

Variations saisonnières au plateau de Calern mesurées par SLR, GPS et gravimétrie absolue

J. Nicolas, J.-M. Nocquet, M. van Camp, T. van Dam,
J.-P. Boy, J. Hinderer, P. Gegout, E. Calais, and M. Amalvict

joelle.nicolas@esgt.cnam.fr



L2G



ORB



Acknowledgments: P. Exertier (OCA/Gemini), J.J. Walch (OCA/Gemini),
M. Llubes (CNES), D. Coulot (LAREG/IGN), E. Gilli (Paris 8 University)

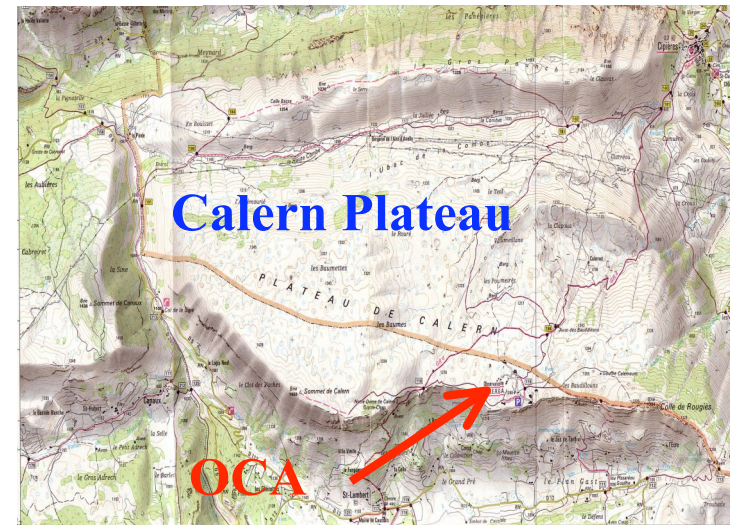
Introduction - Objectifs

- Etude de la stabilité temporelle des stations géodésiques
- Variations saisonnières pouvant affecter les déterminations de vitesse
- Comparaison de différentes techniques pour séparer le signal géodynamique des effets instrumentaux et de traitement de données
 - ◇ Importance des sites avec différentes techniques co-localisées
- Comparaison des séries temporelles de positionnement avec les modèles géodynamiques globaux des différents effets de charge
- Exemple:
variations verticales de
l'observatoire géodésique
fondamental de Grasse

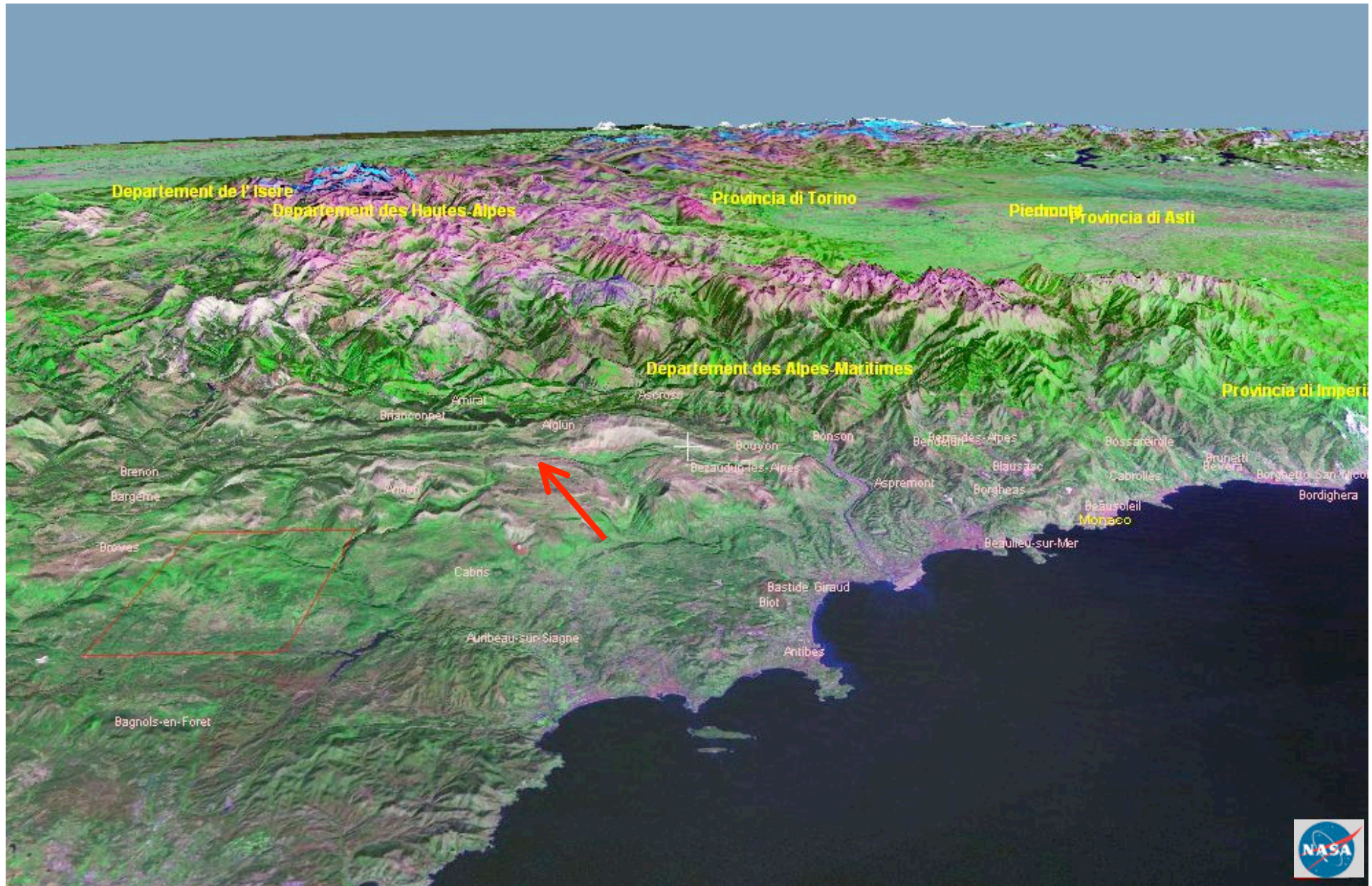


L'Observatoire de Grasse (OCA)

- Station géodésique fondamentale de Grasse + instruments astronomiques
- Différentes techniques co-localisées offrant de longues séries de données
- Situé au sud Alpes sur un plateau karstique à ~1270 m d'altitude (Calern)
- Particularités:
 - Topographie locale (de 0 m à plus de 3000 m sur une distance de ~200 km)
 - Proximité de la mer Méditerranée (~20km)
 - Relief karstique

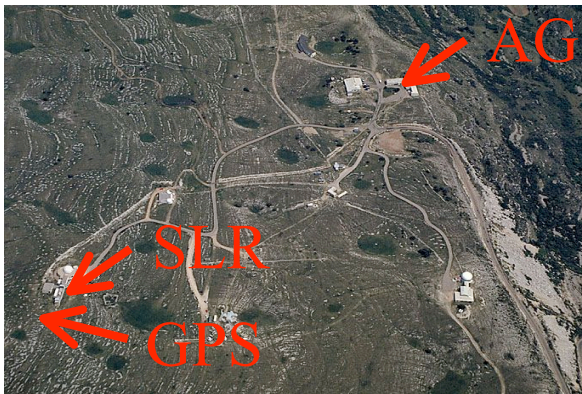


Topographie locale



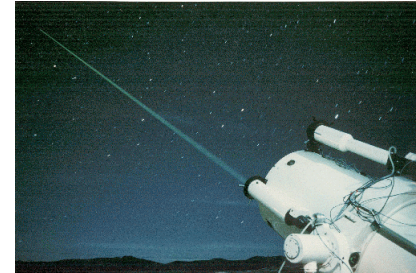
Données

- Comparaison de 3 techniques indépendantes co-localisées:
 - Télémétrie laser sur satellites (SLR)
 - Global Positioning System (GPS)
 - Gravimétrie absolue (AG)
- Séries temporelles sur 6 ans (1998-2003)

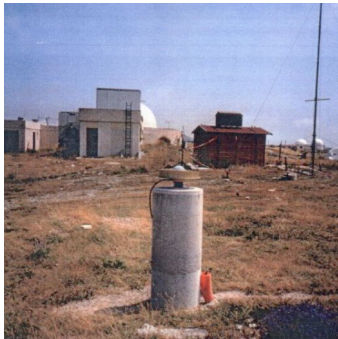


5 years of SLR time series

- Monthly LAGEOS-1 and -2 satellite combined solution
- ITRF2000, GRIM5-S1 gravity field, IERS96 standards
- No loading effect
- Typical formal uncertainty ($1-\sigma$) of the vertical component: 2 mm



6 years of GPS time series



- Weekly CODE position solutions expressed in ITRF2000 with CATREF software (*Altamimi et al. 2002*)
- IERS96 standards, correction for ocean tides (*Scherneck model, 1991*), no atmospheric loading correction
- Typical standard deviation ($1-\sigma$) of the vertical component: 4 mm
- Short term repeatability (over 7 days): 6 mm

14 AG campaigns

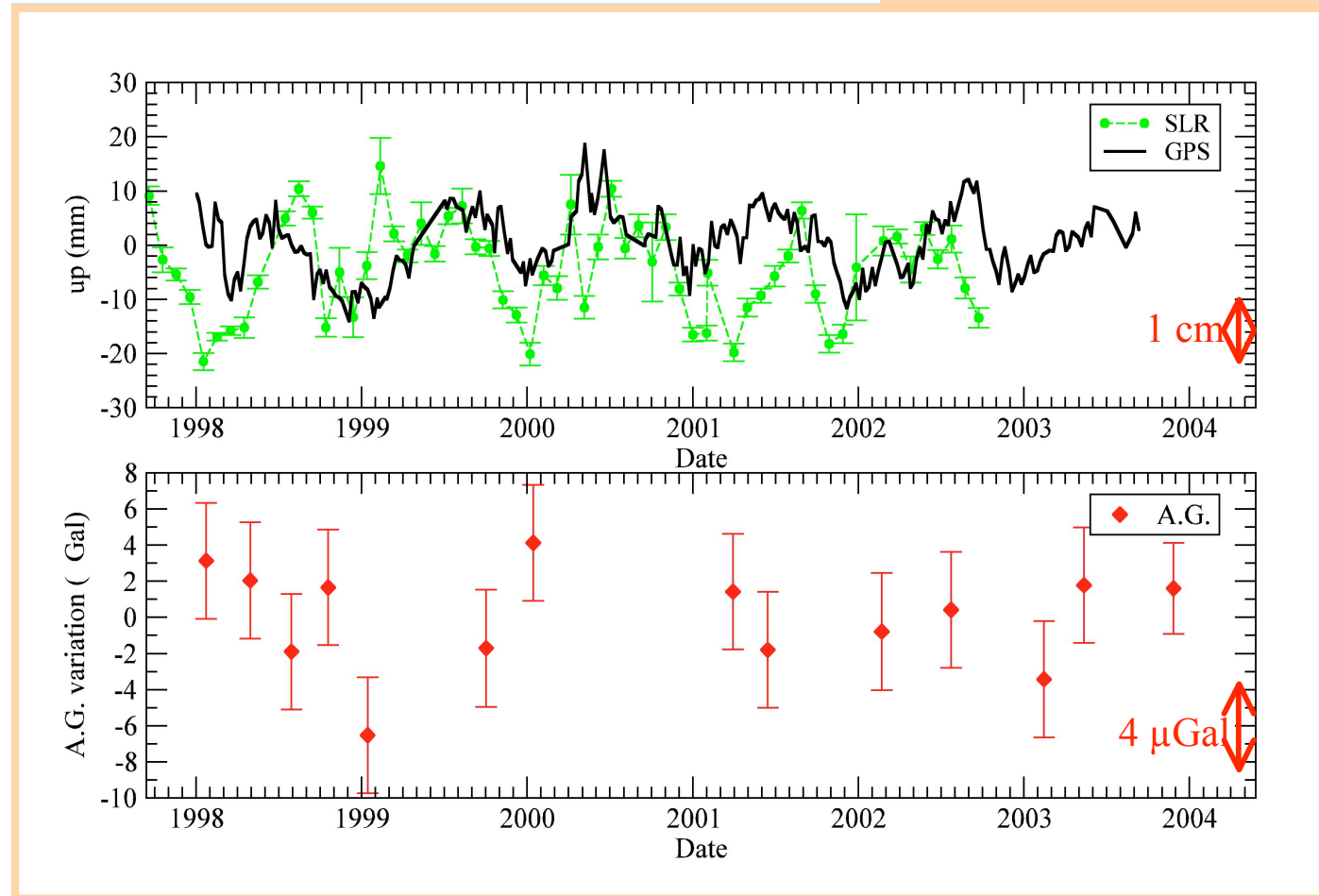
- FG-5 accuracy 1-2 μGal
- Corrections for earth tides, ocean loading, and polar motion
- No correction of atmospheric effects



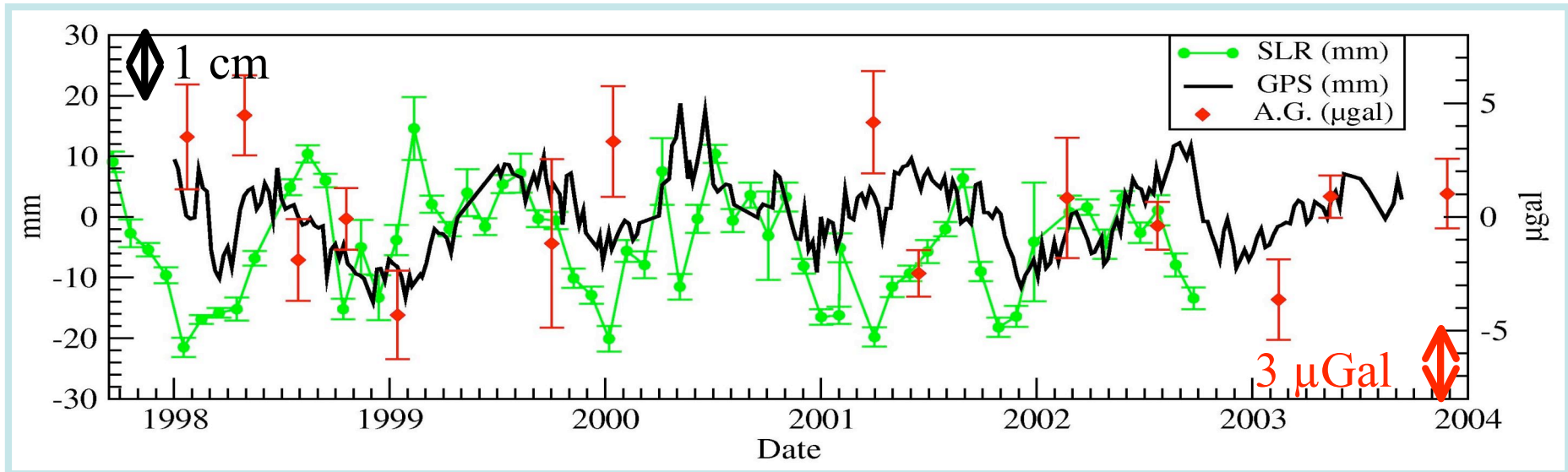
Resultats

Vertical positioning relative to ITRF2000

Gravity variations relative to AG mean value



◇ Les séries SLR et GPS indiquent des **variations saisonnières significatives** et de faibles variations d'amplitude d'une année à l'autre



	Mean value	Long term drift
SLR	- 4.6 mm station range bias (Nicolas et al. 2002)	- 0.3 +/- 0.8 mm/yr
GPS	0.2 mm	0.4 +/- 0.2 mm/yr
AG	980 215 549.2 μGal	No secular gravity variation higher than ~ 0.8 μGal/yr at the 2-σ level

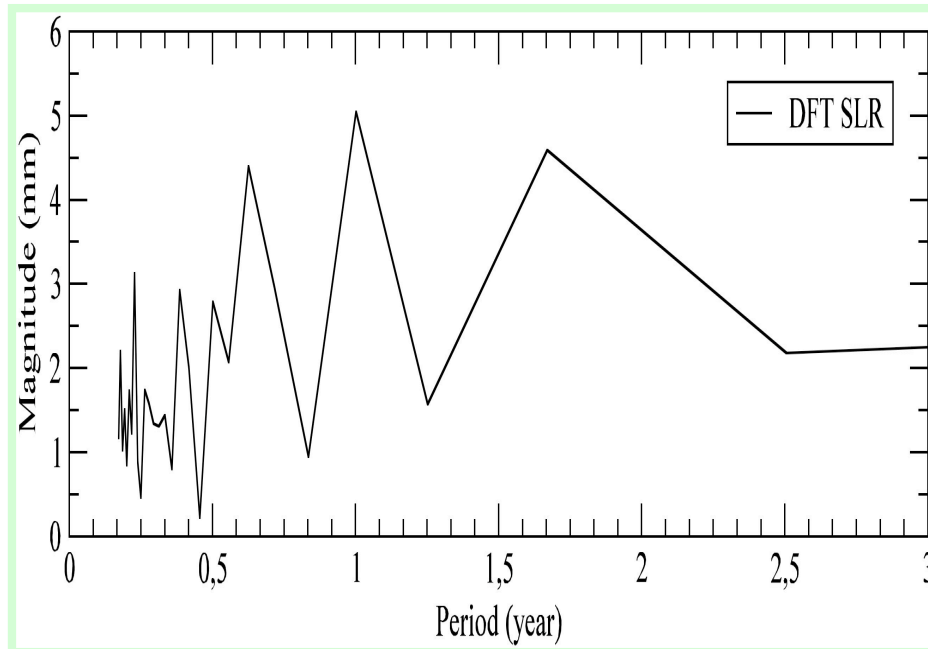
Analyse sepctrale

- Period98 (*Sperl, 1998*) algorithm to search for periodical signal (Fourier analysis and least squares fit)
- If search of 2 periods without period constrain

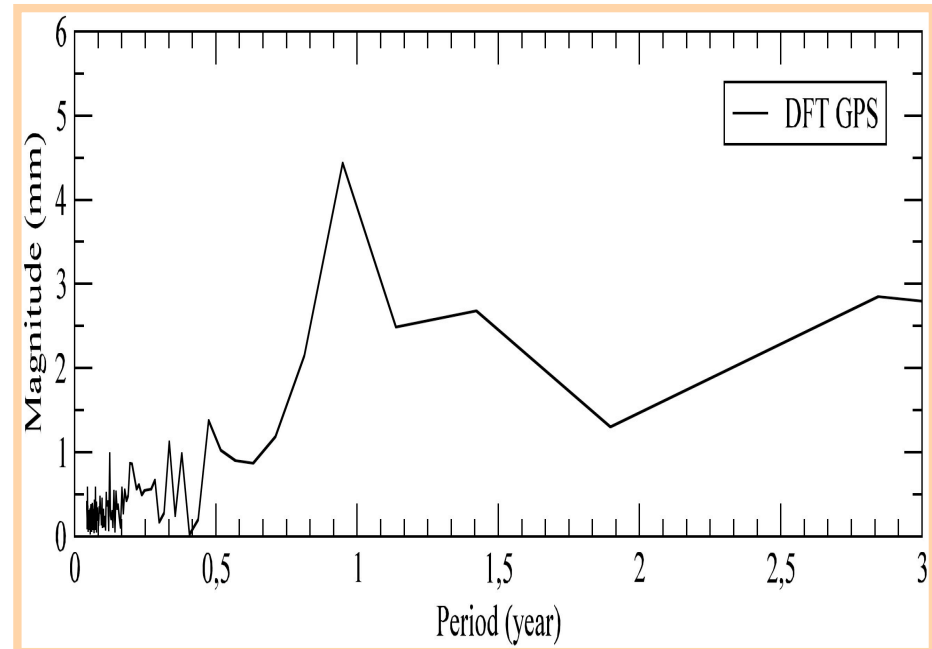
	Period (year)	Amplitude	Phase
SLR	0.98	6.9 mm	0.51
	1.44	5.3 mm	0.98
GPS	0.98	5.5 mm	0.41
	0.30	3.6 mm	0.13

◇ Le signal annuel domine

- If annual period imposed
 - Amplitude : 5.5 mm (GPS)
6.1 mm (SLR)
 - Maximum in July for GPS and SLR



- Annual signal: 5.1 mm
- Semi-annual signal: 2.8 mm



- Annual signal: 4.4 mm
- Semi-annual signal: 1.4 mm

- Pas de signal annuel clair dans les **séries temporelles de gravité**
- Analyse spectrale avec Period98:
 - Terme annuel: **1.4 μ Gal** (minimum en Septembre)
 - 2nd terme principal : période de 204 jours, **2.6 μ Gal**
- MAIS échantillonnage temporel irrégulier \diamond ne pas mettre trop de confiance dans ces résultats

- Pas de comparaison directe entre les changements de gravité et les variations de la composante verticale
 - Généralement conversion en déplacements verticaux avec un gradient constant
 - Si gradient de conversion de $-0.2 \mu\text{Gal}/\text{mm}$, terme annuel AG de 7 mm qui est proche des signaux GPS et SLR (13 mm pour le terme à 204 jours)
 - Si meilleur échantillonnage temporel des mesures AG, une différence significative pourrait apparaître en raison de la contribution à la gravité des changements de niveau des nappes phréatiques sous l'observatoire
 - Mais gradient = modèle moyen sans variation temporelle
 - Convertir la gravité en déplacement vertical dans le cas d'effets de surcharge peut induire des erreurs
- \ PAS de conversion dans cette étude**

Discussion

Impact de l'effet Newtonien

- Mesures AG = déformation + effet Newtonien (global + local)
- Estimation des variations de quantité d'eau localement stockée dans le karst
- Les variations de AG (jusqu'à 8.8 μGal min-max) peuvent être expliquées par une **nappe phréatique cylindrique**:
 - de 1 km de rayon
 - située à 800 m de profondeur
 - avec des variations de niveau de 5 m pour une porosité de 10% dans le karst
- **Solution réaliste** mais pas assez d'information sur les nappes phréatiques (profondeur, taille...) situées sous le plateau de Calern pour conclure

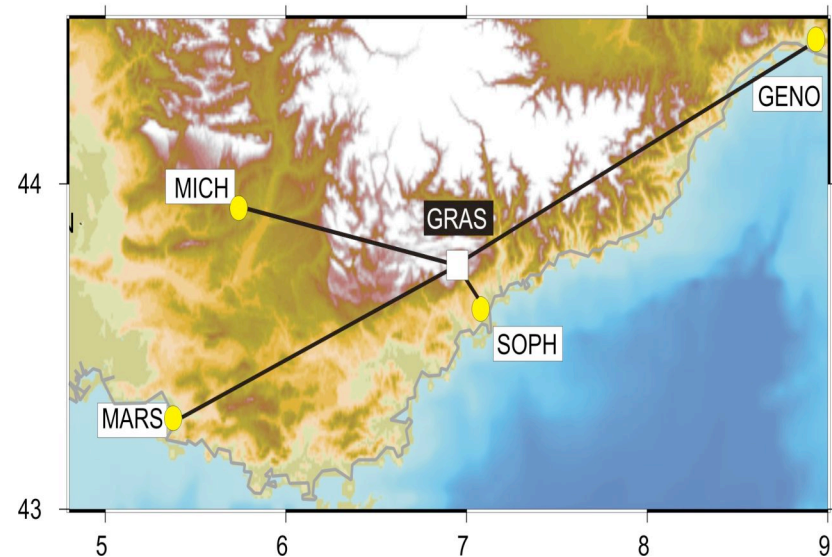
Impact de la stratégie de traitement

- Différents logiciels de traitement et différentes stratégies d'analyse peuvent produire des résultats différents
 - Comparaison entre différentes solutions pour SLR et GPS
 - Influence de la stratégie de l'ordre de 1 mm sur l'estimation de l'amplitude du terme annuel
 - Mais un possible déphasage de 2-3 mois
- \ Robustesse du signal annuel => origine géodynamique

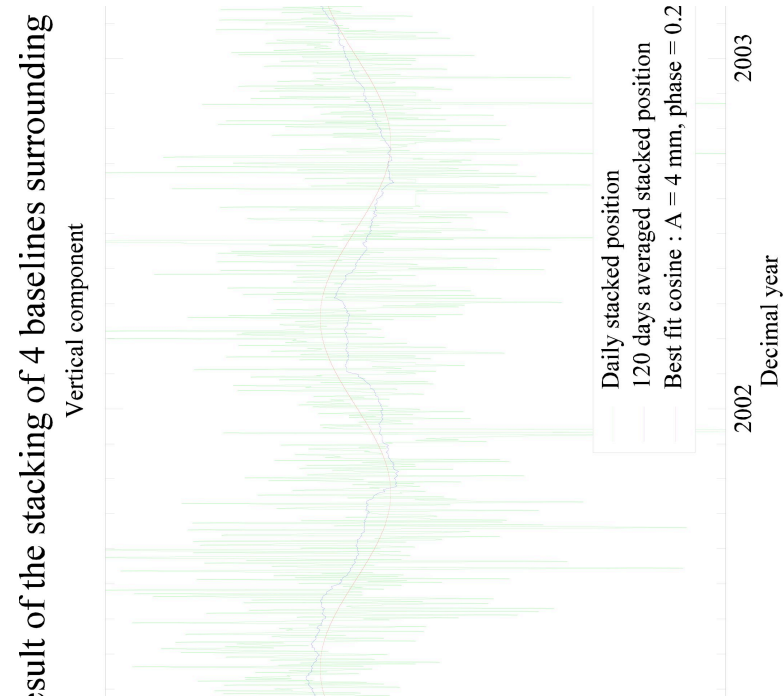
Signal local ou régional ?

- Recherche d'effets locaux éventuels
- Analyse des lignes de base 3D GPS incluant Grasse et des sites GPS environnants (REGAL network)
- Si effet local : signal cohérent pour toutes les lignes de base
- Si effet régional (~ 1000 km): signal aléatoire sur les lignes de base courtes (bruit)

- 4 sites GPS permanents localisés dans différentes zones tectoniques (distances entre 20 et 100 km de Grasse)
- Addition des séries temporelles de 4 lignes de base



- Stacked time series clearly shows an annual signal with magnitude of 4 mm
- Maximum in April when maximum water storage is expected
- It corresponds to an averaged annual signal of ~ 1 mm at Grasse (< 2 mm)
- Only marginally contribution ($\sim 15\%$) of the local effects to the observed annual signal
- 5-6 mm observed annual signal = ~ 1 mm local
+ 4-5 mm regional

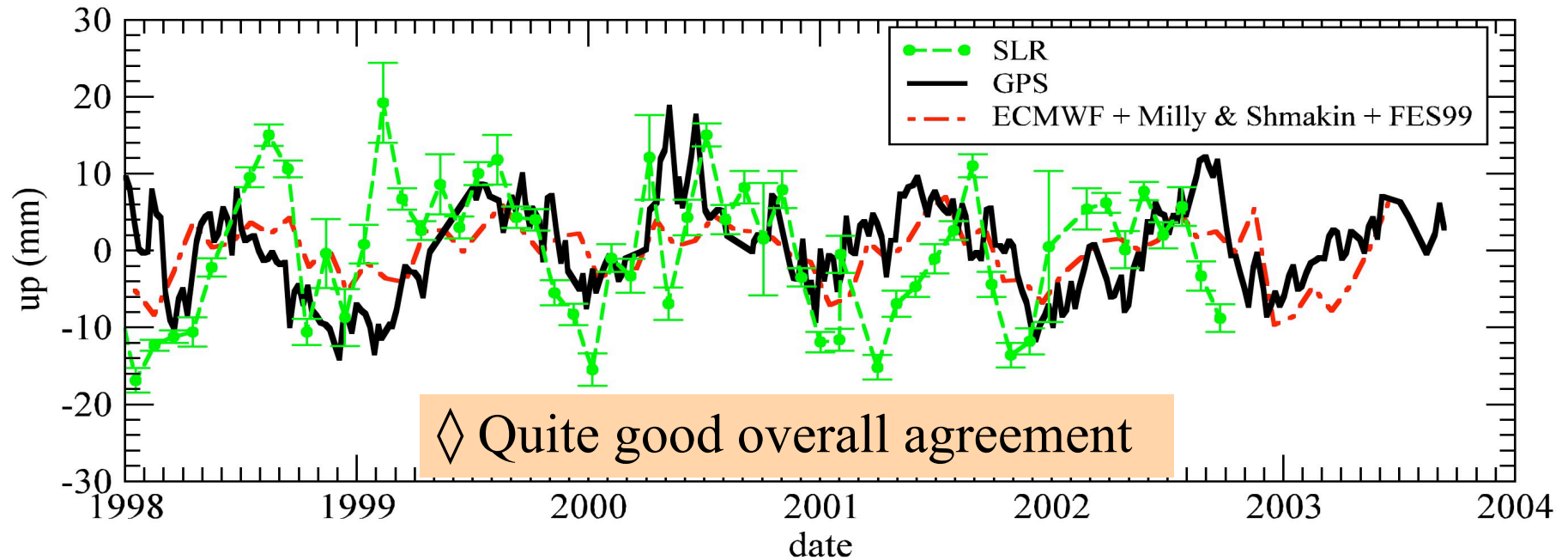


\ Main part of the signal = regional or continental scale loading effects

Comparaison avec des modèles globaux de surcharge

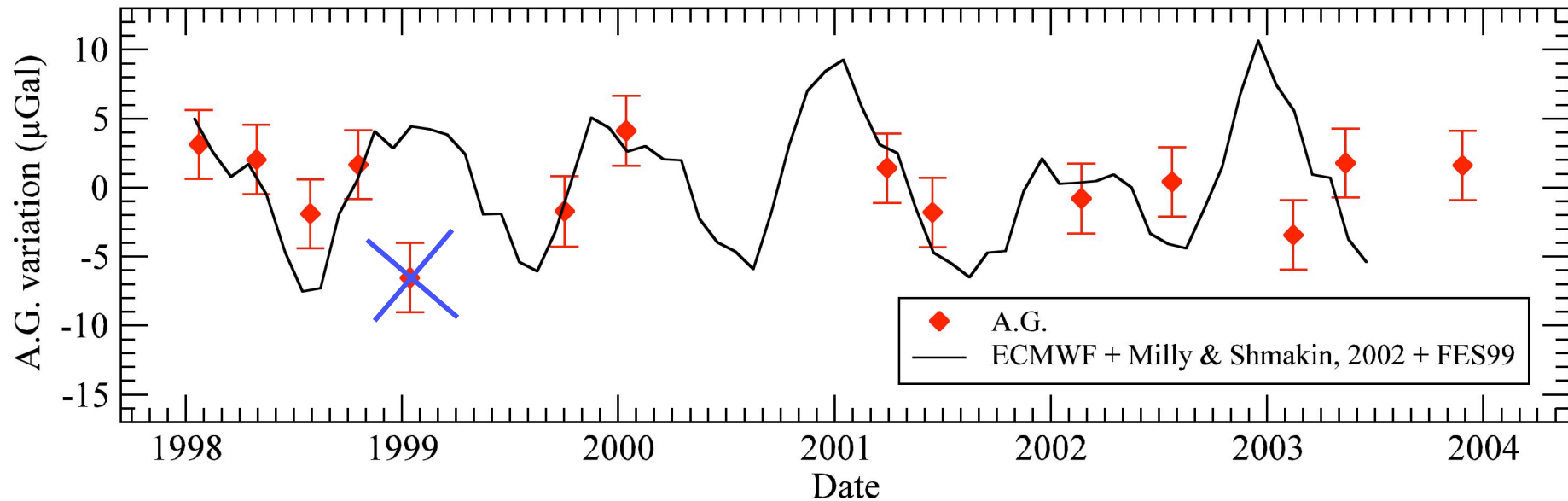
- Redistributions de masses continues induisent des variations temporelles du champ de gravité et des déformations élastiques de la terre solide
- Calcul de tous les effets de surcharge (déplacement vertical et gravité)
- **Charge Atmosphérique** à partir des données ECMWF
 - ◇ amplitude du terme annuel : **1 – 2.5 mm**
- **Charge Hydrologique** à partir des modèles Milly & Shmakin (2002), Rodell et al. (2004)
 - ◇ amplitude du terme annuel : **2–3 mm**
- **Charge océanique liée aux marées** à partir de FES2004
 - ◇ Effets annuel et semi-annuel négligeables à Grasse **≤ 1 mm**
- **Charge océanique non liée aux marées** à partir de ECCO
 - ◇ amplitude du terme annuel : **0.7 mm**

SLR, GPS and model comparison



	SLR	GPS
Signal explained	Annual: 75% Semi annual: 70%	Annual: 65% Semi annual: 100%
Correlation coef.	0.49	0.46
Regression coef.	1.24 ± 0.30	0.72 ± 0.09

A.G. measurements and models



If we remove the 5th point (beginning of 1999, storm during the campaign)

- Correlation coefficient: 0.72
- Regression coefficient: 0.41 ± 0.13

\ Fair agreement with global loading models, but residual signal remains (better with *Rodell et al. 2004* hydrological loading model)

Residual signal

- Annual signal due to **local water storage** $< 1\text{mm}$ (from GPS baseline analysis)
- Impact of the **Inverse Barometer or non IB hypothesis** for the Mediterranean Sea for the atmospheric loading computation
 - ◇ quite small impact (stdev of the difference = 1 mm)
 - $< 0.5\text{ mm}$ on the annual term
 - $< 0.3\text{ mm}$ on the semi-annual signal
- Effect of the **model reference frame origin**
 - ◇ very small difference between models expressed in CE (center of mass of the Earth) and CF (center of figure):
 - $< 0.03\text{ mm}$ on the annual term
 - $< 0.02\text{ mm}$ on the semi-annual term

Résumé

- Variations saisonnières fortes, surtout sur la composante verticale (~ 6 mm à Grasse pour le terme annuel)
- Amplitude du signal proche de l'exactitude de chaque technique
- Cohérence de SLR et GPS avec la gravimétrie (1.4 μ Gal)
- Très faible effet local à Grasse lié au karst (1 mm)
- Principale partie du **signal annuel (~70 %) expliquée par des phénomènes géodynamiques à grande échelle**, et particulièrement la surcharge hydrologique:
 - terme annuel surcharge atmosphérique 1-2.5 mm
 - terme annuel surcharge océanique (maréal + non-maréal) < 1 mm
 - terme annuel surcharge hydrologique 2-3 mm
- Bon accord avec les modèles de charge MAIS existence d'un signal résiduel entre les observations et les modèles

Conclusion

- Comparaison de différentes techniques essentielle pour séparer le signal géodynamique des effets instrumentaux et de traitement
 - ⇒ Importance de disposer de nombreux sites avec différentes techniques co-localisées
- Importance de la prise en compte des variations saisonnières avant la détermination d'un produit géodésique comme un champ de vitesse
- A.G. = mesure absolue, indépendante de tout système de référence
 - ⇒ Très bon instrument pour contraindre la stabilité à long terme des sites géodésiques

Perspectives

- Prendre en compte le mouvement du **géocentre**
 - 1^{ers} calculs sur l'effet du repère de référence pour le terme annuel < 3 mm
 - Signal saisonnier en d'autres sites Européens sites suggère que l'effet du géocentre peut être faible
- Prise en compte **local topographie locale** dans le calcul des modèles d'effets de charge (en zone montagneuse les charges peuvent être fortes)
- Nécessité de **mesures hydrologiques locales**
- Etude en d'**autres sites** où différents techniques sont co-localisées (Europe, échelle globale)



Merci !

Comparison with other European SLR stations

