

Couverture globale et homogène de Taiwan par InSAR pour le suivi des déformations de surface

Bénédicte Fruneau¹, Erwan Pathier², Marie-Pierre Doin²,
C. Hu³, H.Tung³, J. Champenois⁴

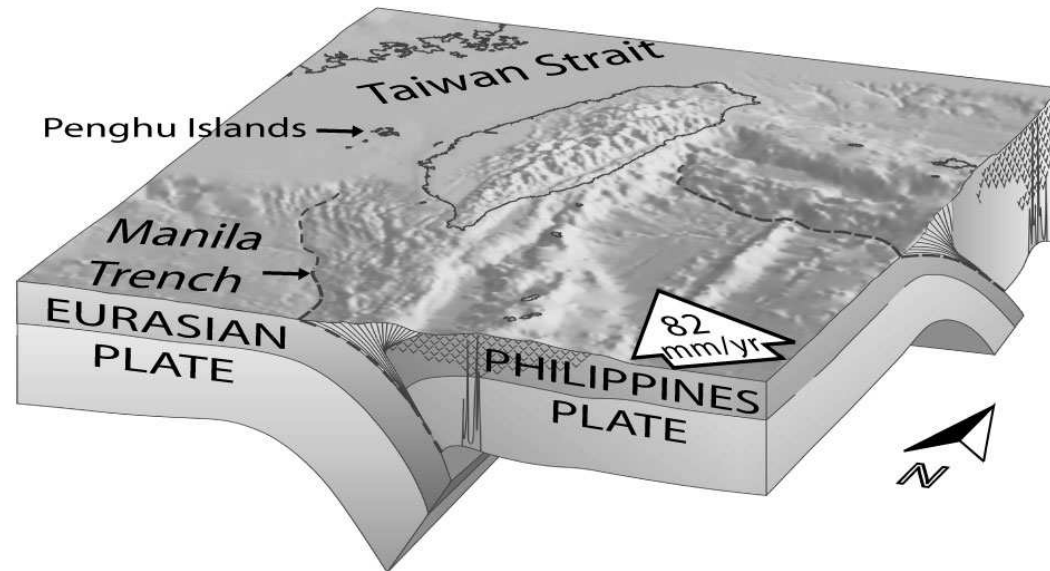
(1) Université Paris-Est, LaSTIG, IGN UPEM, Marne-la-Vallée

(2) Université Grenoble Alpes, ISTerre, Grenoble

(3) National Taiwan University, Taiwan

(4) IPGP, Tectonique et Mécanique de la Lithosphère, Paris

Taiwan



- contexte tectonique particulier (double subduction oblique)
- présence d'une forte sismicité
- population dense
- densité de mesure GPS et sismologique exceptionnelle

un véritable « laboratoire naturel »

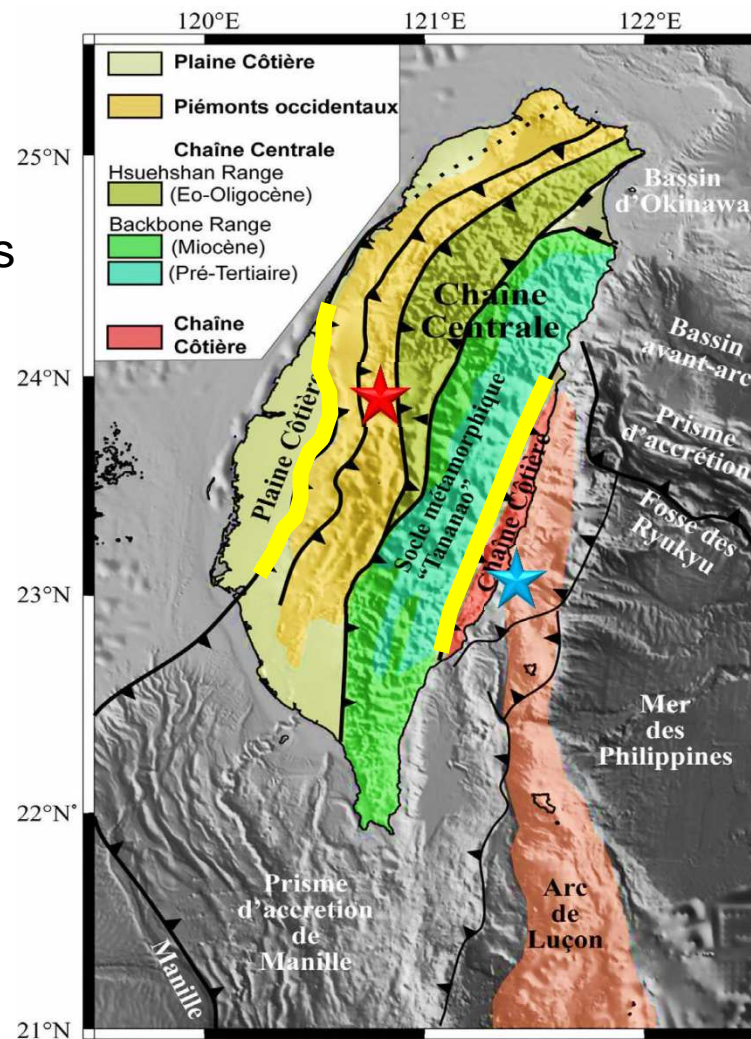
Schéma structural de Taiwan

- 4 grandes unités structurales
- Orientation des structures **N020°E**
- Délimitées par de grandes structures tectoniques
- Deux zones de sutures principales entre les deux plaques

Historique sismique important :
11 séismes de magnitude > 6 en 15 ans

★ **Chi-Chi**, Septembre 1999, Mw 7.8

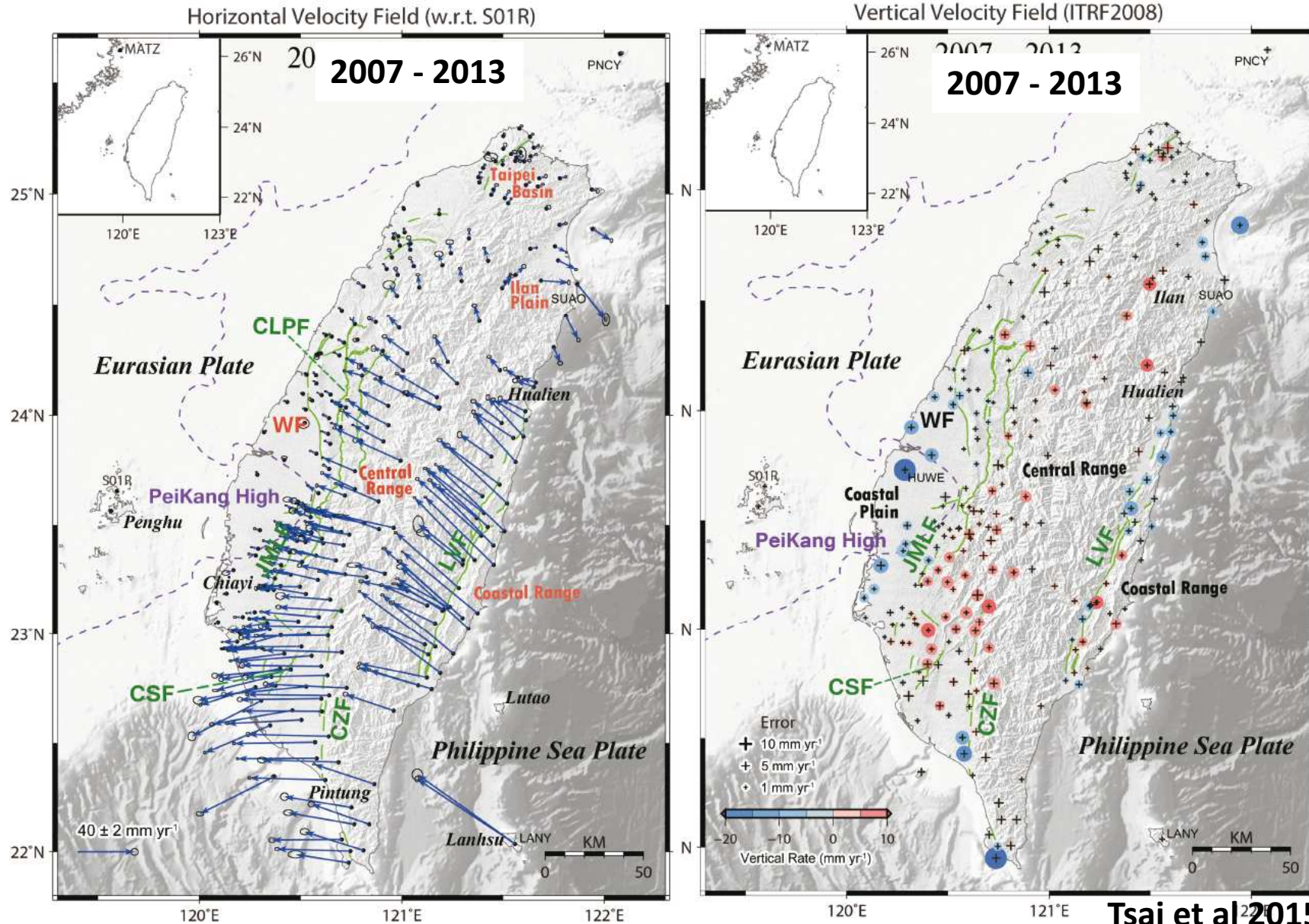
occurrence de séismes peu profonds (M>5)
~2-3 ans



D'après Mouthereau, 2000

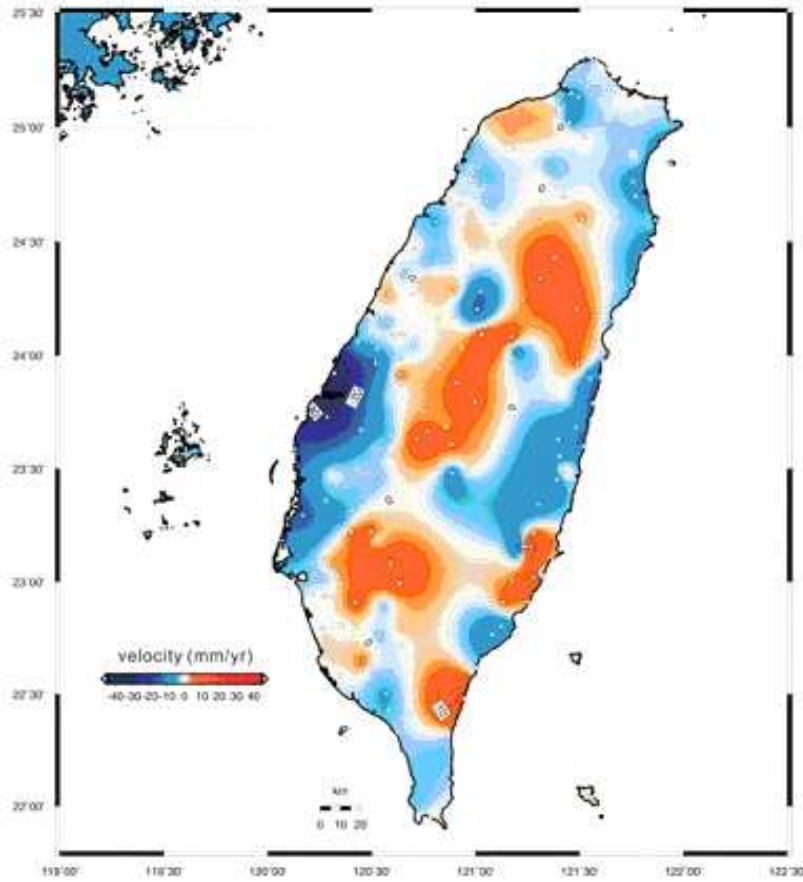
Densité de mesures GPS exceptionnelle.

~280 stations GPS continues



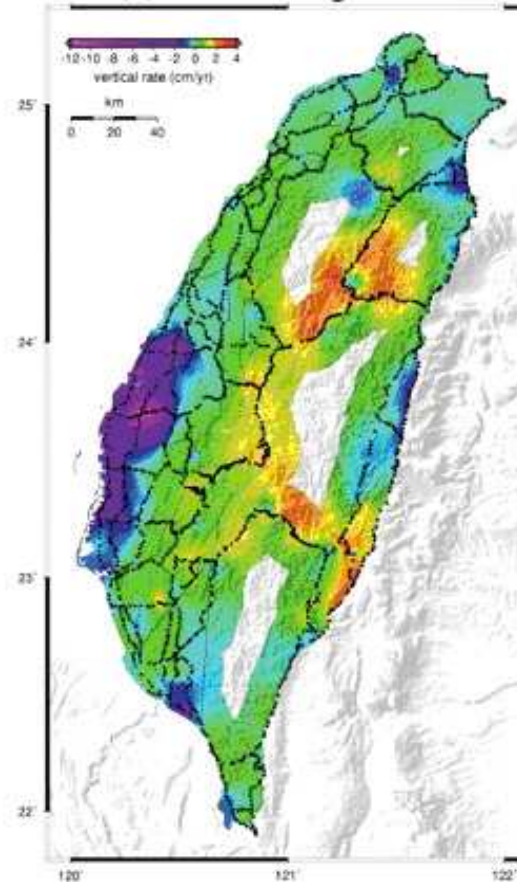
Interpolated vertical velocity field

(A) from continuous GPS network



Lin et al., 2010

(B) from leveling data



Chan et al., 2009

Important réseau de stations GPS permanentes

+

Réseaux locaux

⇒ grandes lignes de la déformation

Nécessité d'une connaissance spatio-temporelle plus fine de ce champ de déformation

Apport de l'interférométrie

- Augmenter la densité spatiale de mesure des déplacements
- Cartographier les déformations faibles, transitoires, inaccessibles par GPS

Objectifs

Accroître significativement l'information spatiale de la mesure de déplacements sur toute l'île

Fournir pour la première fois, **une cartographie complète et homogène des déformations de surface sur toute l'île de Taiwan par interférométrie radar**

Mesure des déplacements actuels avec une densité spatiale élevée, sur toute l'île, fondamentale pour :

- étude du cycle sismique et évaluation du risque sismique
 - Paramètres sources des séismes
 - Déformations intersismiques (accumulations de contrainte...)
- étude de croissance de chaîne
 - déformation court-terme/ long-terme
 - Infos sur processus tectoniques et érosion
- suivi des glissements de terrain
 - informations sur leurs mécanismes et leur dynamique

Détection et suivi de glissements profonds à Taiwan
Deep-Seated Gravitational Slope Deformation



Glissement de Hsiaolin : 450 morts lors du typhon Morakot

Etudes précédentes

Déformations co-sismiques liées à un séisme majeur

Séisme de Chichi 21 septembre 1999 - Mw=7.6



Escarpement de faille plurimétrique causé par le chevauchement

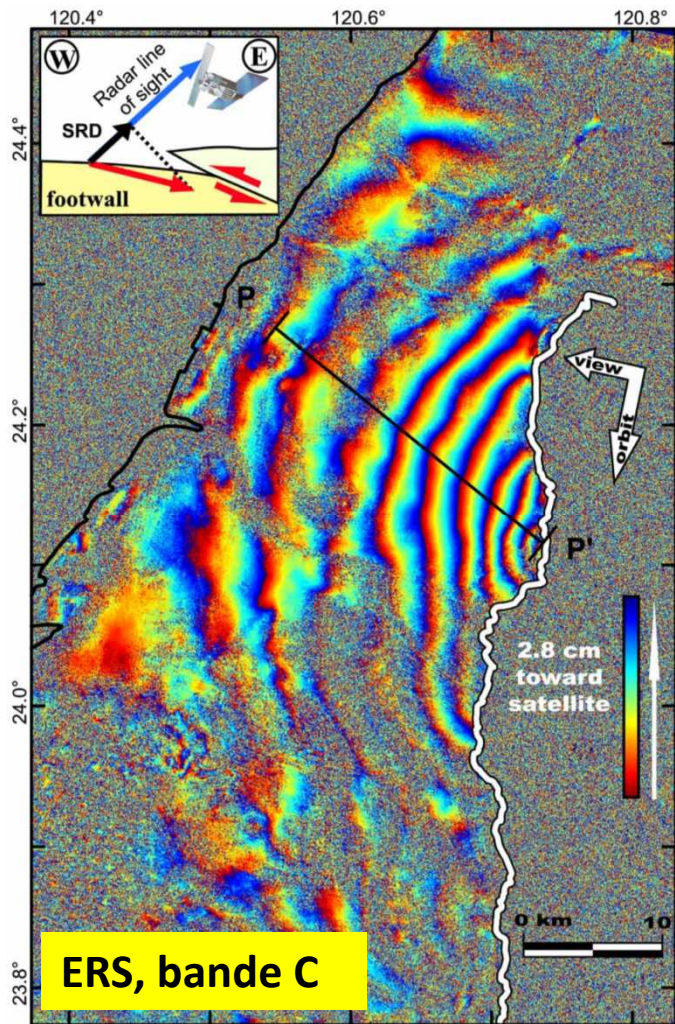
Réactivation de la faille chevauchante de Chelungpu, orientée Nord-Sud

Chevauchement du bloc Est sur le bloc Ouest

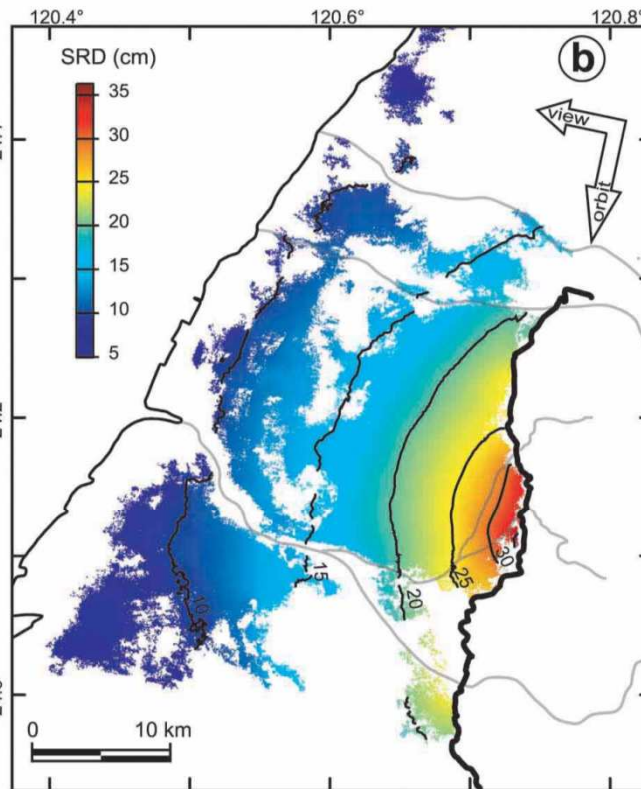


Photo J. Malavieille

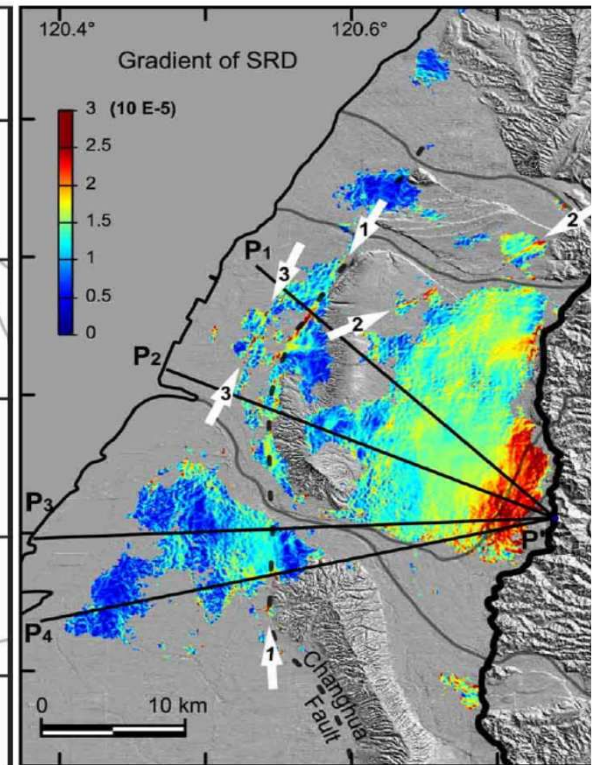
Décalage vertical (9 mètres) du lit de rivière coupé lors du séisme par la faille de Chelungpu située dans le piémont ouest de la chaîne de Taiwan.



Pathier et al., 2003



Carte des déplacements co-sismiques LV du séisme de ChiChi



Gradients

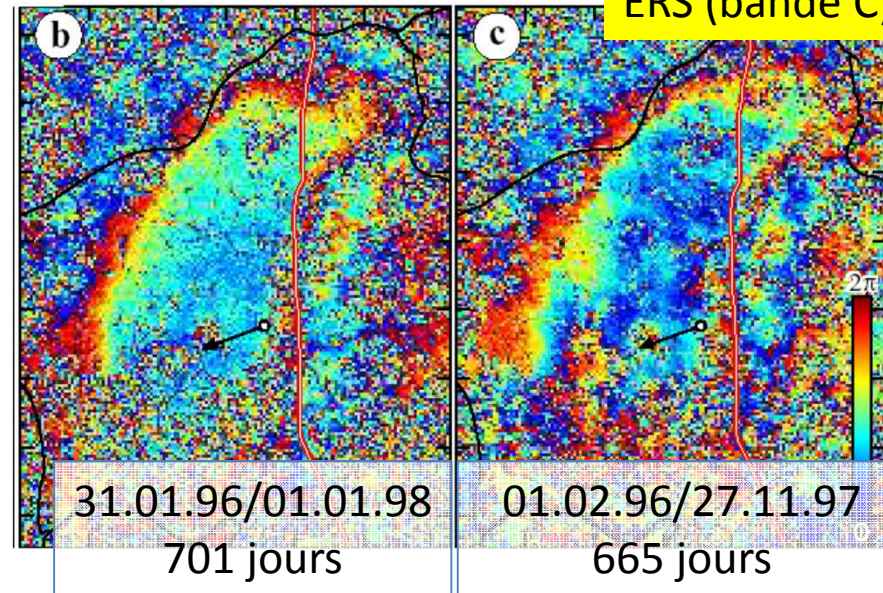
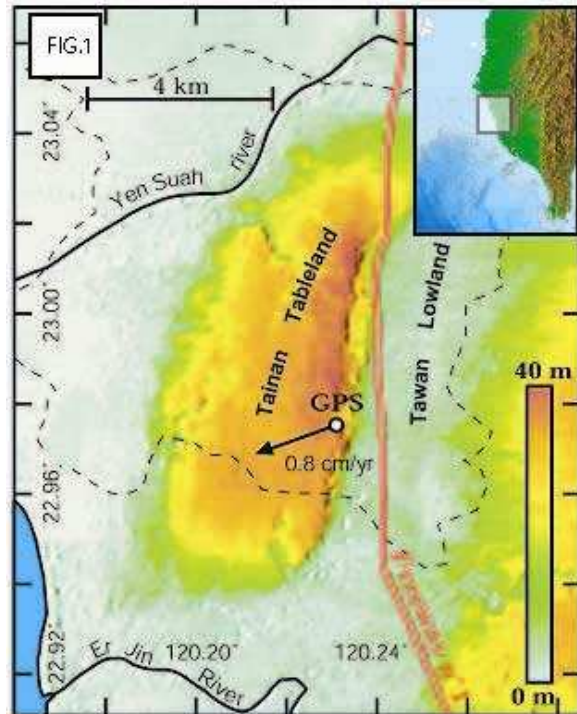
Mesure des déplacements co-sismiques du bloc chevauché

Déformation asismique localisée sur un plis

Soulèvement de la ville de Tainan (Taiwan)

Ville de 1.2 millions d'habitants

4^{ème} ville du Pays

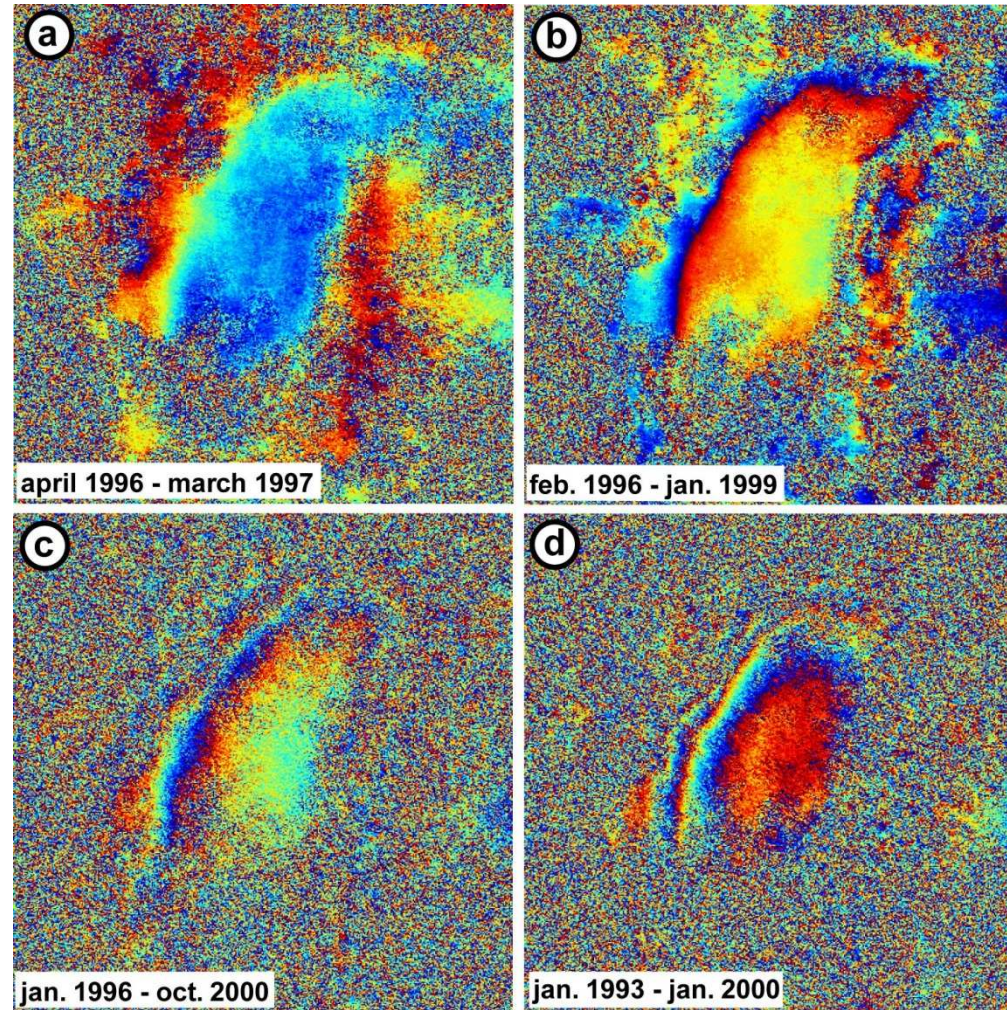


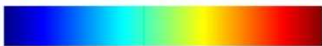
➡ Croissance de l'anticlinal

Conséquence de cette étude :

- mise en place d'une ligne de nivellement à travers la ride,
- réalisation de nouvelles mesures de GPS de campagne,
- densification du réseau GPS permanent par le Central Geological Survey of Taiwan

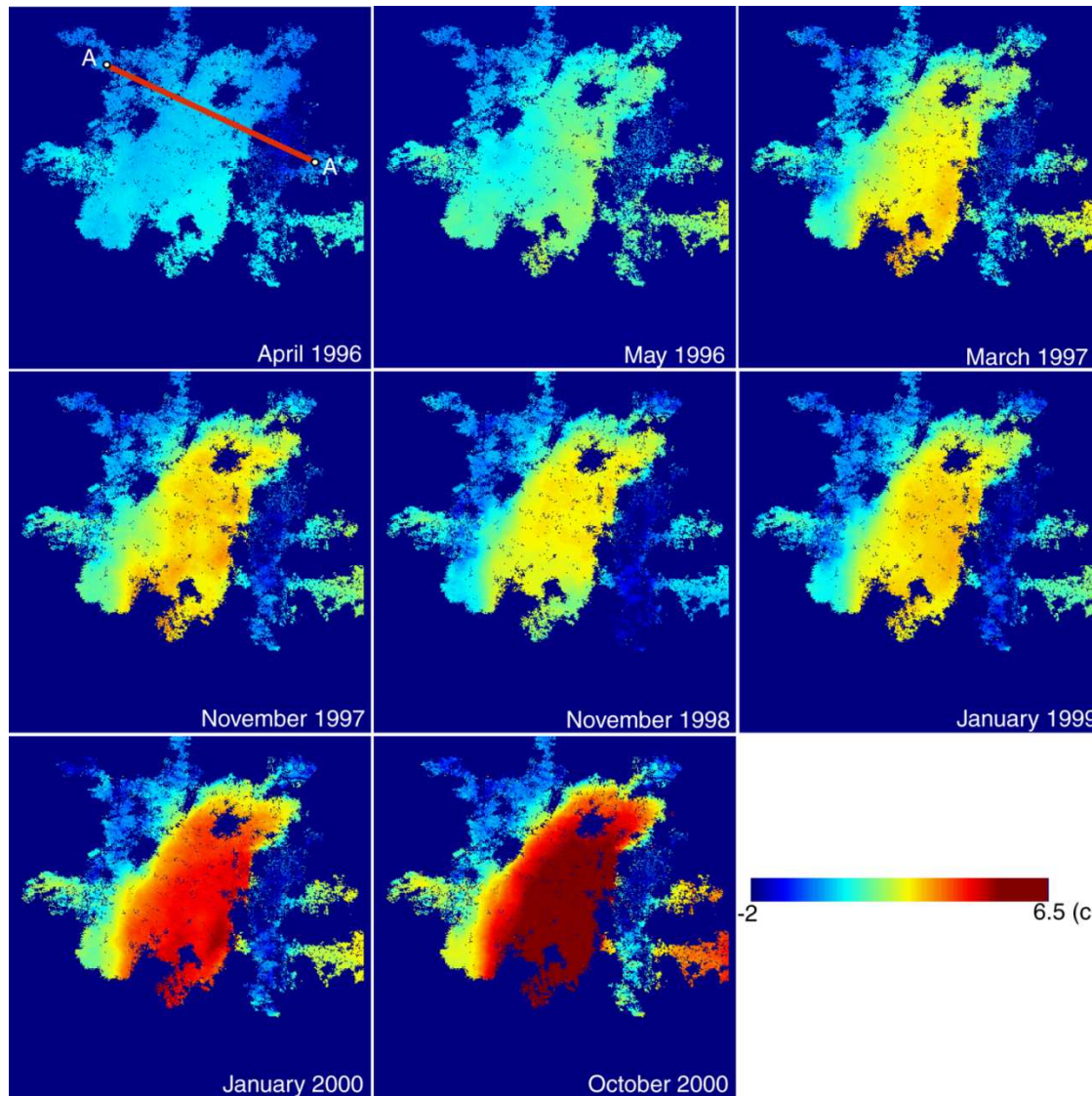
1996-2000



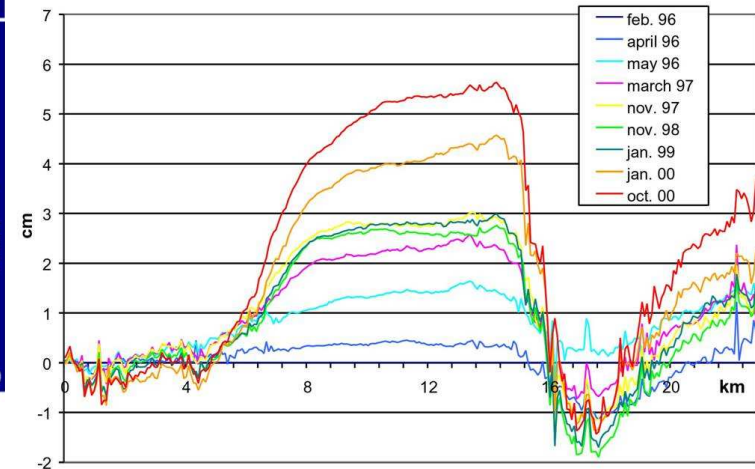
0  2.8 cm
towards the satellite

Données ERS, bande C

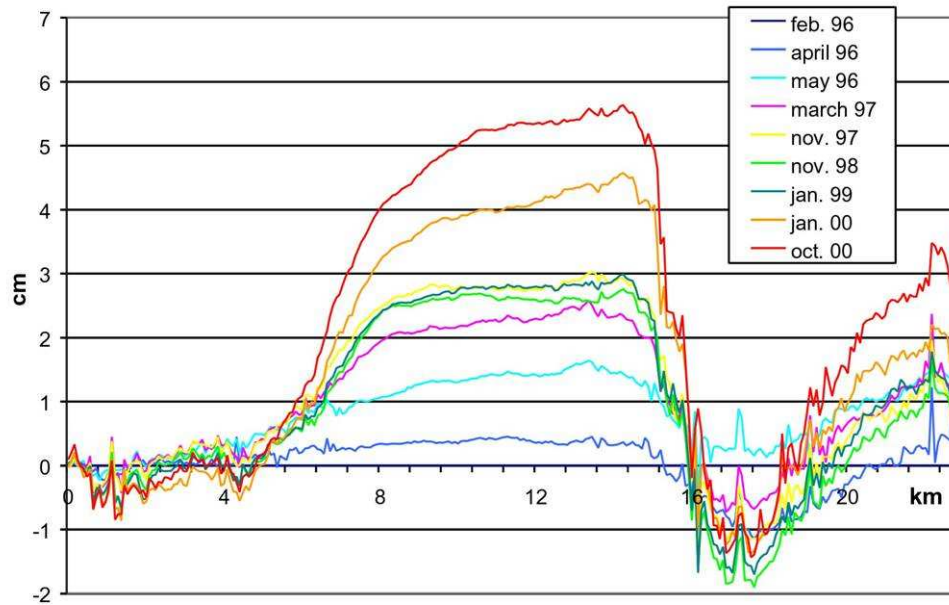
Croissance de l'anticlinal de Tainan de 1996-2000



Soulèvement régulier

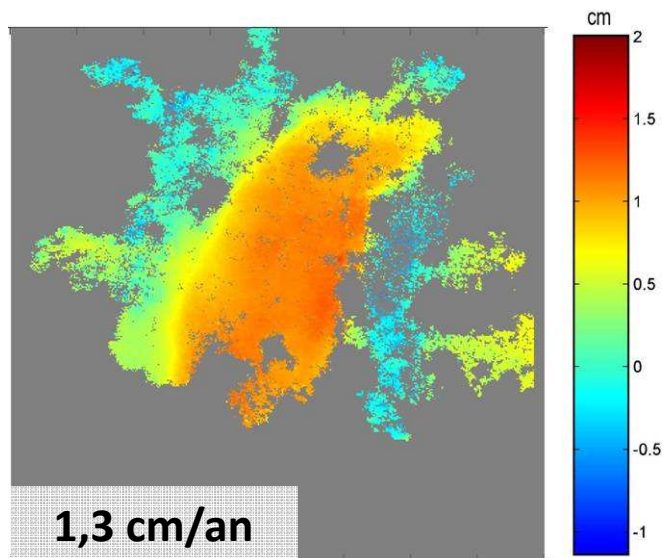


Séries temporelles

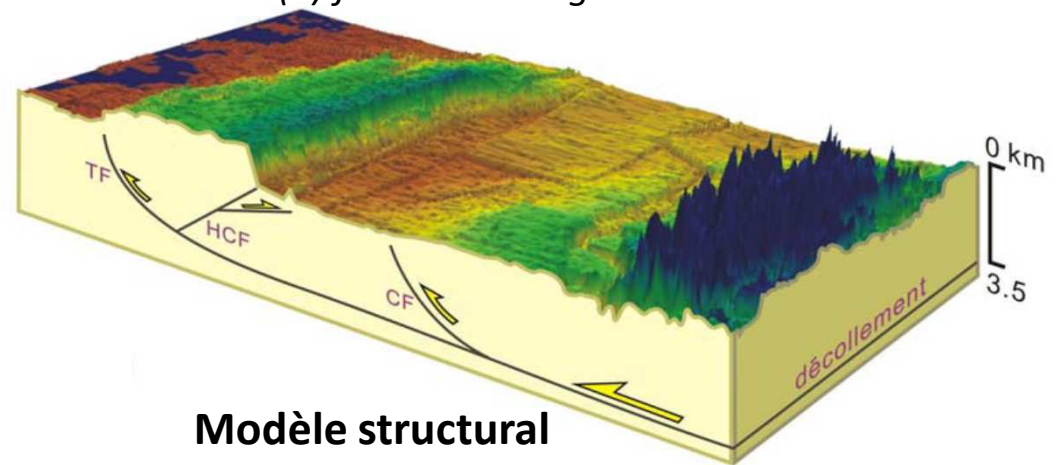


Profils E-W du déplacement sur la période 1996-2000

(1) faille de Tainan, (2) faille de Houchali
(3) faille de Chungchou



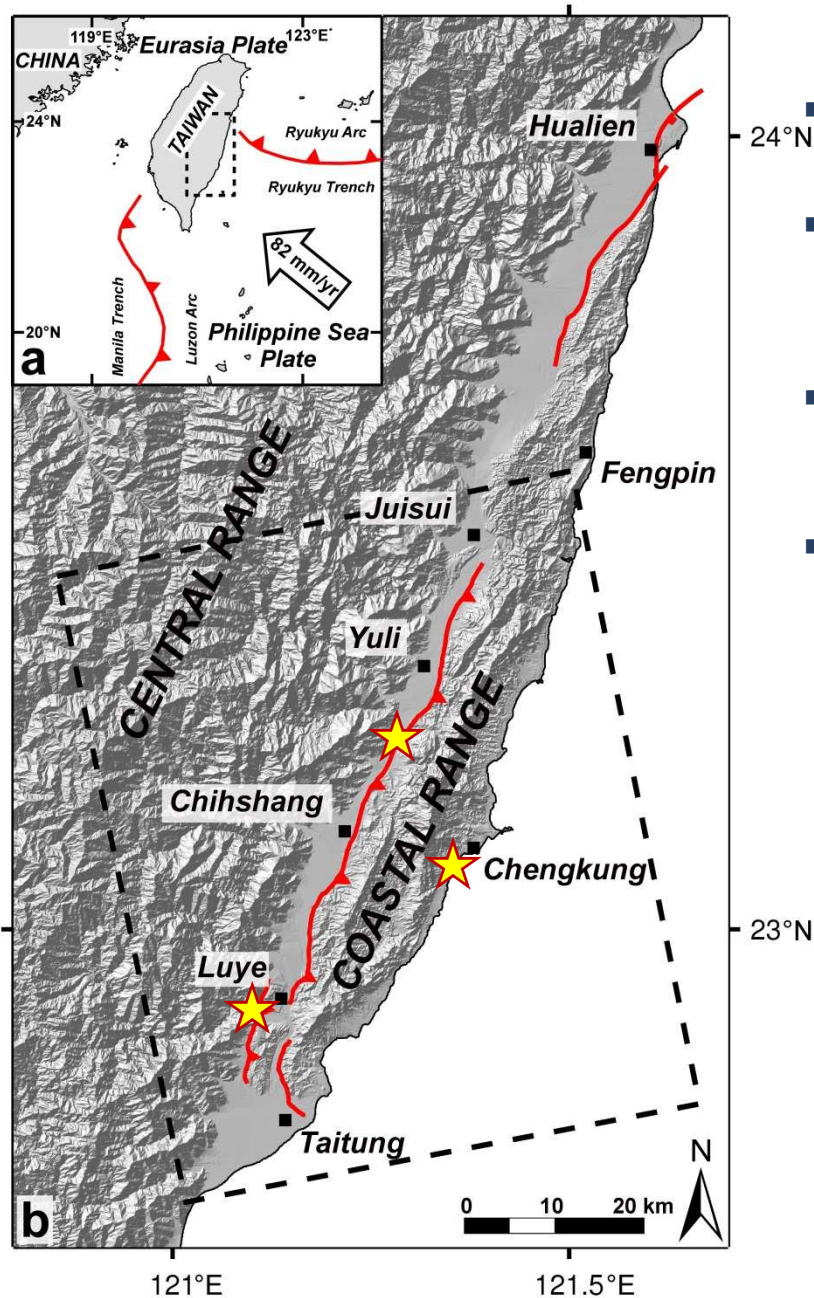
Carte de vitesses moyennes (1996-2000)



Modèle structural

Huang et al., 2006

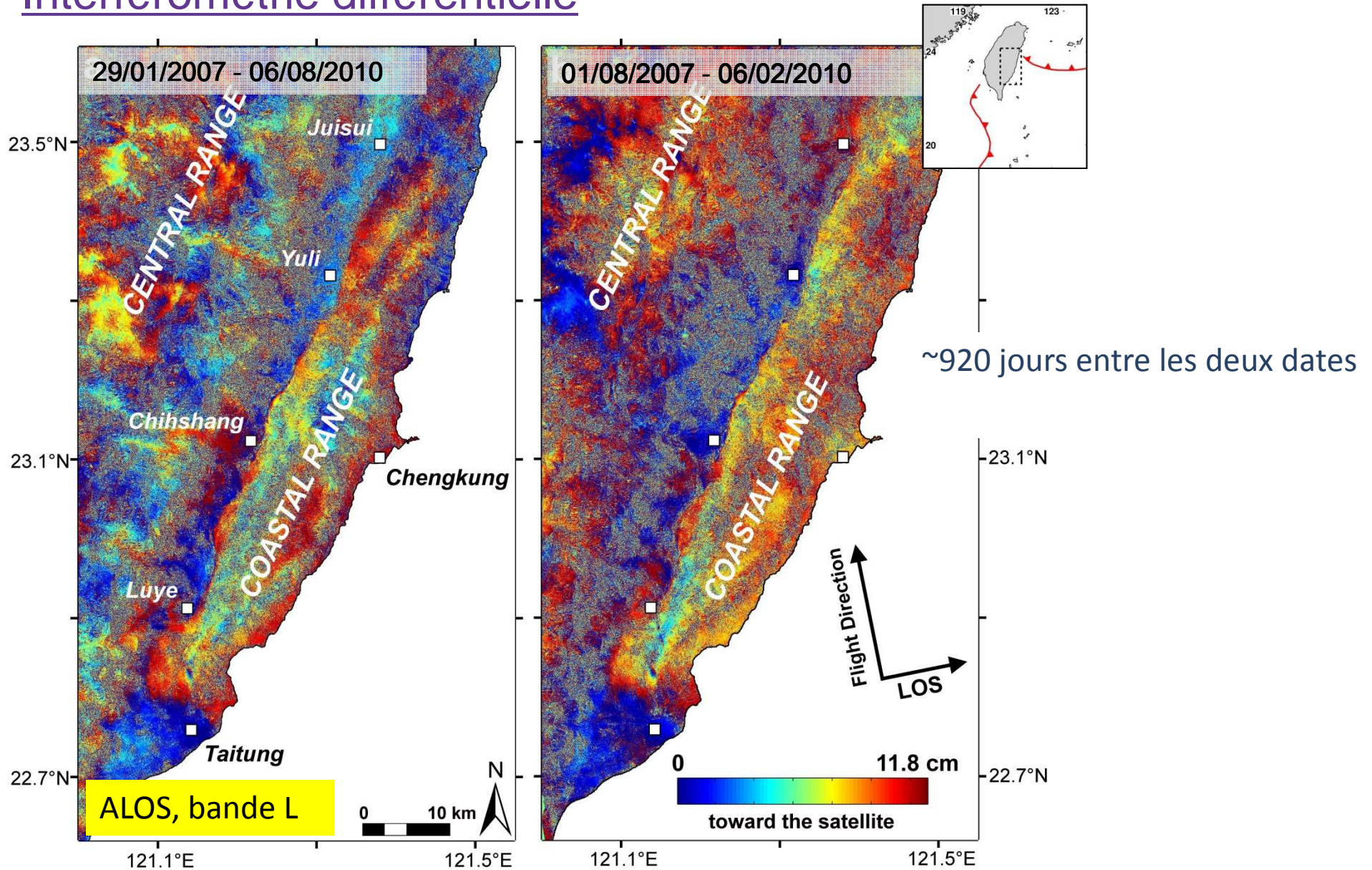
La Vallée Longitudinale - glissement asismique



- 30% de la convergence totale
- Raccourcissement horizontal au travers de la Vallée : 30 mm/an
- Faille de la Vallée longitudinale : Suture entre les deux plaques
- Historique sismique important :
 - Chihshang en 1951, $M_L = 7.3$
 - Chengkung en 2003, $M_W = 6.8$
 - Peinan en 2006, $M_W = 6.1$

Étude interférométrique :
Utilisation d'images PALSAR (ALOS)
en bande L ($\lambda=23,6$ cm)

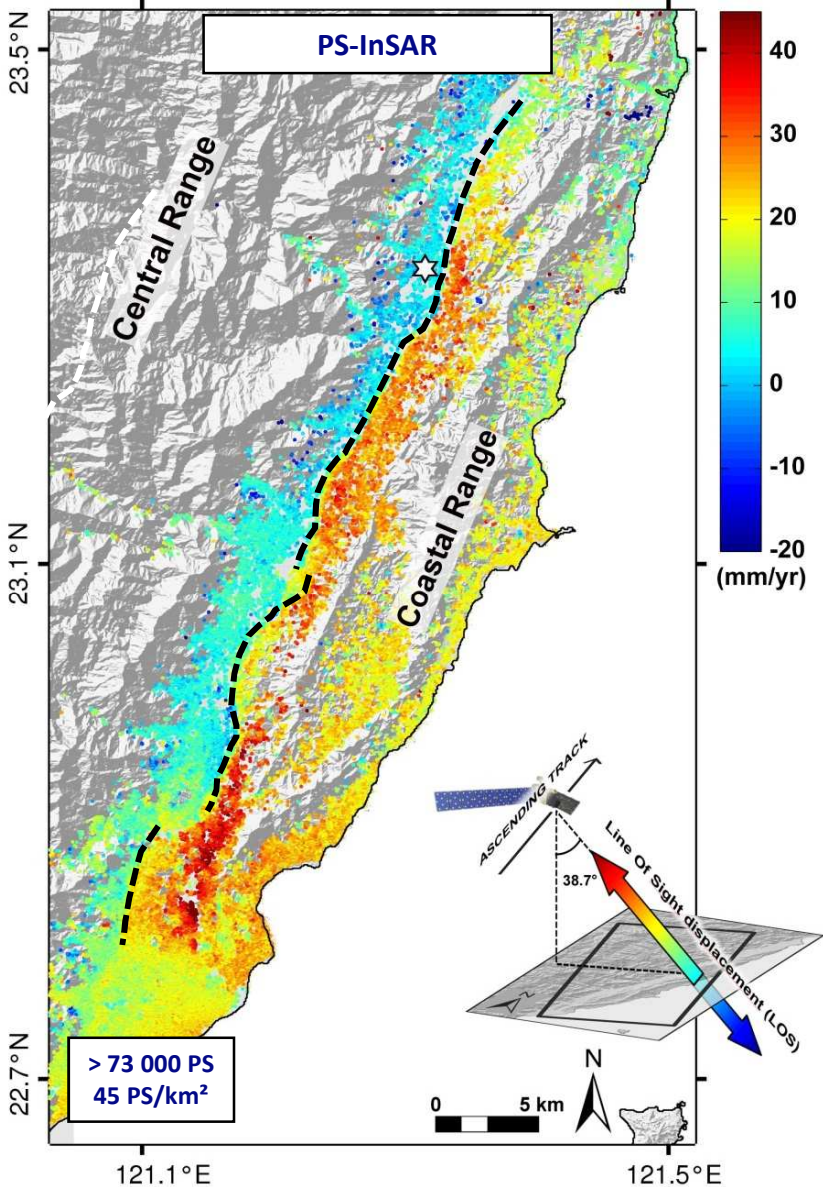
Interférométrie différentielle



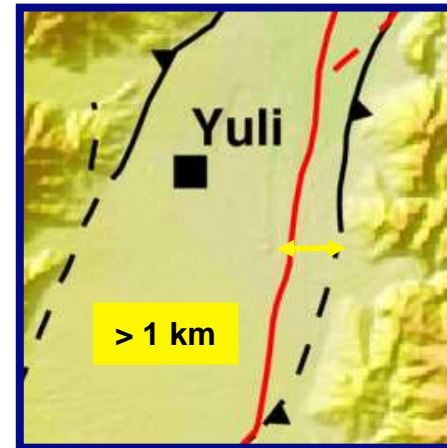
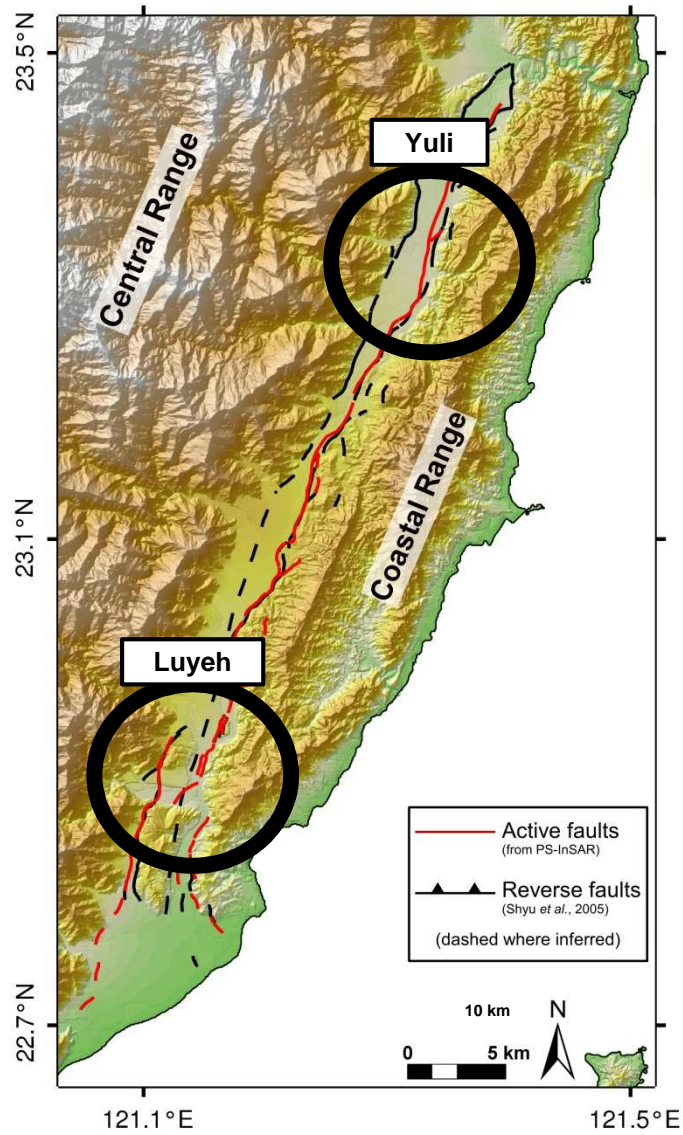
- Très bonne cohérence malgré la présence de végétation
- Discontinuité montrant le glissement inter-sismique

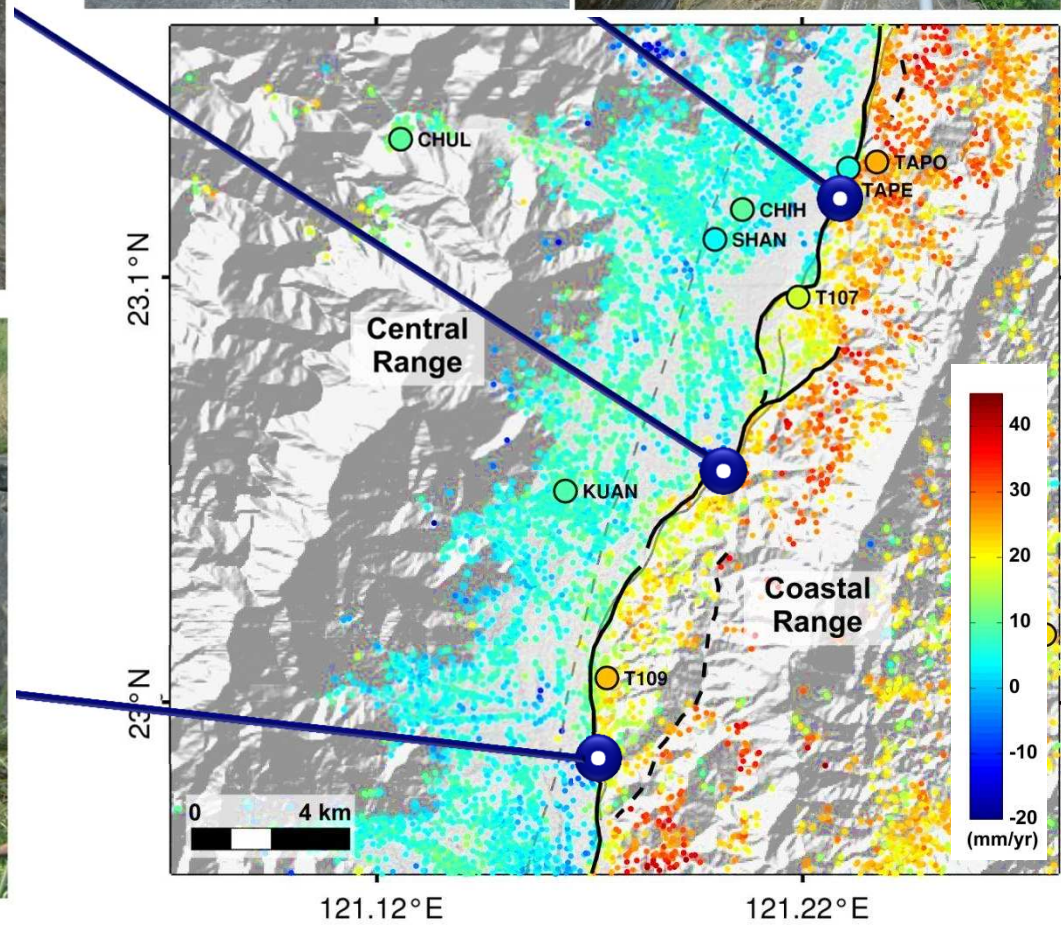
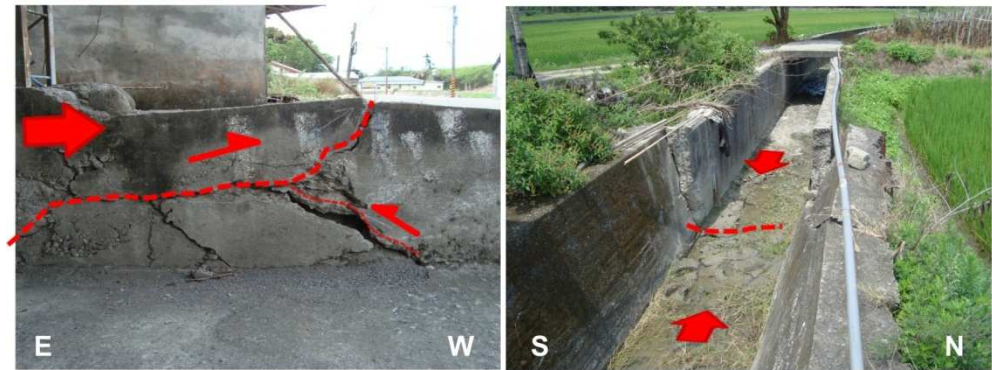
Caractérisation des déformations intersismiques de la Vallée Longitudinale

PS InSAR
StaMPS

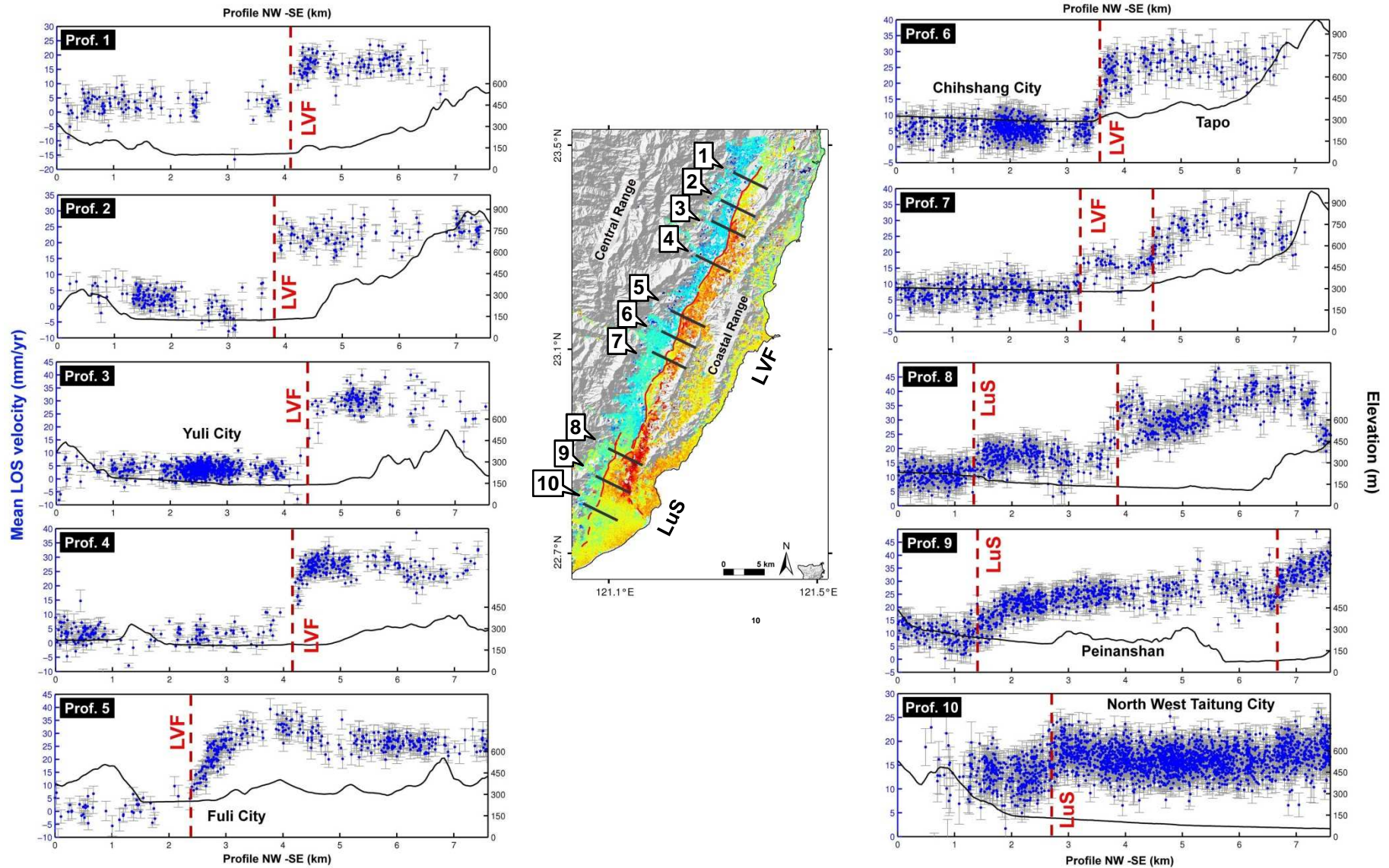


Nouvelle carte des failles actives et campagnes de validation terrain

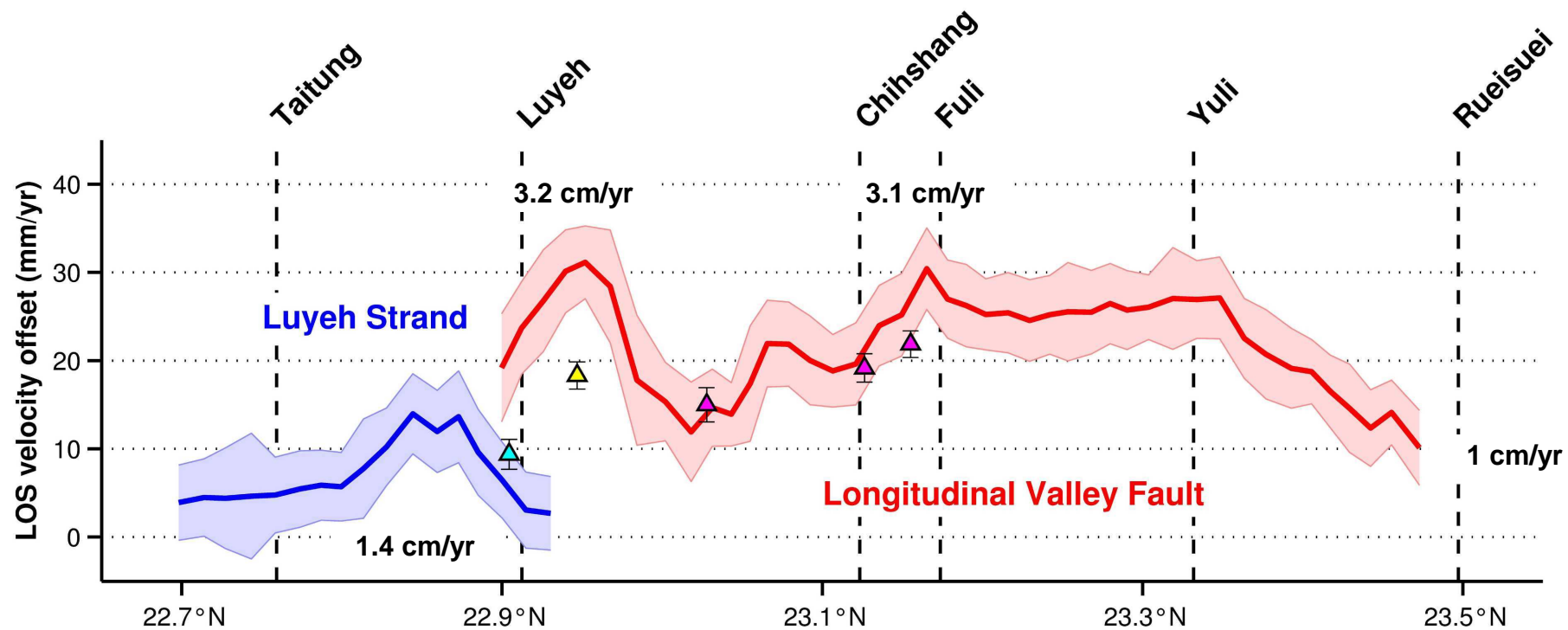




Quantification de l'activité tectonique inter-sismique

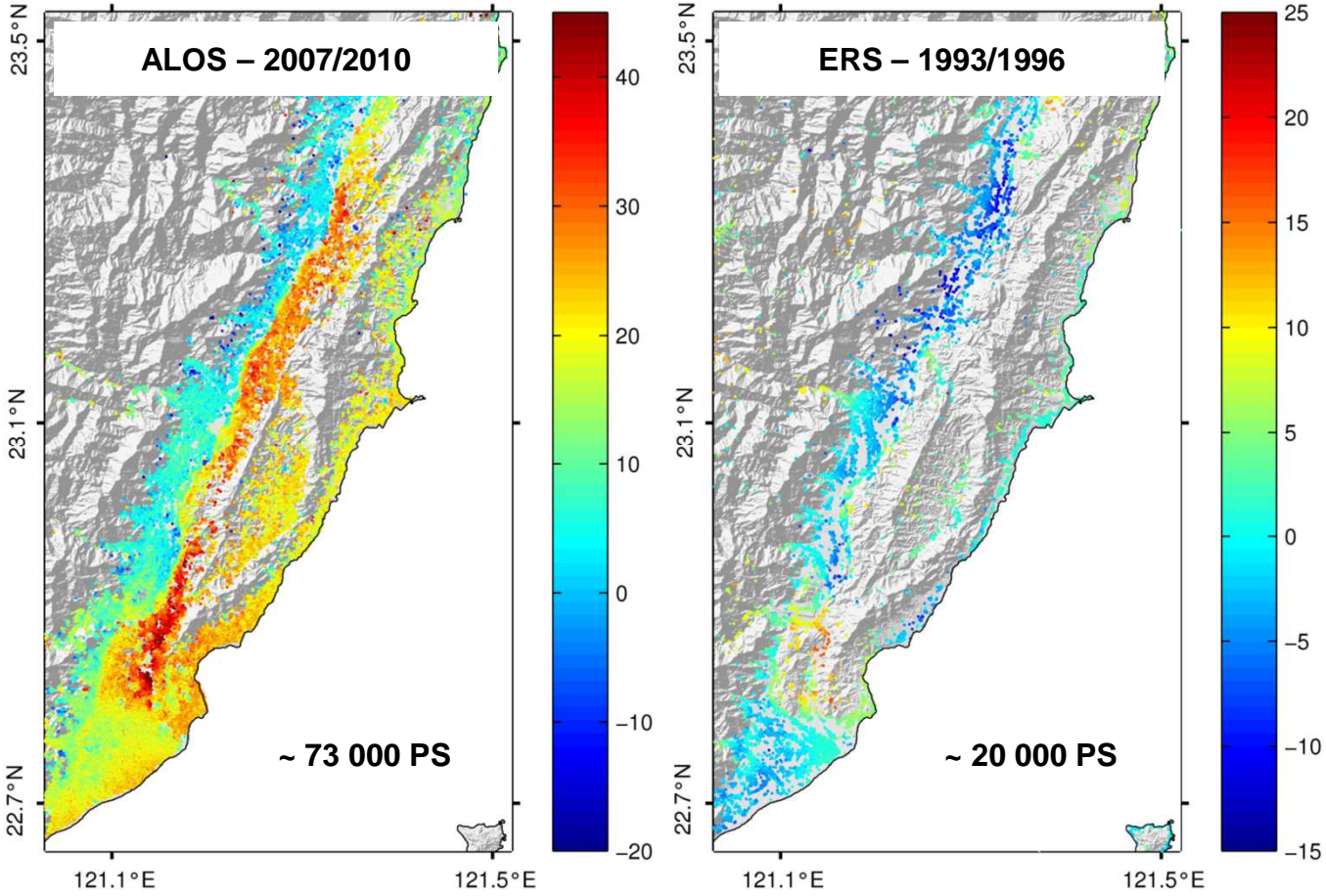


Évolution spatiale de l'activité inter-sismique des failles LVF et LuS



▲ Estimation à partir des mesures GPS

Comparaison ALOS-ERS



Peyret et al., 2011

Cartographie complète et homogène

- **Etablir une cartographie complète et homogène des déformations de surface sur toute l'île de Taiwan par interférométrie radar**
- **aborder des problématiques liées au cycle sismique dans plusieurs zones de Taiwan**
 - **le Sud-Ouest**
 - **la Vallée Longitudinale,**

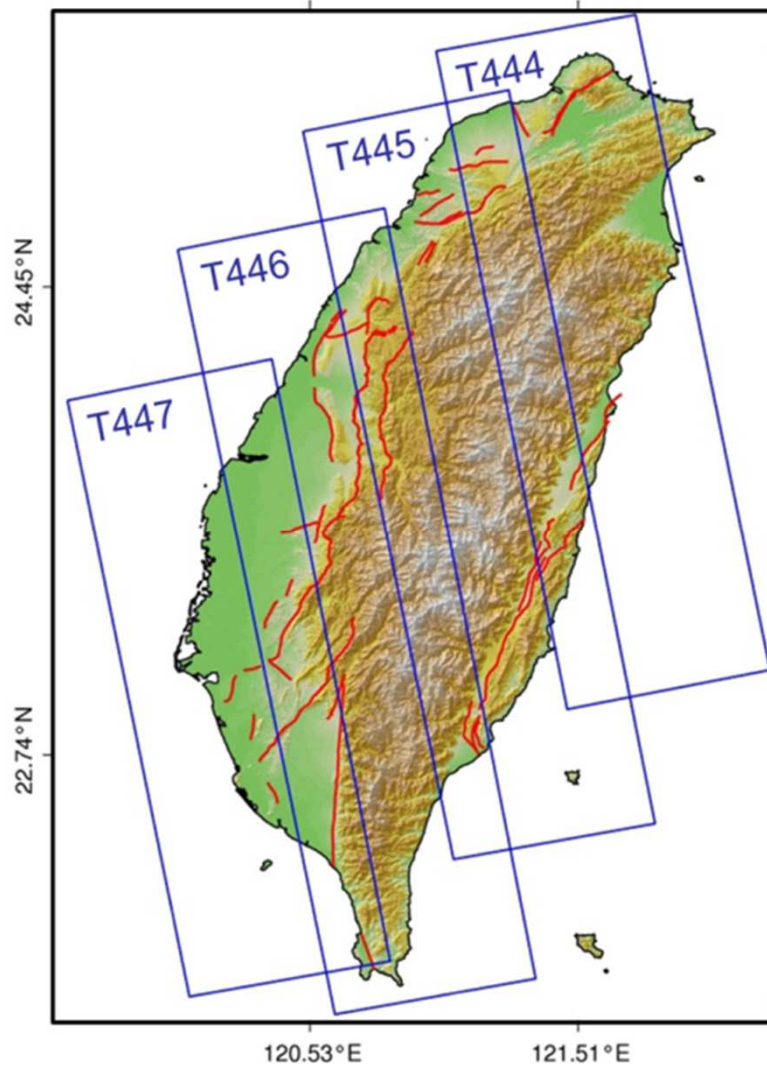
Sud-Ouest :

- sismicité instrumentale dans les 10 premiers kilomètres de la croûte étonnamment très faible,
- lien entre observations géodésiques des déformations du sol et les structures géologiques qui en sont responsables ;
- caractère élastique ou plastique de la déformation
- la relation entre la forte activité sismique plus profonde (15-20 km) de cette zone et les structures géologique présentes dans les 6-8 premiers kilomètres

Couverture globale de l'île par InSAR

Données radar

- ❑ PALSAR du satellite ALOS-1 (2007-2011)



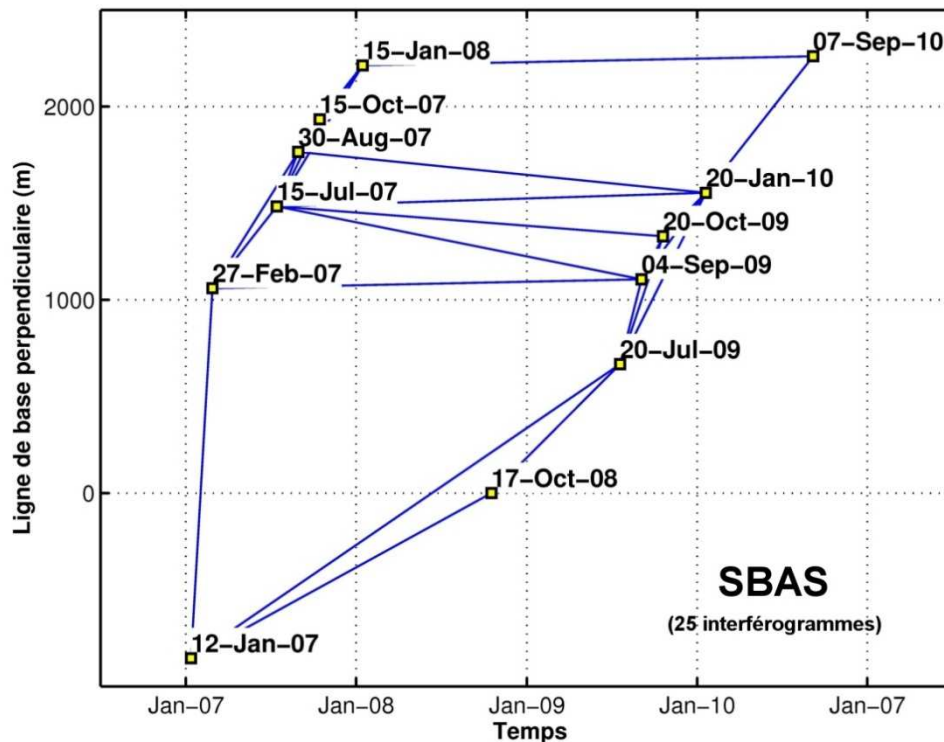
Archive complète disponible
Environ 300 images réparties sur 4
tracks ascendantes
~20 dates pour chaque track

Chaîne de traitement : NSBAS

développée au laboratoire ISTERre (Doin et al., 2011)

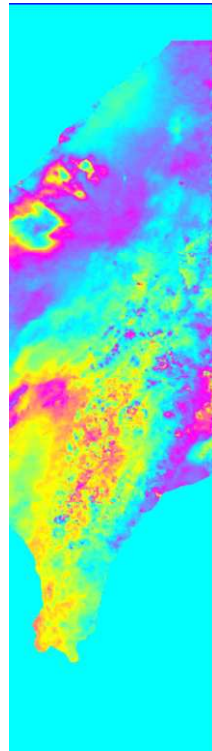
adaptée aux milieux naturels, sur de grandes étendues spatiales, pour l'étude de déformations de faibles amplitudes

Approche SBAS



1. Réseau d'interférogrammes à faibles Bt et Bperp

2. Inversion de la série d'interférogrammes déroulés



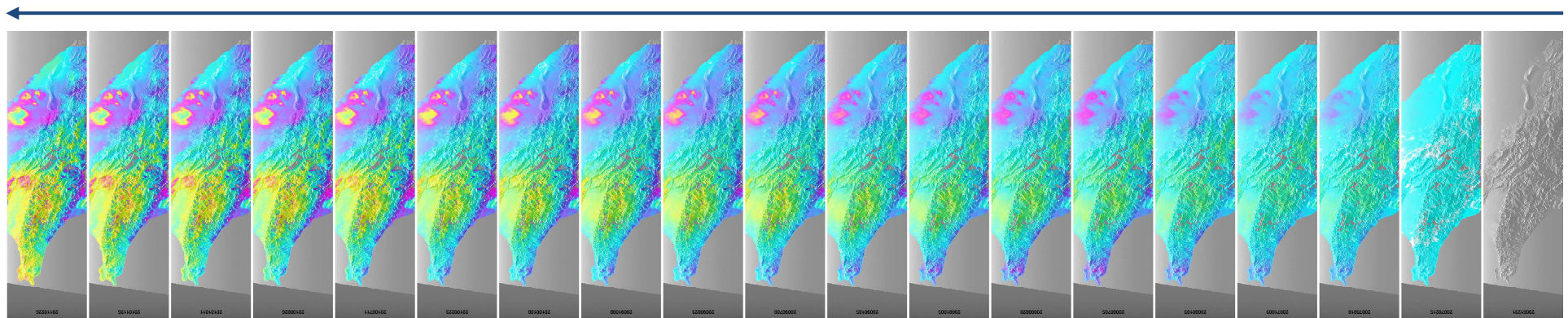
Carte de vitesse moyenne

+

Fév. 2011

Série temporelle

Déc. 2007



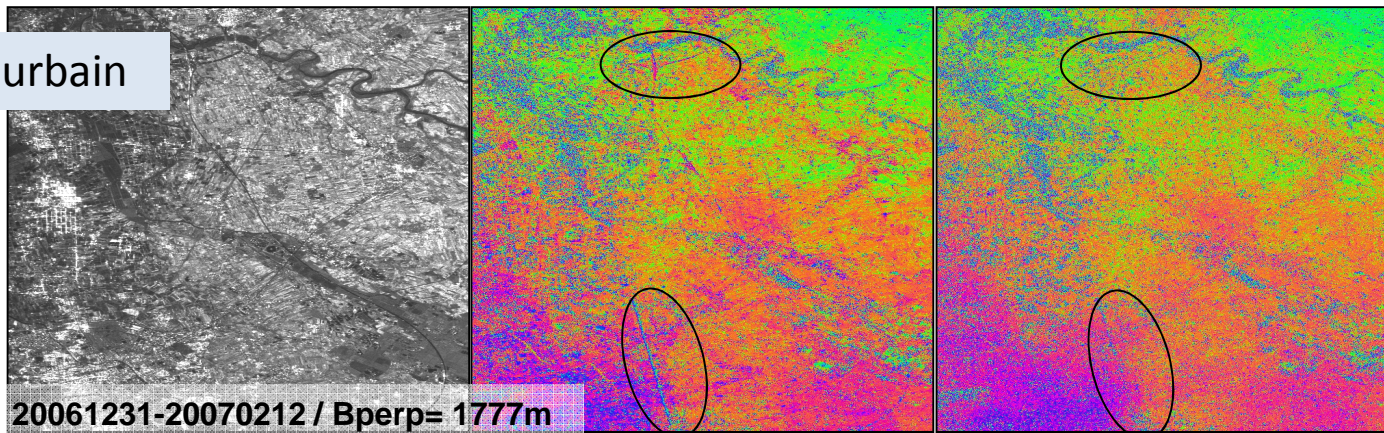
Etape critique : déroulement des interférogrammes, en particulier dans la **Chaîne Centrale, au relief escarpé**

NSBAS : **corrections faites avant déroulement,**

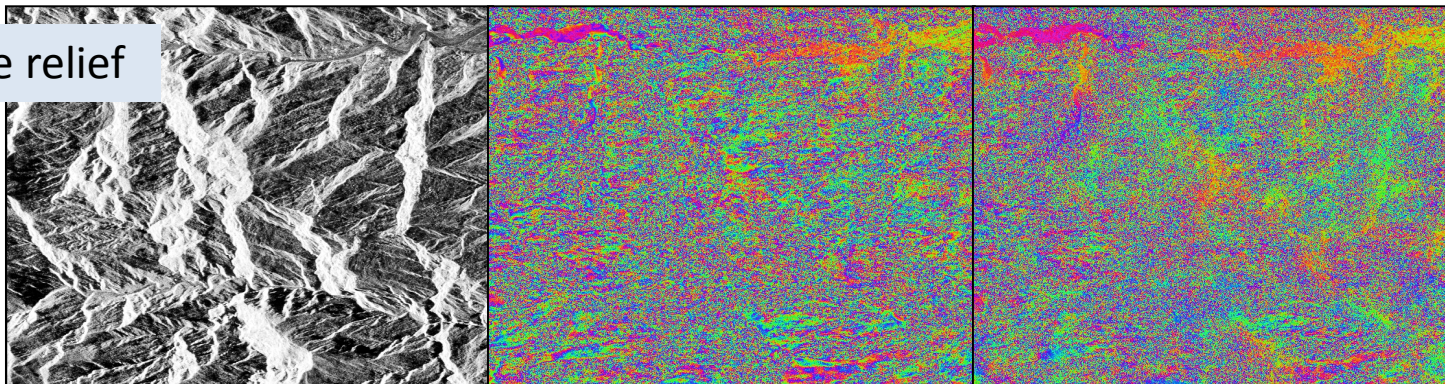
- estimation et corrections troposphériques à partir des données du modèle global : ERA-Interim.
- corrections d'erreurs de DEM

Exemples de correction d'erreurs de MNT sur un interférogramme enroulé

En milieu urbain

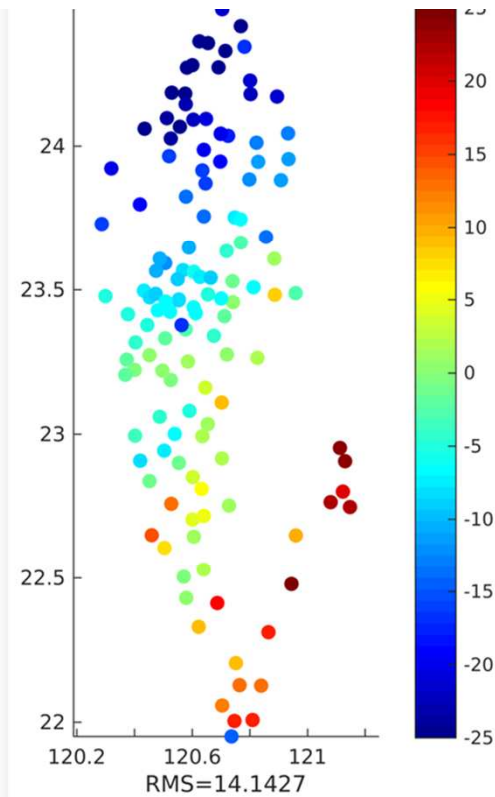


En zone de relief

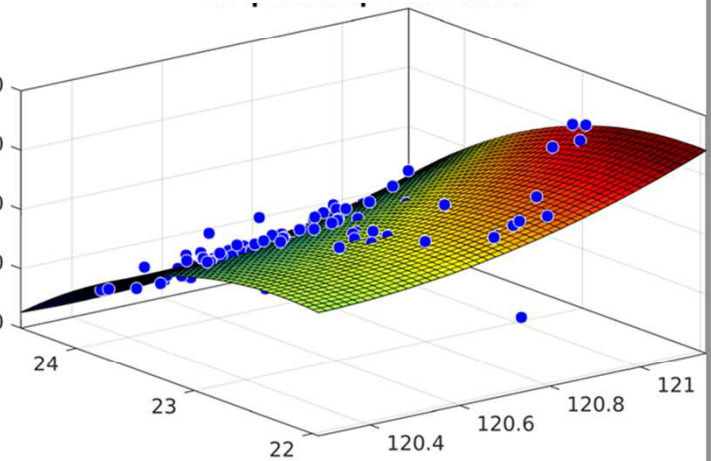
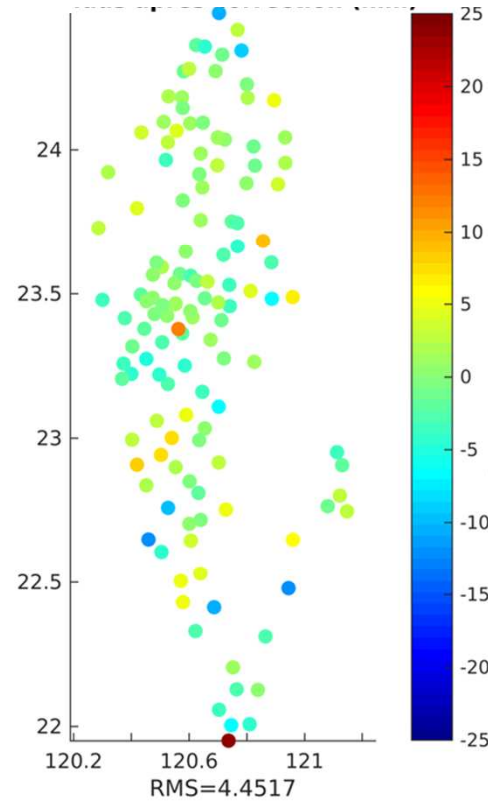


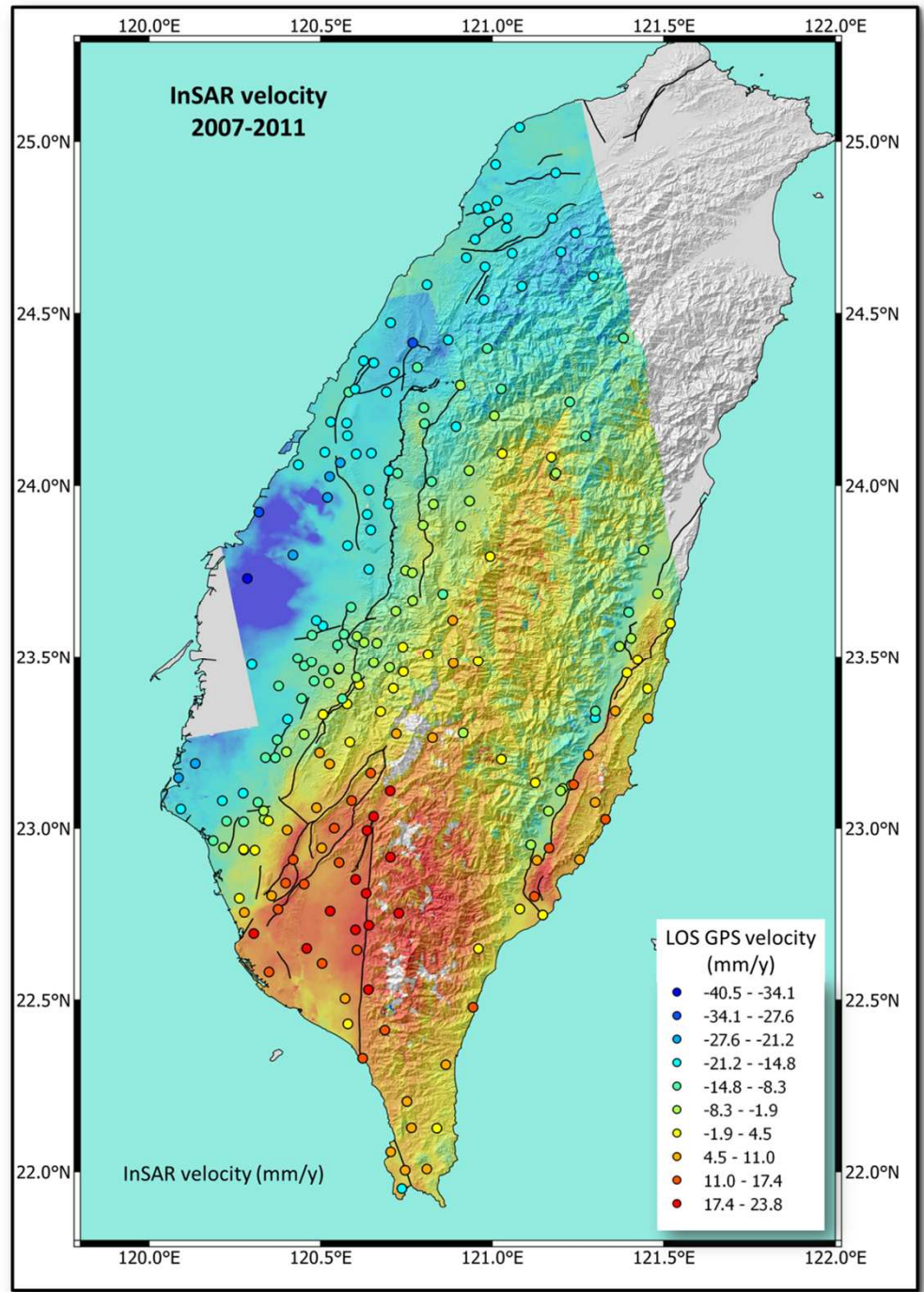
Comparaison/correction avec les données GPS

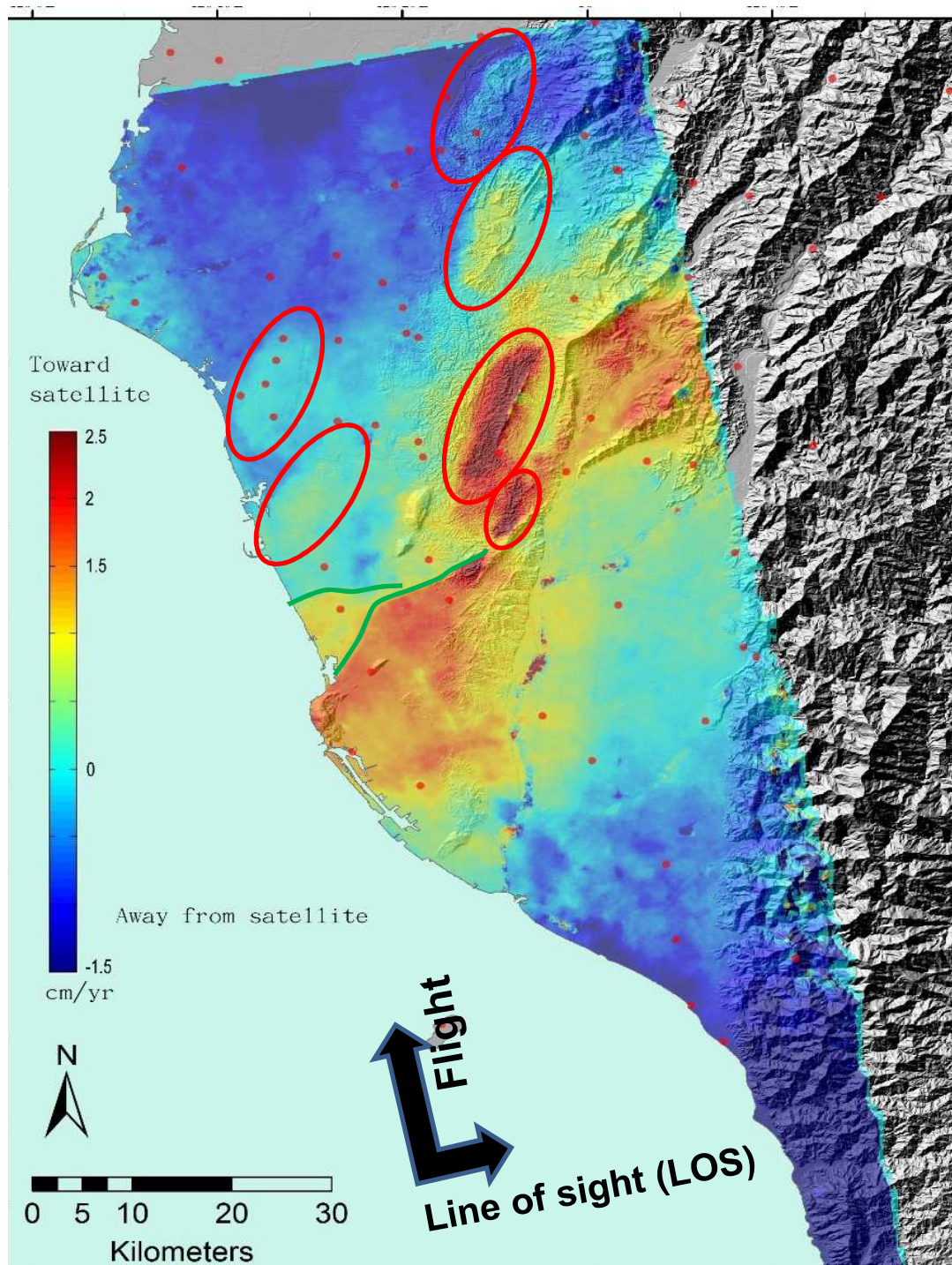
Difference between InSAR and
LOS GPS velocity



Residuals after correction





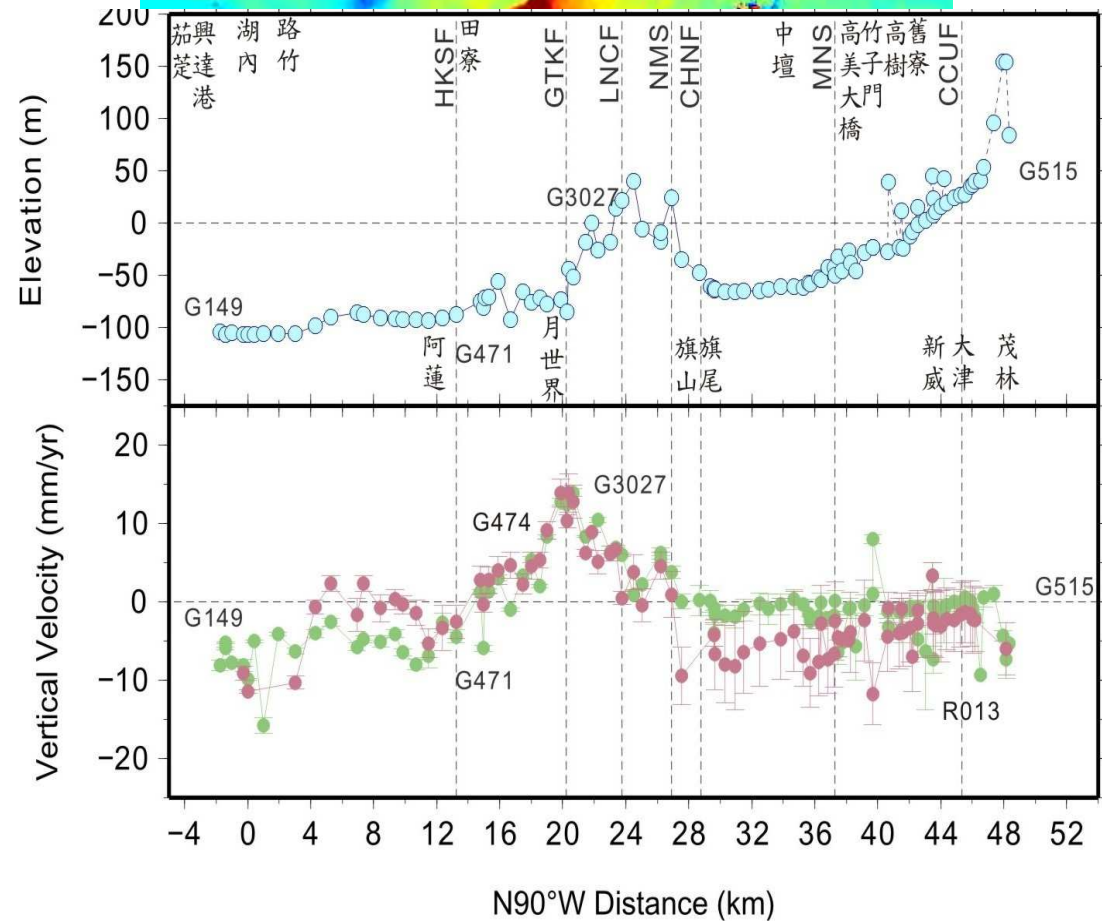
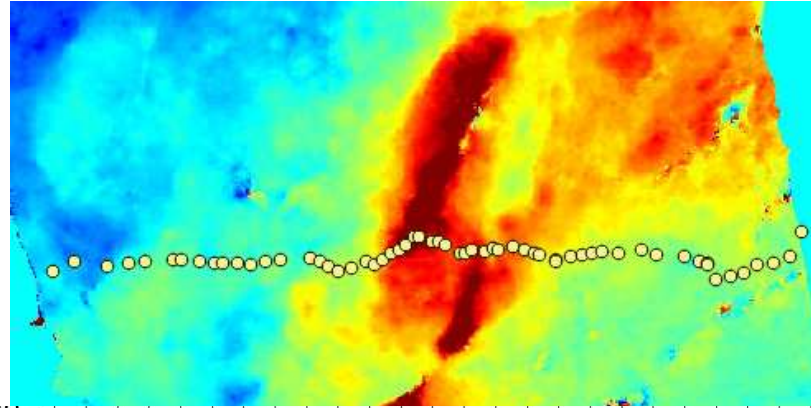


Sud-Ouest

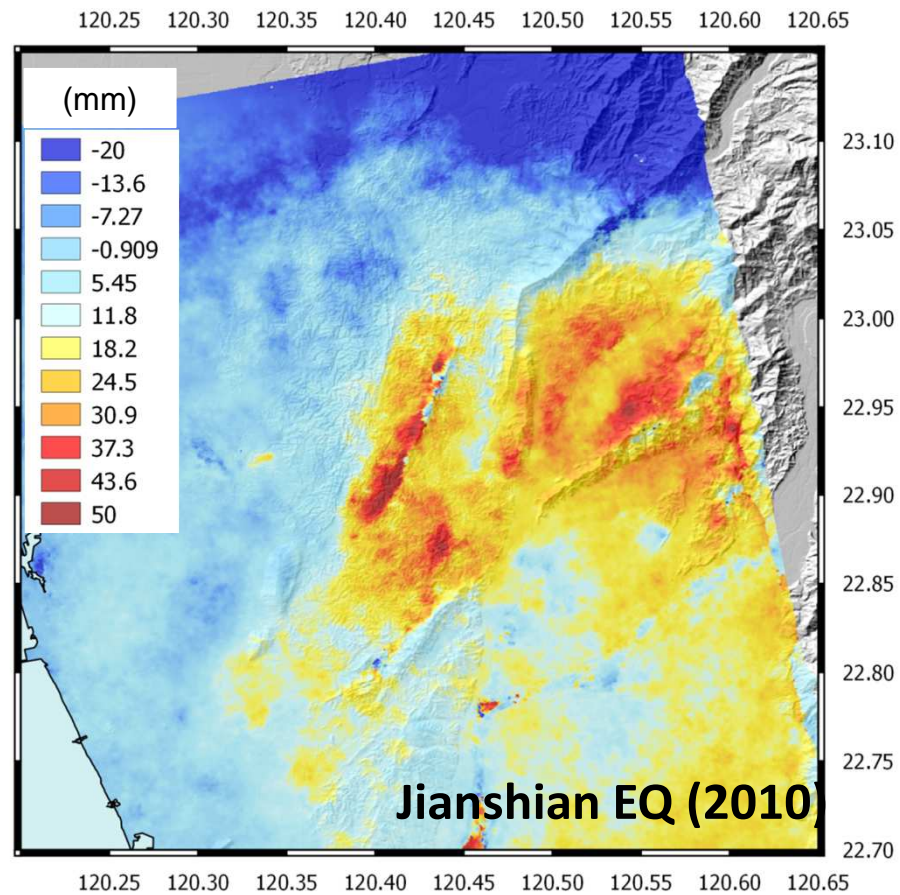
Track 447

- Détection de nouvelles structures actives, non cartographiées jusqu'à présent
- Déformation sur une série de plis en échelon (dont l'anticlinal de Lungchuan)
- déplacement asismique sur une faille décrochante dextre
- Plusieurs failles décrochantes ne montrent pas de signal de déformation
 - ➡ failles bloquées pendant la période intersismique

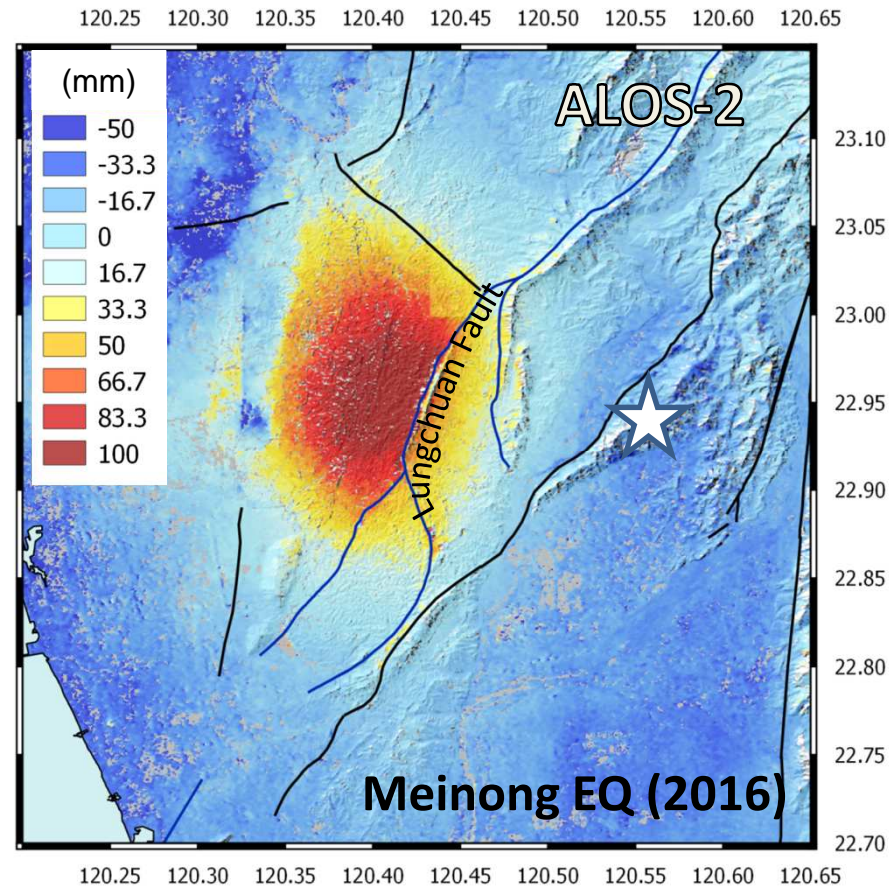
Comparison GPS and Levelling

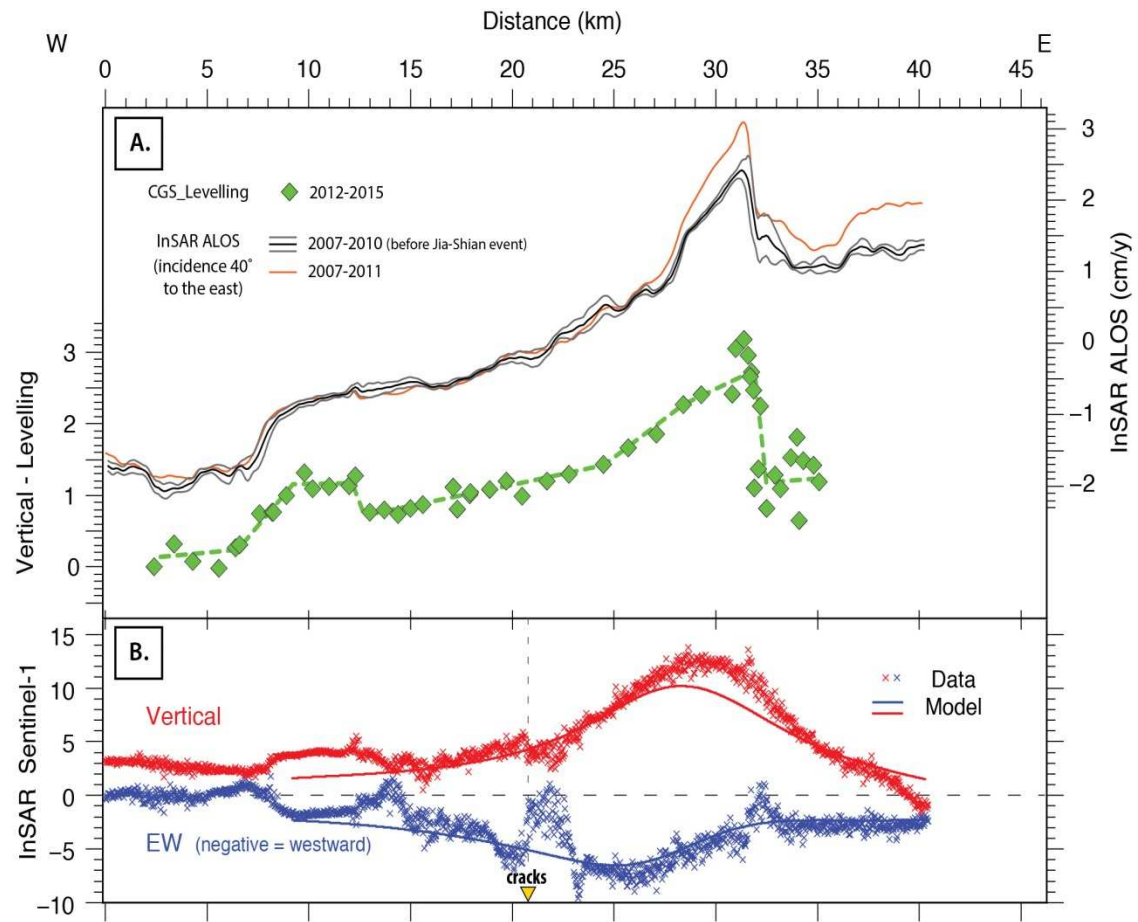


Jian-Shian earthquake (03/04/2010, Mw 6.2)



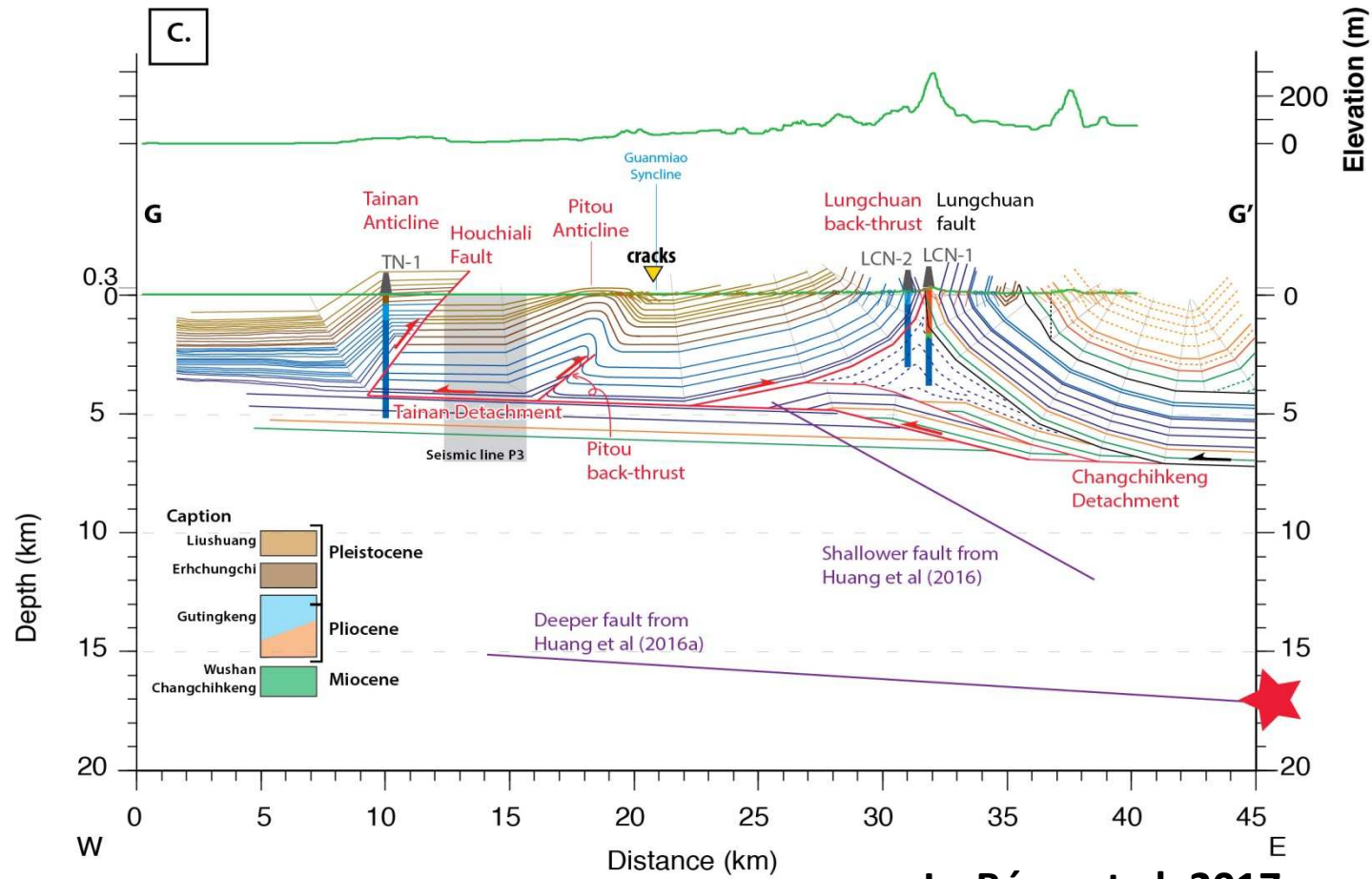
Meinong earthquake (02/05/2016, Mw6.4)





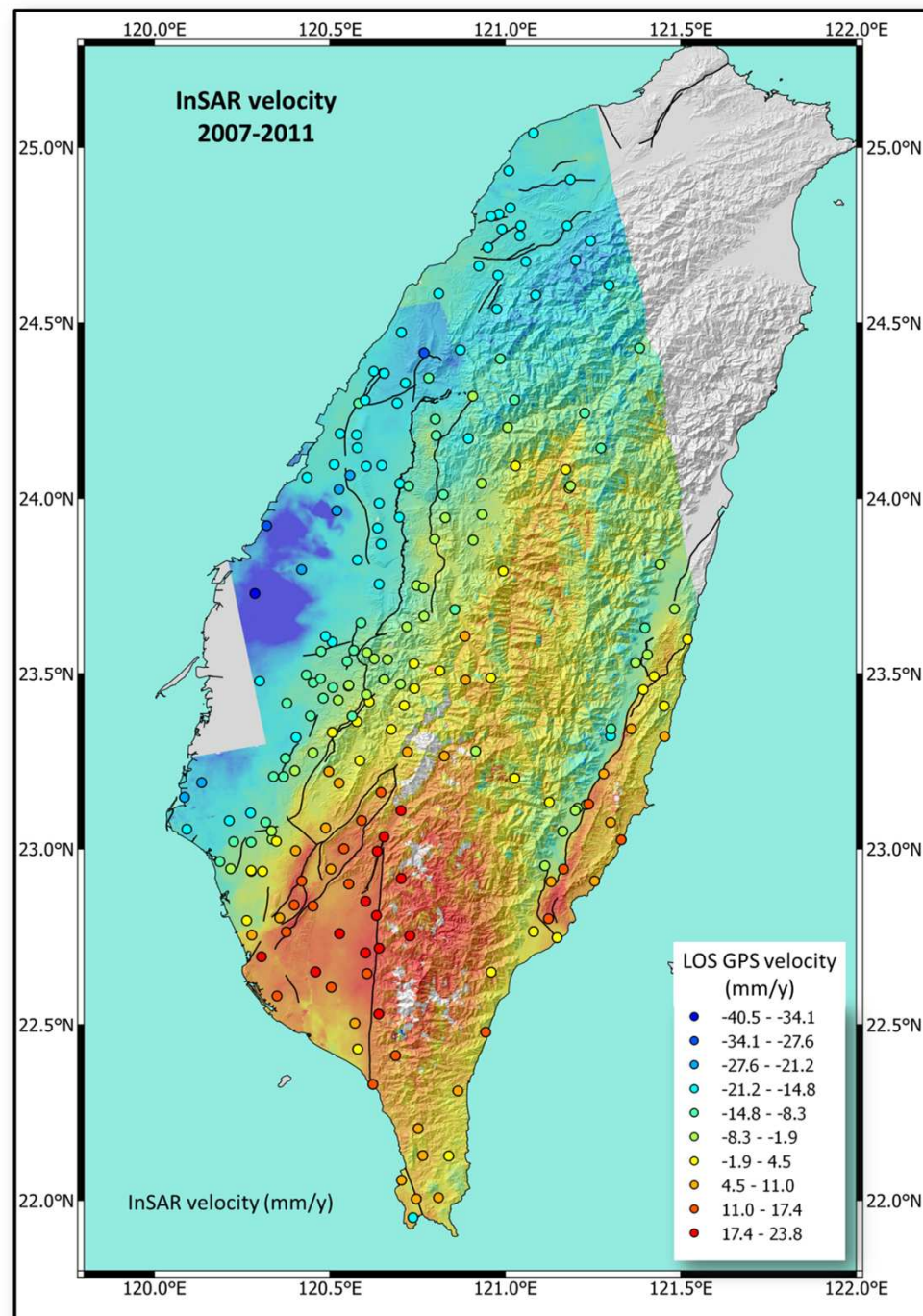


rétro-chevauchement atteignant la surface à l'ouest de la ride



Subsidence de
Choushui
dans la plaine côtière

Surrection rapide de la
Chaîne centrale



Faille de la Valle
Longitudinale
Glissement intersismique

Conclusion

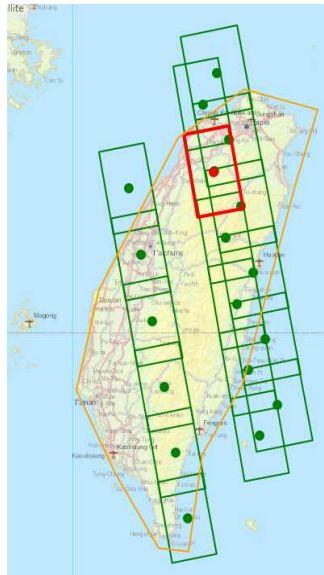
- Sud-Ouest : Nouvelles structures actives
- Changement dans le champ de déformation à Tainan
- Glissement asismique de la LVF
- Grâce à NSBAS : Déroulement au travers de la Chaîne Centrale



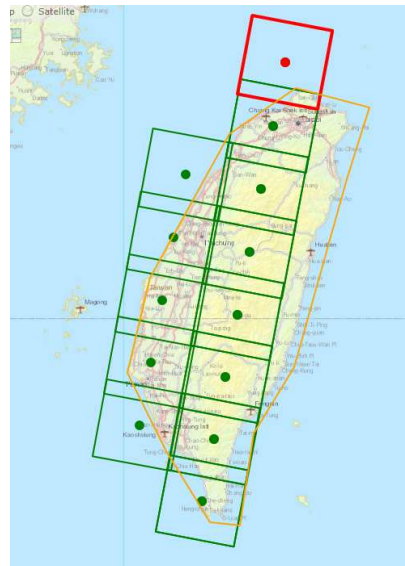
Champ de déformation sur une large part de la Chaîne centrale

Apport de l'interférométrie : amélioration de la densité spatiale de mesure

❑ PALSAR ALOS-2



Stripmap SM2



Stripmap SM3



ScanSAR WD1

Sentinel-1 !





Tainan