

Document public

Nouvelles données sur le système de failles la Fare – Eguilles, implication en terme d'aléa sismique pour la région PACA (secteur de l'étang de Berre, Lambesc, Aix-en-Provence)

Rapport final

BRGM/RP-55233-FR
Décembre 2006

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Nouvelles données sur le système de failles la Fare – Eguilles, implication en terme d'aléa sismique pour la région PACA (secteur de l'étang de Berre, Lambesc, Aix-en-Provence)

Rapport final

BRGM/RP-55233-FR
Décembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2006

M. Terrier et T. Winter

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : P. Dominique	Nom : H. Modaressi
Date :	Date :
Signature :	Signature **:**
(Ou Original signé par)	(Ou Original signé par)

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : faille, séisme, aléa, Provence

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Terrier M. et Winter T. (2006) - Nouvelles données sur le système de failles la Fare – Eguilles, implication en terme d'aléa sismique pour la région PACA (secteur de l'étang de Berre, Lambesc, Aix-en-Provence). *Rapport BRGM RP-55233-Fr*, 22p, 11 fig.

© BRGM, 2005, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

En Provence, entre les systèmes faillés de la Moyenne Durance – Aix-en-Provence et de Salon-Cavaillon, le front de chevauchement vers le nord de l'orogénèse pyrénenne est reporté environ 30 km plus au Sud. Il est démontré qu'il n'existe pas de chevauchement majeur à vergence nord dit « La Barben» comme il était retenu jusqu'à présent par tous les schémas tectoniques de cette région. Par contre, plusieurs kilomètres au Sud du chevauchement de la Trévaresse, il existe un autre chevauchement à vergence sud qui chevauche le synclinal de l'Arc.

Ces résultats ont été obtenus grâce à la réinterprétation du forage d'Eguilles 1 et de deux profils sismiques situés en Basse Durance et en Crau, de part et d'autre de la faille de Salon-Cavaillon. Parmi les principaux résultats, il est montré que : a) Le doublement d'une série secondaire observé au niveau du sondage d'Eguilles 1 est dû à un chevauchement à pendage nord et à vergence Sud. Celui-ci est baptisé chevauchement d'Aix-Eguilles, b) Les chevauchements de la Trévaresse et d'Aix-Eguilles s'enracinent à environ 7000 m de profondeur, dans le Trias.

Ces résultats nouveaux modifient le zonage sismotectonique retenu jusqu'à présent pour l'évaluation déterministe de l'aléa.

Sommaire

1. Introduction 7

2. Les connaissances antérieures à 2005 9

3. L'évolution de la connaissance à partir de 2005 12

4. Implication sur l'aléa sismique 17

5. Conclusion 20

6. Bibliographie 21

Liste des illustrations

Figure 1 - Localisation des failles majeures de la Provence occidentale, ainsi que des forages, profils sismiques, épicentres de séismes historiques et indices néotectoniques 8

Figure 2 - Ancienne interpretation, représentation schématique 3D de la localisation des failles et coupe Nord-Sud inspirée de Tempier (1987) 11

Figure 3 – Ancien zonage sismotectonique pour l'évaluation déterministe de l'aléa (zonage 1998) 11

Figure 4 - Région PACA - Rejeu de la faille de la Trévaresse lors du séisme de 1909 : A) localisation, B) Isoséistes du séisme (d'après SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2005), C) Trace de la rupture en surface de la faille (dessin extrait de Chardon et al., 2005) 14

Figure 5 – Interprétation du profil sismique 82SE5b 15

Figure 6 – Zoom au niveau du chevauchement de la Trévaresse 15

Figure 7 – Zoom au niveau de la faille d'Aix-Eguilles 16

Figure 8 – Nouvelle interprétation, représentation schématique 3D de la localisation des failles tectonique 16

Figure 9 – Impact des nouvelles connaissances sur le zonage sismotectonique 18

Figure 10 – Nouvelles connaissances sur les failles : conséquence sur l'évaluation déterministe de l'aléa 19

Figure 11 - Evolution du zonage sismotectonique entre 1996 et 2006 20

1. Introduction

La Provence occidentale se trouve dans une zone d'interférence qui a subi les phases orogéniques pyrénéo-provençale à l'Eocène supérieur (-60 à -45 millions d'années) puis alpine au Mio-Pliocène (-10 à -5 millions d'années). Ces deux phases ont eu une même direction de raccourcissement subméridienne. Elles sont responsables de la mise en place, respectivement, (figure 1) :

- des chevauchements dits sud provençaux (tels que Nerthe, Etoile, Sainte Victoire, Anellier), majoritairement à vergence nord et pendage des plans de failles vers le Sud ,

- puis des chevauchements dits nord provençaux (Lubéron, Costes, Trévaresse), à vergence sud et pendage des plans de failles vers le Nord.

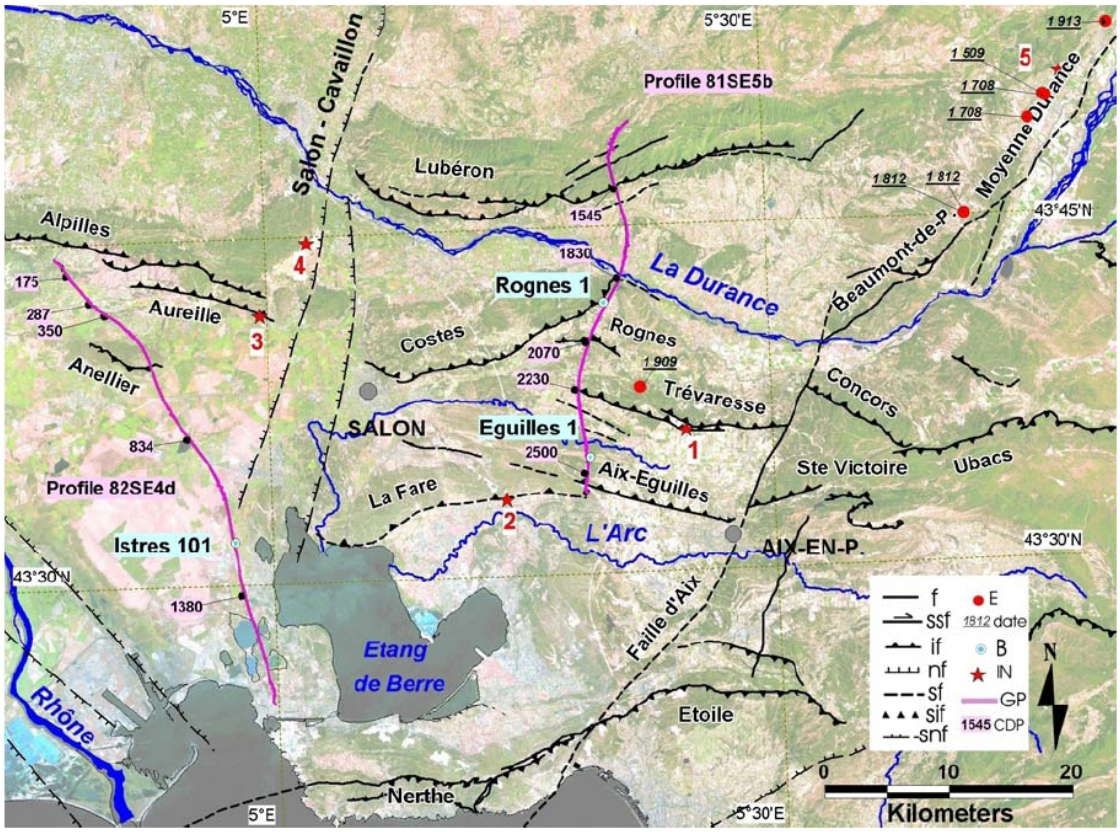
Le chevauchement des Alpilles a quant-à-lui été mis en place à l'Eocène supérieur et a été réactivé au Mio-Pliocène.

La continuité axiale de ces chevauchements est affectée par des accidents décrochants transverses tels que les systèmes de failles Moyenne-Durance – Aix-en-Provence ou Salon-Cavaillon.

Or, la sismicité et les déformations tectoniques quaternaires indiquent que la compression alpine affecte toujours la Provence occidentale [Champion & al., 2000 ; Lacassin & al., 2001 ; Chardon & al., 2005].

Afin de préciser la structure tectonique de cette zone supposée être déformée à la fois par des chevauchements pyrénéo-provençaux d'âge éocène supérieur, et des chevauchements nord provençaux subalpins et supposés encore actifs, dans le cadre d'une étude de Service Public sur la hiérarchisation des failles potentiellement actives de la région PACA (projet SP03RISG16), le BRGM a acquis et retraité un certain nombre de profils sismiques pétroliers.

Parmi ceux-ci, le profil 81SE5b (Figure 1) de direction NS recoupant les structures inverses du Lubéron, de la Trévaresse, et du chevauchement d'Aix-Eguilles a fourni des éléments importants sur la structuration tectonique de ce secteur, modifiant significativement le zonage sismotectonique prévalant jusqu'alors dans les Bouches-du-Rhône.



Tracé des failles : **f**, tracé connu ; **ssf,** tracé connu, jeu décrochant ; **if**, tracé connu, jeu inverse ; **nf**, tracé connu, jeu normal ; **sf,** tracé supposé ; **sif,** tracé supposé et jeu inverse ; **snf,** tracé supposé et jeu normal.

E, épicentre de séisme d'intensité au moins égale à VII ; **date**, année du séisme ; **B**, sondage ; **GP**, profil géophysique ; **CDP**, numéro du point CDP (cf fig 3 et 6)

IN, indice néotectonique ; **1,** Chardon *et al.*, 2005 ; **2,** Gabert, 1965 ; **3,** Colomb et Roux, 1978 ; **4,** Terrier, 1991 ; **5,** Ghafiri, 1995.

Figure 1 - Localisation des failles majeures de la Provence occidentale, ainsi que des forages, profils sismiques, épicentres de séismes historiques et indices néotectoniques

2. Les connaissances antérieures à 2005

Le faille de la Trévaresse appartient à la famille de chevauchements dits nord provençaux, à vergence Sud, et dont la structuration principale est d'âge mio-pliocène (dernière phase alpine). La faille de la Trévaresse est à l'origine du séisme de 1909 (Intensité VIII-IX, magnitude équivalente estimée alors à 5,5). Dans le cadre du zonage déterministe de la France réalisé en 1996 (Blès et al., 1998), le séisme de 1909 a été retenu comme le séisme de référence de cette unité sismotectonique (S27) (Figure 2 et Figure 3).

Jusqu'à ce jour, le chevauchement de la Barben était admis comme un trait structural majeur de cette partie de la Provence, puisqu'il était interprété comme le front nord provençal des chevauchements mis en place au Crétacé-Eocène (phase pyréenne), ces derniers ayant une vergence vers le Nord (pendage sud des plans de failles). Cette famille de structures est considérée comme peu ou active. Le séisme de référence de cette unité (D21) est celui de 1984, d'intensité VI (Magnitude 4,2) (Figure 2 et Figure 3).

A proximité, la faille supposée de la Fare était notée. Celle-ci pouvait correspondre à une faille inverse à vergence sud, secondaire par rapport au chevauchement d'Eguilles (alors supposé à vergence nord).

En dépit de cette incertitude structurale concernant la faille de la Fare, plusieurs indices de la déformation tectonique récente y étaient décrits :

- Une déformation inverse (pli-faillé avec une amplitude du mouvement d'environ 20 cm) dans les cailloutis cryoclastiques würmiens au pied du versant sud du chaînon de la Fare (Gabert, 1965).
- anomalies altimétriques observées au niveau des terrains thyrréniens (environ -10 000 ans) interprétées comme un basculement de la plaine de l'Arc vers le Nord en direction de la faille de la Fare, consécutif probablement au rejeu inverse de celle-ci durant l'Holocène. Cette déformation est décrite est interprétée par Provensal *et al.* (1993, 1995, 1998) ainsi que Morhange *et al.* (1998).

Les incertitudes :

Si un doute persistait quant à la présence de la faille de la Fare, et son chevauchement vers le Sud, l'existence du front nord provençal représenté par le chevauchement de la Barben était alors considérée comme un fait acquis.

Or, l'interprétation de ce chevauchement était fondée sur les seules informations fournies par le forage profond situé à proximité du village d'Eguilles. En effet, ce forage a révélé l'existence d'un doublement des séries mésozoïques qui fut à l'époque interprété comme la conséquence du jeu d'un chevauchement à vergence nord d'âge pyrénéen. Il est cependant à noter, qu'aucune évidence de ce chevauchement n'était

reportée en surface. De plus, l'enracinement de ce chevauchement au niveau du bassin de l'Arc restait inconnu.

Question qui ne semble pas avoir été mise en exergue par les auteurs partisans de la tectonique pyrénéenne : « la surface de chevauchement recoupée par le forage correspond-elle à un chevauchement vers le Sud ? ou bien vers le Nord ? »

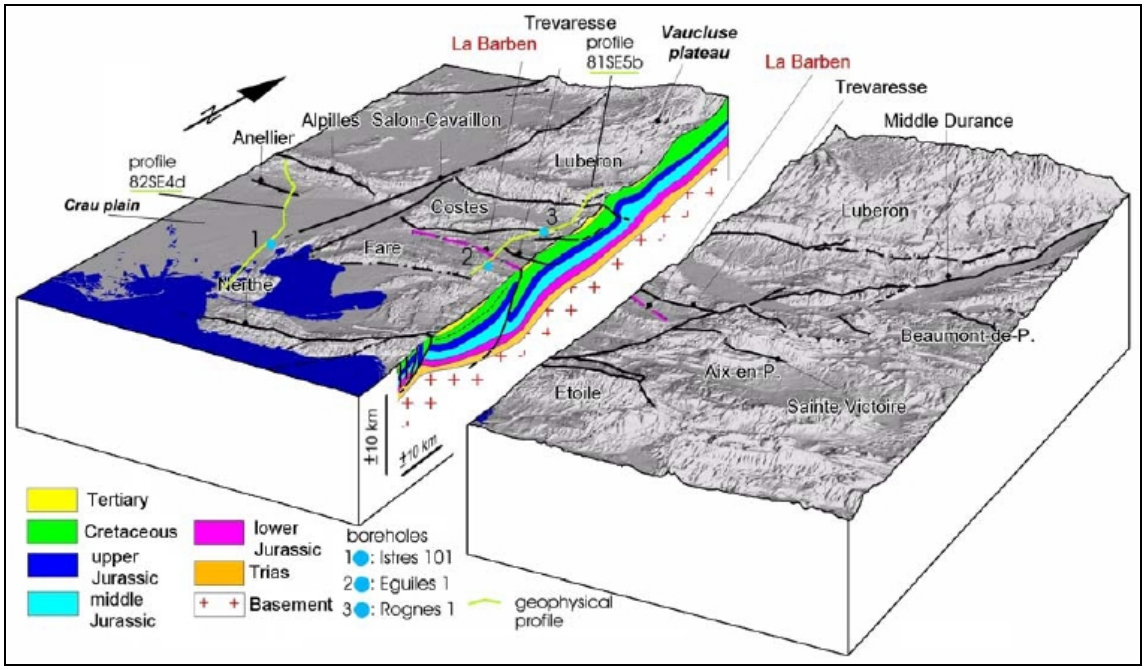


Figure 2 - Ancienne interpretation, représentation schématique 3D de la localisation des failles et coupe Nord-Sud inspirée de Tempier (1987)

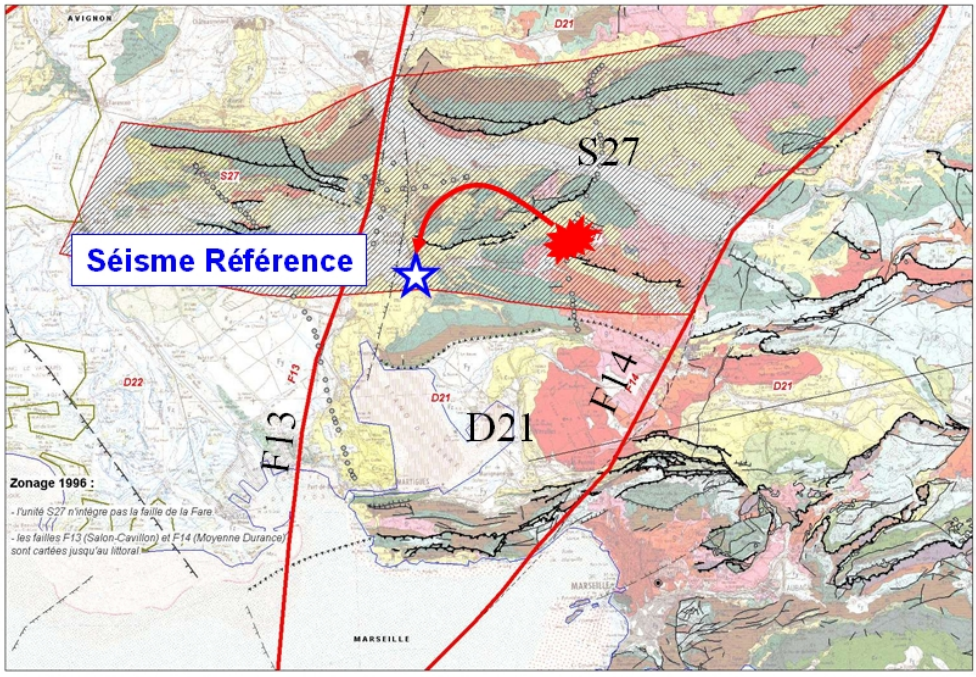


Figure 3 – Ancien zonage sismotectonique pour l'évaluation déterministe de l'aléa (zonage de Blès et al, 1998)

3. L'évolution de la connaissance à partir de 2005

Les résultats de travaux de recherche publiés très récemment ont démontré que le séisme du 11 juin 1909 avait atteint une magnitude de 6,0, et que la rupture s'était initiée entre 5 km à 6 km de profondeur (Baroux et al., 2003). Par ailleurs, la rupture de 1909 s'est vraisemblablement propagée jusqu'en surface du sol, comme semble l'indiquer les déformations tectoniques inverses observées par Chardon et al (2005) dans les terrains déposés il y a moins de 10 000 ans au pied du versant sud du chaînon de la Trévaresse. L'étude d'un profil sismique pétrolier (Terrier, 2006), indique la relation entre le séisme de 1909 et les déformations paléosismiques observées au pied du chaînon de la Trévaresse avec un système de failles chevauchantes vers le Sud, enracinées entre 7 et 8 km de profondeur dans les couches salifères du Trias.

Données sur le séisme de Lambesc et de tectonique récente :

Baroux et al. (2003) ont analysé les données enregistrées en 1909 par une vingtaine de sismographes répartis dans plusieurs pays européens. Ils démontrent le lien direct entre le séisme du 11 juin 1909 et le mouvement tectonique de la faille de la Trévaresse. Les travaux de recherche de Baroux et *al*. ont permis de calculer :

- la magnitude du séisme de 1909 :**M = 6,0**
- la profondeur focale du séisme : entre **5 et 6 km**
- le mouvement de la faille lors du séisme : **composante principale inverse**.

L'étude géologique des terrains réalisée par Chardon et *al*. (2005) a révélé plusieurs petites failles inverses, de rejet d'ordre décimétrique à pluridécimétrique, déformant les formations miocènes (-10 Millions d'années) à quaternaires (-2 Millions d'années à actuel), Figure 4. Ces failles indiquent que la déformation compressive de la Trévaresse s'exprime **au niveau du plan principal du chevauchement mais aussi plusieurs centaines de mètres à l'avant de celui-ci**. Le sol brun d'âge très récent (probablement quelques milliers d'années) est impliqué dans la déformation. Il s'agit peut-être de la **rupture des terrains étendue jusqu'à la surface du sol lors du séisme de 1909**. L'étude de ces déformations tectoniques indique pour la faille de la Trévaresse une vitesse de mouvement de **0,05 mm/an à 0,3 mm/an**. Selon Chardon et *al*., le chevauchement de la Trévaresse peut occasionner des séismes de **magnitude supérieure ou égale à 6,0 avec une période de retour de l'ordre de 700 à 5 000 ans**.

Connaissance de la structure des failles en profondeur

Pour obtenir une image de la croûte à plusieurs kilomètres de profondeur, un profil sismique a été réalisé à l'aplomb de la faille de la Trévaresse par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) dans les années 80. Le retraitement des enregistrements et la récente interprétation de celui-ci (*Terrier,2006*), Figure 5, ont permis d'identifer **plusieurs failles inverses à vergence Sud, dont celle de la**

Trévaresse à laquelle s'ajoutent quelques rampes situées plus au sud (c'est-à-dire à l'avant de la Trévaresse). Ces failles semblent s'enraciner en profondeur dans le Trias.
La faille de la Trévaresse, Figure 6, se trouve sous le chaînon du même nom et émerge au pied du versant sud de ce relief. Son orientation est Ouest Nord Ouest – Est Sud Est. **Le plan de faille doit s'enraciner vers 7 à 8 kilomètres de profondeur** dans des formations riches en sel datées entre -245 à -205 millions d'années (période triasique). **Le plan de faille pend vers le nord selon un angle de 45° avec une surface horizontale.**

Plus au Sud, l'interprétation du profil 81SE5b (Figure 7) indique que **le doublement de séries mésozoïques recoupées par le forage d'Eguilles correspond en fait à un chevauchement à vergence Sud**. Cela élimine définitivement le concept de front de chevauchement nord provençal qui prévalait jusqu'alors.

La faille supposée de la Fare est située dans le prolongement de ce chevauchement à vergence sud. Ainsi, il apparaît raisonnable de considérer la faille chevauchante relevée au niveau du forage d'Eguilles et la faille supposée de la Fare comme les segments constitutifs d'un même système de failles que nous avons appelé le système de failles de la Fare- Eguilles. En surface, ce chevauchement à vergence sud fait chevaucher des formations du même âge (Crétacé supérieur), rendant difficile l'observation à l'affleurement d'une discontinuité structurale.

A ce jour, le BRGM n'a pas entrepris de travaux supplémentaires (en particulier des relevés géologiques sur le terrain) relatifs à cet accident. [1]

La Figure 8 illustre la nouvelle interprétation structurale de cette partie de la Provence. Des chevauchements à pendage nord et vergence sud sont localisés plusieurs kilomètres au sud du chevauchement de la Trévaresse, limitant au nord le synclinal de l'Arc. Il s'agit du chevauchement d'Aix-Eguilles et probablement de son prolongement vers l'Ouest au pied du versant méridional du chaînon de la Fare. Il n'est pas impossible que ces chevauchements appartiennent à la famille des chevauchements nord provençaux.

[1] Nous rappelons ici que l'objectif initial de l'étude citée précédemment (SP03RISG16, rapport Terrier 2006) était, sur la base des connaissances de 2005, d'identifier les failles potentiellement actives et de les classer en fonction du niveau de connaissances et du potentiel sismogène.

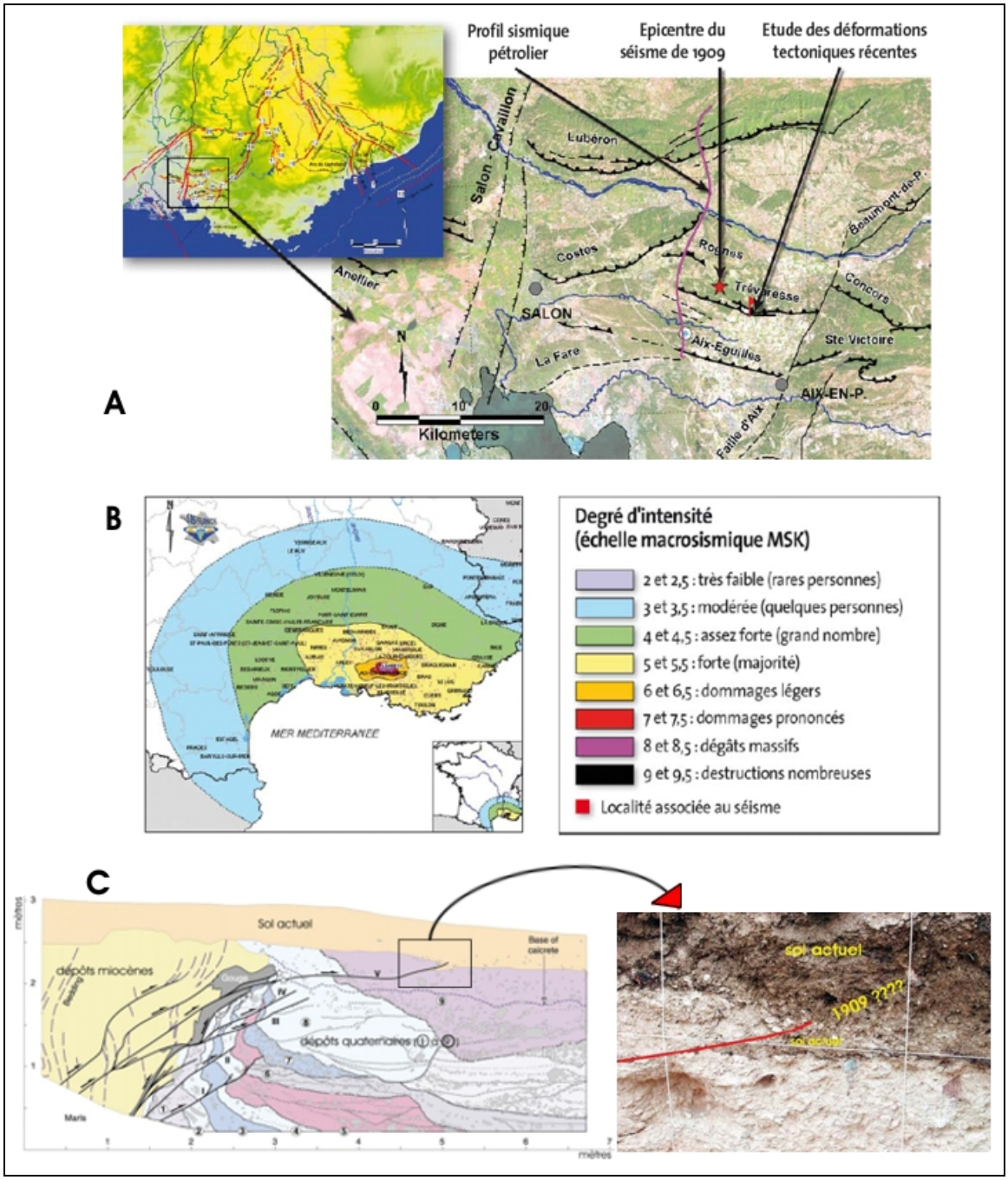
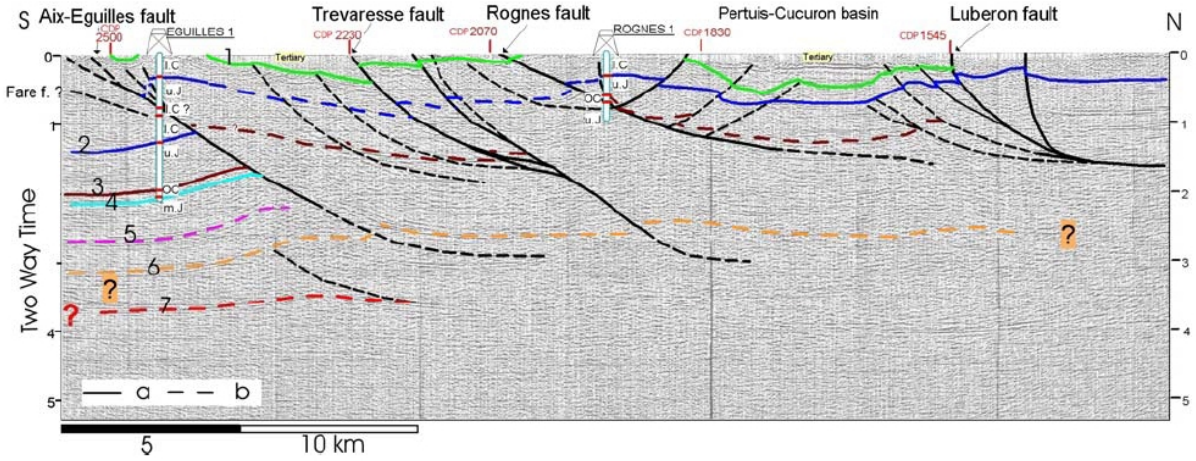
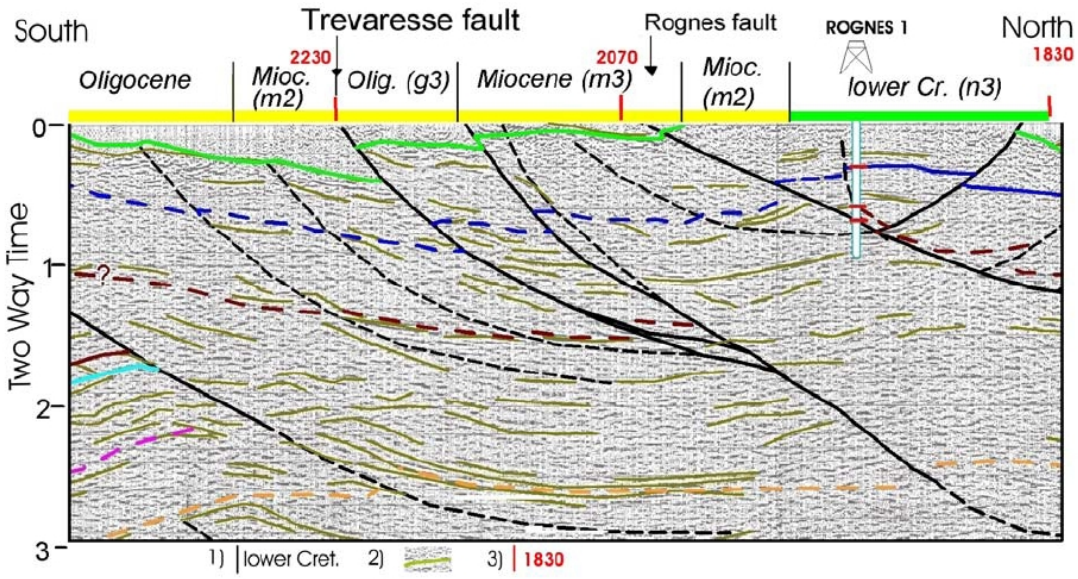


Figure 4 - Région PACA - Rejeu de la faille de la Trévaresse lors du séisme de 1909 : A) localisation, B) Isoséistes du séisme (d'après SisFrance, BRGM, EDF, IRSN, 2005), C) Trace de la rupture en surface de la faille (dessin extrait de Chardon et al., 2005)



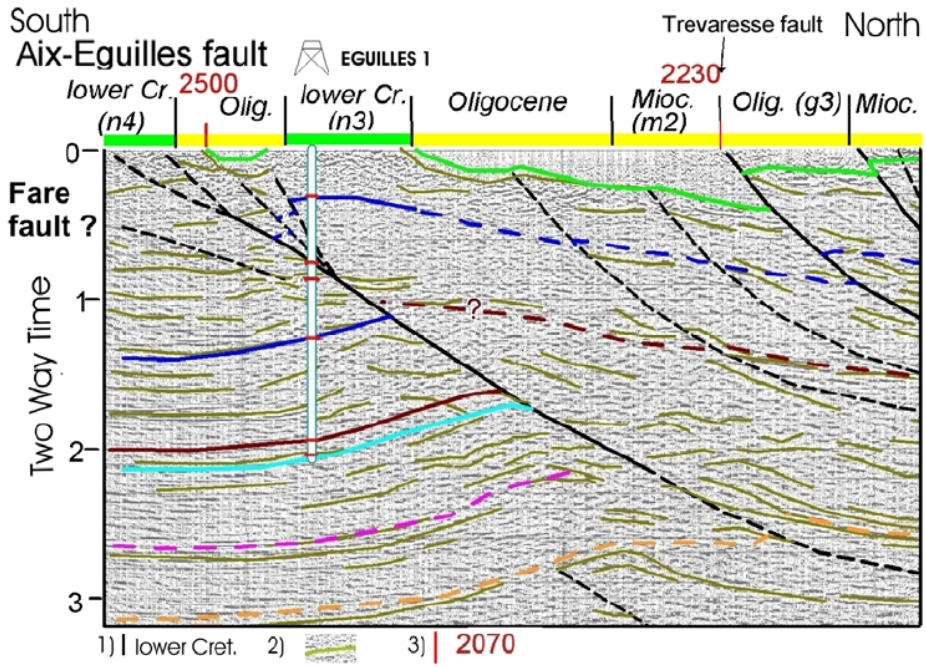
notations en rouge : points CDP (common depth point) repères ; **a** : tracé fiable ; **b** : tracé incertain
Toit du : 1, Crétacé ; **2**, Malm ; **3**, Callovien ; **4**, Dogger ; **5,** Lias ; **6,** Trias ; **7,** socle

Figure 5 – Interprétation du profil sismique 82SE5b



1) limites lithostratigraphiques d'après la carte géologique à 1/50 000 ; 2) pointés des réflections ; 3) point CDP repère

Figure 6 – Zoom au niveau du chevauchement de la Trévaresse



1) limites lithostratigraphiques d'après la carte géologique à 1/50 000 ; 2) pointés des réflexions ; 3) point CDP

Figure 7 – Zoom au niveau de la faille d'Aix-Eguilles

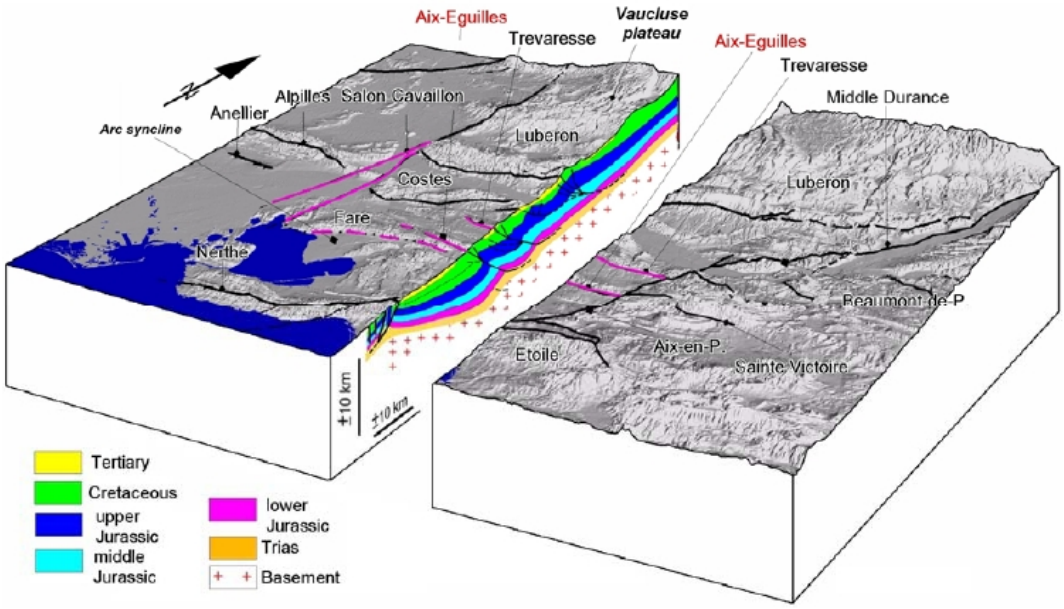


Figure 8 – Nouvelle interprétation, représentation schématique 3D de la localisation des failles tectonique

4. Implication sur l'aléa sismique

Le zonage déterministe réalisé en 1996 a distingué (Figure 3):

- une unité sismotectonique constituée par la famille de failles nord provençales (S27) ; la faille de la Trévaresse constituée alors la limite Sud de cette unité. Le séisme de référence de cette unité est celui de 1909, la magnitude équivalente estimée dans les années 90 à partir des seules observations macrosismiques (descriptions des dégâts observées en surface) était de 5,5.
- Un domaine sismotectonique (D21) auquel était intégré la famille de failles sud provençales (dont le chevauchement de la Barben). Le séisme de référence de cette unité est celui de 1984 dont la magnitude est 4,2.

Le schéma sismotectonique qui prévalait à l'époque, considérait un front nord provençal situé au niveau du chevauchement de la Barben (à vergence Nord) : les limites de ce domaine sismotectonique (D21) recouvrait donc la faille supposée de la Fare, ainsi que le chevauchement d'Aix-Eguilles récemment découvert.

Aujourd'hui, les nouvelles connaissances sur la structure des failles en profondeur permettent de **repousser de plusieurs kilomètres vers le sud la limite de l'unité sismotectonique de failles nord provençales, à pendage nord (S27).** La limite est placée au niveau du chevauchement d'Aix-Eguilles et son prolongement probable vers l'Ouest, c'est-à-dire la faille supposée de la Fare (Figure 9 et Figure 10).

En outre, **le séisme du 11 juin 1909 reste le séisme de référence de cette unité S27**, **par contre** l'analyse récente par Baroux et al. (2003) de toutes les données instrumentales du séisme en donne **une magnitude de 6,0** (au lieu de 5,5 estimée dans les années 90).

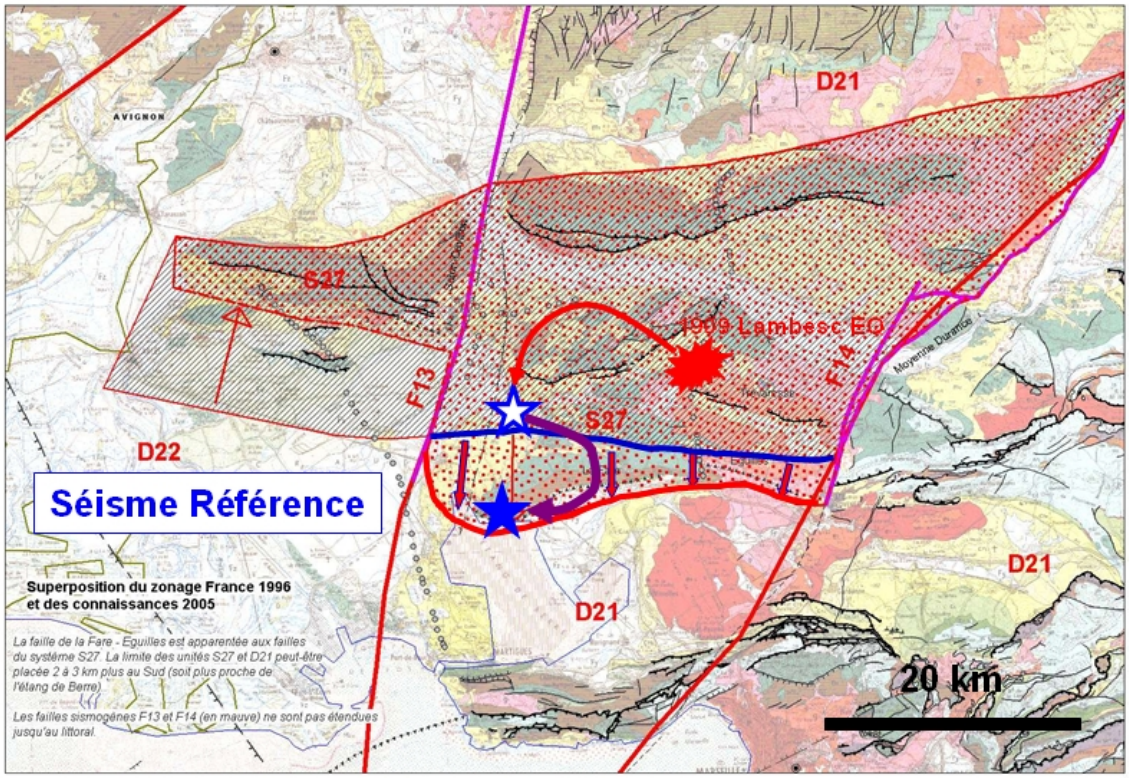


Figure 9 – Impact des nouvelles connaissances sur le zonage sismotectonique

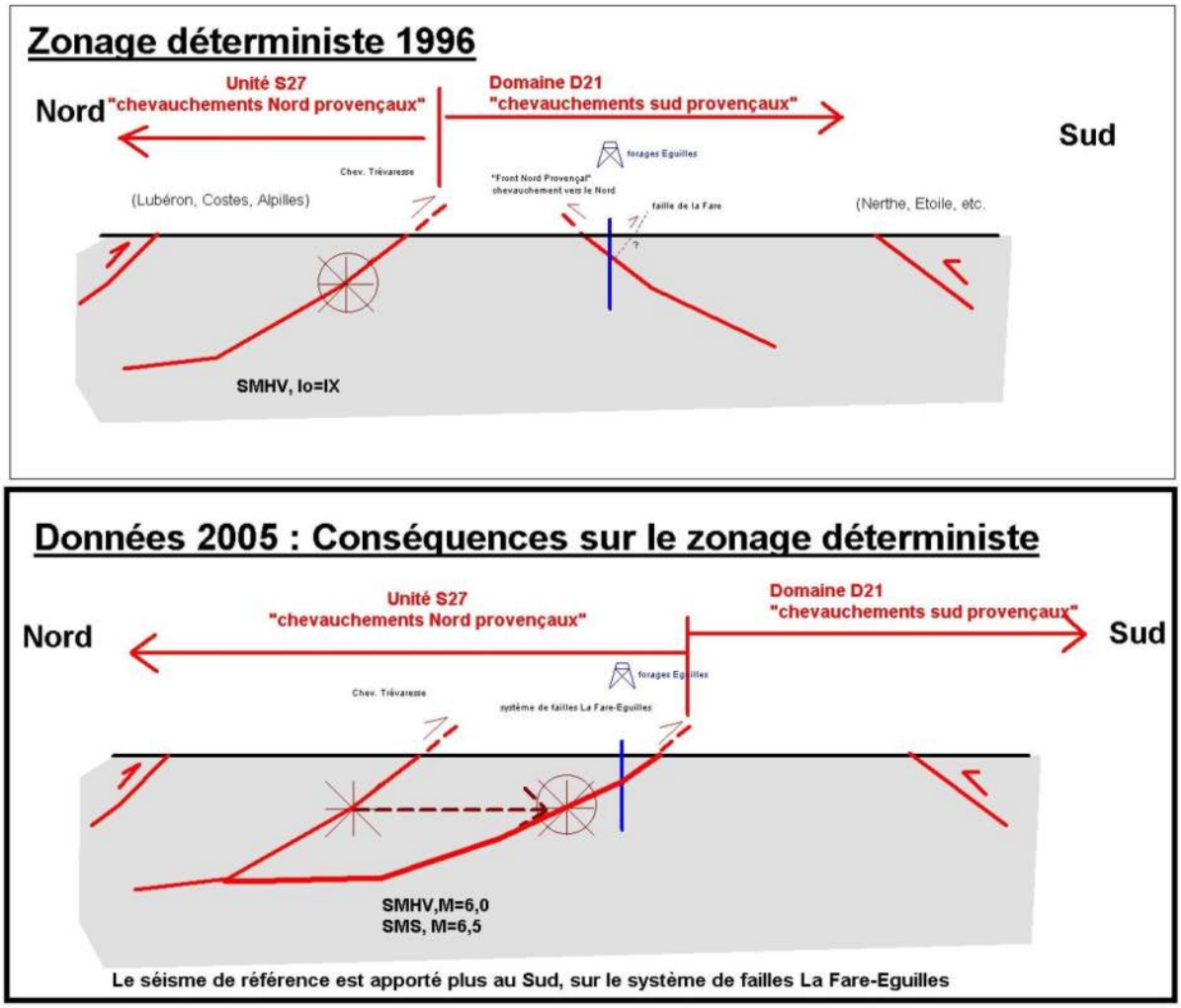


Figure 10 – Nouvelles connaissances sur les failles : conséquence sur l'évaluation déterministe de l'aléa

5. Conclusion

Les données actuelles permettent d'étendre l'unité S27 « failles nord provençales » vers le Sud, englobant dorénavant le système faillé de La Fare-Eguilles (Figure 11).

Concernant la zone industrielle Fos-Berre, celle-ci se trouve toujours dans le domaine D21 « failles Sud Provençales ». Mais le séisme lointain correspondant à celui de l'unité S27 « failles nord provençales » est rapproché de plusieurs kilomètres par rapport aux sites industriels considérés. Ainsi Martigues se trouve à 12 km environ de la limite de l'unité S27 alors qu'en 1996 elle se situait à environ 22 km.

Outre le fait que la magnitude de référence a changé depuis 1996 (pour le SMHV, M=6,0 au lieu de M=5,5), cette modification apportée sur les contours de l'unité S27 contribue à une augmentation parfois significative des mouvements sismiques de référence calculés pour les sites industriels de la zone de Fos-Berre.

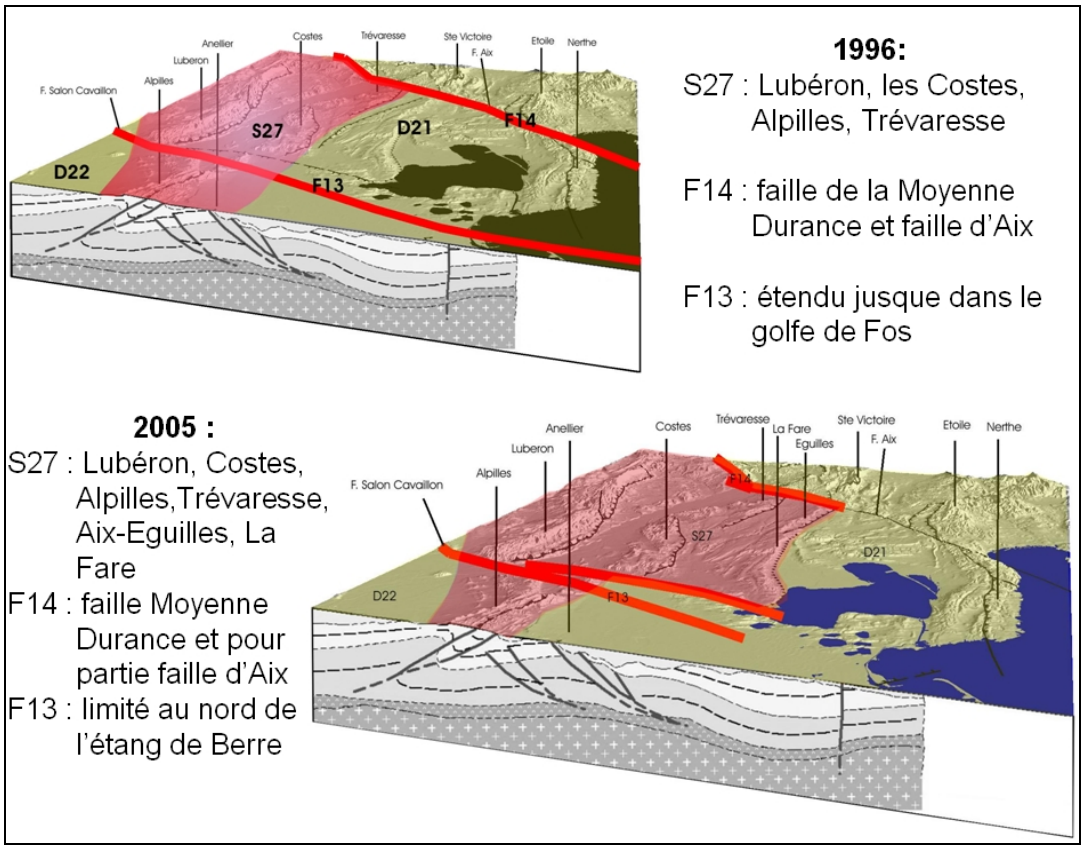


Figure 11 - Evolution du zonage sismotectonique entre 1996 et 2006

6. Bibliographie

BAROUX E., ALESSANDRO PINO N., VALENSISE G., SCOTTI O. & CUSHING M. (2003) – Source parameters of the 11 juin 1909, Lambesc (Provence, southeastern France) earthquake: a reappraisal based on macroseismic, seismological and geodesic observations. *J. of Geophy. Resarch*, vol. 108, n°139, ESE 16.1-16.23

BLES J.L., BOUR M., DOMINIQUE P., GODEFROY P., MARTIN C. & TERRIER M. (1998) - Zonage sismique de la France métropolitaine pour l'application des règles parasismiques aux installations classées. Documents du BRGM n°279

CHAMPION Cl. 1999 – Déformation de la provence occidentale depuis le Miocène ; Etude structurale, utilisation de surfaces géomorphologiques, marqueurs et analyse quantitative du relief. Thèse Univ. Aix-Marseille 3.

CHAMPION C., CHOUKROUNE P. & CLAUZON G. (2000) - La déformation post-miocène en Provence occidentale. *Geodin. Acta*, 13, 67-95

CHARDON D., HERMITTE D., NGUYEN F. & BELLIER O. (2005) – First paleoseismological contraints on the strongest earthquake in France (Provence) in the twentieth century. Geology; nov. 2005, v.33, n°11, 901-904.

COLOMB E. & ROUX R. (1978) – La Crau, données nouvelles et interprétations. *Géologie méditerranéenne*. Tome V, n° 3, 303-324.

GABERT P. (1965) – Phénomènes périglaciaires du Quaternaire supérieur et néotectonique dans la région de l'Etang de Berre (Basse Provence occidentale). *90ème congrès des Sociétés savantes*, Nice 1965, tome II

GHAFIRI A. (1995) – Paléosismicité de failles actives en contexte de sismicité modérée : application à l'évaluation de l'aléa sismique dans le Sud-Est de la France. Thèse Univ. Paris-Sud, Orsay.

LACASSIN R., TAPPONIER P., MEYER B. & ARMIJO R. (2001) – Was the Trévaresse thrust the source of the 1909 Lambesc (Provence, France) earthquake ? Historical and geomorphic evidence*. C. R. Acad. Sci. Paris*, TIIa, 333, 571-581

MORHANGE C., PROVENSAL M., VELLA C., ARNAUD P., BOURCIER M. & LABOREL J. (1998) – Montée relative du niveau de la mer et mouvements du sol à l'Holocène en basse Provence (France, Méditerranée). *Ann. Géo*., n°600, 1998, p139-159

PROVENSAL M. & SAURET B. (1993) – Un nouvel indice de l'activité de la faille de la Fare (Nord de l'Etang de Berre – Bouches-du-Rhône). *Géol.Alp*., Série spéc., n°2, pp41-42

PROVENSAL M., QUINIF Y., VERRECCHIA E. & ARNAUD P. (1995) – Identification d'un littoral tyrrhénien en bordure de l'Etang de Berre (Bouches-du-Rhône, France méridionale). *C. R. Acad. Sci. Paris*, t 320, série IIa, p867-872

PROVENSAL M., ARNAUD P., VELLA C., OBERLIN C. & SISTACH D. (1998) – Les sédiments de l'étang de Berre (Provence, France), témoins de la mobilité du niveau marin holocène. *Bull. Soc. Géol. France*, 1998, t169, n°1, p127-135.

TEMPIER Cl., 1987 – Modèle nouveau de mise en place des structres provençales. Bull. Soc. Géol. France, (8), tIII, n°3, 533-540

TERRIER M. (2006) - Identification et hiérarchisation des failles actives de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur - Phase 3 : Hiérarchisation des failles actives. Rapport BRGM/RP-53 930-FR, 216p, 89 fig., 5 pl. hors texte, 1 ann.



Centre scientifique et technique
Service Aménagement et Risques Naturels
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34