

L'ÉCHELLE DE L'ITRF ET LES ÉCHELLES DES TECHNIQUES SPATIALES: DORIS, GNSS, SLR ET VLBI

36^{ème} réunion de la commission Geopos, Observatoire de Paris, 17/10/2019

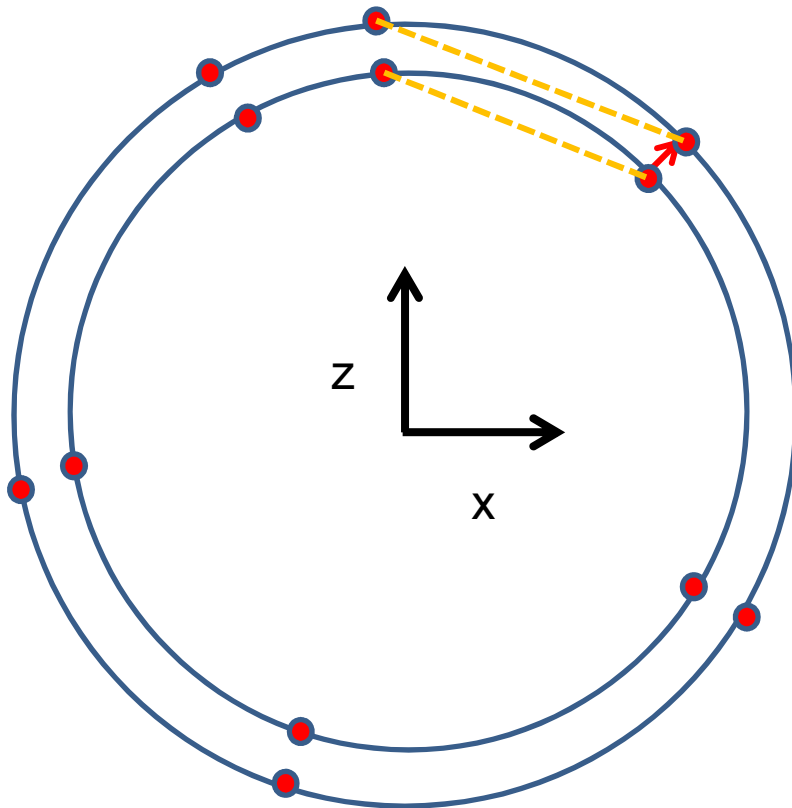
Z. Altamimi, P. Rebischung, X. Collilieux
Equipe ITRF IPGP - IGN

PLAN

- Introduction
- L'échelle ITRS telle que définie dans les conventions IERS
- L'échelle ITRF au fil de ses différentes versions
- Echelle ITRF et erreurs systématiques des techniques
- ITRF2014 et l'accord entre SLR et VLBI
- Apport potentiel des GNSS (Galileo)

INTRODUCTION

- Echelle d'un système de référence = unité de longueur



Systeme de référence : le concept

Repère de référence : coordonnées de points de référence

Changement d'échelle du repère :

Les longueurs sont modifiées.

**Précision actuelle de l'échelle :
 $\approx 10^{-9} = 1$ ppb (partie par milliard)**

INTRODUCTION

■ Réseau et techniques de géodésie spatiale



DORIS



SLR



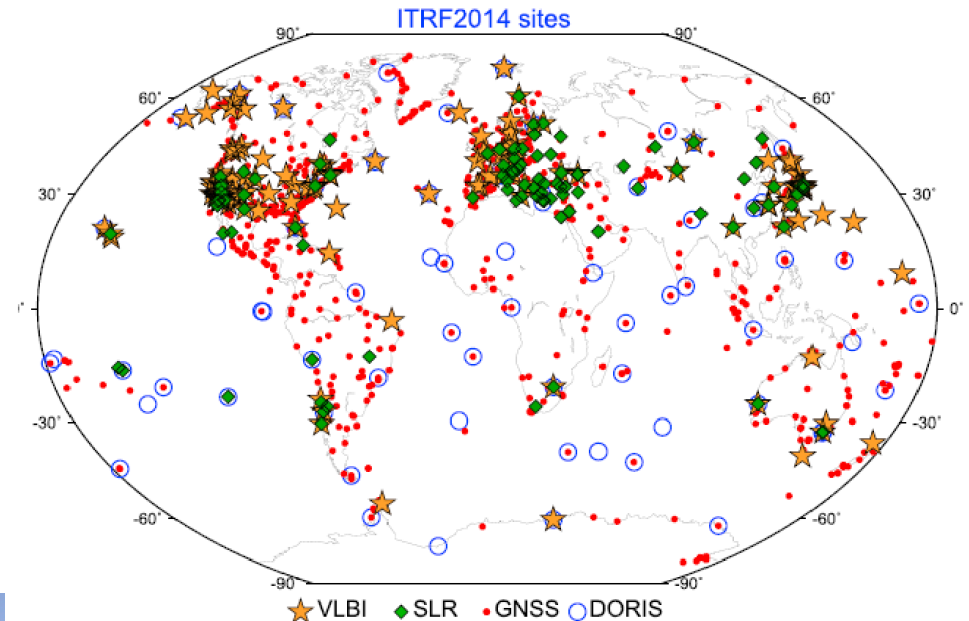
GNSS



VLBI



Rattachements sol

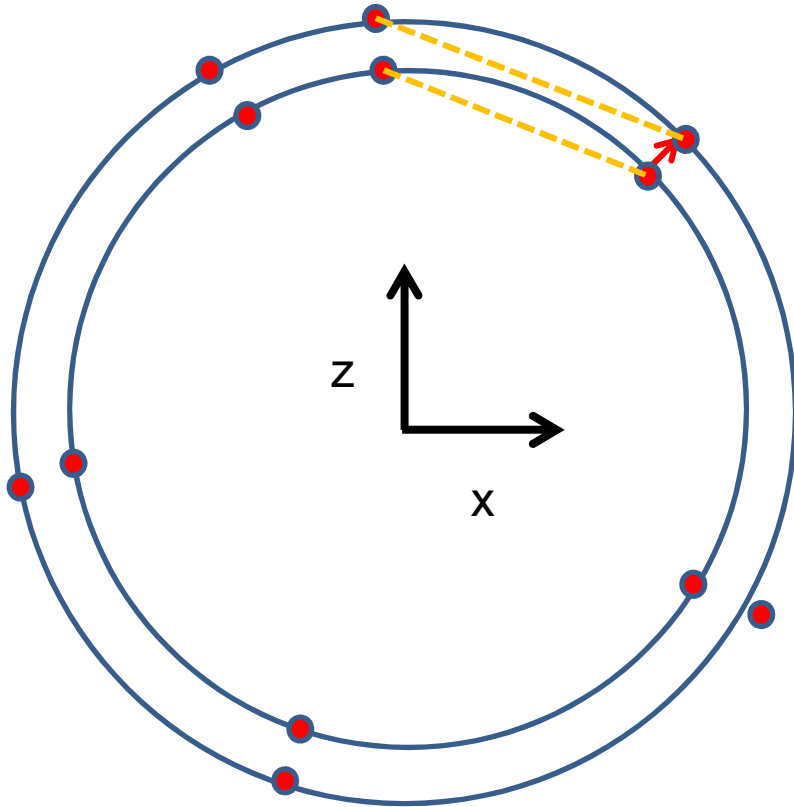


Réseau ITRF2014 (Altamimi et al., 2016)

- Le calcul de combinaison remet à l'échelle les coordonnées fournies par chaque technique dans un système de référence commun.
- Cette mise à l'échelle repose sur les rattachements au sol !

INTRODUCTION

■ Remarque



Changement d'échelle du repère :

Les longueurs sont modifiées.

A-t-on une précision de 10^{-9} sur les longueurs entre stations dans l'ITRF ?

- 10^{-9} représente l'accord **moyen** entre échelles des techniques.
- Deux stations éloignées de 100 km n'ont pas une distance connue à 0.1 mm !
- Les mesures de rattachement s'accordent en moyenne à environ 5 mm avec les coordonnées de géodésie spatiale.

■ Comment ce chiffre de 10^{-9} est-il obtenu?

INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM (ITRS): DEFINITION (IERS CONVENTIONS)

- **Origin:** Center of mass of the whole Earth, including oceans and atmosphere
- **Unit of length*:** meter SI, consistent with TCG (geocentric coordinate time)
- **Orientation:** consistent with BIH (Bureau International de l'Heure) orientation at 1984.0.
- **Orientation time evolution:** ensured by using a no-net-rotation condition w.r.t. horizontal tectonic motions over the whole Earth

***The unit of length is the meter (SI). The scale is consistent with the TCG time coordinate for a geocentric local frame, in agreement with IAU and IUGG (1991) resolutions. This is obtained by appropriate relativistic modeling.**

RÉALISATION DE L'ÉCHELLE EN PRATIQUE

- Facteurs qui influencent l'échelle des coordonnées estimées par géodésie spatiale :
 - GM
 - C
 - L'échelle de temps (corrections relativistes) : temps coordonné géocentrique (TCG) ou temps terrestre (TT)
 - Mais aussi toutes erreurs affectant les hauteurs des stations (modélisation du retard atmosphérique, dynamique orbitale, biais instrumentaux...)

L'ÉCHELLE ITRF AU FIL DE SES DIFFÉRENTES VERSIONS

ITRFyy	GNSS	VLBI	SLR	Time scale
ITRF94 → ITRF97(*)	×	×	×	TCG
ITRF2000		×	×	TT
ITRF2005		×		TT
ITRF2008		×	×	TT
ITRF2014		×	×	TT
ITRF2020	?	?	?	TT

(*) **Alignement ITRF97 ==> ITRF96 ==> ITRF94 (VLBI+GPS+SLR)**

$$dTT / dTCG \approx 1 - 7.10^{-10}$$

ECHELLE DE L'ITRF2000

- Echelle des solutions fournies en entrée du calcul de l'ITRF2000 :

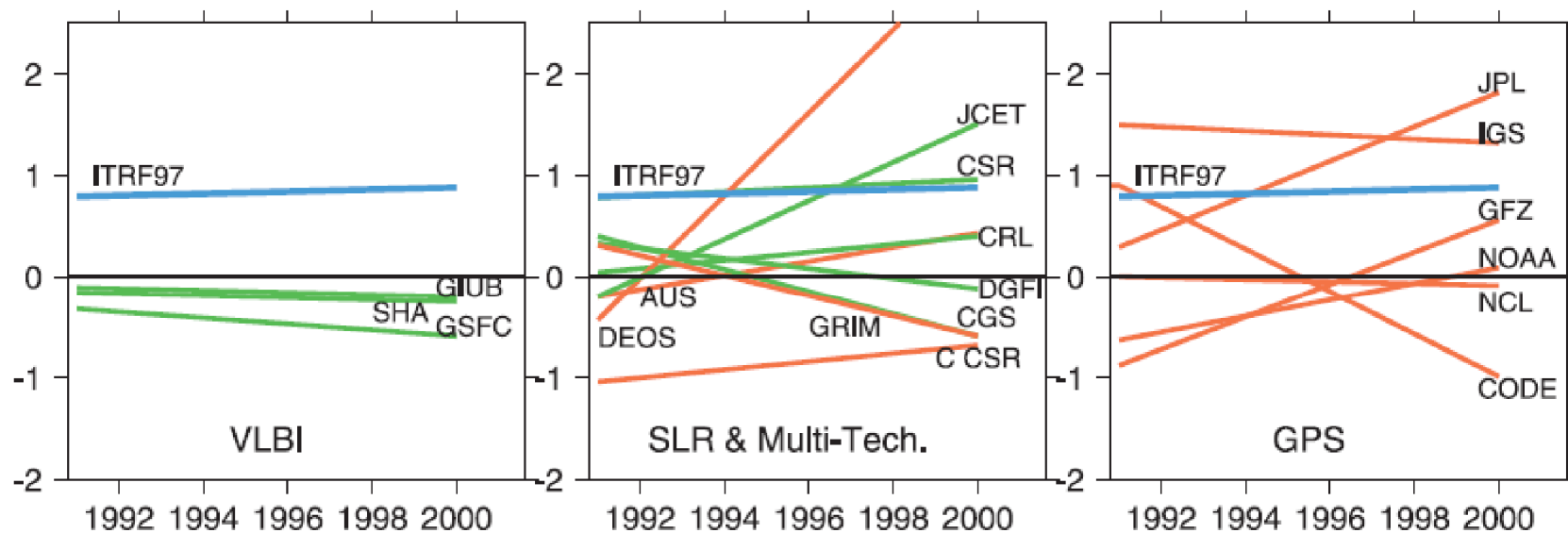
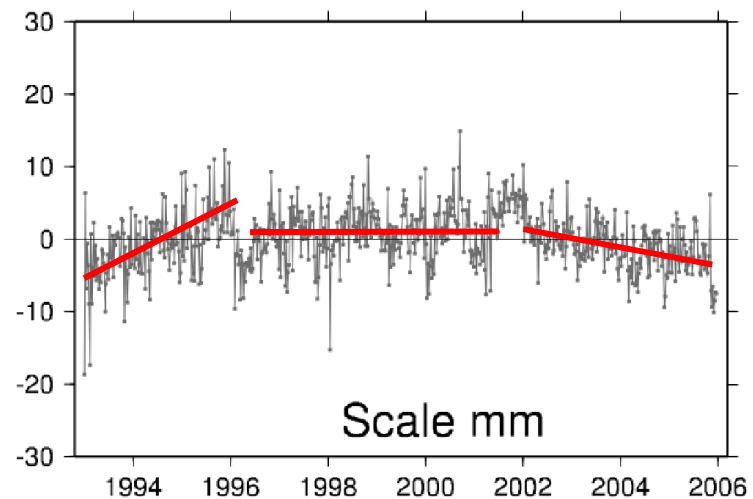
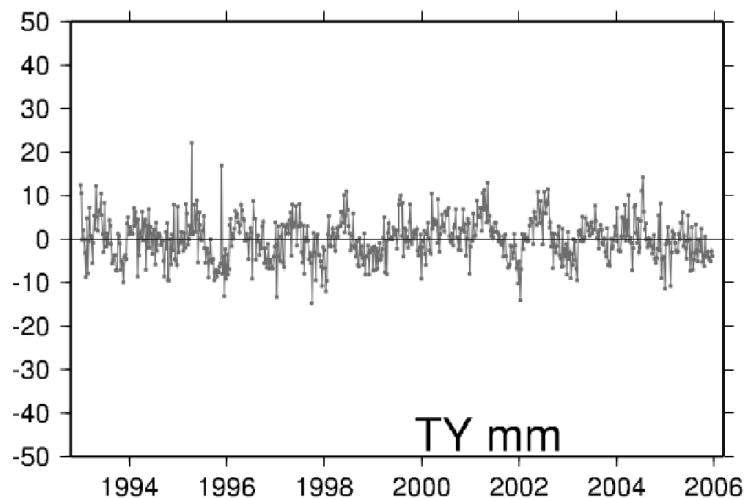
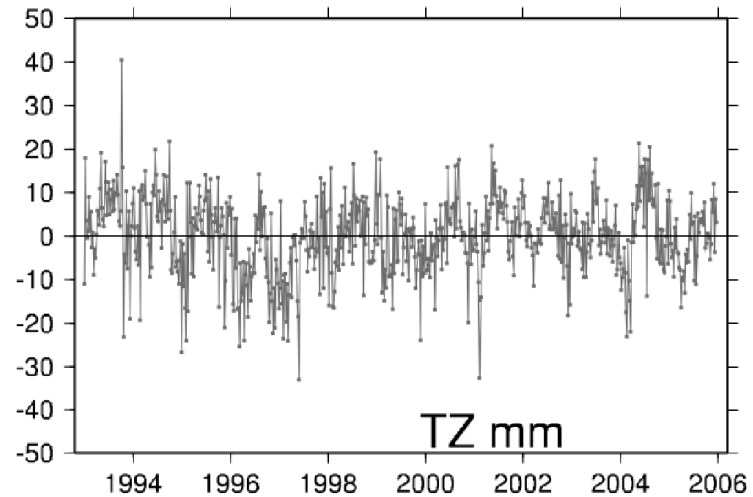
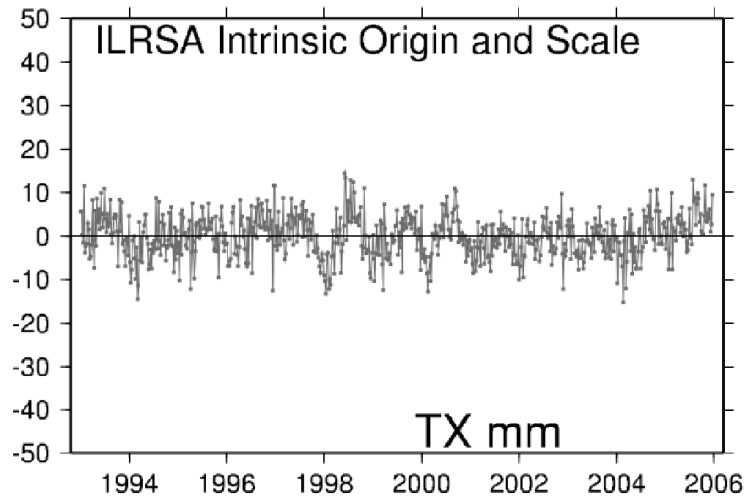


Figure 4. Scale variations (ppb) of VLBI, SLR and multitechnique, and GPS solutions. Green lines (grey in B&W version) indicate solutions whose scale weighted average was used to define the ITRF2000 scale. The ITRF97 scale, inserted on these plots, is reduced to TT frame (see text).

Paysage bien arrosé

ECHELLE DE L'ITRF2005

■ Solutions SLR en entrée du calcul de l'ITRF2005 :



ECHELLE DE L'ITRF2005

■ Solutions DORIS en entrée du calcul de l'ITRF2005 :

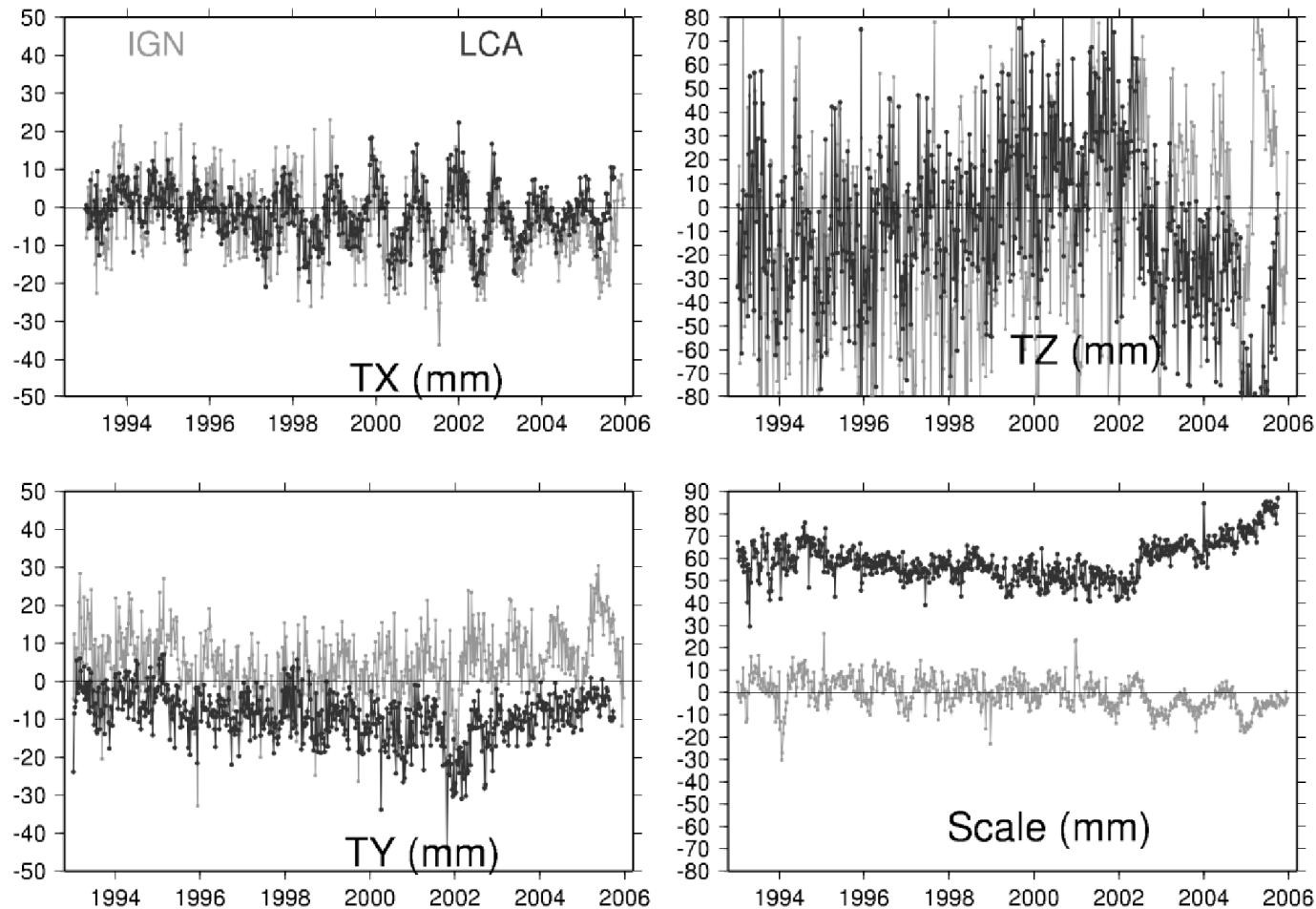
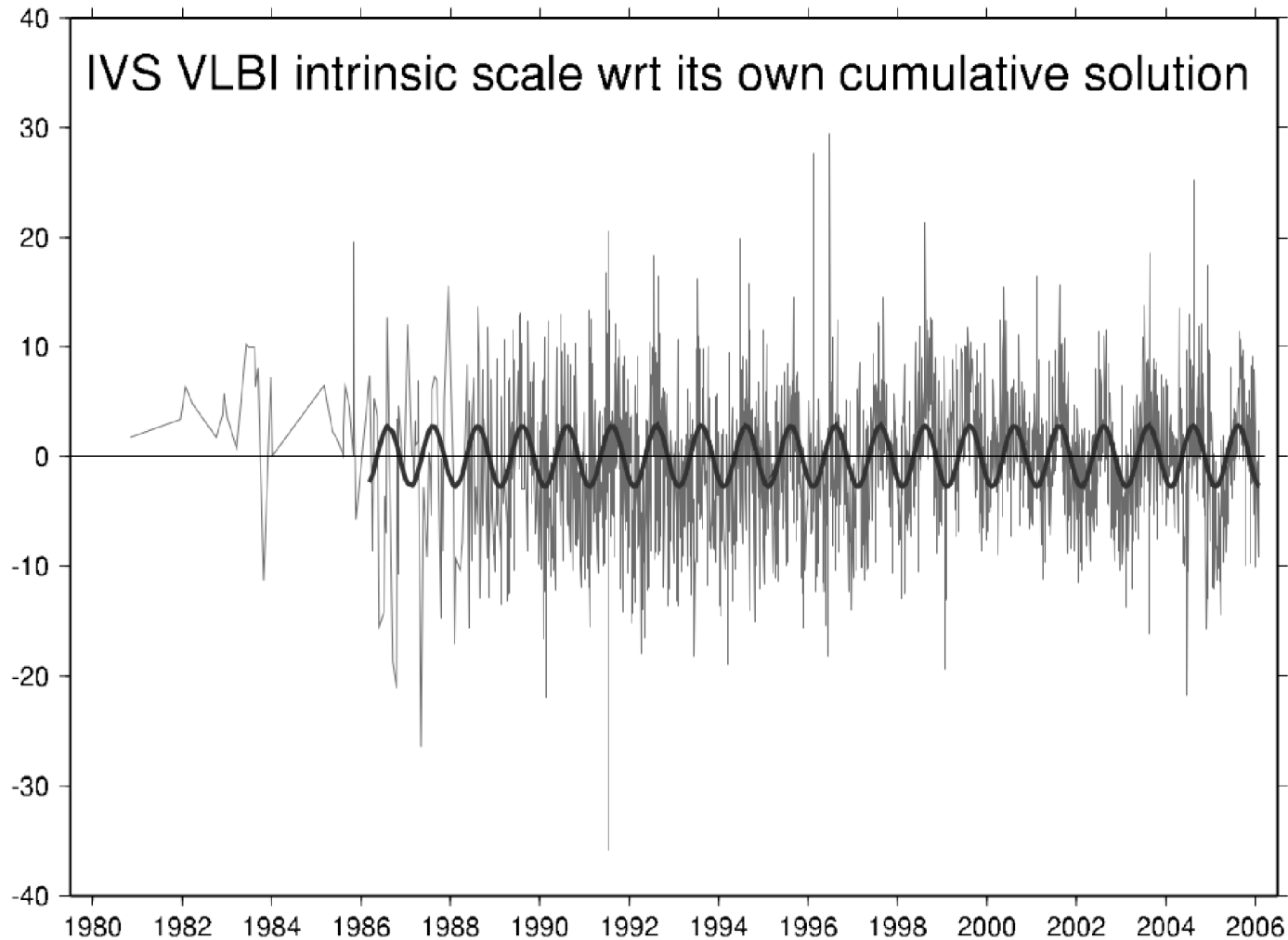


Figure 6. Temporal translation and scale parameters of IGN and LCA DORIS solutions with respect to ITRF2005.

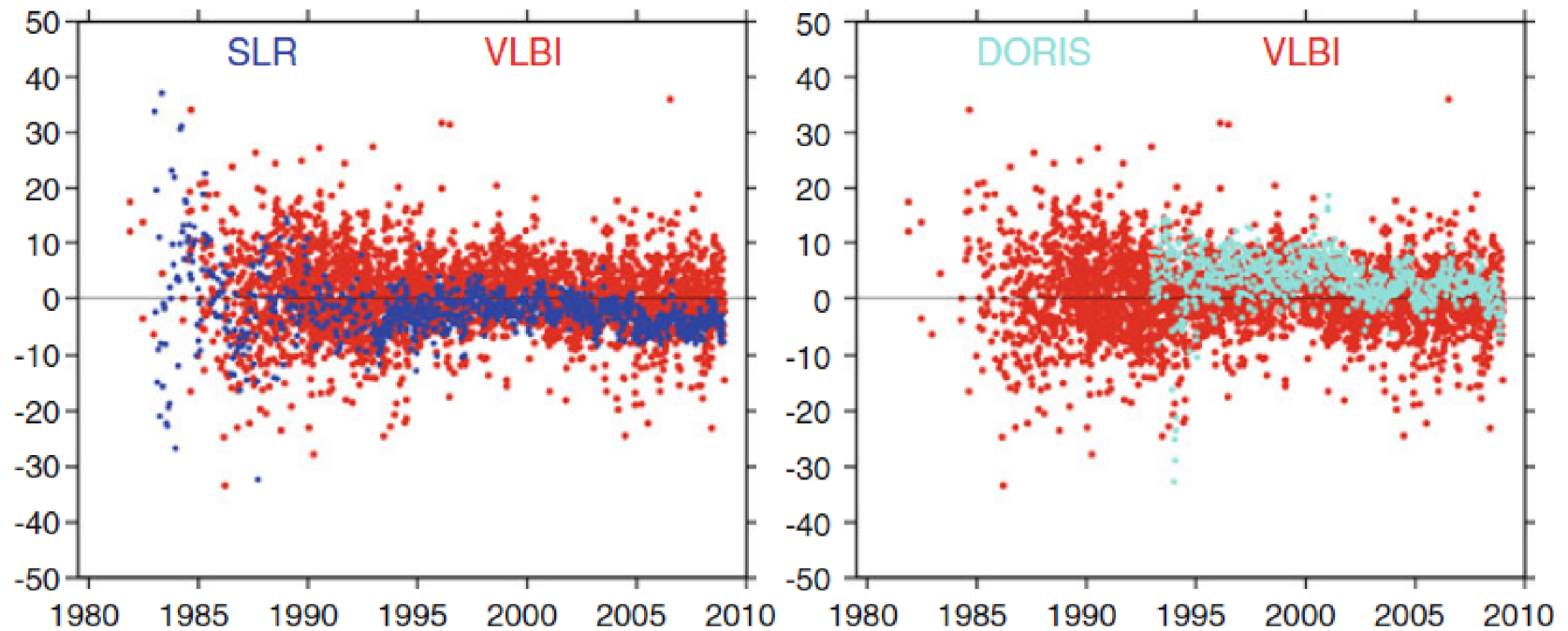
ECHELLE DE L'ITRF2005

- Echelle des solutions VLBI en entrée du calcul de l'ITRF2005 [mm] :



ECHELLE DE L'ITRF2008

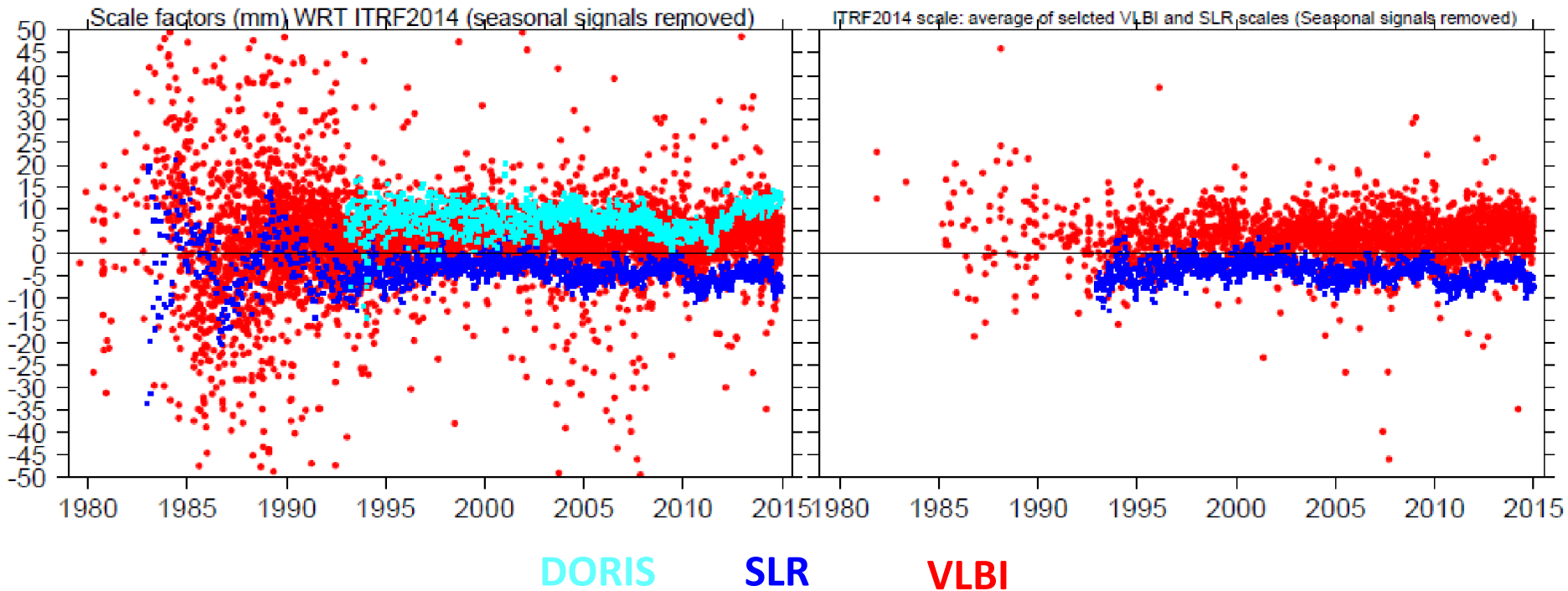
- Echelle des solutions SLR, VLBI et DORIS fournies en entrée du calcul de l'ITRF2008 [mm]:



SLR to VLBI scale offset : 1.05 ppb at epoch 2005.0

ECHELLE DE L'ITRF2014

- Echelle des solutions SLR, VLBI et DORIS fournies en entrée du calcul de l'ITRF2014 [mm]:



SLR to VLBI scale offset : 1.4 ppb at epoch 2010.0

ECHELLE ET ERREURS SYSTÉMATIQUES DES TECHNIQUES

■ GNSS :

- Corrections de centre de phase des antennes satellites
- Corrections de centre de phase des antennes sol

■ DORIS :

- Comportements différents selon les satellites
- Angle de coupure et pondération

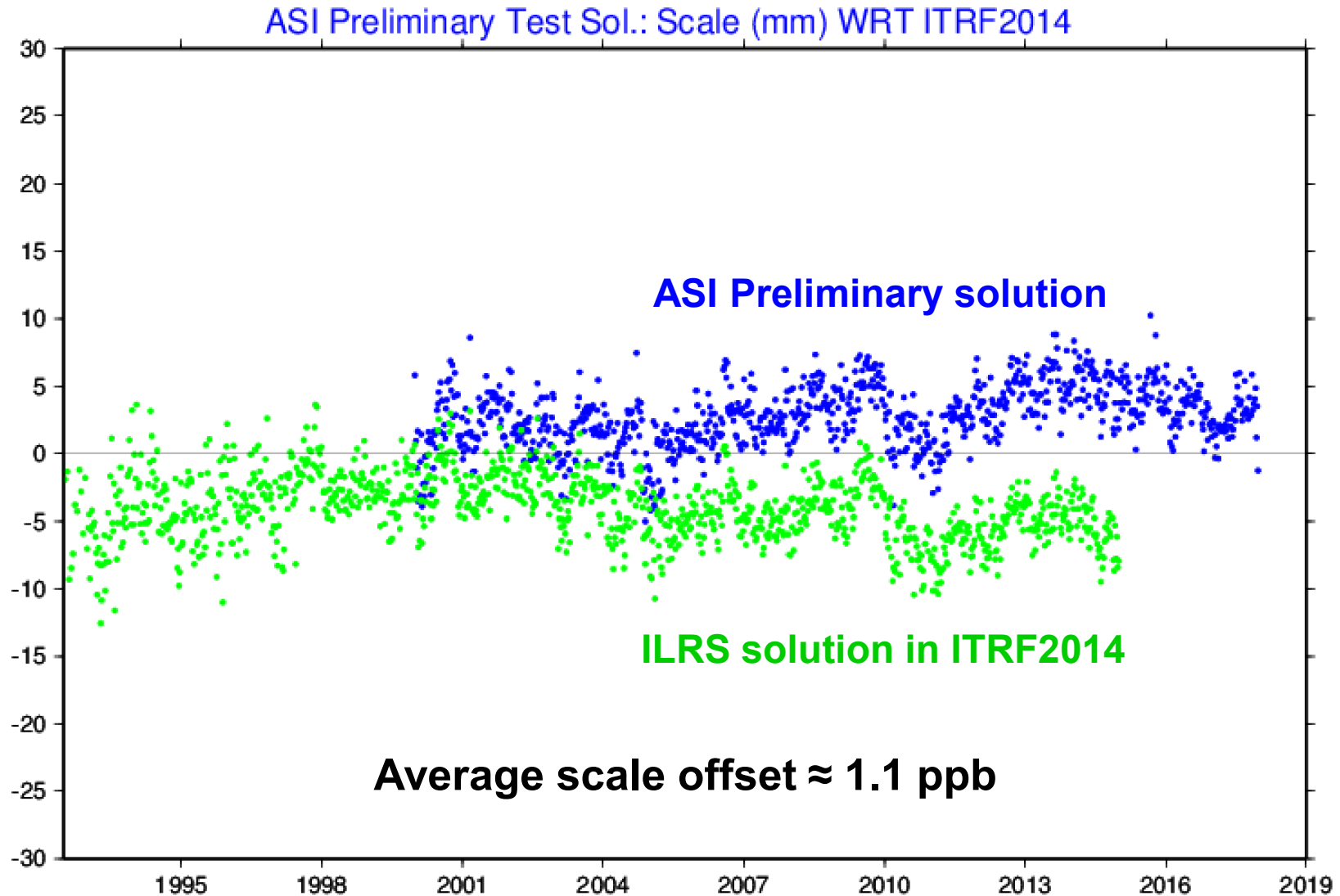
■ SLR :

- **Biais en distance**
- Corrections de centre de masse satellite (par station)

■ VLBI :

- Déformations gravitationnelles (et thermiques ?) des antennes
- Sessions VLBI : petit nombre de stations et géométrie variable

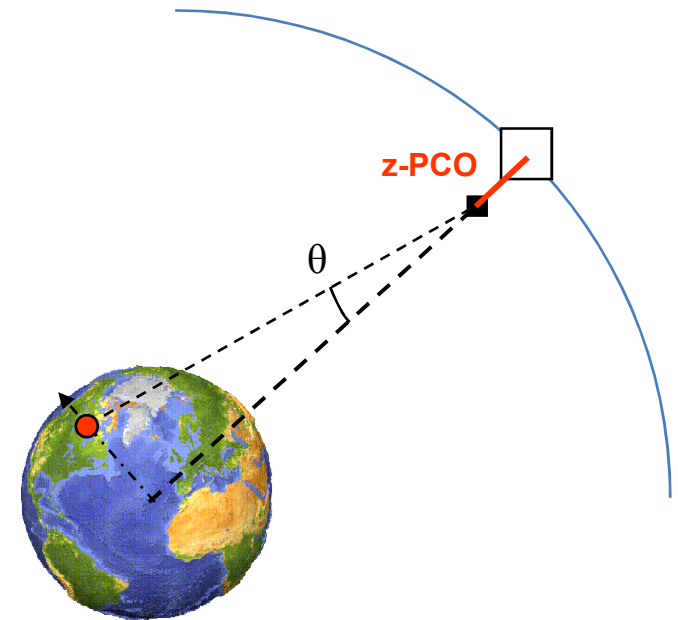
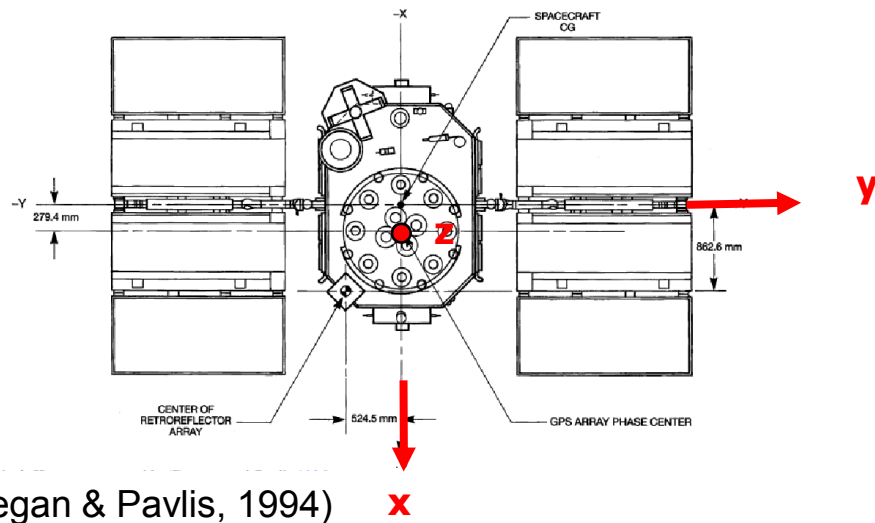
ASI SLR PRELIMINARY SOLUTION: SCALE WRT ITRF2014



ECHELLE GNSS ET PCO SATELLITES

- PCO (phase centre offset) = vecteur entre centre de masse du satellite et position du centre de phase moyen de l'antenne

Repère dans lequel sont exprimés les PCOs



ECHELLE GNSS ET PCO SATELLITES

■ Estimation conjointe

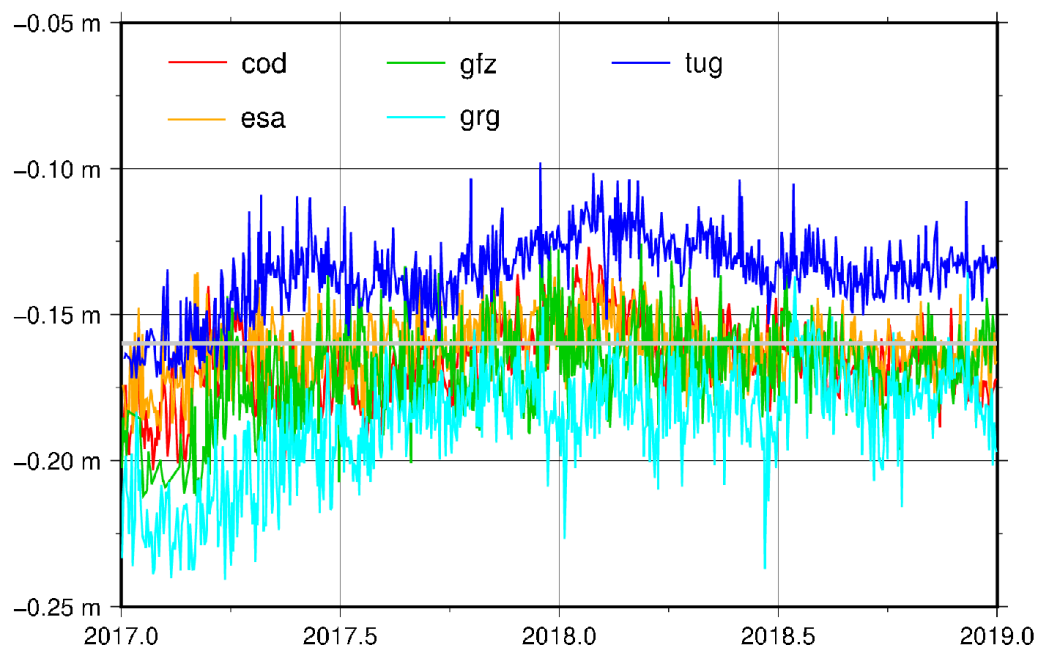
- des hauteurs des stations,
- des retards troposphériques,
- des décalages d'horloges des stations et des satellites,
- des z-PCOs satellites

→ Quasi-singularité

- Jusqu'à maintenant, l'IGS s'est appuyé sur l'échelle de l'ITRF pour déterminer des z-PCOs satellites conventionnels.
- La publication par GSA de métadonnées (dont PCOs) sur les satellites Galileo ouvre la voie à une détermination de l'échelle terrestre par GNSS.

ECHELLE GNSS ET PCO SATELLITES

- A partir de solutions multi-GNSS fournies par 5 centres d'analyse, les z-PCOs des satellites GPS ont été ré-estimés à partir des z-PCOs Galileo :



Corrections estimées aux z-PCOs GPS actuellement utilisés (basés sur l'échelle de l'ITRF2014)

- Correction moyenne estimée :

-16.0 ± 2.5 cm

↔ $+8.0 \pm 1.3$ mm sur l'échelle

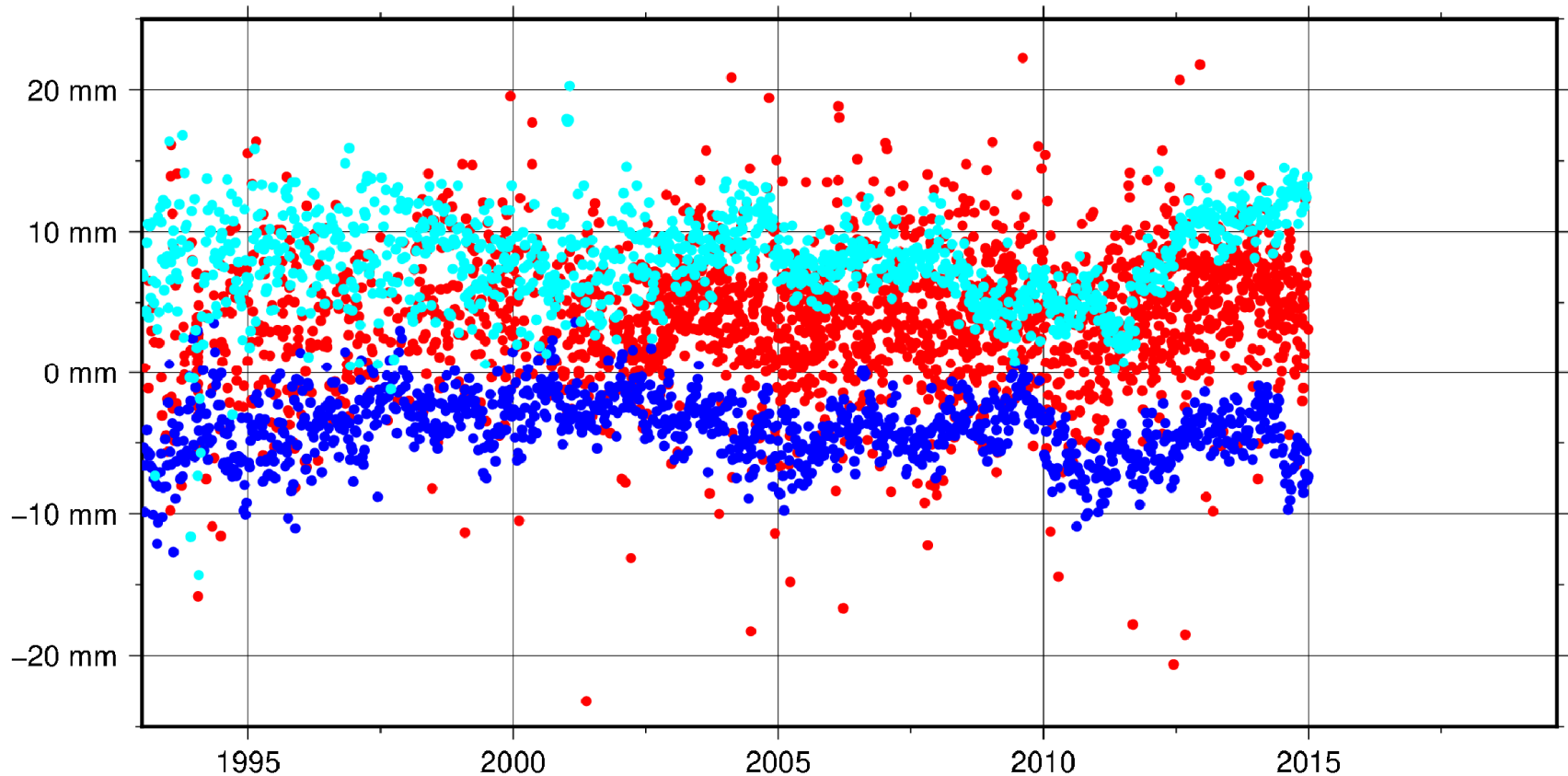
↔ $+1.3 \pm 0.2$ ppb

- Cette correction sera appliquée aux z-PCOs GPS dans le prochain reprocessing IGS.

- La contribution GNSS à l'ITRF2020 aura une échelle indépendante, basée sur Galileo, qui pourrait contribuer à définir l'échelle de l'ITRF2020.

FUTURE ECHELLE GNSS

Scale factors wrt ITRF2014



●●● VLBI contribution to ITRF2014

+ 4.4 + 0.11 (t - 2010) mm

●●● SLR contribution to ITRF2014

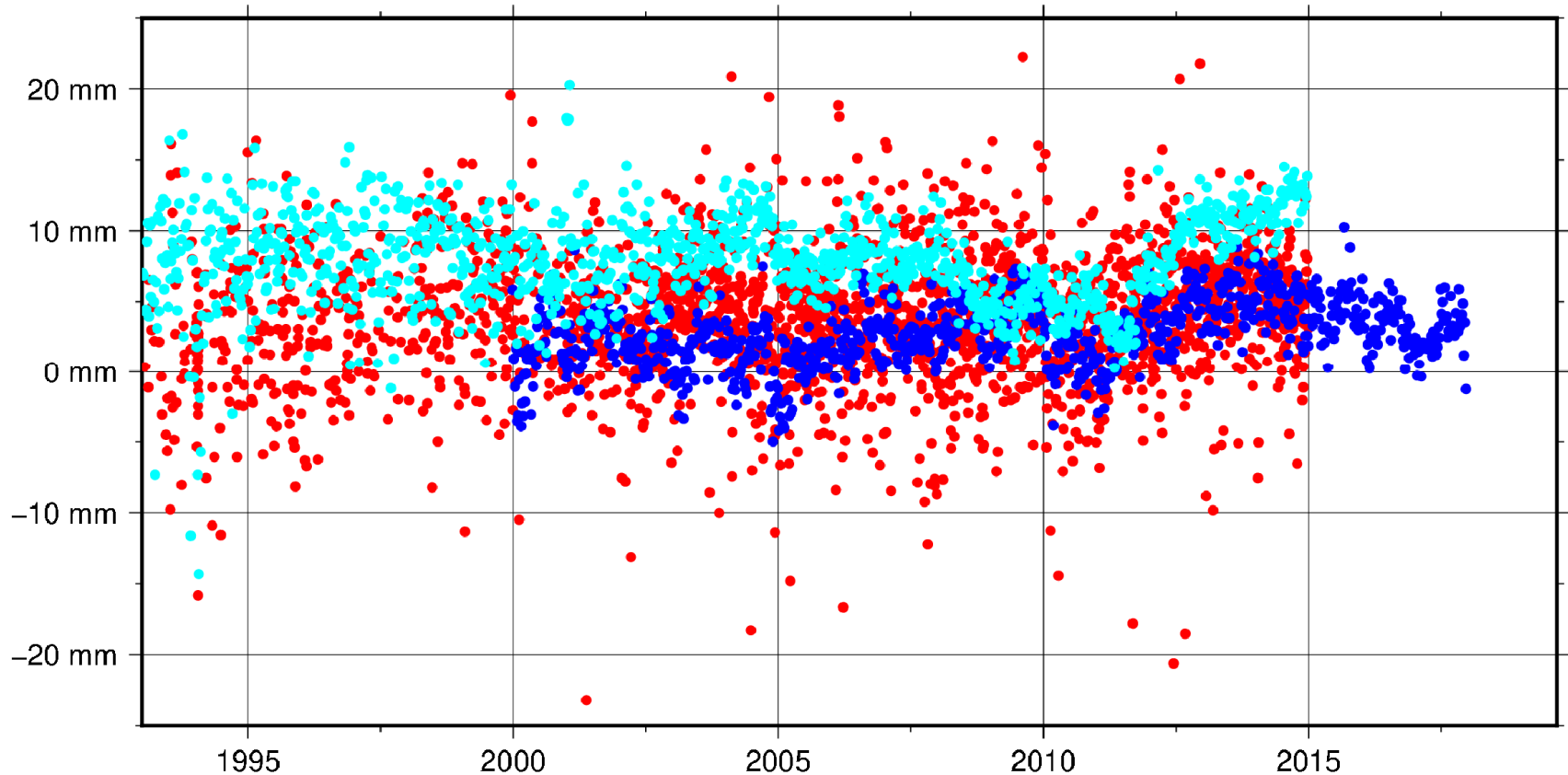
- 4.4 - 0.08 (t - 2010) mm

●●● DORIS contribution to ITRF2014

+ 7.2 - 0.11 (t - 2010) mm

FUTURE ECHELLE GNSS

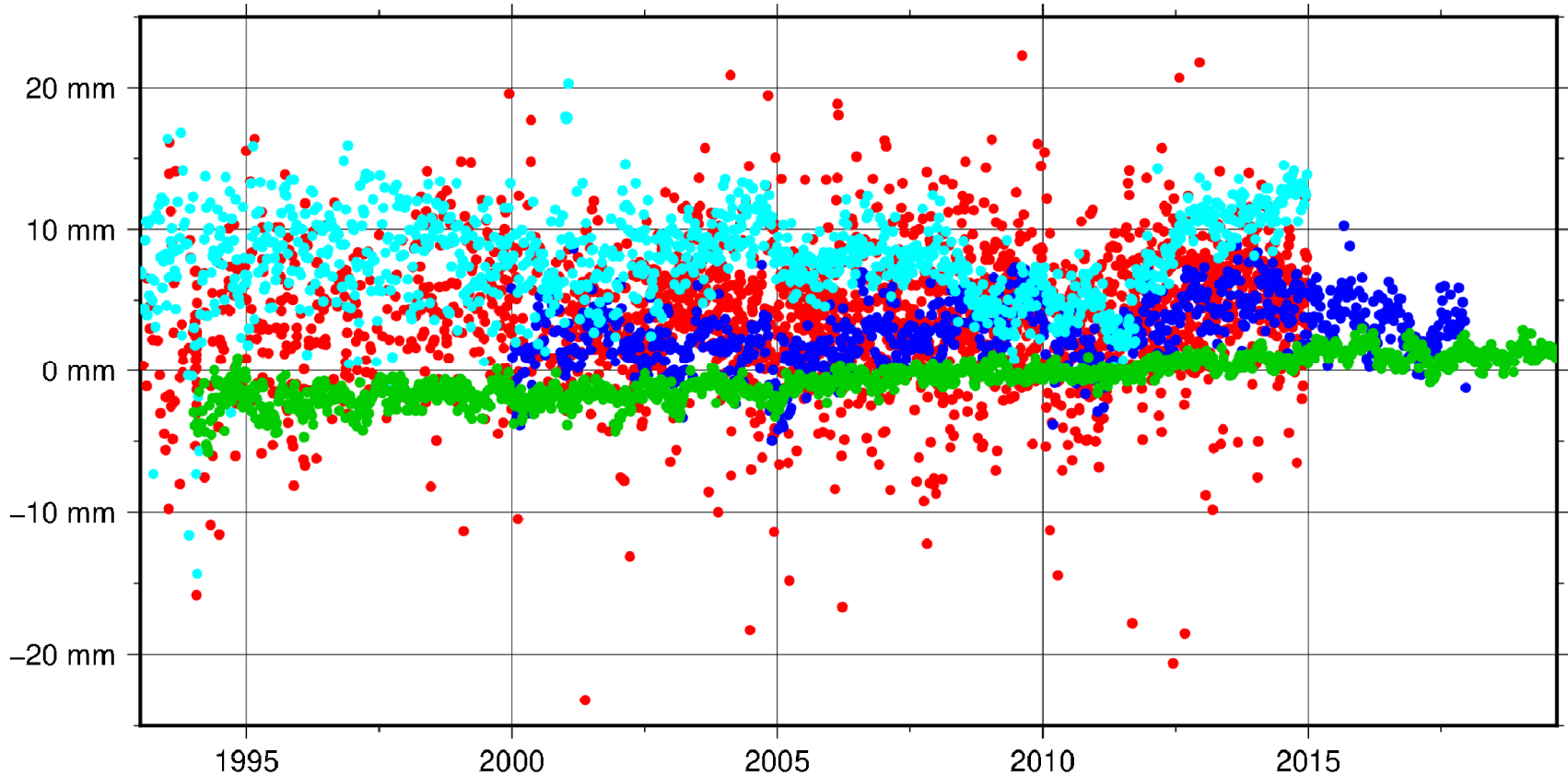
Scale factors wrt ITRF2014



- VLBI contribution to ITRF2014 $+ 4.4 + 0.11 (t - 2010)$ mm
- SLR ASI solution – new range biases $+ 2.9 + 0.16 (t - 2010)$ mm
- DORIS contribution to ITRF2014 $+ 7.2 - 0.11 (t - 2010)$ mm

FUTURE ECHELLE GNSS

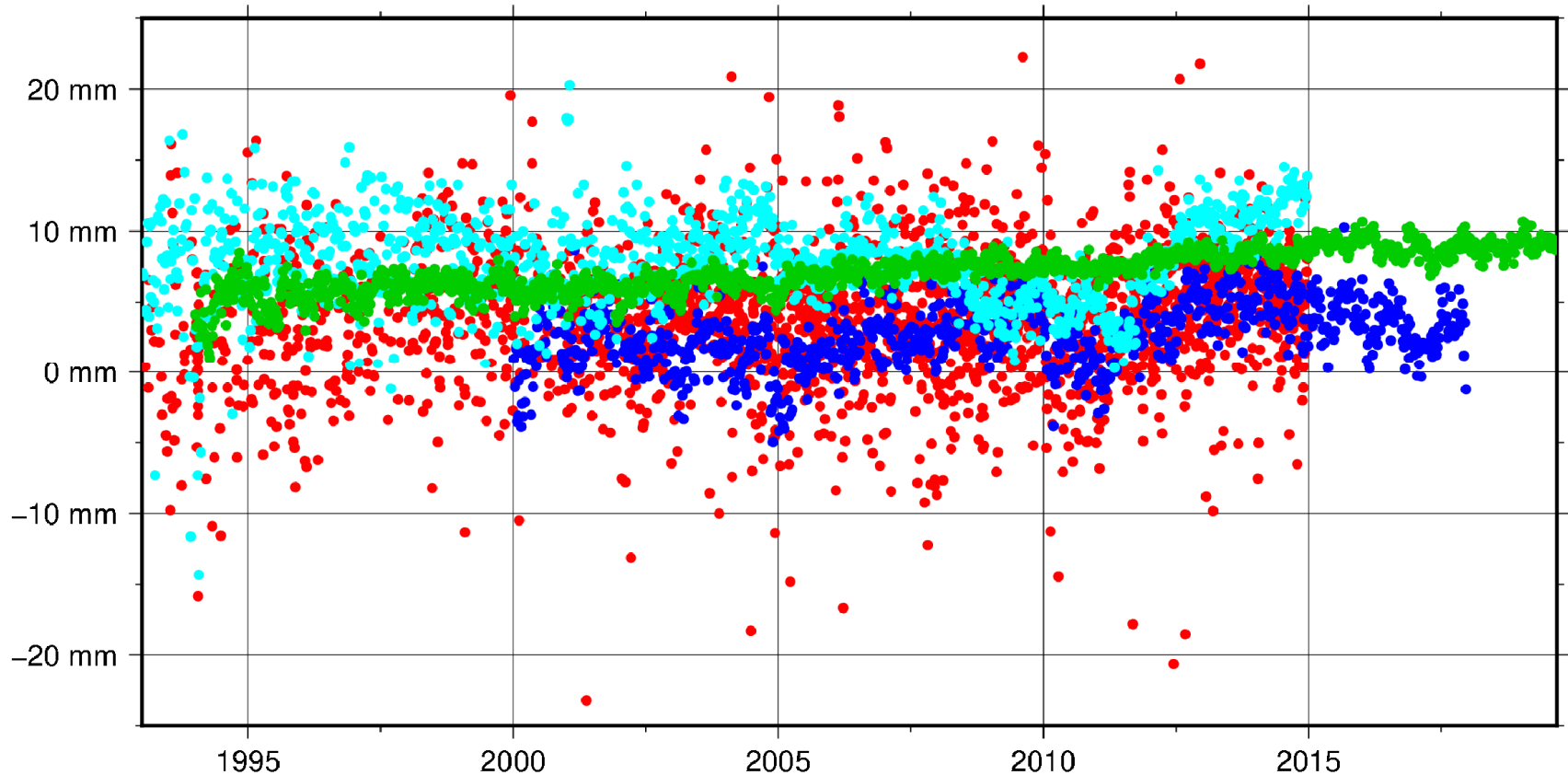
Scale factors wrt ITRF2014



- VLBI contribution to ITRF2014 $+ 4.4 + 0.11 (t - 2010)$ mm
- SLR ASI solution – new range biases $+ 2.9 + 0.16 (t - 2010)$ mm
- DORIS contribution to ITRF2014 $+ 7.2 - 0.11 (t - 2010)$ mm
- igs14.atx-based IGS combined solutions $- 0.1 + 0.18 (t - 2010)$ mm

FUTURE ECHELLE GNSS

Scale factors wrt ITRF2014



- VLBI contribution to ITRF2014 $+ 4.4 + 0.11 (t - 2010)$ mm
- SLR ASI solution – new range biases $+ 2.9 + 0.16 (t - 2010)$ mm
- DORIS contribution to ITRF2014 $+ 7.2 - 0.11 (t - 2010)$ mm
- igsR3.atx-based IGS combined solutions $+ 7.7 + 0.17 (t - 2010)$ mm

CONCLUSION

- L'échelle ITRF est passée par des hauts et des bas jusqu'à l'ITRF2000.
- ITRF2005 : adoption de l'échelle VLBI, mécontentement ILRS/SLR
- ITRF2008 : échelle moyenne VLBI + SLR
 - Offset 1.05 ppb à l'époque 2005.0
 - Dérive 0.05 ppb/an
- ITRF2014 : échelle moyenne VLBI + SLR
 - Offset 1.39 ppb à l'époque 2010.0
 - Dérive 0.02 ppb/an
- Echelle ITRF2020 : on verra bien.