

Altimétrie spatiale

Le défi de l'altimétrie en zone côtière

Florence Birol & Rosemary Morrow

Océanographes, LEGOS, Toulouse

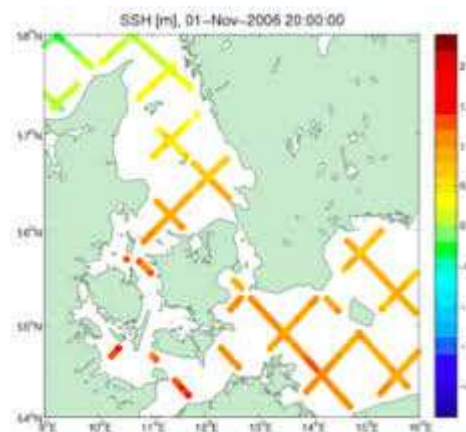
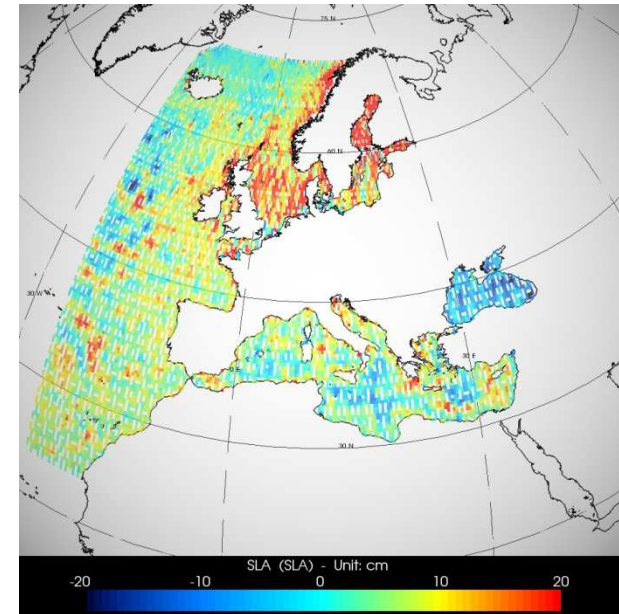
Observations en zone côtière

Une bonne connaissance de la circulation côtière est très important :

- 90% de la population globale vit à < 100 km de la côte
- C'est une zone économique importante (pêche, voies maritimes, industrie pétrolière, ...)

Mais difficile d'observer car la dynamique océanique est plus rapide, et à plus petite échelle.

Amplitude augmente à la côte dans l'eau moins profonde – marées, ras de marée, ondes côtières, ...



Le défi de l'altimétrie en zone côtière

Les problèmes (techniques et scientifiques)

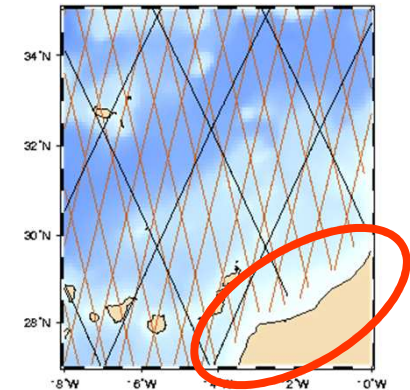
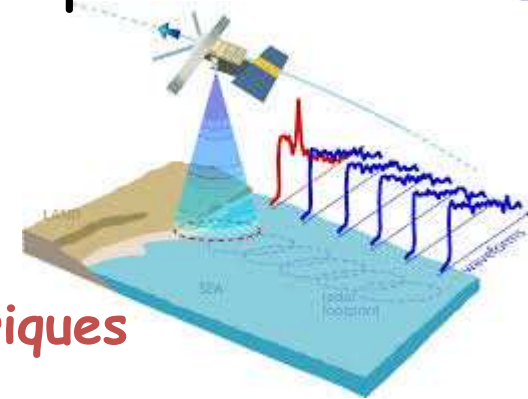
L'altimétrie spatiale actuelle: des missions conçues pour l'observation de l'océan du large...

- Budget d'erreur fortement accrue à la côte
 - altimètres radars actuels inadaptés
 - perte de précisions des corrections altimétriques
- Traitements classiques inadaptés
- Résolution spatio-temporelle insuffisante
 - échelles horizontales plus fines
 - importance des htes fréquences temporelles

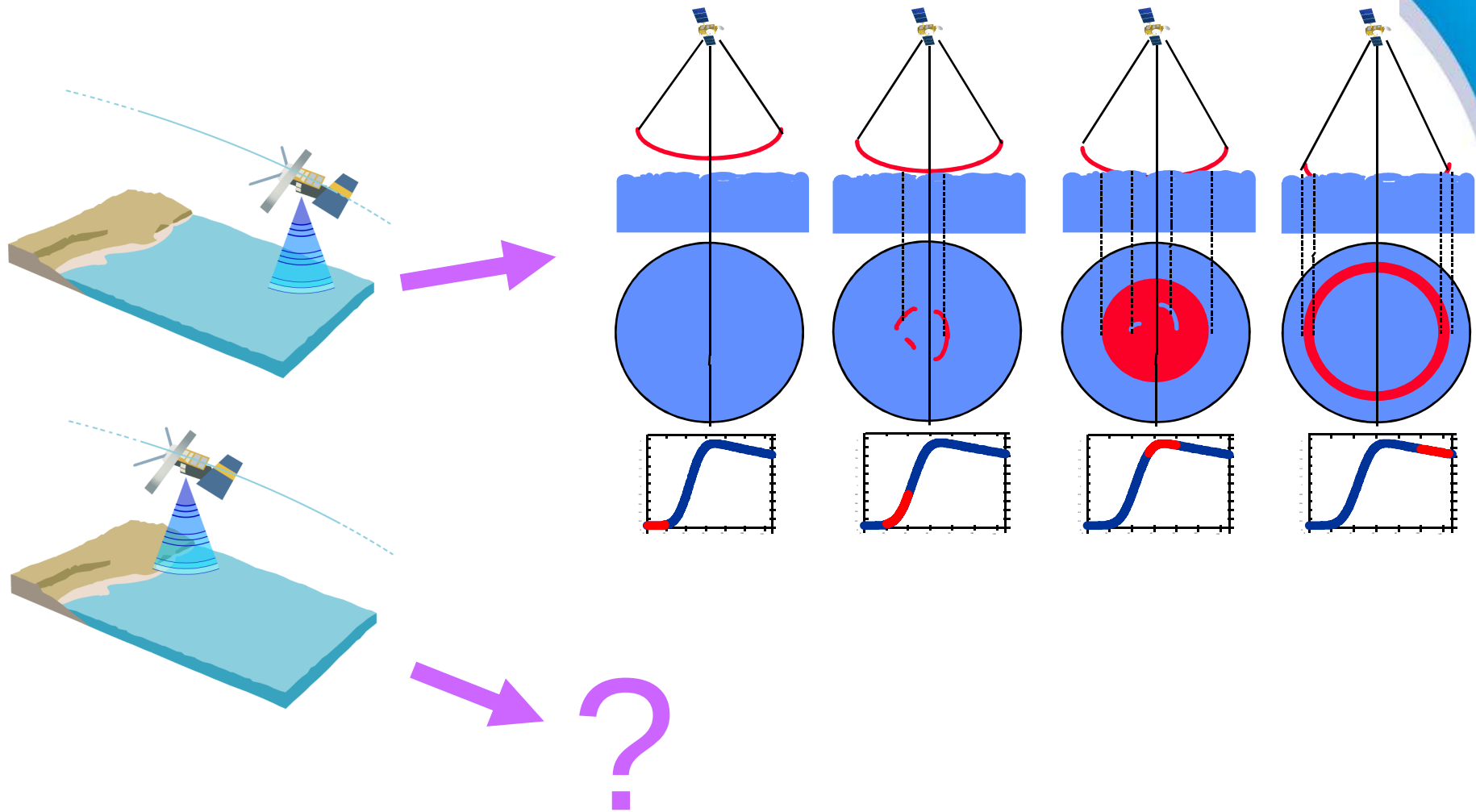
→ Forte perte de données dans les 50 premiers km à la côte dans les produits classiques!!

L'altimétrie côtière est un défi !

→ De nombreuses études en cours sur cette problématique.



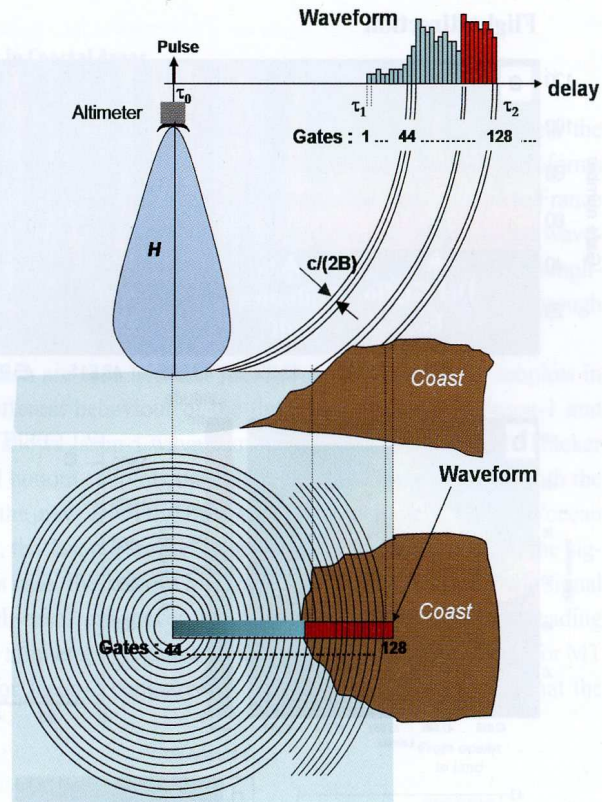
Problème : contamination des formes d'onde



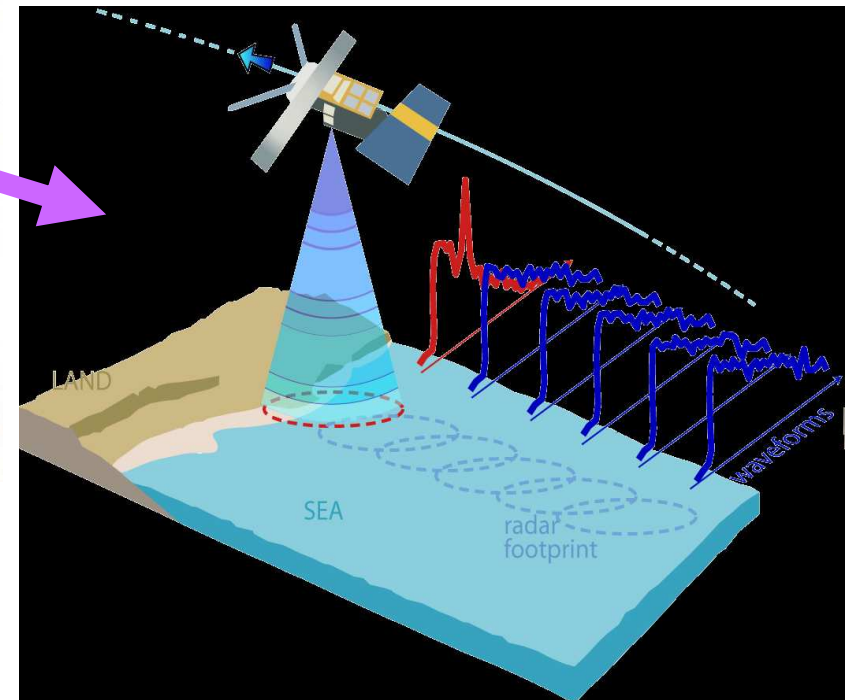
Problèmes: contamination des formes d'onde

Fig. 4.1 (Top panel)

Schematic representation of a pulse-limited altimeter short pulse propagating from the altimeter to the sea surface in the case of an ocean to land transition. (Lower panel) Top-down view of the pulse-limited footprint corresponding to each waveform gate. B is the bandwidth of the altimeter, c is the speed of light



Où et comment la forme d'onde est affectée dépend de la topographie de la terre et la distance au point d'observation nadir



D'après Gommenginger et al., 2011

Les problèmes: contamination des formes d'onde

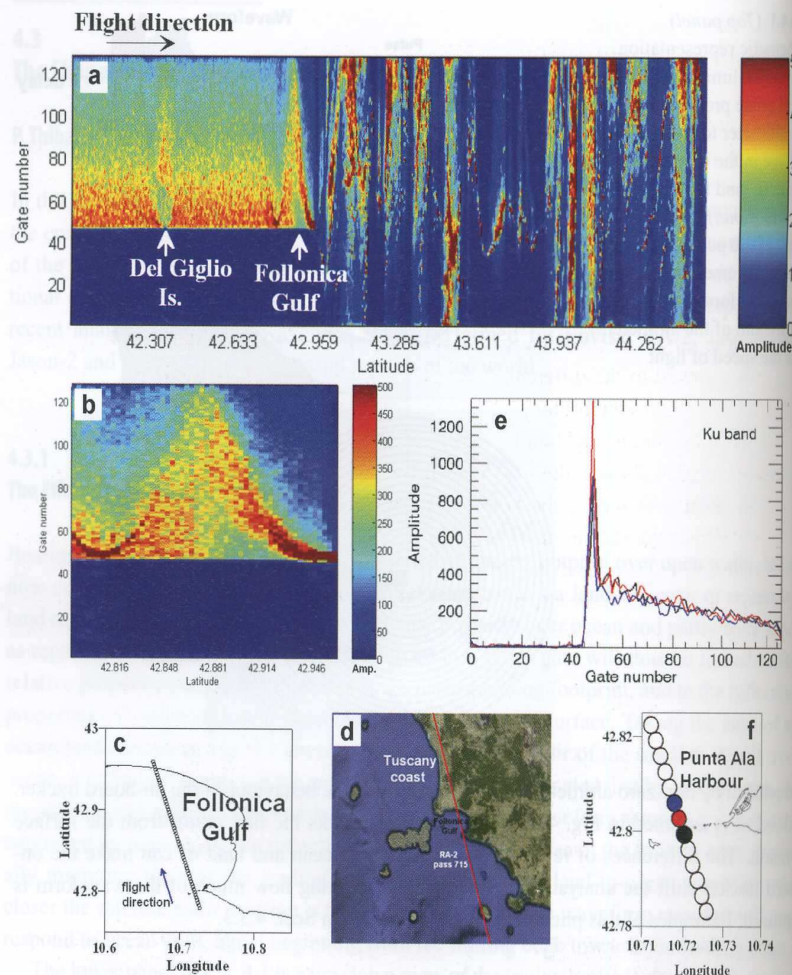
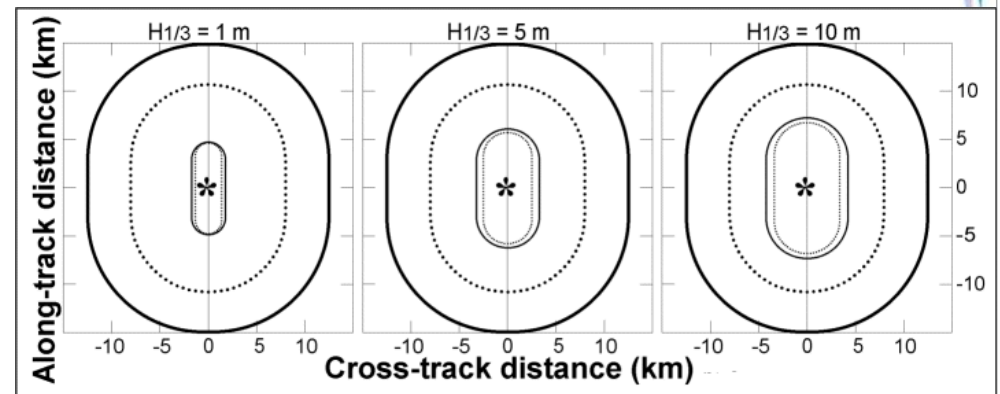


Fig.4.2 (a) Envisat RA-2 Ku-band waveforms along ascending pass 715 over the coast of Tuscany (Italy) in the North-West Mediterranean Sea. (b) Zoom view of the waveforms in the vicinity of Follonica Gulf with (c) location map. (d) Location map of RA-2 pass 715 along the coast of Tuscany. (e) Waveform shapes in black, red and blue for 18 Hz locations shown in (f) around Punta Ala Harbour, in Follonica Gulf



Tache au sol de l'altimètre dépend sur

- la fréquence,
- l'état de la mer (plus petit avec SWH de 1m, plus large avec SWH de 5 m),
- l'altitude

6,1 km (Ka band- SARAL) à 790 km altitude
 7,5 km (Ku band - Envisat) à 790 km altitude
 9,5 km (Ku band - Jason) à 1336 km.

D'après Gommenginger et al., 2011

Problèmes: contamination des formes d'onde

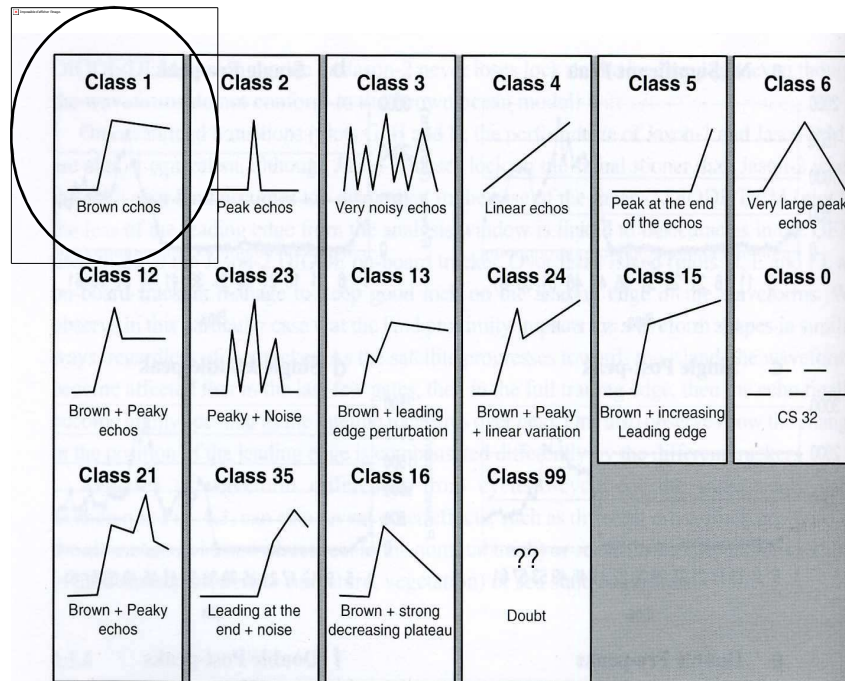


Fig. 4.5 Waveform shape classes obtained for Jason 2 using Neural Networks

Solutions: classification des formes d'onde, développement de modèles plus adaptés que celui de Brown, décontamination des formes d'onde,

...

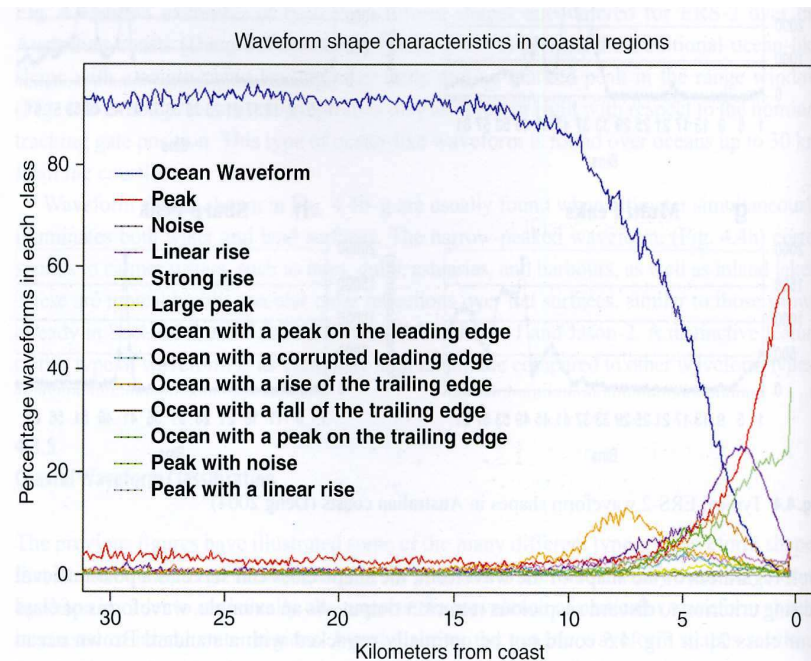


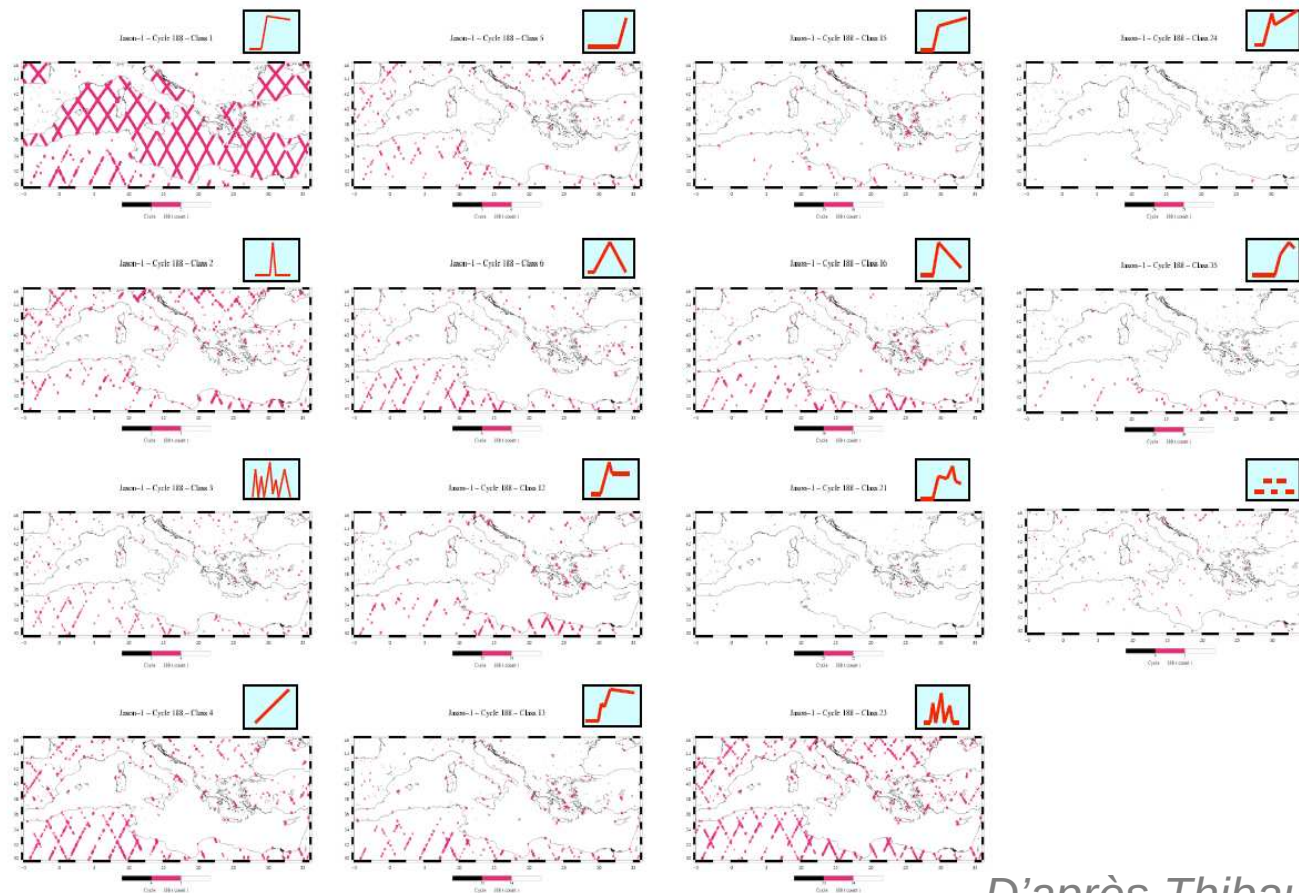
Fig. 4.6 Prevalence of various waveform shapes for Jason-2 over one full cycle as a function of distance to the nearest coastline

D'après Gommenginger et al., 2011

Problèmes: contamination des formes d'onde

Exemple en Méditerranée: grande diversité des formes d'onde côtières

Ku-band WFs class. on Mediterranean Sea (J1, Cycle 188)



D'après Thibaut et al., 2008

Problèmes: corrections inadaptées

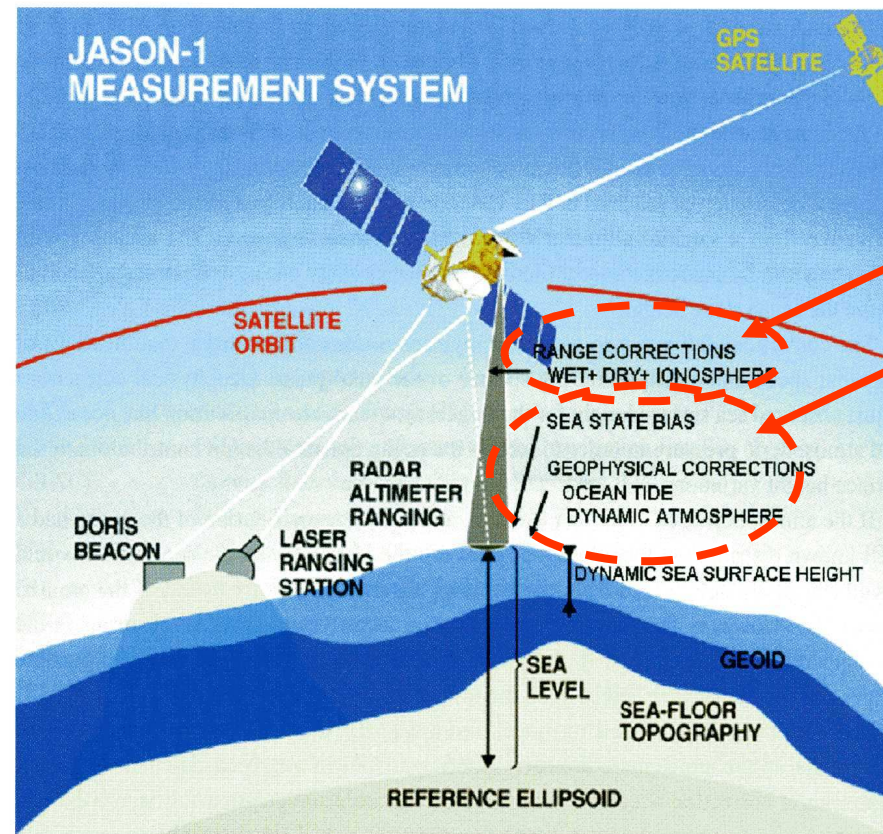
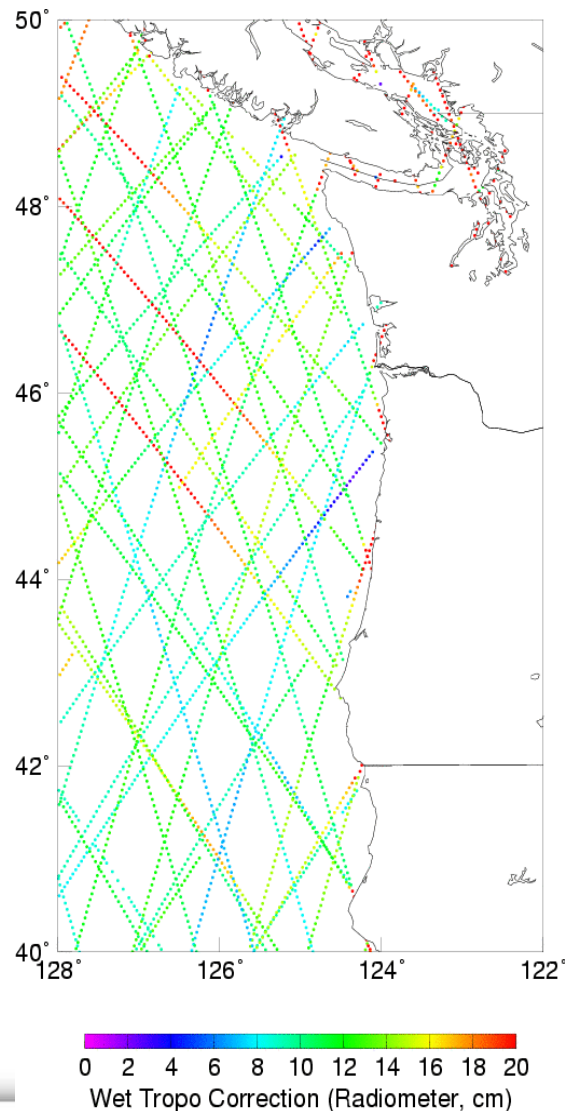


Fig.5.1 A schematic illustration of the principle of satellite altimetry and the corrections applied to the altimeter observations of sea surface height. The range corrections affect the range through the speed of the radar pulse and sea-state bias. The geophysical corrections removed the largest known contributor to sea level in order to enhance the oceanographic contributor. (Figure modified from AVISO)

D'après Andersen et Scharroo, 2011

Problèmes: corrections inadaptées

Cas de la correction de troposphère humide



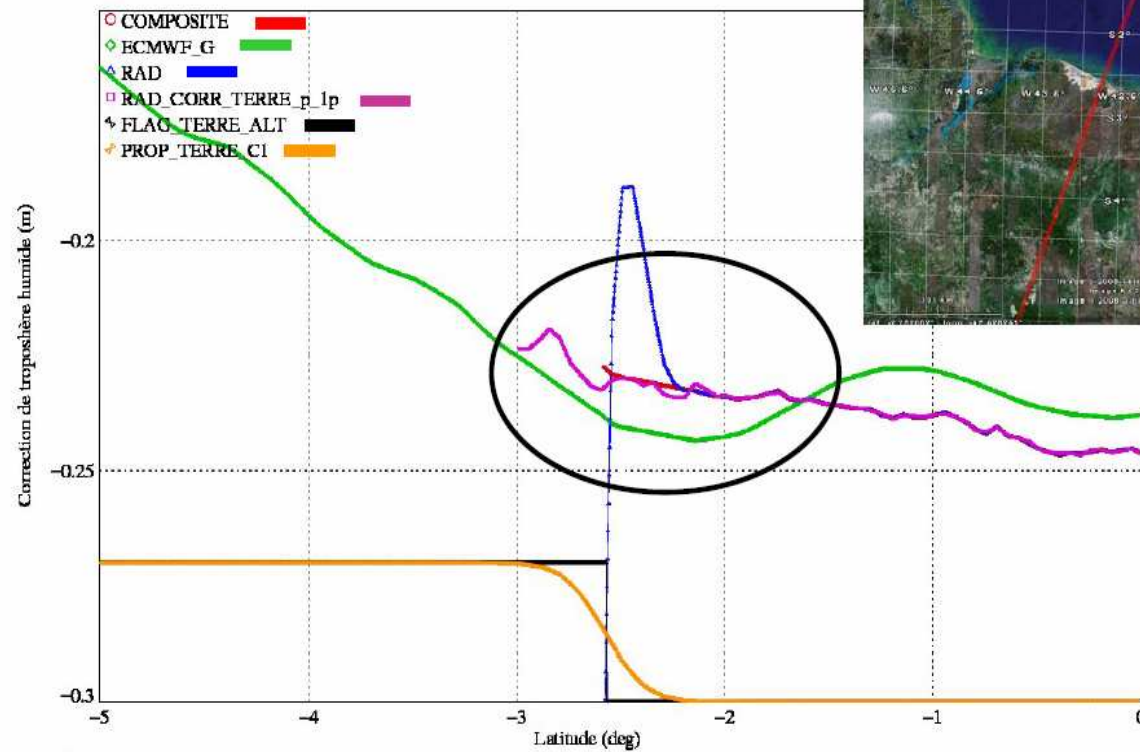
- Le radiomètre a une tâche au sol de ~50 km... supérieure à celle du radar!
- La Terre a une émissivité et une Température de brillance (T_b) très différente de la mer (et beaucoup plus variable!)
- La contamination par la terre augmente la correction calculée à partir du radiomètre par les algorithmes classiques (10% de terre = plusieurs cm d'erreur)

D'après Lillibridge, 2005

Problèmes: corrections inadaptées

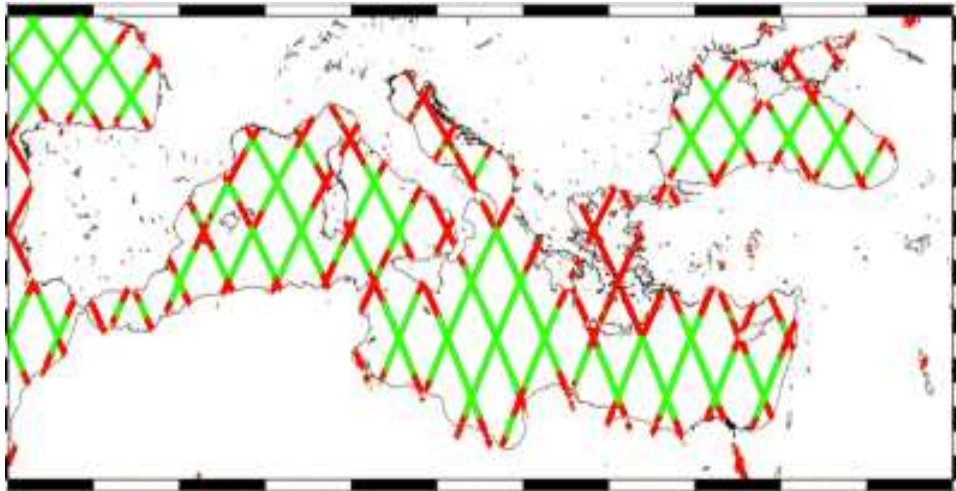
Cas de la correction de troposphère humide

Validation over Jason 2 – Cycle 4 – pass 11

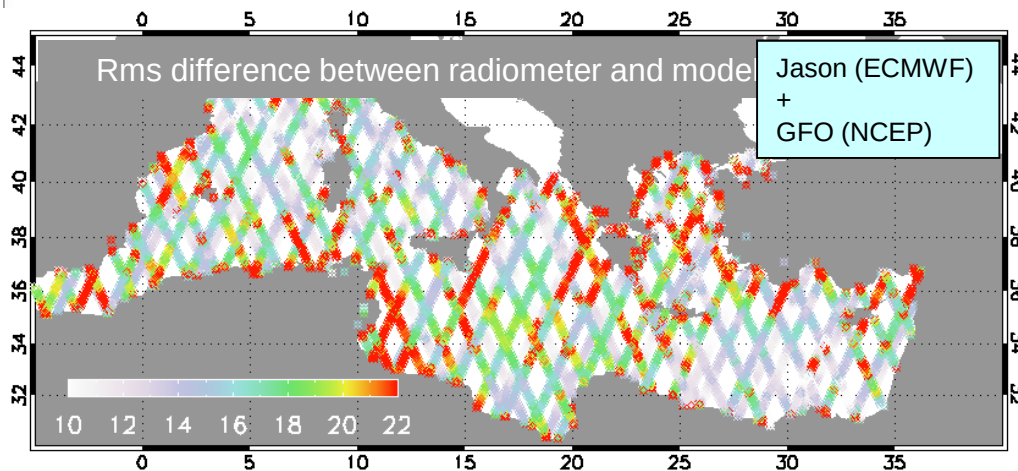


Problèmes: corrections inadaptées

Cas de la correction de troposphère humide



For *Jason-1* & *Topex/Poseidon*, areas where radiometer measurements are **edited out by standard processing (in red)** and ones where they are **retained (in green)**. The Aegean Sea, in particular, is completely edited out!



Courtesy R. Dussurget

Solutions: utiliser les modèles météo, extrapoler la dernière correction valide; décontaminer la correction du radiomètre,

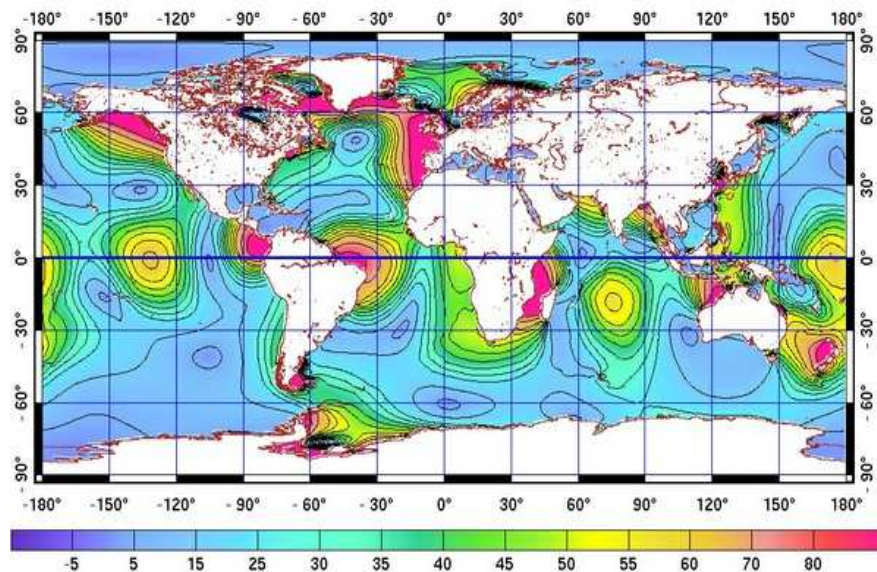
...

Problèmes: corrections inadaptées

Cas de la correction de marée

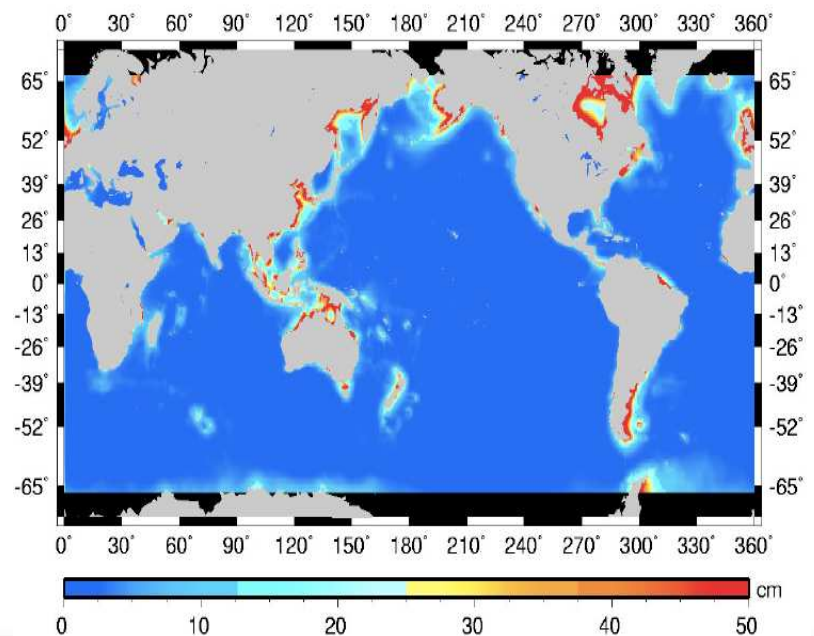
- Marées plus forte, avec des échelles de variabilité plus petites
- Marée fortement non linéaire (M4, ...)
- Erreurs plus grandes des modèles de marée globaux (forte sensibilité aux erreurs de bathymétrie, à la résolution, etc...)
- Besoin de très bonne résolution spatiale, de modèles régionaux

FES2012 M2 hydrodynamic solution



courtesy F. Lyard

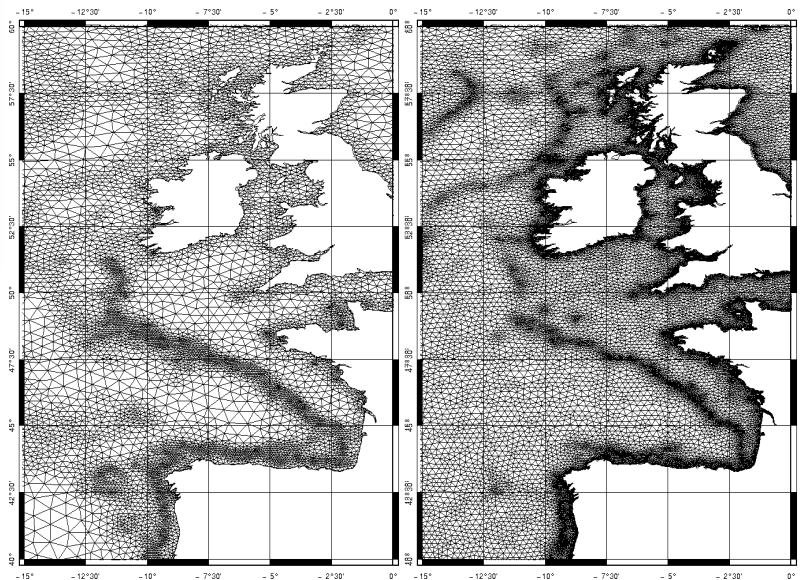
8 Constituents Standard Deviation of 6 Tide Models



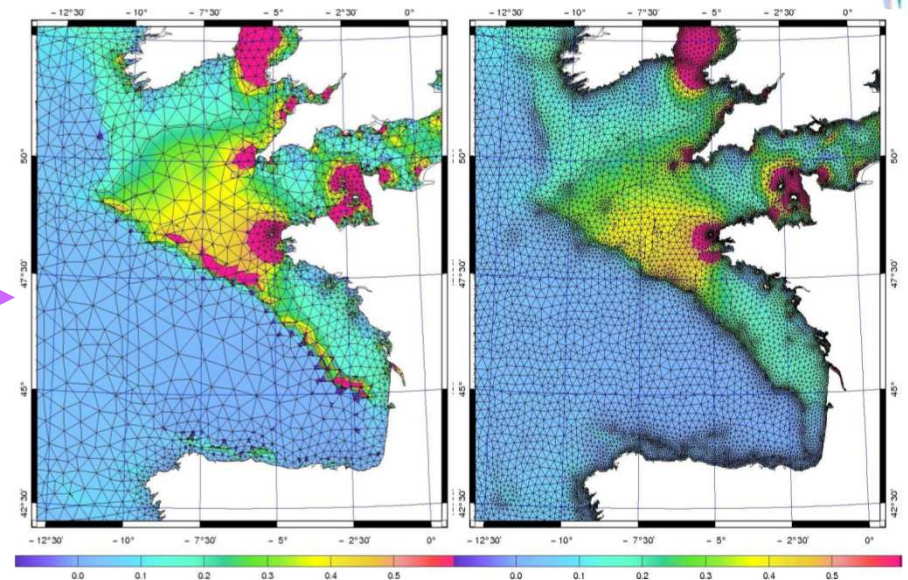
courtesy C. K. Shum

Les problèmes: corrections inadaptées

Solution : modèle de marée régional



Extract of the FES2012 model mesh (left) and regional tidal model mesh (right) in the NEA region



M2 meridian velocity in the NEA region, from the FES2004 model (left) and a regional tidal model (right). Each model mesh is superimposed.

D'après Cancet et al., 2012

Le déficit de l'altimétrie en zone côtière

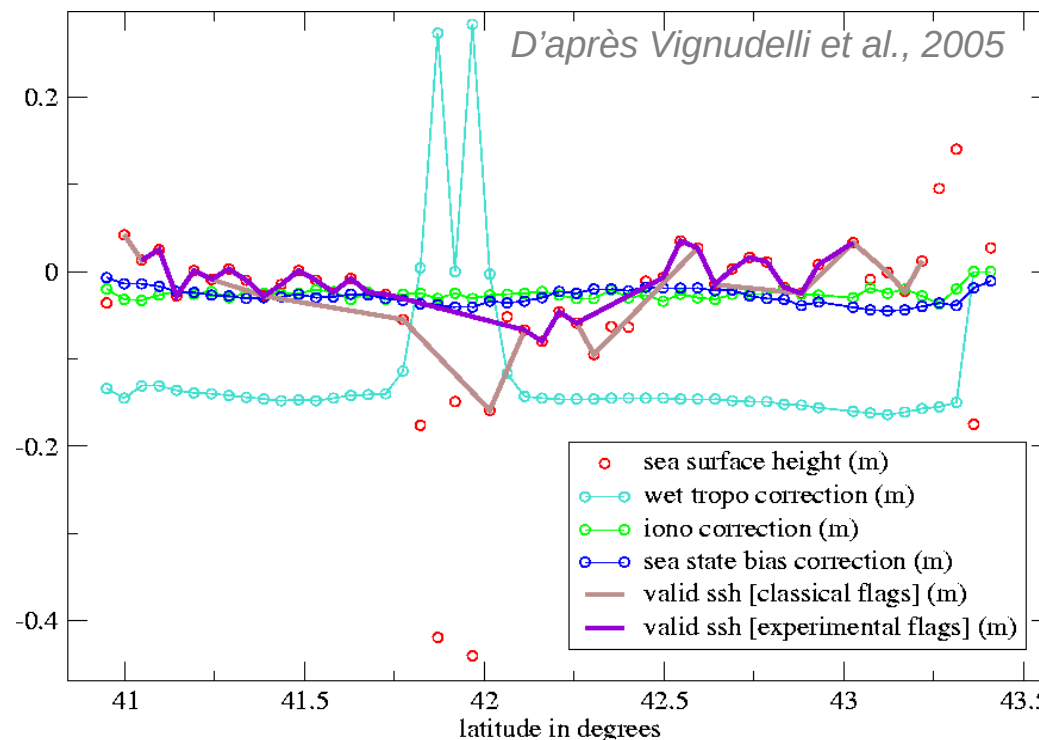
L'altimétrie spatiale actuelle: des missions conçues pour l'observation de l'océan du large...

- Budget d'erreur fortement accrue à la côte
 - altimètres radars actuels inadaptés
 - perte de précision des corrections altimétriques
- **Traitements classiques inadaptés**
- Résolution spatio-temporelle insuffisante
 - échelles horizontales plus fines
 - importance des htes fréquences temporelles

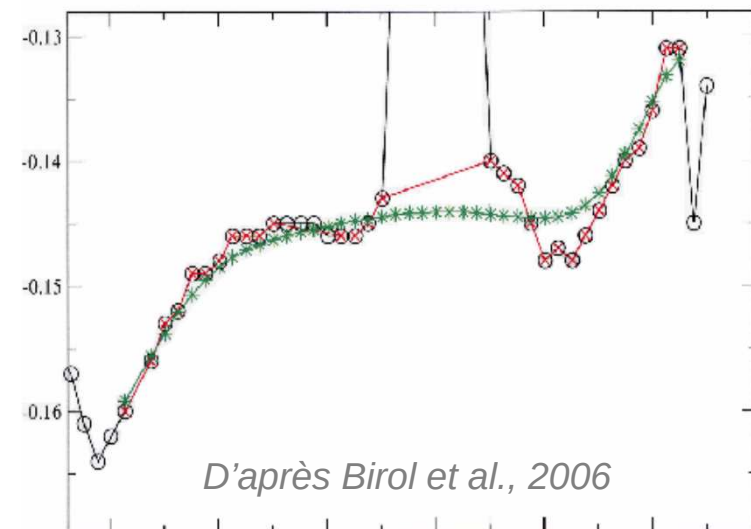
Les problèmes: traitements inadaptés

Exemple de la chaine de post-traitement expérimentale du CTOH/LEGOS

→ Revisite de la stratégie d'édition des données

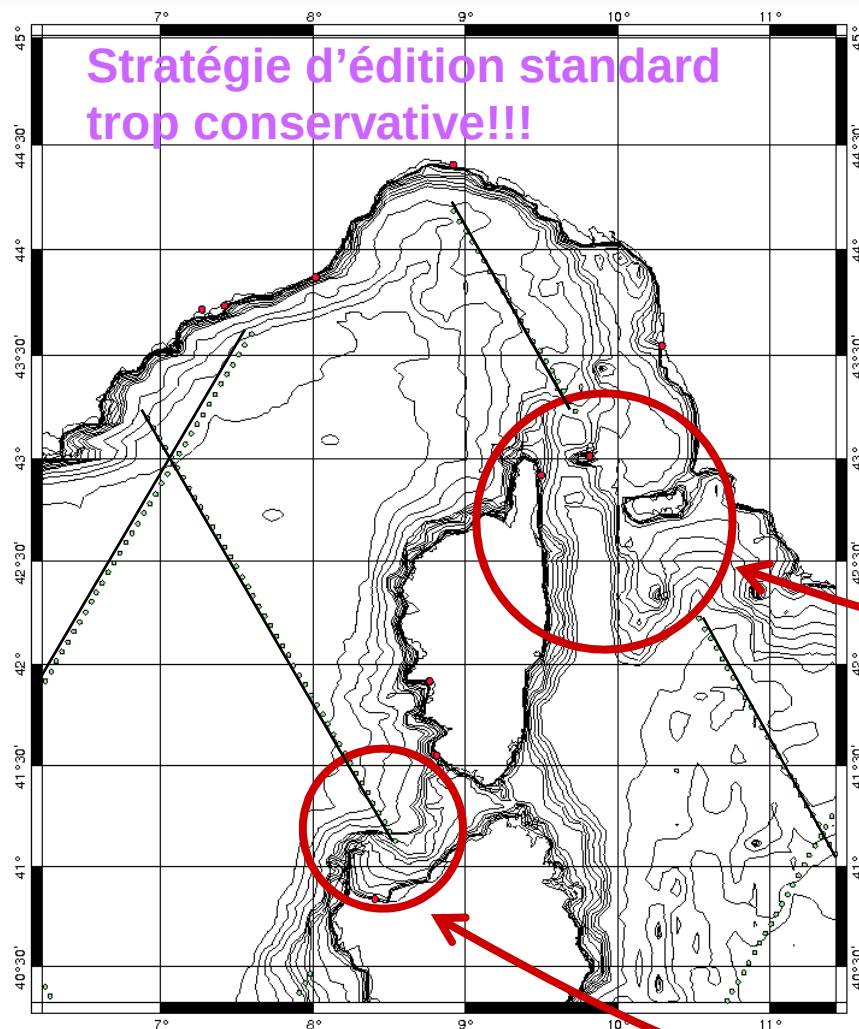


Data re-editing differences as observed on SLA along track for a given cycle

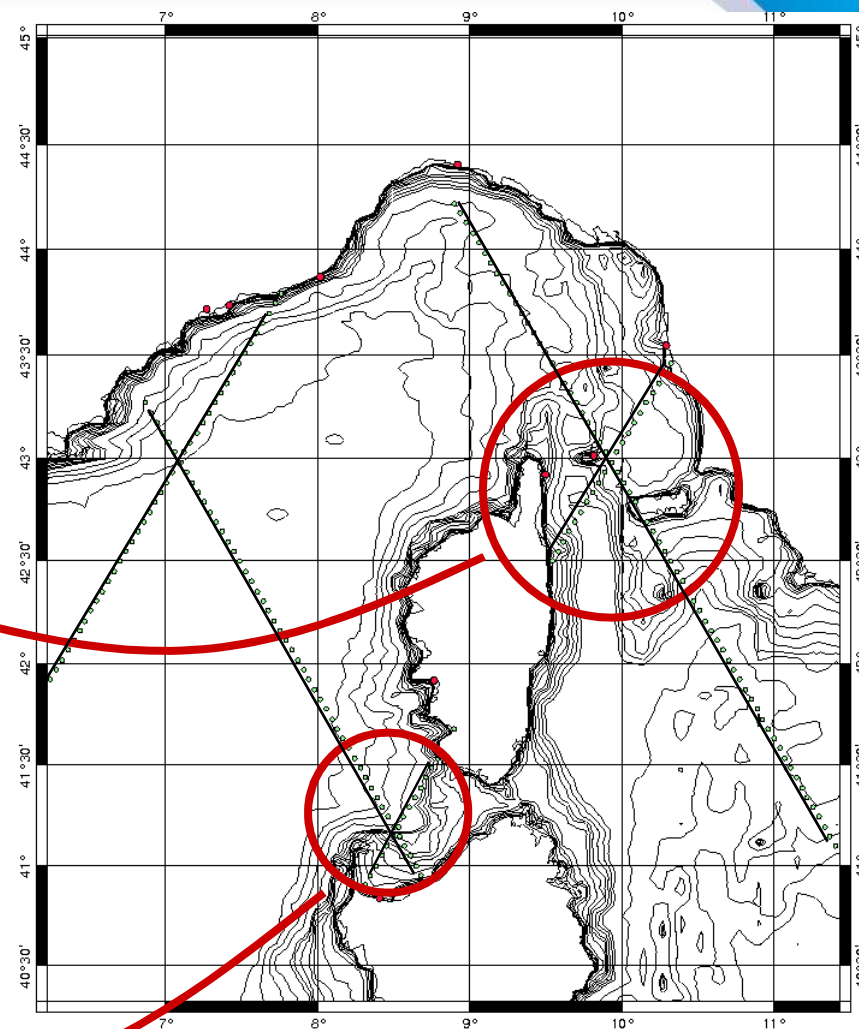


T/P wet tropospheric corrections (Track 22, Cycle 95). Black: rough corrections. Red: valid corrections. Green: corrections reconstructed using a Bezier polynomial technique.

Les problèmes: traitements inadaptés



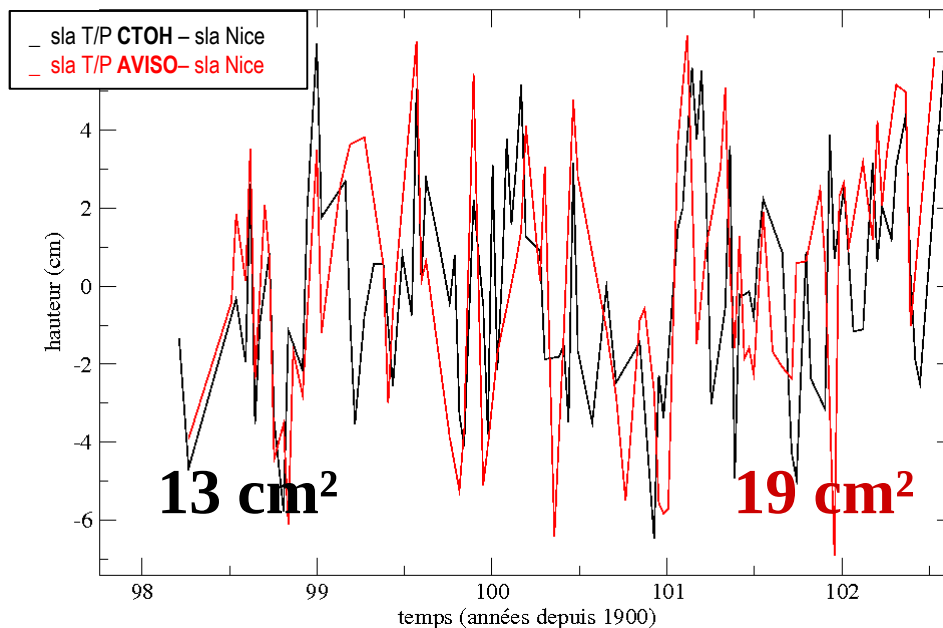
Standard Aviso (2012)



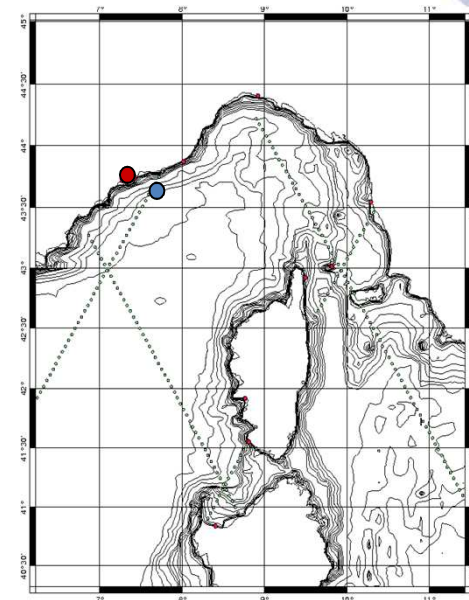
Traitement CTOH

Les problèmes: traitements inadaptés

Comparaison altimètre marégraphe
série altimétrique cotière



Amélioration substantielle de la
précision de la mesure

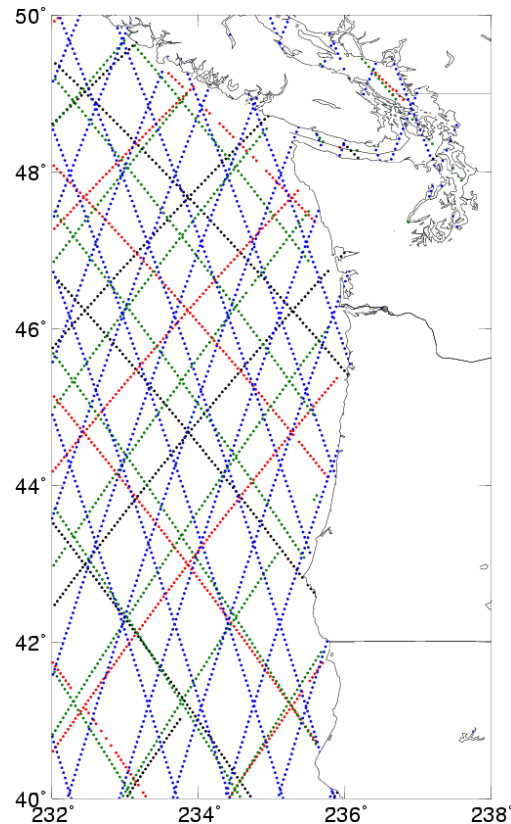


Déviatiun standard de la hauteur de mer
résiduelle: SLA T/P – SLV Nice

AVISO	Chaîne CTOH
19 cm ²	13 cm ²

Les problèmes: résolution spatio-temporelle inadaptée

Approche multi-mission



- Topex : 10 day repeat
- Jason-1 : 10 day repeat
- GFO : 17 day repeat
- Envisat : 35 day repeat

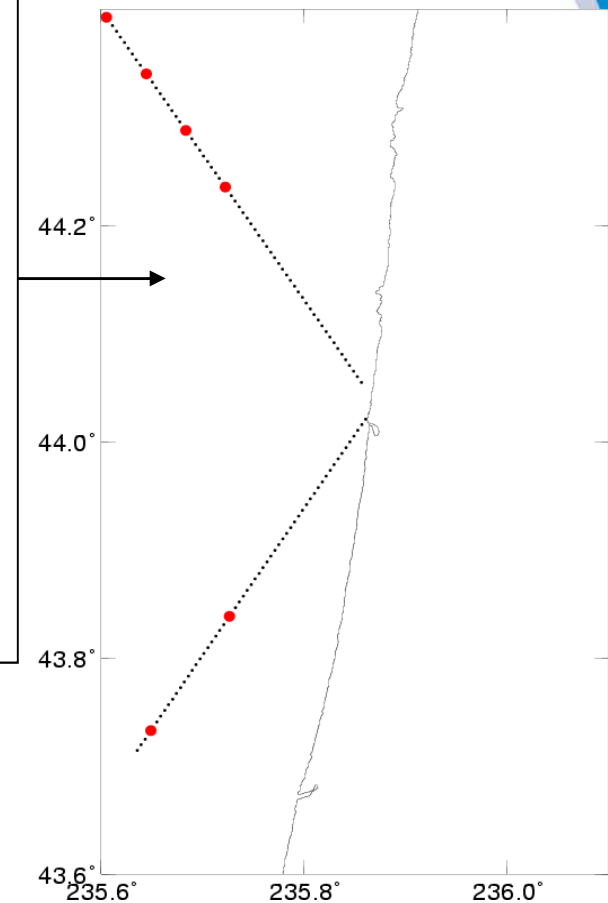
Mesures 1 Hz moyennes classiques

- 7 km le long de la trace
- Trous du à un éditing inadapté ou de mauvaises corrections

Mesures haute résolution (10/20 Hz)

- 350/700 m de résolution
- Editing côtier
- Traitement adapté
- Capacité de l'altimètre à acquérir des mesures de hauteur de la mer près de la côte
- Retracking des formes d'onde

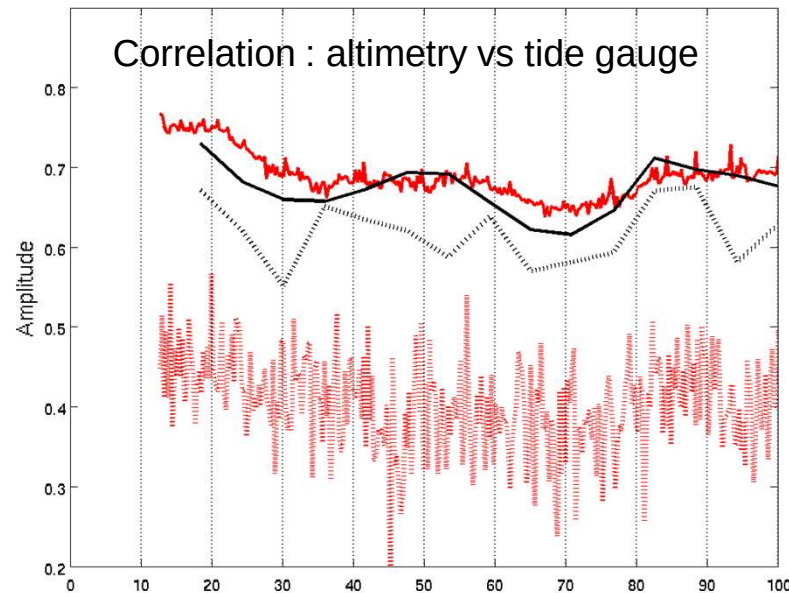
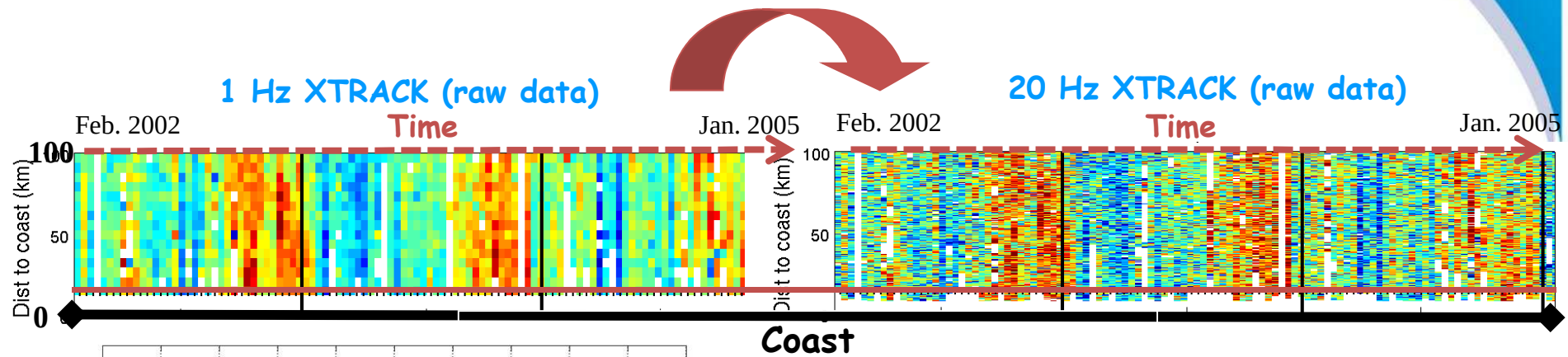
Augmentation de la résolution



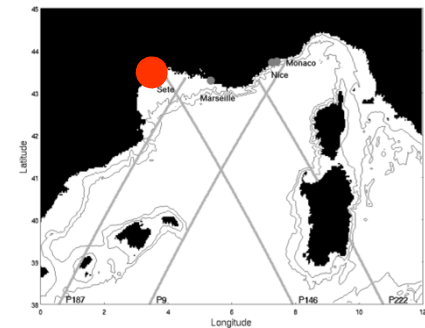
D'après Lillibridge et al., 2005

Evaluation of high sampling rate (10/20Hz) altimeter data

SLA vs distance from coast – Jason1 - track 146



➤ **20Hz/10 Hz SLA**
vs. 1 Hz SLA

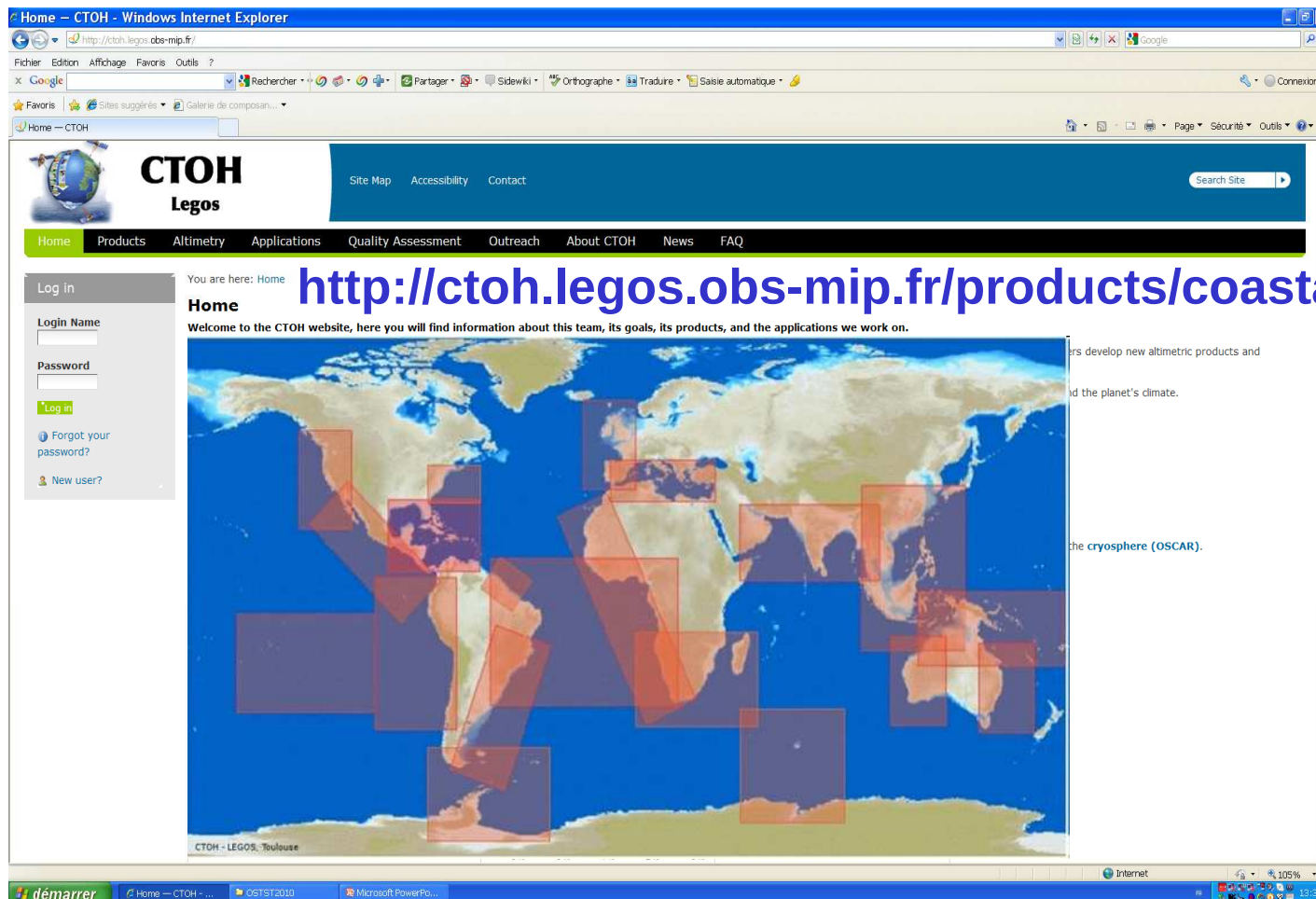


➤ **Altimeter vs tide gauge SLA (example of Jason-1, track 146 – Sète TG)**

Les solutions (techniques et scientifiques)

- Développer des chaînes de traitement adaptées:
 - Corrections environnementales améliorées (marée, réponse au forçage atmosphérique)
 - Critères d'édition adaptés
 - Surface moyenne plus précise
 - Corrections atmosphériques améliorées
 - Retracking des formes d'onde
- Améliorer l'échantillonnage spatio-temporel:
 - Multi-satellites et multi-capteurs
 - Nouvelles missions avec une technologie plus adaptée

Les solutions (techniques et scientifiques)

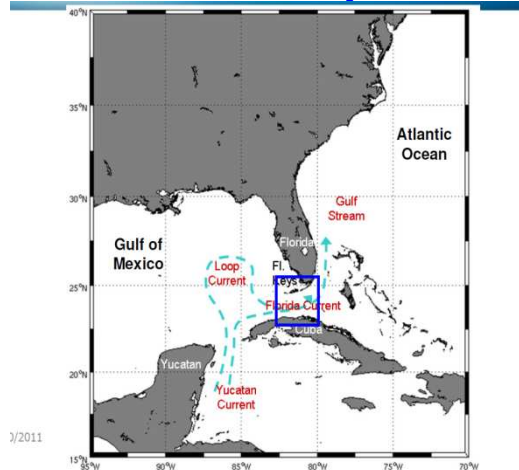


<http://ctoh.legos.obs-mip.fr/products/coastal-products>

Mais aussi les projets/produits PISTACH (CNES), Coastalt (ESA) et plusieurs autres initiatives de recherche!!

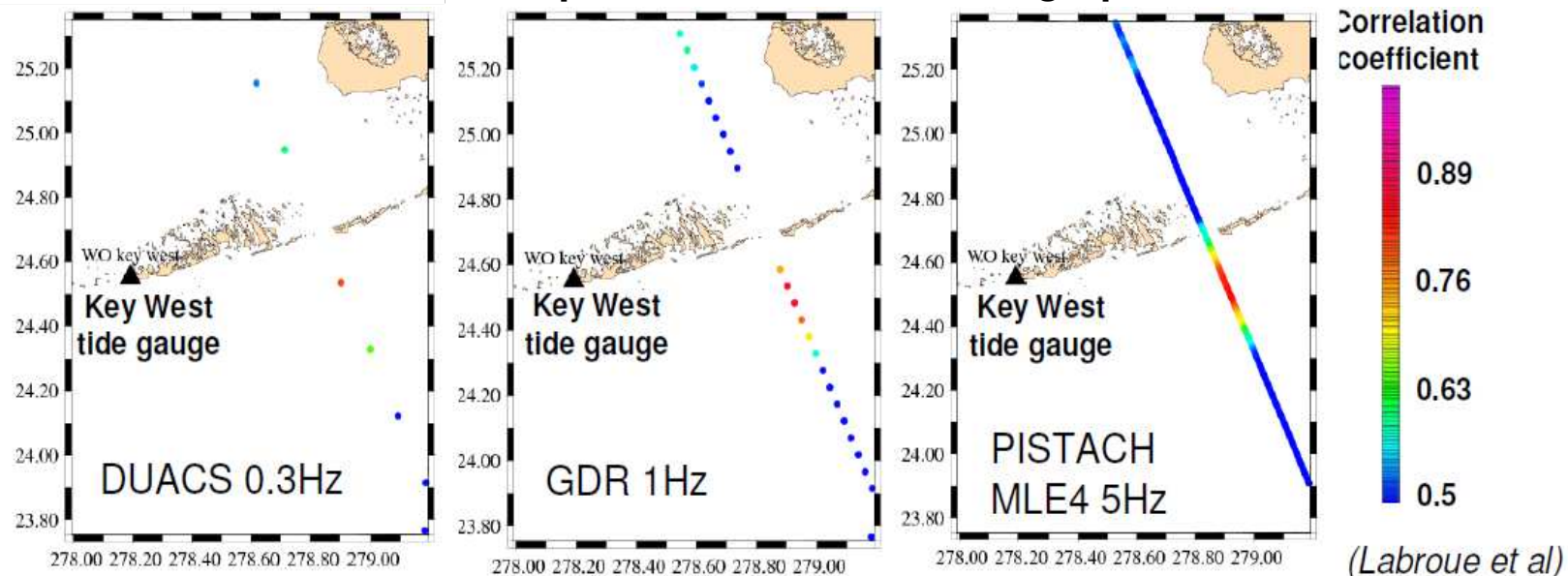
Les solutions (techniques et scientifiques)

Evolution des produits altimétriques standards - Projet PISTACH (CNES)



D'après Cancet et al., 2011

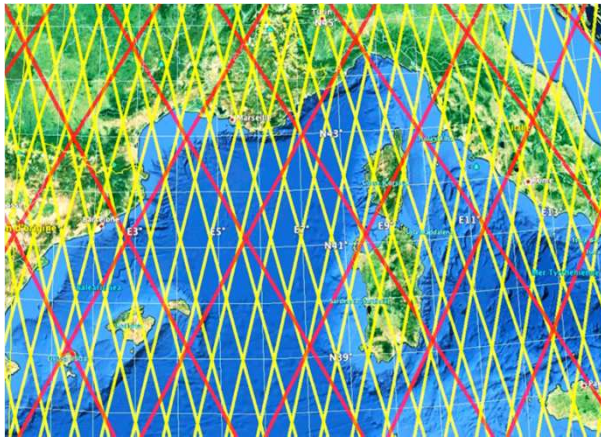
Comparaison altimétrie/marégraphe



Les solutions (techniques et scientifiques)

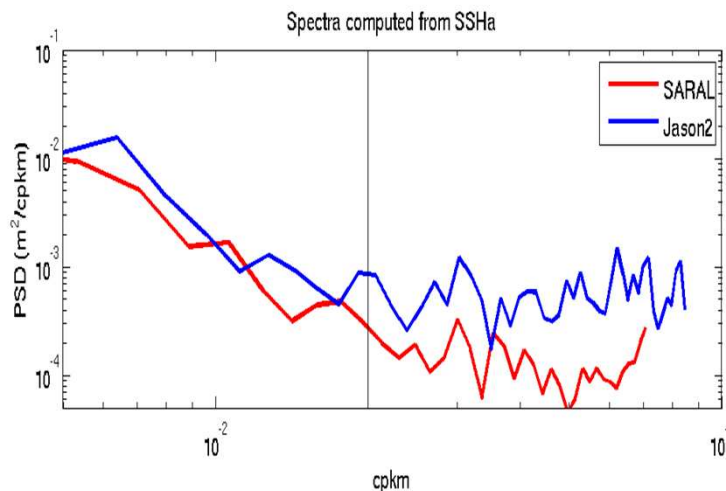
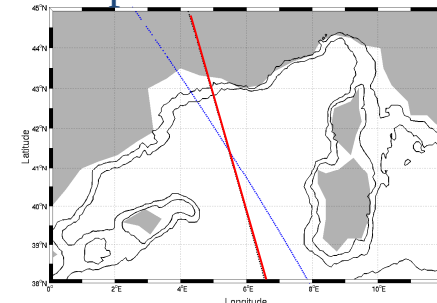
Mission SARAL/AltiKa - altimétrie en bande Ka – NW Med

Smaller footprint, closer to coast, lower noise, 35d repeat

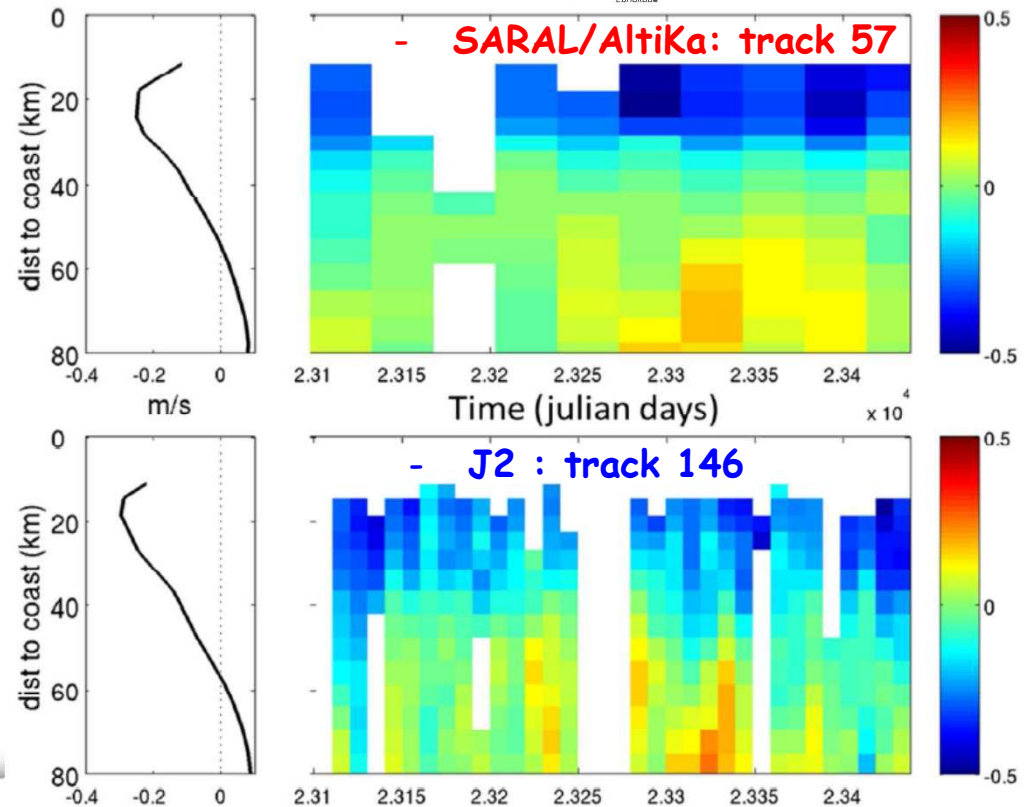


J2 & SARAL – NW Med

- J2 : track 146
- SARAL/AltiKa: track 57



Apres Birol et al., 2014





PLAN

I. Introduction

II. L'altimétrie satellitale

III. Le déficit de l'altimétrie en zone côtière

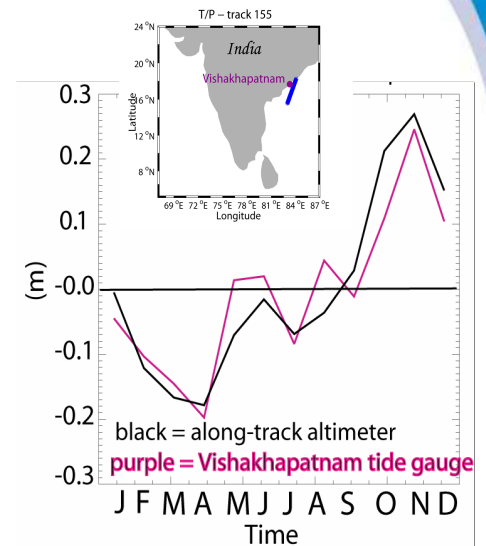
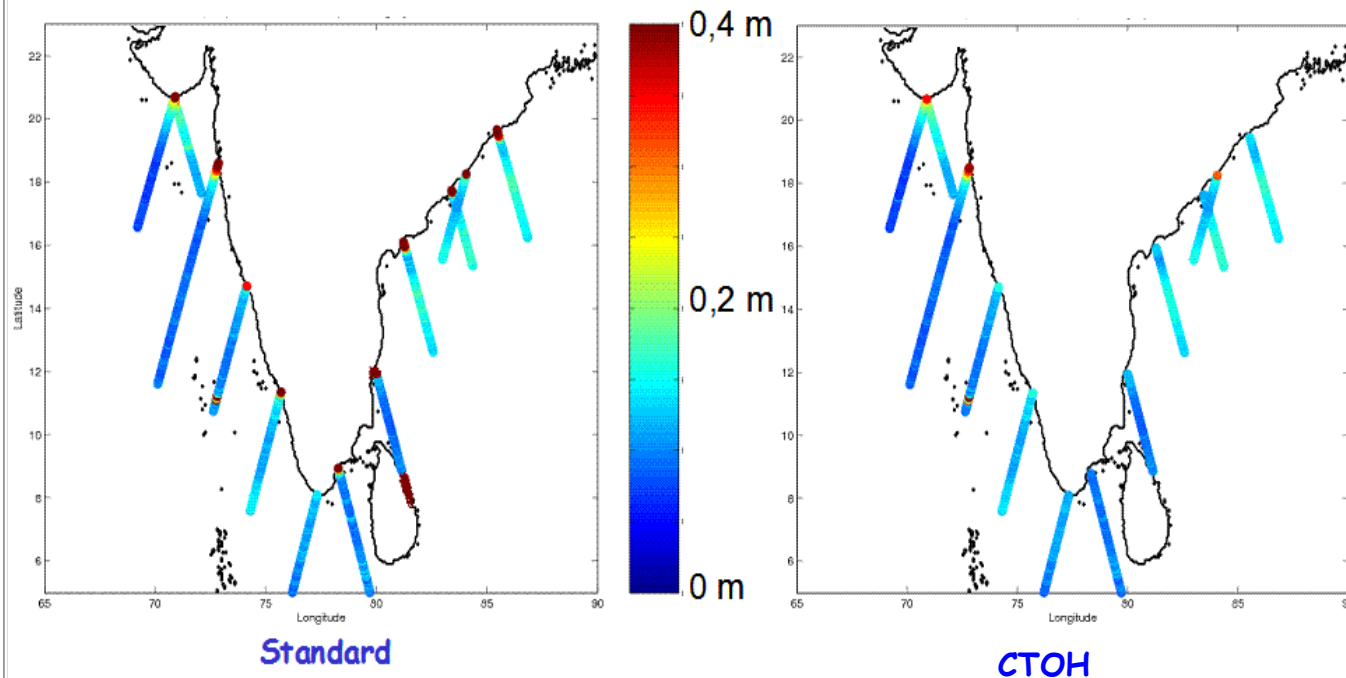
IV. Quelques exemples d'application

V. Quelques perspectives

Applications d'altimétrie côtier

Observabilité des signaux océaniques le long des côtes indiennes

T/P: Déviation standard (SLA) - cycles 5 à 364



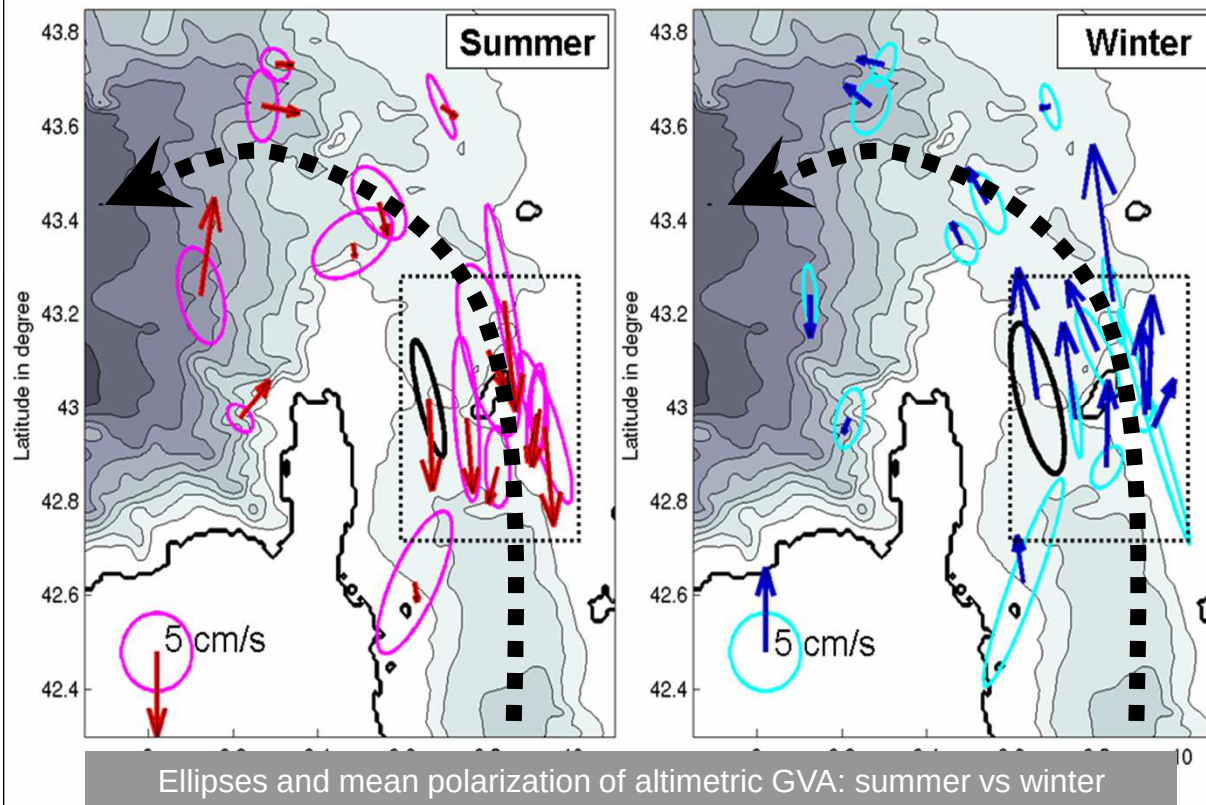
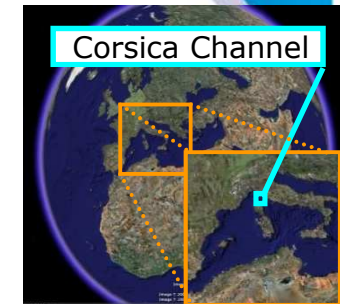
Seasonal sea level variation from tide gauge (purple) and from the altimetric station located 30 km offshore (black).

D'après Birol et al., 2006

Suivi et étude de la circulation côtière

Anomalie de vitesse géostrophique (GVA) – *Multi-satellite crossover technique*

D'après Bouffard et al., 2008 b (GRL)



Method:

Based on Morrow et al., (1994) and generalized at a multi-satellite configuration

Results:

Good agreement / in situ:

- Total signal: $R=0.70$
- Seasonal signals: $R=0.80$
- Mesoscale signals: $R=0.5$

Seasonal cyclonic EC current

- Summer: slowing down
- Winter : accelerating

Altimetric crossover can be used as virtual current meter

Validation de modèle numérique

Monthly climatology
1993 - 2007

Surface geostrophic
current anomalies:

→ SYMPHONIE
model

→ Altimetry (T/P +
J1)

Absolute surface
geostrophic current:

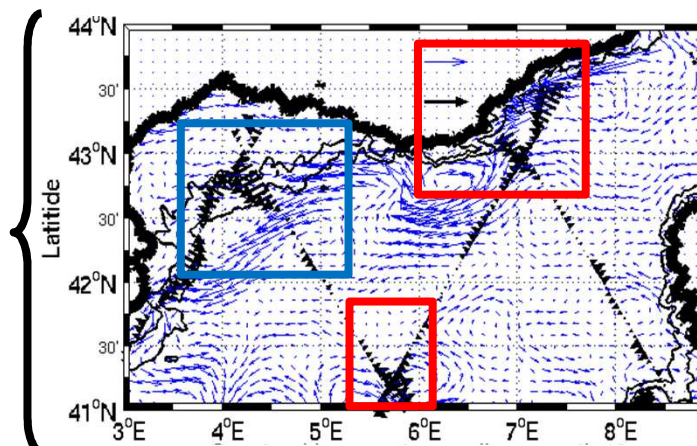
→ SYMPHONIE
Model

- LPC
- Balearic
Front
- Recirculation

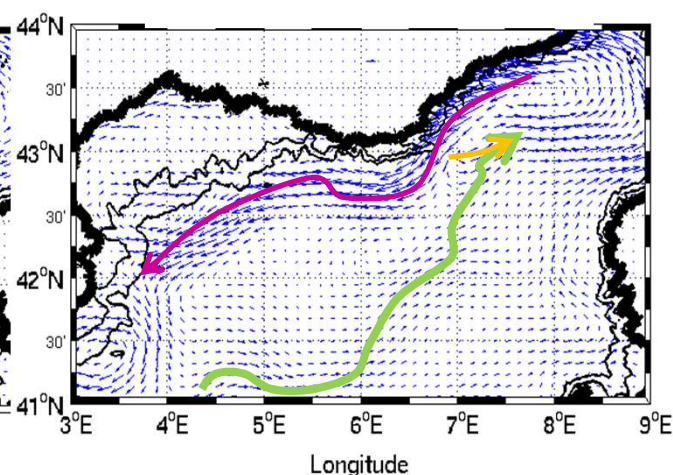
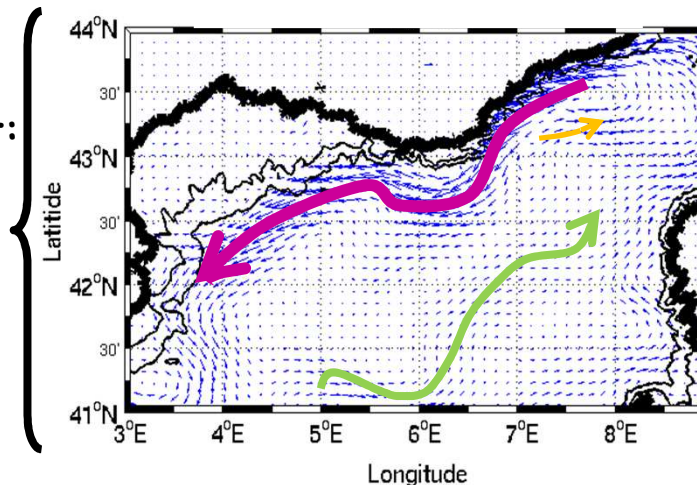
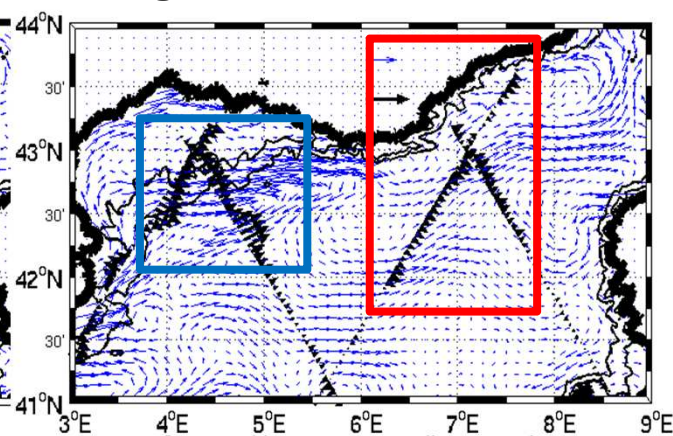
→ Understand information provided by altimetry

→ Model validation => improvement

December



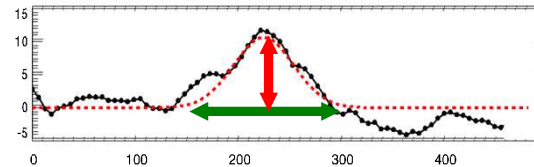
August



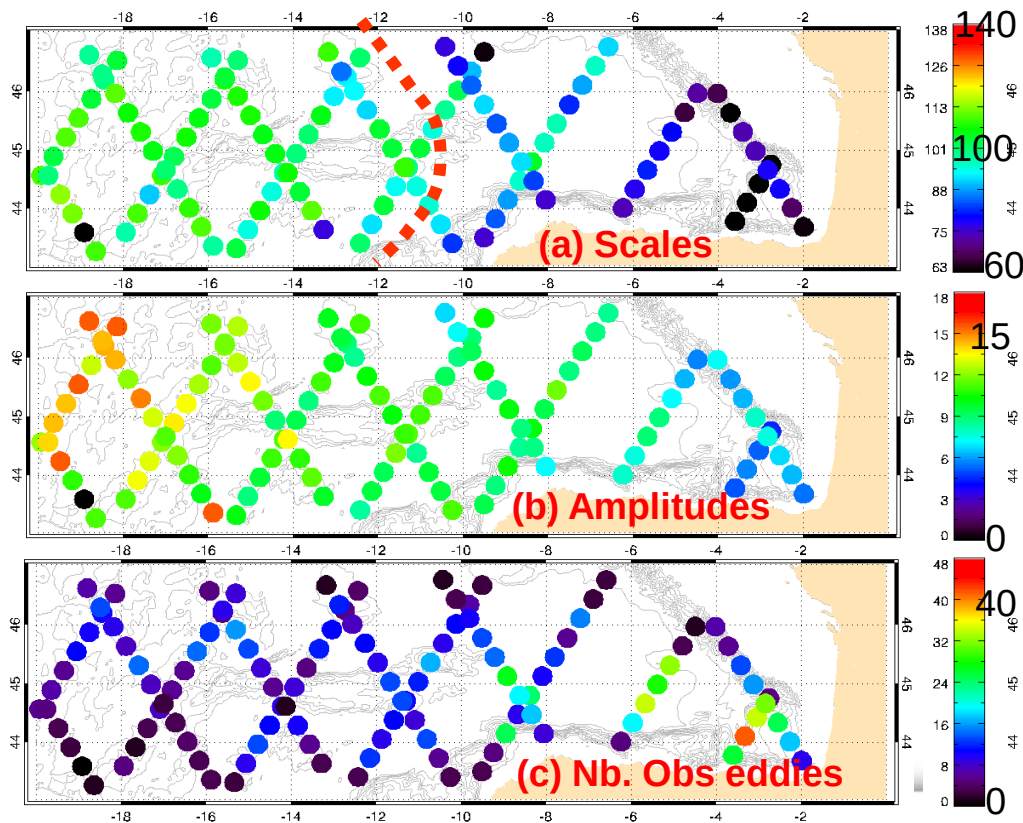
D'après Birol et al., 2011

- Analyse pas ondelettes des échelles typiques de tourbillons
- Comparaison traitement côtier alongtrack vs cartes AVISO

D'après Dussurget et al, 2011



CTOH - XTRACK



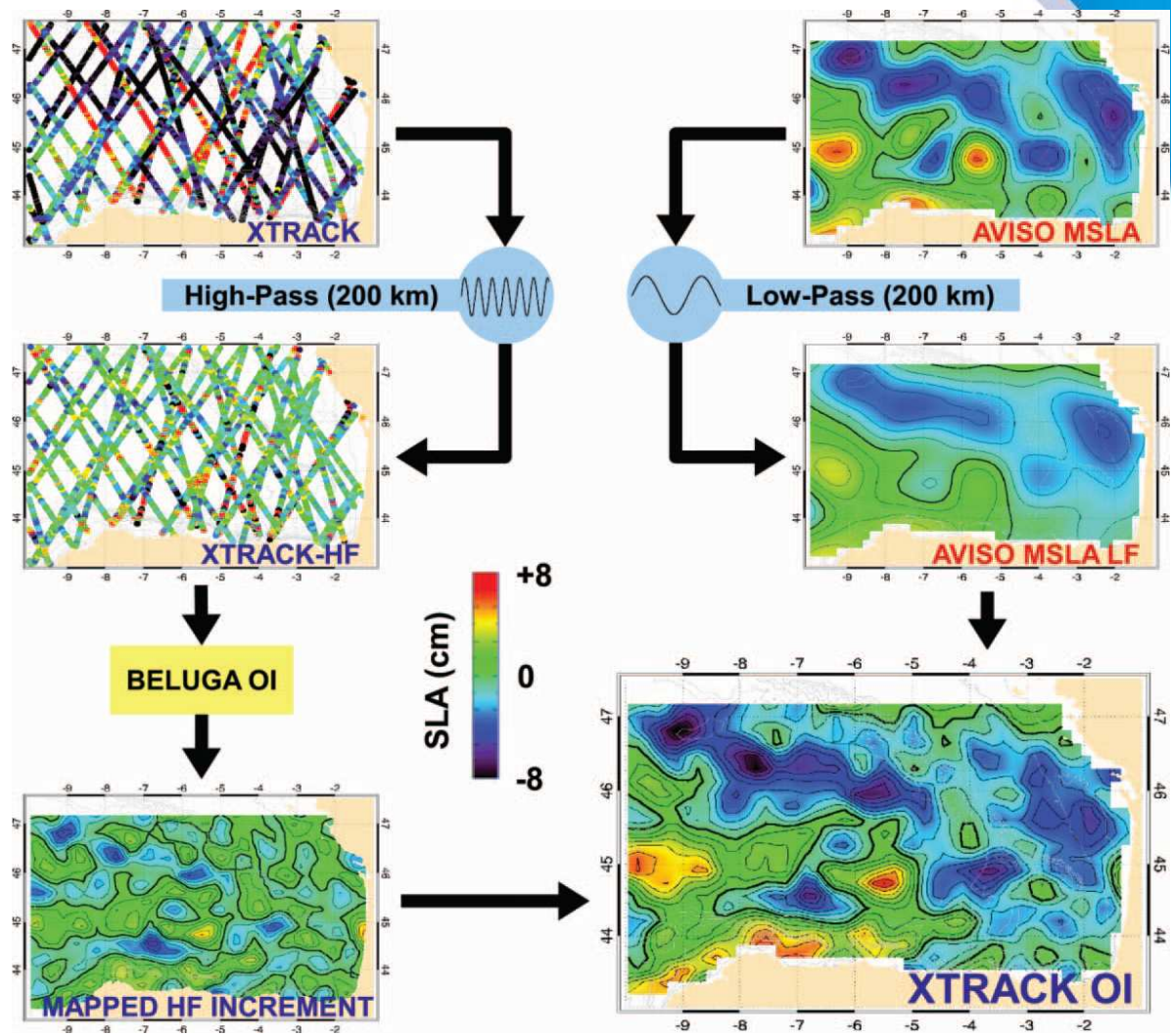
Cartographie côtière en 2 étapes

→ Fusion des données :

- Basse fréquence issue des cartes AVISO globales
- Ajout de variabilité fine-échelle à partir des données X-TRACK côtière

→ 2002-2005 : 4 satellites

→ Décorrélation : 55 km

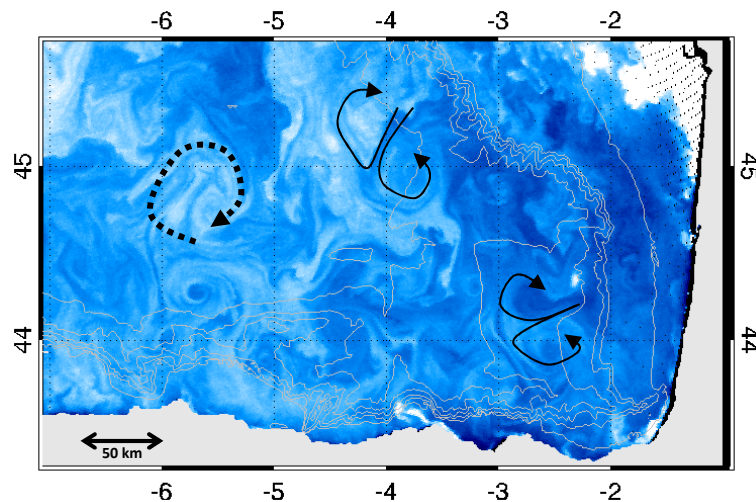


Dussurget et al., 2011

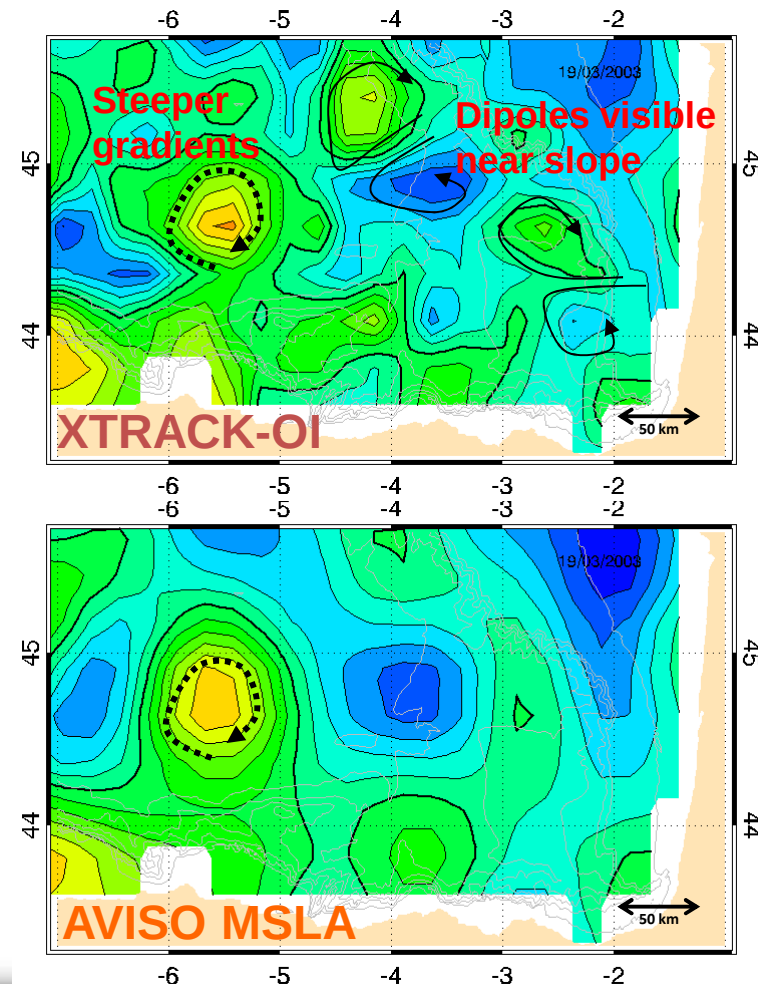
Maintien les structures côtières à fine échelle

4 missions : J1, T/P, GFO, ENV

Altimetry : All weather mapping



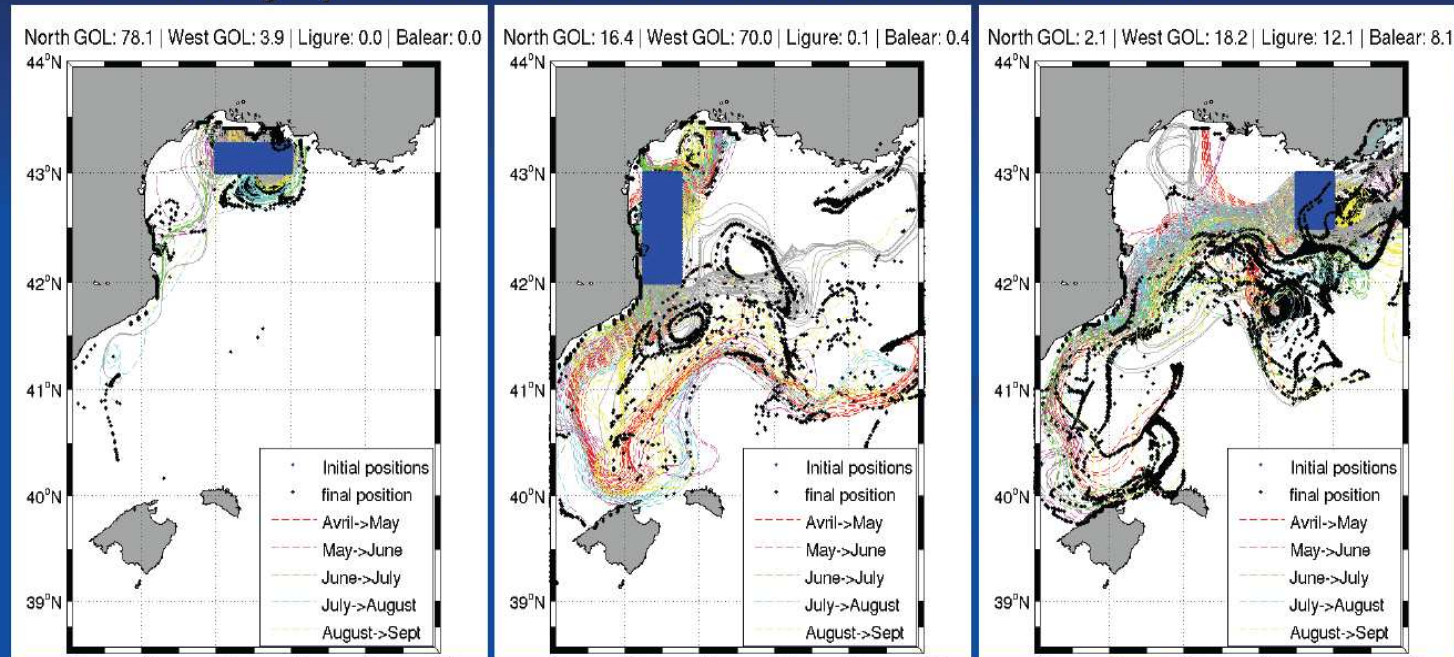
- Satellite imagery provides fine scale dynamics under clear sky conditions



Modélisation de la trajectoire de méduses

Jellyfish trajectories (preliminary results)

- Simple 40 day forward advection with altimetric surface currents
 - Virtual Jellyfish launched each month from 3 different locations



- **North GOL:** Most of the particles remain on the GOL
- **West/East GOL:** Advection southern by the NC in direction of the Balearic Sea.

D'après
Bouffard et al.,
2011

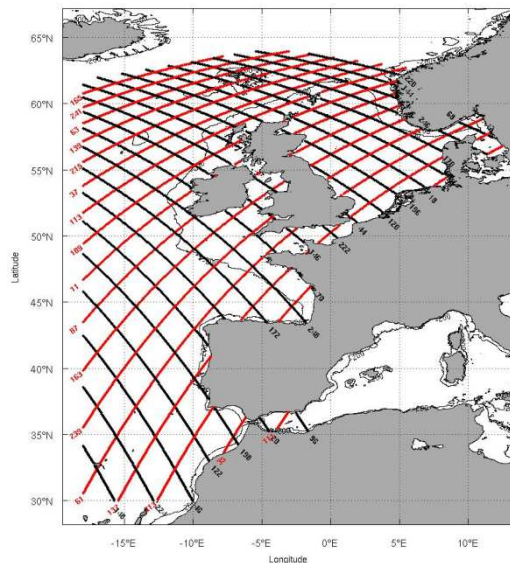
Constants de la marée dans les zones côtières

Les séries temporelles du CTOH SLA sont répartis sur une grille de référence le long de la trace au sol du satellite.

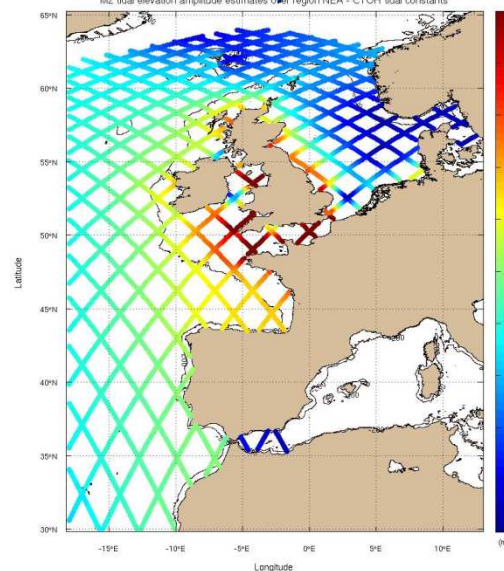
A chaque point le long de la trace, les constantes de marée sont estimées directement par l'analyse harmonique de la série temporelle sur une période de 20 ans ($T / P + J1 + J2$), comme si chaque point était une marégraphie.

C.à dire : tout le 7 km pour les données à 1 Hz, et
tout le 350 m pour les données à 20 Hz

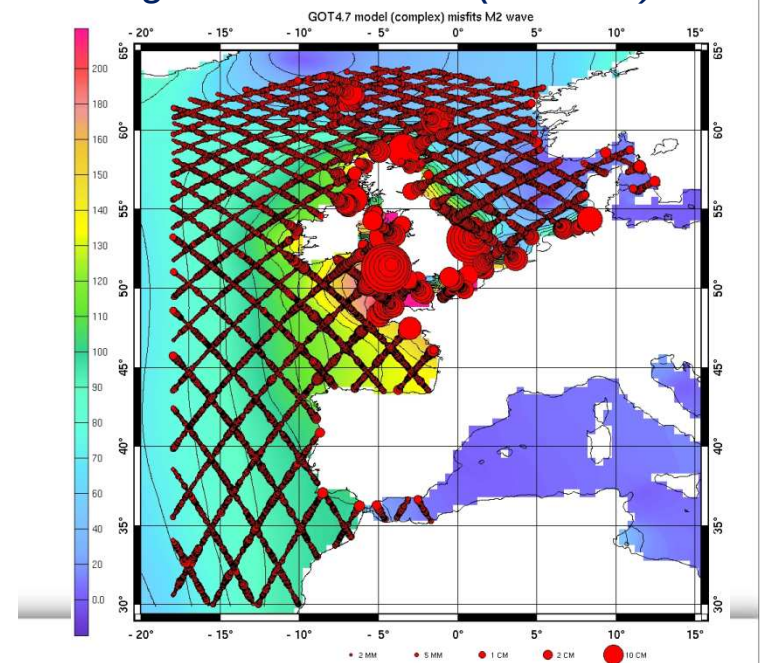
Traces T/P+J1+J2



M2 amplitude



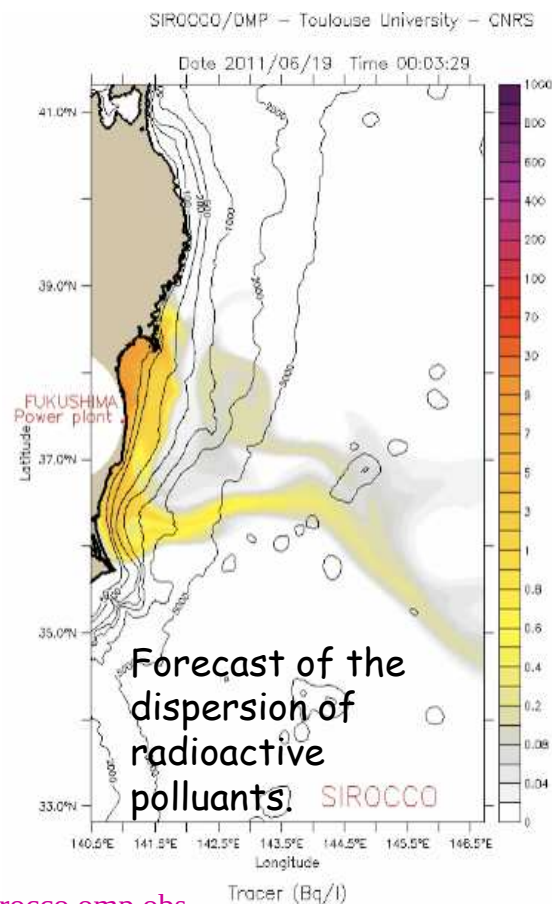
Misfit : alongtrack obs & global tide model (GOT4.2)



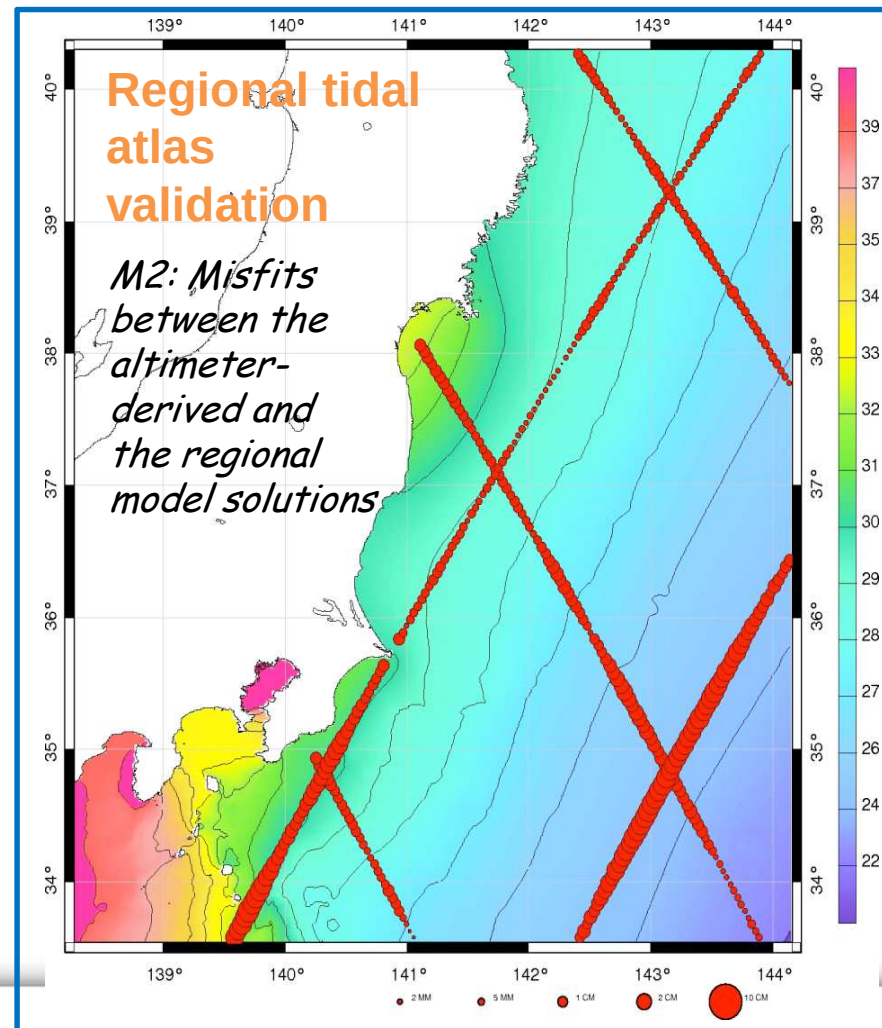
Validation de modèle de marée

FUKUSHIMA Radioactive Dispersion Forecast

Realistic ocean dispersion of radioactive pollutants have been tracked using the SYMPHONIE coastal ocean circulation model which includes tides (left Figure). The tide model included has been validated with tide gauge and XTRACK altimetry data (harmonically analyzed).

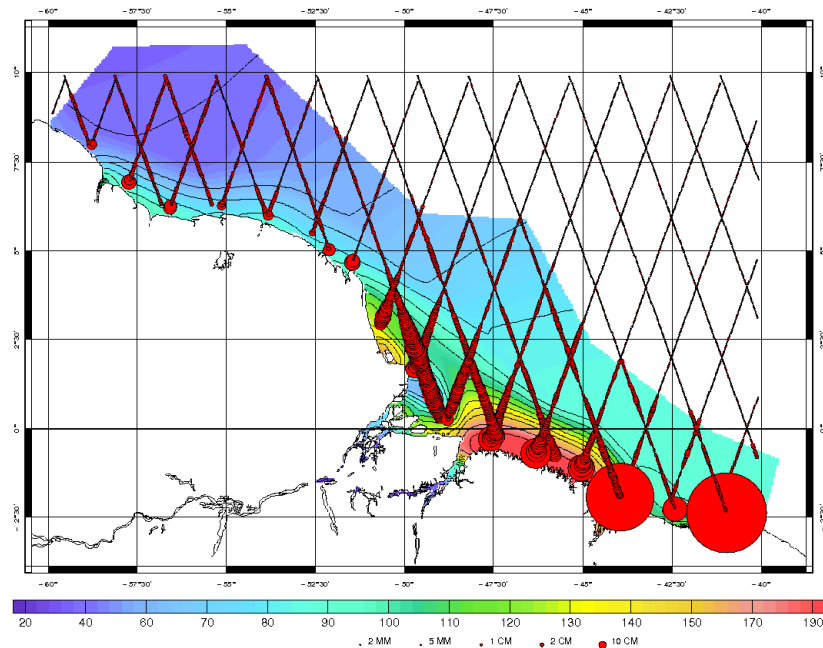


<http://sirocco.omp.obs-mip.fr/outils/Symphonie/Produits/Japan/SymphoniePreviJapanDescript.htm#tidalvalidation>

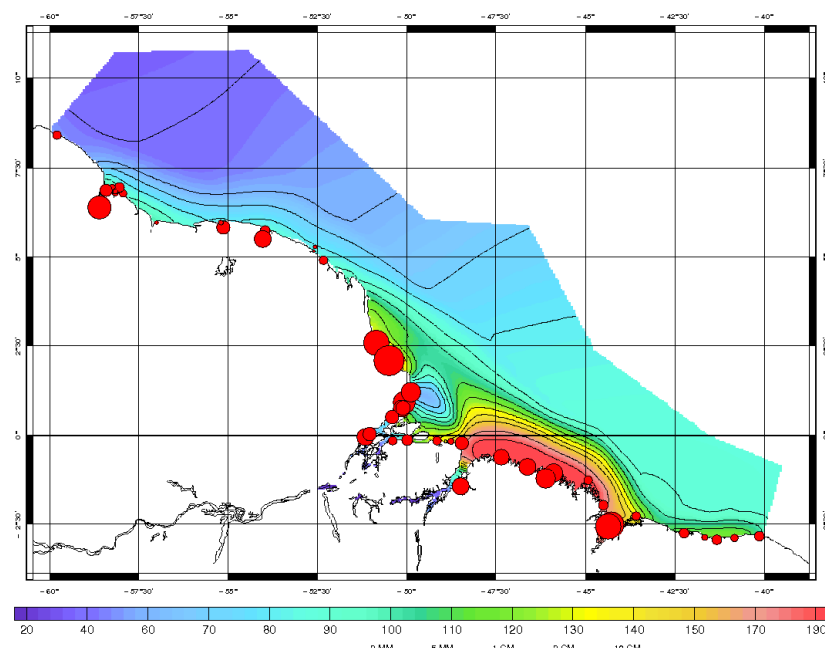


Validation de modèle de marée

The T-UGOm simulation are validated against altimetry and in situ data. Red circles size represent the model misfits. The misfits increase over the shelf toward the coast. Inaccurate bathymetry and uniform model bottom rugosity are likely to be the largest cause of error.



Validation against Topex and Topex interlaced harmonic analysis for the M2 tide. Large discrepancies are due to typical coastal altimetry problems (loss of data) and drying effects



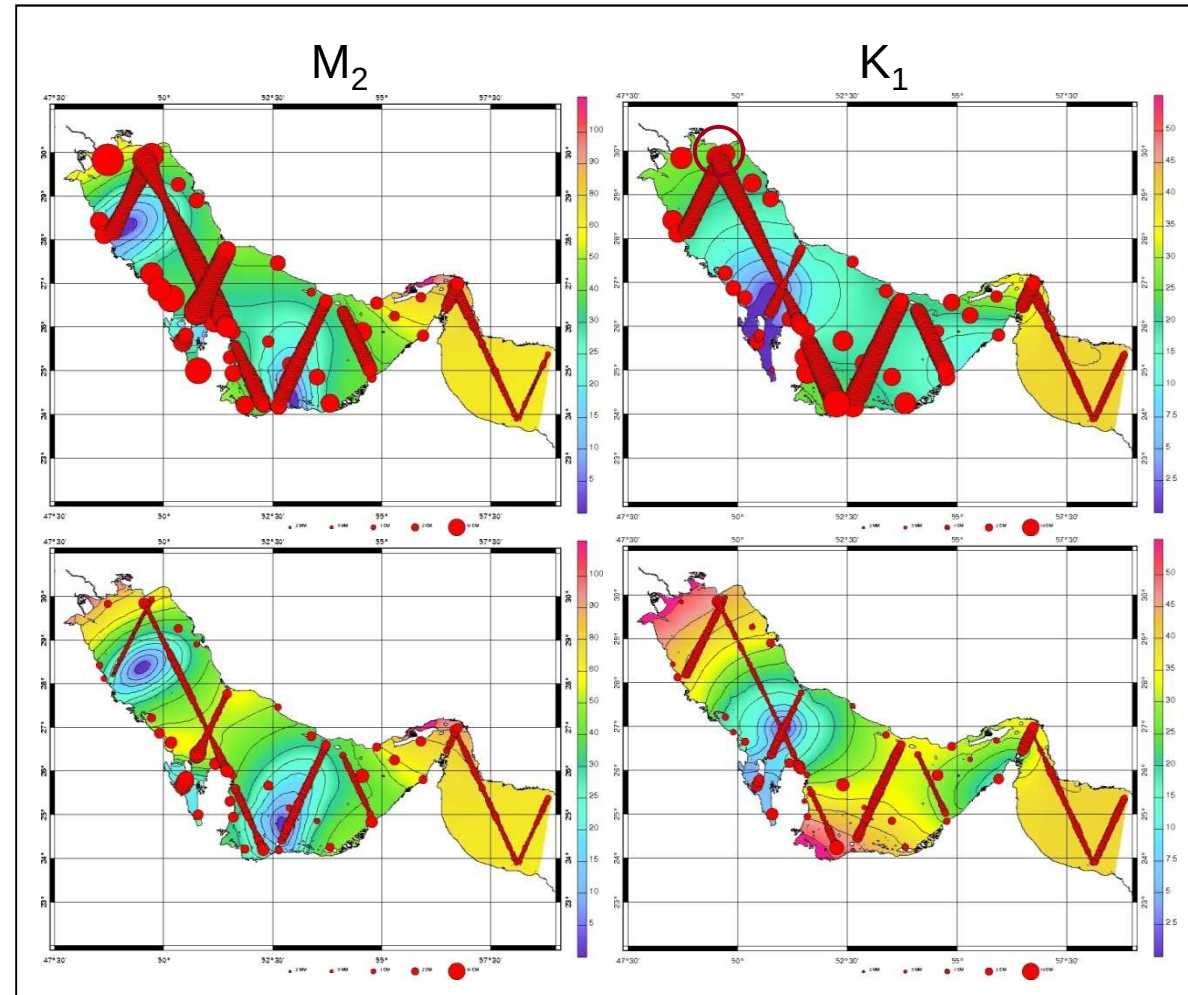
Validation against tide gauges harmonic data (IHO historical data bank)

courtesy F. Lyard

→ Intérêt des mesures altimétriques en complément des marégraphes: bien plus de données

Amélioration des modèles de marée

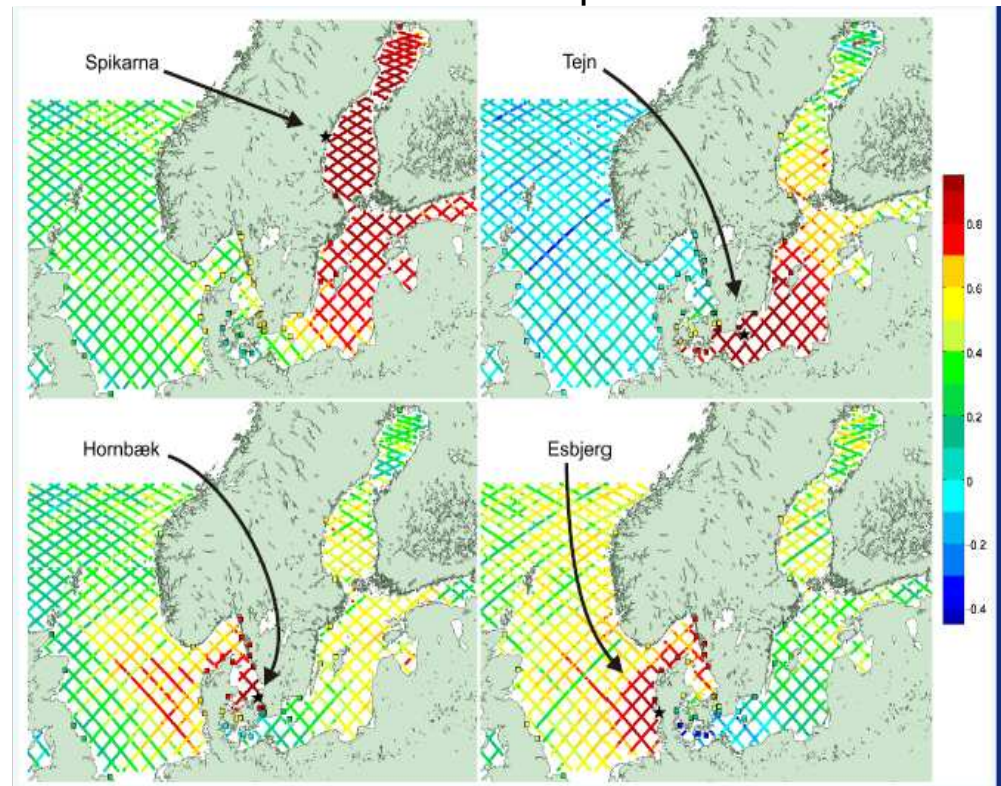
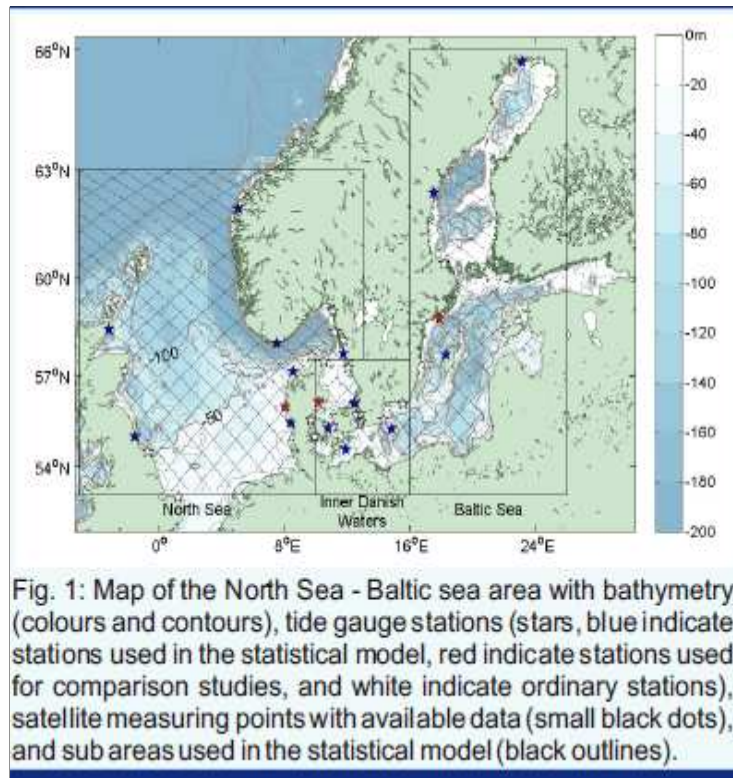
- Solution hydrodynamique
➔
- Solution après assimilation (altimétrie seulement)
➔



courtesy F. Lyard

Prévision/suivi des phénomènes de surcôtes

Carte de corrélations entre les marégraphes et les hauteurs de mer altimétriques



D'après Madsen et al., 2008

→ **Modèle statistique de surcôtes basé sur les observations temps réel des marégraphes**



PLAN

I. Introduction

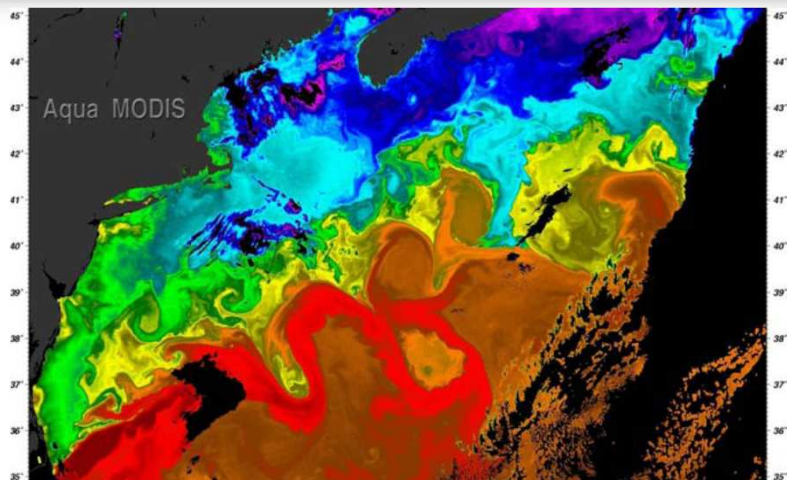
II. L'altimétrie satellitale

III. Le déficit de l'altimétrie en zone côtière

IV. Les applications scientifiques et opérationnelles

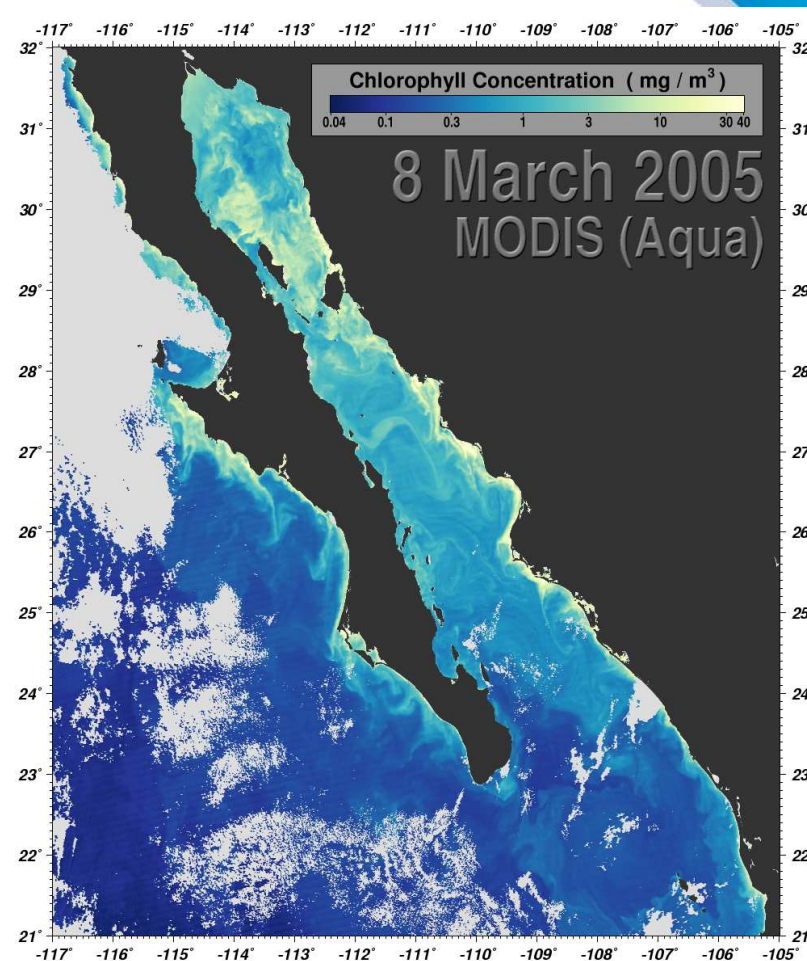
V. Quelques perspectives

5. Quelques perspectives



Ocean fronts and filaments studied with cloud-free SST and ocean colour

- Scales 1-50 km, 2-30 days
- Important for vertical exchange of heat, carbon, nutrients
- Important regions of mixing



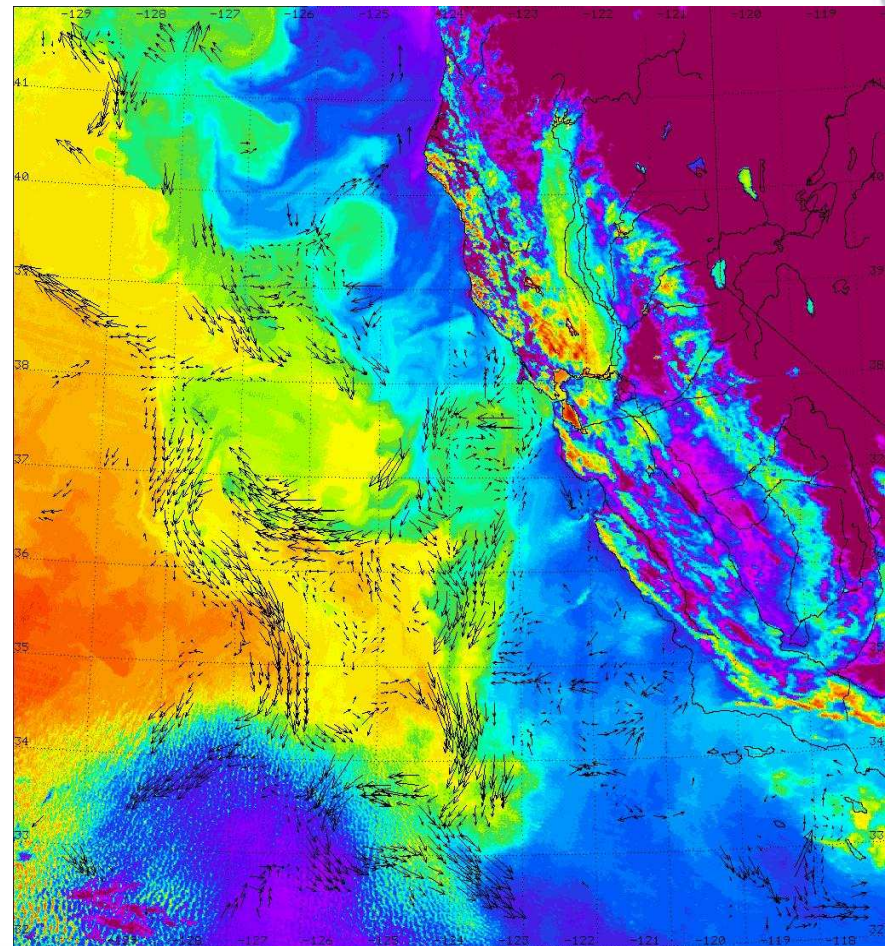
Need high resolution sea level observations 1-100 km!

Approche multi-capteurs

Combiner altimétrie et SST

- Sequential thermal infrared images of the California coastal region between San Francisco and Los Angeles are used to compute surface currents with the Maximum Cross Correlation (MCC) method (Emery et al.)
- First filtered for cloud contamination
- Successive images are used to retrieve vector currents of feature movements with a 1 km spatial resolution, that are then composited over 3 and 10-day periods

10 Oct – 20 Oct 1999

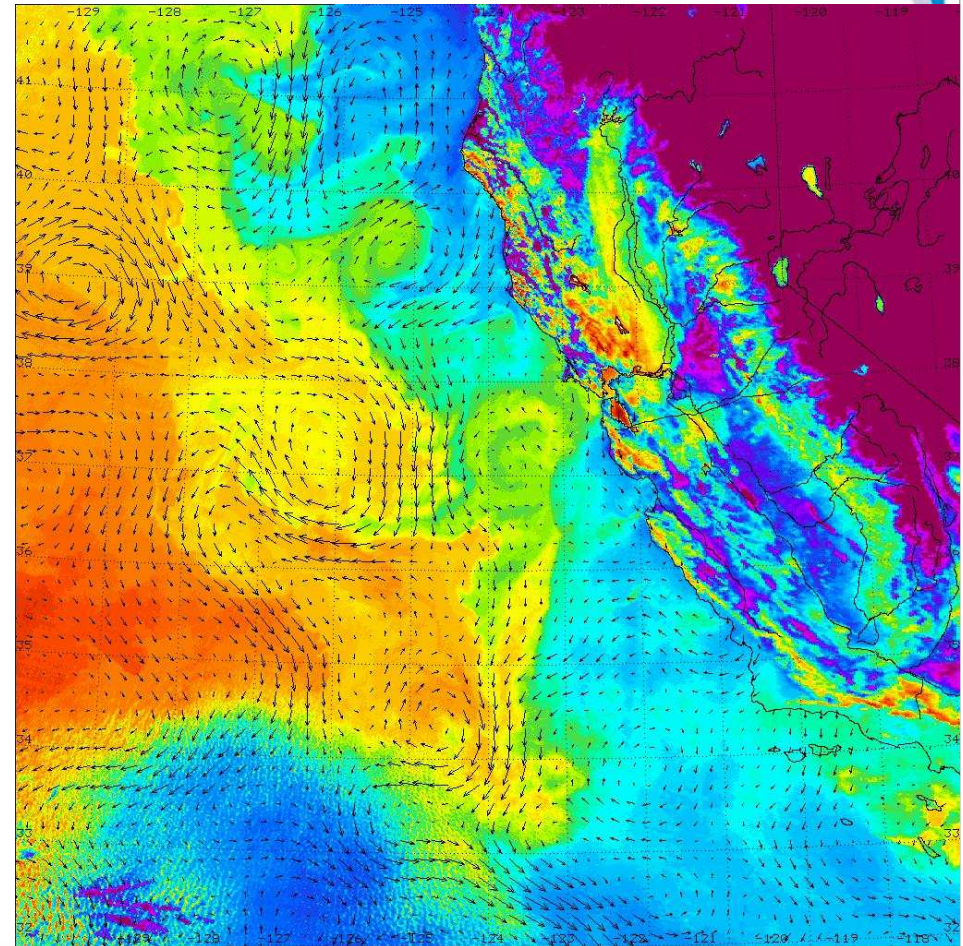
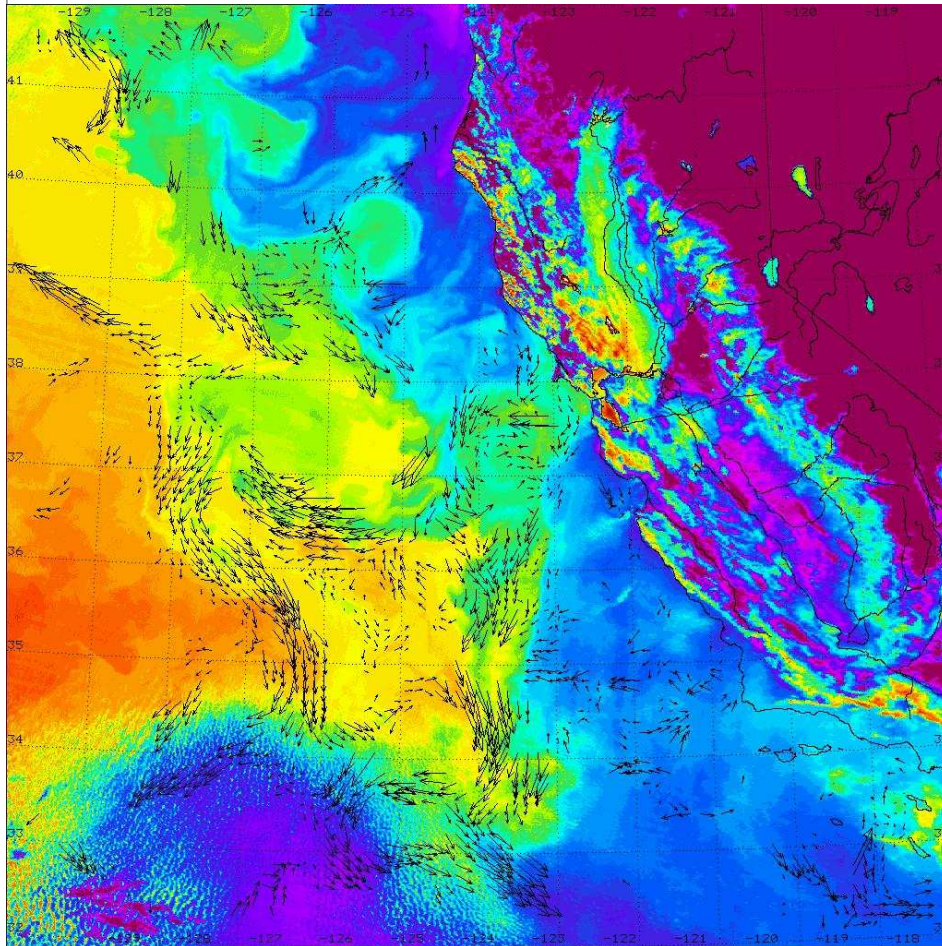


Approche multi-capteurs

Optimal interpolation of altimetric geostrophic currents and MCC (SST) currents

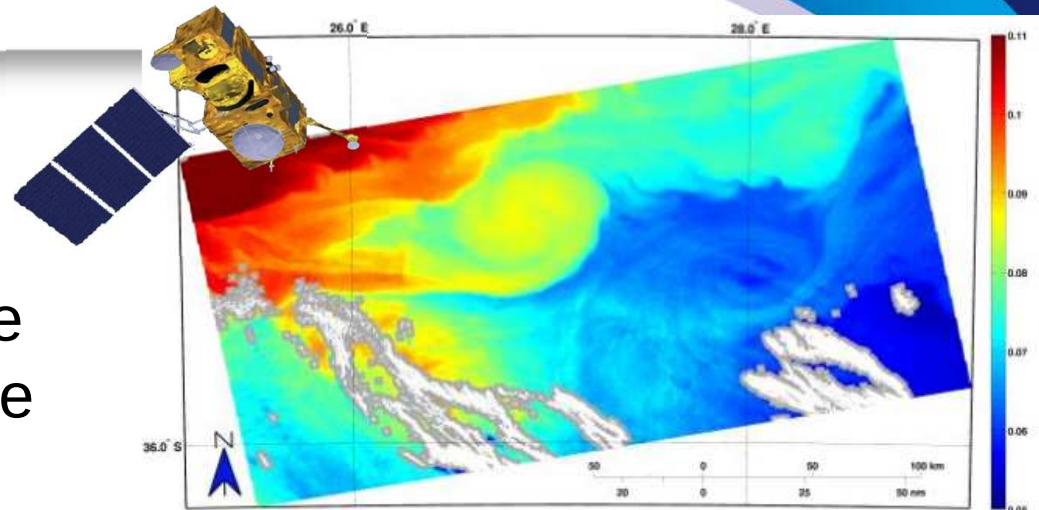
SST only : 10 Oct – 20 Oct 1999

OI (SST+altimetry) : 15 Oct 1999

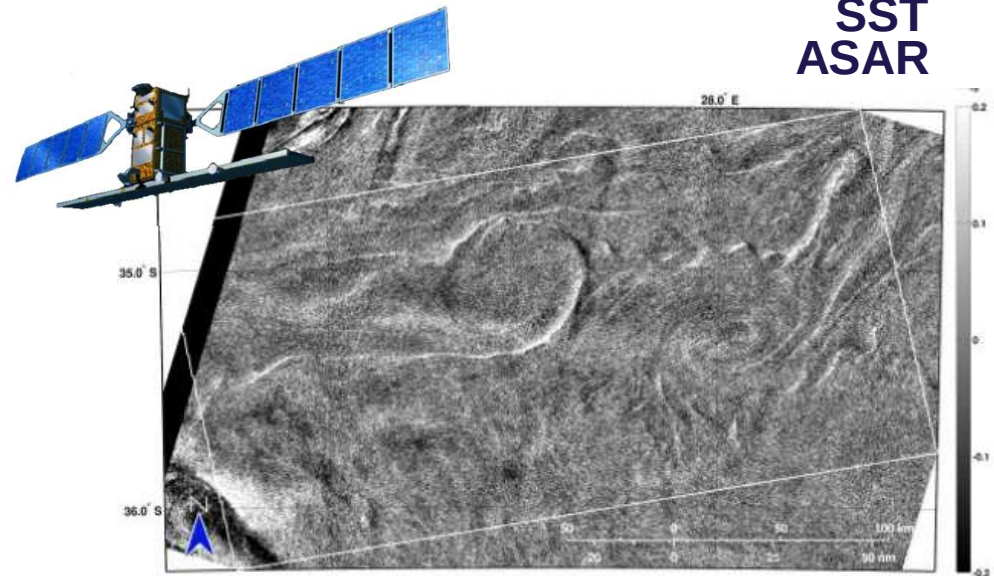


Complementarity with other satellite observations

- combined use of multiple sensors allows to infer fine scale dynamics (e.g. convergence/divergence)
- New observed products, new parameters for model assimilation

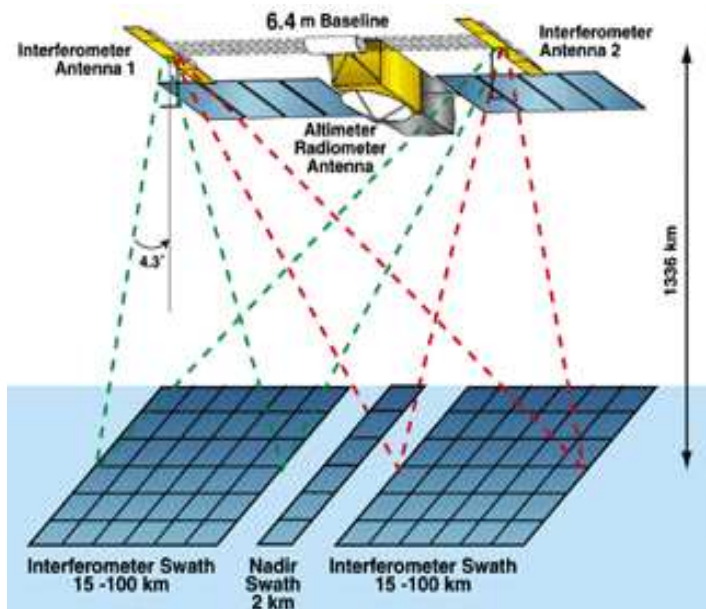


**SST
ASAR**



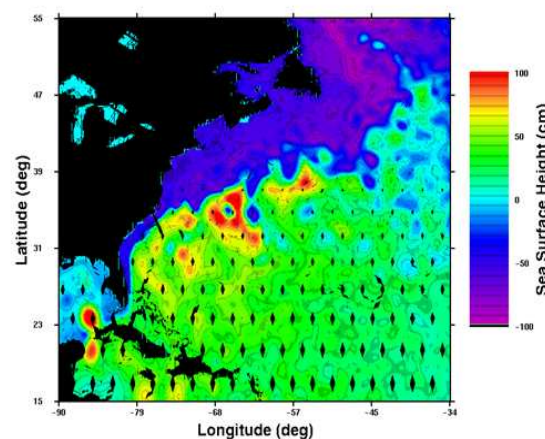
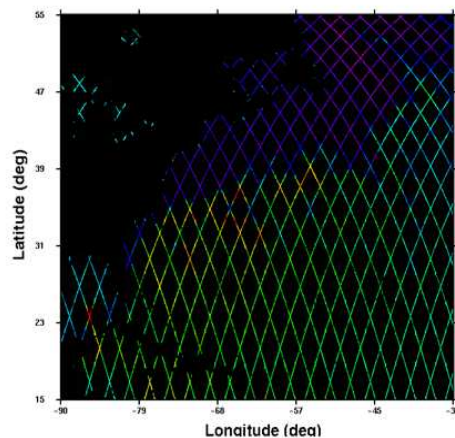
Credits: Kudryavtsev et al

Un nouveau concept: l'altimètre radar interférométrique



Altimètre Nadir classique

Altimètre à fauchée



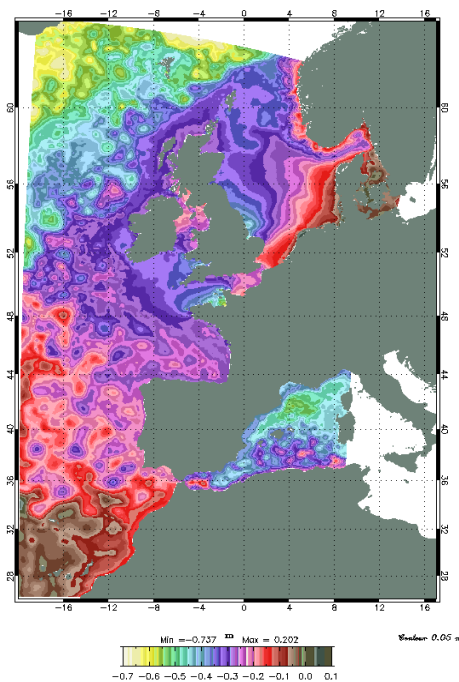
- The main limitations of standard nadir-pointing radar altimeters have been understood for a long time. They include the lack of coverage (intertrack distance of typically 150 km for the *T/P* / *Jason* tandem) and the spatial resolution (typically a few km)
- SWOT altimeter/interferometer would include several altimeters mounted on masts which would acquire measurements simultaneously, thus providing continuous, single- or multi-altimeter wide-area coverage.

SWOT & altimétrie alongtrack en cotier

SWOT 1x1 km Assimilation : corrected swath SLA data and accurate error estimates – interferometrie approaches to coast & in estuaries.

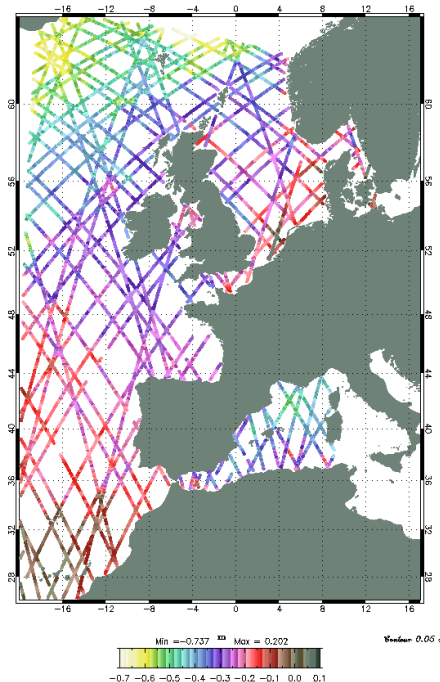
5-day sampling of the ocean by conventional altimetry and SWOT

Model SSH



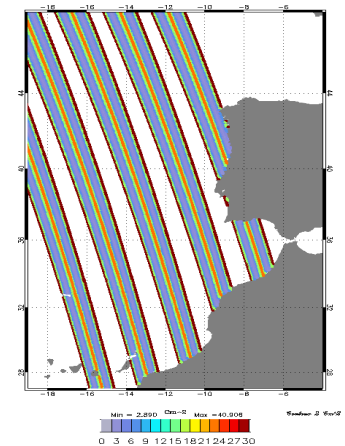
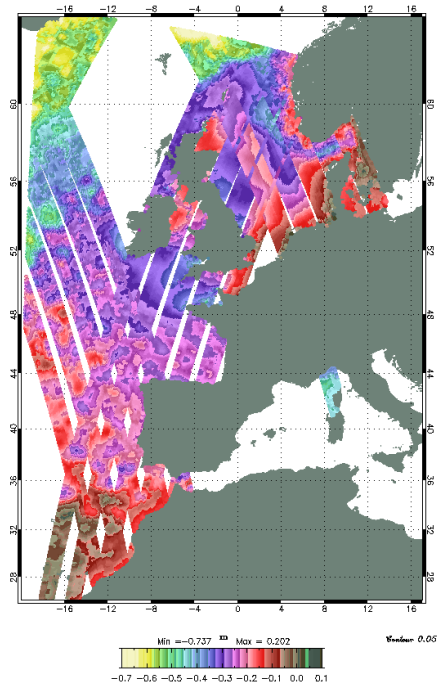
*IBI 36 Model SSH
12/03/2009*

J2, J1n, En



Simulated SSH observations 09-14/03/2009

Swot



*Observation error
variance at 1km
resolution*

Credit : Benkiran et al, Mercator Océan

Conclusions

L'observation spatiale a révolutionné:

- la connaissance scientifique de l'Océan
- les capacités des systèmes opérationnelles

C'est une aventure en cours:

- elle n'a pas encore été exploitée complètement
- de nouvelles révolutions sont en préparation

Elle complètera toujours plus l'INDISPENSABLE
observation de terrain