

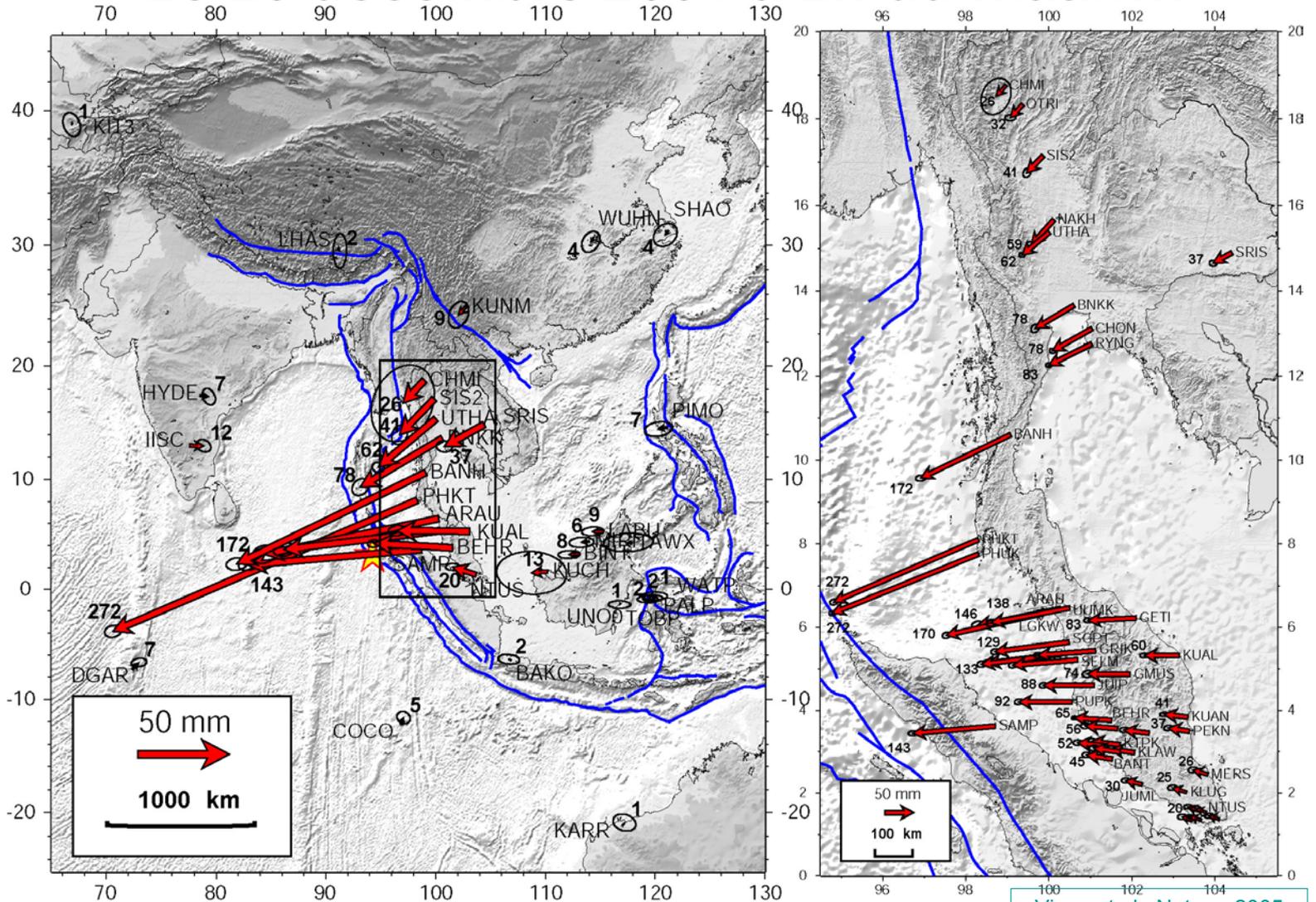
Les grands séismes mesurés par satellites

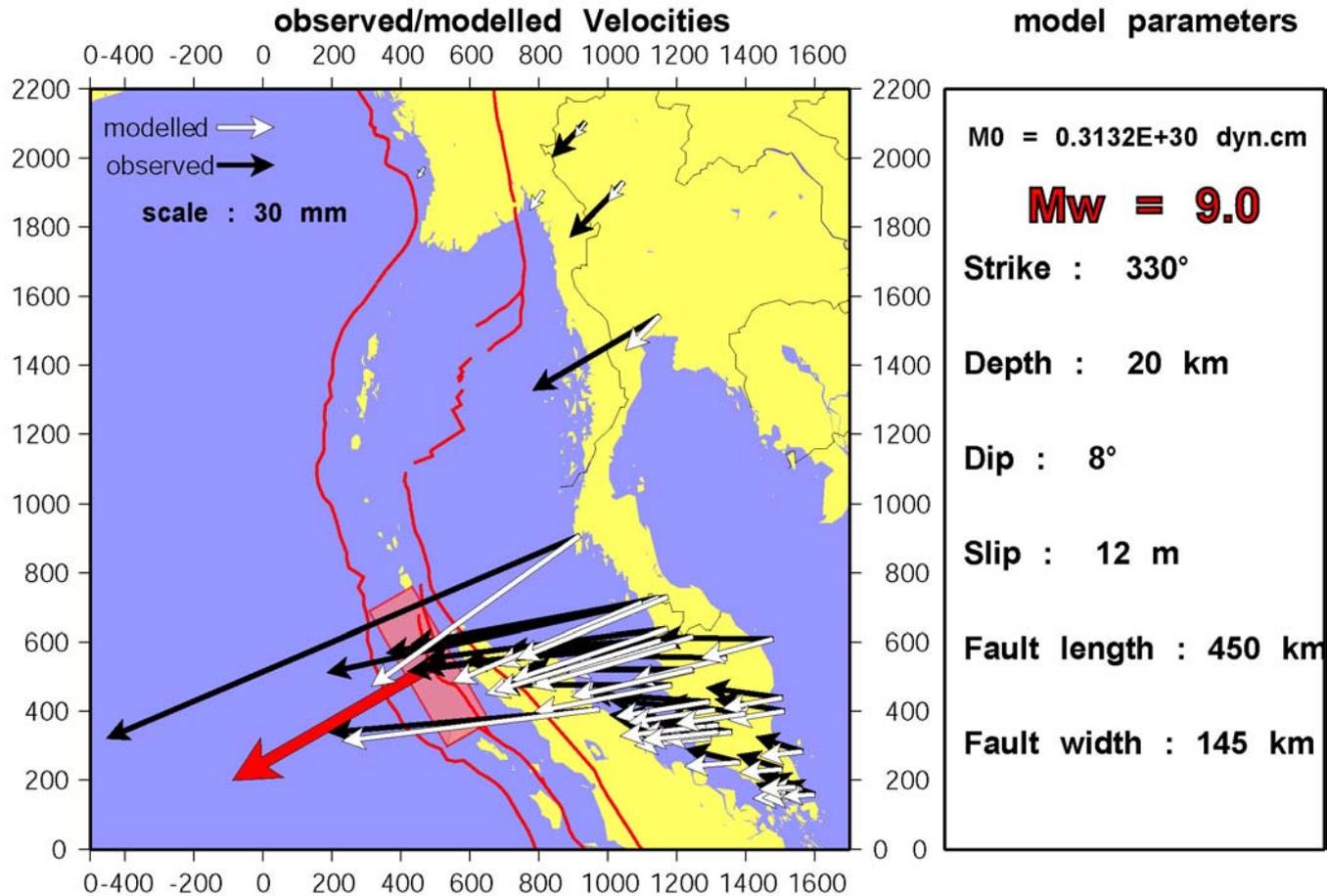
Christophe Vigny*



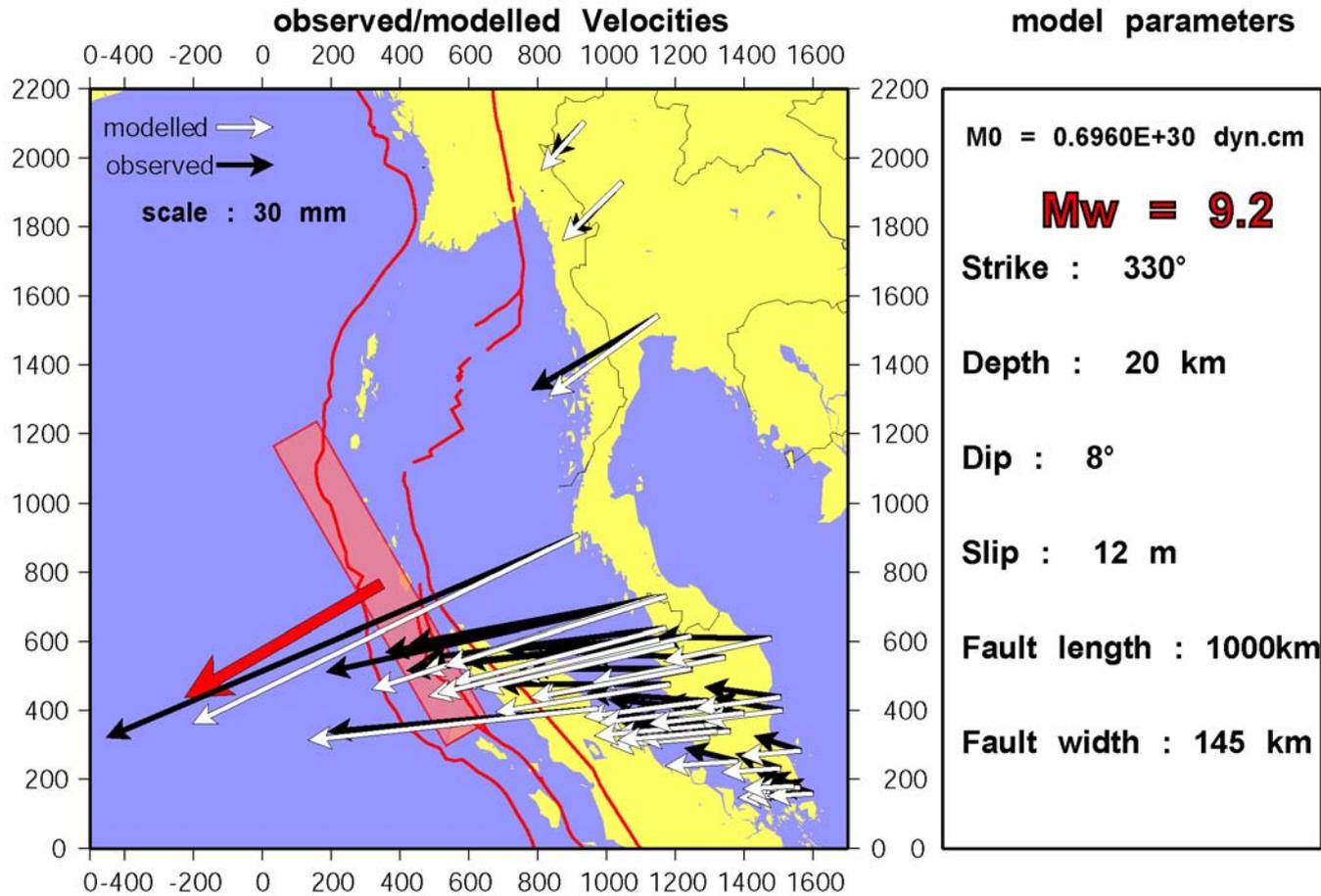
*département des Geosciences de l'ENS / UMR 8538 du CNRS
<http://www.geologie.ens.fr/~vigny>

Le 26 décembre 2004 à 2h du matin...

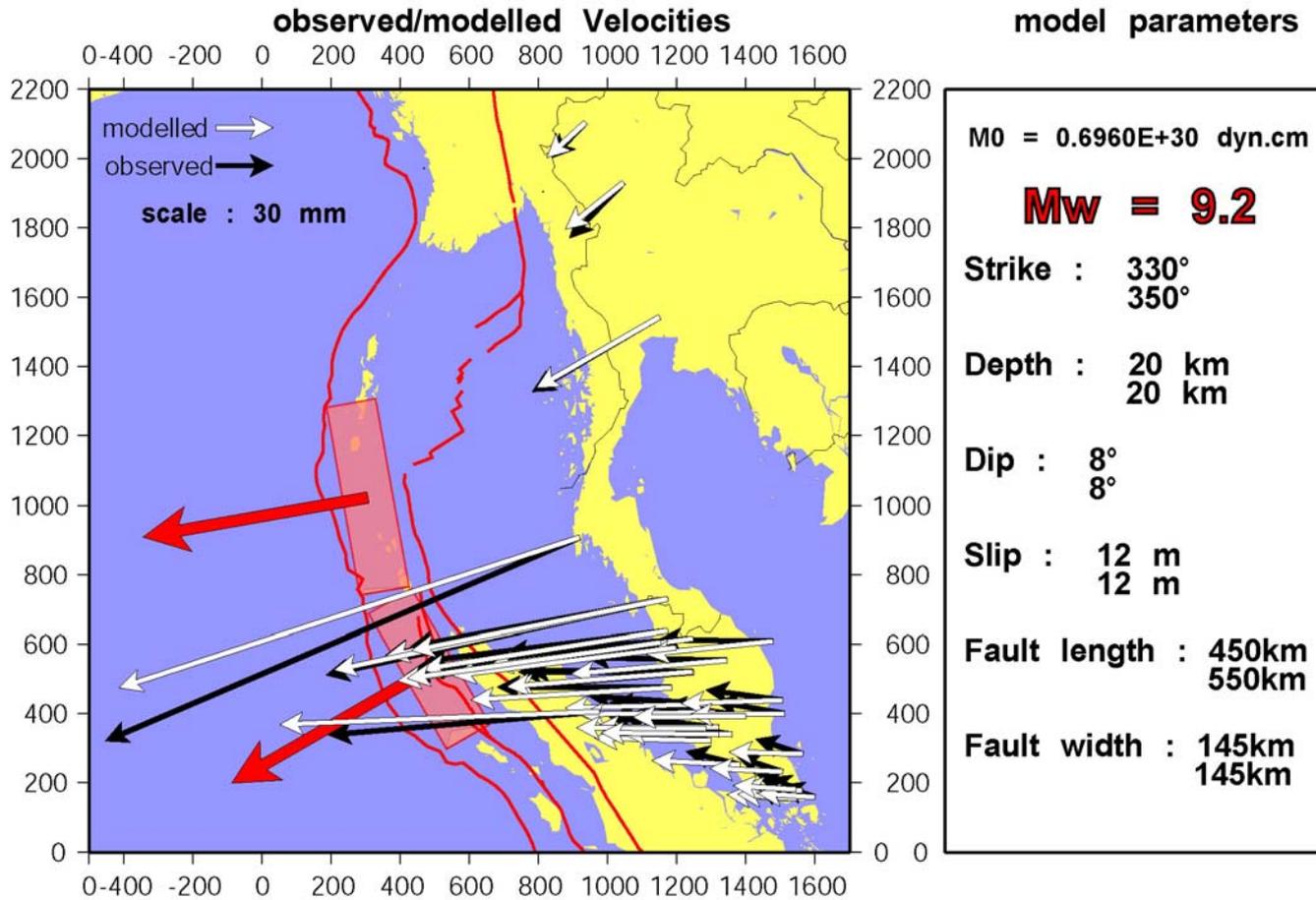




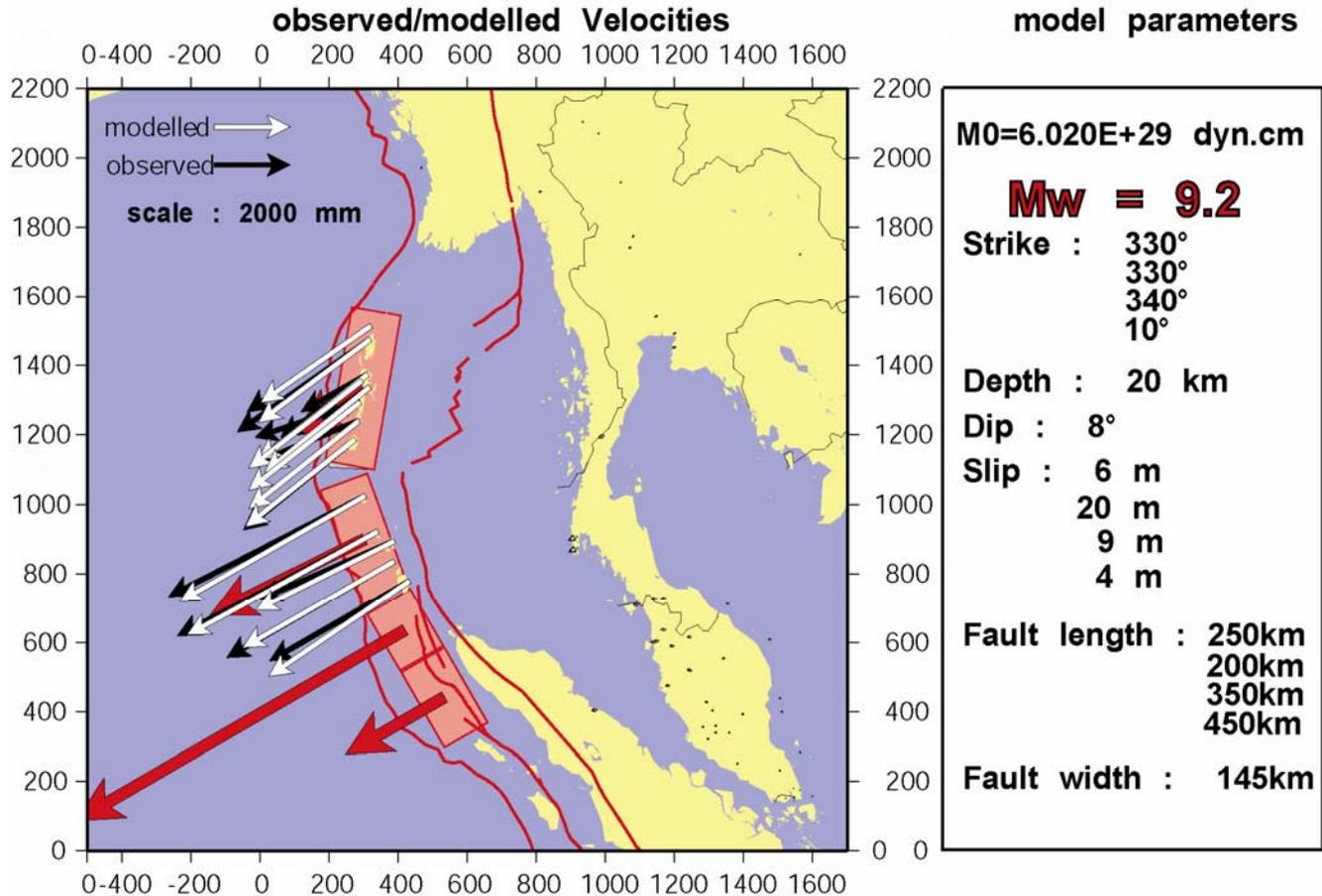
Une rupture de 450 km de long donne à peu près la magnitude rapporté initialement ($M_w=9.0$), mais n'explique pas le champ de déformation mesuré



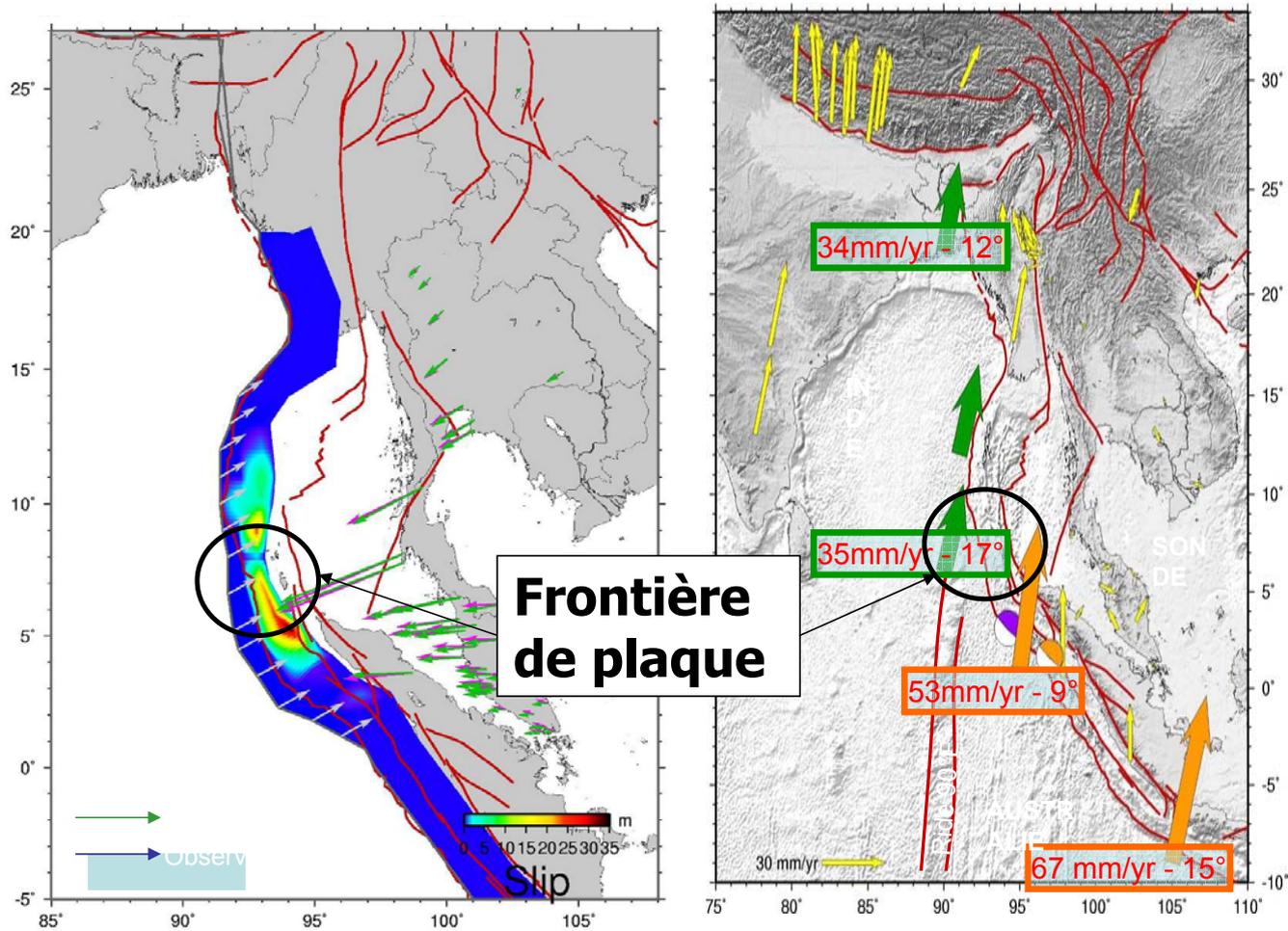
La déformation en Thaïlande ne s'explique qu'à l'aide d'une rupture beaucoup plus longue (~1000km), ce qui donne une magnitude plus grande ($M_w=9.2$)



On peut affiner le modèle, pour mieux prédire les déformations mesurées (en particulier dans le Nord de la Malaisie)



Avec des mesures réalisées après en Birmanie et aux îles Andaman, on peut continuer à affiner le modèle. Le glissement de la partie Nord de la rupture n'a pas la même direction....



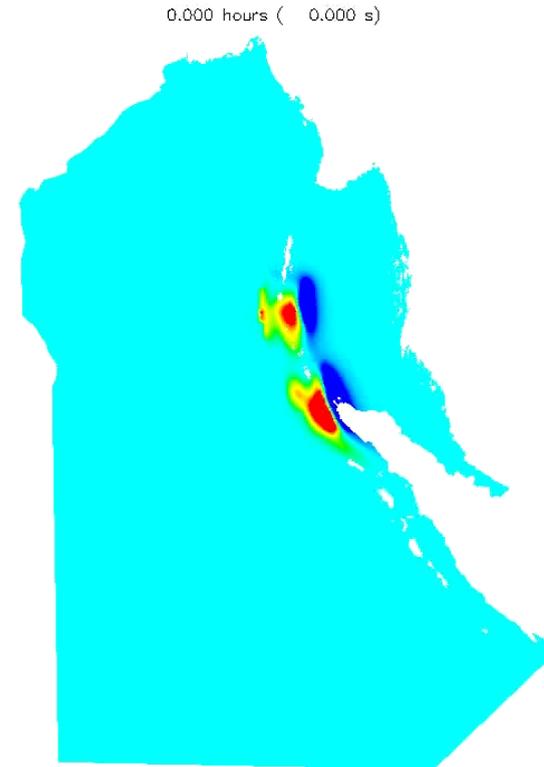
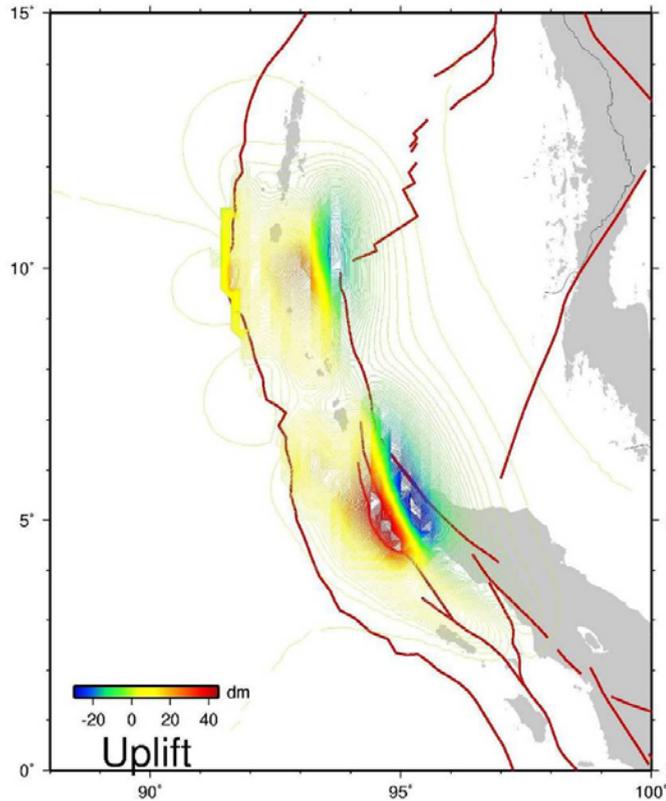
Vigny et al., 2005; Socquet et al., 2006

Les mouvements verticaux prédits par le modèle permettent de calculer le Tsunami

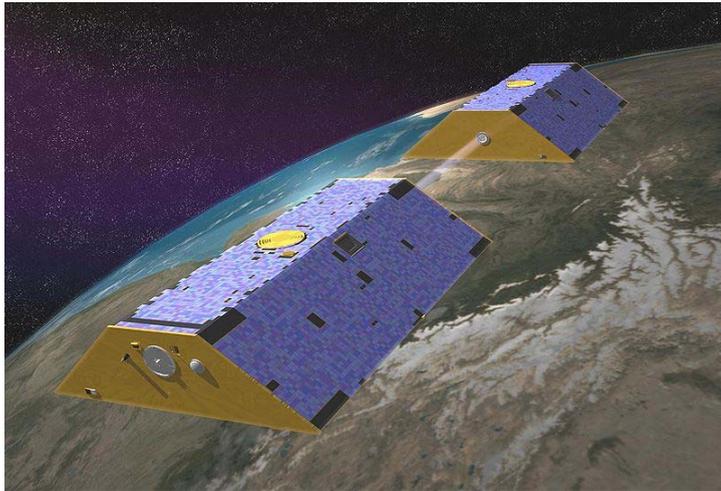
- 4 m de surrection
- 2 m de subsidence



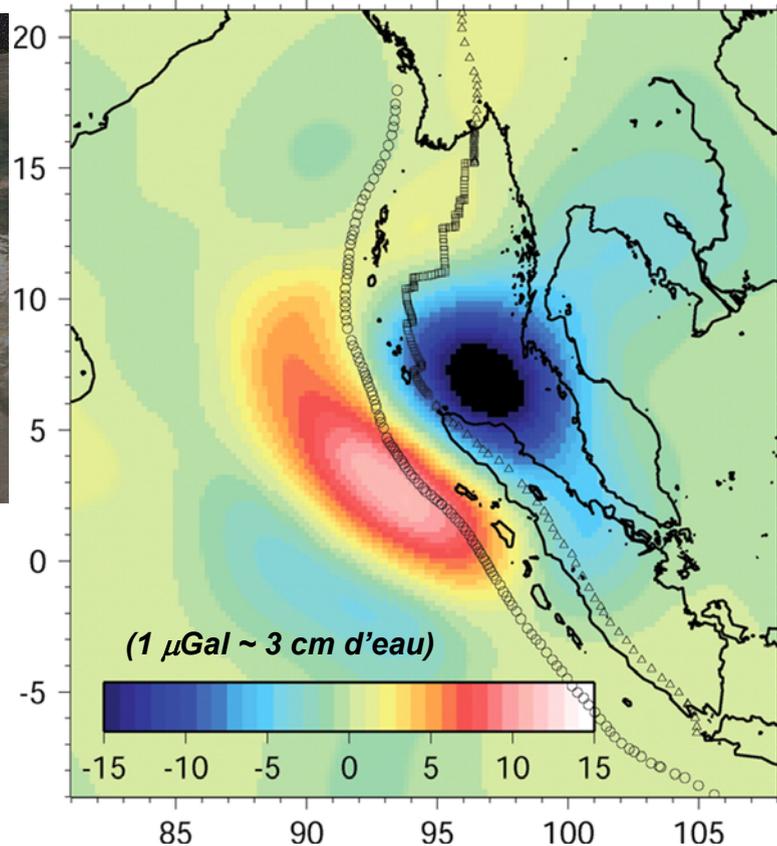
modélisation du Tsunami



Parenthèse: les mesures gravi-spatiales voient aussi le séisme

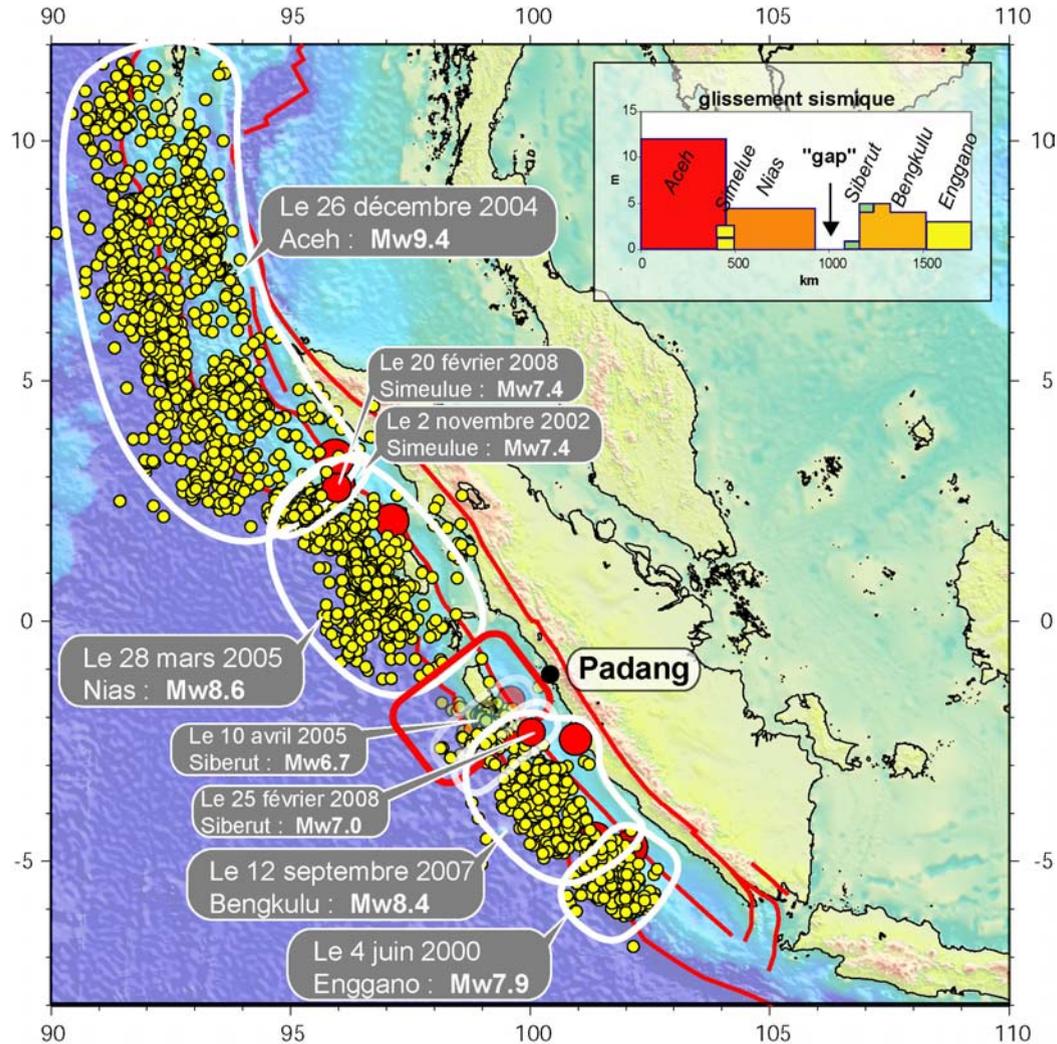


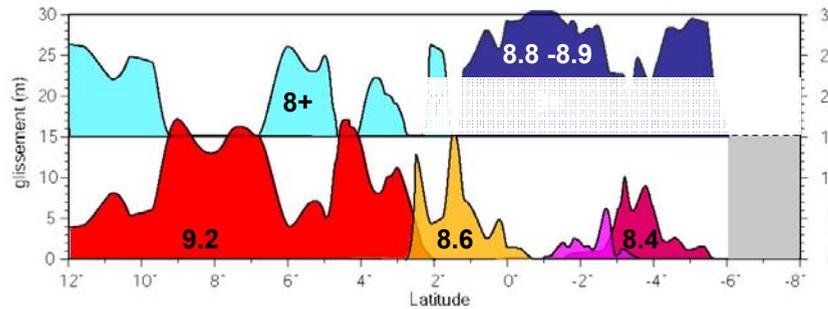
GRACE : La distance entre les deux satellites (Tom & Jerry) varie en fonction des variations du champ de pesanteur



Changement de gravité (en μGal)
sur 2 ans de part et d'autre de l'événement

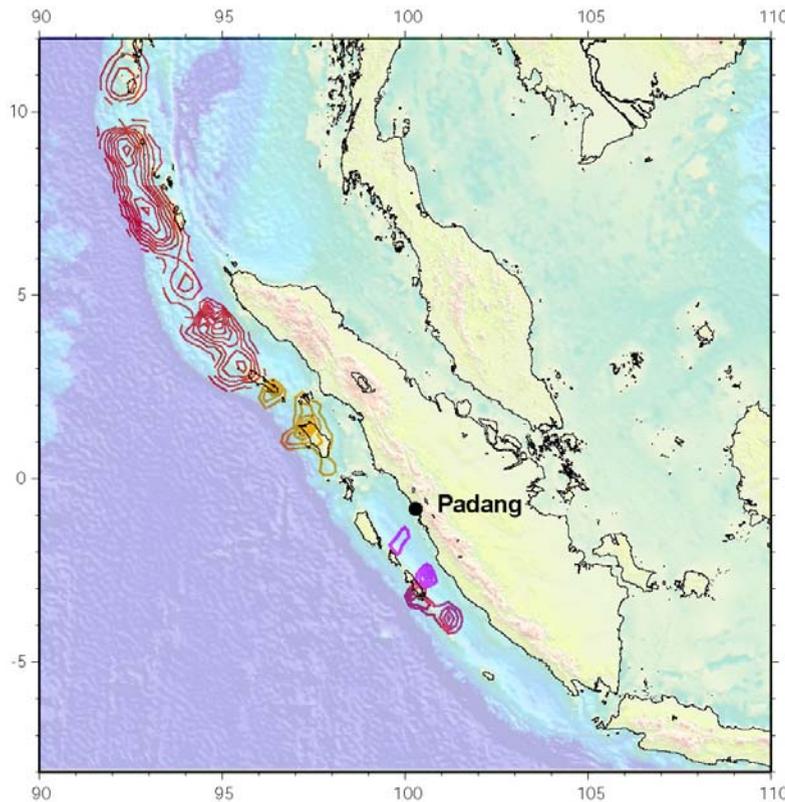
Les Séismes de Sumatra et l'aléa





7.5 m uniform slip
 =
 250 years at 3 cm/y

Estimation
 grossière de
 l'aléa
 sismique

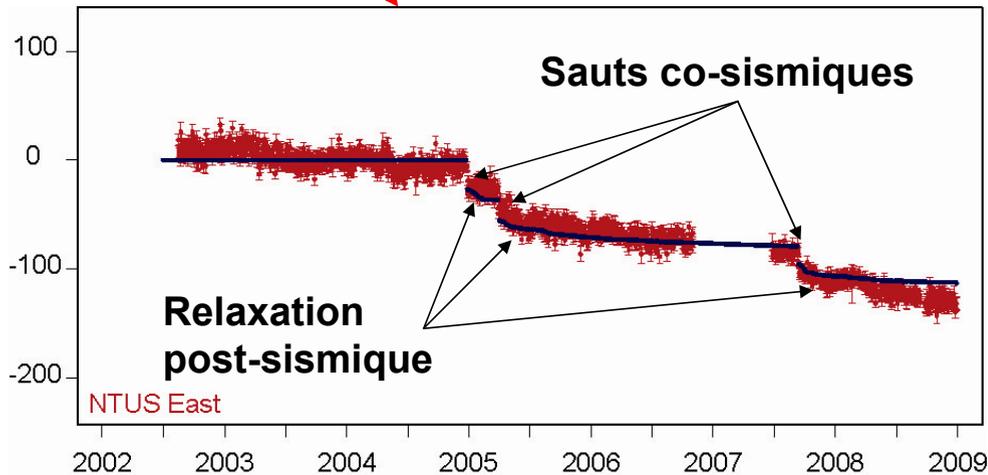
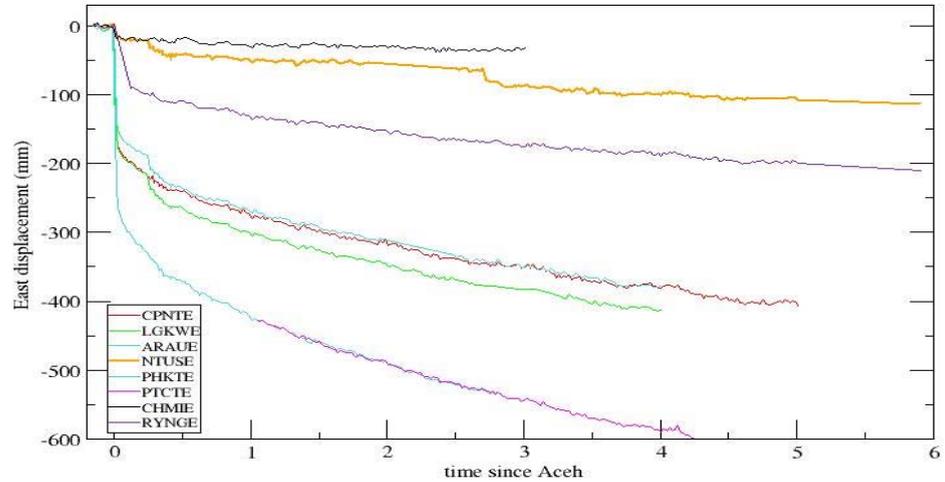
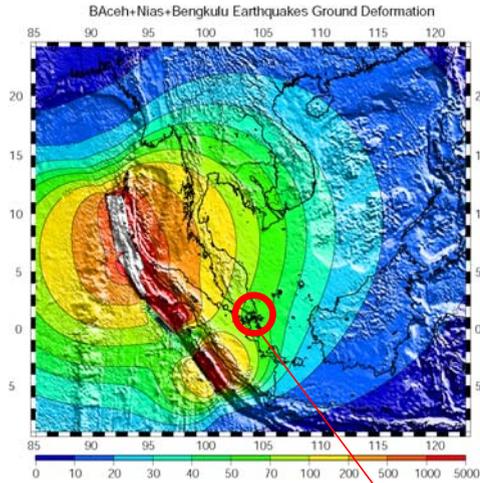


Grossier parce-que:

-l'accumulation de
 déformation n'est
 pas forcément
 partout la même...
 (où sont les
 aspérités ?)

-Il peut y avoir du
 glissement
 autrement que lors
 d'un séisme

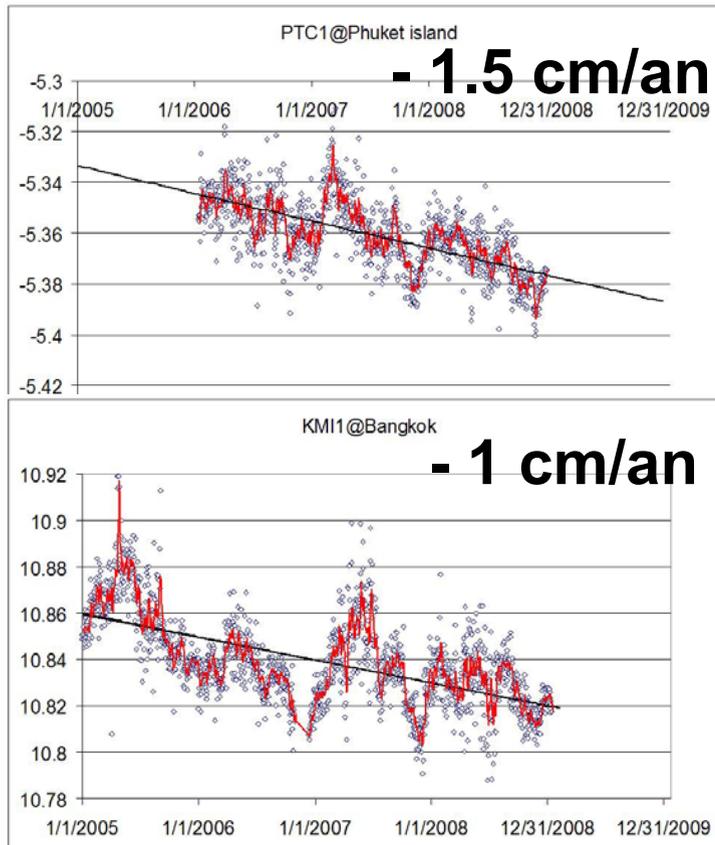
Glissement non sismique: Déformation post-sismique



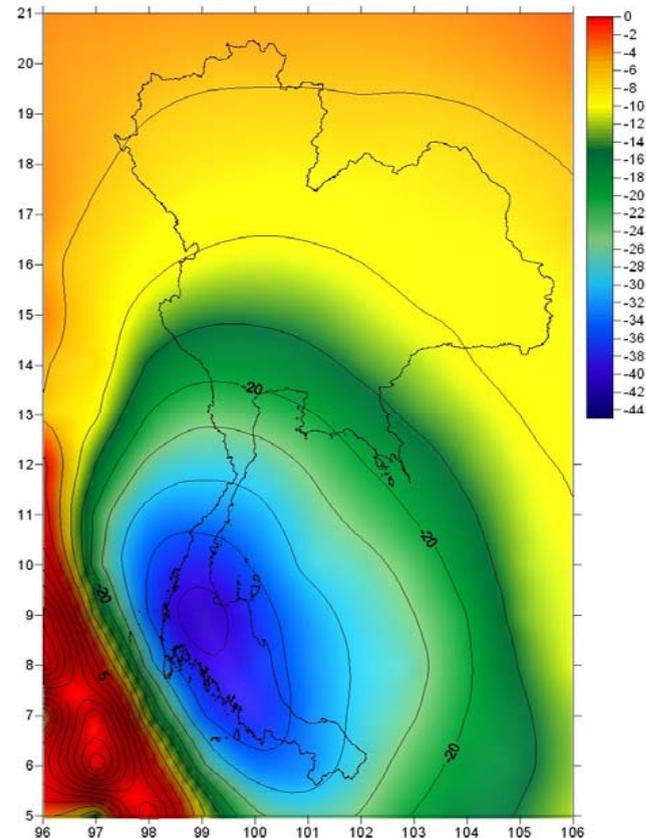
La relaxation visqueuse après le séisme :
1-10 cm/an !!!!
va durer des décennies

Subsidence en Thaïlande déclenchée par le séisme de Sumatra

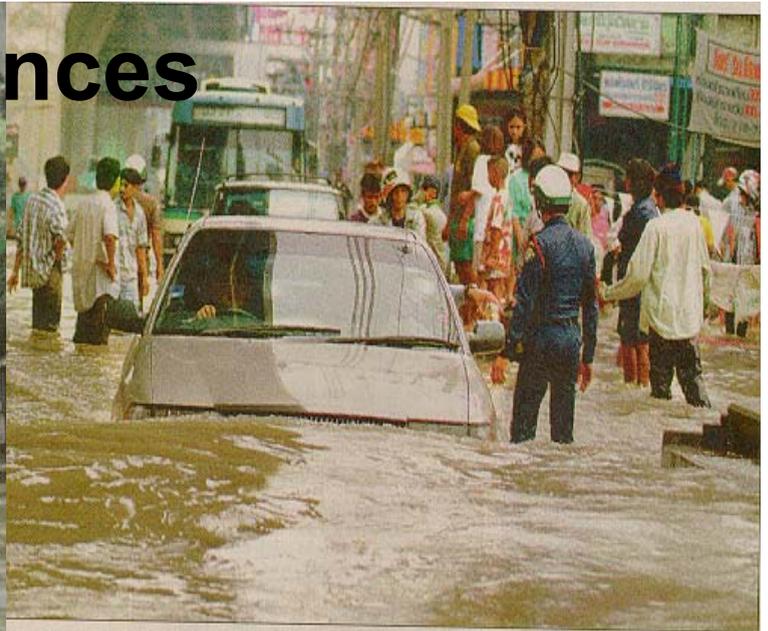
Les Mesures



Le Modèle

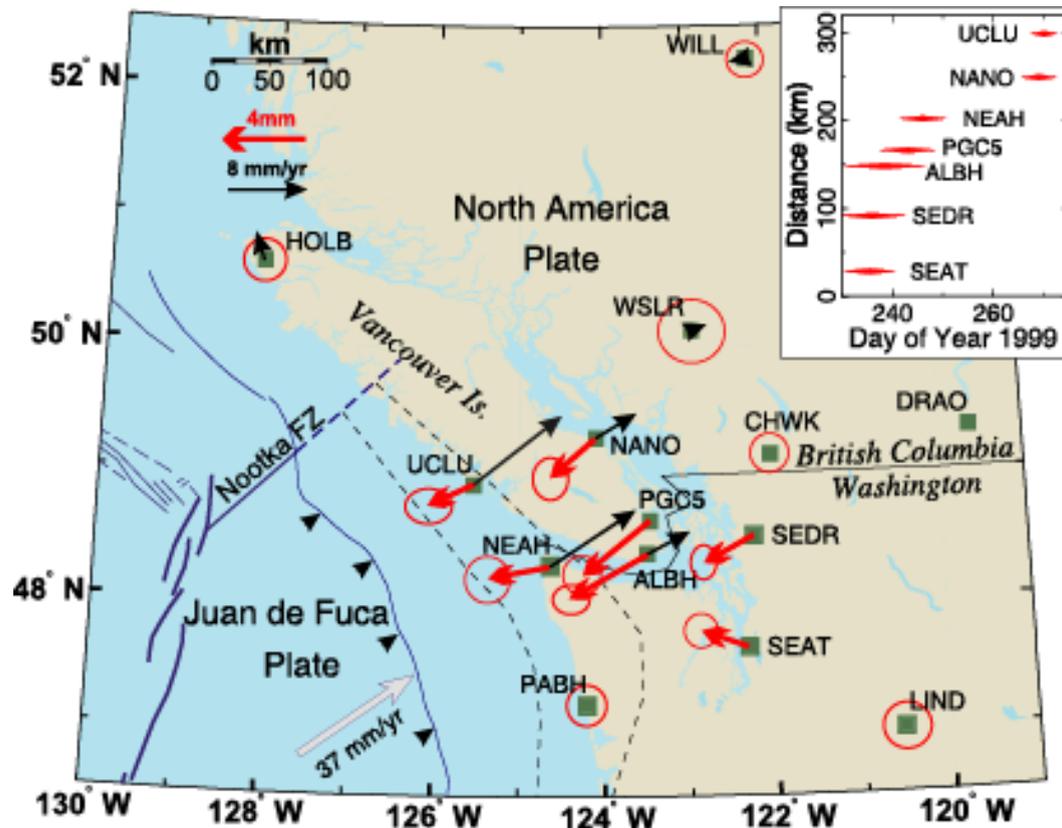


Les conséquences

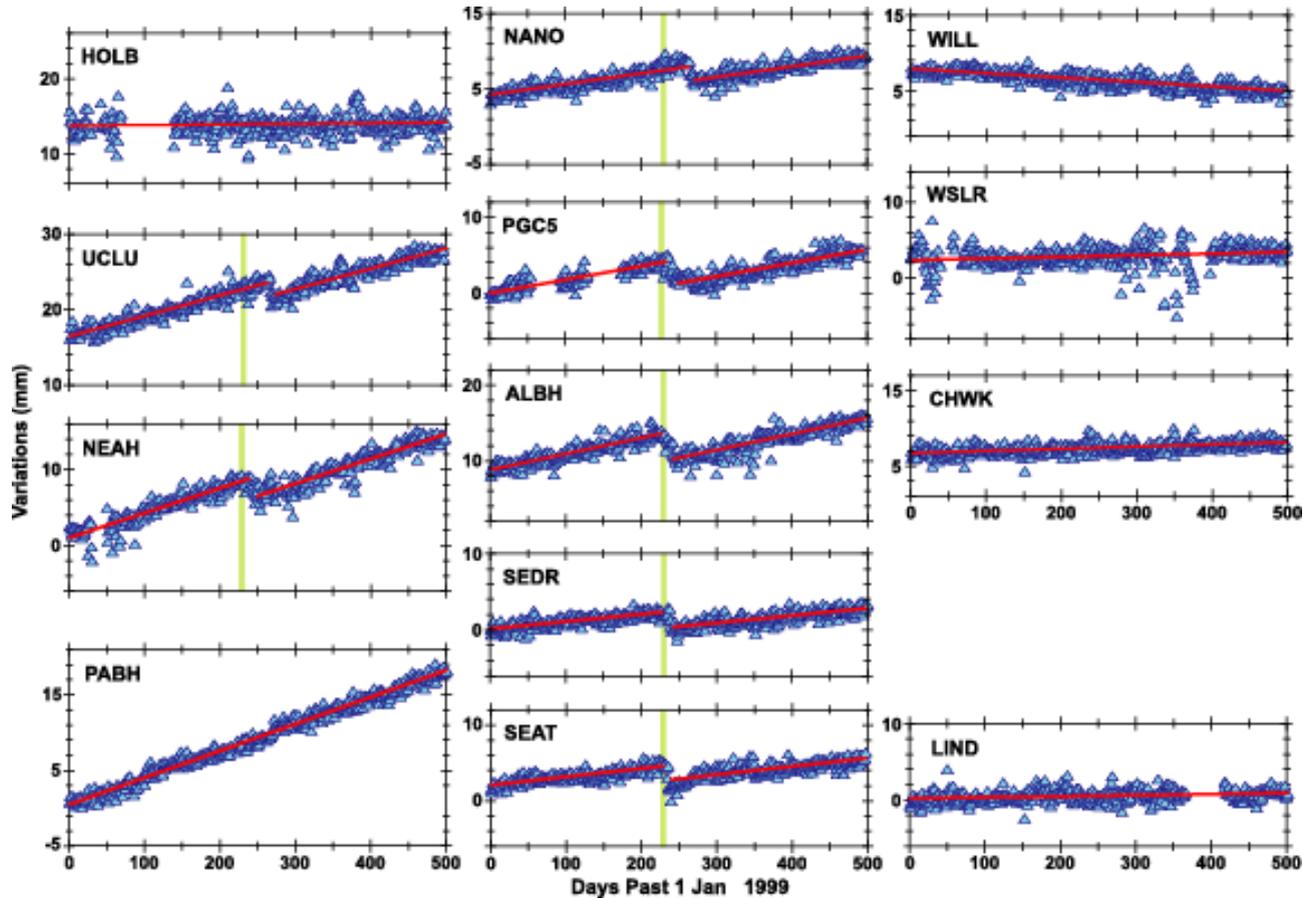


Glissement non sismique: glissements lents et épisodiques

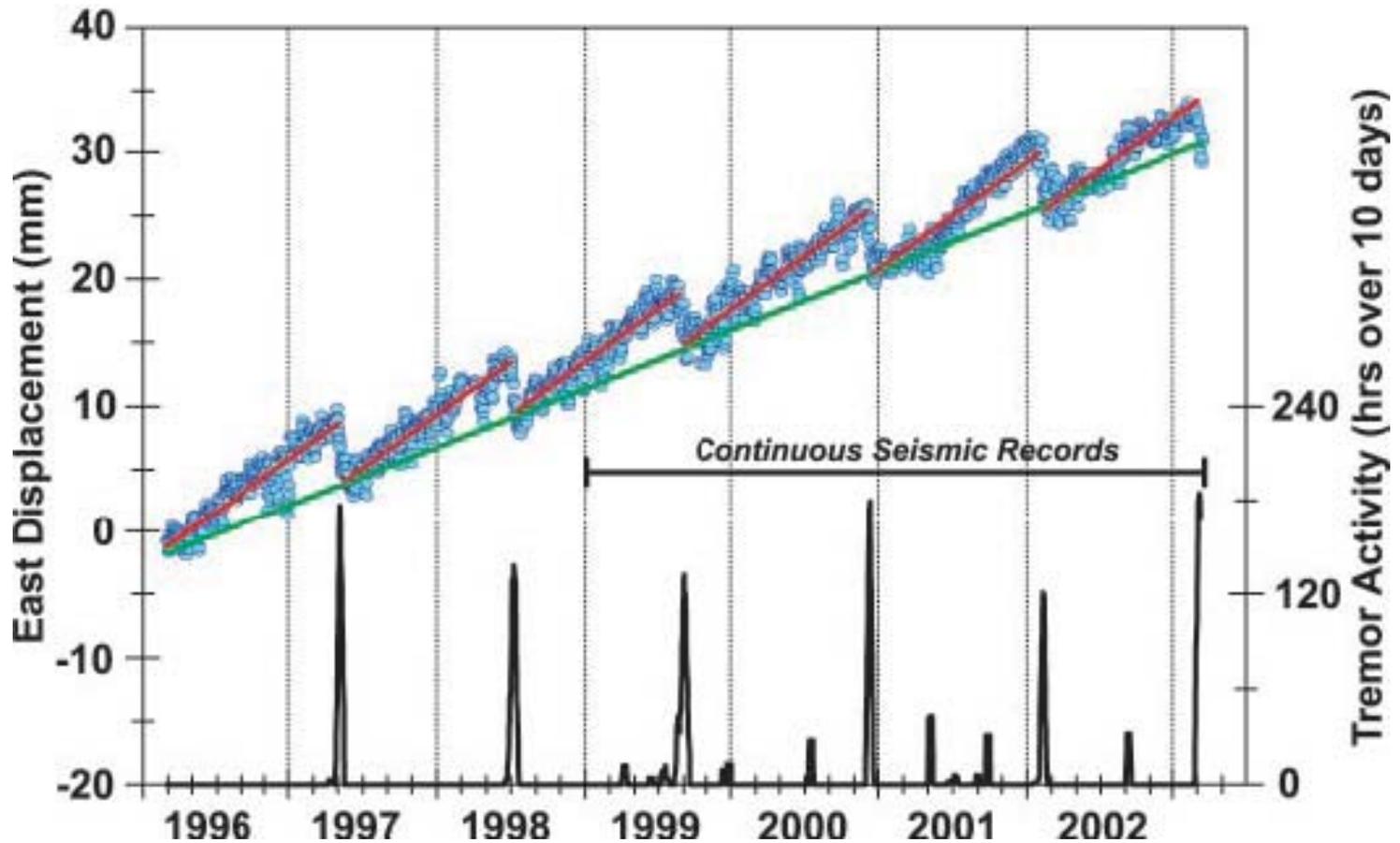
Détectés pour la première fois (au Canada) en 1999

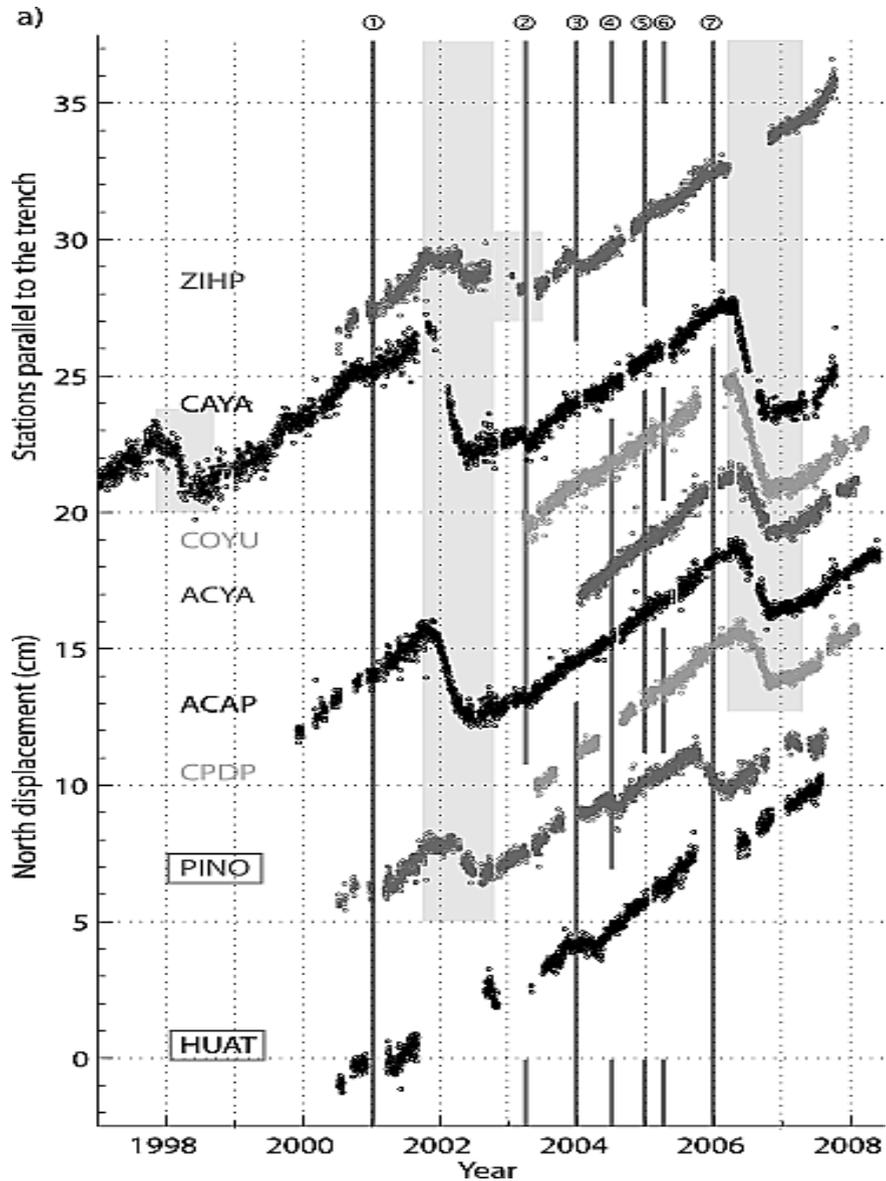


'Sauts' dans les séries temporelles cGPS



Sauts réguliers et liés à du tremor sismique





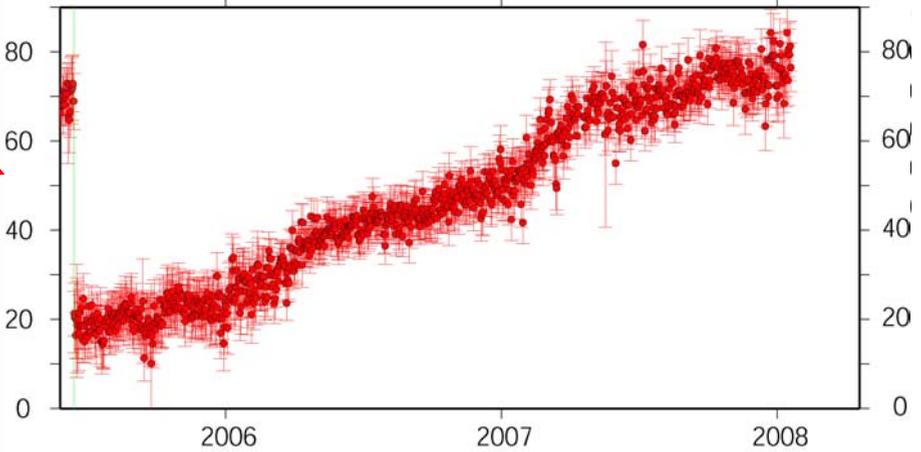
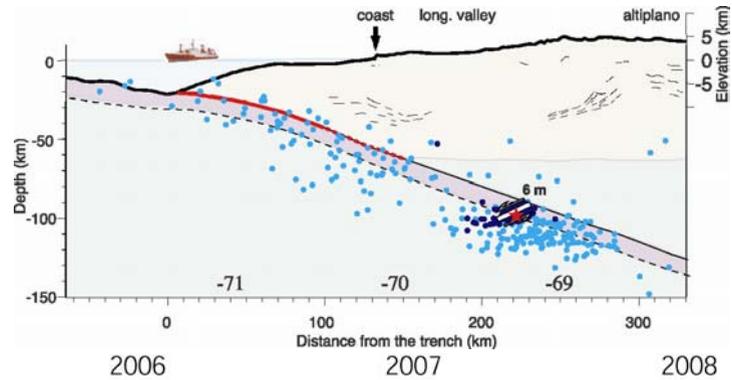
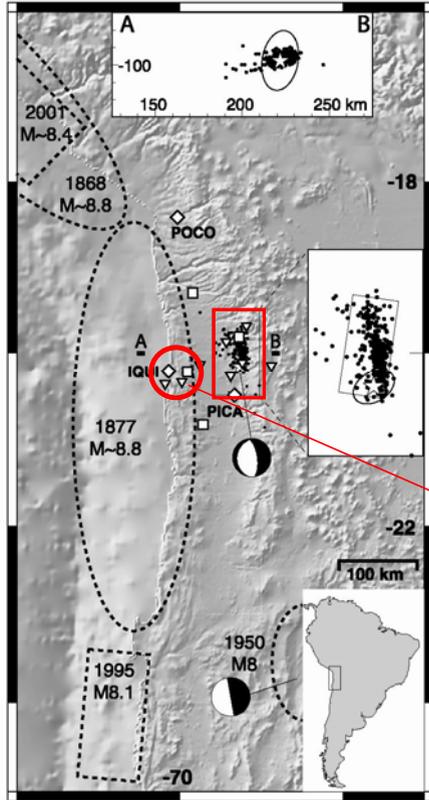
Au Mexique
aussi

Et au Chili aussi ?

UAPF après le séisme de Tarapaca Mw7.7 13-juin-2005 (**slab pull**)

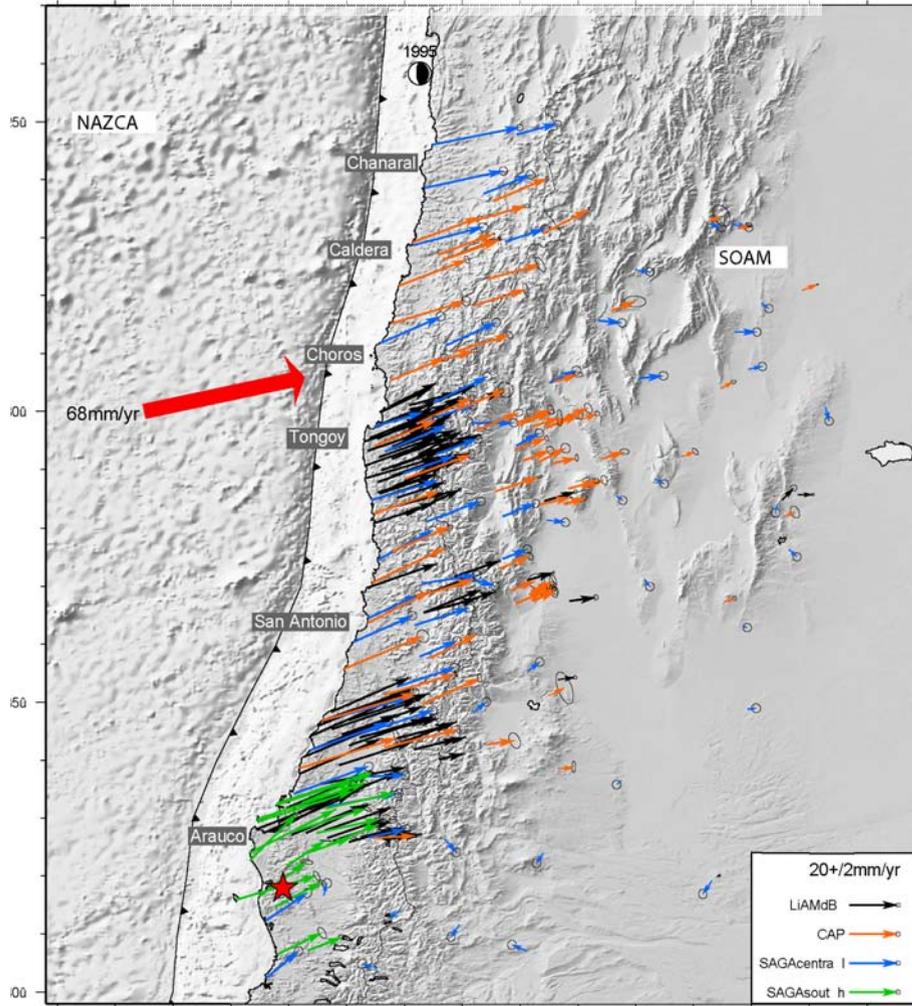
L22308

PEYRA T ET AL.: 2005

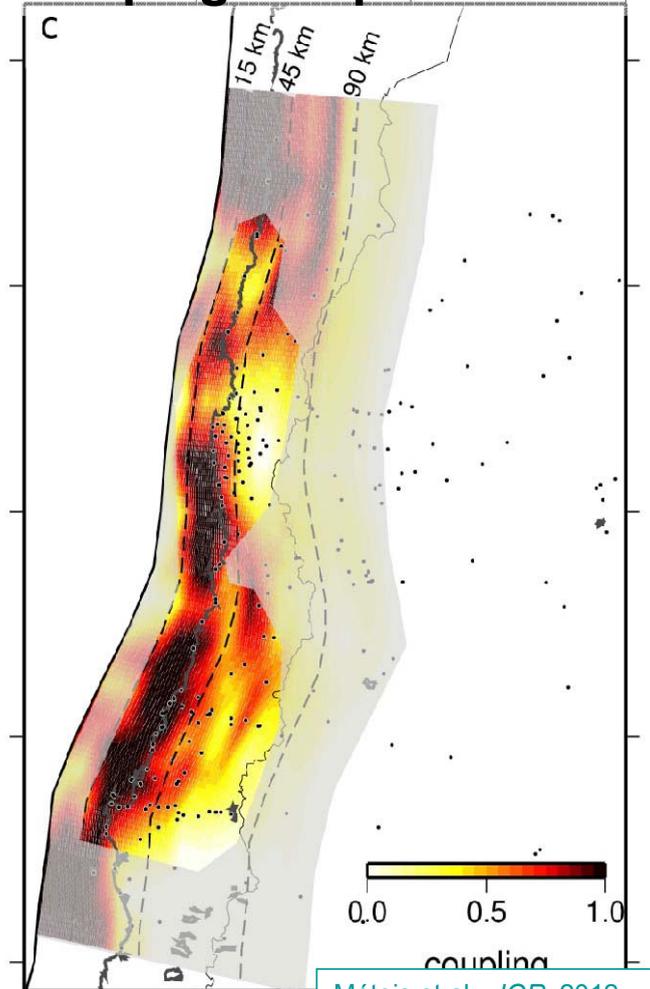


L'accumulation n'est pas la même partout

Déformation de la surface



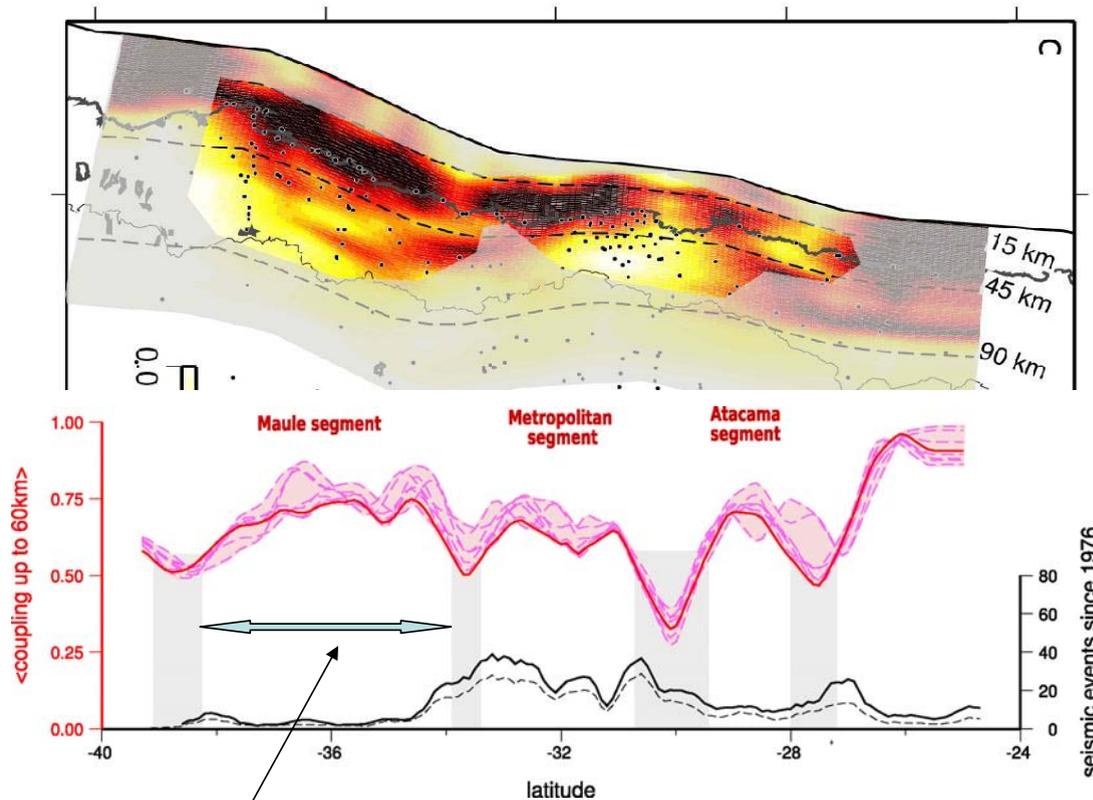
Couplage en profondeur



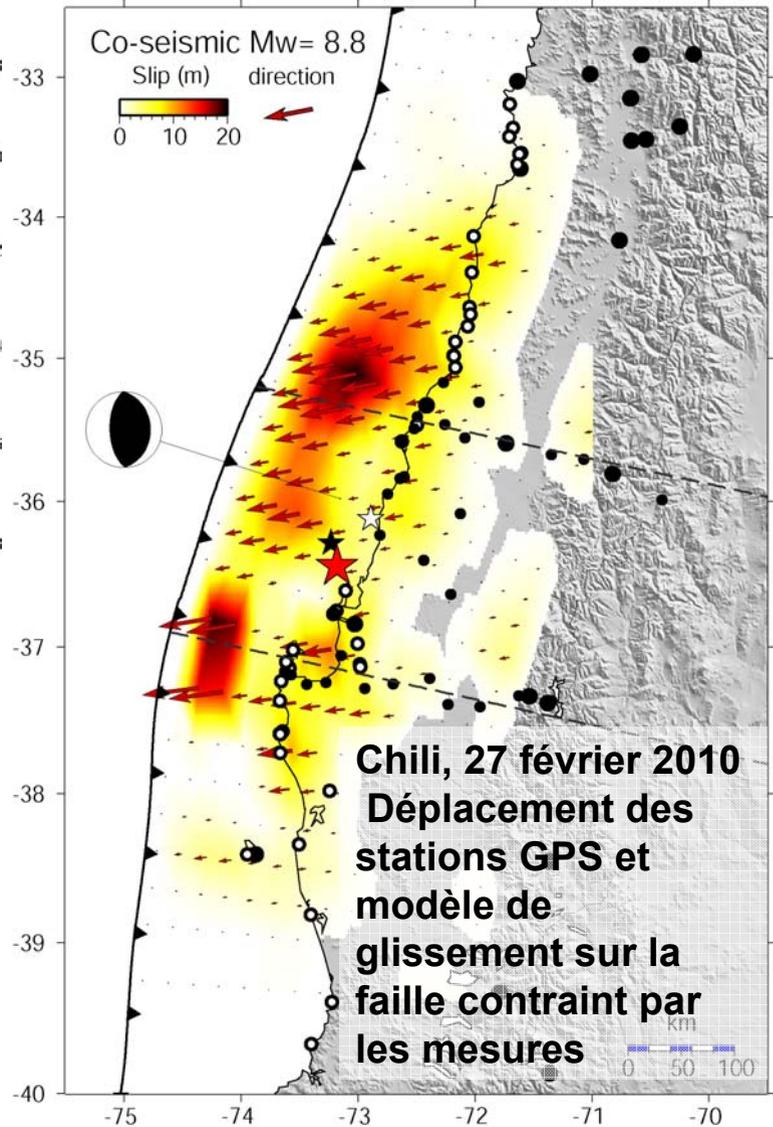
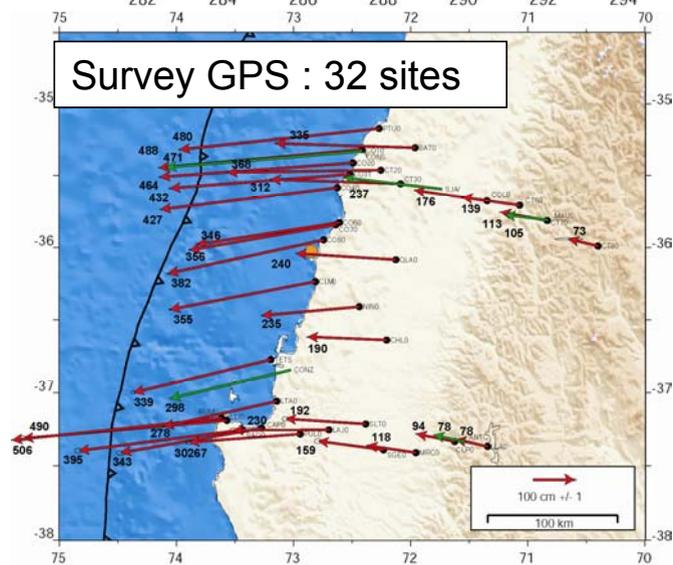
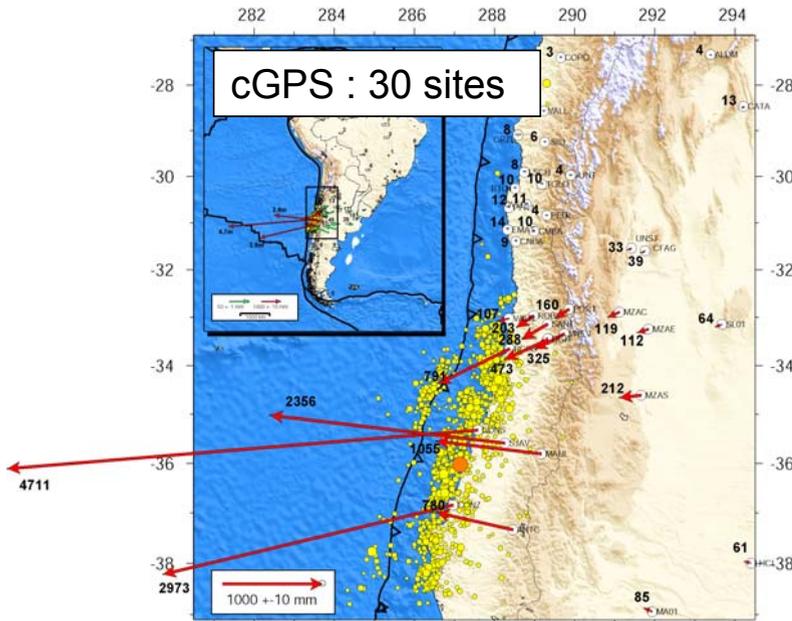
Certaines zones n'accumulent pas de déformation
(elles glissent).

=> elles ne produiront pas de gros séisme

=> elles arrêteront les ruptures sismiques

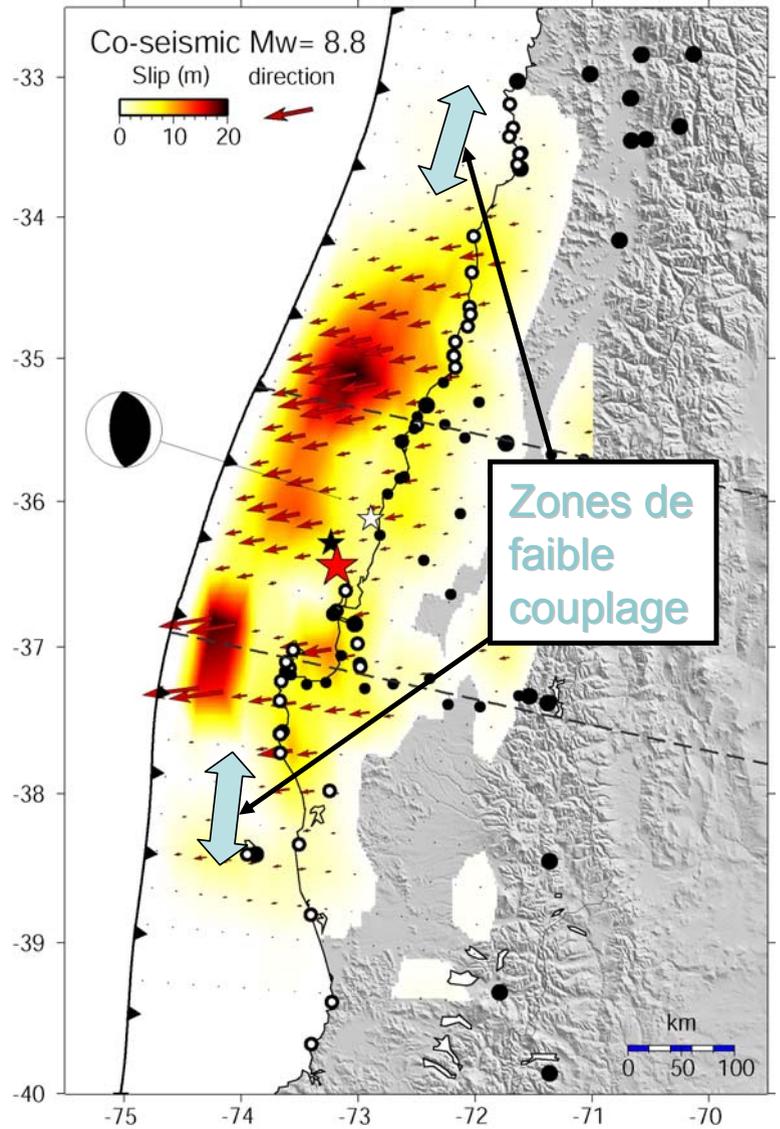
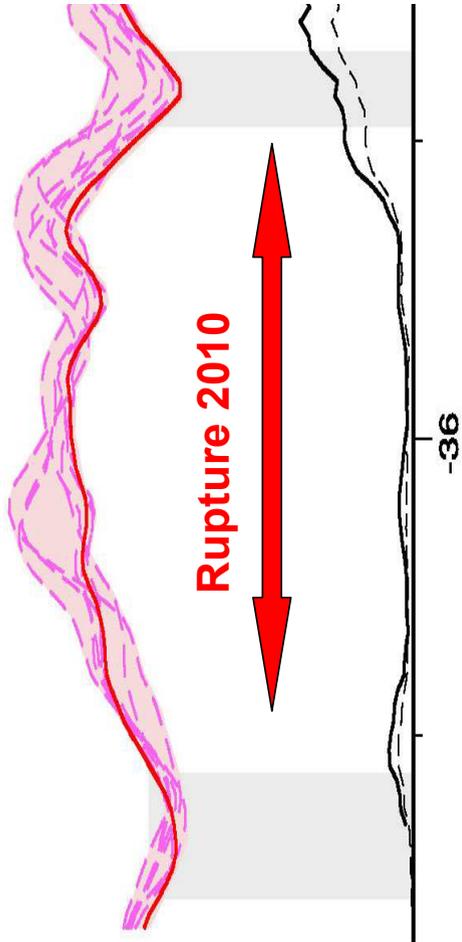


Zone de rupture prochaine ?



Chili, 27 février 2010
Déplacement des stations GPS et modèle de glissement sur la faille contraint par les mesures

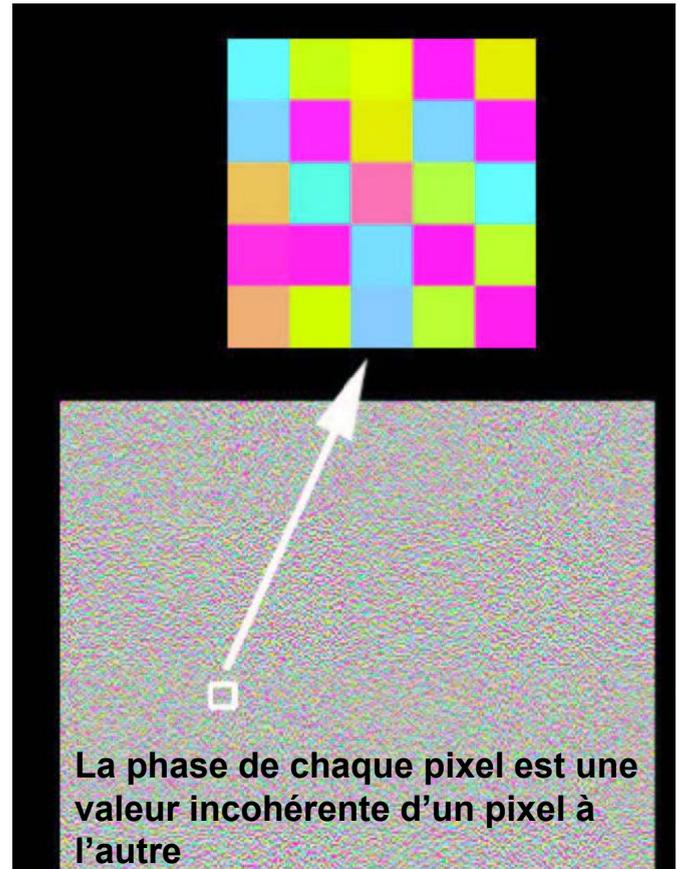
Maule segment



Parenthèse: les interferogrammes d'images satellites - RADAR voient aussi le séisme

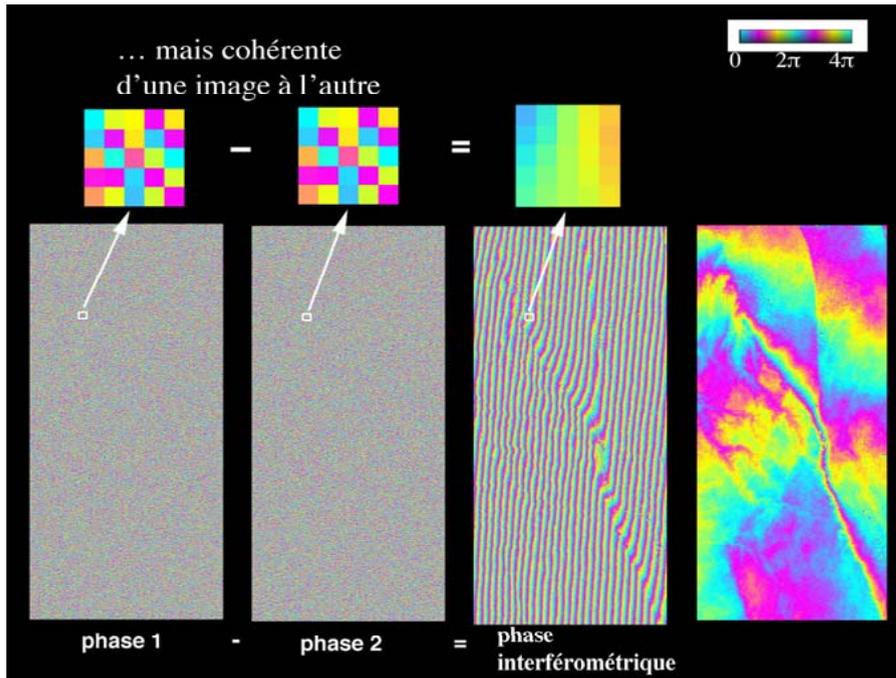


ALOS-PALSAR satellite
RADAR repasse tous les
46 jours au même endroit.

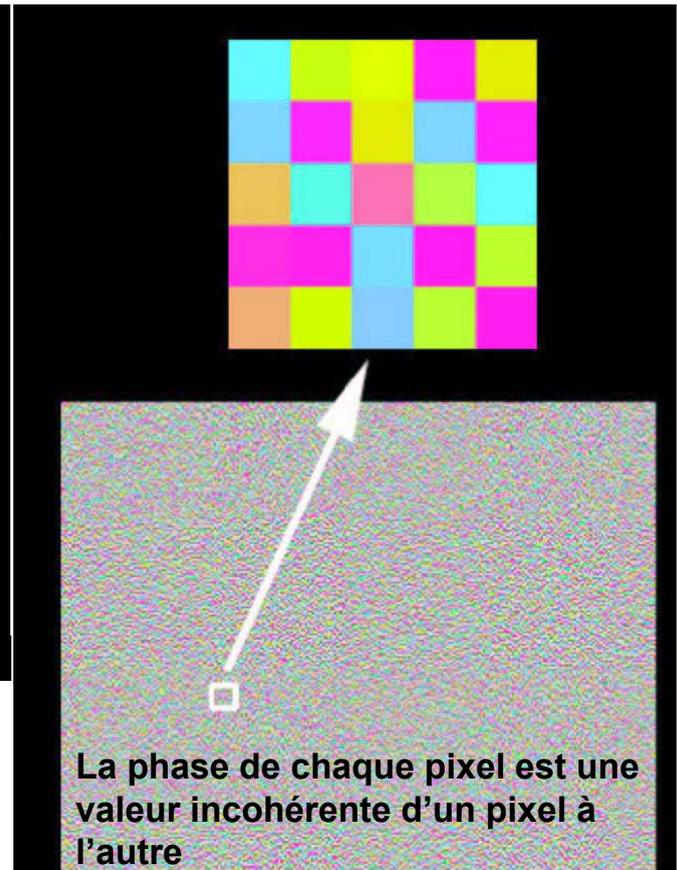


La phase de chaque pixel est une
valeur incohérente d'un pixel à
l'autre

Parenthèse: les interferogrammes d'images satellites - RADAR voient aussi le séisme



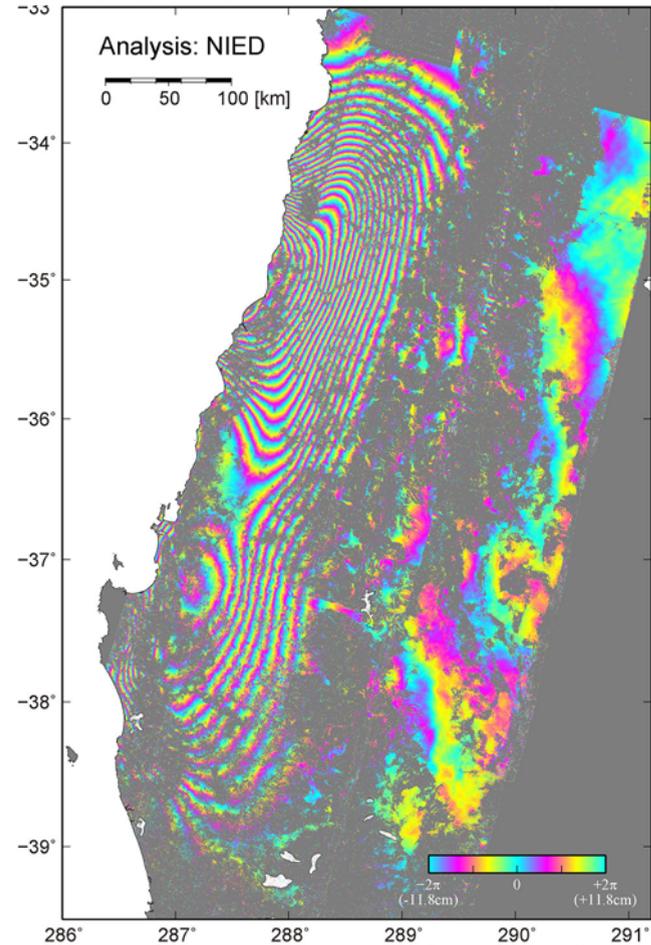
Mais, la différence de phase entre deux images prises à deux moments différents est cohérente et forme des franges

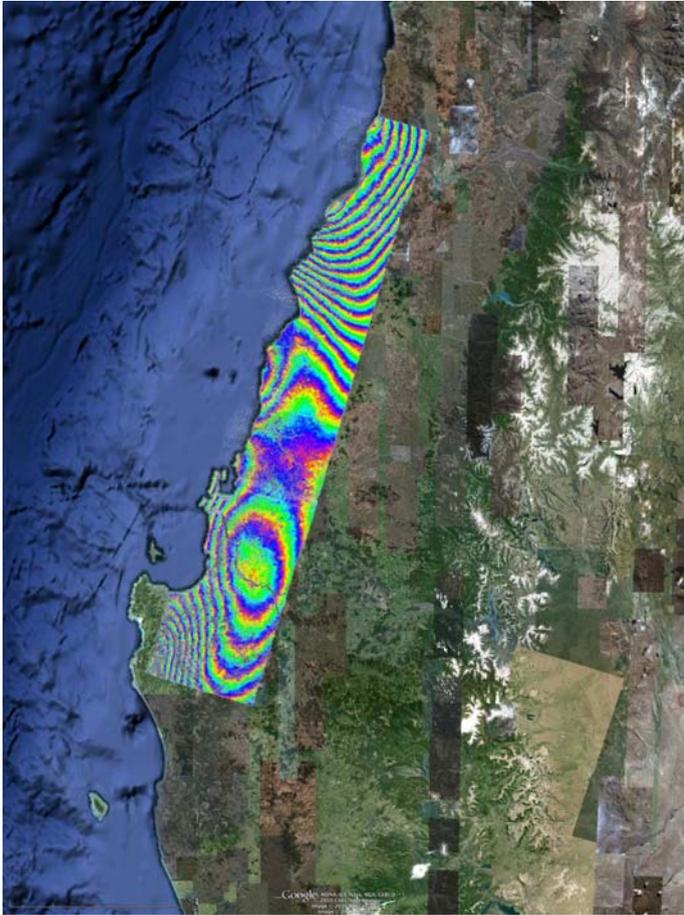


Parenthèse: les interferogrammes d'images satellites - RADAR voient aussi le séisme

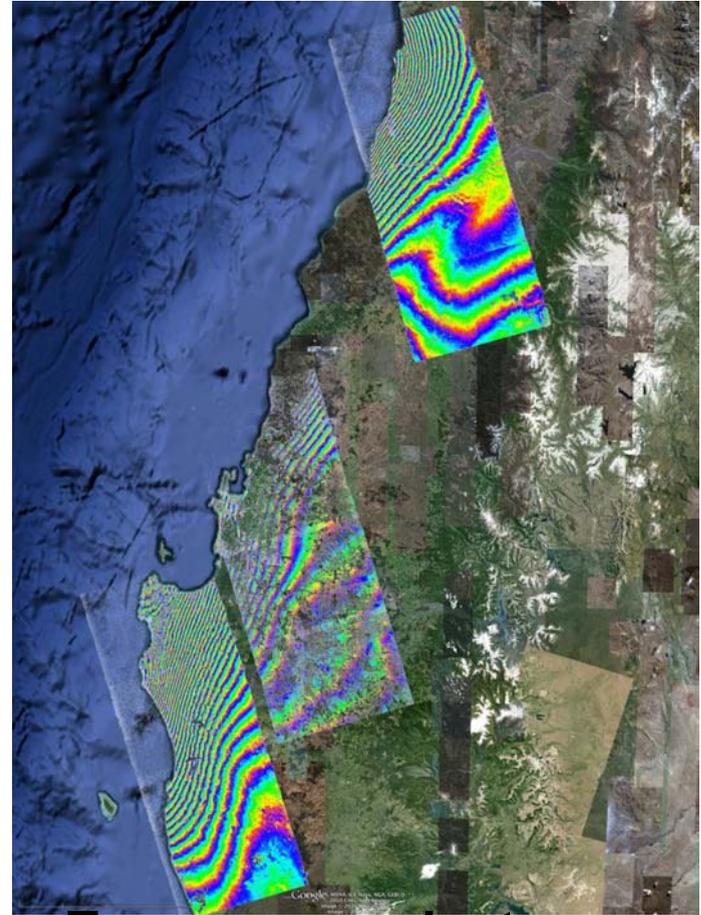


ALOS-PALSAR satellite
RADAR repasse tous les
46 jours au même endroit.





Trace descendante



Traces ascendantes

Avantages: autant de points de mesure que de Pixels, pas de station au sol

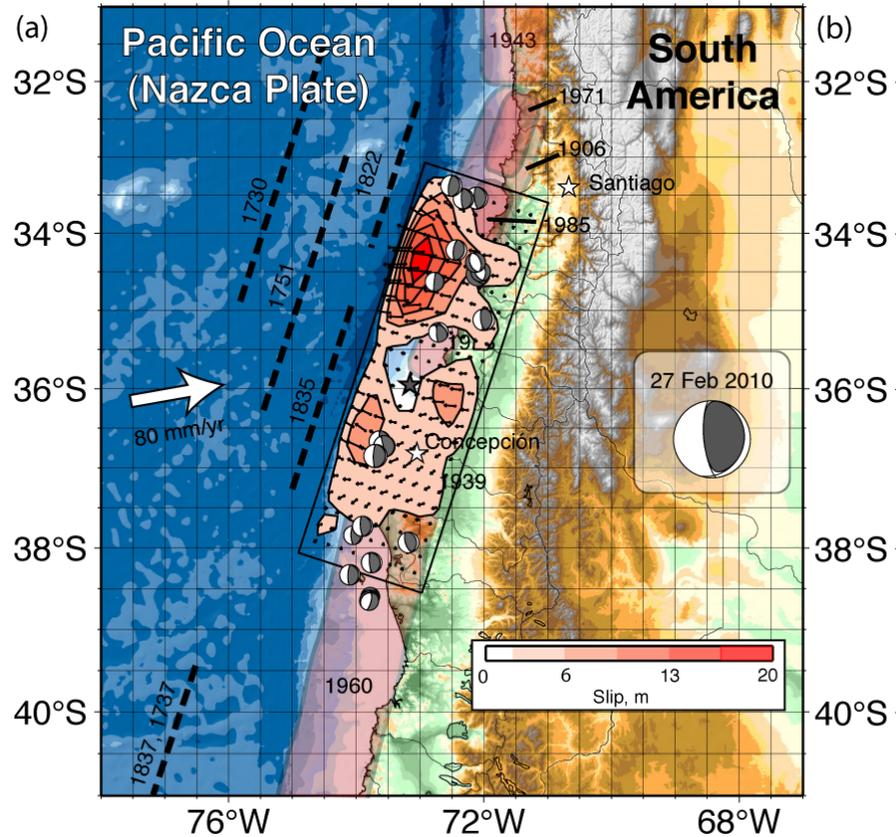
Inconvénients: une mesure tous les 46 jours, mosaïque, perturbations (végétation, atmos)

Fin de la parenthèse

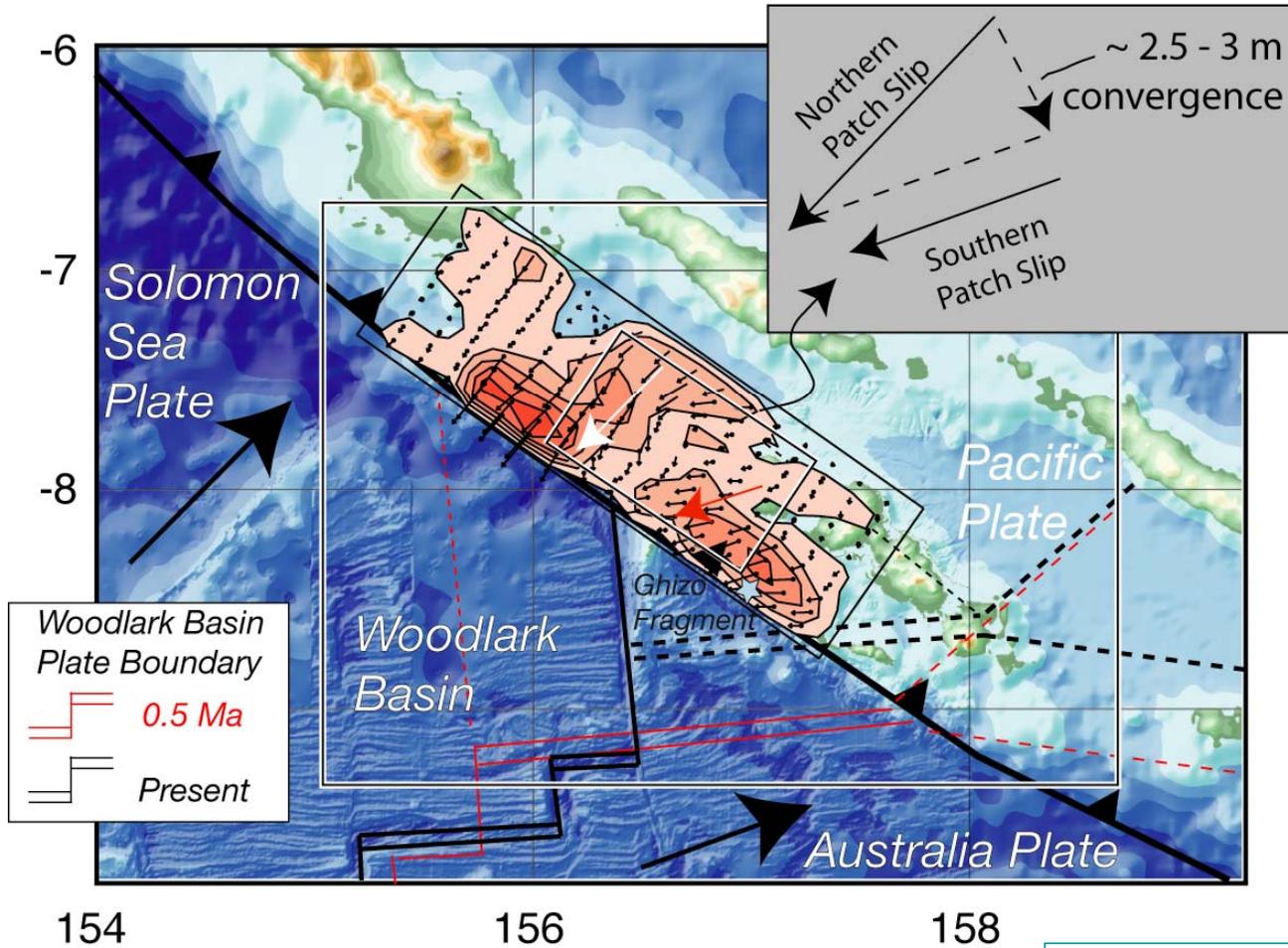
Qu'a-t-on appris grâce à ces mesures satellites (essentiellement GPS donc)?

- Plusieurs ruptures (grandes et un peu moins grandes) sont arrivées en surface ou très près

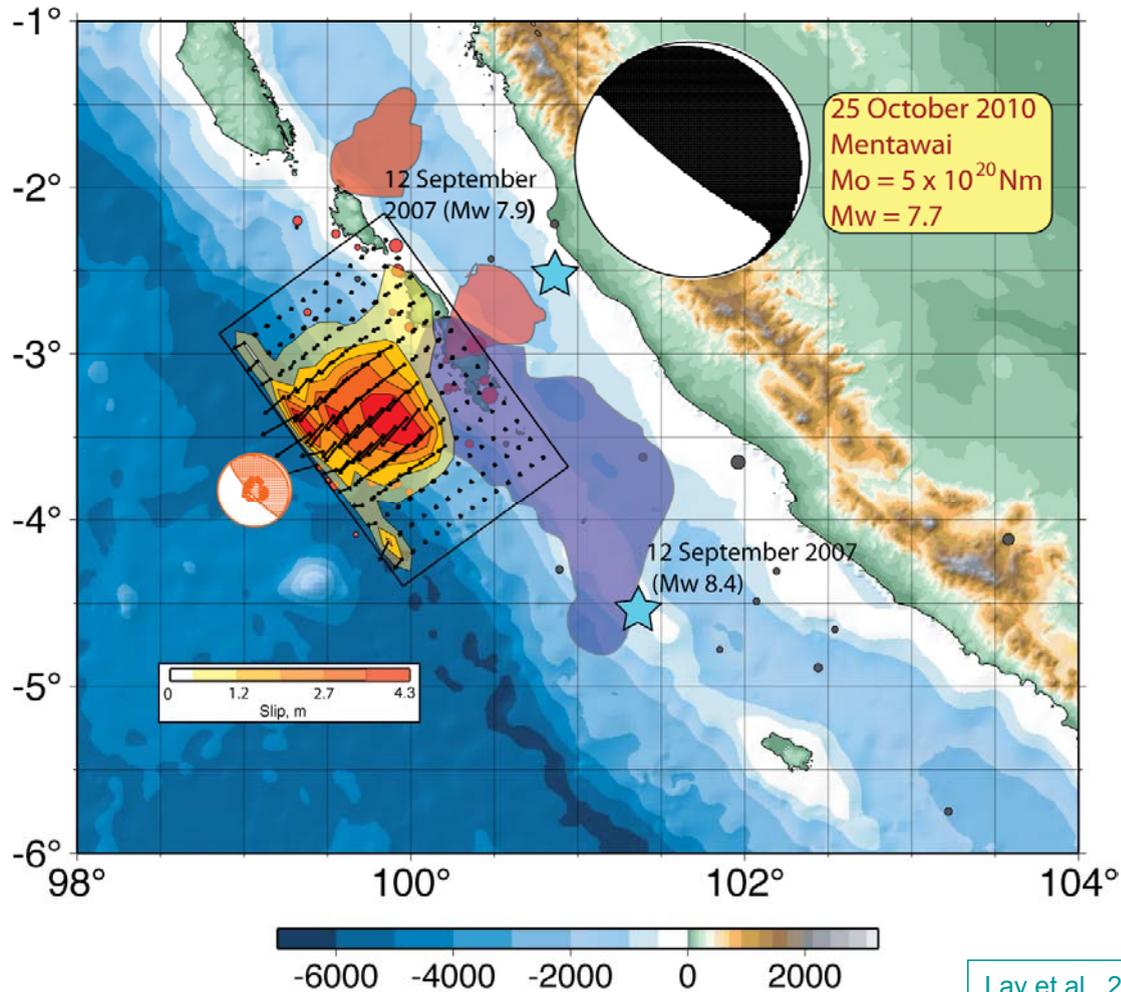
Chili (Maule) $M_w=8.8$, 27 Février 2010



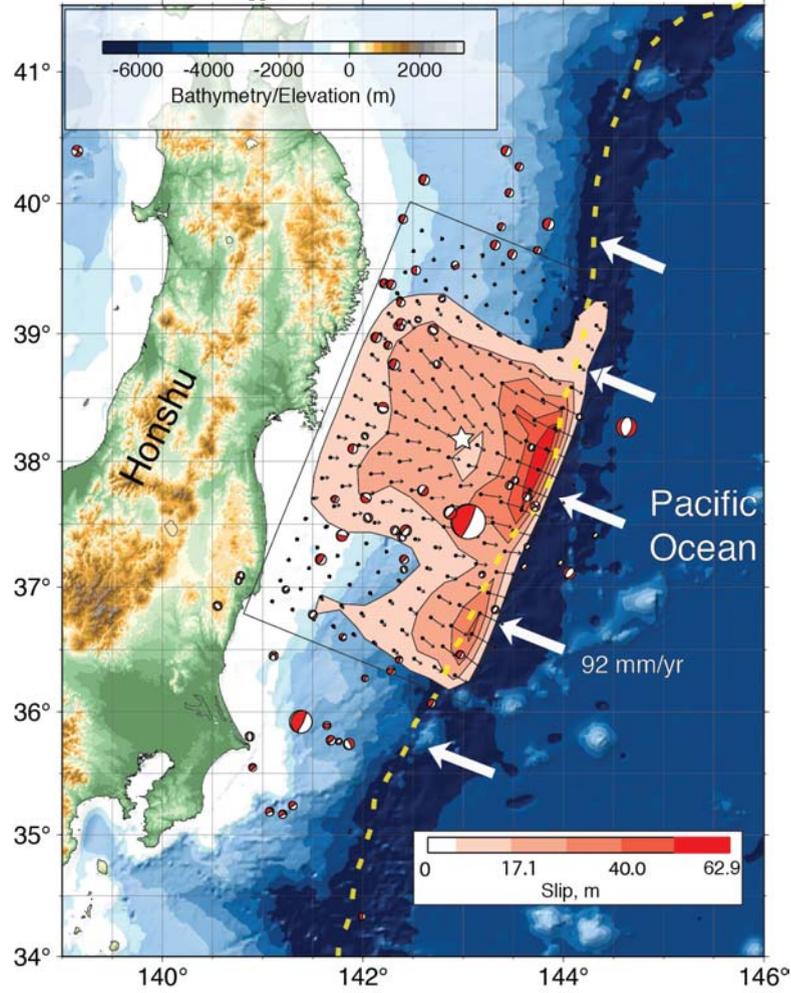
Iles Solomon $M_w=8.1$, 1 Avril 2007



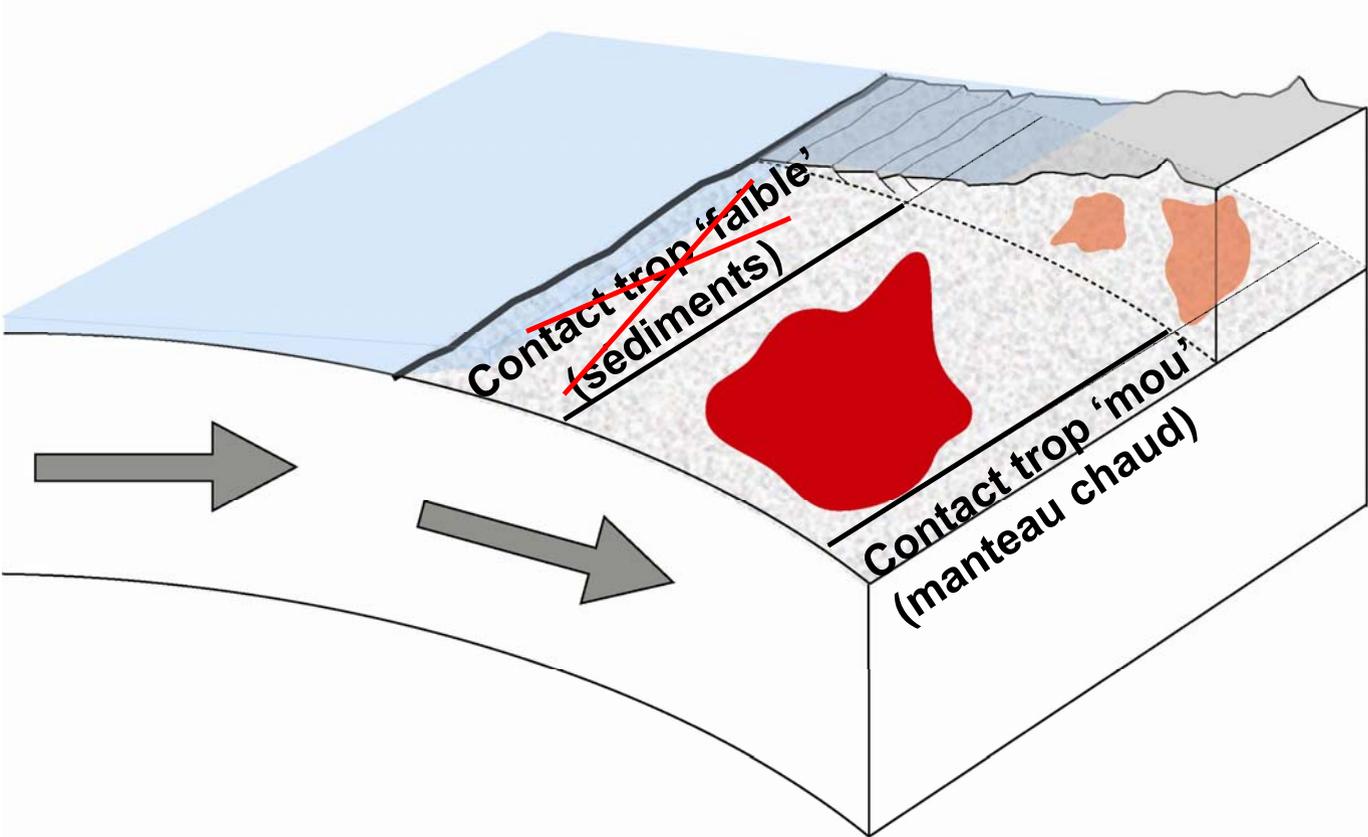
Iles Mentawai $M_w=7.7$, 25 Octobre 2010



Tohoku $M_w=9.0$, 11 mars 2011



Donc : la zone superficielle de contact casse aussi



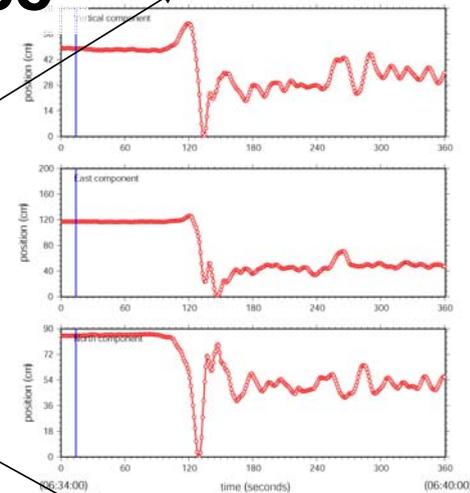
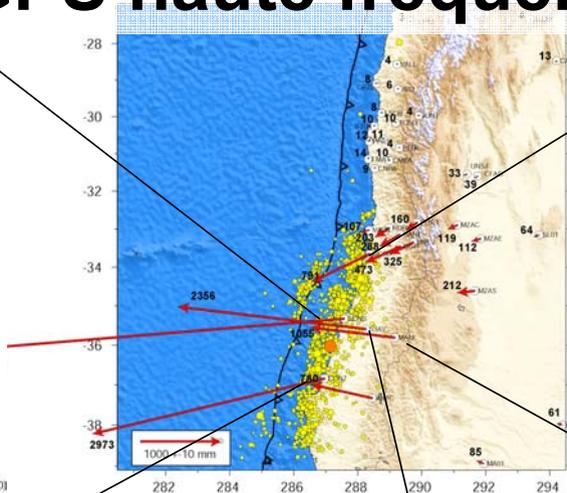
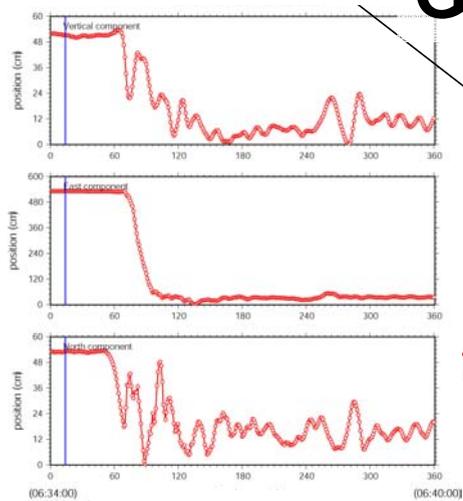
Qu'a-t-on appris grâce à ces mesures satellites (essentiellement GPS donc)?

- Plusieurs ruptures (grandes et un peu moins grandes) sont arrivées en surface ou très près => **impact sur Tsunami généré!**
- La rupture hésite parfois avant de continuer

Constitucion

GPS haute fréquence

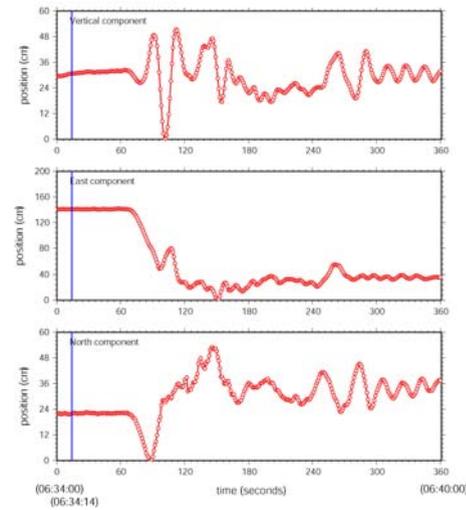
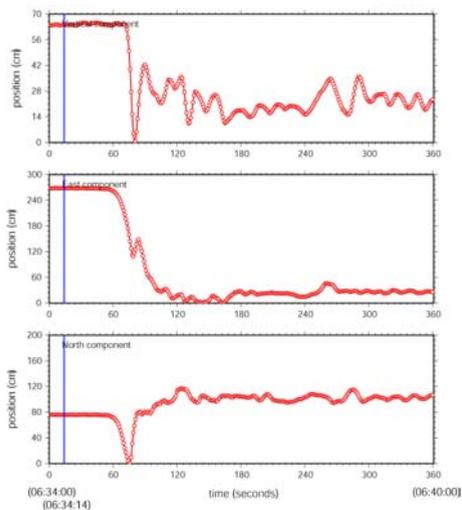
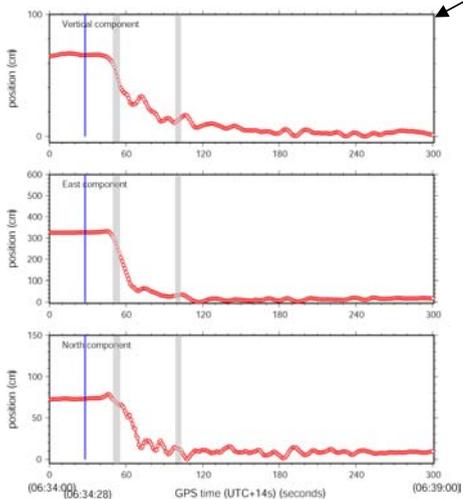
SantoDomingo

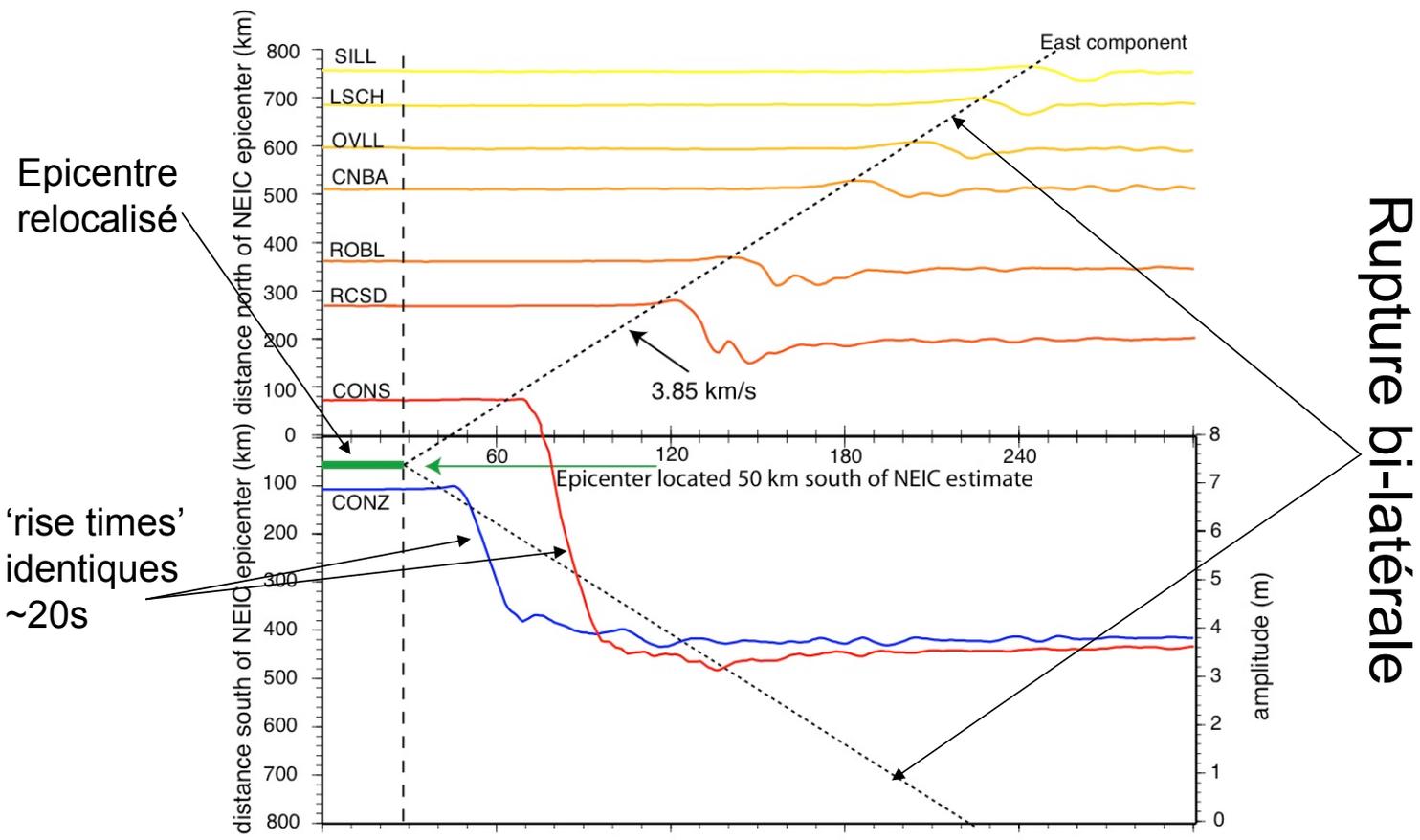


Concepcion

SanJavier

Colbun





Epicentre relocalisé

'rise times' identiques ~20s

3.85 km/s

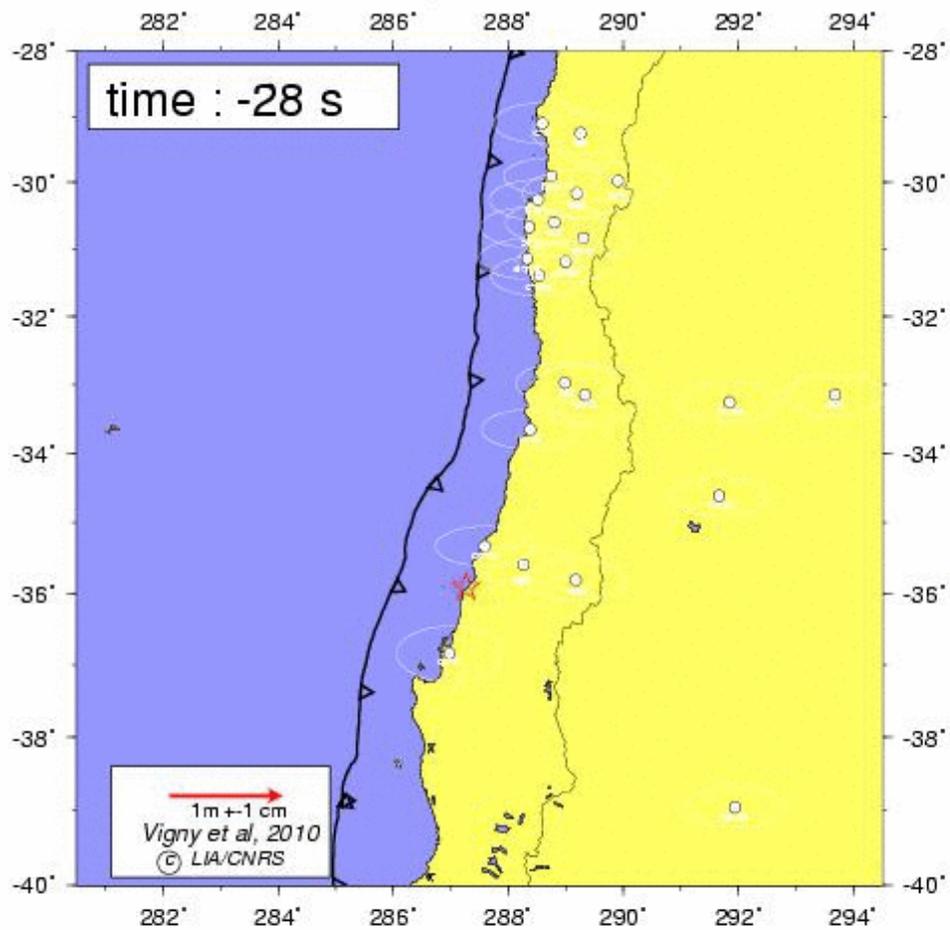
Epicenter located 50 km south of NEIC estimate

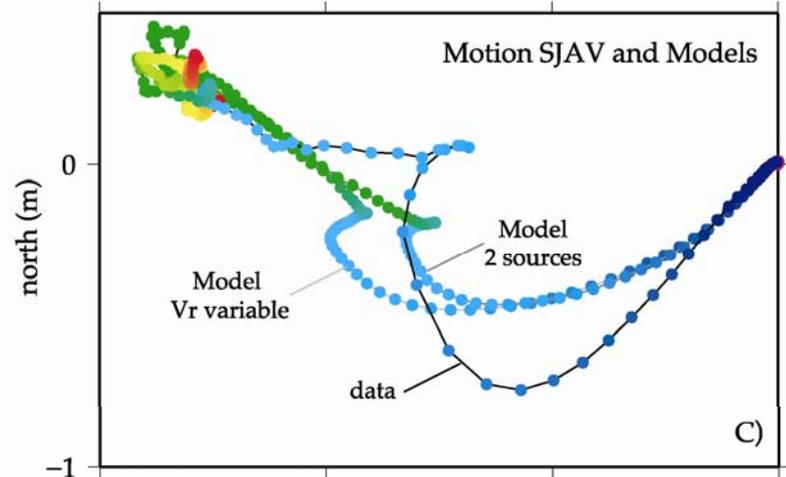
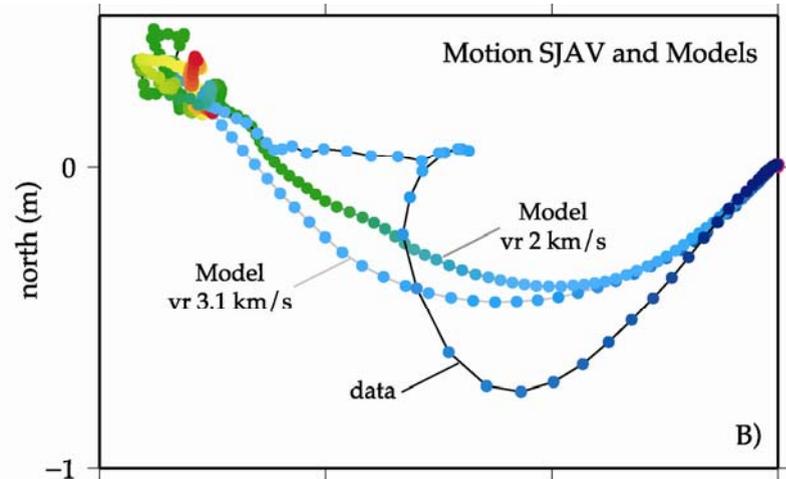
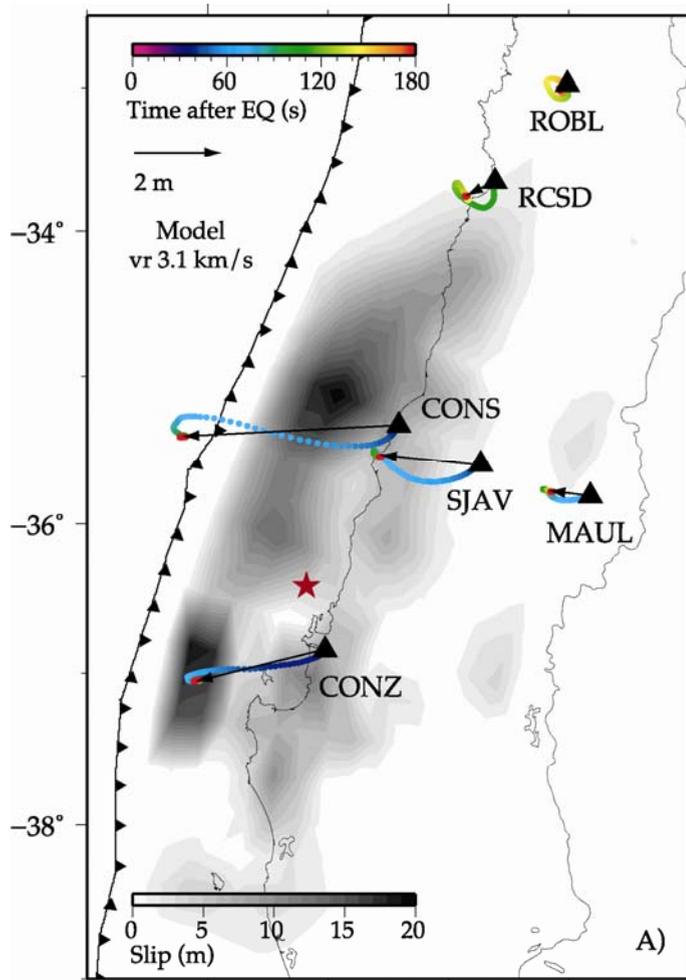
East component

Rupture bi-latérale

amplitude (m)

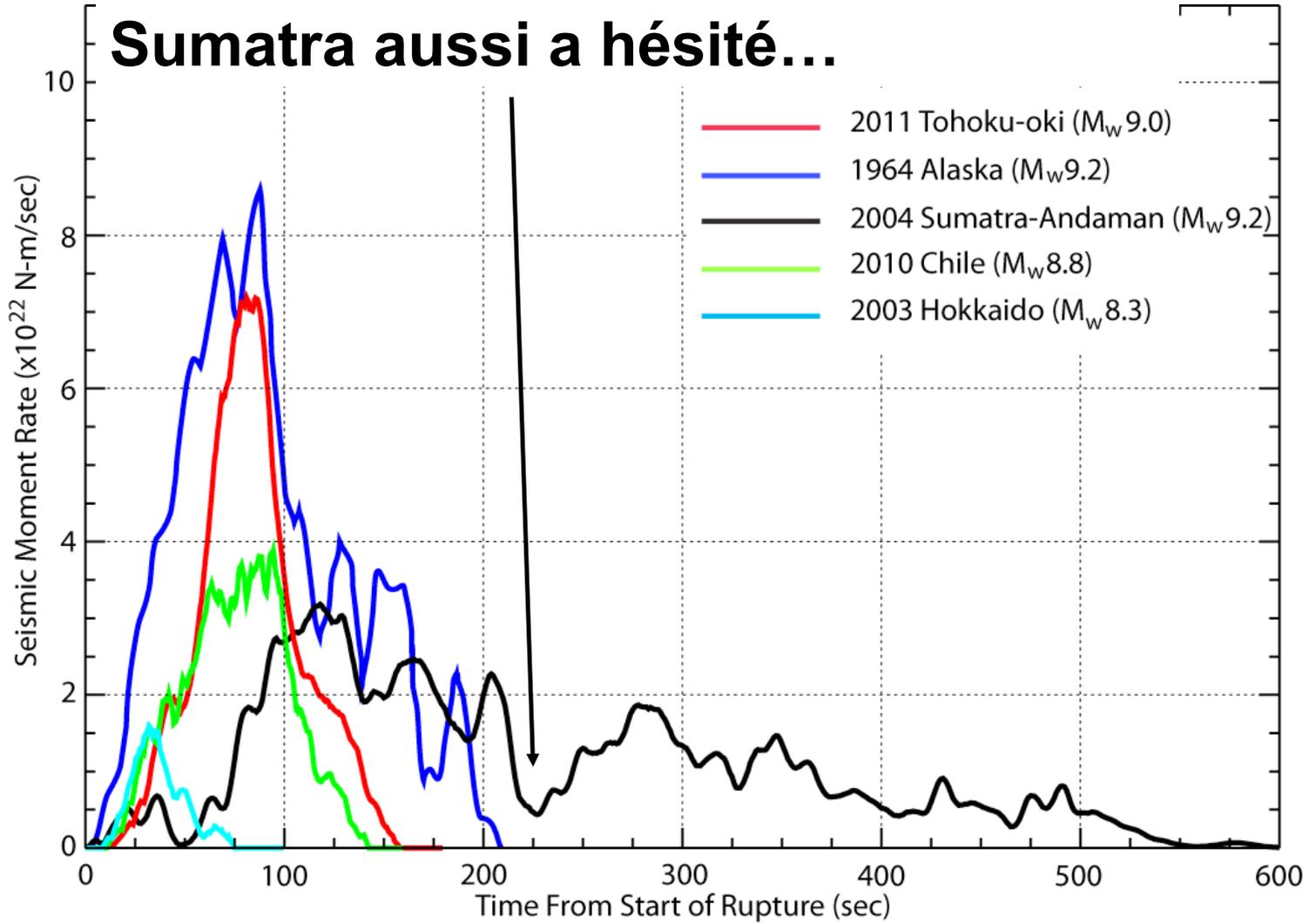
Maule Eq 27-Feb-2010

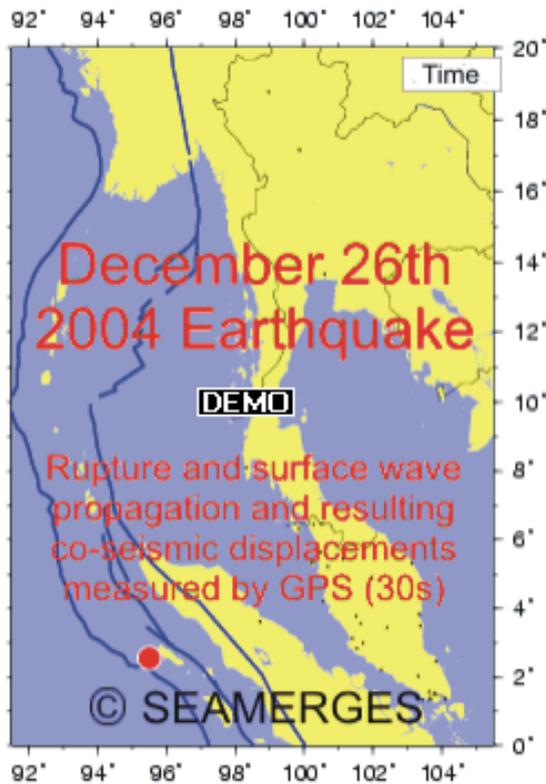




GPS haute fréquence: 1 point par seconde => trajectoire des stations pendant le séisme. Comparaisons avec modèles théoriques

Sumatra aussi a hésité...

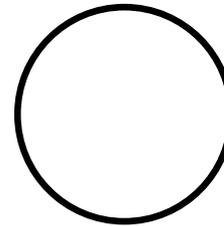




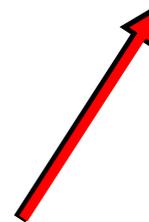
<http://www.deos.tudelft.nl/seamerges>



rupture



Seismic **surface**
waves propagator
(3.7 km/s)



GPS stations
displacements

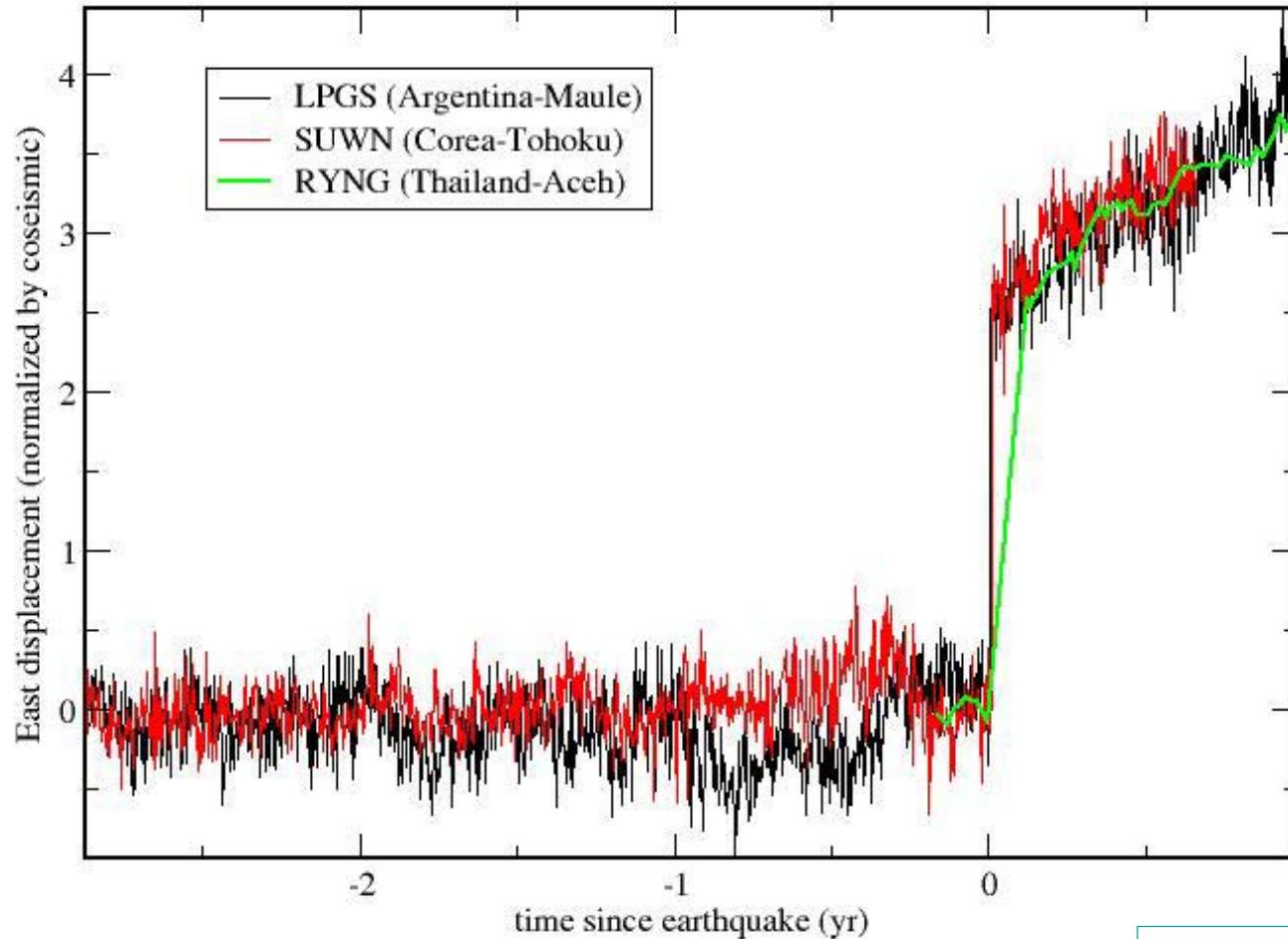


Rupture Propagation:
3.7 km/s initially (South)
30s stop $\sim 8^\circ$ lat
1.8 km/s onward (North)

Qu'a-t-on appris grâce à ces mesures satellites (essentiellement GPS donc)?

- Plusieurs ruptures (grandes et un peu moins grandes) sont arrivées en surface ou très près => **impact sur Tsunami généré!**
- La rupture hésite parfois avant de continuer => **comment/pourquoi un séisme devient-il géant....**
- La viscosité du manteau terrestre

les courbes de relaxation sont les mêmes pour les 3 grands séismes



Pour finir :

Les grands séismes sont toujours des 'surprises'

2004 Sumatra M_w 9.2; rupture de 1300+ km long, à travers une frontière de plaque, assez lente, génère un énorme tsunami

2007 Solomon Island M_w 8.2; rupture très superficielle et gros Tsunamis

2010 Chile M_w 8.8 rupture bilatérale, hésite, puis sort de la lacune de Darwin

2011 Tohoku M_w 9.0 jusqu'à 60 m de glissement localement

...encore beaucoup de travail

Merci de votre
attention



21 4 2007