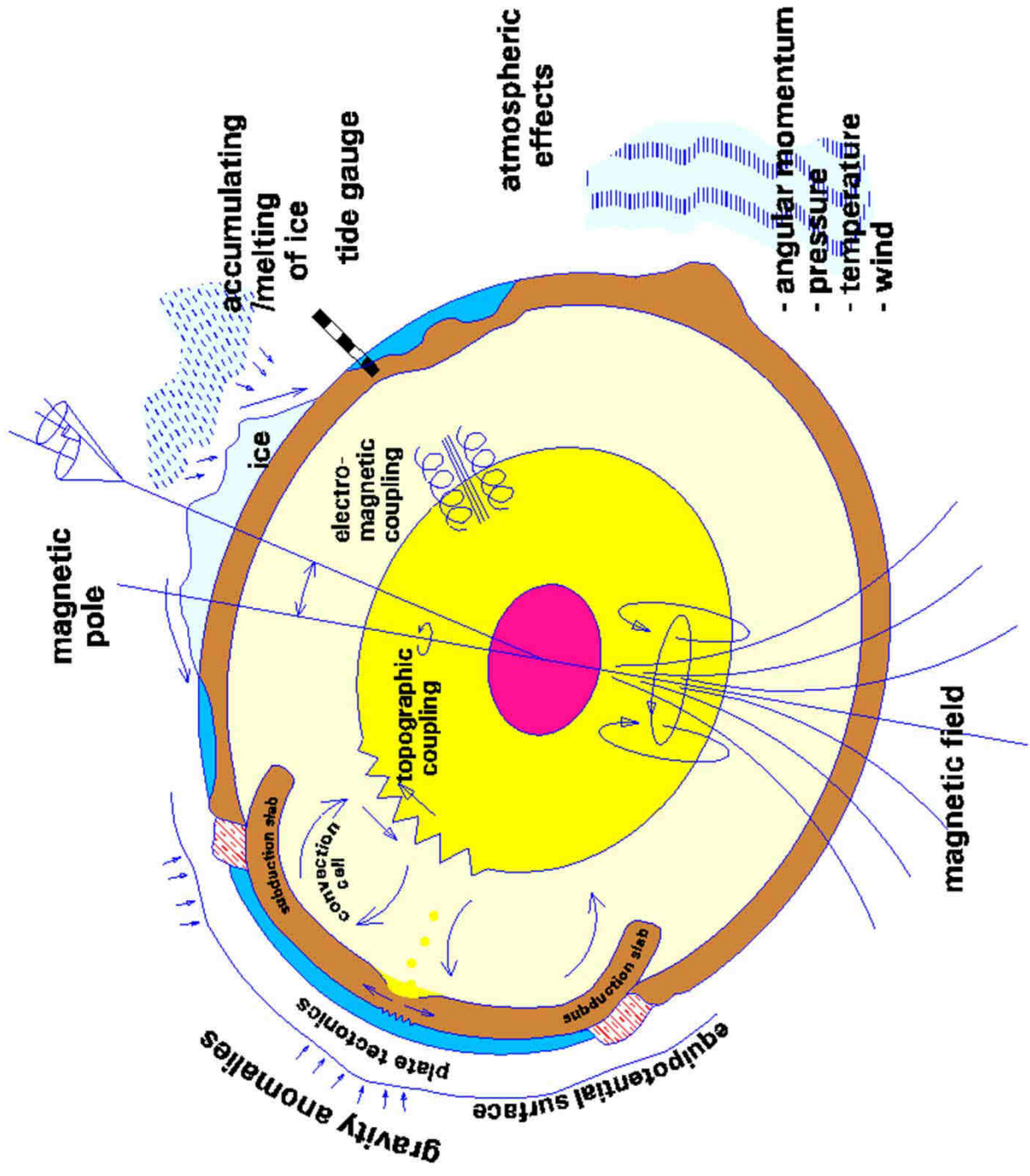


An aerial photograph of a massive glacier system flowing through a mountain range. The glacier is a deep blue-grey color, contrasting with the white snow and grey rock of the surrounding peaks. The text is overlaid on the upper half of the image.

Déformations verticales à grande échelle : rôle de la tectonique, du climat et de l'hydrologie



magnetic pole

accumulating /melting of ice

tide gauge

atmospheric effects

- angular momentum
- pressure
- temperature
- wind

electro-magnetic coupling

topographic coupling

convection

subduction slab

subduction slab

gravity anomalies

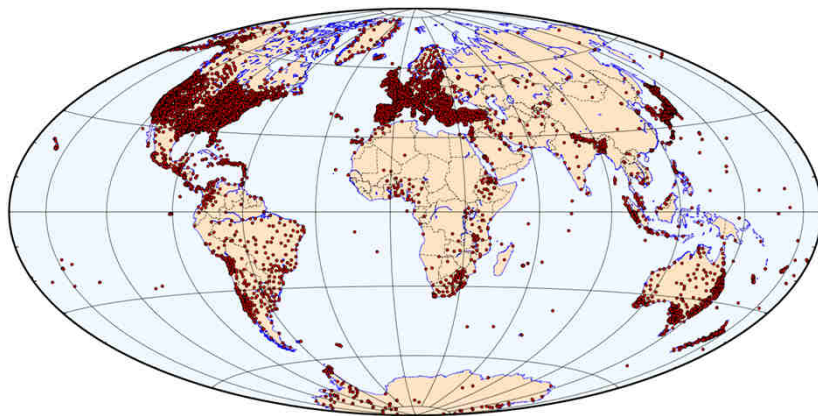
equipotential surface

plate tectonics

magnetic field

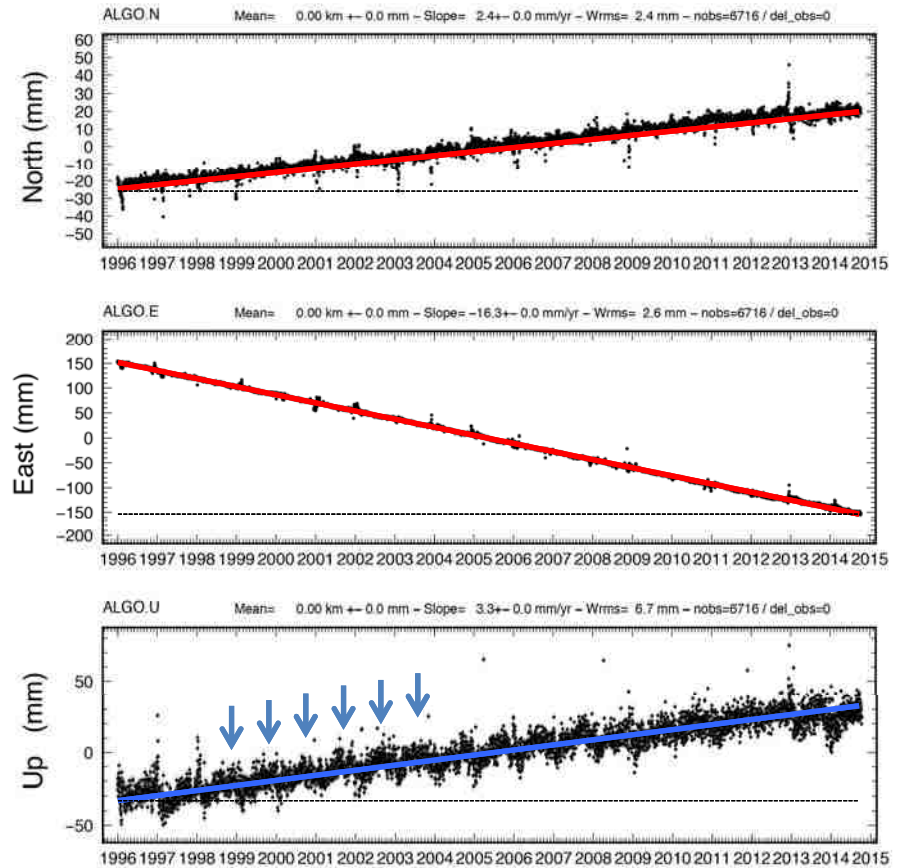


Station GPS permanente



Distribution des stations GPS permanentes publiques (2015)

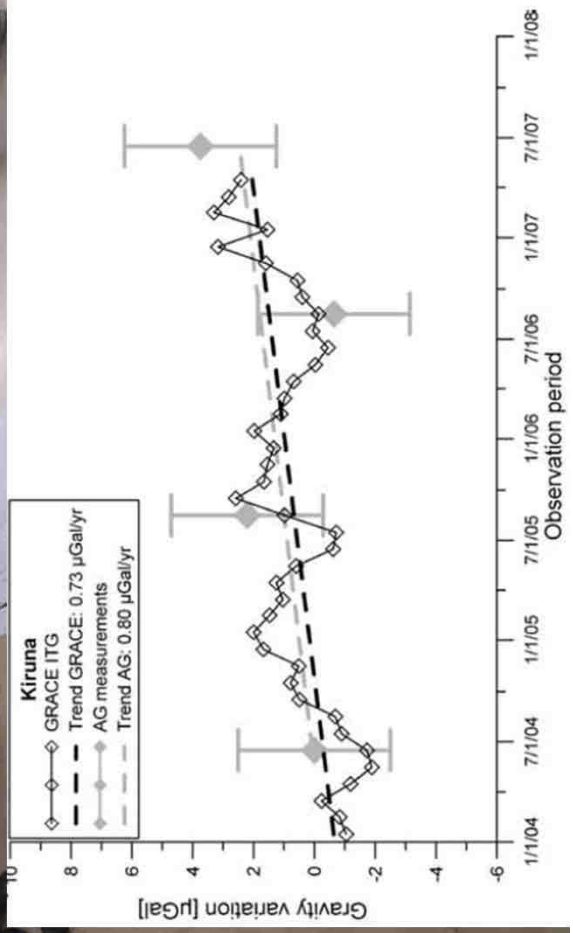
Algonquin, centre Canada

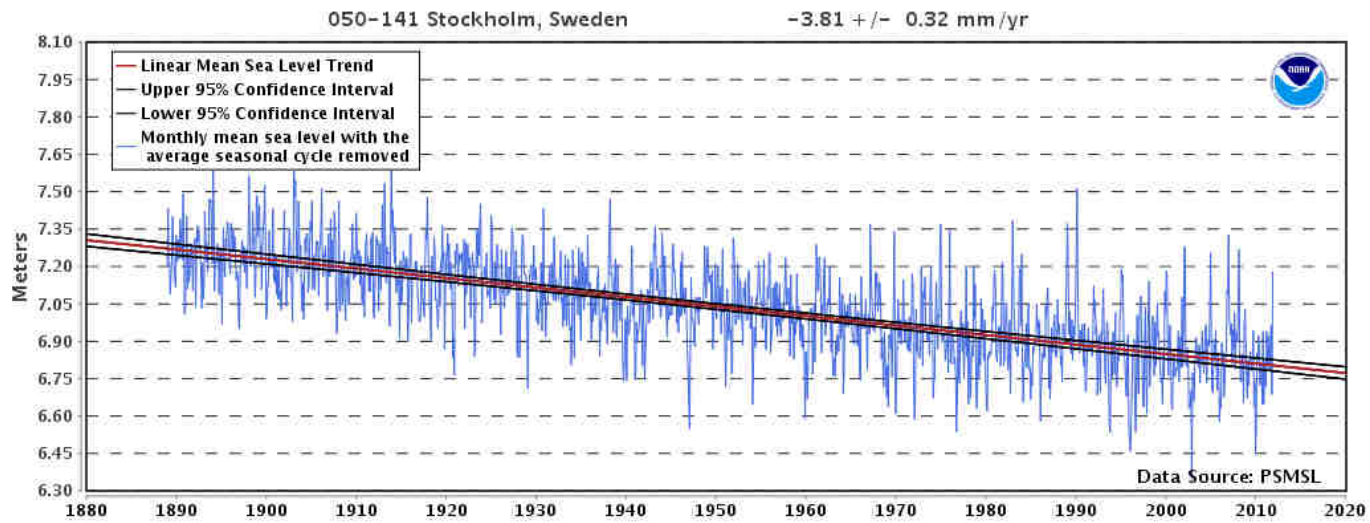


- (1) Mouvement plaque nord américaine
- (2) Rebond post-glaciaire
- (3) Charge hydrologique saisonnière

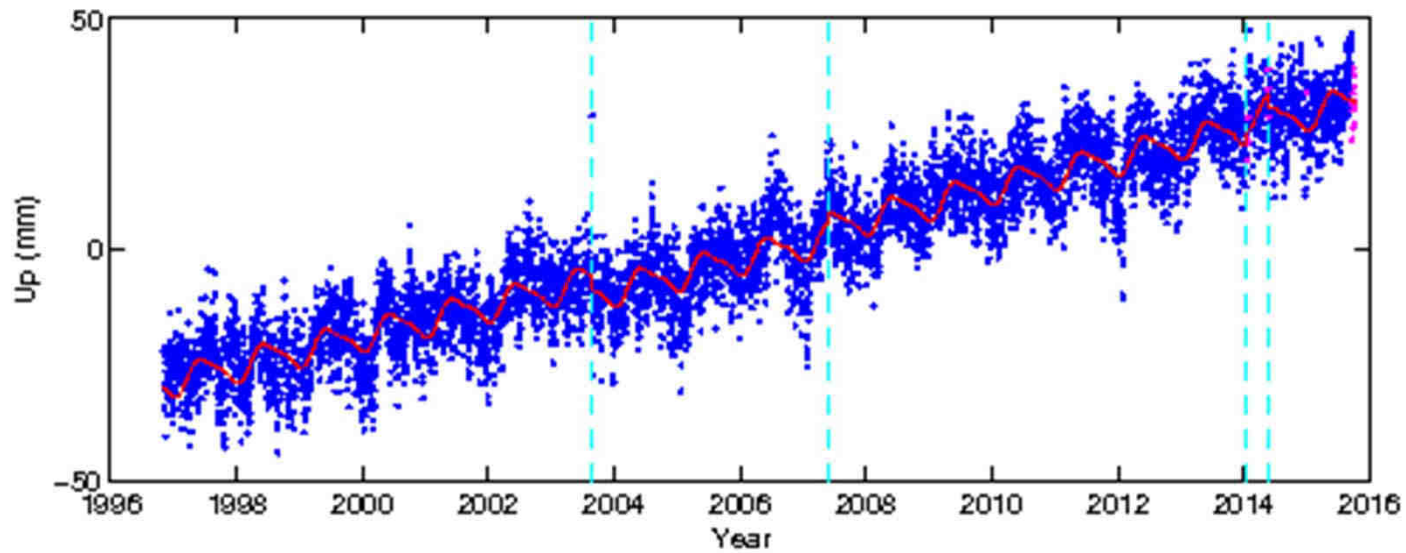


La mission satellitaire GRACE mesure le champ de gravité terrestre et ses variations temporelles avec une précision inégalée

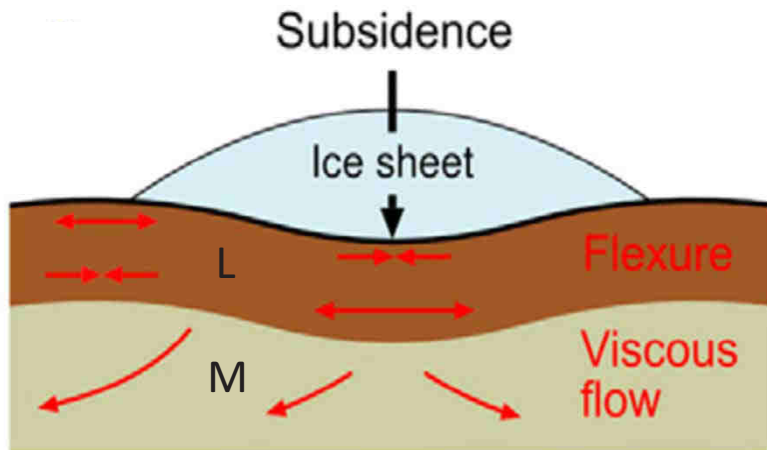




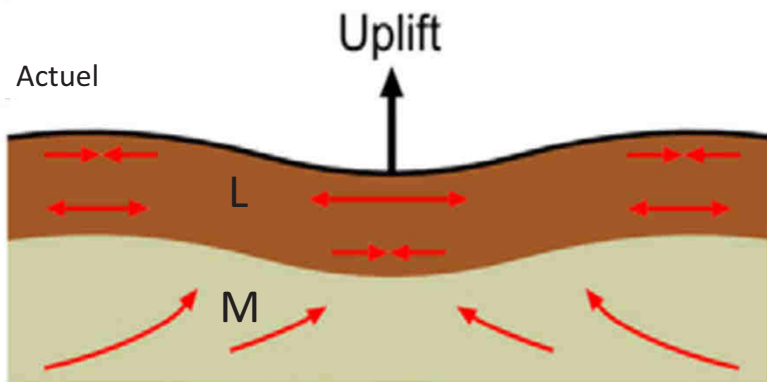
Mesures de niveau relatif de la mer au marégraphe de Stockholm (Suède) = -3.8 mm/an



Série temporelle GPS à Stockholm (Suède, VIS0) = +3.3 mm/an

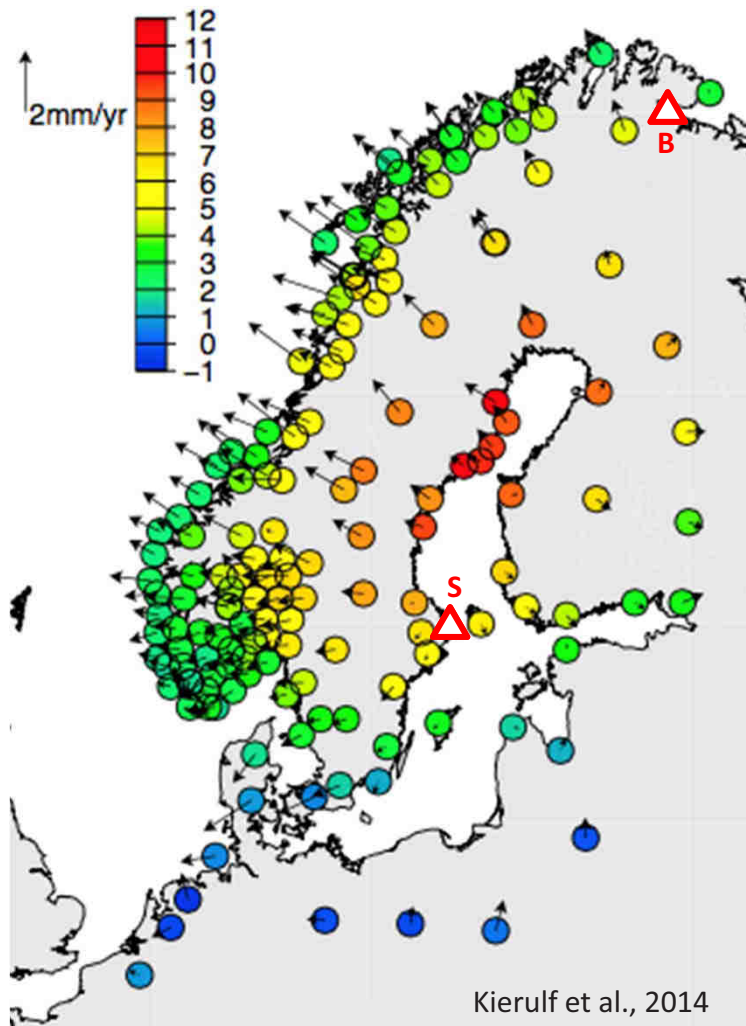


Maximum glaciaire (20 ka BP)



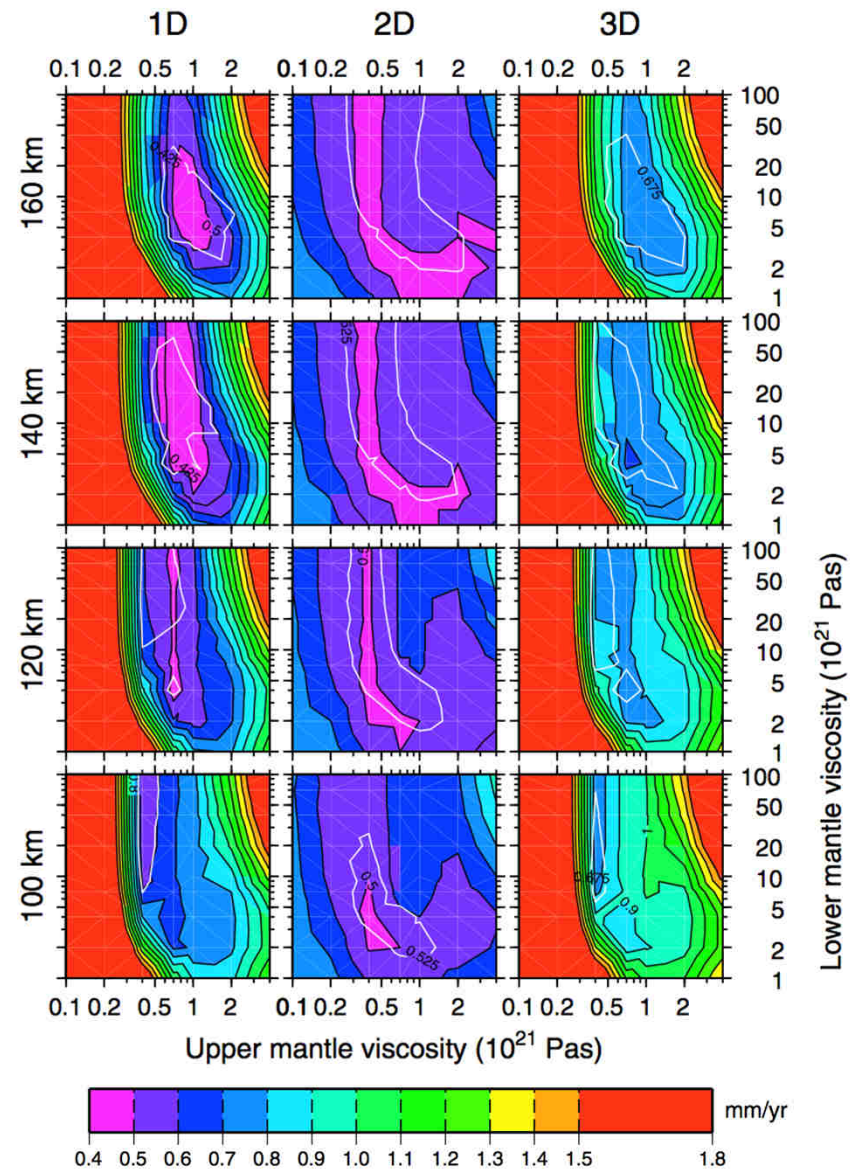
Plages surélevées, Brannsetta, Norvège du nord (70°N).
 79 m ~11 000 ans, 29 m ~5 800 ans, 14 m ~3 000 ans
 => surrection à 7-5 mm/an

Principe de l'ajustement isostatique glaciaire.
 L'amplitude et la longueur d'onde de la déformation dépendent de l'histoire de la déglaciation et de la viscosité du manteau.

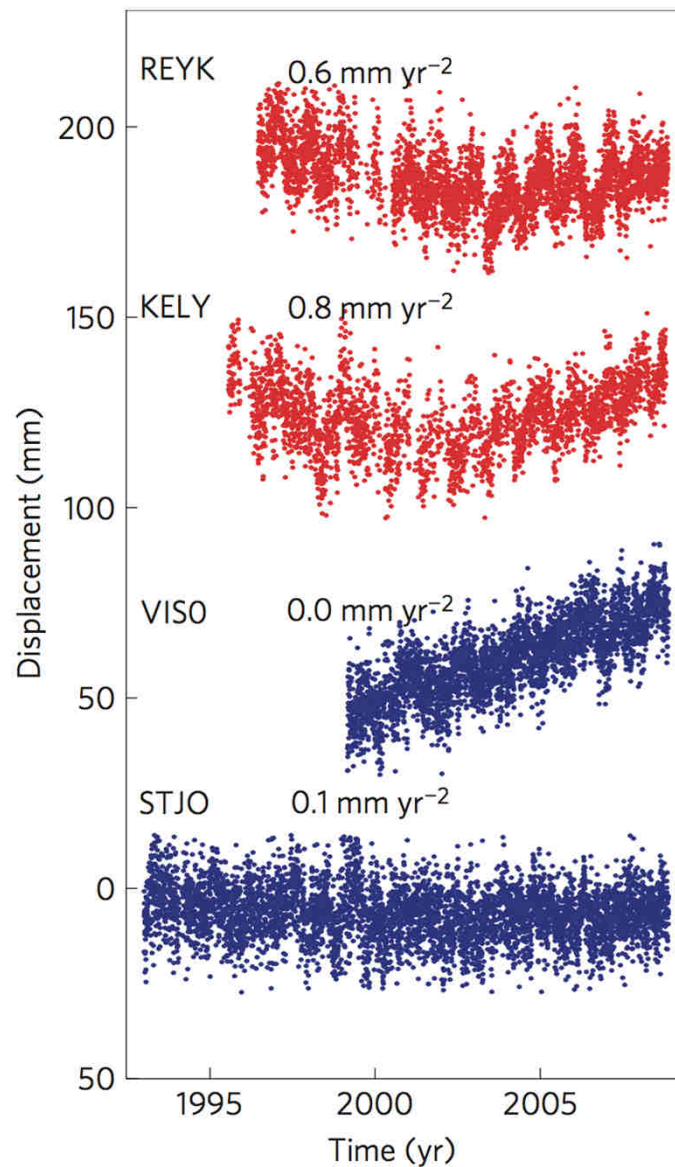


Vitesses verticales et horizontales mesurées en Scandinavie par GPS.

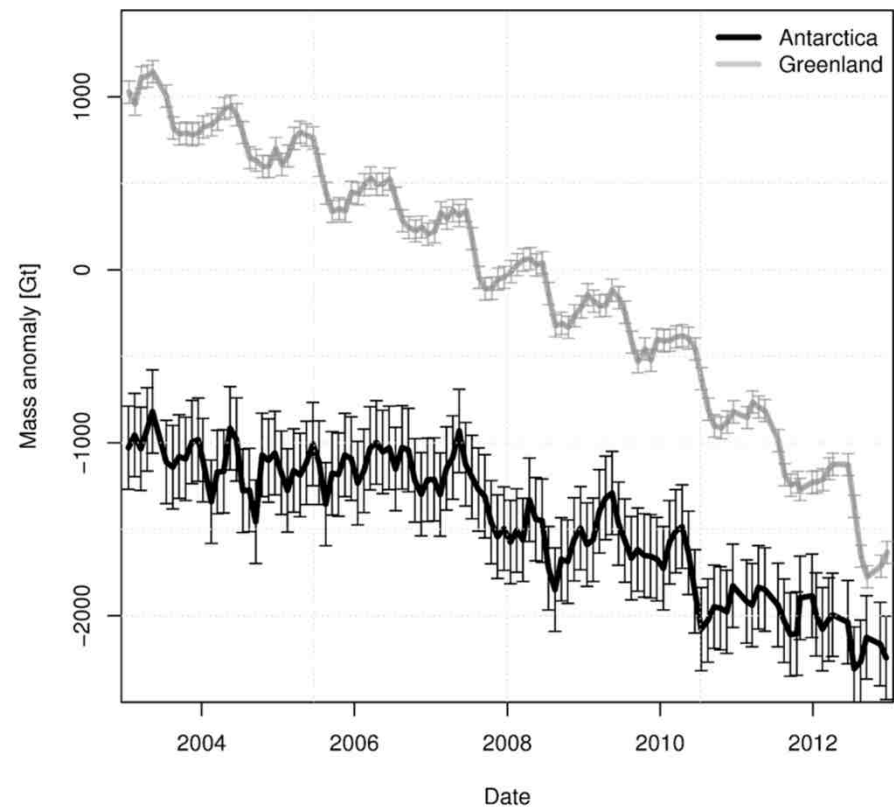
Kierulf et al., 2014



Recherche des paramètres optimaux: épaisseur de la lithosphère = 140 km, viscosité du manteau supérieur = 7×10^{20} Pa s, manteau inférieur = 4×10^{21} Pa s

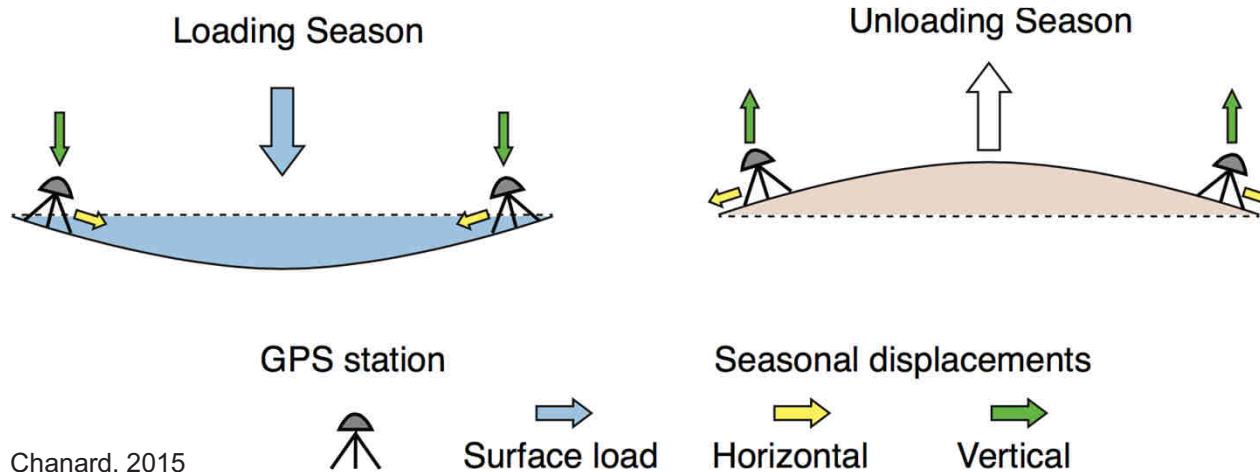
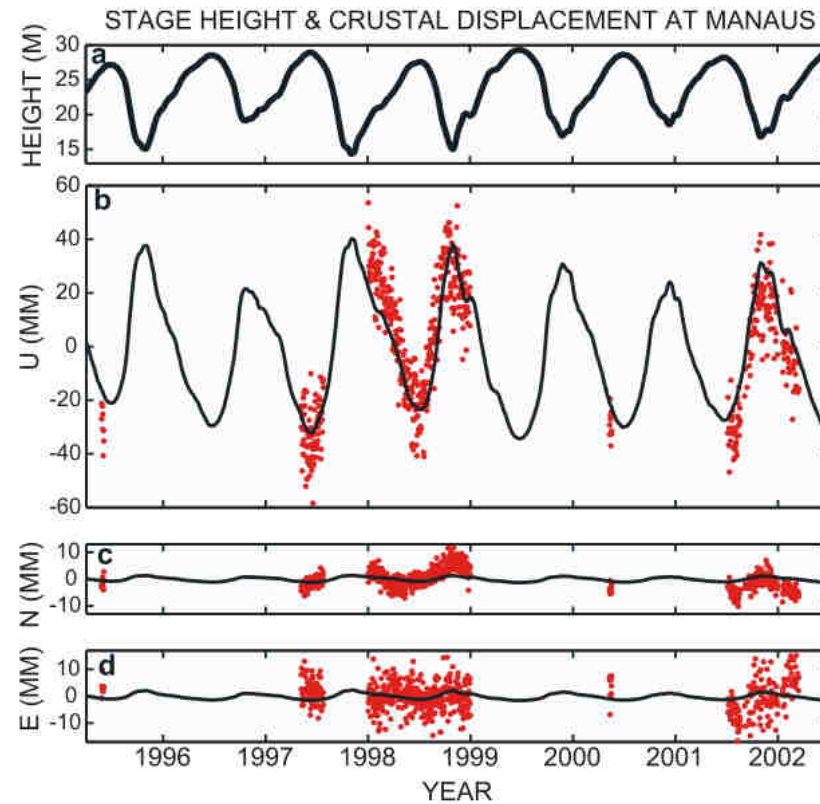


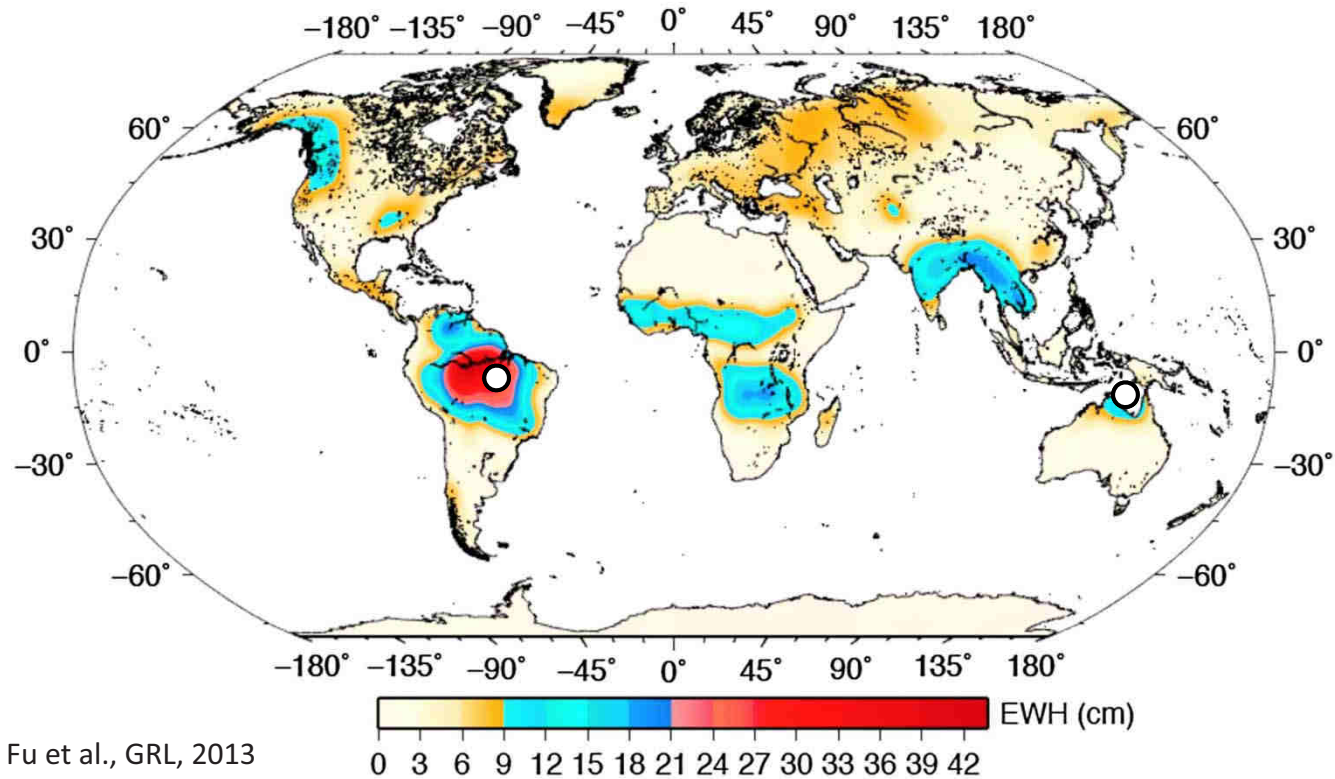
Accélération récente de la fonte des glaces du Groenland mesurée par GPS.



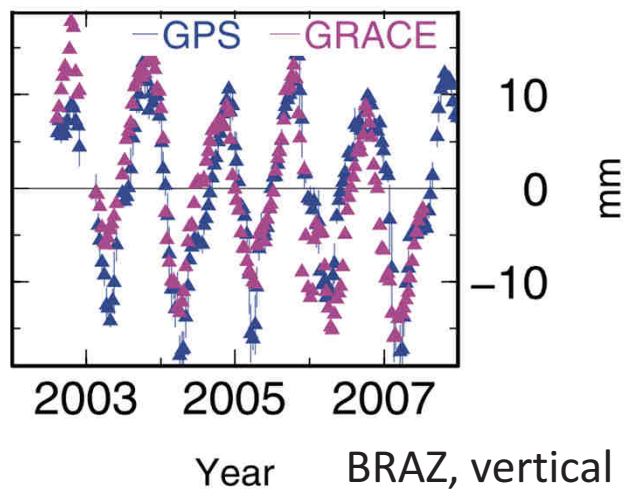
Bilan cumulé des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique « mesurées » par GRACE. Les tendances dépendent de la correction de rebond postglaciaire utilisée.

Comparison between GPS observations at Manaus (Amazonian basin, red dots) and the predicted flexure of an elastic plate under water loading (Bevis et al., 2005).

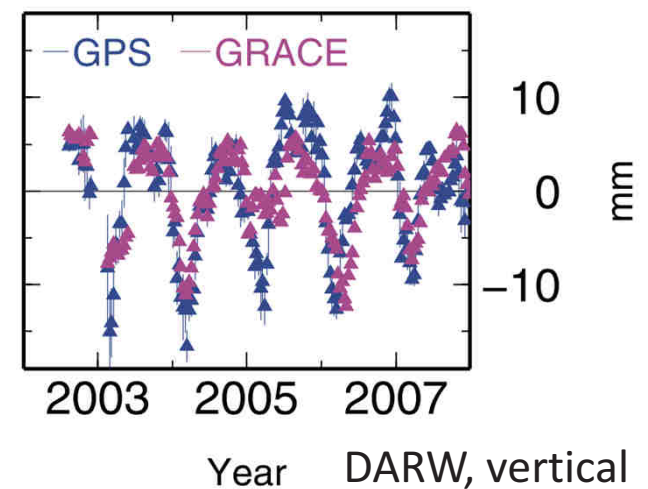




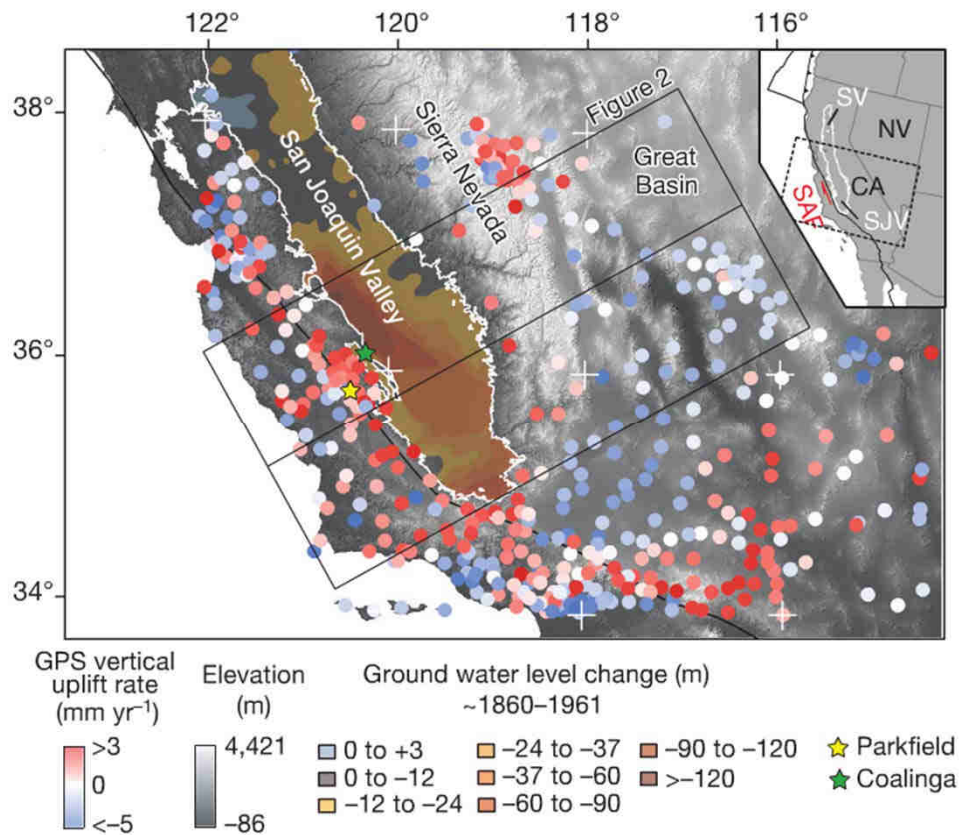
Variations saisonnières maximales mesurées par GRACE en « hauteur d'eau équivalente »



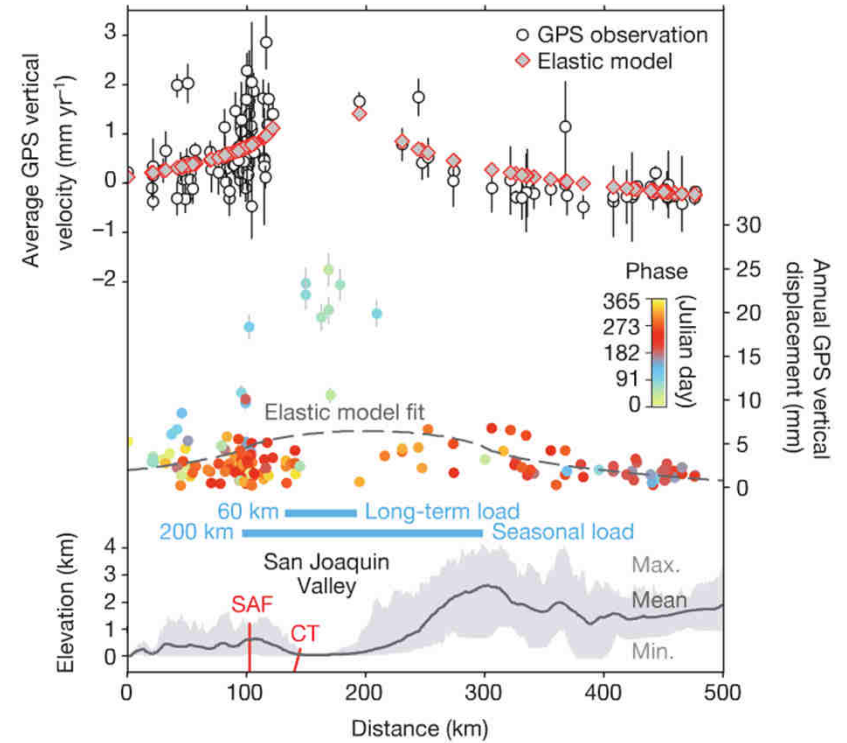
GRACE + GPS
permettent de
« peser » les eaux
continentales depuis
l'espace



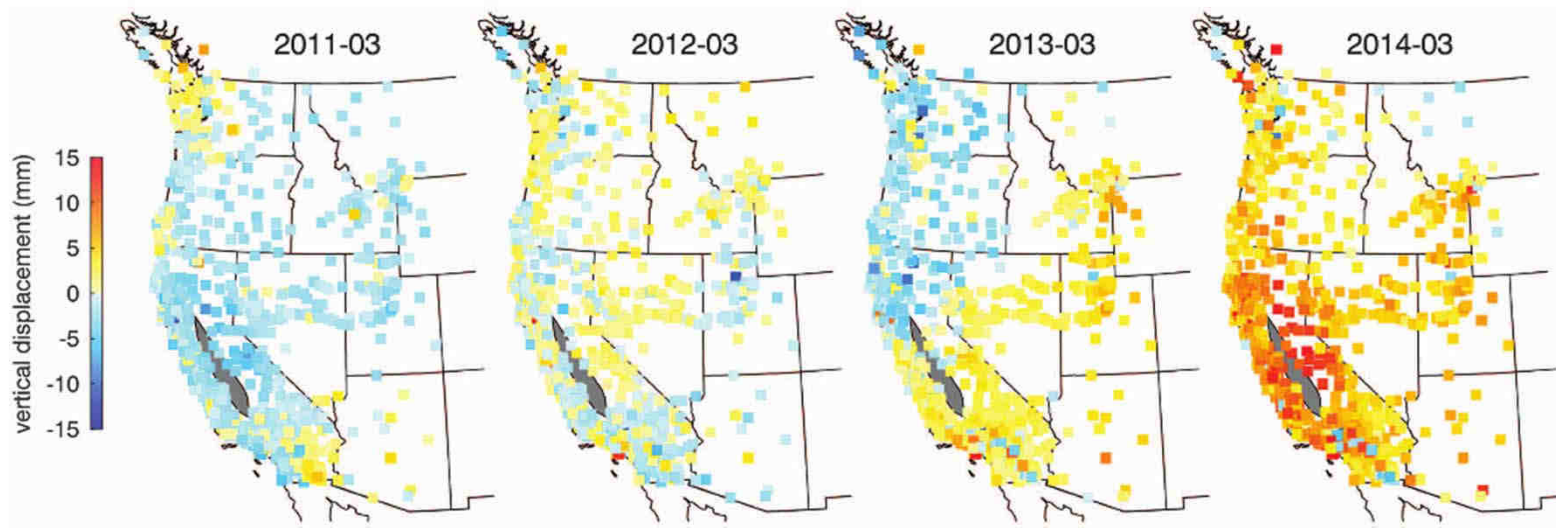
Tregoning et al., GRL, 2009



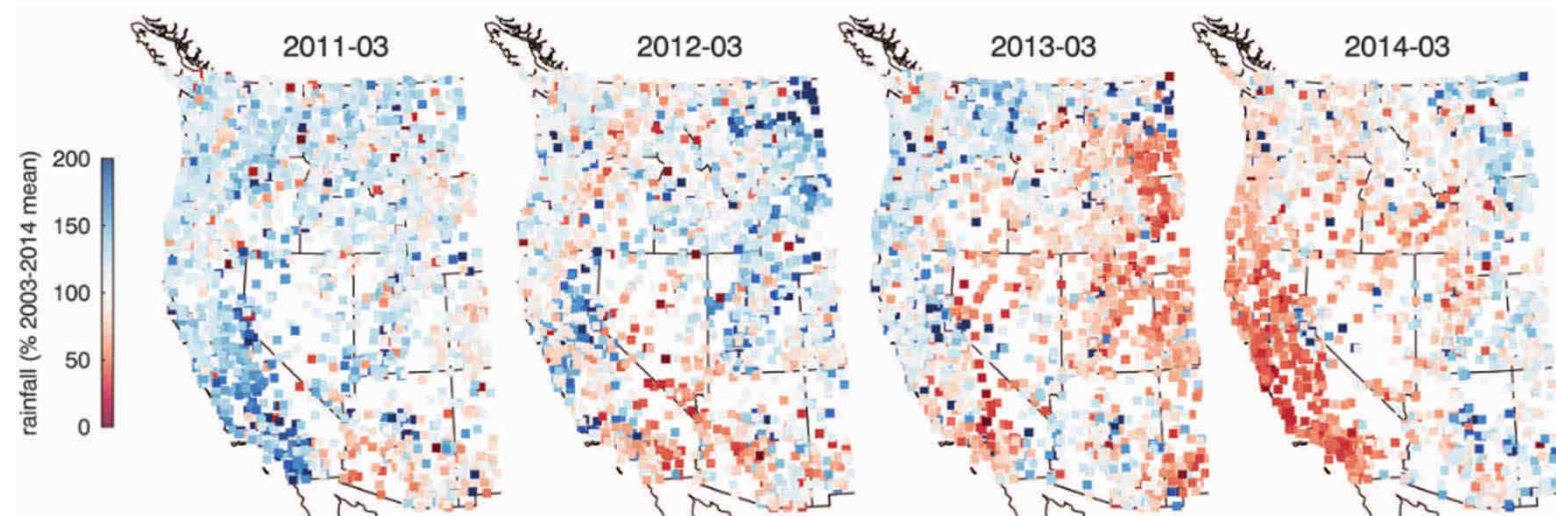
Mouvements verticaux observés par GPS en Californie centrale. Noter les séismes de Parkfield et Coalinga.



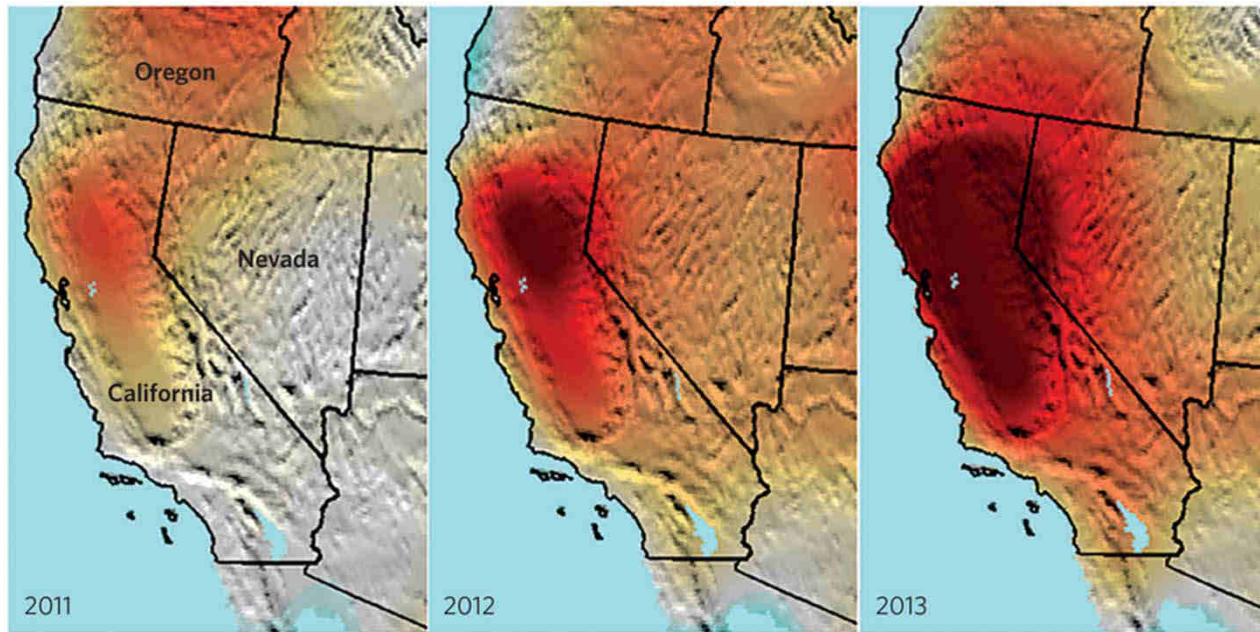
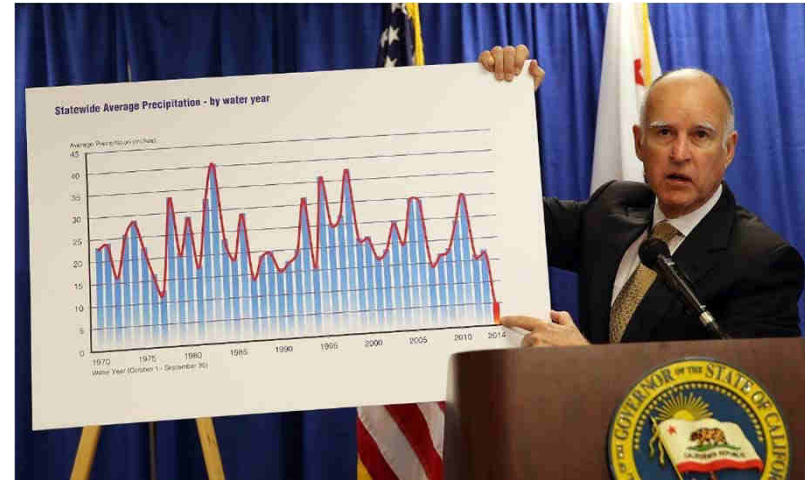
Les observations sont en accord modèle élastique flexural forcé par la diminution – d’origine anthropique – des réserves en eau dans la vallée de San Joaquin (agriculture intensive).



Déplacements verticaux mesurés par GPS dans l'ouest des USA.



Anomalies de précipitation (déviations par rapport à la moyenne 2003-2013). Noter la correspondance avec le mouvement vertical mesuré par GPS.



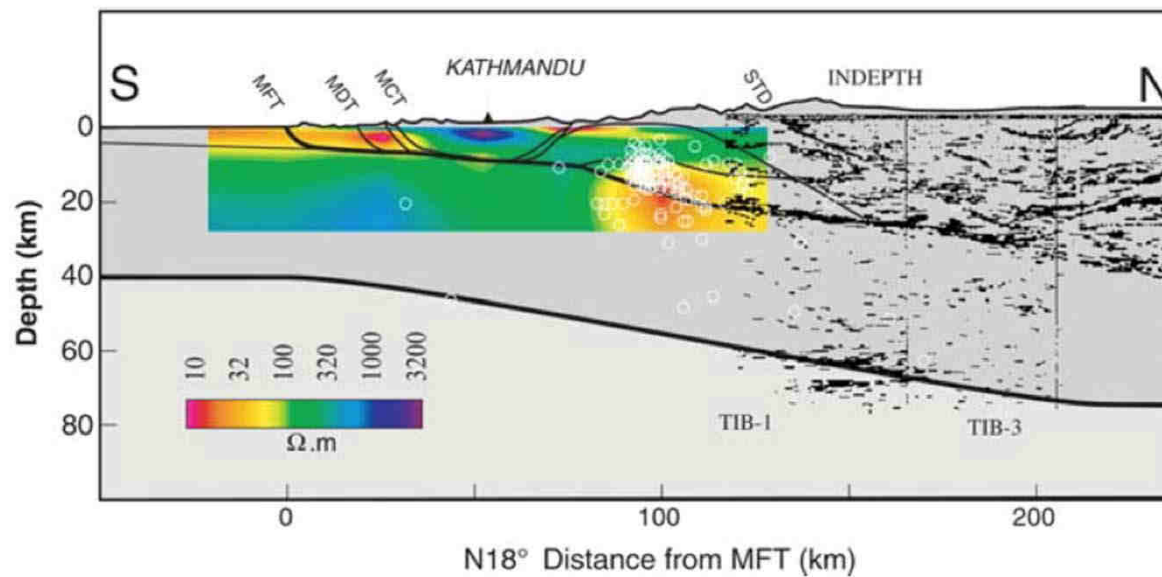
Famiglietti, Nature, 2014

-160 -80 0 80 160

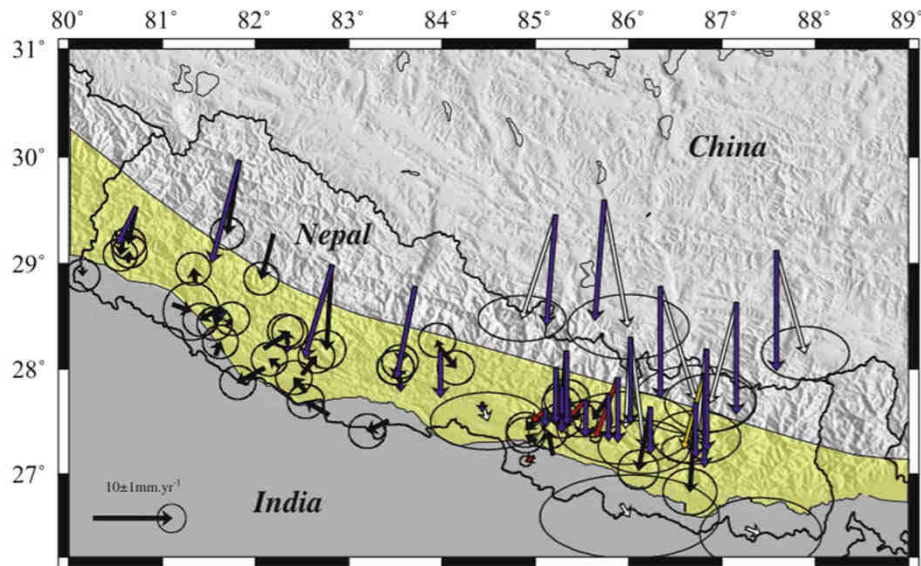
mm equivalent water height

GRACE

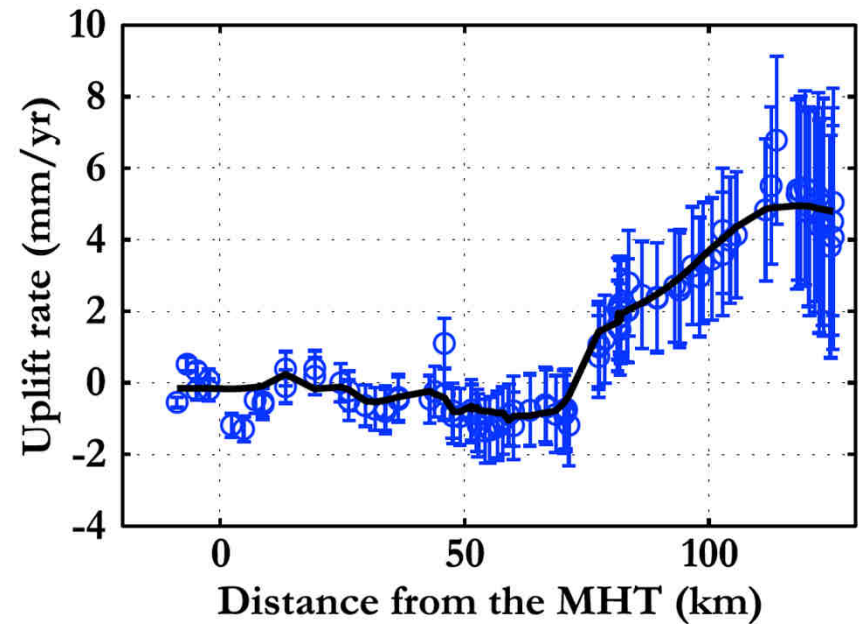
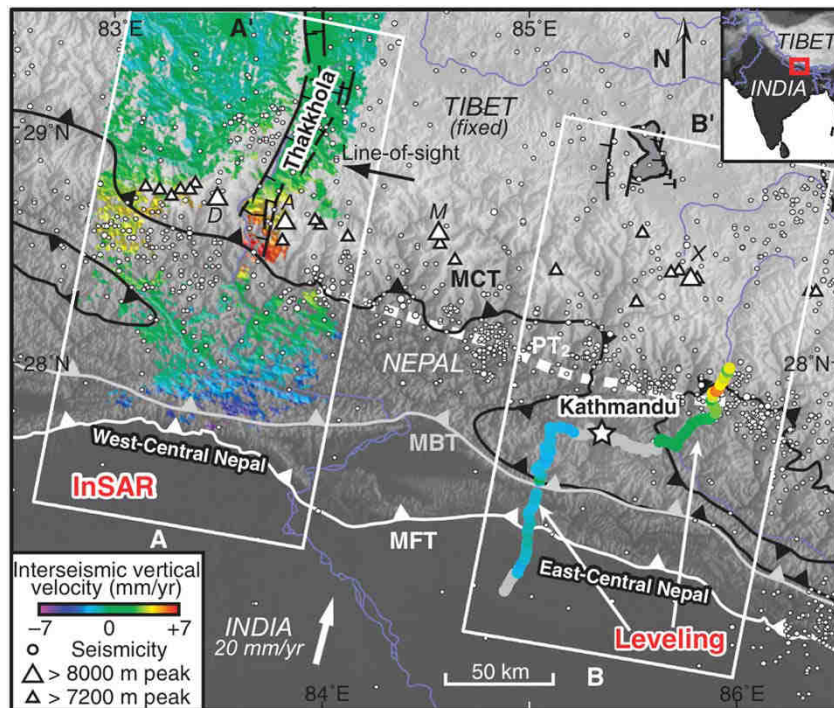
Un bilan hydrologique en déficit de 40 milliards de litres d'eau



Résumé des informations géophysiques au travers du centre Népal. Conductivité électrique (Lemonnier et al., 1999), section sismique INDEPTH (Zhao et al., 1993; Brown et al., 1996; Nelson et al., 1996), sismicité (cercles blancs).

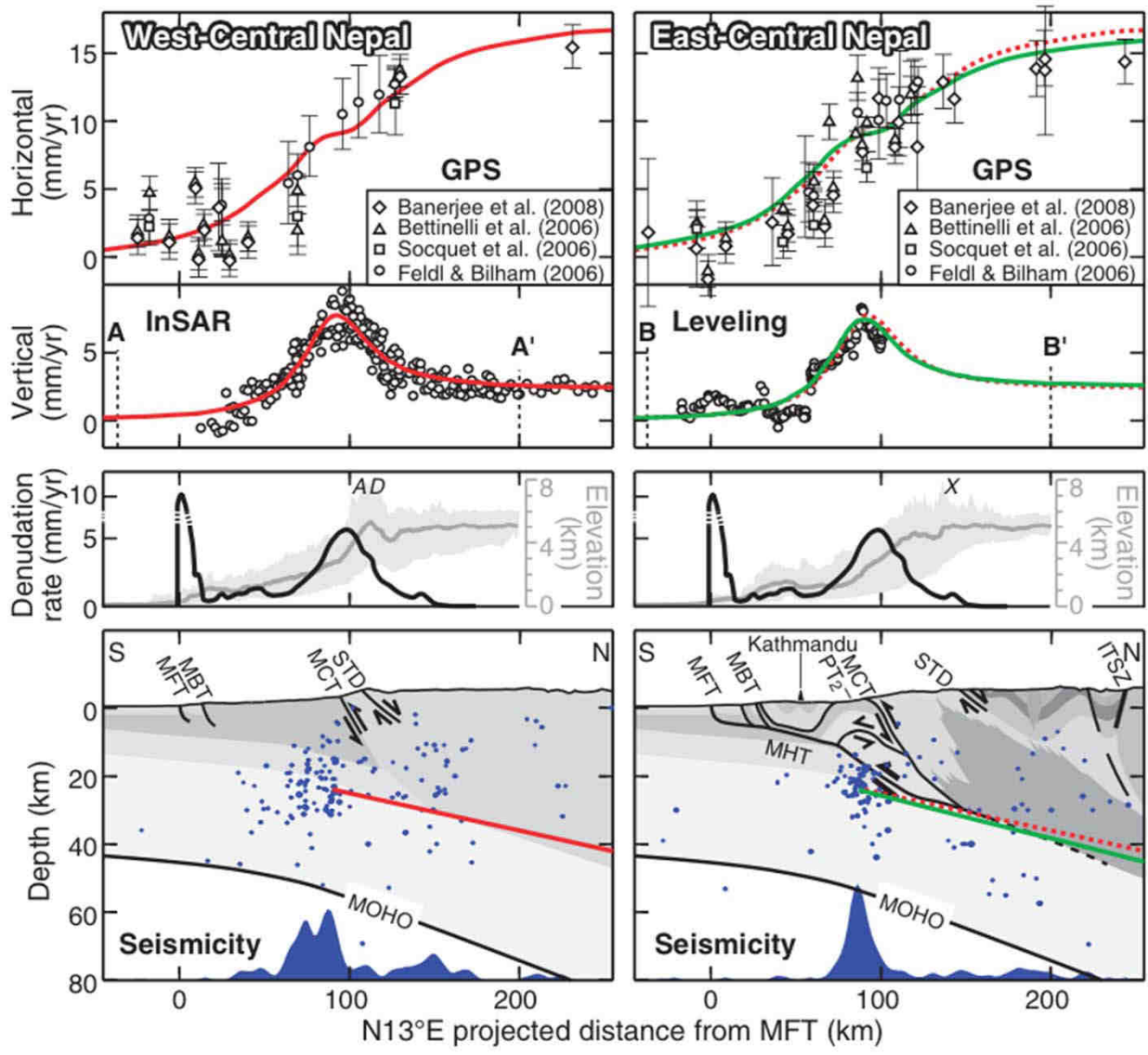


GPS => gradient NS des vitesses horizontales (ici représentées par rapport à la plaque indienne) = raccourcissement à ~ 20 mm/an (Ader et al., JGR, 2012)



Vitesses verticales mesurées par nivellement (Bettinelli et al., J. of Geodesy, 2006)

Vitesses verticales mesurées par interférométrie radar (Grandin et al., Geology, 2012)

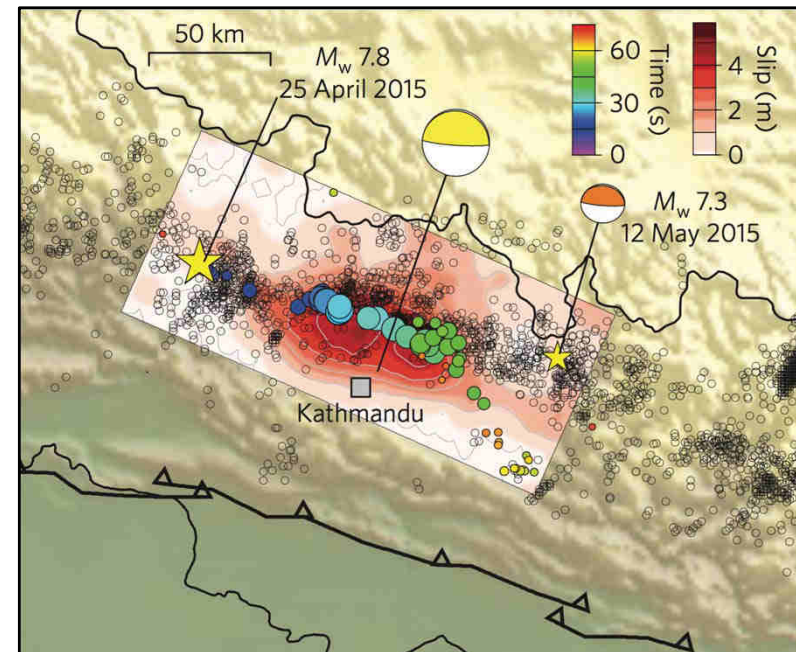
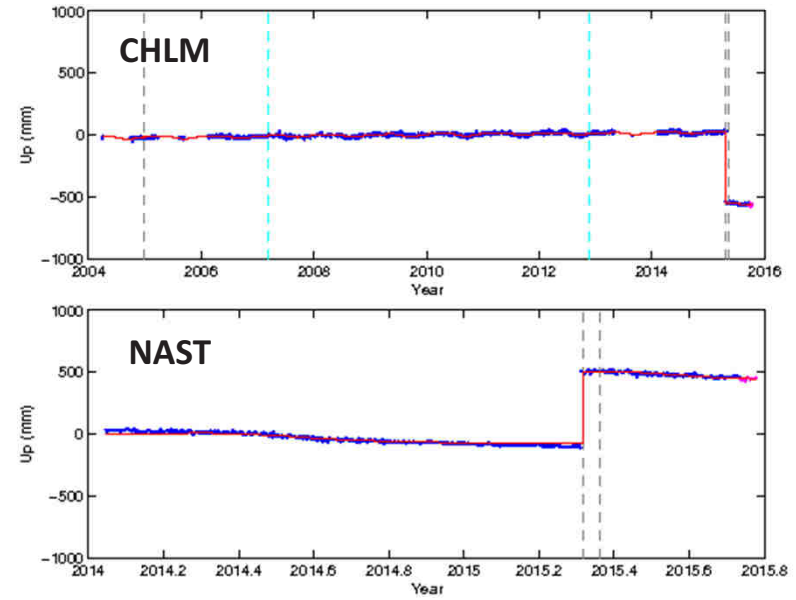
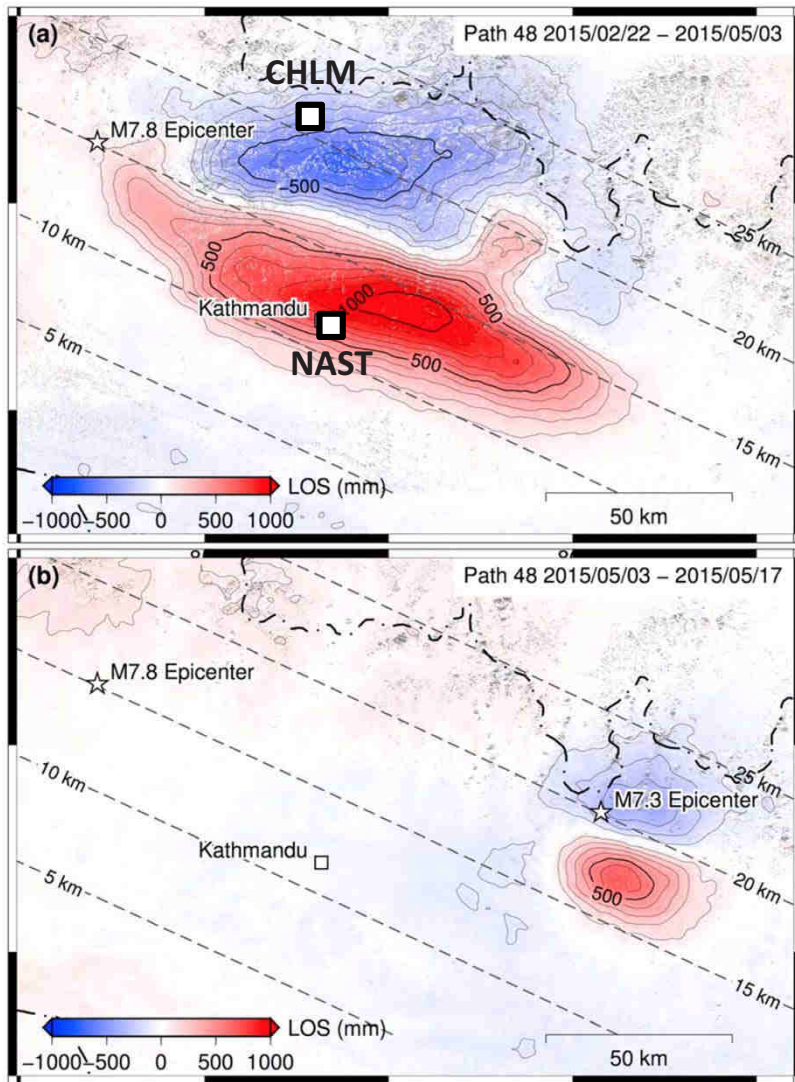


Modèle intersismique:

- Cisaillement asismique en profondeur sur l'interface des plaques, jusqu'à la rampe mi-crustale, à 20 mm/an.
- Rampe + plat frontal bloqués.

Rampe mi-crustale concentre contraintes => sismicité exacerbée

Bon accord avec mesures géodésiques



The Mw 7.8 Gorkha, Nepal earthquake (24 April 2015) and its Mw 7.3 aftershock.

Les déformations verticales grande échelle

- **Mesurables:** GNSS, GRACE, InSAR - la géodésie spatiale du futur pour les géophysiciens: une fusion de GNSS, gravimétrie, interférométrie, fond de mer.
- **Combinent plusieurs informations géophysiques:** long-terme (tectonique +GIA), pluri-annuelles (climat), saisonnières (hydrologie).
- Les déformations de la terre sont devenues une des observables du **suivi du changement climatique global** (et le climat n'est pas sans impact sur la tectonique ou la sismicité).

