



The image features a geological map of the Fos-sur-Mer region. The map is overlaid with a semi-transparent blue rectangle. The text 'Failles actives et séismes dans la région de Fos-sur-Mer' is centered over the map. The map itself shows various geological features, including faults (represented by lines with arrows) and seismic activity (represented by small circles). The map is color-coded, with different colors representing different geological units. The map is framed by a blue border. In the top right corner, there is a small inset map showing a larger geographical context. The map includes coordinates: 2113.21 5766 130 at the top and -1.99 3740 46 -625 5 at the bottom.

# Failles actives et séismes dans la région de Fos-sur-Mer

[m.terrier@brgm.fr](mailto:m.terrier@brgm.fr) expert risques naturels, BRGM Orléans  
[f.rivet@brgm.fr](mailto:f.rivet@brgm.fr) géologue risques naturels, BRGM Marseille

BRGM – Service Géologique Régional PACA / Service Risques Naturels et Stockage de CO<sub>2</sub>-  
unité Risque sismique



jeudi 25 novembre 2010

# Plan de l'exposé

- > **Notions**
- > **Contexte sismotectonique**
- > **Failles majeures actives proches de Fos-sur-Mer**
- > **Règlementation sismique actuelle**
- > **Evolution de la réglementation française**

# Séisme : rupture d'une cassure ou faille dans l'écorce terrestre

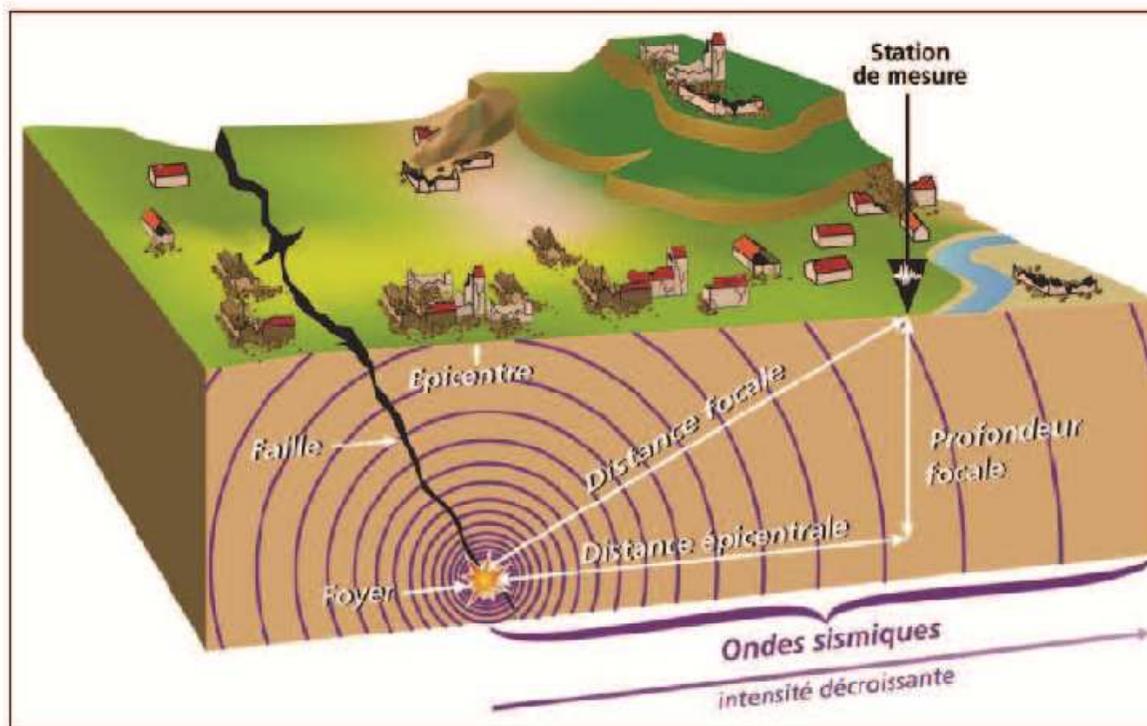
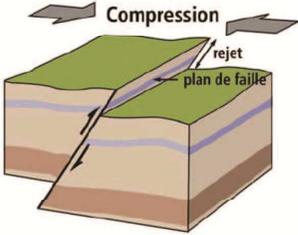
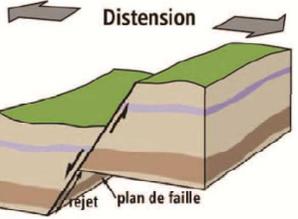
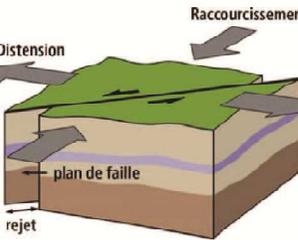
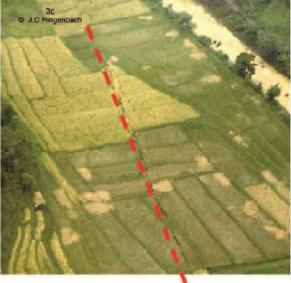


Figure 9 - Séisme : Représentation schématique de la rupture sismique d'une faille  
(Extrait du Classeur « Le risque sismique en Provence », edit. BRGM, DIREN-PACA, Conseil régional-PACA, décembre 2006)

<p><b>Faïlle inverse ou chevauchante</b></p> 	<p>Mouvement inverse d'une faille (Séisme de Spitak, Arménie (1988), photo BRGM P. Mouroux)</p> 	<p>Mouvement inverse de la faille d'El Asnam, Algérie (Séisme de 1959, photo IPG-P, R. Armijo)</p> 
<p><b>Faïlle normale</b></p> 	<p>Faïlles normales en Guadeloupe (photo BRGM, G. Bertrand)</p> 	<p>Faïlle normale en Nouvelle Zélande (Séisme d'Edgcumbe, 1988)</p> 
<p><b>Faïlle décrochante</b></p>  <p><i>Le rejet de la faille correspond au décalage des deux compartiments. En cas de rupture sismique, cette valeur est proportionnelle à l'énergie dissipée, c'est-à-dire la magnitude.</i></p>	<p>Mouvement décrochant d'une faille, rejet d'environ 3 m (Séisme de Turquie, 1999, photo prise à Gölçük, par P. Mouroux, BRGM)</p> 	<p>Faïlle à mouvement décrochant (Séisme de Luzon, Philippines, 1990, photo J.C. Flinchbach)</p> 

## 3 types de failles

## Magnitude : exprime l'énergie libérée par un séisme

Magnitude	Énergie libérée	Durée de la rupture	Valeur moyenne du rejet	Longueur moyenne du coulissage	Nombre de séismes par an dans le monde (ordre de grandeur)
9	$E \times 30^5$	250 s	8 m	800 km	1 tous les 10 ans
8	$E \times 30^4$	85 s	5 m	250 km	1
7	$E \times 30^3$	15 s	1 m	50 km	10
6	$E \times 30^2$	3 s	20 cm	10 km	100
5	$E \times 30$	1 s	5 cm	3 km	1 000
4	E	0,3 s	2 cm	1 km	10 000
3	$E / 30$				> 100 000
2	$E / 30^2$				
1	$E / 30^3$				

Figure 10 - Séisme : Les équivalences de l'échelle de Richter : magnitude, énergie, durée, rejet, longueur du plan de faille rompu, fréquence mondiale annuelle.

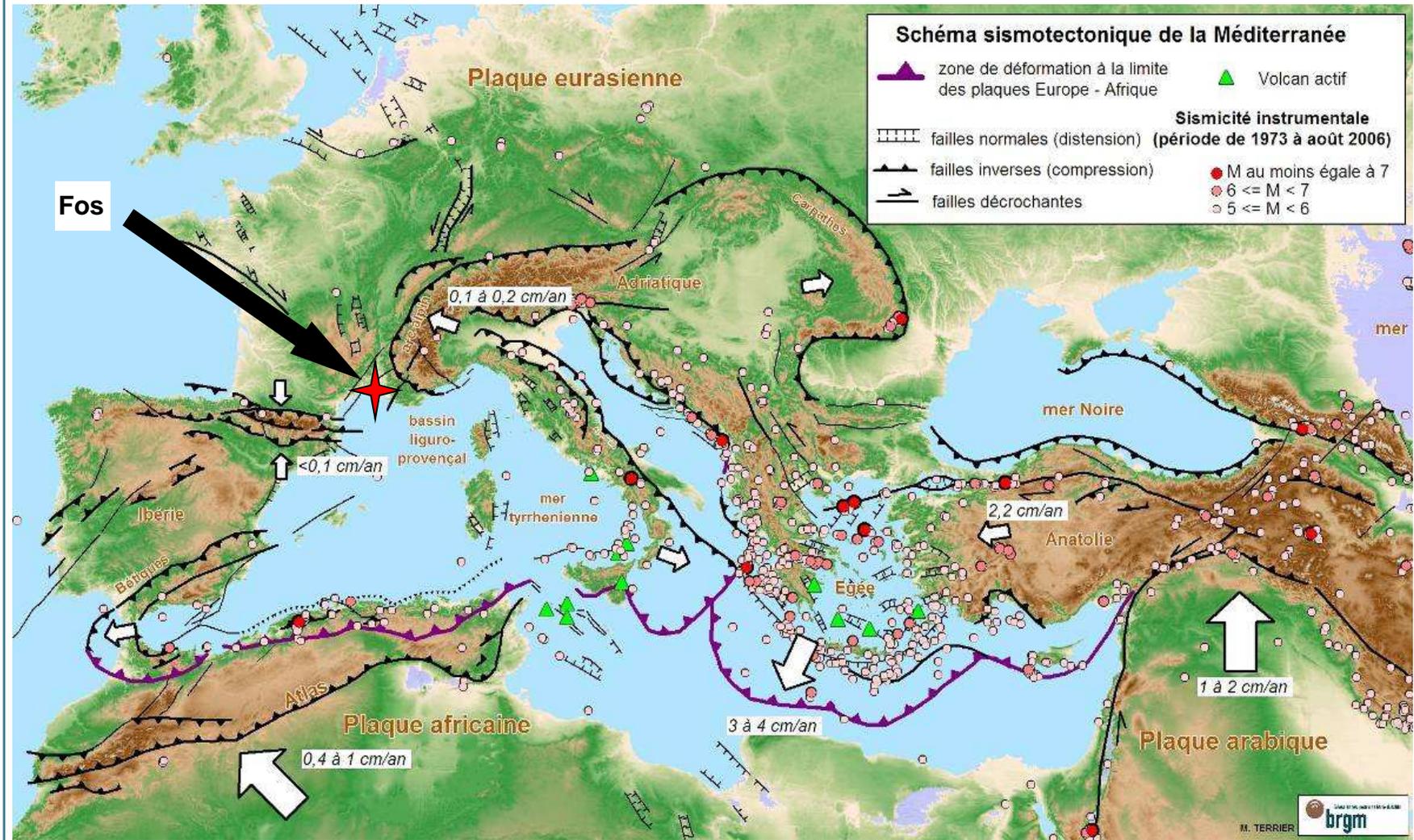
## Intensité : exprime les effets ressentis

I	Imperceptible	
II	A peine senti	Ressenti seulement par quelques rares personnes au repos dans leurs habitations.
III	Faible	Ressenti par quelques personnes à l'intérieur des bâtiments. Les personnes au repos ressentent une oscillation ou un léger tremblement.
IV	Largeement senti	Ressenti par de nombreuses personnes à l'intérieur des bâtiments, par quelques rares personnes à l'extérieur. Quelques personnes endormies sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle font un bruit de tremblement.
V	Fort	Ressenti par la plupart des personnes à l'intérieur des bâtiments, par quelques personnes à l'extérieur. De nombreux dormeurs sont réveillés. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans toute leur structure. Les objets suspendus oscillent nettement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent et se ferment.
VI	Dégâts légers	De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent à l'extérieur des bâtiments. Quelques objets tombent. Quelques maisons subissent de légers dégâts non structuraux (légères fissures, chute de petits morceaux de plâtre).
VII	Dégâts	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent à l'extérieur des bâtiments. Le mobilier est déplacé et les objets tombent des étagères en grand nombre. De nombreux bâtiments bien construits subissent des dégâts modérés (petites fissures dans les murs, chutes de plâtre, chutes partielles de cheminées). Des bâtiments plus anciens présentent des fissures dans les murs et des désordres au niveau des cloisons.
VIII	Dégâts importants	De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à se tenir debout. De nombreuses maisons présentent des crevasses dans les murs. Quelques bâtiments bien construits présentent des désordres au niveau des murs, tandis que d'autres bâtiments plus anciens s'effondrent partiellement.
IX	Destructeur	Panique générale. De nombreuses constructions s'effondrent. Même les bâtiments bien construits présentent des dégâts très importants (désordres au niveau des murs et effondrement partiel des structures).
X	Très destructeur	De nombreux bâtiments pourtant bien construits s'effondrent.
XI	Catastrophe	La plupart des bâtiments bien construits s'effondrent. Quelques bâtiments construits selon les règles parasismiques sont détruits.
XII	Catastrophe complète	Presque tous les bâtiments sont détruits.

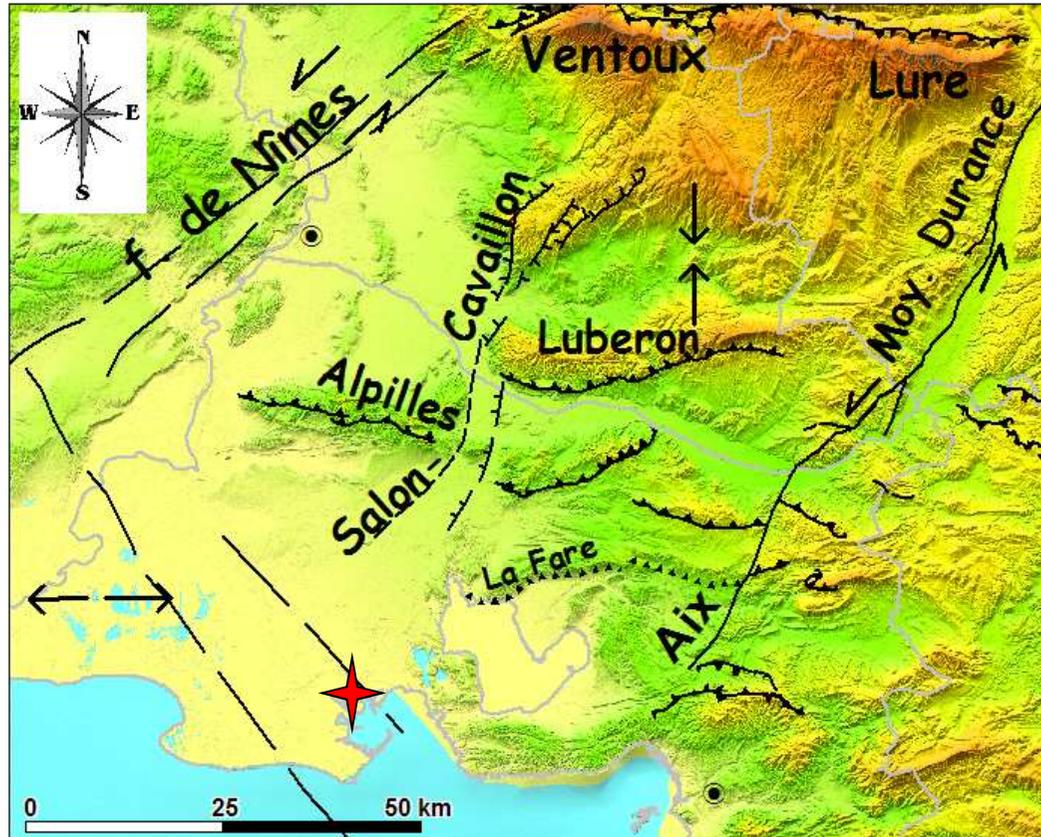
Figure 12 - Séisme : Description de l'échelle d'intensité sismique EMS98

# Contexte global méditerranéen

- Bassin méditerranéen lieu de rencontre entre deux grandes plaques : Afrique et Eurasie => influence sur le sud-est de la France



# Contexte géodynamique



## Jeu des failles actives

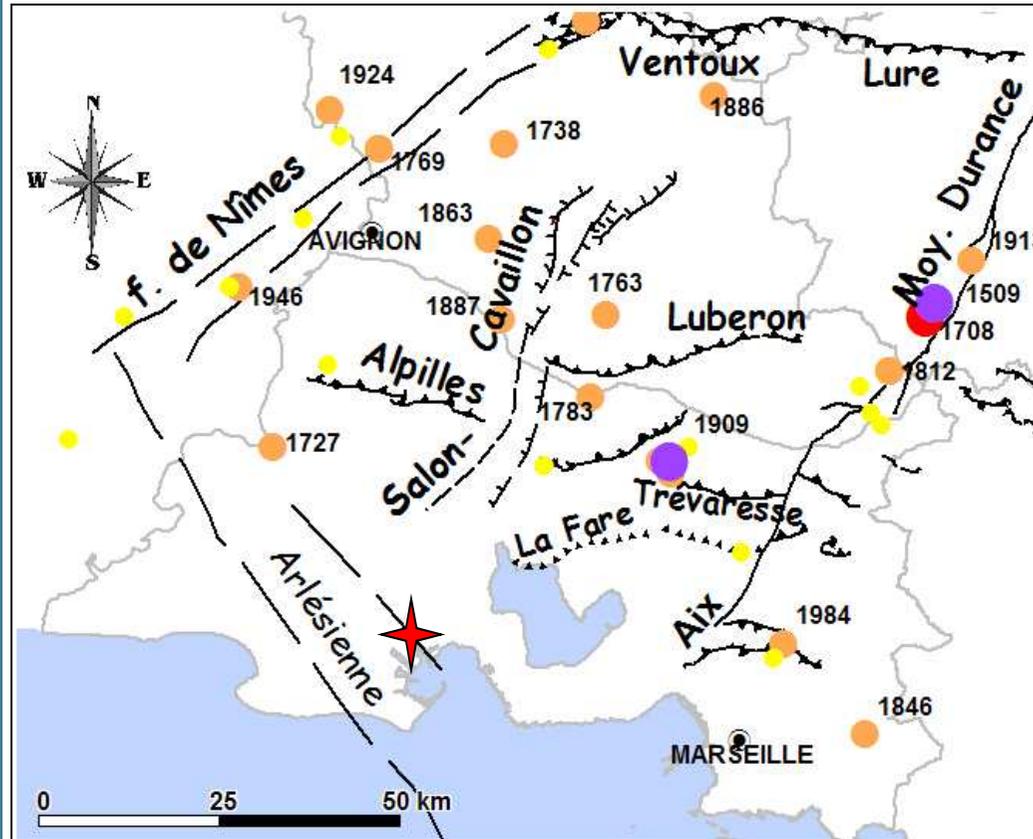


## Directions des contraintes



- Sud est de la France fracturé en plusieurs blocs qui bougent les uns par rapport aux autres
- Bloc nord provençal délimité par des structures tectoniques actives : faille de Nîmes, chevauchement du Ventoux et de Lure, faille de la Moyenne Durance
- Vitesse de déformation lente (inférieure au mm/a)
- Région à sismicité modérée
- 2006 : Etude sur l'identification et hiérarchisation des failles actives en PACA
- 2008 : Etude sur le système de failles de Salon-Cavaillon

# Séismes historiques



➤ 40 séismes historiques d'intensité supérieure à V recensés dans un rayon inférieur à 100 km

➤ Parmi les intensités les plus élevées les plus proches de la zone :

- séisme de Provence de 1909  $I_0$ =VIII-IX à environ 45 km
- séisme de la chaîne de l'Etoile du 19/02/1984  $I_0$ =VI à environ 50 km

D'après BRGM, EDF, IRSN, Sisfrance 2010

- Intensité épiscopentrale comprise entre V et V-VI
- Intensité épiscopentrale comprise entre VI et VI-VII
- Intensité épiscopentrale comprise entre VII et VII-VIII
- Intensité épiscopentrale comprise entre VIII et VIII-IX

## Jeu des failles actives

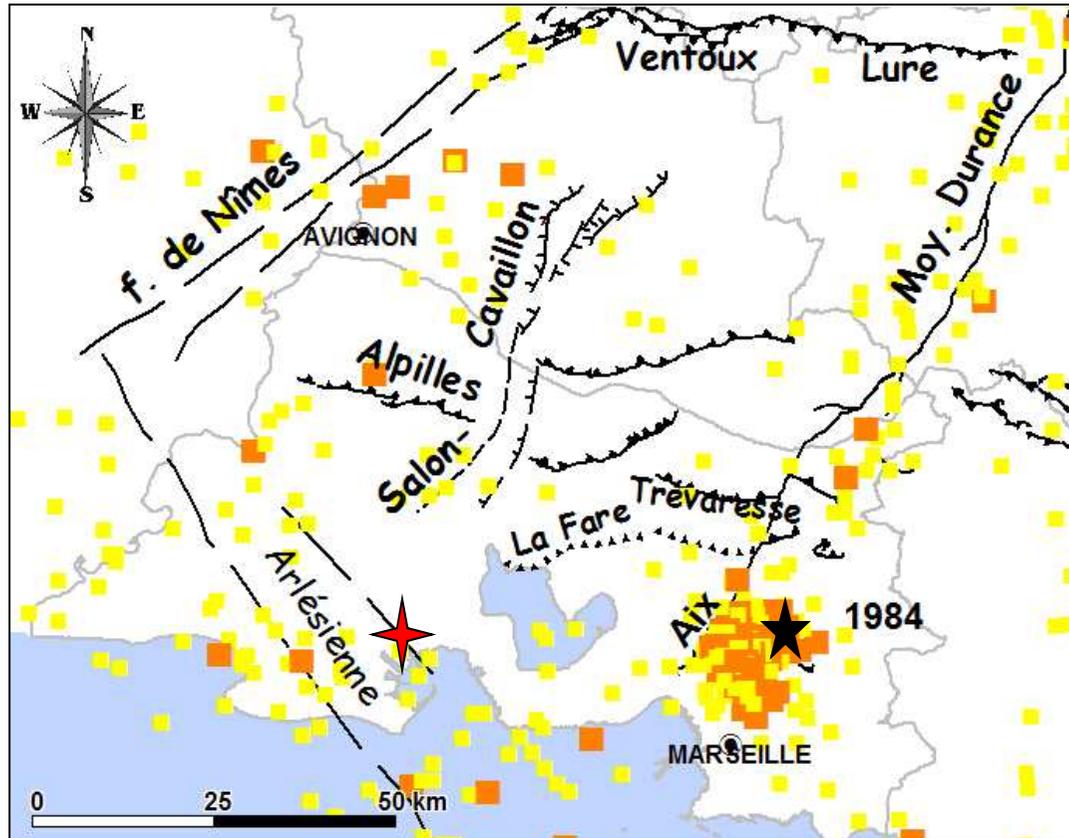
- ▲ inverse
- ▬ normal
- décrochant



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Séismes instrumentaux



Catalogue de sismicité : LDG de 1962 à 1979, BCSF de 1980 à 2003, RéNASS de 2003 à 2009

Epicentres et magnitudes enregistrées (MI RéNASS)

- $2 \leq MI < 3$
- $3 \leq MI < 4$

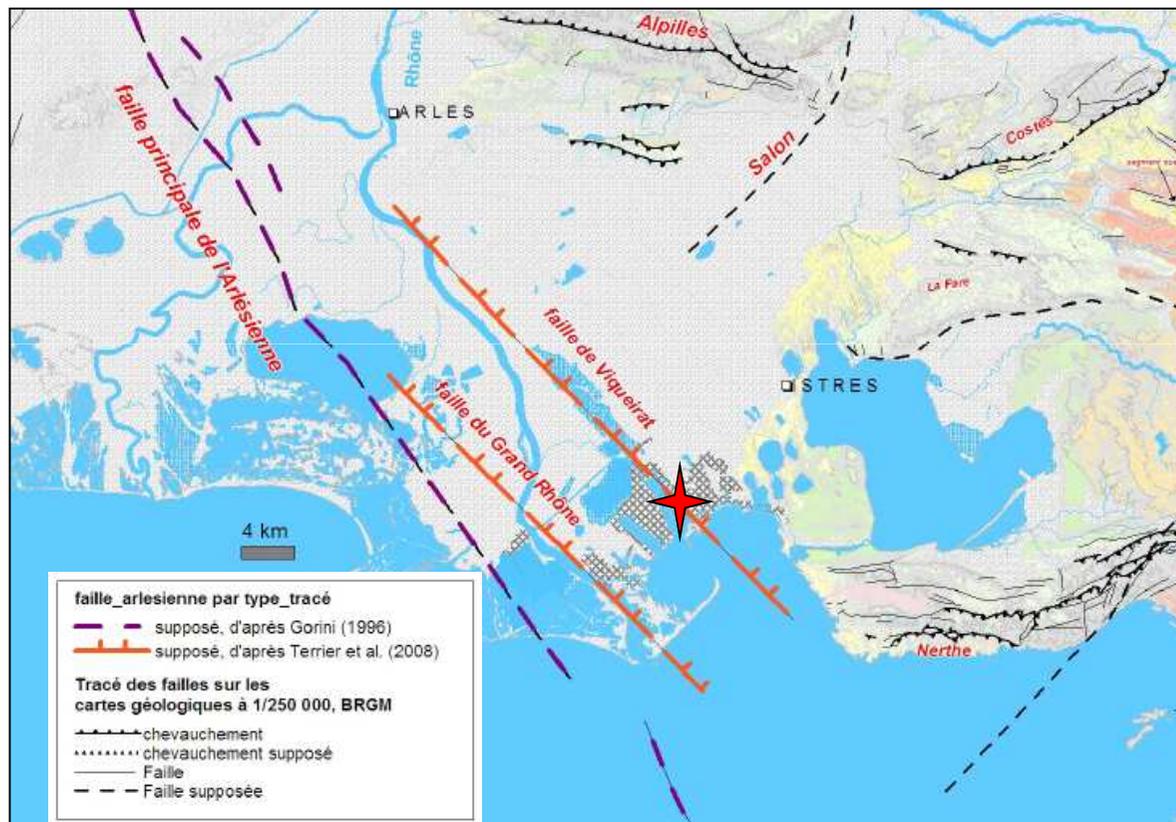
Jeu des failles actives

- inverse
- normal
- décrochant

- plus de 500 séismes enregistrés dans un rayon de moins de 60 km
- il s'agit principalement de magnitudes faibles, inférieures à 3
- essaim de séismes autour du massif de l'Etoile d'origine anthropique
- magnitude la plus forte enregistrée à Mimet le 19/02/1984,  $MI = 4,5$

# Failles actives proches de Fos/Mer

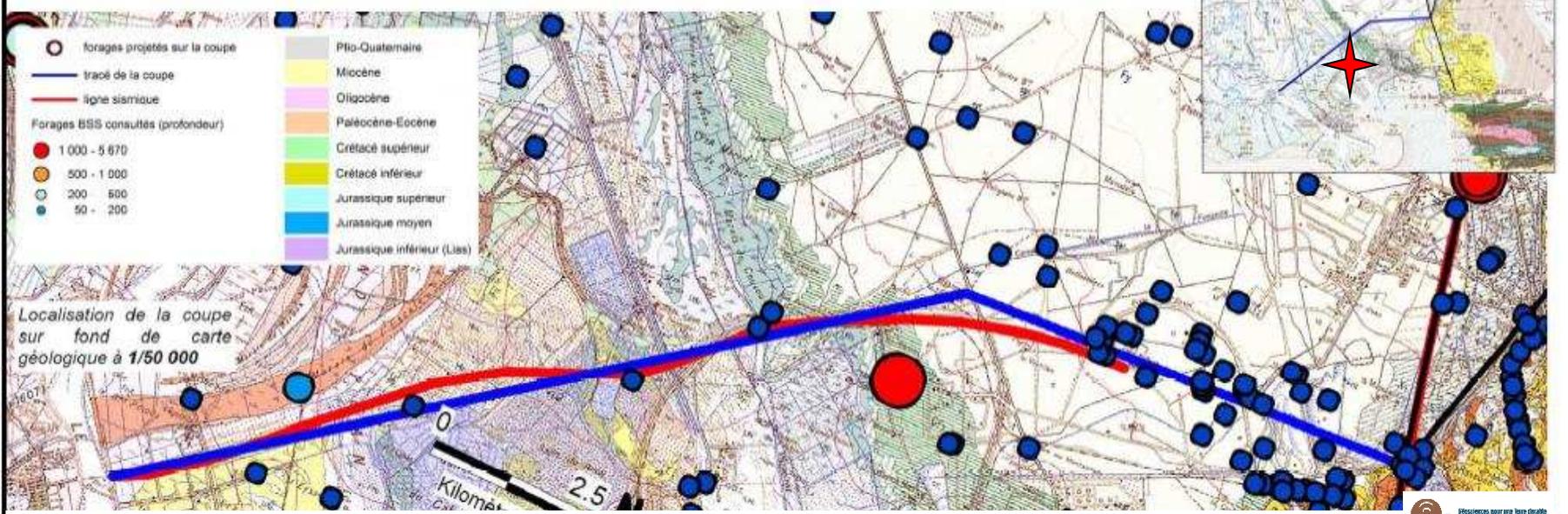
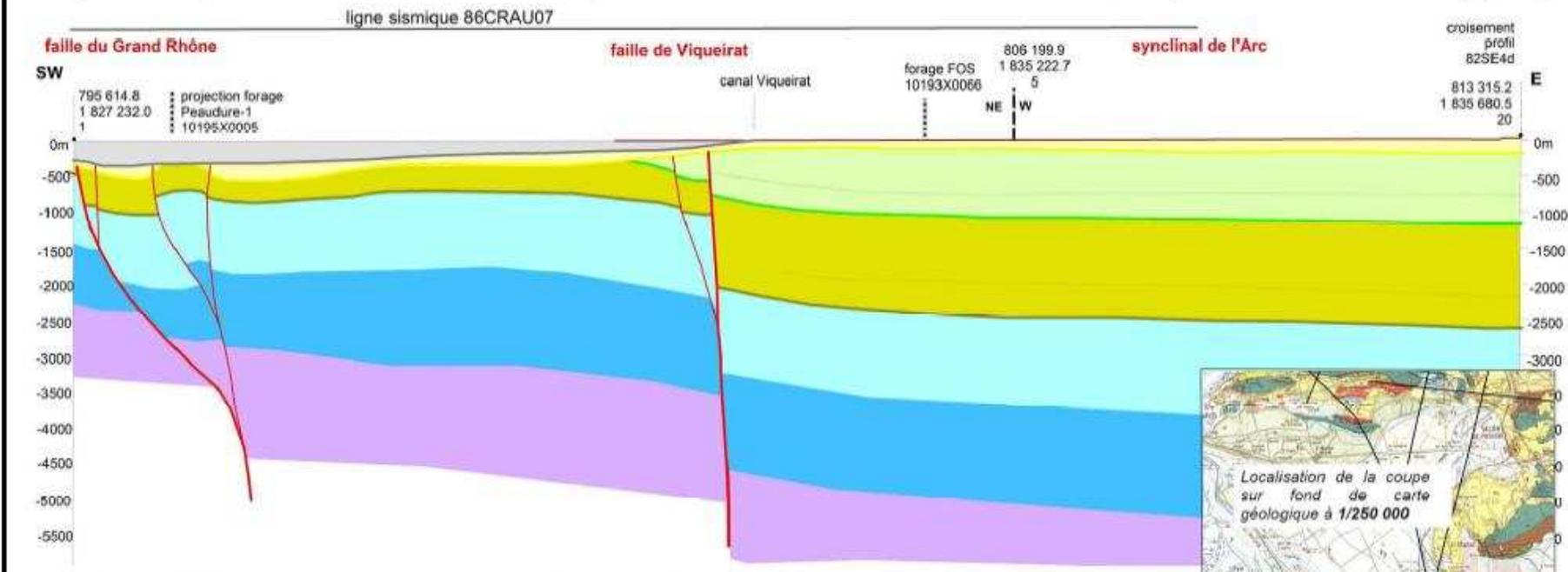
## Faille arlésienne



Terrier, 2008

- faille masquée dont les connaissances sont assez succinctes ;
- faille de direction N145E, de longueur environ 60 km sur terre, et un prolongement en mer de plusieurs dizaines de km ;
- nombreux petits séismes de magnitude inférieure à 3 sont enregistrés à proximité de la faille arlésienne, mais la disposition de ces séismes est assez diffuse=> corrélation avec la faille est donc très hypothétique. L'épicentre du séisme du 07/08/1992, M = 3, localisé en Camargue, se trouve à l'aplomb de la faille.
- séisme du 27/05/1727 au nord de la faille d'intensité épicentrale comprise entre V et VI, situé à l'intersection faille de Nîmes/faille arlésienne ;

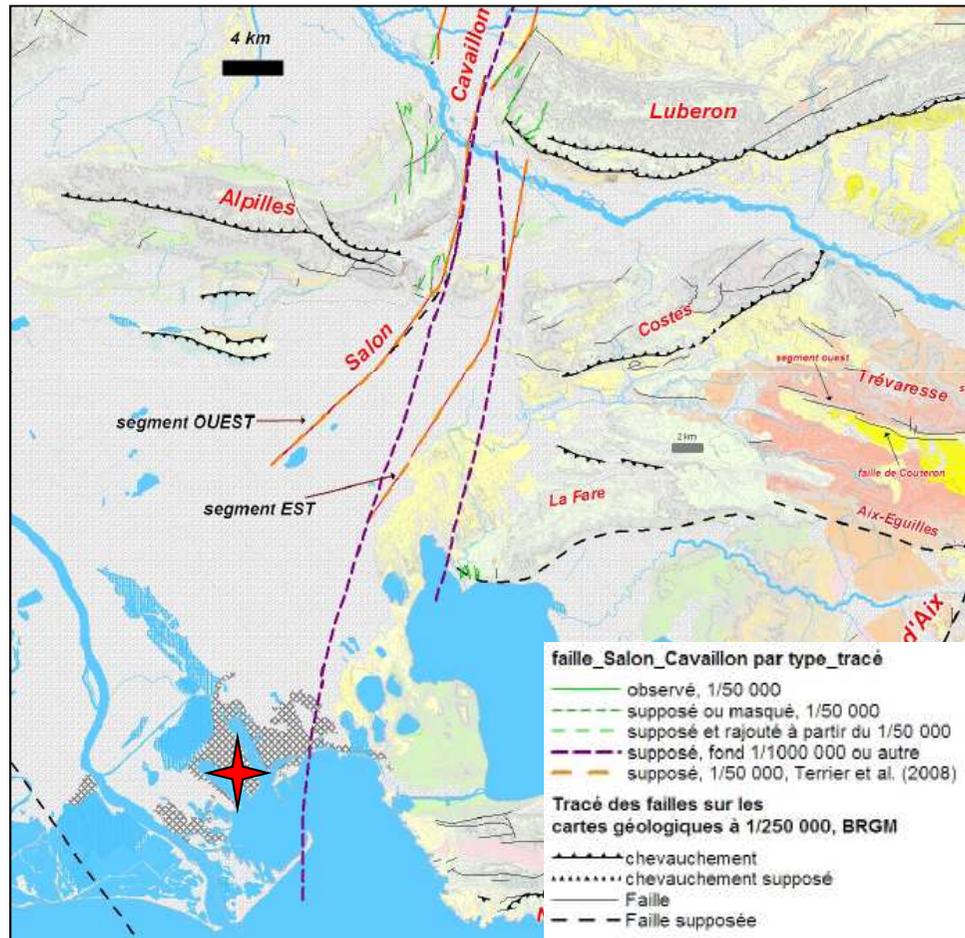
# Coupe interprétative au niveau du système de failles de l'Arlésienne, d'après Terrier et al. (2008)



Classement 2006 mis à jour 2008 : faille d'activité moyenne / connaissance faible



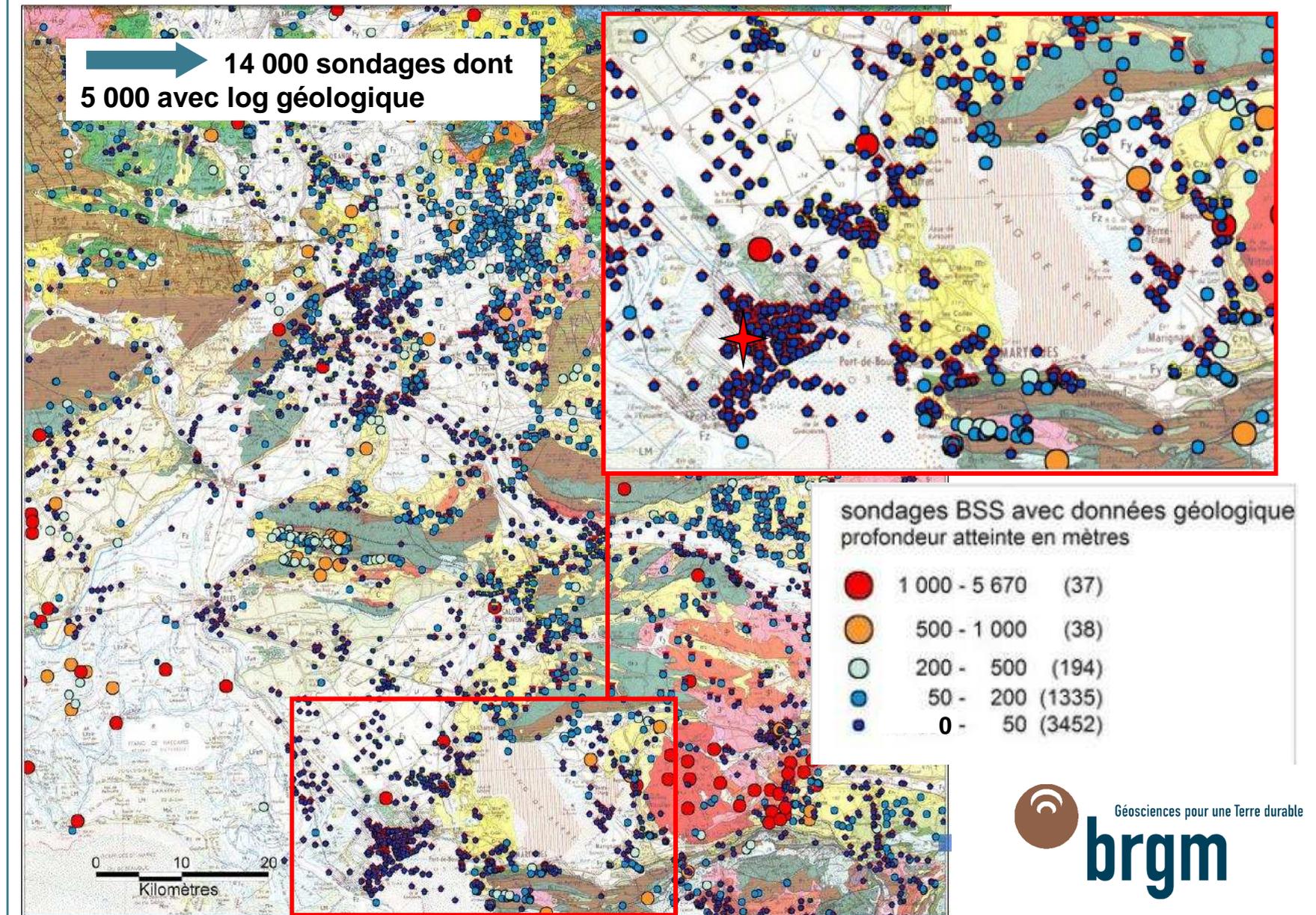
## Systemes de failles de Salon-Cavaillon (partie sud)



Terrier, 2008

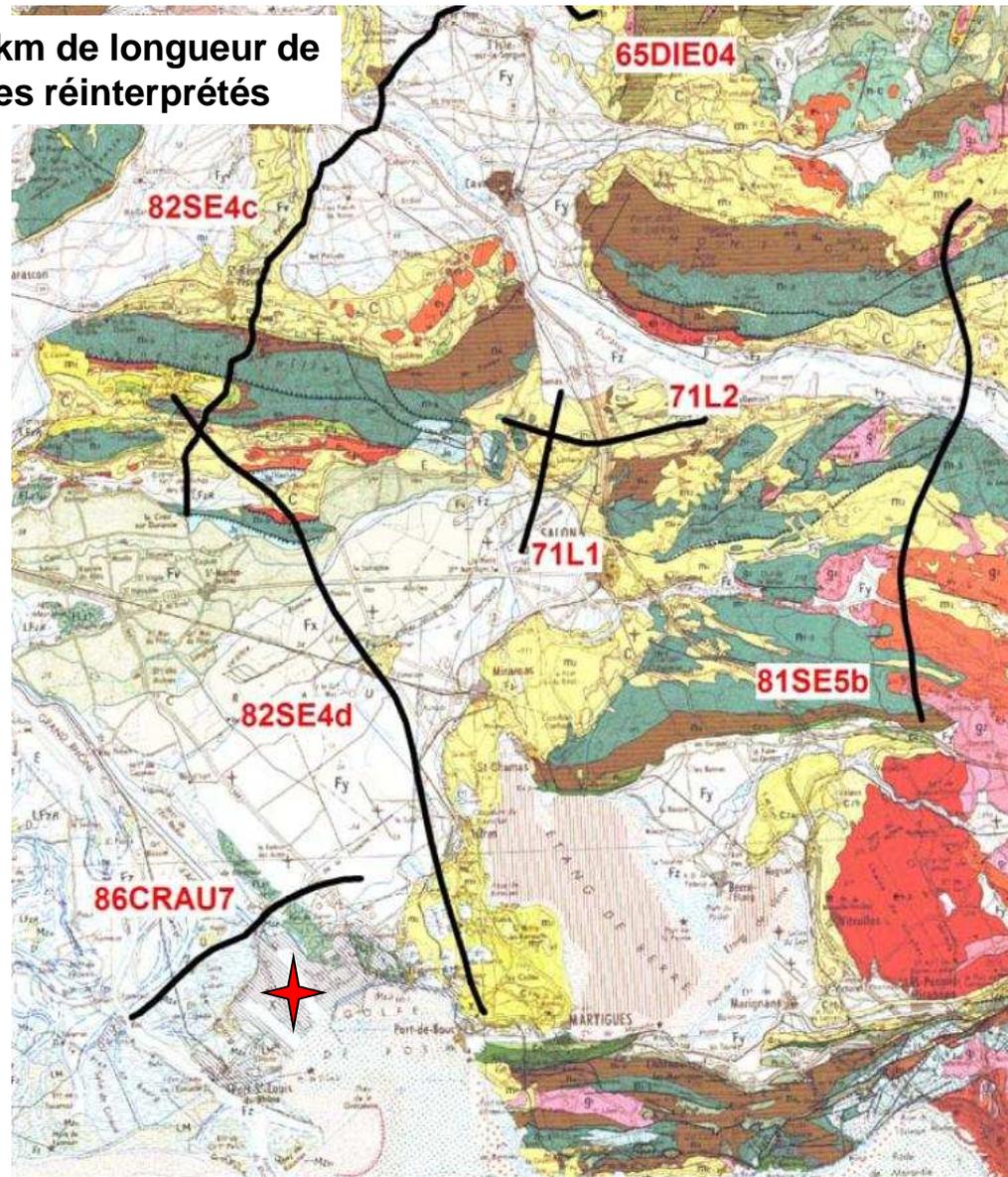
- a fait l'objet d'études récentes (Molliex & al. 2010, Terrier & al. 2008) ;
- jeu supposé : normal à composante dextre ;
- hypothèse : l'activité de la faille a conditionné les différentes dérivations de la Durance ;
- terminaison sud mal connue
- Classement 2006 mis à jour 2008 :  
segment ouest : activité élevée de connaissance bonne, segment est : activité moyenne / connaissance faible

# Etude de la faille de Salon-Cavaillon



# Etude de la faille de Salon-Cavaillon

➔ 200 km de longueur de profils sismiques réinterprétés

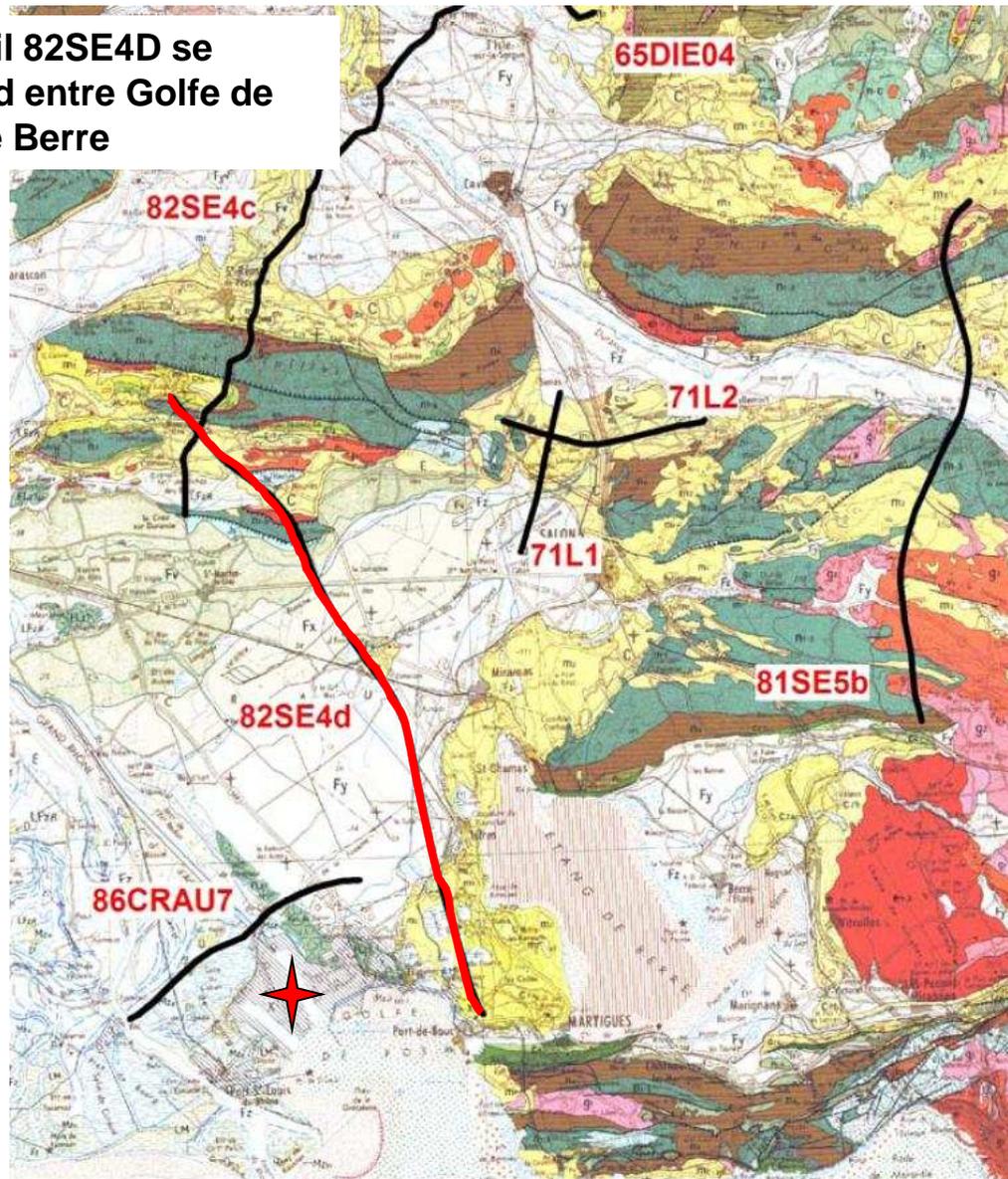


Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

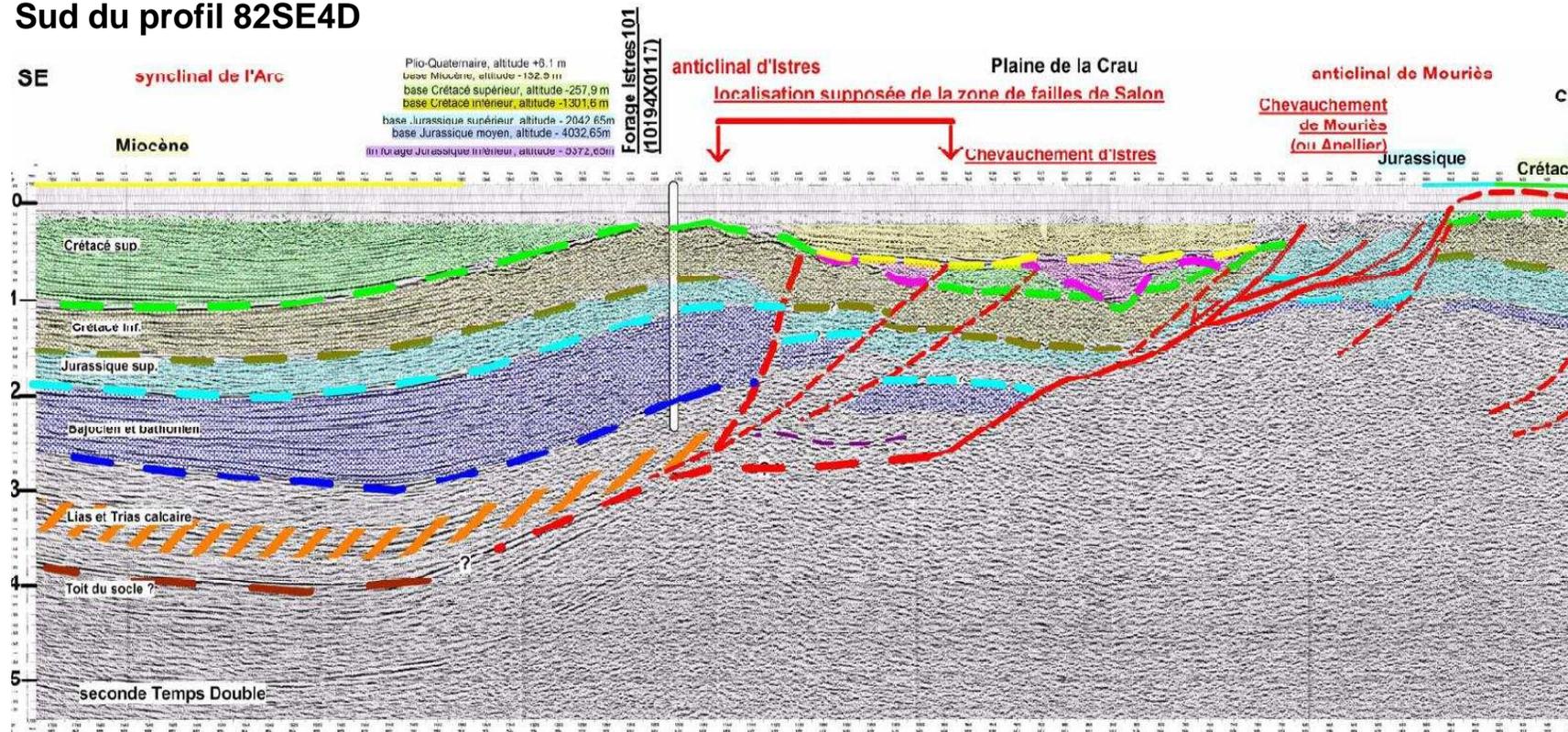
# Etude de la faille de Salon-Cavaillon

➔ Profil 82SE4D se prolonge au sud entre Golfe de Fos et Etang de Berre



# Etude de la faille de Salon-Cavaillon

## Sud du profil 82SE4D



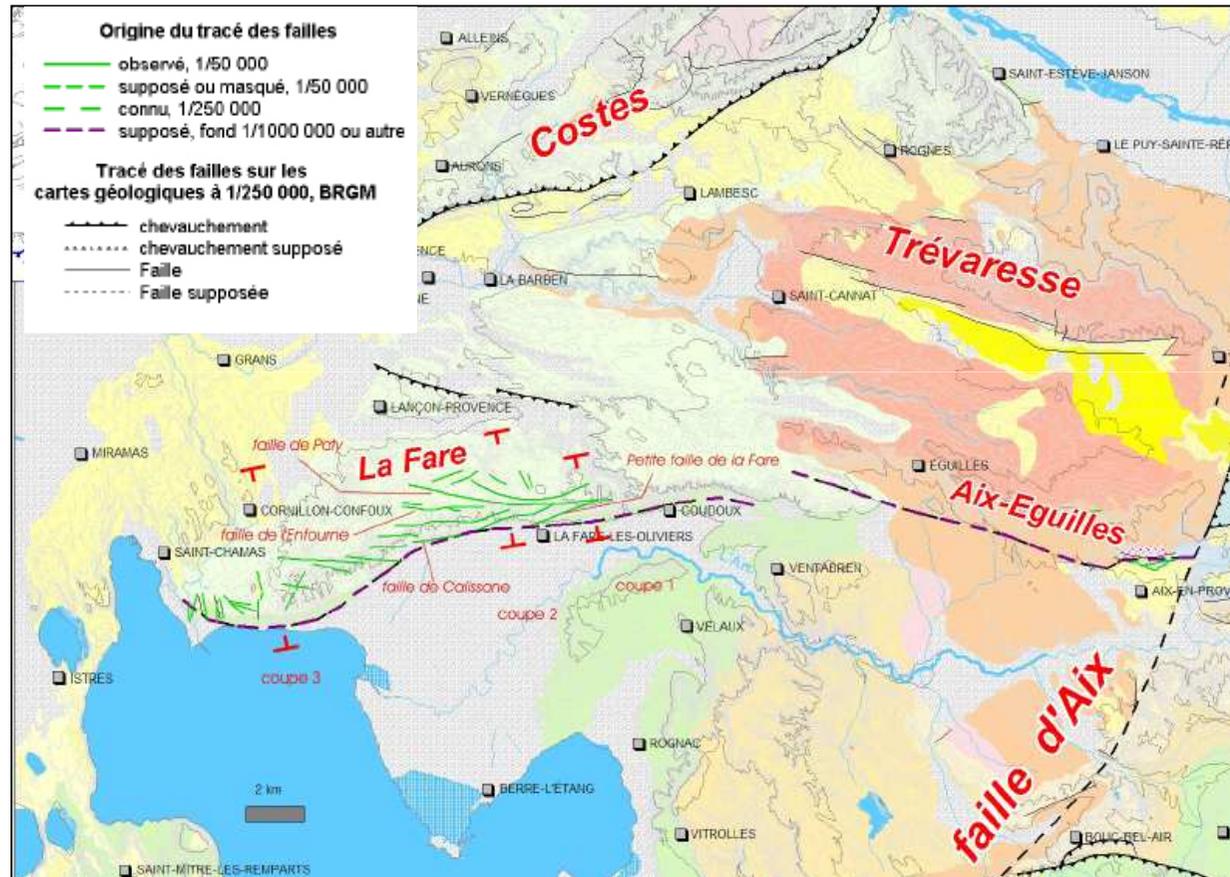
➤ Terrier & al. 2008 = tracé de la faille basé sur données gravimétriques, interprétation de la faille observée sur profil sismique, informations BSS sur épaisseur Miocène et Oligocène => hypothèse de tracé.

➤ Molliex & al. 2010 : terminaison sud vers Fos pas ou peu active aujourd'hui.

➡ Molliex & al. 2010 et Terrier & al. 2008 se rejoignent pour conclure que la terminaison sud du tracé de la faille de Salon-Cavaillon est mal connue.

# Failles actives proches de Fos/Mer

## Systèmes de failles de La Fare et d'Aix-Eguilles



Terrier, 2008

➤ faille supposée de la Fare, faille a priori masquée, non débouchée en surface, probablement reliée à la faille d'Aix-Eguilles ;

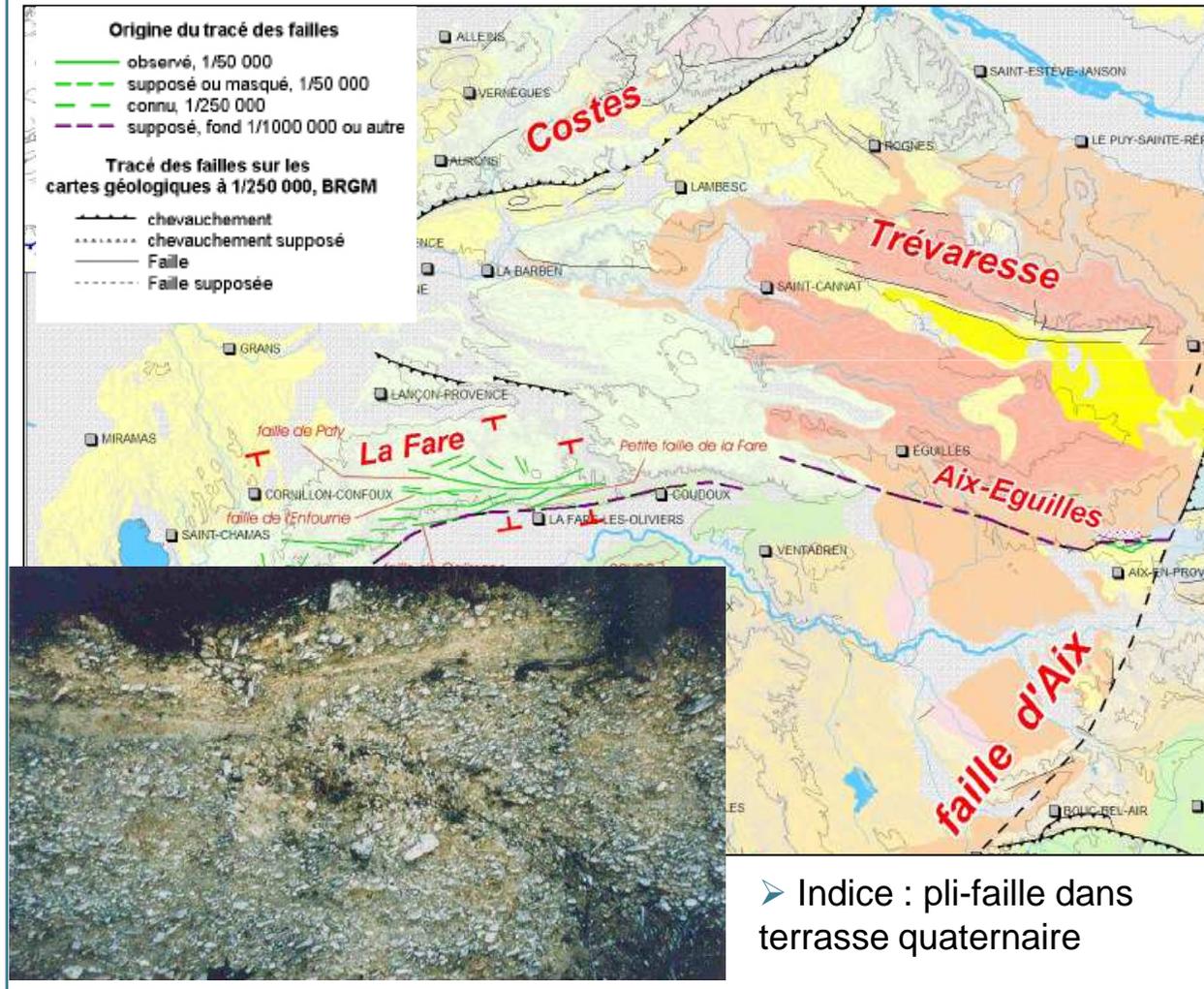
➤ chevauchement d'Aix-Eguilles ;

➤ dernier jeu connu : probable Quaternaire pour la faille de la Fare, Miocène pour la faille d'Aix-Eguilles (Terrier et al. 2008)

➤ classement 2006 : failles d'activité forte (forte probabilité d'apparition d'un séisme) / niveau de connaissance faible

# Failles actives proches de Fos/Mer

## Systemes de failles de La Fare et d'Aix-Eguilles



➤ faille supposée de la Fare, faille a priori masquée, non débouchée en surface, probablement reliée à la faille d'Aix-Eguilles ;

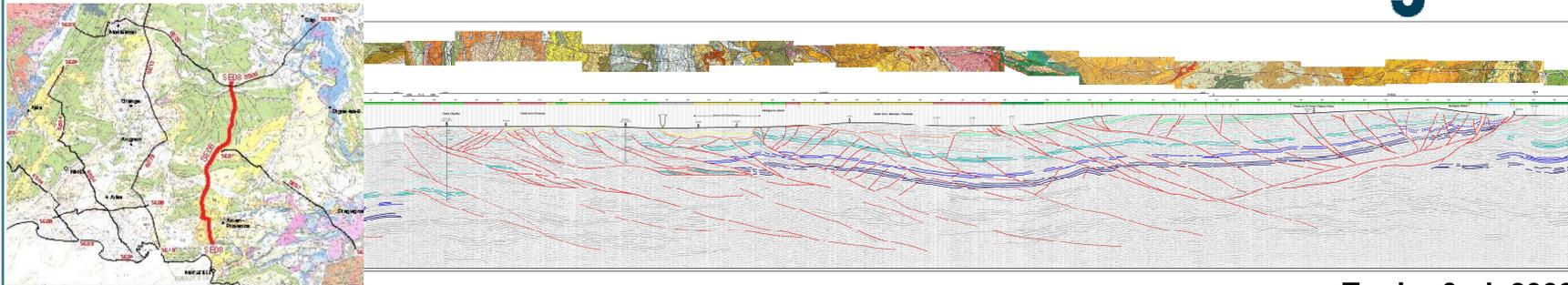
➤ chevauchement d'Aix-Eguilles ;

➤ dernier jeu connu : probable Quaternaire pour la faille de la Fare, Miocène pour la faille d'Aix-Eguilles (Terrier et al. 2008)

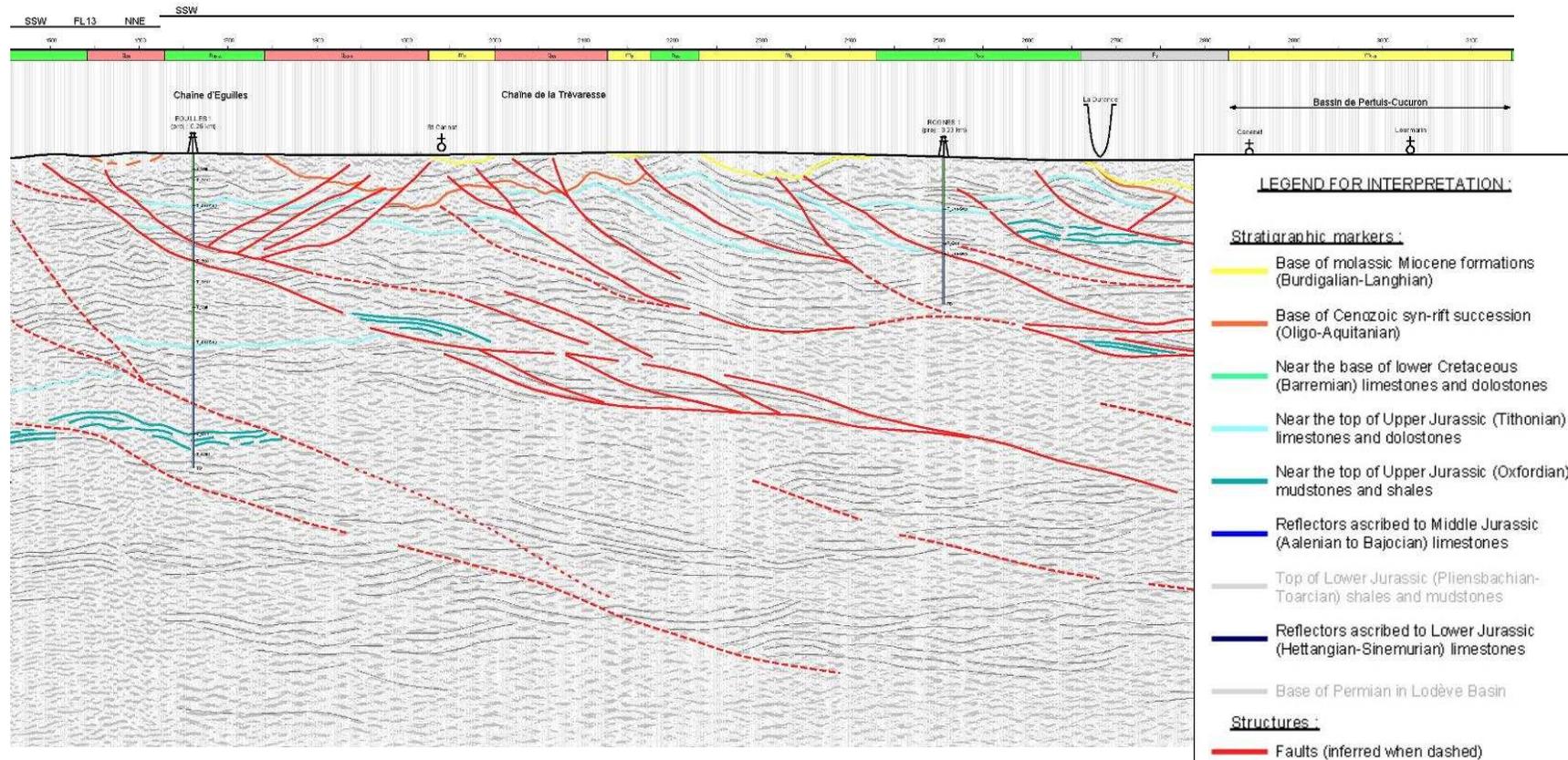
➤ classement 2006 : failles d'activité forte (forte probabilité d'apparition d'un séisme) / niveau de connaissance faible

➤ Indice : pli-faille dans terrasse quaternaire

# > Profil sismique réinterprété



Terrier & al. 2008



## > Profil sismique situé à l'aplomb du système de faille d'Aix-Eguilles et de La Fare (profil 81SE5b)

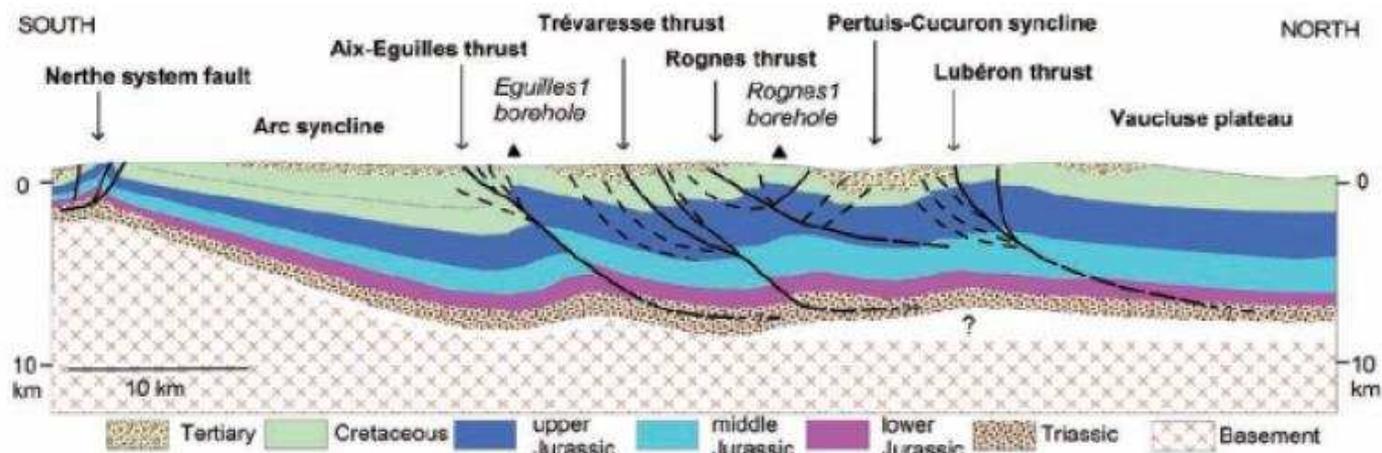
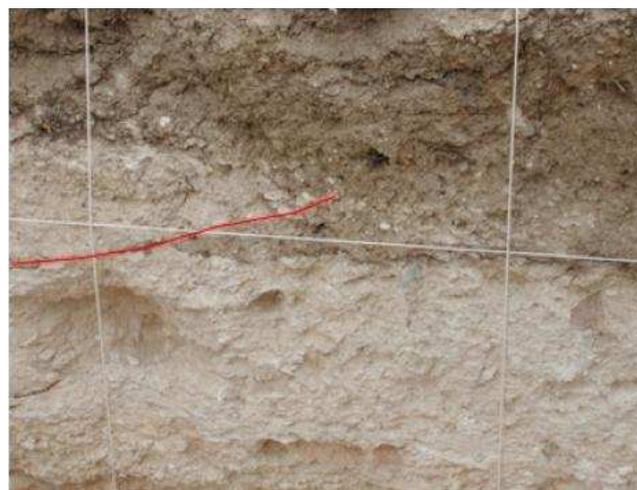
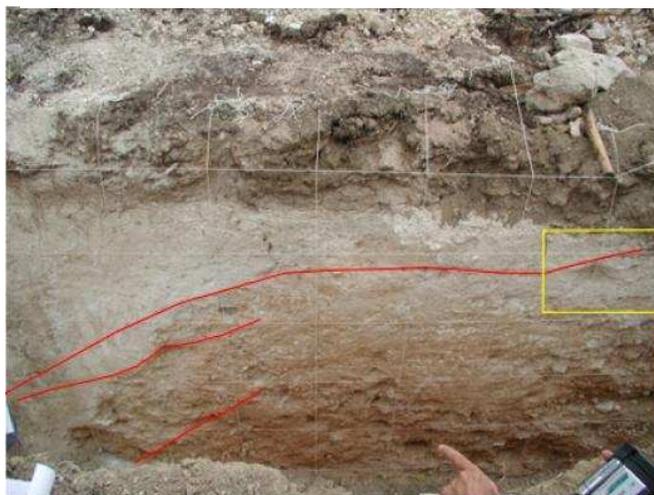


Fig. 5: North-South interpretative geological cross-section between the Vaucluse plateau and the Nerthe ridge

- > Trace de la faille de la Trévaresse (Chardon & al., 2005) : chevauchement de terrains tertiaires sur formations quaternaires



# Synthèse sur les failles actives proches de Fos/Mer

Nom du système de failles		Taux d'activité	Longueur totale	SMHV	Magnitude maximale possible +/- 0.25	Période de retour	Vit. de déformation mm/a
Arlésienne <b>connaissance faible</b>		Moyenne	Au moins 60 km, prolongement en mer sur plus de 50km?	Io=V-VI (9 janv 1927)	?	?	?
Salon-Cavaillon	Segment Est <b>connaissance faible</b>	Moyenne	Entre 20 et 26km	Io=VI-VII (14 nov 1887)	Mw=6.5	Qq milliers à dizaine de milliers d'années	?
	Segment Ouest <b>connaissance bonne</b>	Elevée	Entre 21 et 31km	Io=VI-VII (14 nov 1887)	Mw=6.6	Qq milliers à dizaine de milliers d'années	?
La Fare et Aix-Eguilles <b>connaissance faible</b>		Elevée	Faille de la Fare : 20.5km Faille d'Eguilles : 15 km ou 28km	?	?	?	?
Faille de la Trévaresse <b>connaissance bonne</b>		Elevée	Dizaine de km	Io=VIII-IX (11 juin 1909)	6.0	Entre 700 et 1000 ans, supérieur à 1000 ans pour M=6.5	0.05 à 3 (Chardon & al., 2005)

# Etudes sismotectoniques récentes

## > 2000 – 2006 : Identification et hiérarchisation des failles actives de la région PACA (Terrier 2006)

- Identification et classification des failles en fonction des indices d'activité néotectonique et sismique et du niveau de connaissance correspondant.

## > 2003 : Evaluation de la magnitude du séisme de 1909 (Baroux et al. 2003)

- Calcul de la magnitude du séisme de 1909 à 6.0 ; de la profondeur focale du séisme : entre 5 et 6 km et du mouvement de la faille lors du séisme : composante principale inverse.

## > 2008 : Nouvelles données sur les systèmes de failles d'Aix-Eguilles, de La Fare, de Salon (Terrier et al., 2008, Molliex et al., 2010)

- Réinterprétation d'un sondage et de deux profils sismiques situés en Basse Durance et en Crau

## Liens utiles

- > Rapports en ligne : [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)
- > Site du plan séisme : [www.planseisme.fr](http://www.planseisme.fr)
- > Site 3D de visualisation des failles actives et des séismes historiques en PACA : [www.sismo-paca-3d.net](http://www.sismo-paca-3d.net)
- > Site de la DREAL PACA sur le risque sismique en PACA : [www.seisme-1909-provence.fr](http://www.seisme-1909-provence.fr)
- > Site sur les séismes historiques : [www.sisfrance.net](http://www.sisfrance.net)

# Contexte réglementaire

## Article R563-1 à R563-8 du code de l'Environnement

- > Définit 2 types d'ouvrages

« À **RISQUE NORMAL** » : Les conséquences d'un séisme restent circonscrites à l'ouvrage lui-même.

« À **RISQUE SPÉCIAL** » : Un dommage même mineur peut avoir des conséquences catastrophiques pour la population et l'environnement.

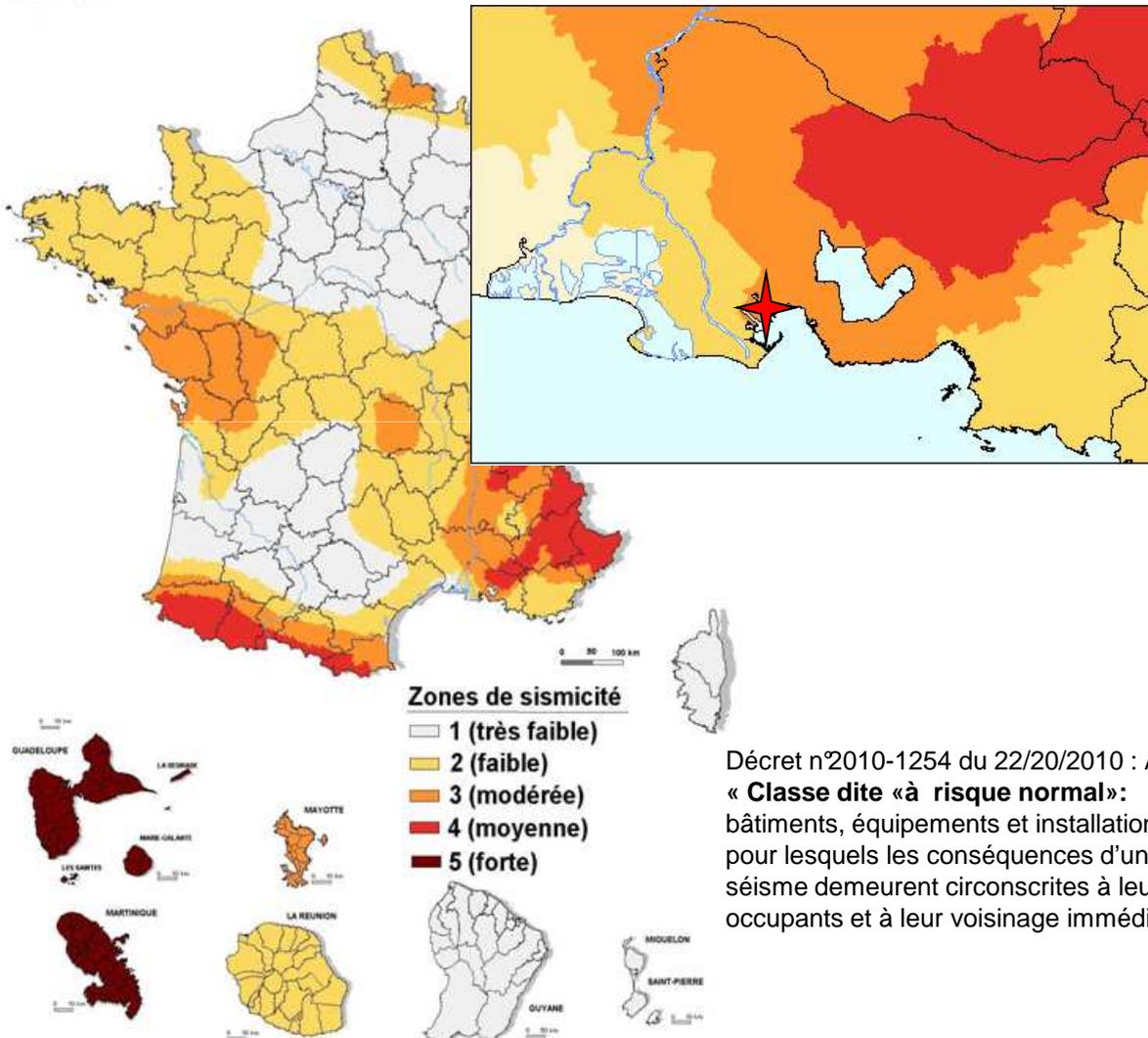
- > Donne le zonage sismique de la France utilisable initialement pour les ouvrages à « risque normal ». Le zonage est présenté par canton, à partir d'un zonage physique.

# Contexte réglementaire

## > Zonage sismique national réglementaire



Nouveau zonage sismique de la France



Décret n°2010-1254 du 22/20/2010 : Art. 1  
« **Classe dite « à risque normal** » :  
bâtiments, équipements et installations  
pour lesquels les conséquences d'un  
séisme demeurent circonscrites à leurs  
occupants et à leur voisinage immédiat »



Depuis le 24 octobre 2010 : nouvelle réglementation parasismique entérinée par la parution de 2 décrets au Journal Officiel et d'un arrêté fixant les règles de construction parasismique à utiliser pour les bâtiments de la classe dite « à risque normal » sur le territoire national.



Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**

# Principales évolutions

- > **Carte du nouveau zonage donne une valeur d'accélération nominale par zone de sismicité**
- > **Les catégories de bâtiments I à IV sont comparables aux anciennes classes A, B C, D. Les écoles sont classées en III. A chaque catégorie est associé un coefficient d'accélération nominale.**
- > **Les sols sont classés en classes de sols selon la norme européenne (EN1998-1, règle EC8)**
- > **Pour les sites classés (hors barrages, ponts, sites nucléaires), une réglementation précise est prévue dans les 6 mois à venir. Les règles EC8 seront également utilisées en prenant en compte le nouveau zonage, mais en plus un coefficient de majoration spécifique sera fixée par la réglementation.**

# Diapos complémentaires



# Contexte réglementaire

## ARRÊTÉ DU 10 MAI 1993

- > Les installations classées sont des ouvrages à « risque spécial », les règles de construction suivent les règles définies par l'arrêté du 10 mai 1993 et la circulaire d'application du 27 mai 1994

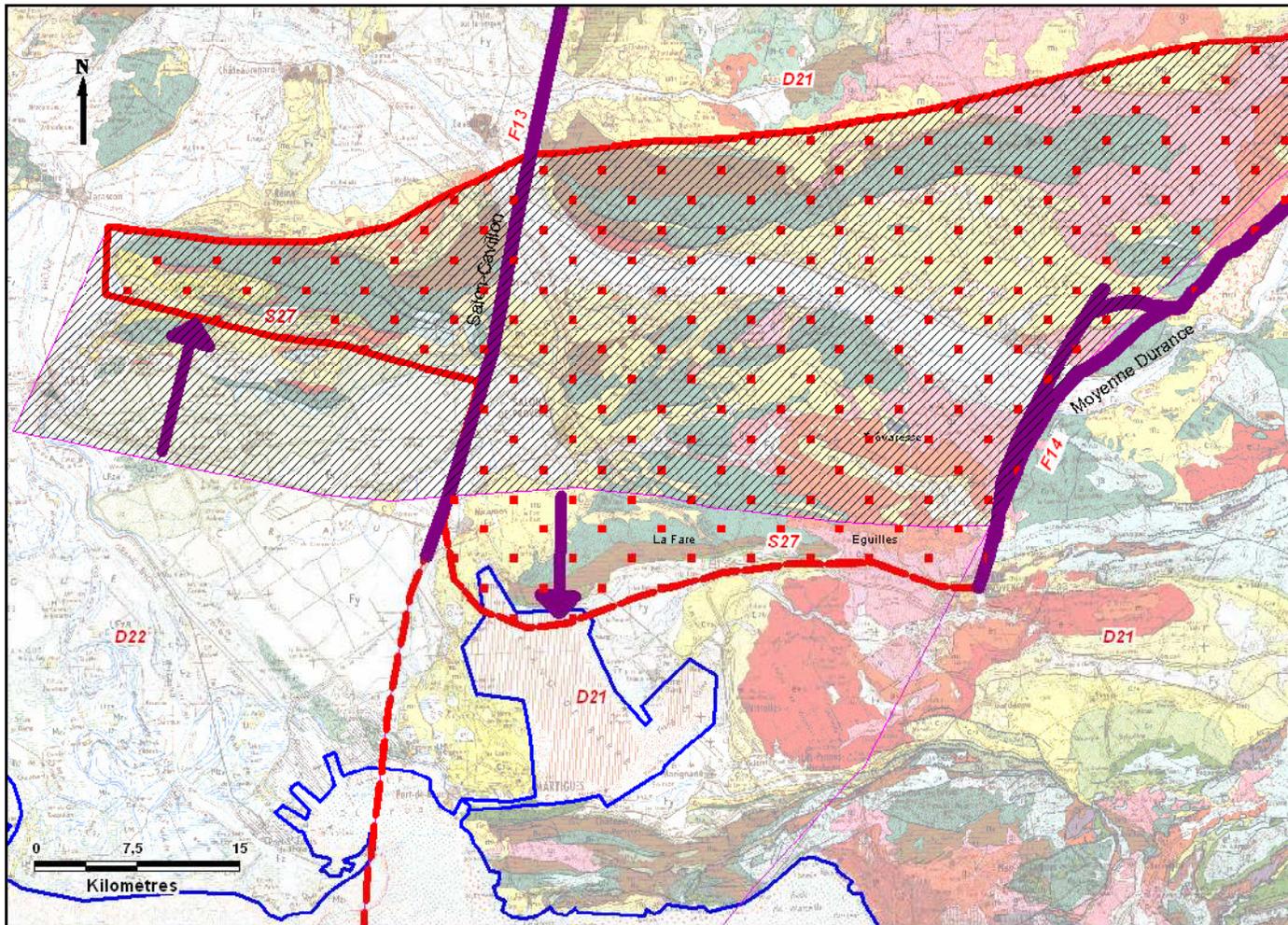
### 1 - DANS LES ZONES 0 ET Ia

Mouvements sismiques forfaitaires (sauf si la DREAL dispose d'études particulières - article 4)

### 2 - DANS LES ZONES Ib, II ET III

Étude spécifique des mouvements sismiques à partir d'analyses sur les séismes et les failles et sur les données géotechniques propres au site, afin d'obtenir les spectres « **SMHV** » (Séisme Maximum Historiquement Vraisemblable) et « **SMS** » (Séisme Majoré de Sécurité) : **approche déterministe.**





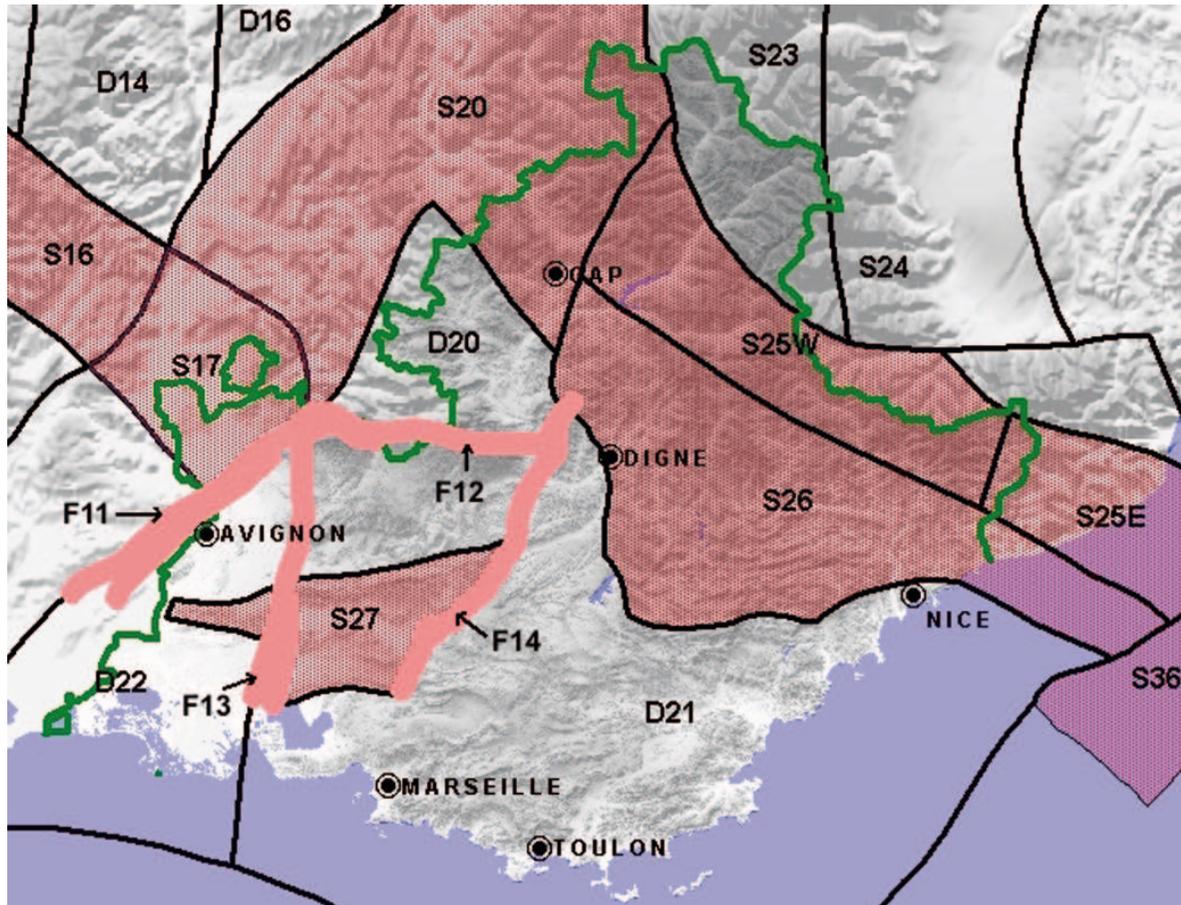
Blès et al. 1998 mis à jour par Terrier, 2006

ces pour une Terre durable



# Zonage déterministe de l'aléa

- Zonage publié en 1998 (Blès et al., document BRGM n°2 79) modifié d'après Terrier et Winter (2006) et conforme à la démarche préconisée par l'arrêté du 10 mai 1993



- Délimite des unités correspondant soit à des domaines (surfaces) géographiques soit à des structures sismogènes (failles ou systèmes de failles). Chaque unité est caractérisée par un séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV).



**Carte d'isoséistes**

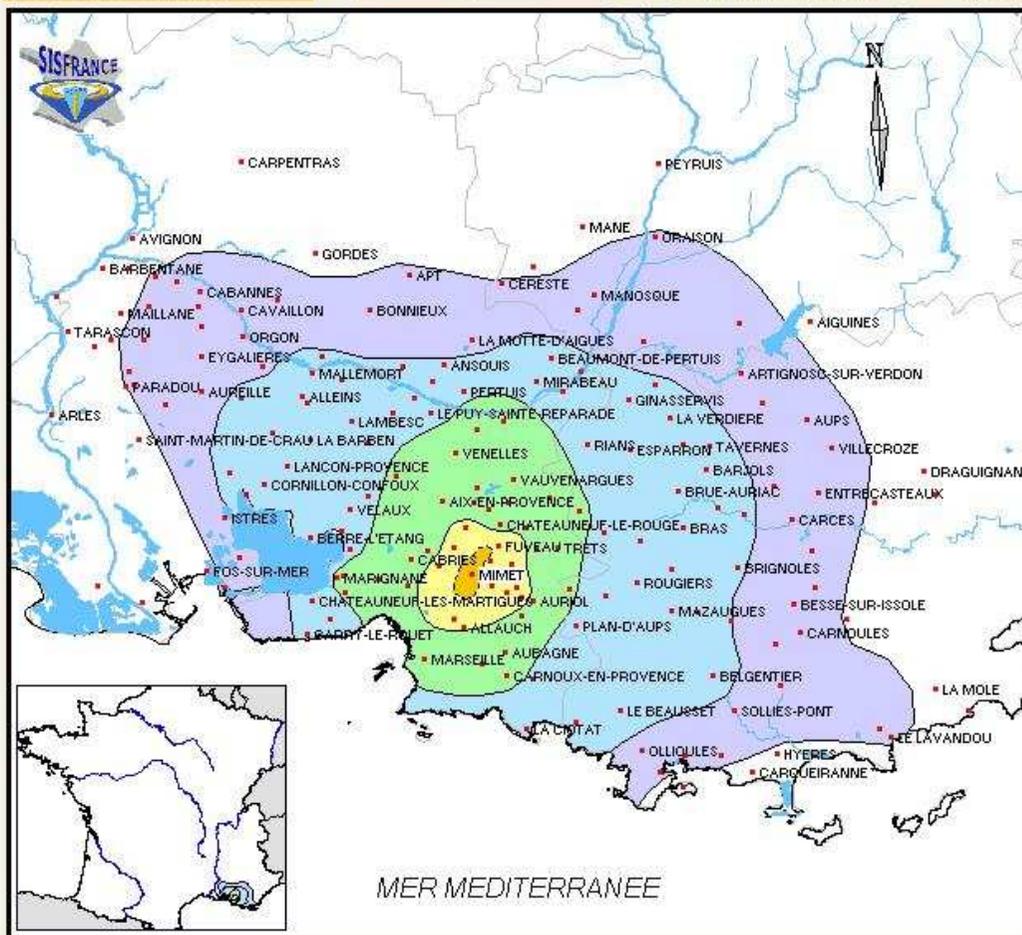
[Caractéristiques du séisme](#)

[Carte macrosismique](#)

[Liste des observations](#)

[Bibliographie](#)

[Page d'accueil](#)



Identité : 130118

Date du séisme : 19 Février 1984

Heure du séisme : 21 h 14 min 37 sec

Région épiscopentrale : BASSE-PROVENCE  
(MIMET) - PROVENCE

**Isoséistes et domaines d'intensité**

Propagation des effets du séisme  
(*isoséistes figuratives,  
non contractuelles*)

Degré d'intensité  
(échelle macrosismique MSK)

- 2 et 2.5 : très faible (rares personnes)
- 3 et 3.5 : modérée (quelques personnes)
- 4 et 4.5 : assez forte (grand nombre)
- 5 et 5.5 : forte (majorité)
- 6 et 6.5 : dommages légers
- 7 et 7.5 : dommages prononcés
- 8 et 8.5 : dégâts massifs
- 9 et 9.5 : destructions nombreuses
- Localité concernée par le séisme

re durable



# Sismicité de la France

## Métropole



**Carte d'isoséistes**

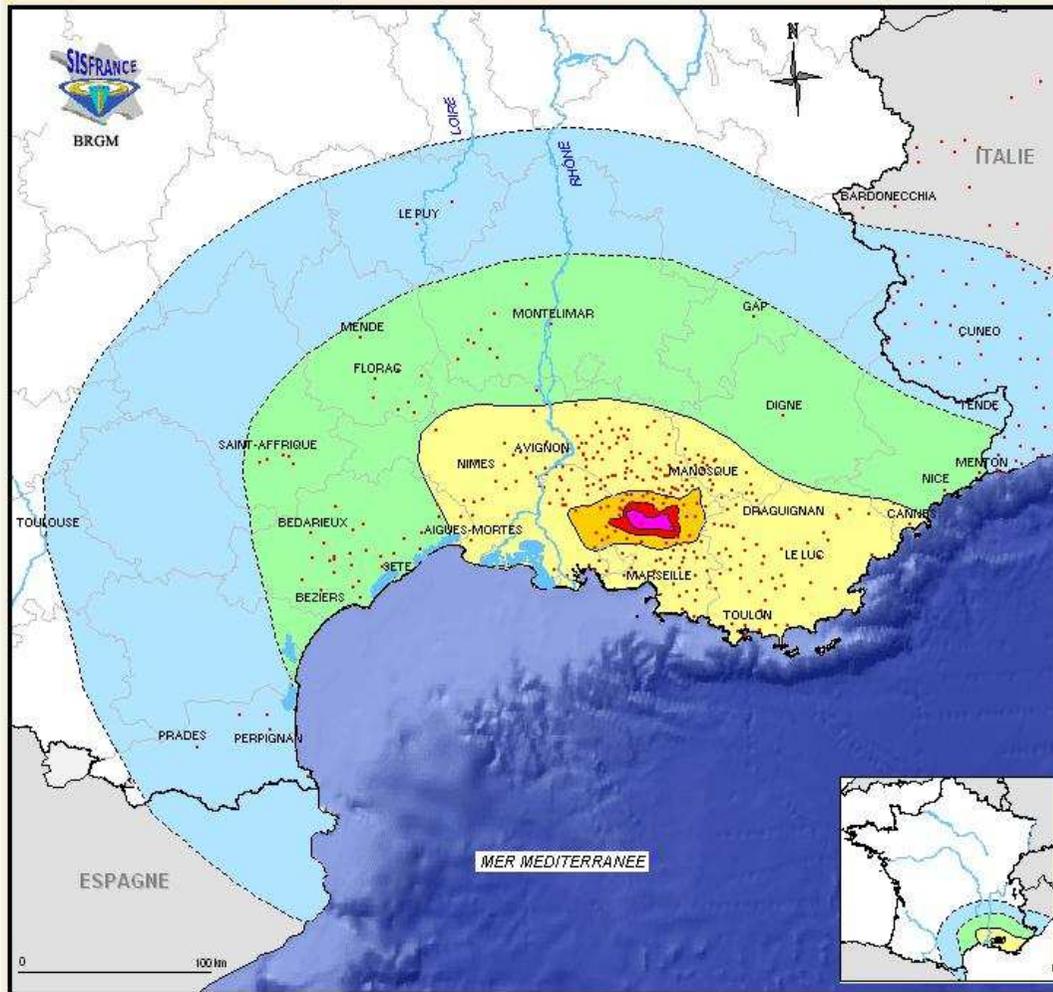
[Caractéristiques du séisme](#)

[Carte macrosismique](#)

[Liste des observations](#)

[Bibliographie](#)

[Page d'accueil](#)



Identité : 130057

Date du séisme : 11 Juin 1909

Heure du séisme : 21 h 14 min

Région épicentrale : TREVARESSE  
(LAMBESC) – PROVENCE

**Isoséistes et domaines d'intensité**

Propagation des effets du séisme  
(isoséistes figuratives,  
non contractuelles)

Degré d'intensité  
(échelle macrosismique MSK)

- 2 et 2.5 : très faible (rares personnes)
- 3 et 3.5 : modérée (quelques personnes)
- 4 et 4.5 : assez forte (grand nombre)
- 5 et 5.5 : forte (majorité)
- 6 et 6.5 : dommages légers
- 7 et 7.5 : dommages prononcés
- 8 et 8.5 : dégâts massifs
- 9 et 9.5 : destructions nombreuses
- Localité concernée par le séisme

sciences pour une Terre durable

**brgm**



### Région épiscopentrale : TREVARESSE (LAMBESC) - PROVENCE

#### Carte macrosismique : séisme du 11 Juin 1909

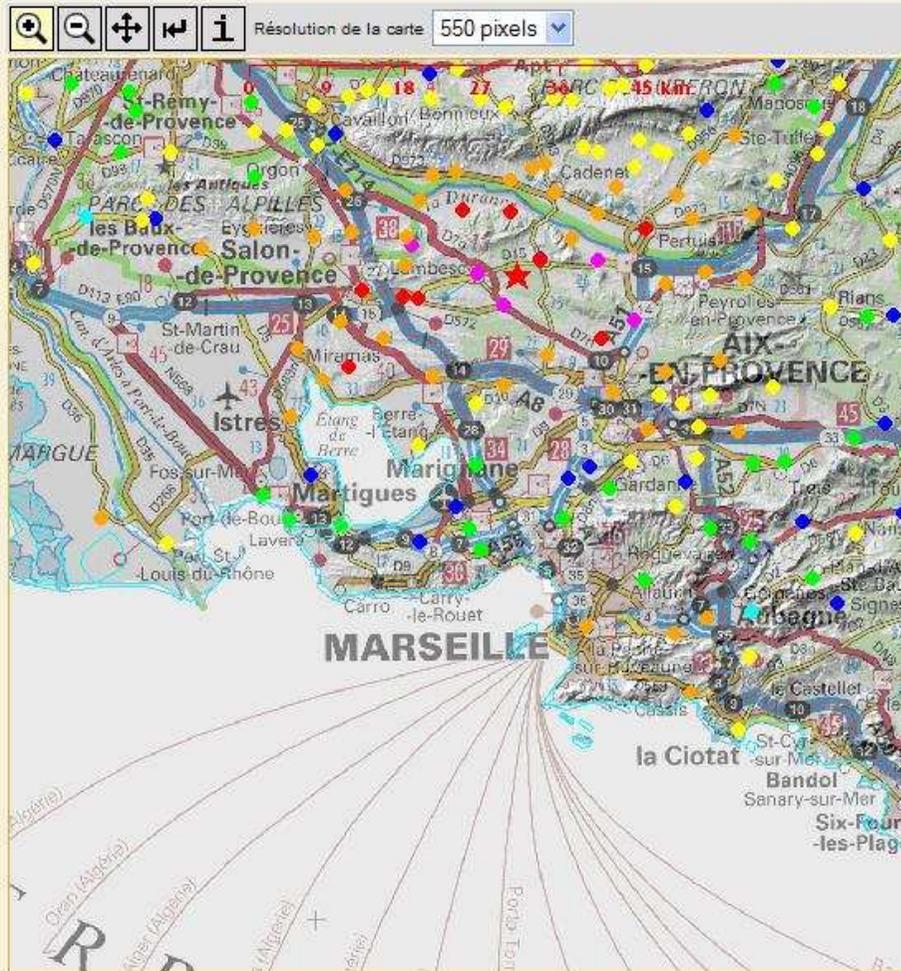
[Caractéristiques du séisme](#)

[Liste des observations](#)

[Bibliographie](#)

[Carte d'isoséistes](#)

[Page d'accueil](#)



[Imprimer la carte](#)

#### Légende

-  Préfectures et sous préfctures
-  Frontières
-  Départements
-  Communes(\*)
-  Epicentre du séisme
- [Intensité du séisme par localité](#)
  - Non ressenti
  -  Ressenti intensité inconnue
  -  2 et 2.5 ressenti par de rares personnes
  -  3 et 3.5 ressenti par quelques personnes
  -  4 et 4.5 ressenti largement
  -  5 et 5.5 ressenti par tout le monde
  -  6 et 6.5 dommages légers
  -  7 et 7.5 dommages prononcés
  -  8 et 8.5 dégâts massifs
  -  9 et 9.5 destructions nombreuses
-  Scans IGN
-  Géologie de la France au million
-  MNT métropole

Epicentre : 43° 39' N ; 5° 19' E  
 Intensité épiscopentrale : 8,5  
 Région épiscopentrale : PROVENCE

(\*) Couche invisible à cette échelle  
[Couche interrogeable](#)

Echelle de la carte

1 : 642 354

e Terre durable