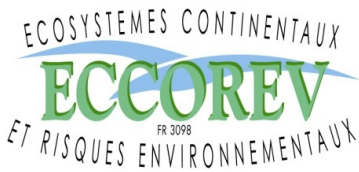


Institut Pythéas  
Observatoire des Sciences de l'Univers  
Aix-Marseille Université



# Failles et aléa sismique en France: apport de la tectonique active et de la paléosismologie

**Olivier Bellier**

CEREGE, ECCOREV, OT-med

OSU Institut Pythéas, Université Aix-Marseille & CNRS-INSU

**Pour plus d'info. ([bellier@cerege.fr](mailto:bellier@cerege.fr)):**

**Livre :** « Séismes en Provence... » de E. Bonnet-Vidal & O. Bellier

<http://www.futura-sciences.com> - dossier: « Qu'est-ce qui fait trembler la Terre? »

<http://www.univ-cezanne.fr> - dossier: « Paroles d'experts » (Univ. AM3), n°2 Sept 2011

2 Articles récent: « Paroles d'experts » lettre d'AMU (Aix-Marseille Univ.), n°8 Janv. 2013;

Tremblements de terre et aléa sismique, l'apport de la tectonique active et de la paléosismologie. n° spécial *Géologues*, n°180, 1/2014.

Deux films à voir à la "Villa Méditerranée" - parcours « Echelle des Temps » - 2 films de 4 mn seulement qui valent le détour

Tectonique des plaques - <https://www.youtube.com/watch?v=9y225c8pD0w>



## Les Tremblements de Terre

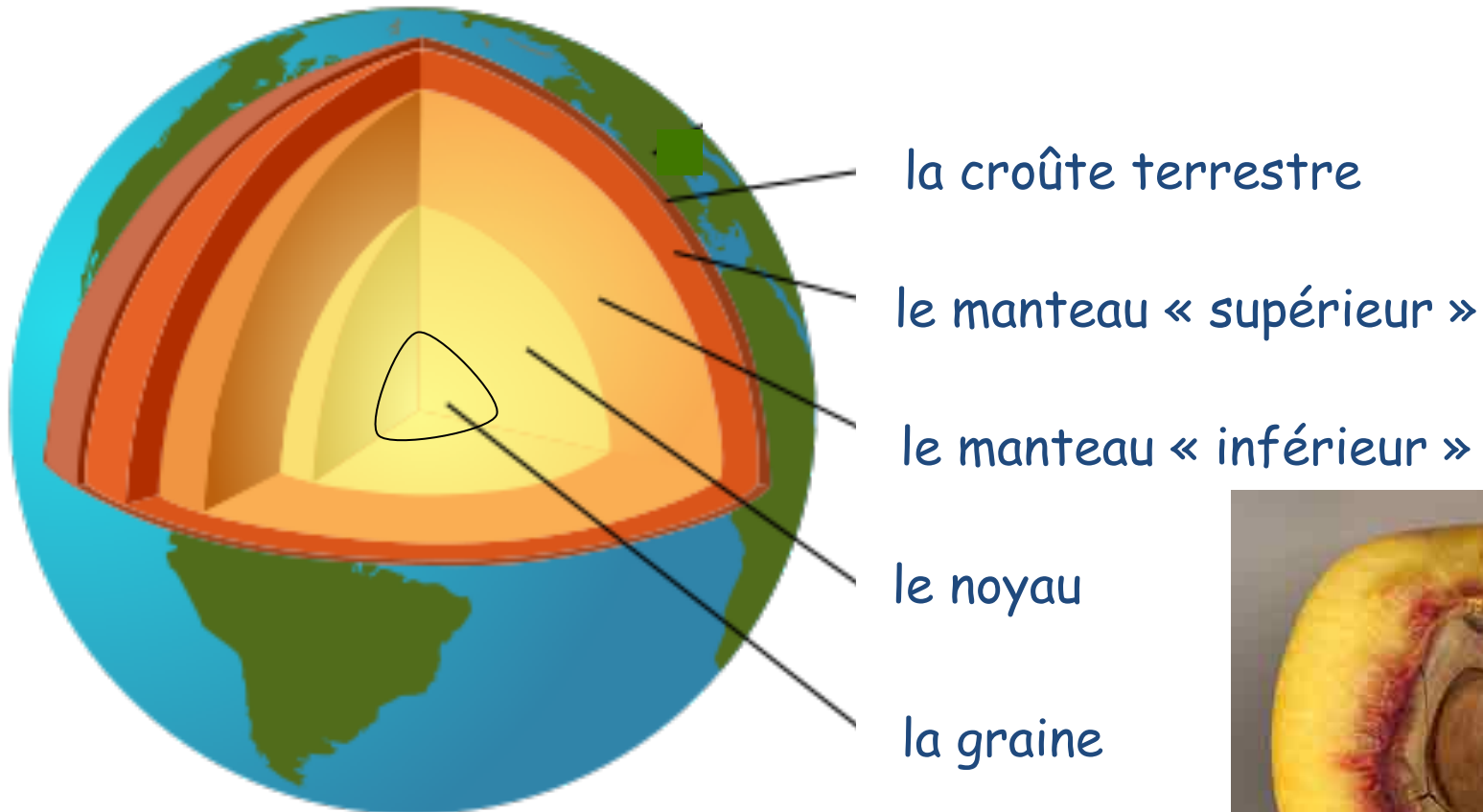
Catastrophe naturelle !  
Et donc un problème de Société

## Les Tremblements de Terre

- une histoire de failles !
- le plus souvent en relation avec « Forces » de la tectonique des plaques

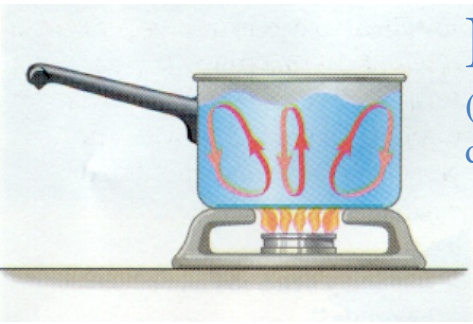


# La Terre (= la pêche)



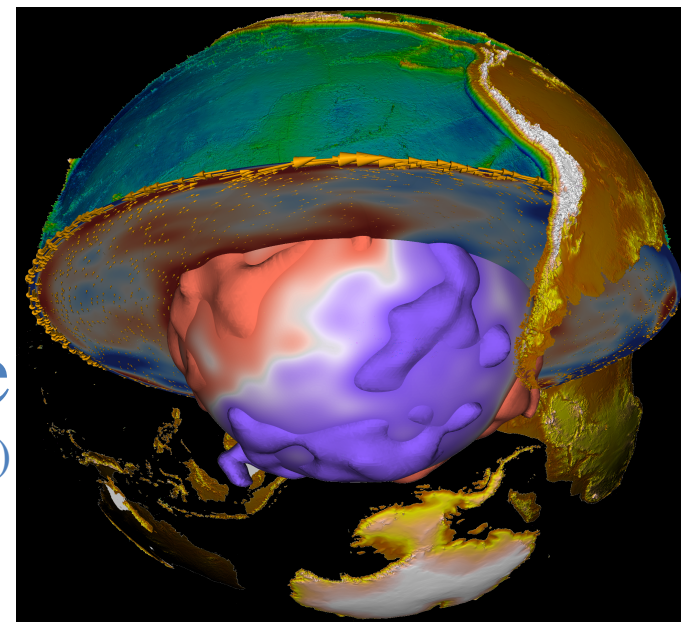
**La Lithosphère (100 km):**

**Croûte + partie sup. manteau supérieur**



## La casserole

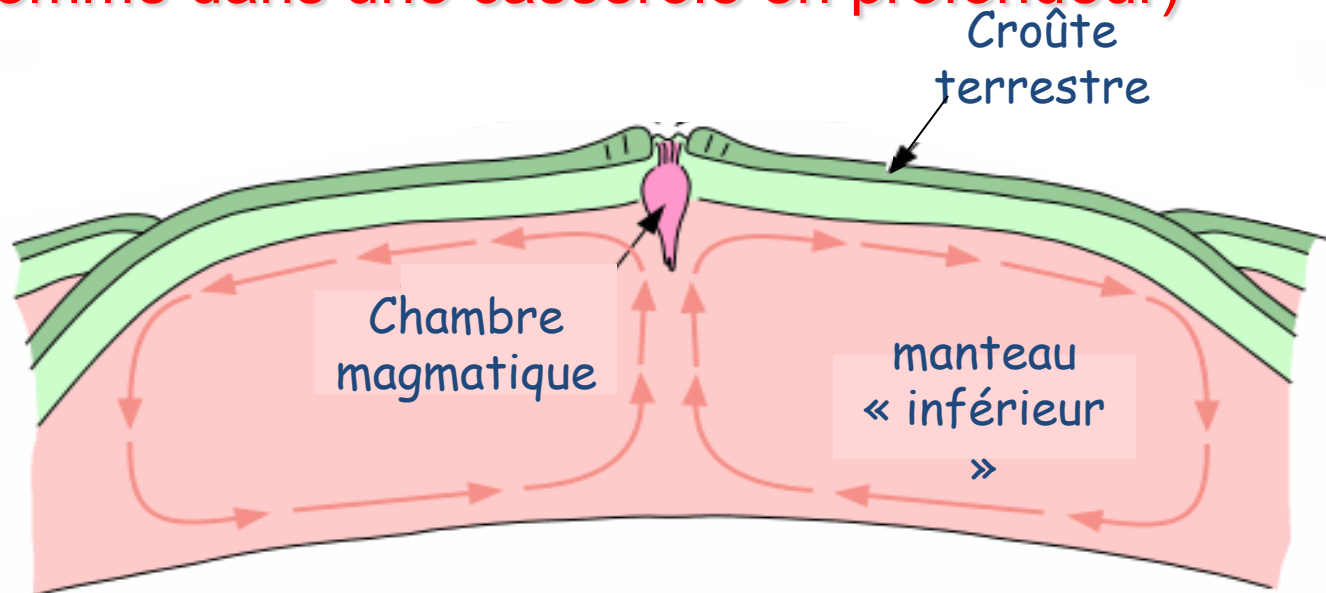
(convection=  
dépende d'énergie avec déplacement de matière)



## La Terre

(convection en profondeur)

## LA TECTONIQUE DES PLAQUES (comme dans une casserole en profondeur)





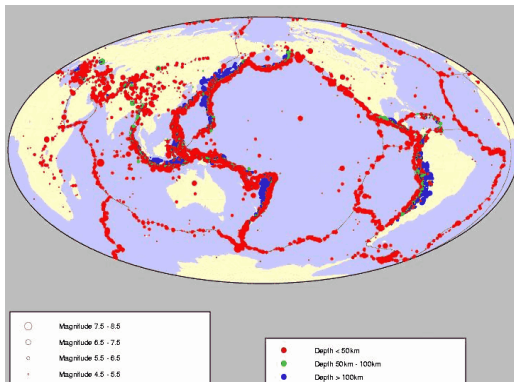
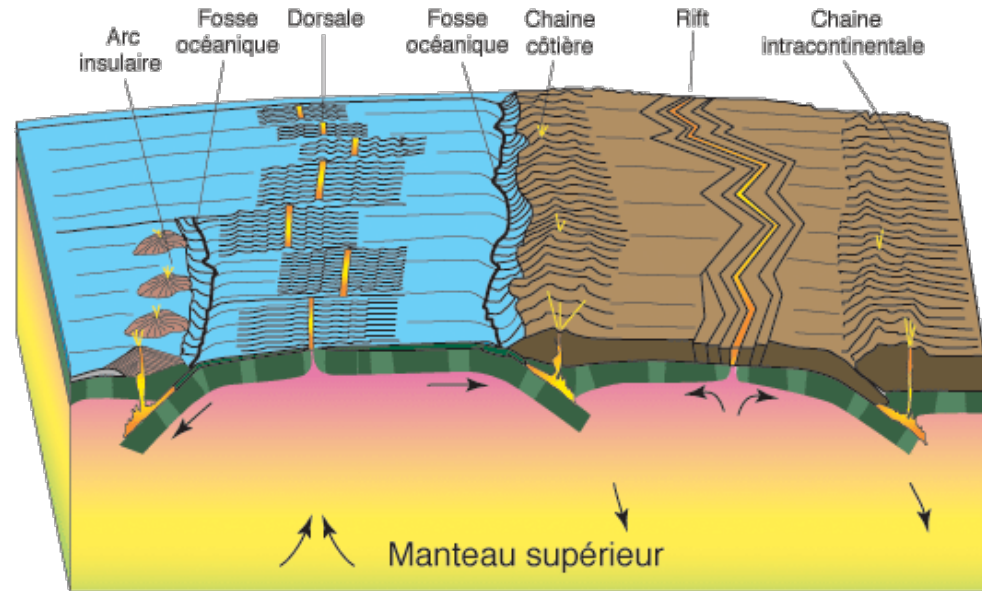
# LA TECTONIQUE DES PLAQUES

**Moteur :** Dépense d'énergie = convection en profondeur

**Résultat :** des plaques qui se déplacent (s'écartent ou se rapprochent) les unes / autres à des vitesses de 1 à 10 cm/an

**Les frontières des plaques :**

- là où les plaques s'écartent (ride ou dorsale médio-océanique) et se rapprochent (subduction et collision) il s'initie des **FORCES à l'origine des séismes**
- plus de 90% de l'énergie sismique libérée au niveau des frontières des plaques

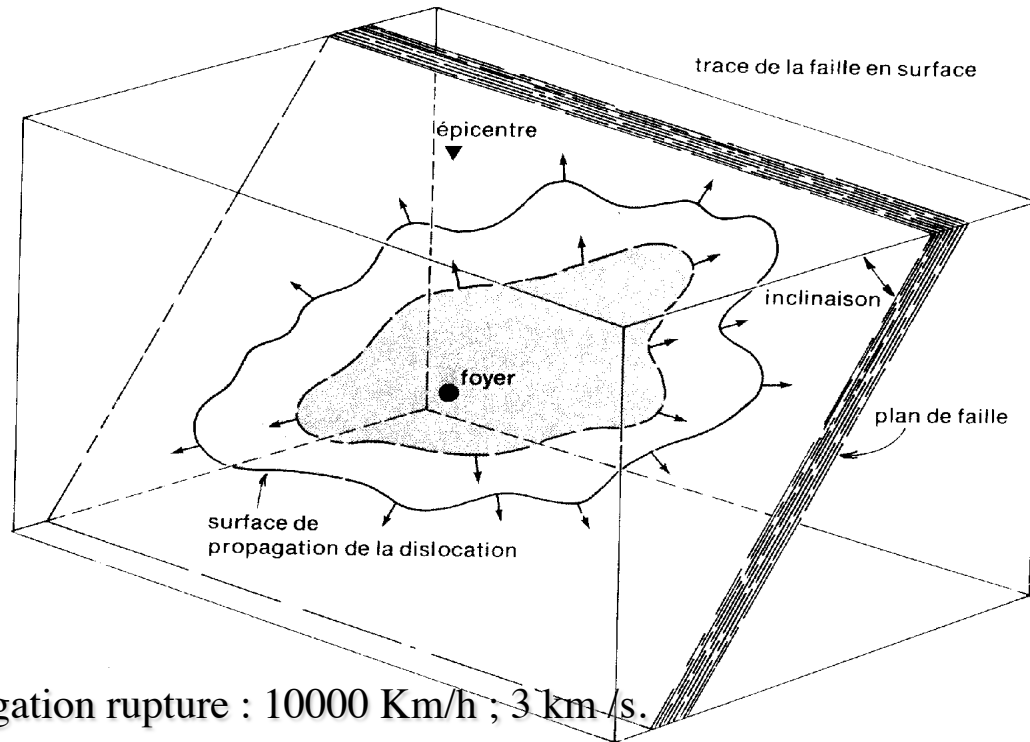


**Répartition des séismes non aléatoire**  
(séismicité localisée sur les frontières de plaques)

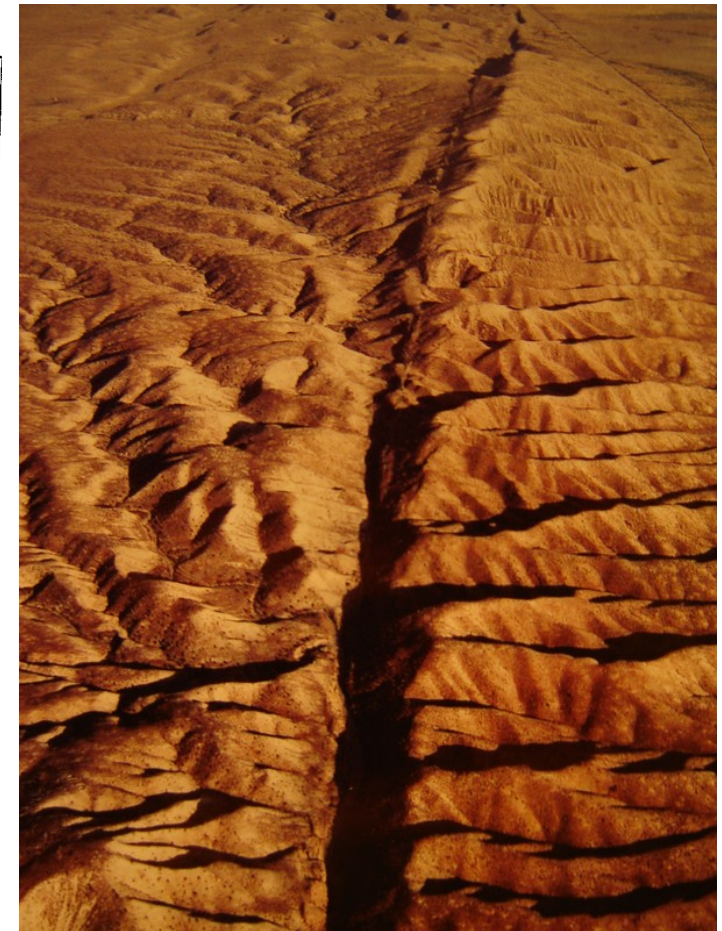
**CONCLUSION - LA TECTONIQUE DES PLAQUES :**  
localise la séismicité et génère les contraintes produisant les séismes

# Qu'est-ce qu'un séisme?

Un séisme = initiation et propagation d'une « cassure » (rupture) le long d'une faille



Propagation rupture : 10000 Km/h ; 3 km /s.

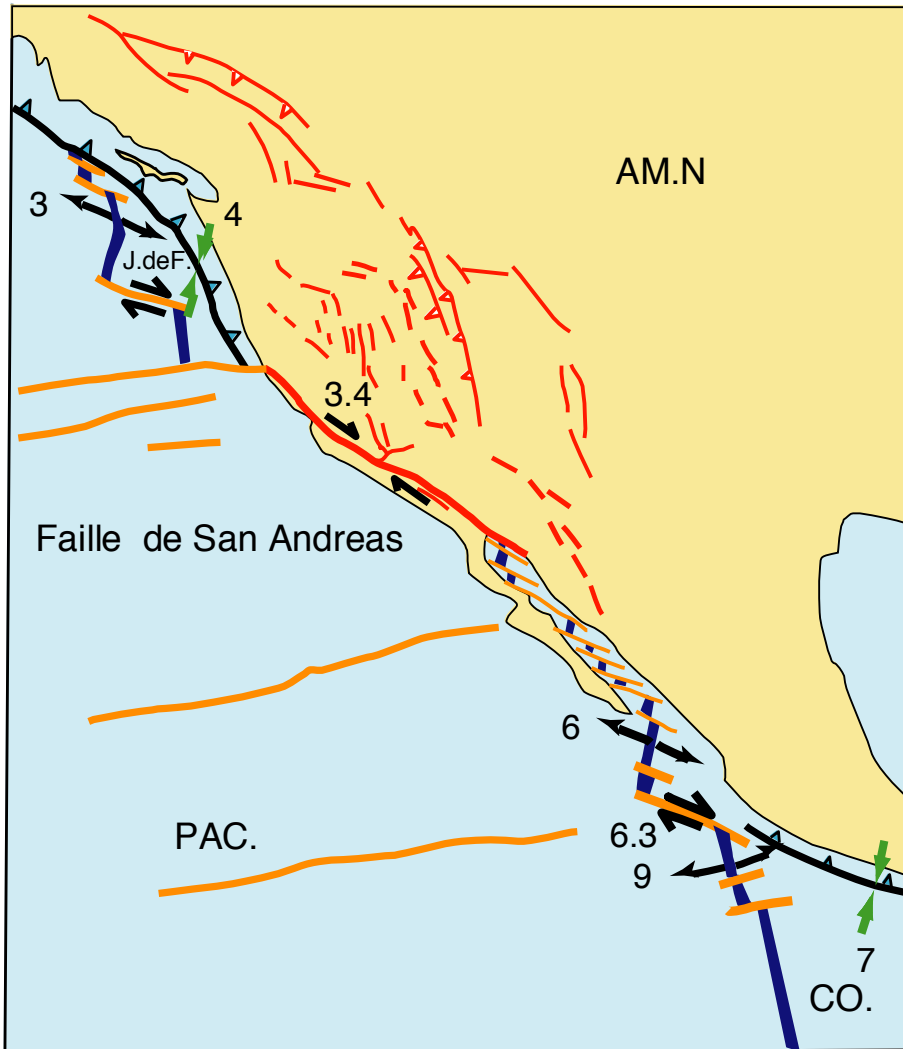


## Mais qu'est-ce qu'une faille?

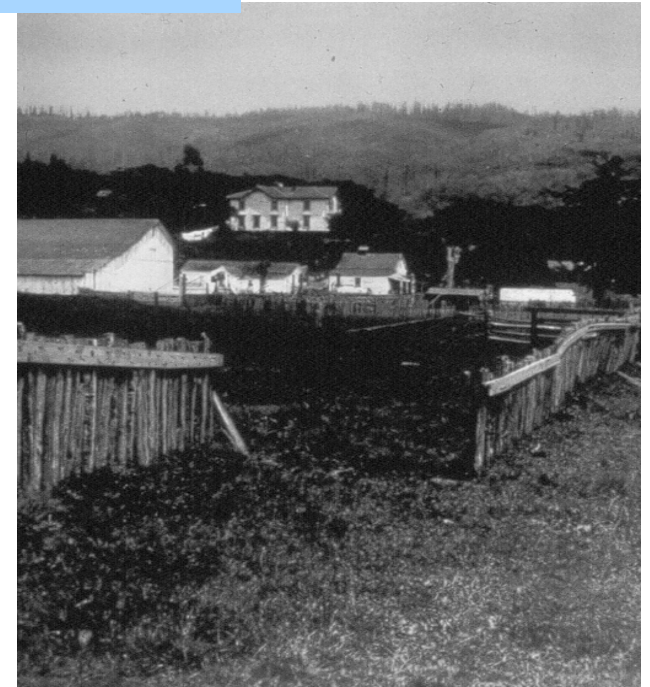
Une déchirure ou cassure de la croûte terrestre qui accuse un mouvement

# La faille de San Andreas

W de l'Amérique du Nord



Le séisme de San Francisco 1906



Faille très rapide : vitesse moyenne de déplacement 20-30 mm/an – temps de retour de séismes court 100-1000 ans, déplacement co-sismique (instantané) : 1- 3 m.



# Tremblement de Terre ou séisme?



## DEFINITIONS DU PETIT ROBERT

### SEISME ET TREMBLEMENT DE TERRE :

ENSEMBLE DES PHENOMENES ... CATASTROPHIQUES... LIES A LA DEFORMATION DE L'ECORCE TERRESTRE

Séisme ⇔ Tectonique

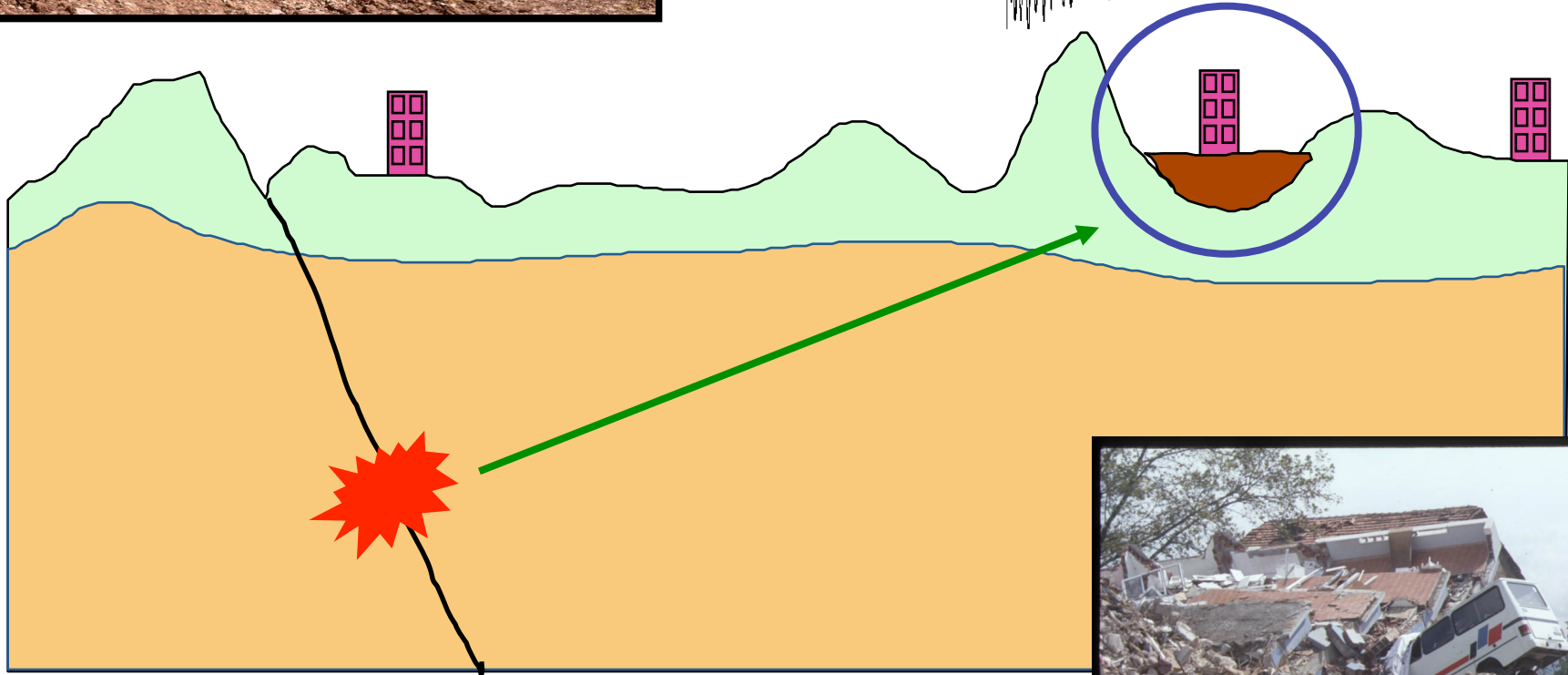
- 1 - « cause » : mise sous contrainte et mouvement des plaques tectoniques
- 2 - « déclenchement » : rupture de la croûte terrestre (rigide, froide et cassante)
- 3 - « déroulement » : propagation d'une rupture le long d'une faille pré-existante

**Rupture = relâchement des contraintes ⇔ Réponse au mouvement des plaques**

Le séisme – la rupture ou cassure – génère des **ondes sismiques**, c'est à dire des « vibrations » => **accélération**

# Les effets des tremblements de Terre

- Rupture et déplacement instantané
- Propagation des ondes sismiques (accélération du sol)
- Effets de site (augmente accélération)
- Effets induits (tsunami, glissement terrain, incendie...)



Aléa = aléa régional (faille/séisme)  
/ aléa local (condition de site)

# Prise en compte de l'aléa sismique

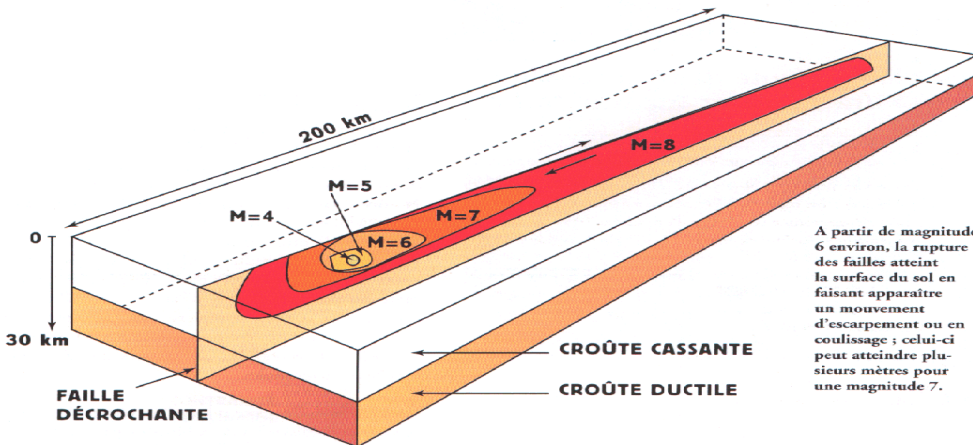
## 2 notions fondamentales

### Notion de *cycle sismique*:

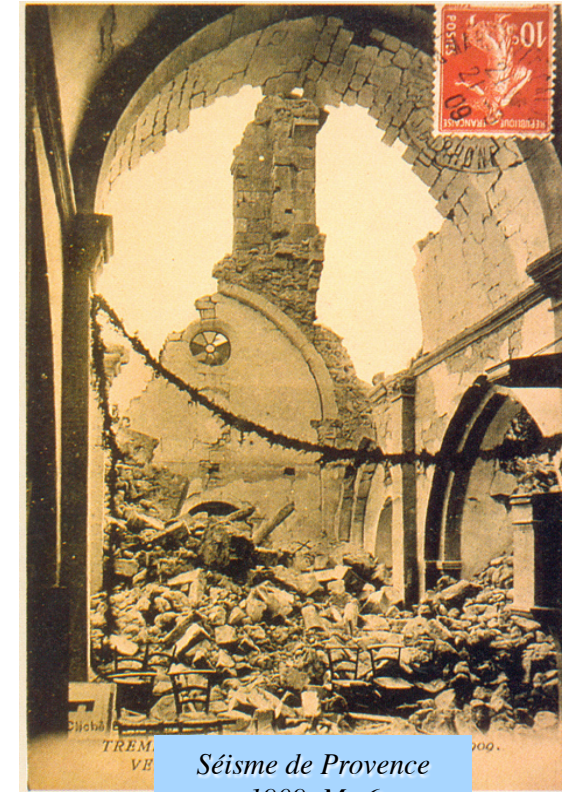
Notion de « répétitivité » qui implique que la connaissance des temps de retours des séismes du passé permet de présumer du temps de retour des séismes futurs.

« Là où la Terre a tremblée, elle tremblera de nouveau... »

### MAGNITUDE ET SURFACE DE RUPTURE



A partir de magnitude 6 environ, la rupture des failles atteint la surface du sol en faisant apparaître un mouvement d'escarpement ou en coulissage ; celui-ci peut atteindre plusieurs mètres pour une magnitude 7.



Séisme de Provence  
1909, M=6

### Notion de *loi d'échelle* :

l'énergie d'un séisme dépend de la longueur de la rupture, i.e., longueur de la faille réactivée durant le séisme

Aléa sismique : Où? Quand? Comment-combien?



# Aléa régional

DOIT-ON CRAINDRE UN SÉISME CHEZ NOUS ?

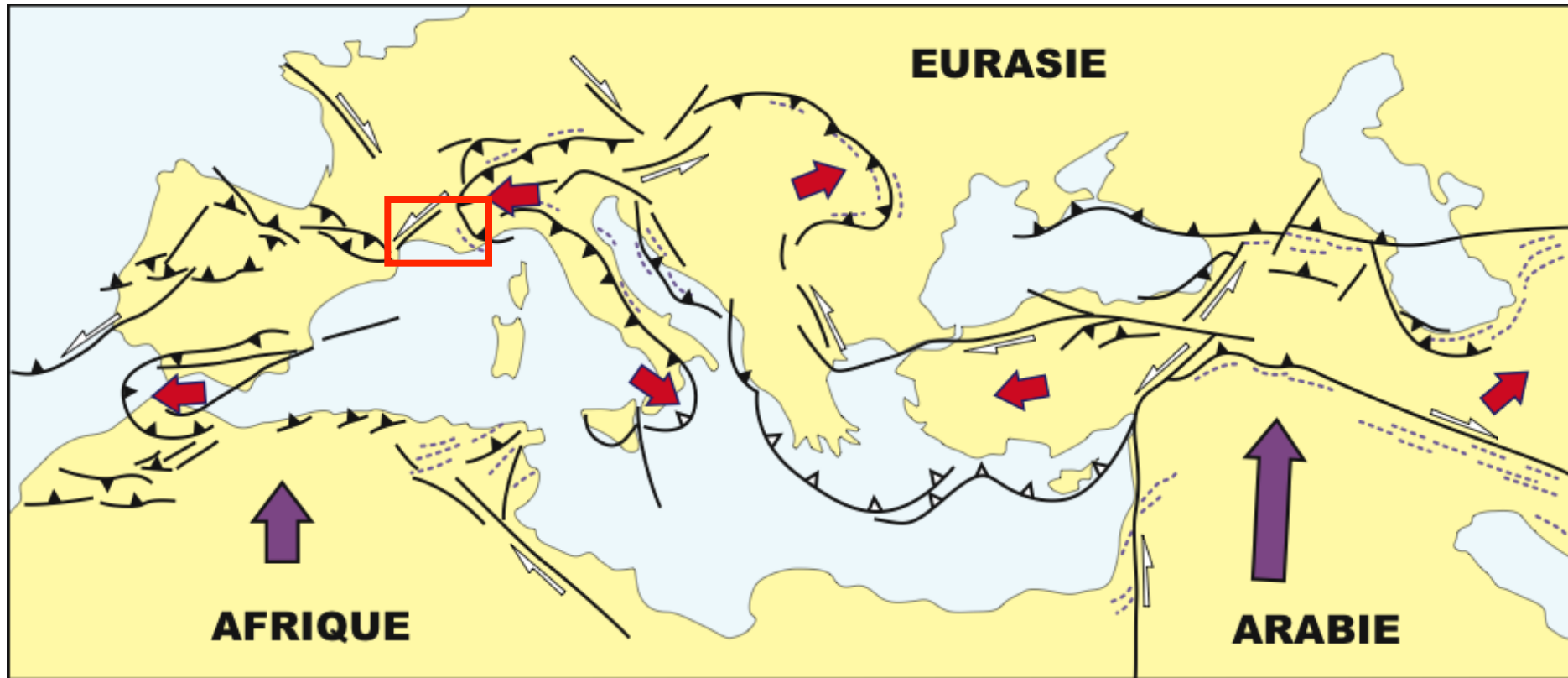


OK! Localiser les failles,  
pas seulement...

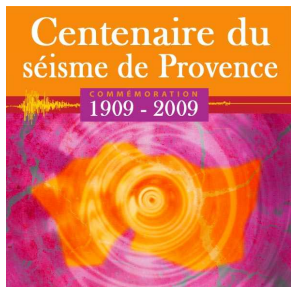
## Aléa sismique : Où? Quand? Comment?

- Localiser la faille (segments de faille)
- Préciser leur longueur -> magnitude
- Déterminer leur vitesse de glissement -> récurrence

# ALEA SISMIQUE EN DOMAINE CONVERGENT (vitesse conv. Faible pour l'essentiel accommodé au Nord de Afrique)



Chardon, 2005, d'après Rebaï et al., 1992



La Provence: Le domaine du SEISME FRANCAIS  
LE PLUS DESTRUCTEUR DU 20ème SIECLE

# Les séismes en France - Mythe ou Risque réel ?

La France domaine à sismicité modérée mais non négligeable!

Le séisme de Lambesc (11 Juin 1909,  $M=6$ ) - 46 morts, 300 victimes



Séismicité modérée, oui! mais quel est son « moteur »?

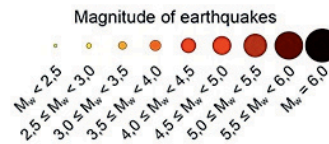
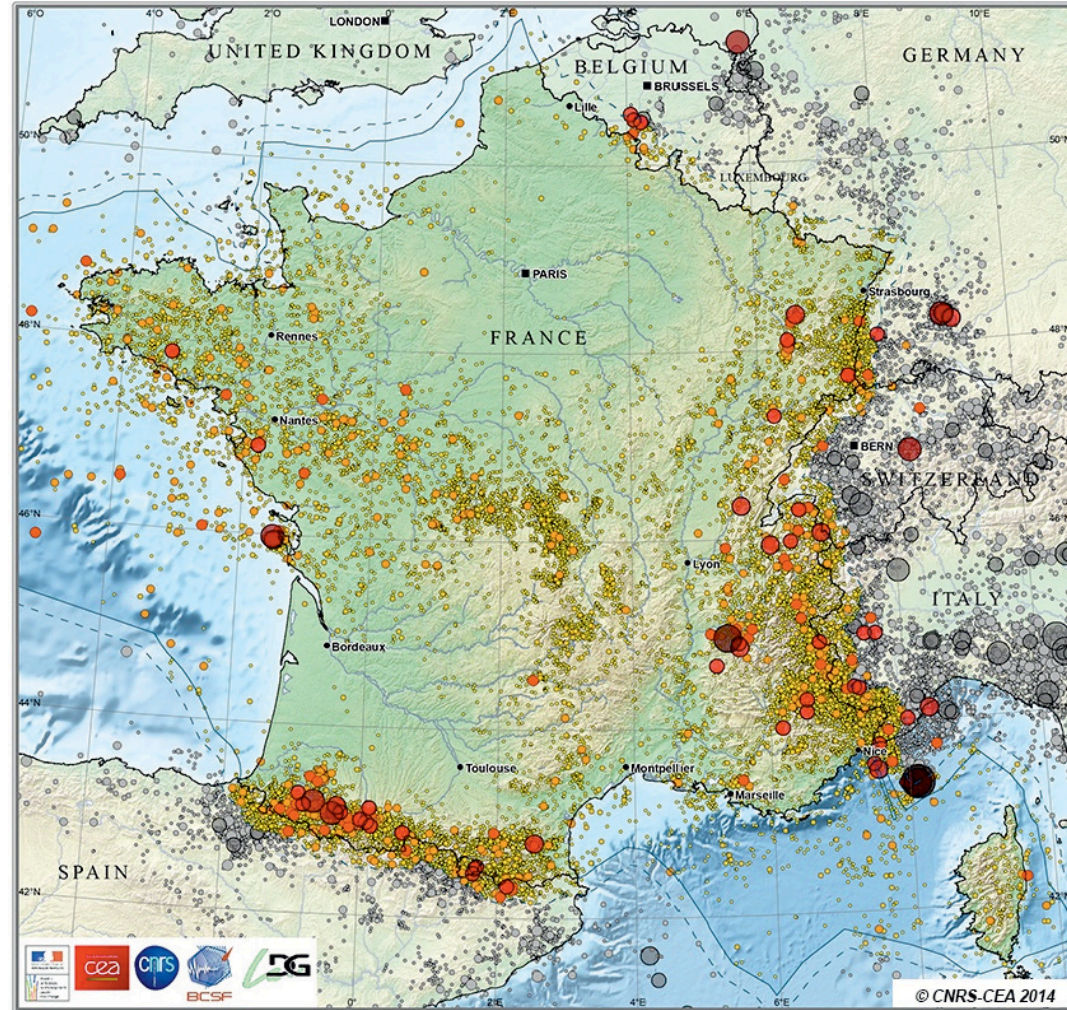


# La répartition de la sismicité en France

DOIT-ON CRAINDRE UN SÉISME CHEZ NOUS ?

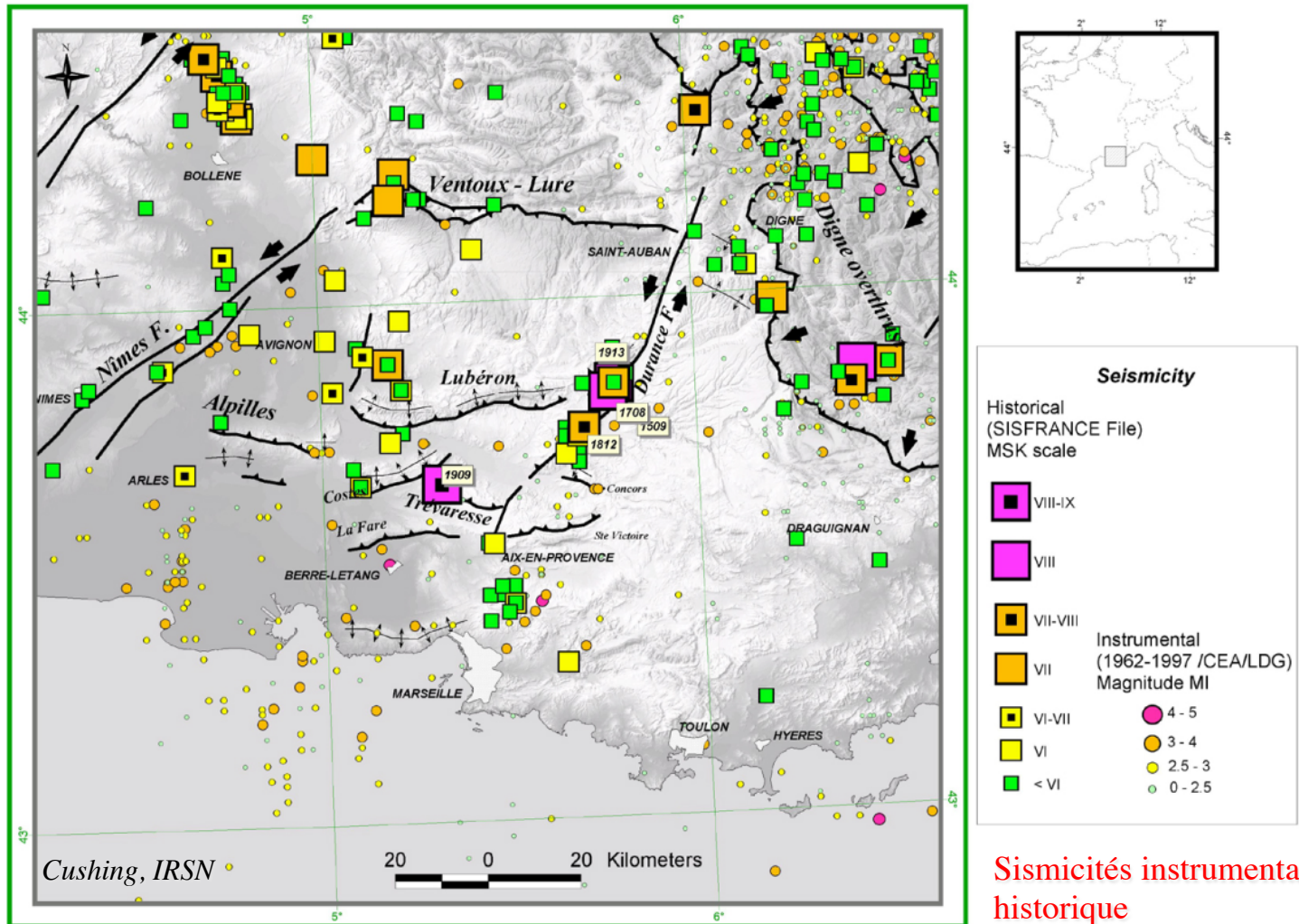


Gueluck



0 50 100 km

# Répartition de la sismicité historique et les failles en Provence



Sismicités instrumentale et historique

- 1- La Faille de la Moyenne Durance (FMD) -> faille majeure et activité sismique
- 2- La Faille de la Trevaresse -> Séisme de 1909



# La Faille de la Moyenne Durance réactivée régulièrement

## Séismicité historique

AIX-EN-PROVENCE

Mardi 25 Septembre 2012 3  
www.laprovence.com

## Ils travaillent sur la faille qui a fait trembler la Durance

Chaque année, des étudiants en géologie et géographie analysent l'une des failles les plus longues du Sud



"Pour nous éclairer sur les séismes du futur, nous ne disposons que des séismes du passé."

**U**n grand évènement, puis la terre qui bouge, les ondes sismiques, pendant deux interminables secondes. Une fois. Deux fois. Une troisième fois le lendemain. Entre mercredi 19 septembre à 21 heures, et dans la nuit de jeudi à la veille de Manosque se secouent trois fois par un séisme sur la faille de la Moyenne Durance. Des tremblements d'une magnitude jusqu'à 3,3 sur l'échelle de Richter, pas assez élevée pour endommager la moindre habitation, mais qui vient tout rappeler que la terre vit, bel et bien, de l'intérieur.

Chaque année, pendant une semaine, des étudiants en géologie et géographie d'Aix-Marseille partent en terrain pour étudier la faille de la Moyenne Durance, l'une des plus longues du Sud, et parmi les plus actives de France, qui elle s'étend de Mayenne à Nîmes. Un phénomène de 80 km de longueur. La dernière fois, il y a quelques années, quelques jours après le tremblement de Villeneuve.



**SÉISMES, FAILLES ET MAGNITUDE...**

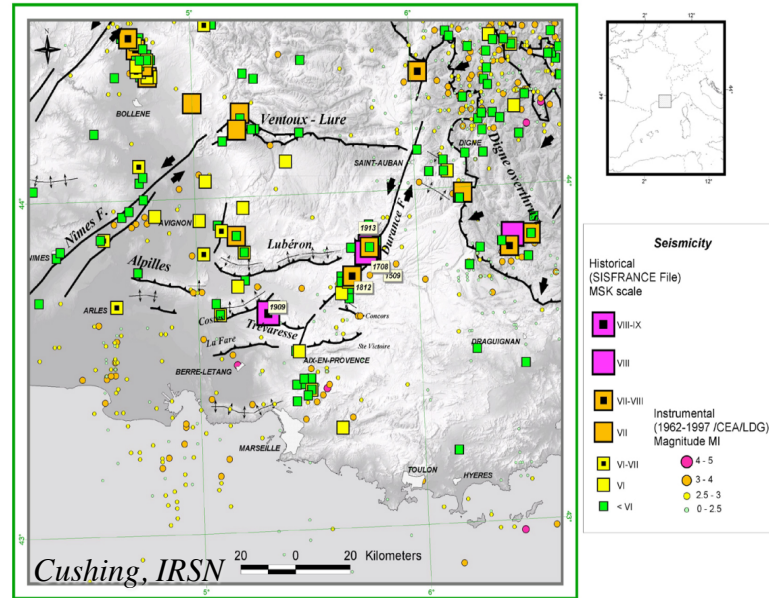
LES TROIS FAILLES. Il existe trois principales failles dans le Sud-Est de la France. La plus longue et la plus active des trois (étend sur environ 80 km, c'est celle de la Moyenne Durance qui borde la vallée de la Durance). On y a eu récemment plusieurs séismes, dont le plus récent d'une magnitude de 3,5,5 en 2010 et 2012 notamment. Il existe également la faille de la Haute-Provence et celle de la Haute-Corse qui passe entre la Luberon et les Alpes. Elles se connectent aux châteaux de Ventoux et Lure, et se prolongent vers le Sud dans la Mer Méditerranée. Quant au séisme de 6 sur l'échelle de Richter qui a frappé Lambesc en 1909, il a été provoqué par la faille de la "Trésorerie" qui s'étend de Venelles à Saint-Cannat.

LA MAGNITUDE. On mesure la force d'un séisme sur l'échelle de Richter. On va jusqu'à 9 pour les plus énormes, celle atteinte à Kambouchi. Au-dessus de 3, le tremblement se ressent à peine. Entre 3 et 3,5, comme à Villeneuve mercredi et jeudi dernier, elle se ressent clairement mais ne provoque pas de dégât en surface. À 4, le séisme peut provoquer des fissures, à partir de 4,5 des endommagements.



En 2013, les projets deviennent réalité. Dans quelques semaines, au terme d'un chantier hors du commun mené en un temps record, c'est un Vieux-Port apaisé qui sera rendu aux Marseillais. Avec de nouveaux usages à découvrir et la fierté partagée d'un site emblématique du Marseille de demain...

EUGENE CASELLI  
PRÉSIDENT DE MARSEILLE PROVENCE MÉTROPOLE



## Séismicité instrumentale (séismologie)

- Le séisme de Manosque du 8 Juillet 2010, M: 3 (très superficiel)
- Le séisme de Villeneuve du 19 Sept. 2012, M: 3,5

Petits séismes non destructeurs mais qui néanmoins secouent les populations



# Morpho-Tectonique

localisation et quantification (vitesse) des failles rapides – facile!

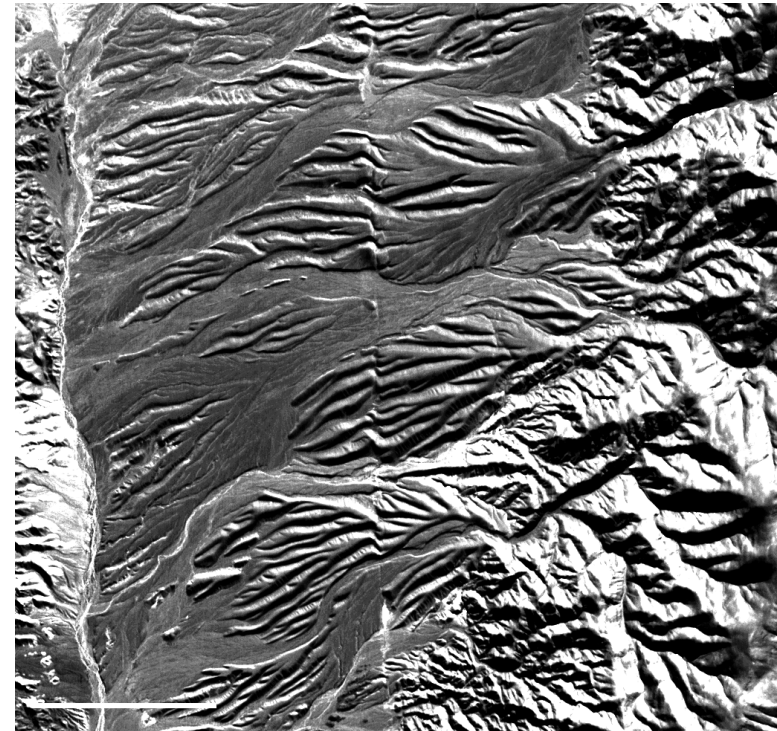


## Localisation

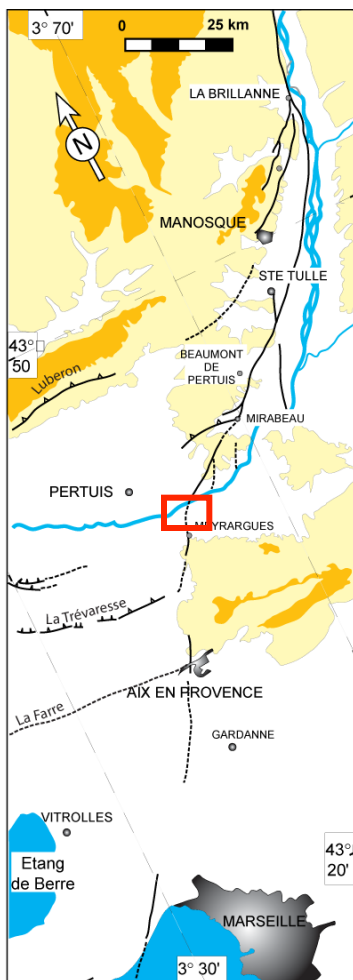
Trace géomorphologique : relief – signal topo – associé à activité de la faille

## Vitesse

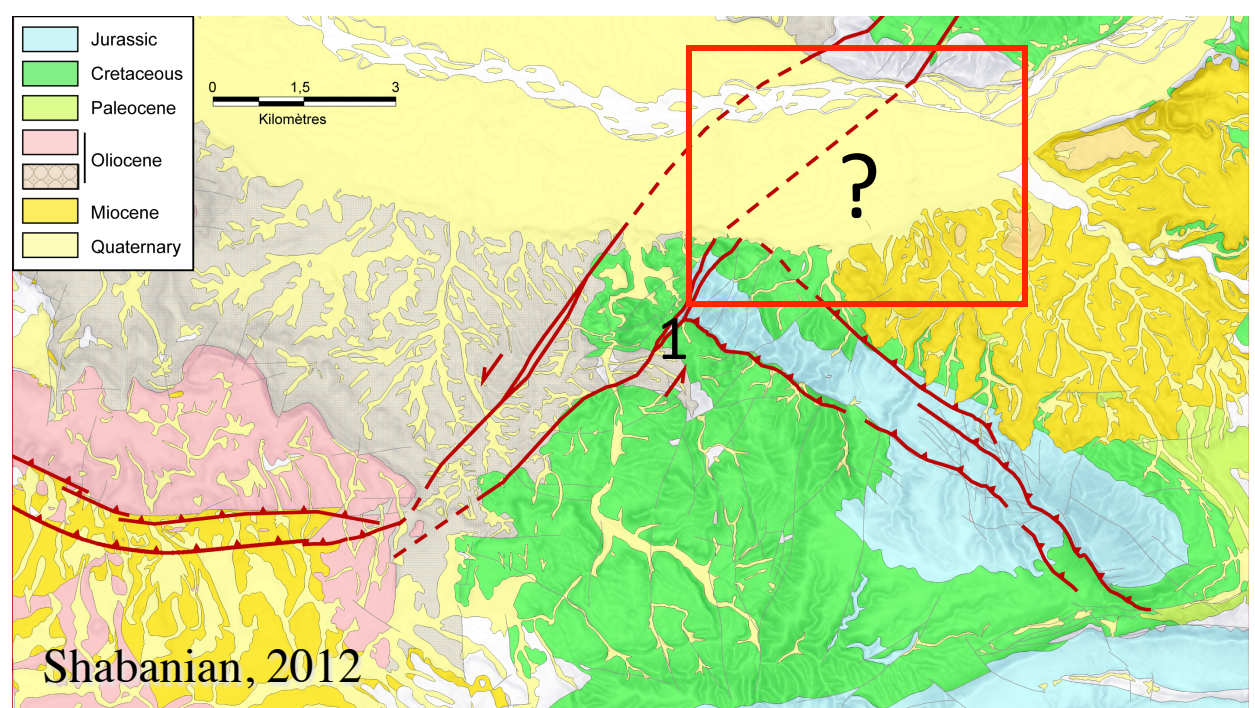
Marqueurs géomorphologiques décalés et datés : vitesse ( $V=d/t$ )



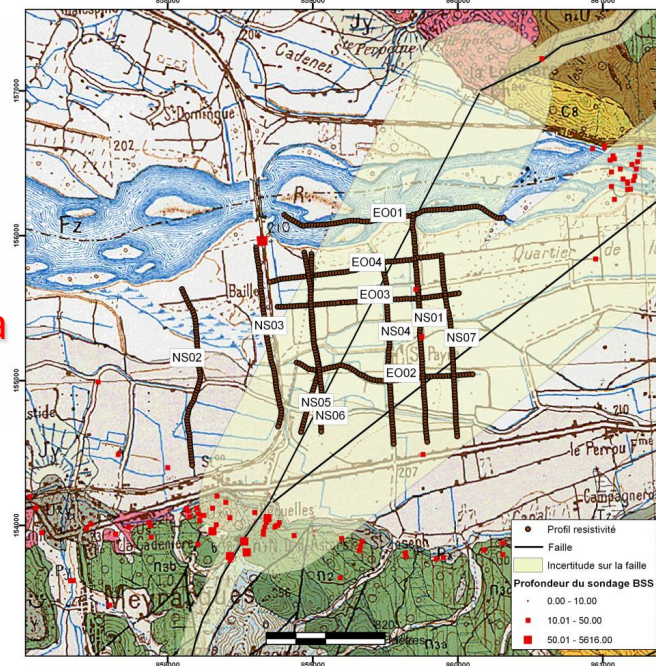




Guignard, Bellier, Chardon, 2005

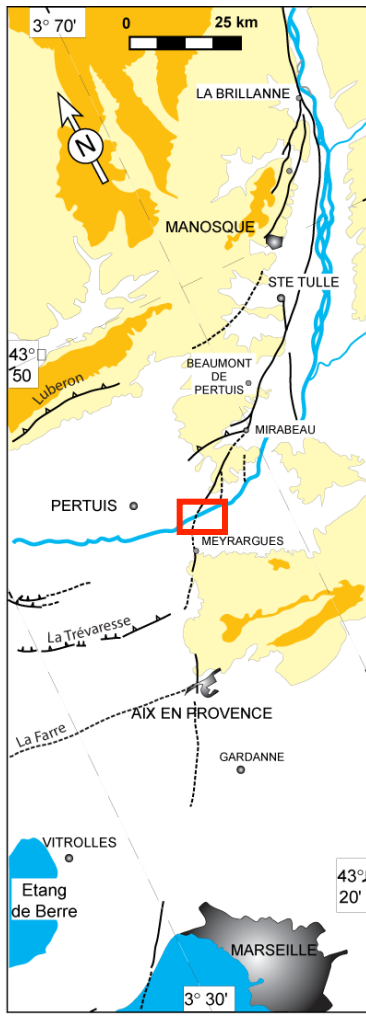


Shabanian, 2012

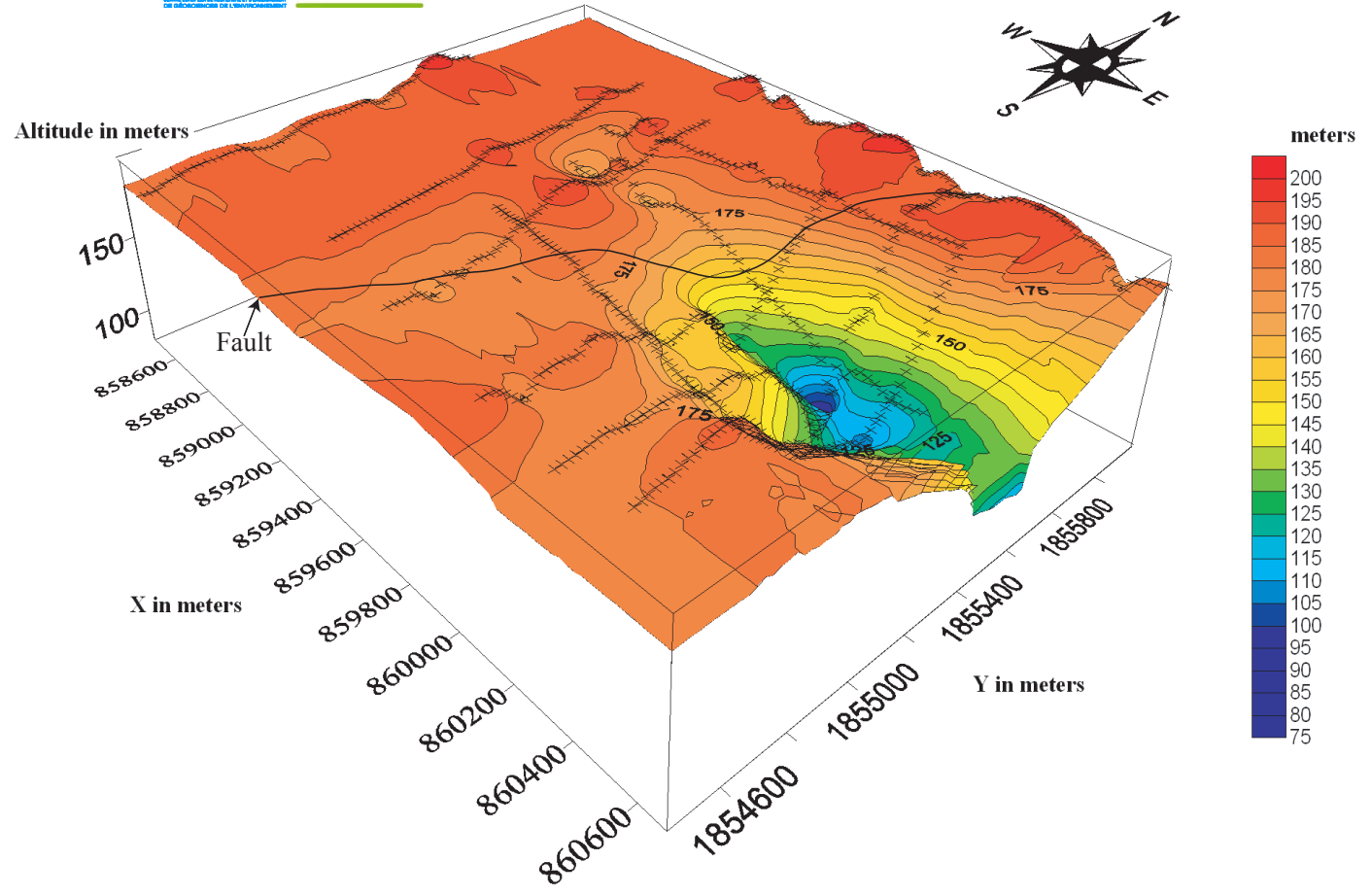


Localisation et détermination de la vitesse de la Faille de la Moyenne Durance (secteur de Meyrargues)

Investigation de géophysique: tomographie électrique & sismo (H/V) - collaboration CEREGE, IRSN, CEA



Guignard, Bellier, Chardon, 2005



## Vitesse de déplacement intégrée sur 4-5 Ma :

déplacement vertical : 100 m => 0,02-0,025 mm/a / dépl. horizontal : 0,1-0,2 mm/a ?



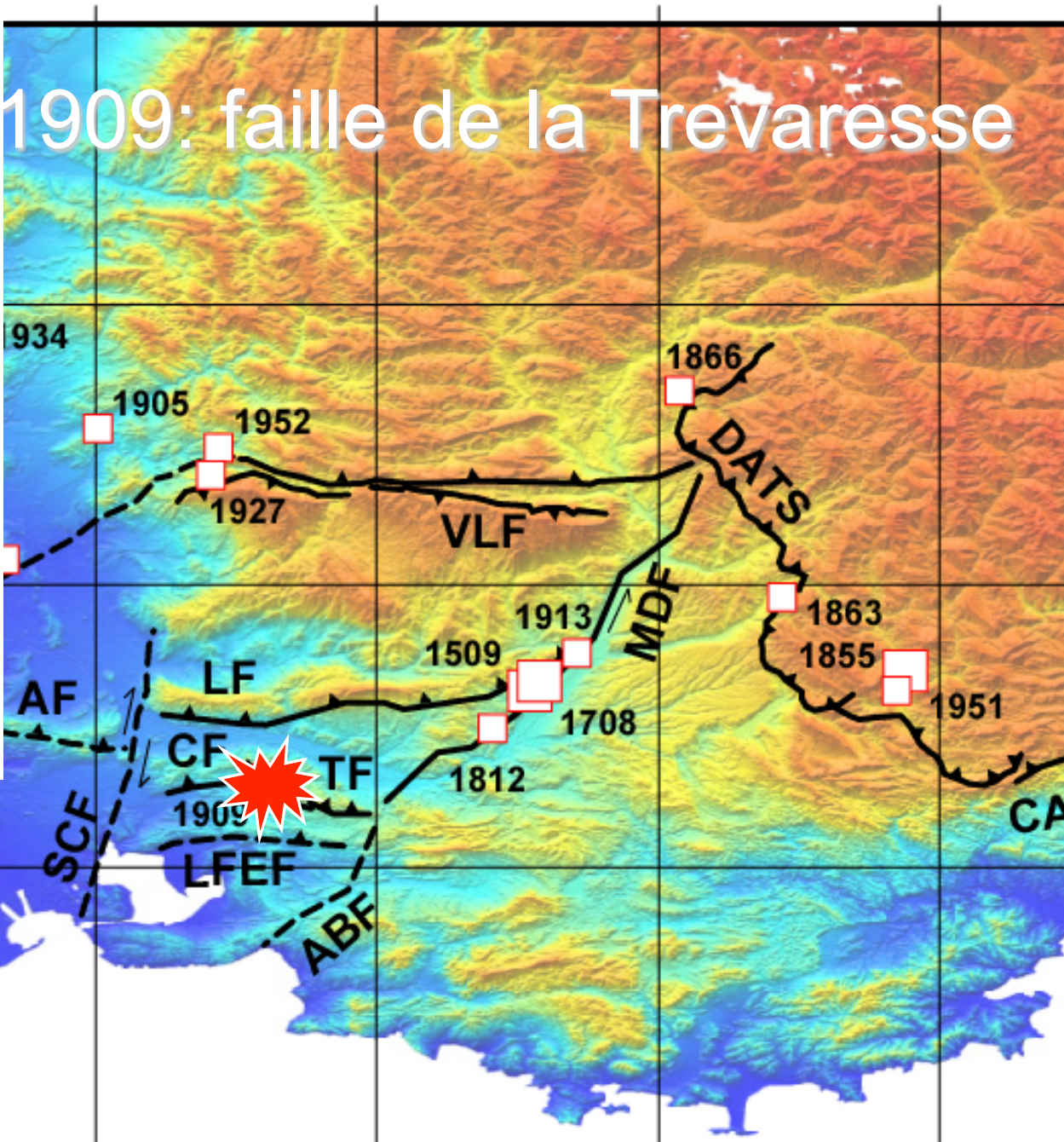
# Le Petit Journal

Le Petit Journal 5 CENTIMES SUPPLÉMENT ILLUSTRE 5 CENTIMES ABONNEMENTS  
Le Petit Journal agricole, 5 cent. — La Mode du Petit Journal, 5 cent.  
Le Petit Journal d'arts et de lettres, 10 cent.  
En vente sans frais dans les bureaux de poste  
DIMANCHE 27 JUIN 1909



LE TREMBLEMENT DE TERRE DU MIDI

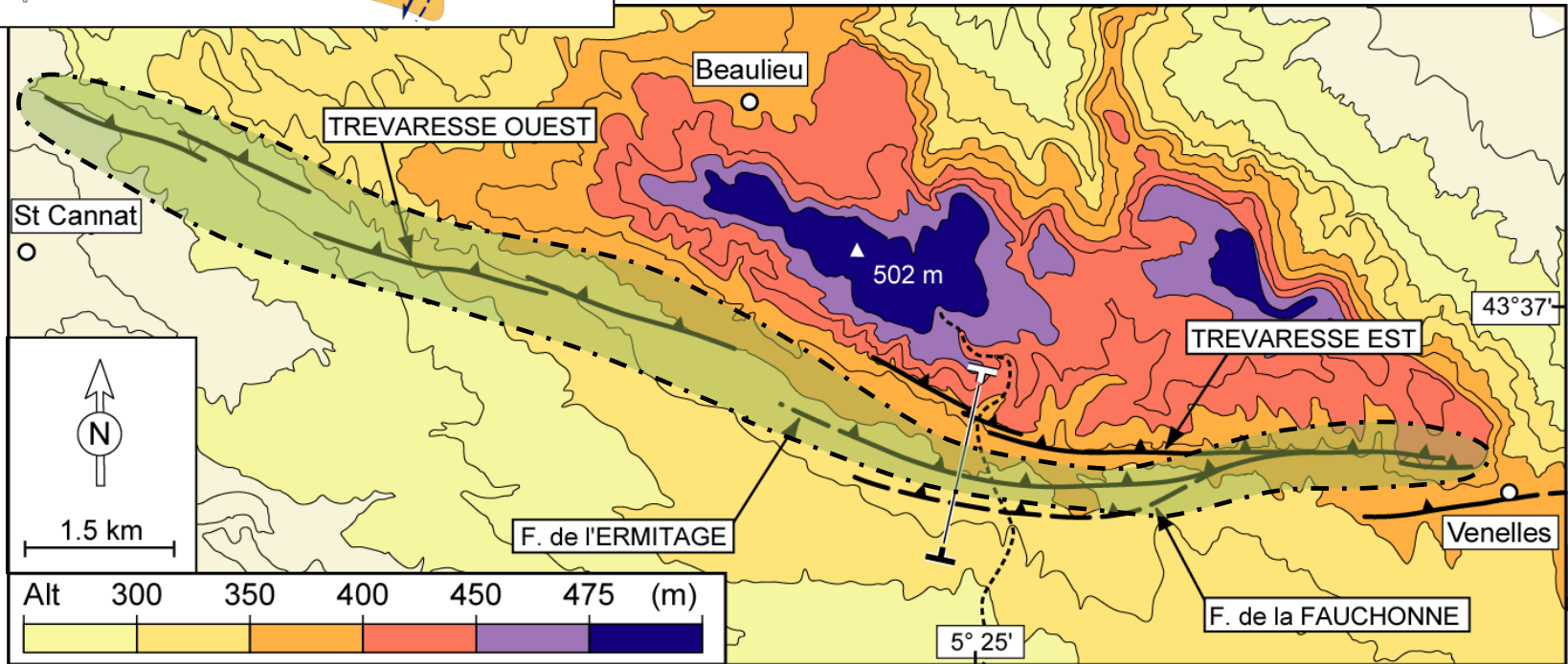
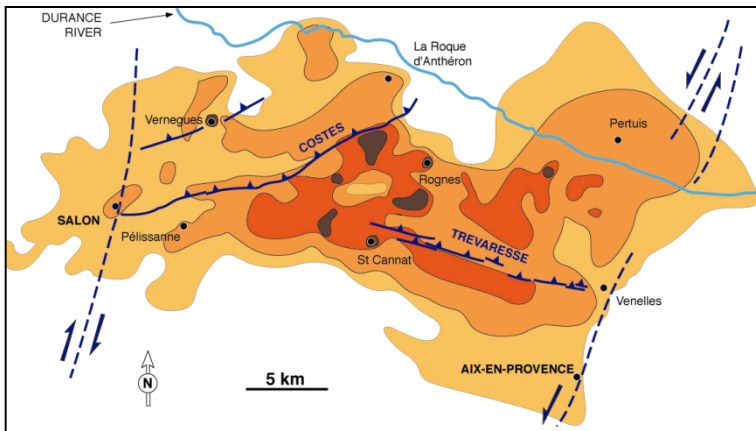
## 1909: faille de la Trevaresses



# Séisme de Lambesc (1909)

Faille de la Trevarresse « source » du 1909

Faille / Relief : le chaînon de la Trevarresse



Chardon et al., 2005

Segmentation : 2 segments majeurs

L (total) : 14-18 km    => Mw : 5.7-6.3

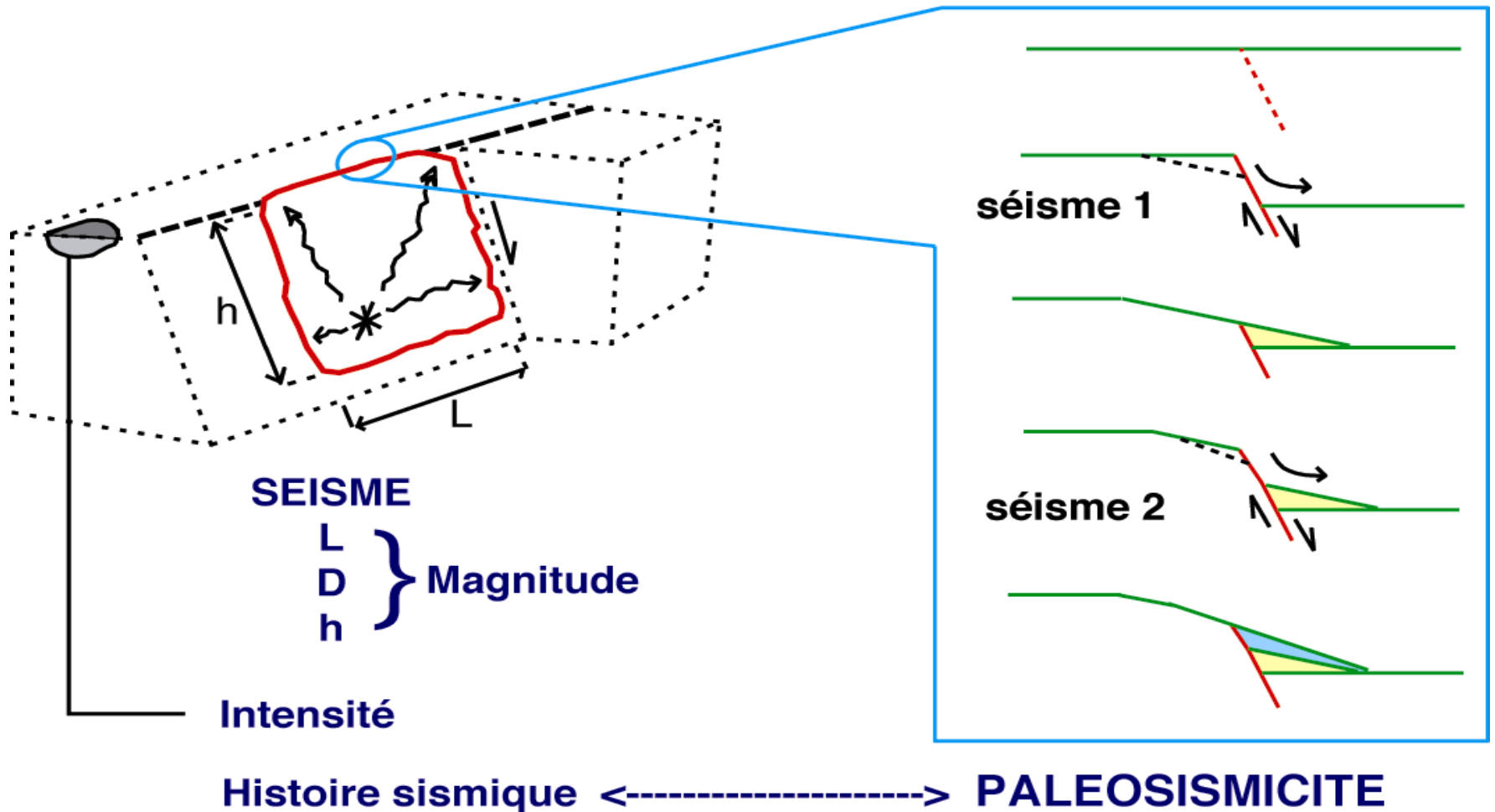
/ Mw 1909 : 6.0



# La paléosismologie :

Comprendre à l'échelle de la faille : cycle sismique?

## ANALYSE GEOLOGIQUE DES FAILLES ACTIVES





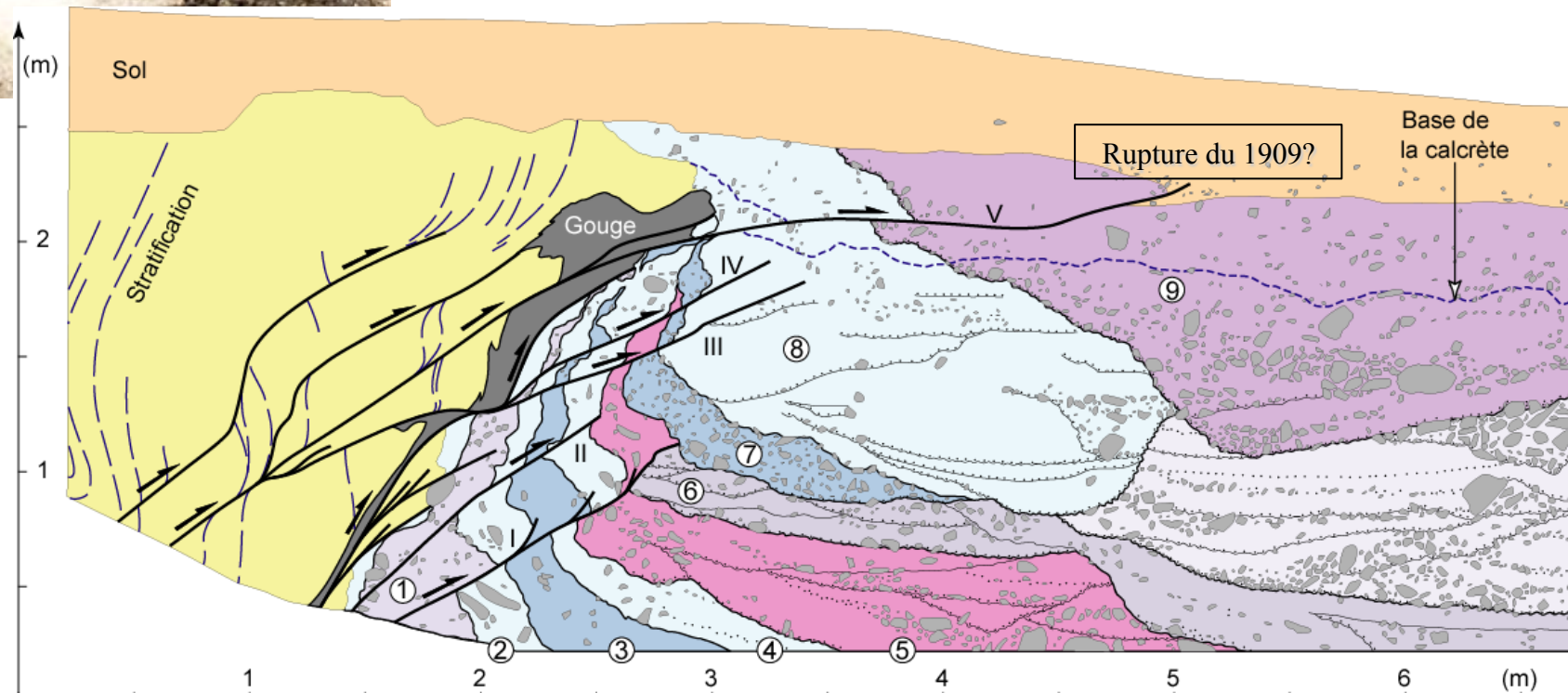


Paléosismologie :

=> 3 à 10 ruptures (< 300 ka)

Vitesse déplacement (8-17m) sur dernier 300 ka  
environ 0.05 mm/an

Récurrence « raisonnable » (M: +/- 6)  
(>> 1000 ans) : 4000-10000 ans



## Séismes en France : ils existent!



**Mais :**

**Les Tremblements de Terre en France sont rares**

**Les gros séismes sont très rares**

**Très très gros séismes: impossible!**

# Comprendre la Terre



Un challenge! La prévision sismique...

En attendant : la PREVENTION !

**Pour plus d'info. ([bellier@cerege.fr](mailto:bellier@cerege.fr)):**

<http://www.futura-sciences.com> - dossier: « Qu'est-ce qui fait trembler la Terre? »

<http://www.univ-cezanne.fr> - dossier: « Paroles d'experts » (Univ. AM3), n°2 Sept 2011

Article récent: « Paroles d'experts » lettre d'AMU (Aix-Marseille Univ.), n°8 Janv. 2013

Livre : « Séismes en Provence... » de E. Bonnet-Vidal & O. Bellier

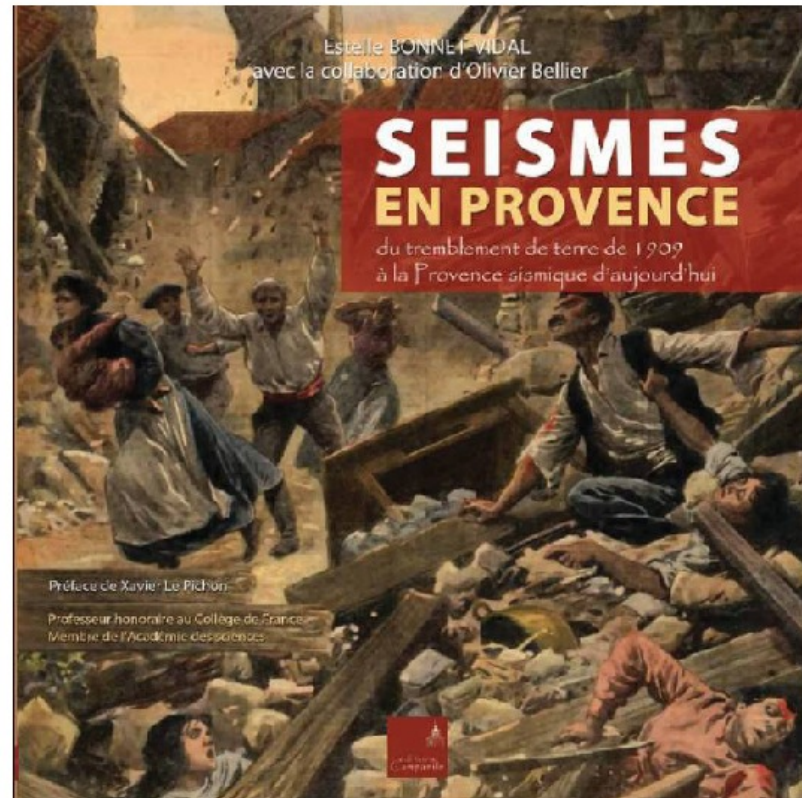
Deux films à voir à la "Villa Méditerranée" - parcours « Echelle des Temps » - 2 films de 4 mn seulement qui valent le détour

Tectonique des plaques - <https://www.youtube.com/watch?v=9v225c8pD0w>

La Crise Messinienne - <https://www.youtube.com/watch?v=bkrAZ4mpMZg>



# Vient de paraître Editions CAMPANILE



Par Estelle Bonnet-Vidal  
avec la collaboration d'Olivier Bellier  
préface de Xavier Le Pichon

disponible à la fnac, éditions campanile  
et votre marchand de journaux