

Etalonnage des radars altimètres: résultats sur TOPEX/Poseidon, Jason-1 et EnviSat en Corse et à Harvest

P. Bonnefond⁽¹⁾, P. Exertier⁽¹⁾, O. Laurain⁽¹⁾, Y. Ménard⁽²⁾, F. Boldo⁽³⁾, F. Lyard⁽⁴⁾, G. Jan⁽⁵⁾, E. Jeansou⁽⁵⁾, and L. Roblou⁽⁵⁾

B. Haines⁽⁶⁾, G. Born⁽⁷⁾, S. Desai⁽⁶⁾ and S. Gill⁽⁸⁾

⁽¹⁾OCA/GEMINI, Grasse, France

⁽²⁾CNES, Toulouse, France

⁽³⁾IGN-CNES, Toulouse, France

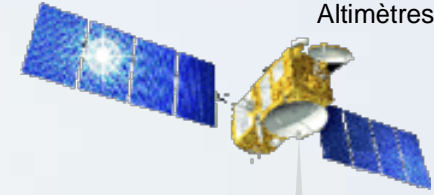
⁽⁴⁾LEGOS, Toulouse, France

⁽⁵⁾NOVELTIS, Ramonville, France

⁽⁶⁾ Jet Propulsion Laboratory, California Inst. of Tech., Pasadena CA, USA

⁽⁷⁾ University of Colorado, Boulder, USA

⁽⁸⁾ NOAA National Ocean Service, Silver Springs, USA



Aperçu historique

L'étalonnage absolu a été utilisée par le passé pour de nombreuses missions:

- Seasat aux Bermudes (1978)
- ERS-1 à Venise (1991)
- TOPEX/Poseidon à Lampedusa (1993)
- TOPEX/Poseidon and Jason-1 sur la plateforme d'Harvest (depuis 1992)
- TOPEX/Poseidon, Jason-1 et EnviSat en Corse (depuis 1998)

Concept

Le principe de l'étalonnage absolu repose sur la différence entre une hauteur de mer mesurée par le radar altimètre embarqué et celle enregistrée par des senseurs locaux (marégraphes, bouée GPS, ...). Ces deux informations peuvent parfois être issus de deux endroits éloignés. Dans ce cas, il peut être crucial de prendre en compte le gradient du géoïde.

Definition du biais d'étalonnage:

Biais sur la hauteur de mer = hauteur de mer altimétrique - hauteur de mer in situ

biais < 0 l'altimètre mesure trop long

biais > 0 l'altimètre mesure trop court

Etalonnage relatif



- Statistiquement significatif
- Moins sensible aux erreurs géographiquement corrélées



• Ne fournit qu'un comportement relatif

Etalonnage absolu



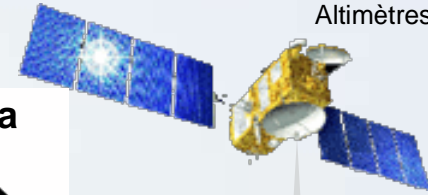
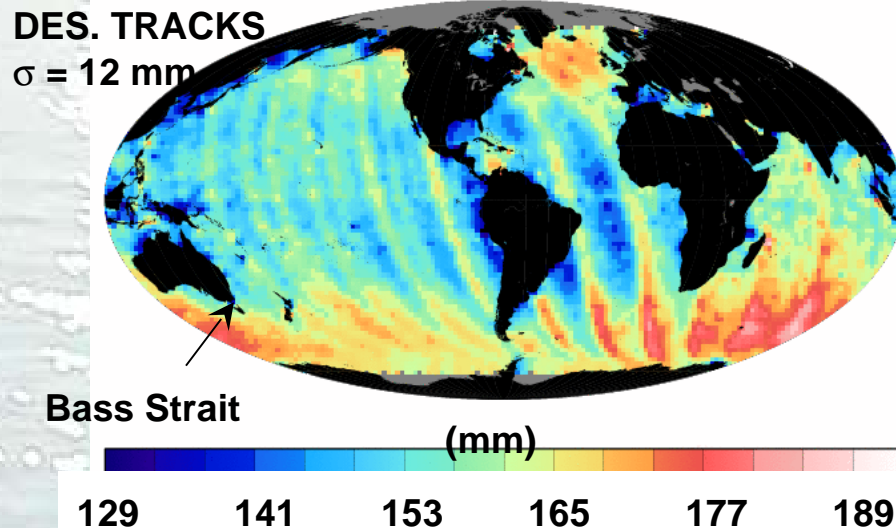
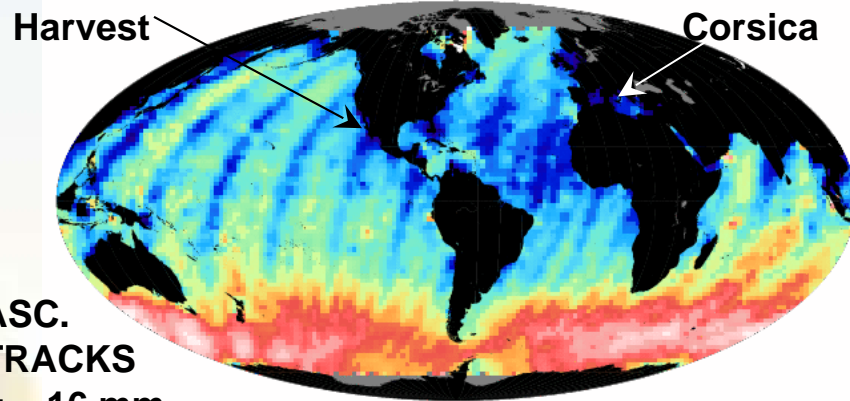
- Fournit un biais absolu
- Permet de séparer les sources d'erreurs en utilisant les informations provenant de plusieurs senseurs



• Très sensible aux erreurs géographiquement corrélées

Pourquoi différents sites d'étalonnage? *Erreurs géographiquement corrélées*

- Erreurs systématiques dans la surface de la mer révélées par la phase vol en formation Jason-1 et TOPEX/POSEIDON



I
N
T
R
O
D
U
C
T
I
O
N



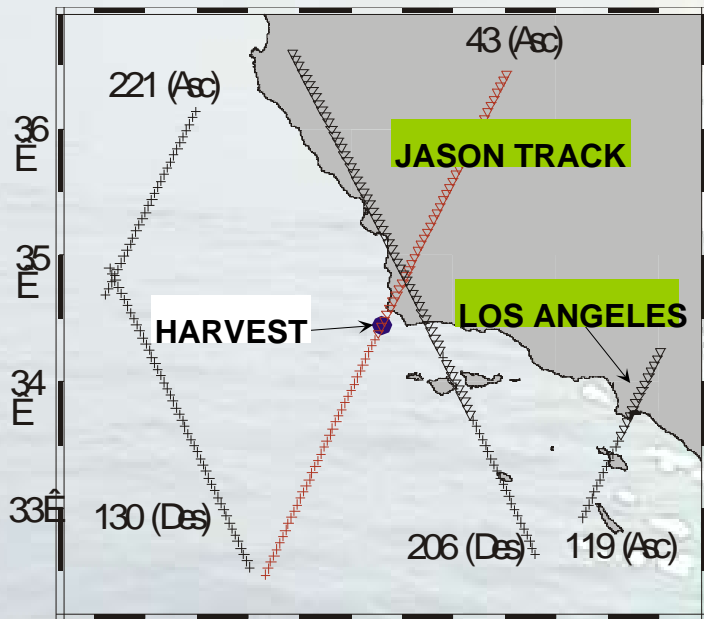


H
A
R
V
E
S
T



Harvest Calibration Site

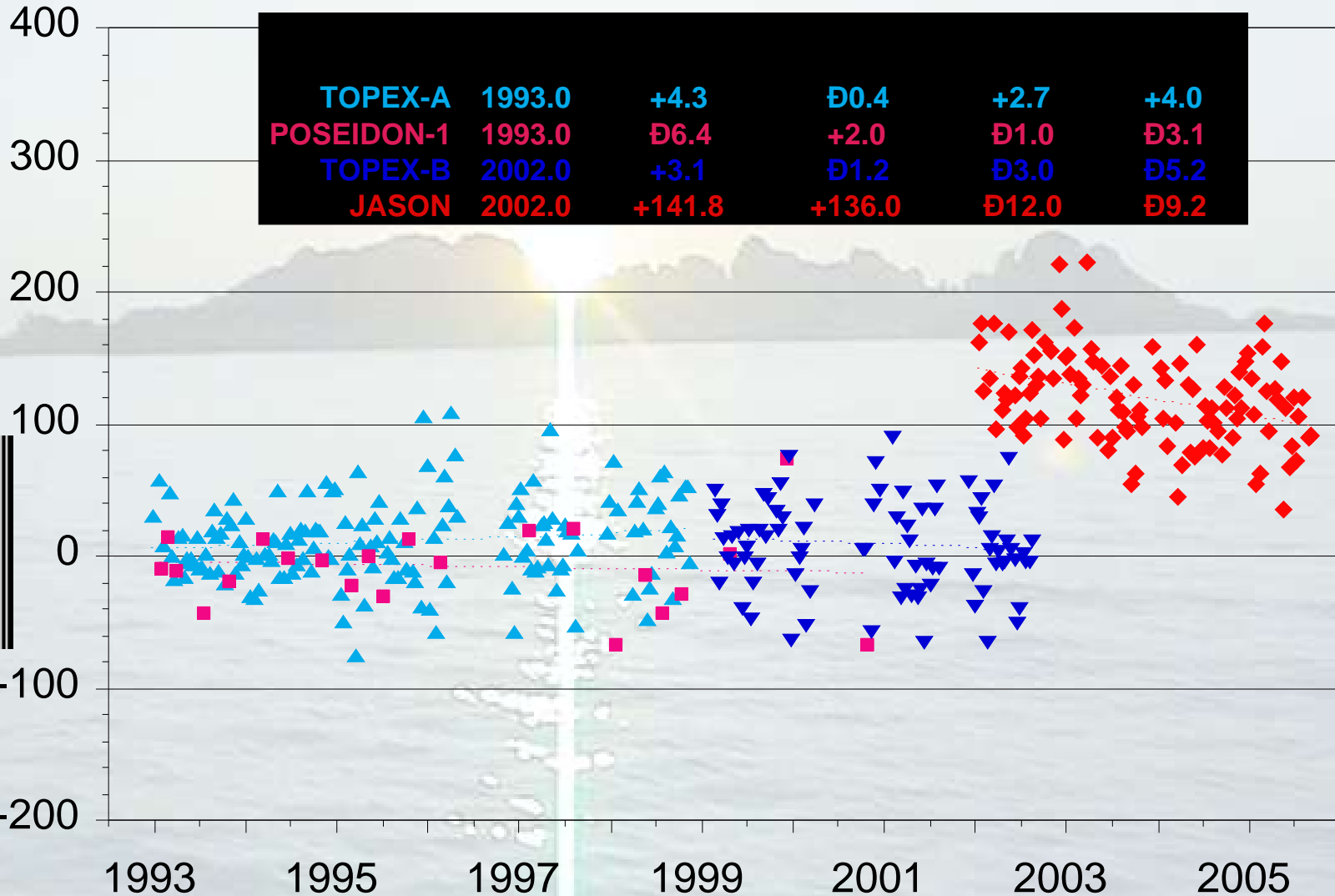
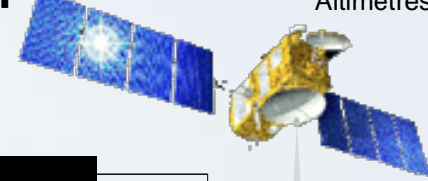
- Mise en place par la NASA en 1992.
 - 10 ans de survols de T/P jusqu'au 13/08/2002 (Cycle 365)
 - Contrôle continu de Jason-1 depuis 2002
- Plateforme pétrolière active (*Arguello*).
 - Localisée directement sous la trace de Jason-1.
 - Localisée en plein océan (~10 km des côtes) à l'ouest de l'entrée du canal Santa Barbara.
- Configuration concentrée.
 - Toute l'instrumentation (e.g., GPS, marégraphes, radiomètre) colocalisés sur la plateforme.



Estimation des biais altimétriques à long terme

13 années de surveillance à Harvest, 4 systèmes altimétriques

Etalonnage
Absolu
des
Altimètres



T / P
&
J A S O N I 1



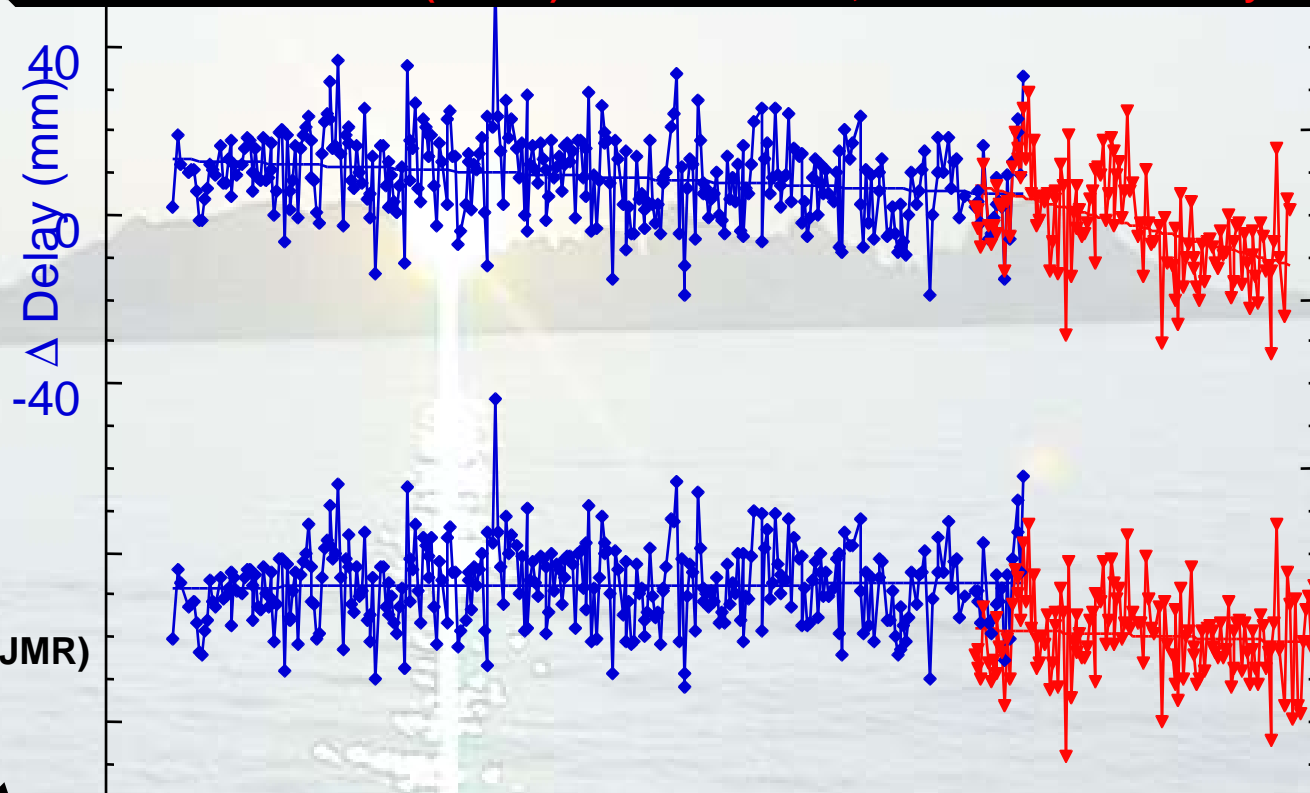
Etalonnage du délai troposphérique zénithal à Harvest

En utilisant les données des récepteurs GPS d'Harvest

Etalonnage
Absolu
des
Altimètres



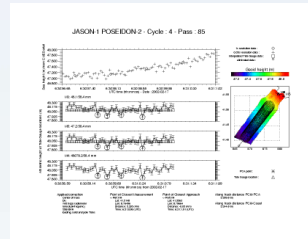
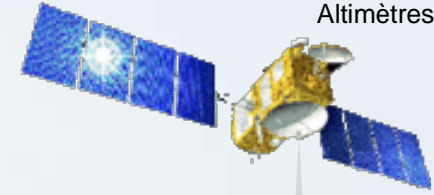
—◆— TMR - GPS Bias (2003.0) = $+5.3 \pm 1.0$ mm, Rate = -0.8 ± 0.2 mm/yr
—▼— JMR - GPS Bias (2003.0) = $+7.3 \pm 1.8$ mm, Rate = -5.2 ± 0.9 mm/yr



—◆— TMR - GPS Bias (2003.0) = $+12.6 \pm 1.0$ mm, Rate = $+0.1 \pm 0.2$ mm
—▼— JMR - GPS Bias (2003.0) = $+2.0 \pm 1.7$ mm, Rate = -0.8 ± 0.7 m/yr

1992 1994 1996 1998 2000 2002 2004 2006





Site d'étalonnage en Corse

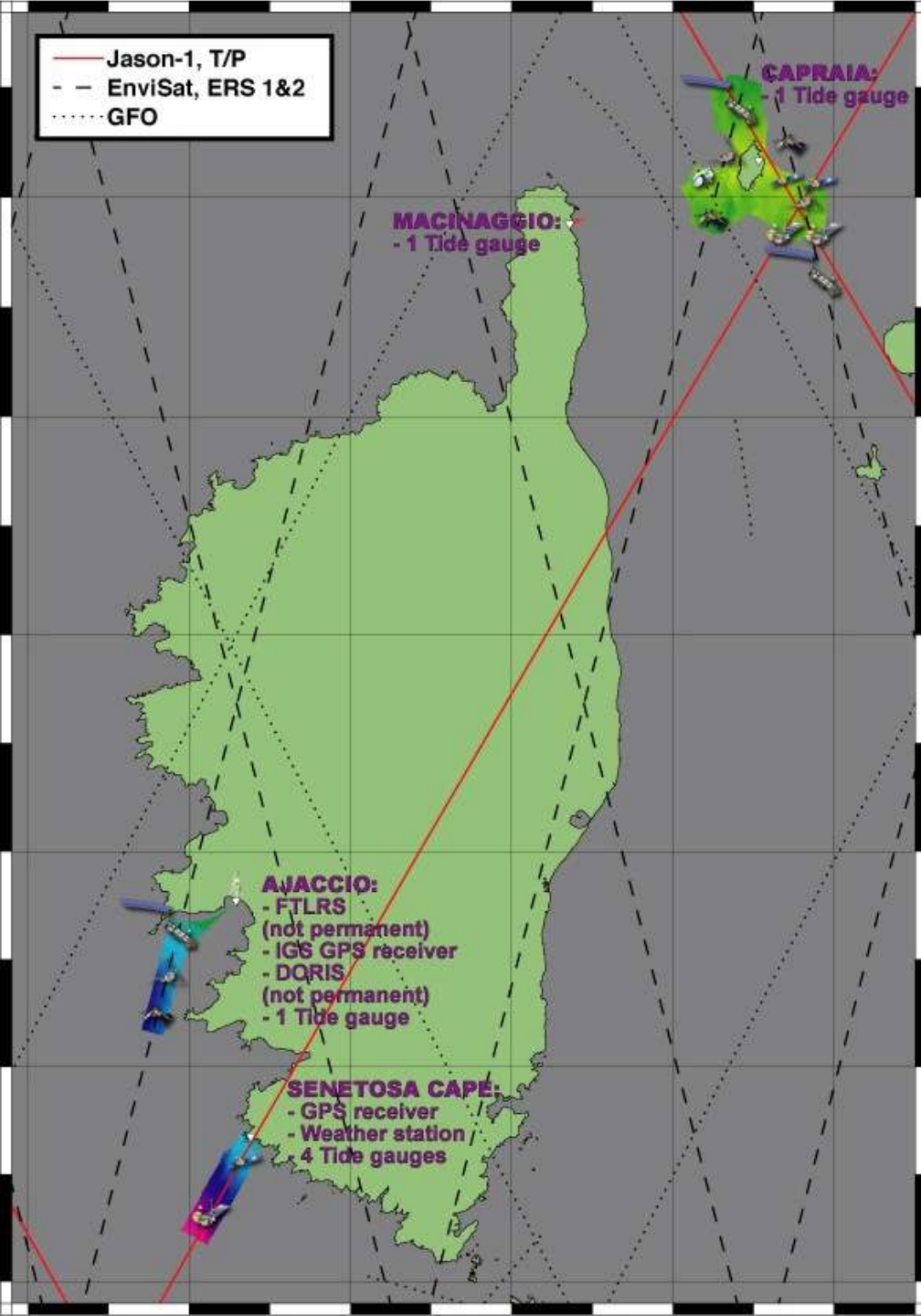
- Mis en place par le CNES et l'OCA/CERGA en 1998
- Contrôle continu de Jason-1 depuis 2002 (et T/P avant)
- Configuration sur 2 sites
 - Site géodésique de référence près d'Ajaccio équipé de GPS/FTLRS/DORIS.
 - Site de Sénétosa (sous la trace) équipé de marégraphes et d'un GPS.
 - Un point de vérification en mer (~10 km) pour la mise à l'eau de la bouée GPS.
- Les mesures altimétriques en pleine mer sont reliées à celle des marégraphes côtiers grâce à un géoïde marin local (déterminé lors d'une campagne utilisant un **catamaran GPS**).
- Extension du site à Ajaccio (2005) et Capraia (2004)
 - EnviSat, ERS, GFO, Jason-1.

S
I
T
E

D
E

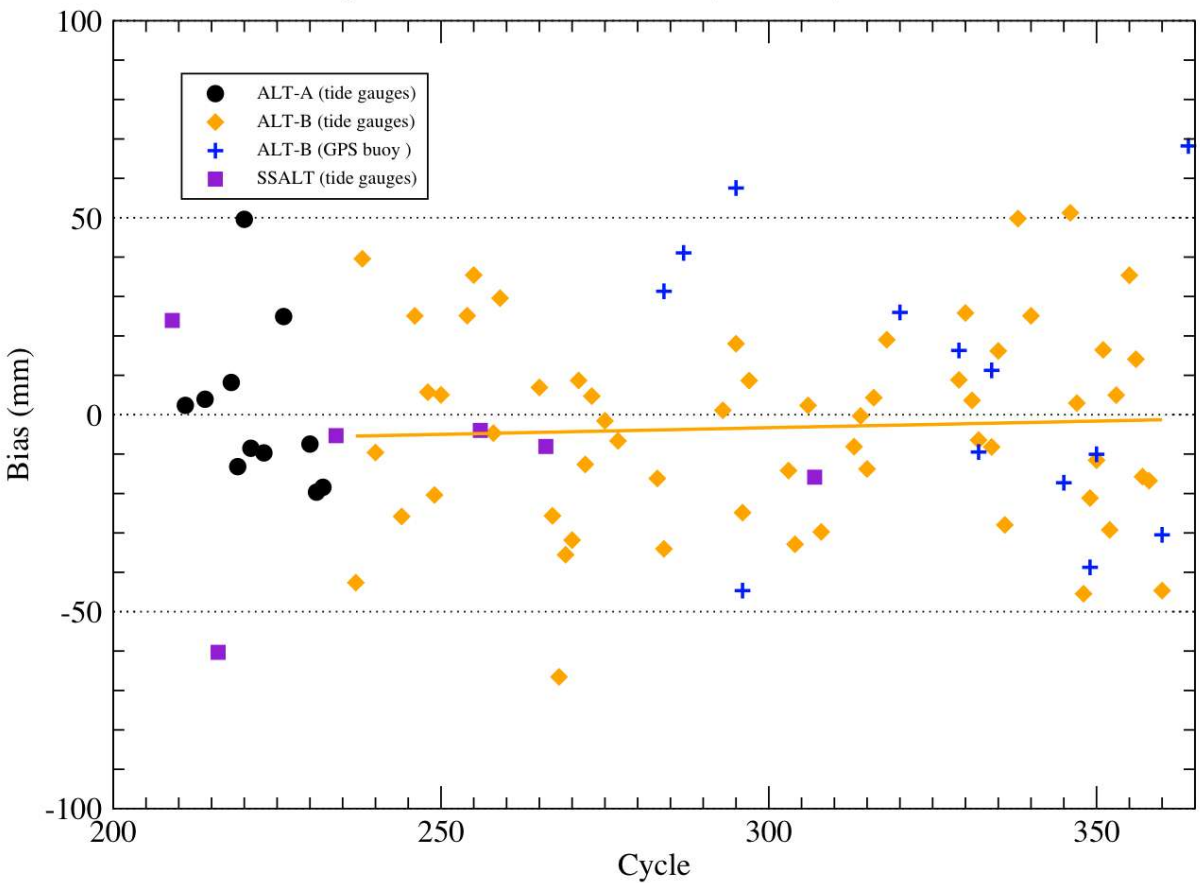
C
O
R
S
E

— Jason-1, T/P
- - EnviSat, ERS 1&2
..... GFO



TOPEX/Poseidon Altimeter Calibration

Cape Senetosa: ALT & SSALT, M-GDR, NASA orbit



Senetosa Site

Étalonnage
Absolu
des
Altimètres



T
O
P
E
X
/
P
O
S
E
I
D
O
N

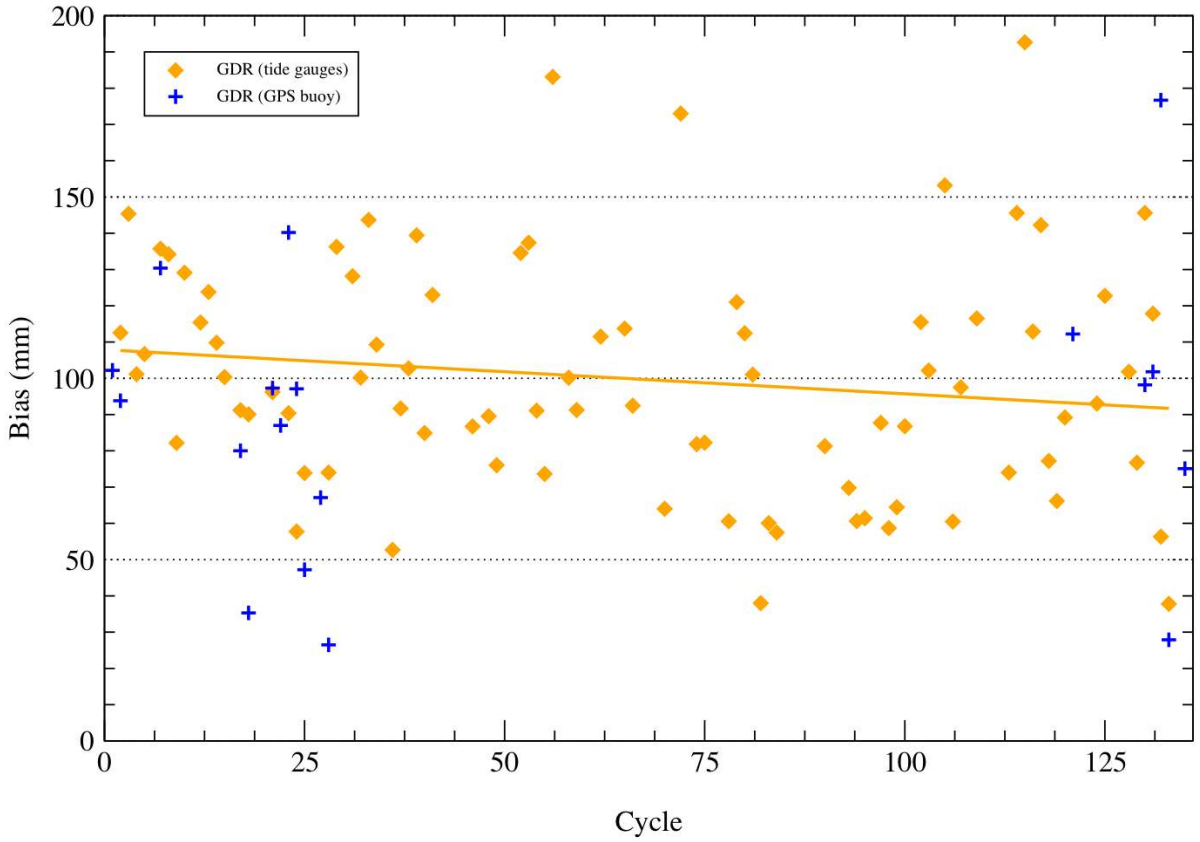
Les altimètres de TOPEX/Poseidon (ALT-A et ALT-B) ont été étalonnés de 1998 à 2002.

Les résultats montrent une grande cohérence entre les 2 altimètres -3 ± 3 mm et $+1 \pm 6$ mm pour ALT-A et ALT-B respectivement.



Jason-1 Altimeter Calibration

Cape Senetosa: POSEIDON-2, GDR, CNES Orbit



Senetosa Site

Etalonnage
Absolu
des
Altimètres

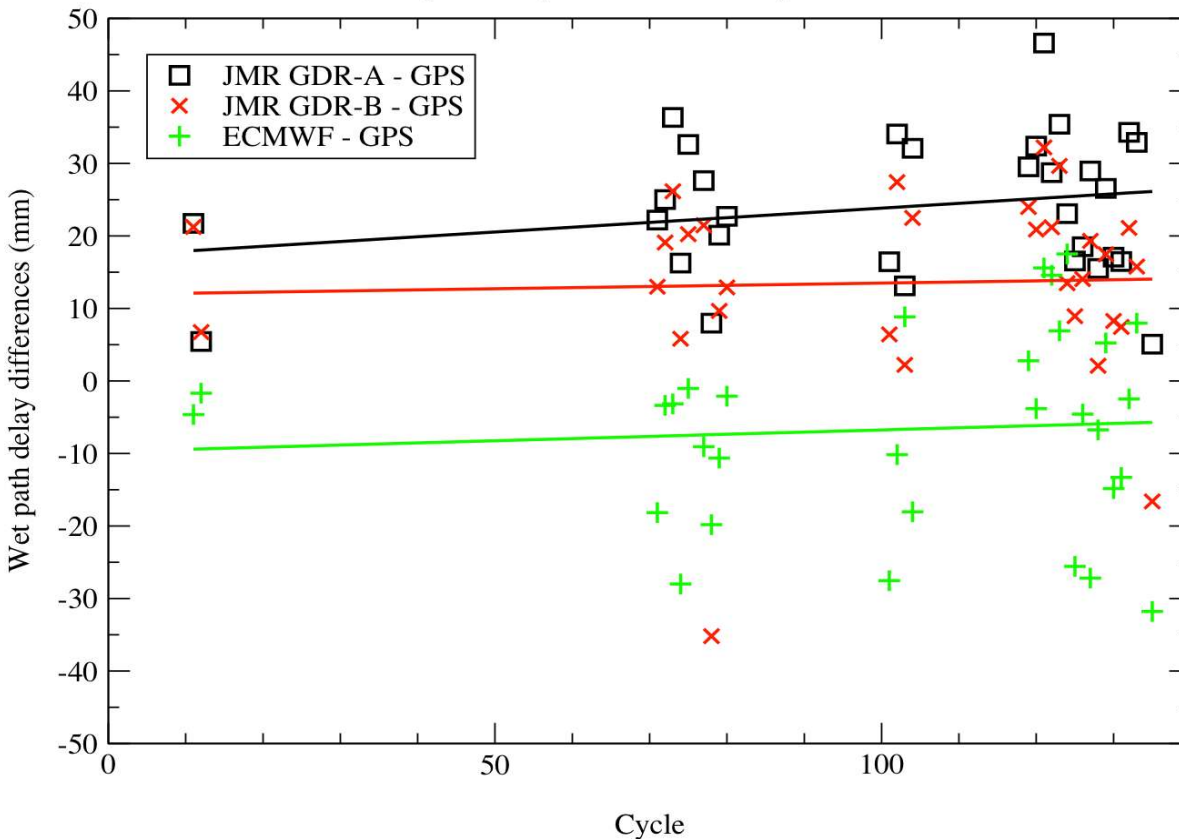


J
A
S
O
N
|
1

A Sénétosa le biais de l'altimètre POSEIDON-2 est de $+100 \pm 4$ mm.

Jason-1 Wet Tropospheric Path Delay

Senetosa Cape: JMR (GDR-A & GDR-B), ECMWF and GPS

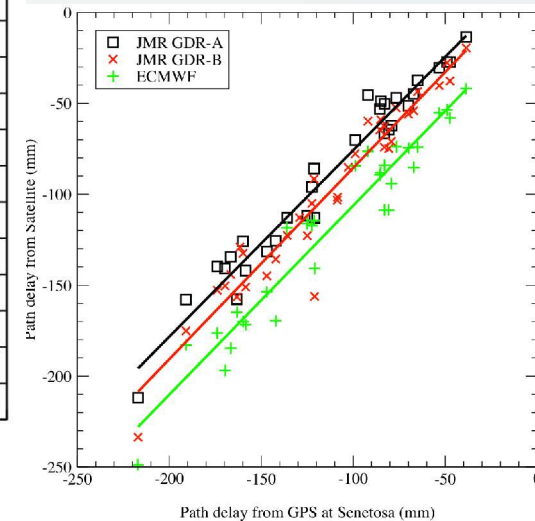


Site de Sénétosa

Etalonnage
Absolu
des
Altimètres



Jason-1 - JMR

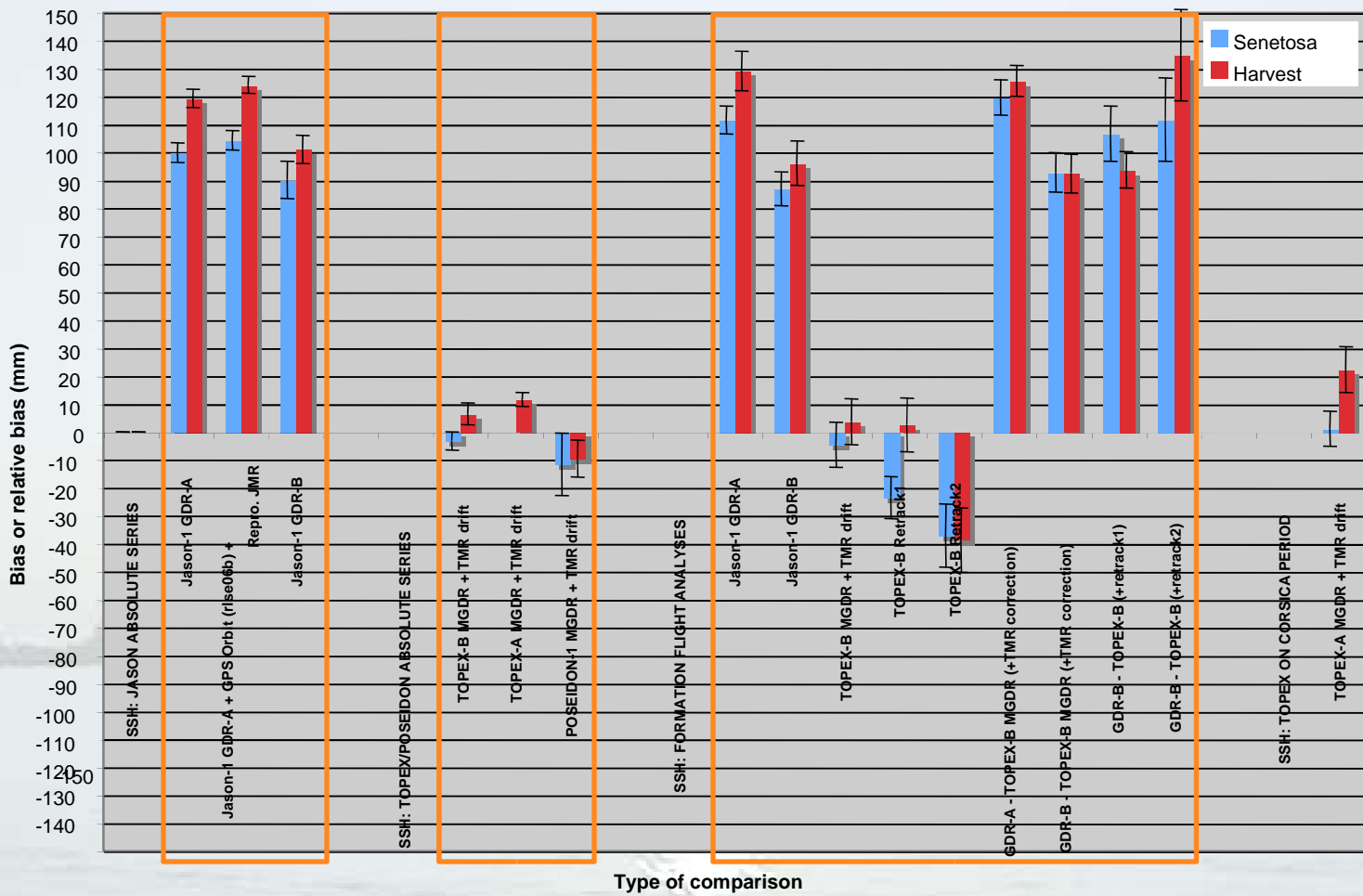
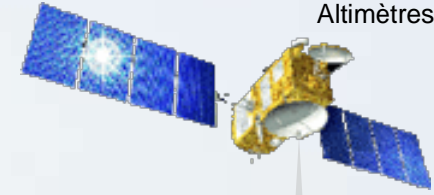


TROPOSPHERE HUMIDE

Les délais troposphériques humides issu du GPS de Sénétosa ont été comparés au radiomètre à vapeur d'eau de Jason-1 (JMR, données GDR-A et GDR-B) ainsi qu'au modèle ECMWF. La cohérence entre GPS and ECMWF est très bonne (-7mm) alors que le JMR (GDR-A) montre un biais (+24mm) et une dérive ($+2.4 \pm 2$ mm/yr).

La dérive est en fait liée à des sauts dans les coefficients de calibration du JMR. La prochaine version des données de Jason-1 inclut de nouveaux coefficients de calibration qui éliminent cette dérive (voir JMR GDR-B).





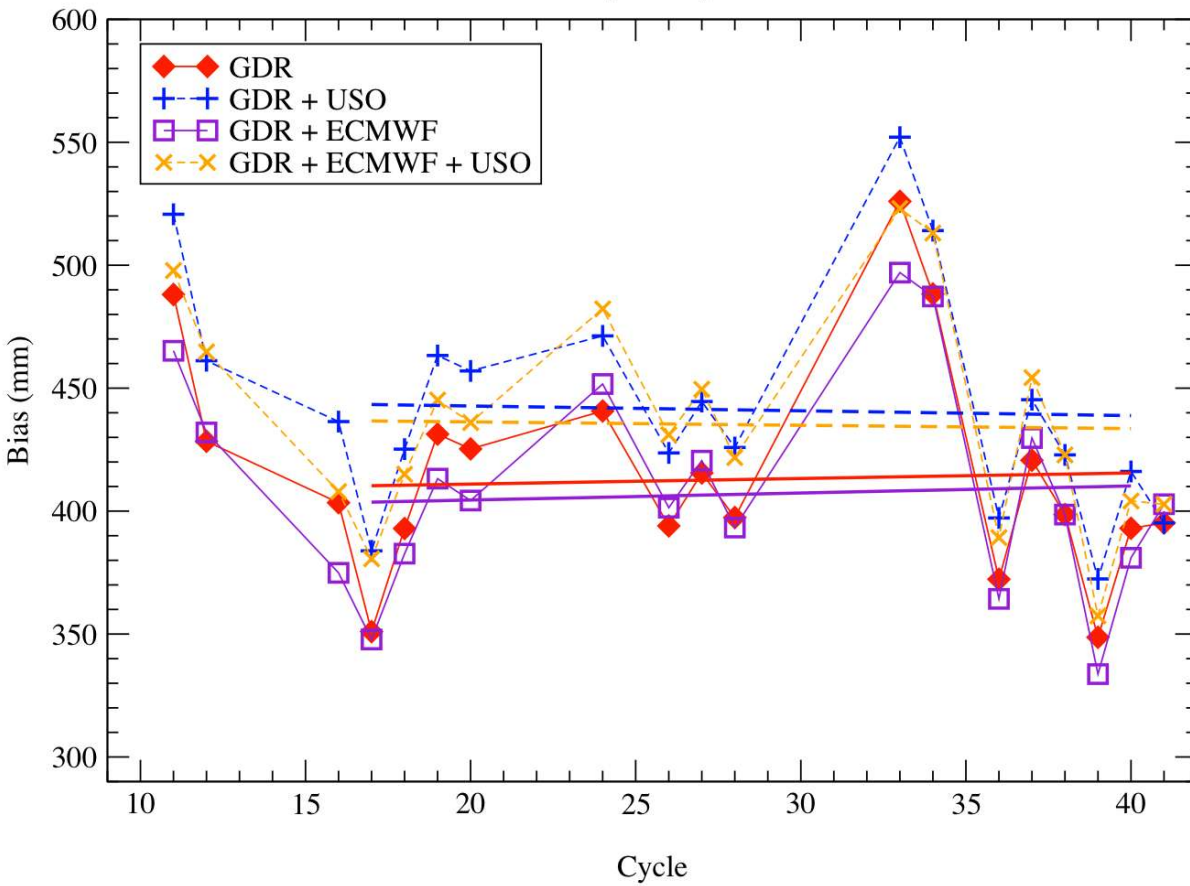
Tout ces résultats sont le fruit d'une étroite collaboration avec les chercheurs responsables de la plateforme d'Harvest.

La Figure résume les biais des altimètres pour les deux sites ainsi que leur barre d'erreurs. Les résultats sont divisés en **3 sections principales**: le biais de l'altimètre de Jason-1 (**ssh: JASON absolute series**), les biais des altimètres de TOPEX/Poseidon (**ssh: TOPEX/Poseidon absolute series**) et les biais absolus (ou relatif) pendant la phase de vol en formation (**ssh: formation flight analyses**).



EnviSat Altimeter Calibration

Site of Ajaccio: pass 130

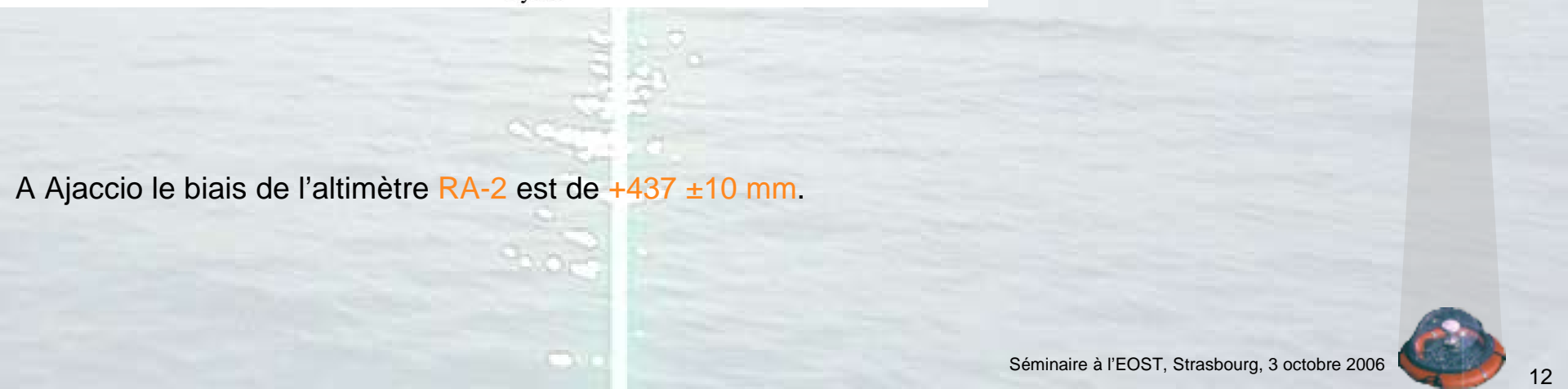


Ajaccio Site

Etalonnage
Absolu
des
Altimètres



ENVI
SAT

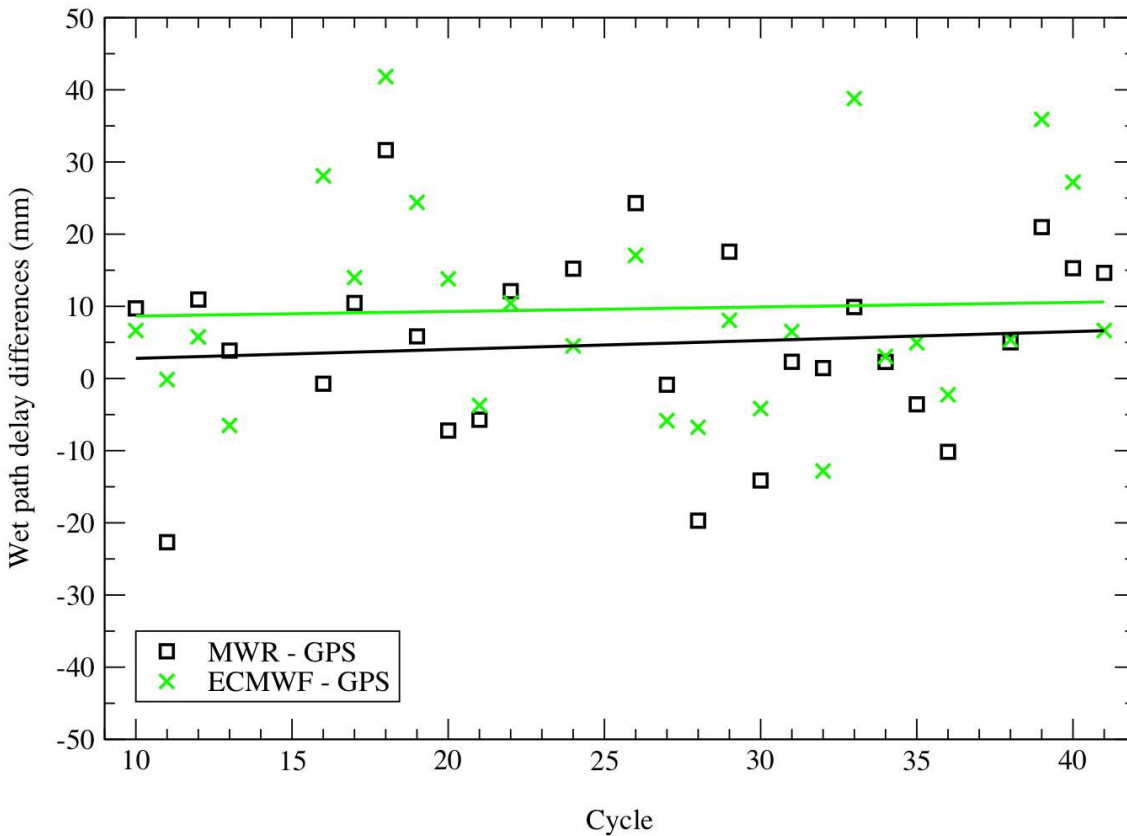


A Ajaccio le biais de l'altimètre RA-2 est de $+437 \pm 10$ mm.



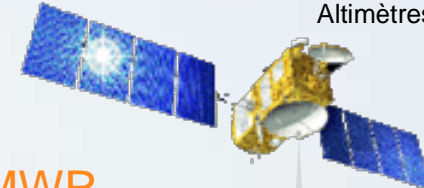
Envisat Wet Tropospheric Path Delay

Ajaccio: MWR, ECMWF and GPS

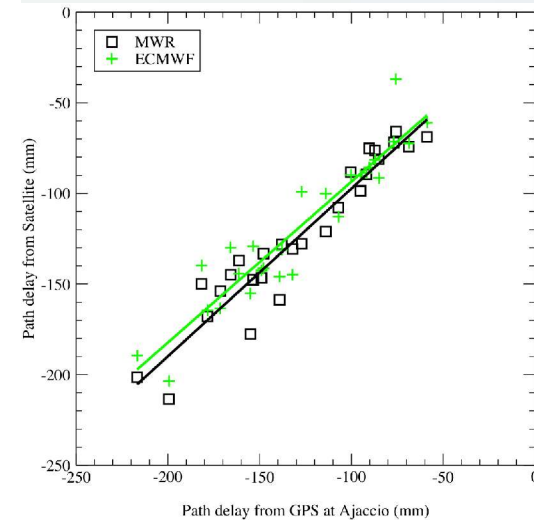


Site d'Ajaccio

Etalonnage
Absolu
des
Altimètres



EnviSat - MWR

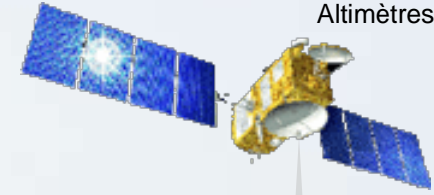


TROPOSPHERE HUMIDE

Les délais troposphériques humides issu du GPS d'Ajaccio ont été comparé au radiomètre à vapeur d'eau de Envisat (MWR) ainsi qu'au modèle ECMWF. Les différences moyennes avec le GPS sont respectivement de +5mm et +10mm pour le MWR et ECMWF. La dérive du MWR est de $+1.3 \pm 3$ mm/an.

Que ce soit à Sénétosa Ajaccio ou Harvest, l'utilisation des délais troposphériques humides issus des données GPS se révèlent être une méthode très puissante et précise pour surveiller les radiomètres embarqués.





C
O
N
C
L
U
S
I
O
N



Résultats en Corse et à Harvest :

- ALT-A (fin):** $+1 \pm 6 \text{ mm} (+22.3 \pm 8)$
- ALT-B:** $-3 \pm 3 \text{ mm} (+6 \pm 4)$
- POSEIDON-2:** $+100 \pm 4 \text{ mm} (+119 \pm 3)$
- RA-2:** $+437 \pm 10 \text{ mm}$

ALT-B (MGDR):
Biais 2002.0 = $-2 \pm 6 \text{ mm} (+3 \pm 5)$
Dérive = $+1 \pm 1 \text{ mm/an} (-3 \pm 3)$

POSEIDON-2 (GDR-A):
Biais 2002.0 = $+108 \pm 7 \text{ mm} (+142 \pm 6)$
Dérive = $-5 \pm 3 \text{ mm/an} (-12 \pm 3)$

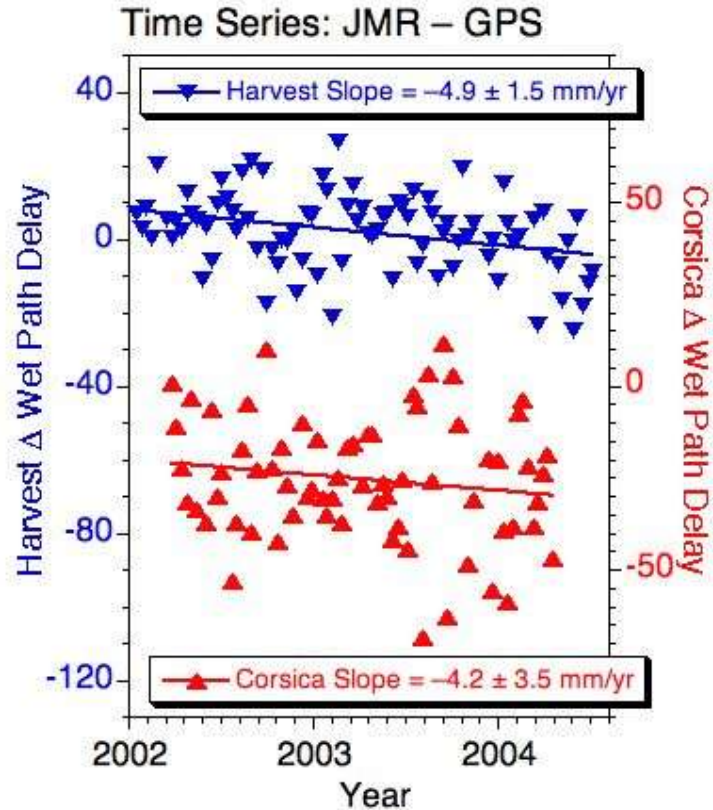
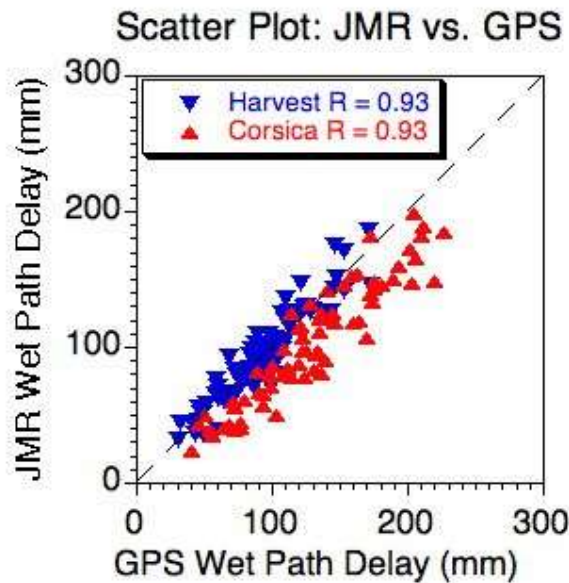
RA-2 (ECMWF+USO):
Biais 2002.0 = $439 \pm 45 \text{ mm}$
Dérive = $-1 \pm 16 \text{ mm/an} (\text{cycles } 17-40)$

Grâce aux longues séries temporelles le biais d'un altimètre peut-être déterminé à une époque de référence avec sa dérive associée



Jason-1 Wet Tropospheric Path Delay

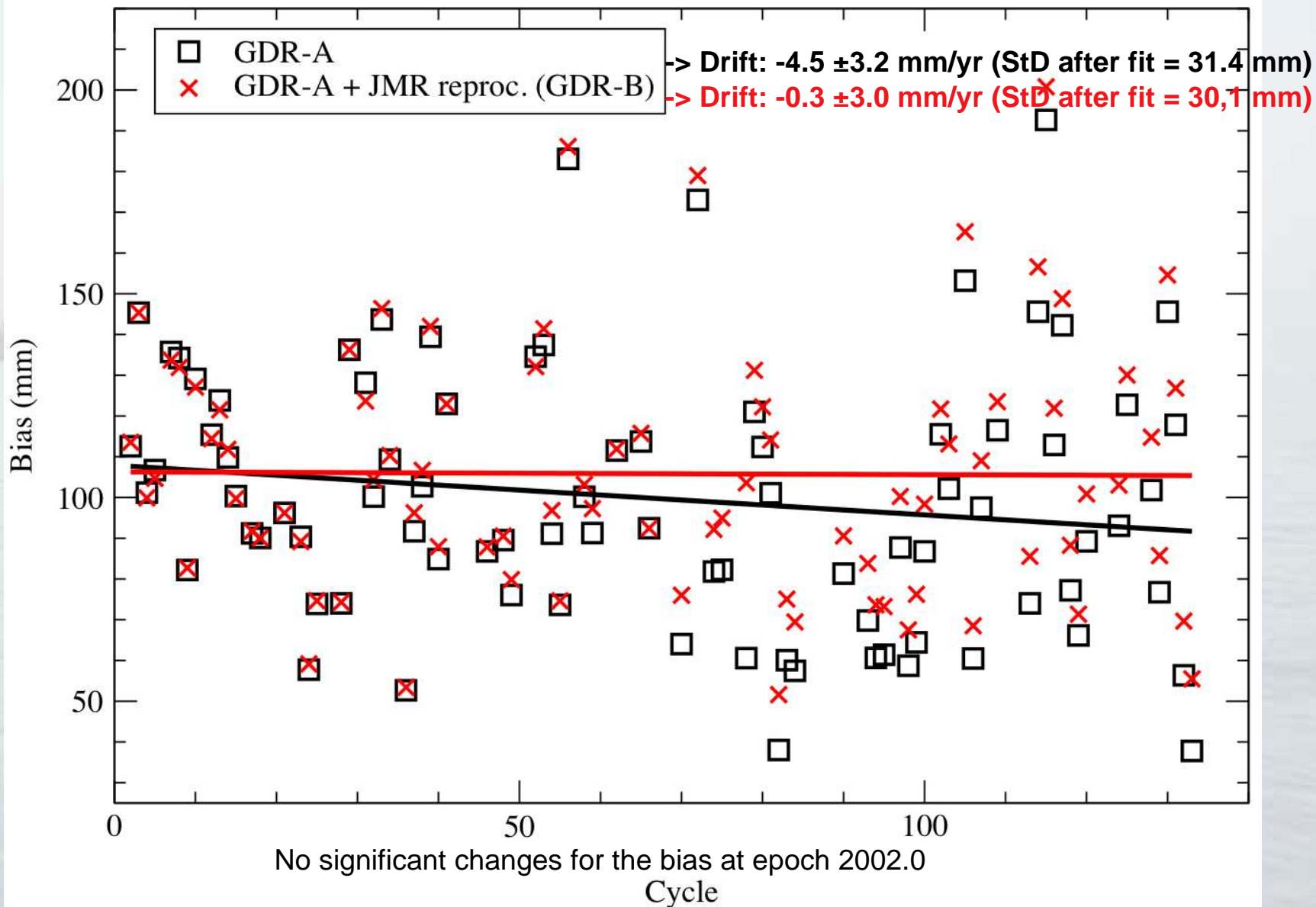
Monitoring Wet Path Delay Measurements from the Jason-1 Microwave Radiometer Using GPS



GDR-A + JMR reprocessing

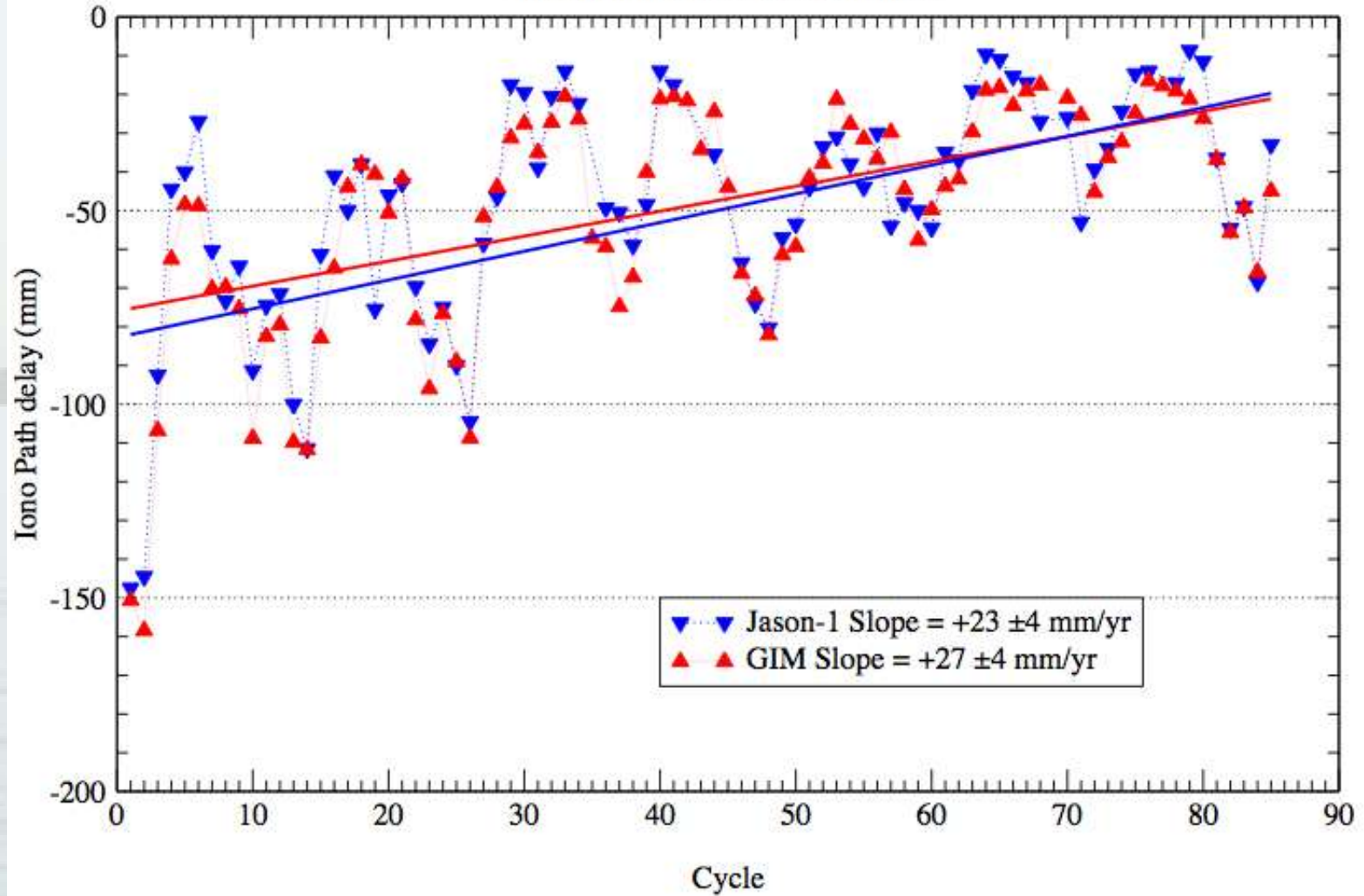
Jason-1 Altimeter Calibration

Senetosa Cape: impact of the JMR reprocessing

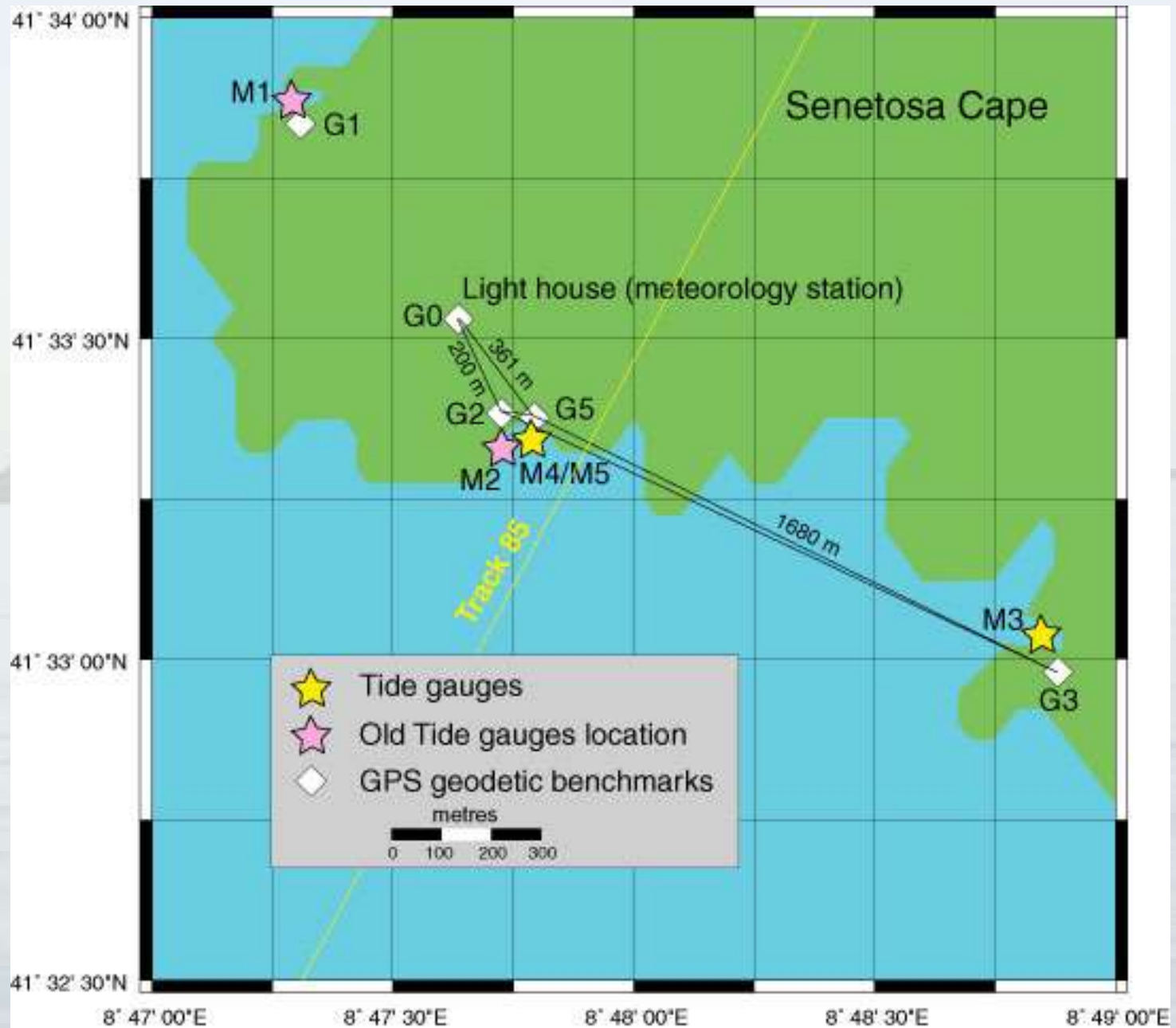


Jason-1 Ionospheric Path Delay

Jason-1 vs GIM Ionospheric correction at Senetosa

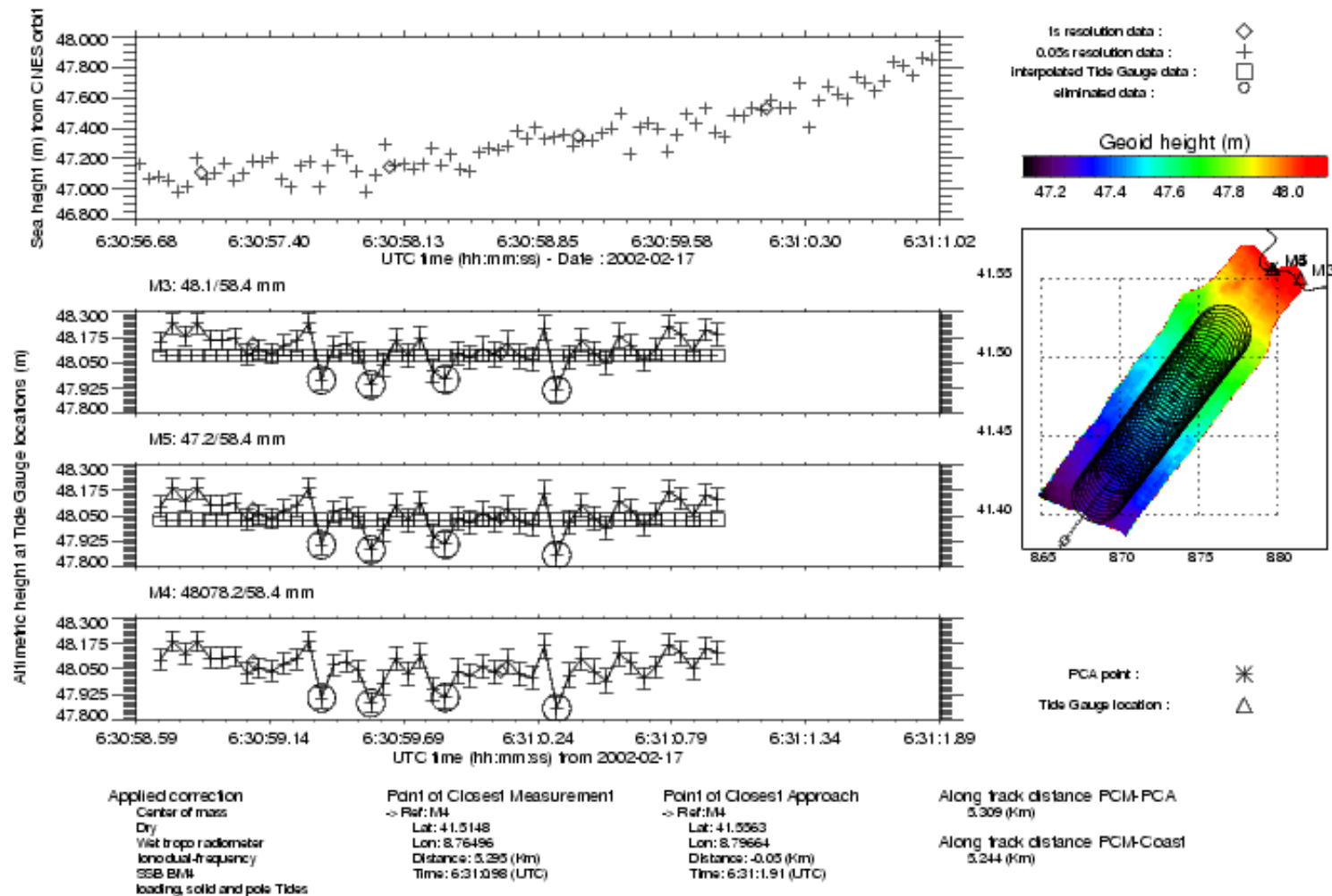


Plan de situation à Sénétosa



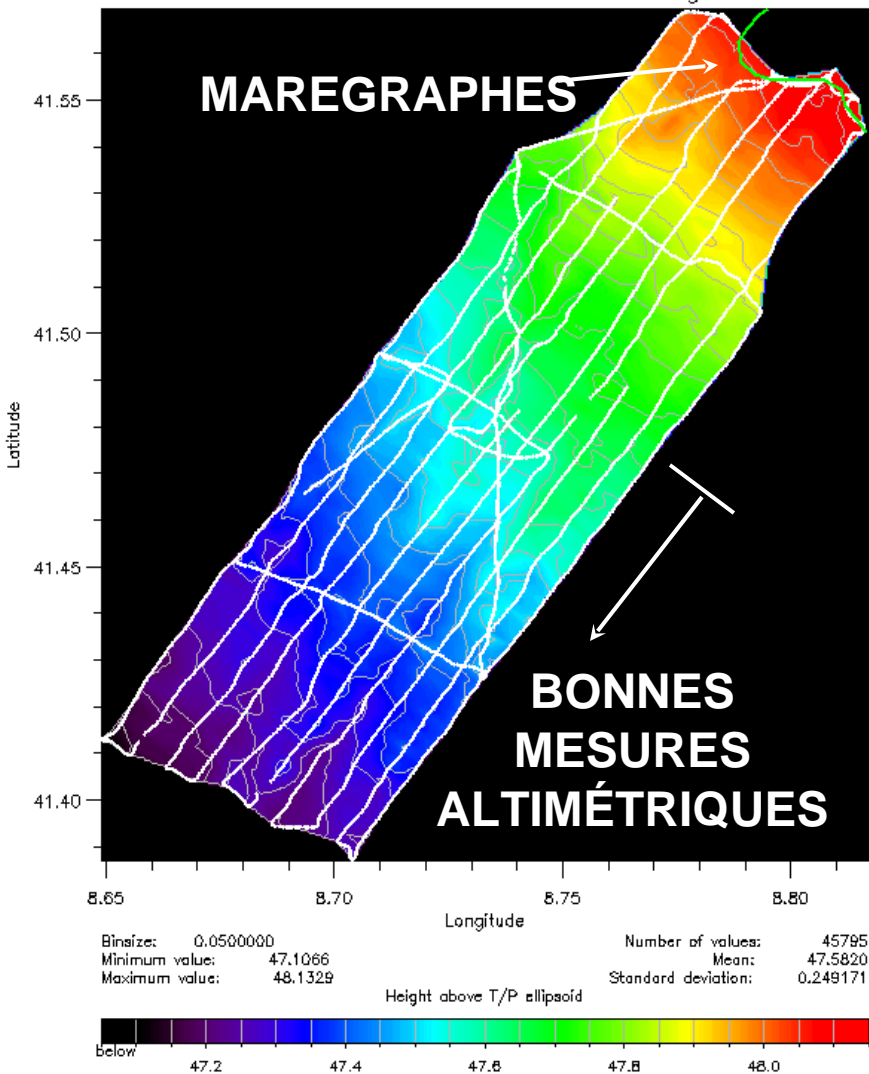
Methodology

JASON-1 POSEIDON-2 - Cycle : 4 - Pass : 85



Géoïde Local en Corse

Catamaran GPS Sea Surface Heights

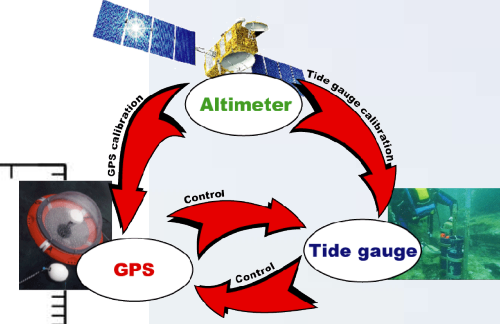
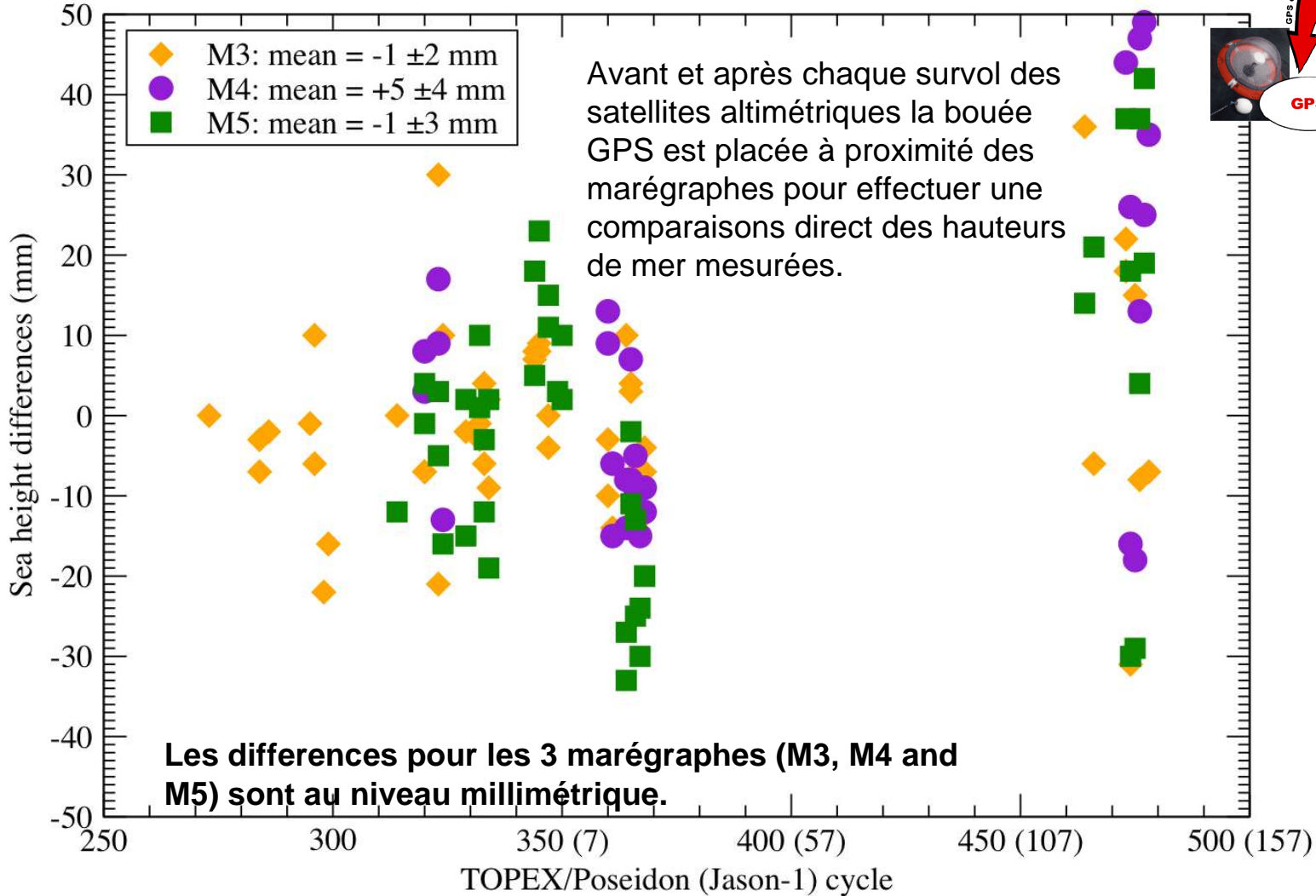


- Catamaran GPS tiré à vitesse constante (3–4 m/s) sur une surface de 20X7 km entourant la trace du satellite



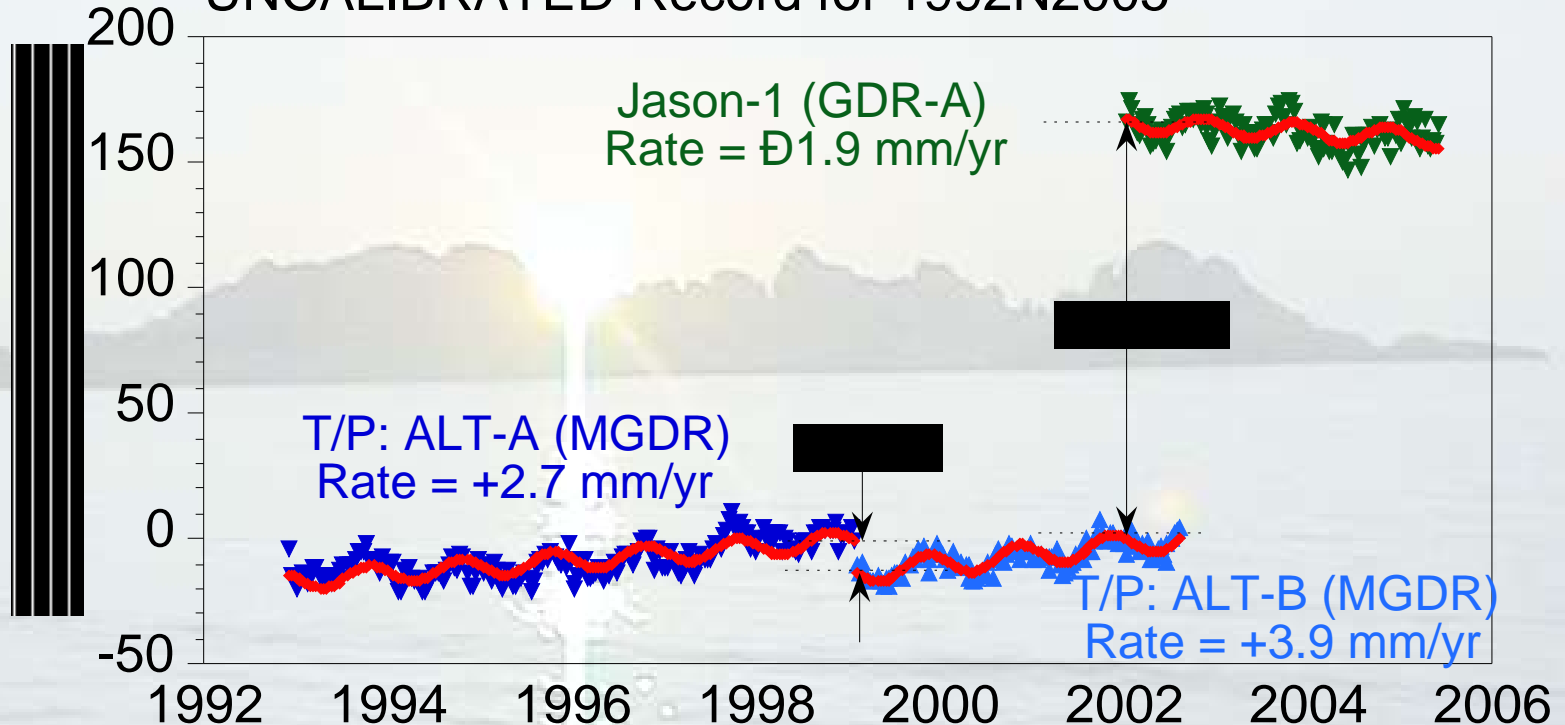
GPS buoy minus Tide Gauge

Site of Senetosa



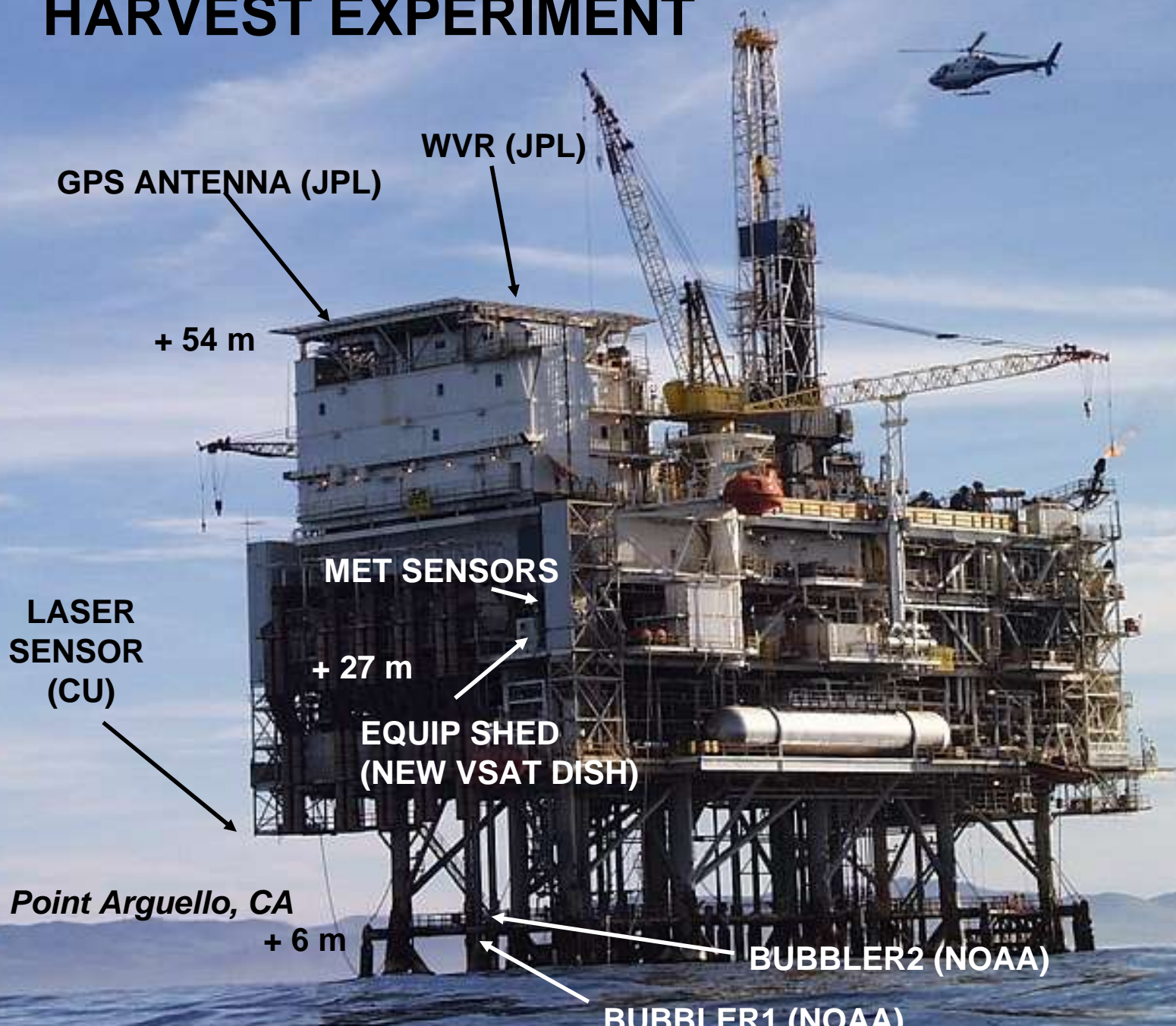
Motivation

Global Sea Level from T/P and Jason-1:
UNCALIBRATED Record for 1992–2005



- **How do we best calibrate sea-level record at the 1 mm/level?**
 - Geographically correlated errors in both the bias and rate
- **What are the sources of the errors?**

HARVEST EXPERIMENT



GPS ANTENNA (JPL)

+ 54 m

WVR (JPL)

MET SENSORS

+ 27 m

LASER
SENSOR
(CU)

EQUIP SHED
(NEW VSAT DISH)

Point Arguello, CA

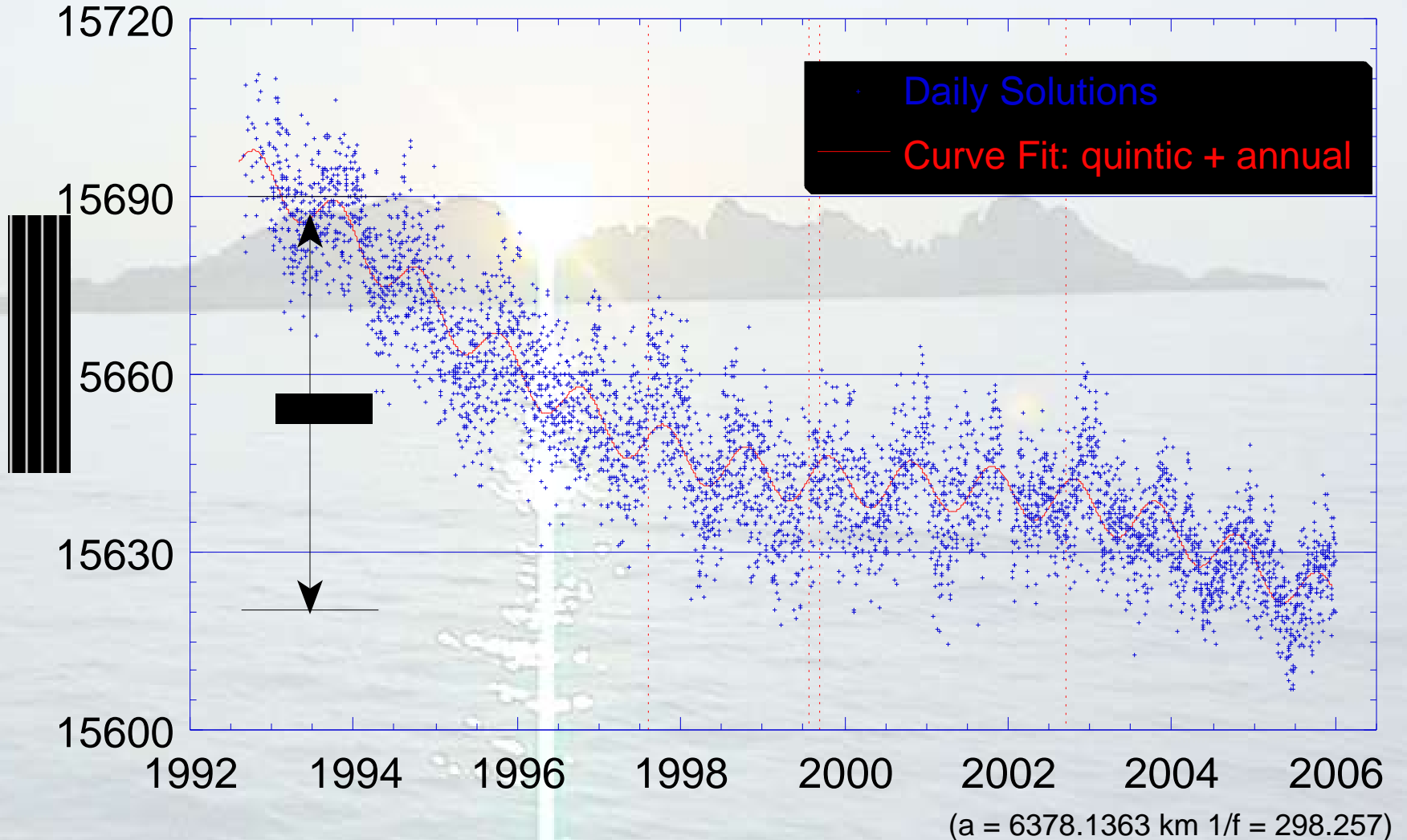
+ 6 m

BUBBLER2 (NOAA)

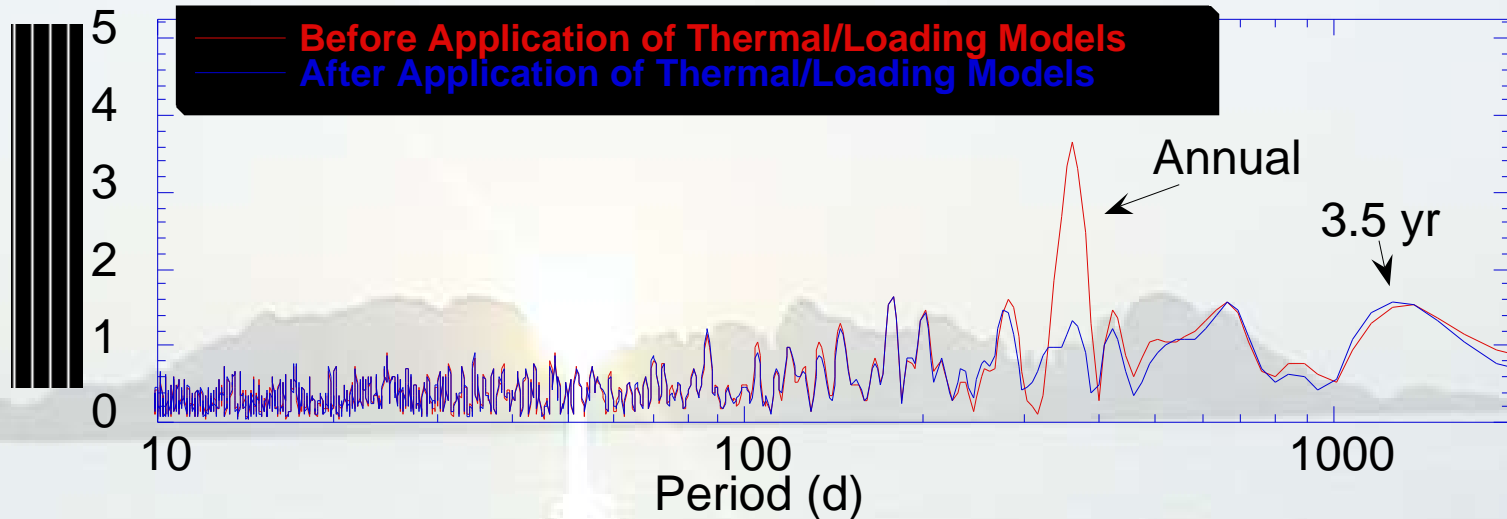
BUBBLER1 (NOAA)

13 Years of Continuous GPS Monitoring

Platform Harvest Geodetic Height (ITRF2000)



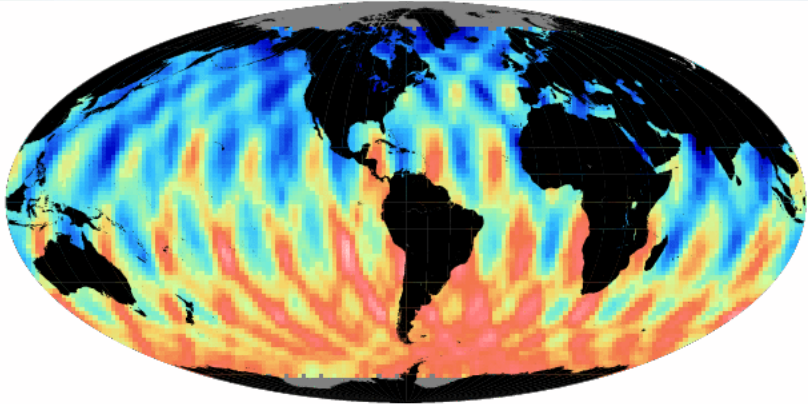
Periodicities in the Platform Height



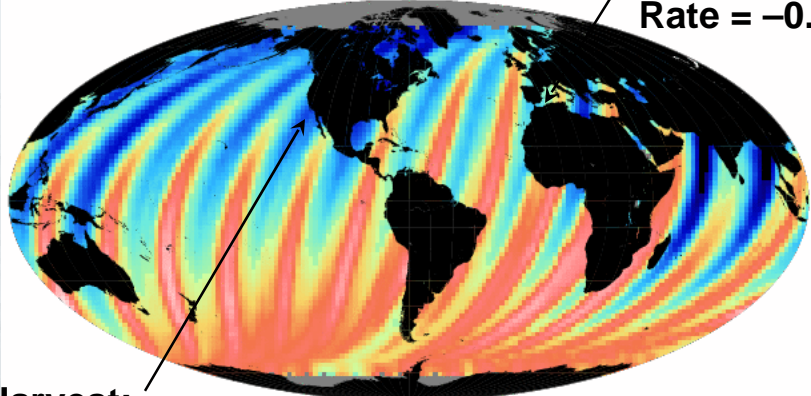
<i>Annual Signal</i>	<i>Amp. (mm)</i>	<i>Peak</i>	<i>Source</i>
Thermal (below water)	1.8	Nov.	200 m steel ($\lambda = 1.2 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$), Temperature climatology from hydrographic station 80.55 (http://www.calcofi.org)
Thermal (above water)	1.3	Sep.	52 m steel ($\lambda = 1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$) Temperature variations from platform thermometer.
Soil moisture load	1.2	Sep.	NCEP/DOE AMIP II reanalysis (Dong et al., 2002)
Non-tidal ocean load	0.8	Mar.	T/P altimeter – WOA-94 steric (Dong et al., 2002)
Snow/ice load	0.3	Apr.	NCEP/DOE AMIP II reanalysis (Dong et al., 2002)
Atmosphere load	0.2	Feb.	NCEP reanalysis (Dong et al., 2002)

GDR Orbit — JPL GPS: Radial Rate for Cycles 1–90

All Tracks



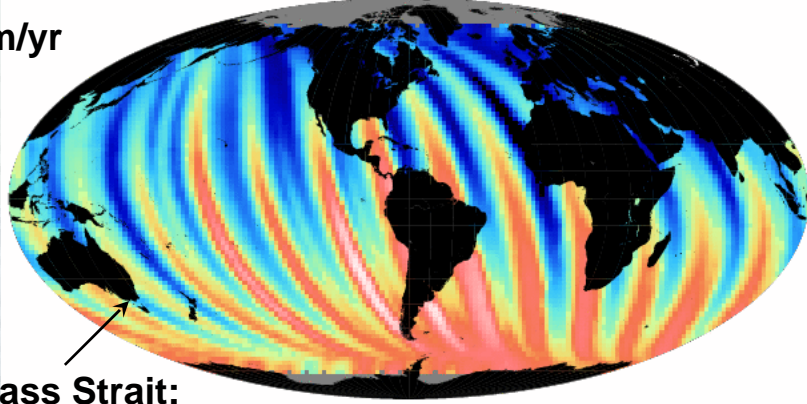
Ascending Tracks



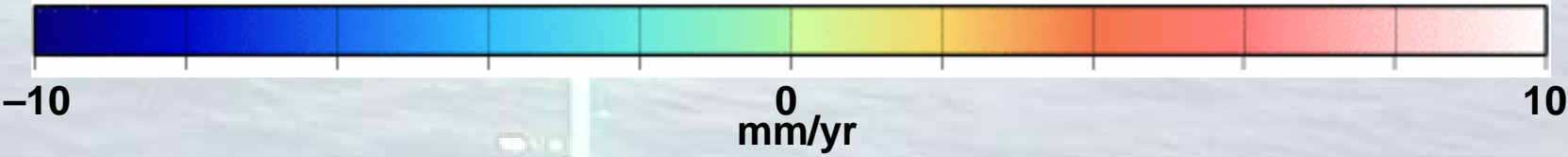
Harvest:
Rate = -6.6 mm/yr

Corsica:
Rate = -0.5 mm/yr

Descending Tracks

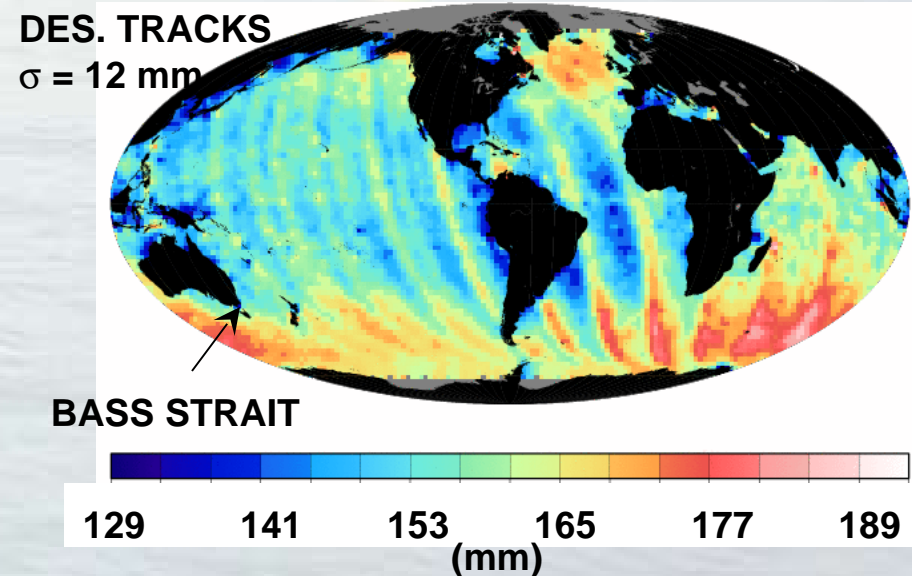
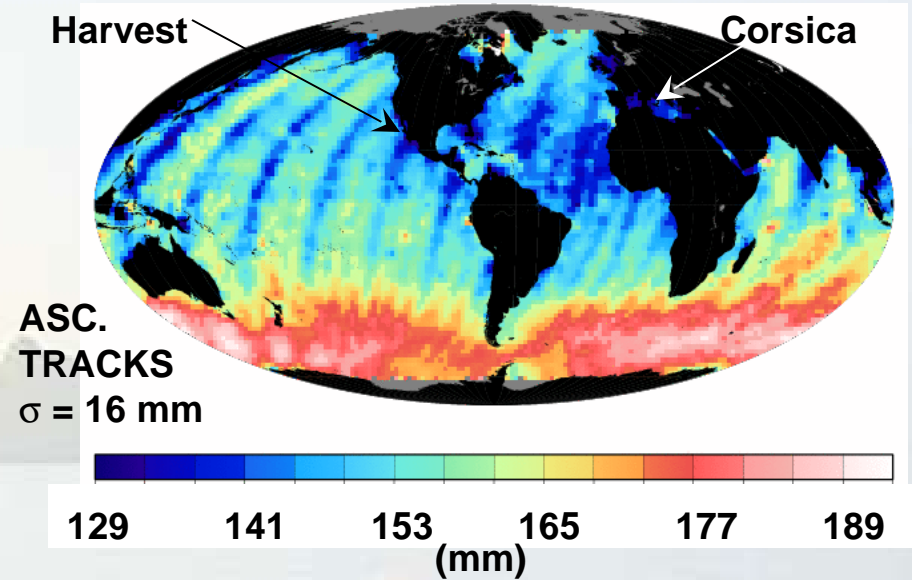
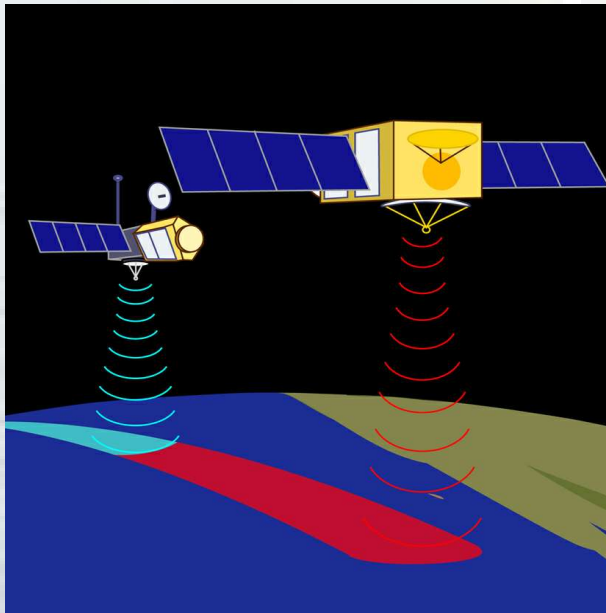


Bass Strait:
Rate = -4.9 mm/yr



Why Distributed Calibration Sites? *Geographically Correlated Errors*

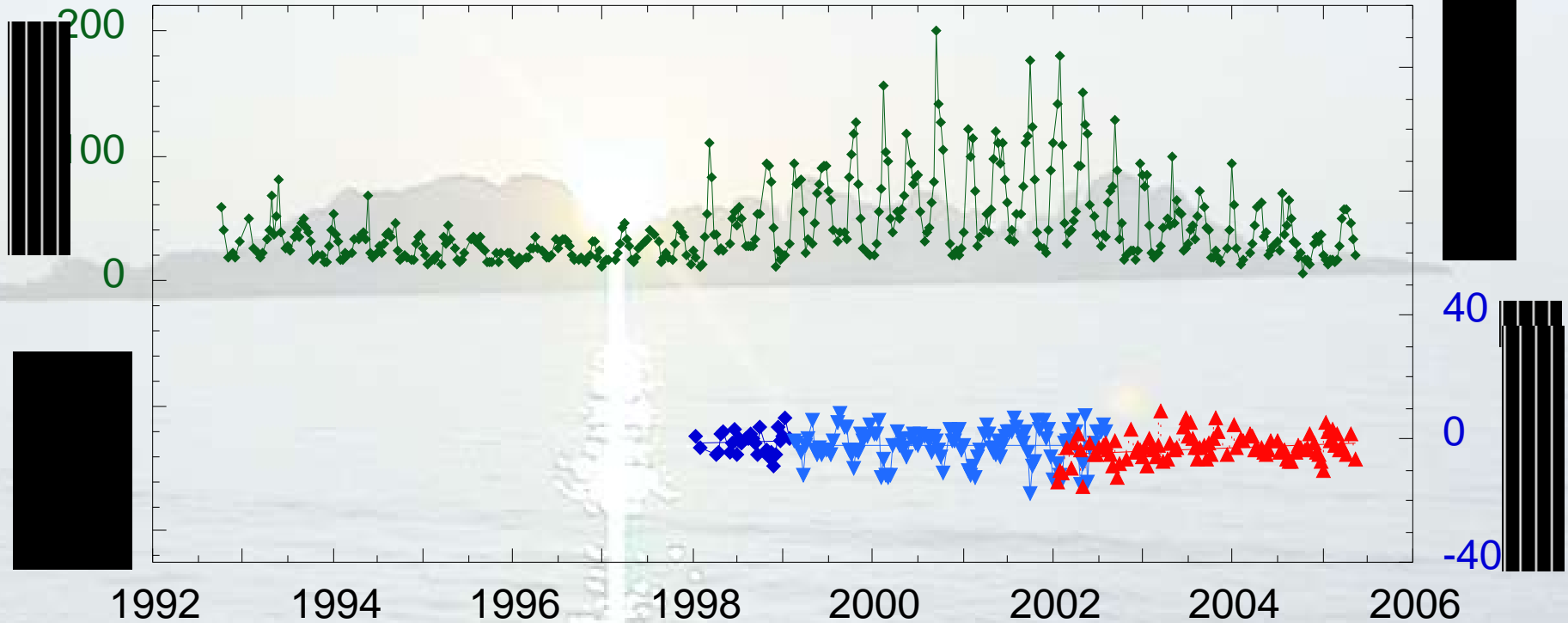
- Systematic sea-surface height errors revealed by flying Jason-1 in formation with TOPEX/POSEIDON (for ~200 d)



Calibration of Ionosphere Delay at Harvest

USING DATA FROM JPL GIM SOLUTION

—◆— Ku-Band Zenith Ionosphere Delay (mm)



- ◆— ALT-A Bias (2002.0) = $+1.7 \pm 7.9$ mm, Rate = $+0.9 \pm 2.3$ mm/yr
- ▼— ALT-B Bias (2002.0) = -2.2 ± 0.8 mm, Rate = 0.0 ± 0.5 mm/yr
- ▲— JAS-1 Bias (2002.0) = -4.9 ± 0.9 mm, Rate = $+1.1 \pm 0.4$ mm/yr