

# PRODUITS GNSS DU CENTRE D'ANALYSE (IGS) CNES/CLS POUR LES APPLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sylvain Loyer (CLS)

21 Mars 2019, ENSG

Champs-sur-Marne



- IGS / CENTRE D'ANALYSE GRG (CNES/CLS) – PRODUITS
- GALILEO: PRÉOCCUPATION ACTUELLE DU CA
- IPPP/GINS QUELQUES APPLICATIONS ET UTILISATEURS DES PRODUITS GRG

# INTERNATIONAL GNSS SERVICE (IGS)

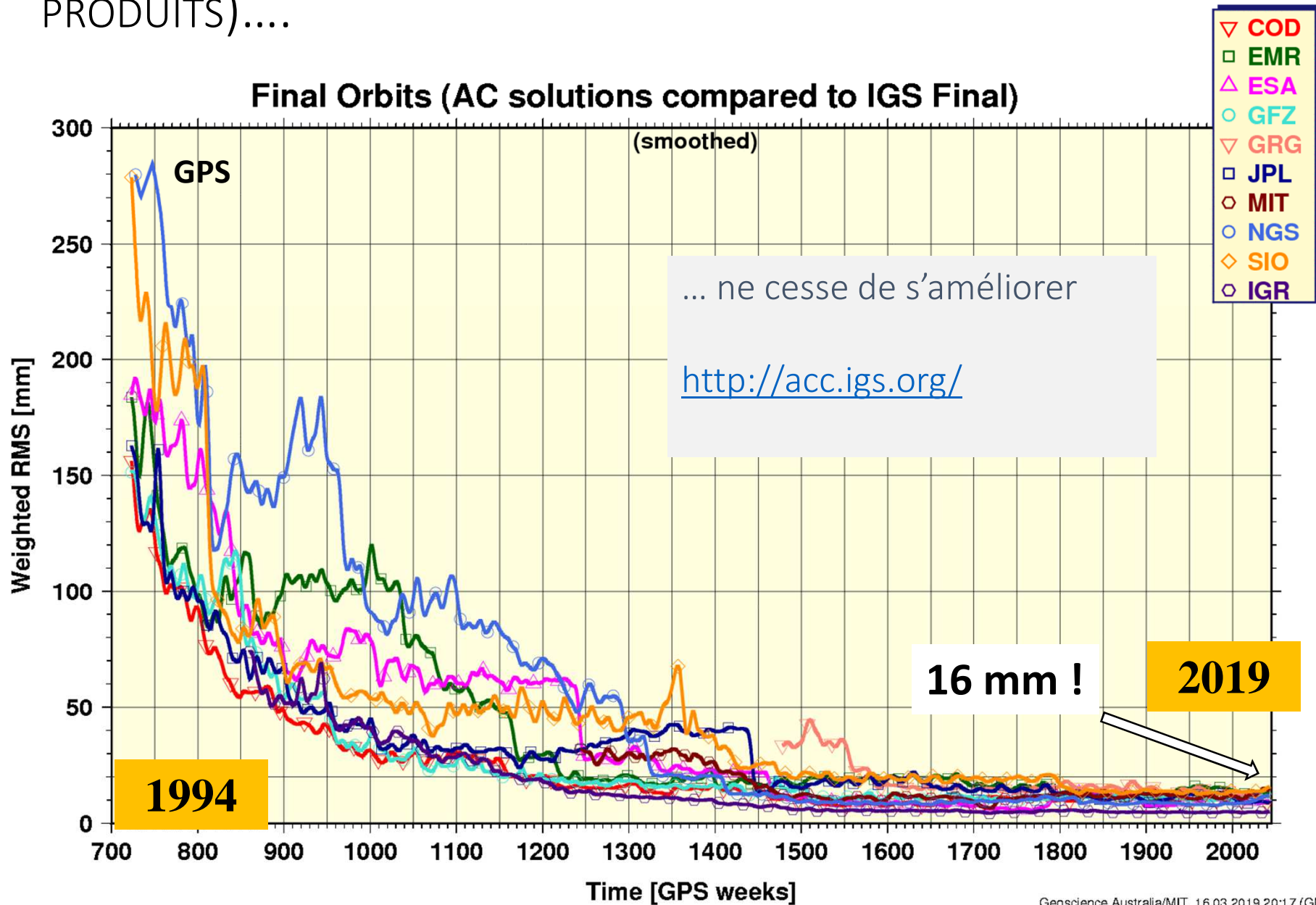


*IGS recognized in 1993 by the International Association of Geodesy (IAG), and began routine operations on January 1, 1994.*

- Fédération « volontaire » de plus de 200 agences, universités et organismes de recherche dans plus de 100 pays
- Déploiement, densification, maintenance du réseau (ex: REGINA du CNES/IGN)
- Des centres d'archivages: ex: IGN
- Des Centres d'analyses: ex: JPL, AUIB, ESA, WUHAN, CNES,...
- Des "Working Groups": GNSS-Biases, MGEX, PPP-AR, ...
- Des Workshops (Wuhan Automne 2018)
- Travaillent ensemble pour fournir « gratuitement » à la communauté internationale le meilleur du GNSS:
  - ✓ données brutes, produits, logiciels, publications, formats d'échange...
  - ✓ Accès libre

IGS Network (fin 2018)  
Total IGS : 501 stations  
Multi-GNSS stations : 242 (48%)  
Real-time stations 190 (38 %)

# QUALITÉ DES ORBITES DES SATELLITES GNSS (ET DES AUTRES PRODUITS).....





# DATES CLÉS DU CENTRE D'ANALYSE CNES/CLS (PRODUITS GRG)

- CNES/CLS Candidature à l'IGS en 2007

Cf. [igsac-cnes.cls.fr](http://igsac-cnes.cls.fr)

- 2009 : Produits GPS Entiers / Integer PPP

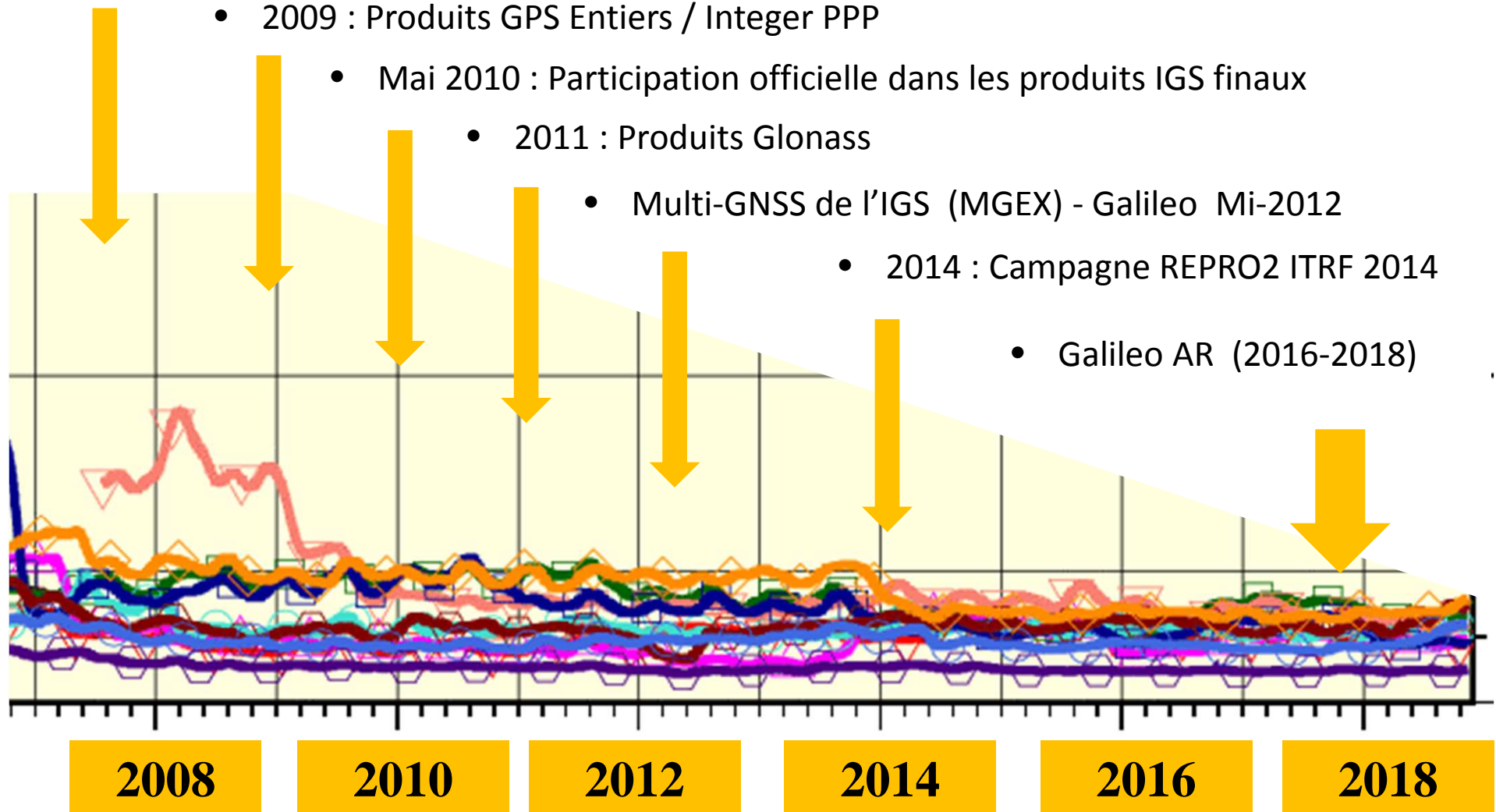
- Mai 2010 : Participation officielle dans les produits IGS finaux

- 2011 : Produits Glonass

- Multi-GNSS de l'IGS (MGEX) - Galileo Mi-2012

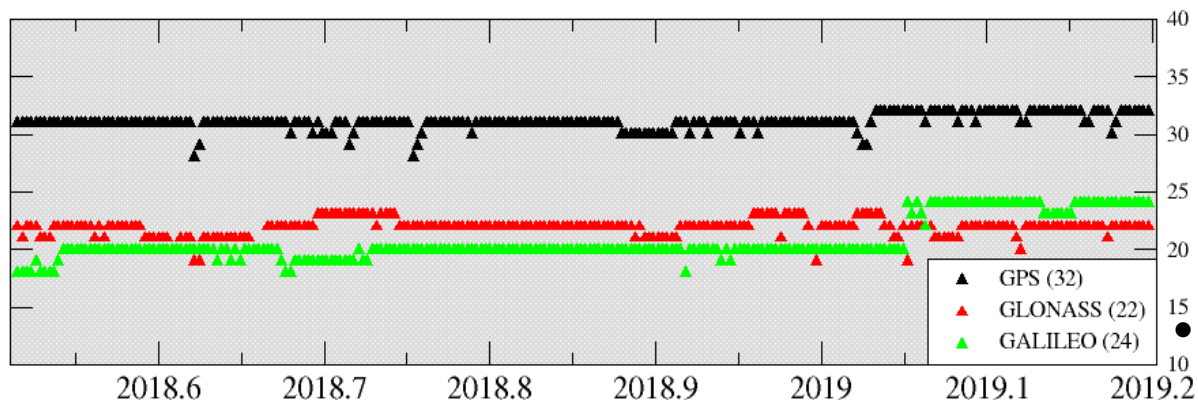
- 2014 : Campagne REPRO2 ITRF 2014

- Galileo AR (2016-2018)



# PRODUITS DU CENTRE D'ANALYSE CNES/CLS (2019)

Nombre de satellites dans les produits GRG/GRM (total 78)



## Produits finaux (~7 jours)

- Orbites / Horloges (30 sec.)
  - Sinex journaliers
- ERP (Pôle/Pôle Rate/LOD)
- Biais zénithaux troposphériques

- Wide Lane Biases - Pour PPP-AR (IPPP) pour GPS et Galileo
- Quaternions d'attitude des satellites GNSS (orbex, experimental)

Spécificité du CA:

Produits entiers depuis  
2010

```

*****
IGS Electronic Mail  20 May 05:42:54 PDT 2010  Message Number 6155
*****
Author: Jim Ray

Starting with week 1582, a new Analysis Center is now contributing solutions for the IGS Finals.
The GRGS (French Space Geodesy Research Group) AC is operated jointly by CNES and CLS in
Toulouse.
Their website at http://igsac-cnes.cls.fr/ gives full details of the AC, their processing strategy,
and other information.
It should be mentioned that GRGS uses a unique method to fix phase ambiguities for un-
differenced observations.
Entry of GRGS into the IGS products follows a period of extensive evaluation.

We are honored to welcome this group into our company!
    
```

## Precise Point Positioning with Ambiguity Resolution

The precise point positioning with ambiguity resolution (PPP-AR) working group (WG) investigates the inter-operability of PPP-AR products generated by various analysis centers.

The aim of the WG is to analyze the feasibility and benefits of having the IGS adopt a modernized combination process considering the consistency of the satellite clock and bias products.

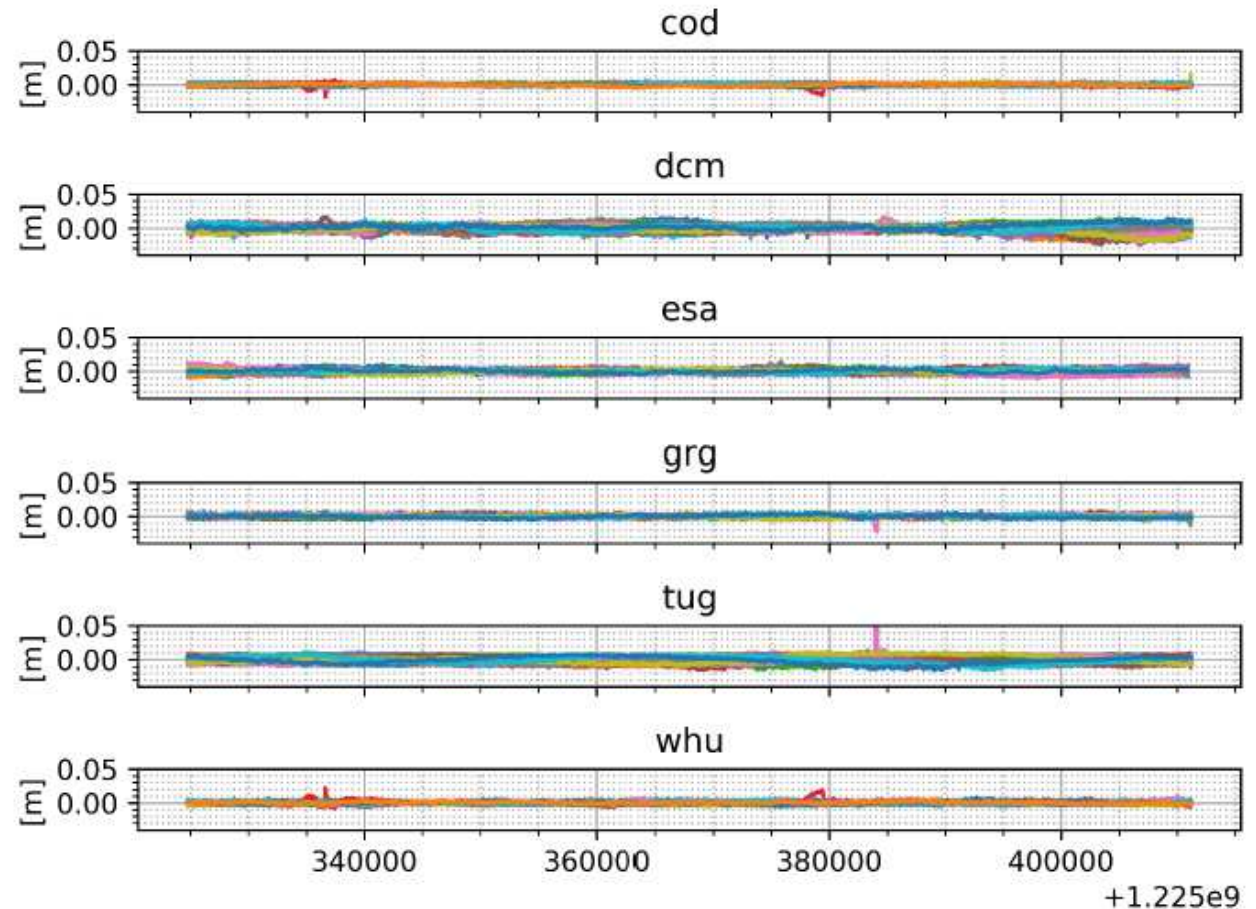
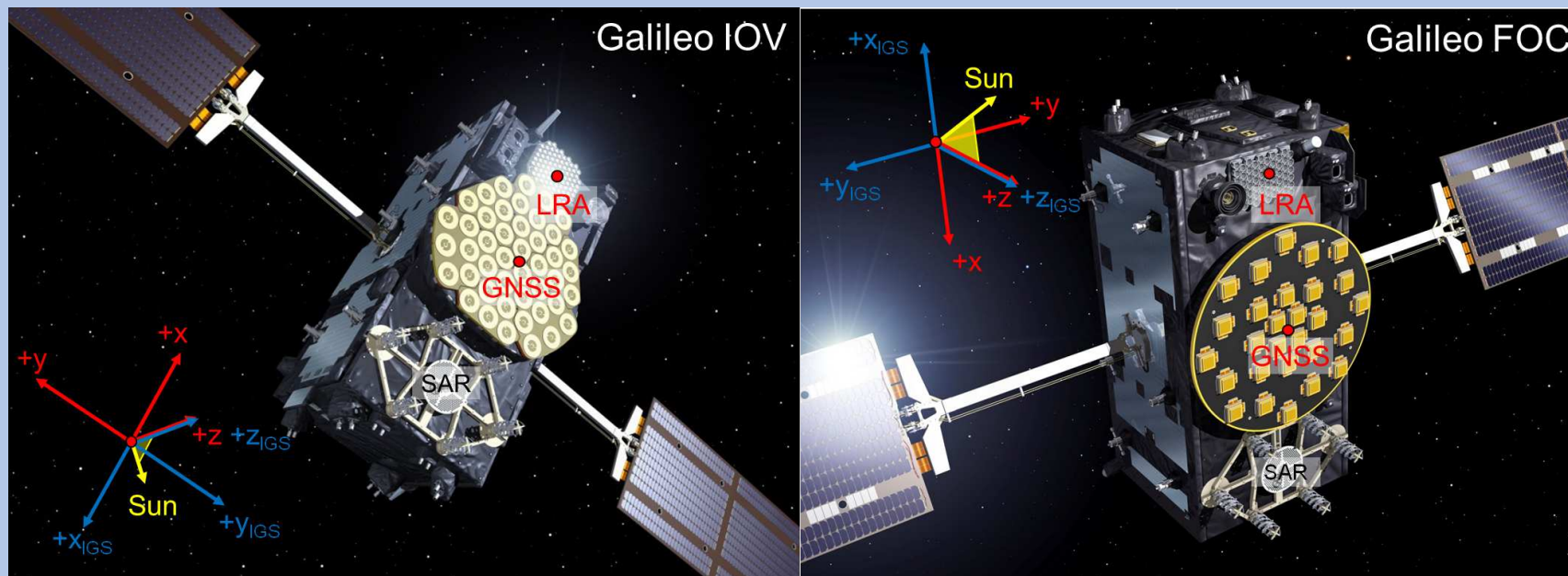


Figure 3 Ionosphere-free phase-clock residuals after ambiguity resolution (2026-0)

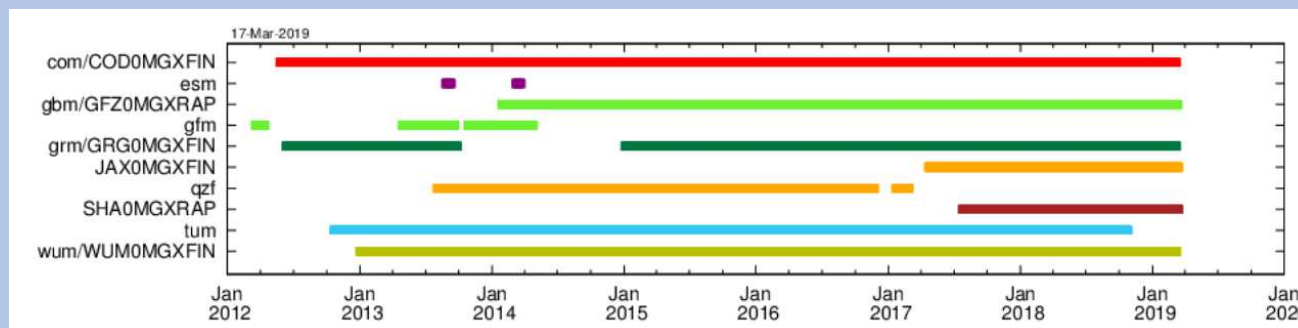
**Toward combined IGS PPP-AR Products....**

# GALILEO: PRÉOCCUPATION ACTUELLE (ET ANCIENNE) DU CA



24 satellites actifs (2 générations)

Données et tests dans le cadre de MGEX (IGS) depuis 2012:



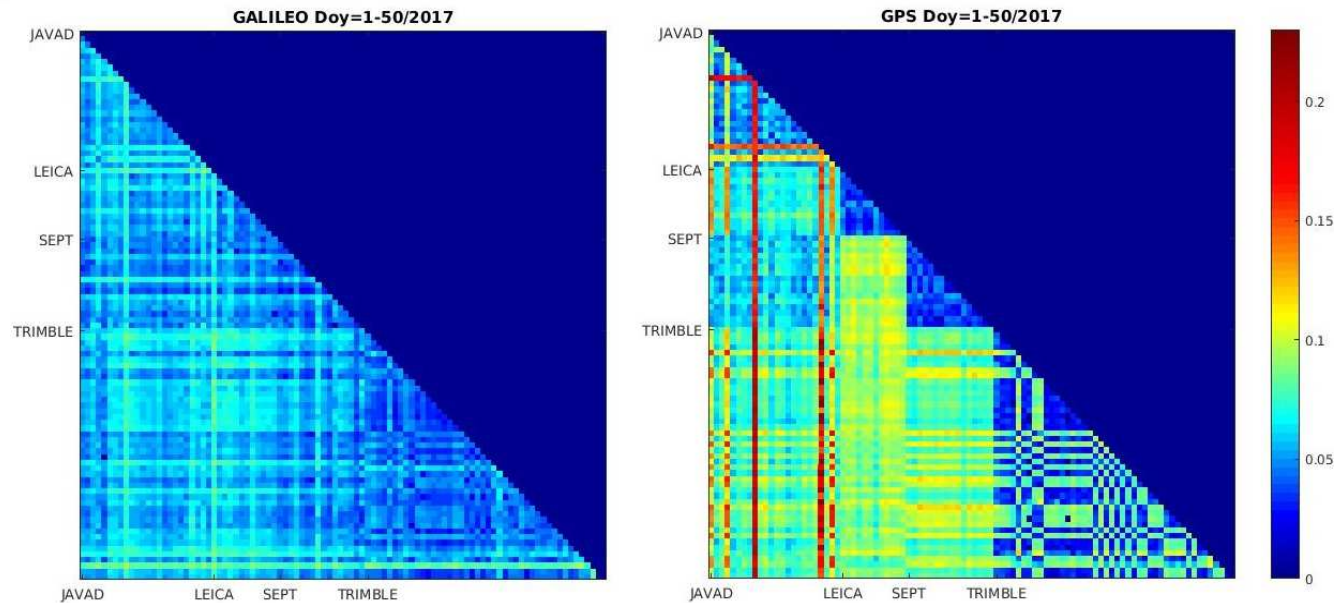
... prêt pour les applications précises ???



# GALILEO: DES BIAIS « SATELLITES » STABLES

## Wide-Lane Fixing

Comparison of  $\mu^S$  biases organized by receiver  
manufac



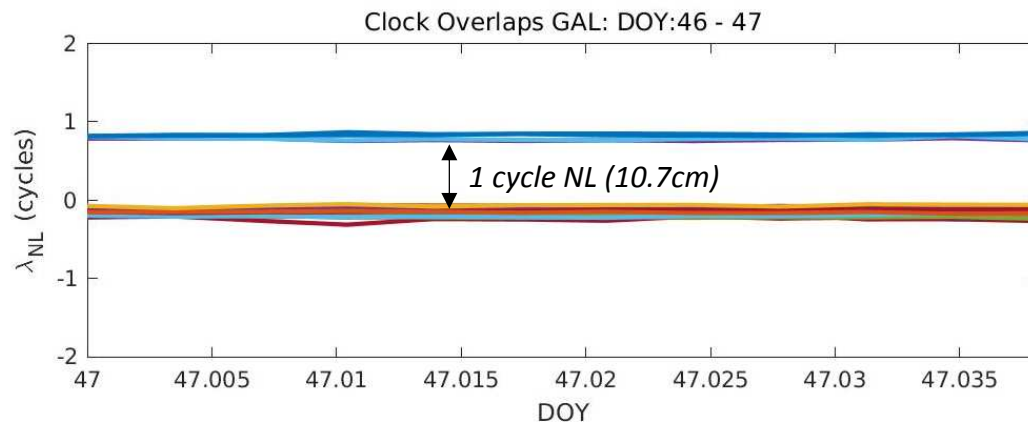
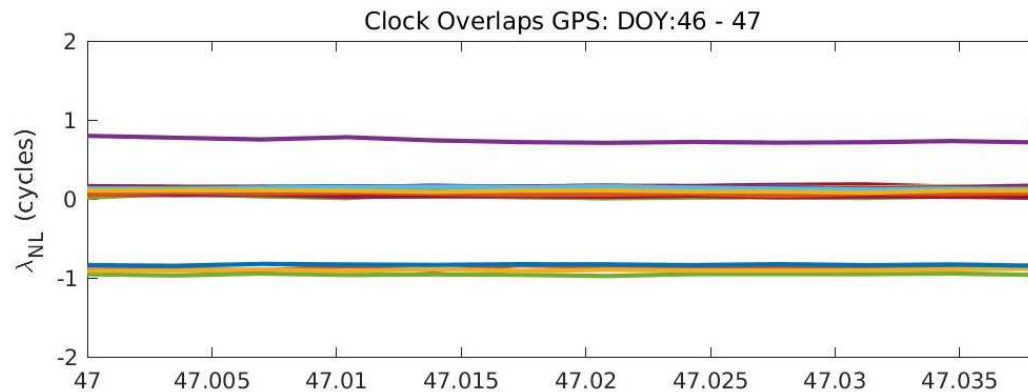
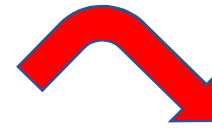
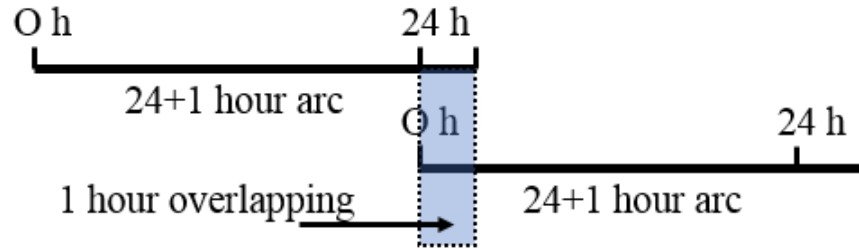
- Galileo below 0,08 cycles

- GPS up to 0,15 cycles

(Katsigianni, et al., 2018)

# HOW GOOD GALILEO VS GPS ?

GRG/GRM clocks overlaps: *February 2019*

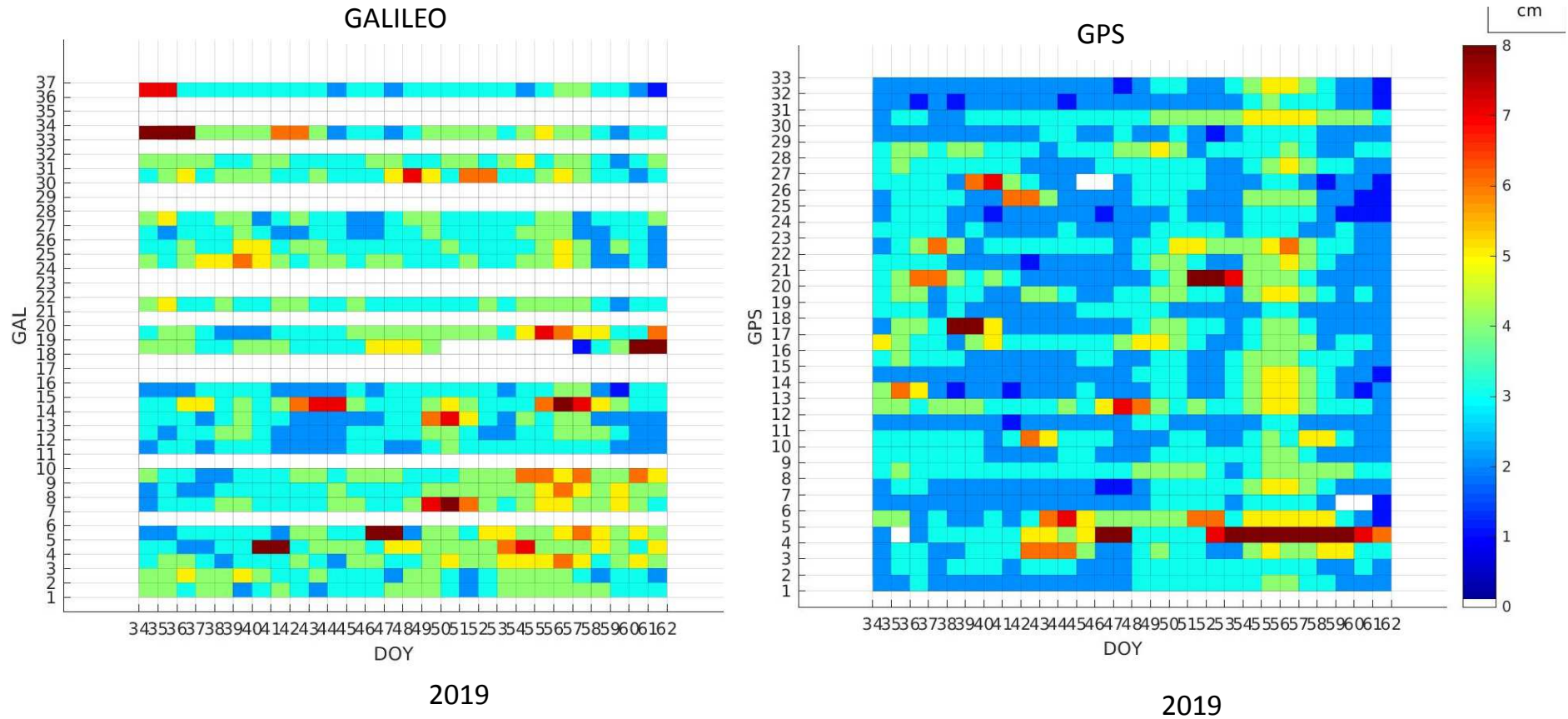


Difference between successive daily solutions is 0 modulo 1 NL cycle:

- **PPP-AR (Integer PPP) possible with Galileo too**
- **Continuous clock solutions can be provided**
- **Ambiguity fixing can be propagated on multi-day time spans**

# HOW GOOD GALILEO VS GPS ?

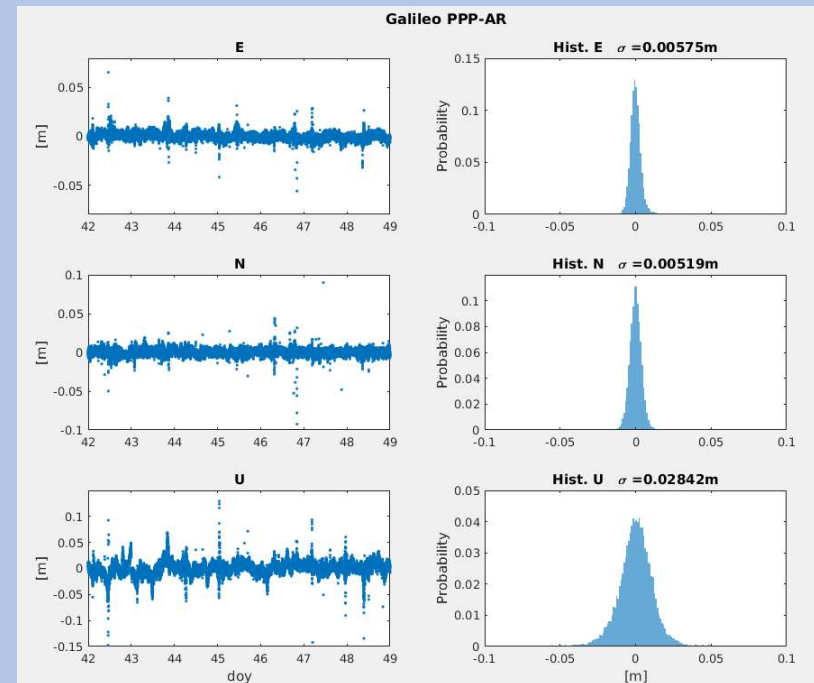
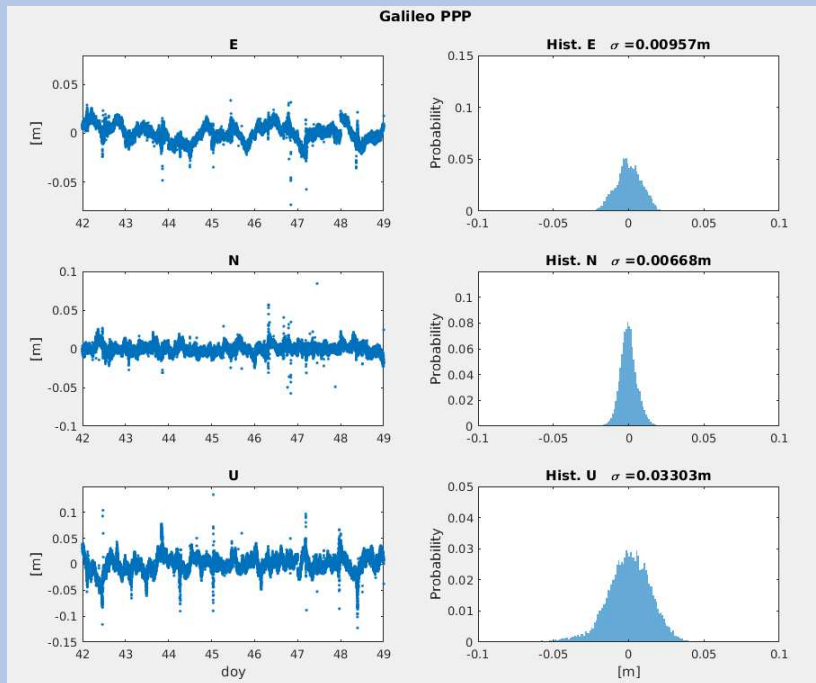
GRG/GRM final orbits overlaps: *February 2019*



Le GRC-MS (Galileo Reference Centre – Member States) est un consortium piloté par le CNES et regroupant 20 entités de 11 Etats Membres de l'Union Européenne. Il est financé par la GSA (European Global Navigation Satellite Systems Agency). Notre équipe est responsable du Work-Package « reference products » (Leader F. Perosanz) qui fournit à la GSA depuis le 1er d'octobre 2018 les solutions d'orbites précises de référence des satellites Galileo.

## GALILEO ONLY IPPP (AR)

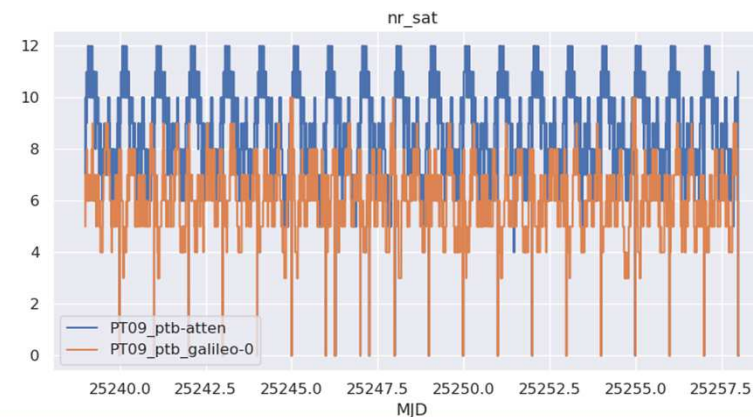
=> 6 mm / 3 cm in horizontal/vertical (when good/sufficient data available...)



Traitement hybride GPS+Galileo avec  
fixation des ambiguïtés entières  
aujourd'hui réalisable dans GINS (Thèse  
CNES-CLS en cours Georgia Katsigianni)

MEAN # GPS SAT : 9

MEAN # GAL SAT : 6





## UTILISATIONS VARIÉES DES PRODUITS GRG/GRM ( Avec ou sans le logiciel gins du grgs)

TRAITEMENTS DE DONNÉES DE RÉCEPTEURS STATIQUES OU MOBILES  
TRAITEMENTS RÉGULIERS OU OCCASIONNELS

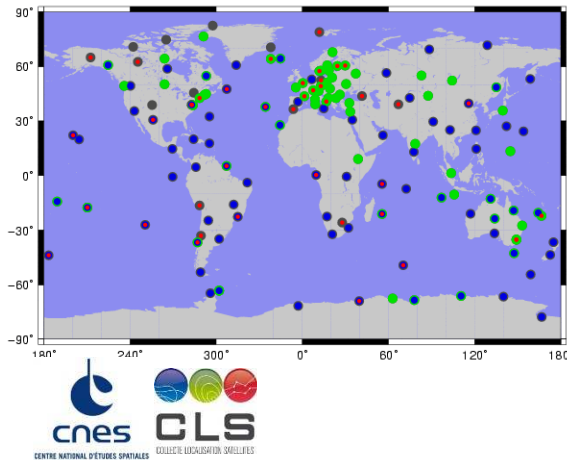
APPLICATIONS SCIENTIFIQUES VARIÉES:

- TECTONIQUE/DÉFORMATIONS DES SOLS
  - OCÉANOGRAPHIE/MARÉGRAPHIE
    - SATELLITES BAS (LEOs)
      - MÉTÉOROLOGIE
      - TRANSFERT DE TEMPS

# INTEGER-PPP USING « GRG » PRODUCTS

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

CNES-CLS IGS Analysis Center final products (GRG/GRM):

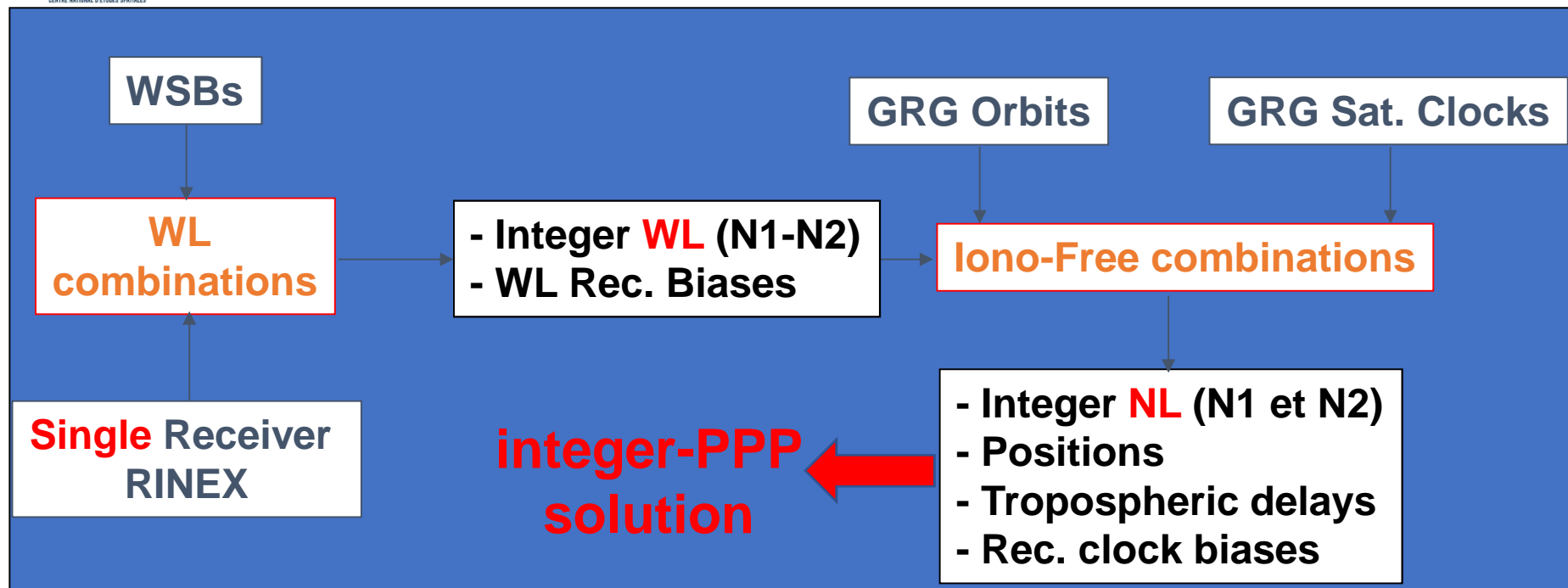


Hardware WSBs (1/sat/day)

Satellite Orbits (300s)

“Integer” Satellite Clocks (30s)

IGS

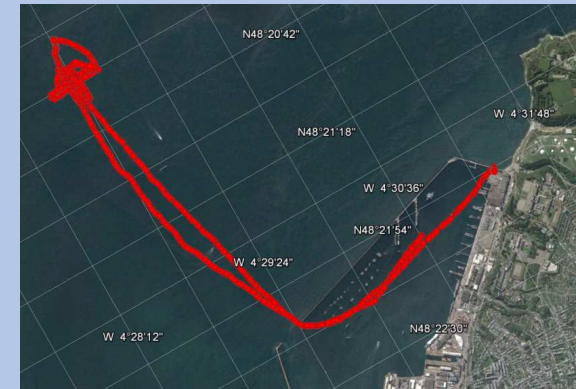


## COLLABORATIONS AVEC DES EQUIPES FRANÇAISES / BOUÉES ET BATEAUX

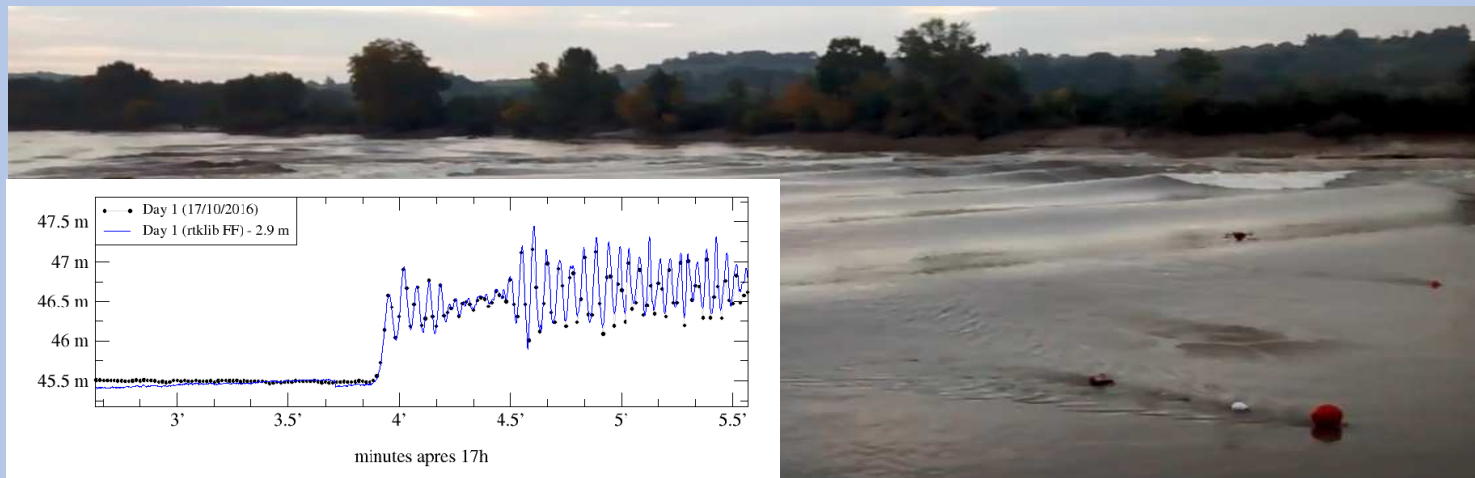
Le IPPP cinématique des bouées offre de nouvelles perspectives. Différents travaux de validation du concept (Coopération Laurent Testut- LEGOS). Plusieurs campagnes dans les îles Kerguelen. Données GNSS à 1Hz sur une bouée à proximité d'un marégraphe et d'une station GNSS permanente. Exploitation scientifique des capacités de positionnement cinématique à 1 Hz en mode IPPP de GINS (Fund et al 2013)



Cratère de Saint-Paul (Océan Indien)  
Legos-DT/INSU Programme  
Nivmer, 12/2018.



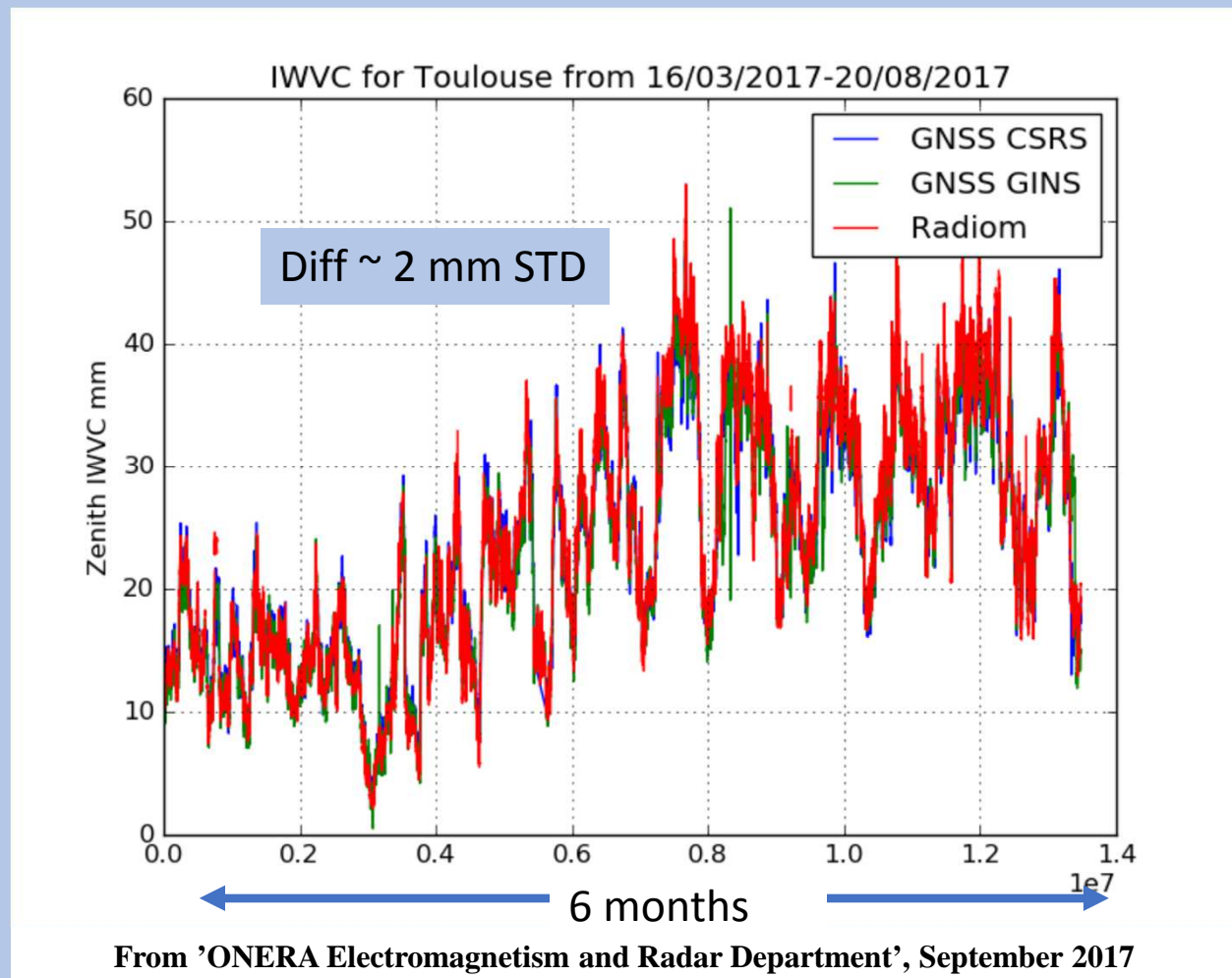
Exemple de trajectoire bateau calculée par prairie (données du Shom)- (cf. présentation de Raphaël Legouge)



Mascaret de La Garonne à Podensac  
Expérience Multi-instruments (16 au 19 octobre 2016)

# TROPOSPHÈRE / MÉTÉO

Comparaison des mesures d'un Radiomètre avec les corrections zénithales issues du traitement des données GPS (Gins = IPPP)



... Geodetic GNSS receiver + IPPP = « Low cost radiometer »



# TRANSFERT DE FRÉQUENCE D'HORLOGES ATOMIQUES

- L'utilisation du mode PPP pour la comparaison d'horloges atomiques est courant aujourd'hui.
- Le BIPM utilise les solutions PPP GPS pour la réalisation du TAI depuis 2009 de façon opérationnelle
- ... mais la fixation des ambiguïtés entières (mode IPPP) améliore la stabilité intra-journalière et apporte la possibilité d'assurer la continuité entre sessions journalières de traitement
- Principe démontré :
  - D. Laurichesse & F. Mercier, Proc 20th ION GNSS, 839-848, 2007.
  - J. Delporte et al., IJNO, Article ID 273785, 2008.
- Réalisation pratique et routinière avec produits « GRG »
  - Petit G. et al. (2015)  $1 \times 10^{-16}$  frequency transfer by GPS PPP with integer ambiguity resolution.

# TRANSFERT DE FRÉQUENCE D'HORLOGES ATOMIQUES

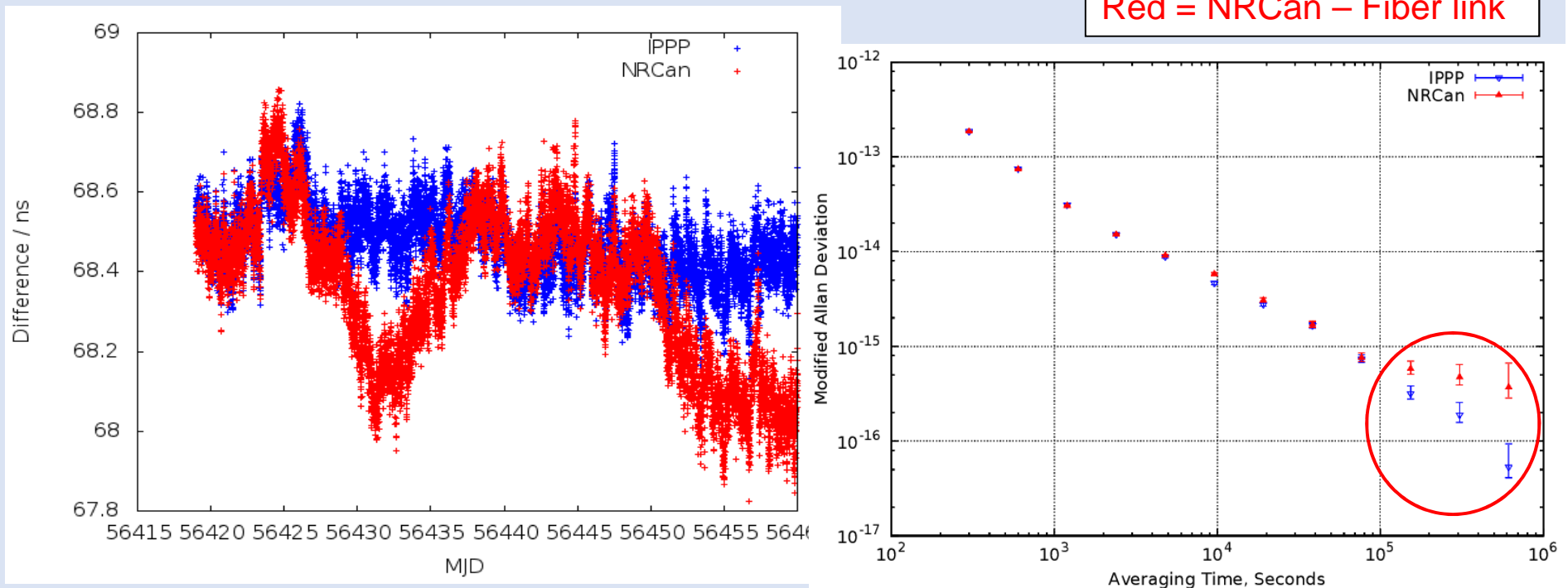
- Coopération avec Gerard Petit (BIMP) et le Jerome Delporte (CNES), Amale Kanj et Julia Leute (Post Doc CNES ou BIMP)
- Expérience : comparaison entre les deux stations UTC(AOS) and UTC(GUM) en Pologne équipées d'un récepteur GNSS et connectées par fibre optique (420 km)
- Le lien par fibre optique est considéré comme référence
- La différence des solutions PPP et IPPP de chaque station est comparée au lien par fibre optique



# TRANSFERT DE FRÉQUENCE D'HORLOGES ATOMIQUES

- Période de 41 jours où tous les instruments ont fonctionnés de façon continue
- La stabilité des solutions IPPP est meilleure à quelques heures et sur du long terme:  $5.3 \times 10^{-17}$  @ 7.1 jours
- La solution IPPP n'a pas de limite significative
- Moyen « externe » d'évaluation de la technique IPPP
- (Petit et al, 2015)

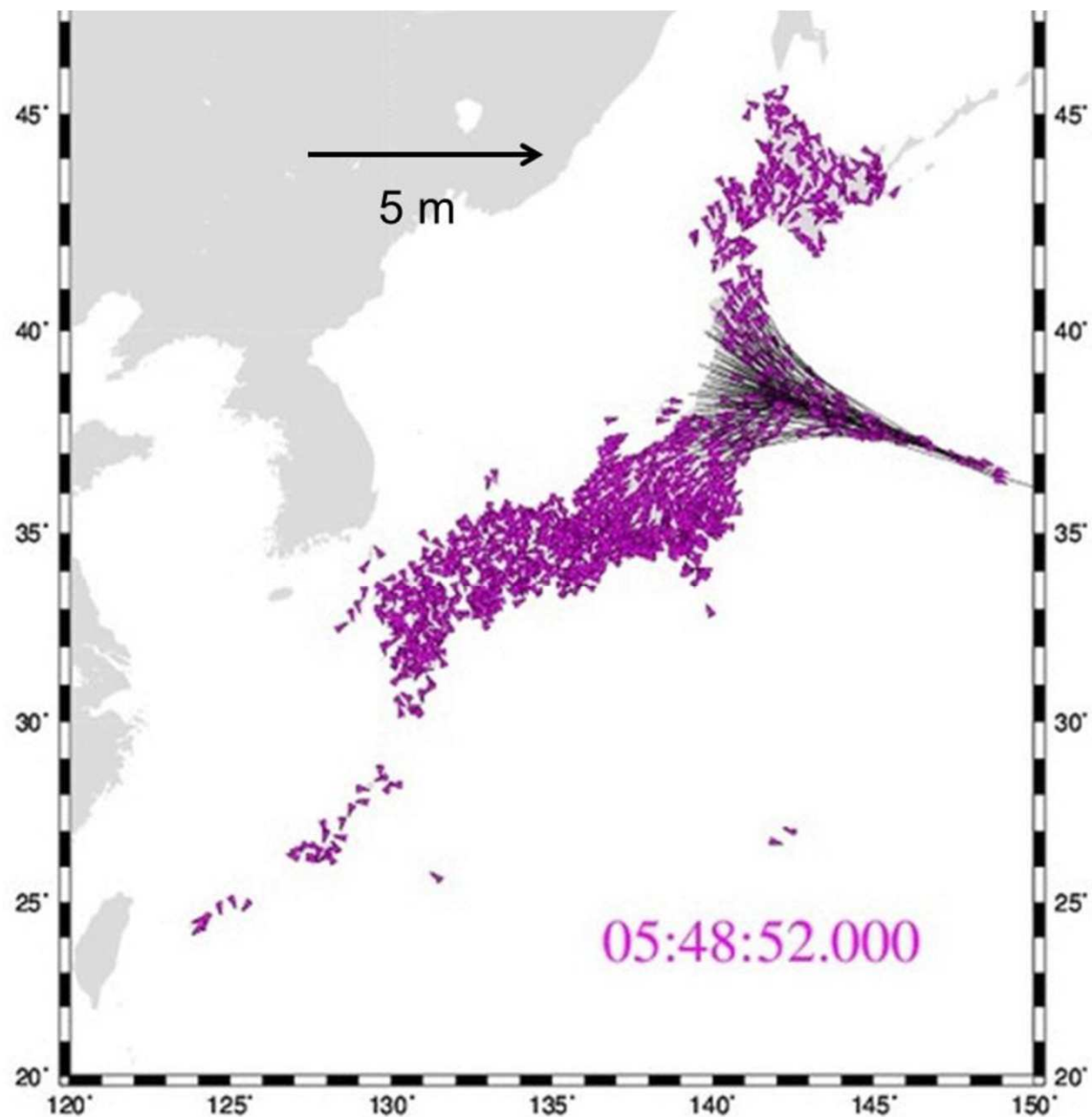
Blue = IPPP – Fiber link  
Red = NRCan – Fiber link



## TOHOKU 11 MARS 2011 (TRAITEMENTS MASSIFS HAUTE FRÉQUENCE)

- Réseau GEONET
- 1300 stations
- 1 Hz
- Solution IPPP
- Logiciel GINS
- Produits GRG

(Barbu et al. 2017)





- IGS / CENTRE D'ANALYSE GRG (CNES/CLS): UN CENTRE D'ANALYSE MATURE
- GALILEO: LES TRAITEMENTS PRÉCIS DE QUALITÉ ONT COMMENCÉ !!
- GRG/GRM EST LE SEUL PRODUIT ENTIER DISPONIBLE SUR LES DEUX CONSTELLATIONS
- GINS/IPPP LOGICIEL ET SUPPORT POUR CES TRAITEMENTS (CONTACTS GET/OMP)

# RÉFÉRENCES / PUBLICATIONS (1)

## Utilisateurs de GINS GRG/GRM et des produits :

- **IGS Products**

Katsigianni, G., Loyer S., Perosanz F., Mercier F., R. Zajdel, K. Sosnica, Improving Galileo orbit determination using zero-difference ambiguity fixing in a Multi-GNSS processing. Adv. Space Res. (2018), <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.08.035>

Wautelet, G., Loyer, S., Mercier, F., Perosanz F., Computation of GPS P1-P2 Differential Code Biases with JASON-2. GPS Solution (2017) 21: 1619. <https://doi.org/10.1007/s10291-017-0638-1>

Montenbruck, O., Steigenberger, P., Prange, L., Deng, Z., Zhao, Q., Perosanz, F., Romero, I., Noll, C., Stürze, A., Weber, G., Schmid, R., MacLeod, K., Schaer, S. (2017) The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS) – Achievements, prospects and challenges, In Advances in Space Research, Volume 59, Issue 7, 2017, Pages 1671-1697, ISSN 0273-1177, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.01.011>.

Loyer S. et al (2015) Receiver type depending part of observed satellite wide lane delays, IGS Workshop on GNSS Biases 2015 5–6 November 2015, University of Bern, Switzerland

Loyer S., Perosanz F., Mercier F., Capdeville H., Marty J.C. Zero-difference GPS ambiguity resolution at CNES–CLS IGS Analysis Center. Journal of Geodesy. Springer Berlin / Heidelberg. Doi: 10.1007/s00190-012-0559-2, 2012.

- **POD LEO**

Montenbruck et al. (2017) Precise orbit determination of the Sentinel-3A altimetry satellite using ambiguity-fixed GPS carrier phase observations. Journal of Geodesy

Zoulida M., A. Pollet, D. Coulot, F. Perosanz, S. Loyer, R. Biancale, P. Rebischung (2016) Multi-technique combination of space geodesy observations: Impact of the Jason-2 satellite on the GPS satellite orbits estimation. Advances in Space Research 58 (2016) 1376–1389

- **Océanographie**

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.

# RÉFÉRENCES / PUBLICATIONS (2)

- **CAL/VAL d'altimètres spatiaux: Cooperation avec le LEGOS (OMP) :**

Cretaux, J. F., Calmant, S., Romanovski, V., Perosanz, F., Tashbaeva, S., Bonnefond, P., Moreira, D., Shum, C. K., Nino, F., Berge-Nguyen, M., Fleury, S., Gegout, P., Del Rio, R. A. and Maisongrande, P. (2011). Absolute Calibration of Jason Radar Altimeters from GPS Kinematic Campaigns Over Lake Issykkul. *Marine Geodesy* 34(3-4): 291-318.

J-F Cretaux, M. Bergé-Nguyen, S. Calmant, N. Djamangulova, R. Satylkanov, F. Lyard, S. Fleury, F. Perosanz, J. Verron , A. Samine Montazem , G. Le Guilcher , D. Leroux, and P. Bonnefond, Absolute calibration / validation of the altimeters on sentinel-3A and Jason-3 over the lake Issykkul, *Remote Sensing* (2018) <https://doi.org/10.3390/rs10111679>

Frappart, F., N. Roussel, Biancale R., J.J. Martinez Benjamin, Perosanz F., 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. *Marine Geodesy* (2015), doi: 10.1080/01490419.2015.1008711.

- **Métrologie Temps fréquence: coopération avec le BIPM**

Petit, G., A. Kanj, S. Loyer, J. Delporte, F. Mercier and F. Perosanz.  $1 \times 10^{-16}$  frequency transfer by GPS PPP with integer ambiguity resolution. *Metrologia* 52 (2015) 301–309, doi:10.1088/0026-1394/52/2/301

- **Hydrologie: coopération avec la CPRM (Rio)**

Moreira D., Calmant S., Perosanz F., Luciano Xavier L., Rotunno Filho O., Seyler F., Monteiro A. (2016). Comparisons of observed and modeled elastic responses to hydrological loading in the Amazon Basin: Hydrological loading in the Amazon basin. *Geophysical Research Letters*, September 2016. DOI: 10.1002/2016GL070265

- **Tectonique**

Barbu A., Laurent-Varin J., Perosanz F., Mercier F. and Marty JC., Efficient QR Sequential Least Square algorithm for high frequency GNSS Precise Point Positioning seismic application, *Adv. Space Res.* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.10.032>

