

JOURNÉES SCIENTIFIQUES



GÉOLOCALISATION ET NAVIGATION DANS L'ESPACE ET DANS LE TEMPS

GNSS :

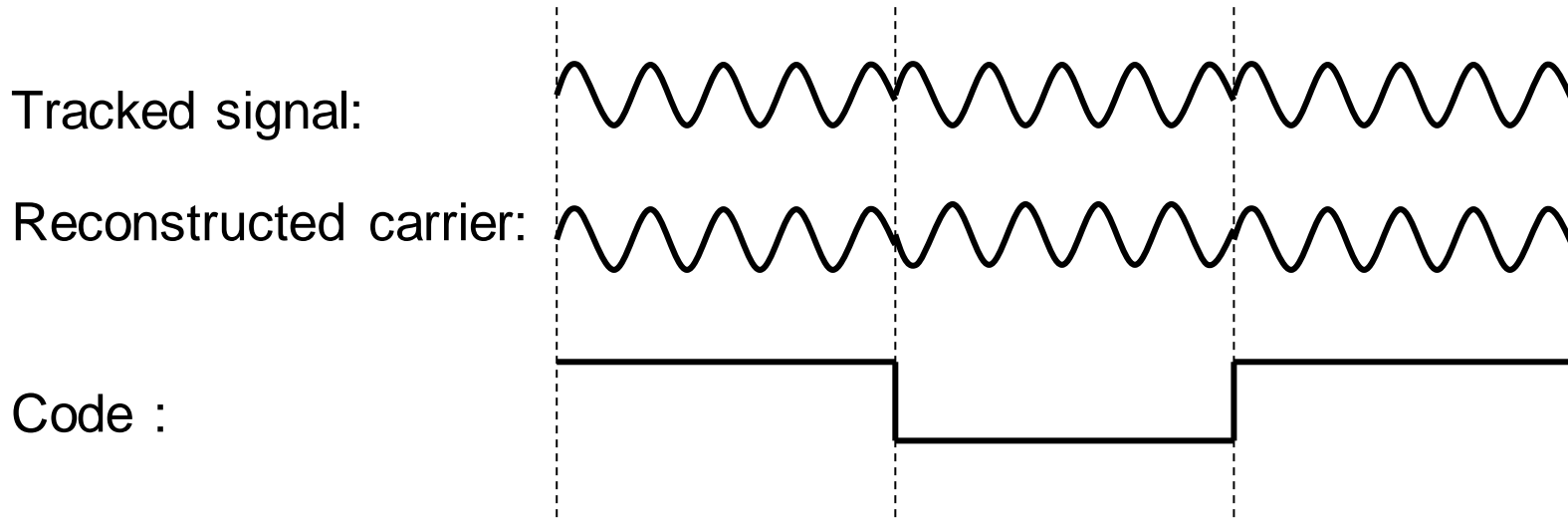
Une révolution pour le géopositionnement précis

Félix Perosanz
CNES/GET/OMP/GRGS

28-29 mars 2018, Observatoire de Paris, Site de Meudon



GNSS WERE DESIGNED FOR NAVIGATION APPLICATIONS



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

Navigation

!!!

... but using dedicated receivers tracking carrier phase signals, millimeter measurement precision can be reached

GNSS AND GEODESY

In the 1990's, GNSS became an alternative geodetic technique to VLBI, SLR, DORIS

with similar performance...

...and many other advantages:

- Continuity and redundancy of observation**
- Easy to use/install/transport/...**
- Available anywhere, anytime, any weather**
- Cheaper...**

GNSS are today unavoidable for a wide variety of geosciences

However 2 major issues had to be handled:

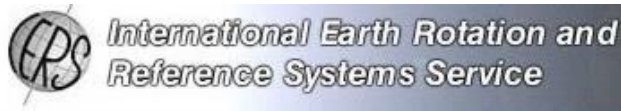
- International organization/cooperation**
- Observation model**

INTERNATIONAL ORGANIZATION

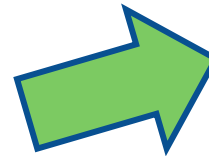


... jouent un rôle fondamental pour le GNSS précis:

1987



1994



- Réseaux
- Working groups
- Centres de traitement
- Standards
- Logiciels...

2015



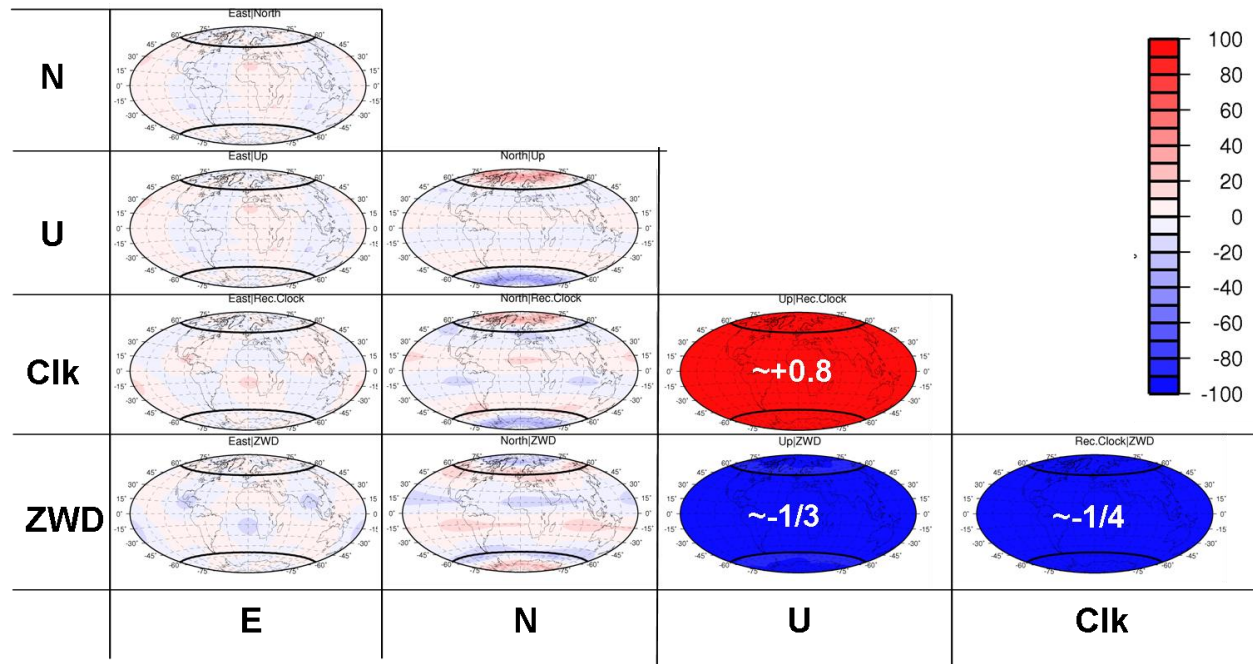
PHASE MEASUREMENT MODEL

PHASE Measurement	=	Receiver Position (including Earth deformation)
	+	Satellite position
	+	Satellite Phase Center Offset (PCO)
	+	Satellite clock
	+	Receiver clock
	+	Receiver PCO
	+	Ionosphere
	+	troposphere
	+	relativity
	+	phase “wind-up”
	+	Ambiguity phase
	+	Hardware receiver bias
	+	Hardware satellite bias

PARAMETERS CORRELATIONS

Parameters:

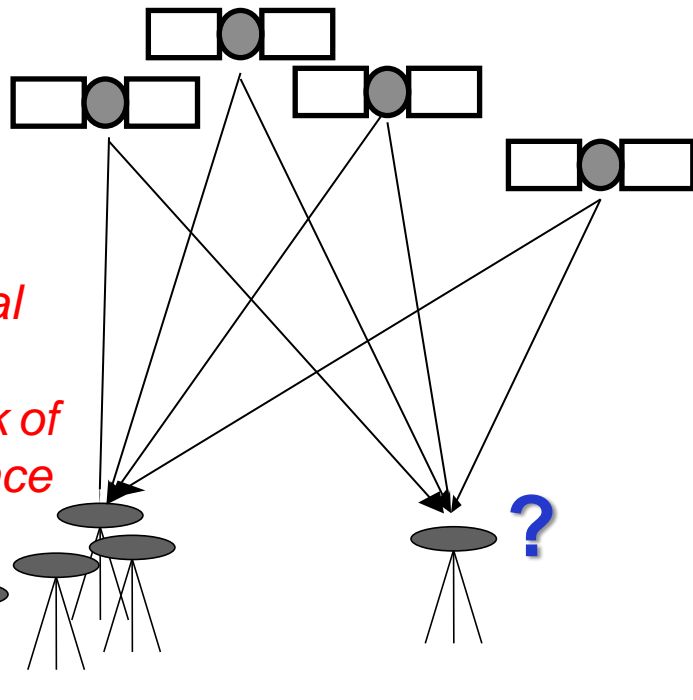
- North, East, Up coordinates (N,E,U)
- Receiver clock (clk)
- Zenithal Wet tropospheric Delay (ZWD)



The up, clk and ZWD parameters are highly correlated

DOUBLE-DIFFERENCE VS PPP

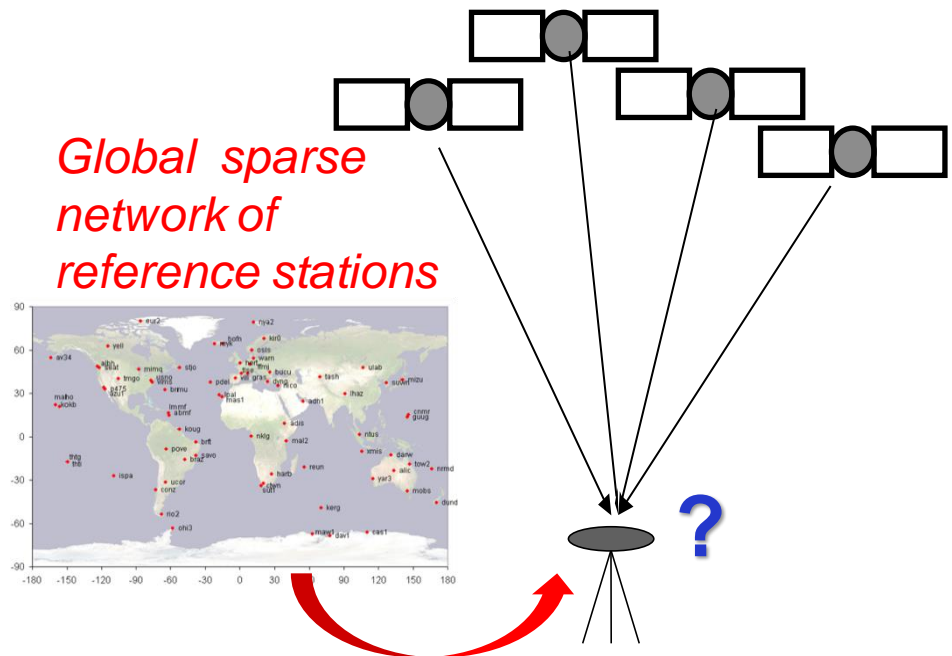
Double differencing eliminates most of common biases (clock offset, hardware,...) between couple of receivers



Regional dense Network of Reference stations

Classical method for precise differential positioning

If precise “corrections” (orbits, tropo/iono biases,...) are available: Precise Point Positioning



Global sparse network of reference stations

Alternative approach

AMBIGUITY RESOLUTION

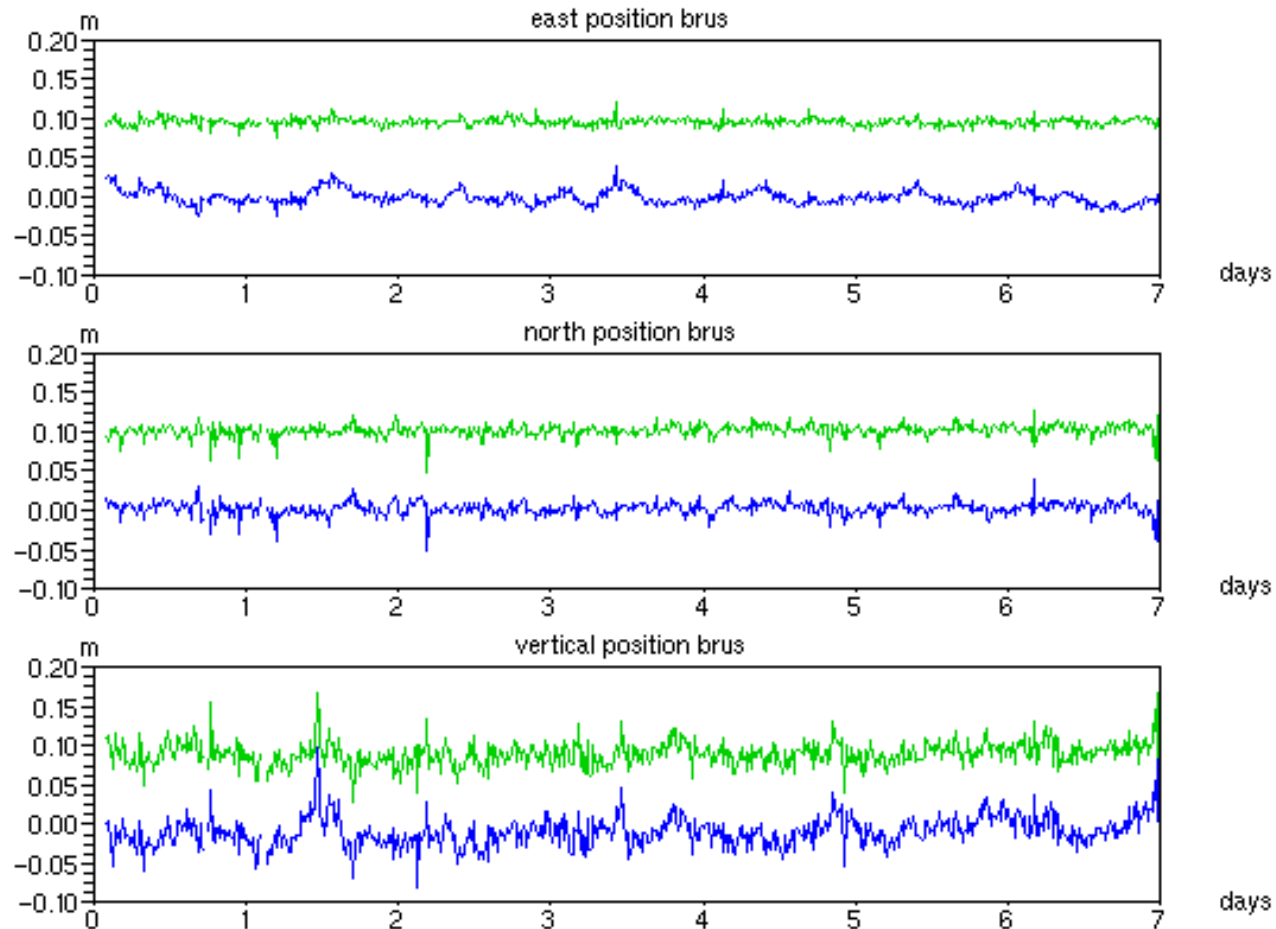
- Phase measurements are biased by an **integer** number of cycles called “phase ambiguity”

	Precise	Accurate
Range	-	+
Phase	++	-
Fixed Phase	++	++

- As soon as ambiguities are fixed, phase observations become both a precise and accurate measurements of the distance between satellites and receivers
- However, fixing ambiguities is challenging
- Goal : increasing the wavelength and eliminating the ionospheric signal using a combination observations. No optimal single combination exists.
- Straightforward using DD on short baselines
- Possible in PPP mode using a priori estimates of satellite hardware biases (e.g. provided by CNES)

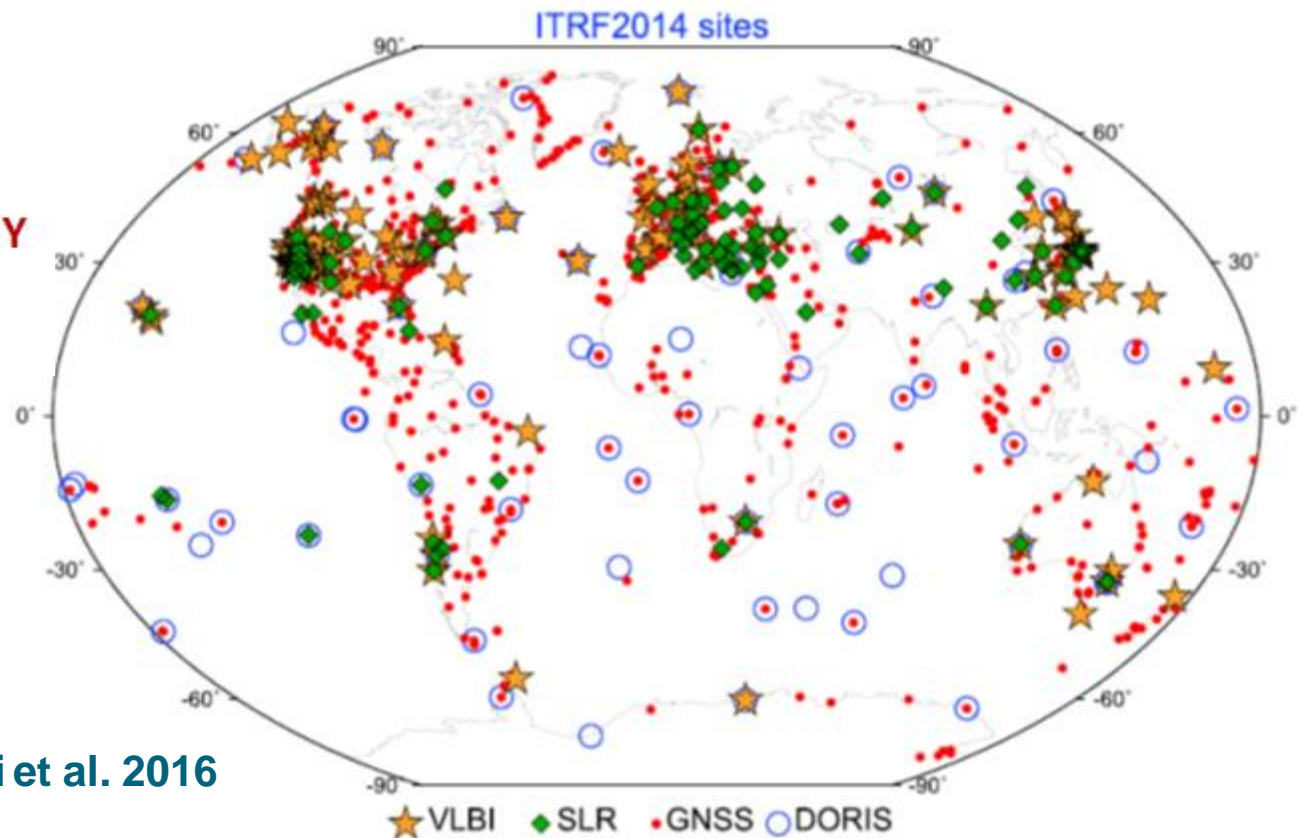
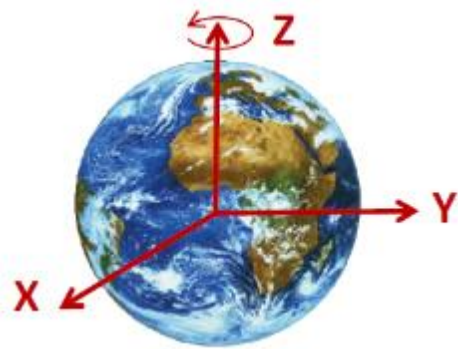
IMPACT OF FIXING AMBIGUITIES

- BRUX station (Bruxelles)
- IPPP / sampling: 30 seconds
- Fixed stations resolved as a moving station
- Residual displacement may indicate the solution accuracy



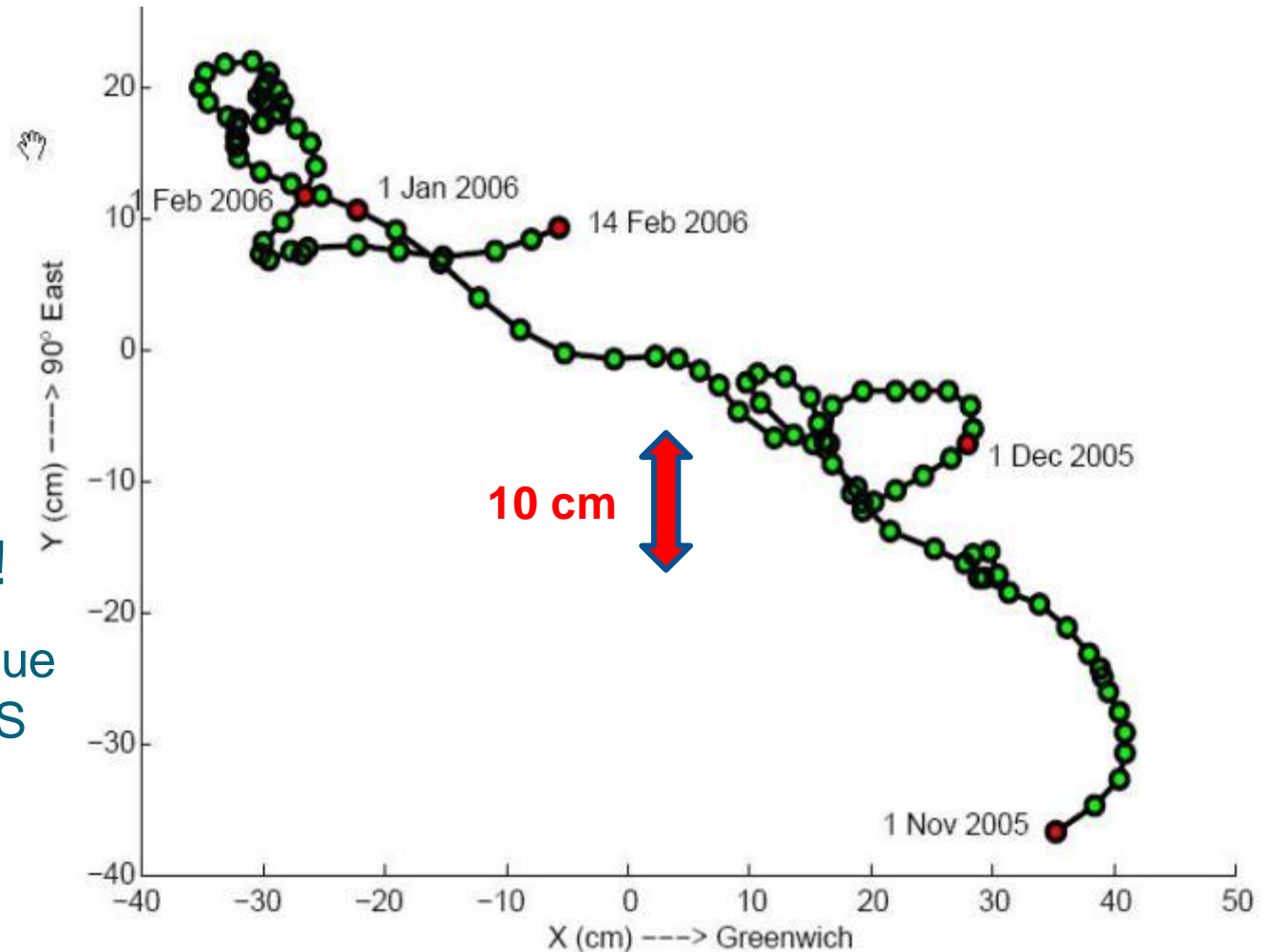
LE REPÈRE DE RÉFÉRENCE TERRESTRE INTERNATIONAL: ITRF

- Fondamental (standard pour exprimer des coordonnées sur Terre)
- Défini par les coordonnées/vitesses d'un réseau de stations géodésiques
- Le nombre de stations et de satellites GNSS produisent des quantités d'observations considérables
- **La contribution des GNSS aux ITRF est essentielle**



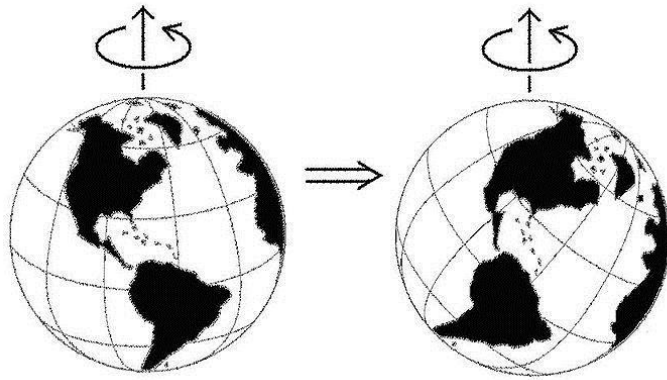
Z. Altamimi et al. 2016

OBSERVATION DES MOUVEMENTS DU PÔLE TERRESTRE (< 20 JOURS)



- Origine:
 - ✓ Atmosphère
 - ✓ Océans
- Imprédictibles !!!
 - Observés chaque jours par l'IERS
- Connaissance de X_P Y_P est « vitale » pour le passage du repère céleste au repère terrestre

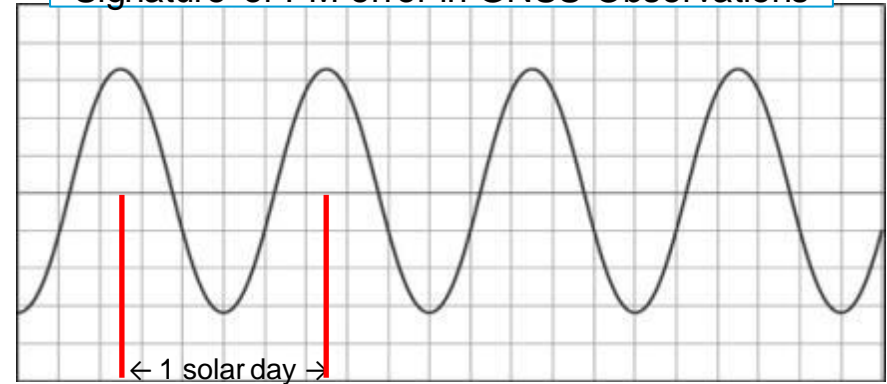
OBSERVABILITÉ DU MOUVEMENT DU POLE



actual pole position

assumed pole position

Signature of PM error in GNSS Observations



Courtesy Jim Ray NGS

- Toute erreur sur X_P et Y_P produit un mouvement diurne apparent de l'ensemble des stations
- Comme les coordonnées de stations sont estimées quotidiennement, l'erreur de pole se retrouve dans les résidus des observations sous forme de sinusoïde dont l'amplitude et la phase dépendent de la position de la station sur la Terre
- La qualité de l'estimation de X_P et Y_P dépend de la qualité de la distribution du réseau
- Les GNSS ont révolutionné l'observabilité du mouvement du pole

POSITIONNEMENT PRÉCIS DE STATIONS ISOLÉES: ETUDE DU GLACIER MERTZ (1/2)

Projet CRAC-ICE du LEGOS/OMP

Thèse de Lydie Lescarmontier (2009-2011) dirigée par Benoit Legresy

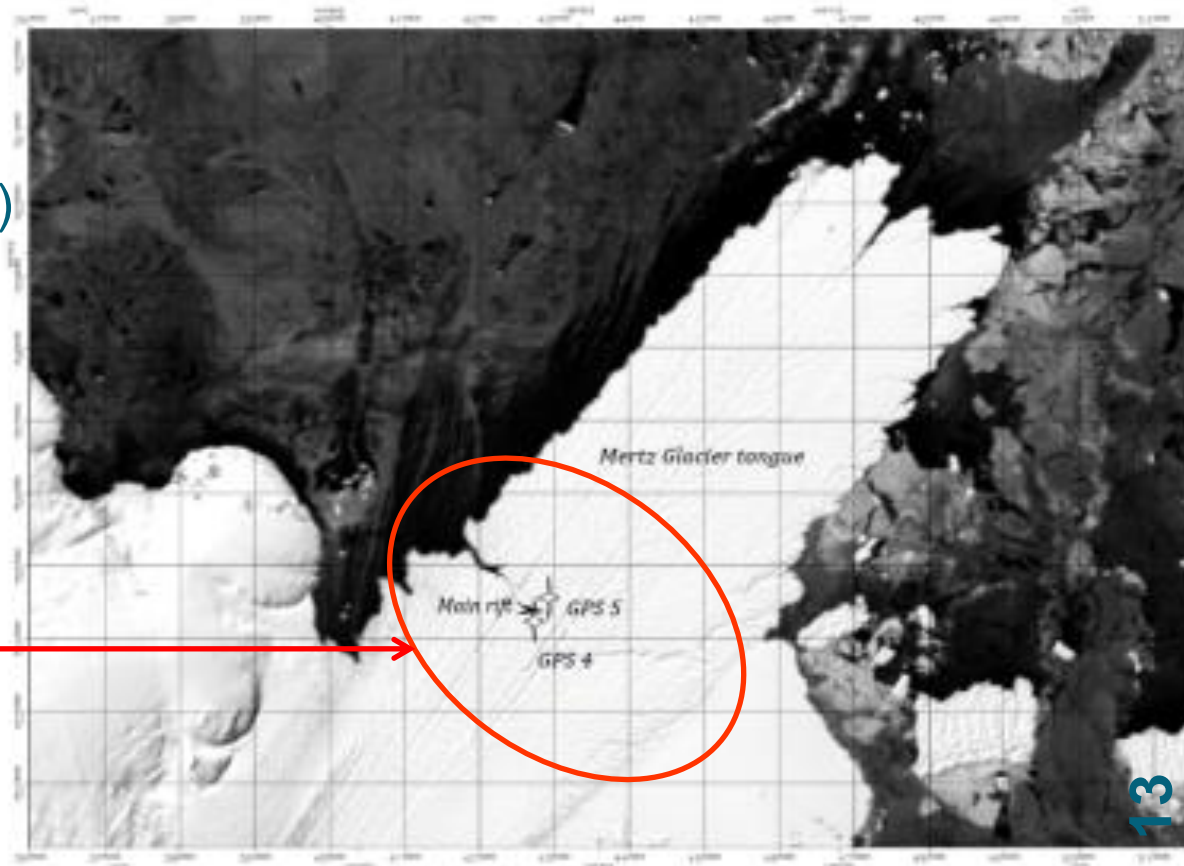
Dynamique du Glacier Mertz en Antarctique:

- vitesse
- rupture (vêlage d'un iceberg)
- déformation (vibration)

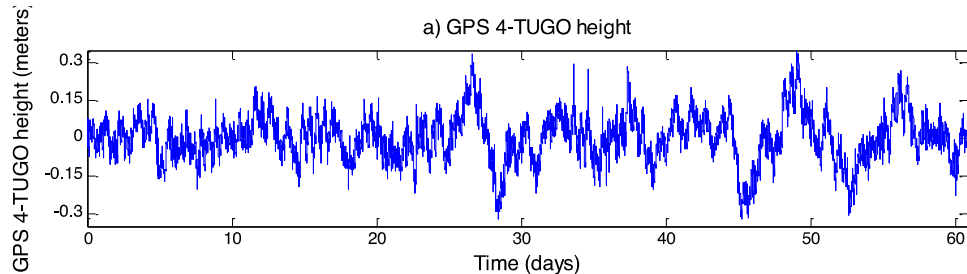
Campagnes de mesures:

Station GPS4 et 5

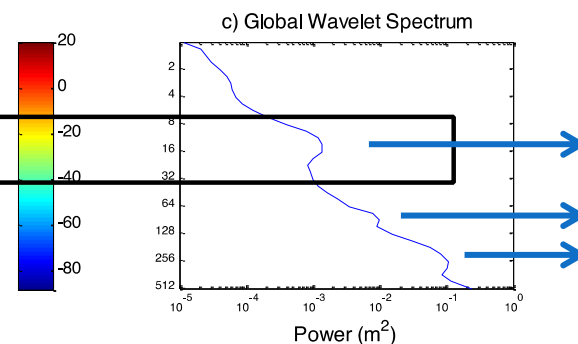
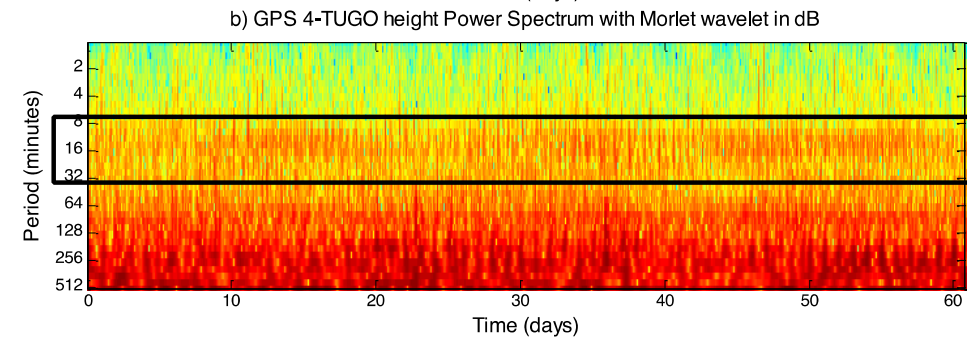
Pas de station de référence à proximité



POSITIONNEMENT PRÉCIS DE STATIONS ISOLÉES: ETUDE DU GLACIER MERTZ (2/2)



Lescarmontier et al. (2012) Vibrations of Mertz Glacier ice tongue, East Antarctica. Journal of Glaciology 58(210): 665-676.



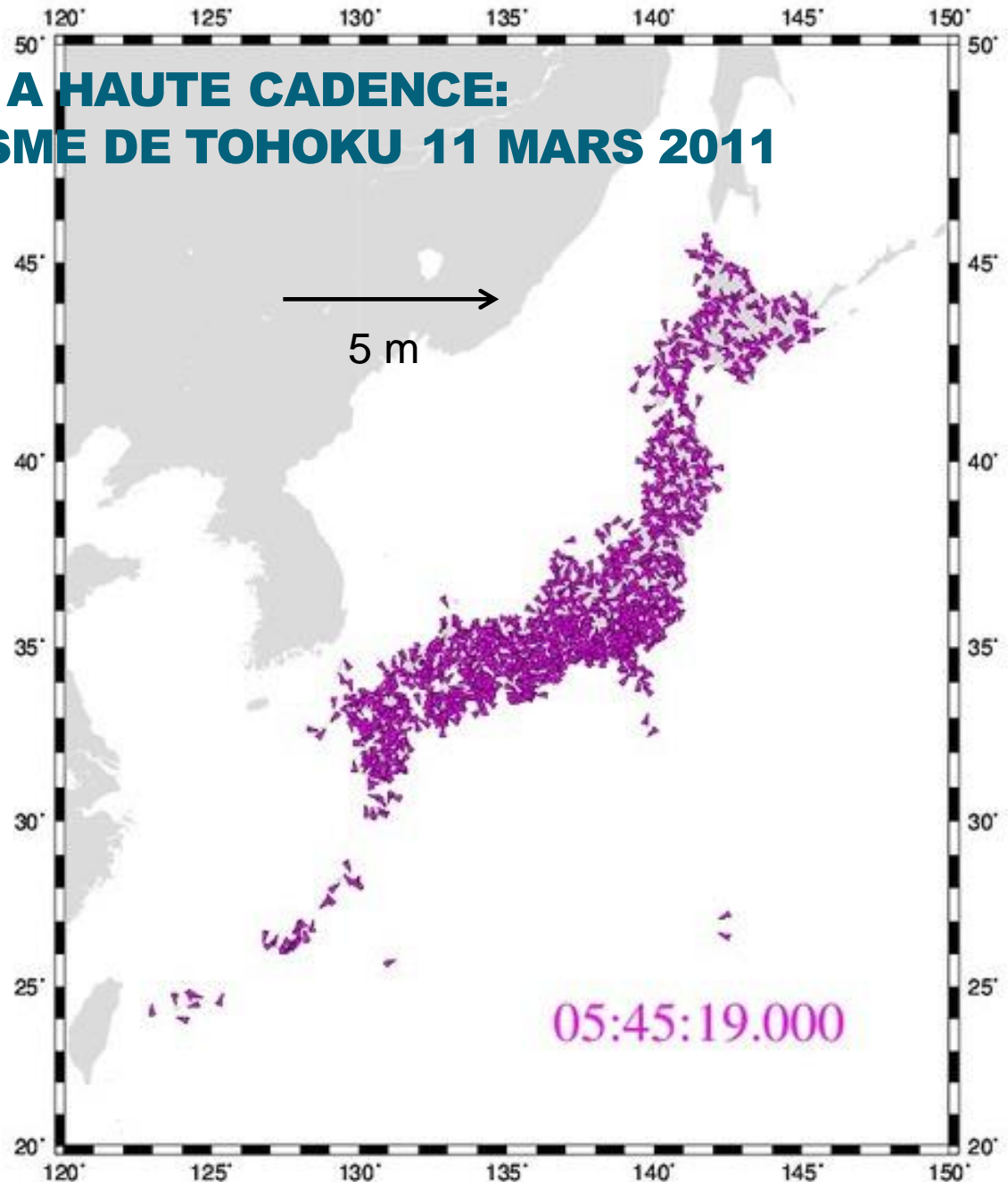
5 to 30 min
1 to 2 hr
4 to 6 hr

Analyse en ondelettes des séries de coordonnées verticales de la station GPS4 calculées à une cadence de 30 secondes pendant 60 jours en mode IPPP

- Les modes propres de vibration du glacier ont pu être mis en évidence grâce au traitement en mode IPPP (échec des modes DD et PPP)
- Première exploitation scientifique des capacités de positionnement en mode IPPP « cinématique »
- **Ouvre le positionnement précis aux stations isolées**

TRAITEMENT MASSIF A HAUTE CADENCE: APPLICATION AU SÉISME DE TOHOKU 11 MARS 2011

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



TRAITEMENT PRÉCIS EN TEMPS RÉEL

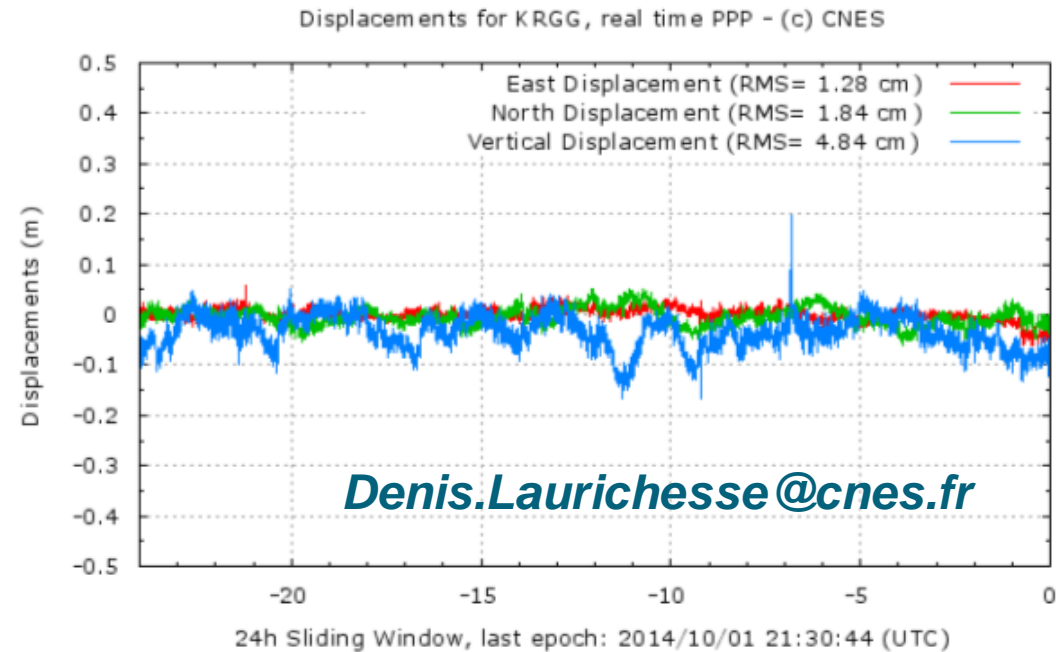


cnés
De l'espace pour la Terre

The PPP-WIZARD project
Precise Point Positioning With Integer and Zero-difference
Ambiguity Resolution Demonstrator

PPP-Wizard
Project

SSR
Computation



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

Démonstrateur de calcul en temps réel de coordonnées de récepteurs géodésiques en mode IPPP. Cela Nécessite :

- Transfert des données d'un réseau mondial de stations de référence
- Calcul des corrections pour l'ensemble des termes de l'équation de mesure
- Calcul de la position de l'utilisateur et application des corrections

COMING SOON: GEODETIC PRECISION IN SMARTPHONES !

- PPP smartphone application using raw GNSS data
- Future *PPP-WizLite* version will use GPS, GALILEO, GLONASS and BEIDOU data
- **< 10 cm** accuracy will be possible using new chipset with multi-frequency and carrier phase measurement



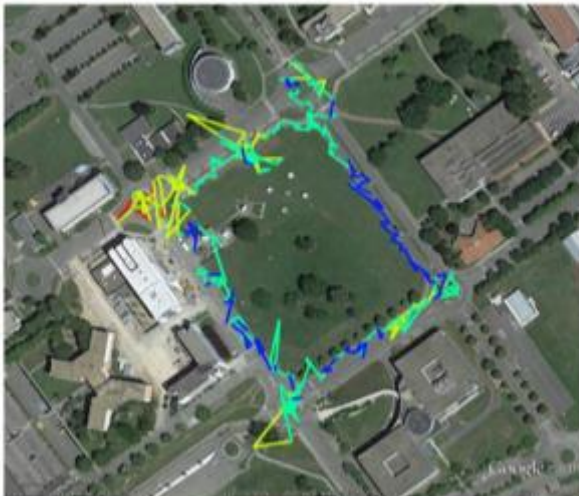
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



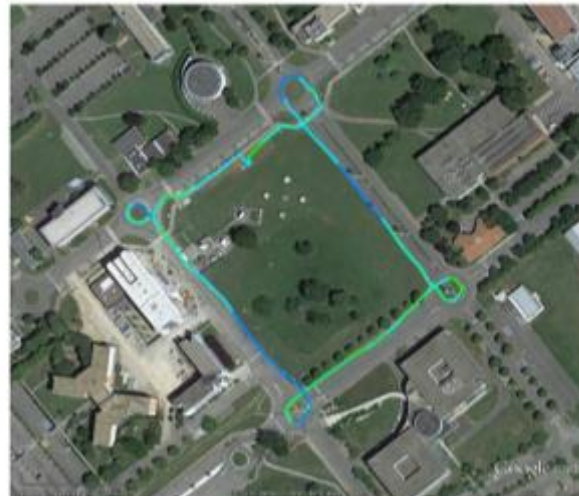
Smartphone Applications for Precise Point Positioning



PPP Wizlite: results in dynamic mode (pedestrian)



Rtklib PVT (GPS+GLO)



PPP Wizlite (GPS + GLO)