

Positionnement GNSS statique et cinématique appliqué à l'étude des déformations tectoniques de la Terre

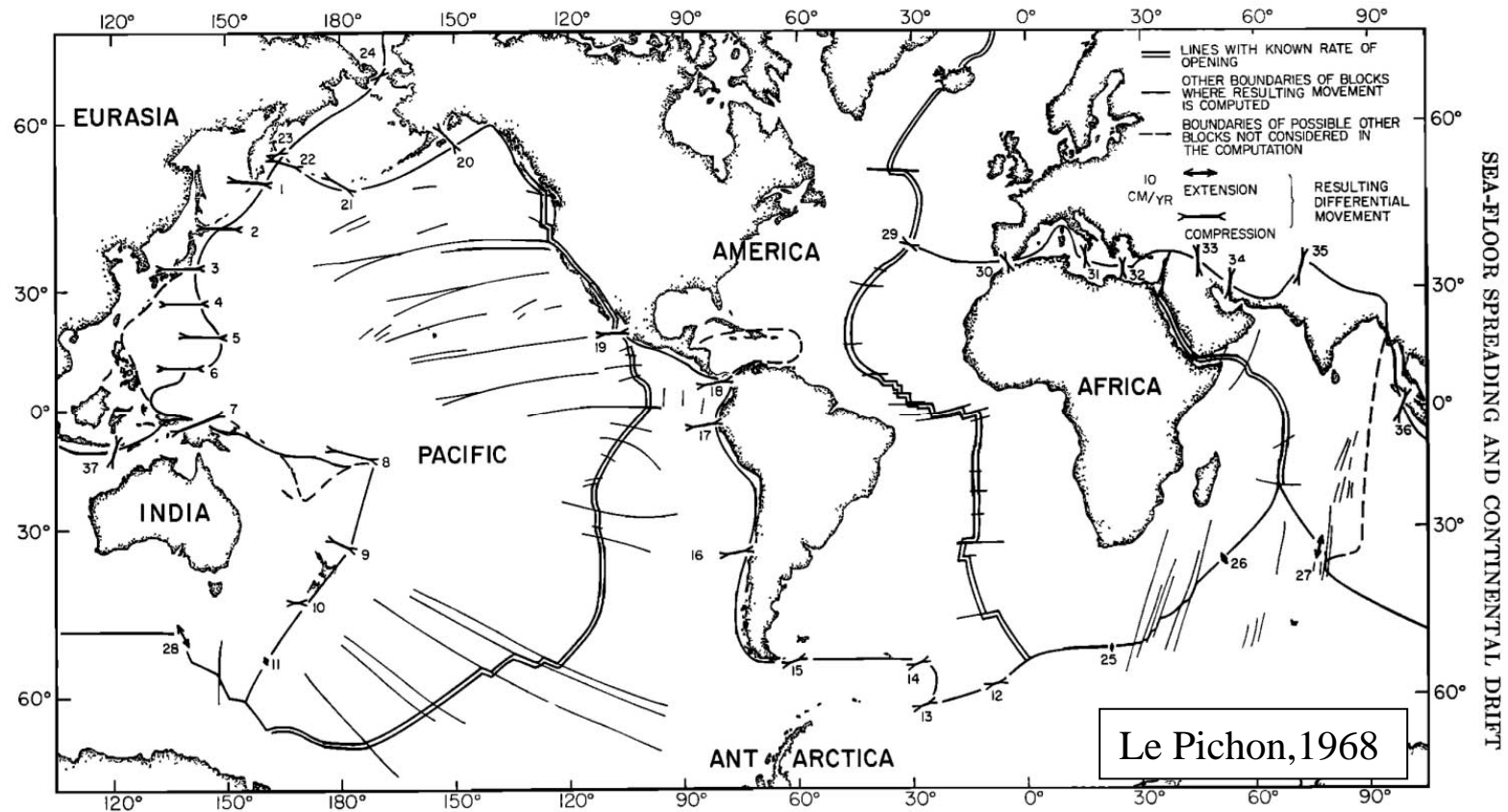
Pierre Briole - CNRS/ENS-PSL

28 mars 2018



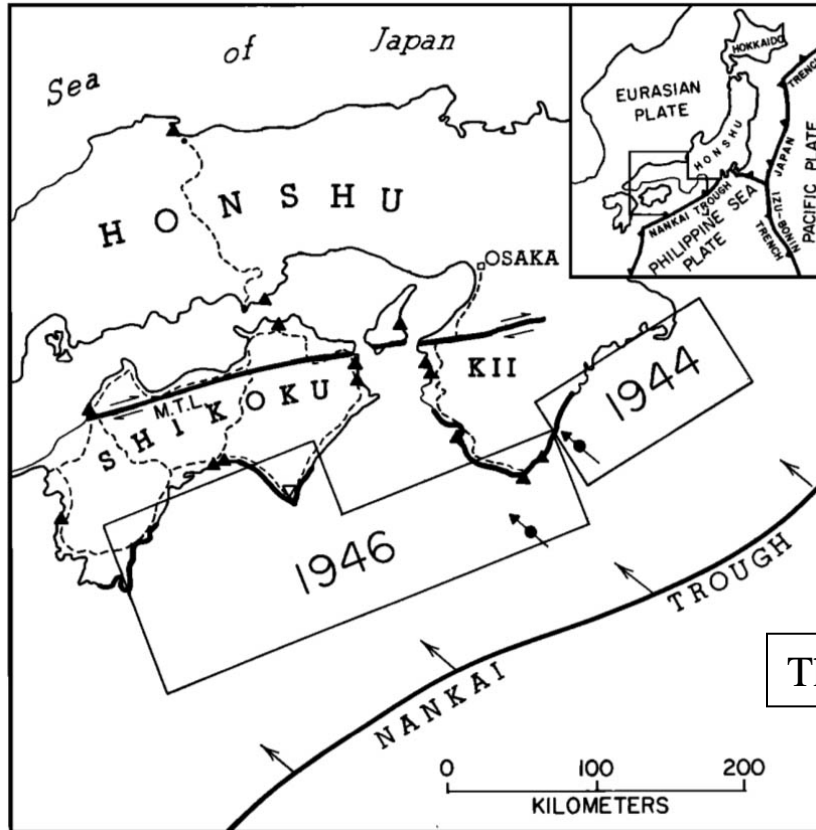
GEOLOCALISATION ET NAVIGATION
DANS L'ESPACE ET LE TEMPS

Plaques tectoniques

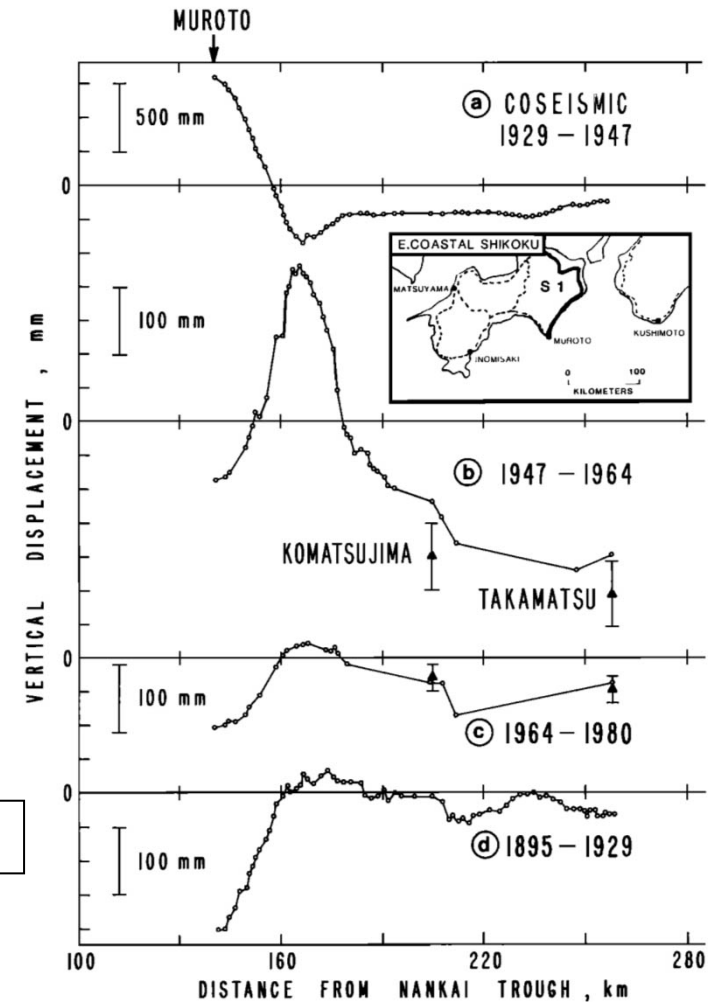


Au cours des années 1960 l'accumulation de décennies d'observations variées permit aux physiciens du globe de s'accorder sur deux théories simples, l'une permettant de modéliser les mouvements des plaques tectoniques, l'autre permettant de modéliser la rupture sismique.

Géodésie & vertical

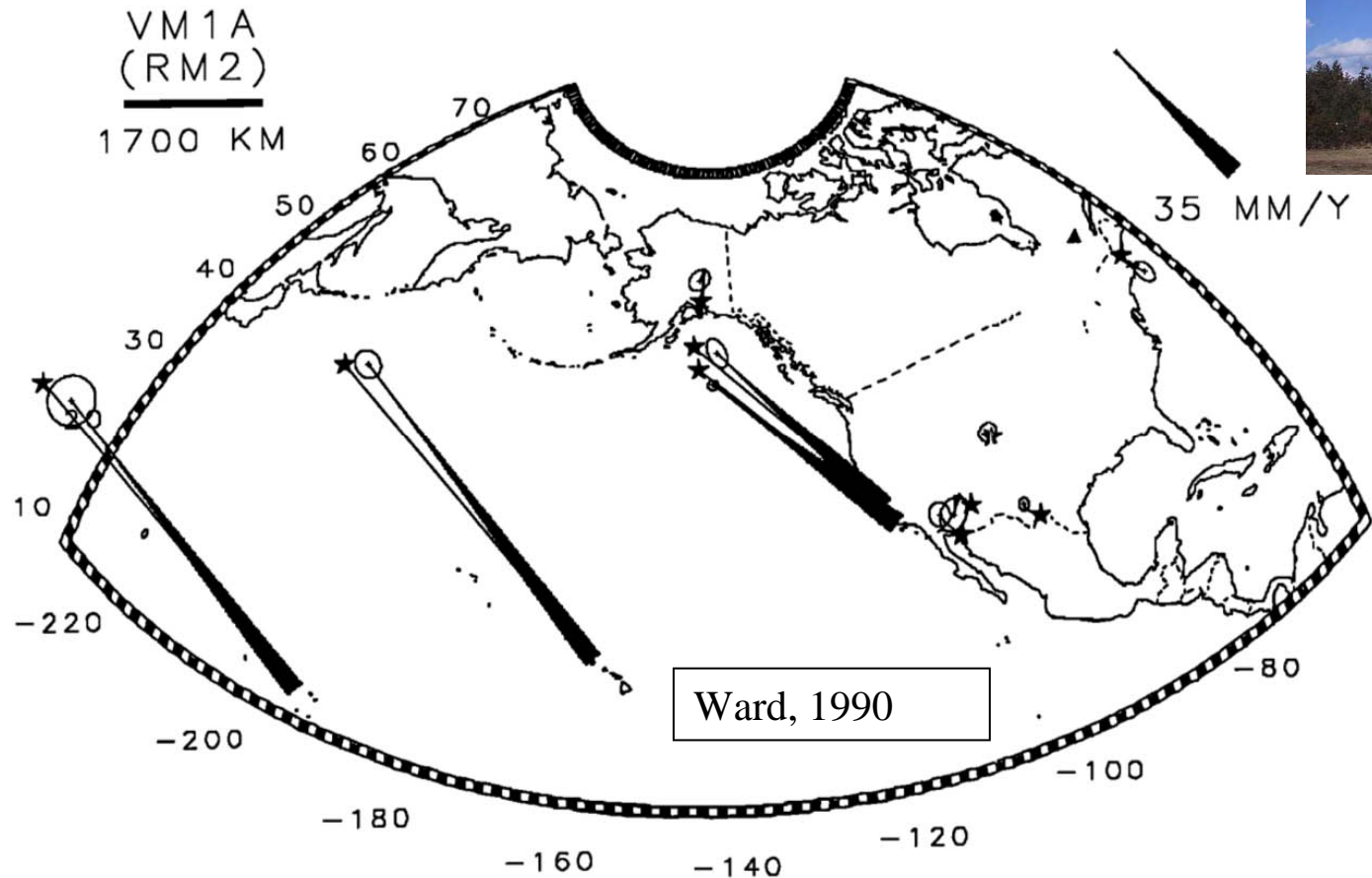


Thatcher, 1984



Les développements de la géodésie allaient alors permettre d'apporter des validations supplémentaires et des raffinements à ces modèles. Les données de nivellement, extrêmement précises, furent fondamentales pour l'étude des séismes.

Géodésie & horizontal



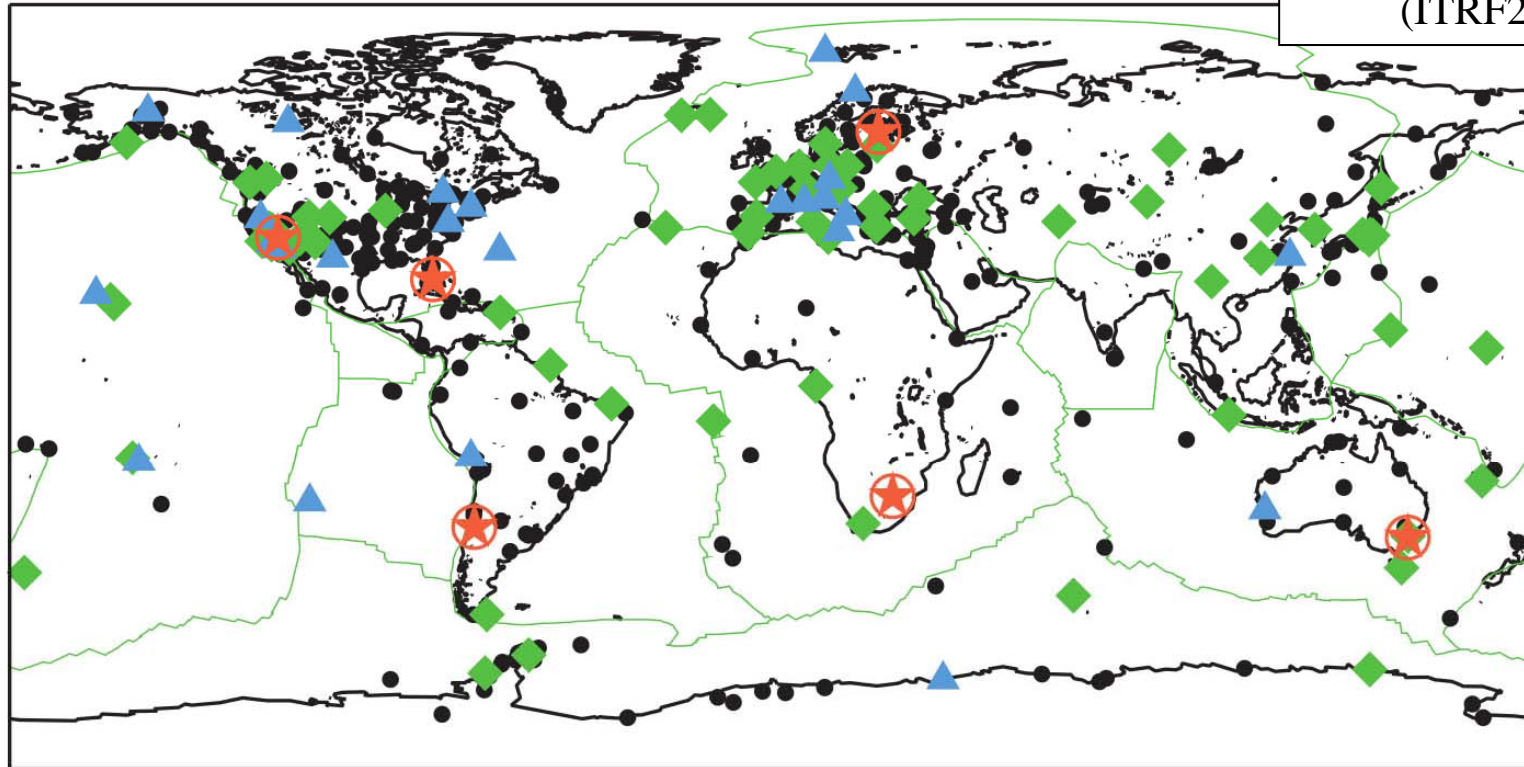
Antenne VLBI de
Kashima, Japon

Dès leur apparition, les mesures de géodésie spatiale basées sur le VLBI et le SLR apportèrent les premières mesures géodésiques directes des mouvements des plaques.

Les ITRF

Altamimi et al., 2001

(ITRF2000)



• 1
Collocated techniques -> 70

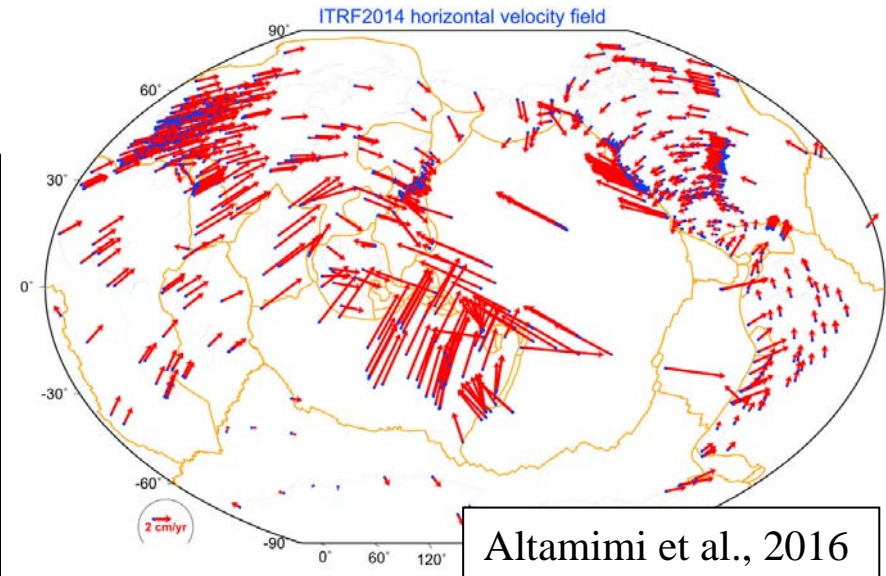
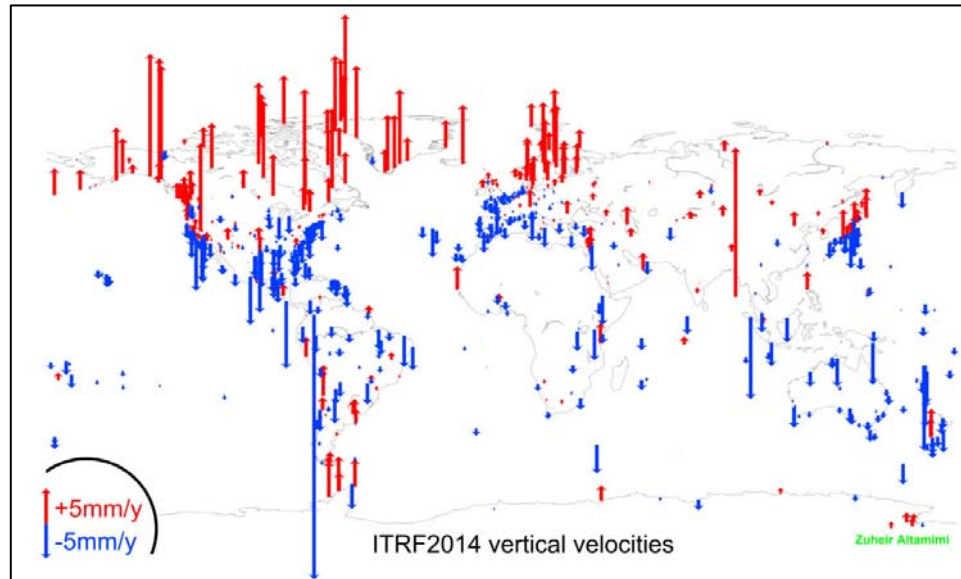
◆ 2

▲ 3
25

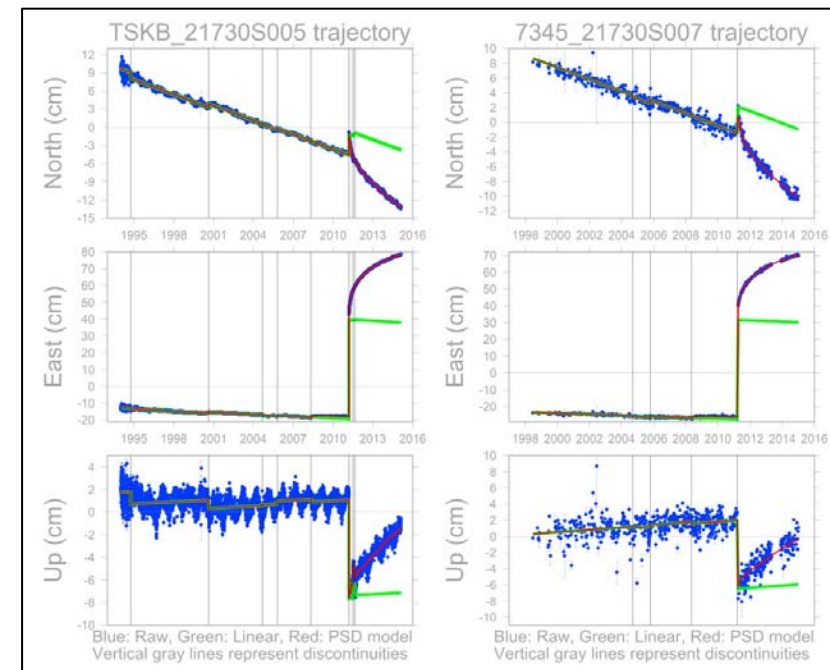
★ 4
6

L'arrivée du GPS constitua un tournant majeur qui allait donner peu à peu un rôle fondamental à la géodésie dans l'étude de la dynamique de la Terre de l'échelle globale à l'échelle locale.

L'ITRF 2014

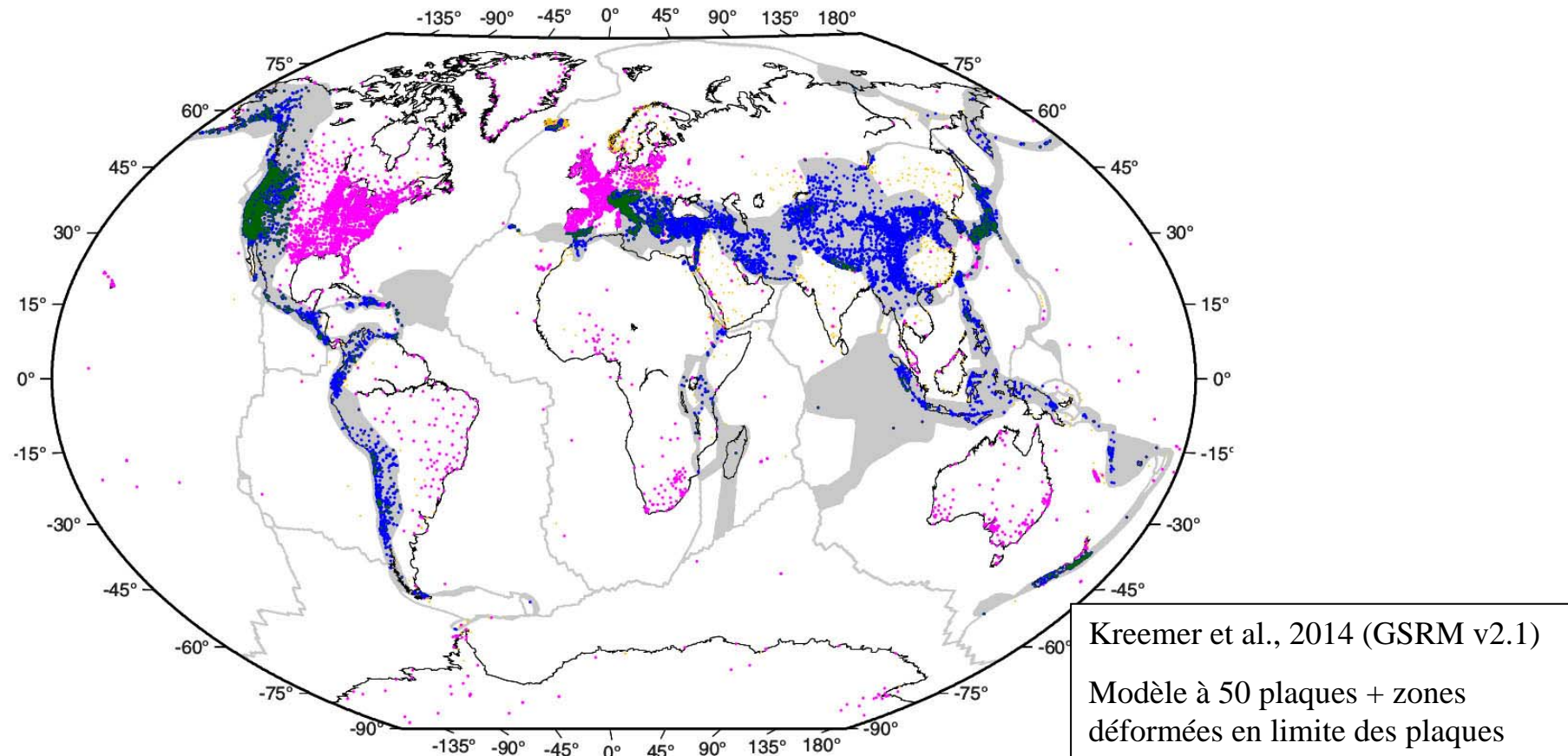


Le caractère non purement élastique de la croûte et du manteau sous-jacent est démontré par de nombreuses données, par exemple les relaxations post-sismiques. Il est pris en compte dans l'ITRF 2014



Station GNSS de Tsukuba, Japon

Les modèles de mouvement des plaques



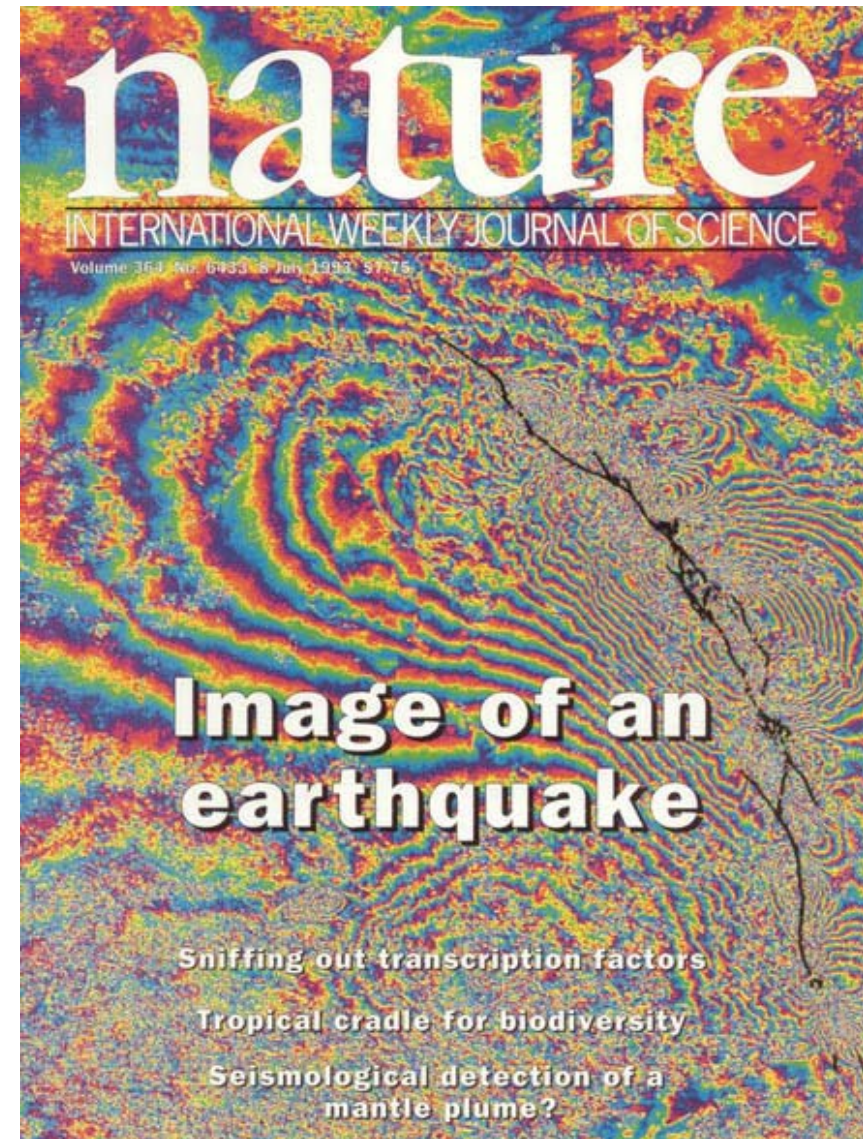
La précision et la densité croissante d'observations GPS (puis GNSS), la disponibilité de séries temporelles plus longues, couvrant désormais trois décennies, a permis de faire progresser considérablement les modèles initiaux.

Cartographie des déformations du sol par interférométrie radar



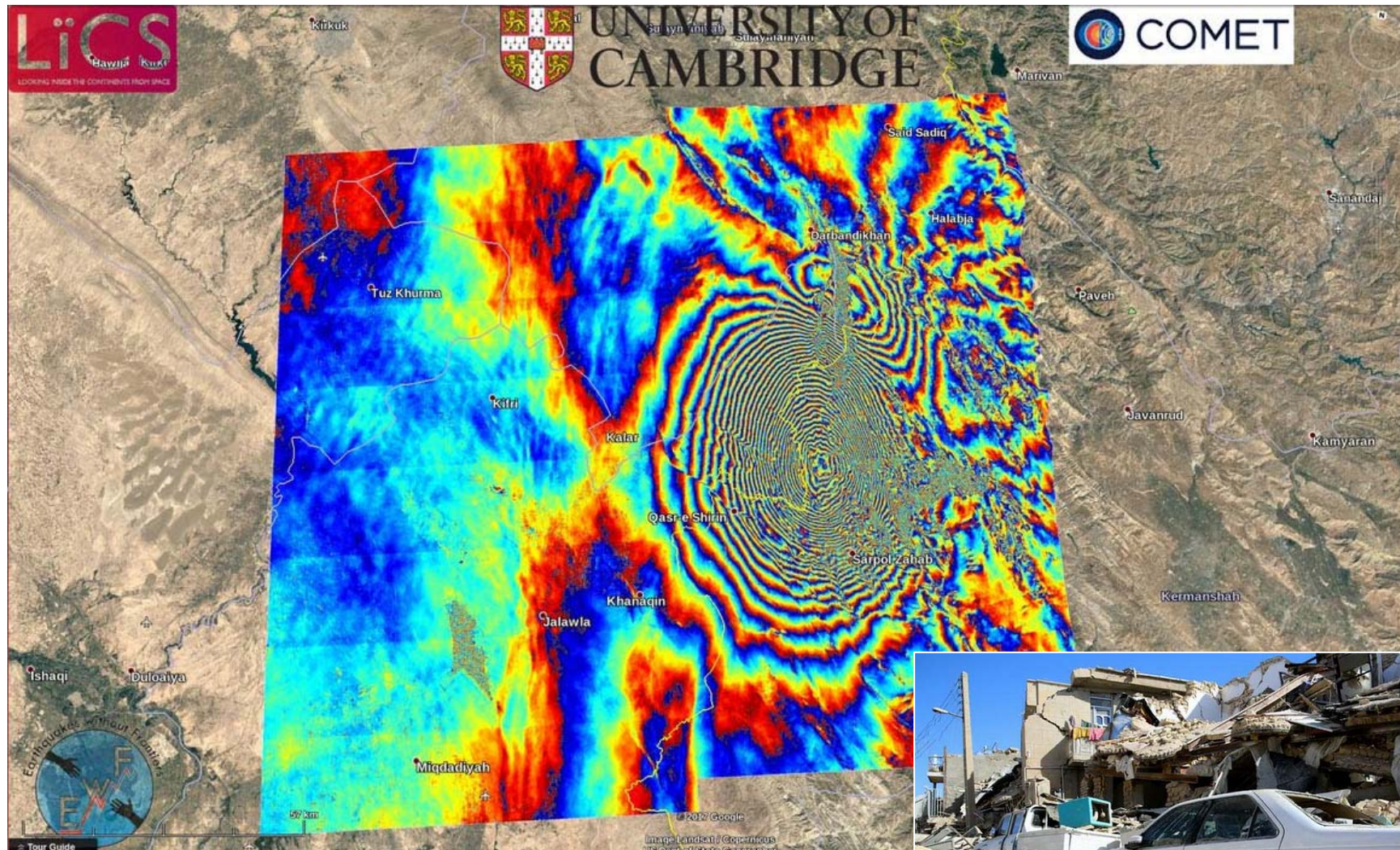
Massonnet et al., 1995

L'interférométrie radar a donné un élan extraordinaire à l'étude des déformations liées aux séismes et autres phénomènes telluriques



Massonnet et al., 1993

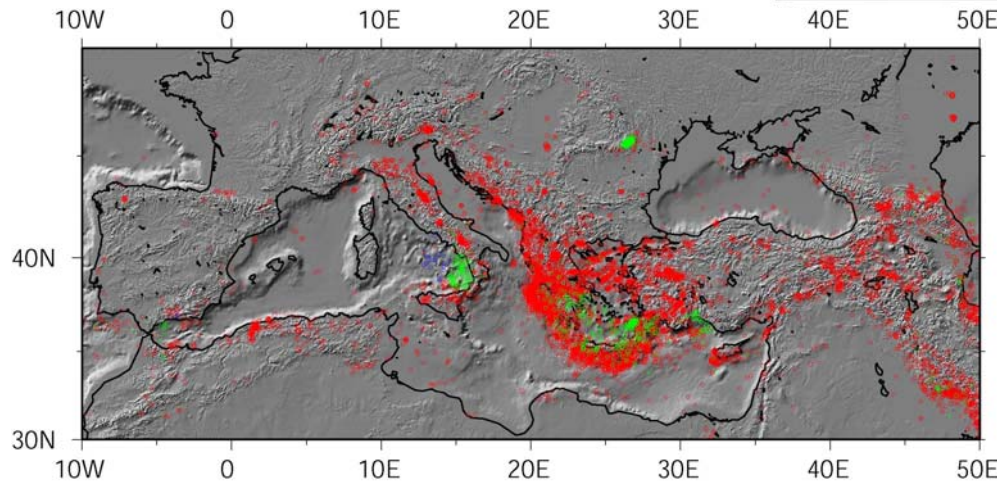
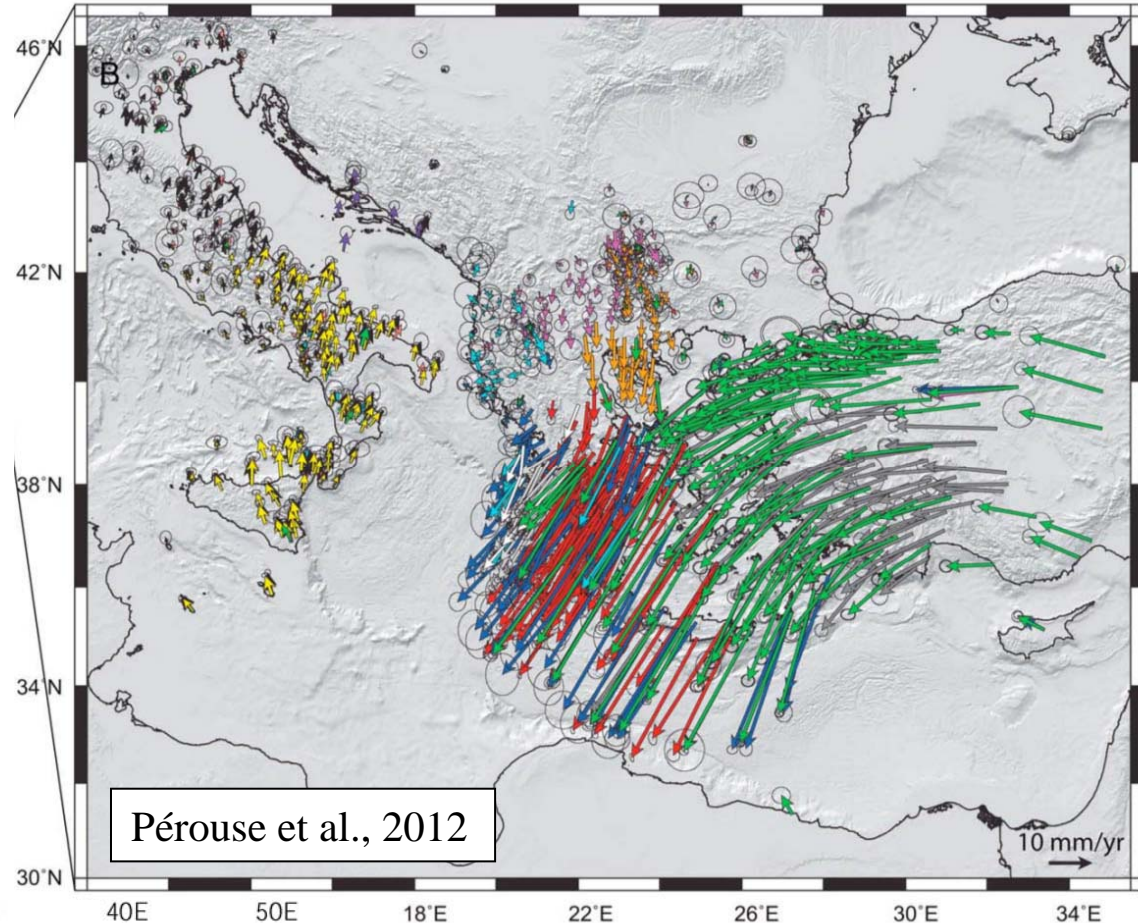
Séisme du Kurdistan 12/11/17 $M_w = 7.3$



<http://comet.nerc.ac.uk/COMET-LiCS-portal/>

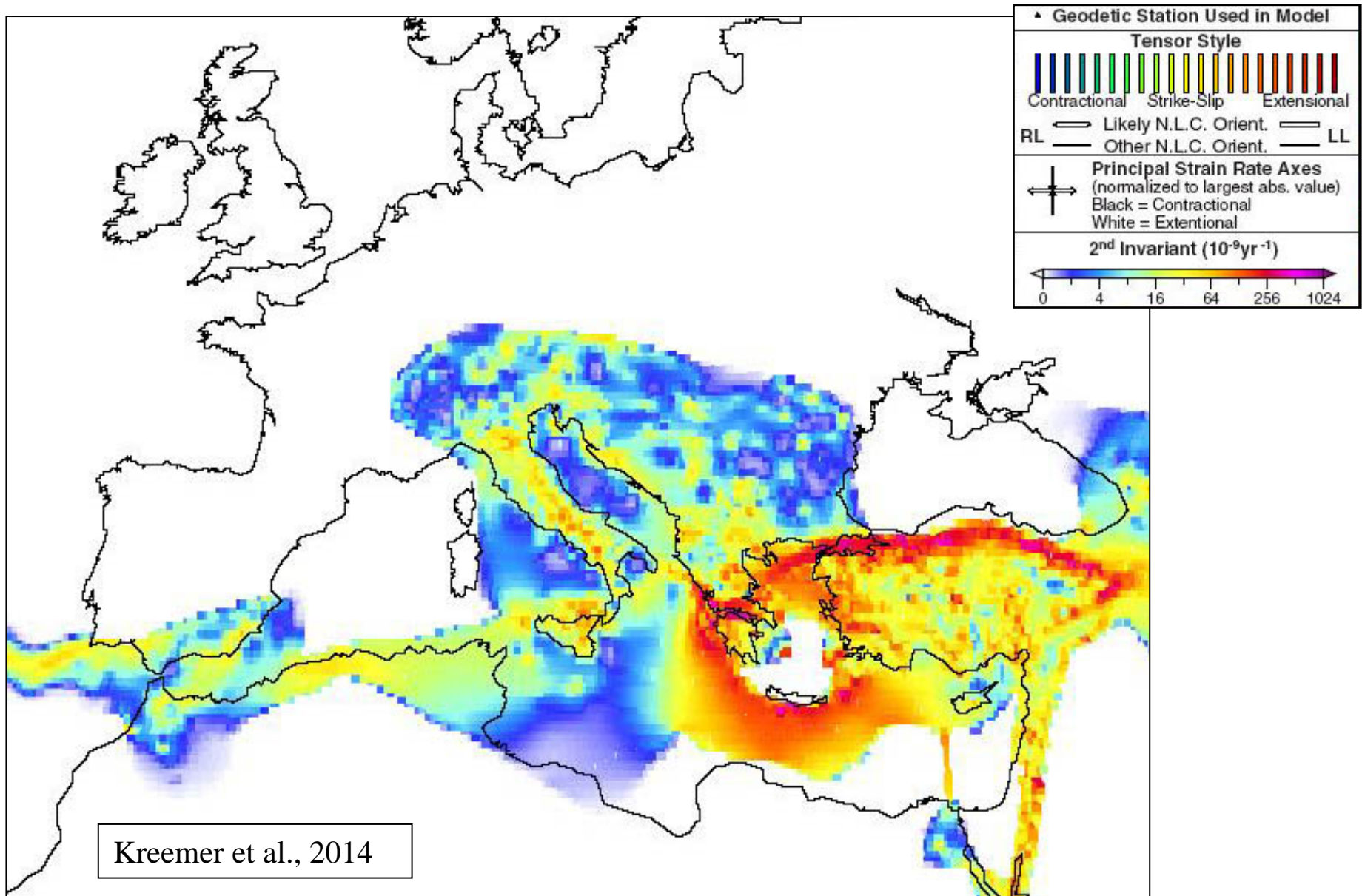
Réseaux GNSS denses

Les réseaux GNSS
denses permettent de
documenter le champ
de déformation aux
frontières des plaques

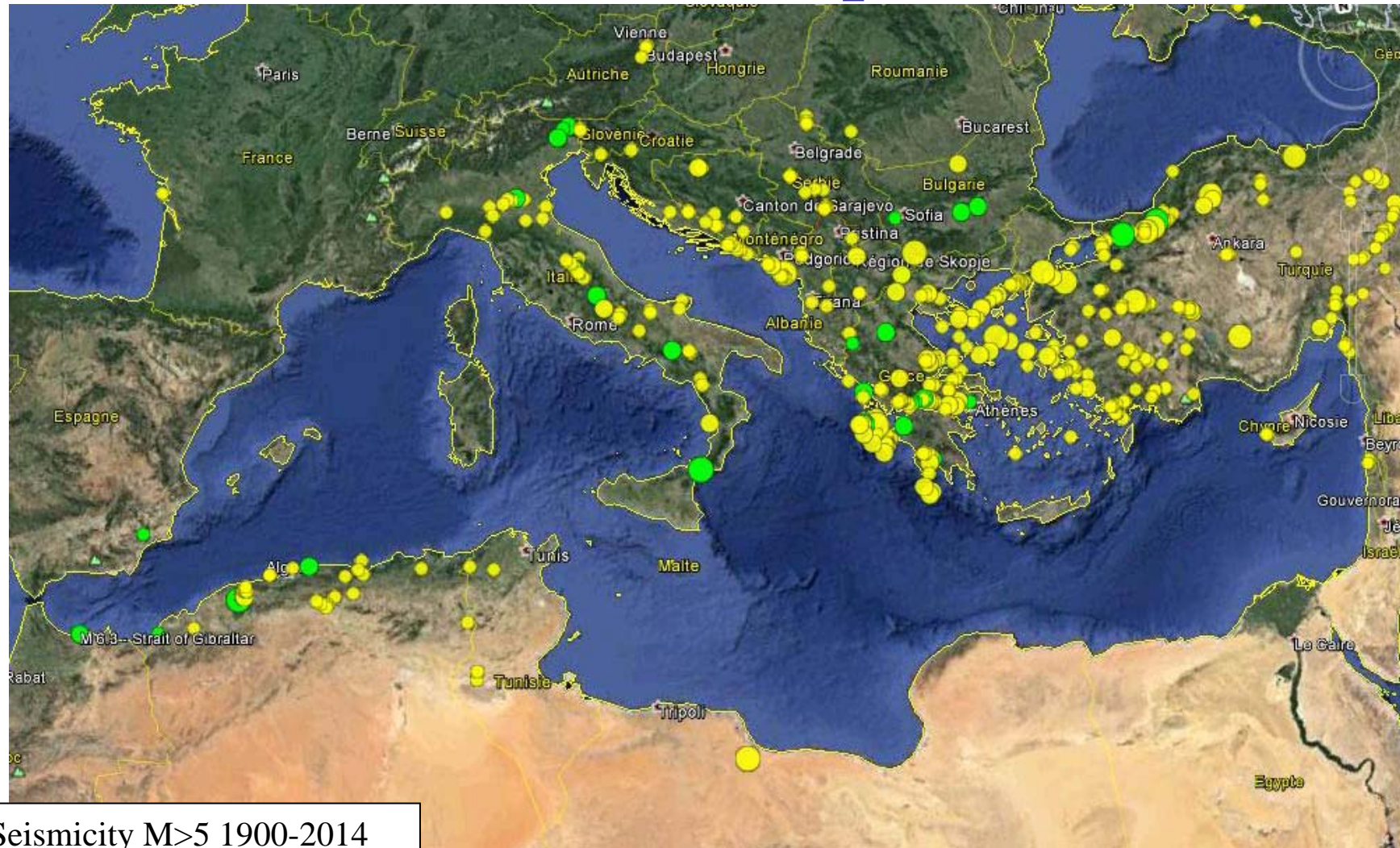


Mais ils ne sont pas encore assez denses pour isoler chaque faille sismique. Il faudrait pour cela une maille de réseau de quelques km

Déformation en Méditerranée d'après le GPS



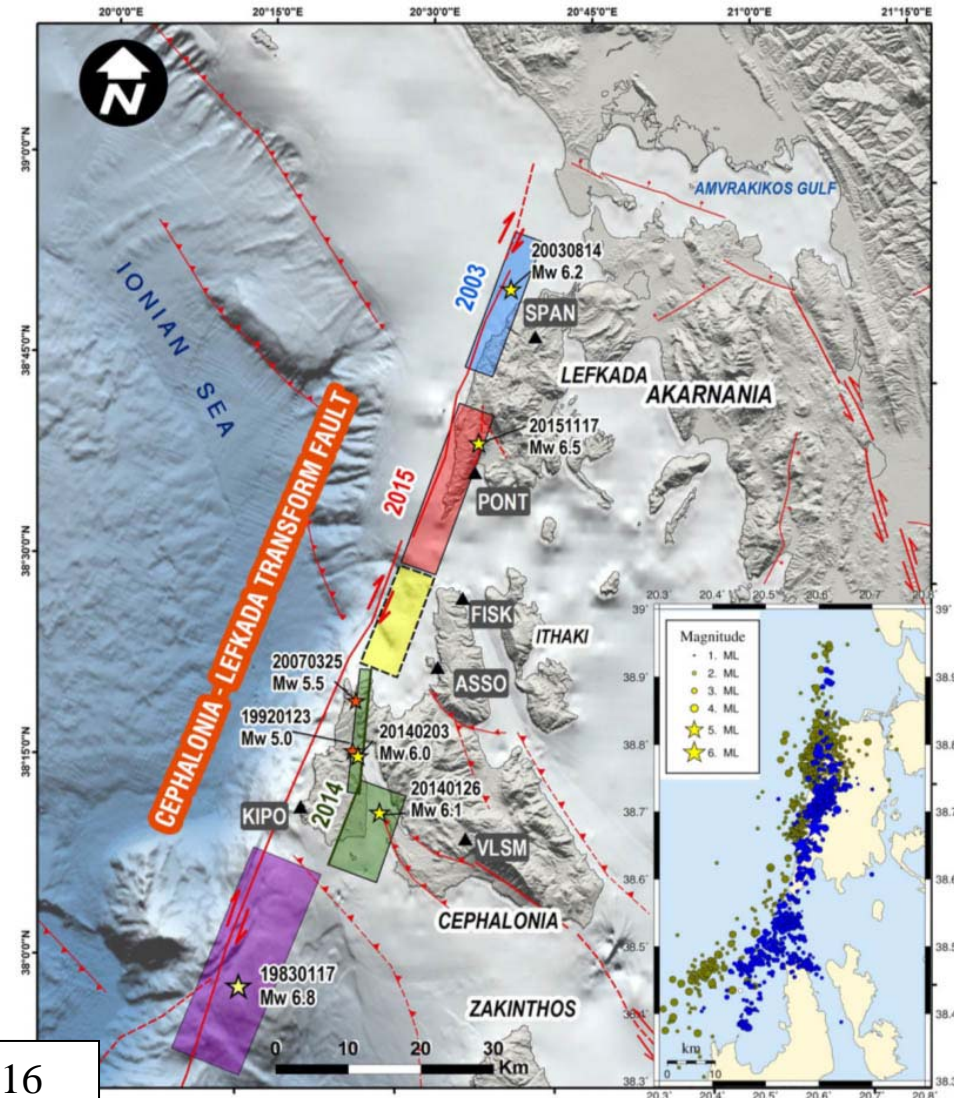
En verts, séismes méditerranéens étudiés par géodésie (nivellement, trilatération, GNSS, InSAR) depuis 1900



Les séismes (et déformations associées) peuvent se produire en cascade

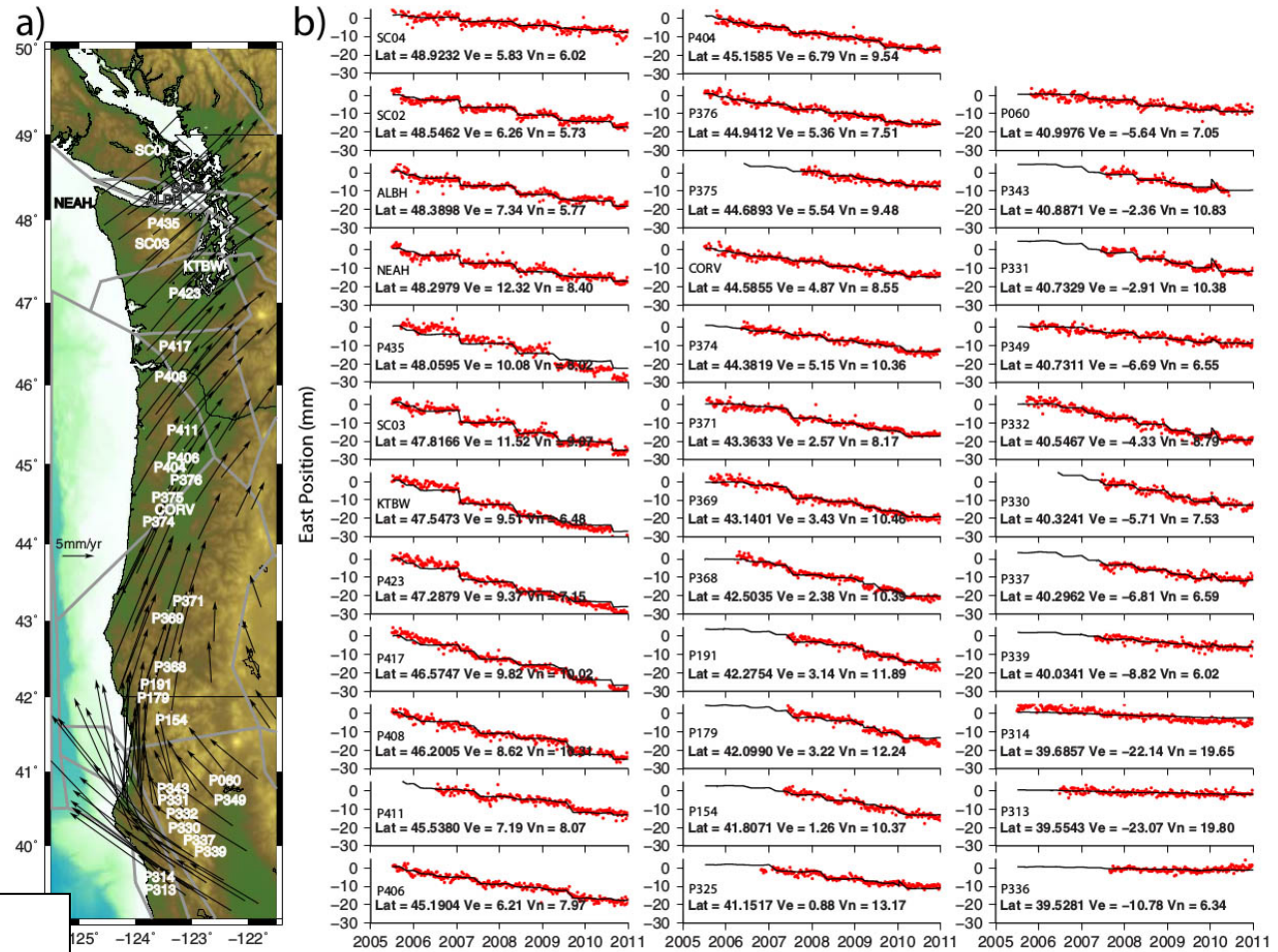
Les observations de cluster de séismes apportent des contraintes sur la rhéologie de l'intérieur de la Terre.

Il est possible de mesurer grâce à la géodésie les temps de transfert d'une zone à l'autre et de relier cette donnée aux observations sismologiques.



Ganas et al., 2016

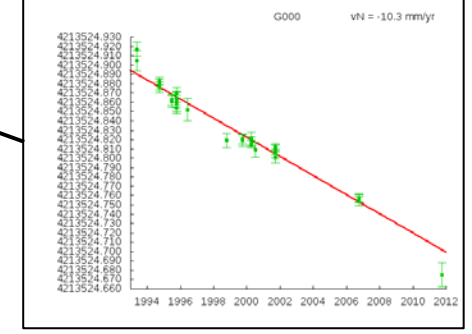
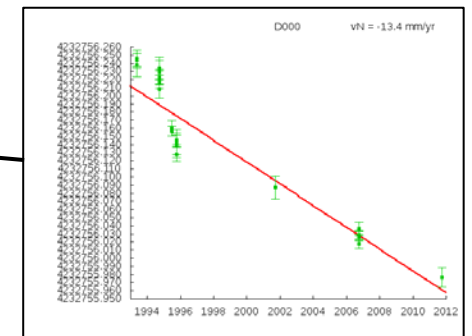
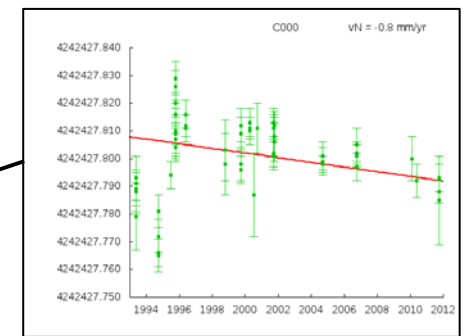
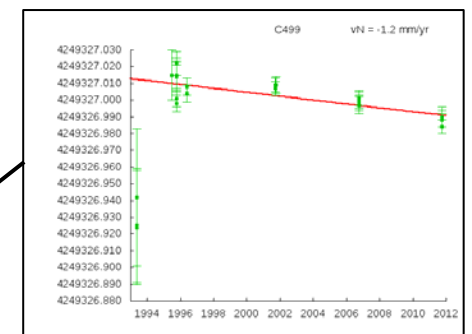
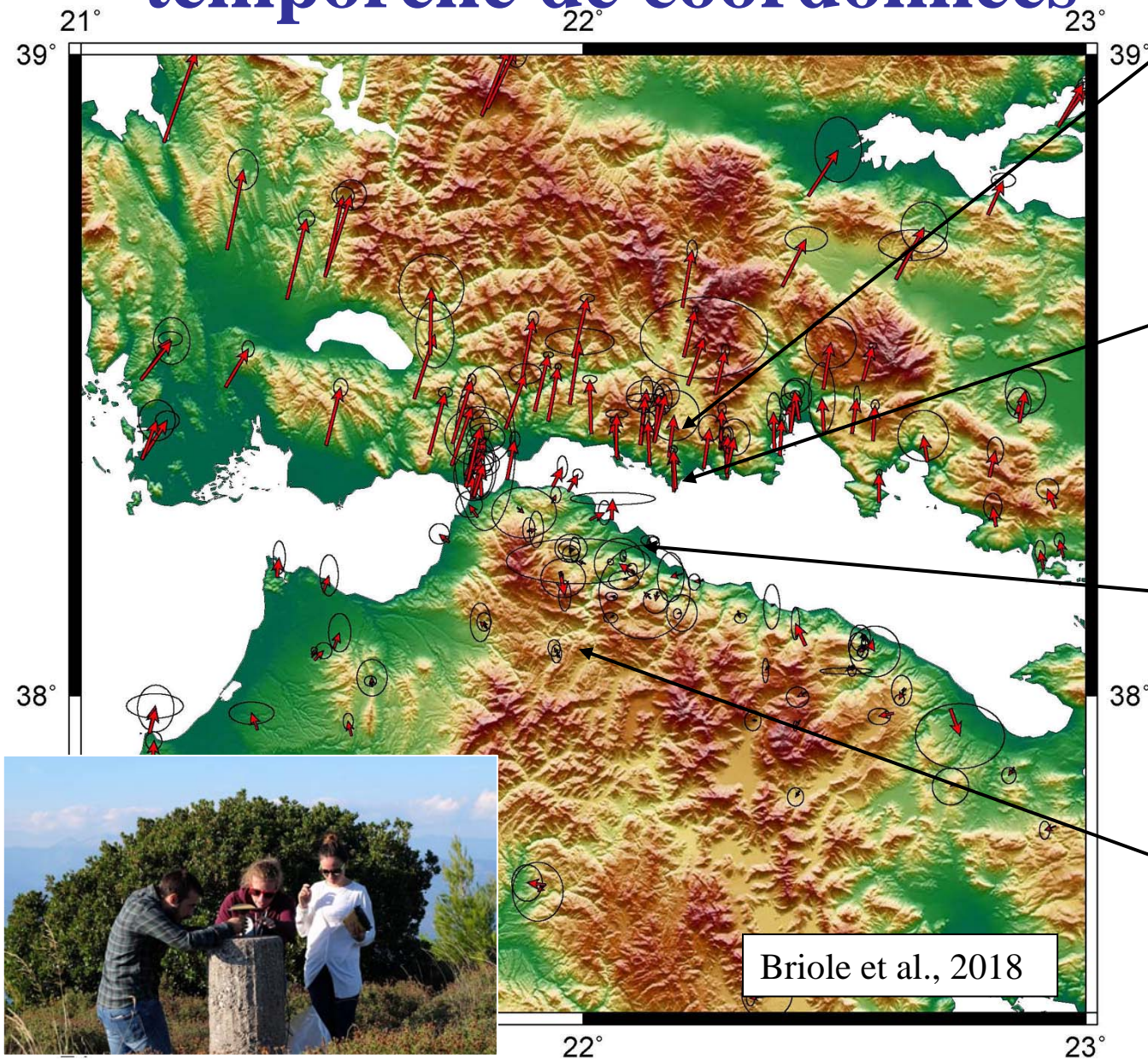
Mouvements transitoires aux frontières de plaques



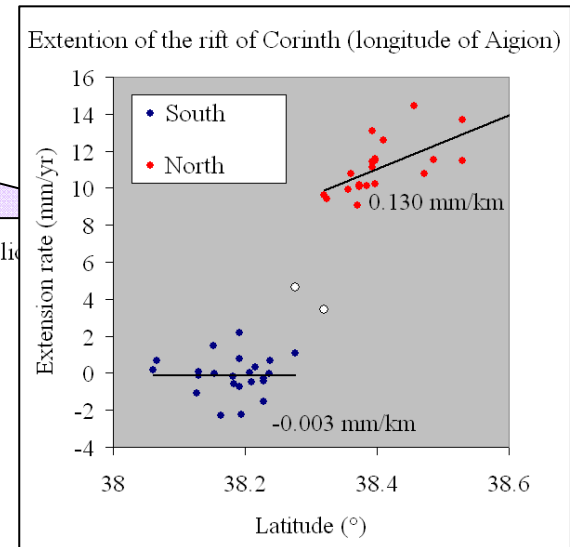
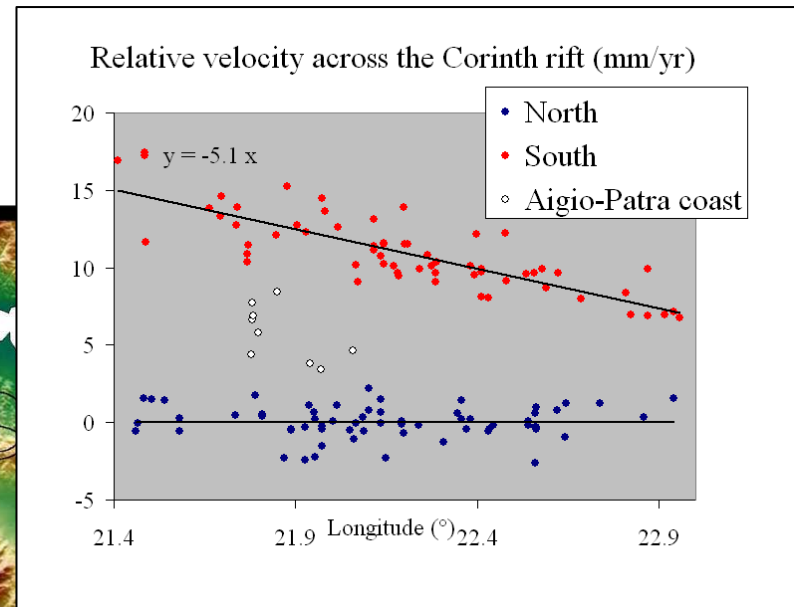
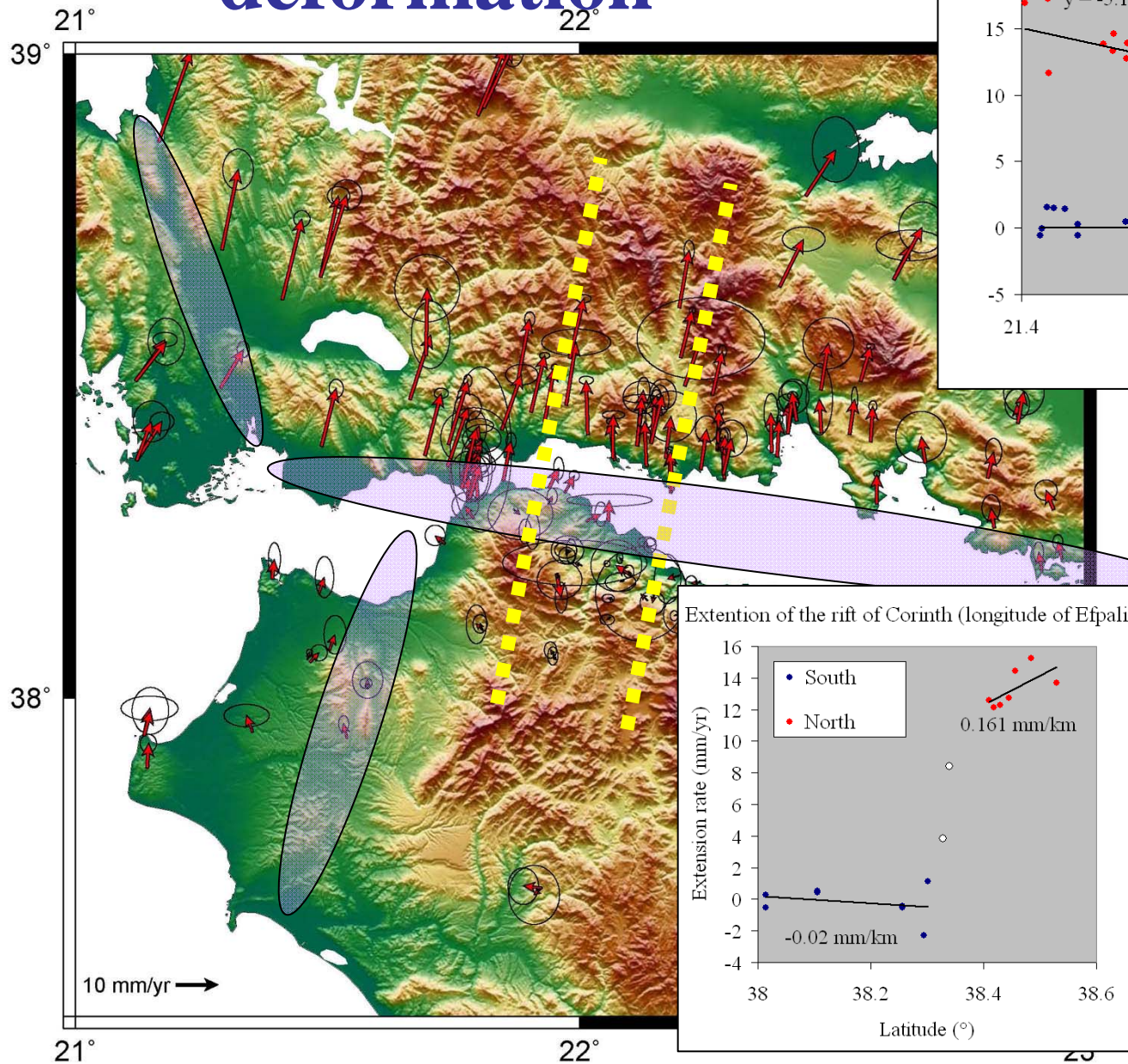
Schmalzle et al., 2014

Il existe des observations de plus en plus nombreuses montrant l'existence de glissements aismiques sur des failles, ceci à toutes les échelles, depuis des petites failles très superficielles jusqu'à de grandes interfaces de subduction.

Campagnes GNSS et séries temporelle de coordonnées



Localisation de la déformation

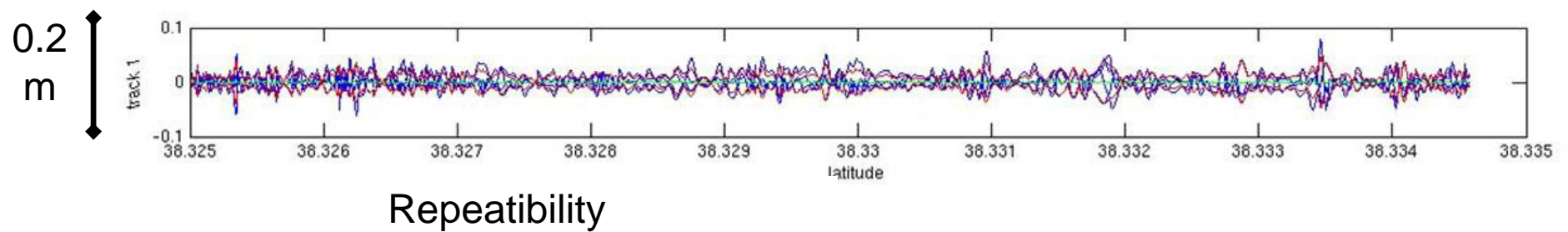


Combiner les avantages du GNSS et de l'InSAR pour le suivi des déformations de la Terre

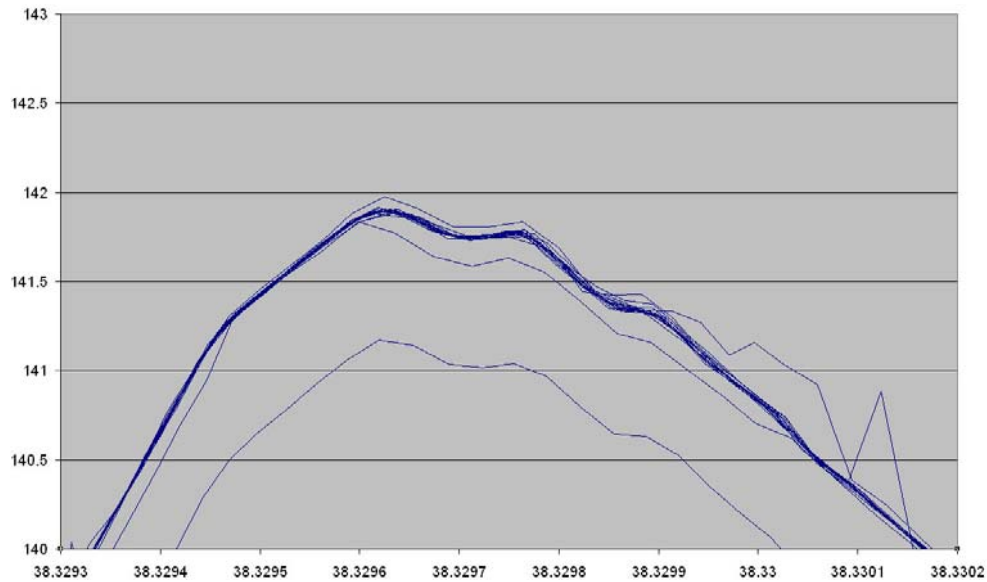
Il y a deux enjeux pour aller plus loin avec le GNSS et l'InSAR

- (1) Côté GNSS: Avoir des levés GNSS plus denses permettant de s'approcher localement de la densité de l'InSAR
- (2) Côté InSAR: Réussir à avoir des séries temporelles longues et cohérentes, au moins sur un certain nombre de pixels

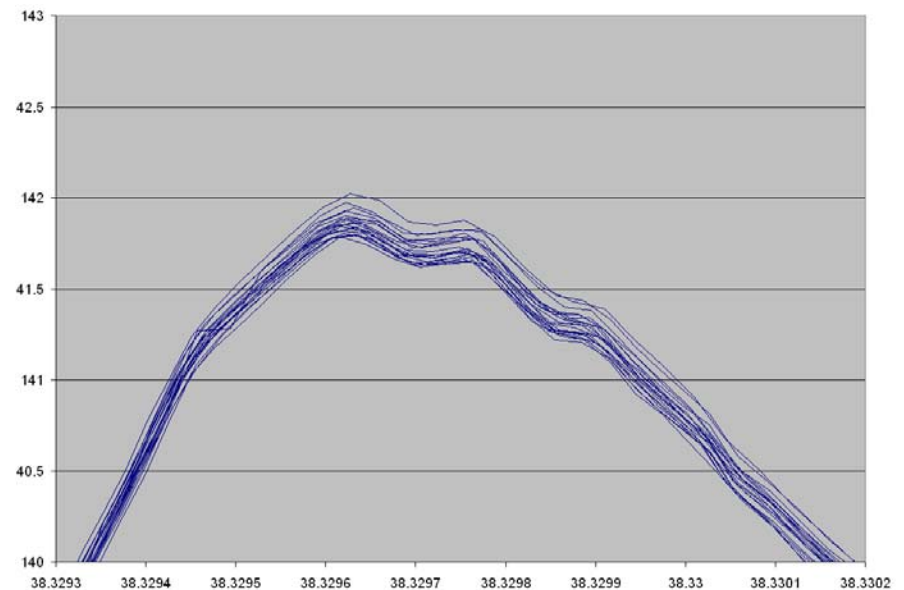
GPS cinématique



Il faut améliorer les logiciels de calculs GNSS cinématique PPP (+ hybridation)



Répétabilité en calcul double-différences avec pivot proche

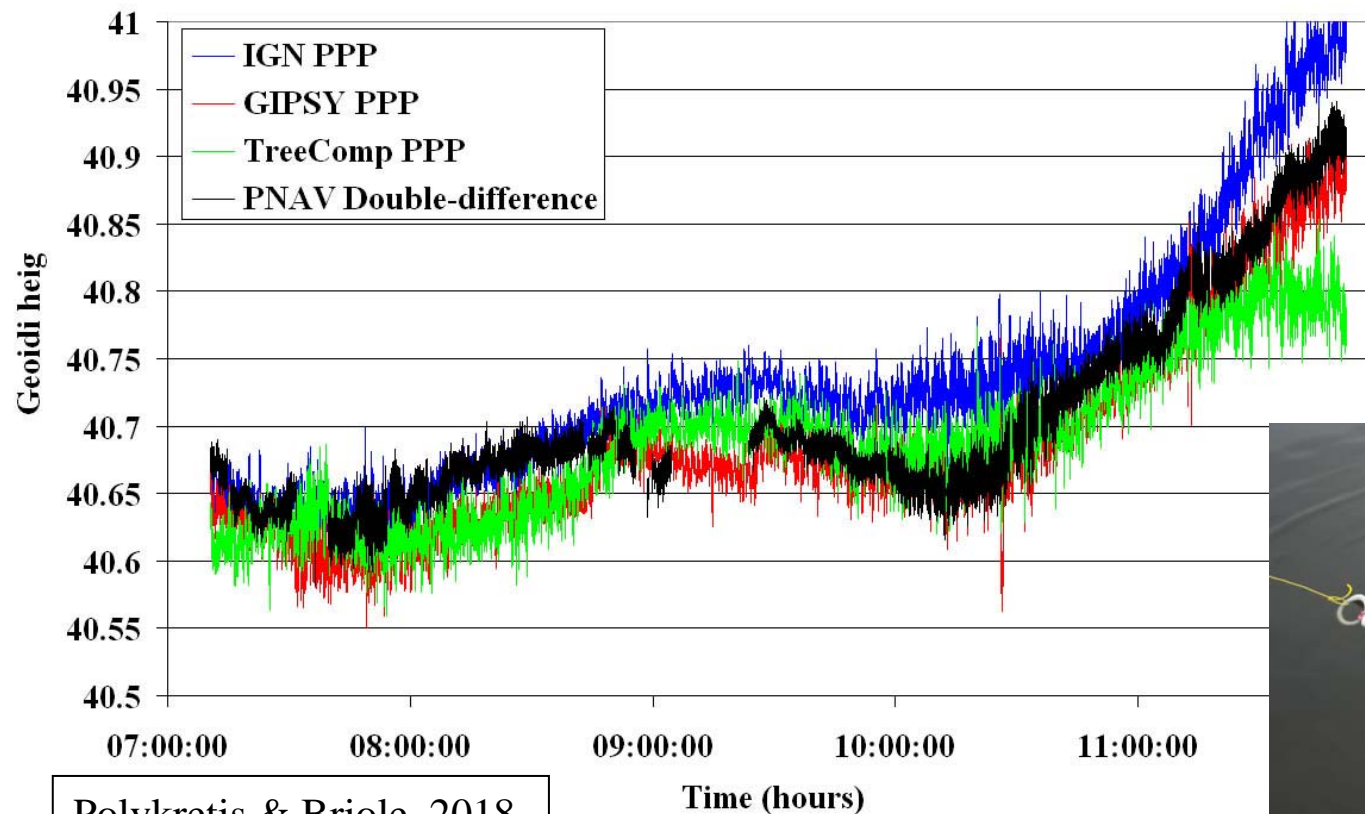


Répétabilité en calcul PPP

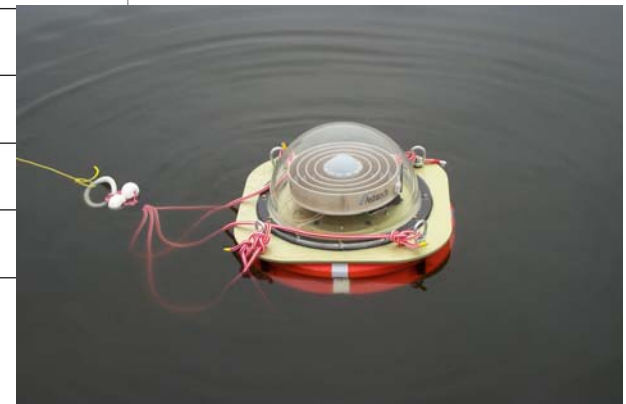
Observations Septembre 2016, <http://school2016.crlab.eu/>

Les logiciels PPP fonctionnent assez bien dans des cas simples (bouées) mais assez mal dans les applications réelles embarquées sur des véhicules

Buoy vertical (comparison PPP - double difference)



Polykretis & Briole, 2018



Pour un maillage d'observations GNSS de haute précision

Pour appréhender les déformations liées à des séismes modérés ($M < 6$), les scientifiques et les pouvoirs publics ont besoin d'observations très denses.

L'InSAR est efficace sur des temps courts, principalement pour le co-sismique. Sa perte de cohérence rapide (mois, ans) le rend inefficace pour mesurer l'accumulation séculaire de la déformation.

Les réseaux GNSS permanent et même ceux de campagnes n'ont pas la résolution spatiale suffisante pour imager les failles une à une.

Des réseaux cinématiques continus et maillées, utilisant de manière opportuniste les infrastructures existantes (ferroviaires, routiers, électriques, informatiques, ...) permettraient de résoudre une partie de ce problème.

Il faut des logiciels PPP performants