

Modélisation des charges environnementales dans le traitement des données GNSS

Jean-Paul Boy

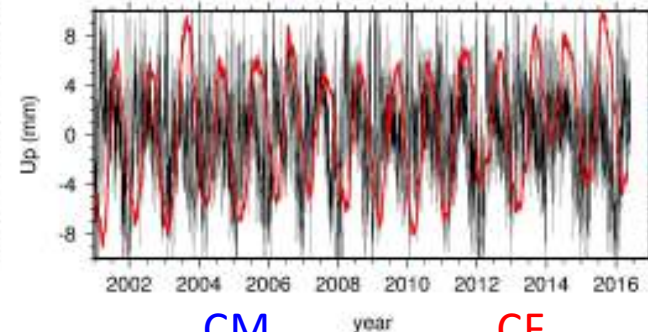
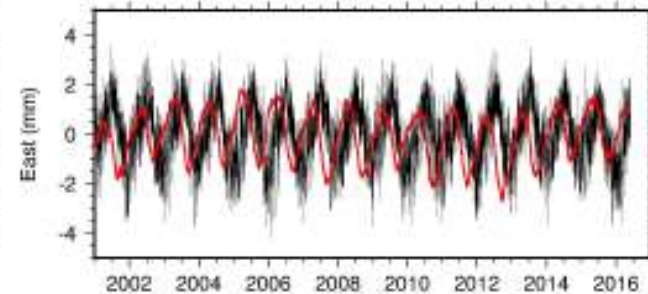
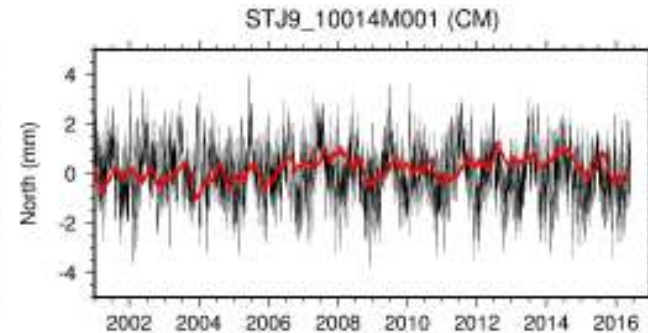
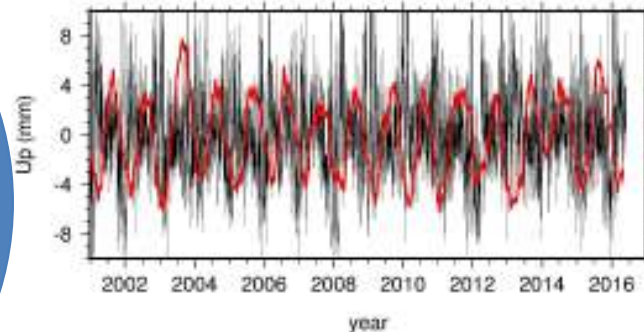
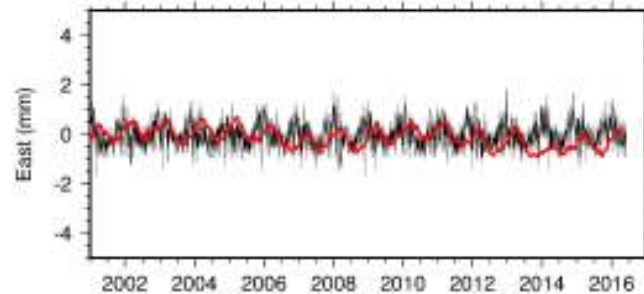
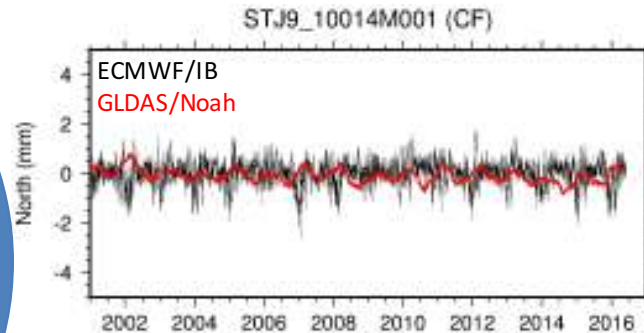
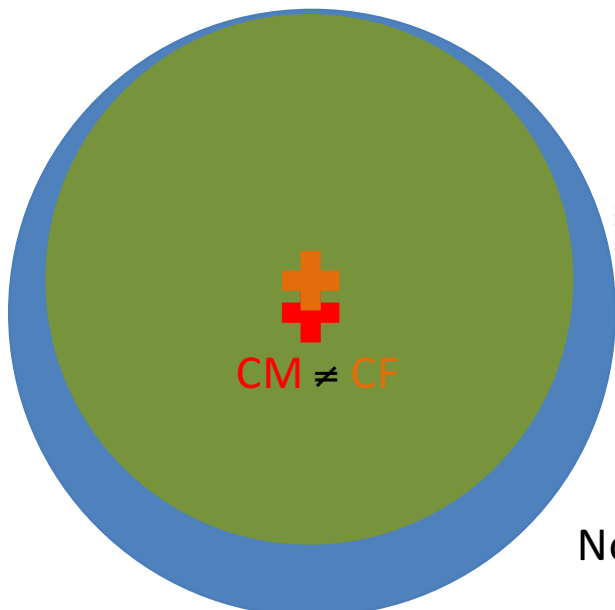
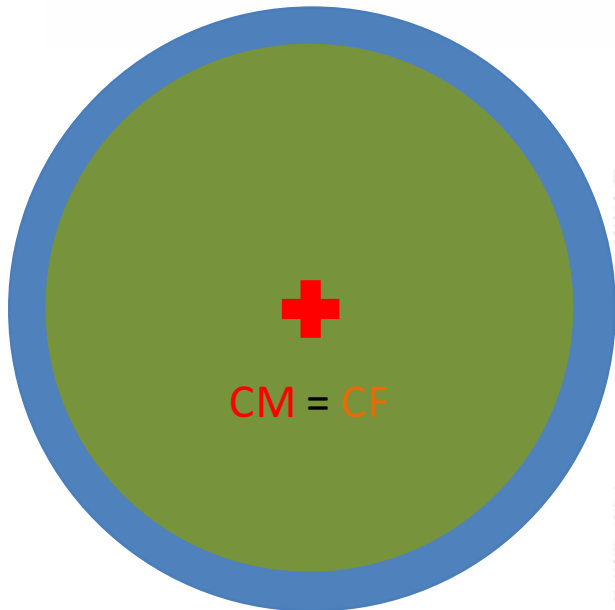
avec les contributions de

P. Baudet, A. Mémin, A. Santamaria-Gomez

Modélisation des effets de charge dans le traitement des données GPS

- Hormis les marées océaniques, l'IERS recommande de ne pas corriger des effets de charges environnementales.
- Ces corrections peuvent se faire *a posteriori* ou au niveau des observations. Seules ces dernières permettent de prendre en compte les phénomènes rapides (marées atmosphériques par exemple).
- Deux exemples:
 - Comparaison d'une solution GPS (ULR6) avec différents modèles de charge (a posteriori) (Mémin et al., en révision).
 - Introduction des charges dans le traitement des données GPS (a priori).

Modélisation des charges / Système de Référence



CM

CF

$$h_1' = -1.286$$

$$l_1' = -0.896$$

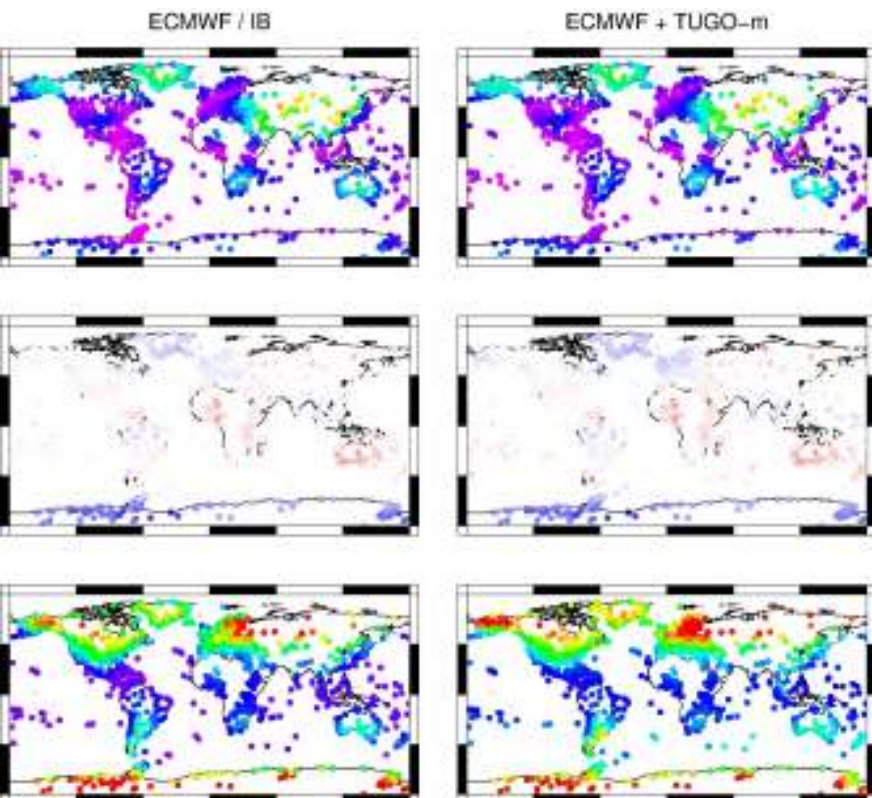
$$h_1' = -0.286$$

$$l_1' = +0.104$$

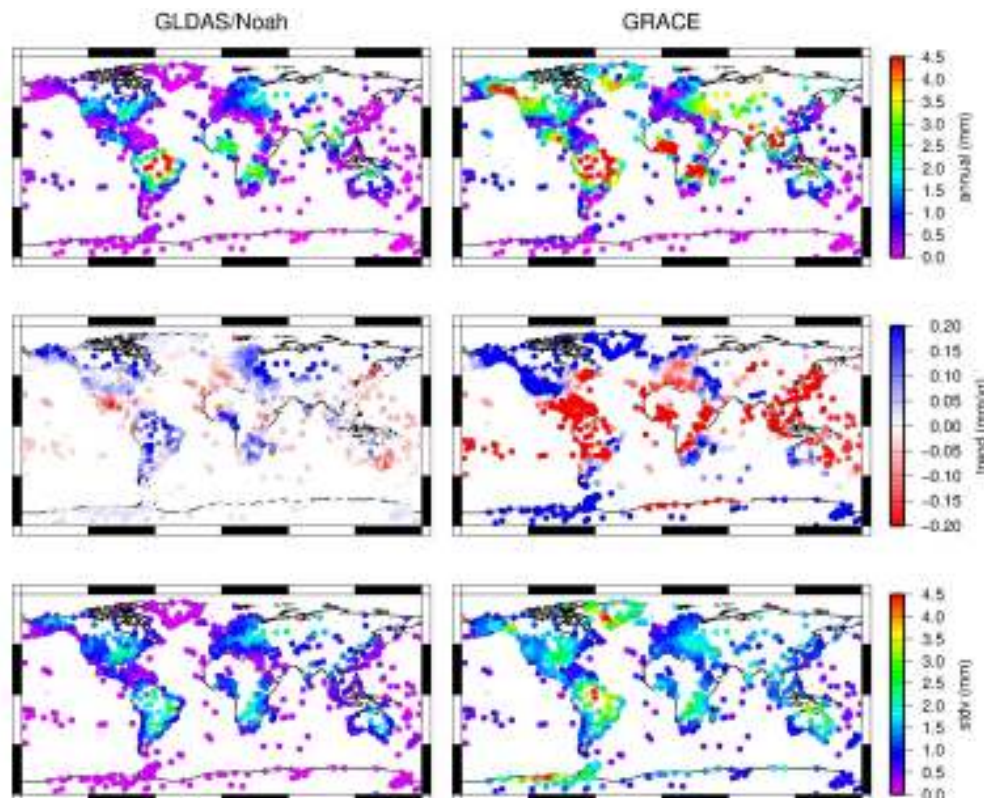
Nombre de Love (élastique) de degré 1

Charges atmosphériques , océaniques induites et hydrologiques

Atmosphère & réponse océanique induite



Hydrologie (pas de “glace” dans GLDAS)



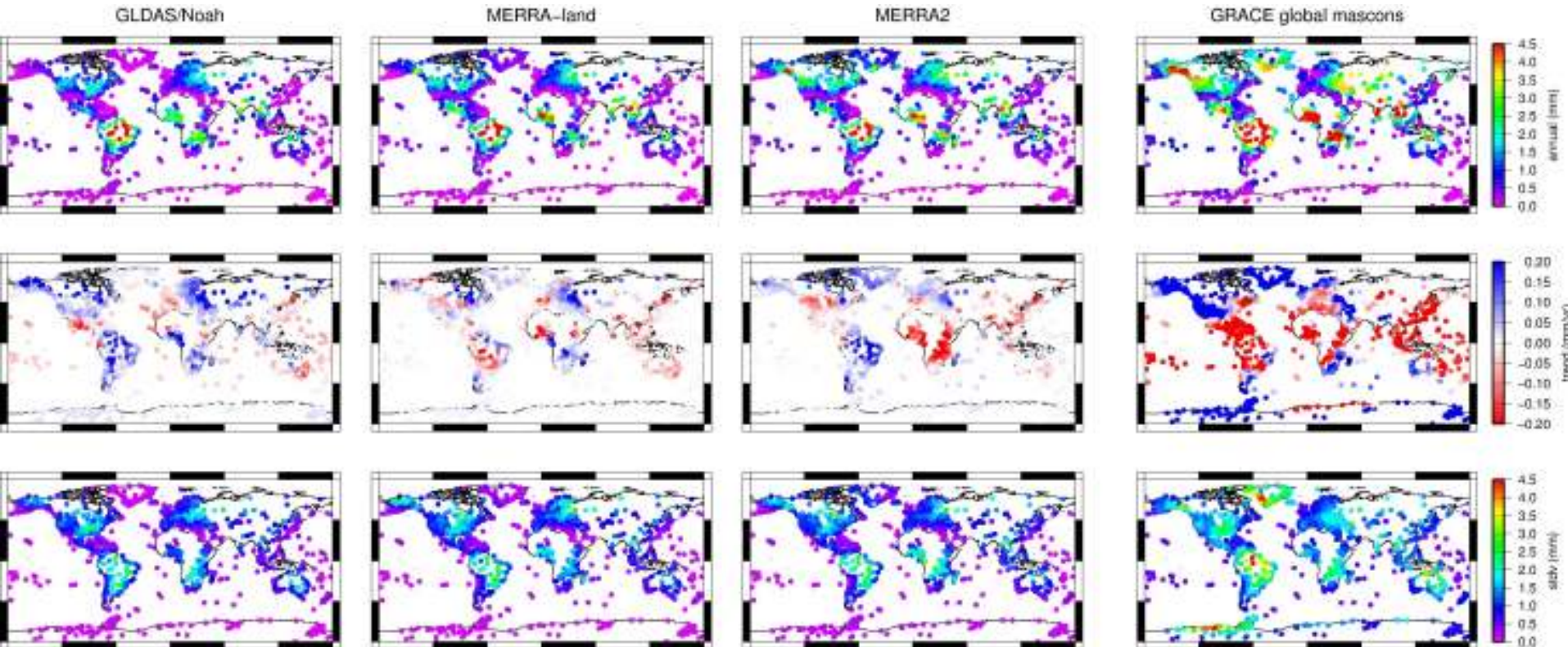
Référentiel : Centre de Figure

Période : 2002 – 2016 – champs à 3 heures et $\sim 0.25^\circ$, sauf GRACE (1 mois et 1°)

Comparaisons entre différents modèles hydrologiques et GRACE

Modèles hydrologiques

GRACE

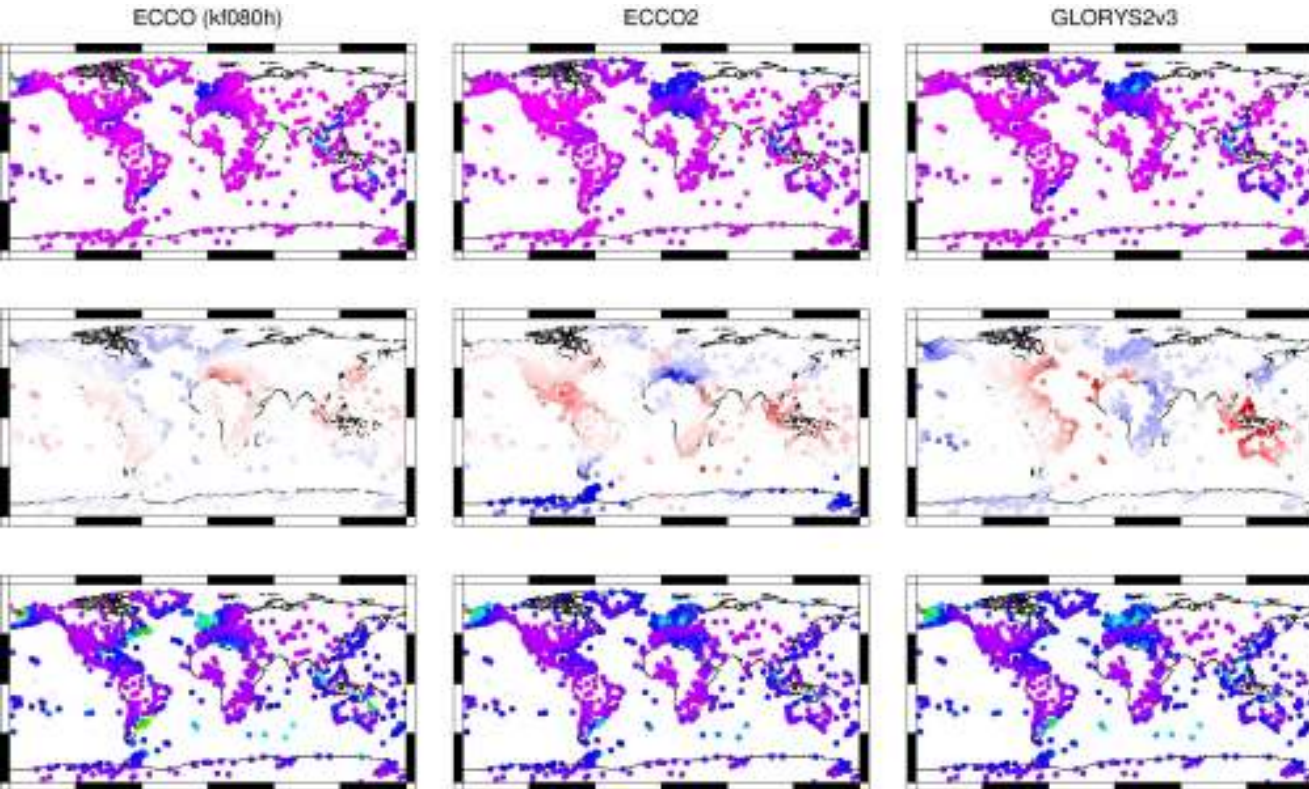


Pas de différences significatives pour le saisonnier et la variabilité.
Ecart significatif pour les tendances.

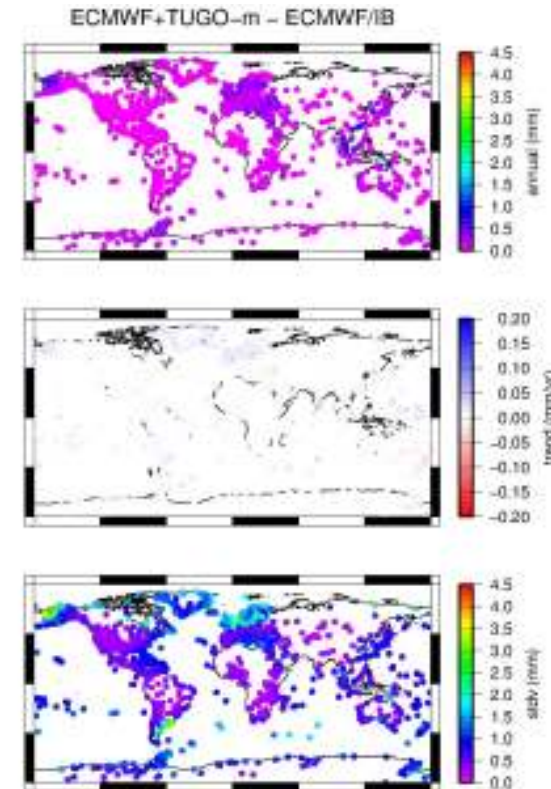
Période : 2002 – 2016 – champs à 3 heures (GLDAS/Noah) et 1 heure (MERRA-land & MERRA2)

Différences entre TUGO-m et les modèles de circulation barocline

Modèles baroclines (circulation)



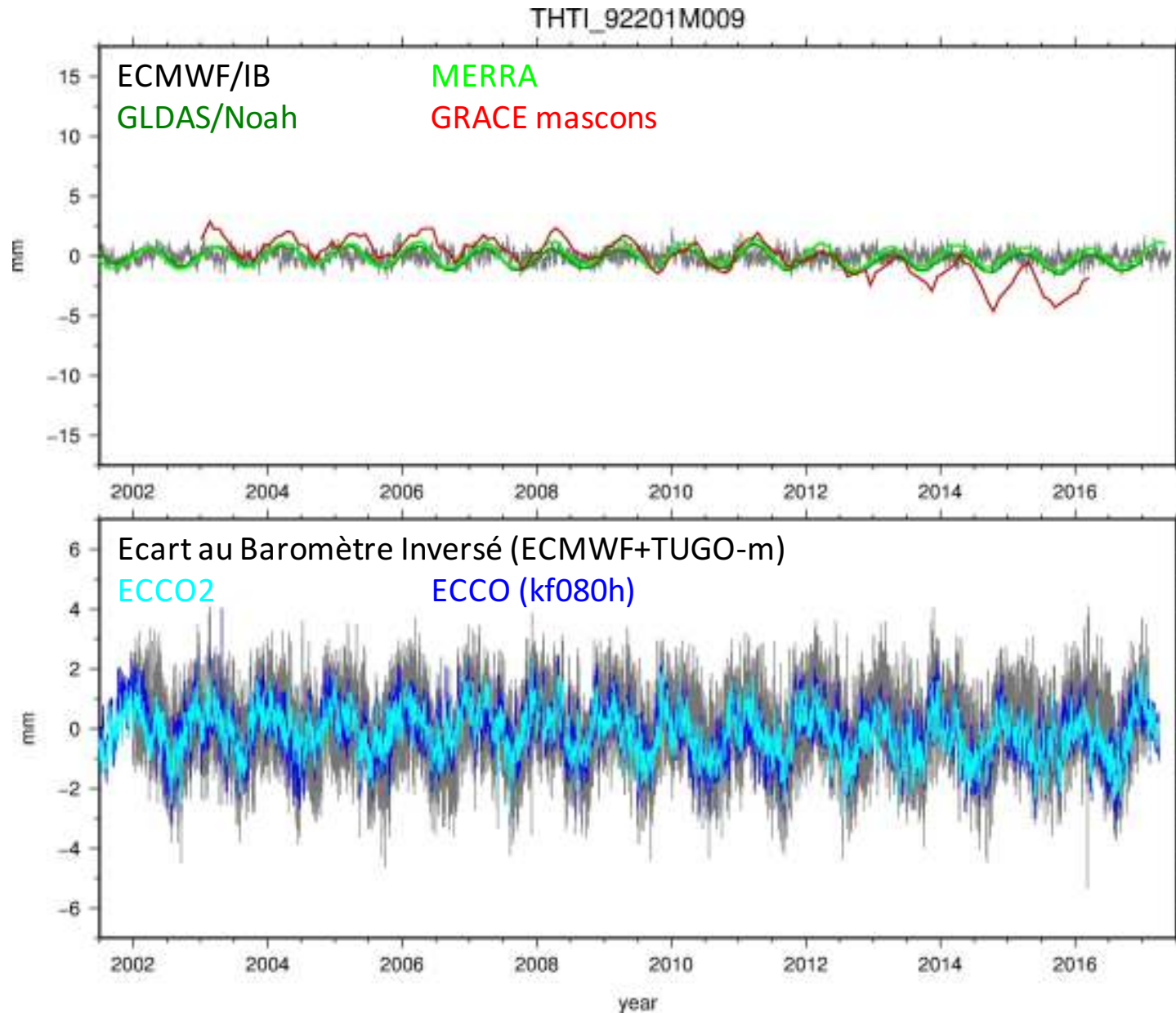
Modèle barotrope



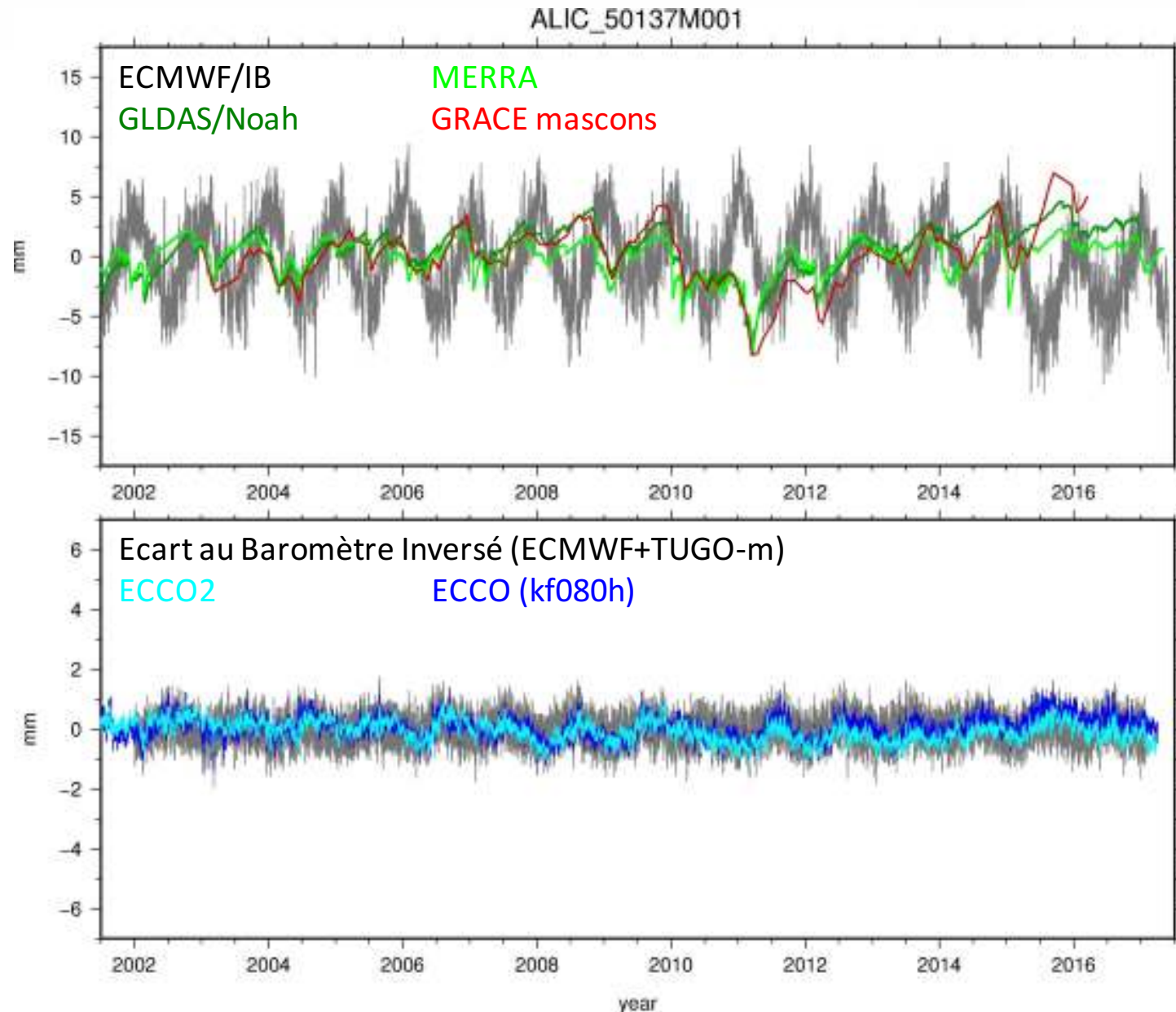
Les modèles baroclines (ECCO, ECCO2 & GLORYS) sont forcés par les vents, les flux d'eau douce (P-E) et de chaleur.

Le modèle barotrope (TUGO-m) est forcé par les vents et la pression atmosphérique.

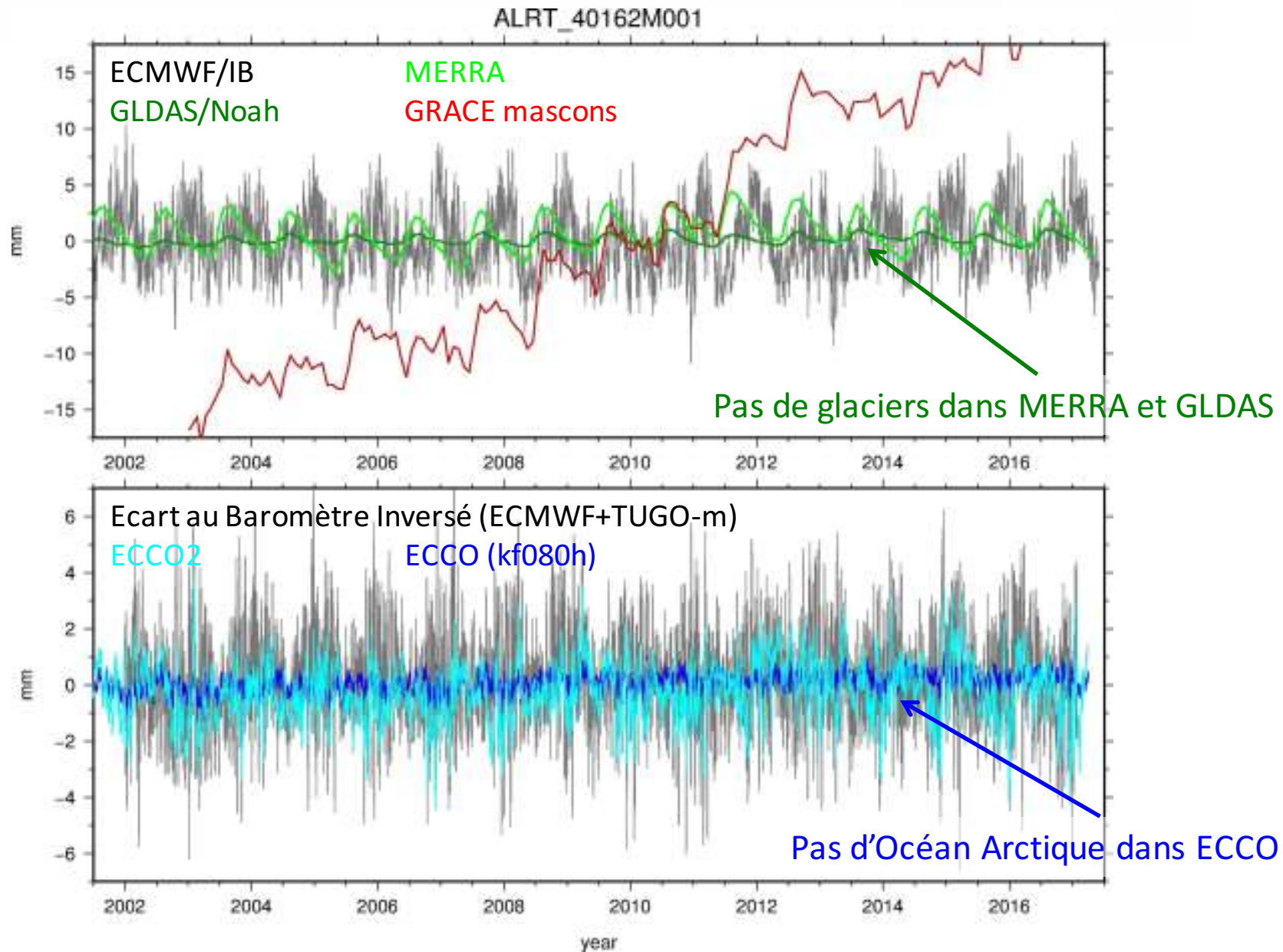
Exemple de séries temporelles : Tahiti



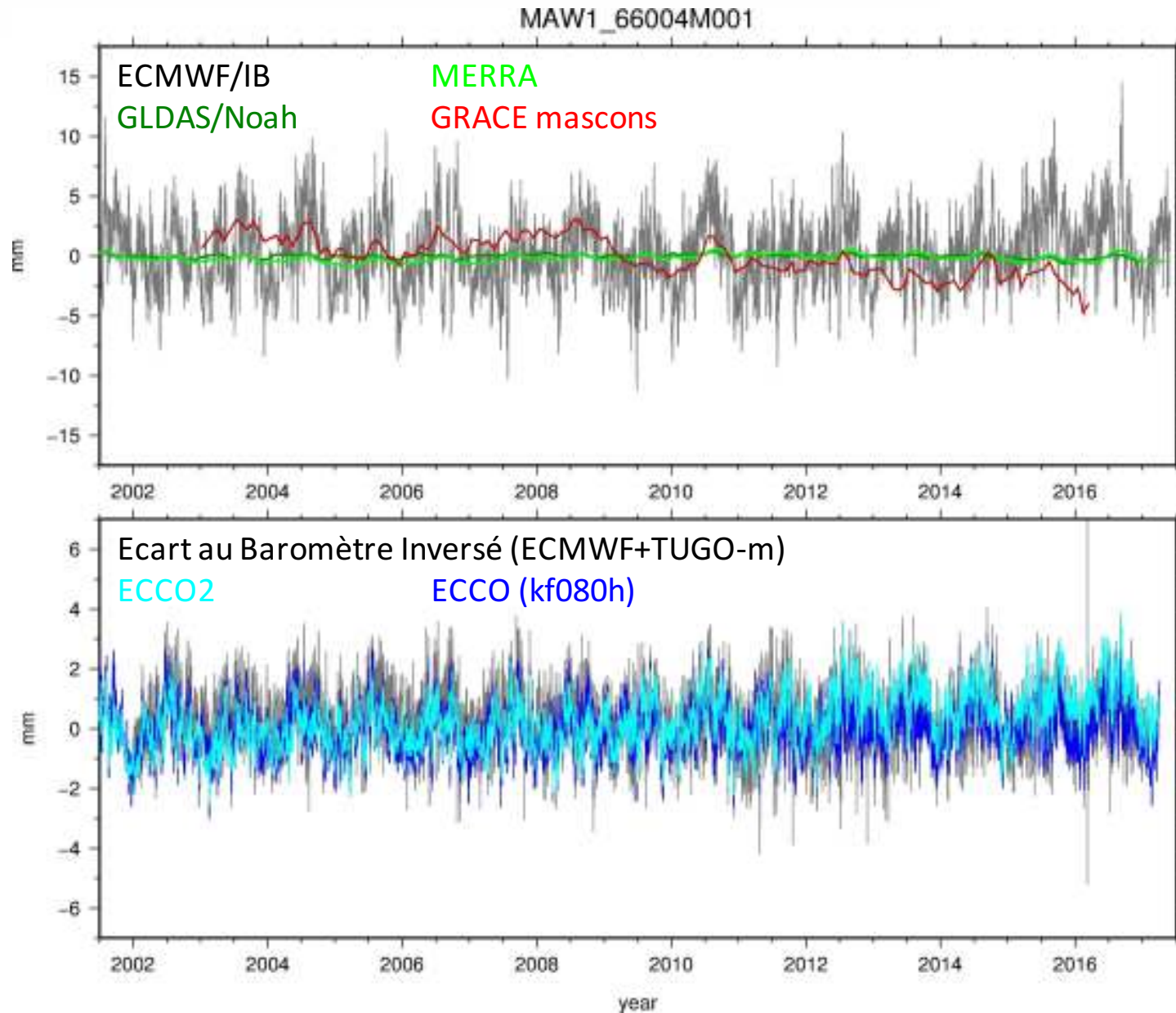
Exemple de séries temporelles : Australie



Exemple de séries temporelles : Alaska



Exemple de séries temporelles : Antarctique

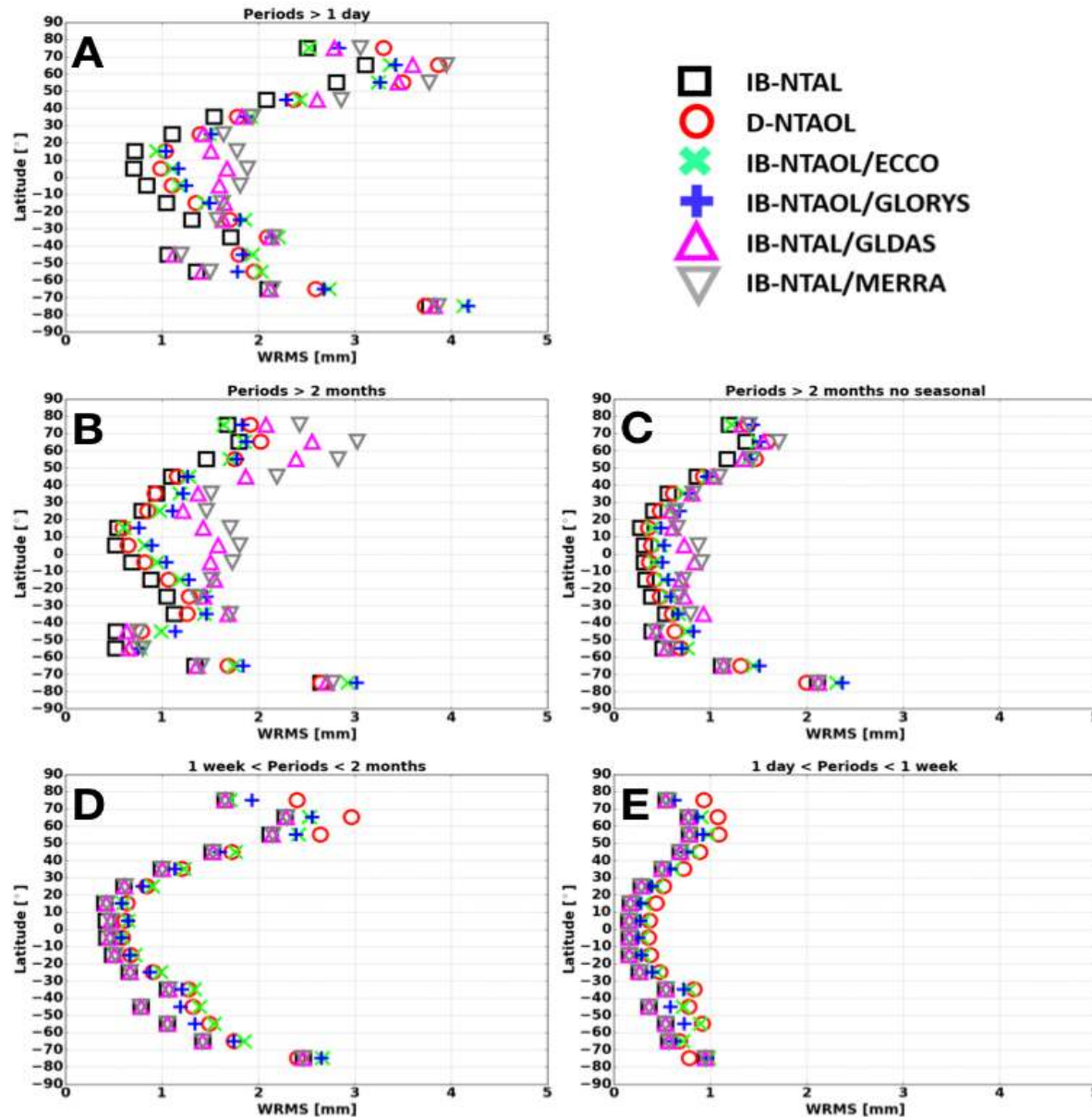


Comparaison GPS vertical & charges

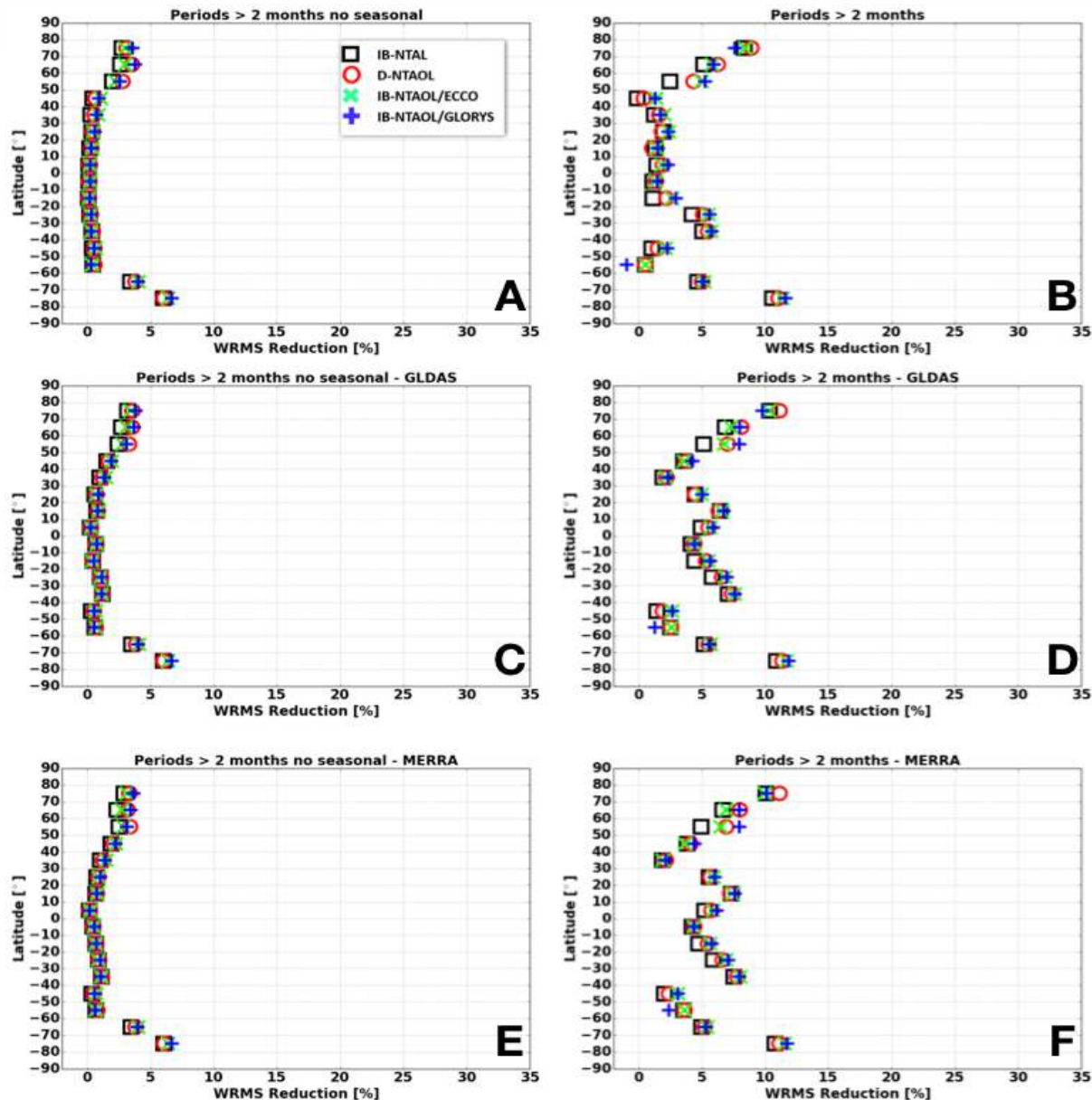
- Etude de la réduction de variance après correction des modèles charges sur différentes bandes de période (> 1 jour, $>$ semaine et > 2 mois) pour 757 stations.
- Résultats présentés par bande de 10° de latitude.

	ECMWF	IB	TUGO-m	ECCO	GLORYS	GLDAS	MERRA
IB-NTAL	X	X					
D-NTAOL	X		X				
IB-NTAOL/ECCO	X	X		X			
IB-NTAOL/GLORYS	X	X			X		
IB-NTAL/GLDAS	X	X				X	
IB-NTAL/MERRA	X	X					X

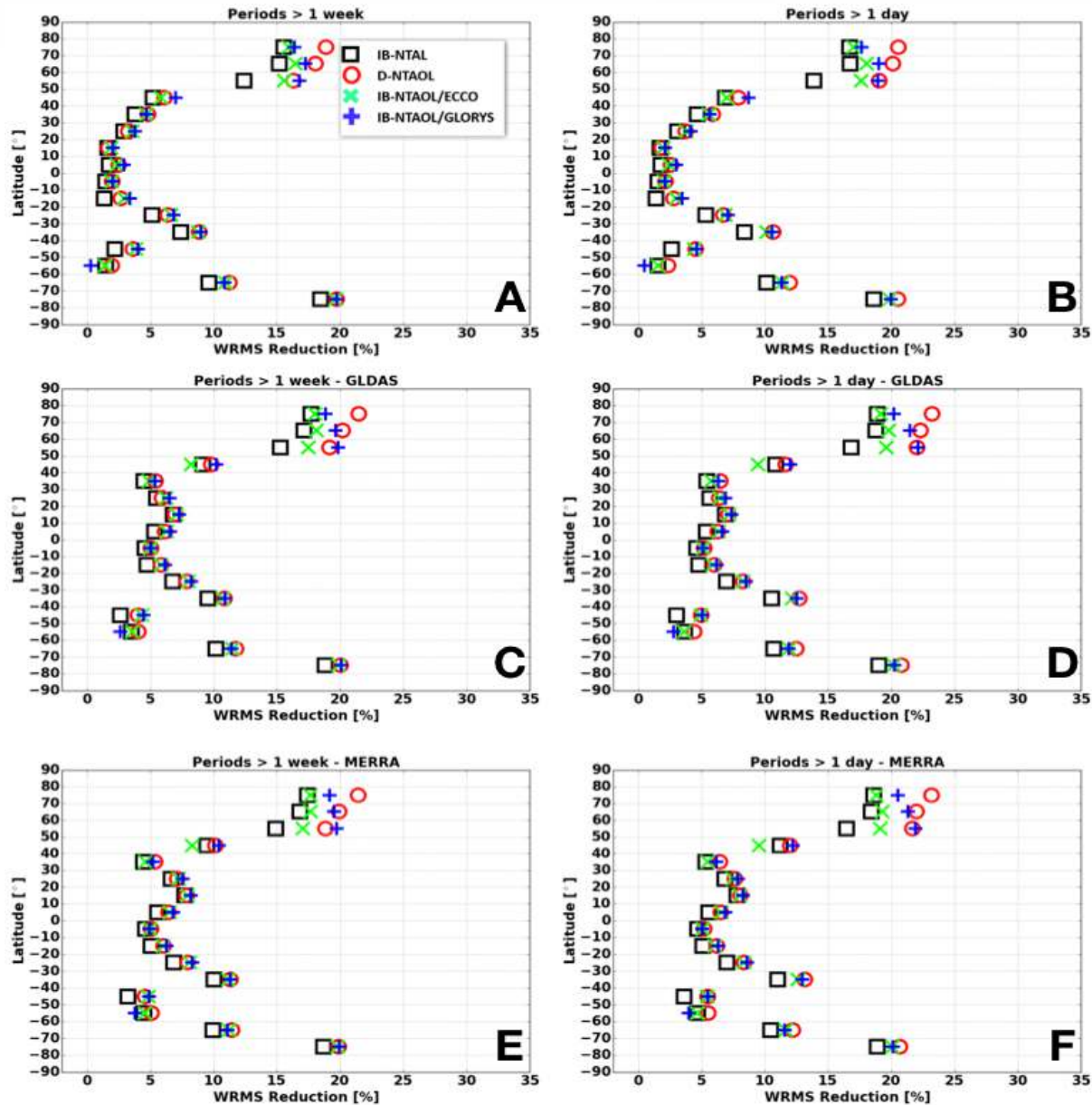
Variance des déplacements verticaux modélisés



Réduction de variance (> 2 mois)



Réduction de variance (> 1 mois & 1 jour)



Modélisation des effets de charge dans le traitement des données GPS

- Investigation des effets induits par la modélisation des charges (atmosphère, océan et hydrologie, référentiel : CM) sur un réseau global de 117 stations GPS permanentes sur la période 2002-2015 analysé avec GAMIT/GLOBK (v10.6).
- Les marées océaniques sont modélisées avec FES2014a (1/16°).
- VMF1, délais estimés toutes les 2 heures, 2 gradients/jour.

Solutions et modèles de charge

- Pas de modèle de charges environnementales (solution classique)
- ECMWF/IB
- ECMWF + TUGO-m (Carrère & Lyard, 2003)
- ECMWF + TUGO-m + GLDAS/Noah (v1) (Rodell et al., 2004)
- ECMWF + TUGO-m + GRACE solution mascon itérée (1° & 1 mois) du NASA/GSFC (Luthcke et al., 2013; Loomis & Luthcke, 2016)

Les modèles de charge peuvent être appliqués :

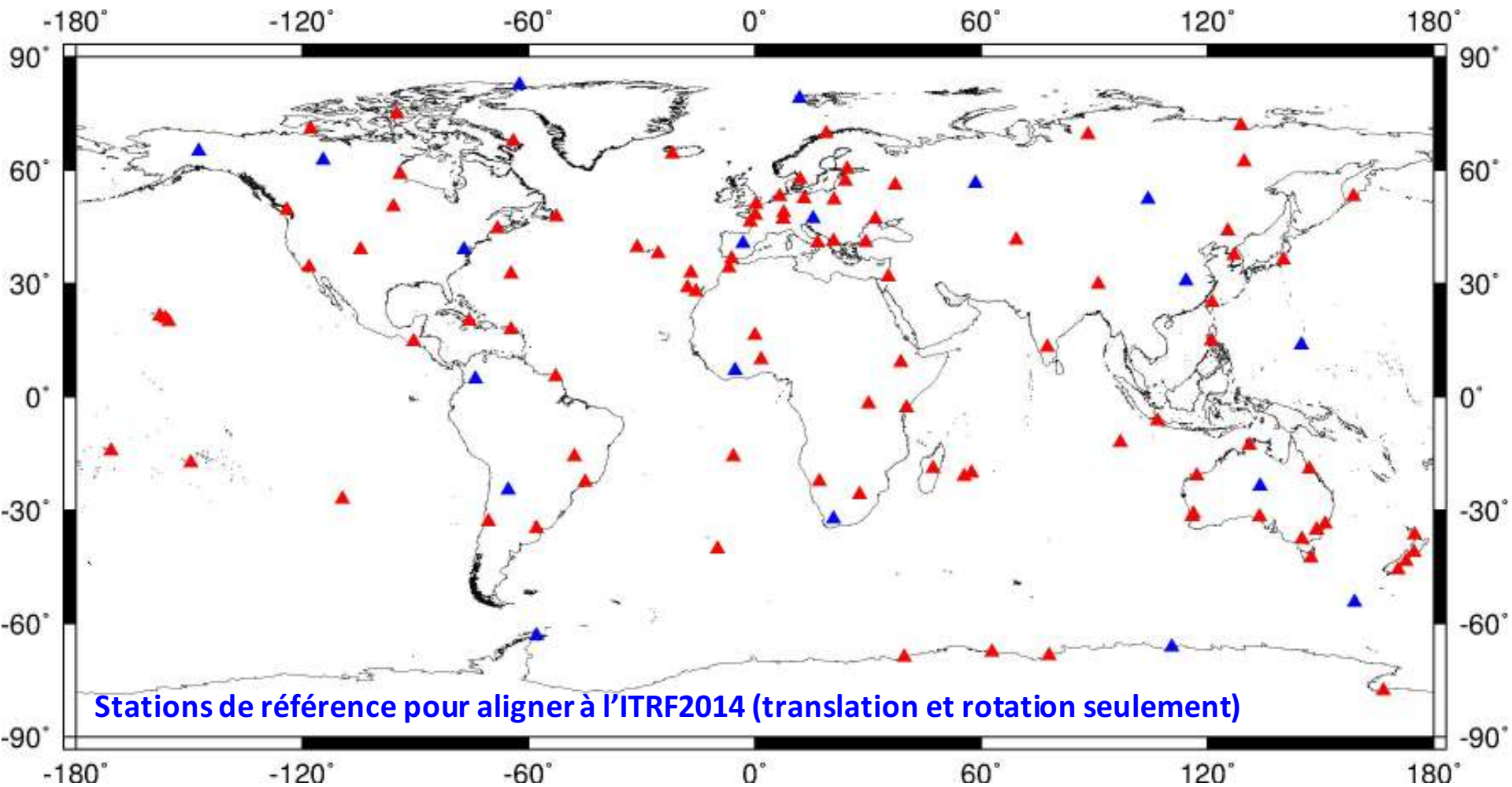
- au niveau des observations (cette étude), ou
- a posteriori (ECMWF + TUGO-m + GLDAS à titre de comparaison).

On compare les solutions avec charge à la solution classique.

Tous les modèles sont disponibles sur le service des charges de l'EOST :

<http://loading.u-strasbg.fr>.

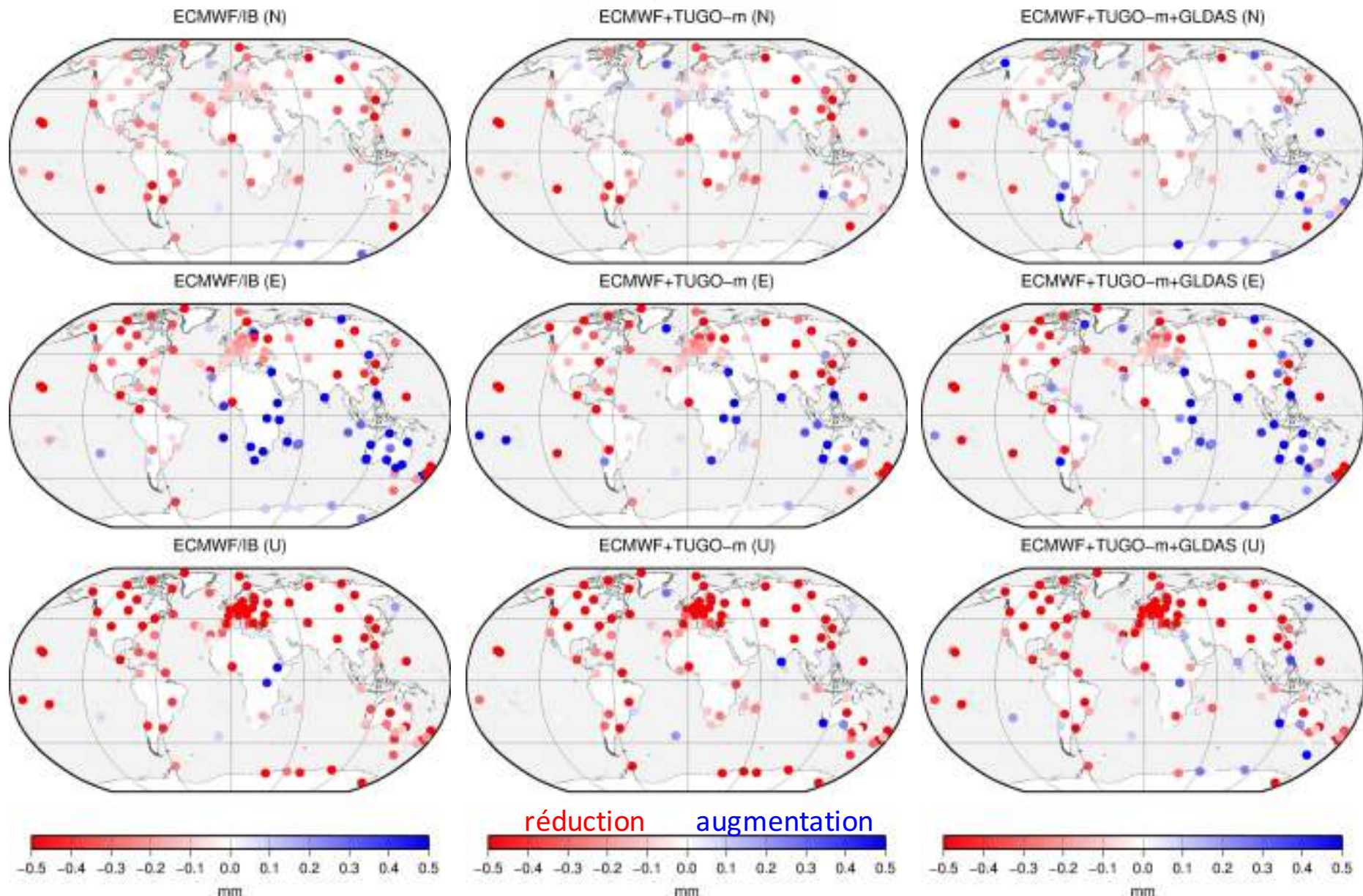
Réseau GPS global analysé (2003-2015)



Méthodologie

- Calcul des différentes solutions journalières:
 1. pas de charge,
 2. ECMWF/IB,
 3. ECMWF+TUGO-m,
 4. ECMWF+TUGO-m+GLDAS,
 5. ECMWF+TUGO-m+GRACE.
- Calcul des tendances linéaires, du signal saisonnier et de la variabilité.
- On compare les solutions à la solution classique (sans charge), en investiguant la réduction de variabilité, du signal saisonnier et les différences de tendances.

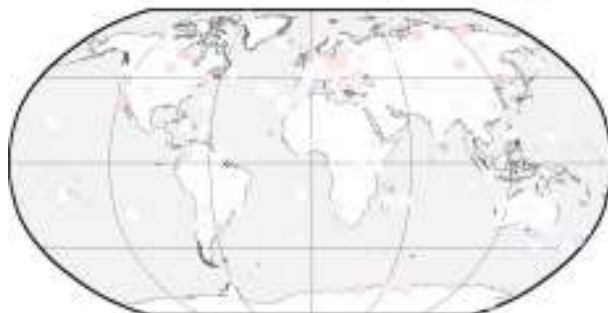
Comparaison avec la solution sans charge variabilité



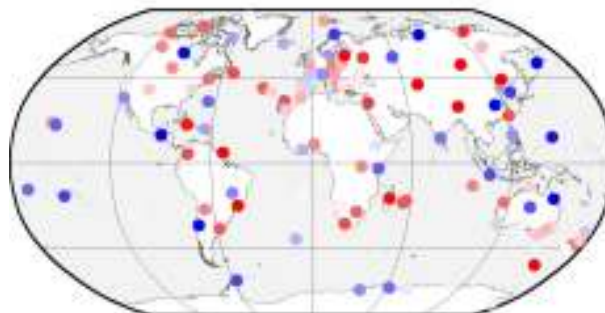
Comparaison avec la solution sans charge

variabilité

ECMWF+TUGO-m+GLDAS (a posteriori) (N)



ECMWF+TUGO-m+GLDAS (N)



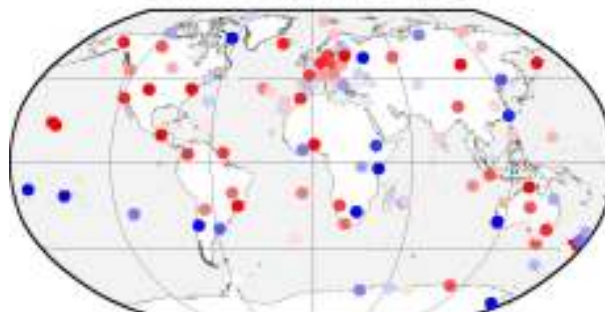
ECMWF+TUGO-m+GRACE (N)



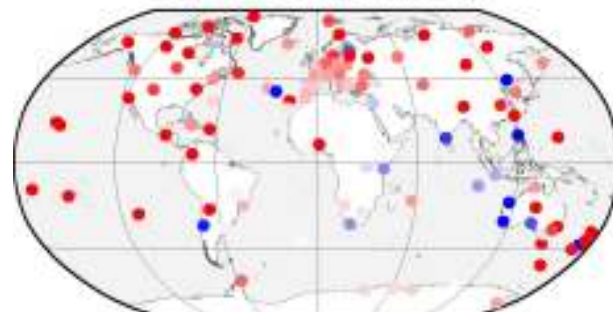
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (a posteriori) (E)



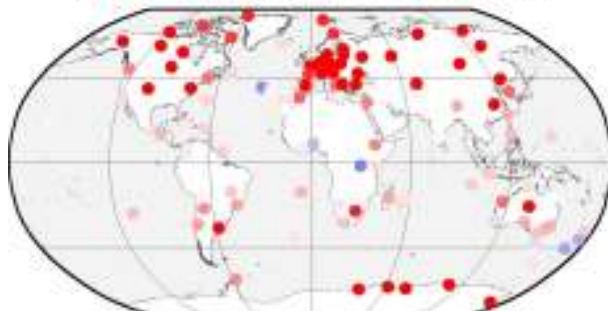
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (E)



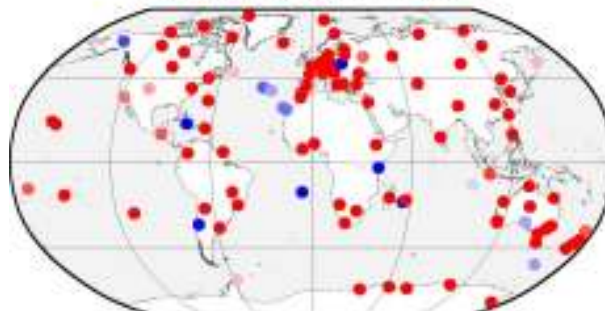
ECMWF+TUGO-m+GRACE (E)



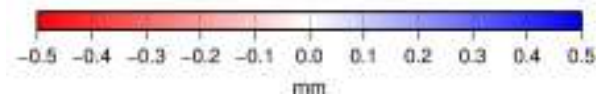
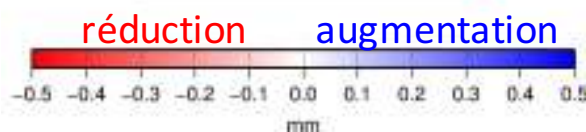
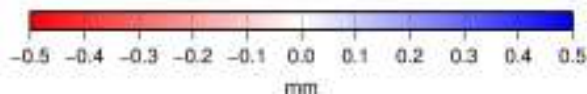
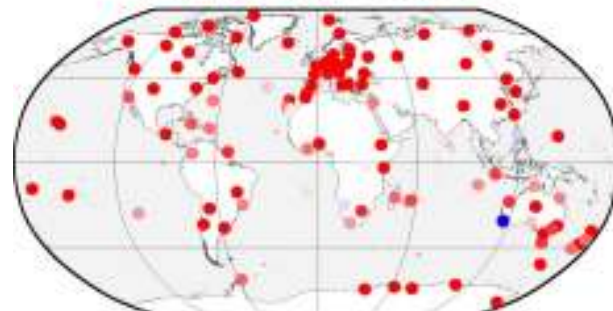
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (a posteriori) (U)



ECMWF+TUGO-m+GLDAS (U)



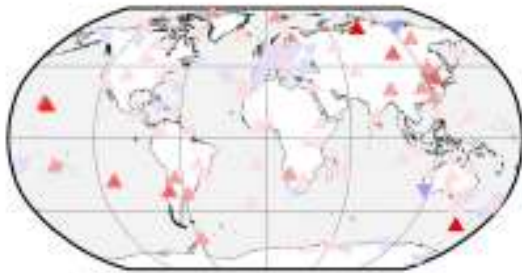
ECMWF+TUGO-m+GRACE (U)



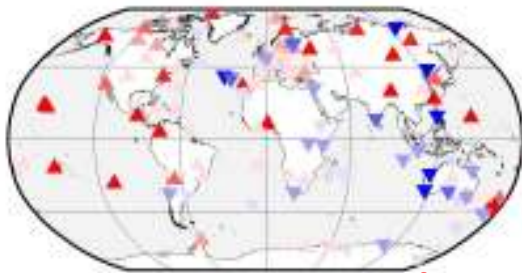
Réduction relative

ECMWF/IB + GLDAS

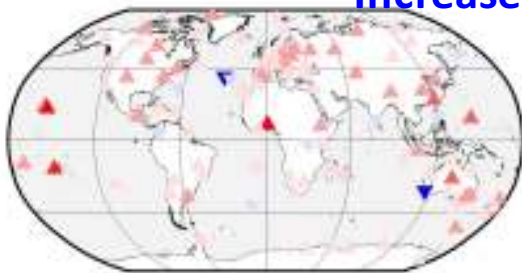
North



East

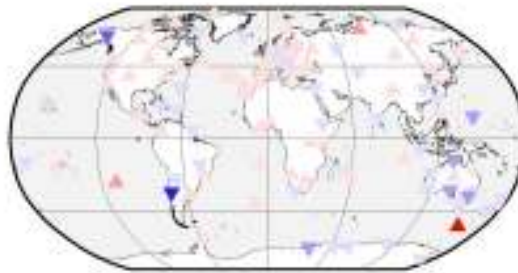


Up

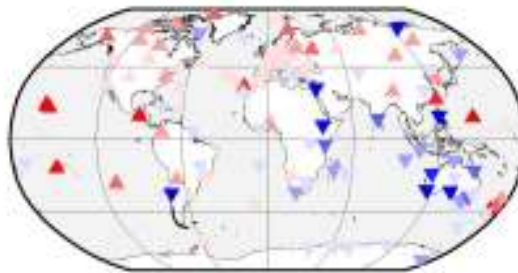


ECMWF + TUGO-m + GLDAS

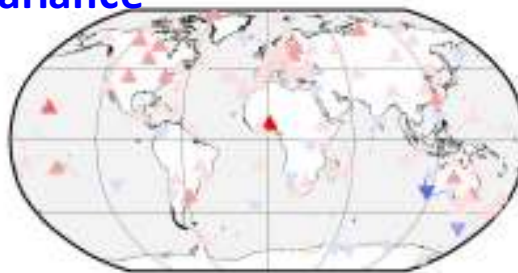
North



East

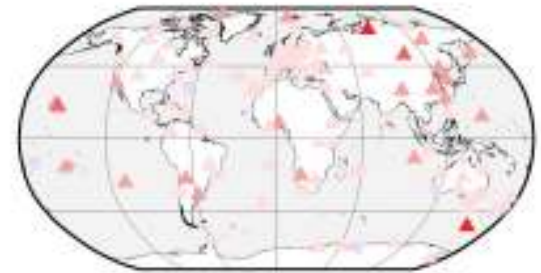


Up

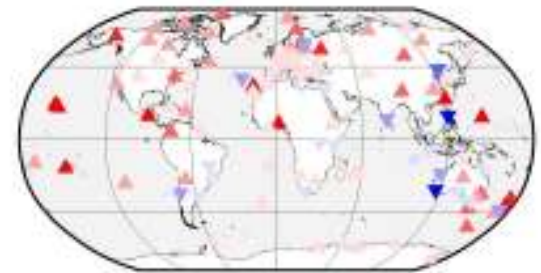


ECMWF + TUGO-m + GRACE

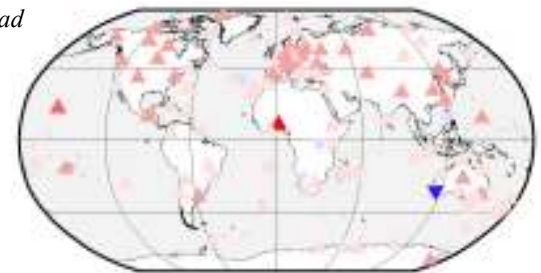
North



East



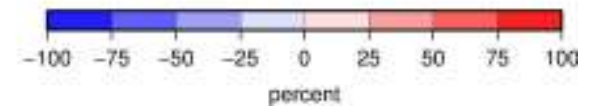
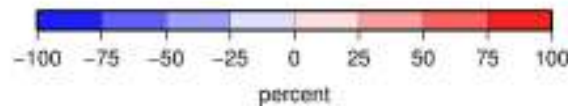
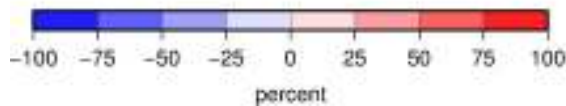
Up



Reduction of variance
Increase of variance

$$\frac{\sigma_{GPS(\text{without load})} - \sigma_{GPS(\text{with load})}}{\sigma_{load}}$$

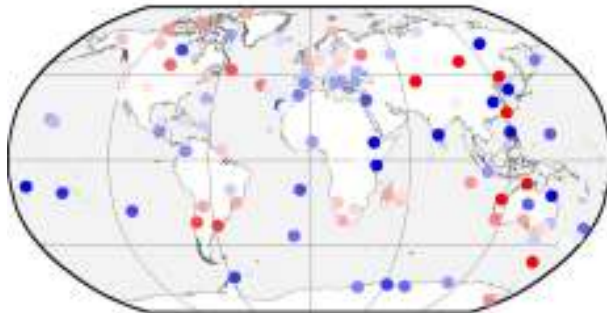
σ_{load}



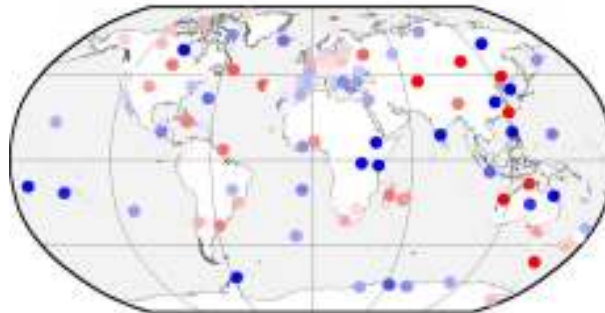
Comparaison avec la solution sans charge

Signal annuel

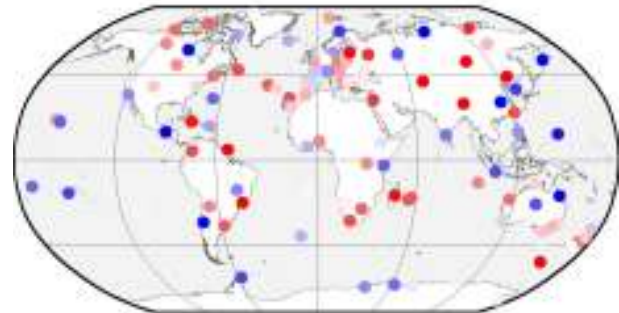
ECMWF/IB (N)



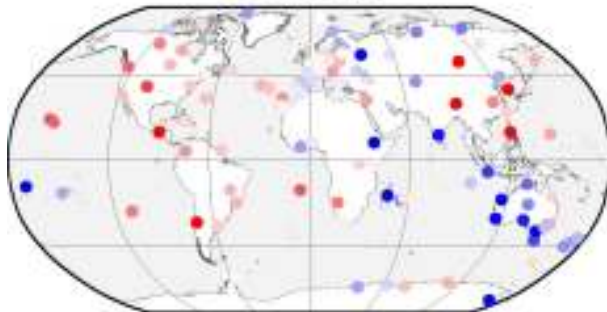
ECMWF+TUGO-m (N)



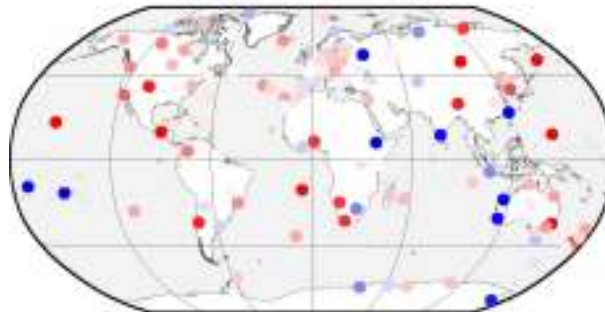
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (N)



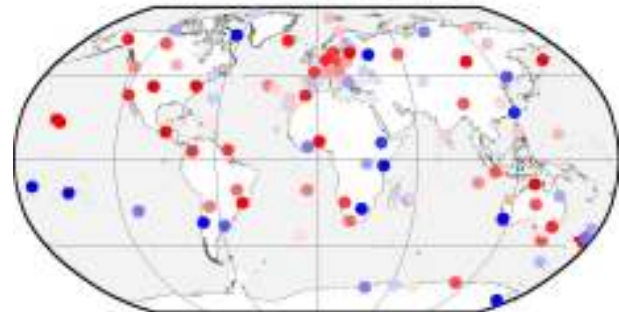
ECMWF/IB (E)



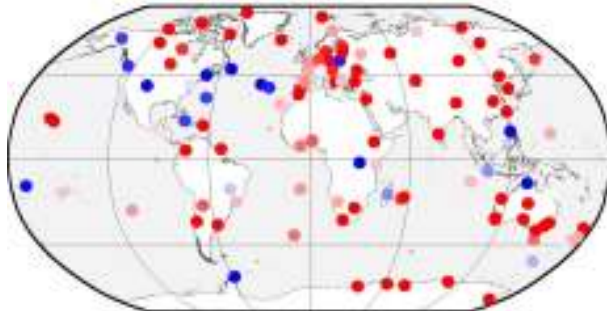
ECMWF+TUGO-m (E)



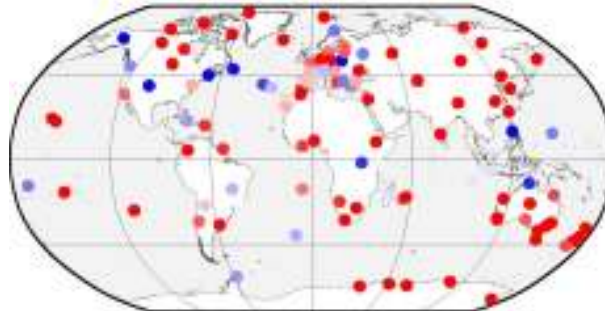
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (E)



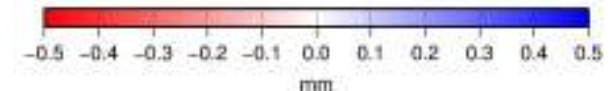
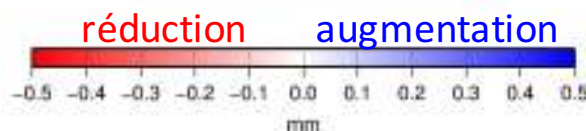
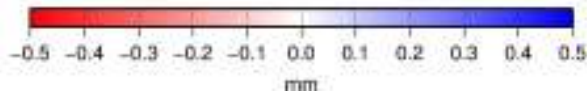
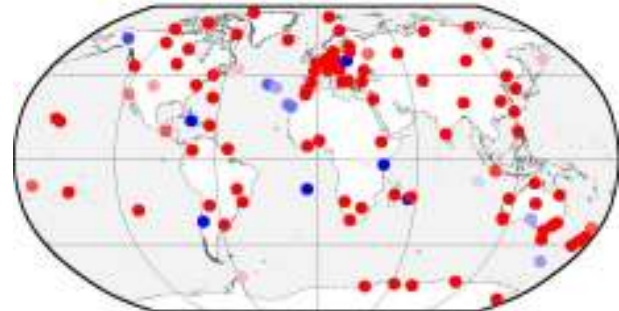
ECMWF/IB (U)



ECMWF+TUGO-m (U)



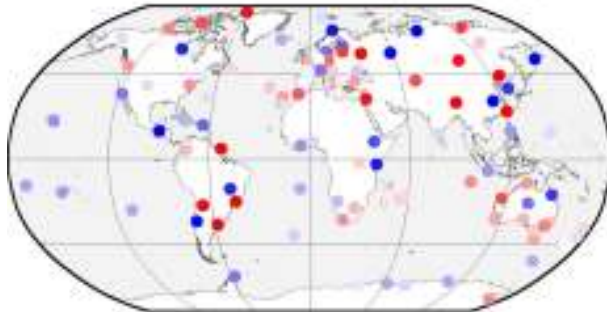
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (U)



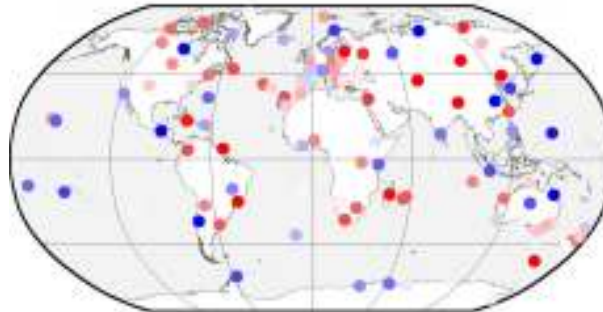
Comparaison avec la solution sans charge

Signal annuel

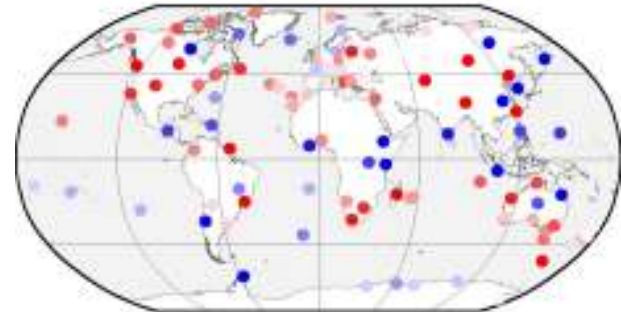
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (a posteriori) (N)



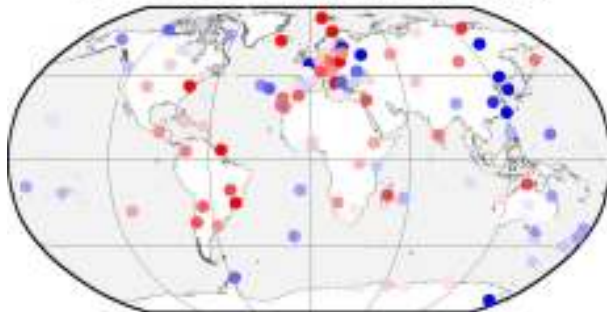
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (N)



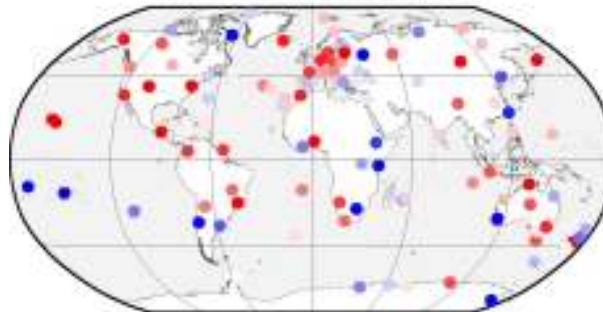
ECMWF+TUGO-m+GRACE (N)



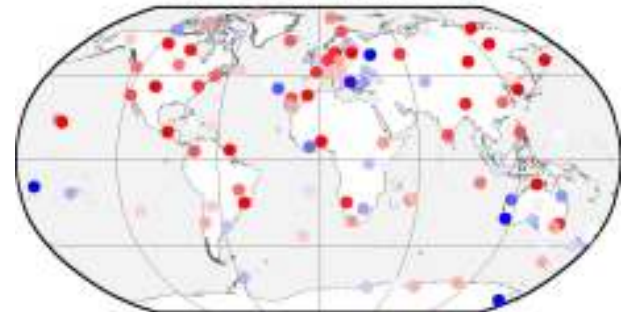
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (a posteriori) (E)



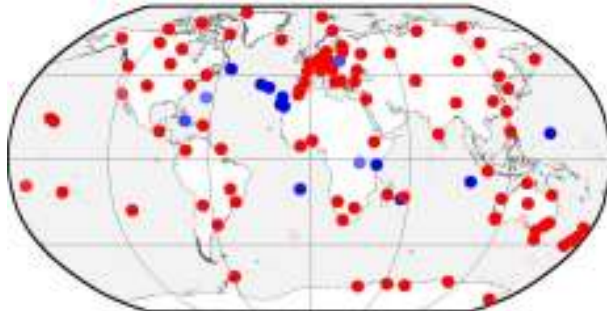
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (E)



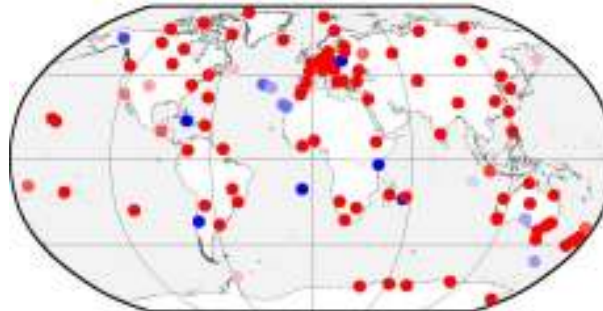
ECMWF+TUGO-m+GRACE (E)



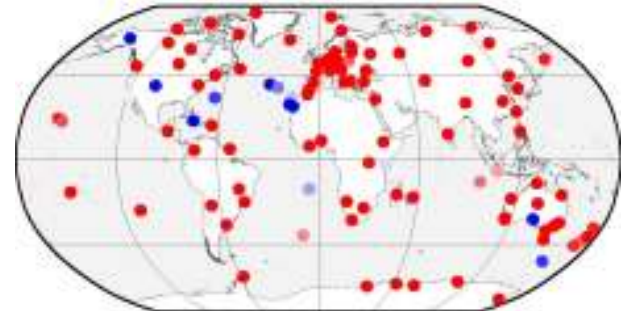
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (a posteriori) (U)



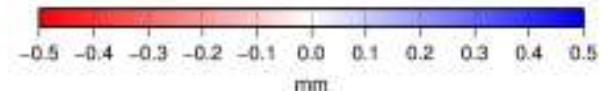
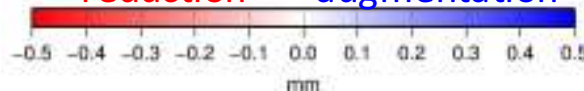
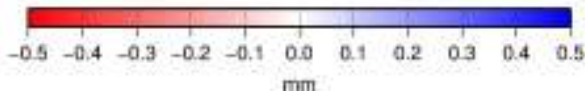
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (U)



ECMWF+TUGO-m+GRACE (U)



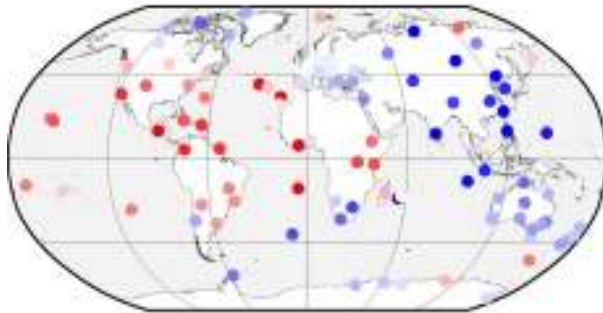
réduction augmentation



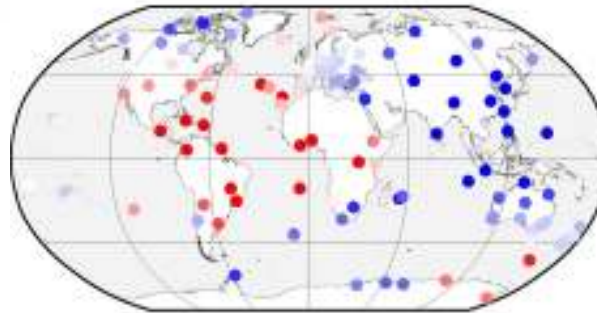
Comparaison avec la solution sans charge

Tendances linéaires

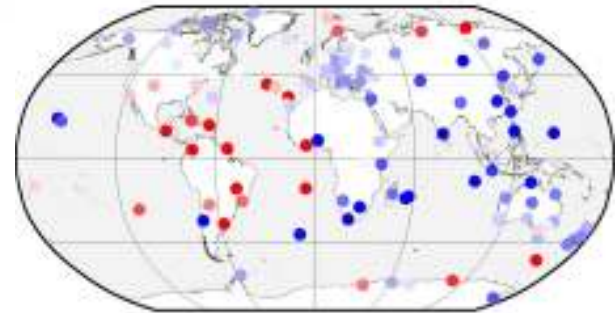
ECMWF/IB (N)



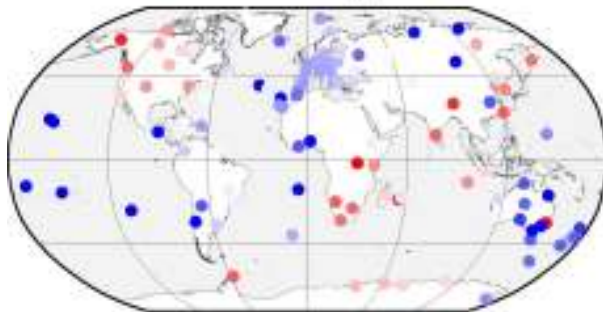
ECMWF+TUGO-m (N)



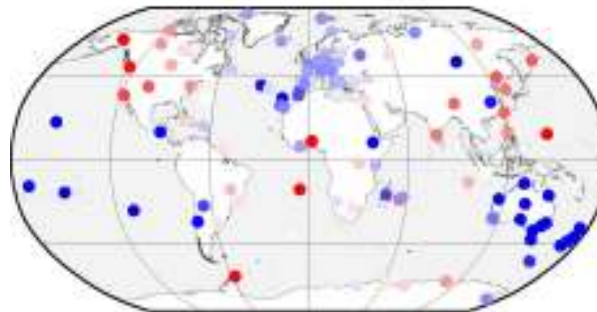
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (N)



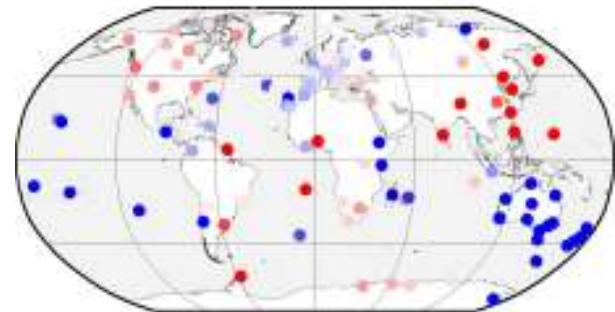
ECMWF/IB (E)



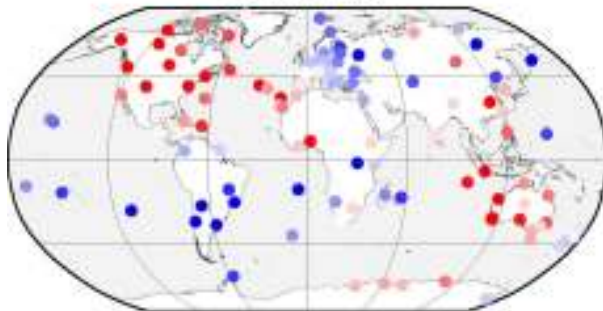
ECMWF+TUGO-m (E)



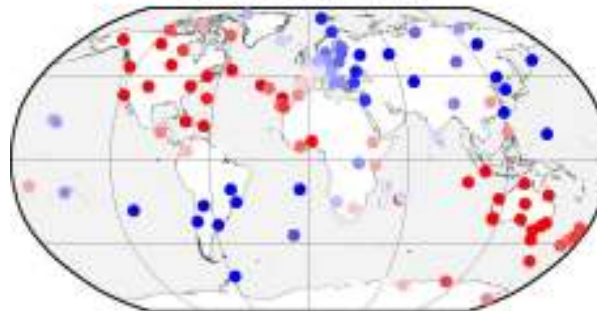
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (E)



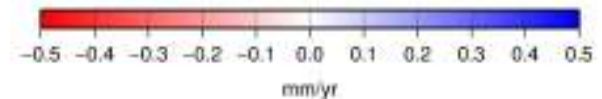
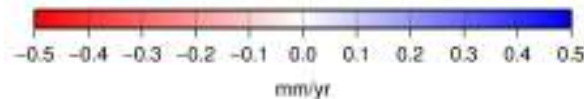
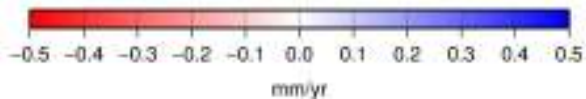
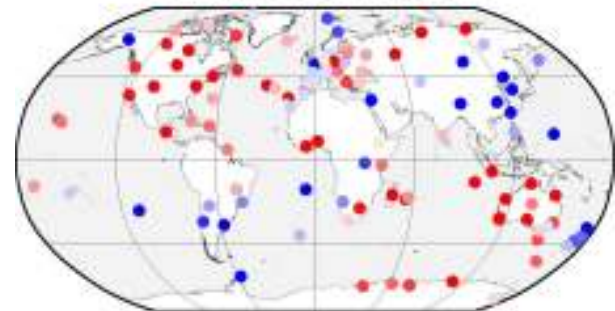
ECMWF/IB (U)



ECMWF+TUGO-m (U)



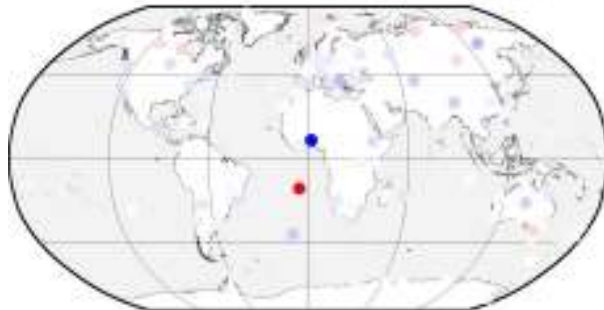
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (U)



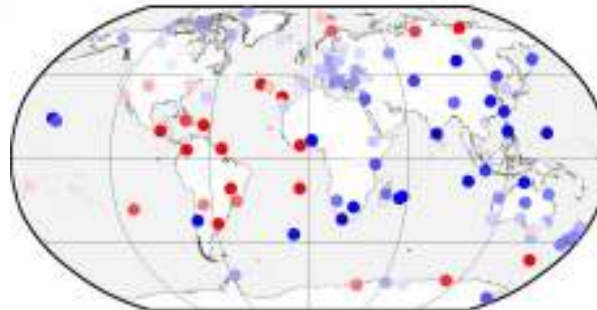
Comparaison avec la solution sans charge

Tendances linéaires

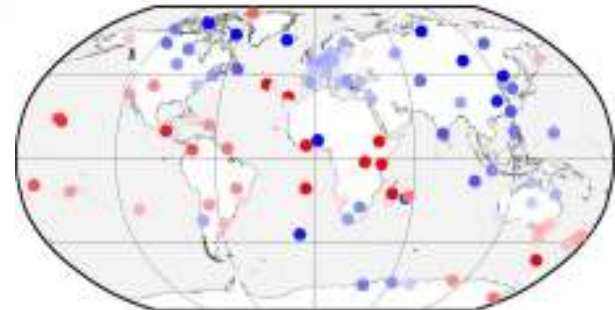
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (a posteriori) (N)



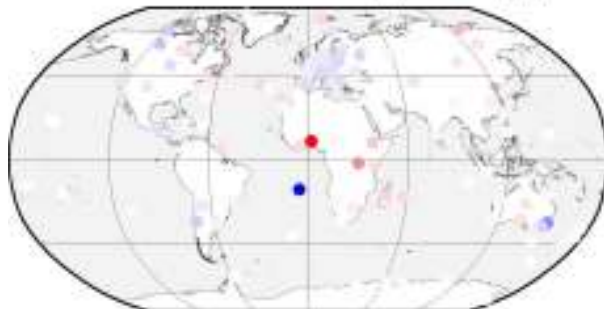
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (N)



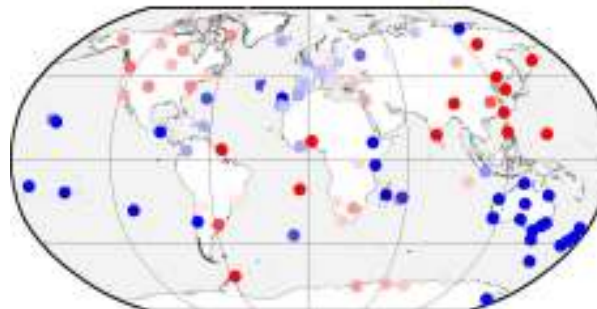
ECMWF+TUGO-m+GRACE (N)



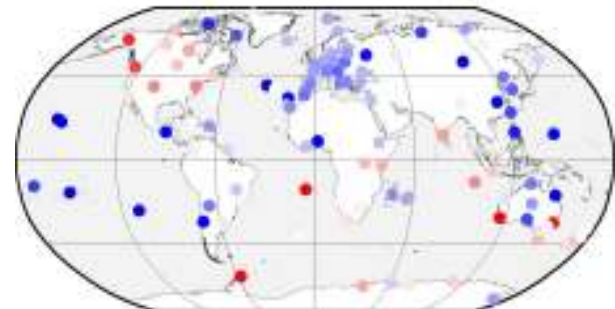
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (a posteriori) (E)



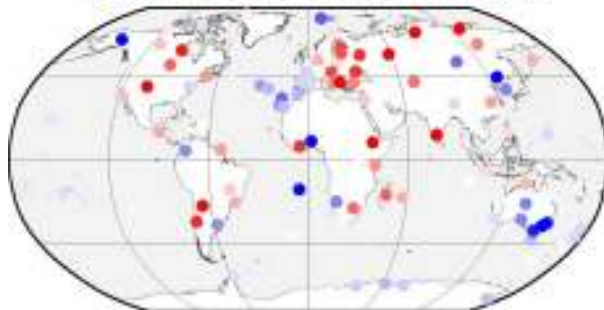
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (E)



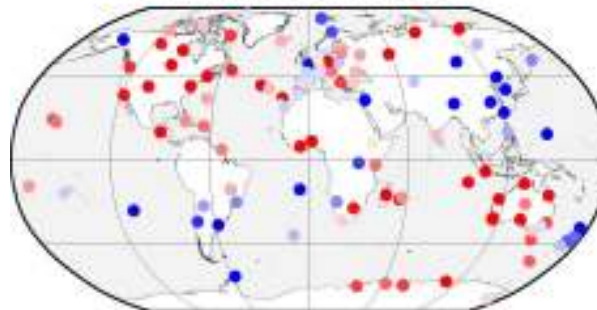
ECMWF+TUGO-m+GRACE (E)



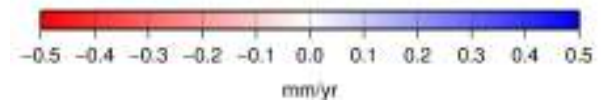
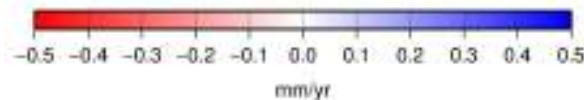
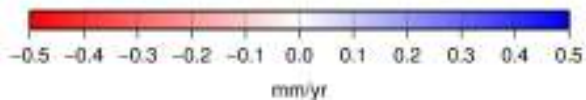
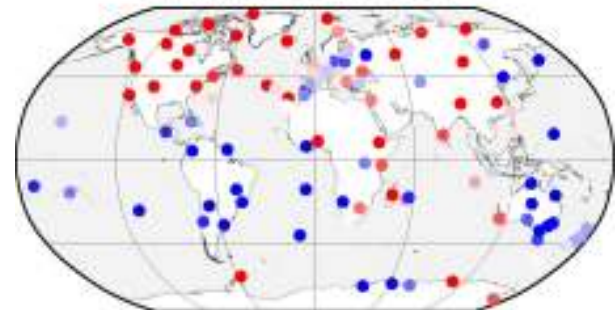
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (a posteriori) (U)



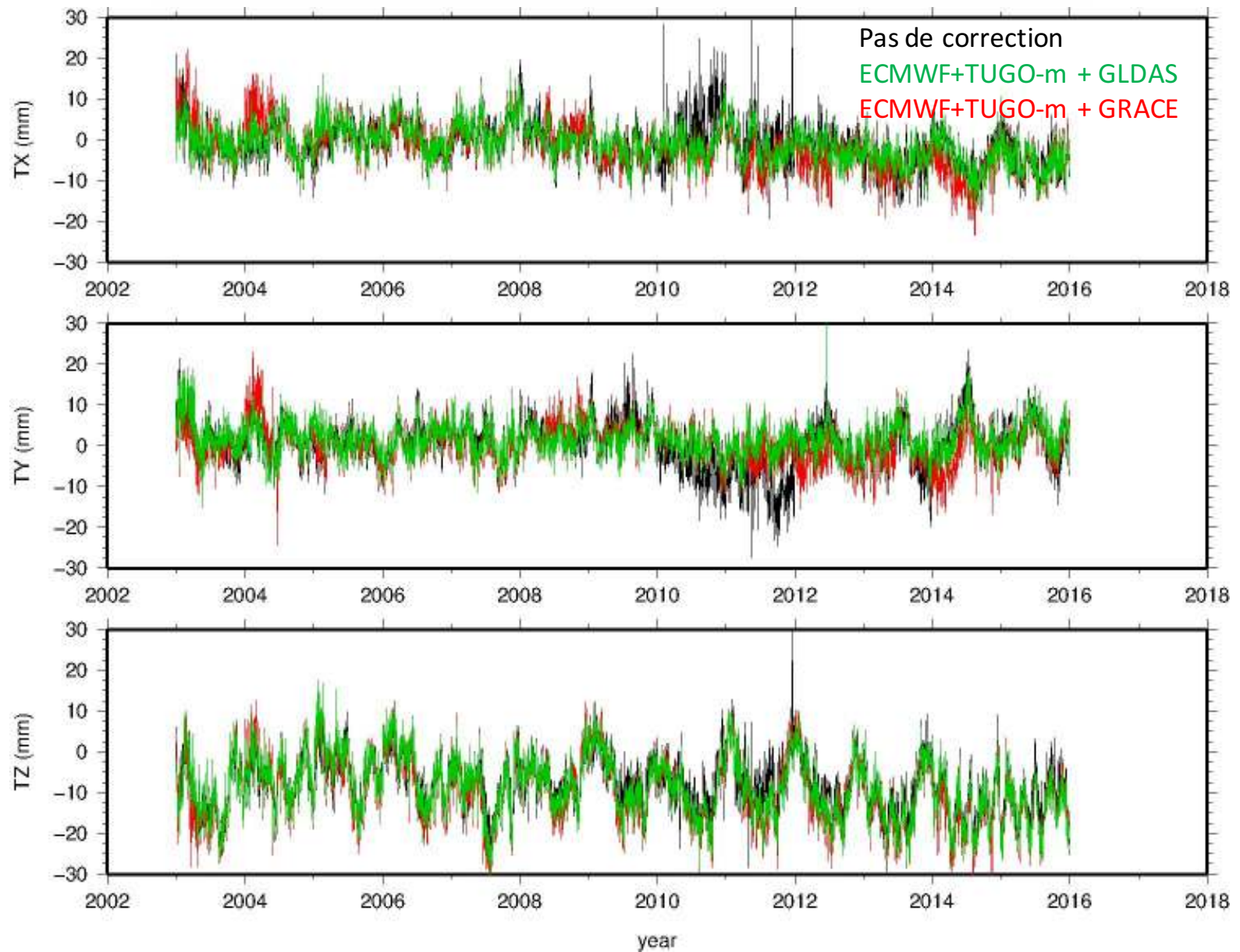
ECMWF+TUGO-m+GLDAS (U)



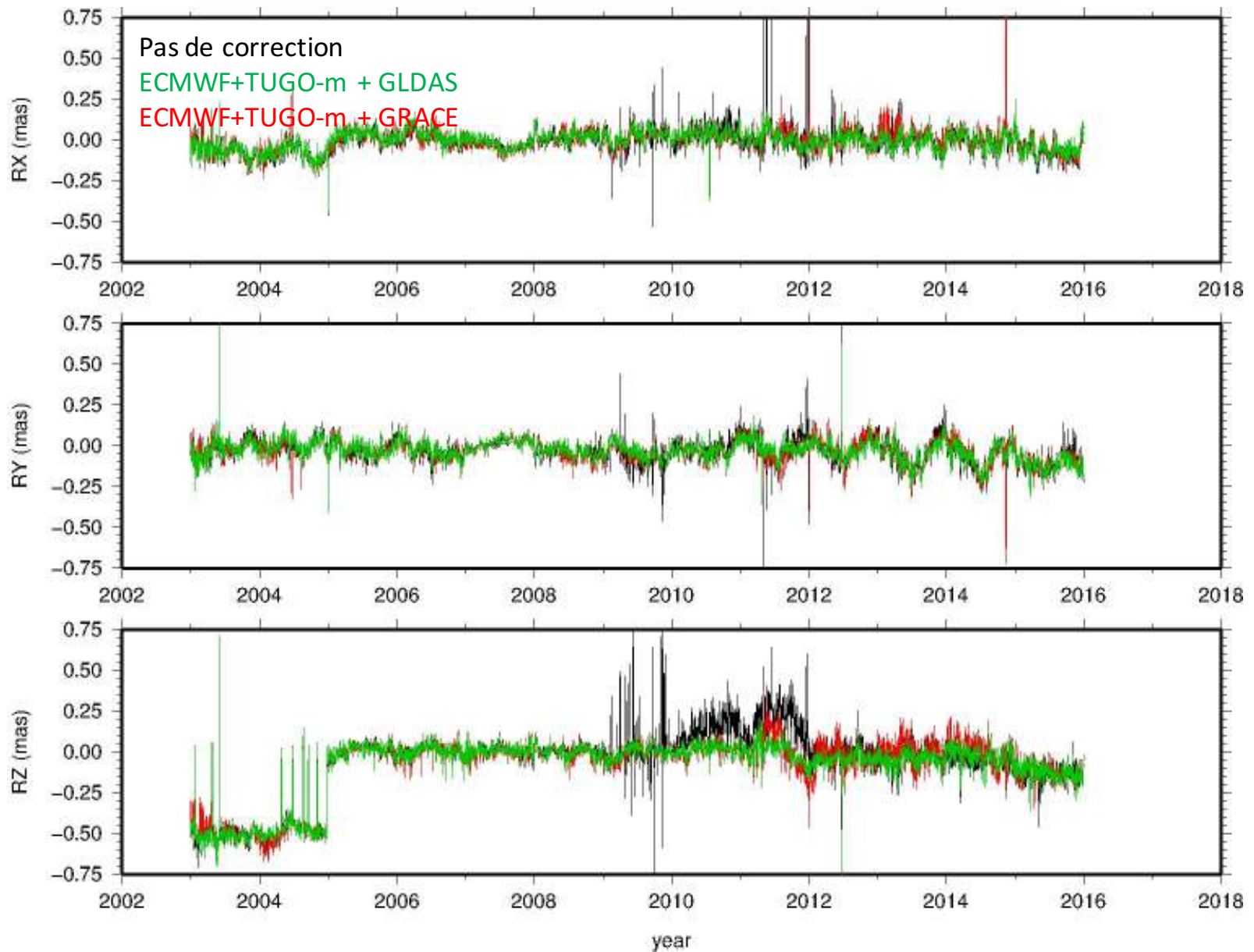
ECMWF+TUGO-m+GRACE (U)



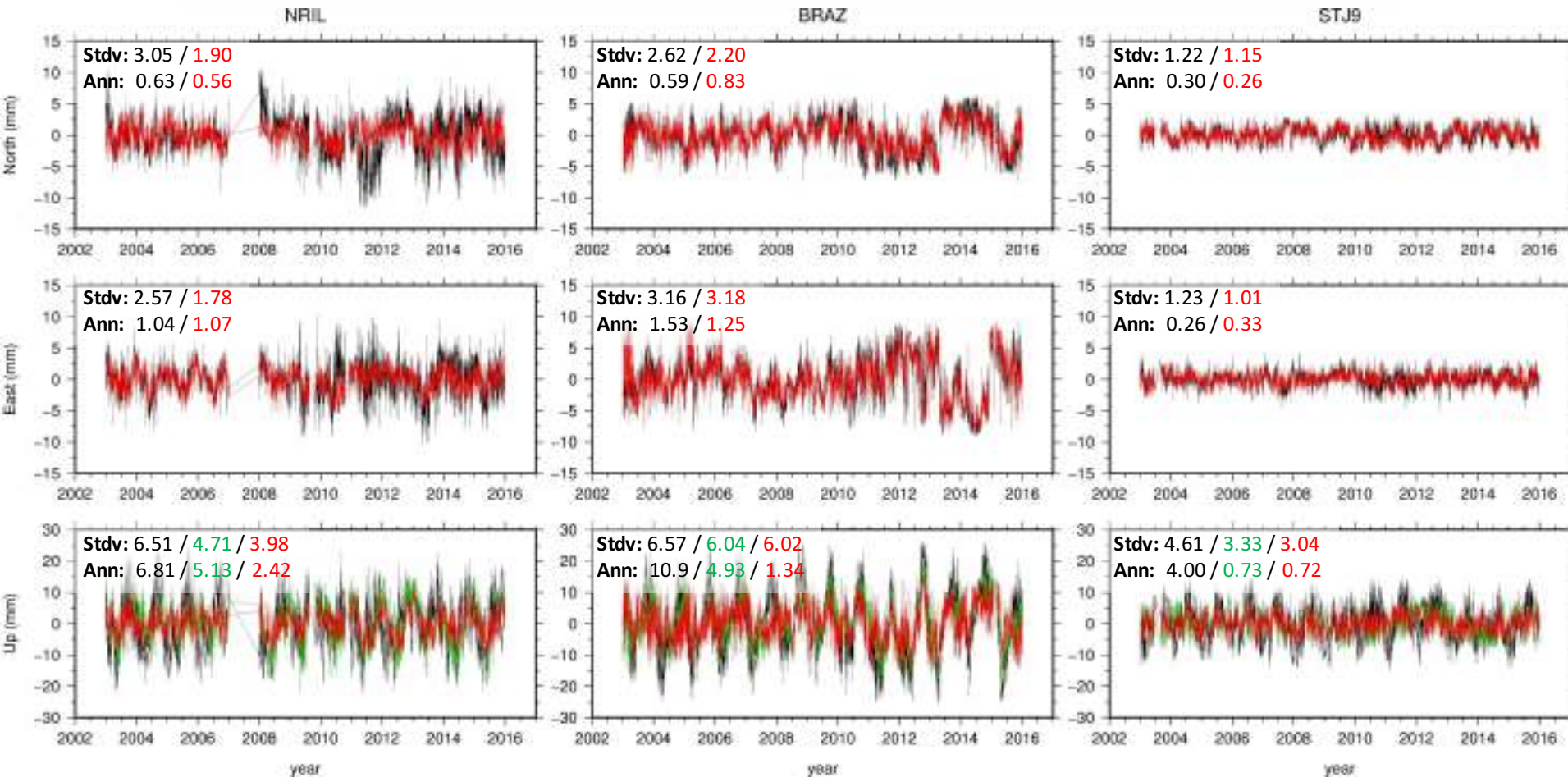
Mise en repère : translation



Mise en repère : rotation



Séries GPS (tendances polynomiales corrigées) avec ou sans correction de charges



Pas de correction

ECMWF+TUGO-m + GLDAS

ECMWF+TUGO-m + GRACE

Conclusions & Perspectives

- Jusqu'à 50% de la variabilité et du saisonnier dans le GPS expliqué par les charges.
- Pour le vertical, peu de différences entre une correction a posteriori et au niveau des différences.
- Par contre, seule une correction a priori sur les composantes horizontales réduit la variabilité et le saisonnier (par rapport à une solution finale mise en repère).
- Reste à voir, quel est l'effet sur l'orbite (champ variable, mais aussi déplacement des stations utilisées dans l'ajustement de l'orbite).

Conclusions & Perspectives

- On ne voit pas les différences entre les modèles hydrologiques (ici GLDAS et MERRA); GRACE (ici solution mascon itérée) est meilleure que le modèle GLDAS/Noah, malgré de plus faibles résolutions temporelle et spatiale.
- La réponse dynamique des océans (TUGO-m) permet une meilleure réduction de la variabilité que l'hypothèse classique statique du baromètre inversé, mais aussi est suffisante aux longues périodes (par rapport aux modèles baroclines de circulation).
- Les stations problématiques sont généralement insulaires ou côtières : les délais troposphériques sont probablement la cause.

Solution mascon GRACE itérée

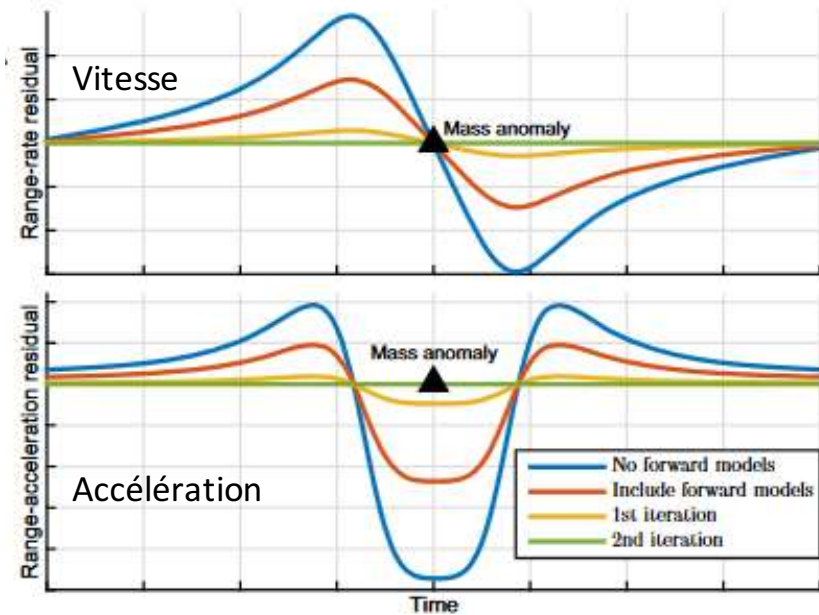


Fig. 1 The effect of forward models and solution iteration on GRACE inter-satellite range-rate and range-acceleration residuals is illustrated for a flyover of a positive mass anomaly

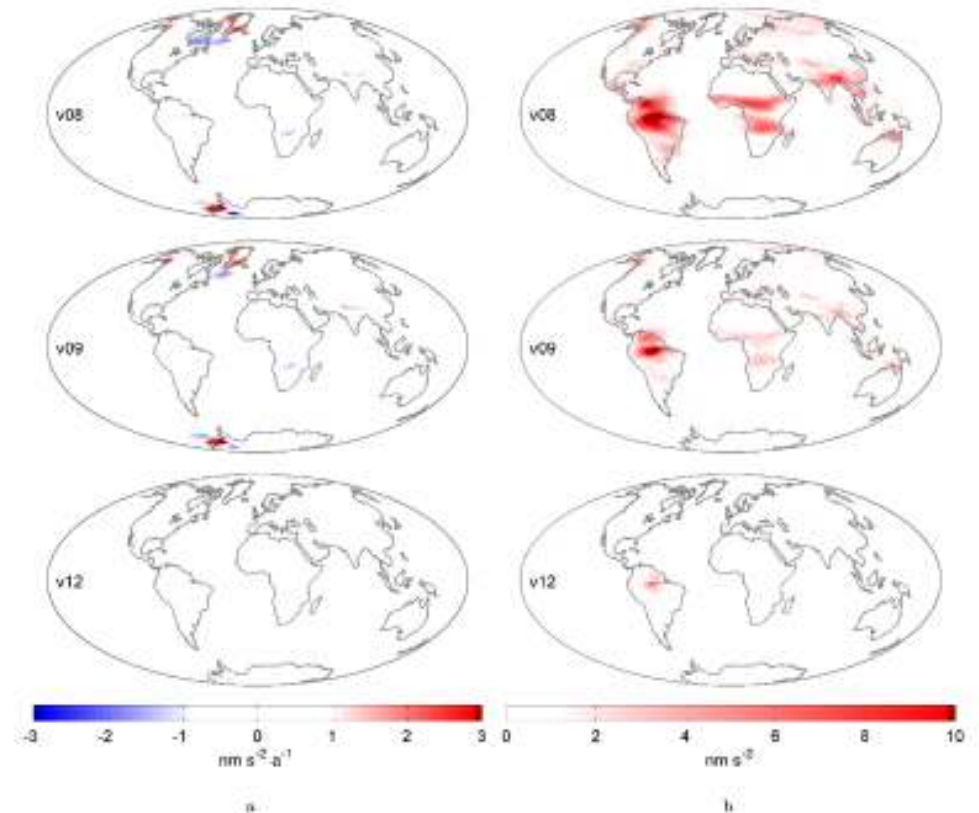
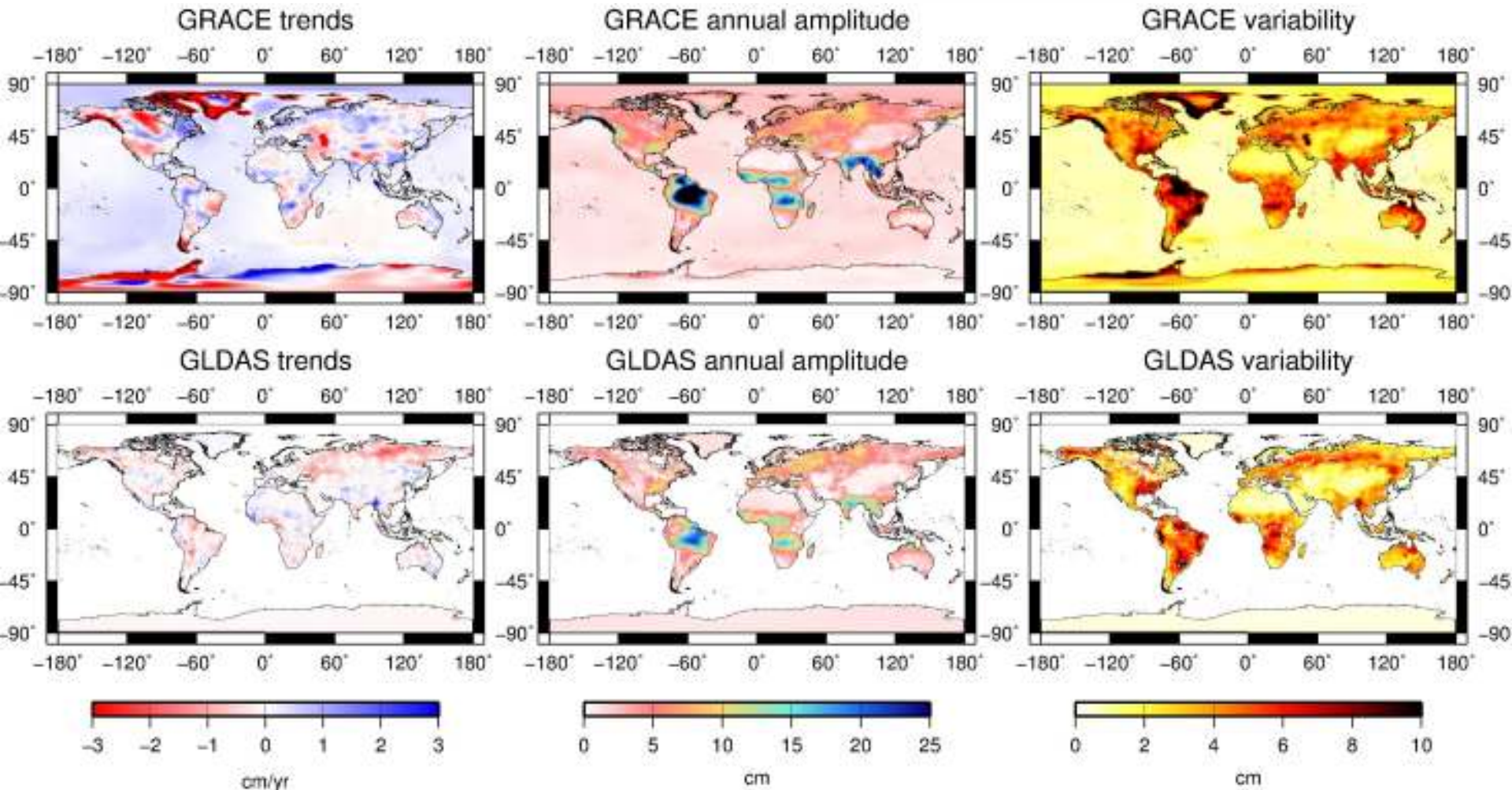


Fig. 3. Global maps of the (a) trend, and (b) annual amplitude of the time differenced KBRR residuals (KBRR-dot) for the forward models used in the v08 (row 1), v09 (row 2), and v12 (row 3) mascon solutions (see Table 1). The differences between v09 and v08 show the impact of the additional forward models included in the v09 solution, while the differences between v12 and v08 show the large reduction in residuals that is achieved with the iterated mascon solution.

Solution mascon GRACE itérée



Solution non-filtrée (pas de post-processing), de-aliasing avec ECMWF + TUGO-m (3 heures)

d'après Luthcke et al., 2013 & Loomis & Luthcke, 2017.