
Estimation de l'erreur sur la détermination des surcharges

Pierre Valty, Olivier de Viron, Isabelle Panet

Remerciements : Xavier Collilieux, Juliette Legrand (ORB)

Introduction

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

II . Estimation de l'erreur sur la détermination de la surcharge

Conclusion

Problématique

**De nombreuses de mesures géodésiques
Ces mesures contiennent une variabilité commune.**

Utilisation de cette redondance d'information pour :

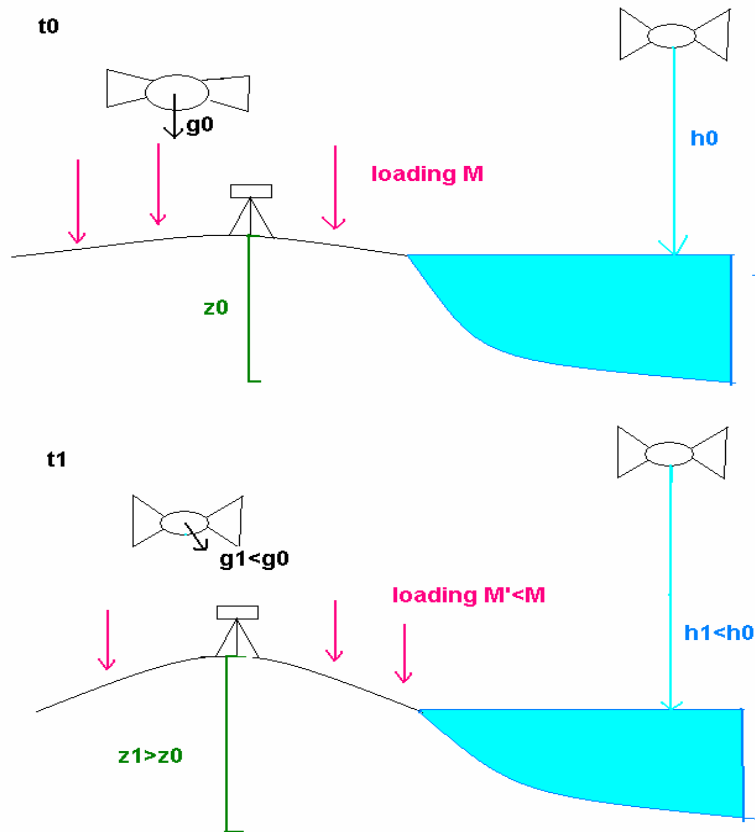
Estimer la précision de détermination des mouvements liées aux surcharges fluides.

Estimer leur précision et caractériser l'erreur dans les séries GPS et gravi ?

Quantifier et comprendre les mouvements non-linéaires et non-annuels affectant les stations utilisées pour le calcul de systèmes de référence ?

sud de l'Europe : une zone test bien instrumentée et avec du signal

Introduction



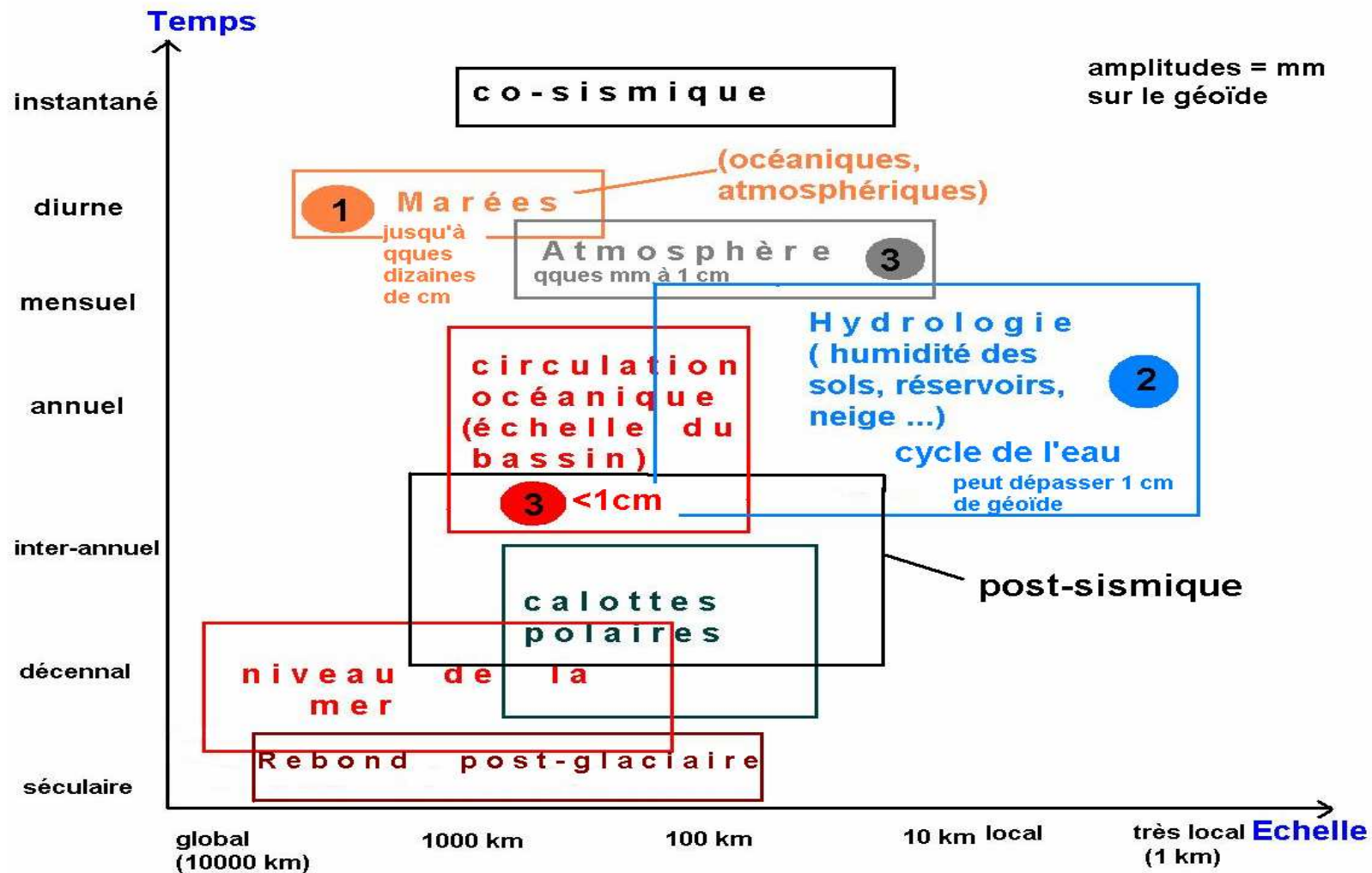
Variabilité commune : variations temporelles de la masse d'eau.

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

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

- modèles de surcharge

Principales variations temporelles de masse de la Terre



Introduction

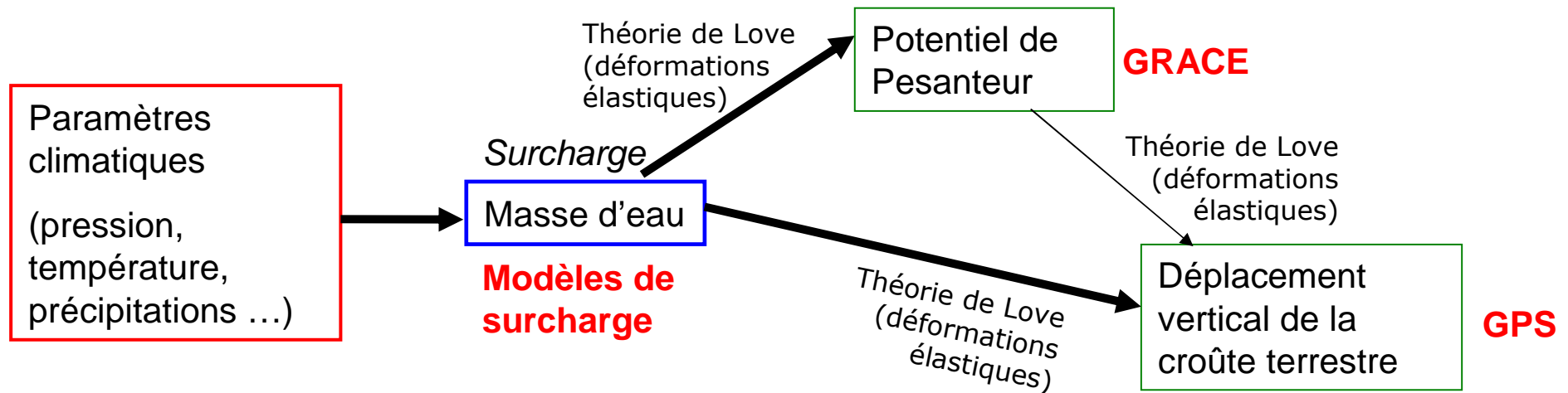
I . Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

II . Estimation de l'erreur sur la détermination de la surcharge

Conclusion

Les phénomènes de surcharge et leur lien avec les observables géodésiques

Observables géodésiques



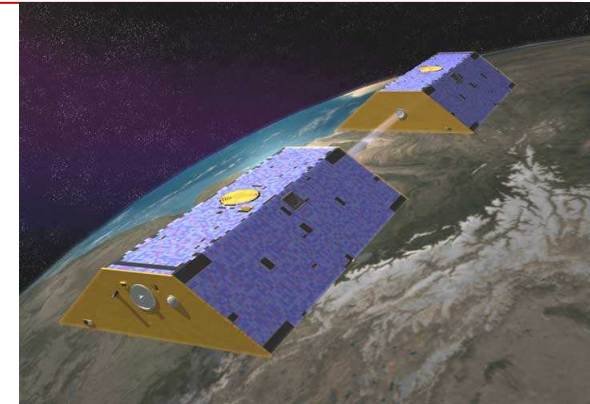
3 jeux de données indépendants (GRACE, GPS, modèles), une source de signal commune.

Les observables : GRACE

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

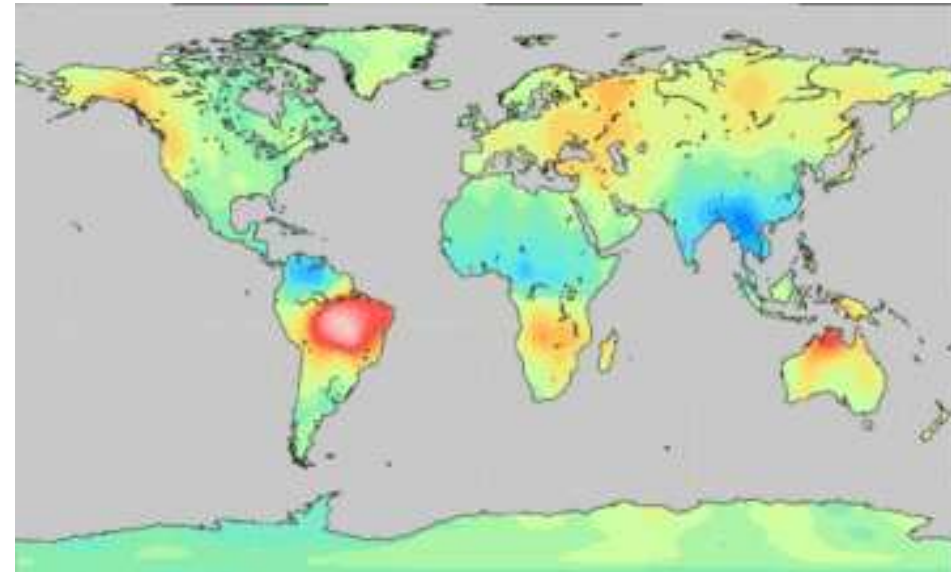


Variations temporelles de masse



Source : Center of Spatial Research

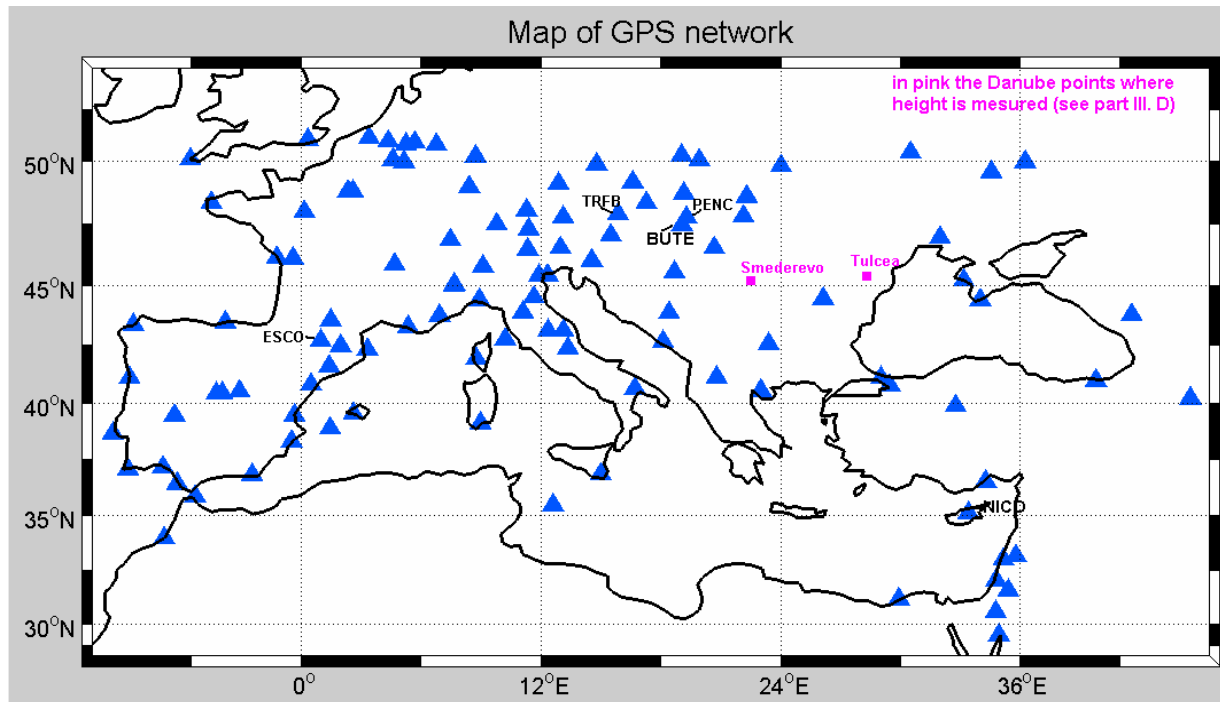
4 modèles: CSR, GFZ, JPL, GRGS



Source : CNES/GRGS

2 solutions utilisées :

- solution Européenne dense **EUREF**, combiné avec une solution globale (IGb)
 - solution globale **ULR4** (Alvaro Santamaria).
- **Résultat : séries temporelles de déplacement de 110 stations EUREF.**
 - **ULR4 (global) : 36 stations communes**



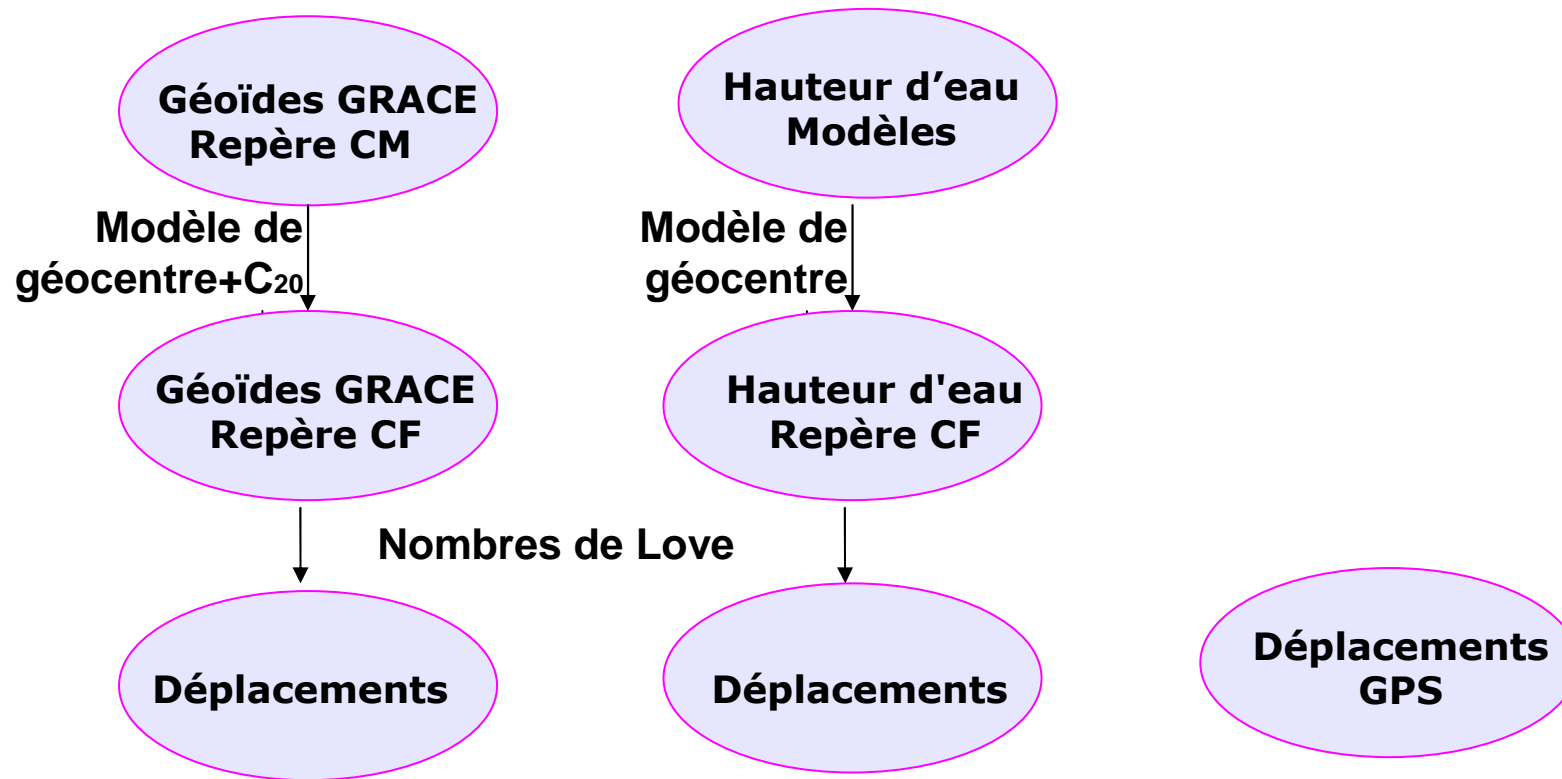
On s'intéresse dans un premier temps aux déplacements verticaux

Les modèles de surcharge

-
- **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).
ECCO, Mercator

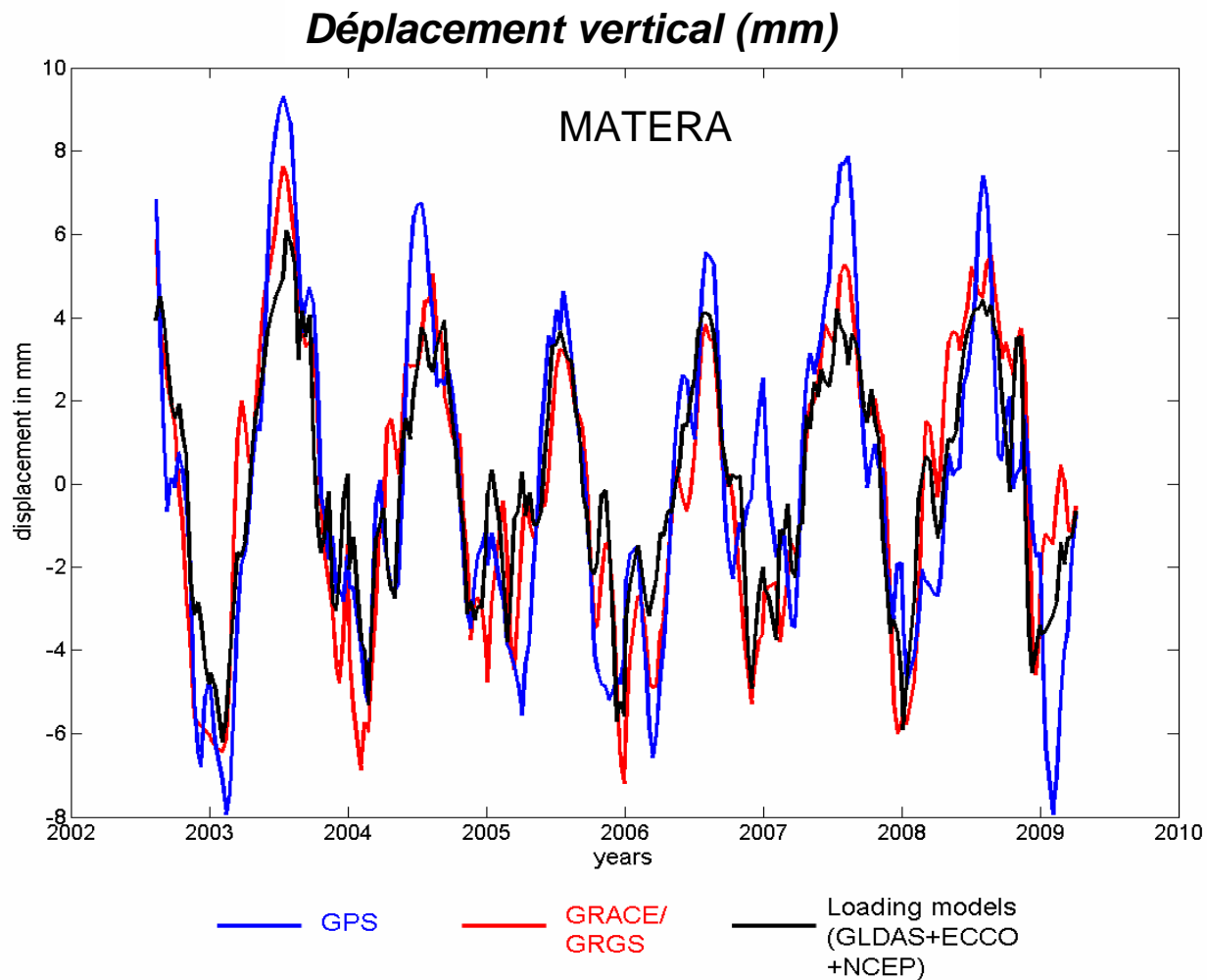
Aucun des modèles n'assimile de données GRACE ou GPS.

Mise dans une référence commune



+ soustraction des moyennes et des pentes

Déplacement total



Composante verticale :

GRACE-GRGS/modèles :

- 98% de corrélations positives

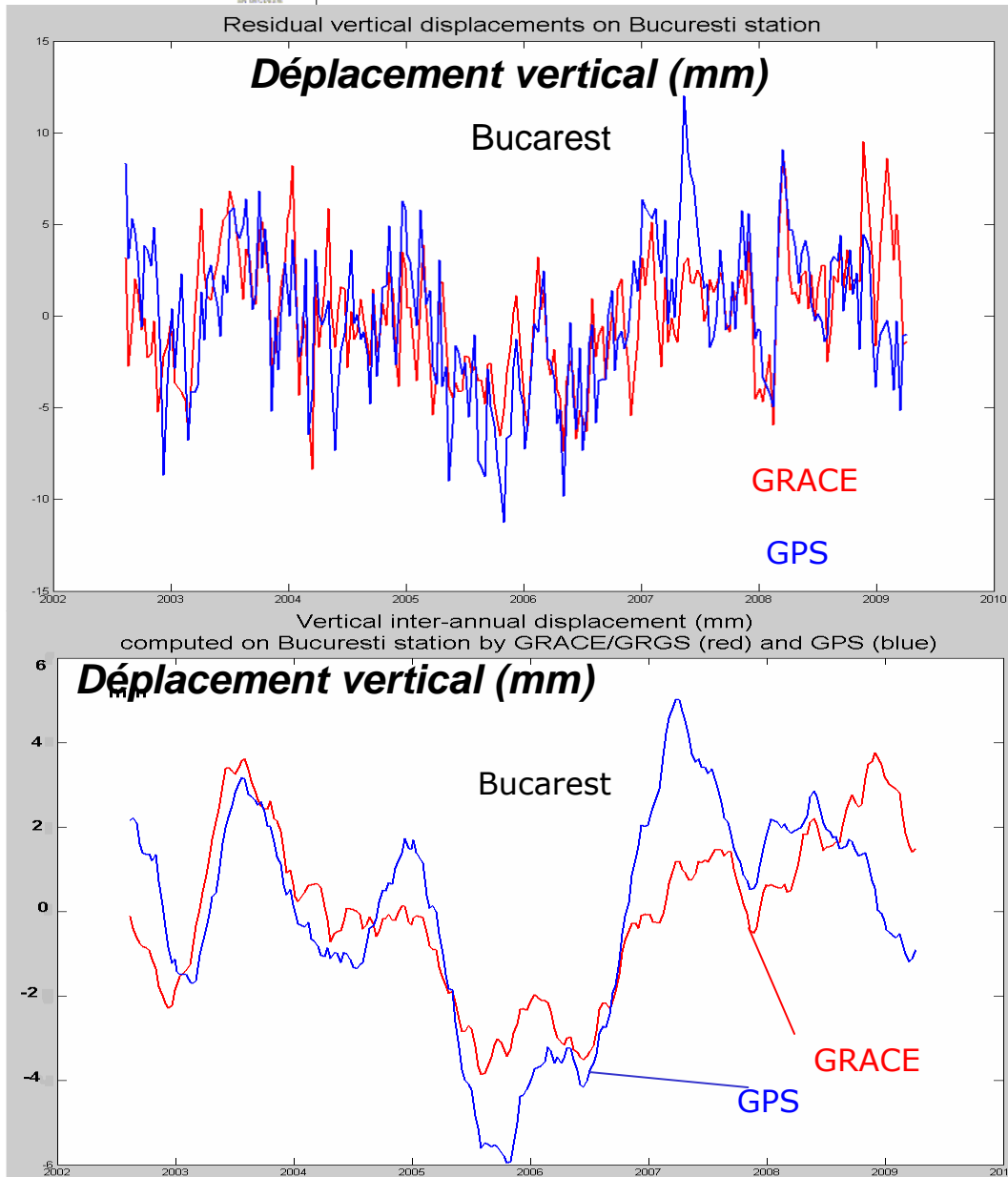
-Facteur d'échelle (rapport moyen d'amplitudes) 0.9

GRACE-GRGS/GPS :

-96% de corrélations positives

-Facteur d'échelle (rapport moyen d'amplitudes) 1.2

Déplacement inter-annuel



1) Soustraction du signal annuel

= signal résiduel

2) Filtrage passe-bas (retrait périodes < 6 mois).

= signal inter-annuel

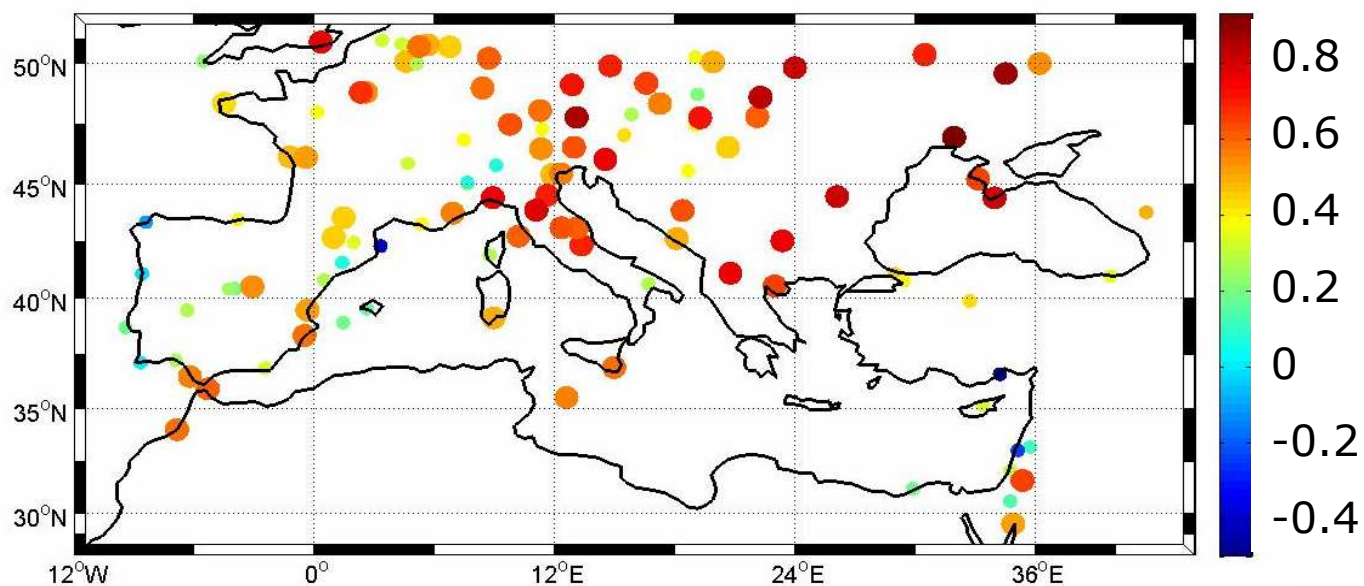
Corrélations inter-annuelles

Corrélation inter-annuelle GRACE/GPS :

- positive sur **90%** des points
- significative à 95% sur près de **65%** des stations

Corrélation GRACE-GRGS / GPS sur l'inter-annuel

- corrélation significative à 95%
- corrélation non significative



Introduction et problématique

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

II . Estimation de l'erreur sur la détermination de la surcharge

Conclusion

II . Estimation de l'erreur sur la détermination de la surcharge

3 réalisations indépendantes de la même quantité :

- Déplacements verticaux GPS (2 solutions EUREF & URLR4),
- 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 110 stations

utilisation de la méthode du **tricorne**
(Gray et Allan, 1974)

Méthode du tricolore

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

$$\begin{aligned} \text{var}(D_i - D_j) &= \text{var}(D_{exact} + \varepsilon_i - D_{exact} - \varepsilon_j) \\ &= \text{var}(\varepsilon_i - \varepsilon_j) \\ &= \text{var}(\varepsilon_i) + \text{var}(\varepsilon_j) - 2 \text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) \end{aligned}$$

Observations indépendantes \longrightarrow covariance des erreurs nulle

$$\text{var}(D_{gps} - D_{GRACE}) = \sigma_{gps}^2 + \sigma_{GRACE}^2$$

$$\text{var}(D_{modèles} - D_{GRACE}) = \sigma_{modèles}^2 + \sigma_{GRACE}^2$$

$$\text{var}(D_{gps} - D_{modèles}) = \sigma_{gps}^2 + \sigma_{modèles}^2$$

3 observations

3 inconnues

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

$$\text{var}(D_{GRACE_{GRGS}} - D_{GRACE_{CSR}}) = \sigma_{GRACE_{GRGS}}^2 + \sigma_{GRACE_{CSR}}^2 + 2\text{COV}(\varepsilon_{GRACE_{GRGS}}, \varepsilon_{GRACE_{CSR}})$$

Signification du terme d'erreur

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

Le terme d'erreur contient le bruit et les systématismes de chaque technique ou modèles.

Mais aussi...

- la différence de résolution spatiale entre le jeu de donnée et la surcharge commune (ex : effets locaux dans le GPS, manque de résolution de GRACE)
- les effets non liés à la surcharge dans les séries temporelles

monumentation,
corrigées..)

GPS : mouvements locaux ou dus à la
discontinuités mal

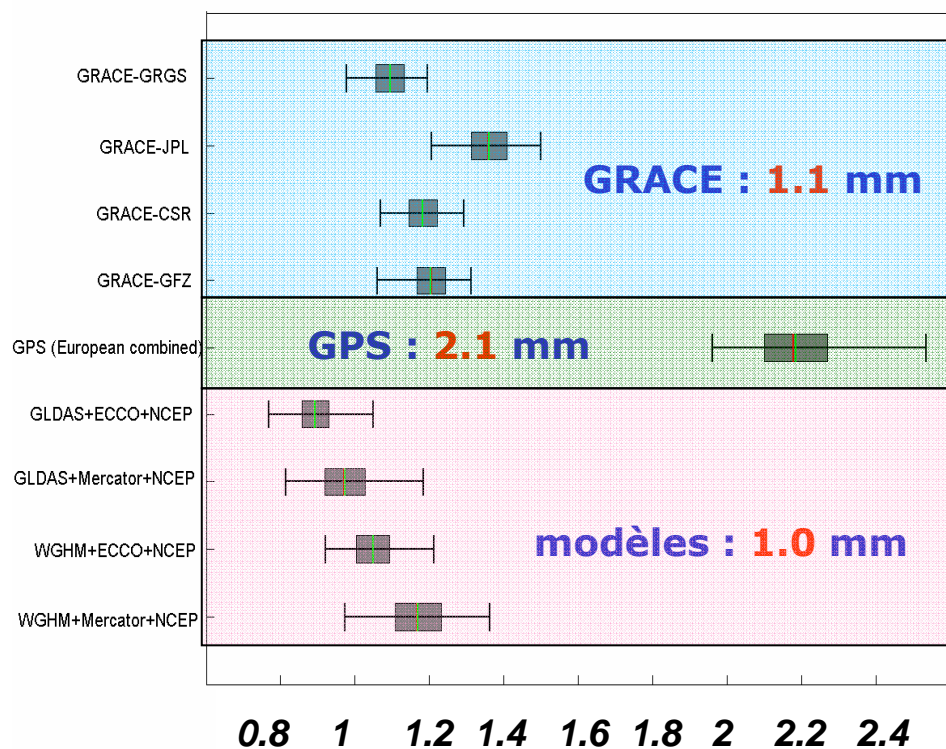
comme les eaux de
(GLDAS).

Modèles : réservoirs non modélisés
surface

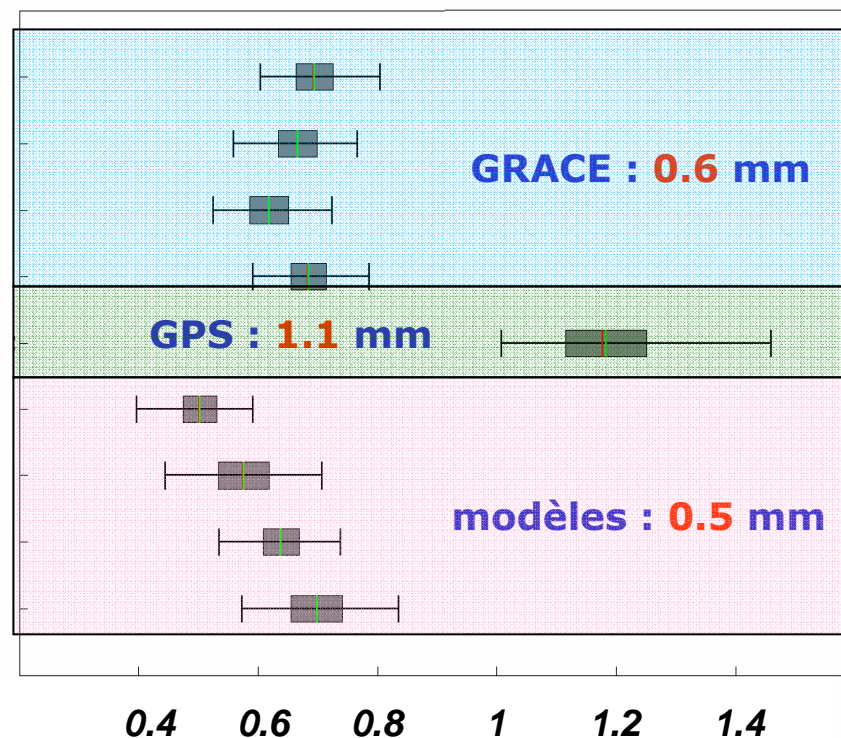
- Résolution du système par moindres carrés (si au moins 3 techniques indépendantes) et estimation des précisions et des covariances propres à chaque jeu de données**

Estimation de la précision globale des observables (+ bootstrapping) :

Erreur absolue sur le déplacement vertical (mm)

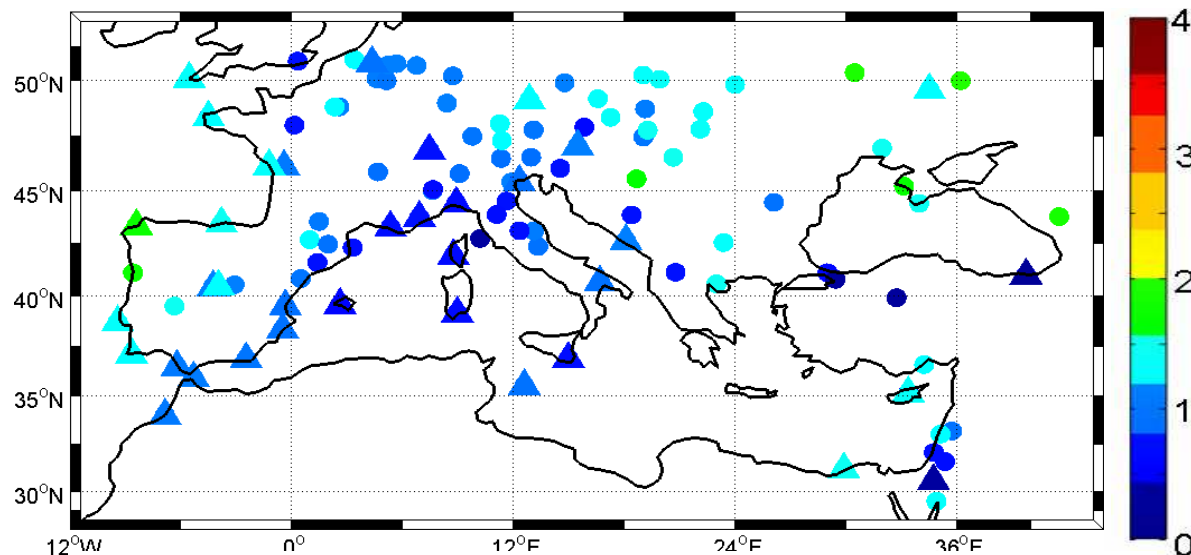


Erreur absolue sur le déplacement inter-annuel vertical (mm)



GRACE – signal total

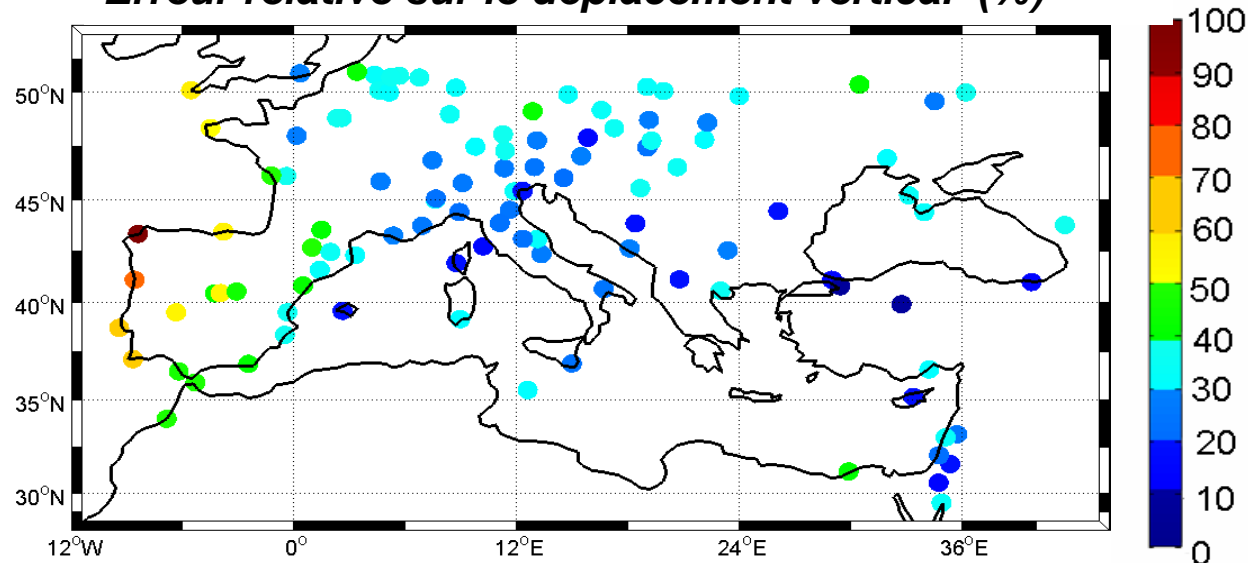
Erreur absolue sur le déplacement vertical (mm)



-Précision relative spatialement homogène (~35%), sauf sur la côte Atlantique.

- erreur relative < à 50% sur 95% des points

Erreur relative sur le déplacement vertical (%)

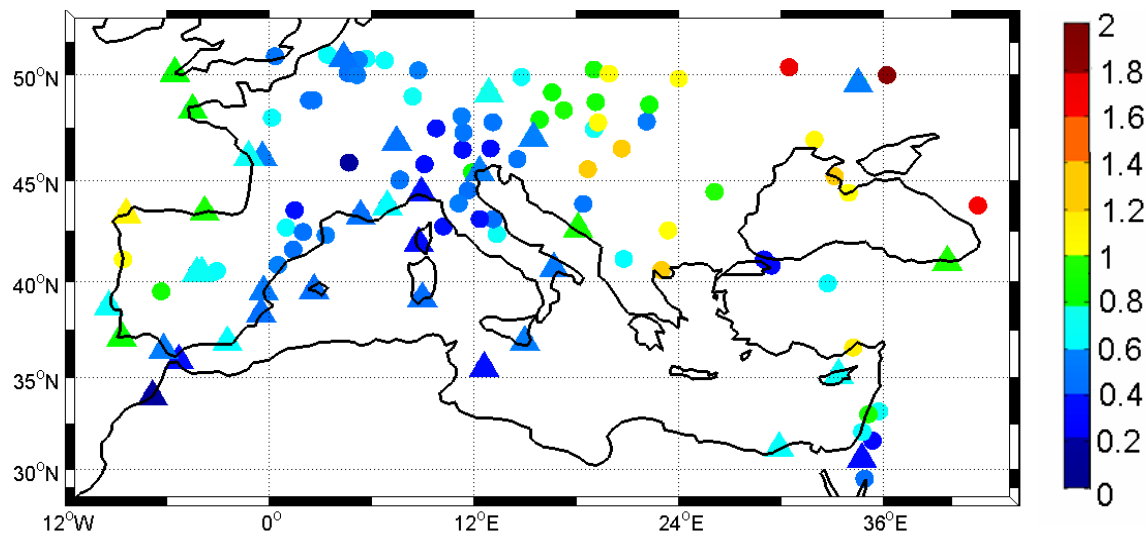


- la surcharge explique plus de 50% des séries GRACE sur la majorité des points

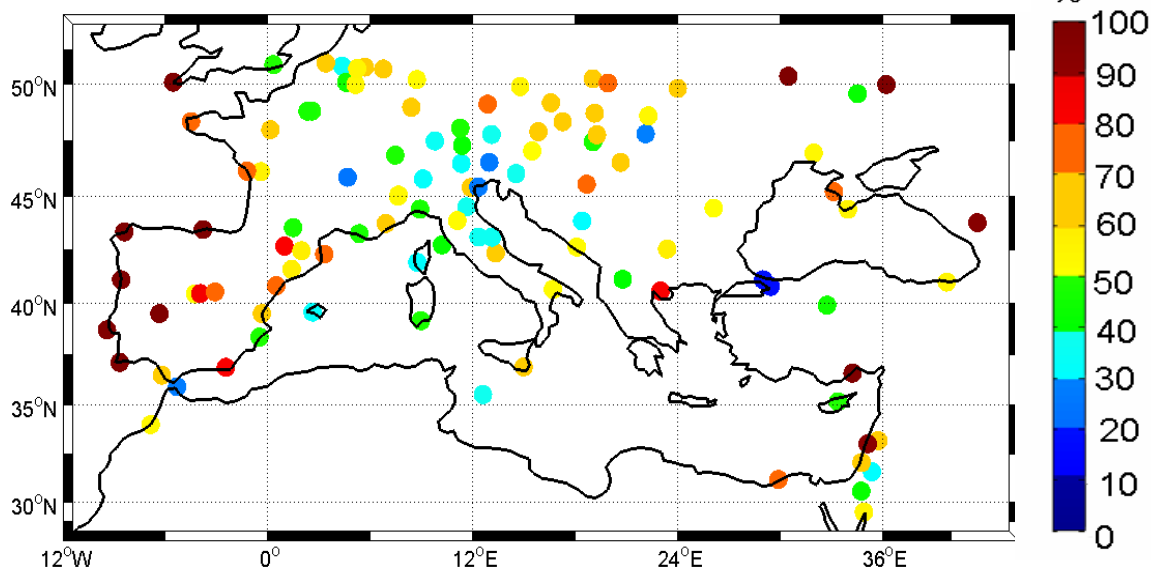
- Variabilité suivant les modèles : modèle GRGS le plus précis.

GRACE – signal inter-annuel

Erreur absolue sur le déplacement vertical (mm)

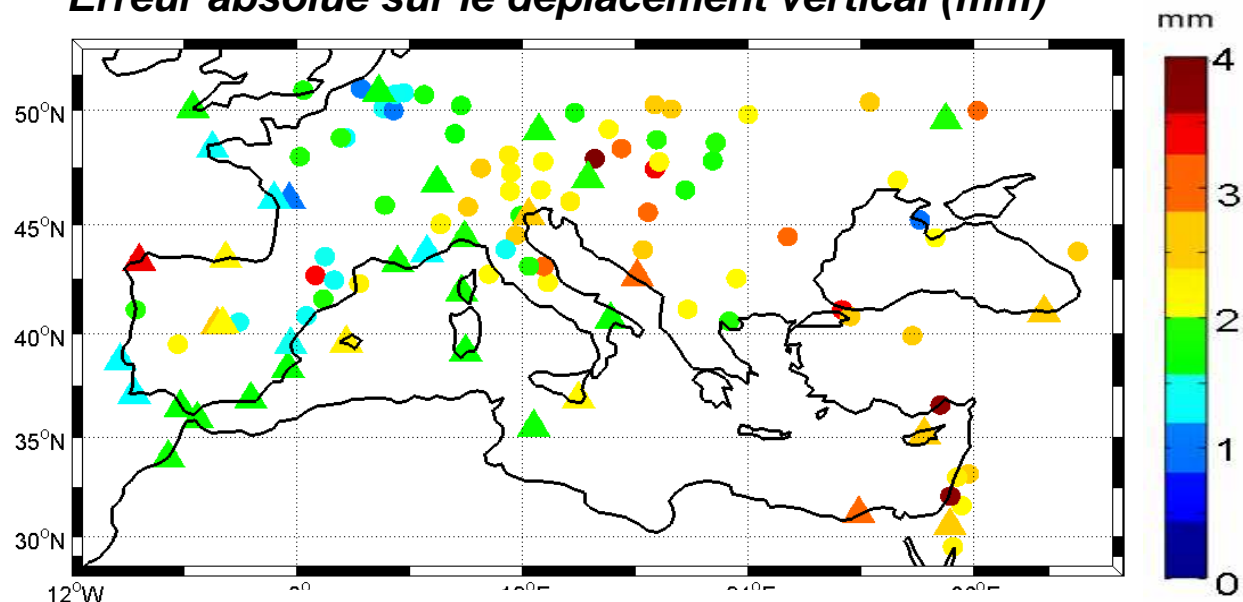


Erreur relative sur le déplacement vertical (%)



- Tous les modèles GRACE s'avèrent équivalents en inter-annuel.
- Précision relative dégradée par rapport au signal total (dominé par l'annuel)
- Erreur relative < 50% sur 40% des stations : sur près de la moitié des stations, la surcharge explique au moins la moitié de l'inter-annuel GRACE.
- seulement 10% des stations où l'inter-annuel GRACE n'est pas cohérent avec la surcharge inter-annuelle (Atlantique, Ukraine)

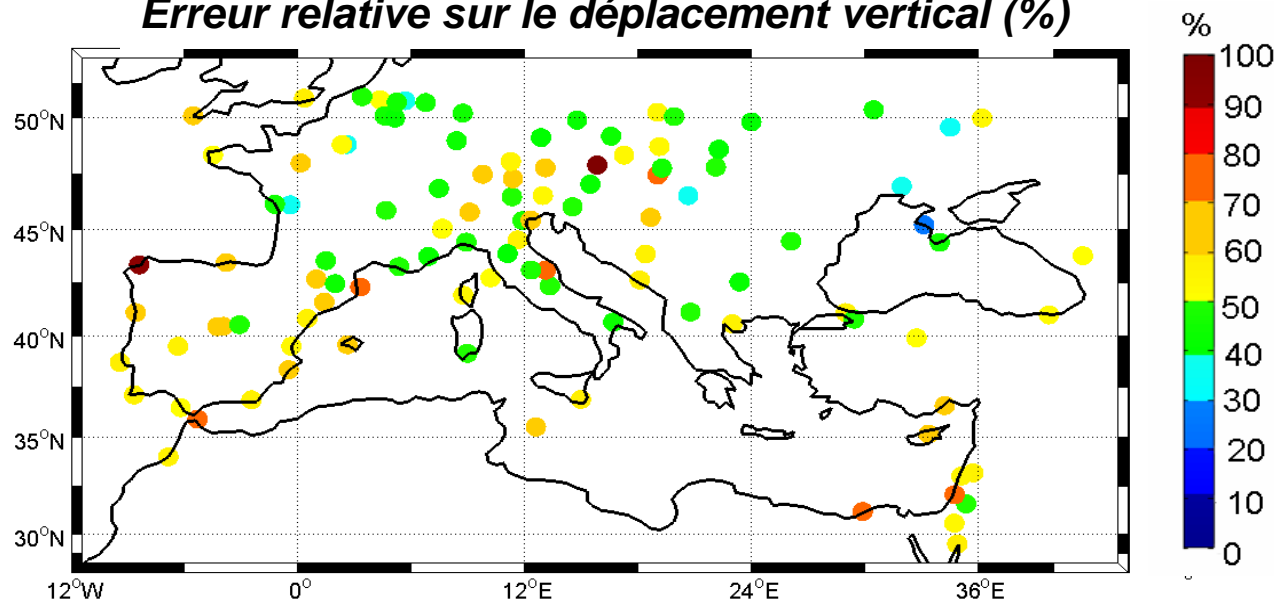
Erreur absolue sur le déplacement vertical (mm)



- Les 2 solutions (ULR4 et EPN combiné) sont cohérentes à mieux que 0.1 mm.

- Erreur inférieure à 50% sur 45% des stations.

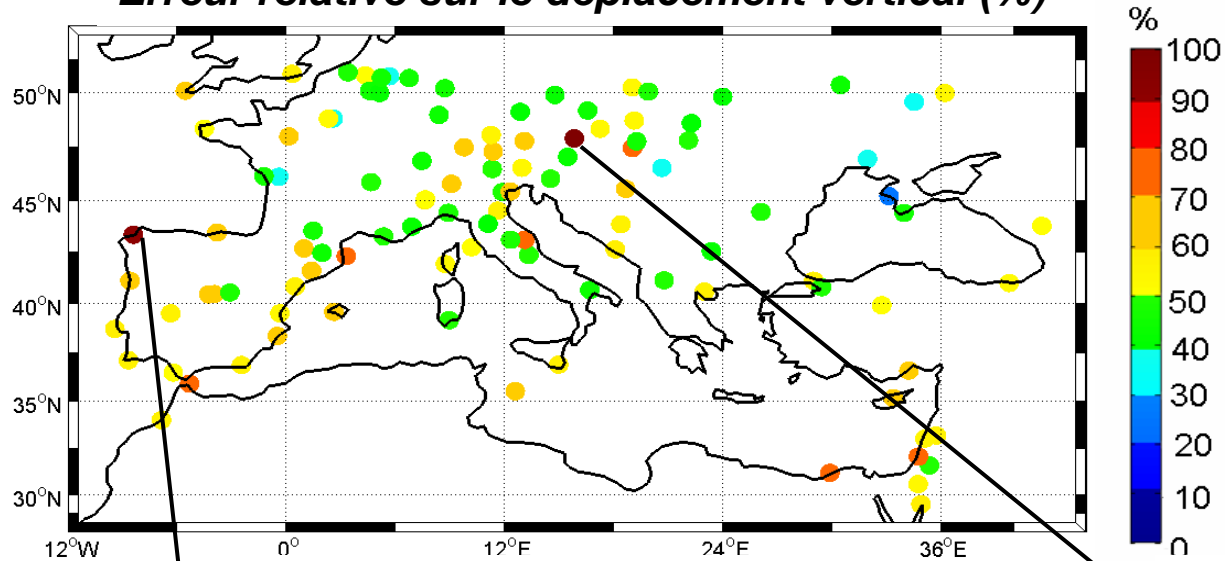
Erreur relative sur le déplacement vertical (%)



- Sur toutes les stations (sauf 2 outliers), la surcharge explique au moins une partie du déplacement GPS

GPS – signal total

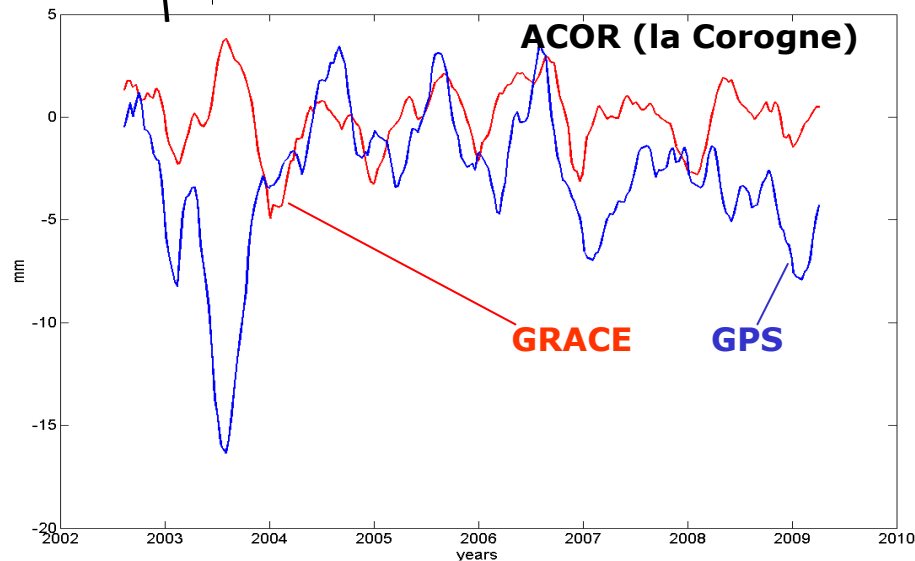
Erreur relative sur le déplacement vertical (%)



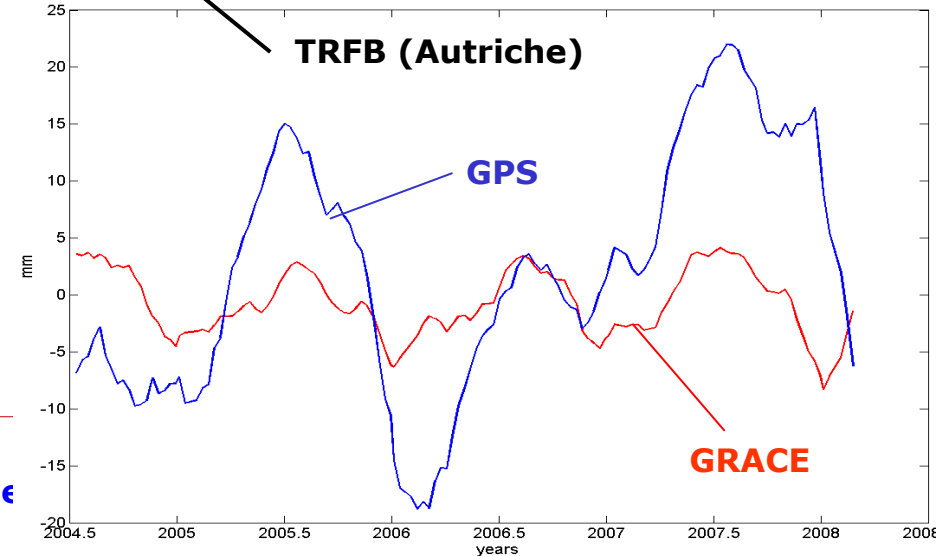
- Répartition spatiale des erreurs relatives assez homogène, mais on note 2 outliers

- Application : détection de points suspects (ou de discontinuités oubliées...)

Déplacement en mm

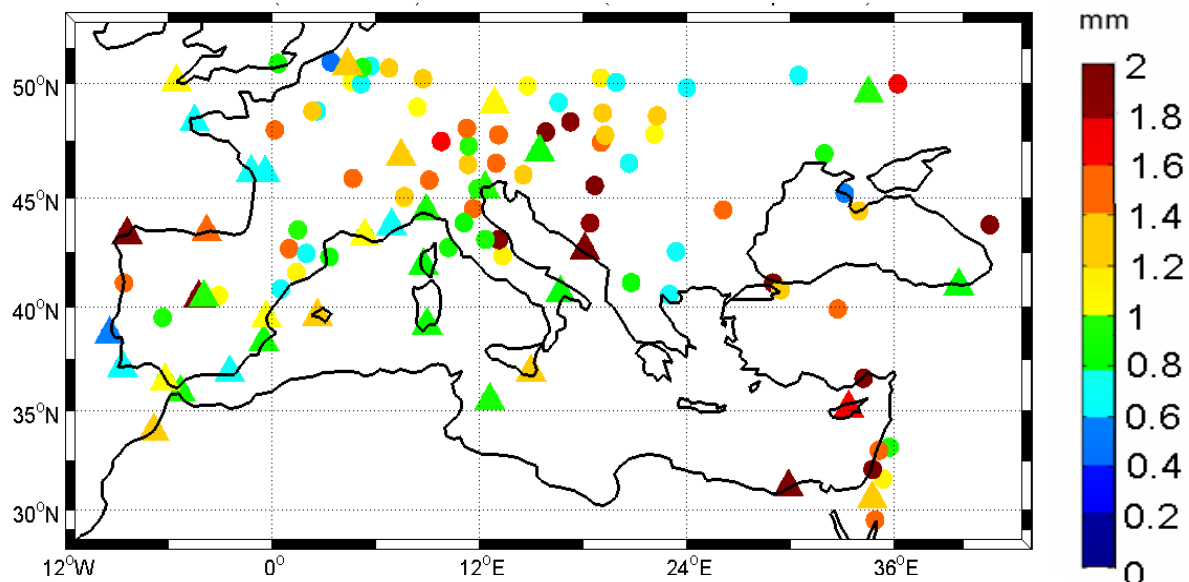


Déplacement en mm



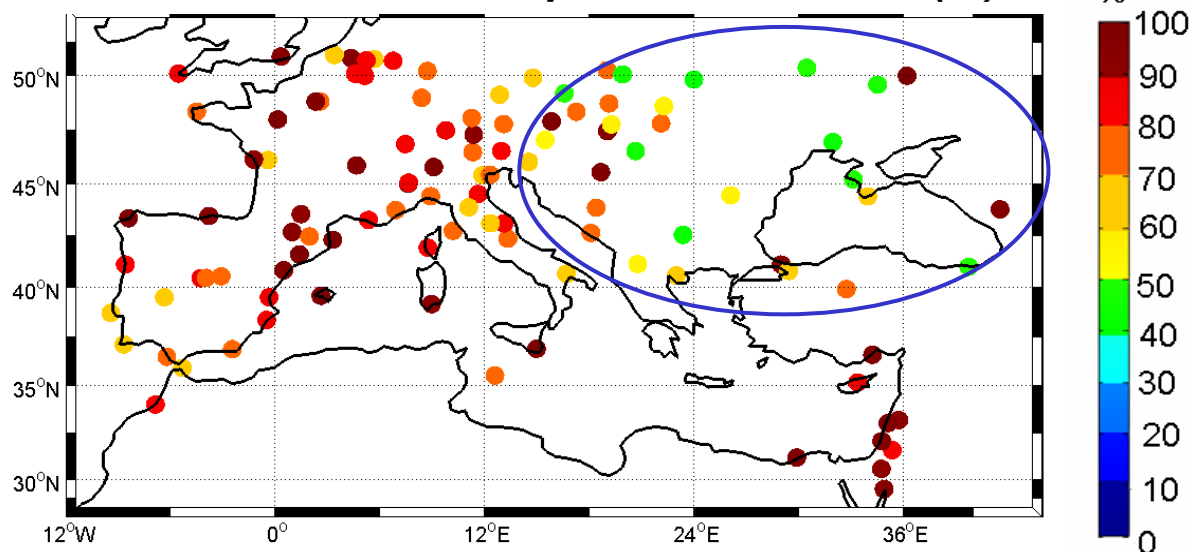
GPS – signal inter-annuel

Erreur absolue sur le déplacement vertical (mm)



- Erreur relative < à 90% sur 80% des stations... (la surcharge inter-annuelle explique sur 80% des stations, une partie, même faible, des déplacements GPS inter-annuels).

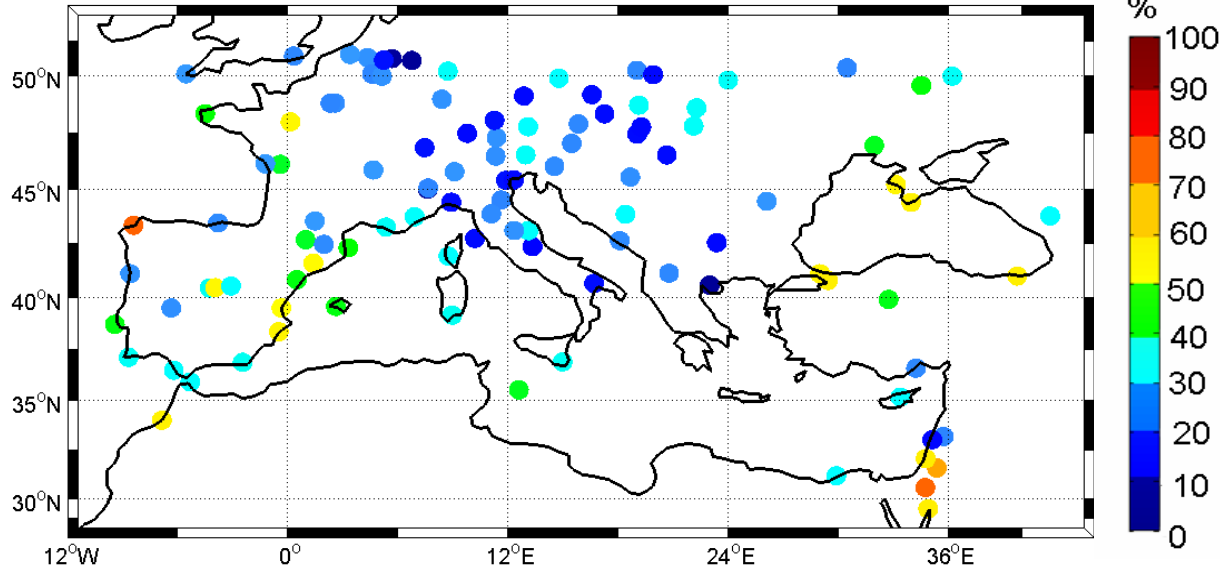
Erreur relative sur le déplacement vertical (%)



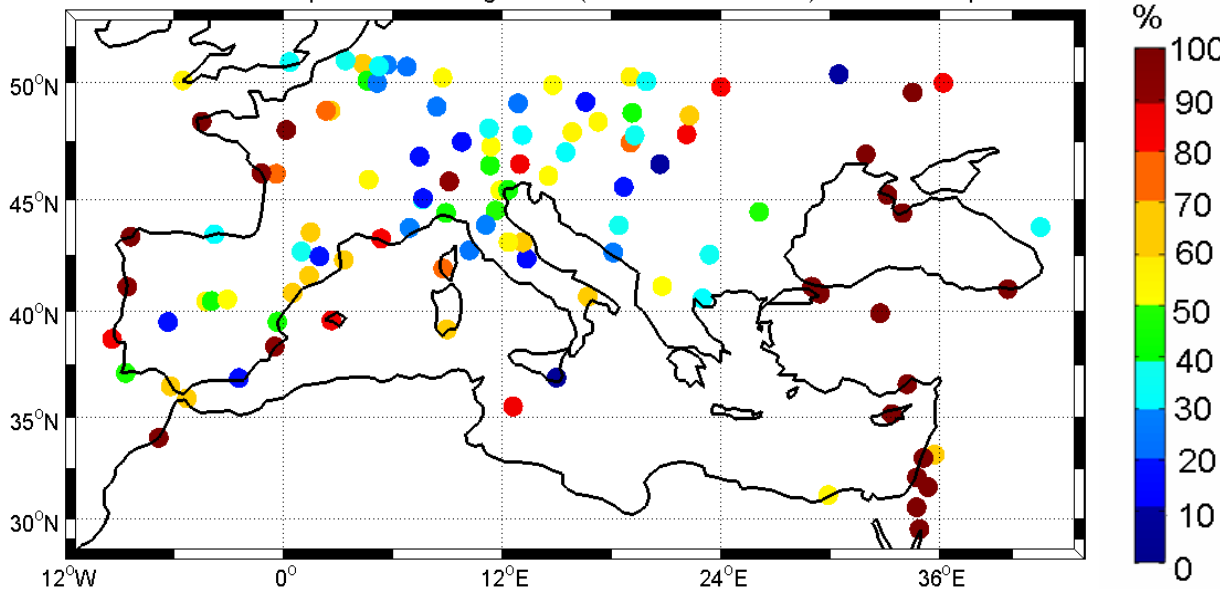
- Europe de l'Est : plus de la moitié du signal GPS inter-annuel est expliqué par le signal de surcharge.

- Pourquoi l'Europe de l'Est ?

Relative precision of loading models (GLDAS+ECCO+NCEP) on vertical component



Inter-annual relative precision of loading models (GLDAS+ECCO+NCEP) on vertical component



Signal total :

- Erreur relative : 30%
- Zones de précision médiocre (Mer Noire : pb du modèle océanique), en plus des zones « classiques » (Atlantique, Proche Orient)
- Utiliser GLDAS et ECCO donne les meilleurs résultats

Signal Inter-annuel :

Erreur relative : 52%

Conclusion

- **Jeu de données cohérent** : GPS + déplacements verticaux élastiques GRACE + modèles de surcharge

Estimation de la précision des données (tricorne) :

GRACE : très cohérent avec les modèles, des différences suivant les centres de calcul et l'échelle temporelle,

GPS : la majorité des stations sensibles aux surcharges à large et moyenne échelle, détection de points faux ou d'effets locaux.

accord GRACE/GPS bon sur l'annuel et corrélations intéressantes sur inter-annuel.

GPS horizontal : peu cohérent avec la surcharge (GRACE et les modèles en accord)

Quantification de la part des effets de surcharge dans les séries temporelles de géodésie

Applications :

- Compréhension des mouvements non-linéaires des stations et analyse du bruit des séries

- A plus long terme : solution combinée GRACE/GPS pour la surcharge en Méditerranée

Tricorne généralisé

- Techniques indépendantes (covariance des erreurs nulle)

Vrai en première approximation (GPS et GRACE : techniques géodésiques indépendantes, et les modèles de surcharge n'assimilent ni données GRACE ni GPS)

Vérification de la véracité de l'hypothèse : utilisation du tricorne généralisé : hypothèse de covariances faibles mais non nulles (ajout de contraintes).

Résultats : - corrélations des erreurs inter-techniques (ex : GPS – GRACE) estimées inférieures à 0.2.

- variances estimées équivalentes celles obtenues avec le tricorne classique (écart < 0.1 mm)