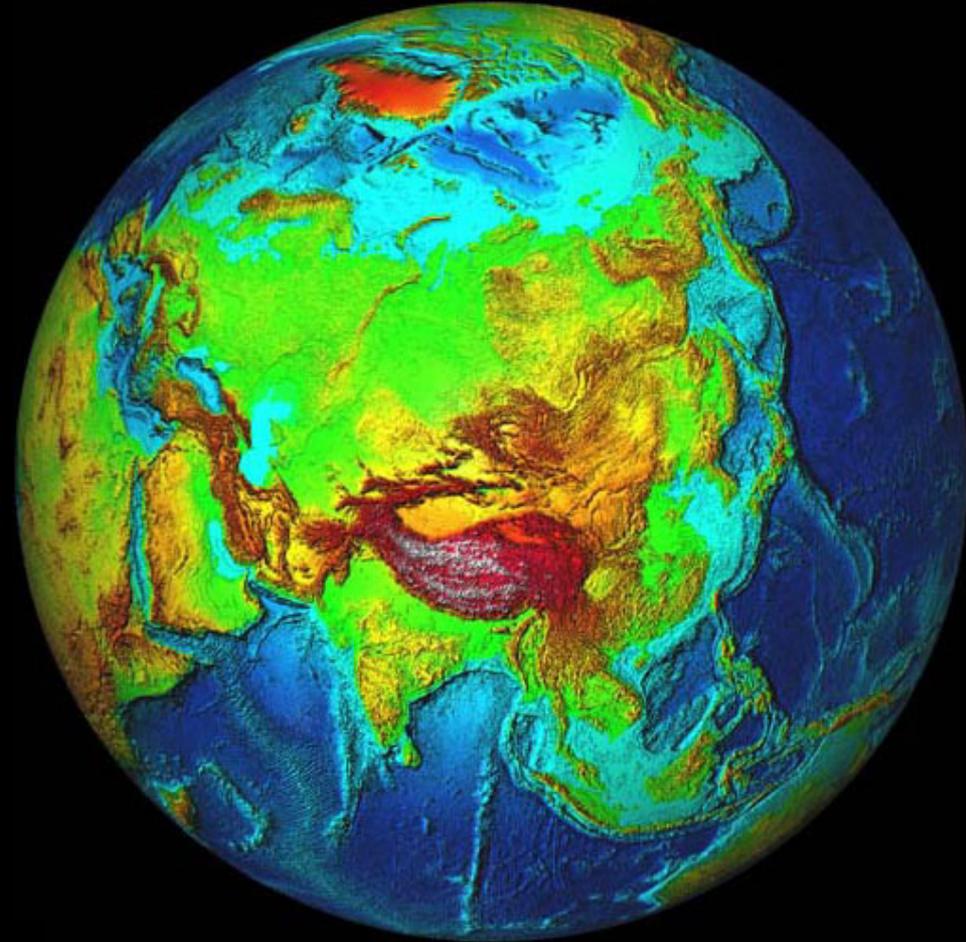
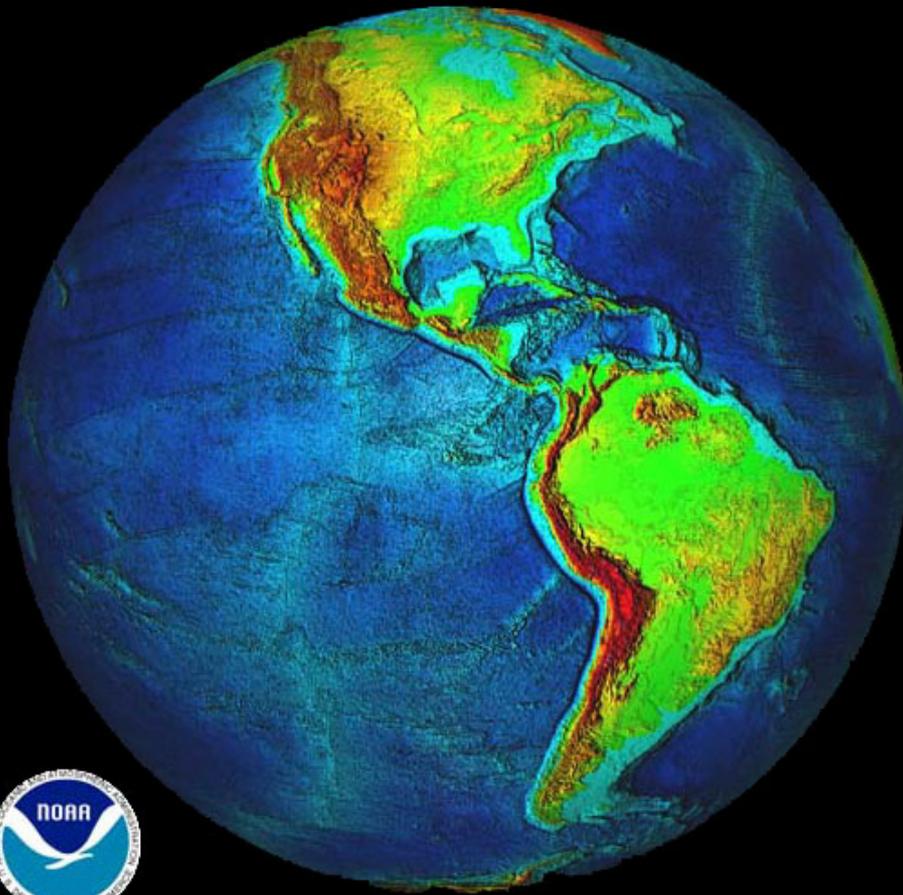


# Tectonique active dans l'avant -arc des Andes Centrales (Sud Pérou et Nord Chili)

## Implication géodynamique à l'échelle de la subduction de la plaque Nazca.

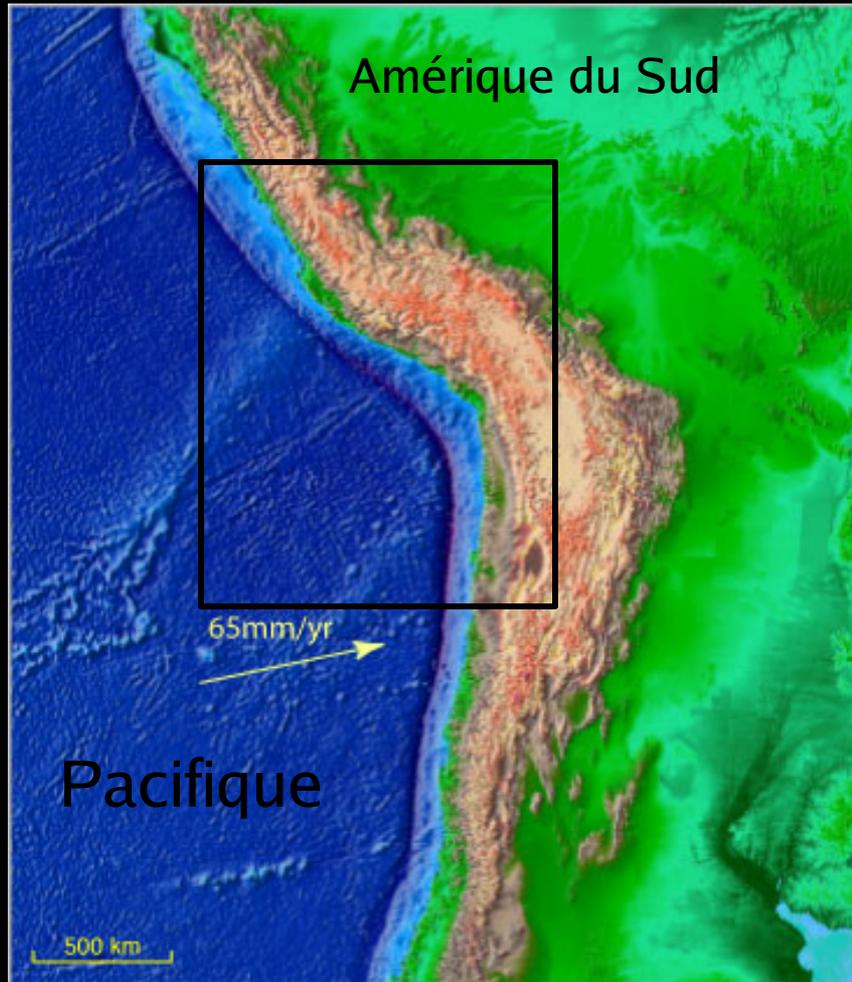
L. Audin

# Pourquoi les Andes?

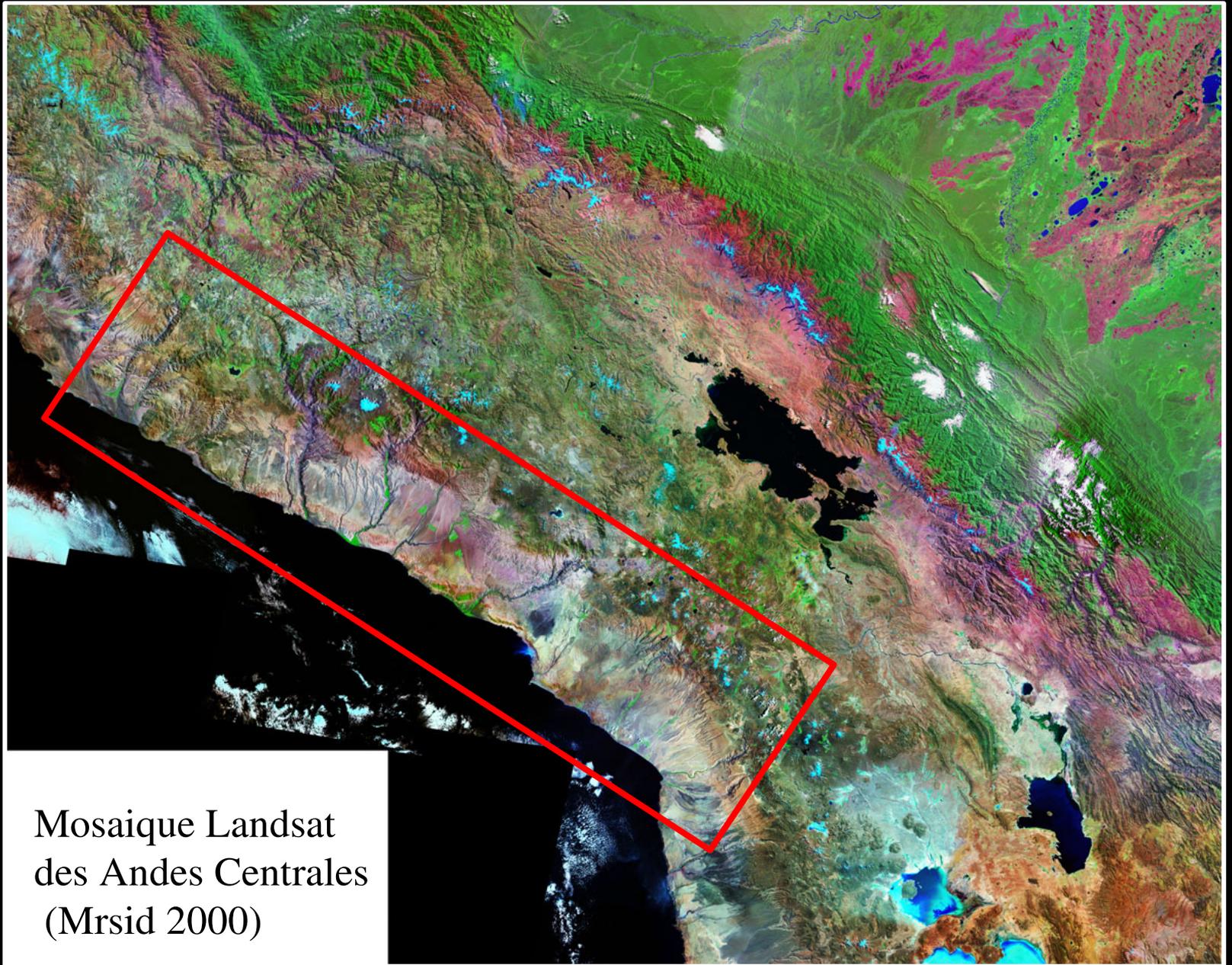


« L'autre » grande chaîne de montagne...

# Contexte géodynamique



- **Zone de subduction active**
- **Andes Centrales**
- **Sud Pérou et Nord Chili**
- **Avant-Arc**
- **Converge + oblique / Andes péruviennes**
- **Tectonique « Récente » à l'échelle de la construction des Andes => Néogène? Se poursuit au Quaternaire et à l'actuel ?**

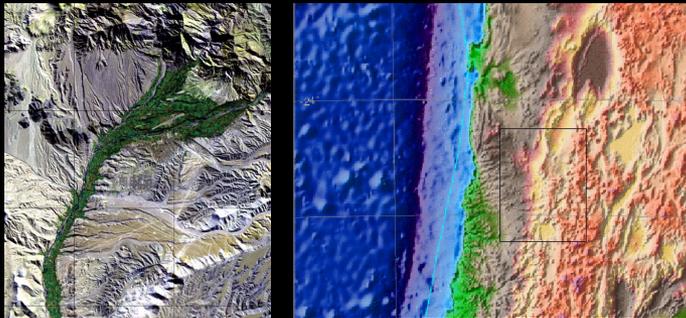


Mosaïque Landsat  
des Andes Centrales  
(Marsid 2000)

**Marge Pacifique Andine**

# Différentes échelles de temps et d'espace

## Satellite images, DEM

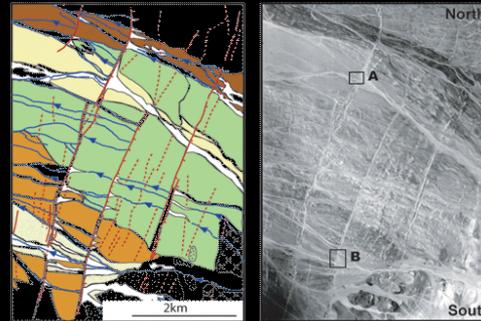


1km to 10 m

Géologie structurale, tectonique

Ma

## Photo aérienne



10 to 1m

Géomorphologie  
Escarpements,  
Déviation du réseau  
hydrographique

10000->1000 yrs

## Terrain

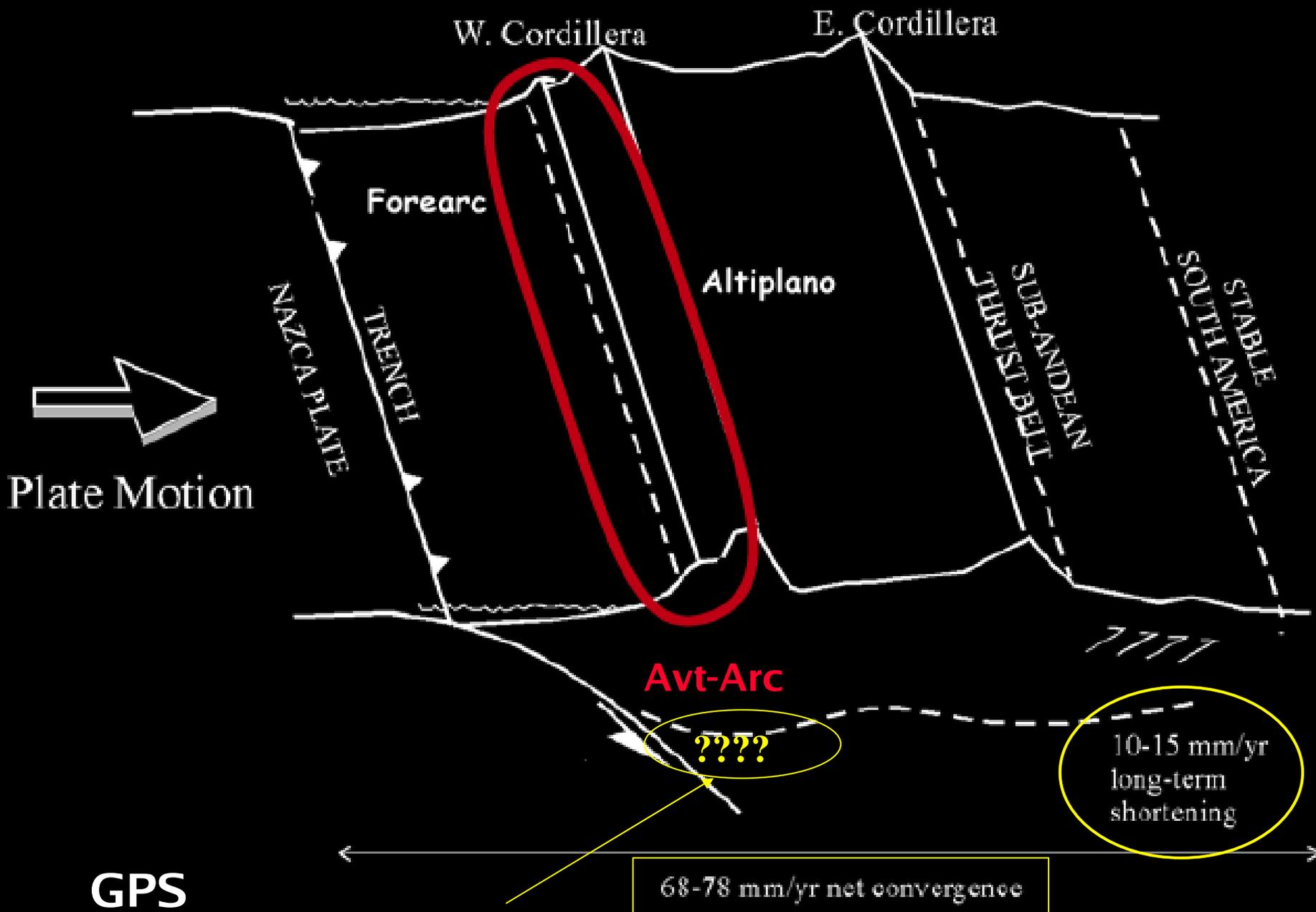


1m to 1mm

Tranchée, scarplets

Sismicité, GPS

Actue



Liu et al., 2000

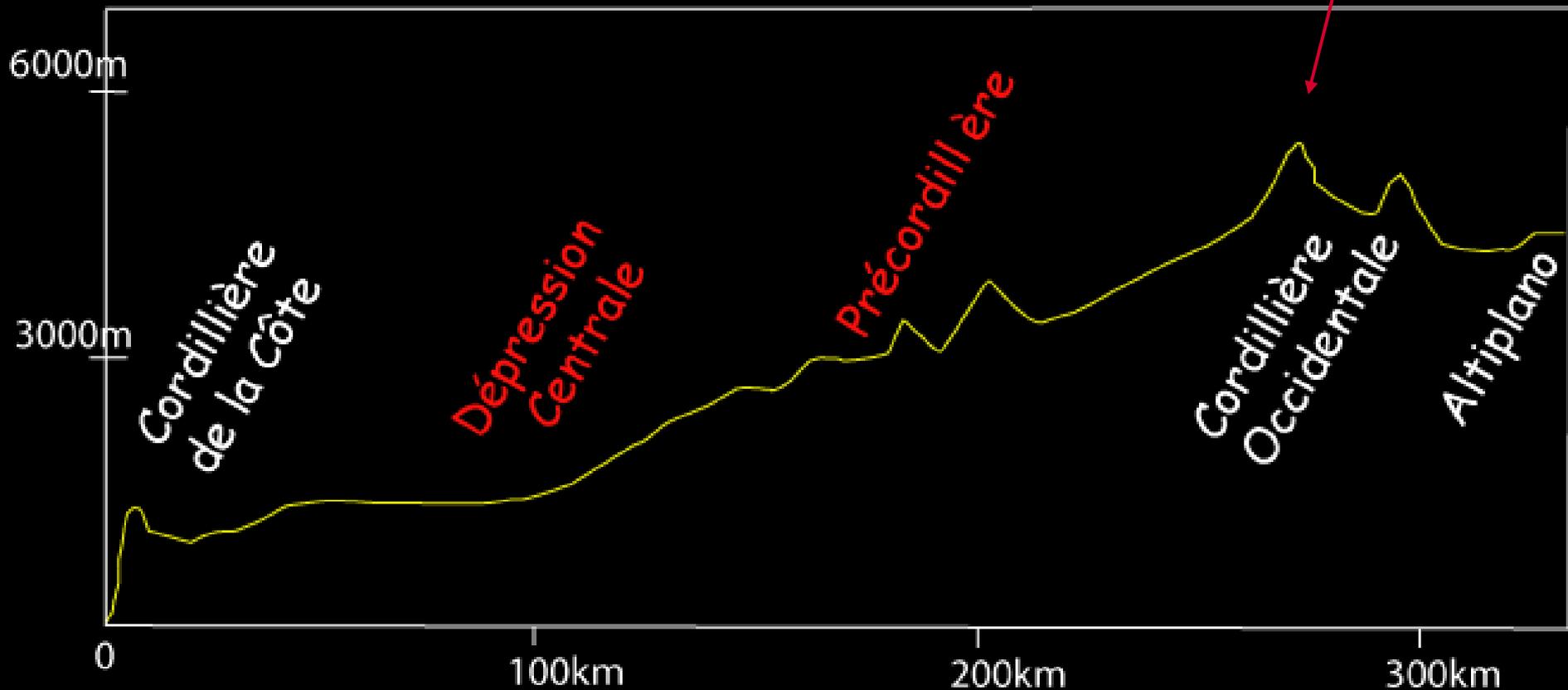
Raccourcissement? Taux ?

Ouest

Avant-Arc

Est

Arc volcanique actif

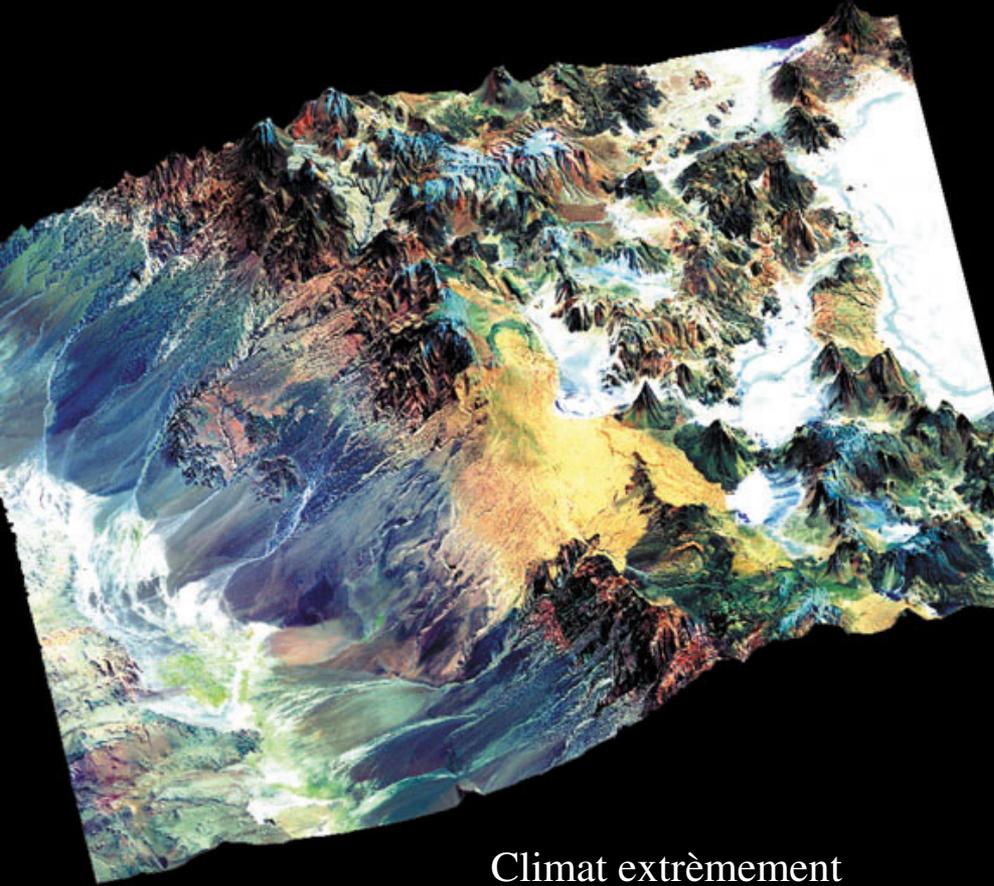


On passe du niveau de la mer à parfois plus de 6000m d'altitude en moins de 300km.

**Comment construit-on, maintient-on un tel relief sans une importante déformation? Partitionnement?**

# Contexte morphologique

Sud Pérou  
ESC Image/NASA



Climat extrêmement  
désertique ~15Ma

Très bonne  
préservation  
des marqueurs  
morphologiques

Nord Chili



# Activité Tectonique récente dans l'avant-arc de l'orocline Bolivien (Coude d'Arica)?

## Déformation crustale ? Géomorphologie?



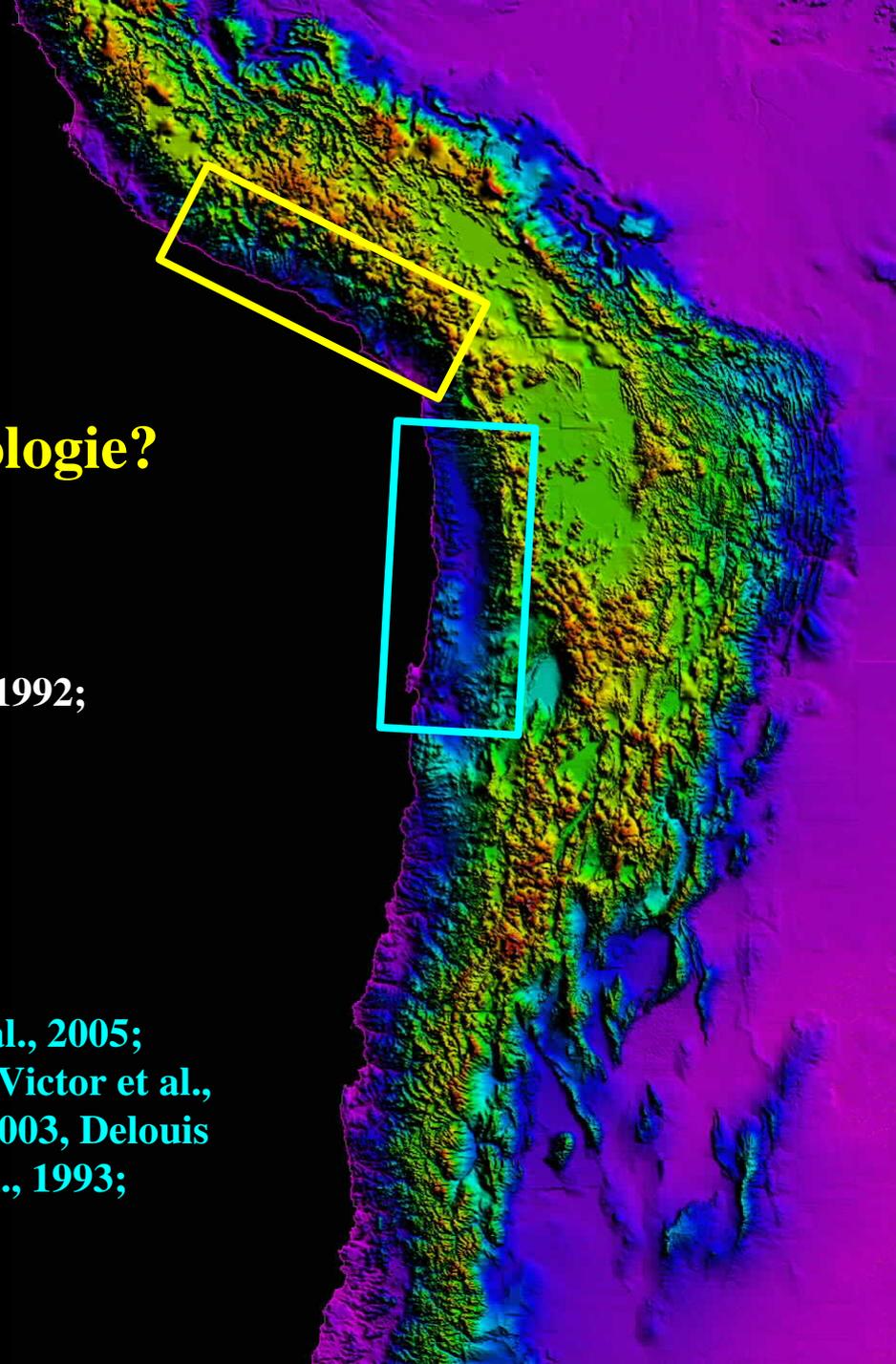
**Sud Pérou**

Sébrier et al, 1985 , Macharé et al., 1992;  
Audin et al., 2006.



**Nord Chili**

Garcia et al., 2006; Allmendiger et al., 2005;  
Marquadt et al., 2006, Cembrano et al., 2006; Victor et al.,  
2004; Arriagada et al., 2003; Gonzalez et al, 2003, Delouis  
et al., 1996, Ortlieb et al., 1995; Mpodozis et al., 1993;  
Armijo et al., 1990.....



# $\sigma_1$ d'après Sébrier et al., 1985

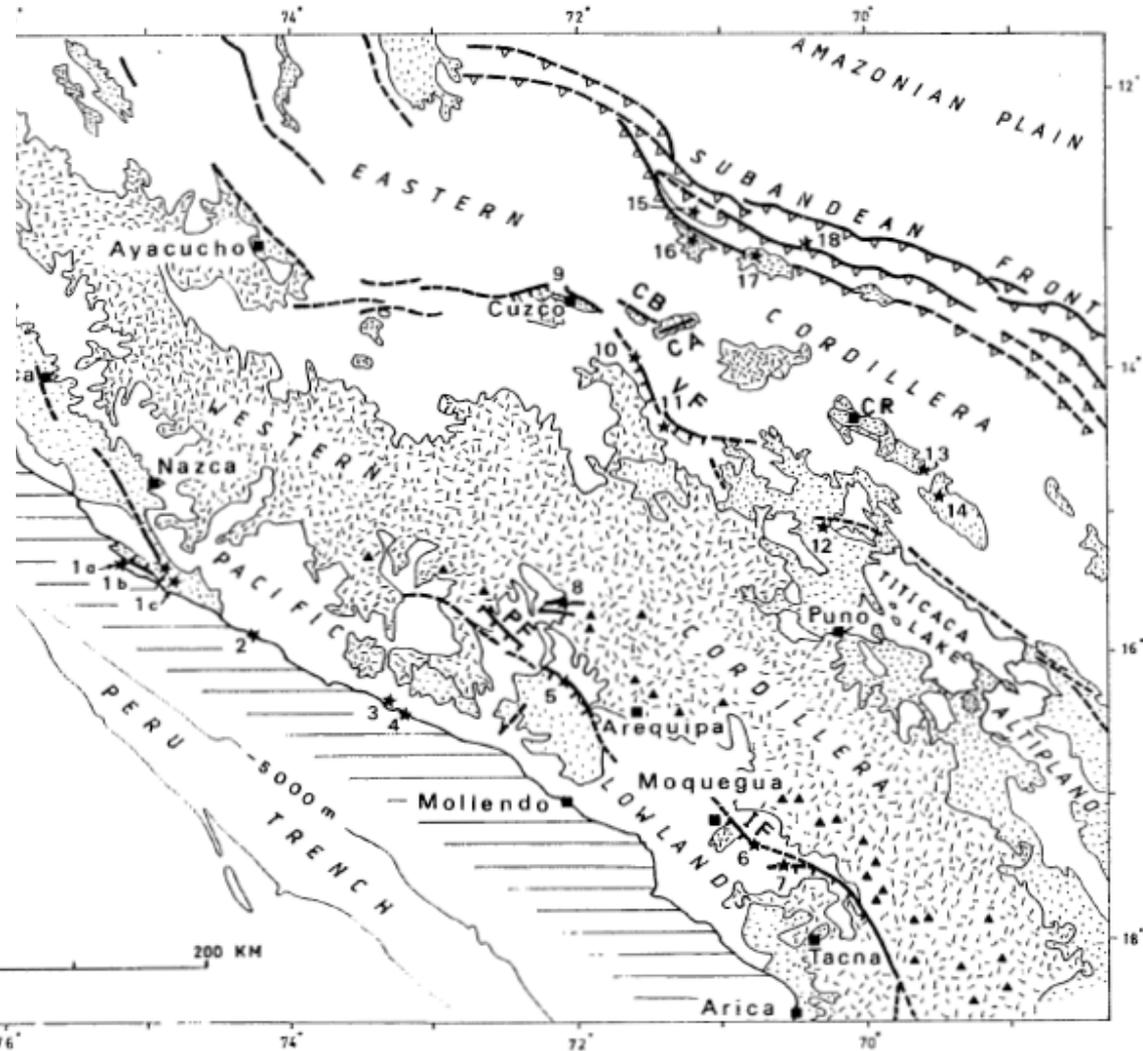
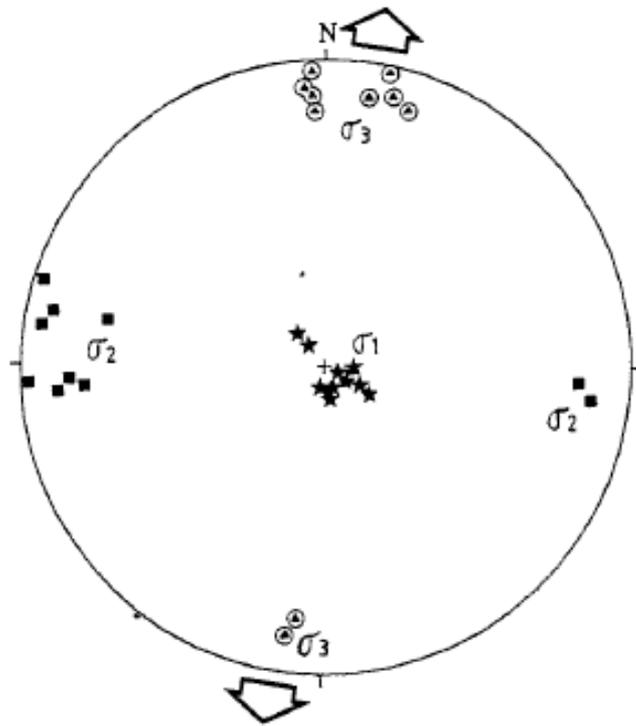


Fig. 18. Principal stress direction computed from slip vectors of Quaternary and Recent normal faults of the High Andes and Pacific Lowlands of south Peru. Recent Quaternary faulting in these regions results from a state of stress such as  $\sigma_1$  (compressional axis) is vertical and  $\sigma_3$  ("tensional" axis) strikes between  $N5^\circ W$  and  $N18^\circ E$ .

# **Sismologie : subduction, mais qu'en est-il de la déformation crustale ?**

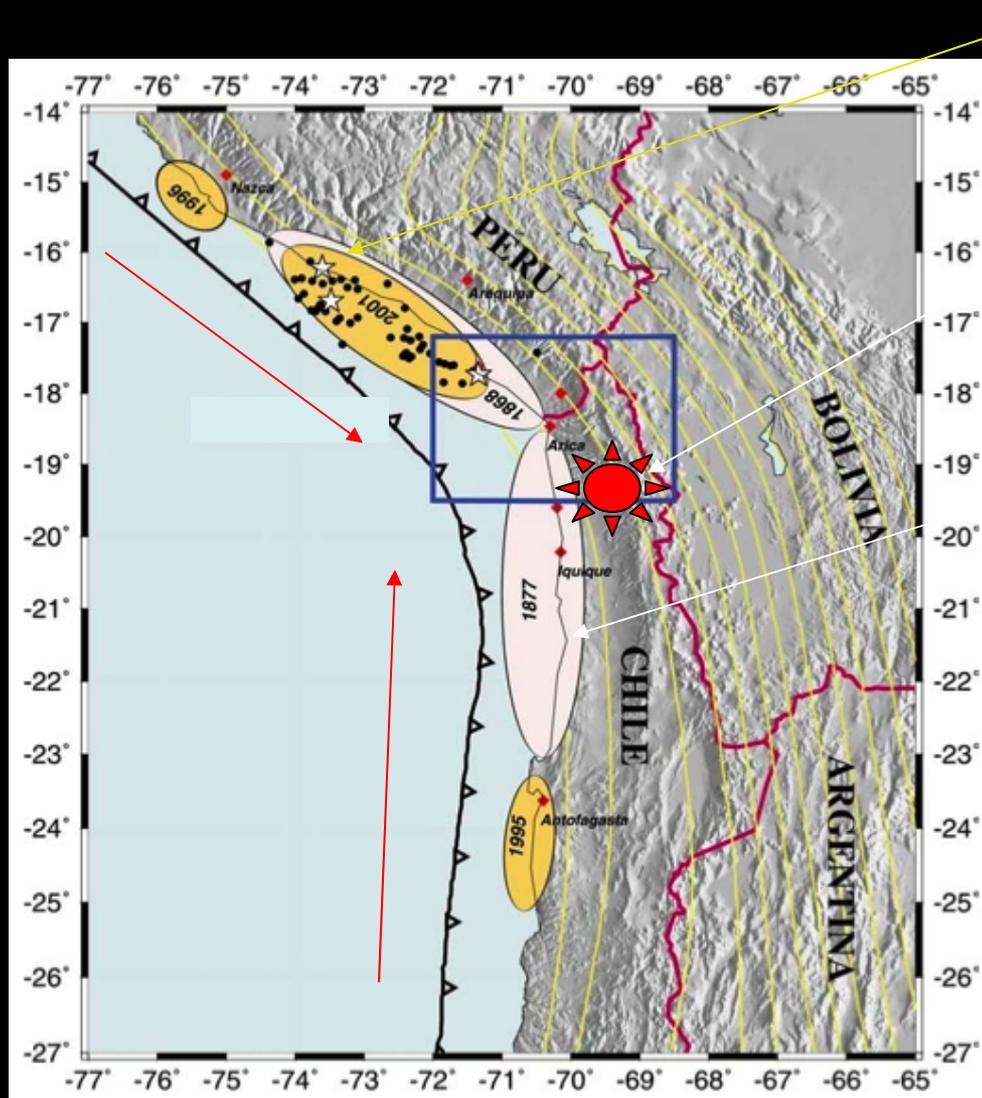
**Sismicité > M7 généralement associée à la zone de subduction**

**Si le réseau international enregistre les M<6, il sera difficile de déterminer leur profondeur et donc si ils sont associés à de la déformation crustale.**

**Le Pérou dispose d' un réseau national.**

**Il existe une sismicité crustale, traditionnellement peu étudiée car de « faible » magnitude < 6, associée à des failles lithosphériques où à de la déformation tectonique le long de la chaîne volcanique. (cf thèse C. David)**

**Y a-t-il un lien et de quelle nature entre la déformation crustale et les mécanismes de la subduction?**



**Mw=8.4 Arequipa 23/06/2001**

24/07/2001 ( Mw=6.3 ) Prof < 10km

**Couplage sismique très fort ?**

**Lacune sismique  
Récurrence des magnitudes  
importantes ~100**

**ans**

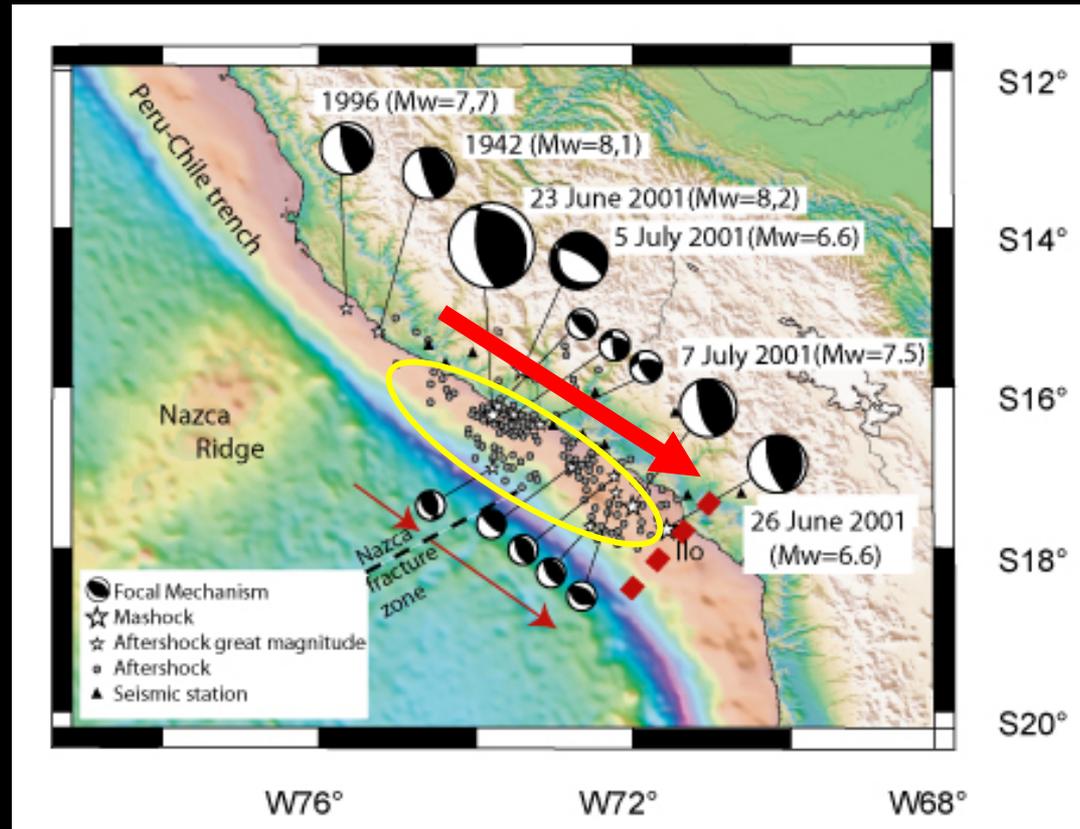
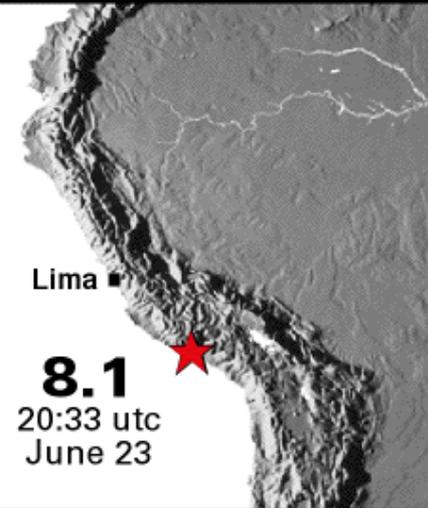
**$\delta T > 131$  ans....**

**500km plus loin, crustal !?**

**Migration vers le Sud depuis le Pérou , vers le Nord depuis le Chili.**

# Arequipa, Mw=8.4

## Séisme de subduction du 23/06/2001

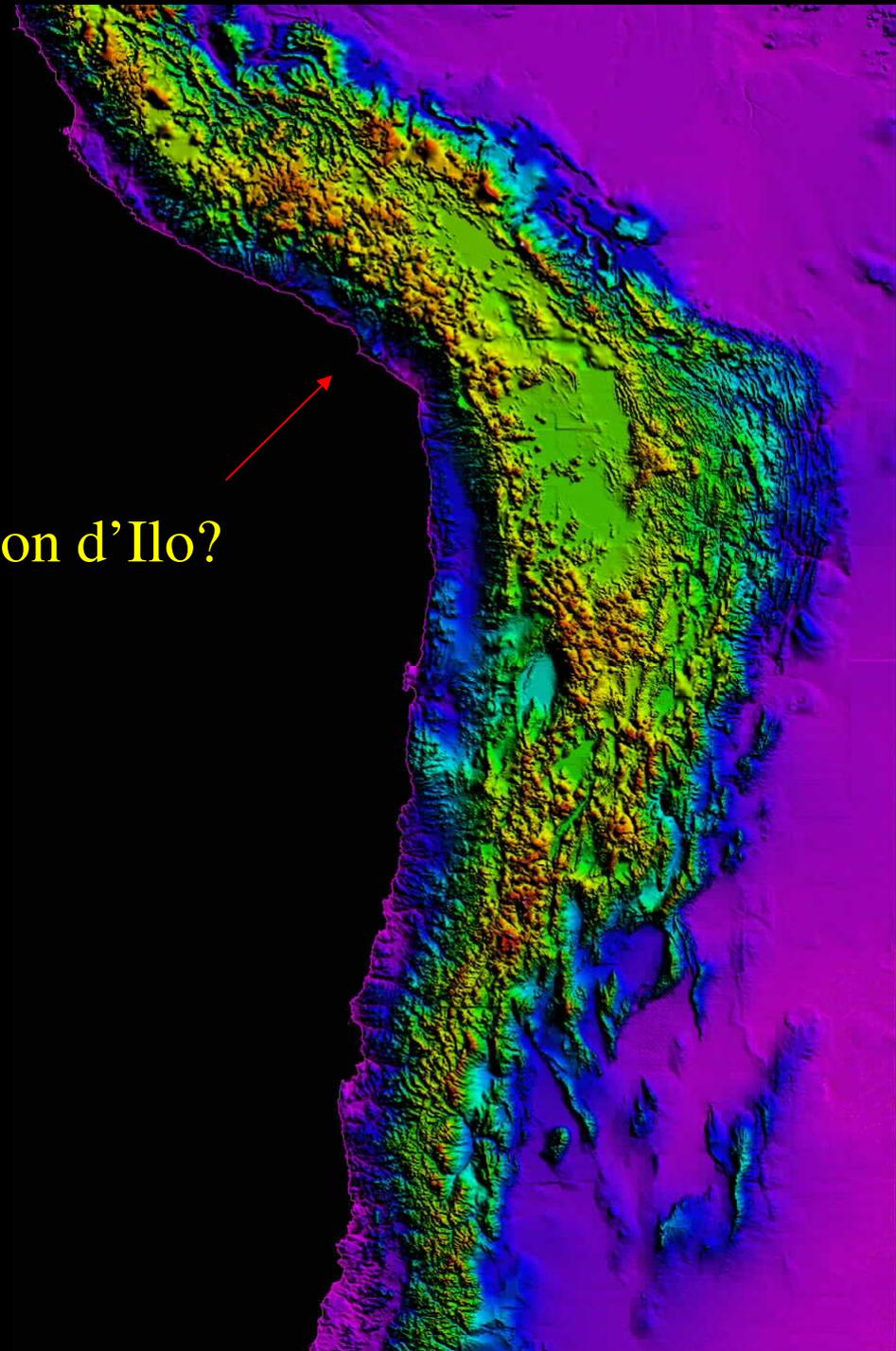


D'après  
Tavera et al., 2005  
Robinson et al., 2006

La rupture ET les répliques se sont propagés jusqu'à ILO puis stop brutal.

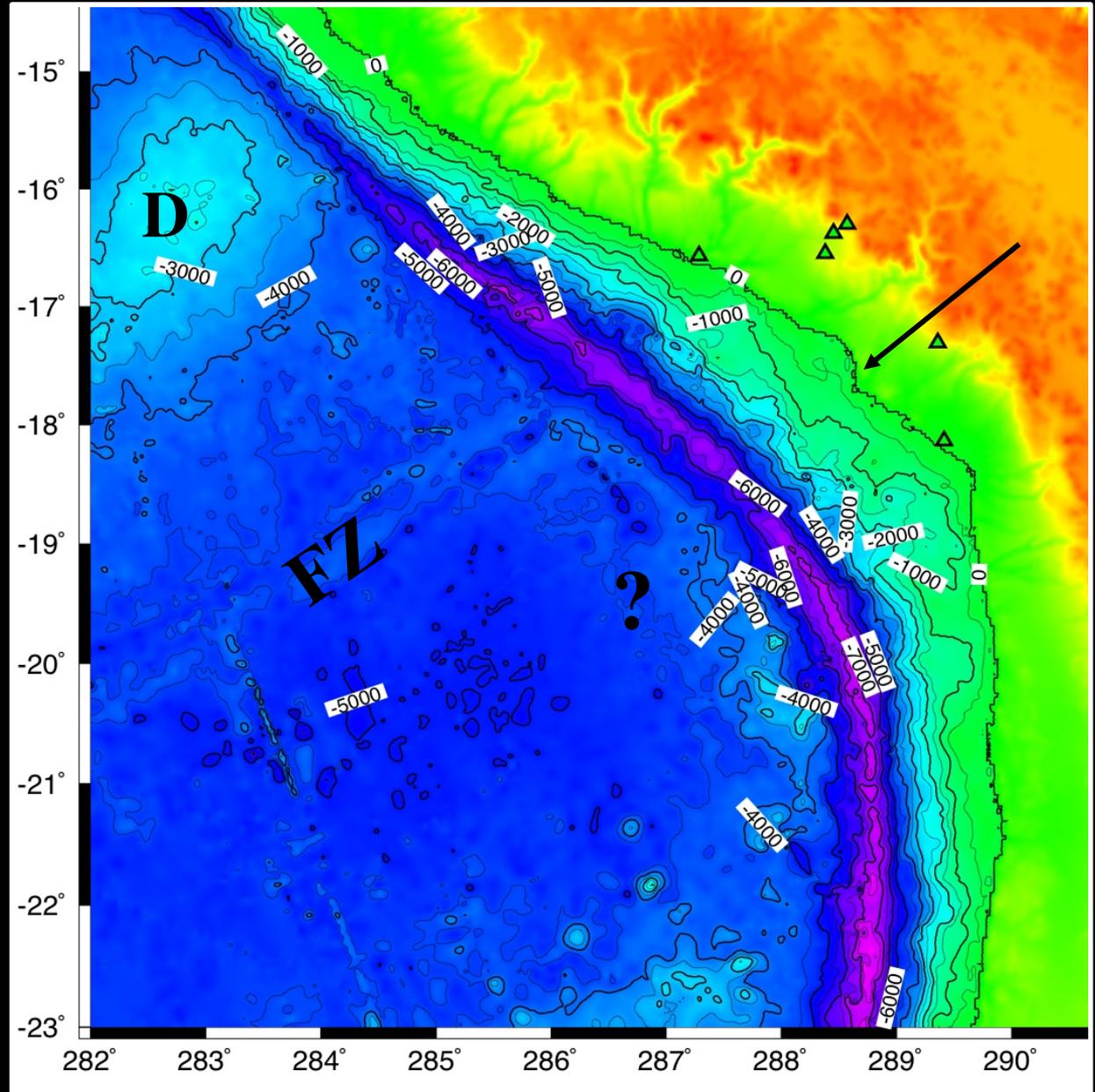
Que se passe-t-il dans la plaque continentale après un séisme de subduction?

Que se passe-t-il dans la région d'Ilo?

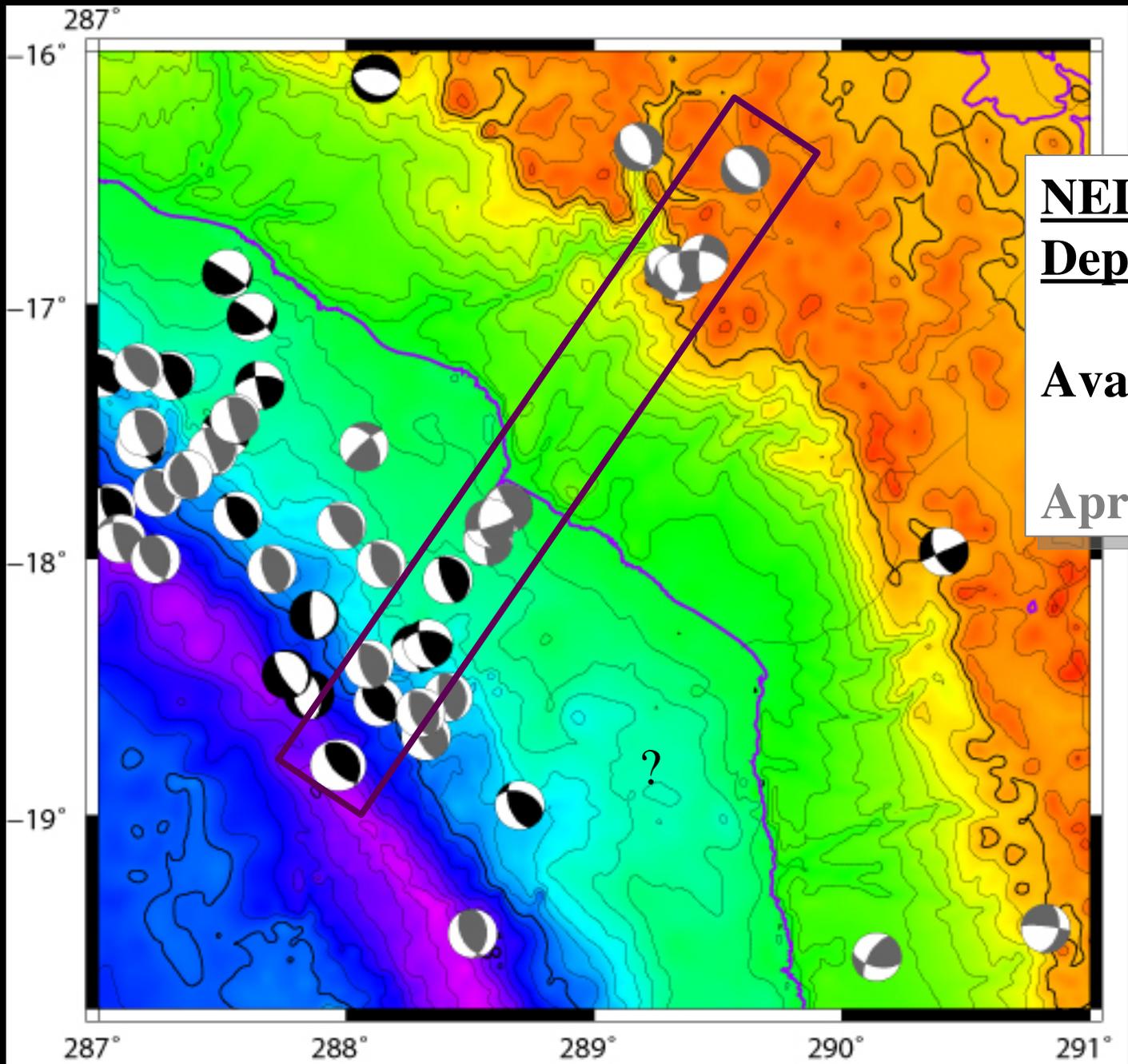


Dorsale de Nazca

Zone de fracture  
de Nazca



« En mer »

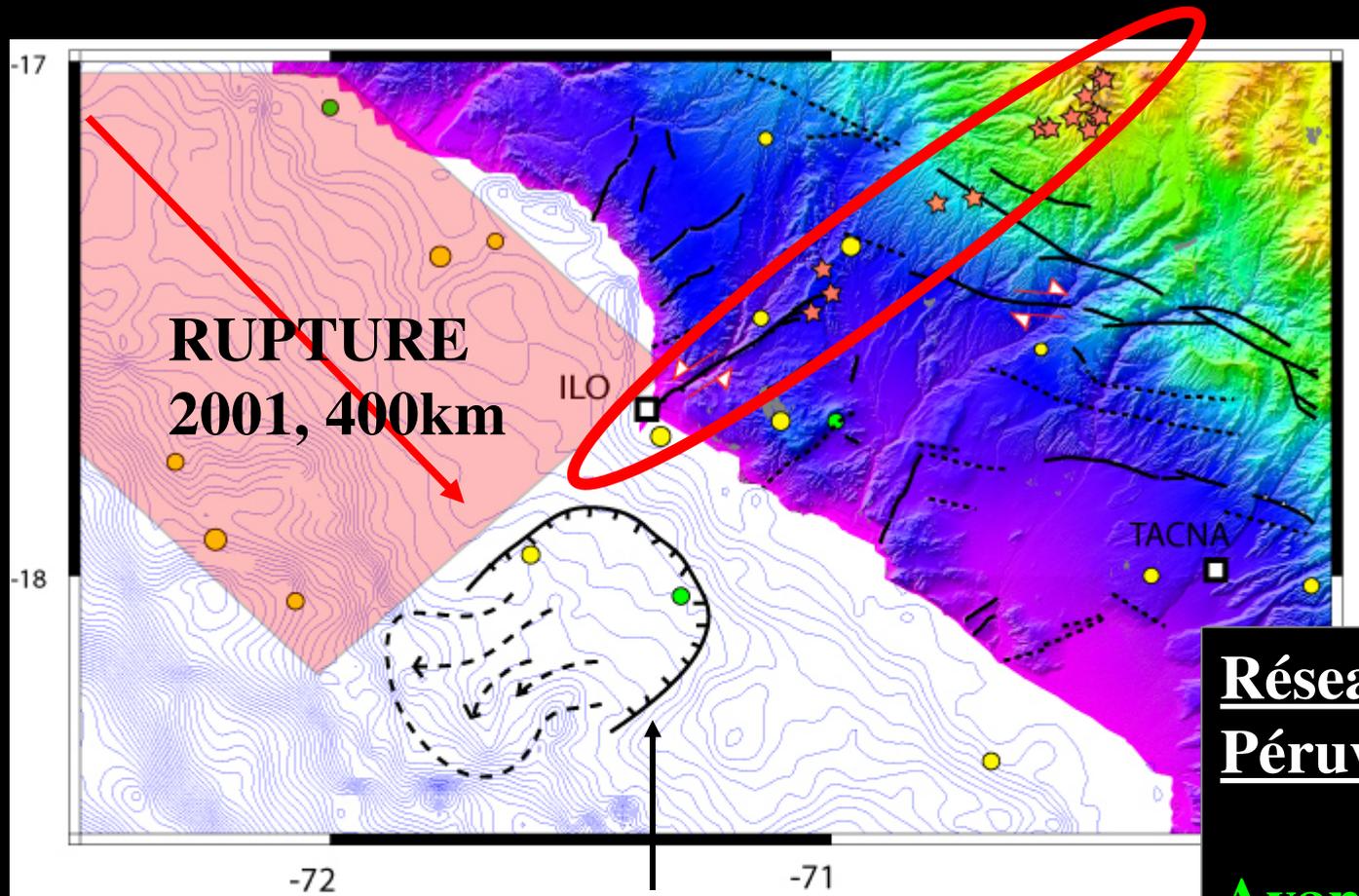


**NEIC M>5**  
**Depth < 60km**

**Avant 2001**

**Après 2001**

# Alignement de sismicité crustale perpendiculaire à la fosse, la côte et la propagation de la rupture de 2001



Glisst terrain sous marin

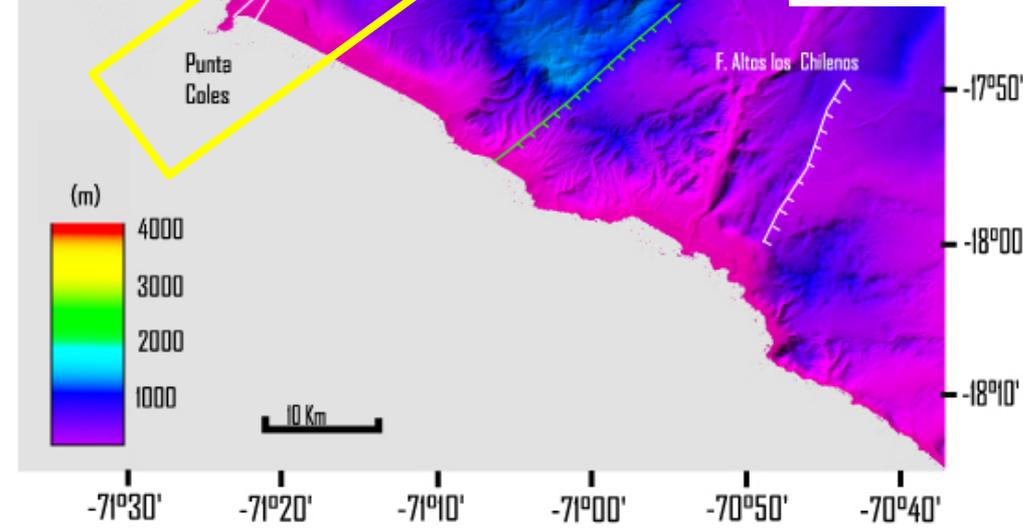
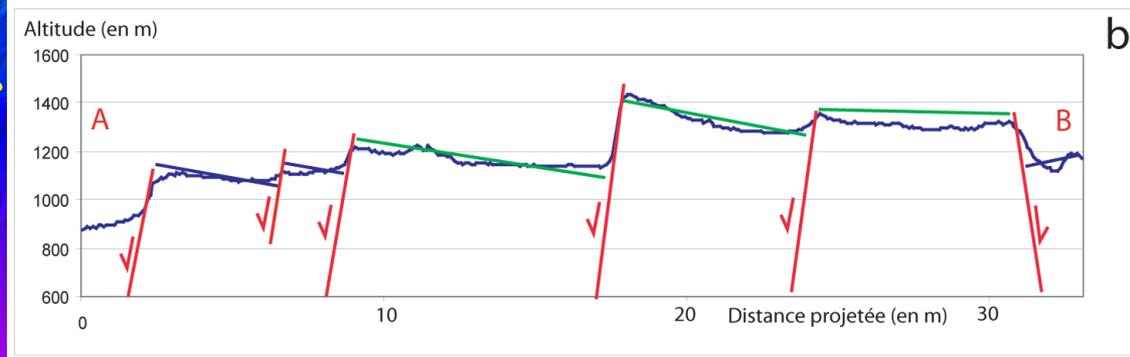
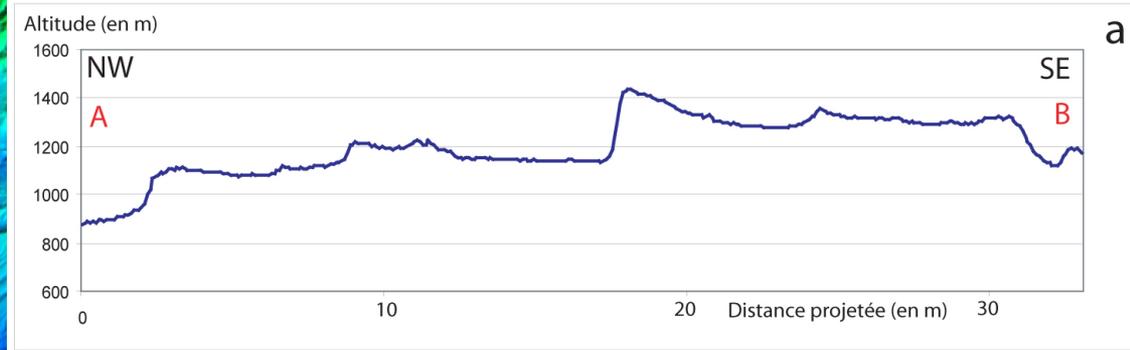
Réseau national  
Péruvien

Avant 2001

Après 2001

# Morphologie et topographie de la région avant-arc

« à Terre » Cordillère de la côte

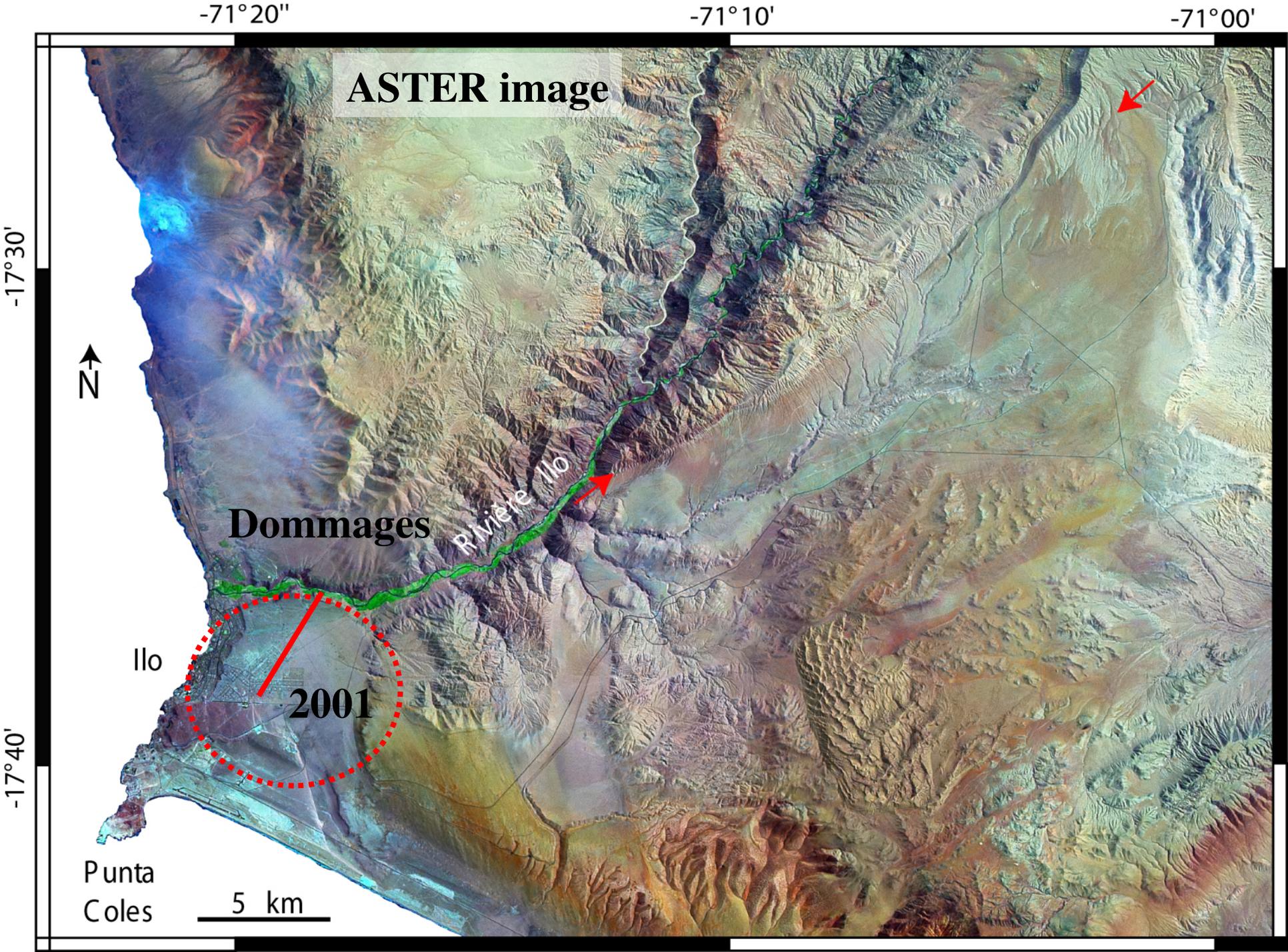


Péninsule (Côte)

Système de failles perpendiculaires à la fosse

Failles très verticales, actives ?

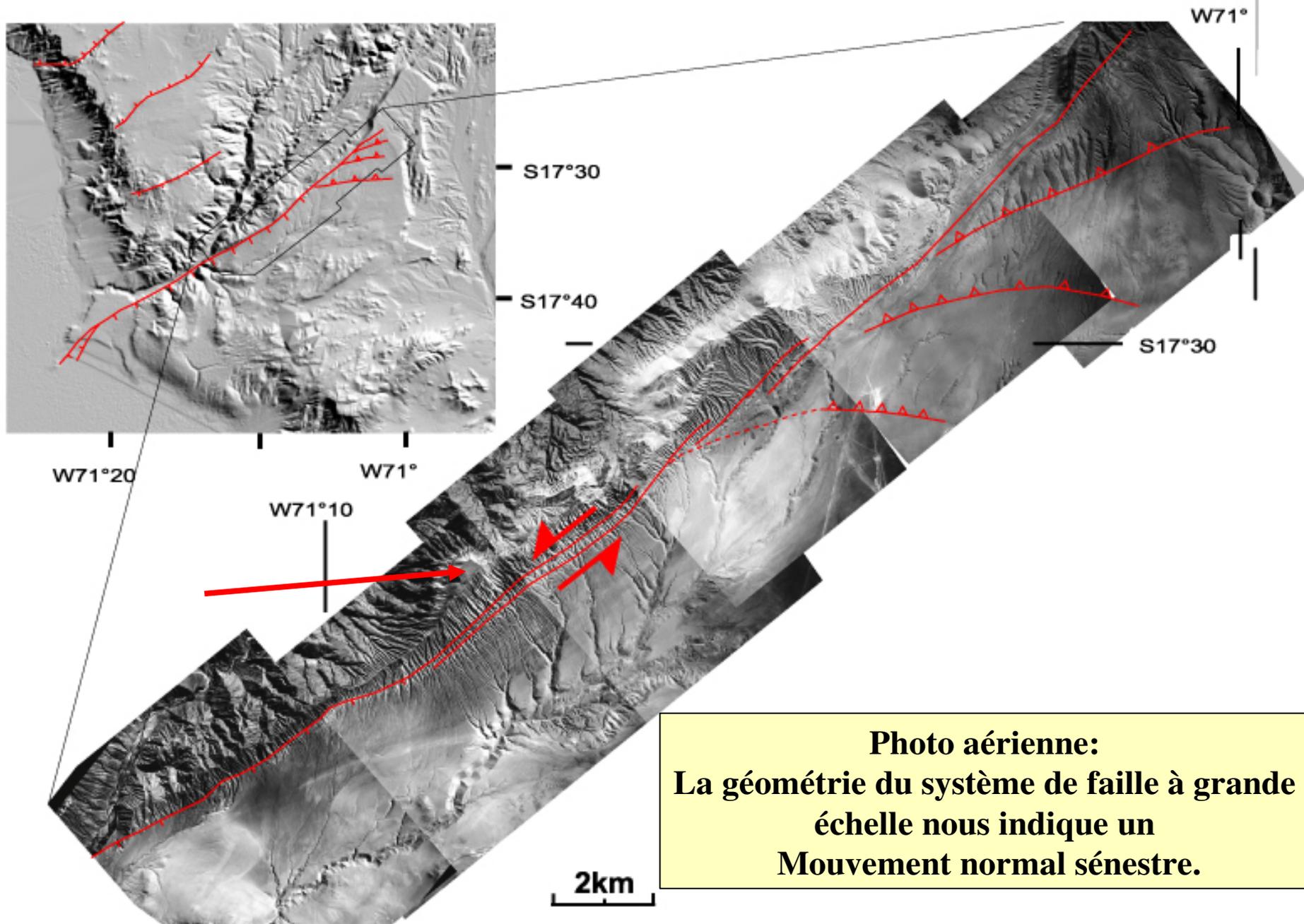
=> Exemple Chololo F.



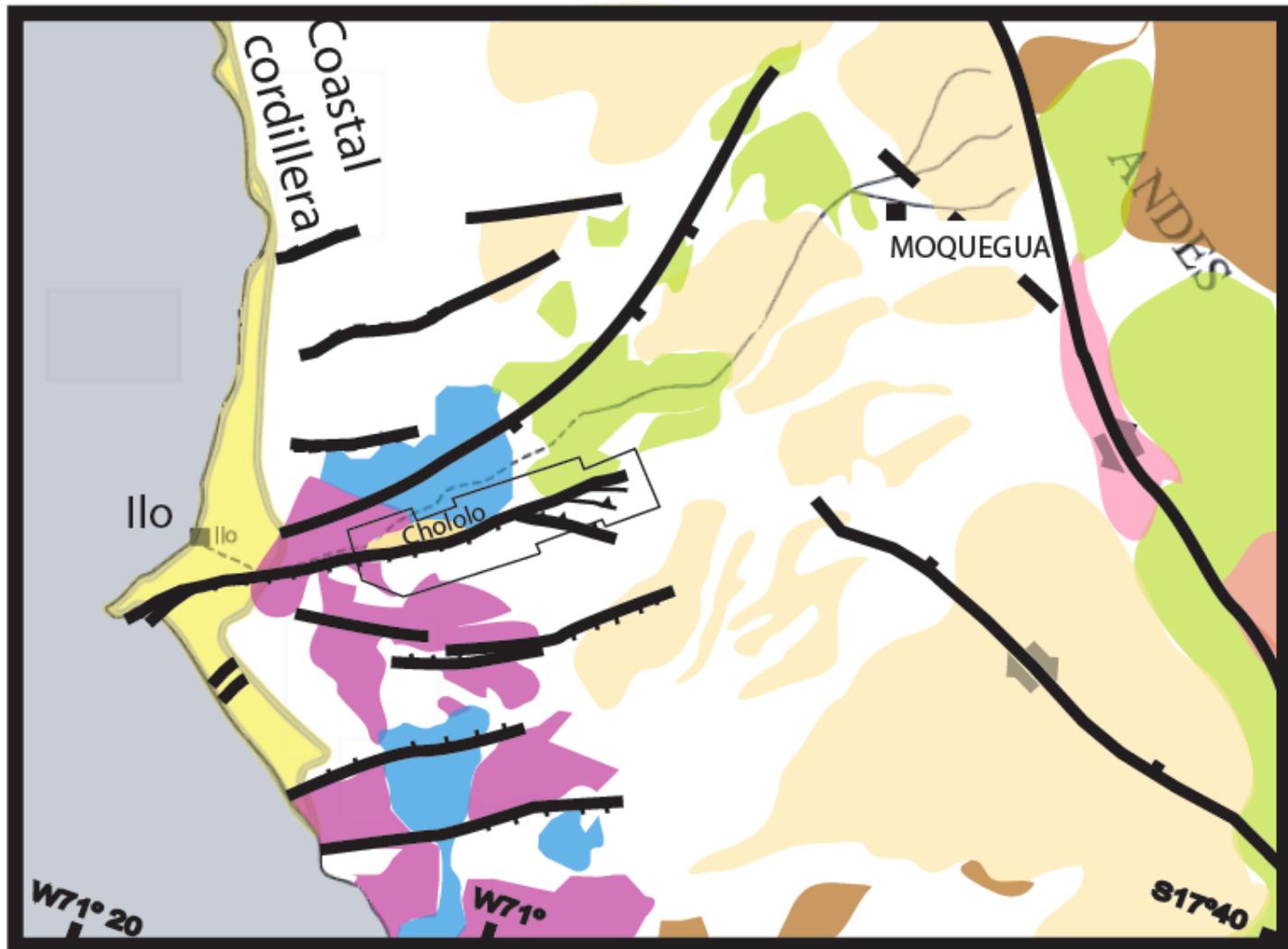
# Le système de faille de Chololo

Photo aérienne  
1:50 000





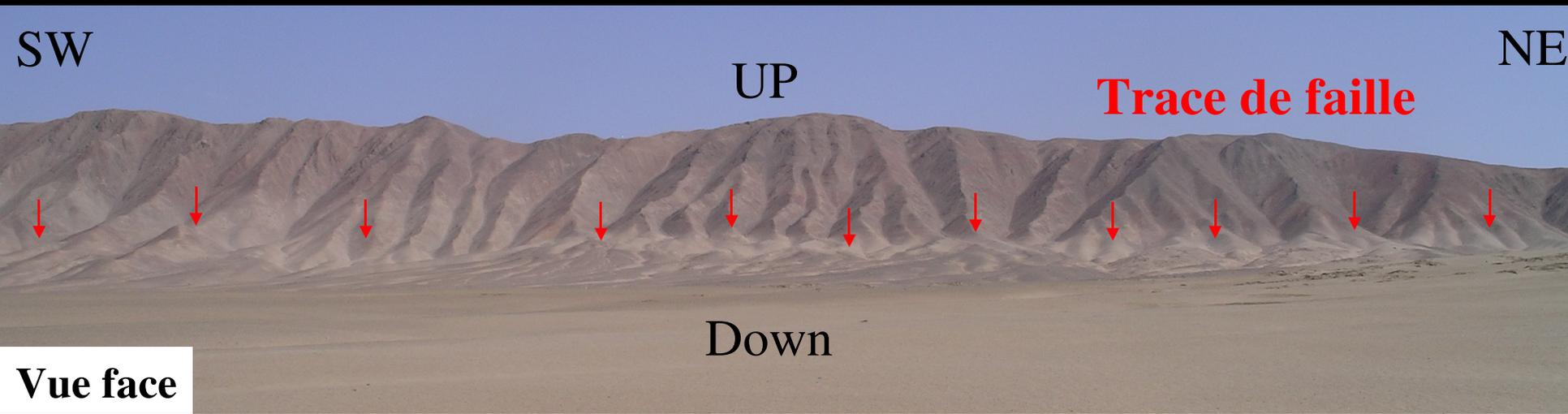
**Photo aérienne:  
La géométrie du système de faille à grande  
échelle nous indique un  
Mouvement normal sénestre.**

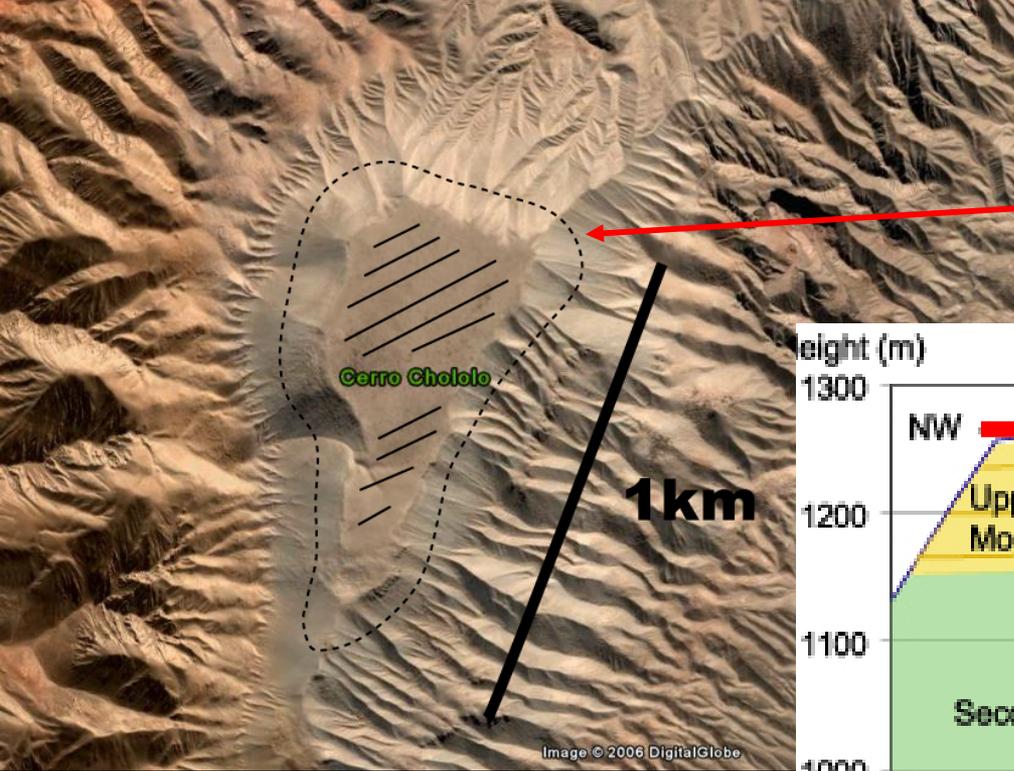


- Pennsylvanian through Jurassic strata
- Coastal batholith, plutons  
Late Jurassic and Middle Cretaceous
- Holocene  
Marine Terrace

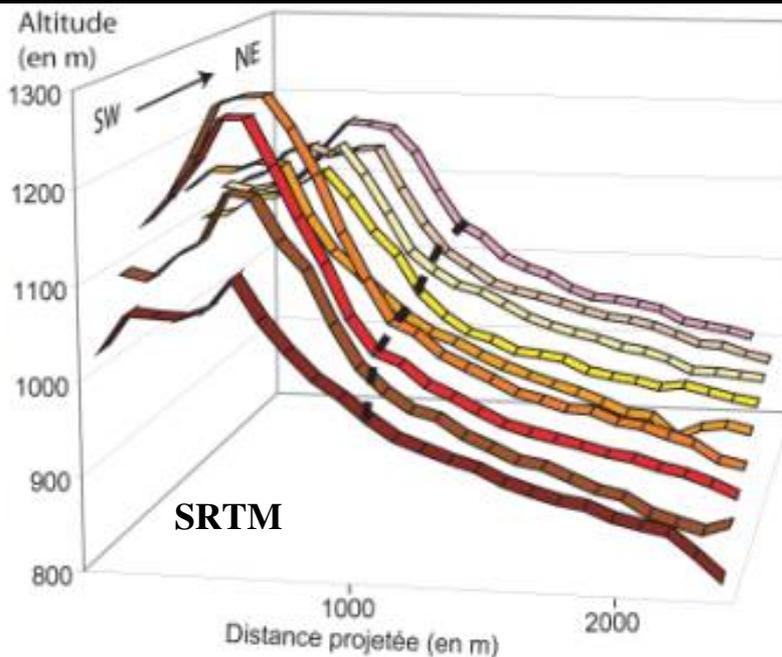
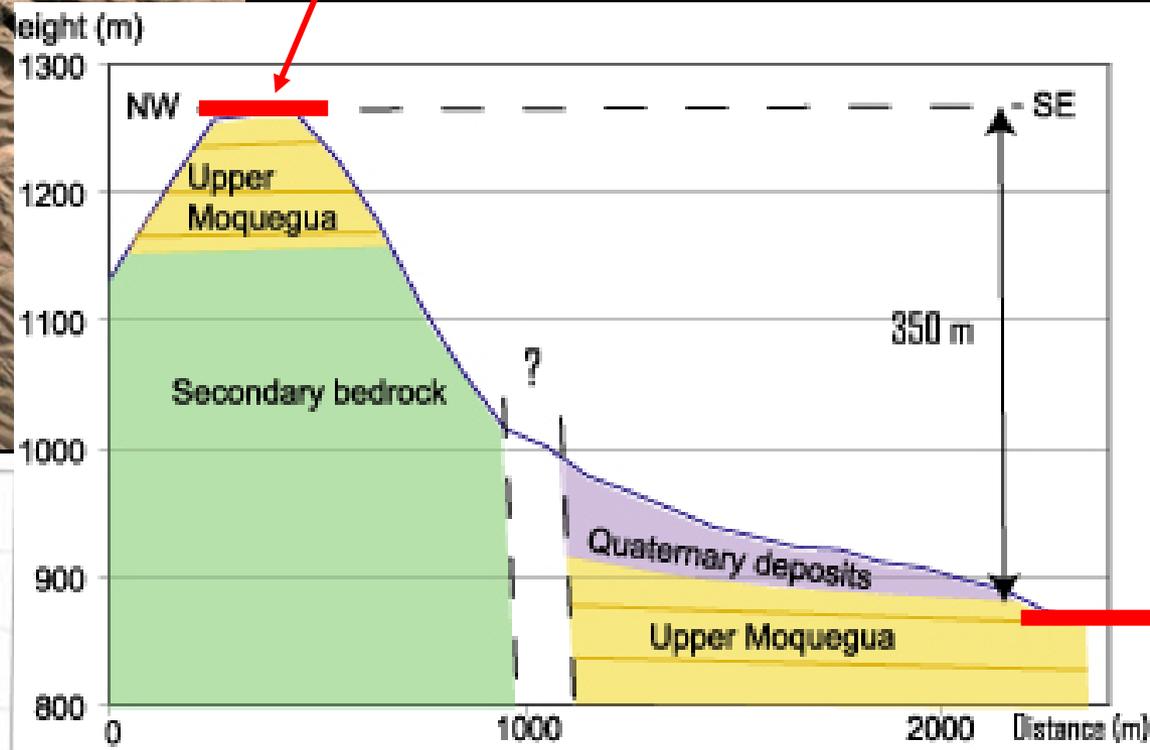
- Late Cretaceous-Paleocene volcanics
- Late Cretaceous-Middle Eocene intrusives
- Huayillas Fm
- Moquegua Fm

# Géomorphologie et tectonique





Glacis: surface préservée



Fm Moquegua Supérieure? 30-10Ma

Fm Moquegua Inférieure < 10Ma?

Rejet vertical ~350m

# Remplissage de fractures ouvertes

S



N

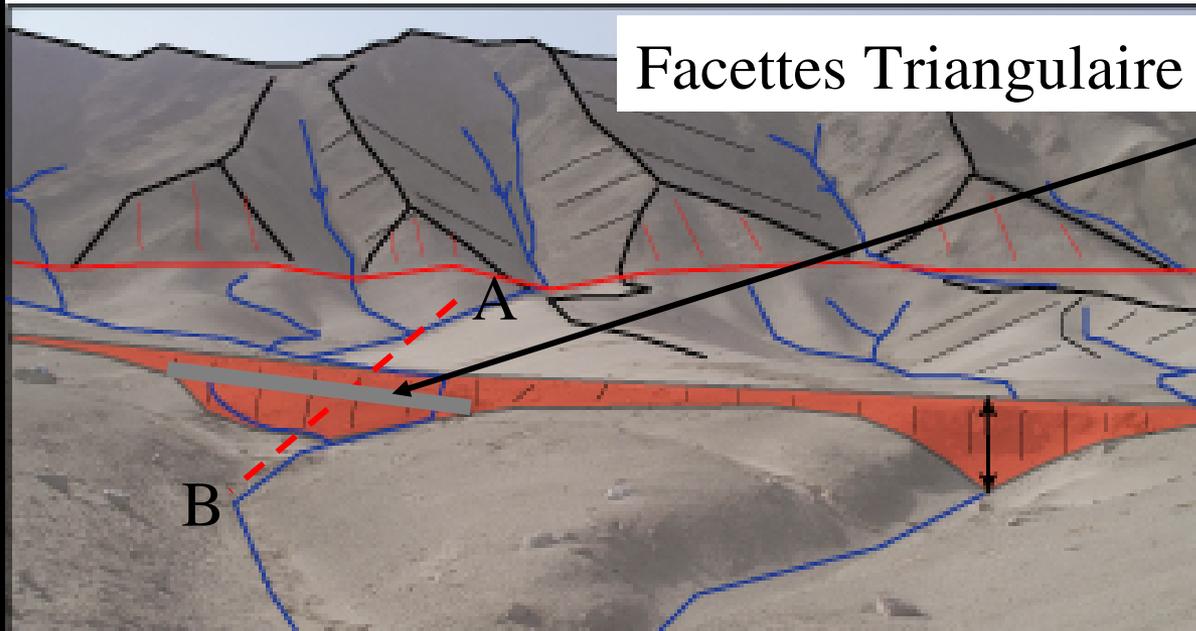
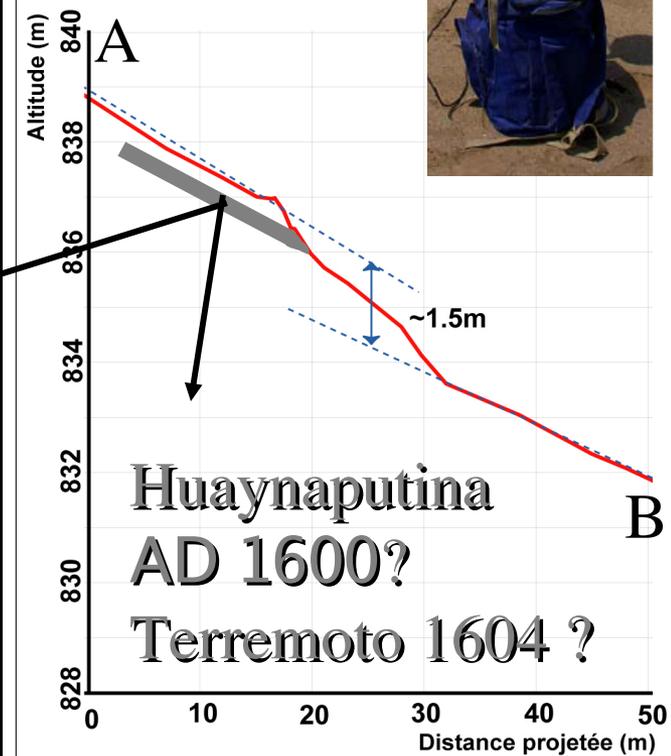
# Echantillonnage Beryllium + ages cendres

Déplacements  
les plus récents

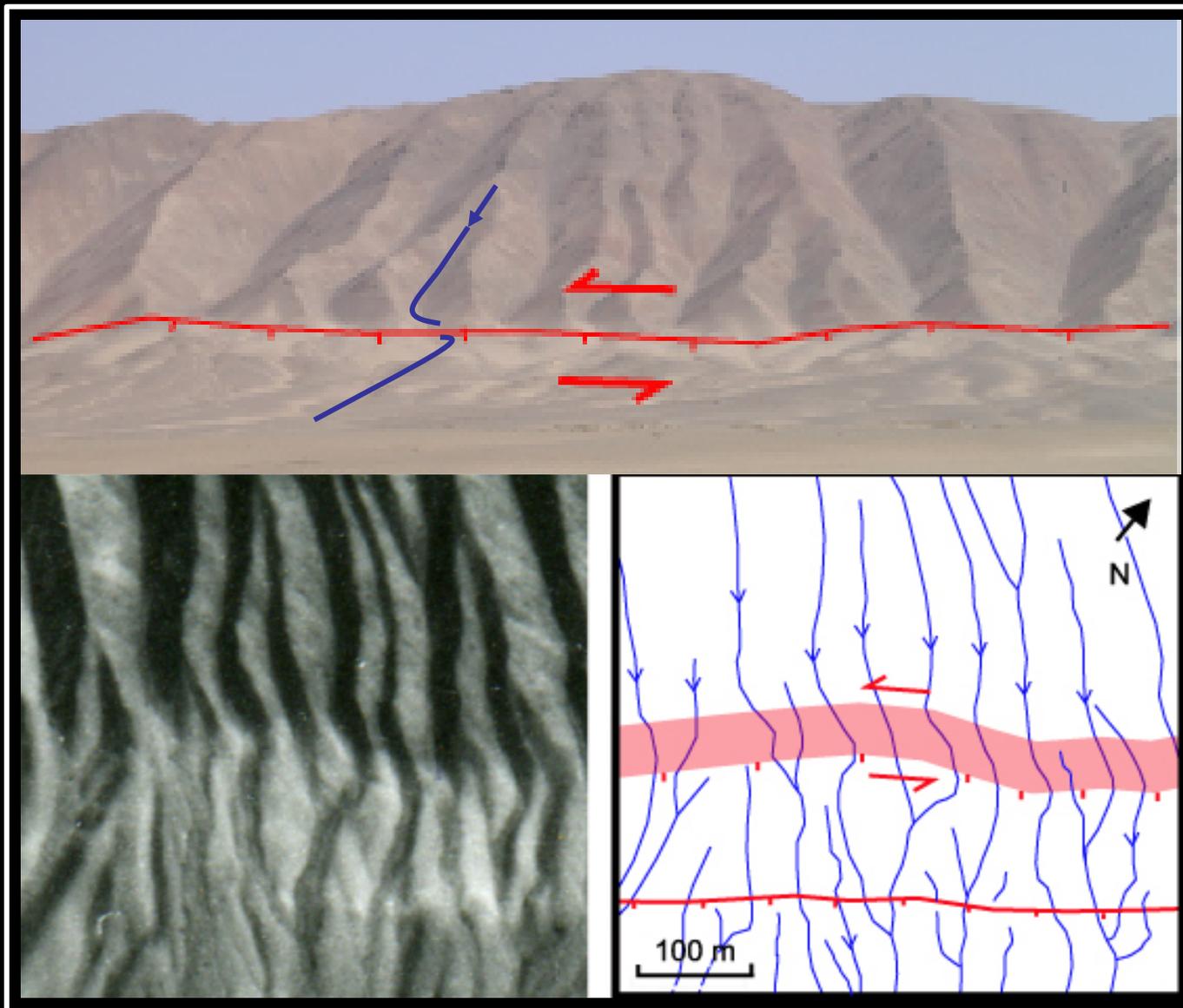
~m



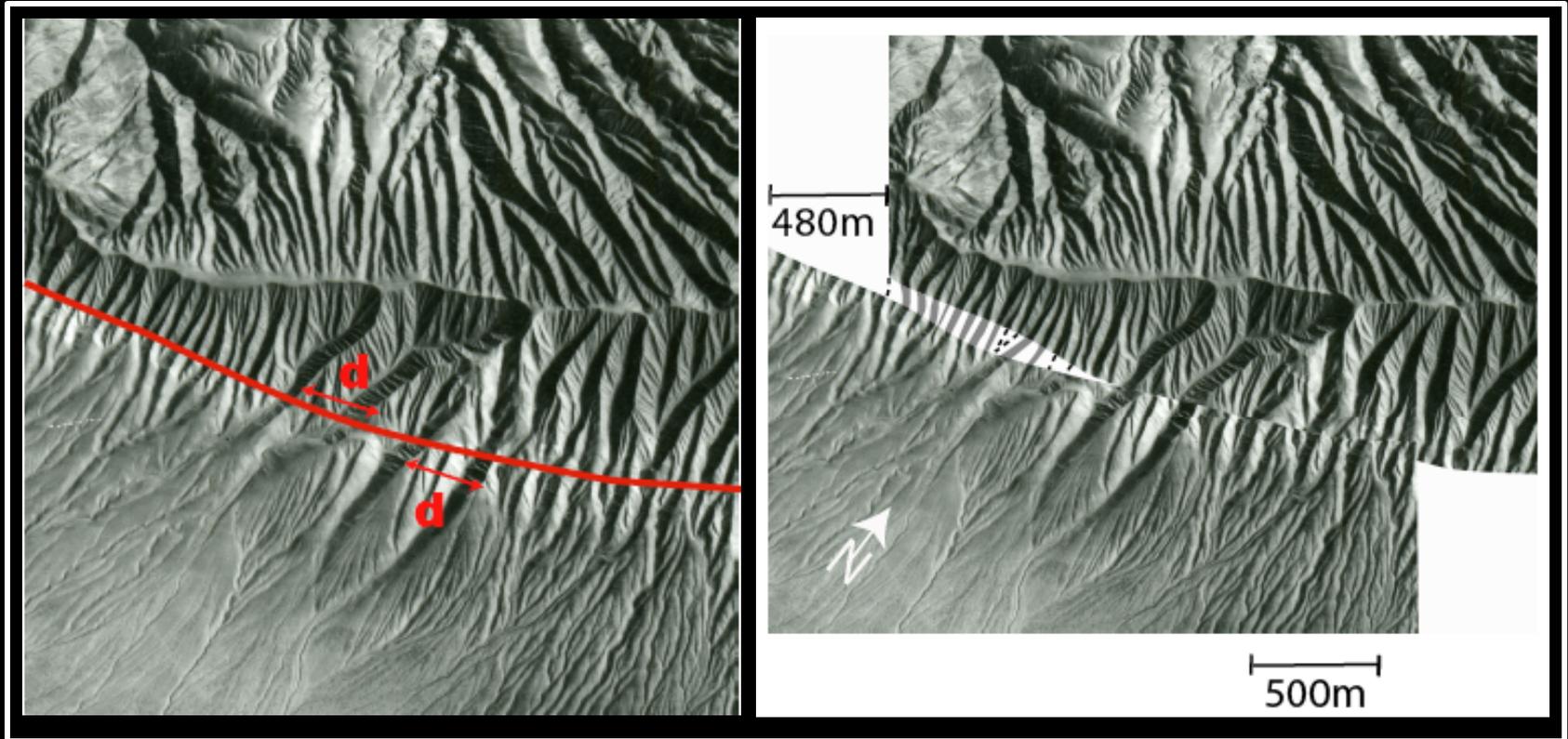
Facettes Triangulaire



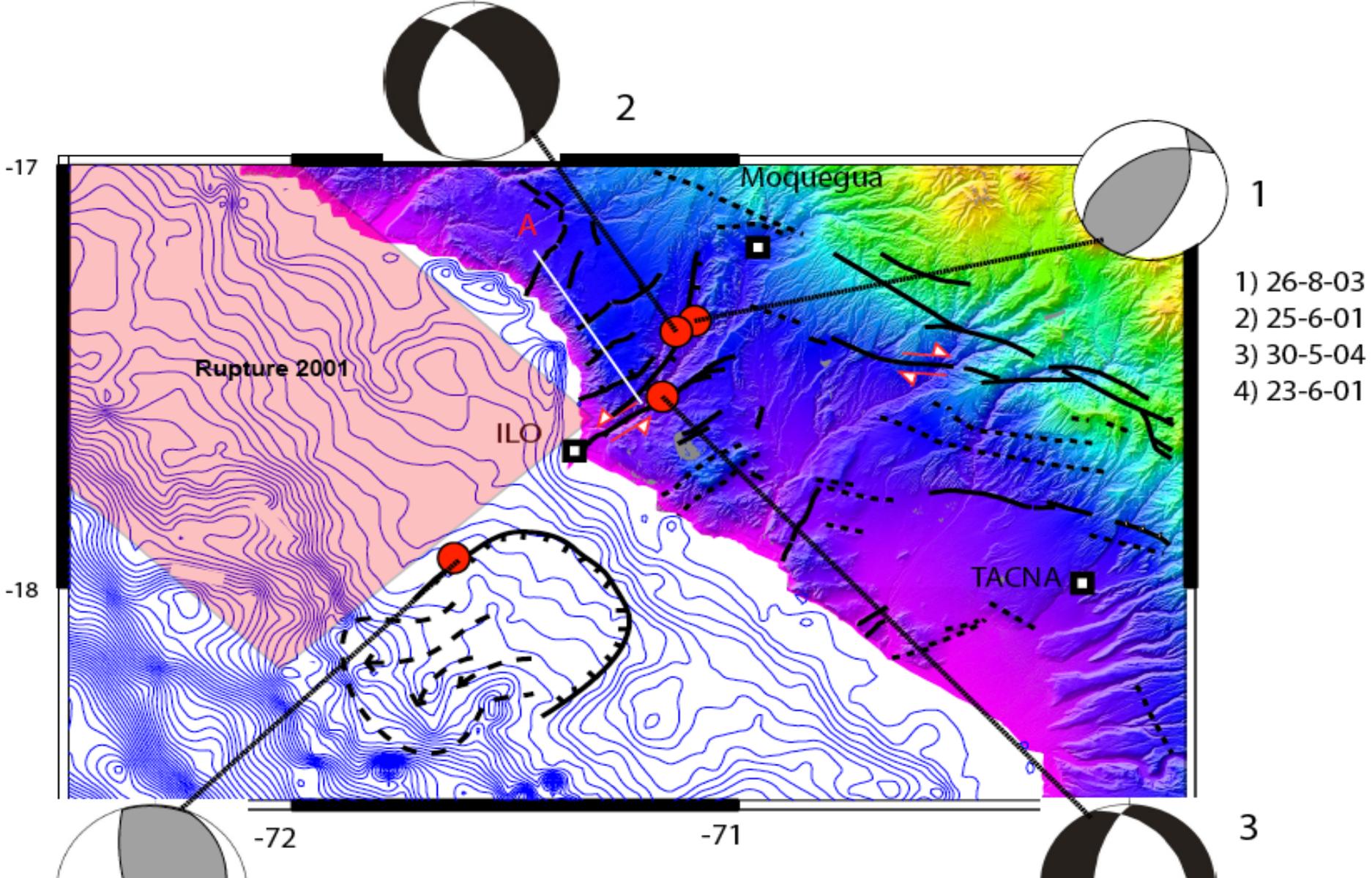
**Déplacement latéral : ~ m,  
déviation systématique et dans le même sens, segment principal**



# Composante décrochante ~ 500m, Reconstruction de marqueurs caractéristiques

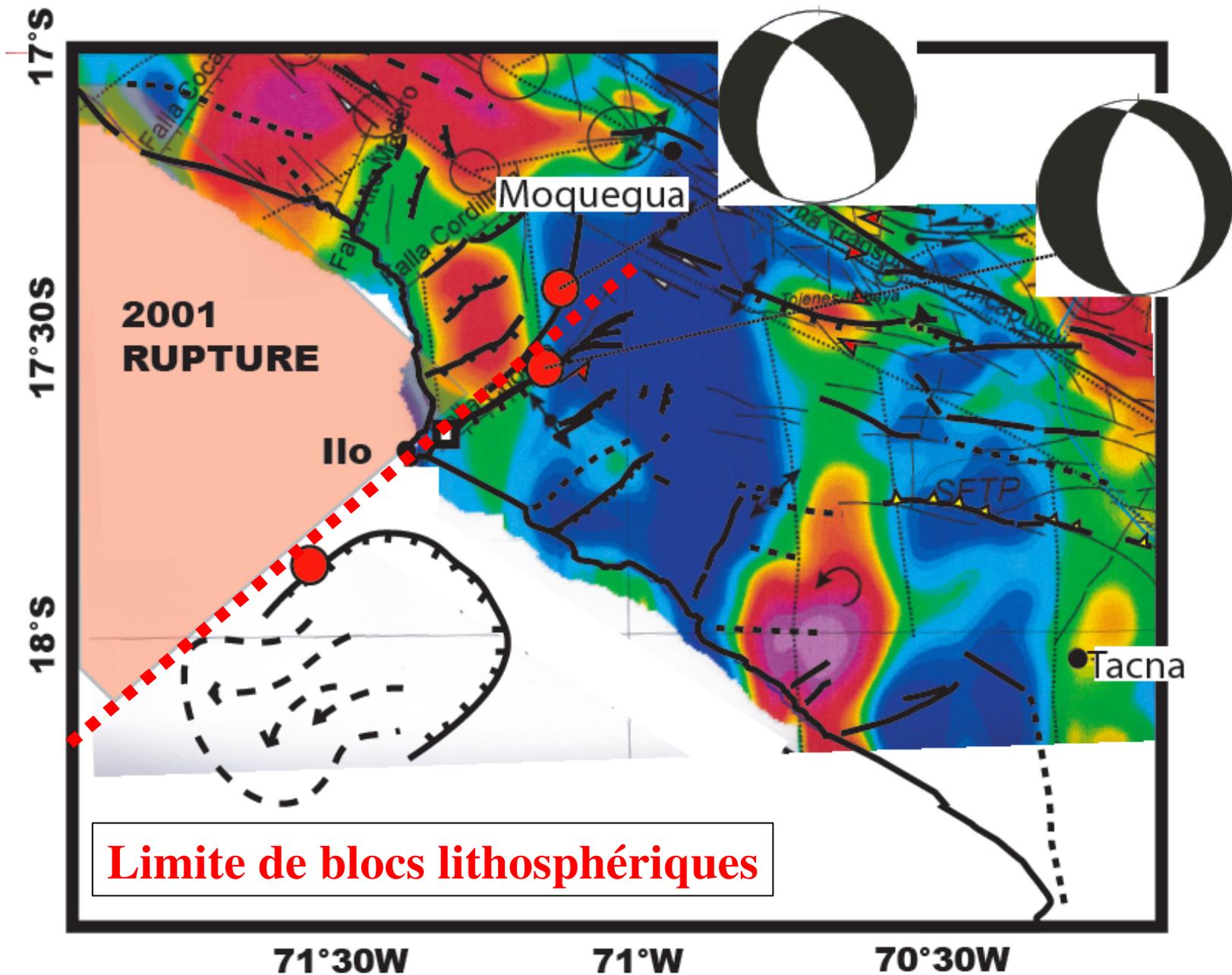


**Best fit between blocks, restoracion de la topografia previa y de las incisiones**



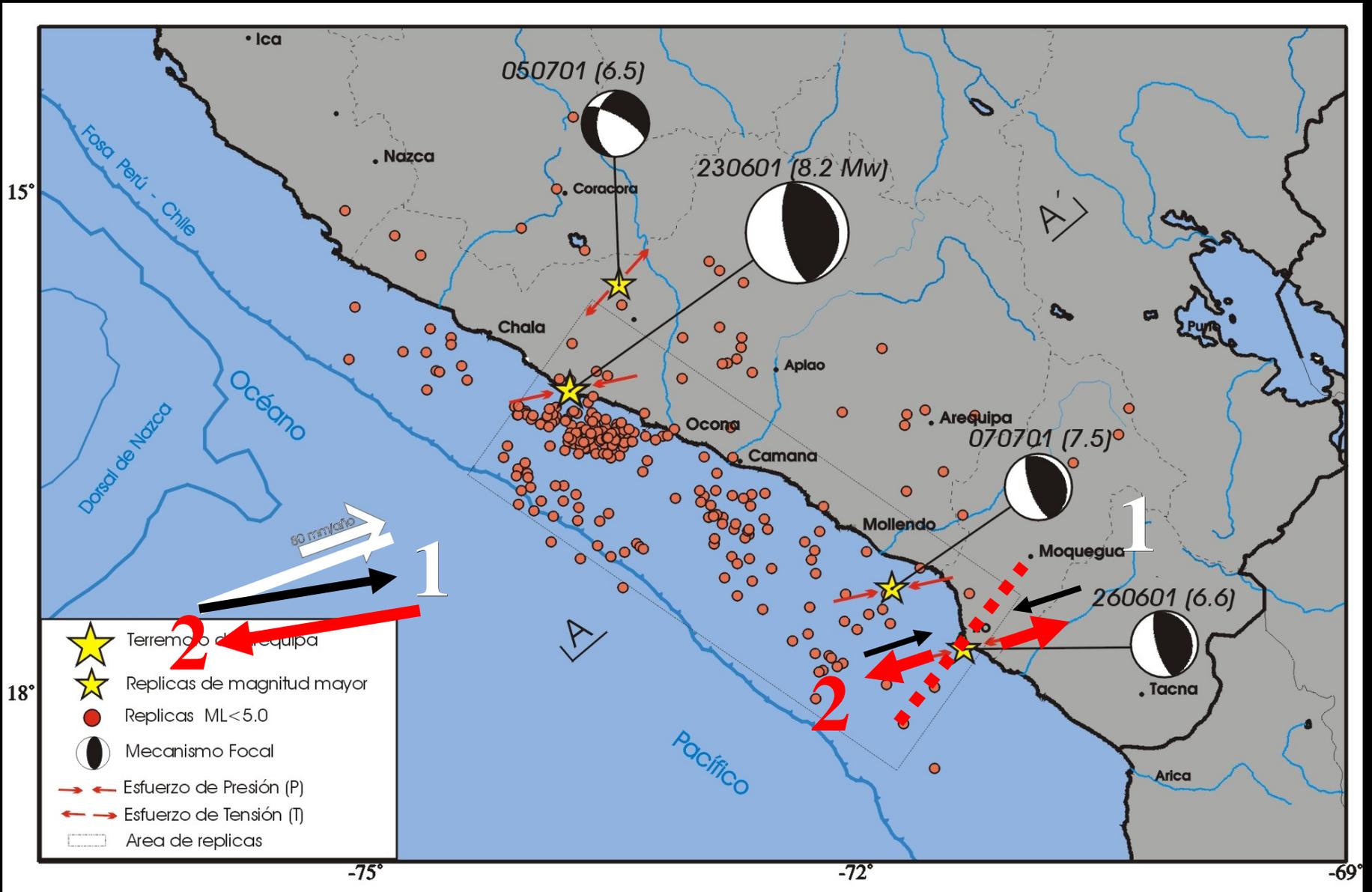
- 1) 26-8-03
- 2) 25-6-01
- 3) 30-5-04
- 4) 23-6-01

**Sismicité crustale , Réseau national péruvien (IGP), Mécanismes focaux  
H. Tavera**

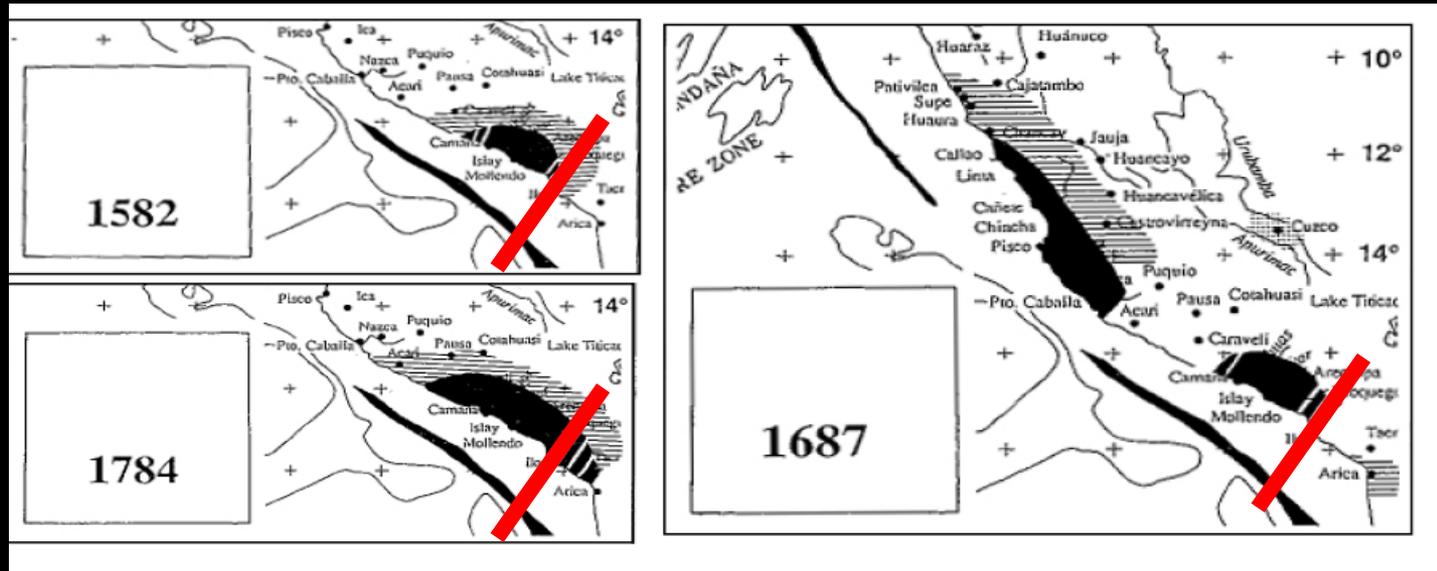


Carte aéromagnétique du Sud Pérou (INGEMMET)

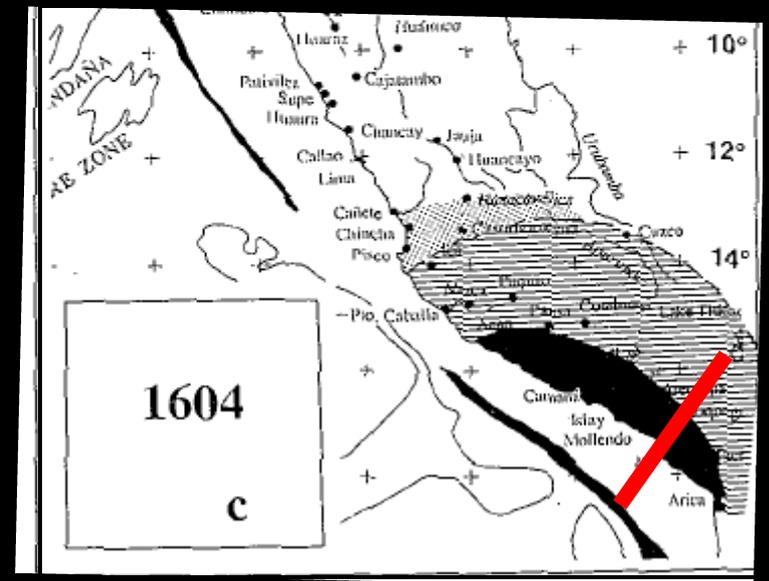
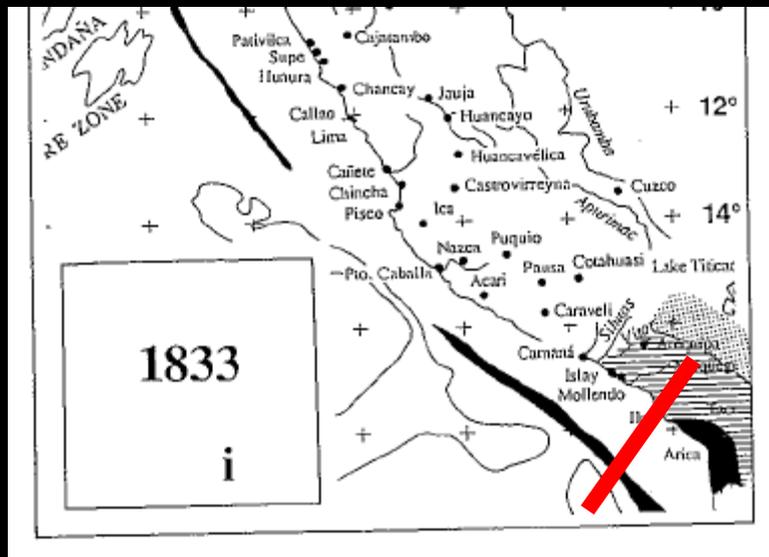
# Répliques, mécanismes au foyer et contraintes... Réponse de la plaque continentale



# Sismicité historique



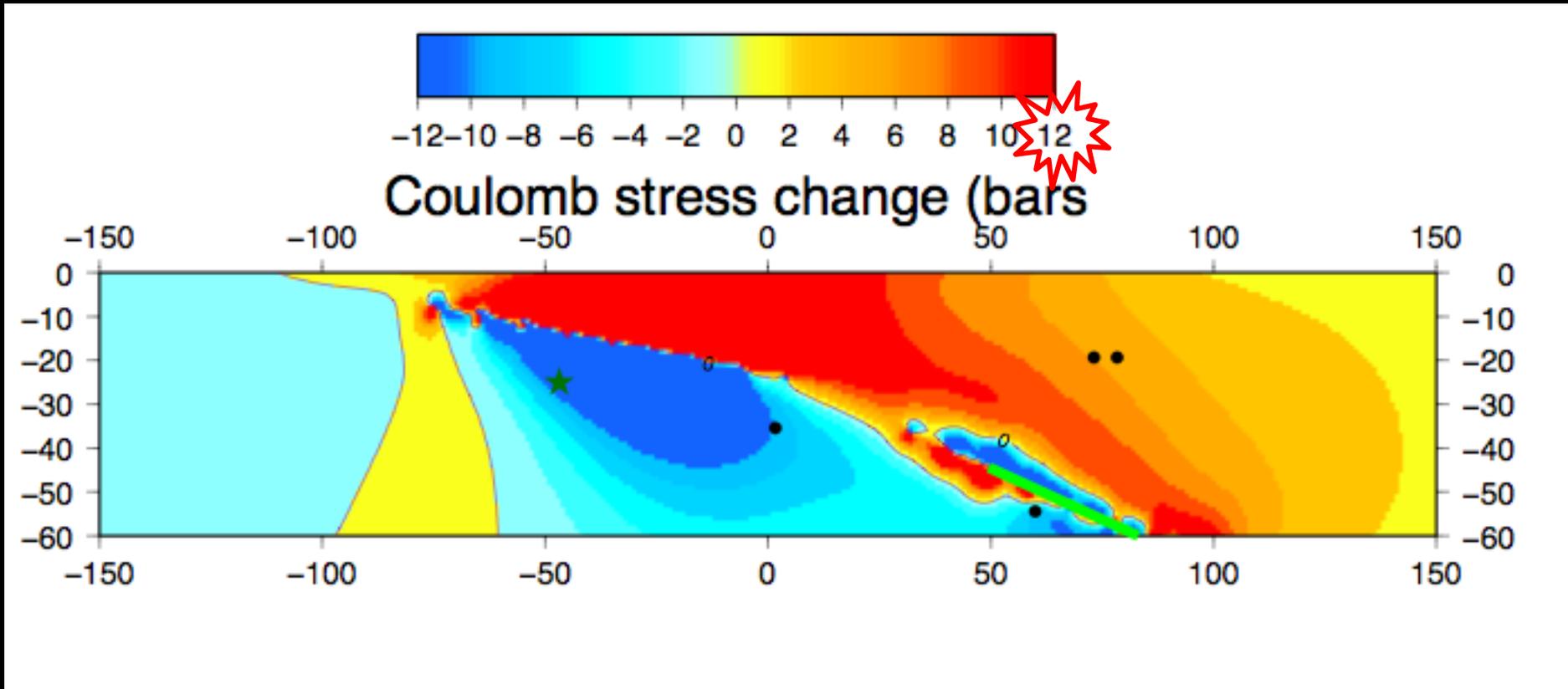
Magnitude faible ne traverse pas , mais même 2001 avec mw=8.4 stoppe.



# Modèle de Coulomb 3D (coll. avec H. Perfettini)

Modèle cinématique de Pritchard 2005

Introduction d'une faille lithosphérique perpendiculaire à la côte, (rake= normale sénestre)



# Conclusions

➤ **1.** La restriction des failles NE-SW à la région cotière suggère que le couplage est très important dans cette zone et que la segmentation de la zone de subduction est traduite ou induite par l'histoire et la rhéologie de la plaque continentale.



**Tectonique active cotière**

**Les failles majeures du système perpendiculaire à la fosse correspondent à des limites de blocs lithosphériques.**

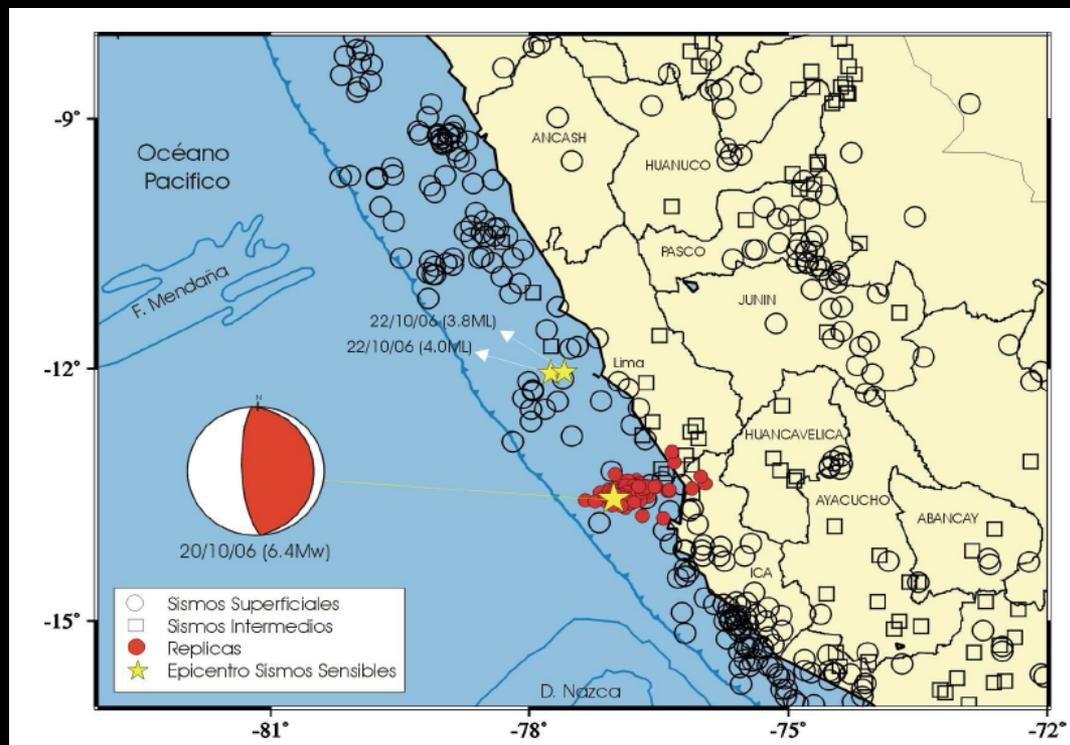
➤2. A court terme, c'est-à-dire juste après l'occurrence d'un séisme de subduction majeur, ce système de faille s'active et constitue une forme de réponse de la plaque continentale au transfert de contraintes entre les 2 plaques , ce qui suggère un très fort couplage.

➤3. La propagation des séismes de subduction majeurs le long du plan de subduction semblent répondre à une segmentation de la zone de subduction similaire à celle de la plaque chevauchante. Est-il possible que la segmentation de plaque chevauchante détermine en cas de fort couplage la segmentation de la plaque subductante?

Collot et al., 2003

Marge équatorienne

➤ 4. Au Nord Chili , on observe un raccourcissement // à l'arc volcanique actif mais au Pérou on observe plutôt une déformation transtensive // à l'arc. Cette observation se confirme dans la cartographie des structures tectoniques et dans l'analyse des séismes crustaux.

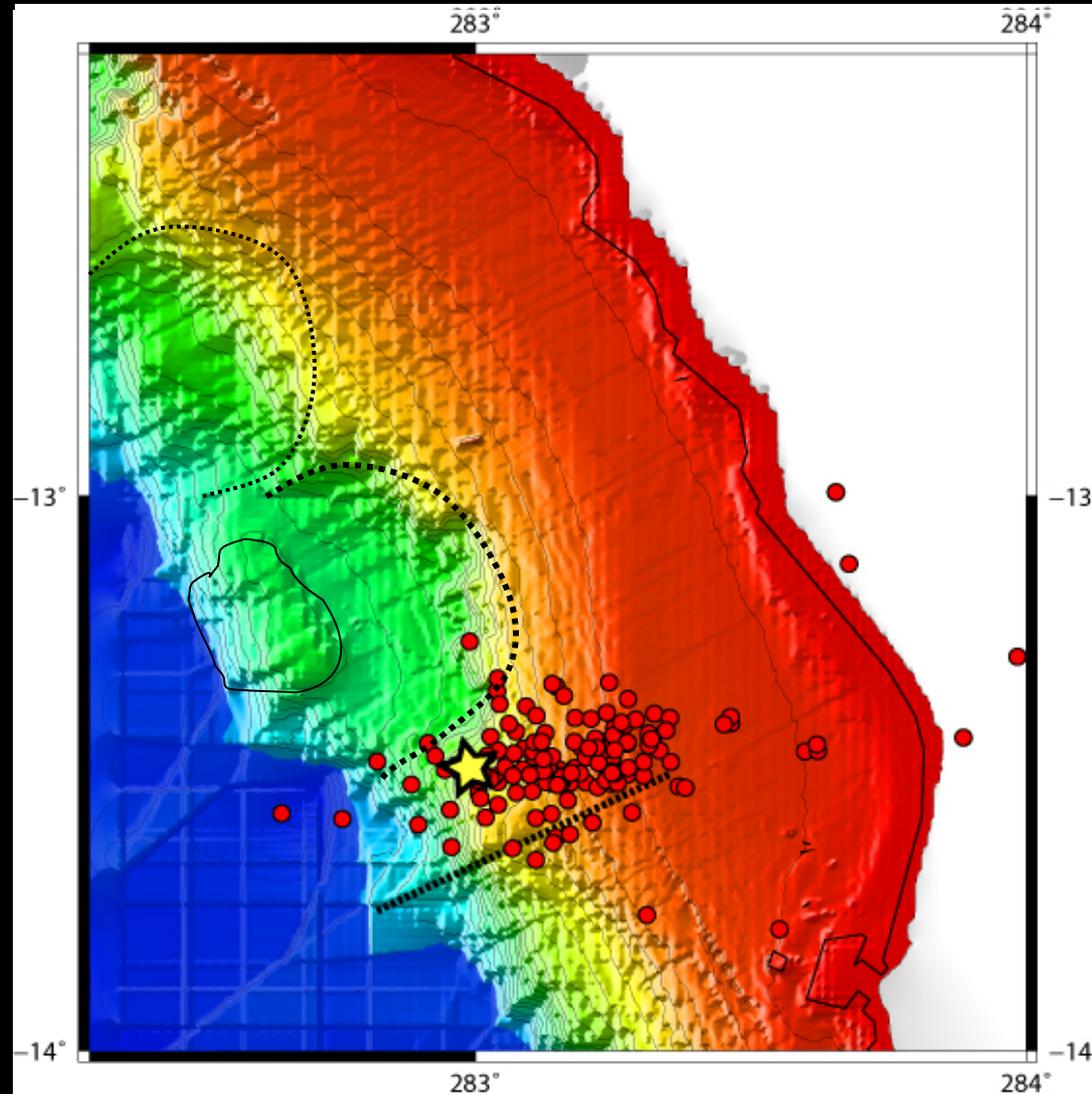


**Sismicité de faible magnitude le long de la marge active.**

**Dans une direction perpendiculaire à la fosse.....**

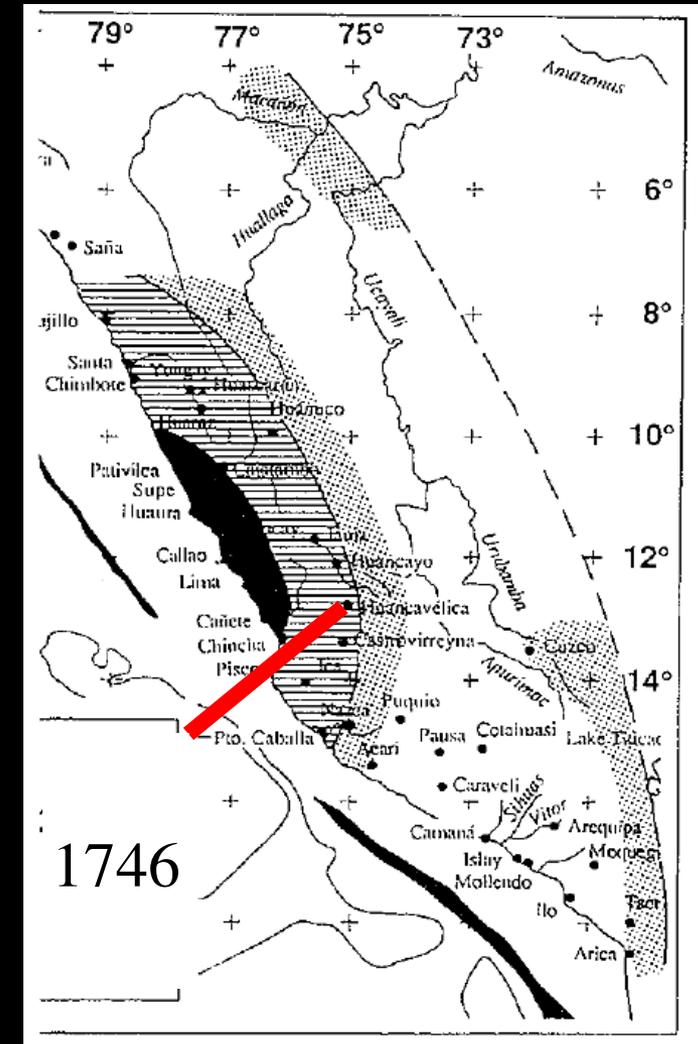
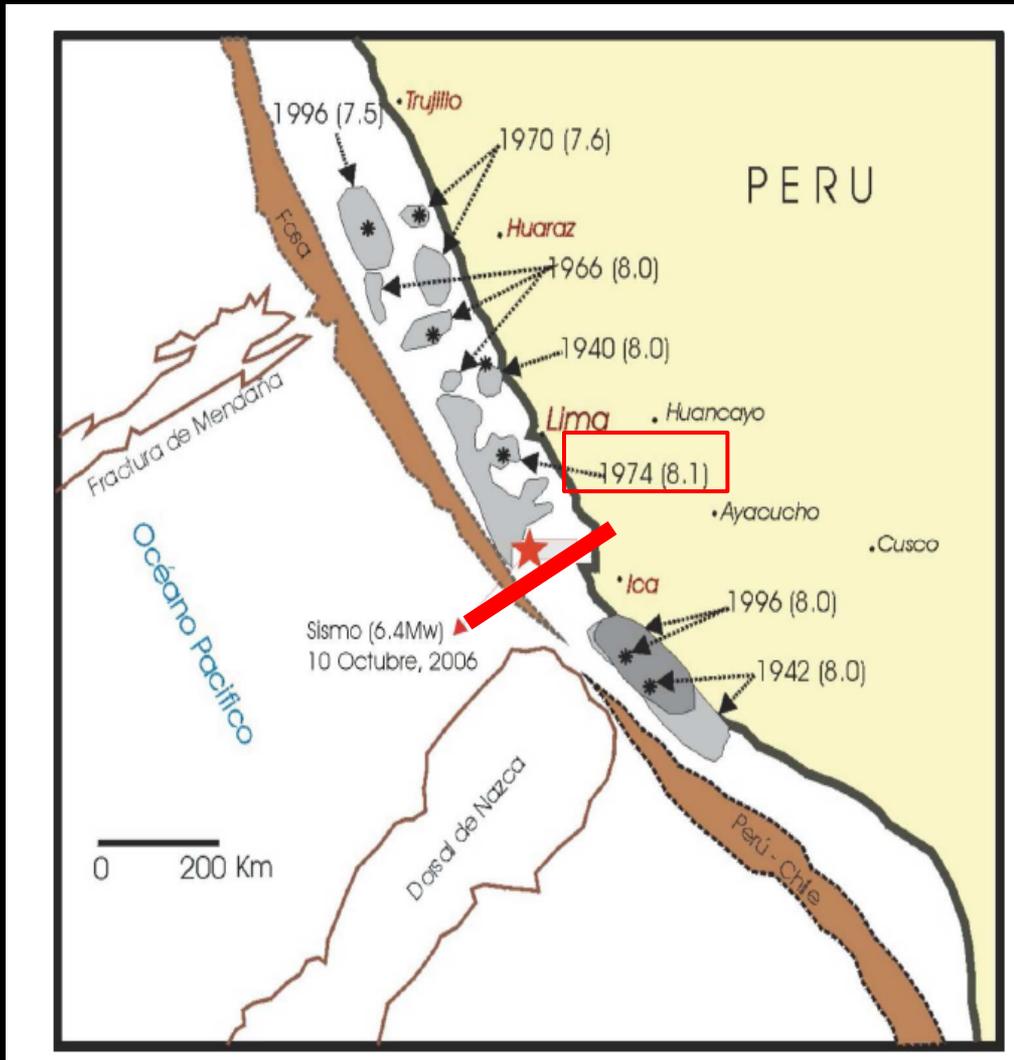
**Crise sismique de Pisco, 10 Nov 2006, Mw= 6.4**

Accident tectonique visible dans la morphologie et perpendiculaire à la fosse  
lui aussi...



Qui correspond exactement à la limite Sud de la rupture du dernier grand séisme de subduction et d'autres séismes historiques dans la région...

Dorbath 1990



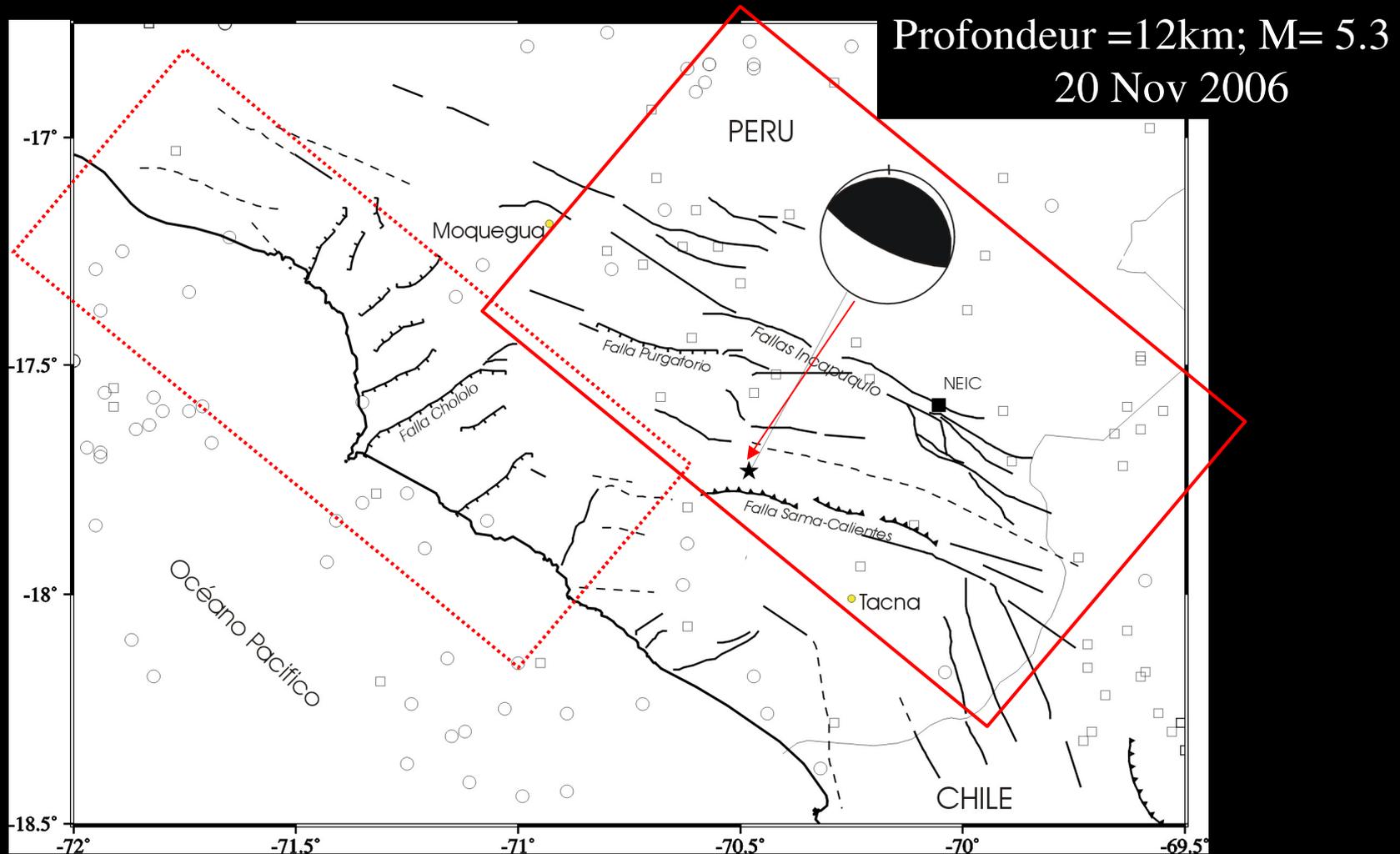


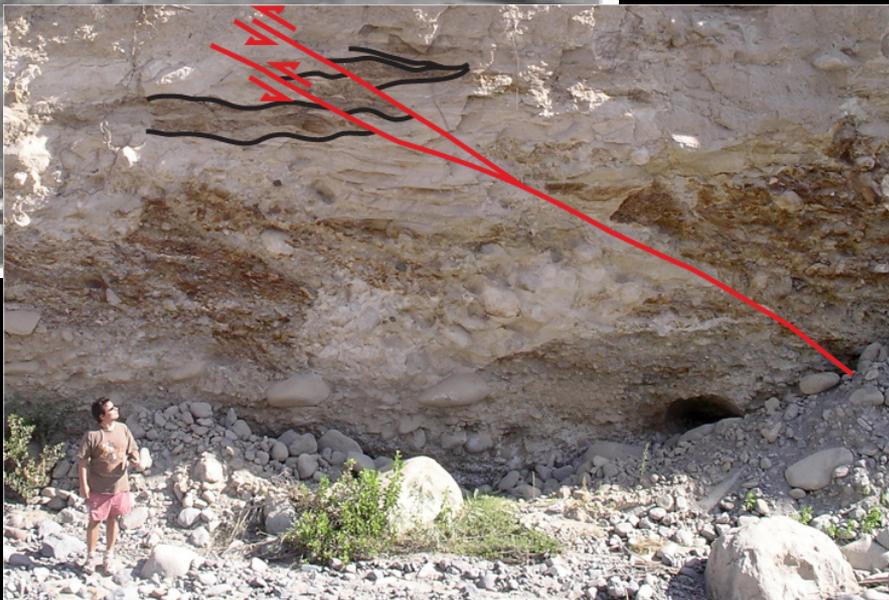
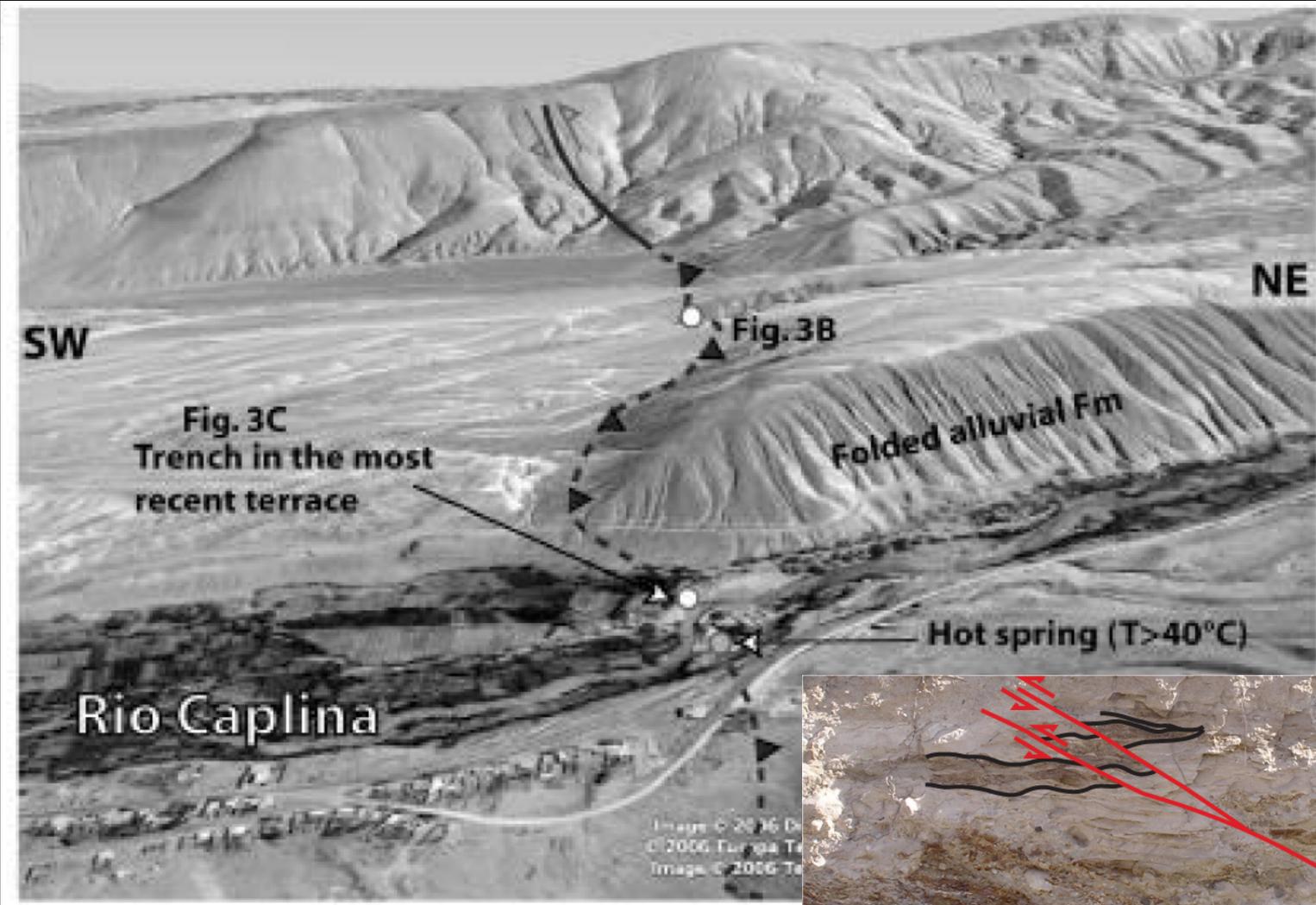
Free air gravity anomaly after Wells et al., 2003

L'étude conjointe de la sismicité de magnitude faible et de la déformation de la marge continentale à travers la géomorphologie et les datations des marqueurs déformés peut aider à définir la segmentation du plan de faille le long d'une zone de subduction, au moins le long de la marge Andine et à terme définir le mode de déformation de la marge et sa participation au maintien ou à la construction du relief dans une chaîne de montagne telle que les Andes.

# Déformation liée à d'autres processus

## Réactivation de structures d'échelle lithosphériques...en compression





Terrasse Holocène, faille inverse!

Merci de votre attention



