellite Dynamics & Inertial Frame	a priori Nutation & EOPs	IAU 2000AR06; BuA ERPs	IAU 2000AR06 BuA ERPs	IAU 2000AR06 BuA ERPs	IAU 2000; GFZ ERPs	IAU 2000AR06 (NRO); BuA ERPs	IAU 2006A; BuA ERPs
	Subdaily EOP tide model?	IERS 2010; sub nutation	IERS 2010	IERS 2010	IERS 2010 & PMsdnut.for	IERS 2010	IERS 2010
	PM & UT1 librations included?	applied	?	PM: IERS PMsdnut. for routine; UT1: IERS UTLIBR.F routine	applied	applied	No
	SRP Params (& constraints)	D,Y,X scales + X 1/rev; no constraints	X,Y,Z scales stochastic	Box-wing model for apriori modeling of the Solar Radiation Pressure Forces D,Y,B scales + B 1/rev; no constraints	D,Y,X scales + X 1/rev; no constraints	D (to sun) scale , Y-bias+ X & D 1/rev; no constraints	JPL GSPM13 nominal model (Sibois et al, 2014). X,Y,Z scales stochastic
	Velocity Breaks (& constraints)	@ 12:00 + constraints	none	none; along-track plus along-track 1/rev accels	@ 12:00 + constraints	stoch. impulse during ecl.	none
	Satellite Attitude in Daylight	GPS: nominal GLO: nominal	GPS: nominal GLO: nominal	GPS: nominal GLO: nominal	GPS: nominal GLO: nominal	GPS: nominal GLO: nominal	GPS: nominal
	Blk II & IIA Attitude for Eclipses	nominal	yaw rates applied (Bar-Sever, 1996)	nominal	yaw rates estimated (initials from ??)	yaw rates applied (Kouba, 2009)	nominal yaw rates applied (Bar-Sever, 1996) and yaw rates estimated
	Blk IIF Attitude for Eclipses	nominal	nominal	nominal	nominal	yaw rates applied (Dilsner 2010)	model applied, from BOEING
	GLO SV Attitude for Eclipses	nominal	N/A	yaw rates applied (Dilsner, 2010)	yaw rates estimated (initials from Dilsner, 2010)	yaw rates applied (Dilsner 2010)	N/A
	Shadow Zones	E+M: umbra & penumbra	E: umbra & penumbra	E+M: umbra & penumbra	E+M: umbra & penumbra	E+M: umbra & penumbra	E+M: umbra & penumbra
	Earth reflected (visible) radiation	applied (wk 1749)	applied	applied	applied (wk 1758)	applied	applied
	Earth emitted (infrared) radiation	applied (wk 1749)	applied	applied	applied (wk 1758)	applied	applied
	Block-specific satellite thrusting due to signal transmission (http://acc.igs.org/orbits/thrust-power.txt)	GPS: applied (wk 1749) GLO: applied (wk 1749; all SVs 100W)	GPS: repro2 (wk 1786) GLO: N/A	GPS: none GLO: none	GPS: applied (wk 1758) GLO: applied (wk 1758, 100W)	GPS: applied since week 1718 GLO: none	GPS: applied
	Relativistic Effects: dynamic corr (Ch. 10, eqn 12)	Schwarzschild: Yes Lense-Thirring: No de Sitter: No	Schwarzschild: Yes Lense-Thirring: Yes de Sitter: No	Schwarzschild: Yes Lense-Thirring: No de Sitter: No	Schwarzschild: Yes Lense-Thirring: Yes de Sitter: No	Schwarzschild: Yes Lense-Thirring: Yes de Sitter: No	Schwarzschild: Yes Lense-Thirring: Yes de Sitter: No
	Relativistic Effects: grav bending applied (Ch. 11, eqn 17)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

		CODE (COF)	EMR	ESA	GFZ	GRG	JPL
Measurement Models	GNSS	GPS, GLO	GPS, GLO	GPS, GLO	GPS, GLO	GPS, GLO	GPS
	Clock Products Provided (& sampling int.)	GPS: 30s (SP3 & CLK) GLO: None	GPS: 30s (SP3 & CLK) GLO: 15m (SP3)	GPS: 30s (SP3 & CLK) GLO: 30s (SP3 & CLK)	GPS: 30s (SP3 & CLK) GLO: 15m (SP3)	GPS: 30s (SP3 & CLK-SV and STA) GLO: 15m (SP3)	GPS: 30 s & 5m (SP3 & CLK)
	Observable Type	DbDiff (weak redundant)	UnDiff	UnDiff	Undiff	UnDiff	UnDiff
	Data Rate	3 min	5 min		5 min	15 min (30s for clocks)	5 min
	RHC phase rotation corr.	Yes (Wu et al., 1993)	Yes (Wu et al., 1993)	Yes (Wu et al., 1993)	Yes (Wu et al., 1993)	Yes (Wu et al., 1993)	Yes (Wu et al., 1993)
	Elevation Cutoff	3 deg	10 deg	10 deg	7 deg	12 deg	7 deg
	Elevation-dependent Inverse Weights ($\sigma^2 =$)	$1 / \cos^2(z)$	$1/\sin(e)$	$1 / \sin^2(e)$	$1 / 2\sin(e)$ for $e < 30$ deg	none	$1/\sin(e)$

Tropospheric Delay	a priori met source & mapping coeffs?	VMF1 mapping fnc coefficients interpolated from 6-hr grids	VMF1 mapping fnc coefficients interpolated from grids	GPT for P, T, RH	GPT2 for P, T, RH & VMF1 mapping fnc coefficients (wk 1758)	GPT2 for P, T, RH & VMF1 mapping fnc coefficients	GPT2 for P, T, RH & GPT2 mapping fnc coefficients
	a priori zenith delay	ECMWF-based ZDD	VMF1 grid files for ZDD & ZWD	ZDD & ZWD computed with Saastamoinen (1972) model	ZDD & ZWD computed with Saastamoinen (1972) model	ZDD & ZWD computed with Saastamoinen (1972) model	GPT2
	Mapping of a priori zenith delay to line-of-sight	slant dry + wet delays mapped with VMF1_HT	slant dry + wet delays mapped with GMF	slant dry + wet delays mapped with GMF	slant dry + wet delays mapped with VMF1_HT model using GPT2 mapping fnc coeffs	slant dry + wet delays mapped with GMF	slant dry + wet delays mapped with GPT2
	Mapping function used for ZD adjustment?	VMF1_HT wet mapping fnc (VMF1W); ZWD estimated in 2-hr piece-wise linear steps for each station; loosely (sigma = 1 m) constrained	GMF wet mapping fnc; ZWD estimated at each epoch as random walk with process noise = 3.0 mm/sqrt(hr)	GMF wet mapping fnc; ZWD estimated in 1-hr steps for each station	VMF1_HT wet mapping fnc (VMF1W); ZWD estimated in 1-hr steps for each station	VMF1 wet mapping fnc; ZWD estimated in 2-hr steps for each station	GPT2 wet mapping fnc; ZWD estimated at each epoch as random walk with process noise = 0.05 mm/sqrt(sec)
	Do you estimate N-S and E-W gradients?	Yes: piece-wise linear gradients; Chen & Herring (1997) mapping fnc used	Yes: estimated at each epoch as a random walk with process noise of 0.3 mm/sqrt(hr)	Yes: continuous linearly changing gradients per station per day	Yes: continuous linearly changing gradients per station per day	Yes: constant gradients per station per day; Chen & Herring (1997) mapping fnc used	Yes: estimated at each epoch as a random walk with process noise of 0.005 mm/sqrt(sec)

Ionospheric Delay	1st-order effect	eliminated by L1 & L2 linear combination	eliminated by L1 & L2 linear combination	eliminated by L1 & L2 linear combination	eliminated by L1 & L2 linear combination	eliminated by L1 & L2 linear combination	eliminated by L1 & L2 linear combination
	2nd-order	IERS 2010 & IGRF11	IERS 2010 & IGRF11	none	IERS 2010 & IGRF11 (began 1813) (TEC from CODE-iono grids)	IERS2010 & IGRF2011 (TEC from IGS/IGR-iono grids)	Applied (Garcia-Fernandes, 2012). IRI before 1999. IONEX for 1999 onward.
	3rd-order	IERS 2010 & IGRF11	none	none	none	none	none

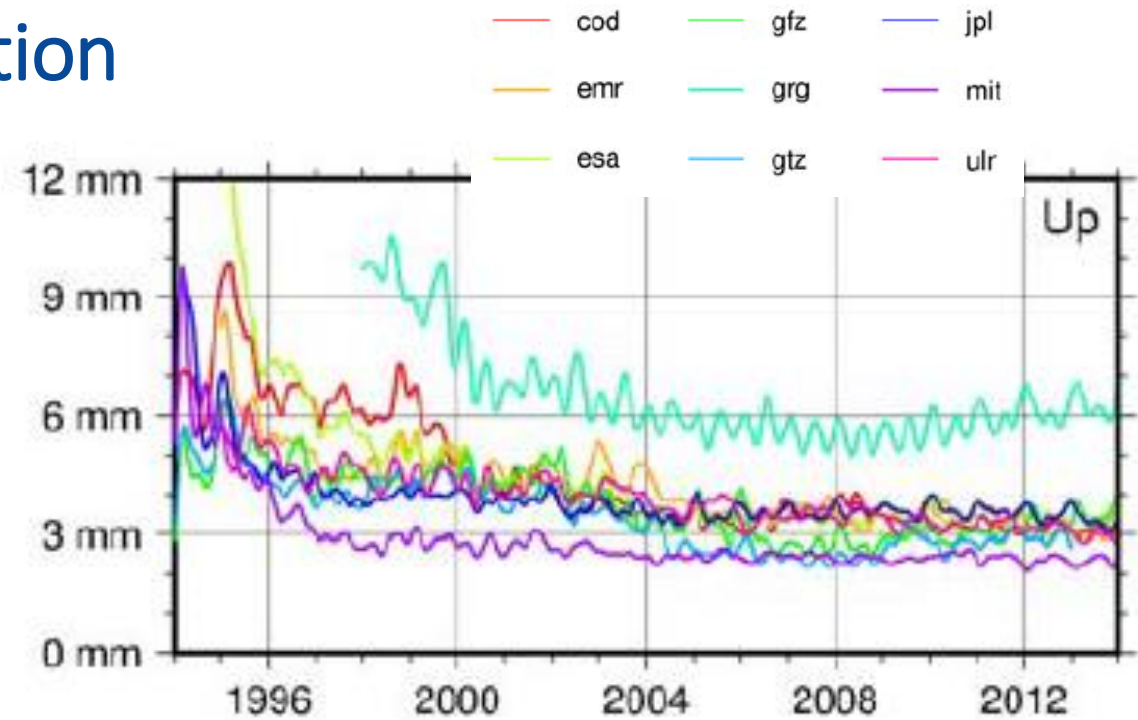
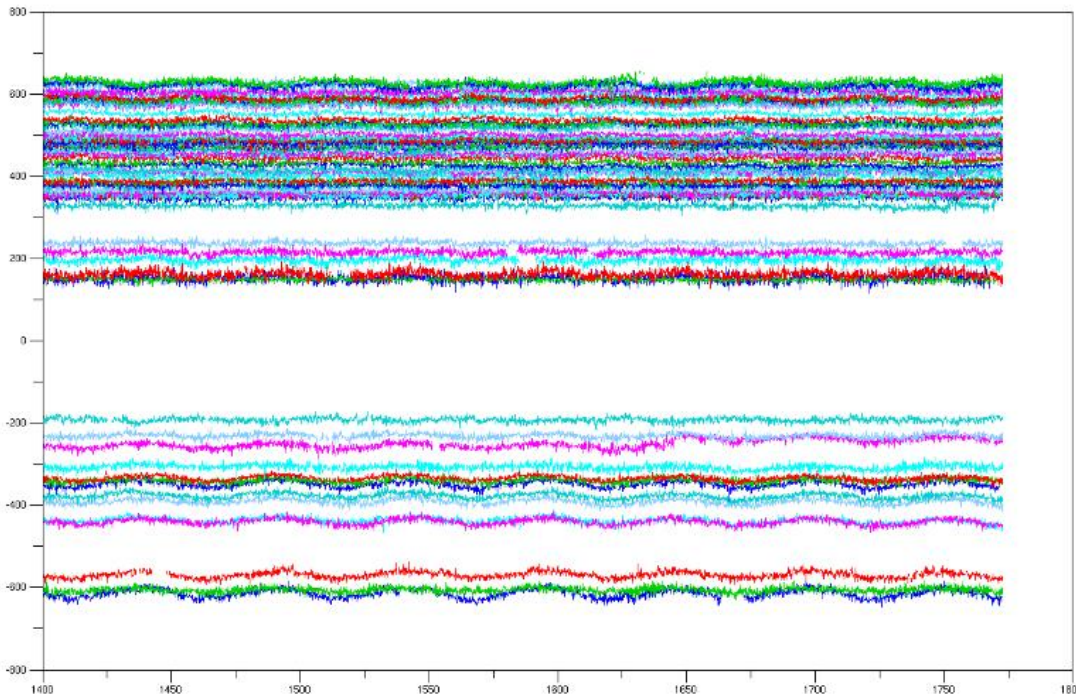
		CODE (COF)	EMR	ESA	GFZ	GRG
Estimated Parameters	Orbits	6 Keplerian elements plus 5 solar radiation parameters at start of arc; no a priori sigmas used. Estimated RPR parameters (see Beutler 1994): - Constants in D-, Y- and X-direction - Periodic terms in X-direction A priori orbits are from a previous reprocessing run or from the CODE rapid orbit solution. Pseudo-stochastic orbit parameters (small velocity changes), every 12 hours, constrained to: 1.0E-6 m/sec in radial 1.0E-5 m/sec in along-track 1.0E-8 m/sec in out-of-plane	initial positions and velocities, y-bias, solar radiation pressure scale in direct direction; stochastic y_bias and x/z solar scale with steady state sigma of 0.02E-12 km/s/s and correlation time of 4 hrs solved for every hour. nominally initial velocity sigma increased for eclipsing SV	deterministic positions and velocities; parameters from the Enhanced CODE orbit model (Springer 1999): D0, Y0, B0, Bcos(u) and Bsin(u) In addition we allow for small along-track accel.: A0, Acos(u), Asin(u)	6 parameters for initial position and velocity 5 parameters for solar radiation pressure modeling, i.e. constants in D-, Y- and X-direction and periodic terms in X-direction 3 stochastic impulse parameters (at noon) are estimated for all satellites	6 initial Keplerian elements plus 6 solar radiation parameters ; no constraints applied; Estimated SRP parameters (see Beutler et al. 1994): - Constants in Y-Direction - Periodic terms in X-direction and D-direction - Scale factor in the D-sun direction - Stochastic pulses during eclipses periods
	Satellite attitude	None	deterministic yaw bias with yaw rates estimated as white noise for satellites which are eclipsing with a steady state sigma of 0.01 deg/sec, solved for every 6 hours	None	yaw rate is estimated for GPS satellites during shadow crossing	None
	Troposphere zenith delay	estimated for each station in intervals of 2 hours. Loose relative constraints of 1 m are applied. Piece-wise, linear parameterization, allowing for connection of the parameters at day boundaries.	estimated for each observation epoch as a random walk with process noise of 3.0 mm/sqrt(hr)	estimated as linear parameters every 1 hours	zenith delay parameters for each station with 1 hour intervals	estimated for each station using a piecewise linear continuous model with 12 parameters/day

	Troposphere gradients	pairs of horizontal delay gradient parameters are estimated in N-S and E-W direction for each station in intervals of 24 hours. No a priori constraints are applied. Piece-wise, linear parameterization, allowing for connection of the parameters at day boundaries.	one N-S and one E-W gradient parameter estimated for each epoch as a random walk with process noise of 0.3 mm/sqrt(hr)	N-S & E-W gradient; linear per day	N-S & E-W horizontal delay for each station in daily intervals	N-S & E-W gradient; constant per day
	Ionosphere	None	None	None	None	None
	Ambiguity	baseline-by-baseline mode performing the following steps: - Melbourne-Wuebbena approach (< 6000 km) - Quasi-Ionosphere-Free (QIF) approach (< 2000 km) - Phase-based widelane/narrowlane method (< 200 km) - Direct L1/L2 method GNSS-derived global ionosphere map information is used to support the code-less methods.	real valued phase cycle ambiguities adjusted except when double-differenced ambiguities can be resolved; about 65% of ambiguities resolved	phase cycle ambiguities adjusted except when double-difference ambiguities can be resolved confidently; integer ambiguity resolution scheme from GFZ (Ge 2005)	ambiguities are fixed according to Ge et al. (2005)	undifferenced ambiguity are fixed (according to Loyer et al 2012) one bias per pass for the remaining unfixed ambiguities (more than 95% are fixed)
	Earth orientation parameters (EOP)	daily x & y pole offsets, pole-rates, UT1, and LOD at noon epochs UT1 tightly constrained	daily x & y pole offsets, pole-rates, and LOD at noon epochs; LOD loosely constrained to 32.2 mas/day; UT1 is estimated with tight constraints	daily x & y pole offsets, pole-rates, and LOD at noon epochs UT1 tightly constrained to a priori BulA value	daily x & y pole offsets, pole-rates, and LOD at noon epochs UT1 tightly constrained to a priori BulA value	daily x & y pole offsets and pole rate; daily LOD (offsets from IERS Bulletin A); UT1 not adjusted but fixed to prediction
	Geocenter	Yes	No	No	Yes	No
	Satellite antenna offsets	GPS: Yes GLO: Yes	GPS: Yes GLO: No	GPS: Yes GLO: Yes	GPS: Yes GLO: Yes	No
	Other parameters	GPS <-> GLONASS biases	None	GPS <-> GLONASS biases	GPS <-> GLONASS clock biases	GPS <-> GLONASS biases

Impact d'une mauvaise modélisation

Lors de la campagne REPRO2, la solution de coordonnées des stations GRG présentait :

- Un signal semi-annuel
- Un bruit plus important



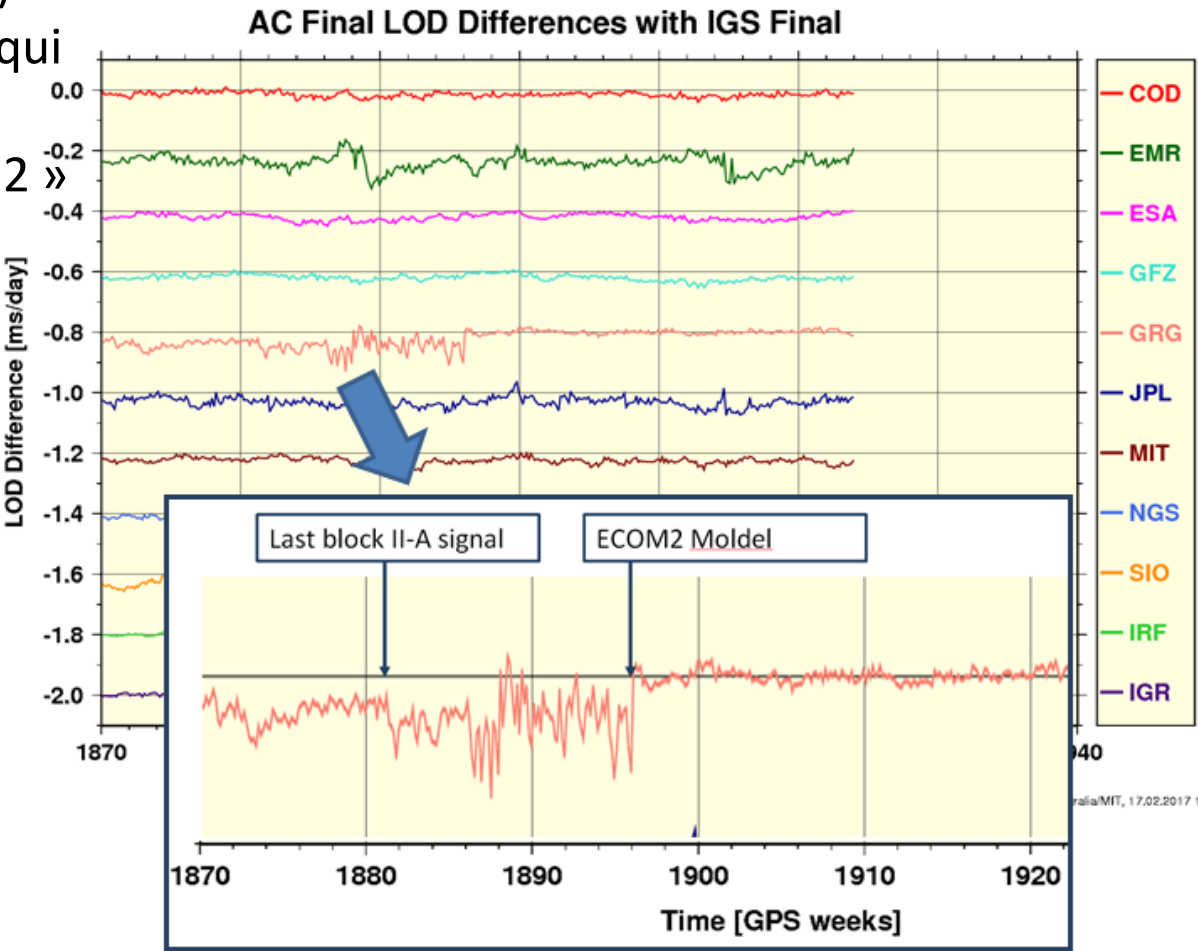
Après de fastidieuses investigations nous avons observé que :

- Le signal semi-annuel dépendait de la latitude des stations ce qui indiquait un mauvais choix de modèle troposphérique
- Le bruit provenait d'une erreur à une fréquence spécifique de 3,6 jours qui n'apparaît plus en appliquant une nouvelle loi de pondération et d'échantillonnage des mesures

Impact des corrélations et de la paramétrisation

La solution de LOD GRG s'est brutalement dégradée lors de la disparition du dernier satellite GPS block II-A (janvier 2016). Le terme à la période orbitale dans la direction du soleil D qui n'était pas estimé pour les satellites II-A s'est révélé très corrélé avec le LOD. Une nouvelle paramétrisation « ECOM2 » a résolu ce problème

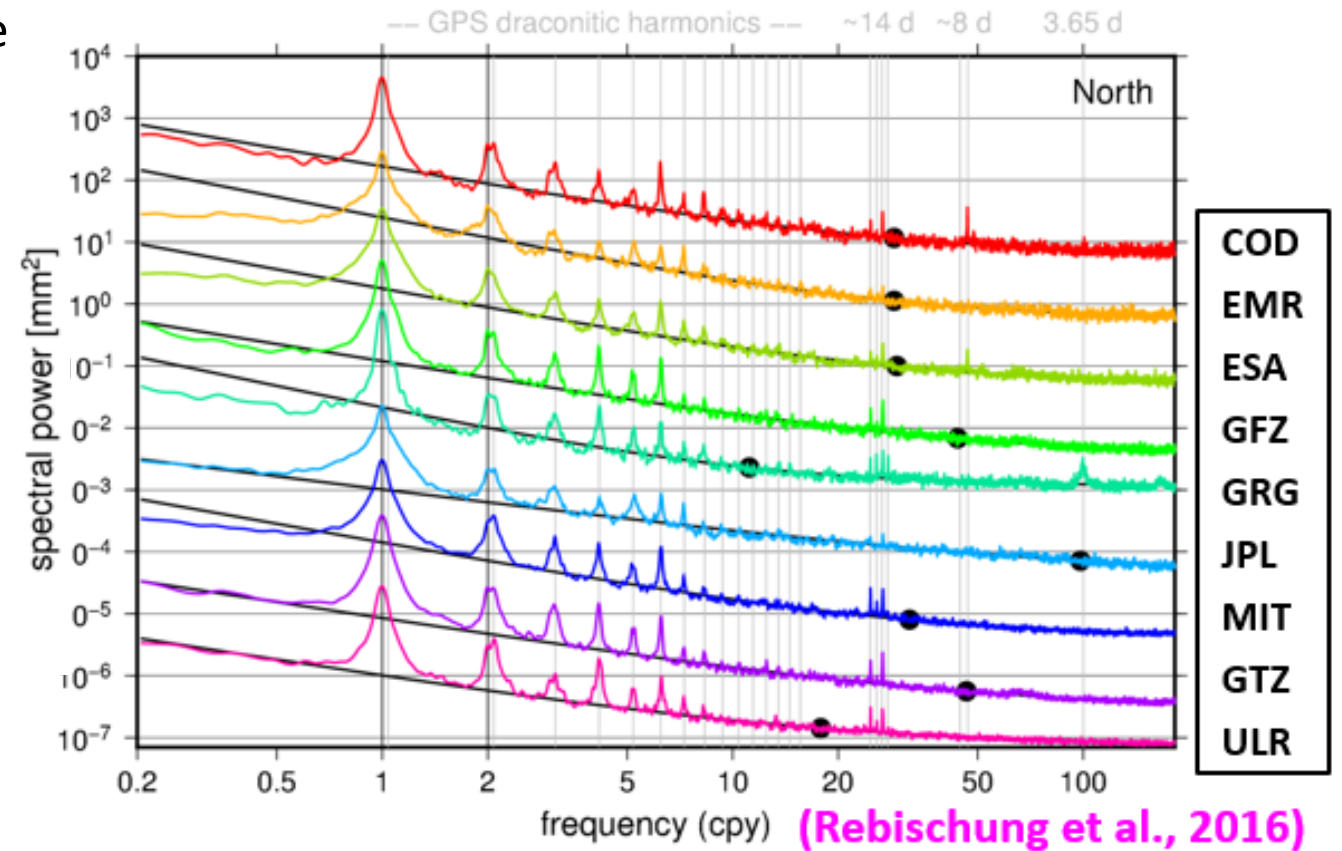
Axis	Old Strategy	New Strategy
D	- Scale factor 1/rev cos+sin except Block II-A	- Scale factor 2/rev cos+sin
Y	1 bias per arc	1 bias per arc
X	1/rev cos+sin	1 bias per arc 1/rev cos+sin



Limitations liées à la technique GNSS

L'analyse spectrale des résidus des coordonnées de stations des produits REPRO2 des différents CA de l'IGS a révélé la présence:

- De bruit coloré
- D'erreurs périodiques à la période draconitique de la constellation GPS (340 jours)
- D'erreurs périodiques aux périodes autour de 14 jours
- D'erreurs spécifiques aux CA



Ces erreurs impactent tous les produits GPS

Origine ? Correction ?

Accès aux caractéristiques des systèmes GNSS

Le 16 décembre 2016, pour la première fois des métadonnées des satellites GNSS (Galileo) ont été rendues publiques:

- **Modèle « box&wing » amélioré et modèle d'attitude plus réaliste**

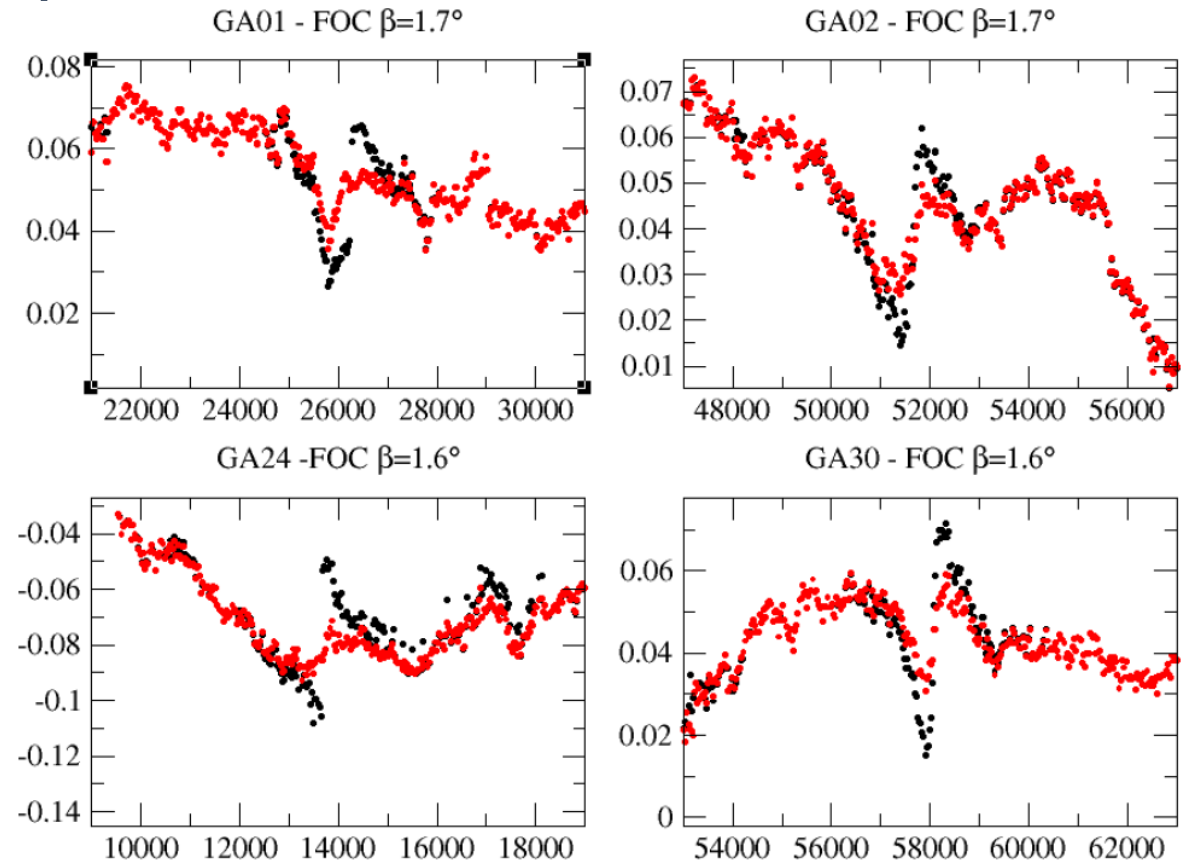
- Calcul pression de radiation solaire
- Correction de « wind-up »

- **Vecteur centre de phase-centre de masse connu:**

- Contribution de Galileo à l'échelle du RRT ?

Illustration de l'impact du nouveau modèle d'attitude lors de passages des satellites dans l'ombre de la Terre. Solution d'horloge bord:

- Noir: attitude « yaw steering »
- Rouge: modèle ESA



PPP pour la géodésie: mise en garde

La disponibilité de produits d'orbite/horloge des satellites GNSS de plus en plus précis permet de traiter les données GNSS en mode PPP

Important de garder à l'esprit que ces produits sont obtenus dans des conditions (modèles/paramètres) qui impactent l'usage que l'on peut en faire

- *Un traitement PPP cinématique permet-il de mesurer le déplacement de marée solide d'une station?*

Non: en fait la solution PPP sera égale au modèle de marée solide qui a été appliqué aux stations de référence environnantes

- *Un traitement PPP permet-il d'observer un déplacement sub-diurne d'une station.*

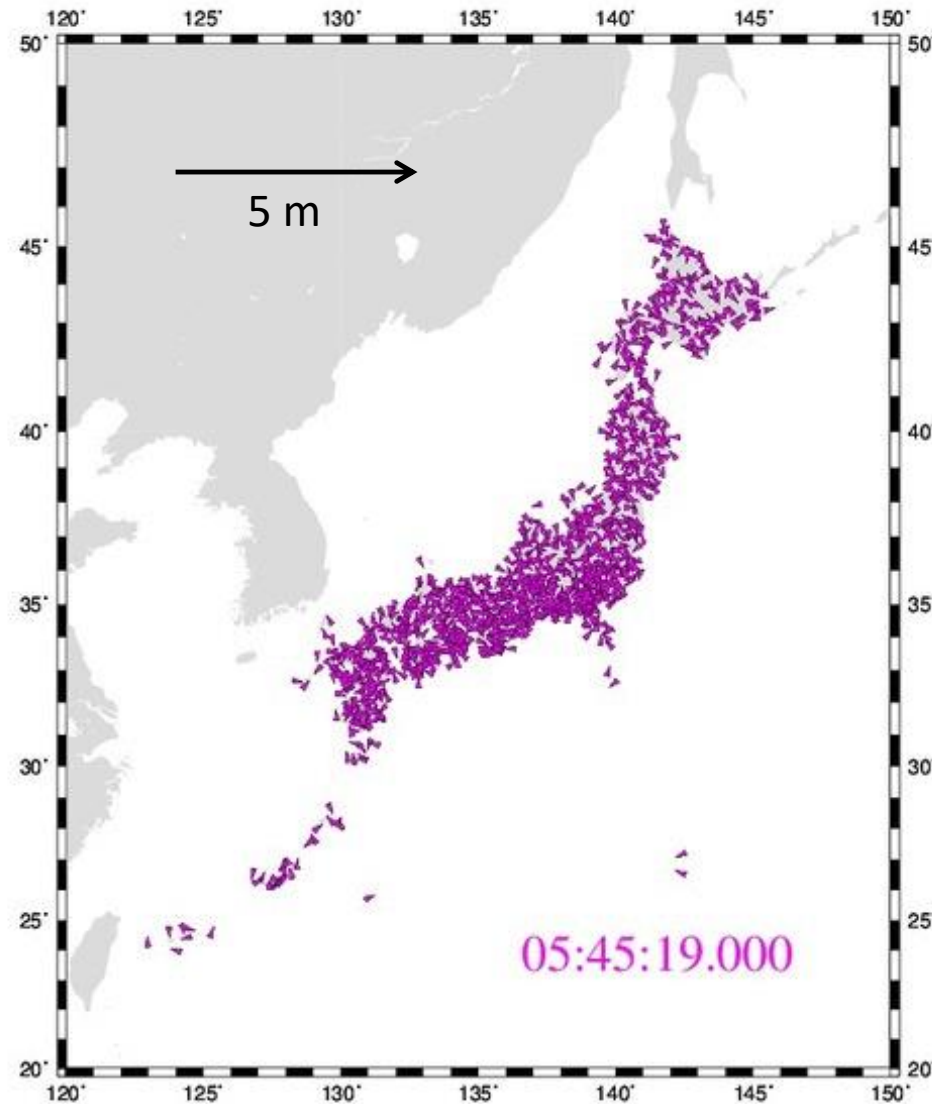
Non si ce déplacement est commun aux stations de référence environnantes (dont les coordonnées ont été estimées par jour) car le signal a été absorbé par les biais d'horloge des satellites estimés à chaque époque

Question: évolution des conventions vers une estimation sub-diurne des coordonnées des stations ?

Perspectives / évolutions standards

- Origine/limitation erreurs aux périodes draconitiques et ~14 jours
 - Erreur modèle de marée polaire sub-diurne (Cf. présentation Jim Ray)
 - Modèle dynamique d'orbite, modèle de marée océanique,...
 - Hyper-sensibilité de la constellation GPS (caractéristiques orbitales)
- La sensibilité des satellites GNSS aux variations des bas degrés du champ de gravité a été démontrée (~4 mm /annuel) (J. Ray 2012, S. Melachroinos 2013, S. Loyer 2014,...)
 - Besoin d'un produit mensuel facile à utiliser pour la communauté GNSS:
 - incluant les produits de dealiasing
 - Valable jusqu'en 1990 et extrapolable sur 1 mois
- La non disponibilité des PCV des antennes récepteur pour la fréquence E5/L5 limite la qualité des traitements
 - « Antenna WG» de l'IGS en cours
- Amélioration des « mapping functions » troposphériques
 - Ex: AMF P. Gegout 2011... mais amélioration masquée par les défauts des modèles de déformation
- Déformation thermique de la monumentation

Merci !



Barbu et al. 2017

- Réseau GEONET
- **1300 stations**
- **1 Hz**
- Solution IPPP
- Logiciel GINS (CNES)
- Produits GRG
- Traitement parallèle sur cluster de PC (15' CPU)