

**TRAVAUX DE TRAITEMENT CONJOINT  
DE SIGNAUX GRAVIMETRIQUES,  
GEODESIQUES ET MAREGRAPHIQUES  
A LA STATION DE BREST**

*Etude réalisée entre le 15/07/2003 et le 31/08/2003  
à la section Géodésie-Géophysique de l'Etablissement Principal  
du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine  
(EPSHOM)*

Responsable: M.-F.Lalancette

Encadrants: B. Simon, M.-F.Lalancette, C. Batany

Caroline de Linage  
SUGS/EOST, Strasbourg

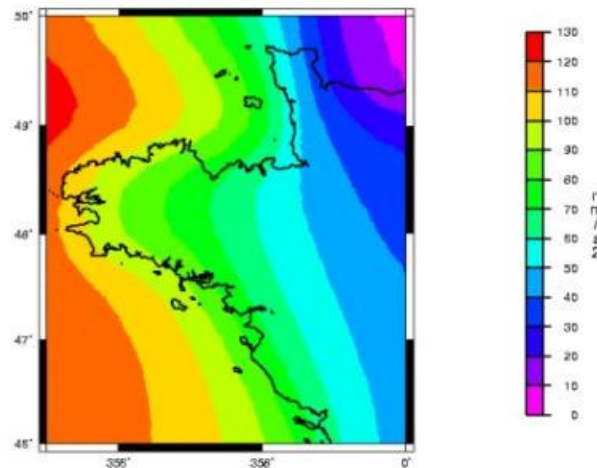
# INTRODUCTION

## La surcharge océanique:

effet dû au poids des masses d'eau océaniques sur la lithosphère continentale:

- effet principal détectable très loin des côtes: mouvement du sol à la fréquence des marées
- effet à courte longueur d'onde, près des côtes: attraction (newtonienne) des masses d'eau

## **Surcharge océanique dans la gravité prédite pour l'onde M2 (en $\text{nm/s}^2$ ) (Llubes et al., 2000):**



## Station de Brest:

un site idéal pour étudier l'effet de la surcharge océanique:

- des marées de fortes amplitudes (marnage maximal  $\sim 7-7.5\text{m}$ )
- une influence océanique très importante

## Etudes antérieures:

1998: premières expériences de mesure de l'effet de surcharge dans la gravité à l'EPSHOM avec un gravimètre absolu sur 4 jours lors des marées d'équinoxe de printemps (Orseau et al., 1998, Llubes et al. 2001)

d'où un **ensemble de mesures** disponibles:

- du **marégraphe de Brest** (marégraphe côtier numérique)

→ variations de hauteurs d'eau

mesures toutes les 10 min (intégration sur 1 min) valeurs horaires disponibles

fonctionnement continu depuis de longues années

précision: 1-2 cm

*emplacement*: embouchure de la Penfeld

- du **récepteur géodésique** du Réseau GPS Permanent français (RGP)

→ coordonnées cartésiennes de la station obtenues en mode différentiel statique -> déplacements relatifs du sol par rapport à une position connue dans l'ITRF 2000, obtenus après traitement par l'IGN -> *coordonnées planes* (N, E, Vert.)

données horaires sur 10 mois du 1/01 au 10/10/2001

fonctionnement très discontinu: lacunes systématiques (3h/jour) ou de longue durée (plusieurs semaines)

*emplacement*: embouchure de la Penfeld (Préfecture Maritime) à quelques dizaines de mètres du marégraphe

- d'un **gravimètre Scintrex** CG-3M sur le point absolu

→ variations relatives de la pesanteur (+ tilts)

*emplacement*: EPSHOM

mesures toutes les 10 min (intégration sur 1 min)

fonctionnement quasi continu pendant 5 mois depuis le 25/02/2003:

lacunes dues à des déplacements de qqs jours de l'instrument



But de cette étude:

- comparaison dans les domaines spectral (analyse harmonique) et temporel (régression par moindres carrés) des résidus de gravité et de déplacement vertical avec le signal marégraphique
  - recherche de coefficients d'admittance reliant les variations de gravité et les déplacements du sol avec les variation de hauteur d'eau et comparaison avec celui trouvé en 1998
- comparaison avec un modèle de surcharge

La démarche se résume ainsi:

#### 1) TRAITEMENT DES DONNEES

correction des effets instrumentaux, des marées terrestres, de l'effet de la pression atmosphérique, élimination des pics, filtrage...

#### 2) ANALYSE HARMONIQUE

comparaison des composantes spectrales des différents signaux

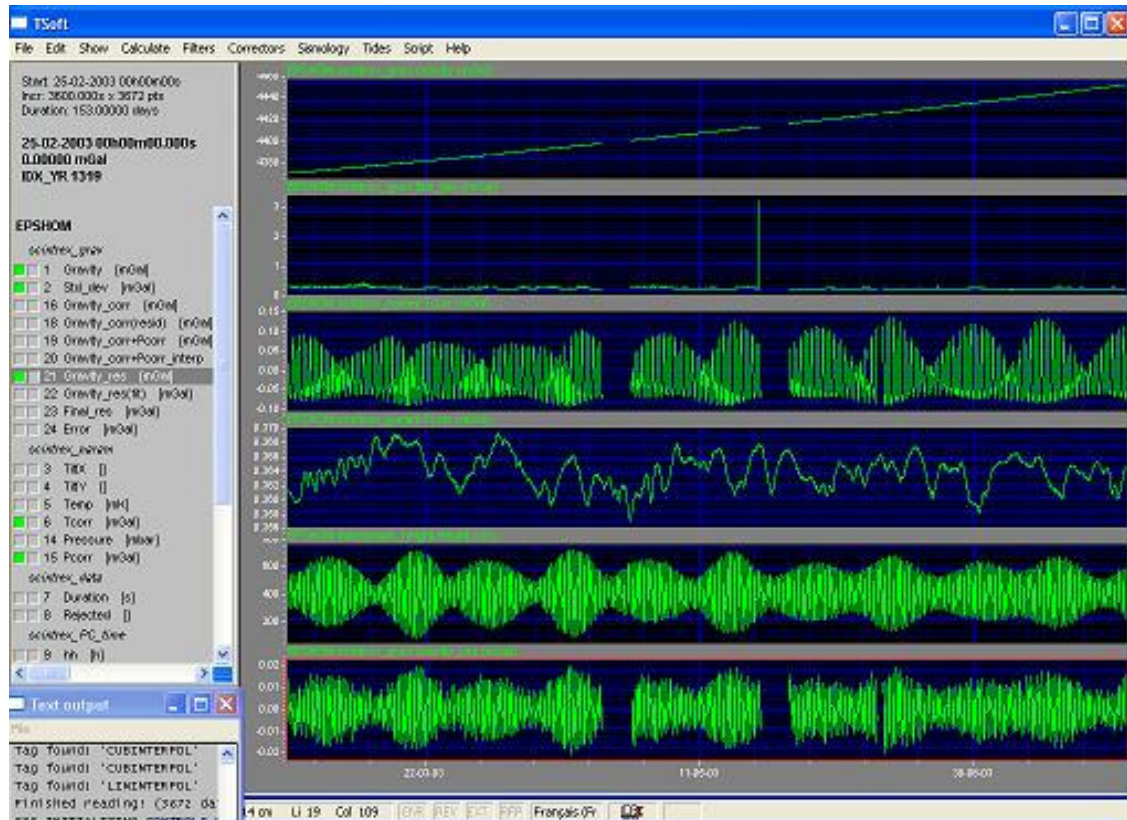
#### 3) CORRELATION ET REGRESSION LINEAIRE AVEC LA MAREE

calcul des retards et des coefficients d'admittance gravité/marée et GPS/marée

#### 4) COMPARAISON AVEC LE MODELE CSR4.0

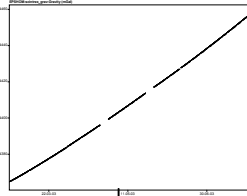
# 1) TRAITEMENT DES DONNEES

On a utilisé le logiciel d'analyse de séries temporelles 'Tsoft' mis à disposition par l'Observatoire Royal de Belgique.



- visualisation simultanée de plusieurs canaux en fonction du temps
- traitement des données: ré-échantillonnage, détection automatique de pics et lacunes, interpolation polynomiale ...
- analyse des données: spectres de Fourier, analyse temps-fréquence, corrélation, régression multi-linéaire ...

## GRAVITE CORRIGEE DES MAREES TERRESTRES



Elimination des sauts

Elimination de la dérive instrumentale

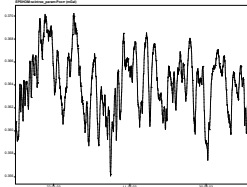
*0.514 mGal/jour*

Correction de l'effet de la pression atmosphérique

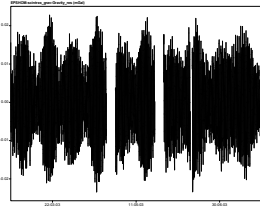
*0.36  $\mu$ Gal/hPa*

Interpolation au niveau des petites lacunes

Filtrage des périodes supérieures à 5 jours

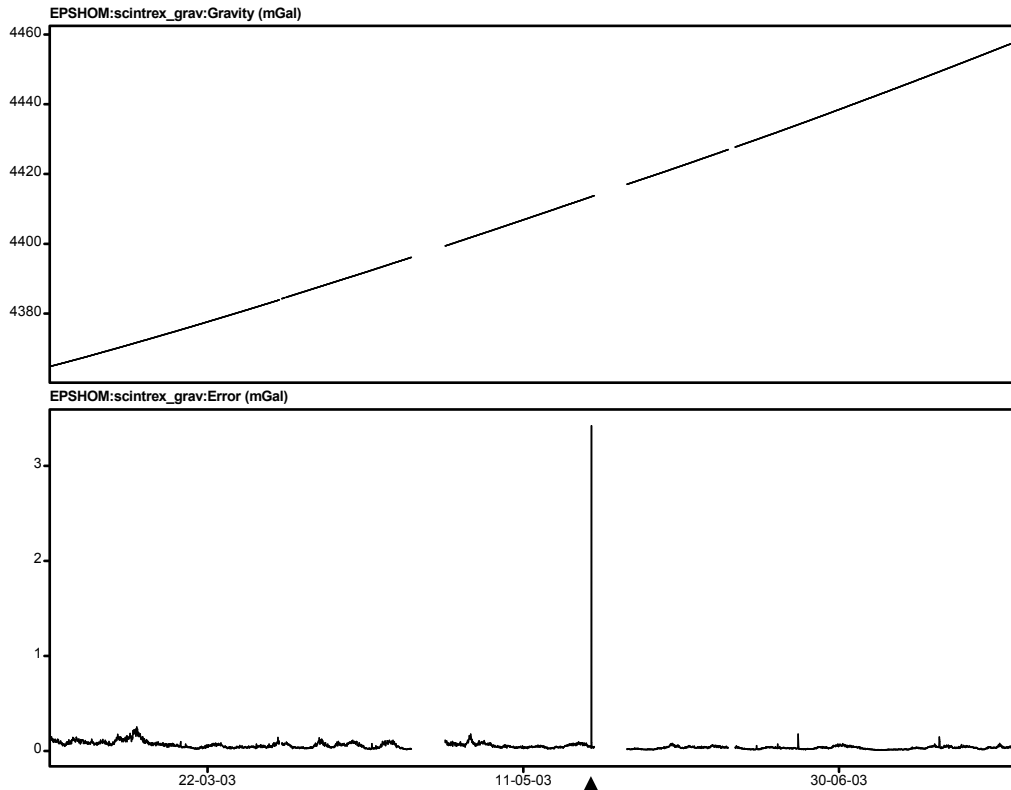


## RESIDU DE SURCHARGE OCEANIQUE



amplitude: 18  $\mu$ Gal

## Gravité (et erreur des mesures) enregistrée à l'EPSHOM par le Scintrex CG3M du 25/02/03 au 27/07/03



21 mai 19h TU: séisme en Algérie

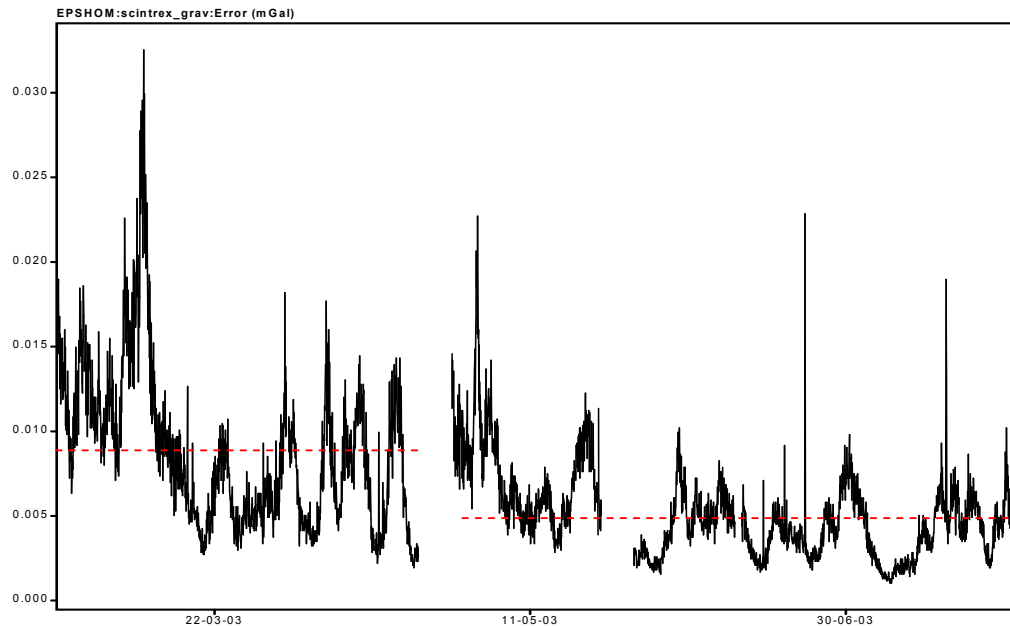
pas d'échantillonnage: 10min

période d'intégration: 60s

→ Erreur = écart-type/ $\sqrt{60}$



## Erreur sur les mesures de gravité du 25/02 au 27/07: influence de la période de l'année



	Du 25/02 au 22/04	Du 29/04 au 27/07
Erreur moyenne	8.8 $\mu$ Gal	5.1 $\mu$ Gal

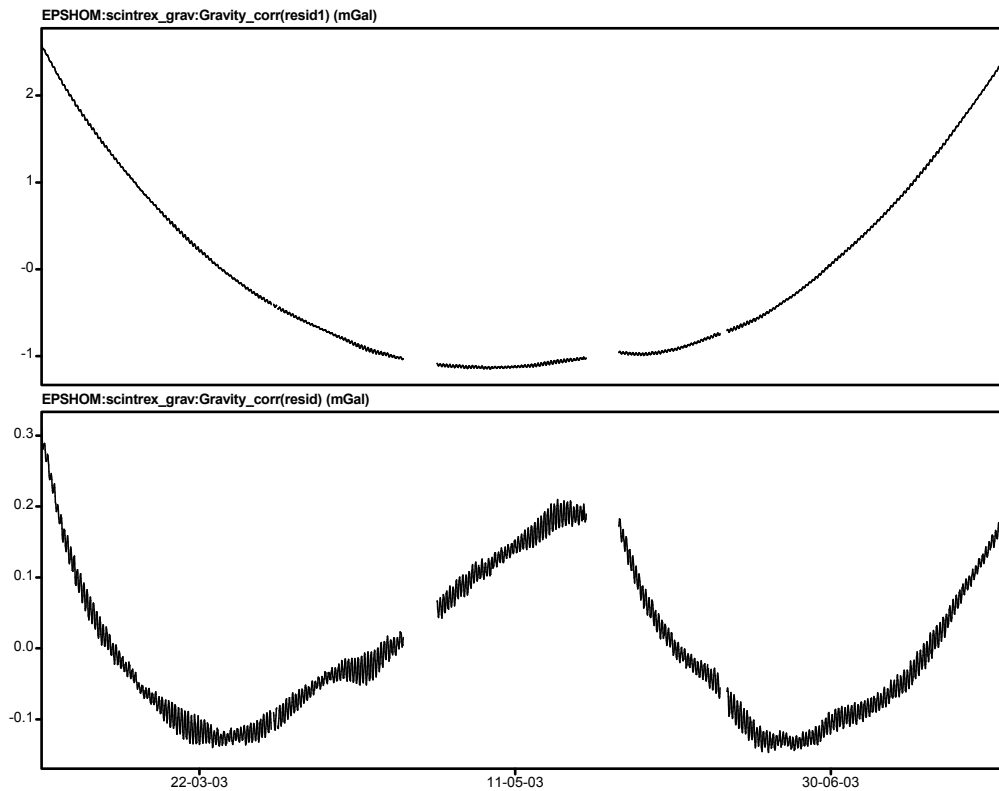
Erreur moyenne du 25/02 au 27/07	<b>6.7 <math>\mu</math>Gal</b>
-------------------------------------	--------------------------------

→ erreur assez importante (on n' atteint pas le  $\mu$ Gal) due à la proximité de la mer

→ mesures meilleures en été qu'en hiver

→ erreur moyenne en distance (via le gradient à l'air libre: 0.3096 mgal/m): **2 cm**

## Gravité après correction de la dérive instrumentale: dérive linéaire (en haut) et quadratique (en bas)



→ dérive en mGal =  $0.514.t + 0.0006336.t^2$

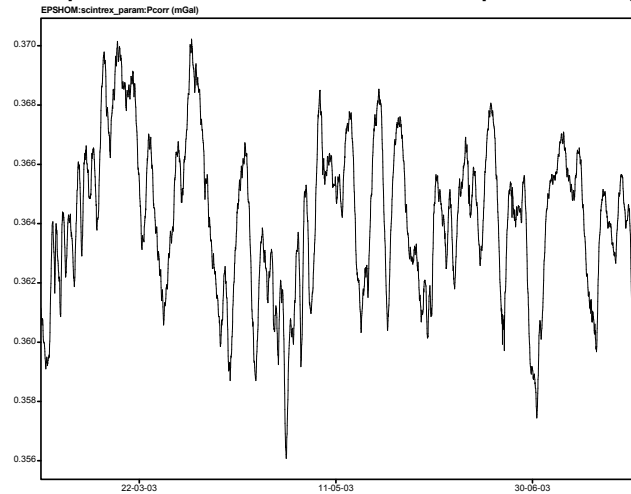
→ il reste des longues périodes: 33j (50 mGal) et 66j (80mGal): origine instrumentale??

## Effet des variations de la pression atmosphérique

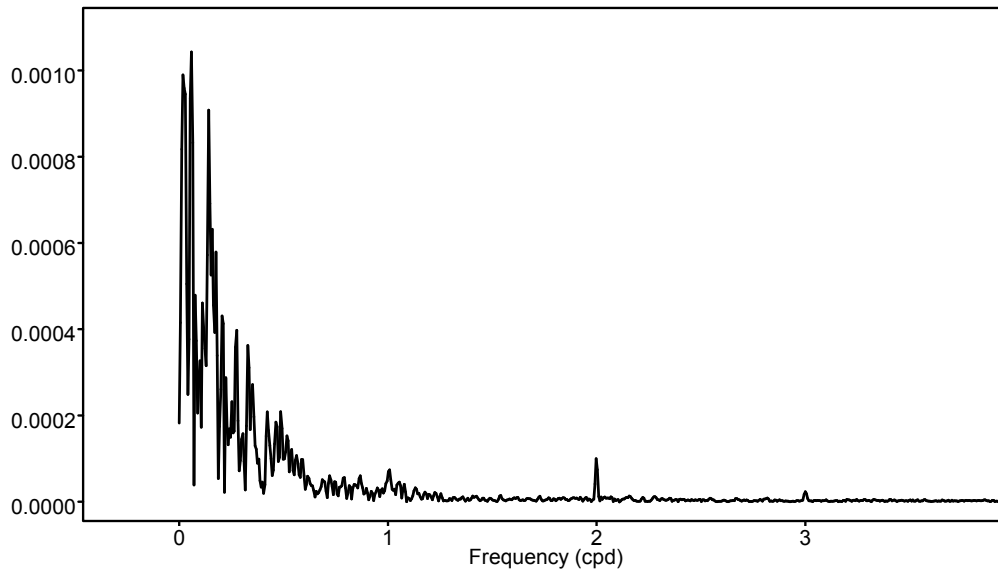
Effet sur la gravité: attraction de la colonne d'air au-dessus du gravimètre  
→ diminution de la gravité réelle

Coefficient d'admittance moyen :  $0.36 \mu\text{Gal}/\text{hPa}$

Variation temporelle de la correction de pression (en mGal):



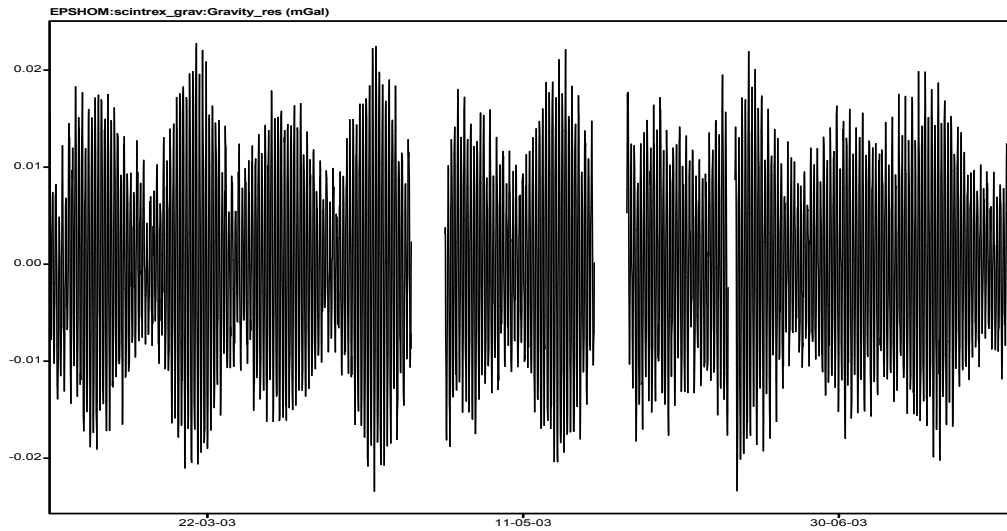
Spectre d'amplitude (en mGal):



→ atténuation du bruit visible surtout aux basses fréquences

→ effet de marée atmosphérique trop faible pour affecter notablement le signal gravimétrique (limite de sensibilité de l'instrument)

## Résidu de surcharge dans la gravité filtré à 0.2 cycle/jour



144 jours de données sur 153 jours d'acquisition

lacunes = 6% de la durée totale

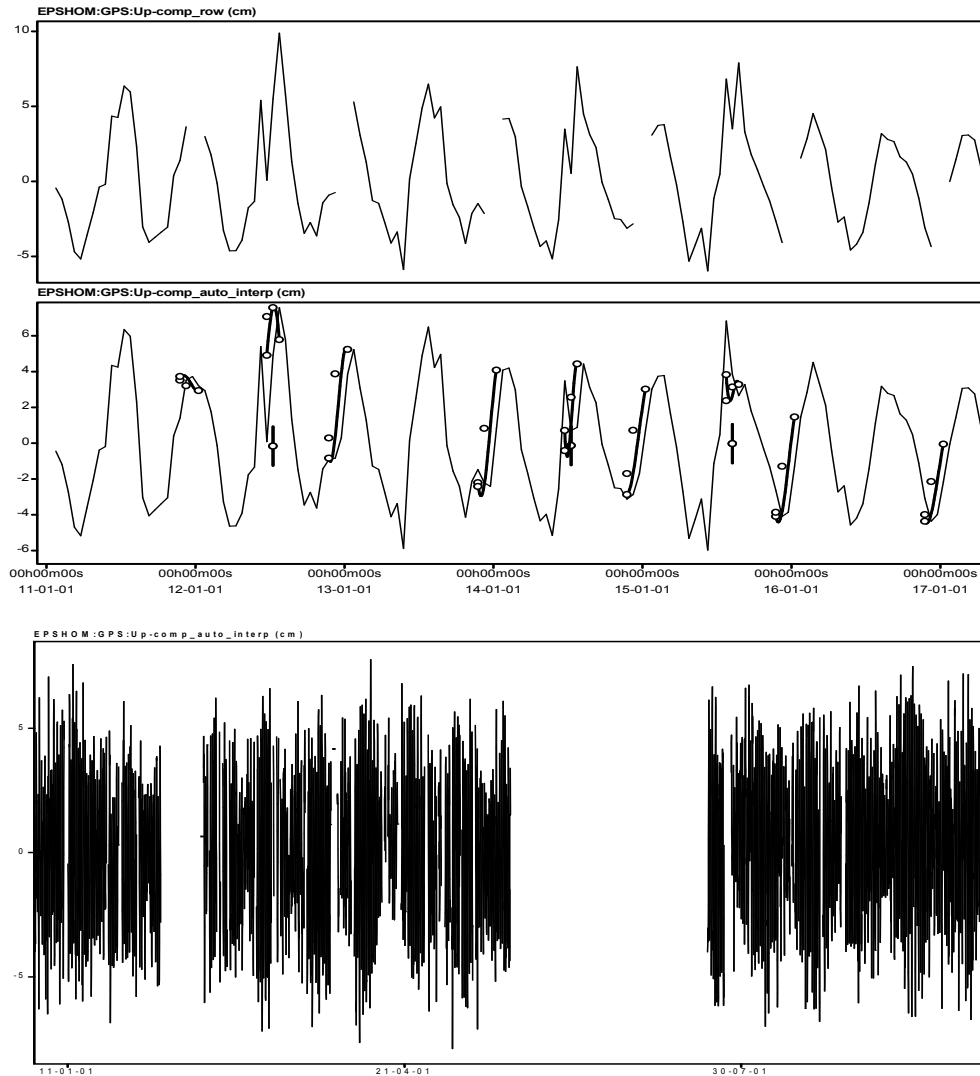
amplitude maximale: 18  $\mu$ Gal  
→ comme en 1998

# GPS

traitement au LAREG (M.N. Bouin): correction des marées terrestres, du mouvement du pôle de rotation

lacunes systématiques entre 22h30 et 1h30 -> interpolation

## Correction automatique des pics et des lacunes avec Tsoft:



107 jours de données sur 283 jours d'acquisition  
lacunes = 62% de la durée totale

→ problème pour analyse spectrale par Transformée de Fourier

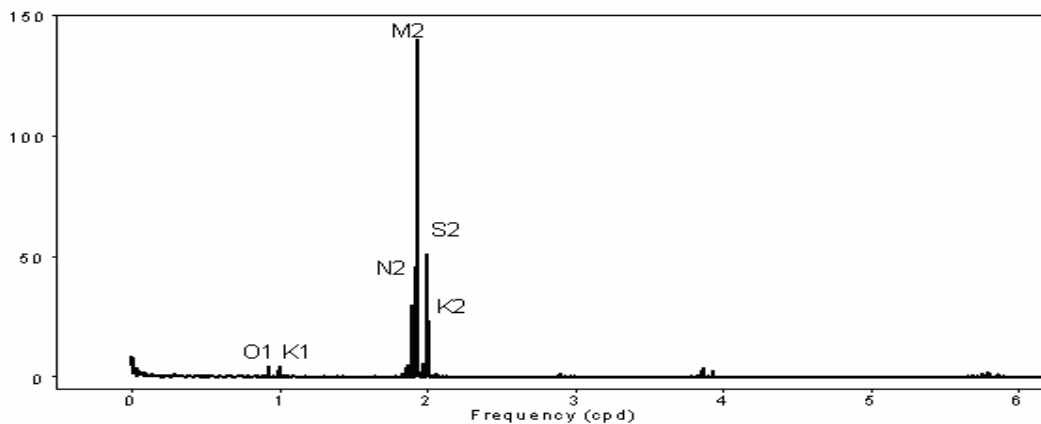
amplitude maximale: 5 cm

## 2) ANALYSE HARMONIQUE DE LA MAREE ET DES RESIDUS DE SURCHARGE

Les ondes principales observées:

- ondes semi-diurnes: M2 (Lune moyenne, T=24h50), S2 (Soleil moyen, T=24h), N2, K2
- ondes diurnes: K1(luni-solaire), O1 (Lune)

### Spectre d'amplitude de la marée à Brest (en cm):



résultat de l'analyse harmonique en 2001 sur 284 jours:

Onde	Amplitude en cm
O1	6.40
P1	2.30
<b>K1</b>	<b>6.60</b>
N2	41.50
<b>M2</b>	<b>205</b>
S2	74.70
K2	21.50

niveau moyen: 418.3 cm

→ Marée semi-diurne: l'amplitude de l'onde M2 est ~30 fois supérieure à celle de l'onde K1

### Analyse de la gravité:

Onde	Amplitude en cm
O1	7.50
P1	4.40
<b>K1</b>	<b>13.30</b>
N2	25.80
<b>M2</b>	<b>122.50</b>
S2	39.40
K2	10.70

→ Rapport M2/K1: ~ 10

Onde	Rapport amplitude gravi/marée	Retard gravi/marée
O1	12.71	2h 20 min
P1	22.0	-1h 48 min
K1	<b>21.45</b>	-2h 6 min
N2	6.19	25 min
<b>M2</b>	<b>5.96</b>	<b>17 min</b>
S2	5.23	14 min
K2	5.22	14 min

→ Rapports dépendants de la fréquence

### Analyse du GPS:

Problème: durée d'analyse (107 j) trop courte -> méthode de correspondance par espèces

→ Rapport M2/K1 ~ 10

→ Retard de 28 min pour le groupe des ondes semi-diurnes

**Problème:** les spectres des résidus de surcharge sont moins riches en ondes semi-diurnes.

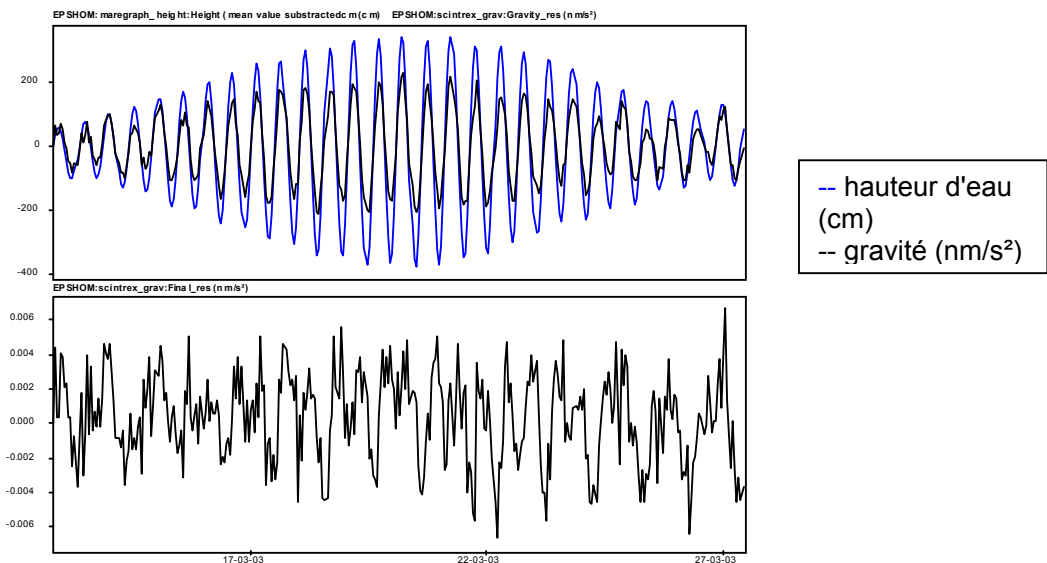
Or la lithosphère continentale a un comportement élastique donc la réponse au forçage par la marée est indépendante de la fréquence.

Conséquence: il faut trouver un coefficient valable en temporel

→ par moindres carrés ou par corrélation

### 3) CORRELATION AVEC LA MAREE ET RECHERCHE D'UN COEFFICIENT D'ADMITTANCE

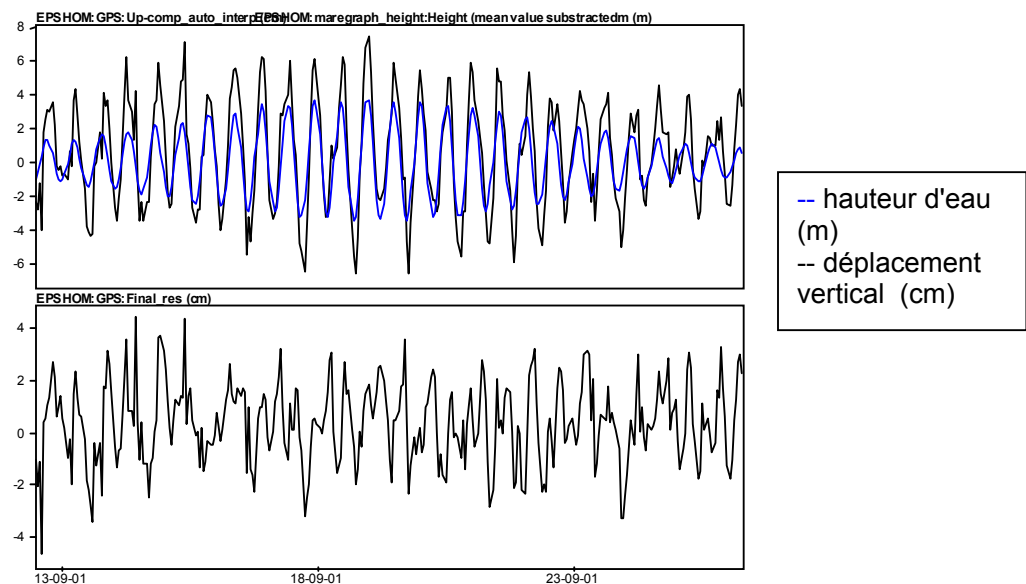
Gravité:



coefficient d'admittance gravité/marée: **5.79  $\mu\text{Gal}/\text{m}$**  d'eau (0.579 nm/s<sup>2</sup>/cm)  
 amplitude moyenne du résidu: 2.68  $\mu\text{Gal}$

retard gravi/marée: 17 min

GPS:



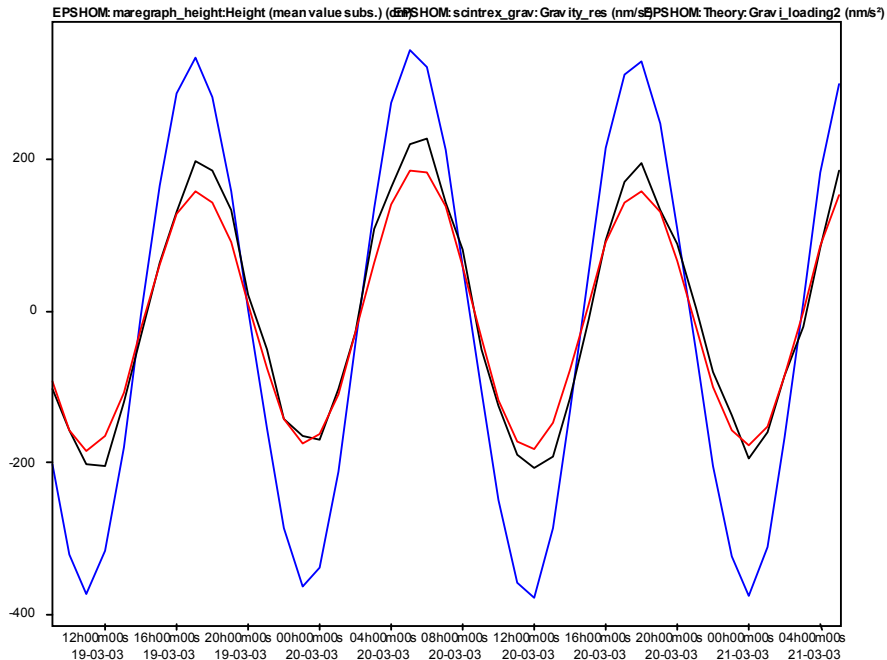
coefficient d'admittance déplacement vertical/marée: **1.49 cm/m** d'eau  
 amplitude moyenne du résidu: 1.6 cm

retard GPS/marée: 28 min



## 4) COMPARAISON AVEC LE MODELE CSR4.0

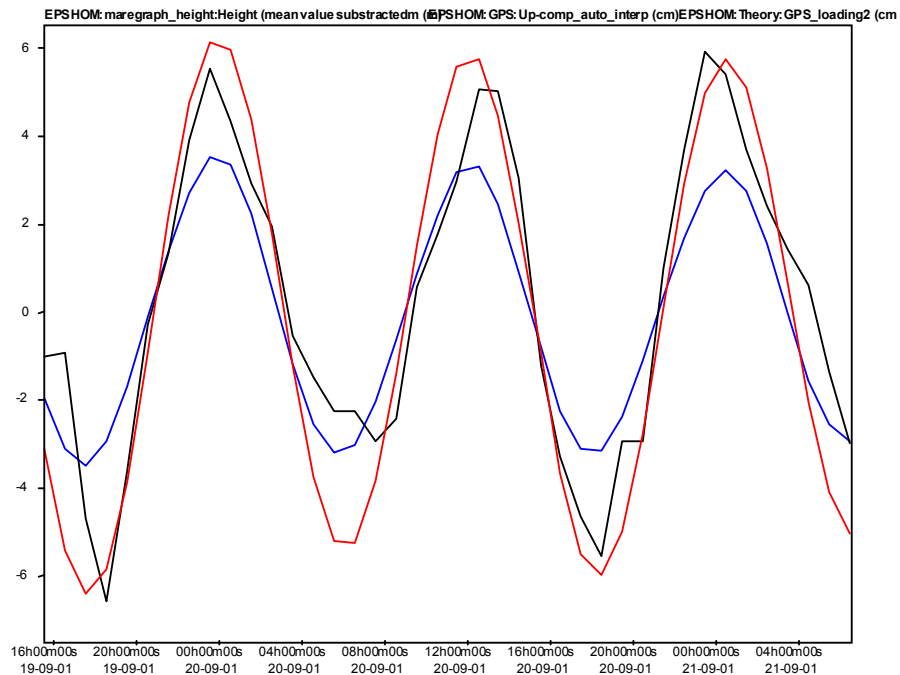
Gravité:



-- Surcharge observée  
 -- Surcharge prédite  
 -- Hauteur d'eau

- surcharges observée et prédite sont en phase
- la surcharge observée est supérieure de 9% à la surcharge prédite

GPS:



- la surcharge observée est inférieure de 25% à la surcharge prédite
- déphasage de 15 min entre les 2 surcharges

## RESUME ET CONCLUSION

	Gravimétrie	Déplacement vertical (GPS)
Amplitude maximale de la surcharge observée (valeur correspondante via le gradient à l'air libre: 0.3096 mGal/m)	18 $\mu$ Gal (= 6 cm)	5 cm (= 16 $\mu$ Gal)
Ecart avec la surcharge prédite par le modèle CSR4.0	+9%	-25%
Retard par rapport à la marée	~0	15 min
Coefficient d'admittance avec la marée	5.79 $\mu$ Gal/m <i>(5.34 en 1998)</i>	1.49 cm/m
Retard par rapport à la marée	17 min	28 min
Amplitude moyenne du résidu de la régression avec la marée	2.68 $\mu$ Gal	1.6 cm

Meilleure résolution avec la gravimétrie car moins de sources d'erreurs (mesure directe) qu'en positionnement par GPS

*Problème*: la gravité = grandeur physique qui résulte de la somme de différents mouvements, redistributions de masses...

Quelle est la part de l'attraction des masses d'eau dans le signal gravimétrique?

- La gravimétrie pourrait être un moyen précis de détecter des mouvements verticaux du sol et de les quantifier une fois éliminé cet effet.