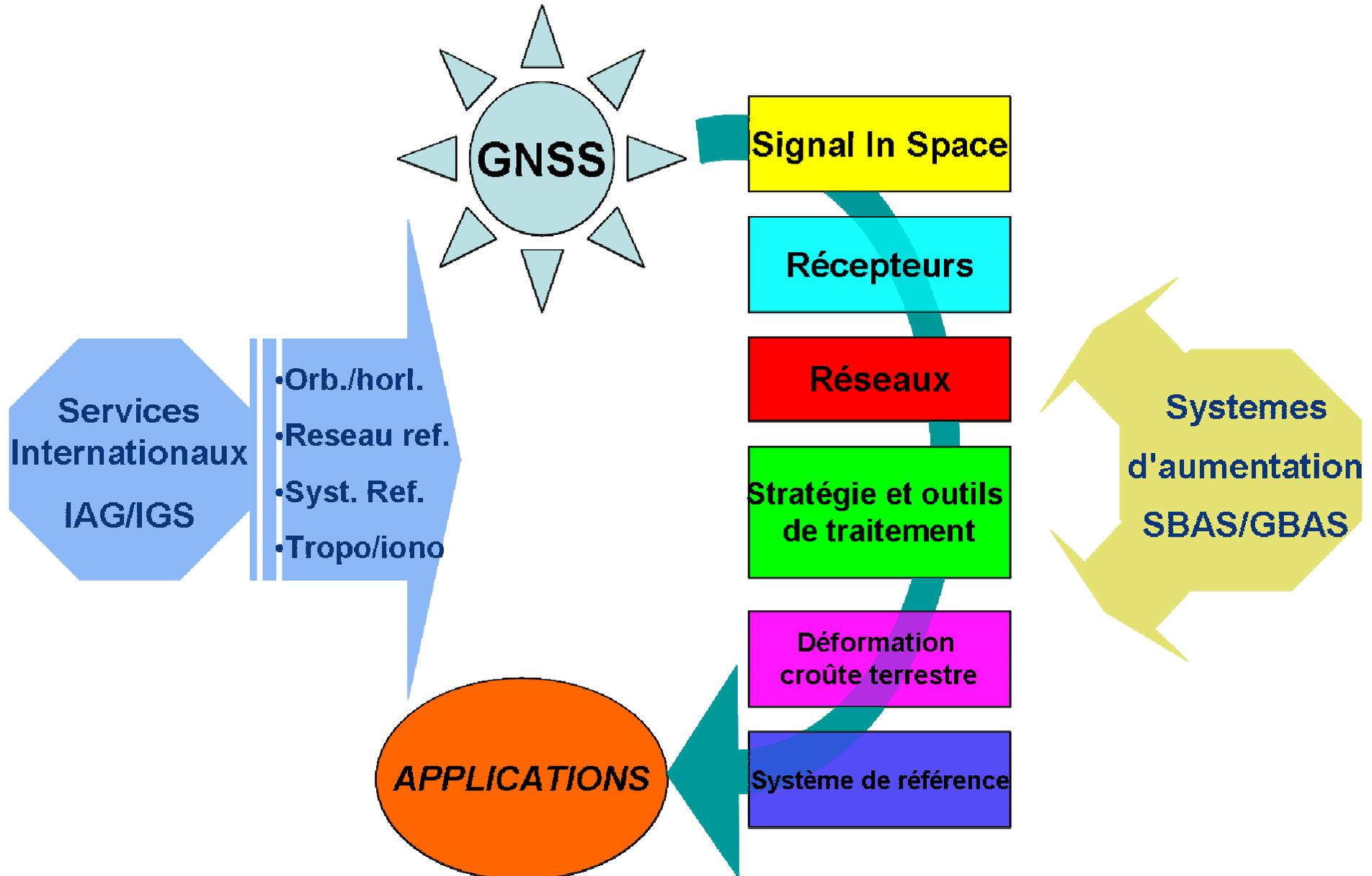




4-6 juin 2013, Toulouse

Positionnement précis GNSS

Les clés du Géopositionnement précis



Plan

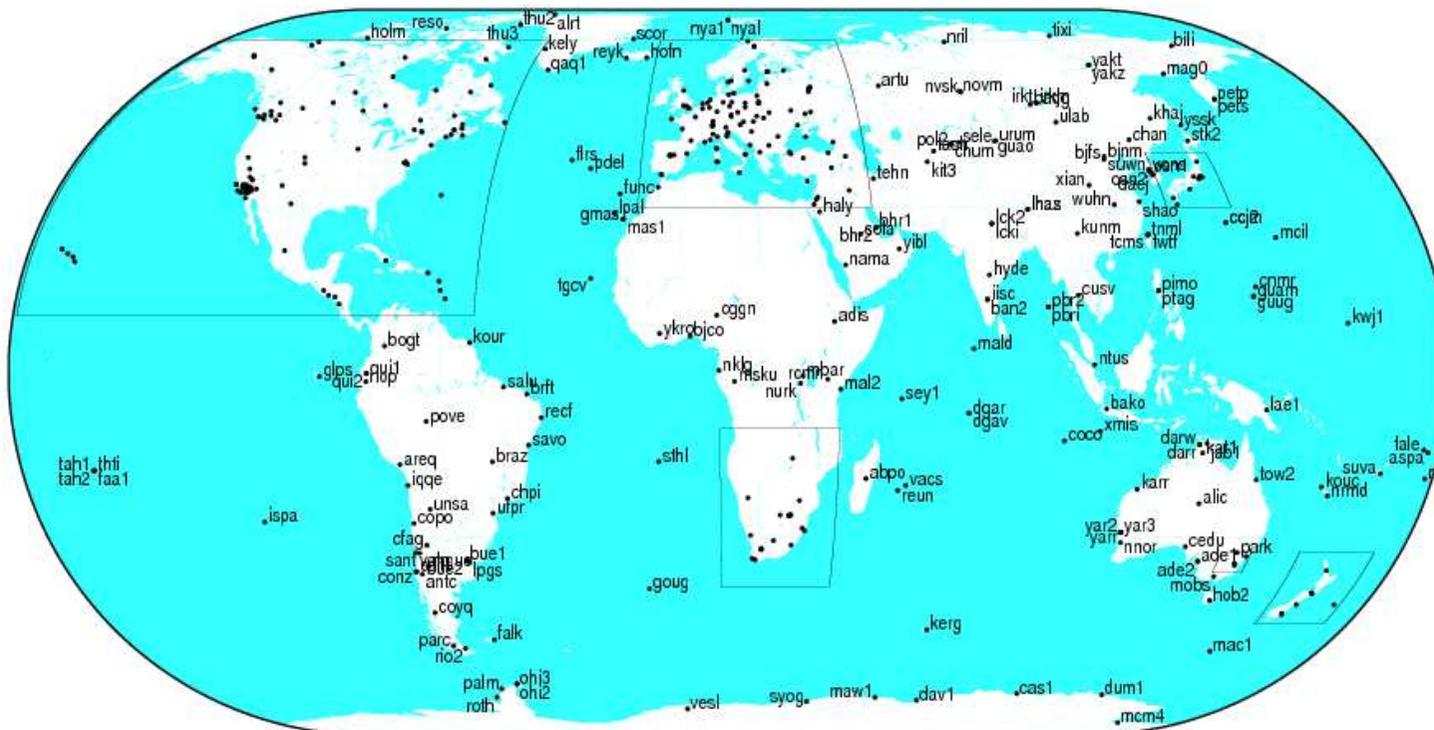
- IGS
- Les GNSS
- Equation de mesure
- Traitement des données
- Perspectives

IGS

Ephemerides, horloges précises : l'IGS

Produits IGS , <http://igs.cb.jpl.nasa.gov>

Coopération internationale pour mettre à disposition les meilleures mesures et produits pour les systèmes GNSS, pour des applications de sciences de la terre



SM 2012 Dec 09 16:45:29

Réseau IGS : 350 stations, récepteurs de qualité géodésique

 4-7 juin 2013, Toulouse

Produits IGS

Organisation :

centres de données : toutes les mesures du réseau, accessibles en ligne (ftp)

centres d'analyse : produits journaliers orbites/horloges, GPS/Glonass/...
différents niveaux de précision selon le délai
solutions combinées

autres produits : iono, tropo, biais (TGD...)

Exemple : produit final, solution combinée, semaine 1715, jour 0 (dimanche)

`igs17150.sp3.Z`

`igs17150.clk.Z`

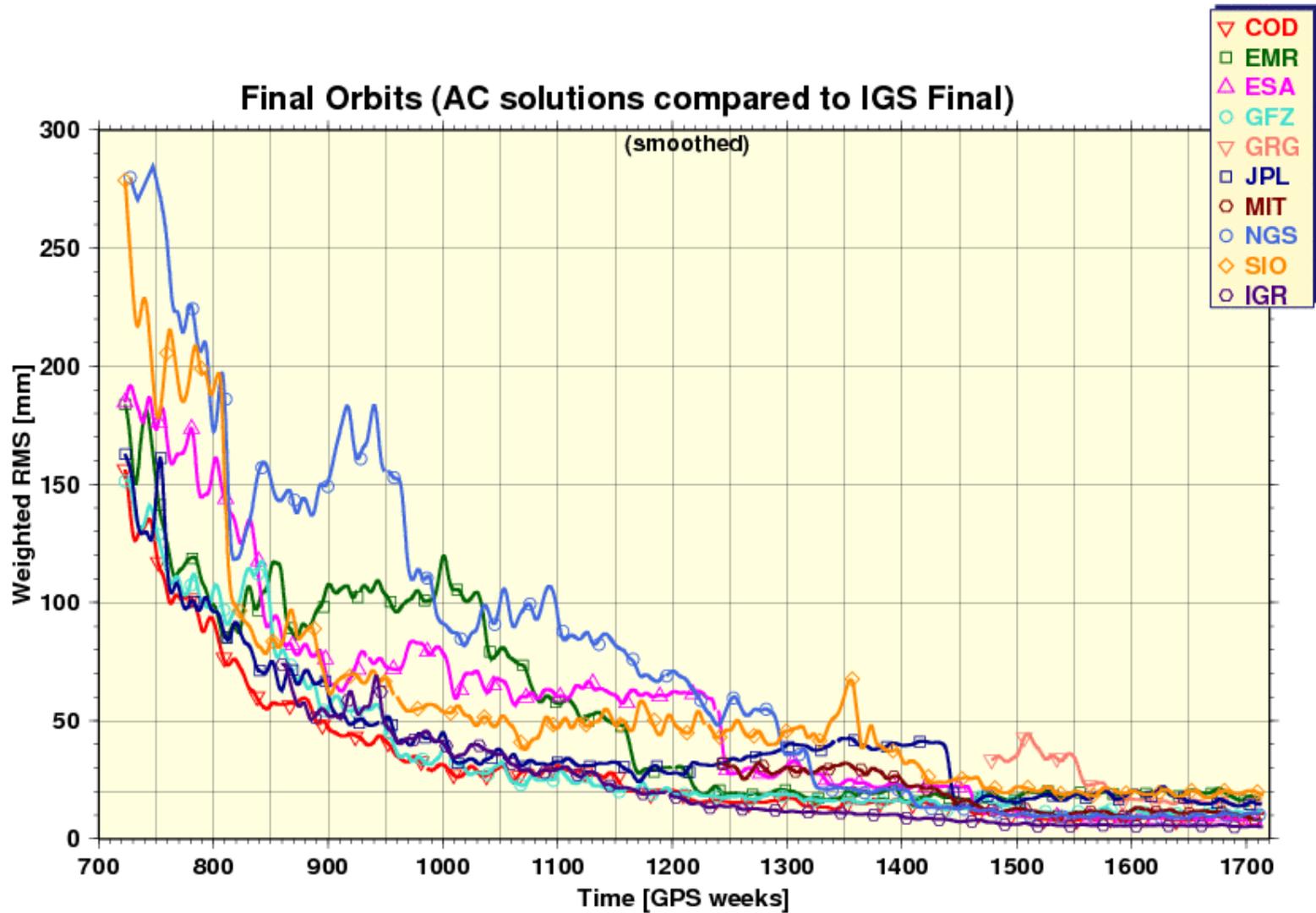
`igs17150.clk_30s.Z`

éphémérides et horloges (15 mn)

horloges (300 s)

horloges (30 s)

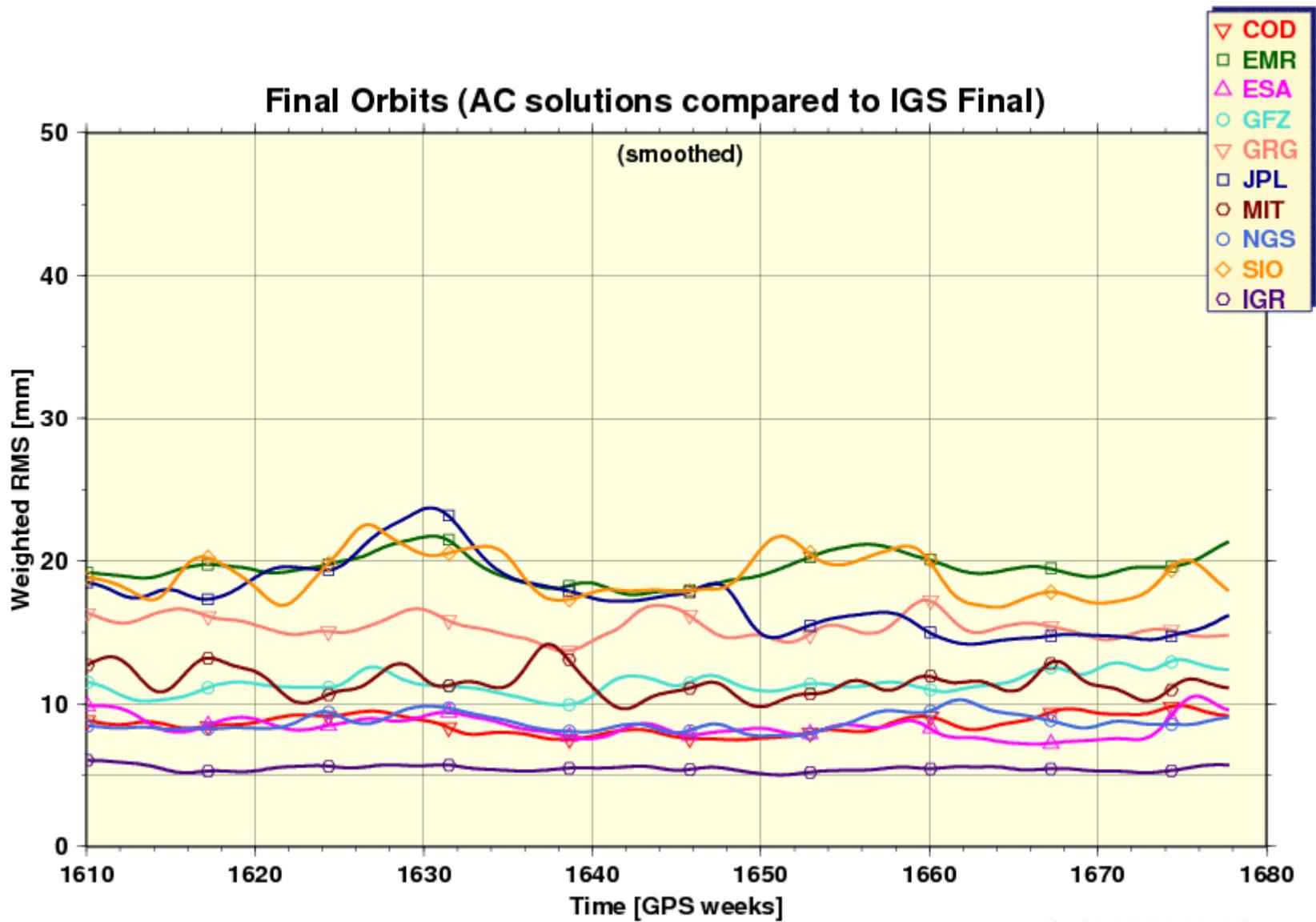
Performances orbites IGS



Produits et formats

Table 1. Data/product formats adopted by IGS

Format name	IGS Product/Sampling	Reference/URL
RINEX	GPS data/ 30 sec	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex210.txt
RINEX-clock ext.	Sat./Sta. Clock / 5 min.	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex_clock.txt
SP3	Orbits/Clocks/ 15 min.	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/sp3c.txt
IGS ERP Format	IGS ERP/ 1 day	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/erp.txt
SINEX	Sta. Pos.(ERP) 7(1) day	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/sinex.txt
SINEX-tropo ext.	Tropo. ZPD 2 h	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/sinex_tropo.txt
IONEX	Iono. maps/sat DCB 2 h	ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/ionex1.ps



Final products generated for IGS

files	description	Sample interval	format	Accuracy
grgwwwwn.CLK (1)	Daily GPS clock	at 5-min intervals (30 s clocks available on request)	CLK	60 ps
grgwwwwn.SP3 (1)	Daily GPS ephemeris/clock	at 15-min intervals	SP3	20-25 mm
grgwww7.SNX (1)	EOP and Stations coordinates solutions	EOP : 1 pt / day Coord. : 1pt/week	SINEX	4mm Horizontal 6mm Up
grgwww7.ERP (1)	EOP solution	1 pt / day	in IGS IERS ERP format	EOP : 30 uas EOP rate: 150 uas/day LOD : 15us
grgwww7.SUM (1)	Analysis summary	1/week		
grgwwwwd.WSB (2)	Wide Lane Satellite Biases	1 value per satellite per day	text	0.1 WL cycles

(1) Our products are available at the IGS Data Centers sites.

See IGS Central Bureau Website (data & products page) for format description and access to Data center.

(2) ftp://ftpsedr.cls.fr/pub/igsac/Wide_Lane_GPS_satellite_biais.wsb

Presentation

Since 2007, CNES/GS and CLS teams have been processing regularly GPS data from a worldwide network of IGS permanent stations. We compute precise GPS orbits together with Earth rotation parameters and stations coordinates at the sub centimetre level. Our solutions have been submitted since January 2004 to the International Earth Rotation Service in the framework of the Combination Research Center experiment.

Main events

- 2012.08 Switch to daily Sinex products (GPS week 1702)
- 2012.05 30' grg clock files available on IGS products archive centers
- 2011.06 Contribution to the IGS GLONASS final products
- 2011.04 Switch to IGS08/ANTEX08 (GPS week 1632)
- 2010.05 Contribution to the IGS GPS final products
- 2009.11 New analysis strategy: [zero-difference ambiguity fixing](#)
- 2009.03 Increasing number of stations in the processing up to 110
- 2009.01 Start of routine delivery of clock files (5')
- 2008.03 Increasing number of stations in the processing up to 90
- 2007.09 Start of weekly SINEX routine delivery to IGS

Doc !

www.igsac-cnes.cls.fr

WSB !

[ftp site direct acces](#) (weekly updated Wide-Lane Satellite biases and 30s clk).

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

Les GNSS

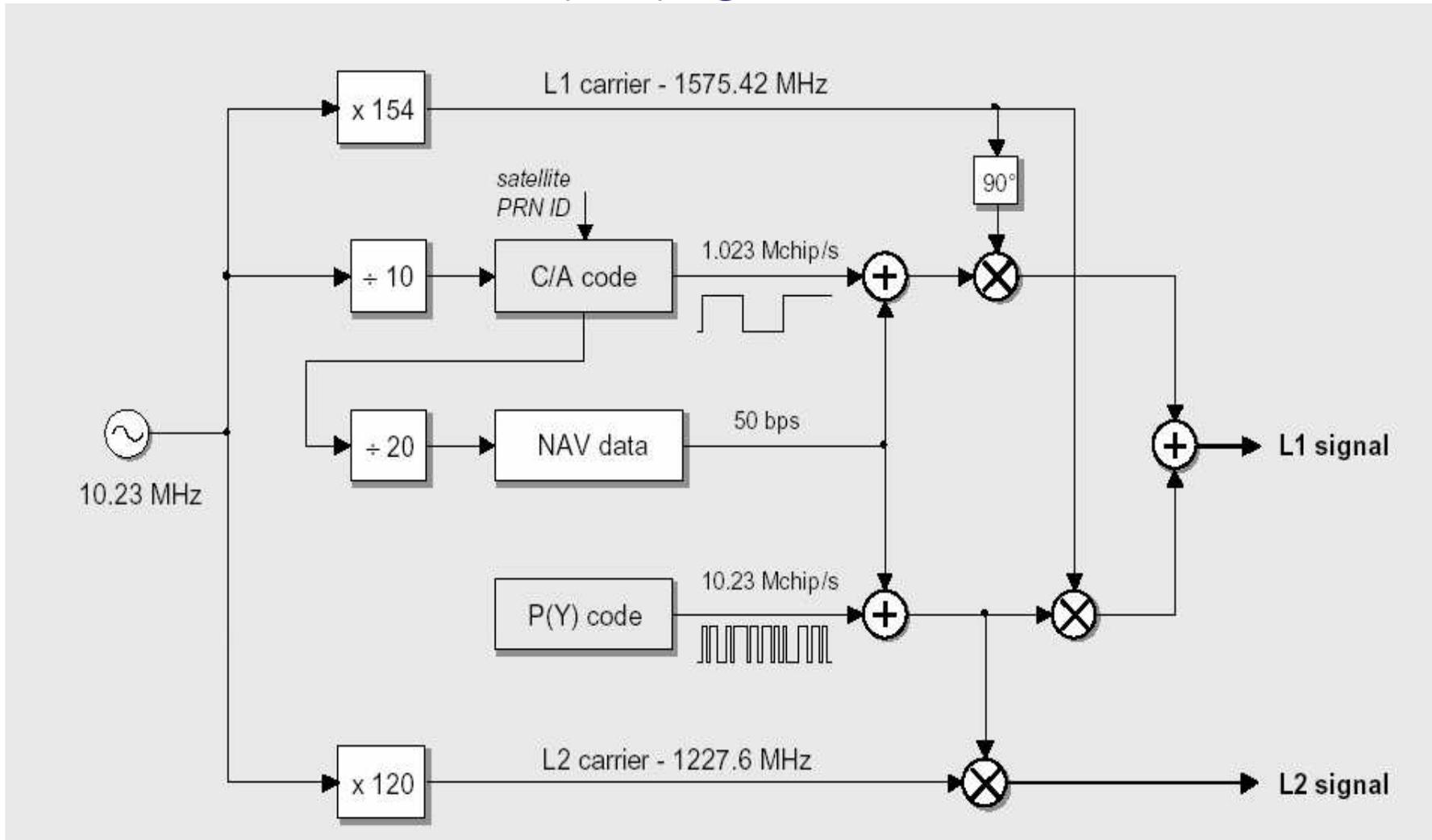
Statut des GNSS

- (Re)Déploiement des constellations :
 - GPS (31/30) satellites
 - GLONASS (29/24) satellites
 - Galileo 4 satellites (FOC1 avec 26 satellites en 2015 ?)
 - BEIDOU (16/14) 4MEO+5GEO+5IGSO (FOC ?)
- 7 GPS IIR-M (2005) émettent le signal L2C
- 4 GPS II-F (mai 2010) fréquence L5, Rubidium NG
- GLONASS-K (février 2011) émet un signal CDMA
- Galileo (octobre 2011) signal Alt-Boc, premier H-Maser



Evolution : +Géométrie, +mesures, +fréquences, +qualité signal

GNSS (GPS) signal structure



Signal L1 = Porteuse L1 x Code C/A x Code P(Y) x Message Navigation
Signal L2 = Porteuse L2 x Code C/A x Code P(Y) x Message Navigation

Fréquences Galileo

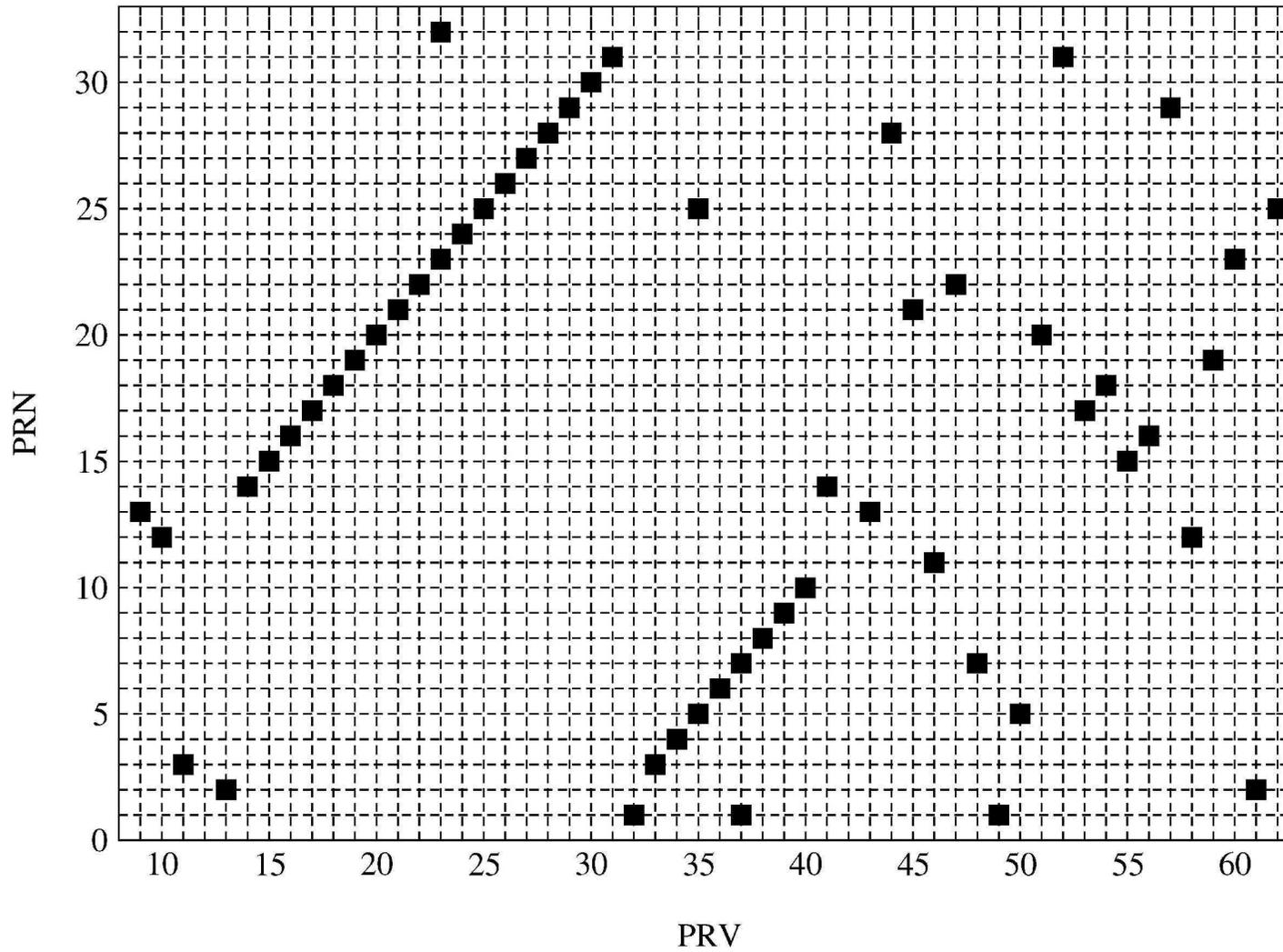
GALILEO	Freq. (Mhz)	Wavelength(m)	Service
E1	1575.42	0.1903	open
E6	1278.42	0.2345	closed
E5a	1176.45	0.2548	open
E5b	1207.14	0.2483	open

Remarque :

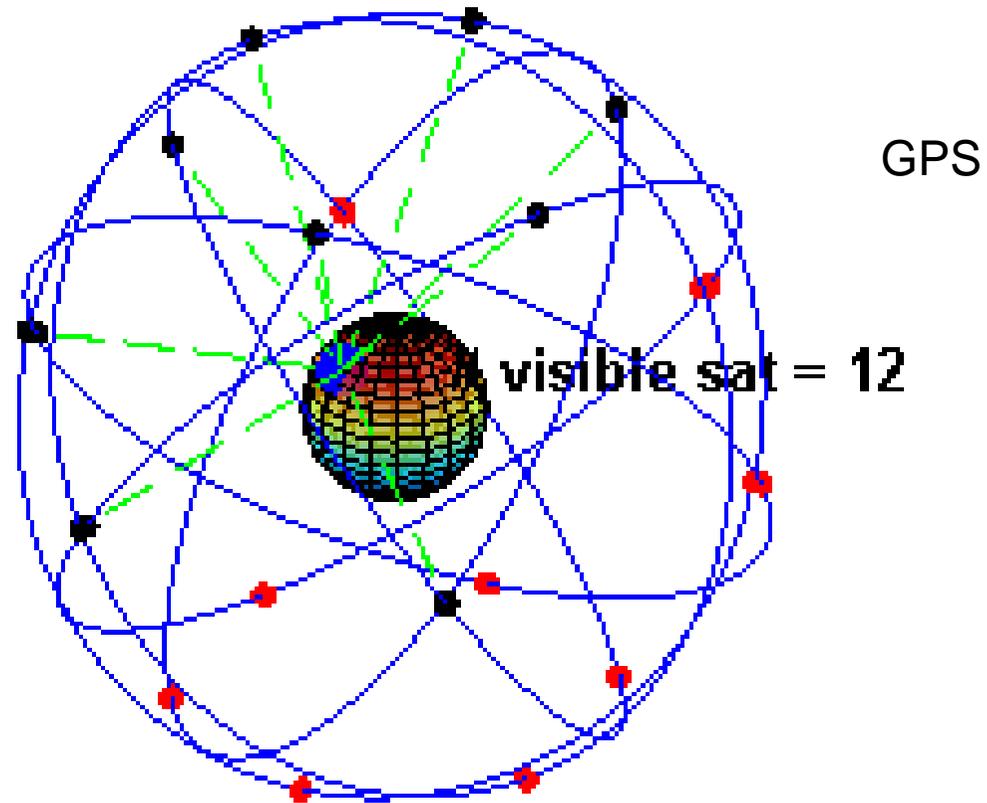
- $L_1 = 154 \times f_0$
- $L_2 = 120 \times f_0$
- $L_{5a} = 118 \times f_0$
- $L_{5b} = 115 \times f_0$

GLONASS: 1602 & 1246 MHz + $n \times 0.5625$ MHz,
where n is a satellite's frequency channel number
($n = -7, -6, -5, \dots, 0, \dots, 6$)

Correspondance PRN/PRV



GNSS constellation and geometry

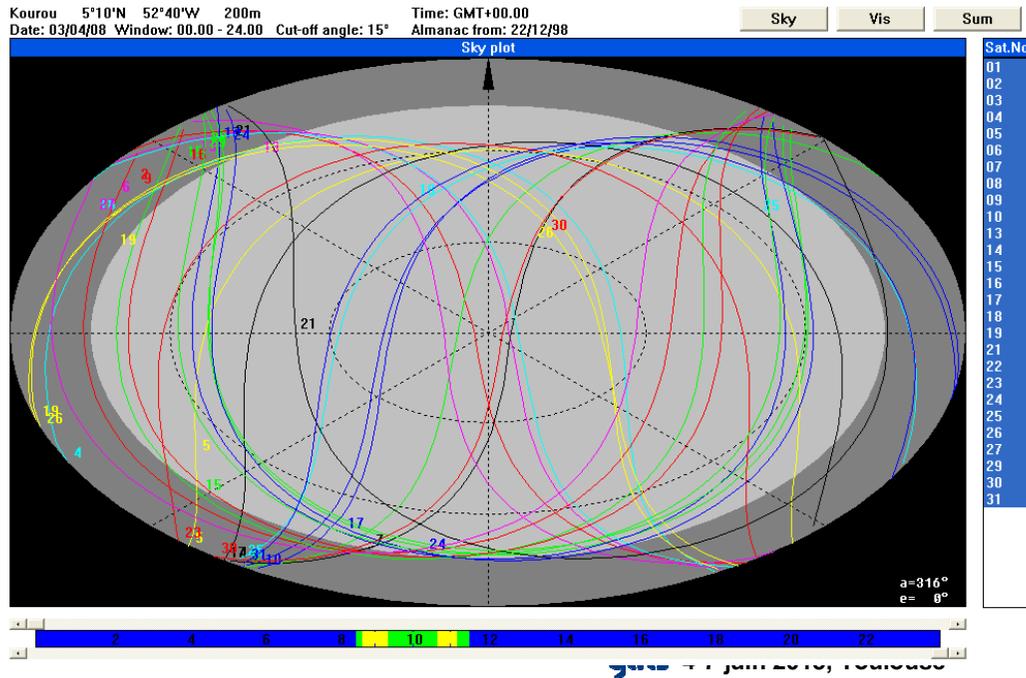
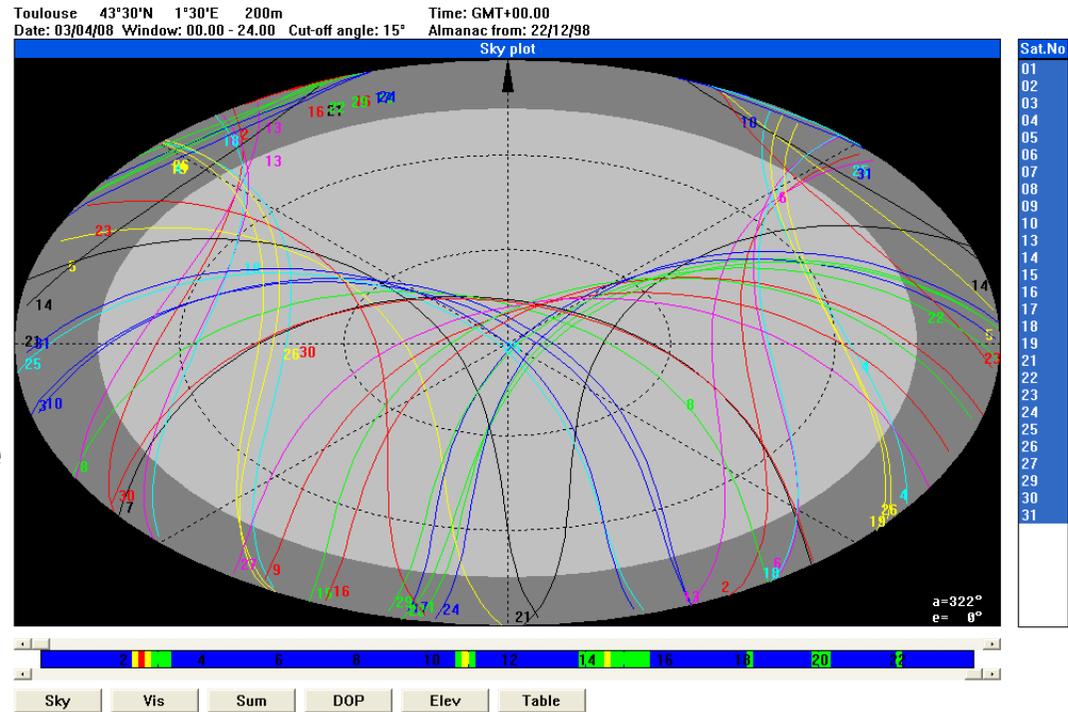


http://fr.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System#Le_segment_spatial

To scale

Satellite azimuth and elevation

Toulouse

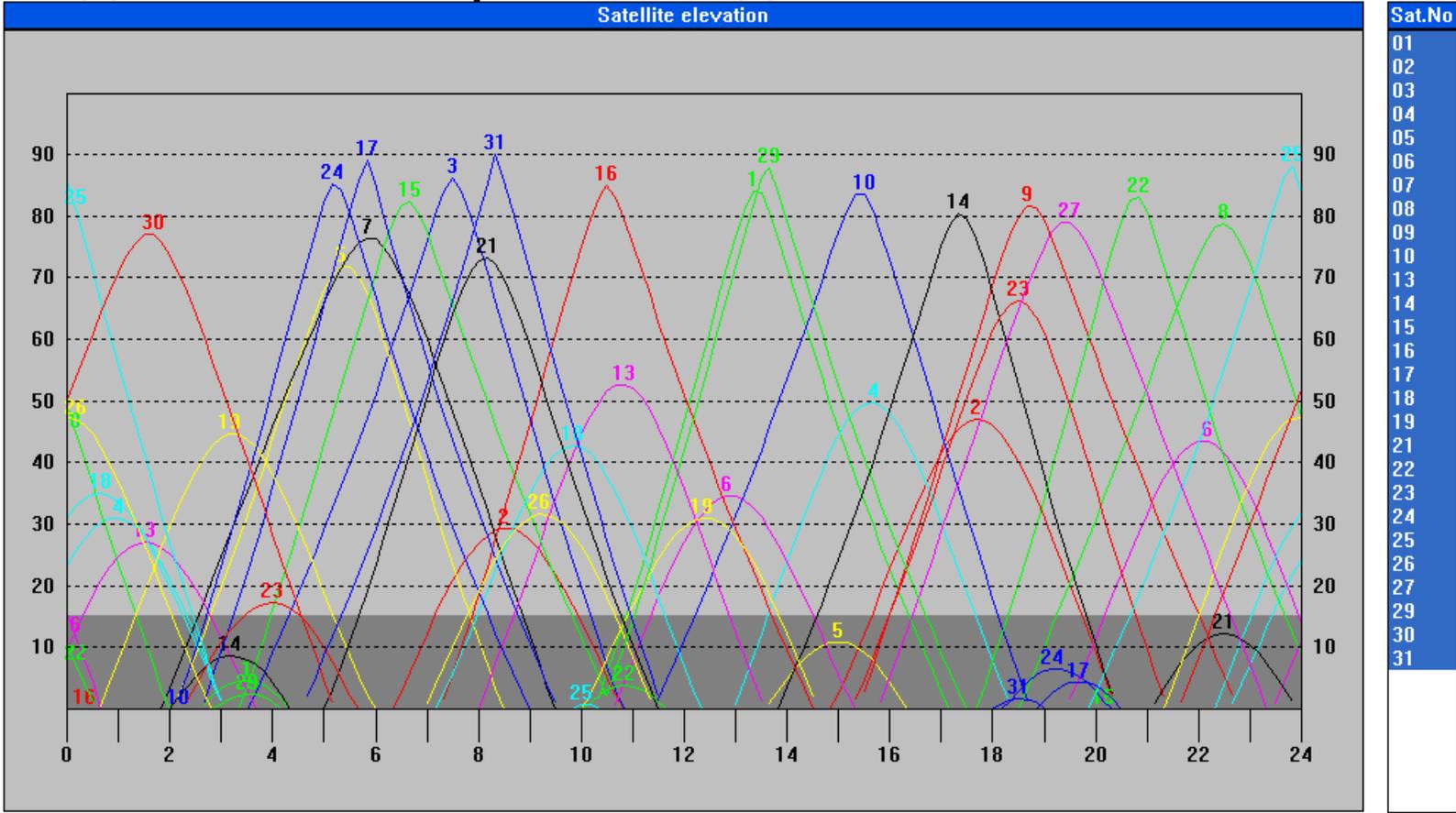


Leica SKI-PRO software

Kourou

Example of satellite visibility Toulouse

Toulouse 43°30'N 1°30'E 200m Time: GMT+00.00
 Date: 03/04/08 Window: 00.00 - 24.00 Cut-off angle: 15° Almanac from: 22/12/98



Equation des mesures de pseudo-distance et de phase GNSS

$$P = c(t_r - t_e) \quad \leftarrow \text{Code}$$

$$L(\text{cycles}) = \frac{1}{(2\pi)} (\Phi_r - \Phi_e) = f(t_r - t_e) + N \quad \leftarrow \text{Phase en cycles}$$

$$L(m) = \lambda L(\text{cycles}) = c(t_r - t_e) + \lambda N \quad \leftarrow \text{Phase en mètres}$$

$$(t_r - t_e) = \tau + \Delta t_r - \Delta t_e \quad \leftarrow \text{décalages d'horloges}$$

f, λ : fréquence et longueur d'onde du signal

c : vitesse de la lumière

t_r, t_e : instant de réception et d'émission du signal

$\Delta t_r, \Delta t_e$: erreur d'horloge récepteur et satellite

τ : distance géométrique satellite-récepteur

Equation des mesures de pseudo-distance et de phase GNSS

$$P(f_i) = c(\tau_{geom} + \tau_{iono}(f_i) + \tau_{tropo} + \tau_{relat}) + c\Delta t_r - c\Delta t_e + \sigma_P$$

$$L(f_i) = c(\tau_{geom} - \tau_{iono}(f_i) + \tau_{tropo} + \tau_{relat}) + c\Delta t_r - c\Delta t_e + \lambda_i N_i + \sigma_L$$

+ DCB

+ IFB

+ ISB

Equation de mesure

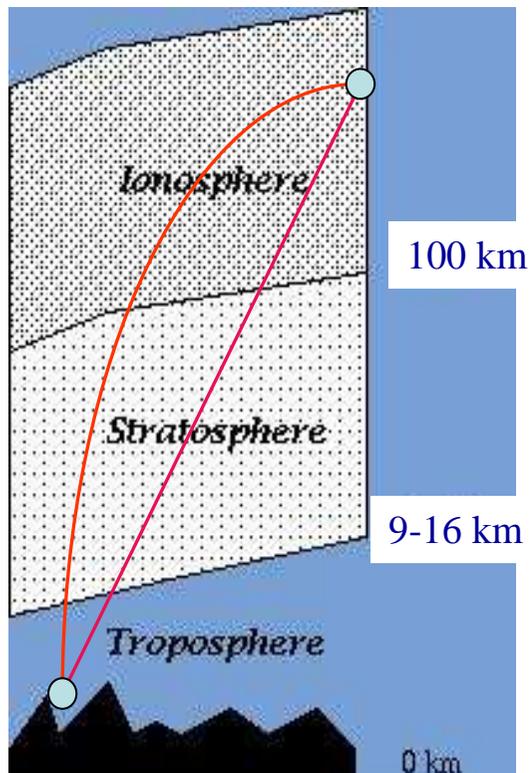
Mesure =	Position du récepteur
	+ Position satellite
	+ centre de phase recepateur
	+ centre de phase satellite
	+ horloge récepteur
	+ horloge satellite
	+ Ionosphère
	+ troposphère
	+ relativité
	+ Ambiguité
	+ phase "wind-up"
	+ Biais electronique récepteur
	+ Biais electronique satellite

Atmospheric effect

Ionospheric Effects :

The ionosphere is the atmosphere part containing free electrons and it is a dispersive medium. In such medium the speed of the electromagnetic waves is frequency dependant.

- Changes the propagation time.
- Very noisy (depends on solar activity).
- Amplitude : 0,1-10 meters and up to 100 meters during high solar activity.
- Frequency dependent
- Use of a dual-band receiver can eliminate this effect.



Red: optical path (*measured*)

Purple: geometrical range

Tropospheric Effects :

- Depends on the pressure, the temperature, and the water vapour content along the wave path.
- It affects the propagation time and the optical path.
- Amplitude: Some meters but it can be partly corrected to some decimeters with a formula like:

Tropospheric delay = 2.20 metres / sin (elevation)

Traversée de l'atmosphère terrestre : la troposphère

S'étend de 0 à 10/12 km d'altitude
Milieu électriquement neutre

Indice de réfraction dépend seulement de pression partielle air sec, température et pression partielle **vapeur d'eau** :

$$n = k_1 \cdot \frac{P_s}{T} + k_2 \cdot \frac{e}{T} + k_3 \cdot \frac{e}{T^2}$$



Troposphère = milieu non dispersif

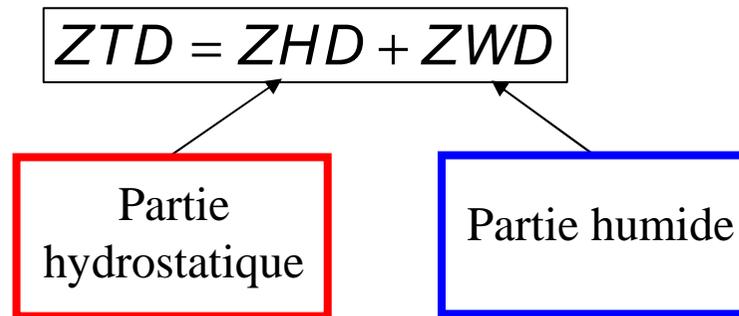
Au zénith : effets troposphériques valent : $ZTD = 10^{-6} \cdot \int n \cdot ds$

Peuvent atteindre 2/3 m au zénith et jusqu'à 30 m à basses élévations !!

Problème principal: détermination de la contribution humide

Biais troposphérique

- La modélisation de la composante humide est difficile
- A ce jour, il est nécessaire d'ajuster des paramètres spécifiques pour connaître ce biais
- une autre option consiste à éliminer le biais par différentiation entre deux récepteurs proches



Modèle et paramètres du biais troposphérique

$$STD(el) = \boxed{ZHD} \boxed{mf_H(el)} + \boxed{ZWD} \boxed{mf_W(el)} + \boxed{(G_N \cos Az + G_E \sin Az)} \boxed{mf_G(el)}$$

Comp. hydrostatique

Comp. humide

« Tilt » troposphérique

Herring et al. (2006)

28

Modèle et paramètres du biais troposphérique

$$mf_{H/W}(el) = \frac{1 + \frac{a_{H/W}}{1 + \frac{b_{H/W}}{1 + c_{H/W}}}}{\sin(el) + \frac{a_{H/W}}{\sin(el) + \frac{b_{H/W}}{\sin(el) + c_{H/W}}}}$$

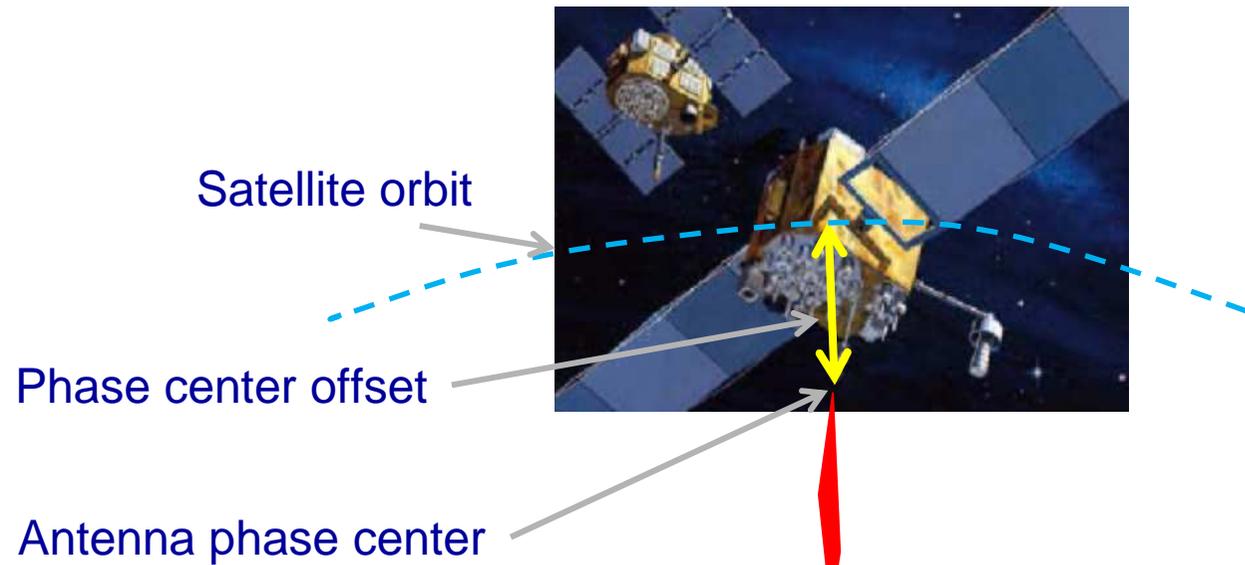
A estimer

Boehm et al. (2004)

$$mf_G(el) = \frac{1}{\sin(el) \cdot \tan(el) + 0.003}$$

Chen and Herring (1997)

Satellite Phase center offset

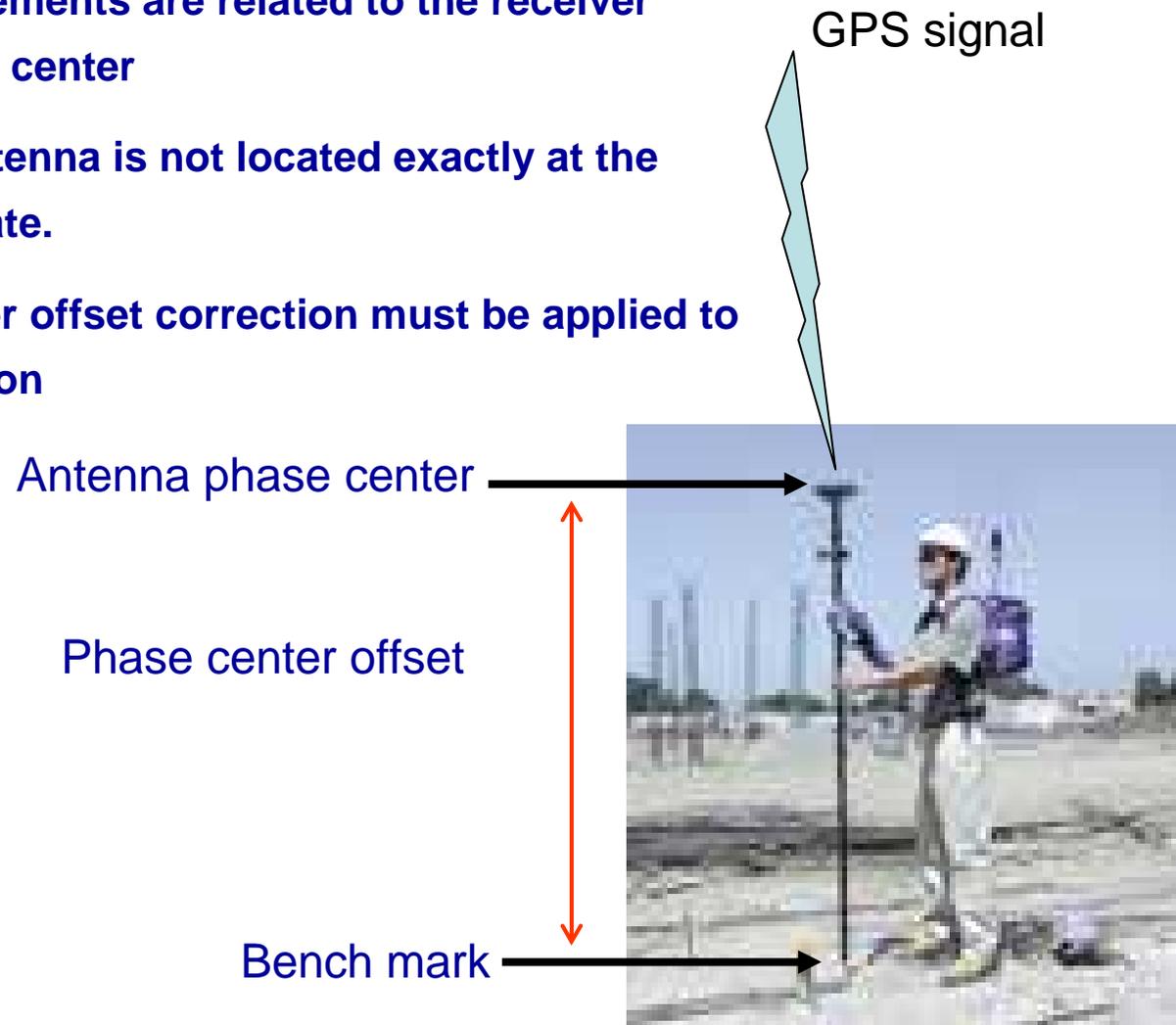


- **Satellite positions are related to the Center of Mass of the satellite**
- **The signal his emitted from the center of phase**
- **A phase center offset correction must be applied to the GPS data.**



Receiver phase center offset

- **GNSS measurements are related to the receiver antenna phase center**
- **Usually the antenna is not located exactly at the point to estimate.**
- **A phase center offset correction must be applied to the GPS solution**



PCO/PCV

- Les valeurs de PCO et de PCV peuvent être estimées (très lourd) ou appliquées à partir de valeurs publiées par l'IGS
- Les valeurs IGS sont issues d'un calcul et non d'un étalonnage de l'antenne avant lancement
- Les PCO et le facteur d'échelle du système de référence terrestre calculé avec des données GNSS sont parfaitement corrélés
- d'où l'indetermination du scale GNSS
- Les valeurs publiées par l'IGS sont au format ANTEX.
- La version actuelle (igs08.atx)
- **il est important d'utiliser des produits orbite/horloge et ANTEX cohérents !**

Effet relativistes sur les mesures GNSS

Relat. restreinte

Relat. générale

Satellite clock in Earth-Centered Inertial (ECI) frame of reference

$$\Delta t = \int_A^B \left\{ 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \frac{1}{c^2} (U - W_0) \right\} d\tau$$

time dilation

redshift

t = coordinate time read by clocks on the geoid
 τ = proper time read by satellite clock
 v = satellite velocity, $0.5 v^2 / c^2 \cong 7.2 \mu\text{s/day}$
 U = gravitational potential, $U / c^2 \cong 14.4 \mu\text{s/day}$
 W_0 = geopotential, $W_0 / c^2 \cong 60.2 \mu\text{s/day}$

Light signal in rotating Earth-Centered Earth-Fixed (ECEF) frame of reference

$$\Delta t = \frac{D}{c} + \frac{2 \omega A}{c^2}$$

t = coordinate time read by clocks on the geoid
 D = geometric distance from satellite to receiver at coordinate time of transmission
 ω = angular velocity of Earth
 A = equatorial projection of triangle formed by satellite, receiver, and center of Earth

Rotation référentiel terrestre vs inertiel

Sagnac effect

Relativistic effects incorporated in the GPS (satellite clock – geoid clock)

Relat. restreinte orbite circulaire

Time dilation:
 Gravitational redshift:
 Net secular effect:

- 7.2 μs per day
 + 45.8 μs per day
 + 38.6 μs per day

Relat. restreinte effet d'excentricité

Residual periodic effect:
 Sagnac effect:

46 ns amplitude for excentricity $e = 0.02$
 133 ns maximum for receiver at rest on geoid



Termes relativistes constants

- L'effet constant (« net secular effect ») de 38,6 μs est équivalent à un décalage de fréquence
- Les satellites GNSS émettent à des fréquences qui sont décalées de leurs fréquences nominales pour corriger cet effet
- Exemple GPS :
 - Fréquence nominale utilisée dans les traitements: 10.23 MHz
 - Fréquence réelle d'émission :
 - Facteur : $38,6 \cdot 10^{-6} / 86400 = 4.465 \cdot 10^{-10}$
 - $f = 10.23 \text{ MHz} \times (1 - 4.465 \cdot 10^{-10})$
 $= 10.22999999543 \text{ MHz}$
- La partie constante des corrections de relativité restreinte et générale (orbite circulaire, Terre sphérique) sont prises en compte par défaut et ne doivent pas être corrigés par l'utilisateur

Termes relativistes variables

1. Residual periodic effect: 46 ns amplitude for excentricity $e = 0.02$
2. La correction relativiste liée à la courbure du trajet sous l'action gravitationnelle de la Terre est calculée selon :

$$d_{relat} = 2 \frac{GM^{0.5}}{c^2} \log \left(\frac{\|\vec{P}o_{S_1}\| + \|\vec{P}o_{S_2}\| + d_{geom}}{\|\vec{P}o_{S_1}\| + \|\vec{P}o_{S_2}\| - d_{geom}} \right) \quad (2.13)$$

« Hardware biases »

- DCB : Differential Code Bias
 - Lié à la technique de mesure de la pseudo-distance du récepteur
 - En DD ne s'élimine pas entre deux récepteurs ayant des stratégies différentes !
 - En ZD biaise les ambiguïtés (qui ne sont plus entières !)
 - Correction : $cc2noncc$
- ISB : Inter System Bias
 - Par exemple entre GPS et GLONASS
 - Aujourd'hui des ISB sont estimés par type de récepteur et par satellite
- IFB : Inter frequency bias
 - Par exemple entre les mesures GPS : L1, L2, L5
 - Cf. O. Montenbruck et al. 2012

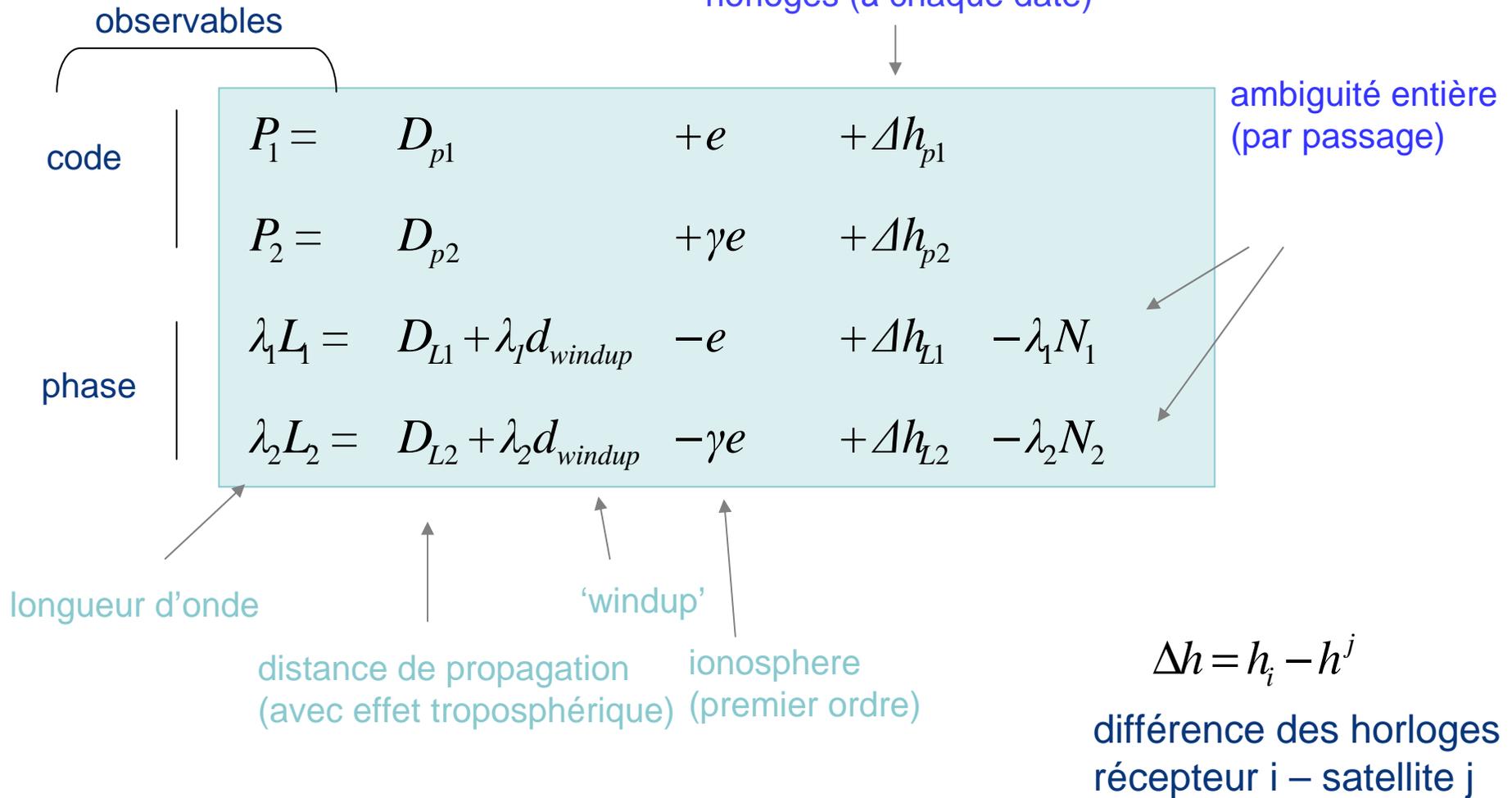
GNSS Ephemeris

- The knowledge of the satellite position as well as its clock offset are needed
- 3 sources :
 - “BROADCAST EPHEMERIS” transmitted as part of satellite navigation message
 - “PRECISE EPHEMERIS” calculated by the International GNSS Service (IGS) and several space agencies, or institutions (NASA, ESA, GFZ, MIT, NOAA, AIUB,...)
 - The user calculates himself its own product (using GINS !)

Traitement des données

Modélisation bi-fréquence

Récepteur bi-fréquence : code et phase sur chacune des deux fréquences
 1575.42 MHz (f1) et 1227.60 MHz (f2)
 horloges (à chaque date)



Exemple de la mesure de Phase L

$$Res = c. (\left| \bar{X}_{Sat} - M.\bar{X}_{Rec} \right| - \tau_{iono}(f_i) + \tau_{tropo} + \tau_{relat}) + c.\Delta t_r - c.\Delta t_e + \lambda.N_i + \sigma_L - L(f_i)$$

- vecteur d'état initial
- facteur d'échelle pression solaire
- Y-bias
- force stoch. éclipse

- coordonnées marqueur
- EOPs

-TEC

- contenu vapeur d'eau

- oscillateur récepteur

- oscillateur émetteur

- résolution des ambiguïtés

- Tous les termes impactant les résidus peuvent être déterminés
 - Vecteur d'état, coordonnées des stations,...
 - Paramètres du modèle (HS gravité, Y-bias,...)
 - Paramètres de mesure (ZTD, ambiguïtés,...)
- Les observations GNSS ne servent pas seulement à déterminer la position du récepteur ou l'orbite du satellite
- Application : EOP, champ de gravité, météo, transfert de temps/fréquence,...

Combinaison de 2 fréquences f_i et f_j

Pseudo-Range	P_i, P_j	<ul style="list-style-type: none"> •non ambiguë •bruité
Phase	L_i, L_j	<ul style="list-style-type: none"> •ambiguë •non bruité
Ionospheric-Free	$\text{IF}(L_i, L_j) = \frac{f_i^2}{f_i^2 - f_j^2} \cdot L_i - \frac{f_j^2}{f_i^2 - f_j^2} \cdot L_j$	<ul style="list-style-type: none"> •élimine le signal iono
Geometry-Free	$L_4 = L_i - L_j$	<ul style="list-style-type: none"> •élimine la géométrie •permet d'identifier les sauts de cycles
Wide-Lane	$L_5 = \frac{1}{f_i - f_j} (f_i L_i - f_j L_j)$	<ul style="list-style-type: none"> •permet de fixer $N_i - N_j$

Combinaison Melbourne-Wubben

The Melbourne-Wübbena combination is a linear combination of both, carrier phase (L_1 and L_2) and code (P_1 and P_2) observables as described by [Wübbena, 1985] and [Melbourne, 1985]. This combination eliminates the effect of the ionosphere, the geometry, the clocks, and the troposphere. The combination is given by

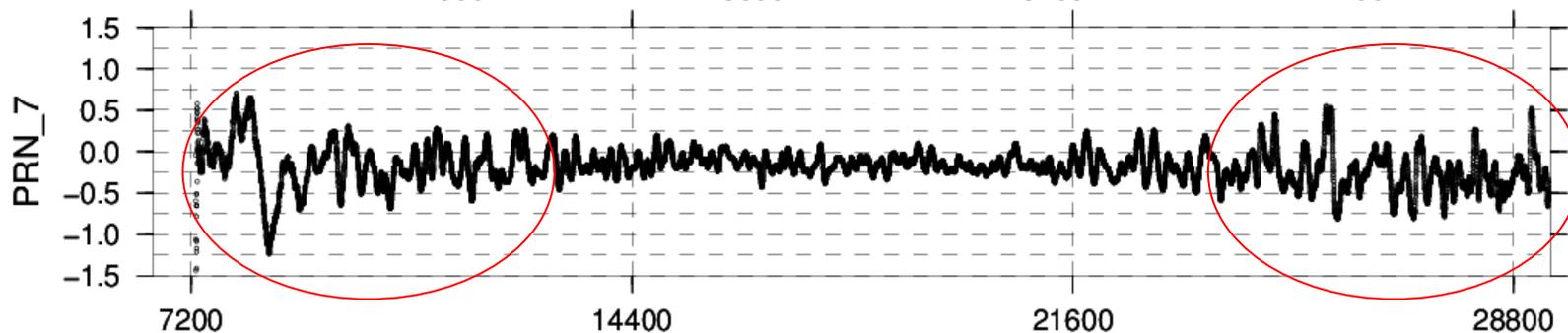
$$L_6 = \frac{1}{f_1 - f_2} (f_1 L_1 - f_2 L_2) - \frac{1}{f_1 + f_2} (f_1 P_1 + f_2 P_2) . \quad (2.50)$$

$$\lambda = 86 \text{ cm} \quad N = N_1 - N_2$$

Bernese GPS Software Version 5.0, Edited by Rolf Dach, Urs Hugentobler, Pierre Fridez, Michael Meindl (2007)

Combinaison Multi-path MP

$$MP_1 = R_{L1} - \frac{f_{L1}^2 + f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \phi_1 \lambda_1 + \frac{2f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \phi_2 \lambda_2 + \epsilon_{MP1}$$



Improving the Precision and Accuracy of Geodetic GPS: Applications to Multipath and Seismology. Andria L. Bilich (2006)

Détection des sauts de cycles

Méthode : analyse de plusieurs combinaisons

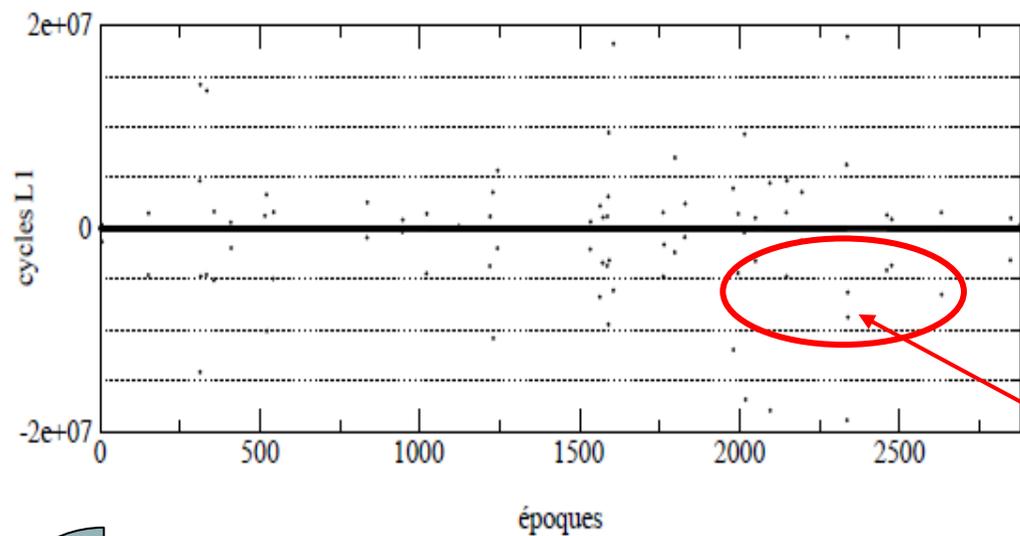
Par exemple :

- Dérivées finie d'ordre 4 de L_1 et L_2 permet d'isoler les « grands » sauts de cycles (on utilise les dérivées d'ordre 4 pour annuler les variations de la distance émetteur-récepteur causée par l'orbite du satellite et la rotation terrestre)
- Dérivées finies d'ordre 1 de la combinaison :
 - Melbourne Wubben – Wide Lane
 - L4 Geometry-Free (GF)

!\\ Un saut de cycle n'est pas visible sur toutes les combinaisons !!

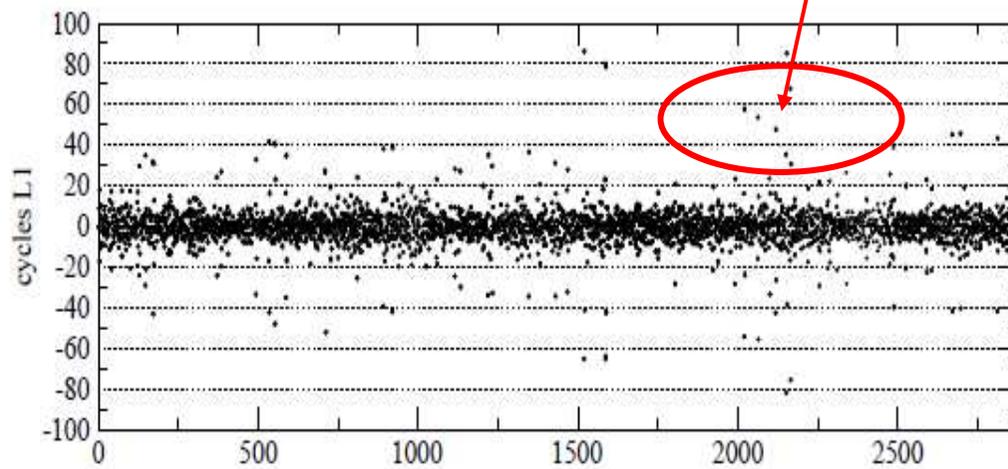
Ex : un saut identique de n cycle(s) sur L_1 et L_2 n'est pas visible sur la MW-WL

Différence finie d'ordre 4 de L1

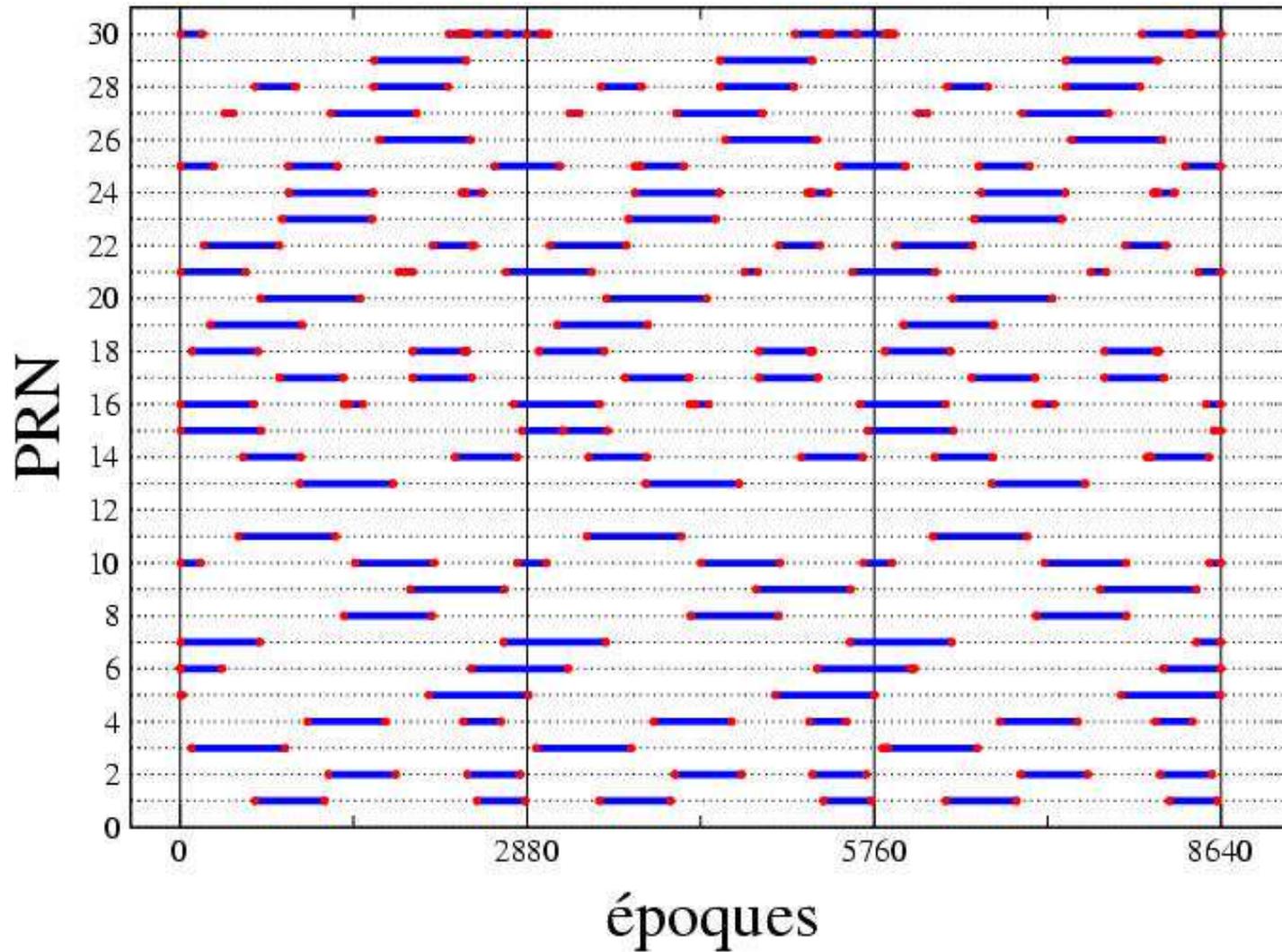


Sauts de cycles

Zoom



Découpage en « passages »



Precise Point Positioning (PPP)

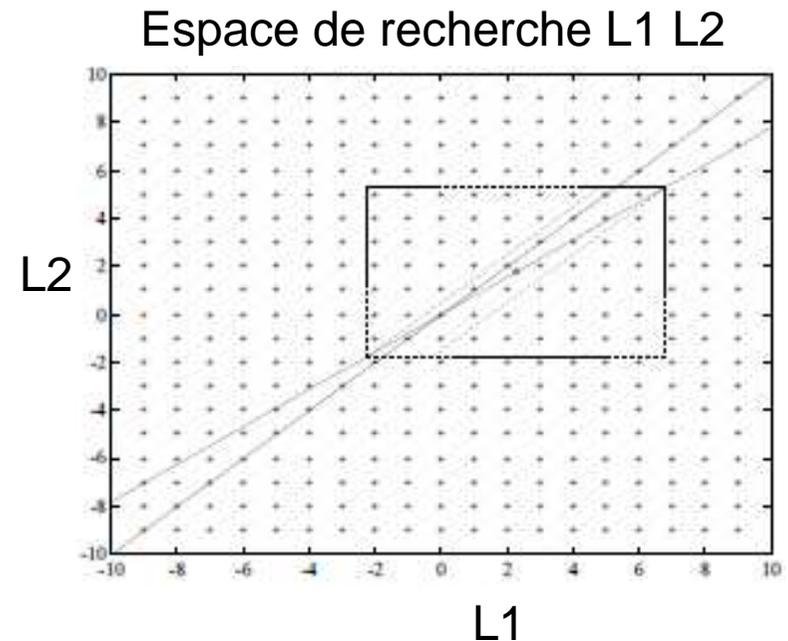
- Very high accuracy GPS and GLONASS “orbit and clock products” are freely available at the IGS web site

www.igs.cb.nasa.gov

- Very accurate SINGLE POINT POSITIONING is now available
 - Using a high quality software
 - Using IGS products :
 - ~ 5 cm for kinematic tracking
 - ~ 1 cm for static post-processed positioning
- Classic PPP doesn't solve for (integer) ambiguities which limits the precision
- Integer ambiguity PPP (i-PPP) is becoming possible

Résolution des ambiguïtés

- La résolution des ambiguïtés entières est nécessaire pour un traitement précis
- Illustration au travers du cas « classique » GPS L1 & L2
- C'est un challenge :
 - Trouver la solution entière a des paramètres estimés comme des réels
 - plusieurs dizaines de publications par an depuis 1990 !
 - Key words : QIF, LAMBDA,...
 - Tous les algorithmes sont basés sur :
 - La matrice variance-covariance
 - combinaisons des mesures P1, P2, L1, L2



Résolution des ambiguïtés au CA CNES-CLS de l'IGS

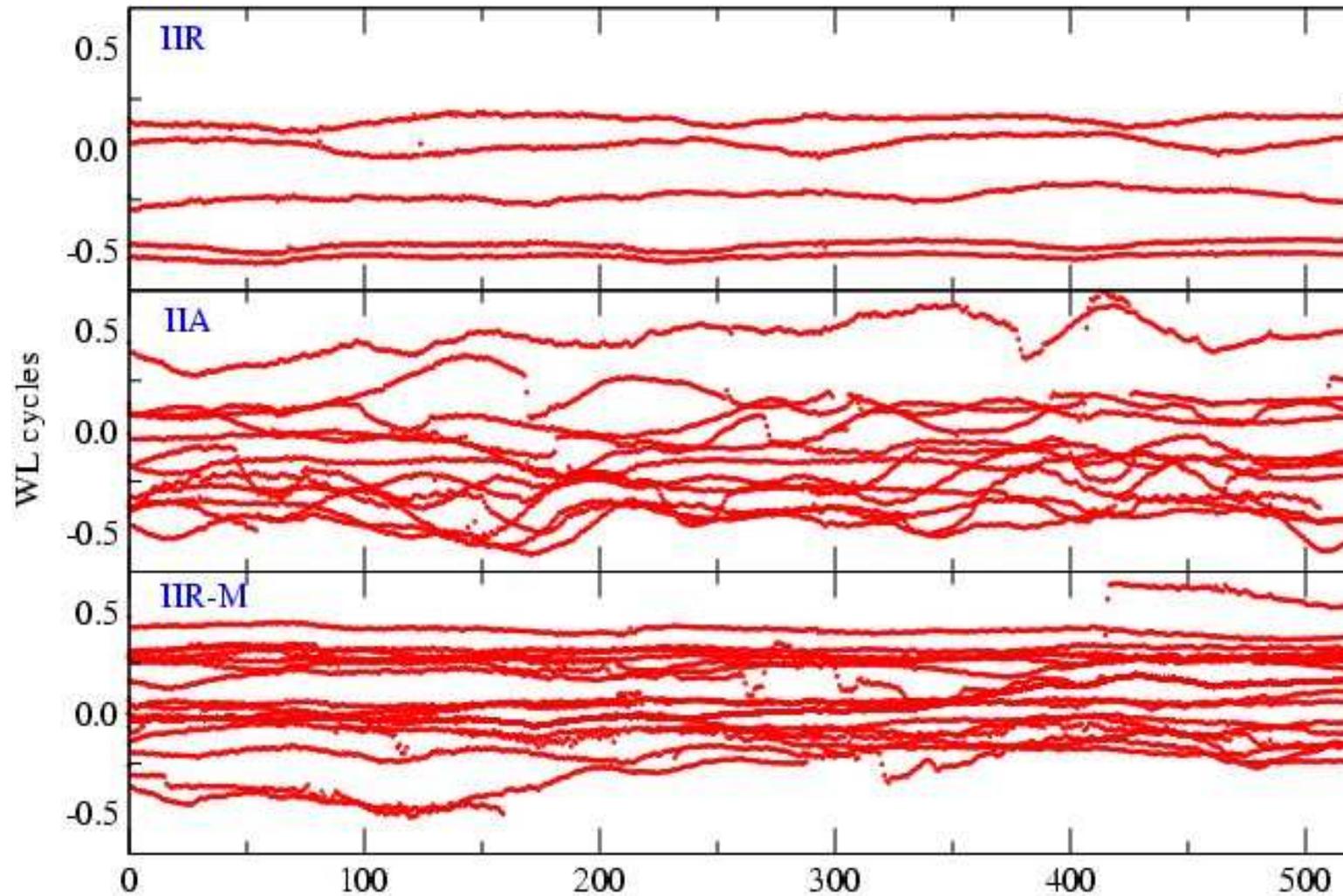
- Principe « classique » :
 - Détermination de N2-N1 en utilisant la combinaison Wide-Lane/Melbourne-Wubben
 - report de N2-N1 dans la combinaison Ion-Free et résolution de N1 (et N2)
- Originalité :
 - Traitement des données « zero-différence » au lieu de « double-différences »
 - Nécessité de gérer les biais « hardware »

Biais hardware des satellites

- L'idée que les biais « hardware » des satellites puisse être déterminés est à la base de l'idée de traiter les données en mode « zéro-différence »
- Le problème est de découpler les biais satellites et récepteurs qui sont 100% corrélés
- Idée de base : Utiliser un sous-réseau mondial de récepteurs de la même marque dont on suppose que les biais sont « petits » puis :
 - Les biais satellites sont estimés
 - Les biais du réseau complet sont estimés
 - Le processus est itéré (et converge)
- Les biais satellites sont très stables. Les biais du jour J servent de valeur initiale au jour J+1
- Dans la pratique, c'est la combinaison Wide-Lane des biais qui est déterminée (et non les biais L1 et L2 séparément)

Solution des WSB (Wide-lane Satellite Biases)

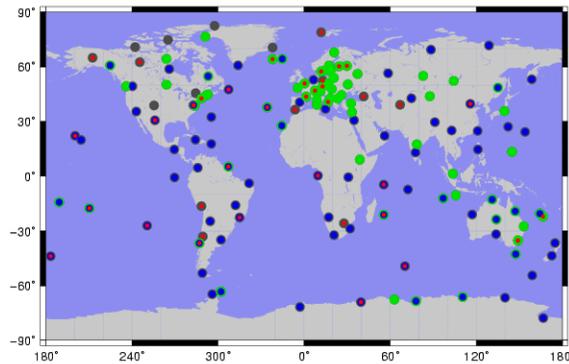
WSBREF.res.dat (<http://igsac-cnes.cls.fr/>)



AMBIGUITY FIXING FOR PPP AT CNES-CLS IGS AC

- GRG products from a global network

(see <http://igsac-cnes.cls.fr/>)

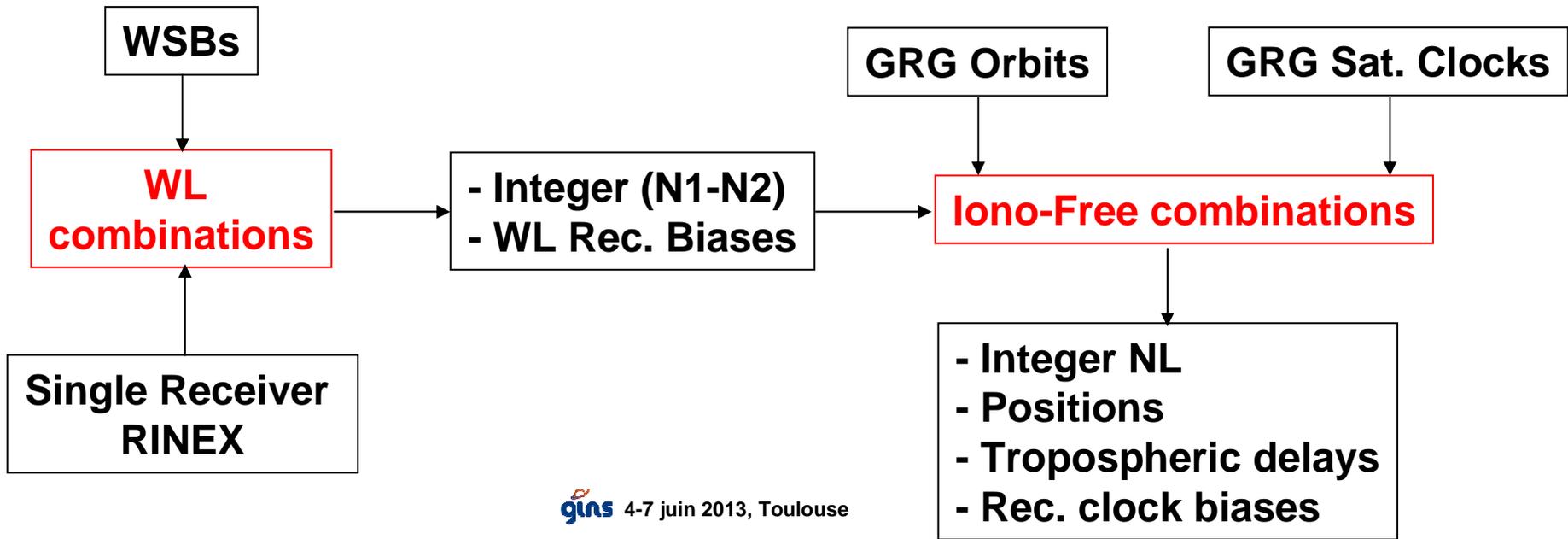


Weekly Hardware WSBs

Weekly Sat. Orbits → IGS

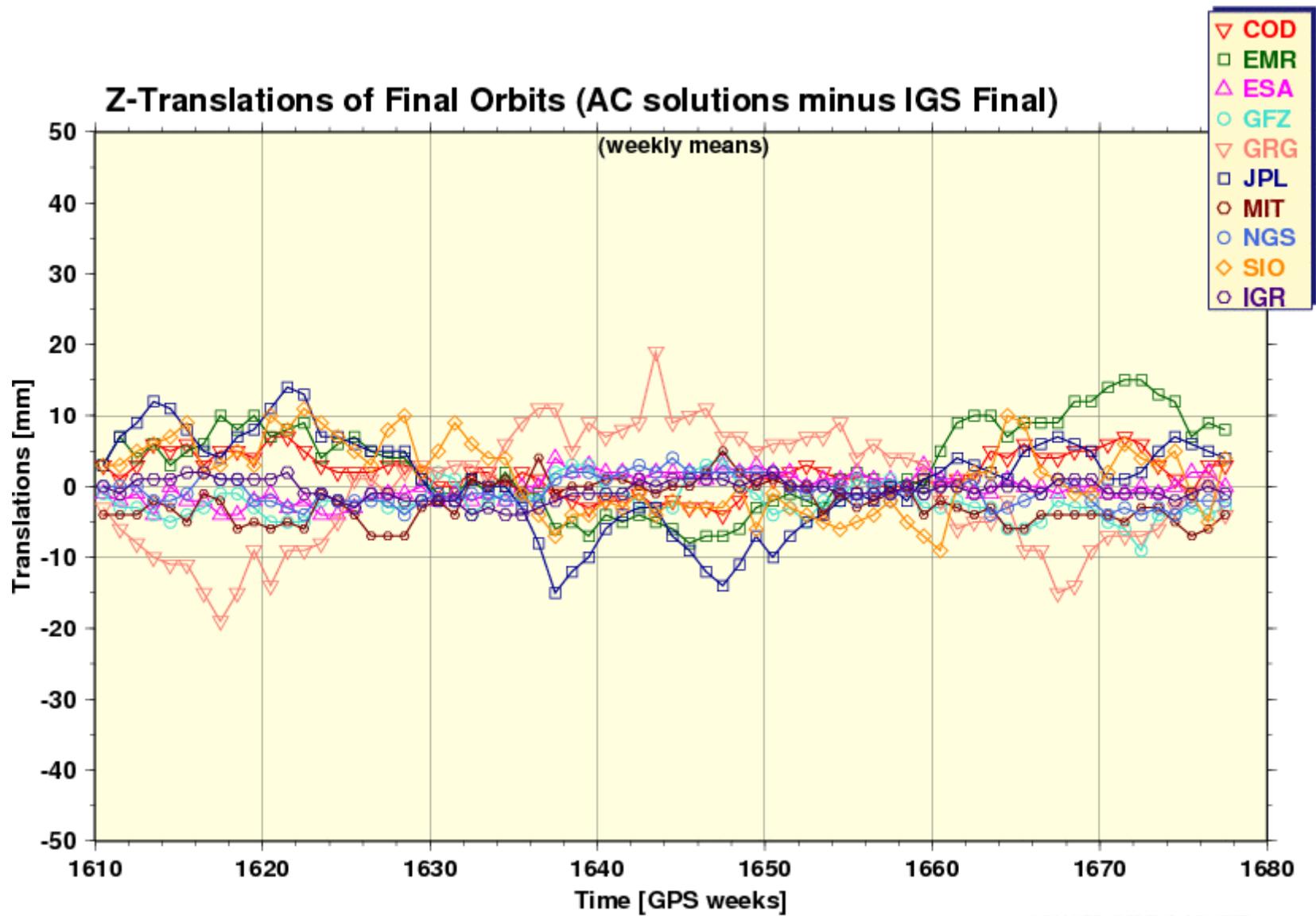
Weekly “Integer” Sat. Clocks

- Users: methodology for « Integer » PPP (IPPP)



Cohérence produits et modèles

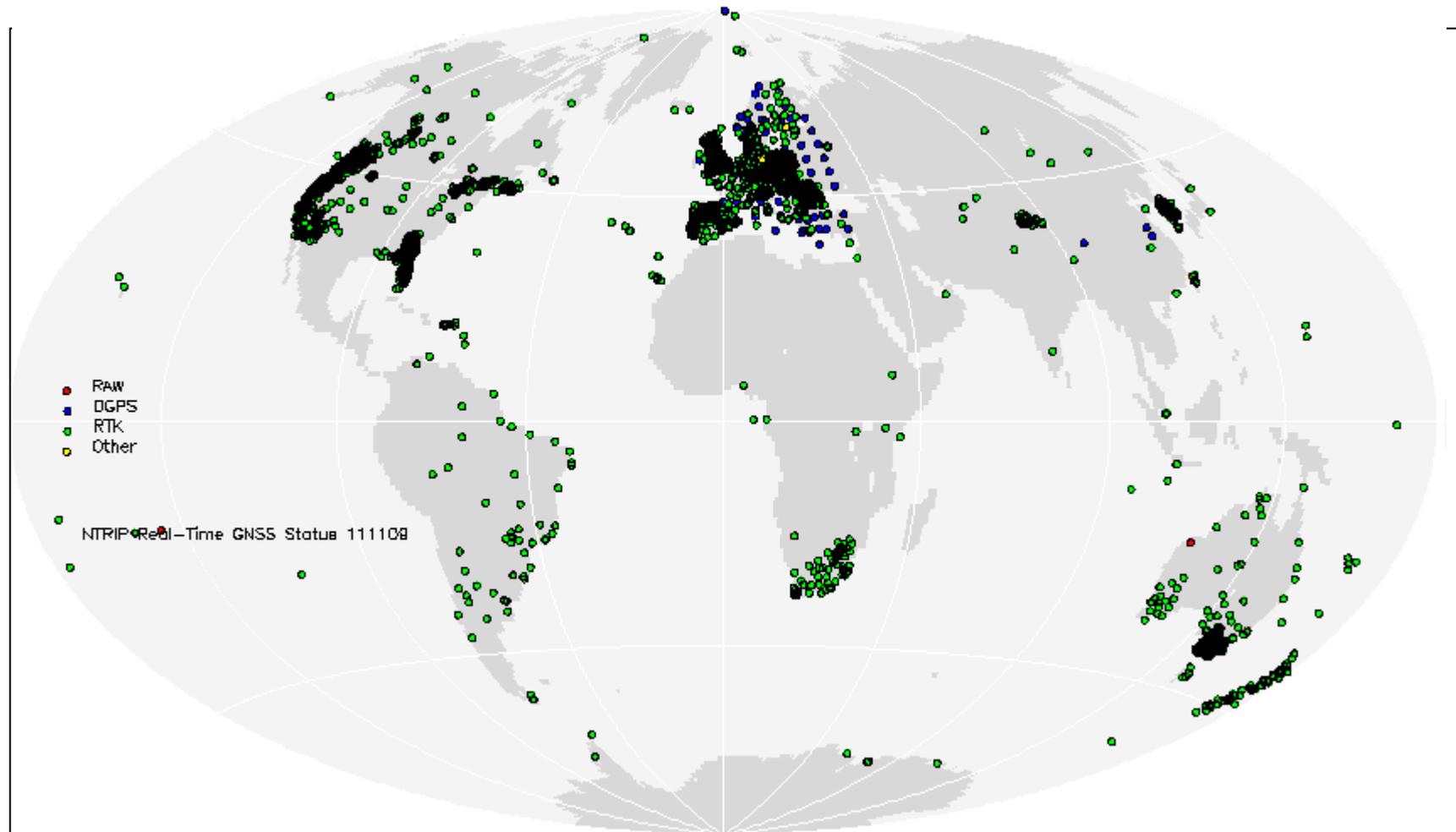
- Les produits délivrés par les centres d'analyse et par l'IGS sont issus de choix de conventions et de modèles
- Par exemple le changement de convention « centre de phase relatifs ANTEX05 / centre de phase absolus ANTEX08 » n'a pas généré de discontinuité de calcul de coordonnées (17/04/2011)
- Si les produits d'un CA ont été calculés avec certaines conventions et modèles, l'utilisateur de ces produits doit se placer dans la même configuration
- Par exemple : CA CNES-CLS a implémenté une nouvelle loi d'attitude des satellites au cours des passages dans l'ombre de la Terre à partir du 23/10/2011. L'utilisateur des produits GRG doit en tenir compte
- Les produits hebdomadaires des CA sont exprimés dans une réalisation propre de l'ITRF imparfaite (+/- 1 cm) et dont la qualité peut évoluer (améliorations des produits GRG de 2007 à aujourd'hui)
- L'intérêt des REPRO de l'IGS est de fournir des produits historiques de meilleure qualité avec des modélisations homogènes. REPRO2 GRG disponibles fin 2013 (GR2)



Perspectives

NTRIP Real Time GNSS network

NTRIP = Networked Transport of RTCM via Internet Protocol



M-GEX <http://igs.org/mgex/>



International Global Navigation Satellite Systems Service

IGS
Multi-GNSS Experiment

IGS M-GEX

MGEX



Multi GNSS et RINEX 3

Exemple de variété de mesures GNSS dans un fichier RINEX :

- Stations CUT0 et DLF1
- 63 observables !!!

```
G 12 C1C L1C S1C C2W L2W S2W C2X L2X S2X C5X L5X S5X      SYS / # / OBS TYPES
S  3 C1C L1C S1C      SYS / # / OBS TYPES
R 12 C1C L1C S1C C1P L1P S1P C2C L2C S2C C2P L2P S2P      SYS / # / OBS TYPES
E 12 C1X L1X S1X C5X L5X S5X C7X L7X S7X C8X L8X S8X      SYS / # / OBS TYPES
J 15 C1C L1C S1C C1X L1X S1X C2X L2X S2X C5X L5X S5X C6X    SYS / # / OBS TYPES
    L6X S6X      SYS / # / OBS TYPES
C  9 C2I L2I S2I C7I L7I S7I C6I L6I S6I      SYS / # / OBS TYPES
```

Rappel :

G = GLONASS

R = GLONASS

S = SBAS

E = Galileo

C = COMPASS

J = QZSS

Tri-fréquence

$$\begin{aligned} \text{DIF}(L_1, L_2, L_5) &= \text{IF}(L_1, L_2) - \text{IF}(L_1, L_5) \\ &= \left(\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} - \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_5^2} \right) \cdot L_1 \\ &\quad - \left(\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) \cdot L_2 + \left(\frac{f_5^2}{f_1^2 - f_5^2} \right) \cdot L_5 \\ \text{MW}(L_i, L_j, P_i, P_j) &= \frac{f_i}{f_i - f_j} \cdot L_i - \frac{f_j}{f_i - f_j} \cdot L_j - \frac{f_i}{f_i + f_j} \cdot P_i - \frac{f_j}{f_i + f_j} \cdot P_j \end{aligned}$$

Table 1 Linear combinations of triple-frequency GPS observations for clock and line bias analysis

Combination	Value
$\text{IF}(L_1, L_2)$	$+2.546 L_1 - 1.546 L_2$
$\text{IF}(L_1, L_5)$	$+2.261 L_1 - 1.261 L_5$
$\text{DIF}(L_1, L_2, L_5)$	$+0.285 L_1 - 1.546 L_2 + 1.261 L_5$
$\text{MW}(L_1, L_2, P_1, P_2)$	$+4.529 L_1 - 3.529 L_2 - 0.562 P_1 - 0.438 P_2$
$\text{MW}(L_1, L_5, P_1, P_5)$	$+3.949 L_1 - 2.949 L_5 - 0.572 P_1 - 0.428 P_5$
$\text{MW}(L_2, L_5, P_2, P_5)$	$+24.00 L_2 - 23.00 L_5 - 0.511 P_2 - 0.489 P_5$

O. Montenbruck, U. Hugentobler, R.Dach, P. Steigenberger, A.Hauschild, Apparent clock variations of the Block IIF-1 (SVN62), GPS satellite, GPS Solut (2012) 16:303–313 DOI 10.1007/s10291-011-0232-x

Pour plus de details :

- Ecole d'été GRGS 2012
<http://grgs.obs-mip.fr>
- CA CNES-CLS
www.igsac-cnes.cls.fr
- Cours EUROSAAE (stage AED041)
www.eurosaae.com