



Estimation de la précision des déplacements verticaux associés aux surcharges en Méditerranée.

Pierre Valty, Isabelle Panet, Olivier de Viron



Plan

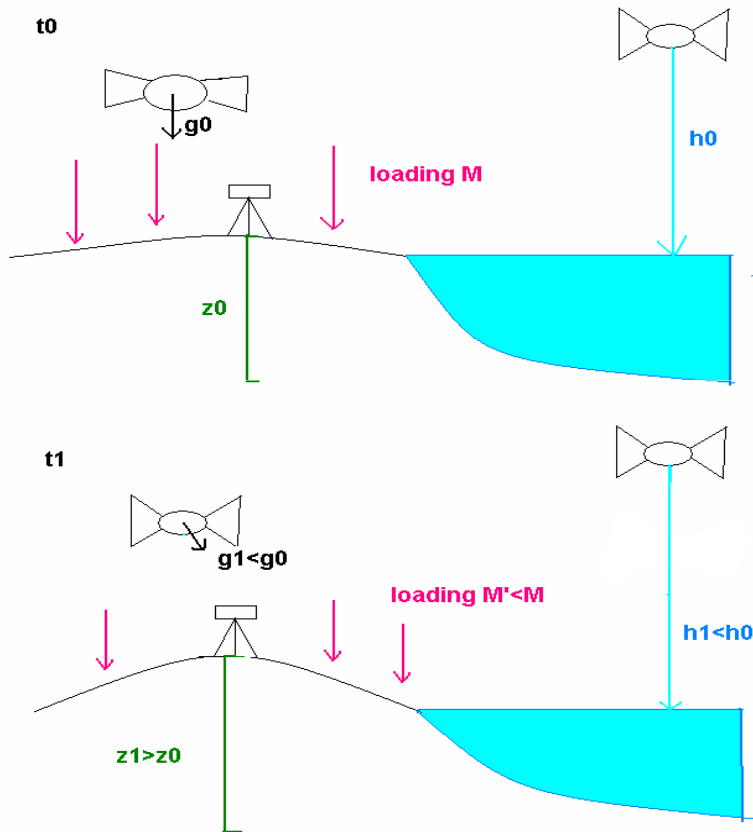
Introduction et problématique

I . Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

II . Estimation de la précision des données et des modèles

Conclusion

Introduction : comment procéder ?



Estimation des variations temporelles de la masse d'eau.

- techniques géodésiques indépendantes, précises, continues : gravimétrie par satellite, GPS, altimétrie satellitaire

- modèles de surcharge

- complémentarité (informations sur les redistributions des masses à la surface de la Terre)

- Exemple en Méditerranée + Mer Noire : zone bien couverte en mesures GPS.

Les techniques géodésiques sont sensibles aux variations temporelles de masse d'eau.

3 façons d'estimer la qualité de chaque jeu de données :

1

~~On dispose d'une
technique qui est
plus précise~~

2

~~On connaît la vérité
(les vraies variations
temporelles de
surcharge)~~

3

On les compare
entre elles



Introduction et problématique

I . Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

II . Estimation de la précision des données

Conclusion

I. Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

Phénomène climatique
(*changement global*)

Paramètres climatiques
(pression, température, précipitations ...)

Surcharge

Masse d'eau

Théorie de Love
(déformations élastiques)

Potentiel de Pesanteur

GRACE

Théorie de Love
(déformations élastiques)

Déplacement vertical de la croûte terrestre

GPS

Masse d'eau

Modèles de surcharge

Théorie de Love
(déformations élastiques)

Observables géodésiques

3 données indépendantes, mais une source de signal commune

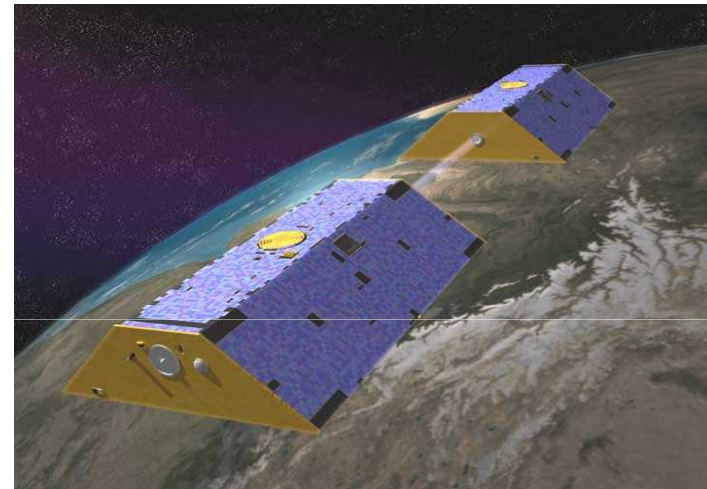
I. Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

1. Gravimétrie par satellite : GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment)

Variations temporelles du champ de pesanteur terrestre (résolution 400 km, 10 jours)



Variations temporelles de masse



Erreurs d'aliasing spécifique aux solutions GRACE :

Variations diurnes et semi-diurnes de surcharge (marées) imparfaitement corrigées dans les mesures GRACE

Effets d'aliasing sous forme de bandes orientées Nord/Sud (trajectoire des satellites)

Solution : Filtrage spécifique

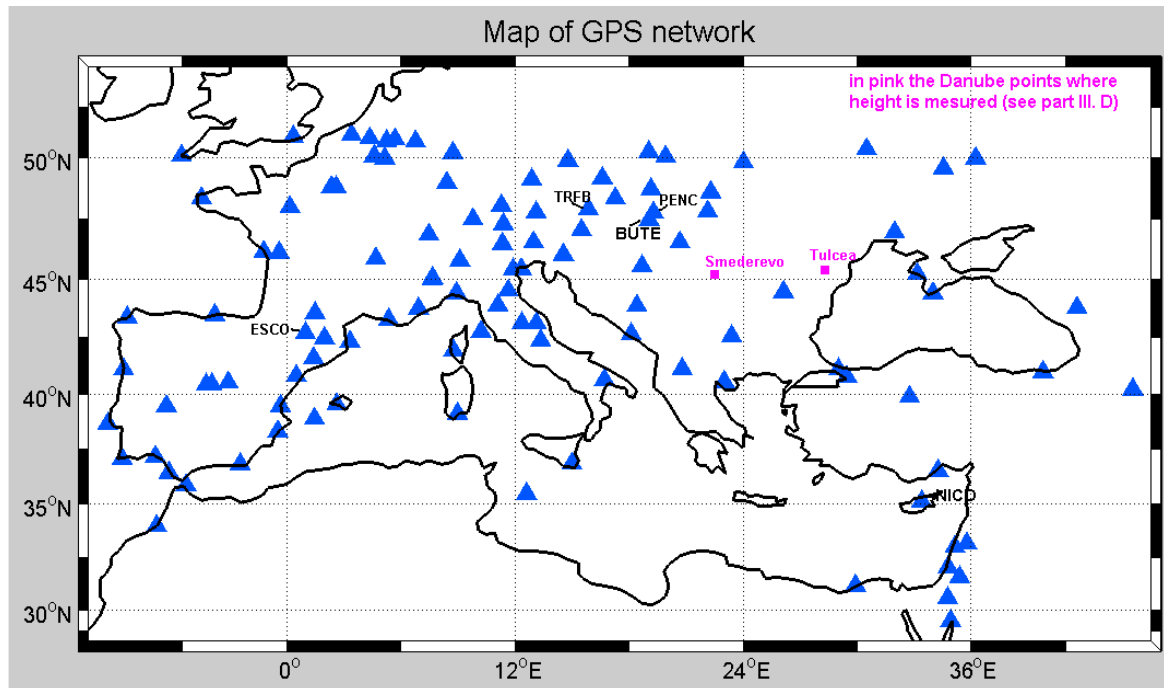
I. Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

2. Le GPS

Solution utilisée : séries temporelles du réseau EUREF (réseau Européen dense).

Pb : nécessité d'avoir une solution GPS globale (biais sur la composante verticale due à la mauvaise répartition), or EUREF est régional

Solution : combinaison réseau régional dense (EUREF) avec réseau global moins dense (IGb). Stations du réseau IGS équitablement réparties.



- **Résultat : séries temporelles de déplacement de 114 stations.**
- **On s'intéresse dans un premier temps aux déplacements verticaux (effets des surcharges plus forts)**

I. Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

3. Les modèles de surcharge

Compromis entre mesures et modèles physiques théoriques

Modèles hydrologiques (variations de masse dues au contenu en eau du sol).
Basés sur observations de pluviométrie, géologie des sols.
GLDAS, WGHM

Modèles atmosphériques (variations de masse dues aux changements de pression de surface)
NCEP

Modèles océaniques (variations de masse dues aux variations de la hauteur de mer corrigées des effets stériques). La plupart d'entre eux assimilent des données géodésiques (altimétrie).
ECCO, Mercator

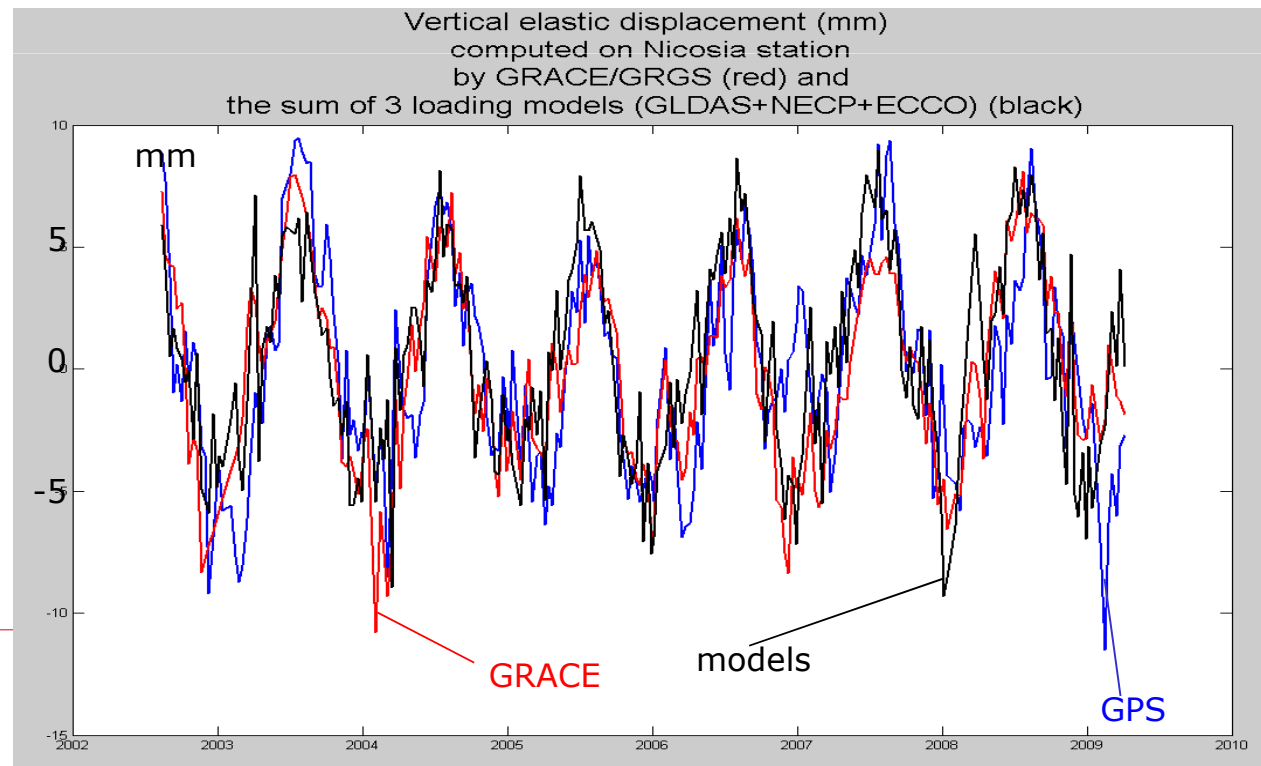
I. Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

Données géodésiques hétérogènes : il faut les ramener à une base commune.
Base commune : séries temporelles GPS (déplacements ponctuels)

GRACE : rajout d'un modèle de géocentre (Swenson) pour passer du Centre des Masses au Centre de Figure (~ origine de la solution GPS)
+ changement du coefficient C20 (utilisation d'un C20 issu du SLR)
+ conversion en déplacement vertical élastique

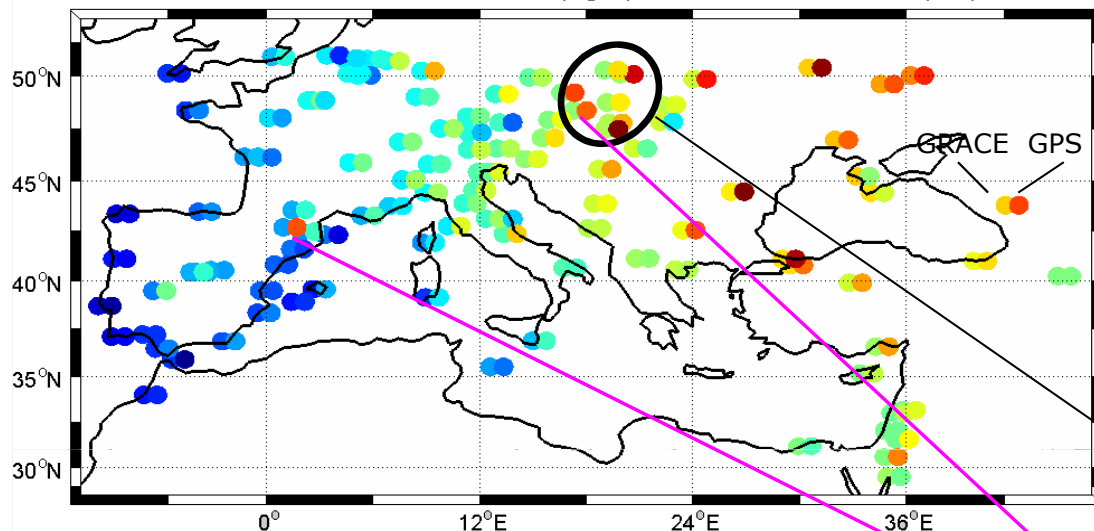
Modèles de surcharge :
Modèle de géocentre
+ conversion en déplacement vertical élastique

+ Soustraction des moyennes + pentes (pour toutes les données)



I. Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

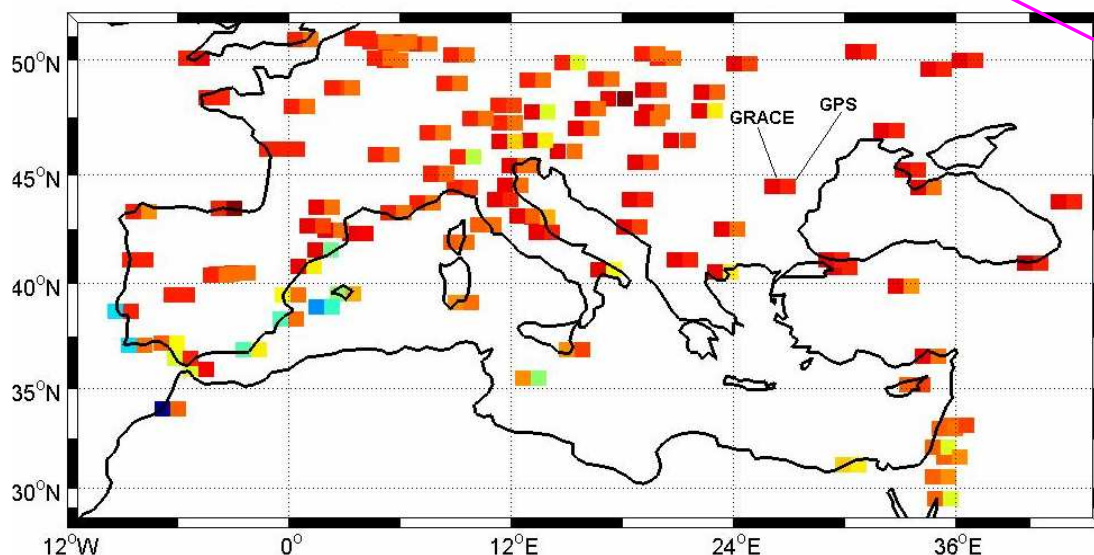
Amplitude (mm) of the annual vertical displacement signal as measured on GPS data (right) and GRACE/GRGS (left)



Très bon accord GRACE/GPS sur la **phase** (sauf localement points côtiers Espagne)
Bon accord sur l'**amplitude**.

Différences régionales (est Autriche / ouest Hongrie)

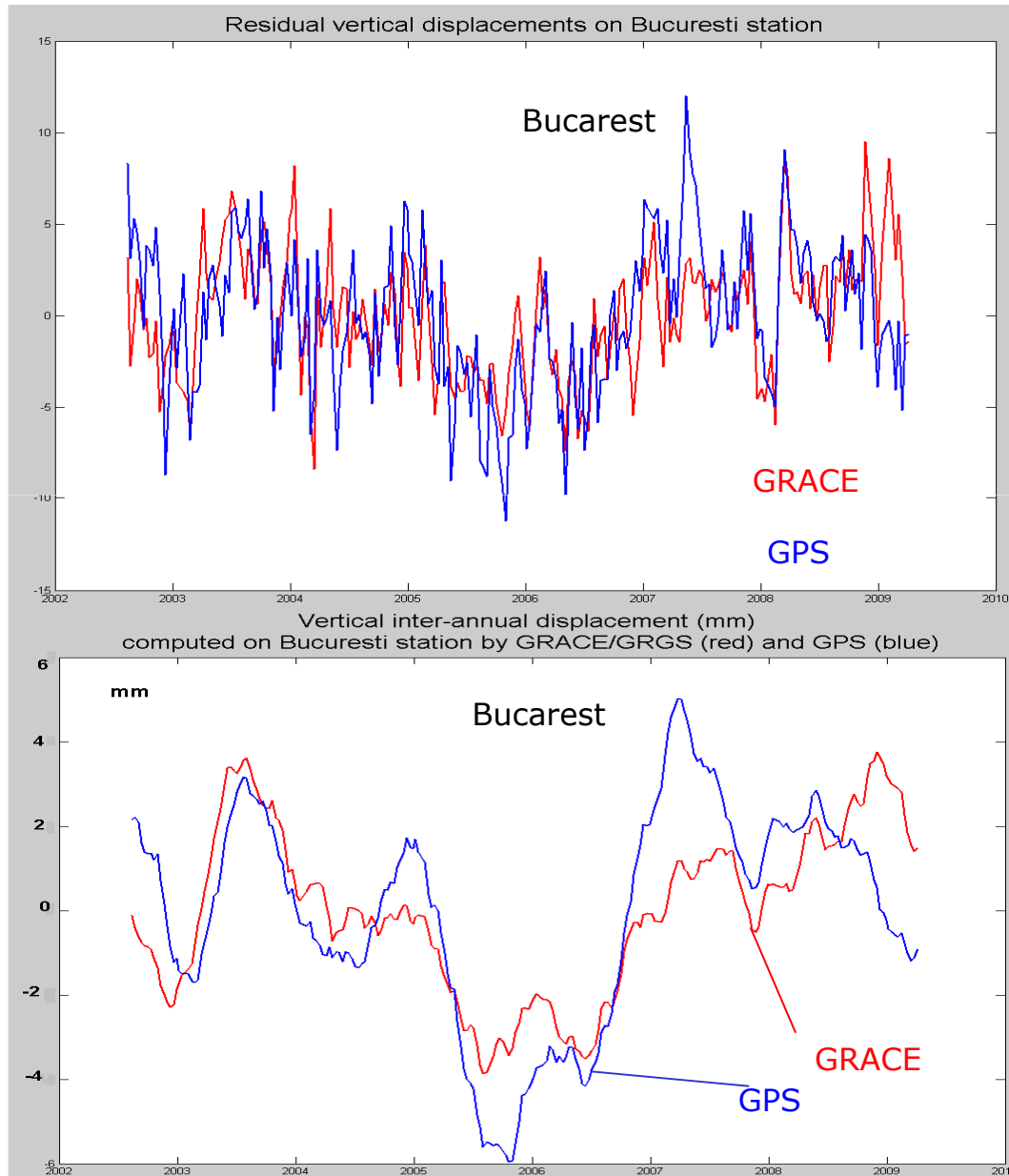
Phase of annual signal (in degrees, 360° = 1 year) obtained on GPS time series (right) and GRACE/GRGS (left)



Différences locales : points GPS repérés par le tricolore comme étant de faible précision

Lien avec le climat (continental ≠ océanique) ?

I. Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques



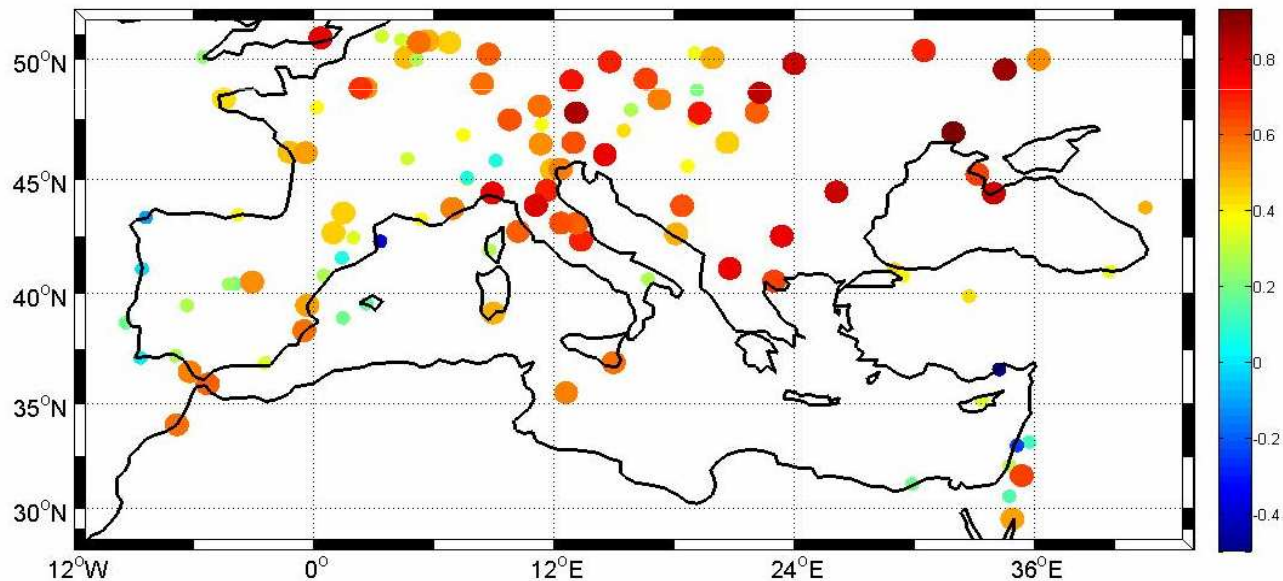
Signal résiduel

Soustraction du signal annuel
et filtrage (on ne garde que
Les périodes > 6 mois)
= signal inter-annuel

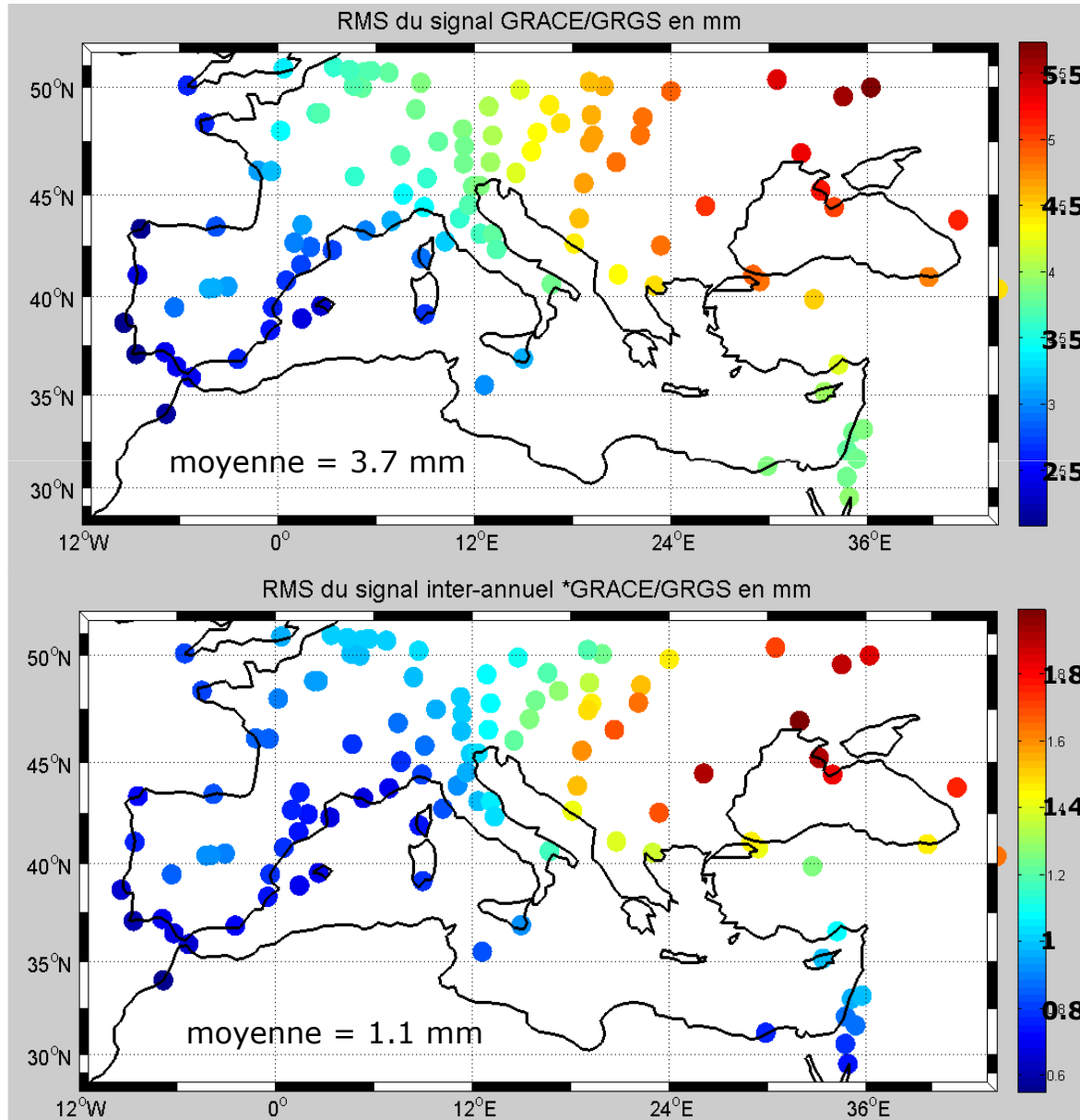
I. Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

- Corrélation inter-annuelle GRACE/GPS :**
- positive sur **90%** des points
- significative à **95%** sur près de **65%** des stations

Map of correlations between inter-annual signal of vertical displacements computed by GRACE/ GRGS and measured by GPS.
Big points mean that the correlation is significant at a 95% level. (Pearson test)



I. Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques



- Amplitude du signal hydrologique : dichotomie Nord-Est/ Sud-Ouest

- Liée au climat ?

- Attention échelles de couleur différentes



Introduction et problématique

I . Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

II . Estimation de la précision des données

Conclusion



II . Estimation de la précision des données



3 réalisations indépendantes de la même quantité :

-Déplacements verticaux GPS

-Déplacements verticaux élastiques calculés à partir des variations du champ de pesanteur mesurés par GRACE. (CSR, GFZ, JPL et GRGS)

-Déplacements verticaux élastiques calculés à partir de la somme des modèles de surcharge (4 combinaisons)

Sur 114 stations

utilisation de la méthode du **tricorne**

(Gray et Allan, 1974)

II . Estimation de la précision des données

Pour tout déplacement, on peut écrire que :

$$D_i = D_{exact} + \varepsilon_i$$

Série temporelle de déplacement technique i
Déplacement « vrai » lié à la surcharge
Erreur propre à la technique i

$$\begin{aligned} \text{var}(D_{gps} - D_{GRACE_CSR}) &= \text{var}(D_{exact} + \varepsilon_{gps} - D_{exact} - \varepsilon_{GRACE_CSR}) = \\ \text{var}(\varepsilon_{gps} - \varepsilon_{GRACE_CSR}) &= \sigma_{gps}^2 + \sigma_{GRACE_CSR}^2 - 2\text{COV}(\varepsilon_{GPS}, \varepsilon_{GRACE_CSR}) \end{aligned}$$

Observations indépendantes \longrightarrow covariance des erreurs nulle

$$\begin{aligned} \text{var}(D_{gps} - D_{GRACE_CSR}) &= \sigma_{gps}^2 + \sigma_{GRACE_CSR}^2 \\ \text{var}(D_{modèles} - D_{GRACE_CSR}) &= \sigma_{modèles}^2 + \sigma_{GRACE_CSR}^2 \\ \text{var}(D_{gps} - D_{modèles}) &= \sigma_{gps}^2 + \sigma_{modèles}^2 \end{aligned}$$

3 observations
3 inconnues

Si c'est pour la même technique, alors covariances non nulles

$$\text{var}(D_{GRACE_GRGS} - D_{GRACE_CSR}) = \sigma_{GRACE_GRGS}^2 + \sigma_{GRACE_CSR}^2 + 2\text{COV}(\varepsilon_{GRACE_GRGS}, \varepsilon_{GRACE_CSR})$$

II . Estimation de la précision des données

- Résolution du système par moindres carrés (si au moins 3 techniques indépendantes) et estimation des précisions et des covariances propres à chaque jeu de données
- Estimation de la précision globale des observables (Monte-Carlo) :
 - GRACE : **1.3** (GRGS) à 1.8 mm (+/- 0.1 mm)
 - GPS : **2.9** mm (+/- 0.2 mm)
 - Modèles : **3.1** (GLDAS+NCEP+ECCO) à 3.4 mm (+/- 0.1 mm)

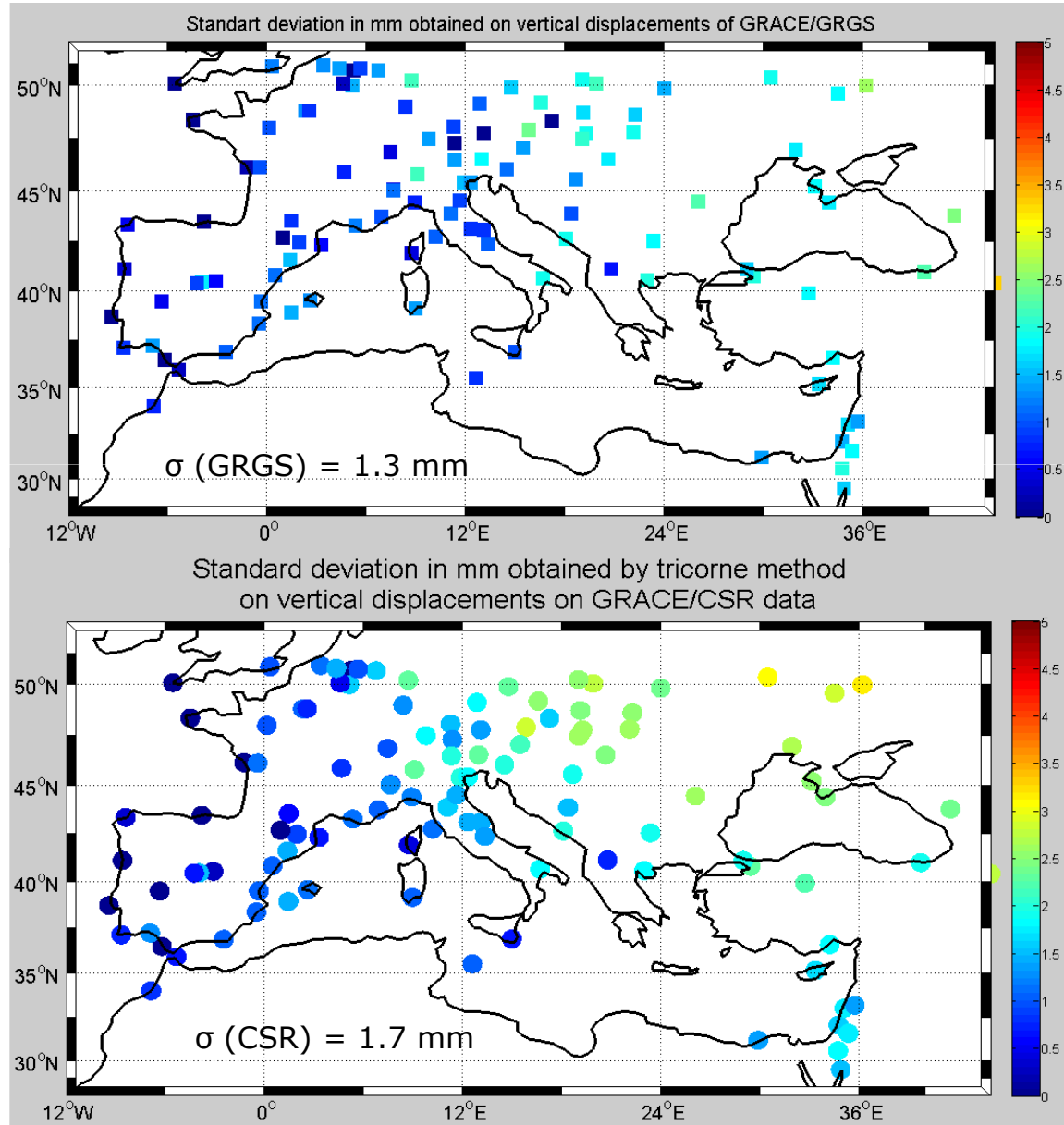
Application aux séries résiduelles et aux séries inter-annuelles

Résultats du tricorne à relativiser en fonction de la réduction de la variance totale lors de la soustraction de l'annuel et du filtrage.

Possibilité de résolution du tricorne point par point

précision globale (mm)	Résiduel	remarques	Inter-annuel	remarques
GRACE (moyenne)	1,3	JPL : 1.2 GFZ : 1.5	0,5	JPL : 0.3 GRGS : 0.6
GPS	2,7		1,4	
Modèles (moyenne)	2,6		0,8	

II . Estimation de la précision des données



GRACE total:

- Précision 1 à 2 mm cohérente avec la précision *a priori*

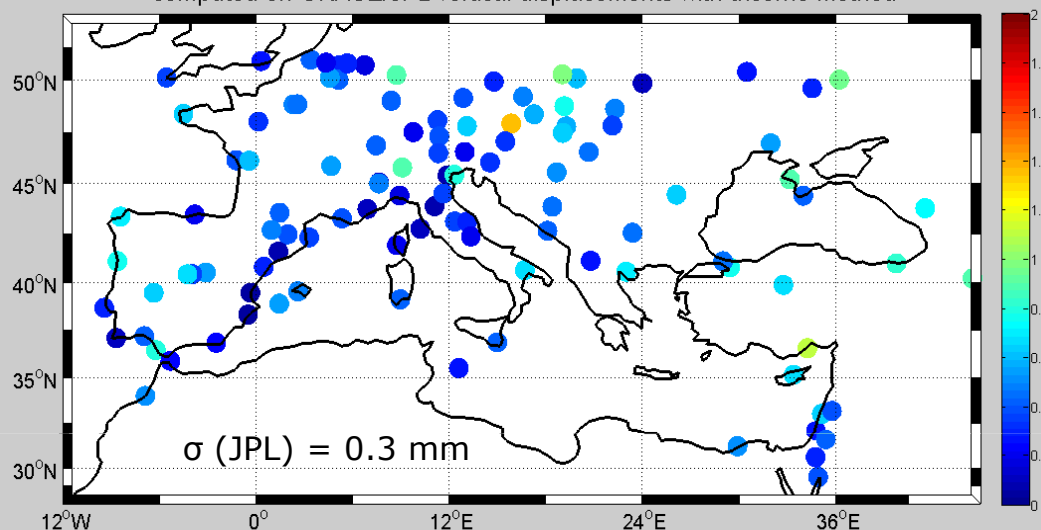
- on peut s'attendre à une précision homogène géographiquement (mesure GRACE)

-GRGS + précis que autres modèles dans les zones à fort signal(Europe de l'Est)

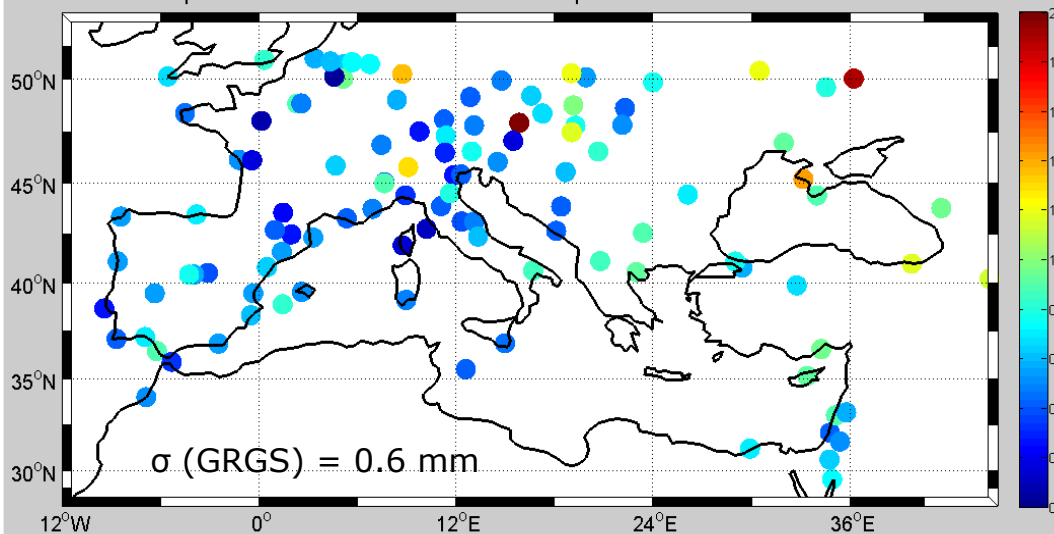
-Structure spatiale pas à peu marquée (suivant les modèles)

II Estimation de la précision des données

Standart deviation of inter-annual precision in mm
computed on GRACE/JPL vertical displacements with tricorne method



Standart deviation of inter-annual precision in mm
computed on GRACE/GRGS vertical displacements with tricorne method



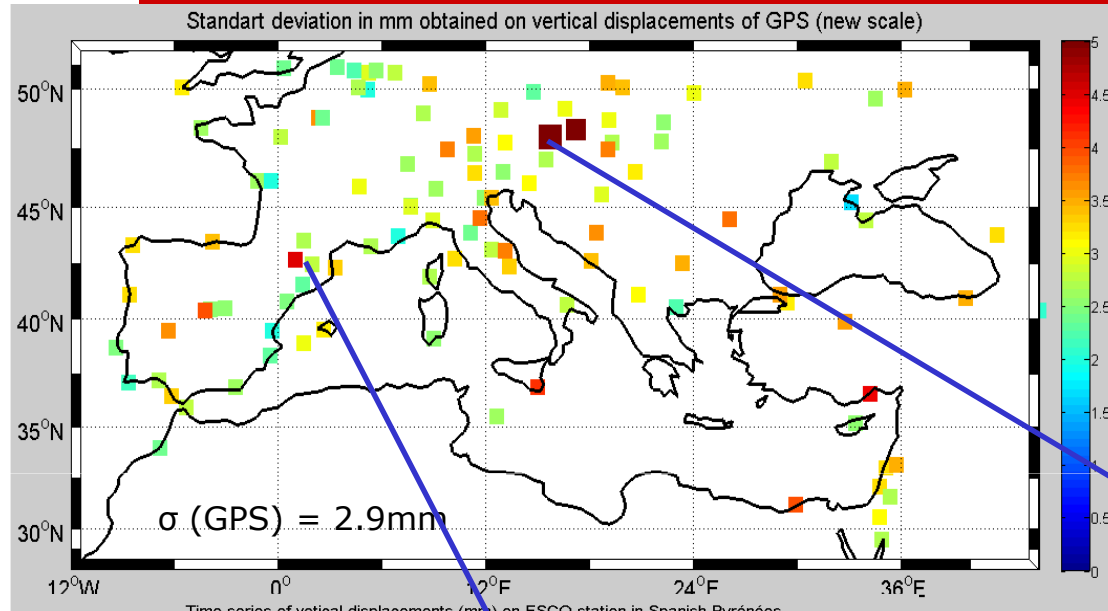
GRACE résiduel

- 1 à 1.5 mm
- JPL meilleur modèle
- pas de structure spatiale

GRACE inter-annuel

- Autour de 0.5 mm (mais filtrage a enlevé bcp de signal)
- JPL le plus précis (0.3 mm)
- structure spatiale peu marquée
- apparition de points locaux peu précis

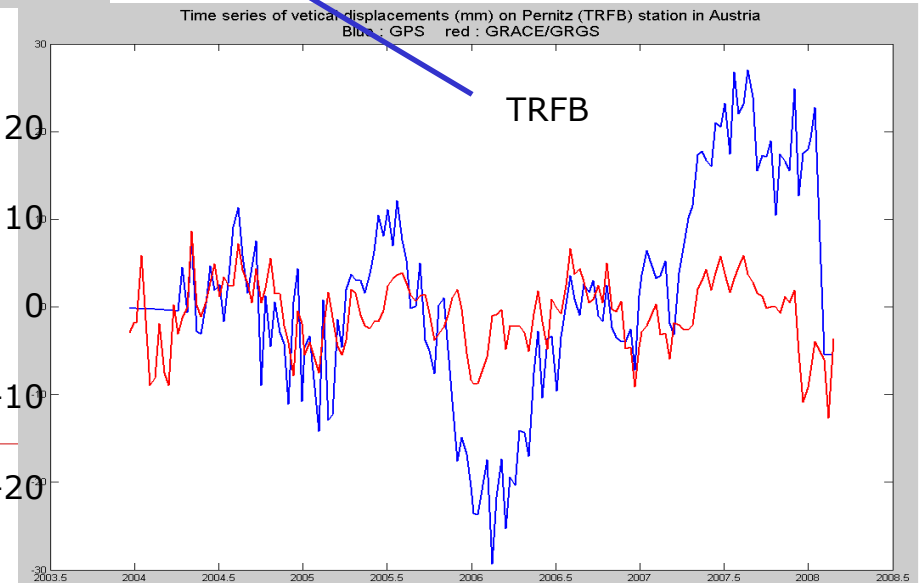
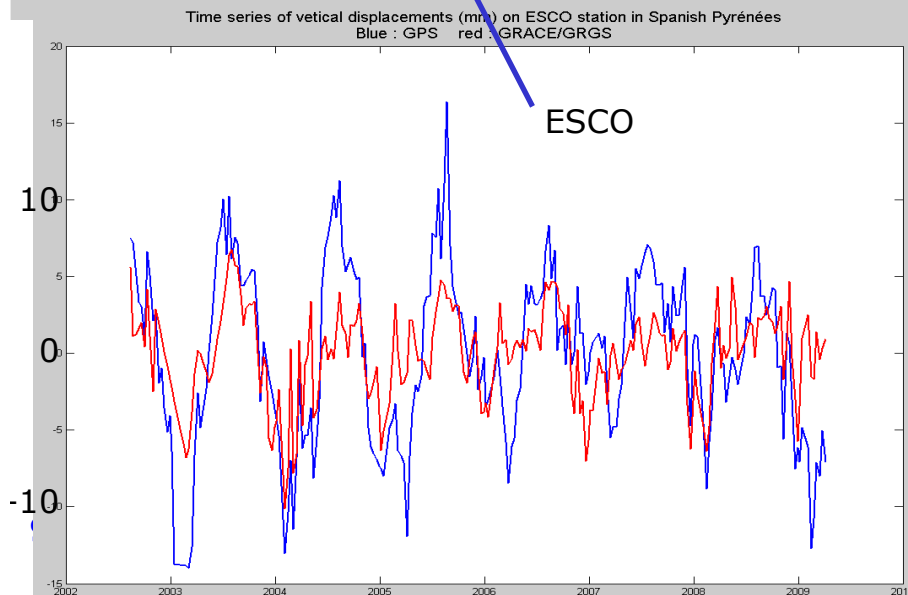
II . Estimation de la précision des données



GPS total

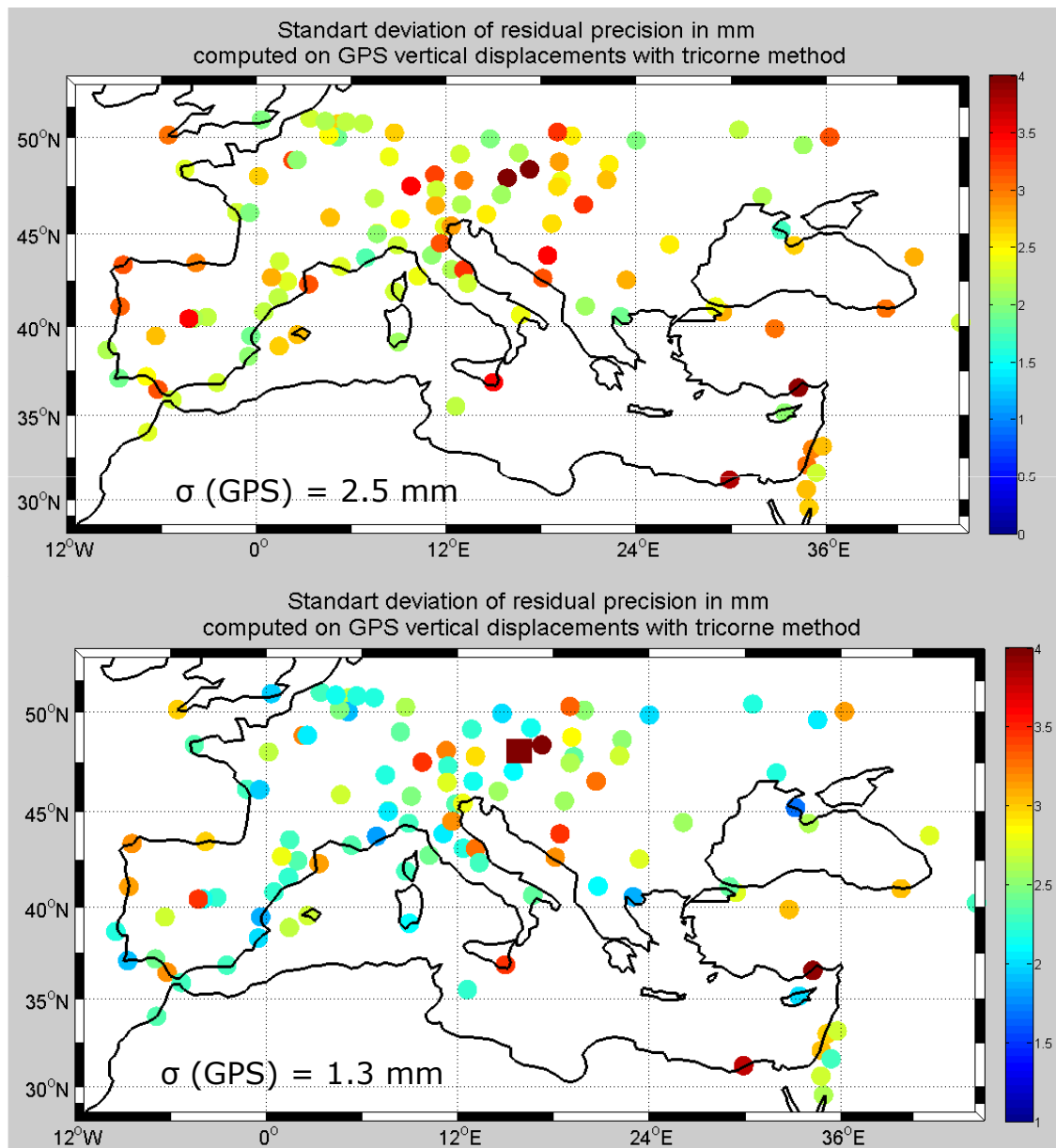
-3mm : proche des études précédentes

- pas de systématisme spatial
- détection de qqes points GPS « peu précis » (< 5mm) (dont 1 très suspect, confirmé + 1 en altitude : effets locaux non mesurés par GRACE)



le G2

II Estimation de la précision des données



GPS résiduel et inter-annuel

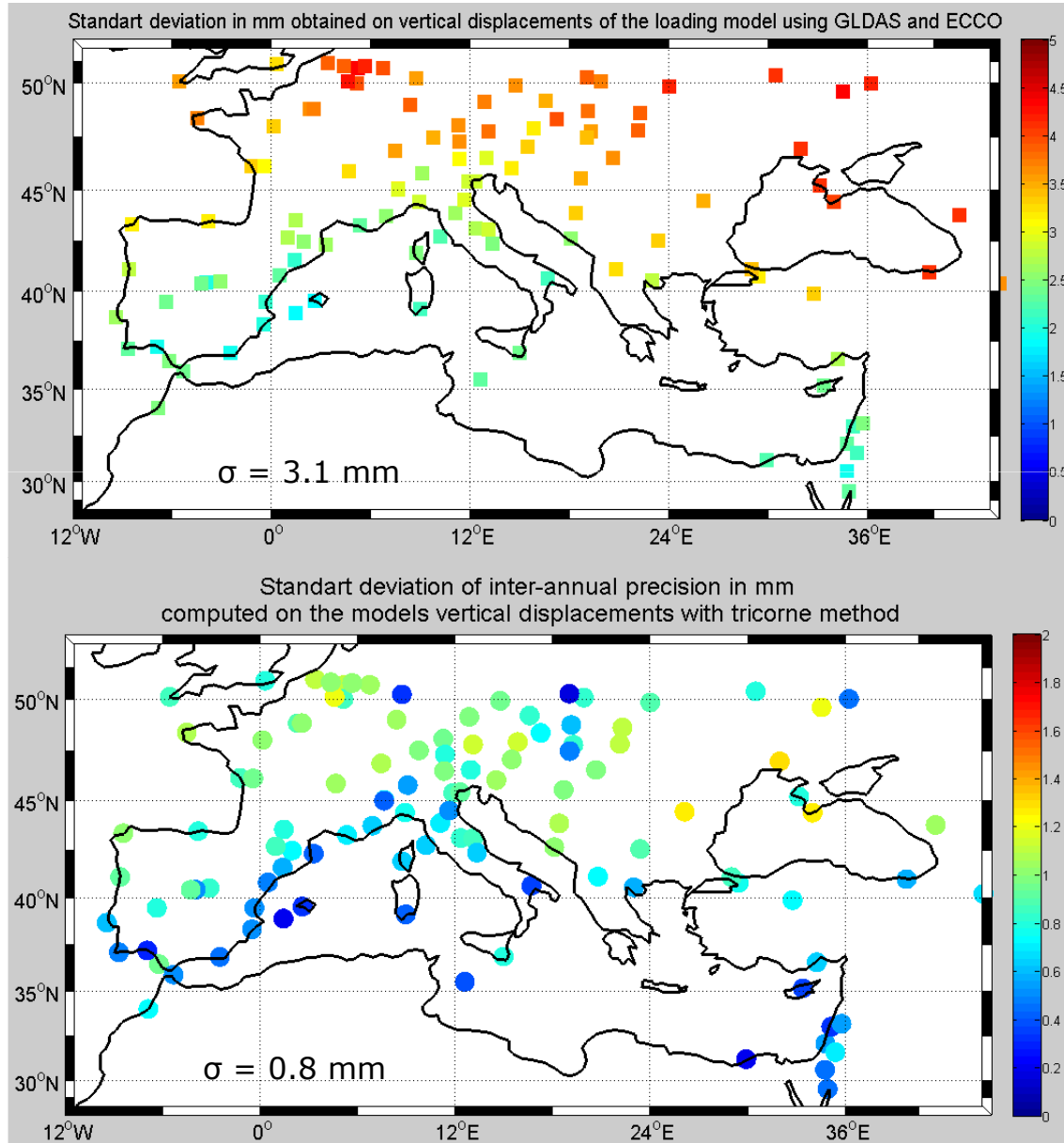
- Précisions dégradées / GRACE et aux modèles lorsque l'annuel est retiré
- points peu précis ressortent (TRFB)

- ESCO est plus précis en inter-annuel et résiduel

- apparition de légères tendances spatiales

- causes de la perte relative de précision du GPS en inter-annuel ?

II Estimation de la précision des données



Somme des modèles de surcharge

- 3 à 3.5 mm ? Cohérent avec leur précision *a priori* ?

- Modèles moins précis en zones continentales

- Attention : zones à faible signal et précision médiocre

- Orthogonalité précision modèles / amplitude du signal

- précisions des modèles meilleure en résiduel et inter-annuel : bonne qualité des basses fréquences ?

- inter-annuel : apparition d'hétérogénéités locales



Conclusion



- Hypothèses d'erreurs inter-technique non-corrélées. Critère respecté ?
 - GRACE jeu de données le plus précis (1.5 à 2 mm en absolu, moins de 0.5 mm en inter-annuel.).
 - Tendances spatiales assez peu marquées, mais différentes suivant les modèles.
 - performances obtenues différentes suivant les solutions et varient entre les composantes annuelle et inter-annuelle
 - JPL meilleur modèle en résiduel, GRGS le plus précis sur la composante annuelle. Lien avec la stratégie de calcul ?
 - cohérent avec des études précédentes (de Viron et al., 2008)
 - GPS : précision de l'ordre de 3 mm. Application à la détection d'outliers. Perte de précision sur l'inter-annuel pour le GPS. Quelles causes ?
 - modèles : plus précis en inter-annuel relativement au GPS ou même à GRACE
-