Annexe 1

Données sur le séisme du 11 mars 2011

Présentation de Raùl Madariaga
École normale supérieure

Image 1 : Présentation du séisme de Tohoku du 11 Mars 2011. Le séisme s'est produit dans la zone coloriée dans la frontière entre les plaques euro-asiatique et celle du Pacifique. Il a été suivi de beaucoup de répliques importantes indiquées par les cercles jaunes (dont la plupart à faible profondeur, directement sur le plancher continental).

Image 2 : Section à travers la zone de subduction. Le séisme s'est produit dans la zone indiquée en rouge avec un déplacement moyen de l'ordre de 20 m.

Image 3 : La sismicité du globe depuis 1900 (mégaséismes). Il y a 3 groupes : autour de 1900, années 1960 et depuis 2004. C'est important pour comprendre pourquoi les sismologues ont été aussi conservateurs : de 1968 à 2000 il n'y a eu aucun séisme supérieur à 8,3. On parle de mégaséisme quand la magnitude est supérieure à 8,5.

Image 4 : Sismicité historique de Tohoku. À gauche, le travail d'Abe et Kanamori, publié dans les années 1970. On pensait qu'il y aurait répétition de ces séismes. La figure de droite est la vision japonaise de la sismicité de cette région, publiée par Hashimoto et al. (*Nature Geoscience* **2**, 141-144). Il est clair que, pour beaucoup de chercheurs, il n'y avait pas la possibilité qu'un mégaséisme se produise au large de Tohoku.

Image 5 : Principales répliques avec leur mécanisme au foyer. Le séisme principal possède un mécanisme en faille inverse typique des mégaséismes. Les répliques ont des mécanismes assez divers avec une prédominance de failles normales.

Image 6 : Taux de moment sismique en fonction du temps. La libération du moment sismique au cours du temps, calculée en unités MKS (Newton mètres). Le séisme dure autour de 140 secondes et génère en moyenne une magnitude 7 à 8 toutes les secondes. On voit que le séisme a commencé lentement (30 secondes pour devenir important), la rupture démarre sur la partie frontale de la zone de subduction vers 50 s. La dernière partie de la courbe est la troisième secousse, qui s'est produite plus au sud.

Image 7 : Déformation du Japon avant le séisme de Tohoku, déterminée par la géodésie spatiale. Les Japonais ont un excellent réseau de stations GPS qui enregistrent en continu (un échantillonnage toutes les secondes). Ces figures montrent bien la compression du Japon.

Image 8 : Couplage : deux points de vue. Il s'agit de la situation avant le séisme. La figure de gauche est celle publiée par Loveless, J. P., and B. J. Meade (2010) (*J. Geophys. Res.*, 115, B02410, doi :10.1029/2008JB006248). À droite, la figure vient de Hashimoto et al. (2009) (*Nature Géosciences*, 2), qui, avec des techniques différentes (triangulation de l'interface et calcul direct du blocage), est arrivé à la conclusion que le blocage n'était pas continu mais perlé sur certaines zones, ce qui était en accord avec leur point de vue sur les séismes historiques.

Image 9 : Déplacement du Japon. Calculé par le GPS. Vers le nord (on ne s'y attendait pas), vers l'est (logique, lié à la subduction) et vertical (enfoncement d'un mètre). Ces images calculées par l'équipe du Caltech-JPL sont très récentes.

Image 10 : Image Envisat. Interférogramme, qui confirme la déformation observée par GPS.

Image 11 : Comparaison du glissement pré-sismique et co-sismique. Image de droite : dans la zone centrale, le glissement est de 20 m en moyenne sur une zone de 300 km de longueur par 130 km de largeur. Le déplacement principal est situé dans la partie distale, près de la fosse. Tous les calculs faits avant donnaient un blocage près de la côte (cf. image de gauche, Matsura). C'est important pour comprendre le malentendu sur la prévisibilité.

Image 12 : A l'origine du tsunami. Le tsunami est provoqué par le soulèvement rapide du fond de la mer suite au tremblement de terre. À gauche une carte du déplacement vertical du plancher océanique et à droite une simulation des ondes de tsunami produites par ce soulèvement.

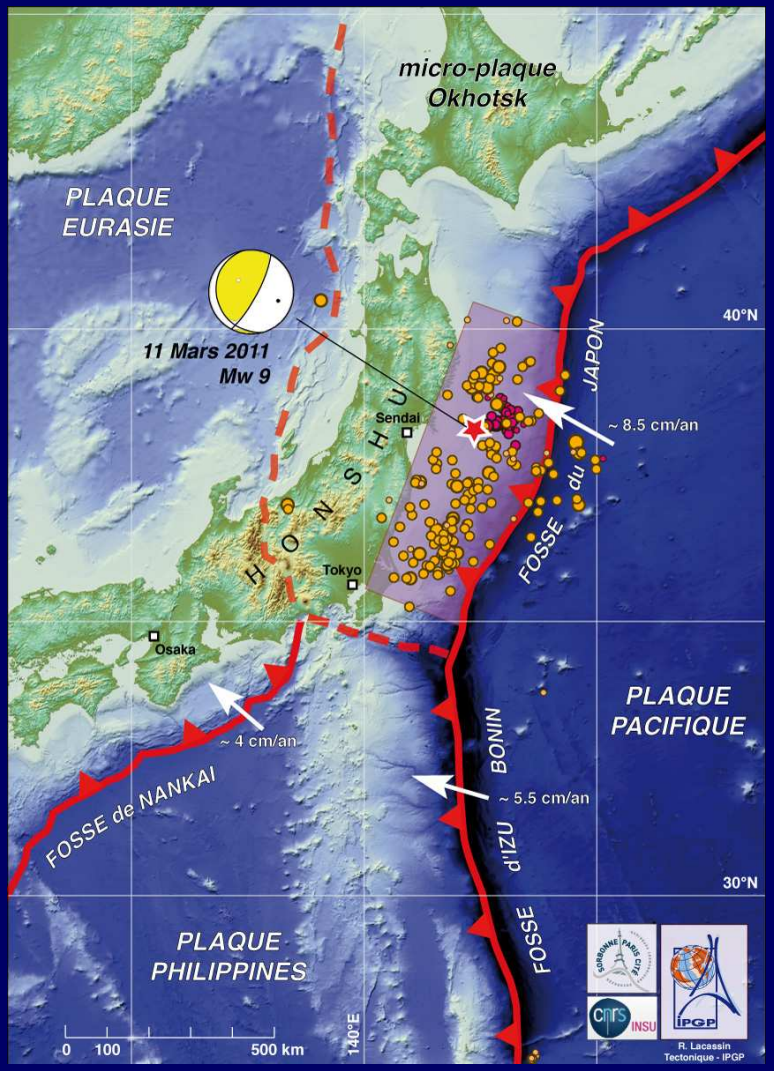
Image 13 : Le séisme aurait pu être aussi destructeur que le tsunami. L'accélération maximale de 3 g est verticale (où g = 9.8m/s^2 est l'accélération de gravité).

Image 14 : (en japonais) : Les accélérogrammes sur un profil longitudinal. On voit que le séisme a deux secousses : une petite, qui se produit au bout d'une longue préparation, puis le grand choc. Ces accélérations, dans la partie centrale, ont une durée largement supérieure à une centaine de secondes. Dans la plupart des règlements de construction, les durées maximum admises sont généralement de 60 secondes, mais les immeubles ont bien résisté.

Image 15 : On peut filtrer ces mêmes données et les transformer en plus basses fréquences, pour observer le développement de la rupture de façon plus globale et on suit mieux les chocs successifs.

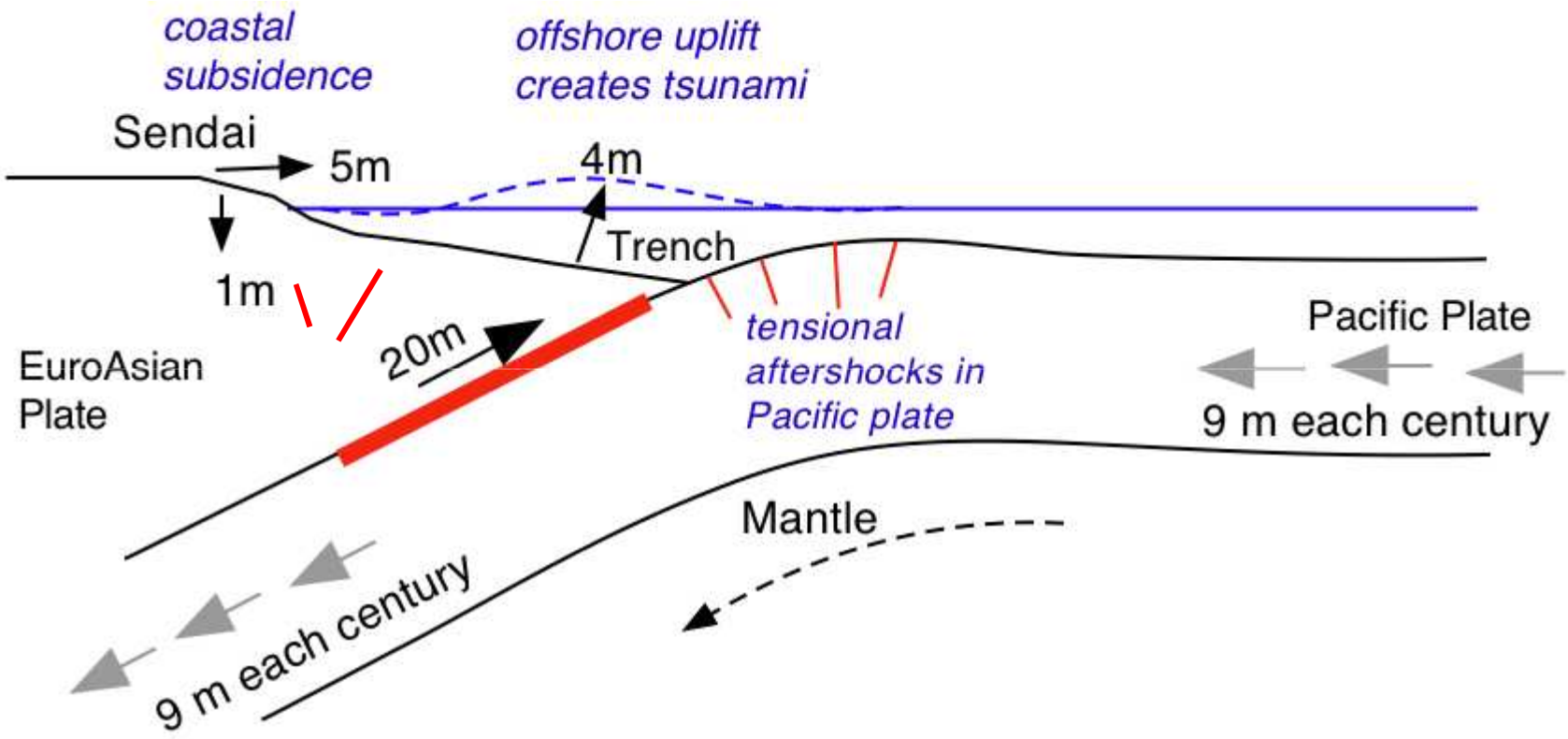
Images 16 : Inversion du glissement co-sismique (GPS et champ proche). Les résultats sont pratiquement les mêmes ; la distribution sismologique est plus concentrée vers la fosse que la distribution géodésique, ce qui est normal car les stations sont à terre.

Le séisme du Sendaï -Tohoku Oki
Off-Pacific coast of Tohoku earthquake



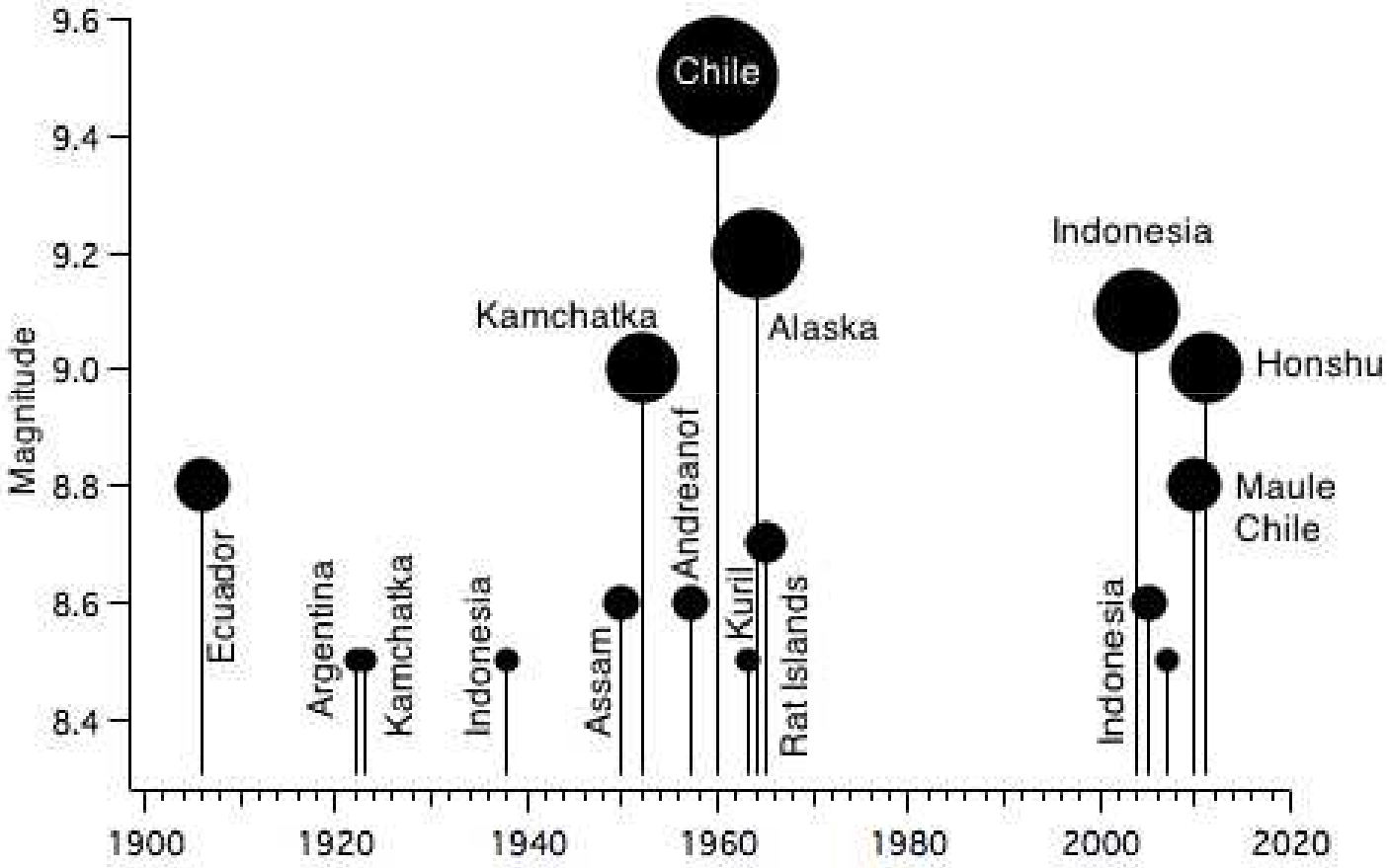
Basé sur des images publiées dans l'internet par des collègues japonnais

The 2011 Tohoku-oki earthquake



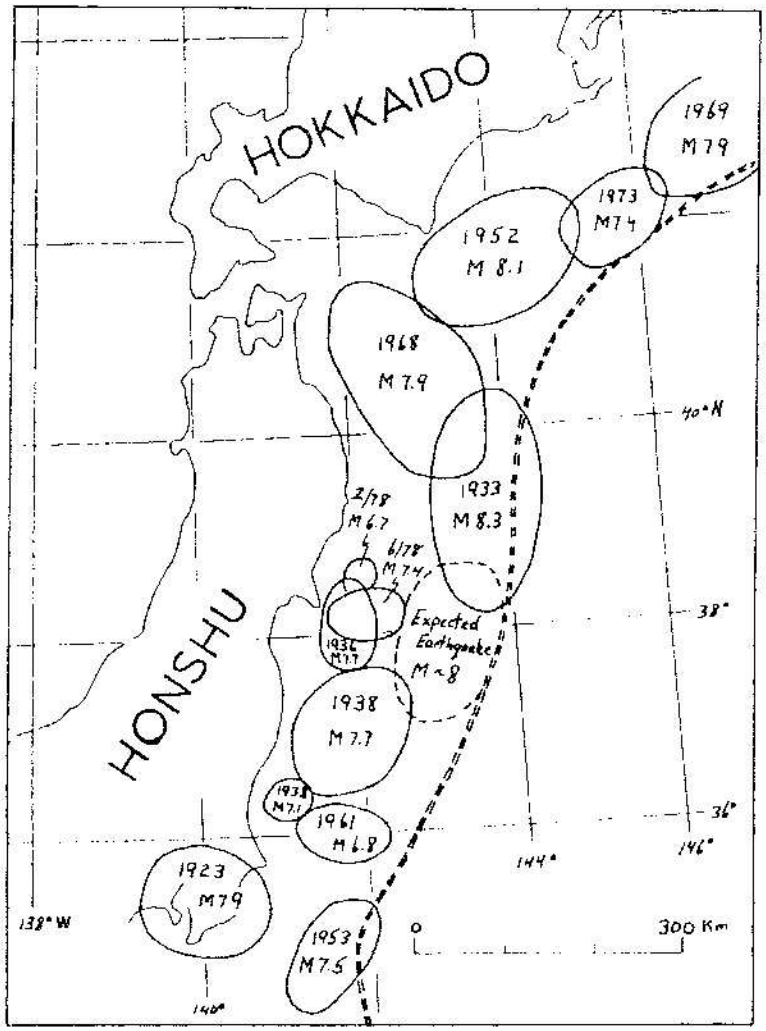
From Roger Bilham,
http://cires.colorado.edu/~bilham/Honshu2011/Honshu2011.html

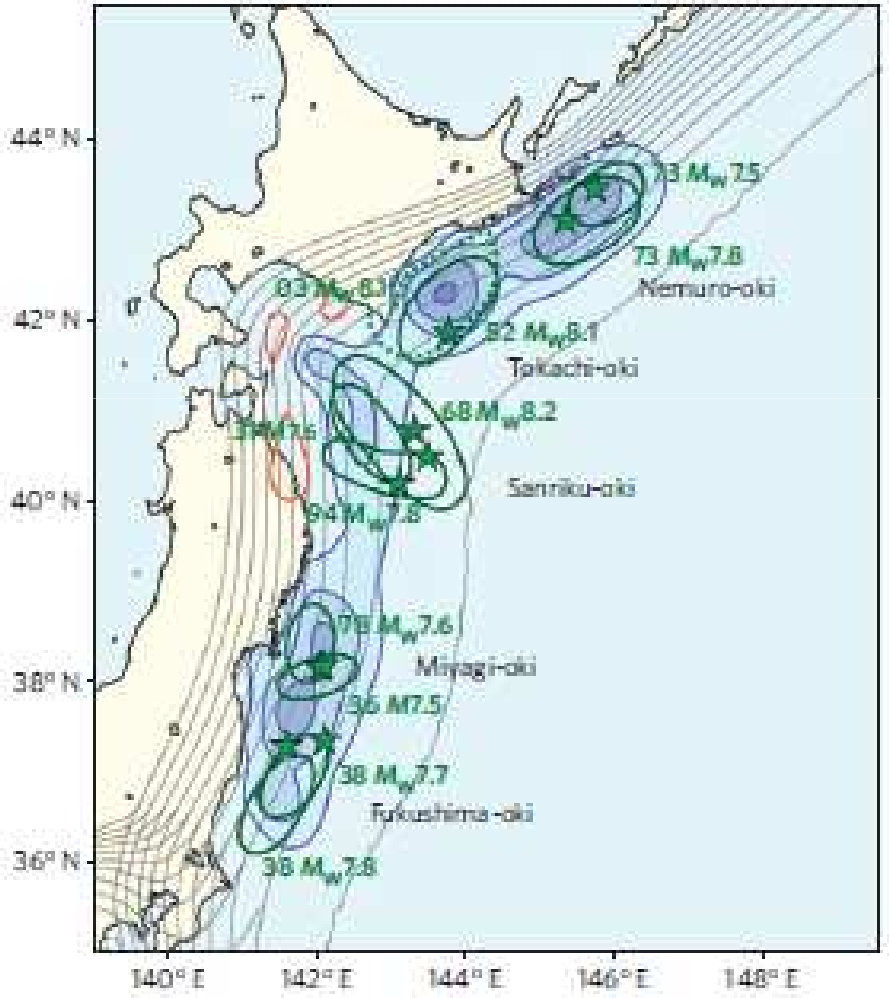
Les mégaséismes depuis 1900



From Roger Bilham,
http://cires.colorado.edu/~bilham/Honshu2011/Honshu2011.html

Sismicité historique du Tohoku (Abe, Kanamori, Brady, etc)

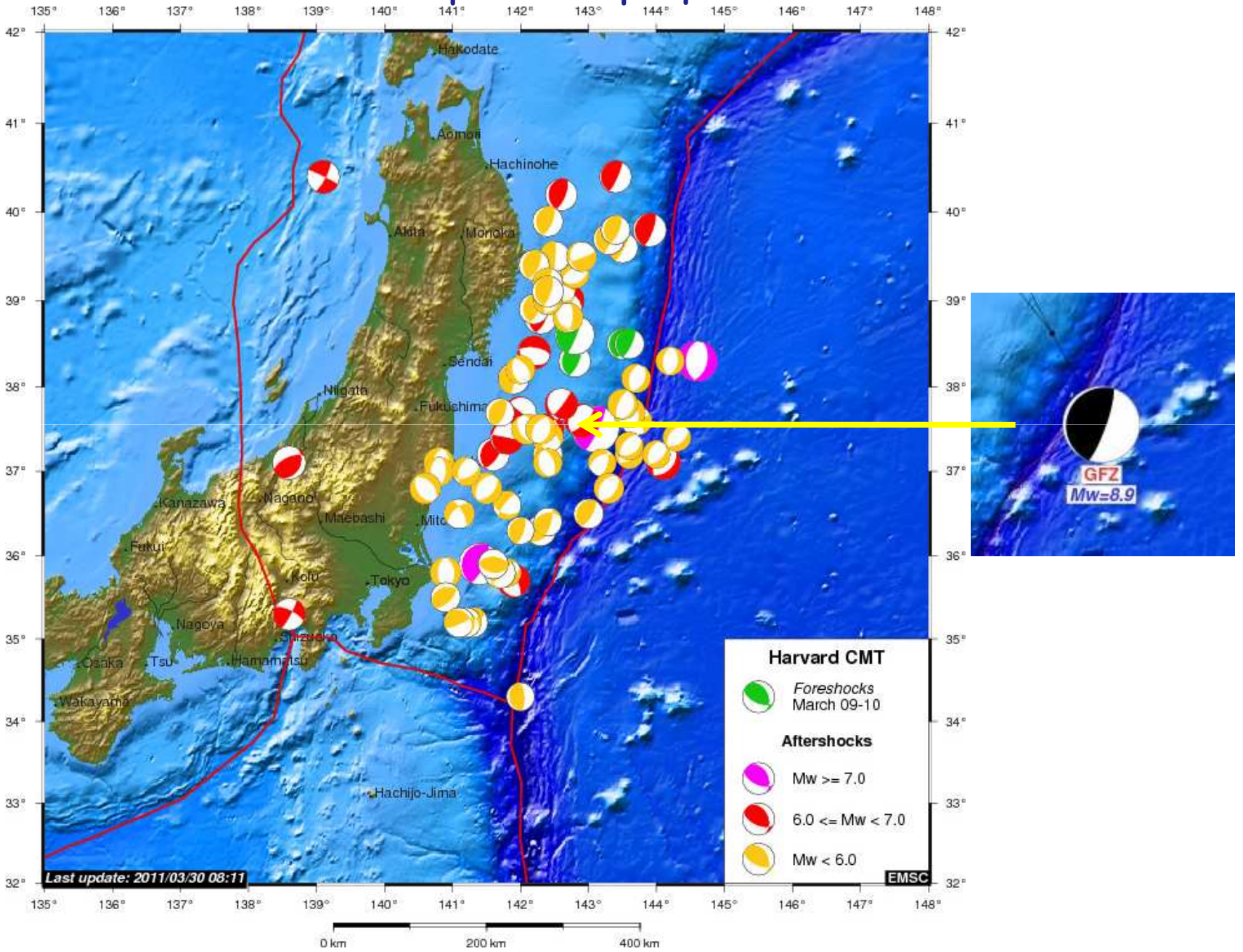




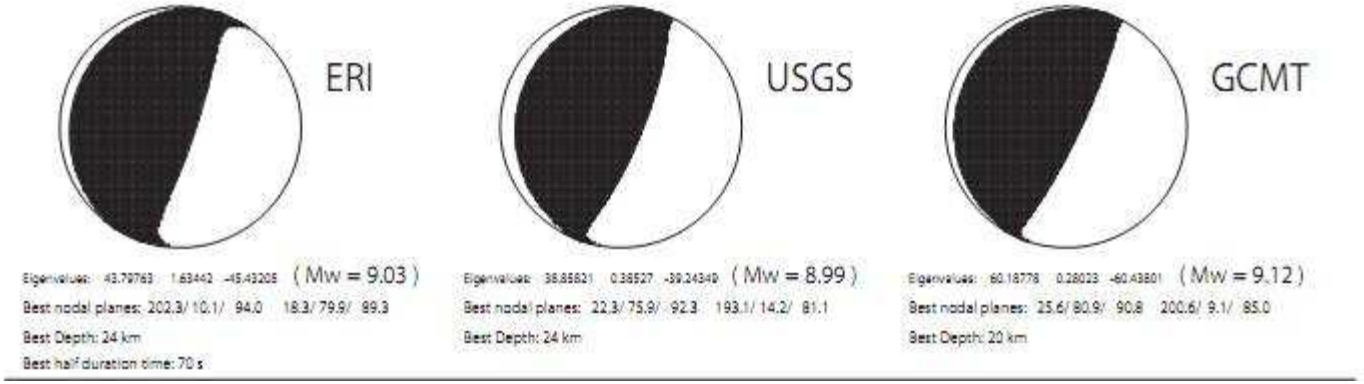
Abe et Kanamori et al, 1970

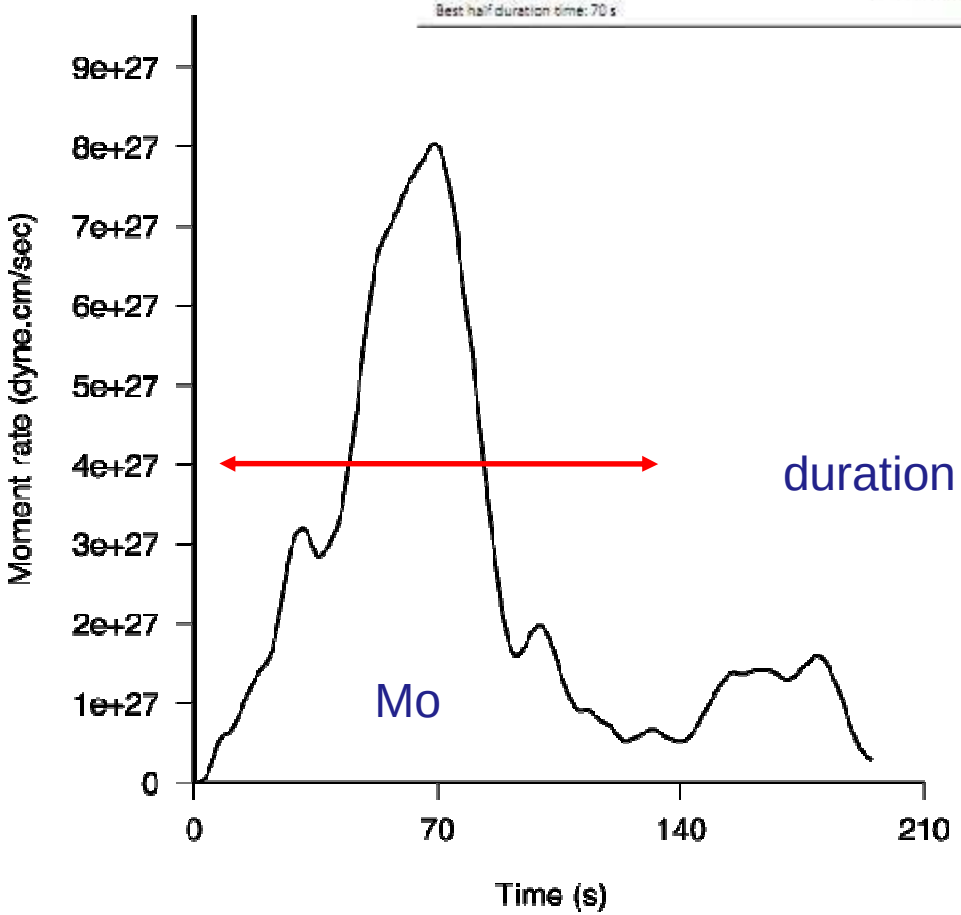
Hashimoto et al, Nature Geosciences, 2009

Principales répliques



Moment rate function

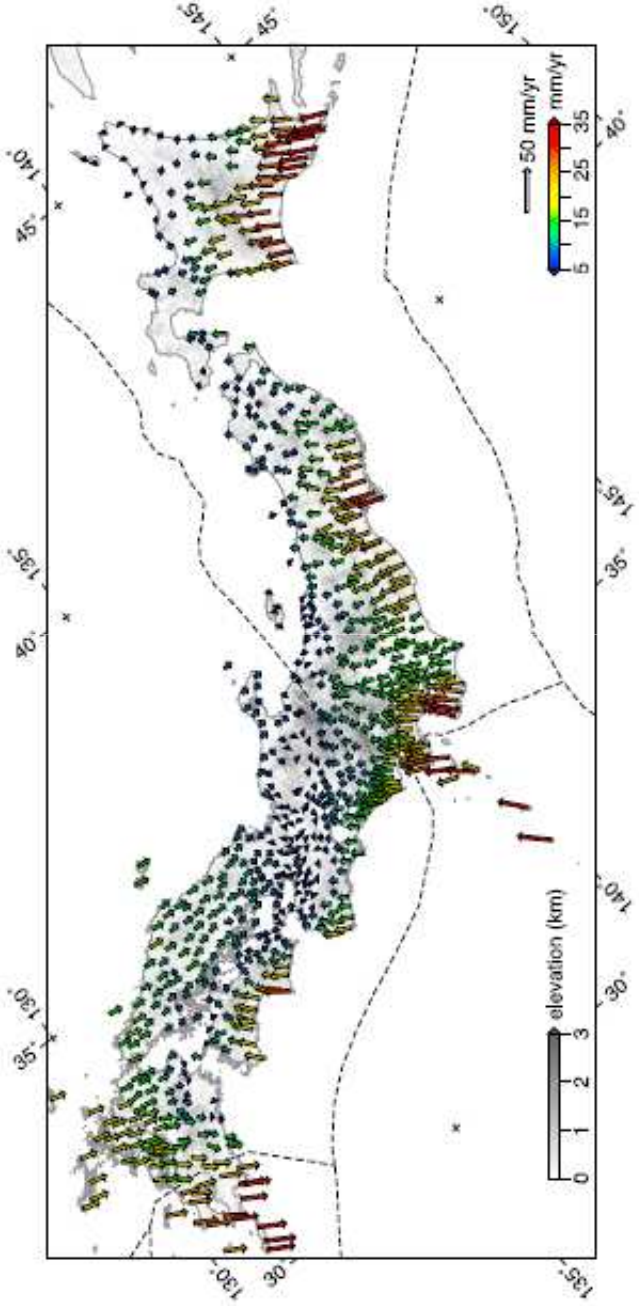


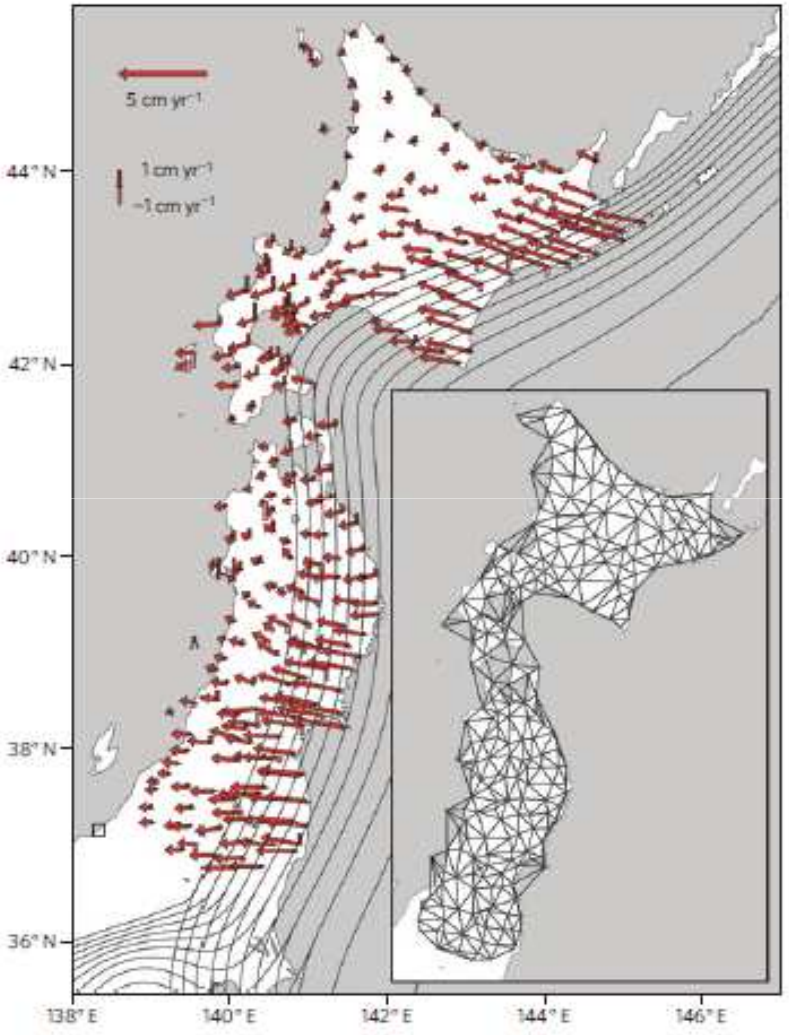


Mo = 4.90e+22 Nm

Mw = 9.0

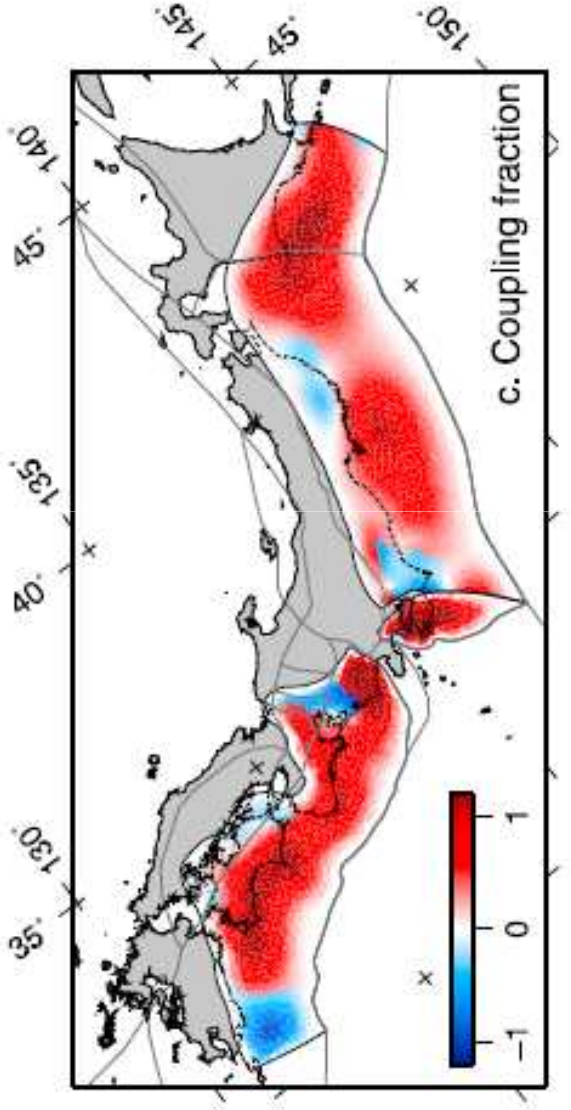
Déformation du Japon avant le séisme de Tohoku



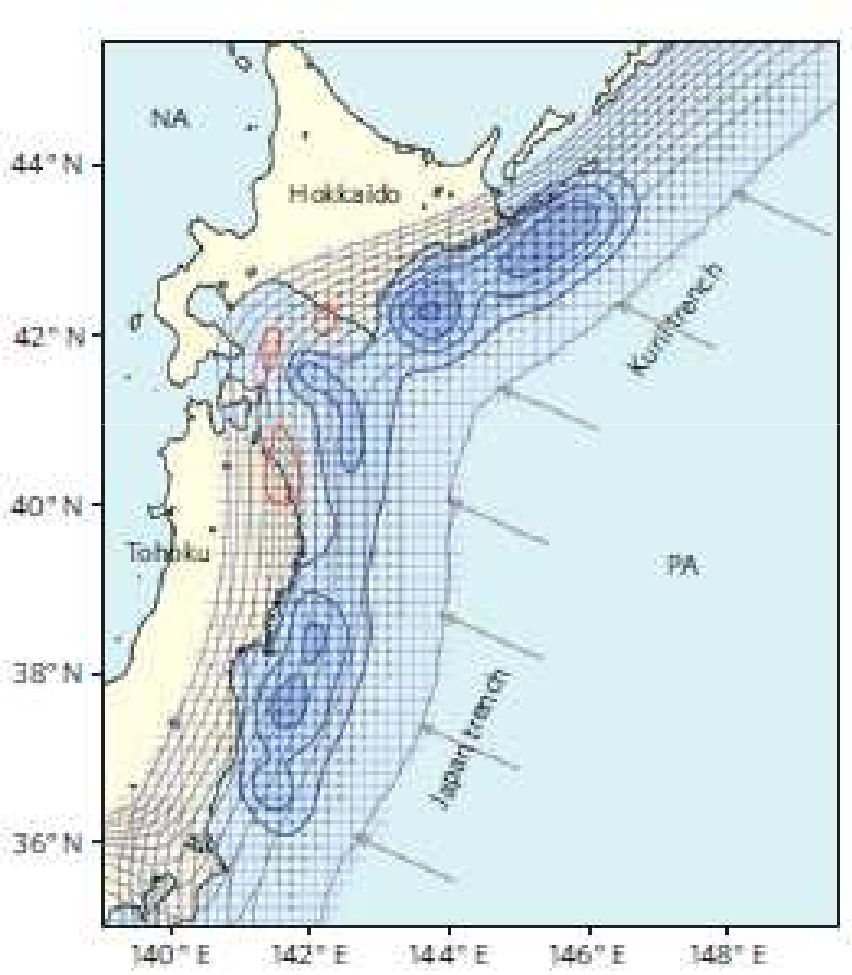


Hashimoto et al, Nature Geosciences, 2009

Couplage au Japon: deux points de vue

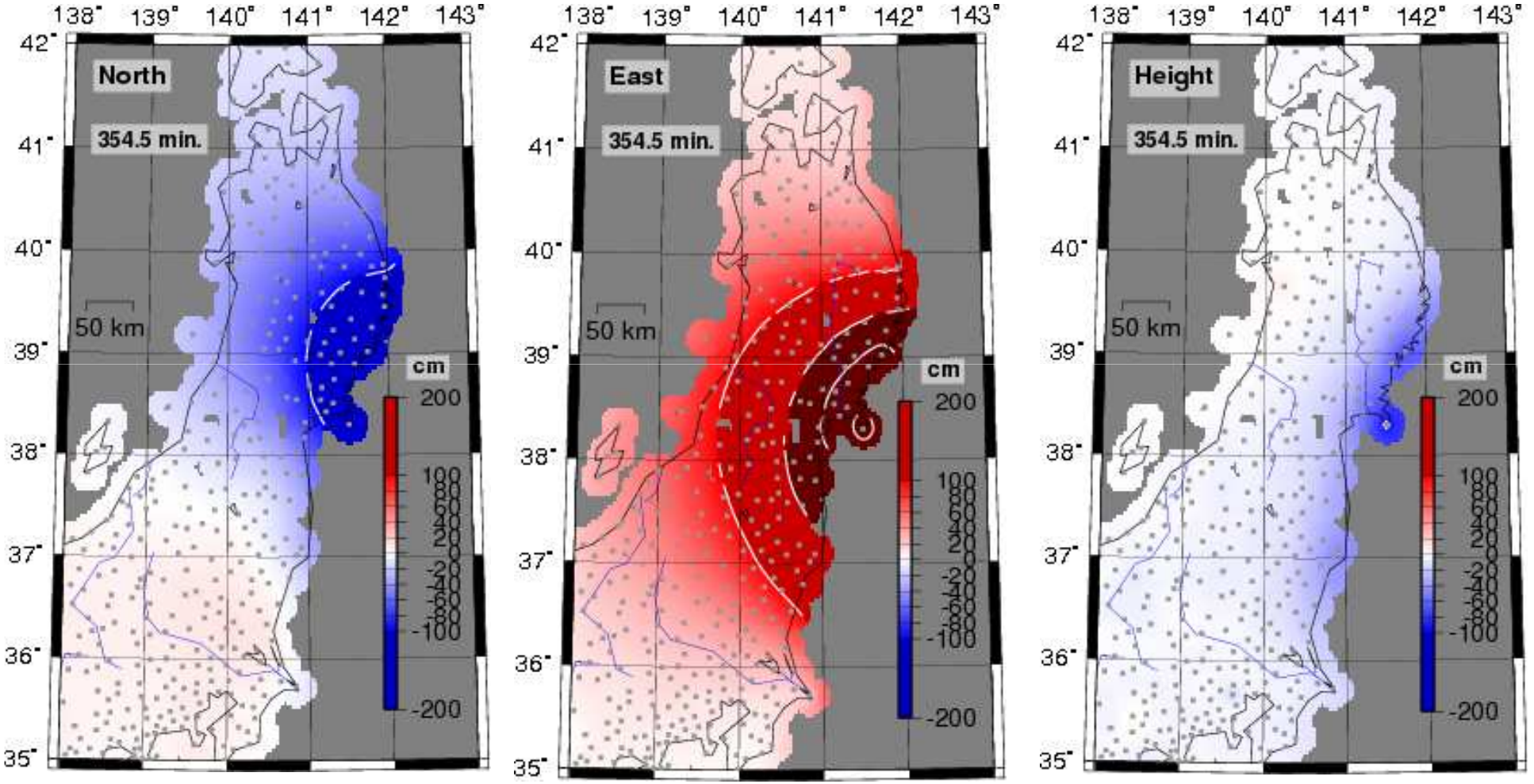


Loveless, J. P., and B. J. Meade (JGR 2010),



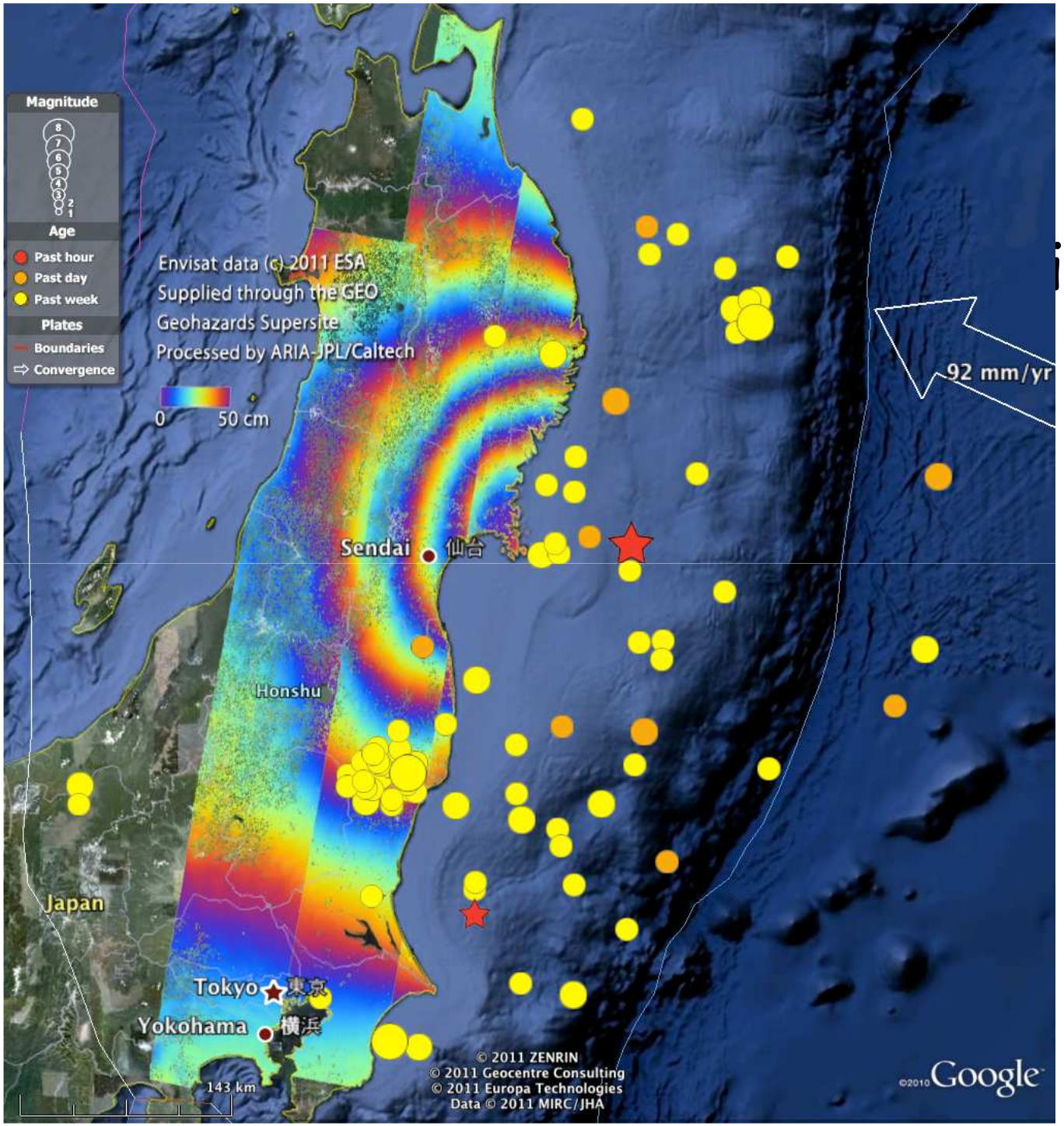
Hashimoto et al, Nature Geosciences, 2009

Déplacement du Japon provoqué par le séisme de Tohoku



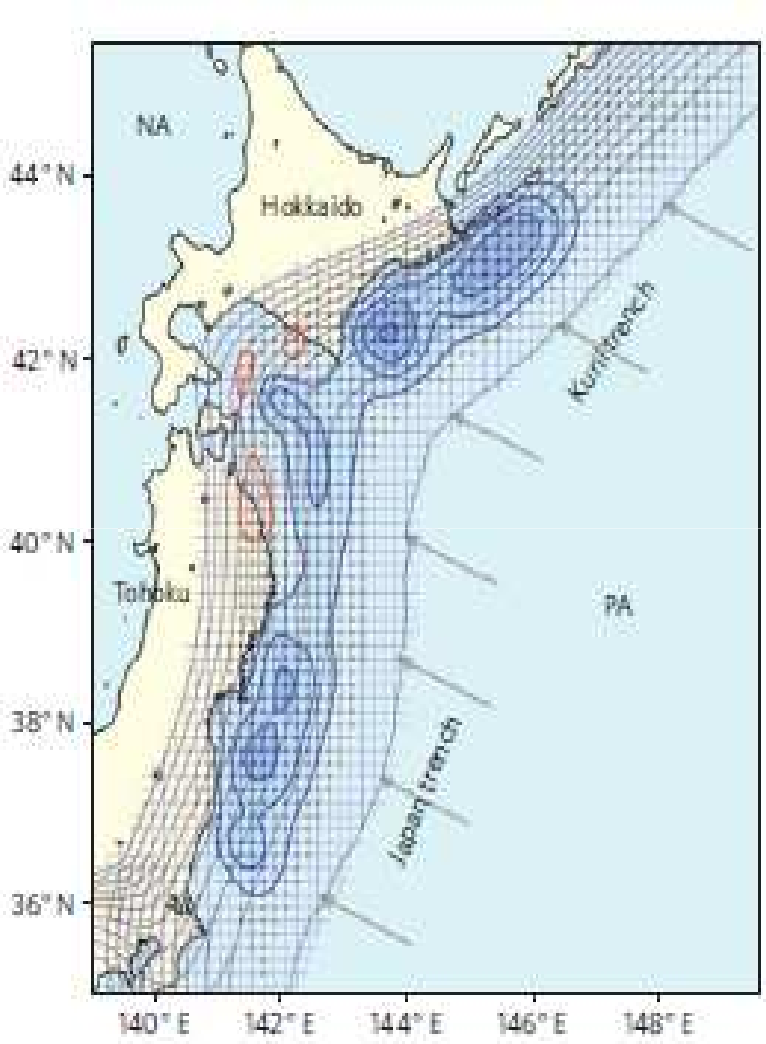
from Aria/JPL/Caltech, contours in m

Envisat interferogram

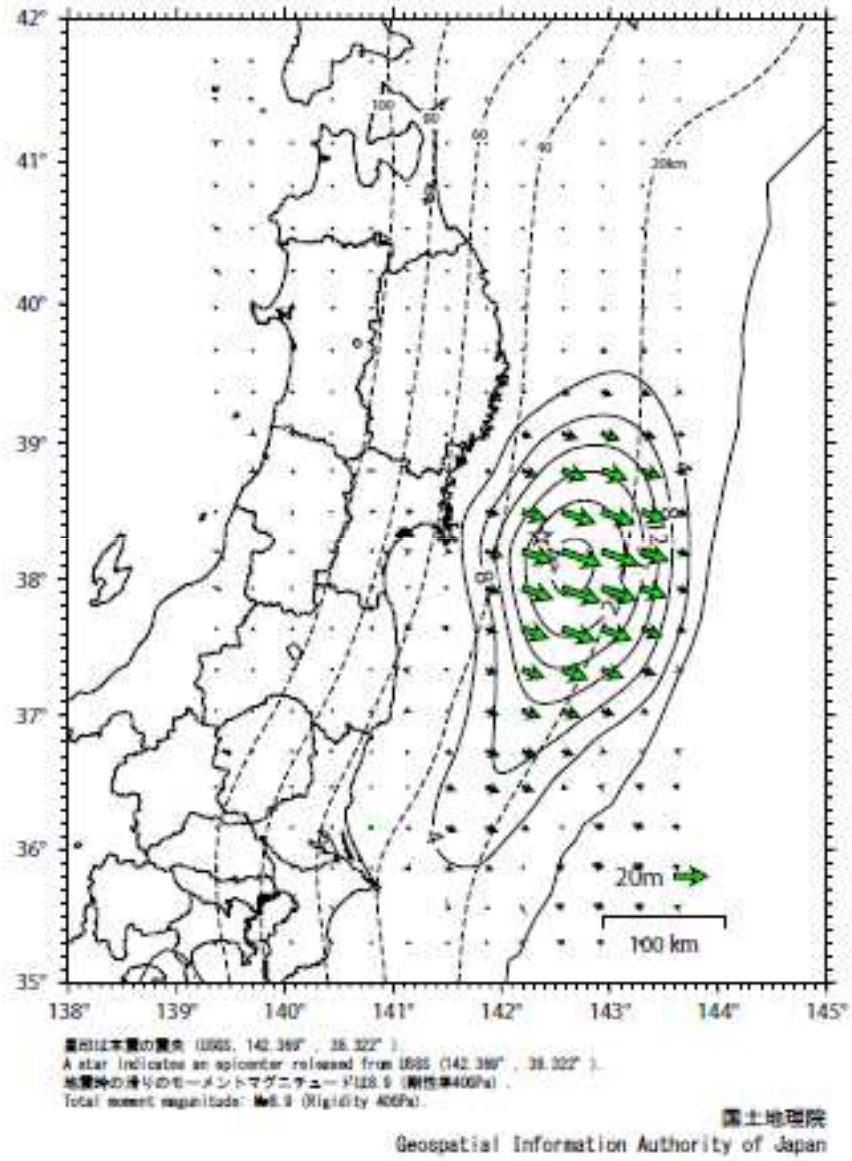


From
JPL/Caltech ARIA

Comparaison glissement présismique et co-sismique



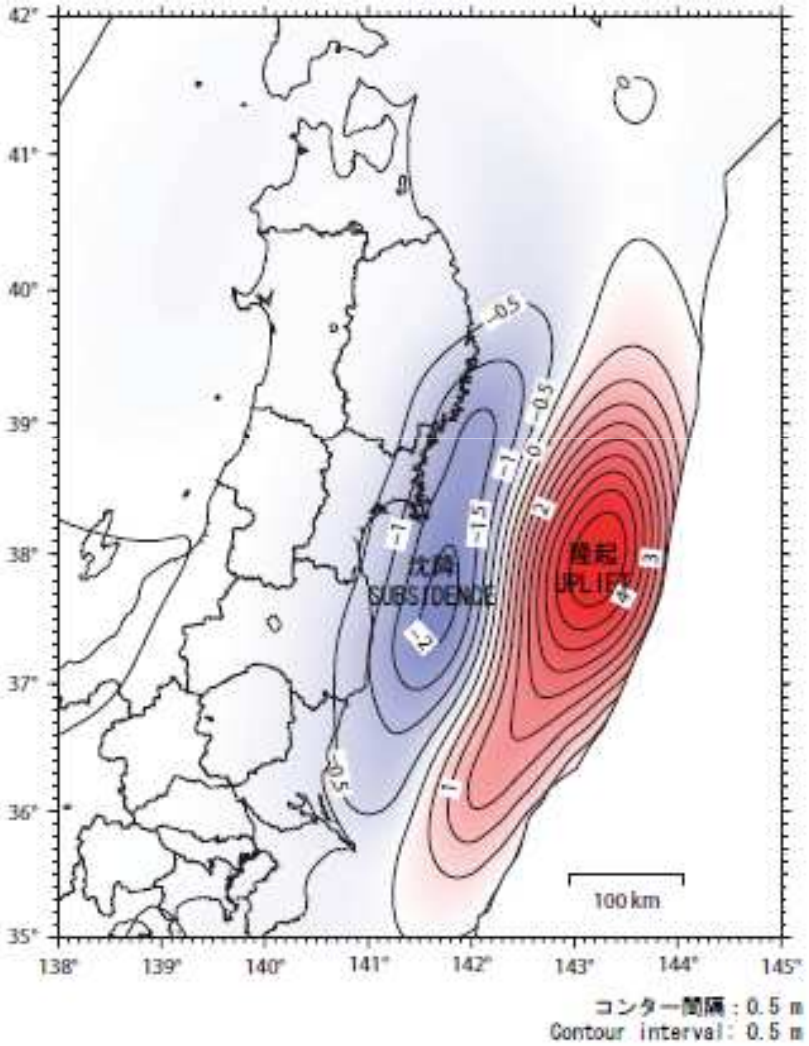
Hashimoto et al, Nature Geosciences, 2009



http://www.gsi.go.jp/cais/

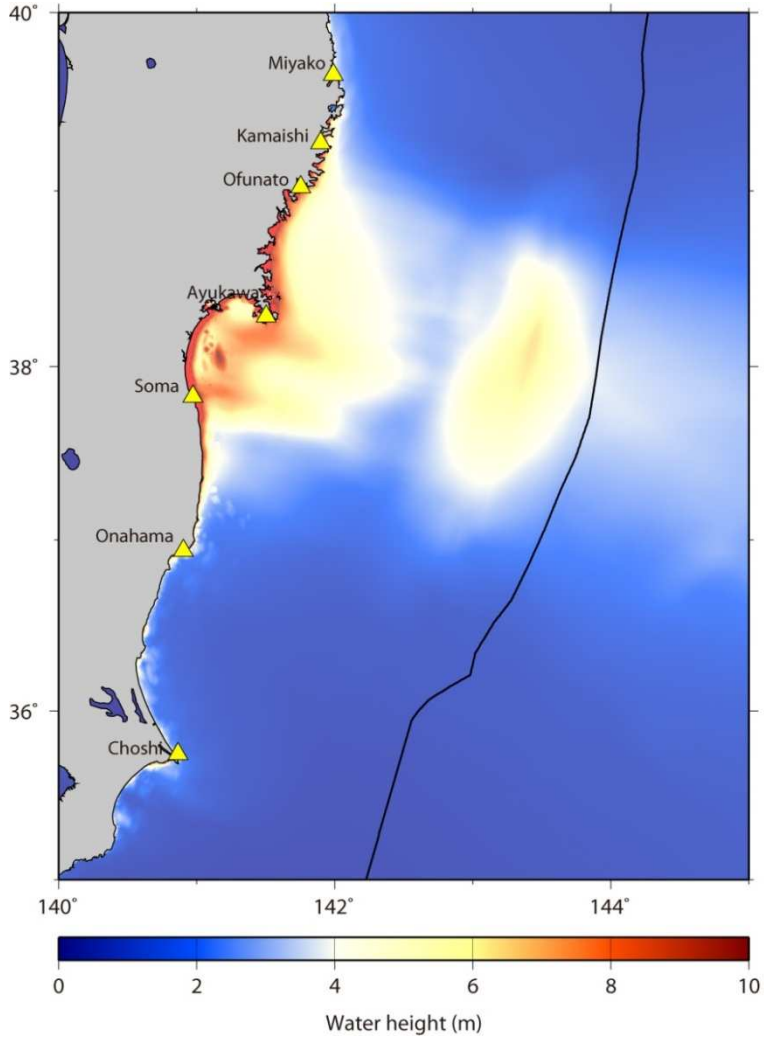
A l'origine du tsunami

Soulèvement du fond marin



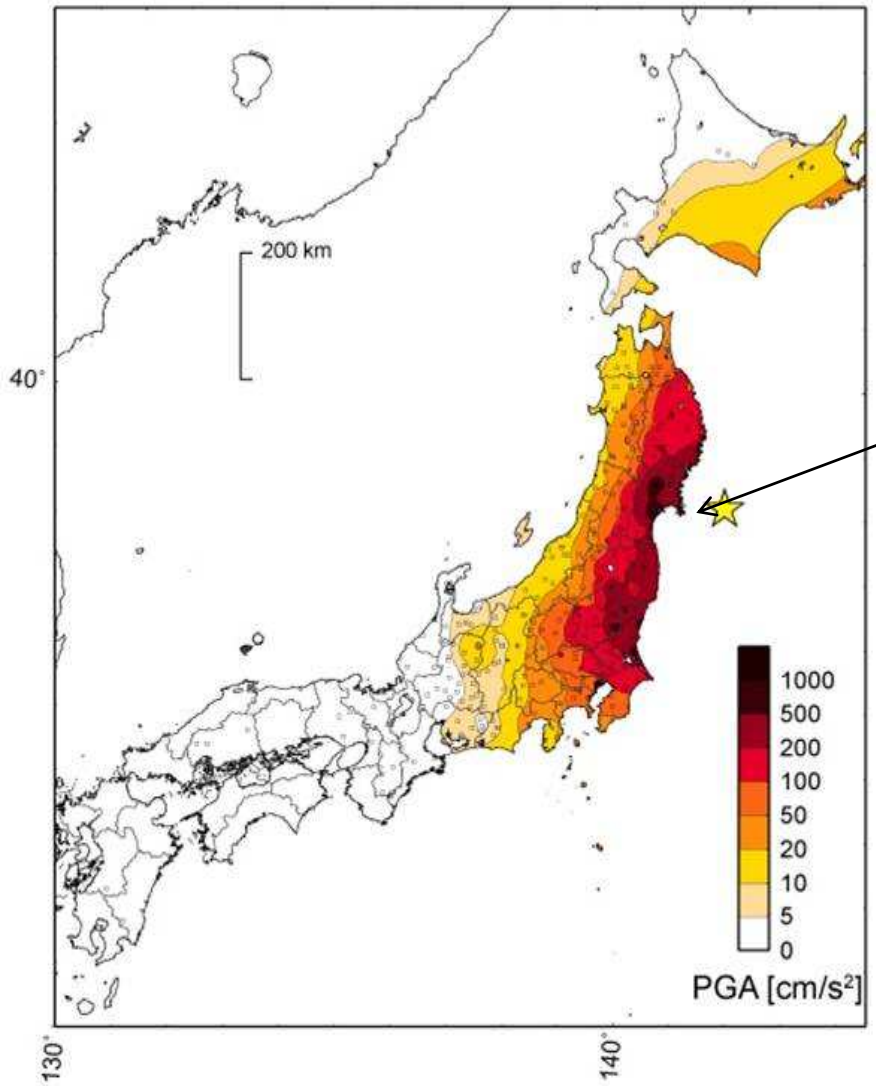
GSI

Hauteur d'eau par Fujii-Satake



ISEE –ERI Tsukuba-Tokyo

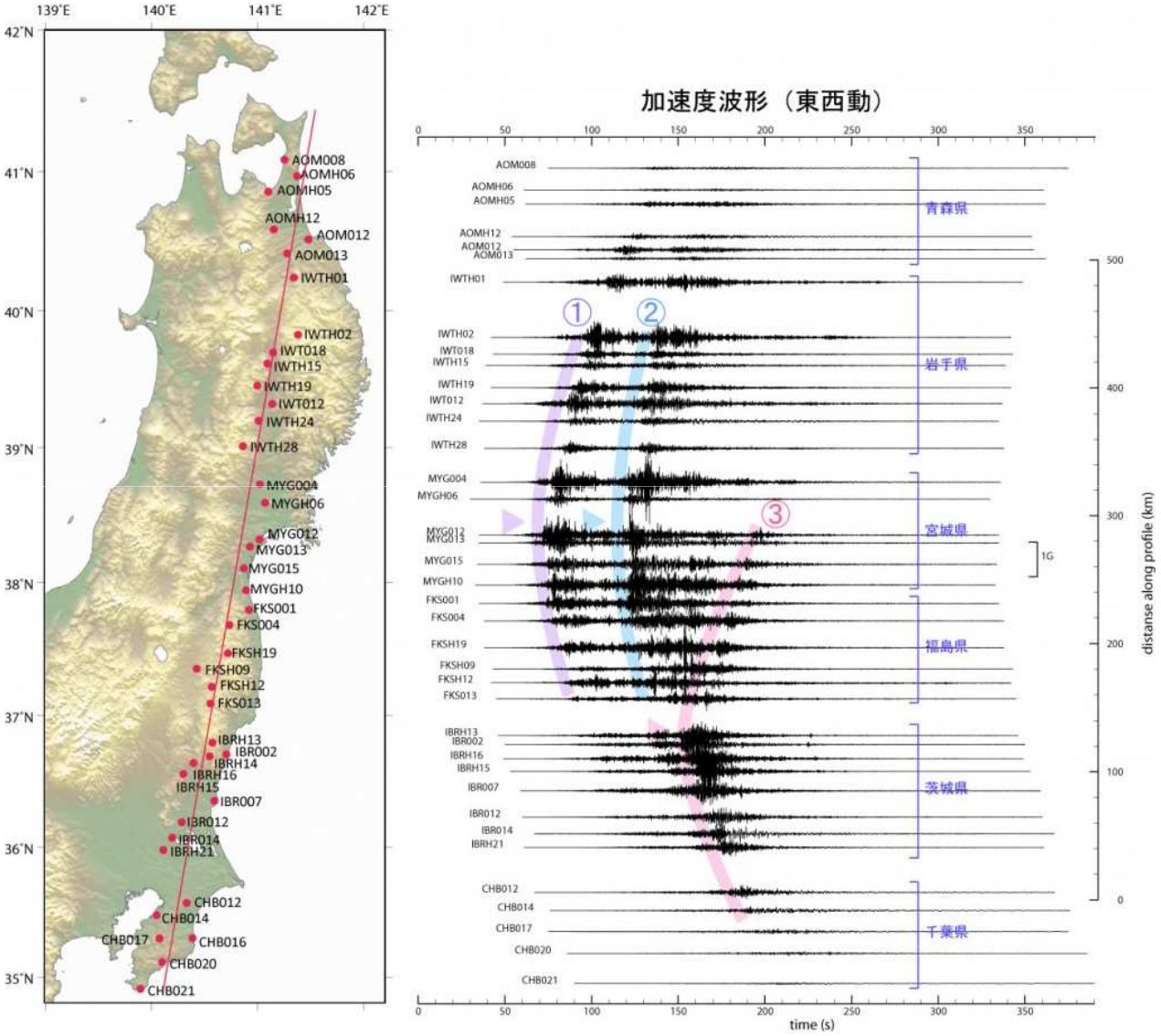
Le séisme aurait pu être aussi destructeur que le tsunami



Accélération maximale 3g

http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/eng

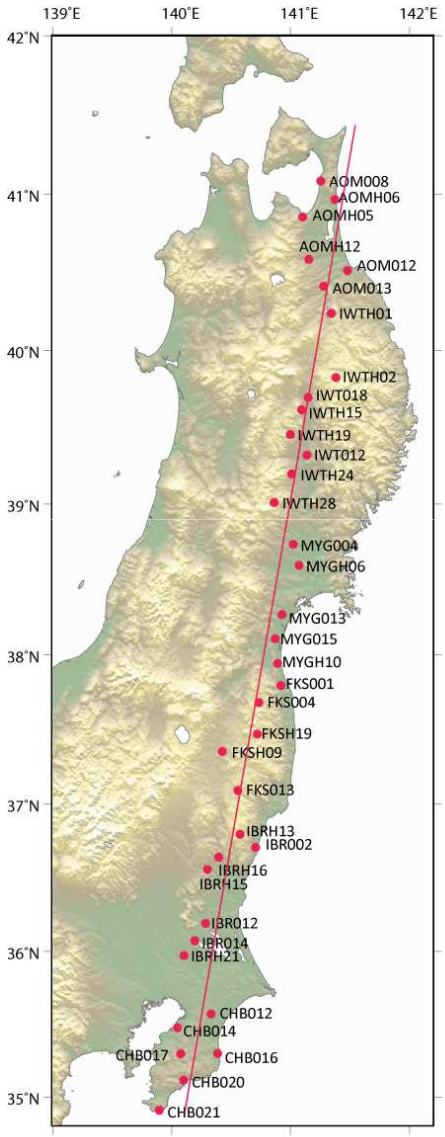
Section sismique le long de la côte de Tohuku : Accelerogrammes

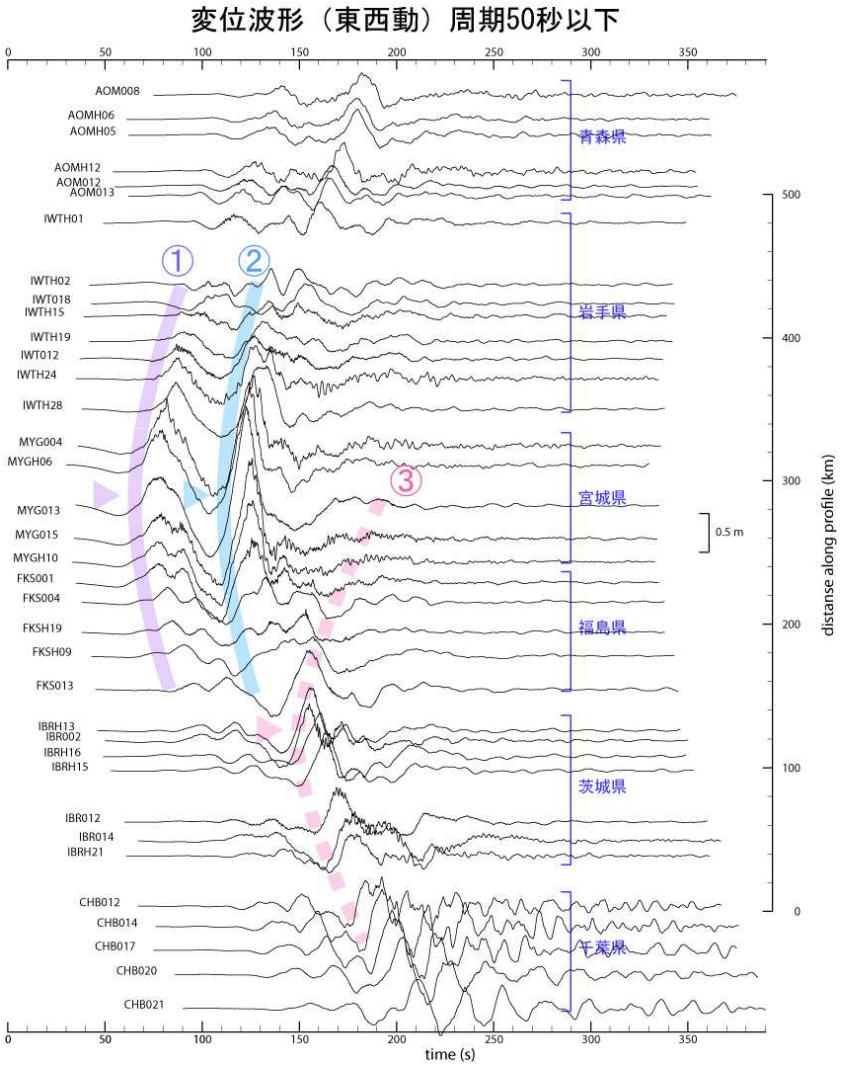


http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/eng

Section sismique le long de la côte de Tohuku :

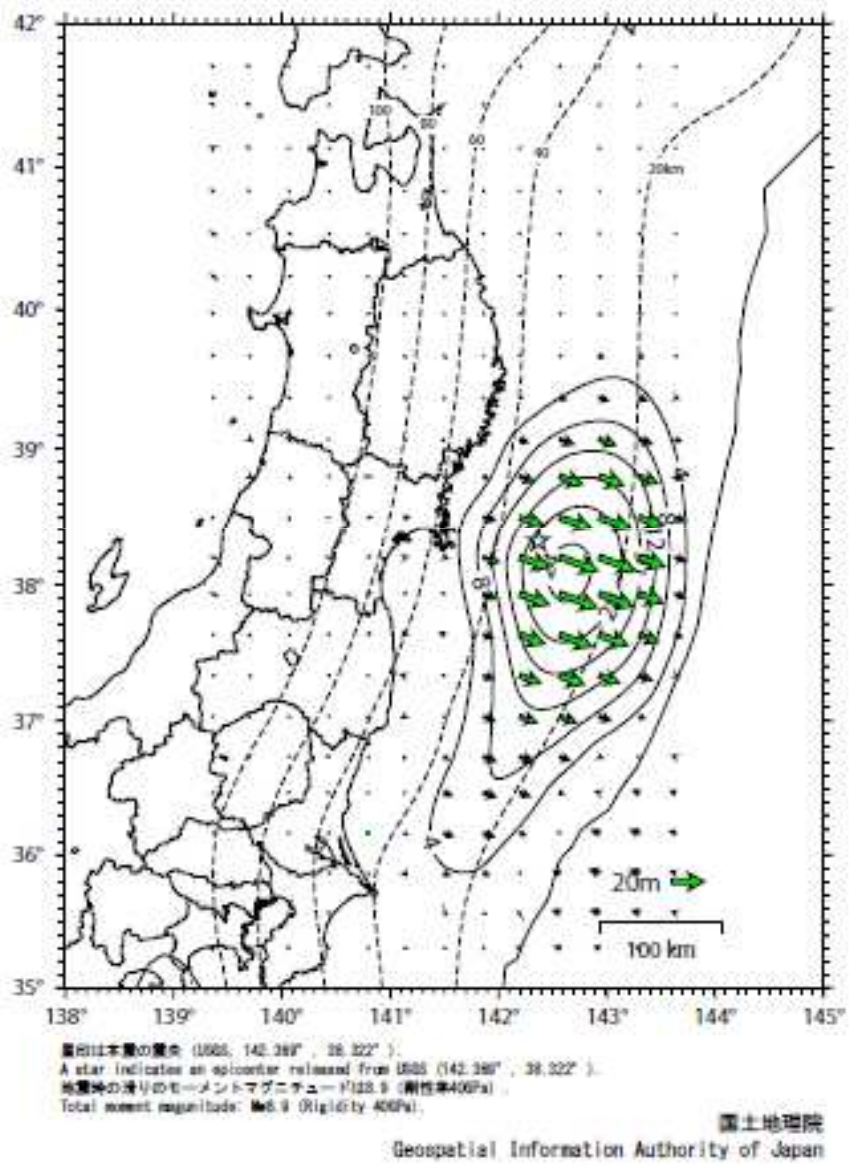
Filtered Accelerogrammes





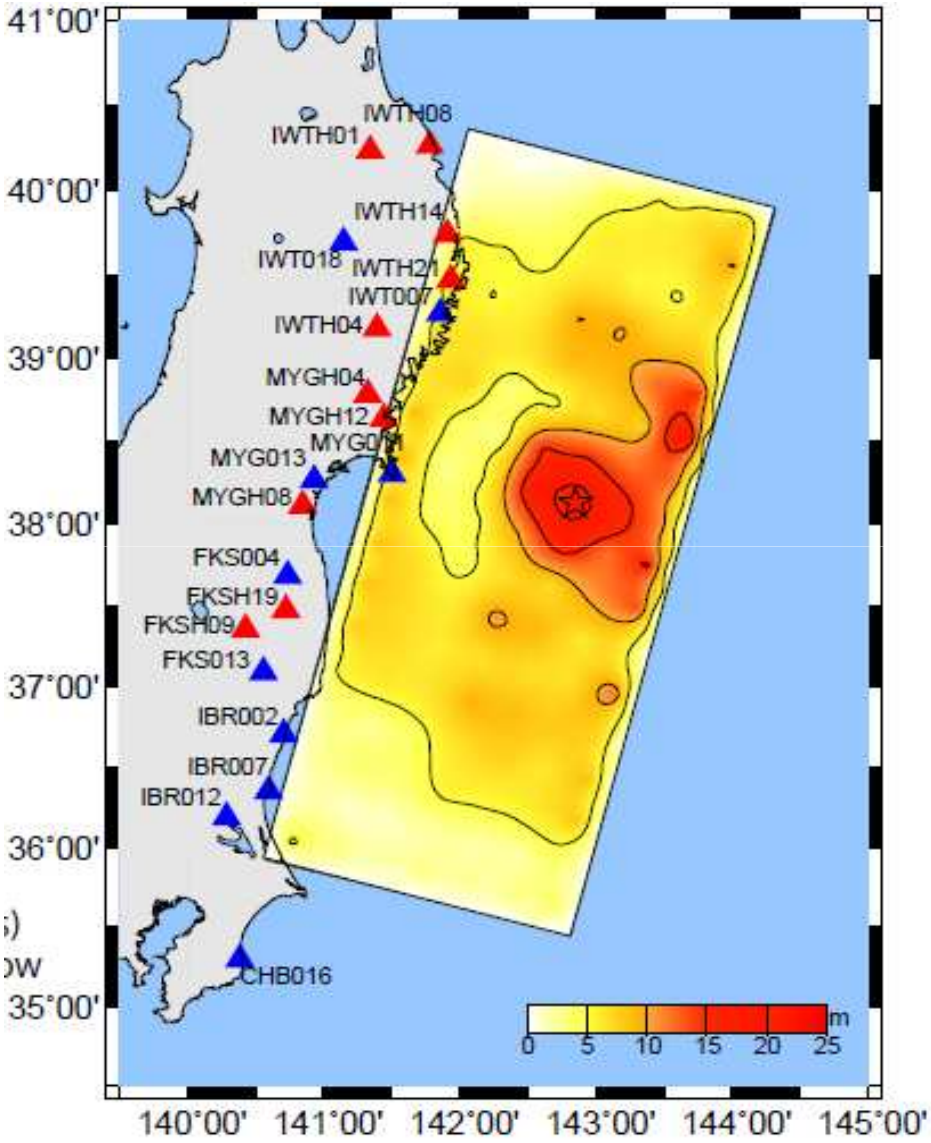
http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/eng

Modèle dérivé de la géodésie spatiale



GSI

Modèle dérivé du champ proche



NIED