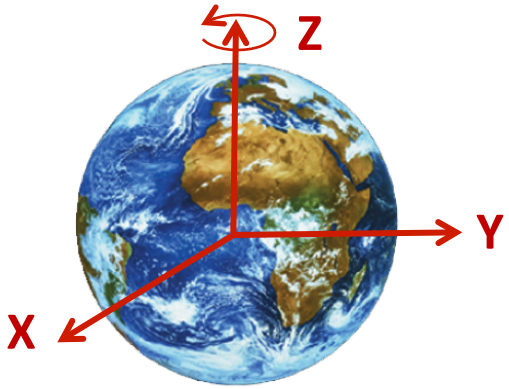
ITRF et déformations de la surface terrestre

Vers une représentation millimétrique de la forme de la Terre

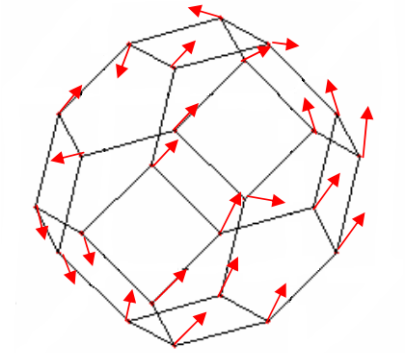
Paul Rebischung, Zuheir Altamimi

ITRS & ITRF : paradigme actuel

- **Le système international de référence terrestre (ITRS):**
  - Trièdre idéal attaché à la croûte terrestre
  - Défini par
    - son origine (centre des masses de la Terre),
    - son échelle (cohérente avec la définition SI du mètre),
    - son orientation (orientation du BIH à l'époque 1984.0),
    - l'évolution temporelle de son orientation (condition de non-rotation globale).

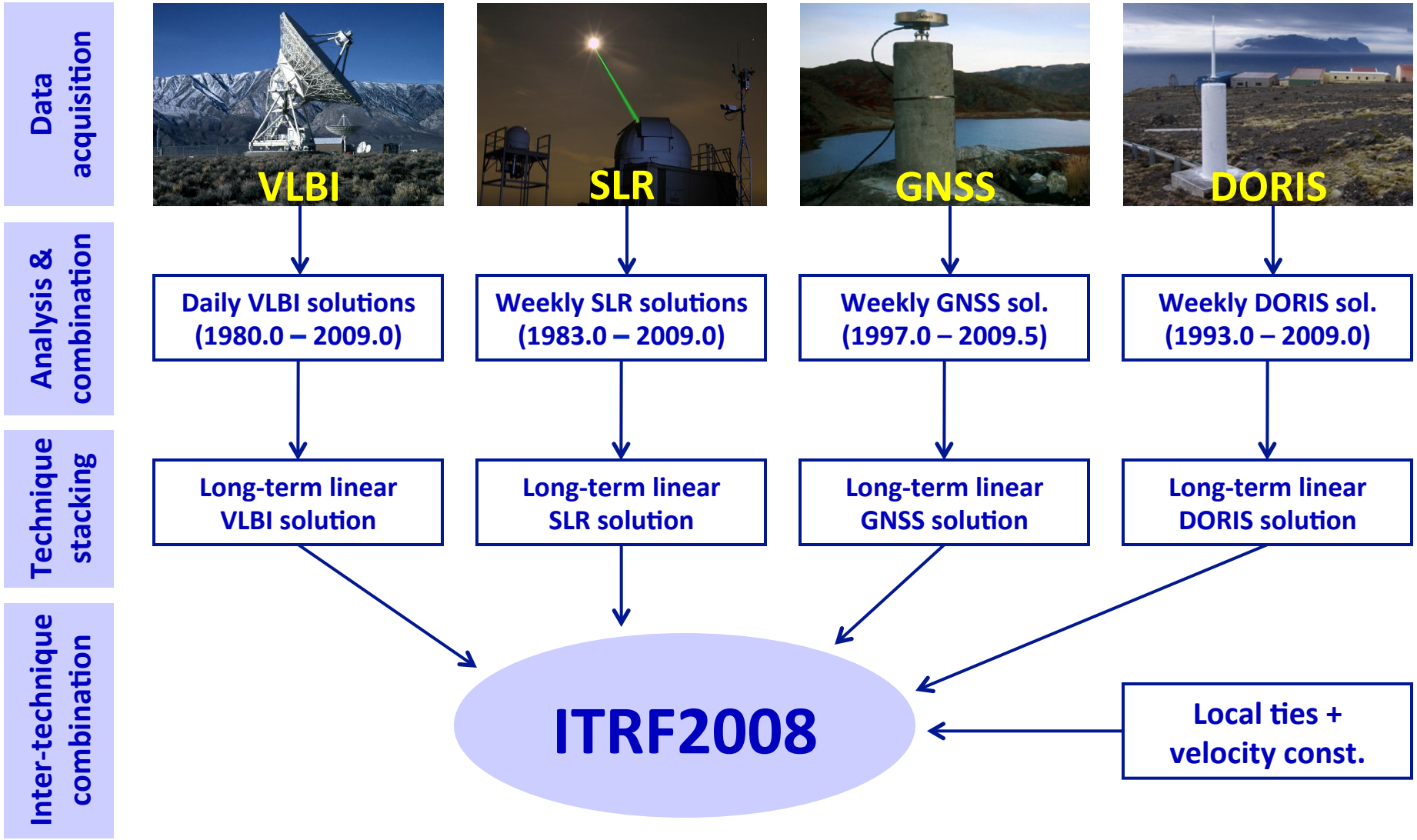


- **Le repère international de référence terrestre (ITRF):**
  - Matérialisation physique de l'ITRS
  - Positions & vitesses précises de points géodésiques (polyèdre se déformant linéairement)
  - Dernière réalisation: ITRF2008 (Altamimi et al., 2011)
  - ITRF2014 en préparation

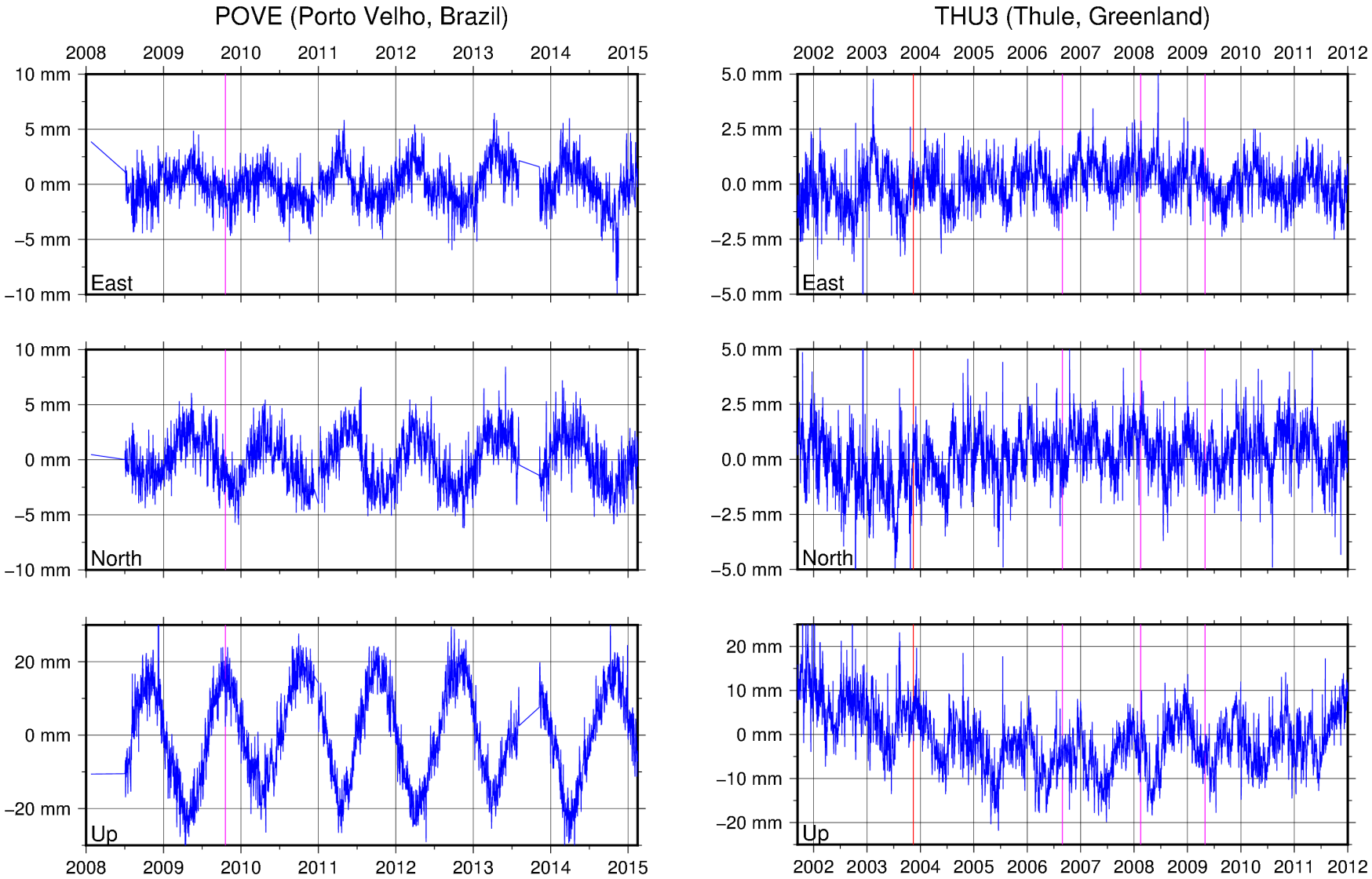


Collilieux et al., 2010

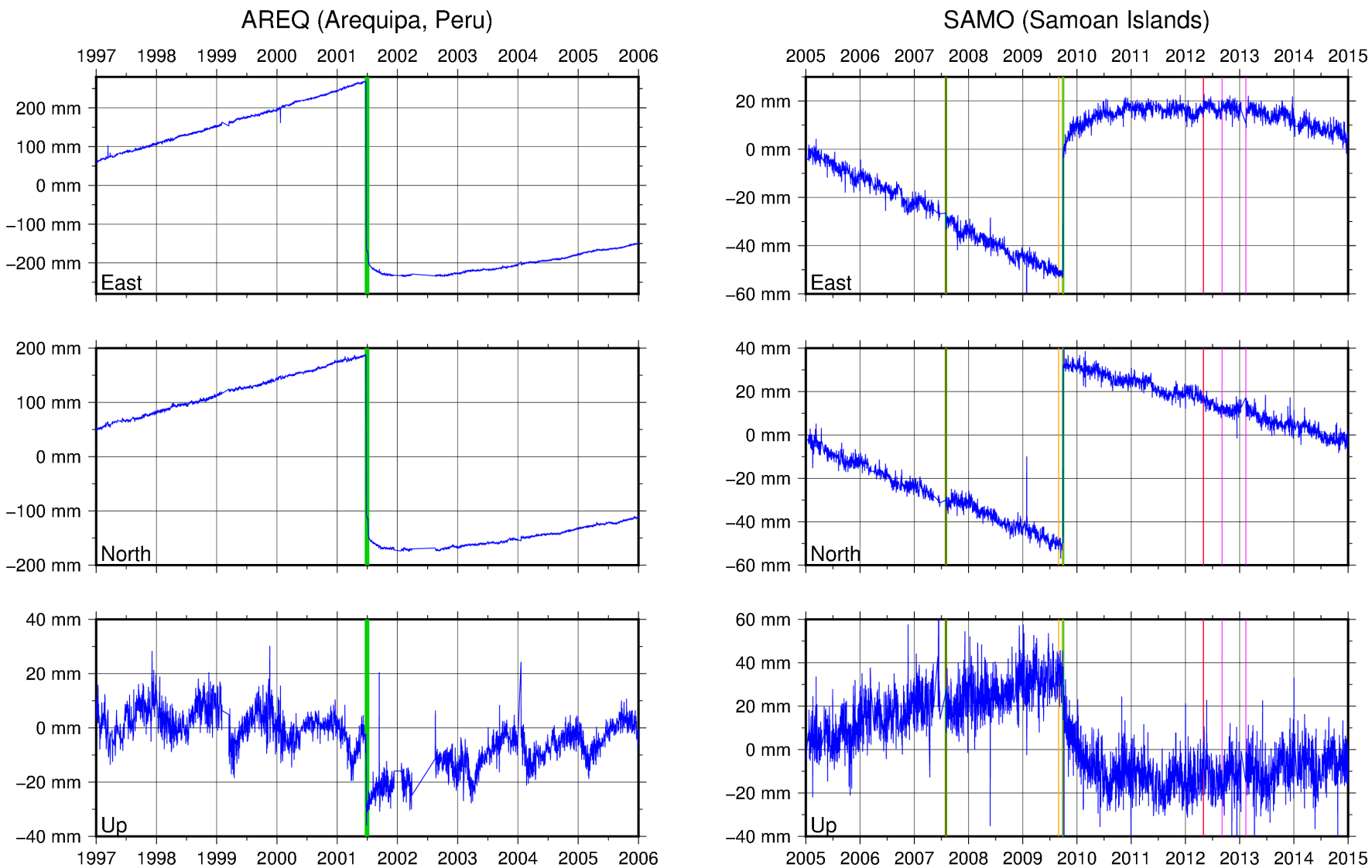
Elaboration de l' ITRF2008



Mouvements non-linéaires : exemples

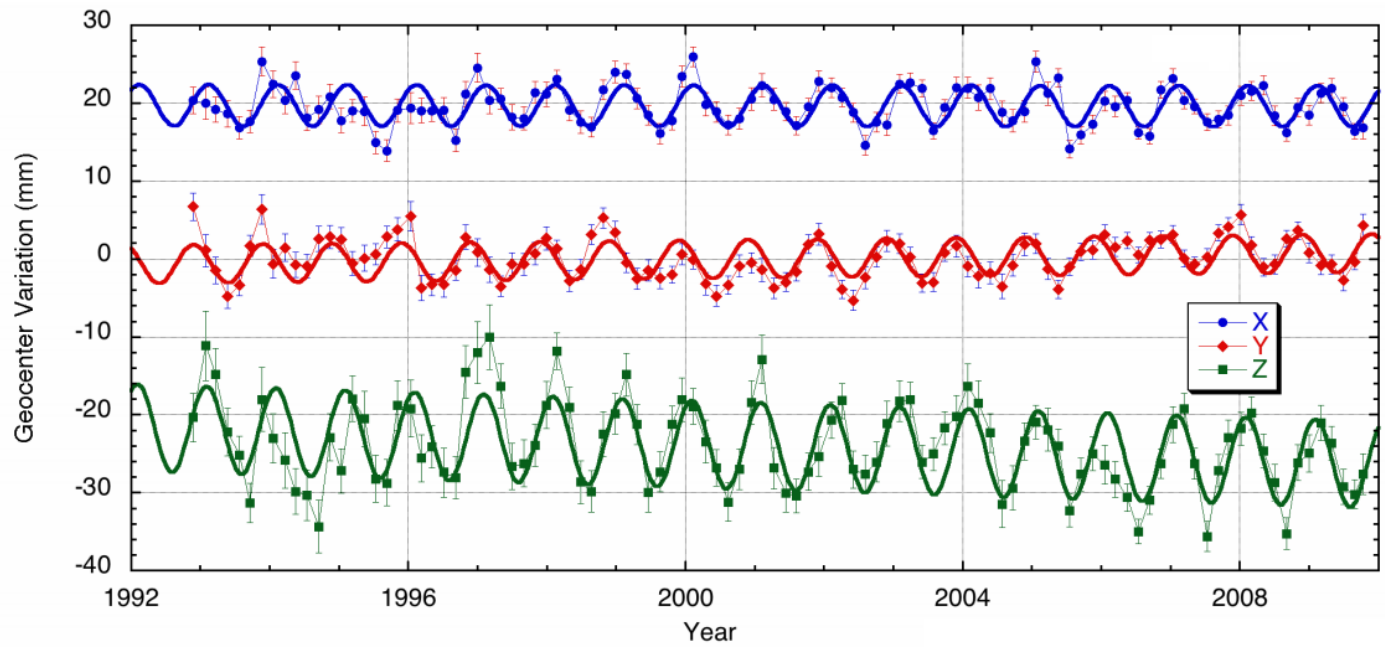


Mouvements non-linéaires : exemples



Mouvement du géocentre

- **Mouvement d'ensemble de la surface (des stations) par rapport au centre de masse de la Terre, dû à des redistributions de masse**



Série temporelle de mouvement du géocentre estimée par SLR (Ries, 2010)

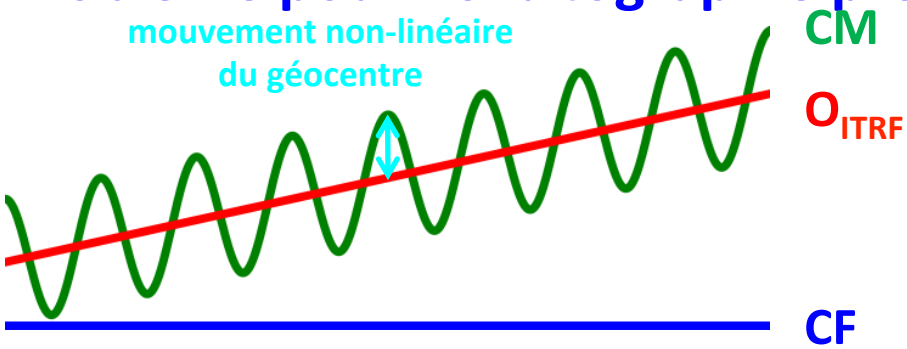
Problématique

- L' ITRF linéaire ne représente pas la forme instantanée de la Terre.

→ "Effet de réseau" (Collilieux et al., 2012)
(contamination des paramètres de transformation par les mouvements non-linéaires des stations lors de l'alignement de repères instantanés sur l'ITRF)

- L' origine de l' ITRF linéaire n' est pas le centre de masse instantané de la Terre.

→ Problème pour l'orbitographie précise (Melachroinos et al.,



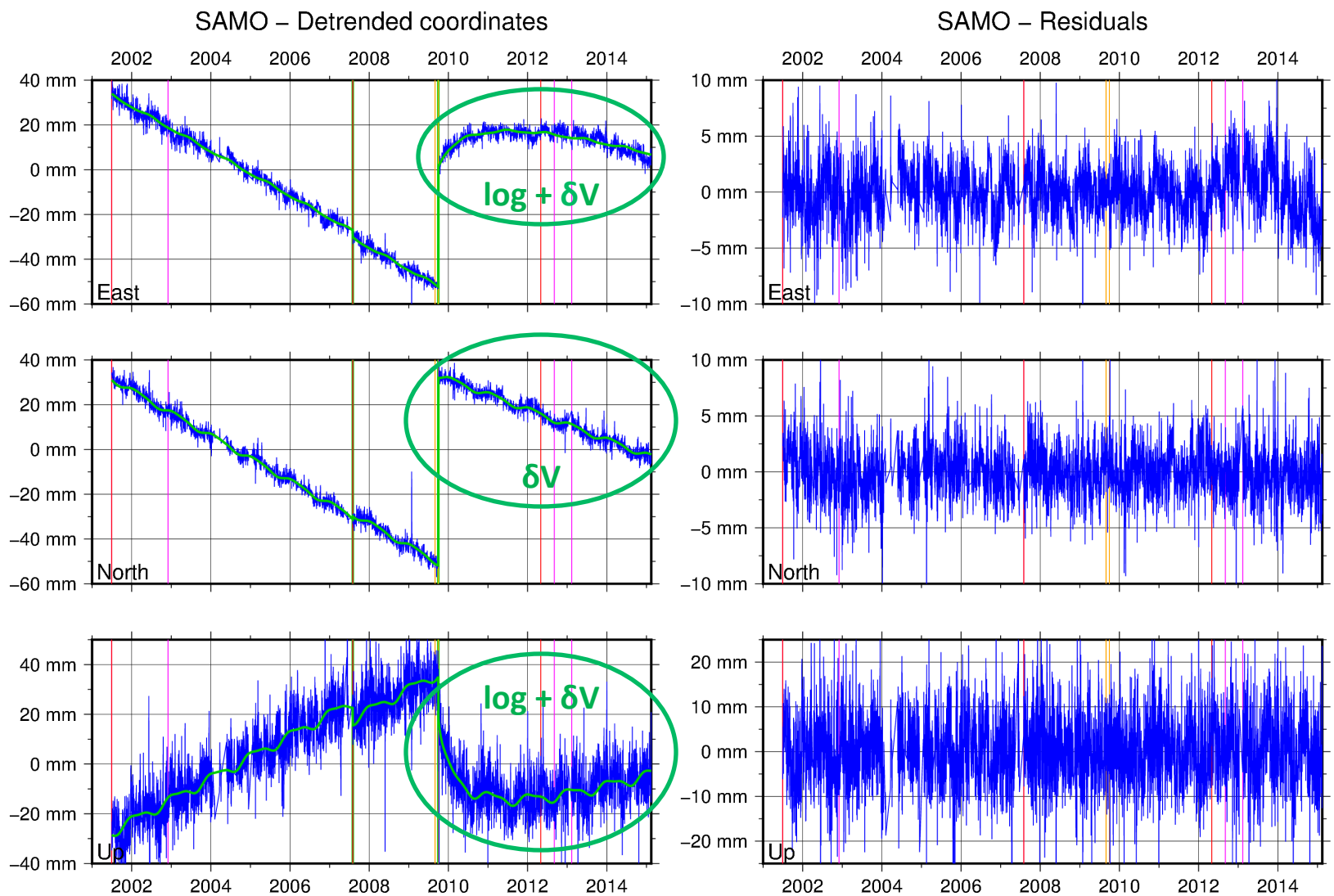
Comment tenir compte de ces déformations non-linéaires dans l'ITRF ?

Représentation paramétrique (1/2)

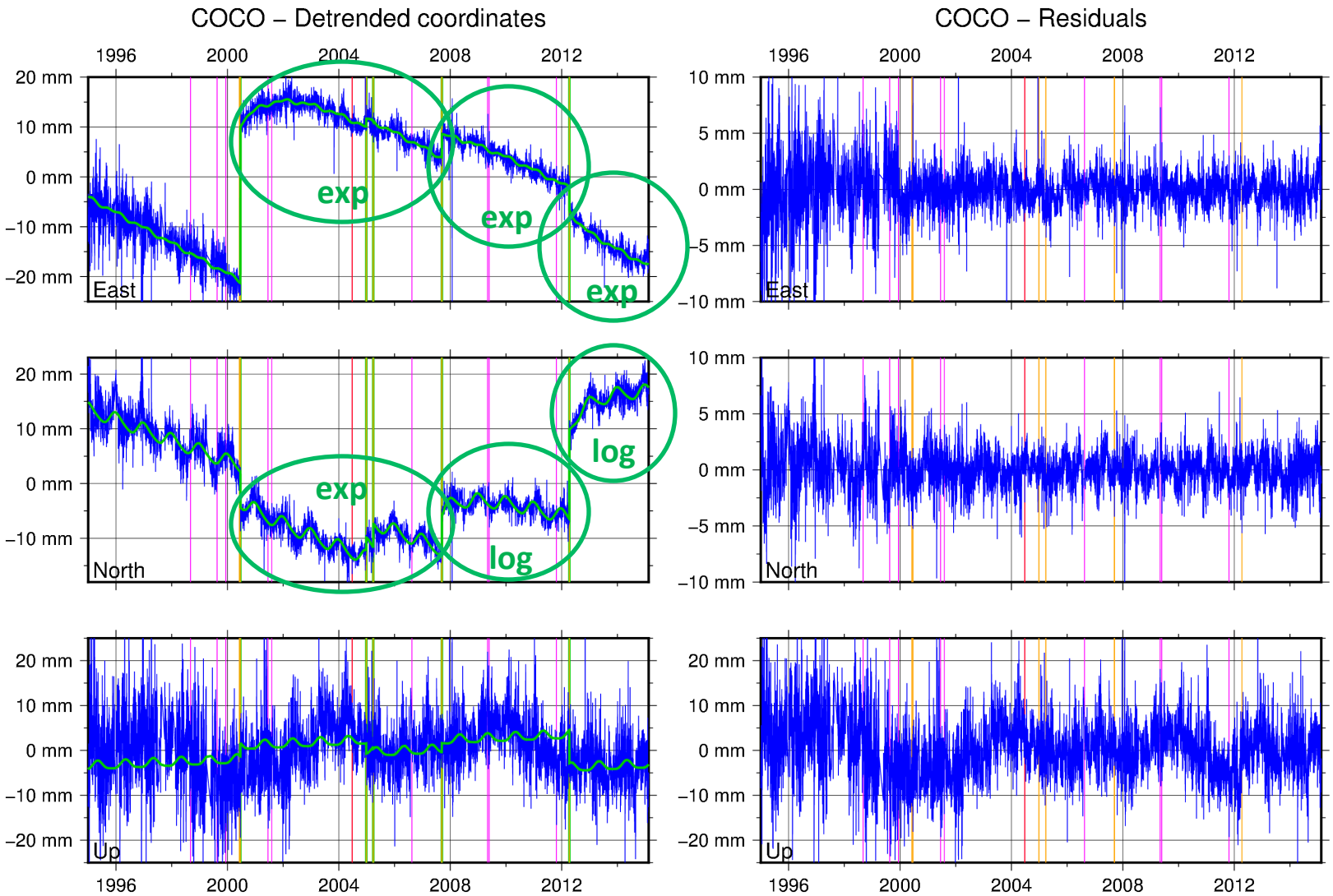
- **Représentation des déformations post-sismiques par des logarithmes et des exponentielles (Lercier, 2014)**
  - Modèles estimés à partir des séries temporelles IGS repro2
  - Retirés avant le calcul de l'ITRF2014
  - Pourront être ajoutés par les utilisateurs

- **Progrès dans la représentation des déformations post-sismiques dans l'ITRF, mais…**
  - Choix parfois subjectif du modèle le plus approprié
  - Estimation des modèles découplée du calcul de l'ITRF
  - Incertitude sur la qualité prédictive des modèles
    (Pourra-t-on utiliser les stations concernées comme stations de référence ?)

SAMO (Samoan Islands)



COCO (Cocos Islands)



Représentation paramétrique (2/2)

- **Représentation des déformations saisonnières de surcharge par des signaux périodiques**
  - Des signaux annuels et semi-annuels ont été estimés lors du calcul de l'ITRF2014, mais…
  - Les signaux annuels des séries GNSS ne contiennent pas que la surcharge. (seulement 50% en vertical, 10-20% en horizontal; Ray et al., 2011)
  - La surcharge n'est pas purement annuelle et semi-annuelle.
  - Désaccord entre signaux périodiques des différentes techniques
  - Problème de la mise en référence des signaux périodiques

- **L'ITRF2014 restera linéaire.**
  - Les signaux périodiques estimés ne feront pas partie du produit ITRF2014.
  - Mais seront fournis à titre expérimental.

L'ITRF-Kalman : principe

- **Représentation non-paramétrique par une série temporelle de repères instantanés (Wu et al., 2015)**

Time series of daily VLBI solutions

Time series of weekly SLR solutions

Time series of weekly GNSS solutions

Time series of weekly DORIS solutions

Local ties + co-motion constraints

Observation equation:

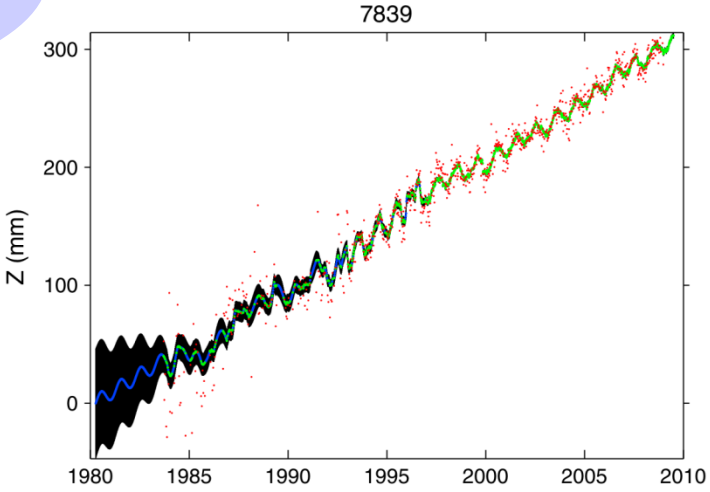
$$X_k^{obs} = X_k^0 + V_k(t_k - t_0) + A_k\cos(\omega t) + B_k\sin(\omega t) + v_k$$

Kalman filter & smoother

Transition equations:

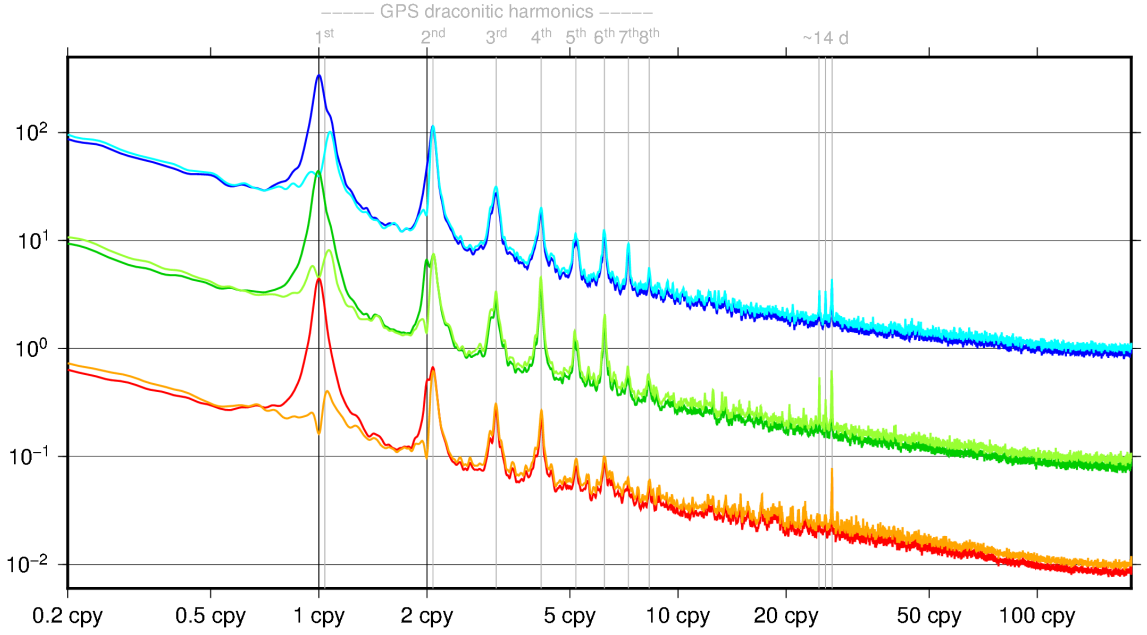
$$\begin{cases} X_{k+1}^0 = X_k^0 + \varepsilon_k^X \\ V_{k+1} = V_k + \varepsilon_k^V \\ A_{k+1} = A_k + \varepsilon_k^A \\ B_{k+1} = B_k + \varepsilon_k^B \end{cases}$$

Time series of filtered combined solutions



L'ITRF-Kalman : problème

- **Comment séparer mouvements géophysiques et erreurs des techniques ?**



Périodogrammes de Lomb-Scargle normalisés et cumulés des résidus du cumul des solutions GNSS fournies pour l'ITRF2014

- **Est** (termes annuels et semi-annuels estimés)
- **Nord/10** (termes annuels et semi-annuels estimés)
- **Up/100** (termes annuels et semi-annuels estimés)

- **Extension du modèle (bruit de scintillation, termes draconitiques)**
- **Développement d'un modèle de covariance spatio-temporelles des erreurs (thèse en cours)**
- **Réduction des erreurs de modélisation (orbitales)**

Origine de l'ITRF non-linéaire

- **Comment obtenir un ITRF centré sur le CM instantané ?**
  - Actuellement, seul le SLR donne accès au CM instantané.
  - Et seuls les local ties permettent de transférer l'information aux autres techniques (à une précision difficile à évaluer).

- **Space ties (travaux de Myriam, GRASP) ?**

- **Amélioration de la sensibilité des GNSS au géocentre**
  - Inclusion de satellites bas dans les analyses GNSS (Haines et al., 2011)
  - Horloges ultra-stables (Galileo ?)
  - Réduction des erreurs de modélisation orbitales
  - Accéléromètres ?

Merci pour votre attention !