

semaine 25  
17-21 juin 2013

Pôle géosciences  
Paris Saint-Mandé

Pôle géosciences  
Géographie  
Météorologie  
Hydro-océanographie  
Paris Saint-Mandé

Journées  
**REFMAR**  
Réseaux de référence des observations marégraphiques

REFMAR  
Réseau de Référence des Observations Marégraphiques  
SIC  
M  
PROJET LEADER  
DU PROGRAMME INTERREGIONS  
L'océan & la terre

SHOM  
L'océan & la terre

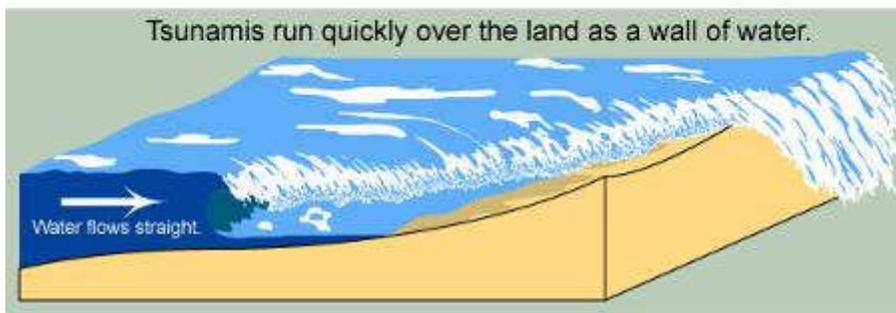
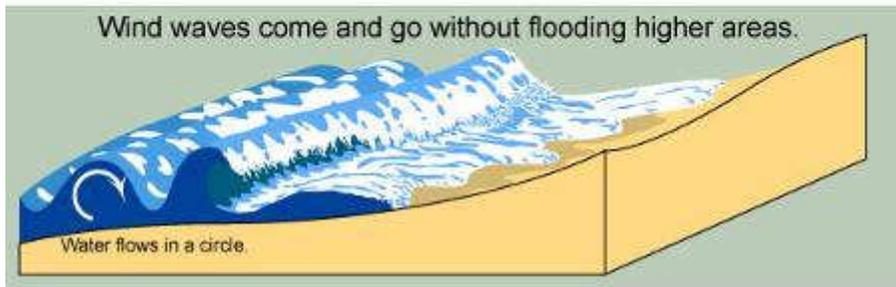
## Quelles données marégraphiques pour l'étude de l'aléa tsunami ?



**Hélène Hébert**, S. Allgeyer, C. Daubord, A. Frère, E. Gutierrez, A. Gailler, A. Loevenbruck, F. Schindelé  
CEA DAM DIF/DASE/LDG  
Bruyères le Châtel  
[helene.hebert@cea.fr](mailto:helene.hebert@cea.fr)

# TSUNAMI : SÉRIE DE SURCOTES PARTICULIÈRES

Tsunamis are often no taller than normal wind waves, but they are much more dangerous.



Even a tsunami that looks small can be dangerous!

Any time you feel a large earthquake, or see a disturbance in the ocean that might be a tsunami, head to high ground or inland.

© University of Washington



## Cause géologique

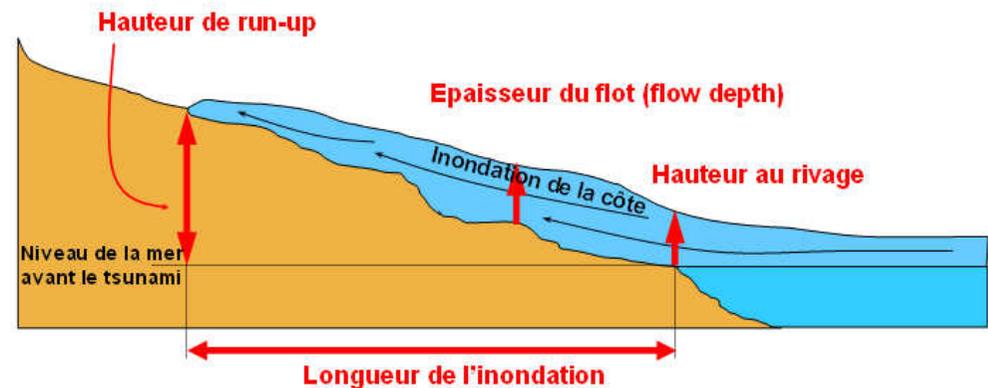
- séisme sous-marin peu profond et de mécanisme favorable
- effondrement gravitaire

## Si source = séisme

- dégâts possibles à distance (télétsunami)

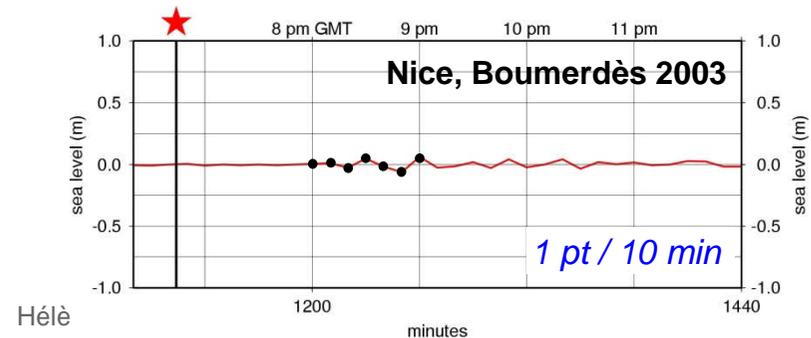
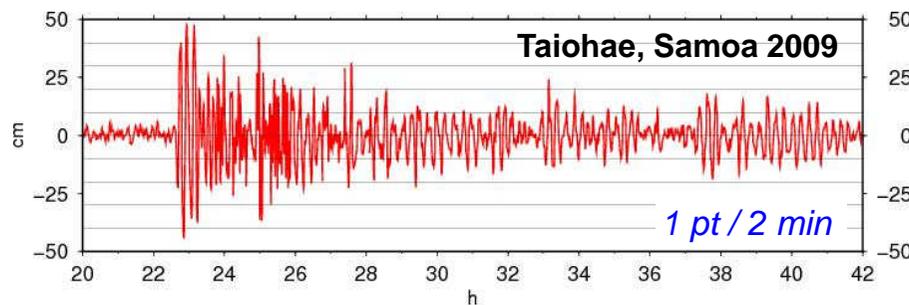
## Les tsunamis ont été souvent observés par des mesures d'inondation

- données d'amplitude ponctuelles : longueur (pénétration) de l'inondation, épaisseur du flot (flow depth), hauteur au rivage, run-up
- peu de contraintes temporelles



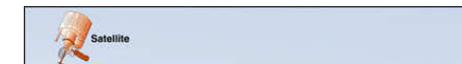
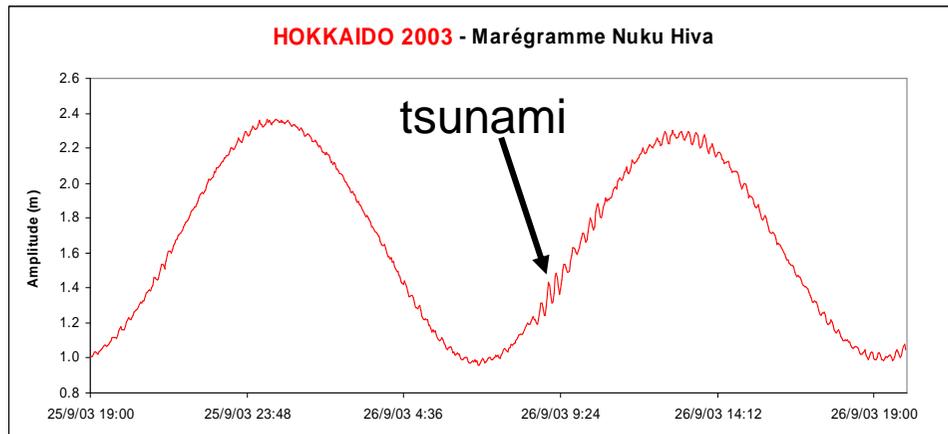
## Marégrammes numériques parfois « sous-échantillonnés »

- évolution vers des instruments mieux adaptés dans de nombreux bassins



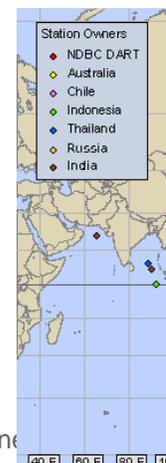
## Données temporelles : marégrammes

- dédiés en premier lieu à l'étude des marées
- reflètent les phénomènes portuaires : effets de site
- montrent la complexité du train d'ondes



## Autres capteurs

- capteurs de pression au fond de la mer
  - aujourd'hui composante des systèmes d'alerte
  - détection de tsunamis centimétriques
- bouées GPS
- données satellite



## Les efforts instrumentaux au Japon

- bouées GPS
- capteurs de pression

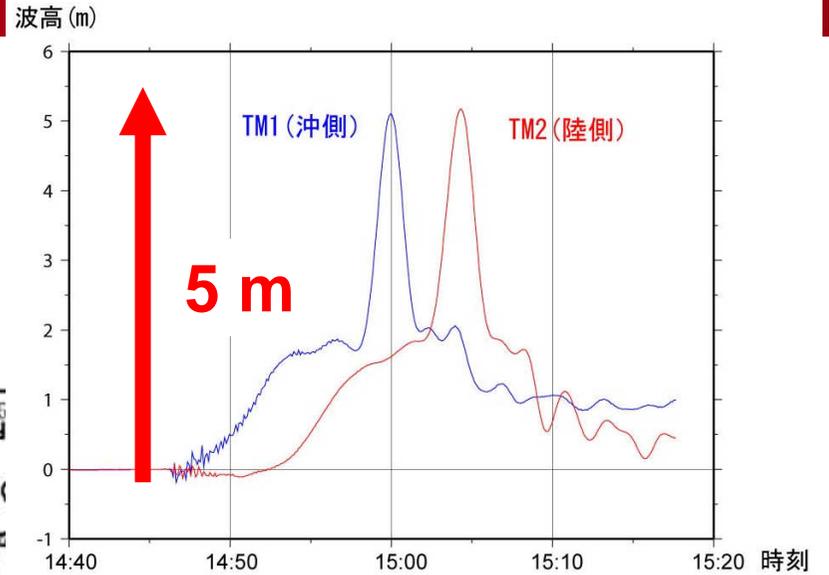
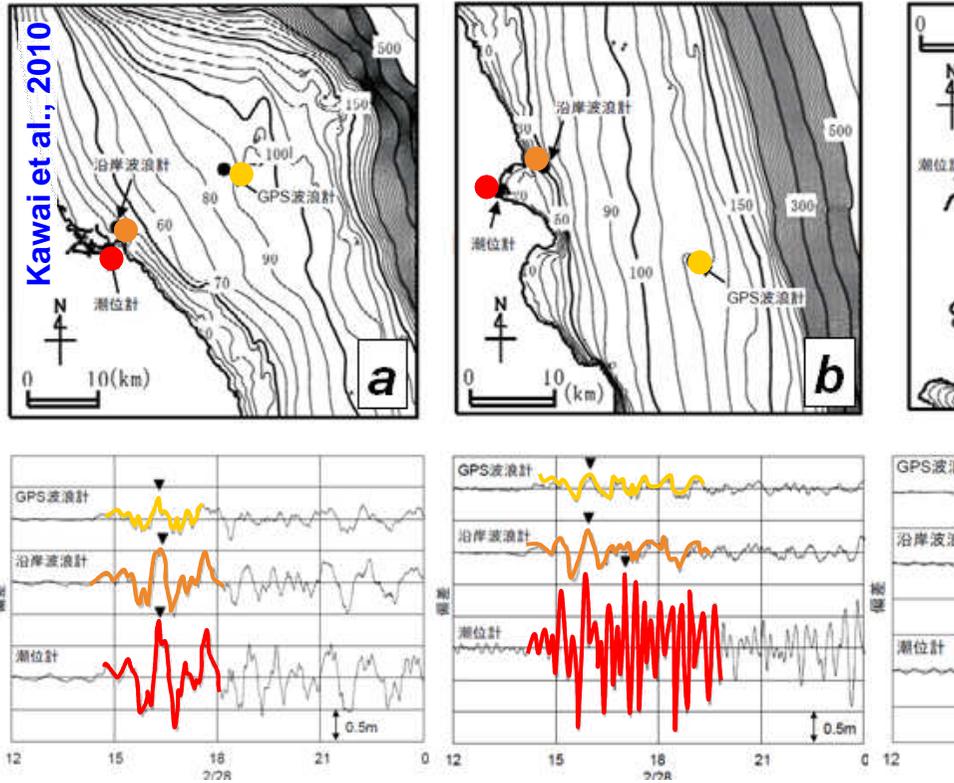


図2 海底水圧計の観測記録。14時46分頃、本震(M9.0)の振動が水圧計に伝わり、TM1(海寄り)では、その時から徐々に海面が上昇している。約2m上昇し、約11分後にはさらに約3m急激に上昇し、合計約5m海面が上昇した。約30km陸寄りに設置されているTM2では、TM1から約4分遅れて同様の海面上昇を記録した。

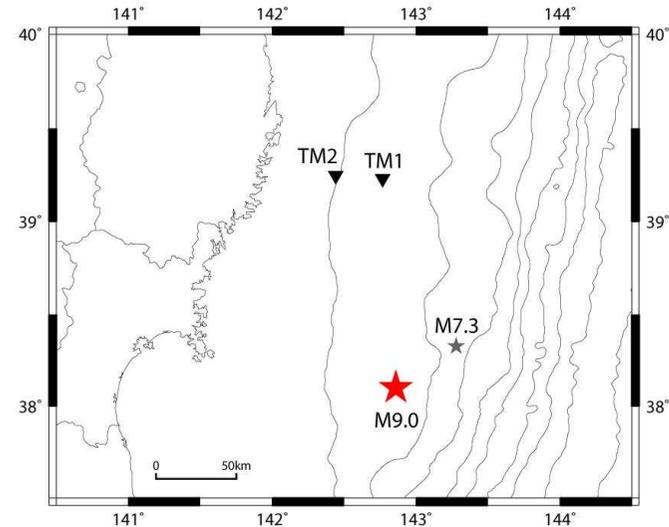


図1 釜石沖ケーブル式海底水圧計の位置

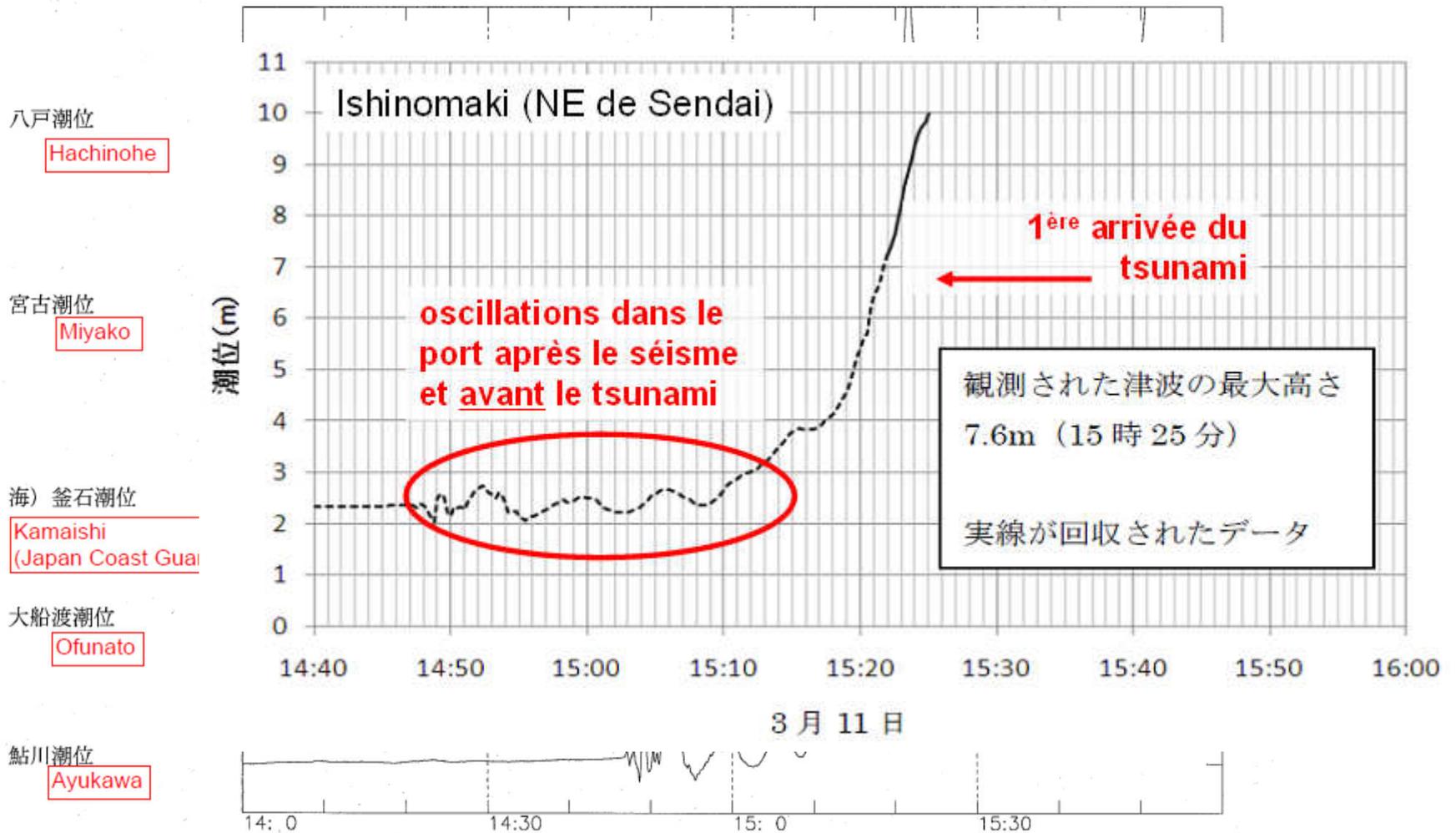
# MARÉGRAMMES DU 11 MARS 2011

気象庁潮位1 (直送・潮位計・秒値) (検潮所名)

< 2011/ 3/11 14: 0 -- 2011/ 3/11 16: 0 >

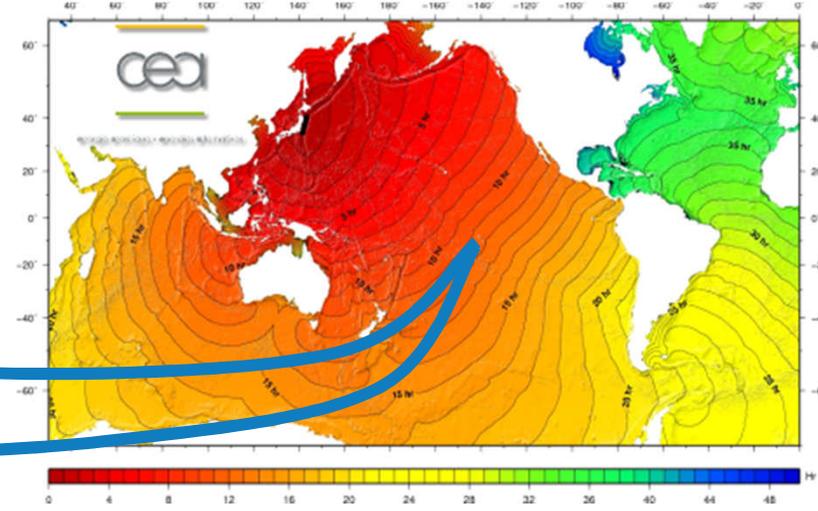
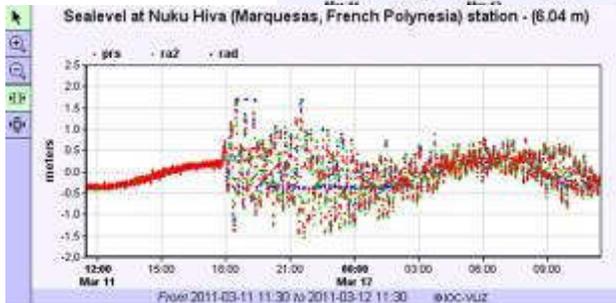
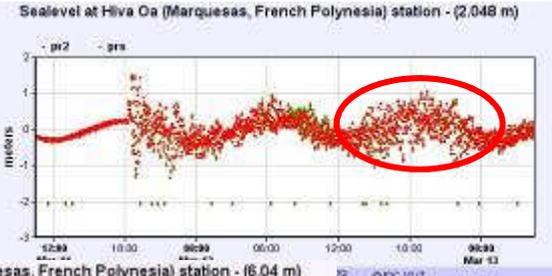
1000 mm

scale: 1 meter



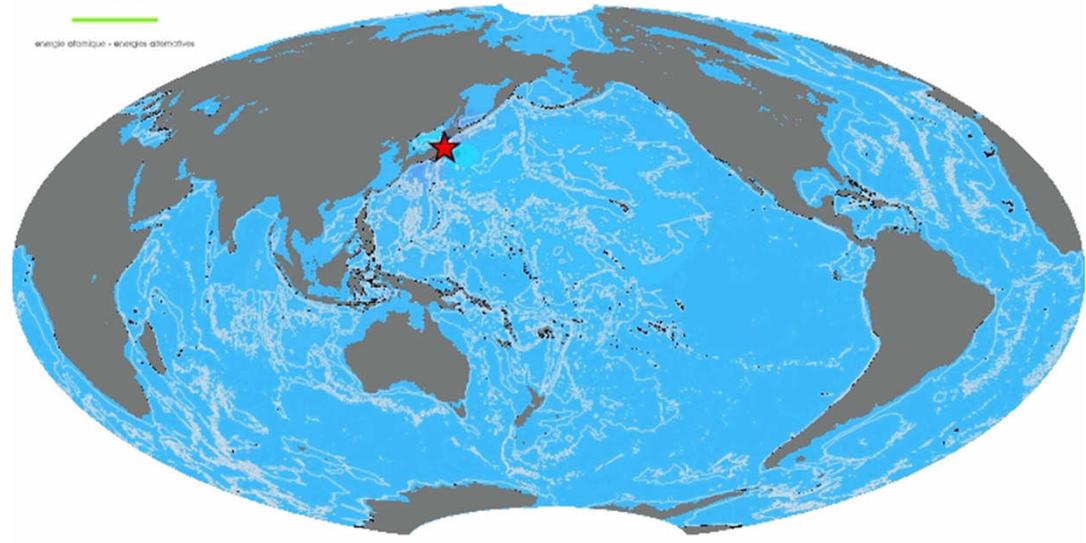
14:00 - 16:00 (JST), 11 March 2011 (sampling interval: 1 second)

# SIGNE D'UNE RÉFLEXION INTRAOCÉANIQUE



Honshu 2011

00 h 00 min

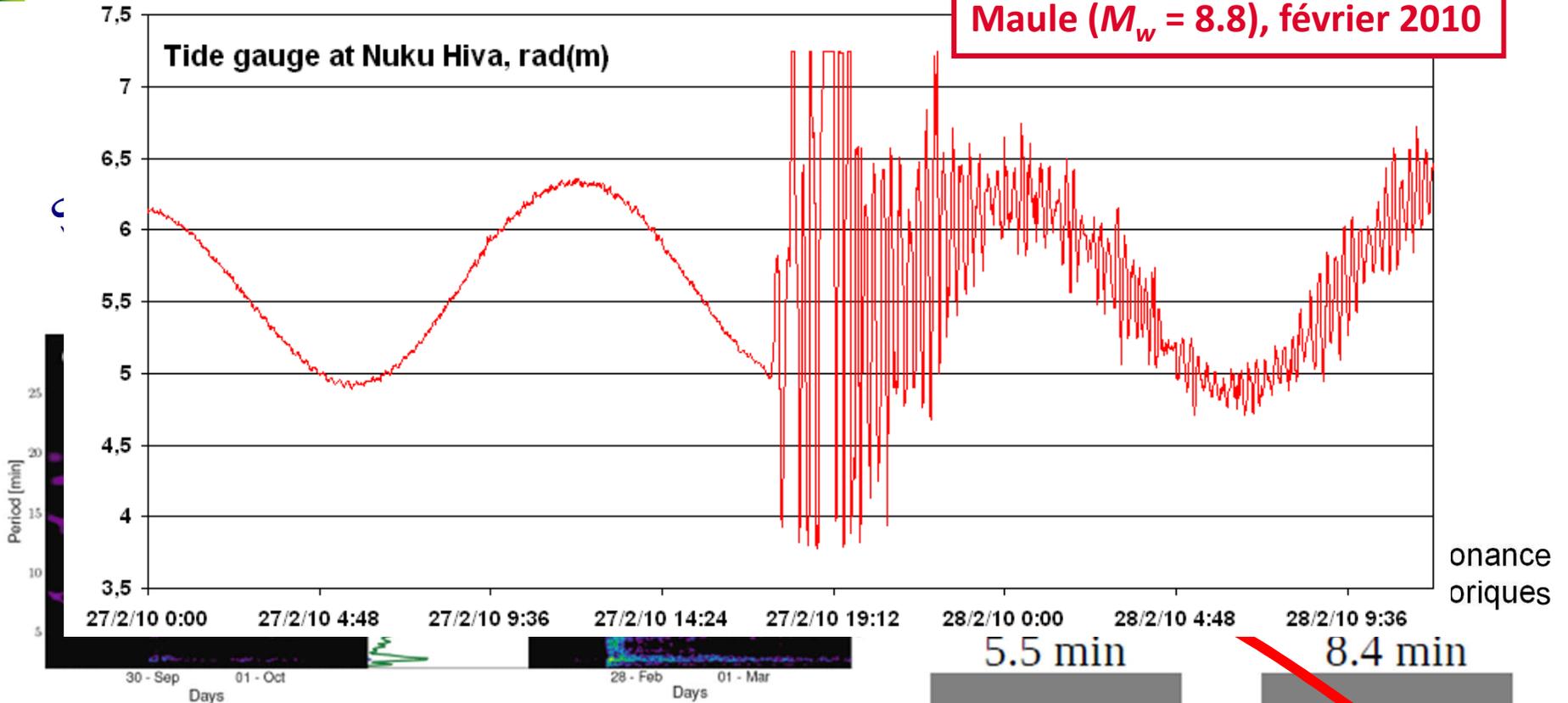


## Analyse de marégrammes de bonne résolution (Polynésie française)

■ identification des modes de résonance des baies. ex Hiva Oa

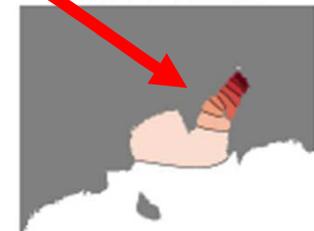
Maule ( $M_w = 8.8$ ), février 2010

Allgeyer et al., 2013



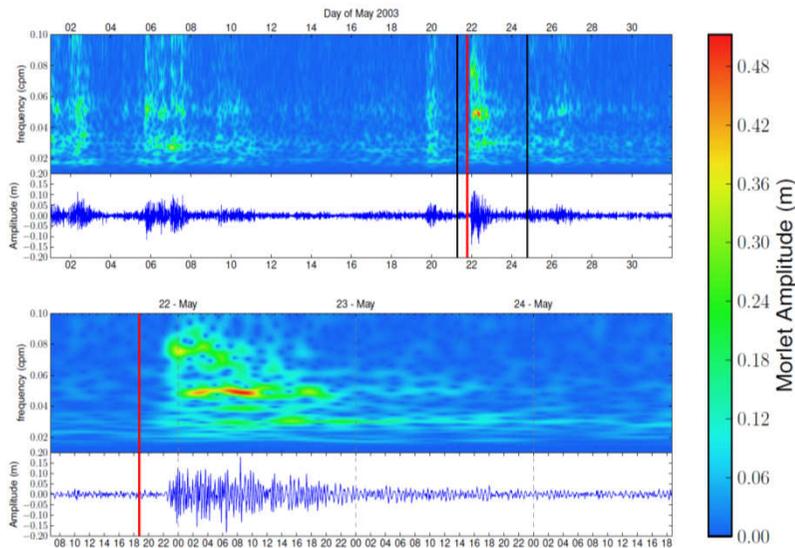
onance  
oriques

Hélène H.

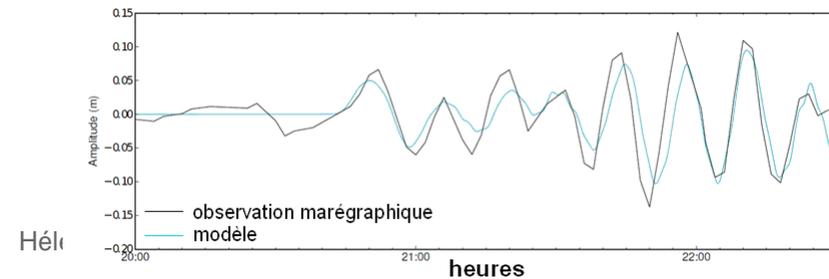
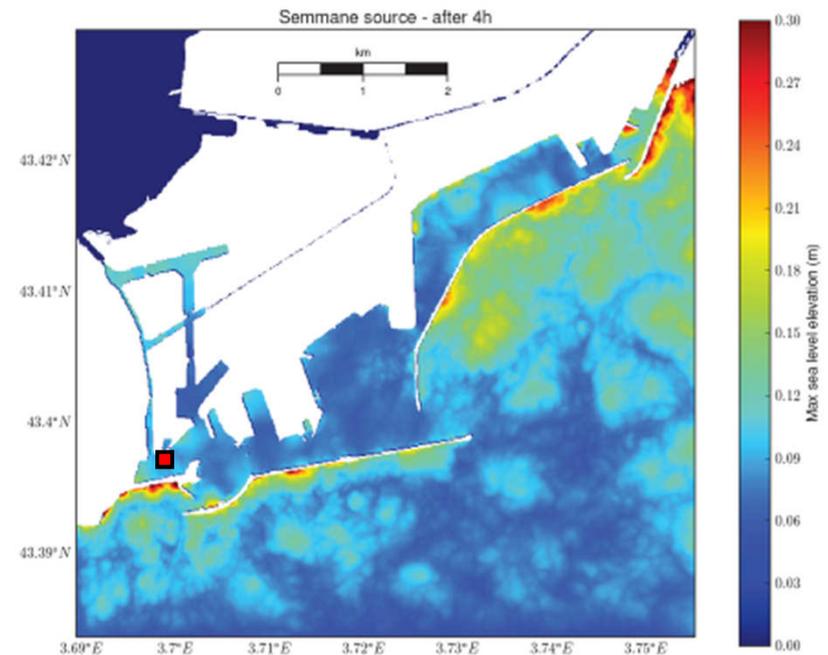
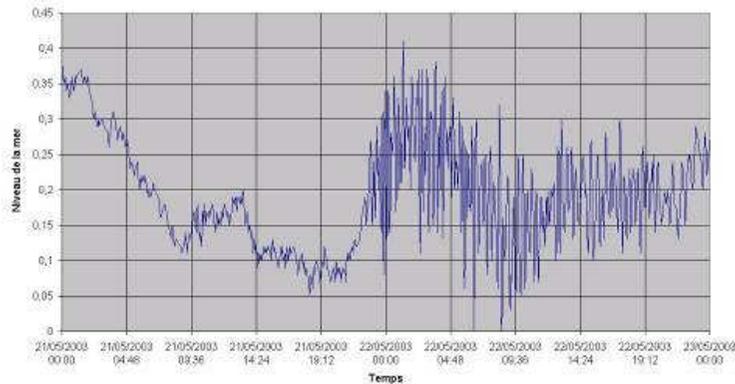


## Séisme de Boumerdès (Algérie), mai 2003 ( $M_w = 6.9$ )

- tsunami ayant causé des dégâts aux Baléares
- observé en France, par exemple, Sète → ajustement de modèles numériques



Sète Heure Locale (GMT+ 2) Données Port autonome



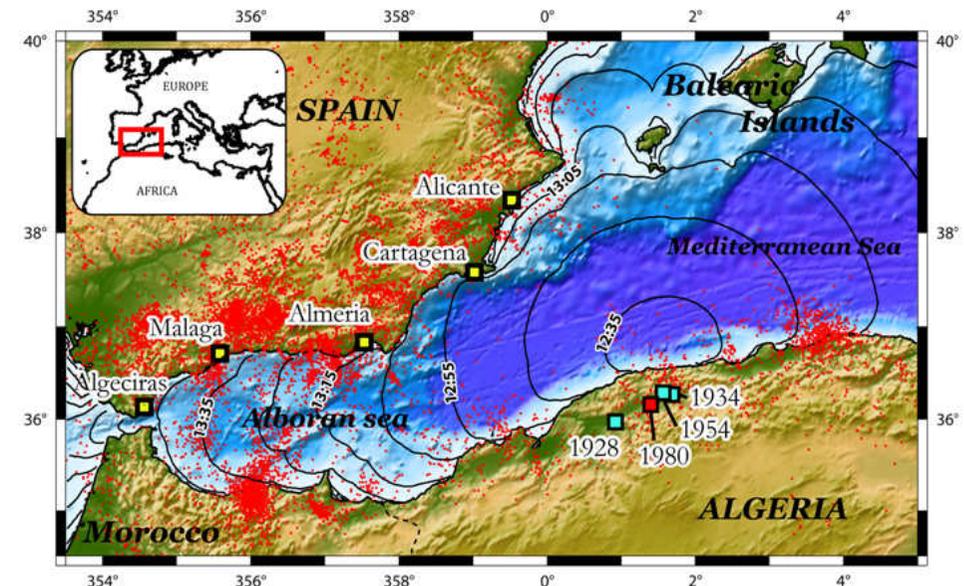
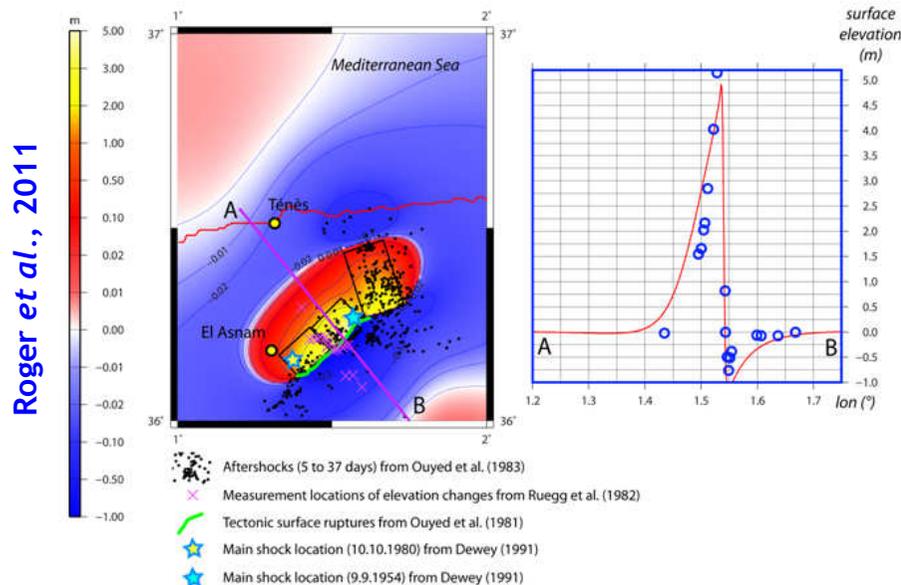
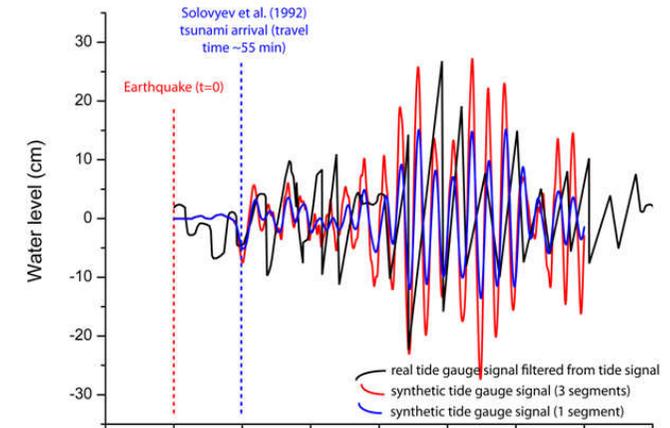
## Modélisation des marégrammes espagnols

- périodes dominantes 15-20 min
- temps d'arrivée compatible avec le déclenchement cosismique ≠ turbidité

## Discussion de la source

- extension des répliques vers la mer

## Ajustement des amplitudes à Alicante



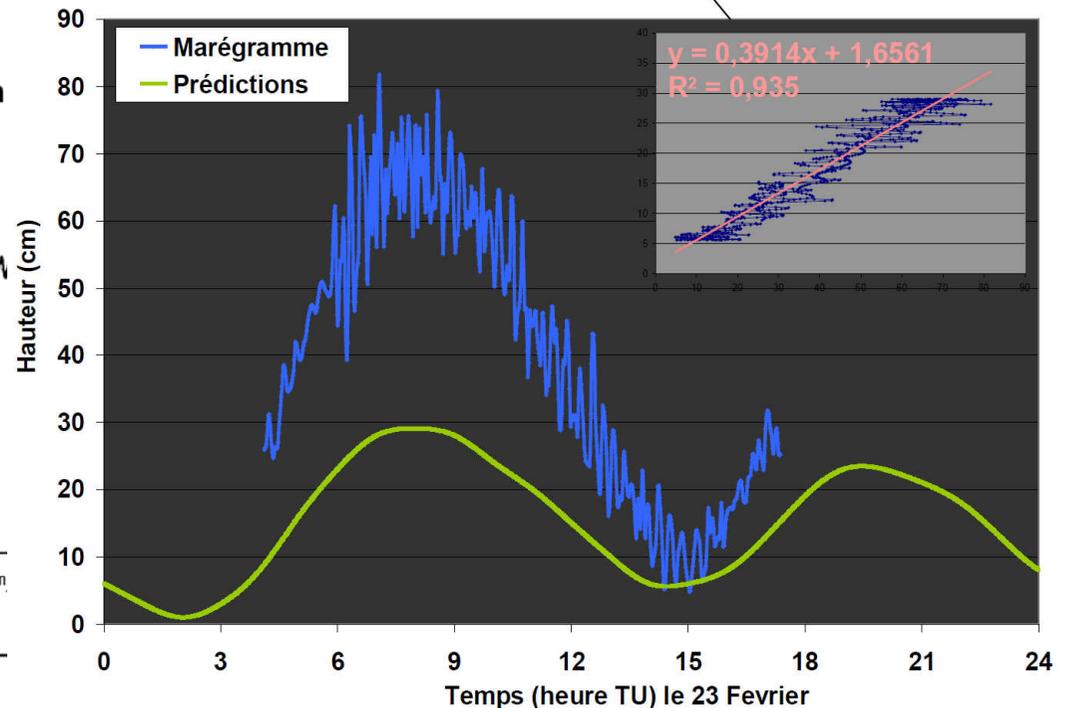
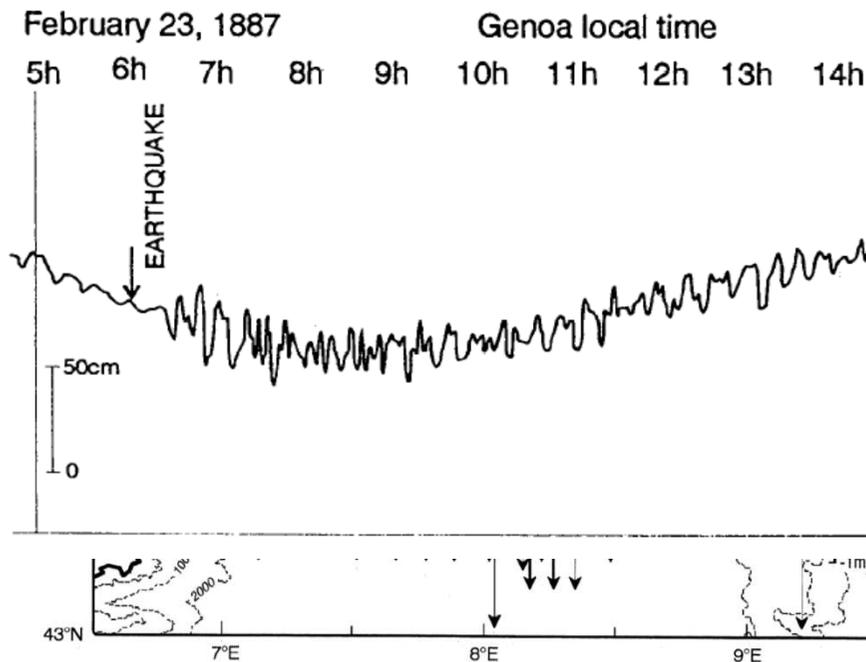
# TSUNAMI DE 1887 (GOLFE DE GÊNES)

## Tsunami significatif en Mer Ligure

- magnitude du séisme de 6.2 à 6.5
- marégramme historique publié (Eva et Rabinovich, 1997)

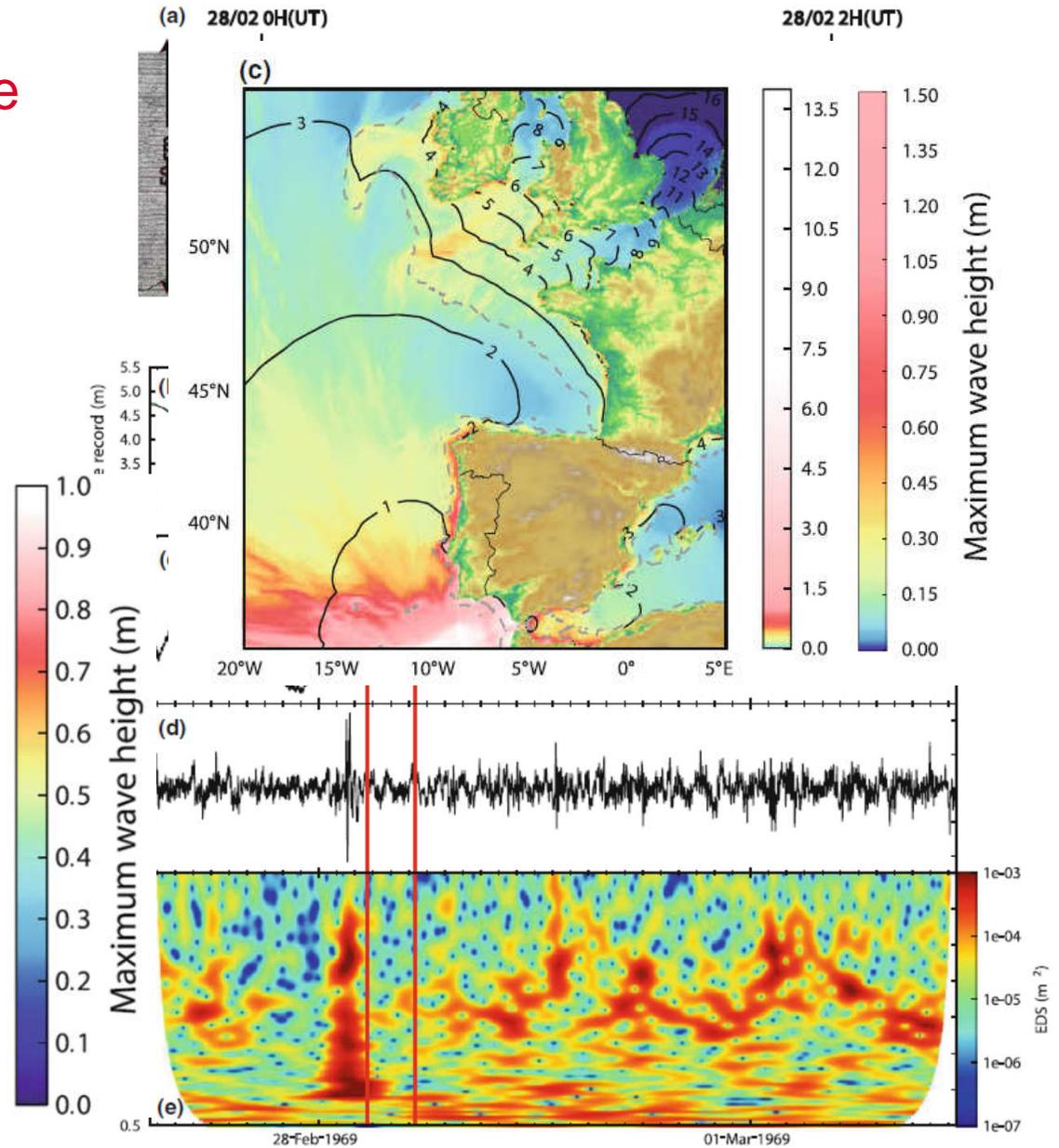
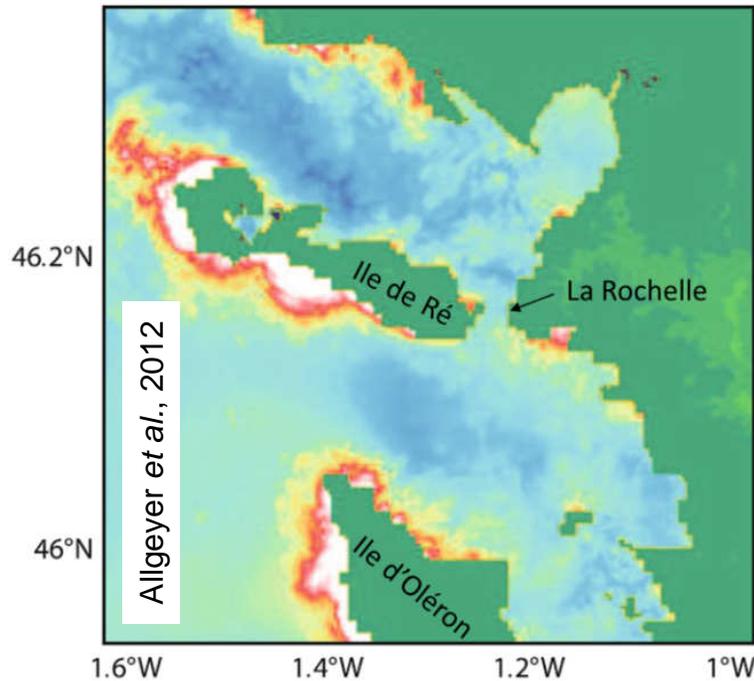
## Analyse par le SHOM (projet ANR MAREMOTI)

- comparaison avec la marée théorique : révision d'un facteur  $\sim 2.5$   
 $\sim 0.4 \rightarrow \text{hauteurs (publi)} = 2.5 \times \text{hauteurs réelles}$



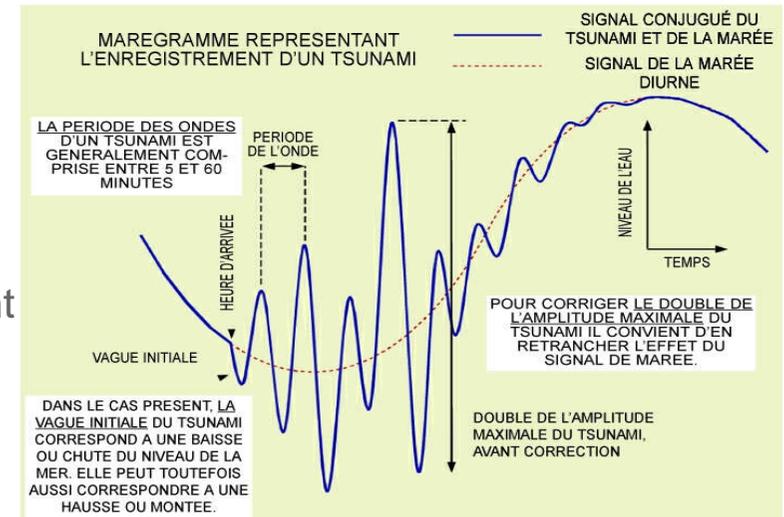
## Marégrammes du 20<sup>e</sup> siècle

- pas d'observations à la Rochelle
- simulation numérique
  - validation du modèle du port
- scénario possible pour 1755
  - impact plus notable



## Apports des données marégraphiques

- tsunamigramme
  - seule description quantifiée de l'impact d'un tsunami
- analyse des résonances des sites portuaires pendant l'excitation due aux tsunamis
  - effets de site
  - test de performance des modèles
- les observables historiques permettent de discuter de cas passés et de proposer des scénarios



## Perspectives

- marégraphie opérationnelle (CENALT)
  - outils de suivi et d'analyse en continu
  - mise en évidence de surcotes
- rôle central de la marégraphie côtière en l'absence de capteurs au large
  - besoin de modèles côtiers haute résolution au cours de la propagation



Merci



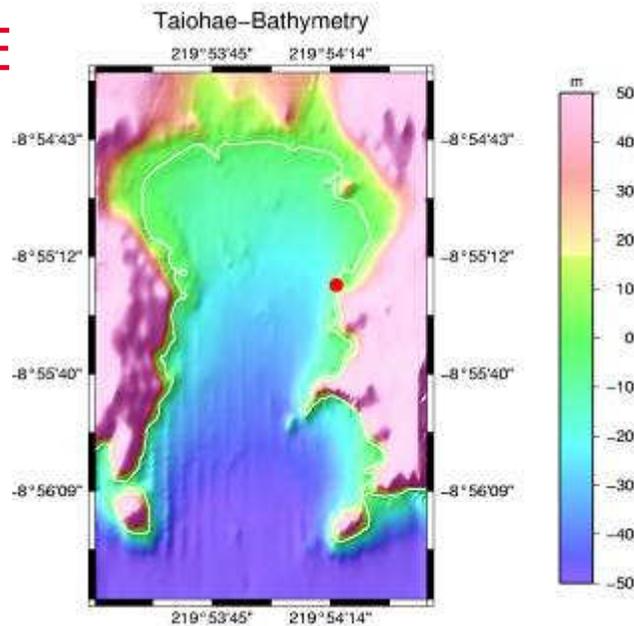
Formulation avec le coefficient de Chézy  $C_f$ 

$$F_x = \frac{g|U|}{C_f^2(h+\eta)} U_x$$

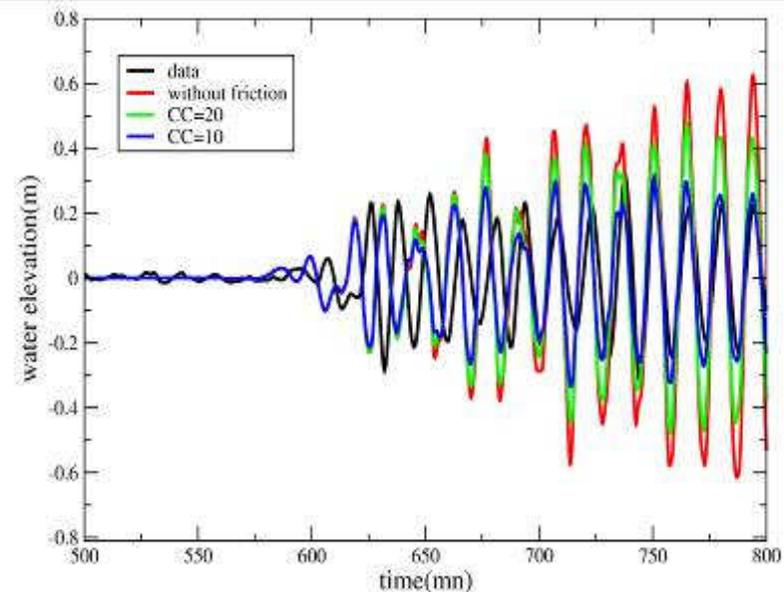
$$F_y = \frac{g|U|}{C_f^2(h+\eta)} U_y$$

- très peu de connaissances *a priori* des coefficients à utiliser
- l'introduction d'une rétroaction entre grilles permet également de stabiliser les amplifications artificielles

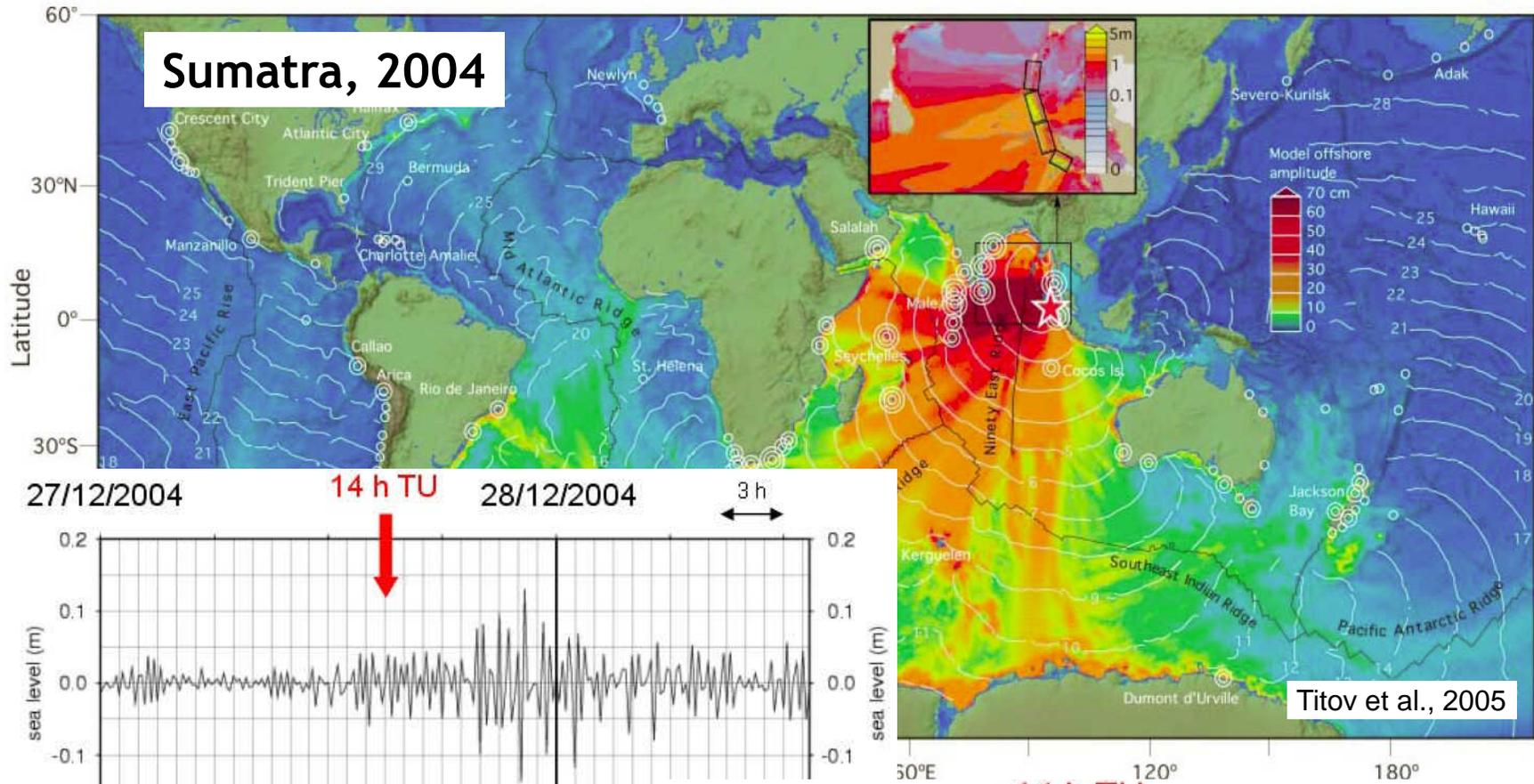
E



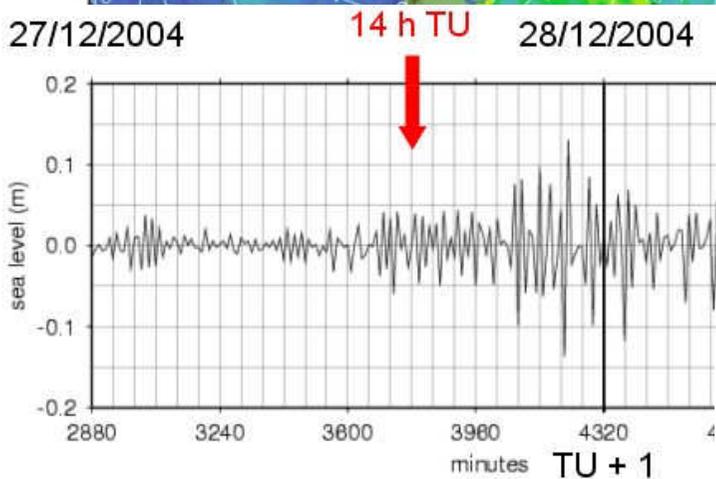
site au



# Sumatra, 2004



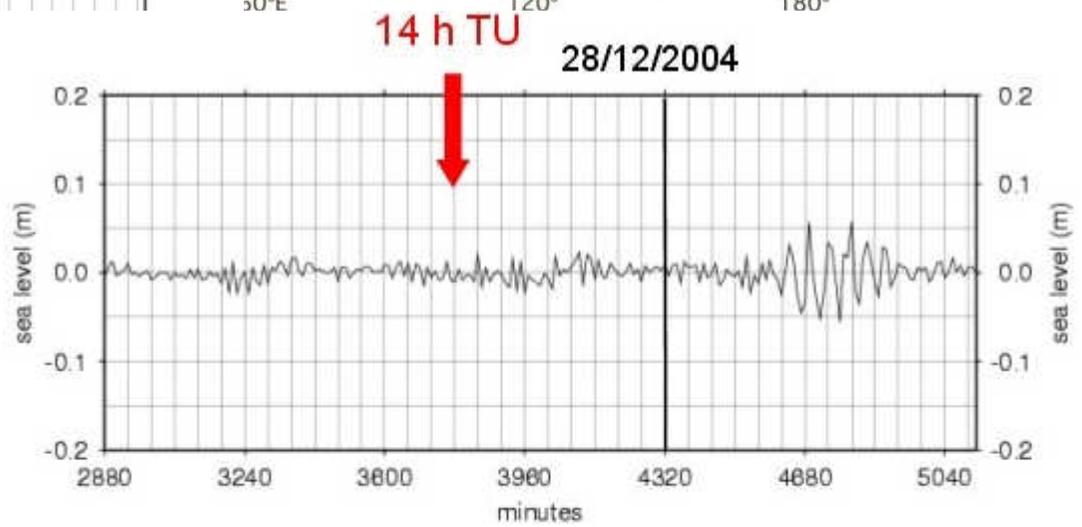
Titov et al., 2005



**Concarneau ~ 20 cm**

données SHOM

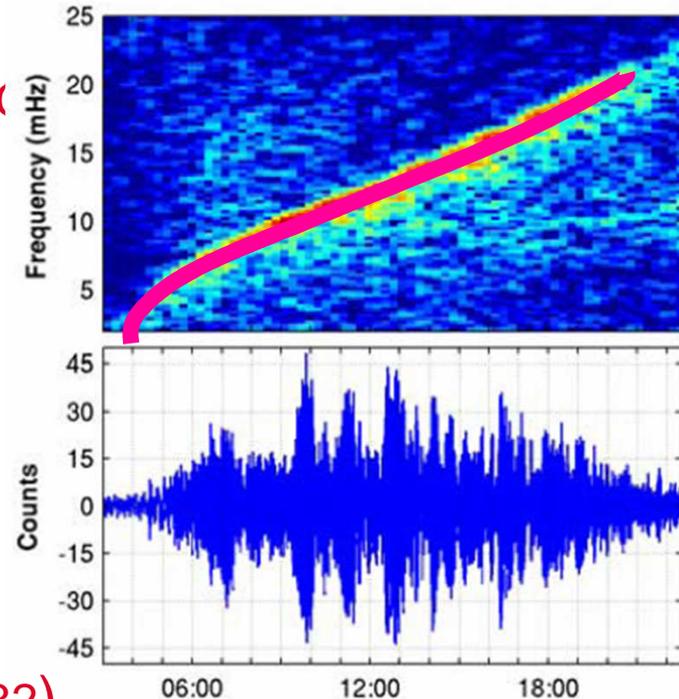
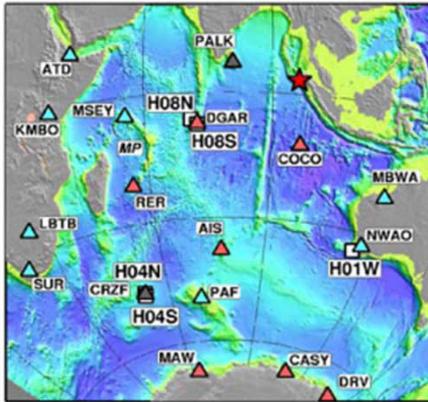
**Le Havre ~ 10 cm (?)**



## DISPERSION DES TSUNAMIS ?

## Enregistrements dispersifs pour le tsunami (

- sur de nombreux hydrophones



Hanson et al., 2005

## Accord avec la théorie dispersive (Lamb, 1932)

$$\omega^2 = gk \tanh(kh)$$

- vitesse de phase  $c = \frac{\omega}{k}$
- vitesse de groupe  $\frac{\partial \omega}{\partial k}$

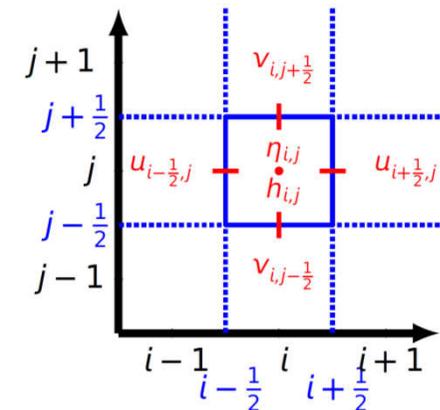
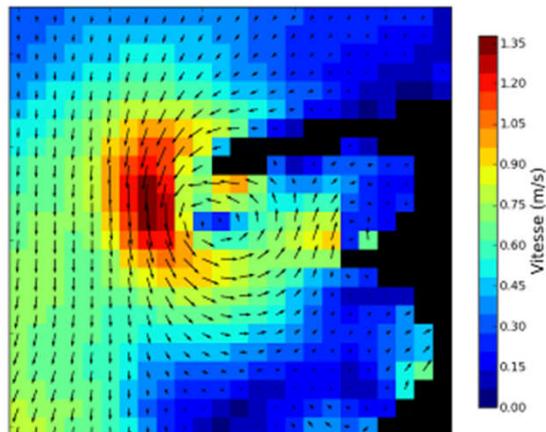
## A prendre en compte pour une description correcte des formes d'onde

- en particulier arrivées tardives

- Résolution par différences finies
  - adaptée des travaux de Mader (1988 : explicite, monogridde) (Heinrich et al., 1996)
  - introduction d'un schéma de Crank Nicolson itératif
  - multigrille : couplage entre grilles bathymétriques de résolution croissante
    - jusqu'à des pas de grilles métriques dans les ports
- depuis 2010 : code parallélisé (CCRT)



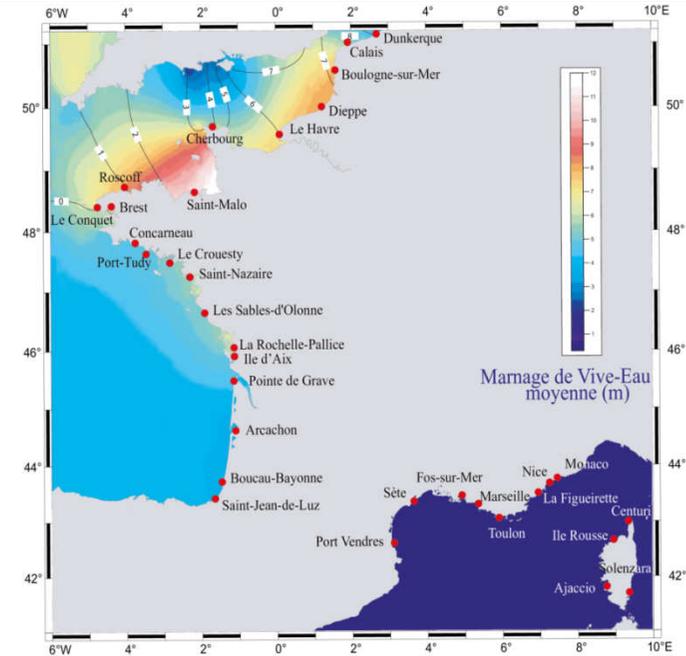
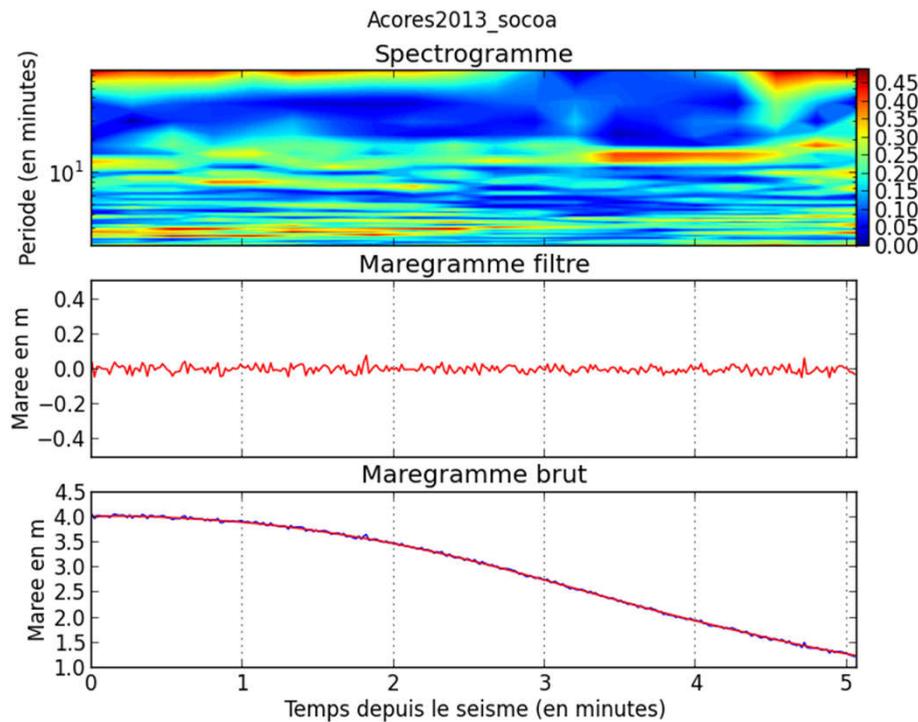
Jamelot, Allgeyer, Defief, 2010



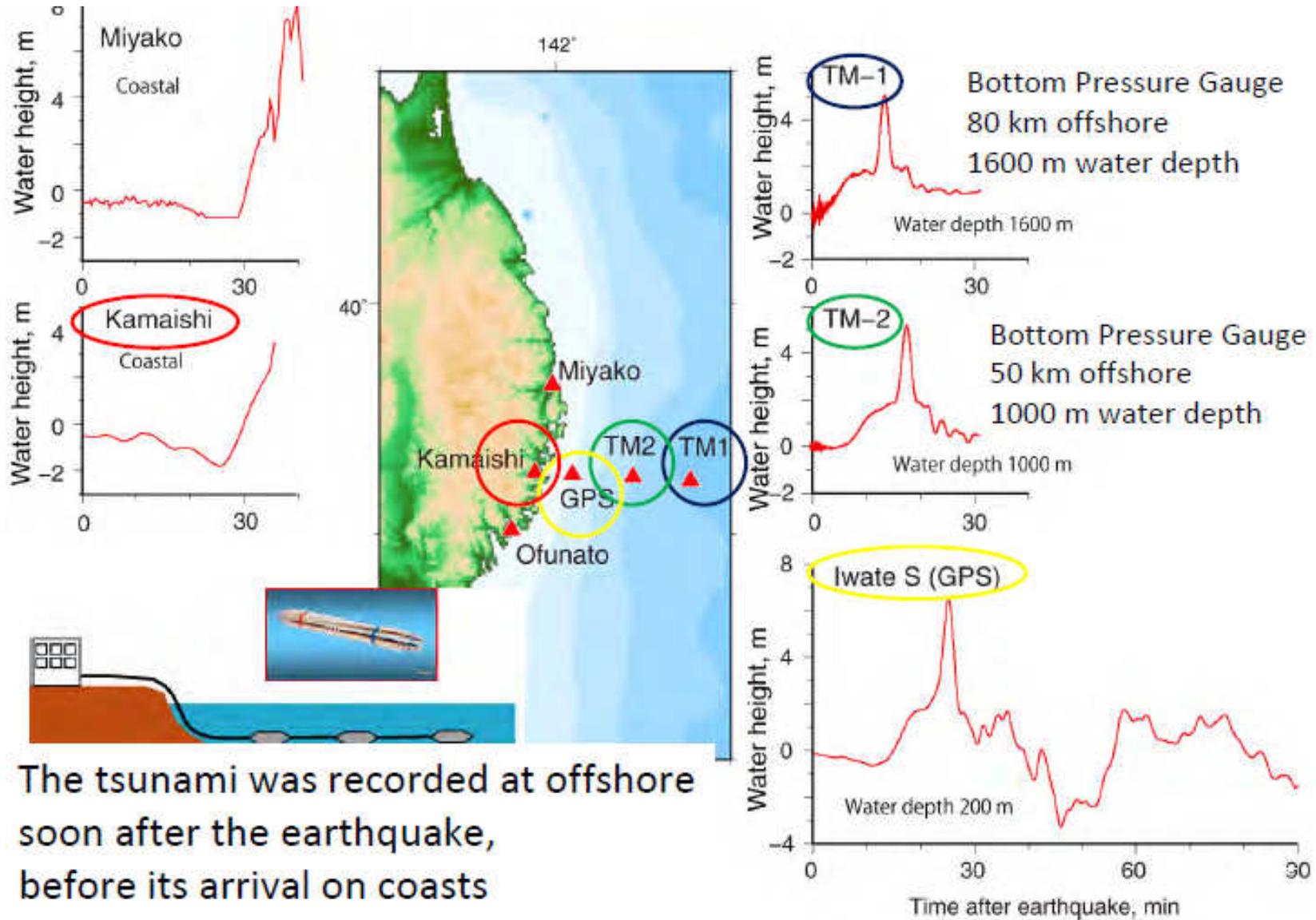
## Réseau marégraphique modernisé (SHOM)

- réception des données temps réel
- suivi du niveau de la mer en contexte d'alerte, et également en continu

## Séisme du 30 avril 2013

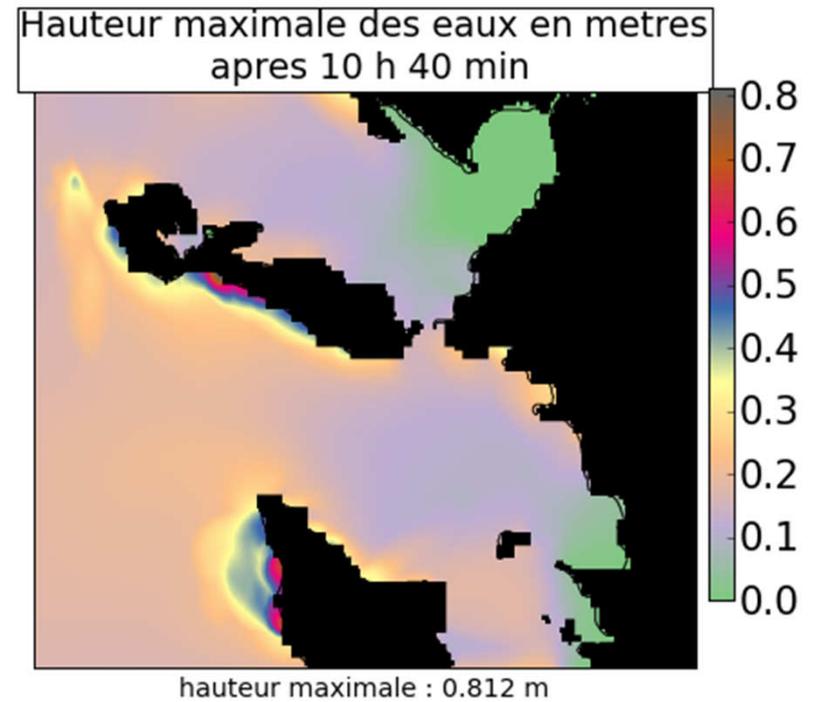
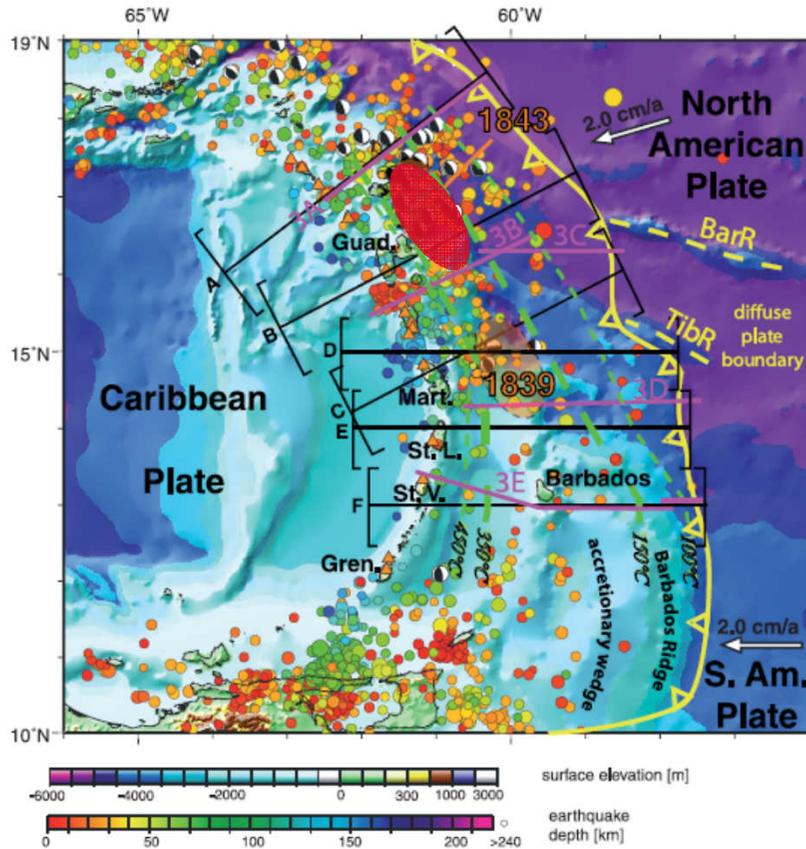


# ENREGISTREMENTS AU LARGE



The tsunami was recorded at offshore soon after the earthquake, before its arrival on coasts

## A 1843-like scenario from the Guadeloupe area



Jean Roger – Antoine Frère - 2013