



ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 337 (2005) 375–384



COMPTES RENDUS

GEOSCIENCE

<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

Tectonique

## Géométrie et cinématique post-oligocène des failles d'Aix et de la moyenne Durance (Provence, France)

Pierre Guignard\*, Olivier Bellier, Dominique Chardon

Centre européen de recherche et d'enseignement de géosciences de l'environnement, UMR CNRS 6635, université d'Aix-Marseille-3, BP 80, Europole méditerranéenne de l'Arbois, 13545 Aix-en-Provence cedex 4, France

Reçu le 21 octobre 2004; accepté après révision le 27 octobre 2004

Disponible sur Internet le 26 janvier 2005

Présenté par Jacques Angelier

---

### Résumé

Le Sud de la faille de la moyenne Durance (FMD), est composé de plusieurs segments de faille, dont certains sont connectés à des chevauchements WSW à vergence sud. Au sud, la faille d'Aix est réactivée en décrochement post-oligocène. Les failles d'Aix et de la FMD appartiendraient donc au même système de faille décrochant, permettant la propagation de la déformation compressive (sur plis-failles inverses est-ouest) du panneau ouest-provençal vers le sud. L'étude de cinématique de faille montre une variation spatiale du champ de contraintes, avec un axe  $\sigma_1$  orienté N150°E au sud de la FMD et sub-méridien sur la faille d'Aix et les failles inverses méridionales. *Pour citer cet article : P. Guignard et al., C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

### Abstract

**Geometry and post-Oligocene kinematics of the Aix and Moyenne Durance faults (Provence, France).** The southern termination of the left-lateral 'Moyenne Durance' Fault (FMD) consists in several segments, some being connected to WSW-trending south-verging reverse faults. To the south, the Aix fault is reactivated in a post-Oligocene strike-slip movement showing that these two faults might belong to the same system. This system seems to transfer, in turn, slip to the east-trending, south-verging Trévaresse reverse fault, allowing southward propagation of the Alpine deformation front in western Provence. Fault kinematics analysis shows lateral stress field change between the two faults. Strike-slip stress state is characterized by an average N150°E trending  $\sigma_1$  near the FMD termination, whilst strike-slip and reverse faulting stress states show north-trending  $\sigma_1$  to the south. *To cite this article: P. Guignard et al., C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

*Mots-clés :* Tectonique active ; Géomorphologie ; Cinématique de faille ; Champ de contraintes

*Keywords :* Active tectonics; Geomorphology; Fault kinematics; Stress field

---

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [guignard@cerege.fr](mailto:guignard@cerege.fr) (P. Guignard).

## Abridged English version

### 1. Introduction

The Aix and ‘Moyenne Durance’ faults are inherited from a NNE-trending fault network of Late Variscan age that has been repeatedly reactivated in Meso-Cainozoic times during each main tectonic phase. The western Provence crustal panel [18,22], which is characterized by internal post-Miocene south-verging reverse faulting and folding (Fig. 1), is bounded to the east by the FMD. The need to precise the geometry of the southern FMD and its relations with the Aix fault is crucial as it relates to the seismic potential of one of the largest (ca 80-km-long) active faults in France that could produce major earthquakes. Here, we present the results of an integrated structural (field mapping and fault-slip data inversions) and geomorphic (field and DEM analysis) study of the southern FMD and of the northern Aix fault.

### 2. Fault segmentation

From Manosque to Mirabeau (Fig. 1), the FMD has a relative simple trace that parallels the Durance River course [1,11,12]. South of Beaumont, the fault splits in several segments, some of them acquiring WSW trend and show preferential south-verging reverse faulting along their termination within the Cucuron Basin (Fig. 1), whilst the main fault trace appears to extend further south, where it is mapped up to La Loubière valley. This fault pattern suggests a horse tail termination for the FMD. However, near Meyrargues (Fig. 1), along the northern extension of the Aix fault, a major sinistral strike-slip fault plane affects Oligocene conglomerates (Fig. 5), indicating Late Cainozoic strike-slip reactivation (see next paragraph) of the syn-sedimentary Chattian Aix normal fault (e.g., (15)). This implies that at least part of the recent strike-slip from along the FMD is transferred to the Aix fault.

### 3. Geomorphic indices and fault kinematics

Between Sainte Tulle and Mirabeau (Fig. 1), map traces and longitudinal profiles of creeks incising the 2-Ma-old abandonment geomorphic surface of the Valensole II formation [9] suggest active deformation

(Fig. 2) along a potential north-trending fault trace. This is attested by the left-lateral *en baïonnette* trace of the talwegs and aligned anomalies in the longitudinal profiles across homogeneous conglomerates (Fig. 2) that display evidence for pervasive deformation (striated, cupulated and sheared pebbles). Inversion of fault-slip data (Table 1) show a dominantly strike-slip stress state associated with a  $N151 \pm 6^\circ E$  trending  $\sigma_1$  in those conglomerates (Fig. 5). This contrasts with inversion results obtained from the northern strand of the Aix fault (Fig. 3), near Meyrargues, that indicate strike-slip regime with a  $N176 \pm 8^\circ E$ -trending  $\sigma_1$  and the reverse faulting regime ( $N07 \pm 3^\circ E$ -trending  $\sigma_1$ ) recorded along the Trévaresse Fault.

### 4. Discussion

These results indicate an abrupt lateral change in the stress field from around the southern termination of the FMD towards the SSW. They further indicate that the FMD and the Aix fault might belong to the same system. This system seems to transfer, in turn, slip to the east-trending, south-verging Trévaresse reverse fault, allowing southward propagation of the Alpine deformation front in western Provence panel (Fig. 6).

## 1. Introduction

Le panneau de couverture méso-cénozoïque ouest-provençal, à géométrie trapézoïdale, est limité par la faille de la moyenne Durance (FMD), à l’est, et par la faille de Nîmes, à l’ouest [18,22] (Fig. 1). La déformation interne post-Oligocène de ce panneau est principalement accommodée par des failles inverses d’orientation est-ouest à vergence sud, chacun de ces accidents étant associé à un chaînon anticlinal (Fig. 1), la tectonique pyrénéenne ayant, quant à elle, produit des structures à vergences nord. La faille d’Aix et la FMD forment un système, NNE–SSW, d’accidents tardi-hercyniens réactivés au cours des différentes phases de tectonogenèses mésozoïques et cénozoïques. Il constitue un système majeur du Sud-Est de la France, délimitant la Provence occidentale, caractérisée par une couverture sédimentaire importante (épaisseur moyenne d’environ 7 km, bassins de Manosque, de Cucuron) et la Provence orientale, où la

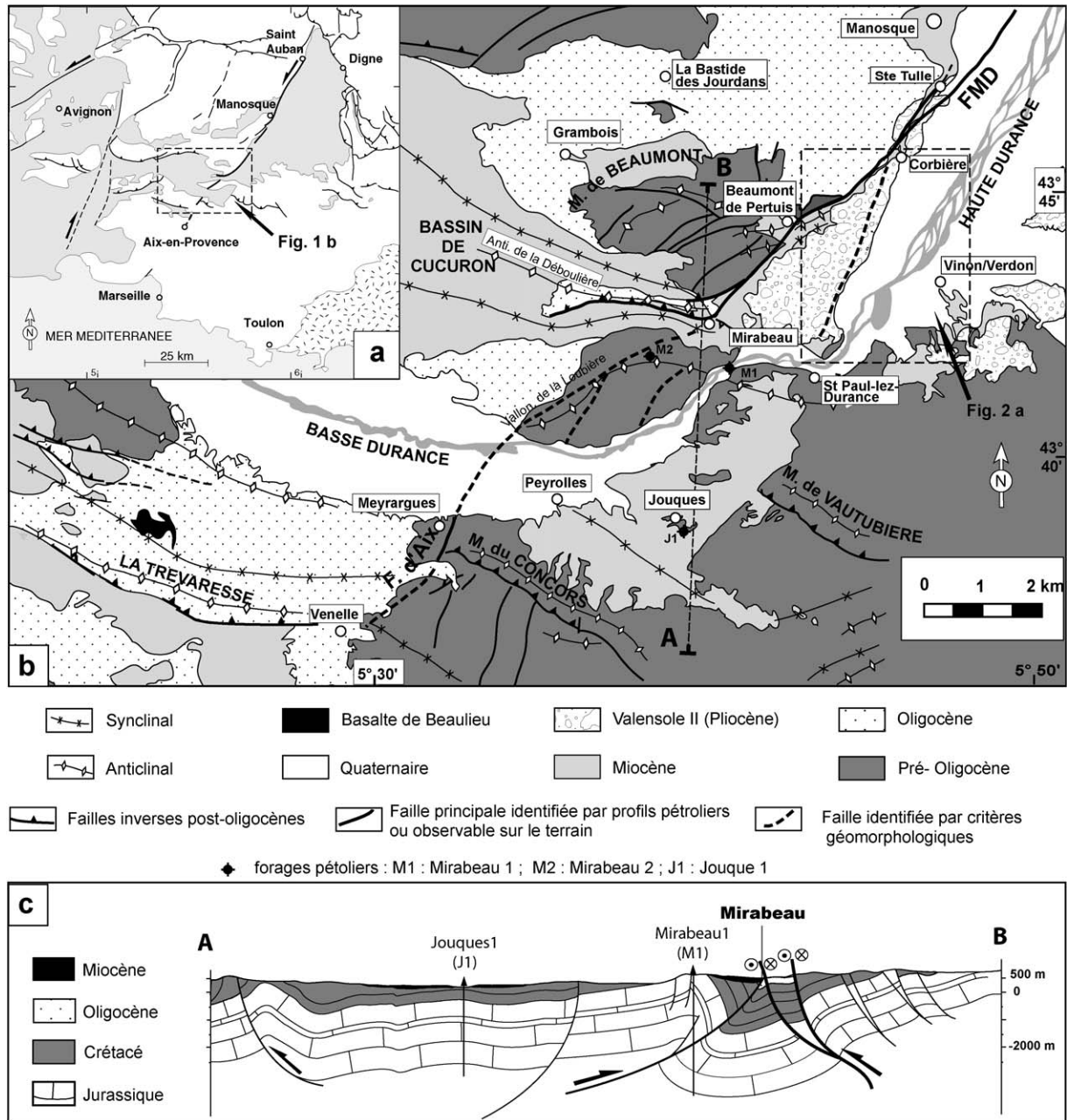


Fig. 1. (a) Carte des accidents post-miocènes de la Provence occidentale. Les formations néogènes sont figurées en gris. (b) Schéma structural montrant le système de failles Aix-moyenne Durance entre Manosque et Venelle. (c) Coupe géologique.

Fig. 1. (a) Post-Miocene fault map of western Provence. Neogene formations are shown in grey. (b) Structural map of the central part of the Aix-‘Moyenne Durance’ fault system between Manosque and Venelle. (c) Geological cross section.

couverture est réduite (environ 2 km d'épaisseur) (par exemple, [4]).

Si cette faille a joué un rôle prépondérant dans l'histoire géologique de la Provence, son expression morphologique actuelle est peu marquée [18], à cause de son faible taux de déplacement et de la dégradation rapide des signaux morphologiques d'origine tectonique (érosions naturelle et anthropique) (par exemple, [5,20]). Néanmoins, la FMD est la seule faille en Provence où la sismicité soit observable sur trois échelles de temps (sismicité instrumentale, historique, paléosismicité [11,19,23]). La FMD est constituée de segments de 10 à 25 km de longueur [12]. Elle forme une zone de faille de près de 80 km de long, ce qui en fait une des failles les plus importantes du territoire métropolitain du point de vue sismogénique (c'est-à-dire que, d'après la loi d'échelle, elle est susceptible de produire des séismes de forte magnitude), d'où l'importance de préciser la géométrie de cette faille. L'objectif de notre étude est de contraindre le tracé des failles caractérisant la terminaison méridionale de la FMD et ses relations avec la faille d'Aix (domaine présenté initialement comme une zone de relais potentiel [1,7,10,21]), en combinant les approches géomorphologiques et tectoniques de terrain et l'analyse de données géomatiques (imagerie satellitaire SPOT, photographies aériennes), des cartes géologiques [13,14,16] et de la topographie (cartes et MNT, IGN). Notre approche est complétée par une étude de cinématique de faille, afin de caractériser le champ de contraintes récent de ce domaine.

## 2. Cartographie des failles (Fig. 1)

La FMD longe la rive droite de la vallée de la Durance, entre Château-Arnoux et le Nord de Saint-Paul-lez-Durance (Fig. 1). D'après les études récentes intégrant notamment la ré-interprétation de profils de sismique pétrolière et d'imagerie géophysique de subsurface, les segments septentrionaux de la FMD, de Saint-Auban à Manosque, longent la rive occidentale de la Durance, soit au contact entre les séries méso-cénozoïques et le Quaternaire, soit dans la plaine alluviale de la Durance, parfois associés en surface à un rebord de terrasse [1,11,17,20]. À proximité de Sainte-Tulle (Fig. 1), la connexion avec le segment de Manosque, identifié sur profil sismique (par exemple,

[12]) émergerait en surface dans une terrasse d'âge Riss [16,20]. Cependant, aucun marqueur géomorphologique ne permet d'identifier avec certitude la trace de la faille dans ce secteur. Entre Beaumont-de-Pertuis et Mirabeau, une faille majeure est cartographiée au contact Mésozoïque–Tertiaire [14,16], correspondant à un accident identifié sur les profils sismiques [12]. Au nord de Beaumont (Fig. 1), cet accident forme un *bend* (ou courbure) transpressif, auquel sont associés des plis de faible amplitude dans les calcaires lacustres tortoniens.

Au sud de Beaumont-de-Pertuis, la faille se divise en deux segments, qui bifurquent vers l'ouest sous forme de chevauchements est–ouest, à vergence sud, et qui bordent de part et d'autre la terminaison orientale de l'anticlinal de La Déboulrière (bassin de Cucuron, Fig. 1). Au sud, la terminaison péri-anticlinale dans les calcaires mésozoïques du massif de Mirabeau est découpée par trois segments de failles d'orientation NE–SW à NNE–SSW [14], le plus occidental représentant probablement la trace de la faille majeure et affectant les dépôts oligocènes. La cinématique de faille correspond à un régime décrochant compatible avec un mouvement sénestre sur la direction de la FMD (cf. ci-dessous). En effet, au niveau du vallon de la Loubière, à l'extrémité sud-ouest du massif de Mirabeau (Fig. 1), les conglomérats oligocènes sont striés et cisailés, et une succession linéaire d'incisions discontinues suggère l'existence d'une faille.

Au nord de l'anticlinal de Pont-de-Mirabeau, l'analyse du réseau hydrographique de second ordre, réalisée à partir du modèle numérique de terrain, permet de mettre en évidence des anomalies géomorphologiques. En effet, les talwegs qui incisent la surface d'abandon fini-pliocène de la formation Valensole II [9] forment des « baïonnettes », dont la partie aval est orientée vers le nord-est (cf. Fig. 2a), c'est-à-dire à contre-pente de la ligne de plus grande pente de la topographie régionale (vers le sud) et de l'écoulement moyen de ces talwegs (vers le sud-est).

Les profils longitudinaux de ces talwegs (Fig. 2b) révèlent une anomalie convexe systématique, précisément au niveau des inflexions des baïonnettes. Ces anomalies s'alignent selon une orientation NNE–SSW, indépendamment de variations lithologiques, puisqu'elles sont observées au sein de la formation Valensole II qui peut être considérée homogène vis-à-vis des processus érosifs. Elles peuvent être interprétées



comme la trace éventuelle d'une faille, le tracé en baïonnette indiquant une composante sénestre pour cet accident. Cependant, malgré la proximité de sites à galets cisailés dans la zone (Tableau 1 et Fig. 3), aucun indice de surface n'a pu être identifié sur le terrain.

Toutefois, la couverture végétale sur la formation de Valensole II ne favorise pas l'observation directe. Au sud, la relation entre la FMD et la faille d'Aix, bien identifiée à Meyrargues (cf. ci-dessous), n'est pas observable au travers du lit majeur de la Basse Durance, d'orientation est-ouest (Figs. 1 et 3).

### 3. Cinématiques des failles et états de contraintes post-oligocènes

Les analyses de cinématique de failles ont été effectuées à partir de mesures de plans de failles striés qui affectent les dépôts mésozoïques à cénozoïques, et de faces de galets striés de la formation Valensole II, d'âge Pliocène [9]. Les mesures des plans striés ont été inversées en utilisant la méthode de Carey [6], afin de déterminer les déviateurs de contraintes responsables des mouvements observés. La localisation des sites de mesures, l'âge des formations affectées par les populations de plans striés, ainsi que les résultats des inversions sont synthétisés dans le Tableau 1.

Entre Sainte-Tulle et Mirabeau, bien qu'aucun plan de faille n'ait été observé dans la formation Valensole II, les galets pliocènes sont, en de nombreux sites, striés, cisailés et cupulés, indiquant que la zone est déformée (Miocène et Oligocène vertical à Sainte-Tulle). L'ensemble des stations de mesures indique des états de contraintes majoritairement décrochants ( $\sigma_2$  vertical), parfois compressifs ( $\sigma_3$  vertical) et caractérisés par des directions de compression ( $\sigma_1$ ) comprises entre N135°E et N165°E, avec, pour les inversions les mieux contraintes, une direction moyenne de  $\sigma_1$  à N151 ± 6°E (Fig. 4 et Tableau 1), qui confirment les résultats obtenus le long de la FMD, entre Saint-Auban et Meyrargues par Combes [10] et Baroux [1].

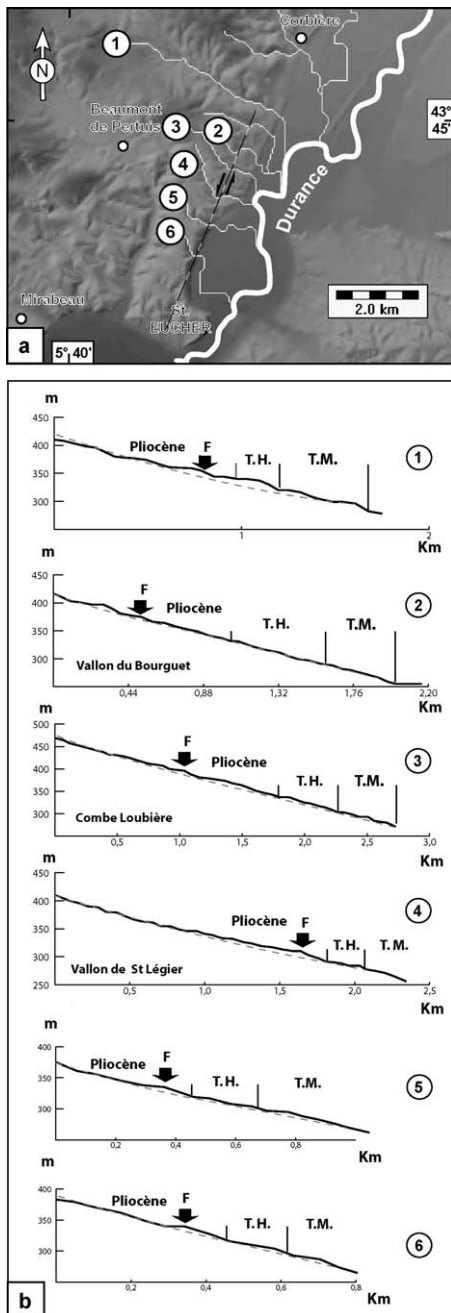


Fig. 2. (a) Modèle numérique de terrain au pas de 50 m (IGN) montrant les tracés en baïonnette des talwegs en rive droite de la Durance : la flèche indique un décalage maximum horizontal (sénestre) du vallon de Saint-Légier ; (b) profils longitudinaux correspondants. TH : terrasse haute de la Durance ; TB : terrasse basse ; F : anomalie pouvant s'interpréter comme une trace de faille.

Fig. 2. (a) 50-m Digital Elevation Model showing the trace of *en baïonnette* talwegs west of the Durance River: arrows show a maximum horizontal movement (sinistral movement) for the St Léquier dale. (b) Corresponding longitudinal stream profiles. TH: High terrace of the Durance River; TB: low terrace; F: anomaly possibly interpreted as a fault trace.

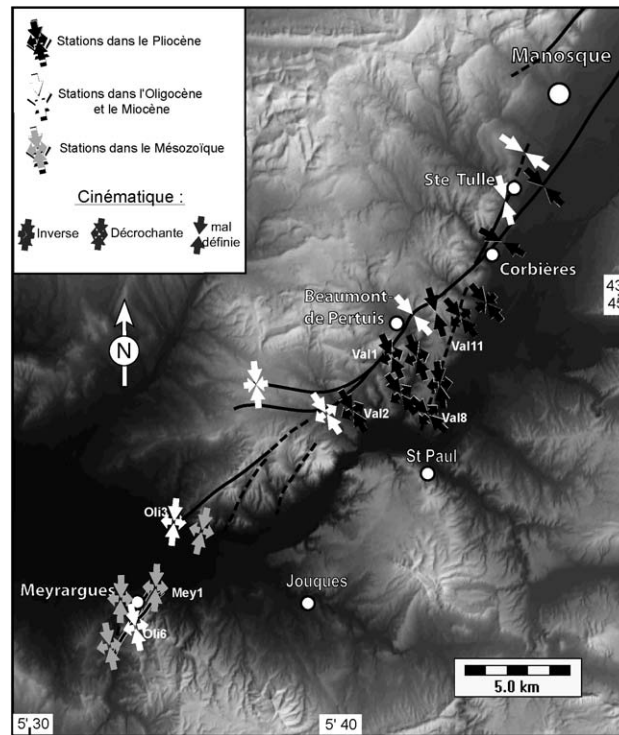


Fig. 3. Synthèse des résultats d'inversion de populations de failles.

Fig. 3. Results of the fault population inversions.

Toutefois, nos résultats indiquent que le régime compressif présentant une cinématique inverse à composante sénestre de la FMD, enregistré au niveau de Manosque [1], évolue vers un état de contraintes décrochant entre Sainte-Tulle et Beaumont. Cette variation accompagne la réorientation des segments de failles de la FMD (de NNE–SSW à NE–SW, du nord vers le sud).

Au niveau de la terminaison pèri-anticlinale méridionale du pli de Mirabeau (site Oli3, Figs. 1 et 3), en rive droite de la basse Durance, la population de plans striés affectant les conglomérats oligocènes permet de déterminer un déviateur des contraintes décrochant, caractérisé par une direction de compression N06°E.

Au sud de la vallée de la Durance, à 1,2 km à l'est de Meyrargues et en rive gauche du canal EDF (site Mey1), des stries décrochantes et des cannelures ont été mesurées sur un miroir de faille majeur (plurimétrique) affectant des calcaires barrémiens, ainsi que dans la brèche de faille associée. L'ensemble de nos mesures et des observations de terrain suggère l'exis-

tence d'une cinématique unique, postérieure à l'extension attribuée à la période tardi-Oligocène à Miocène inférieur. Ces structures résultent d'un régime décrochant, caractérisé par un axe  $\sigma_1$  orienté N03°E. Cependant, il existe sur ce site une grande dispersion des données, témoignant probablement d'une hétérogénéité de déformation liée à des rotations internes durant le décrochement, et/ou à la mesure, sans distinction chronologique possible, de structures (stries) antérieures à la tectonique décrochante étudiée. Dans la prolongation de cette faille majeure, à 350 m au sud du site Mey1, des dépôts oligocènes à faible pendage vers l'est sont affectés par un plan de faille majeur orienté NE–SW et à fort pendage (85°NW) (site Oli6, Fig. 5). Ce plan et les failles associées présentent des stries et des cannelures métriques décrochantes sénestres, majoritairement à faible composante inverse. Cette zone coïncide avec l'accident normal synsédimentaire délimitant le demi-graben oligocène à l'ouest d'une limite entre Meyrargues et Aix-en-Provence (par exemple, [15]). Nos observations indiquent donc une réactiva-

Tableau 1

Résultats des inversions de populations de plans striés et localisation des sites de mesures. ND : nombre de données ;  $\sigma_1, \sigma_2$  et  $\sigma_3$  : axes principaux de contraintes ;  $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$  : rapport des contraintes déviatoriques ; \* station dont le tenseur est issu d'un test et non d'une inversion

Table 1

Inversion results and sites location. ND: number of data;  $\sigma_1, \sigma_2$  and  $\sigma_3$ : principal stress axes;  $R = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\sigma_3 - \sigma_1)$  deviatoric stress ratio; \* station where the tensor is obtained from a test and not by an inversion

Site	ND	Localisation	Âge	$\sigma_1$		$\sigma_2$		$\sigma_3$		R
				Azim. (°)	Pend. (°)	Azim. (°)	Pend. (°)	Azim. (°)	Pend. (°)	
Val1	24	3°35'–43°72'	Pliocène	156	17	32	61	253	22	0,67
Val2	16	3°33'–43°71'	Pliocène	149	23	323	66	58	2	0,76
Val3	21	3°39'–43°71'	Pliocène	351	0,6	84	77	261	12	0,50
Val4	14	3°40'–43°74'	Pliocène	320	16	228	5	122	73	0,80
Val5	18	3°36'–43°71'	Pliocène	144	33	266	50	39	29	0,94
Val6	16	3°36'–43°73'	Pliocène	160	4,7	263	70	68	18	0,96
Val7	20	3°37'–43°74'	Pliocène	163	22	27	61	261	18	0,66
Val8	11	3°37'–43°70'	Pliocène	314	0,6	82	89	224	0,7	0,35
Val9	8	3°42'–43°76'	Pliocène	118	0,0	272	89	28	2,2	0,62
Val10	18	3°44'–43°79'	Pliocène	134	8	26	64	228	24	0,79
Val11	20	3°43'–43°79'	Pliocène	141	7	11	79	232	8	0,82
Mio1	17	3°32'–43°71'	Miocène	146	20	358	66	240	11	0,91
Mio2	21	3°37'–43°74'	Miocène	138	33	237	13	347	53	0,99
Oli1	16	3°25'–43°71'	Oligocène	174	8	265	6	33	79	0,93
Oli3	18	3°22'–43°67'	Oligocène	186	10	84	47	285	41	0,97
Oli4	14	3°42'–43°78'	Oligocène	345	3,4	252	38	79	51	0,71
Oli5	18	3°43'–43°79'	Oligocène	124	0,6	20	87	213	2,5	0,43
Oli6	16	3°20'–43°64'	Oligocène	348	7	238	70	80	18	0,75
Mey1	20	3°21'–43°64'	Mésozoïque	3	5,8	270	18	109	70	0,88
Mey2	13	3°18'–43°63'	Mésozoïque	169	12	359	76	260	2,2	0,50
Mey3	15	3°19'–43°63'	Mésozoïque	181	1,2	72	86	271	3,4	0,18
Mey4	12	3°18'–43°63'	Mésozoïque	13	8	214	81	104	3	0,76

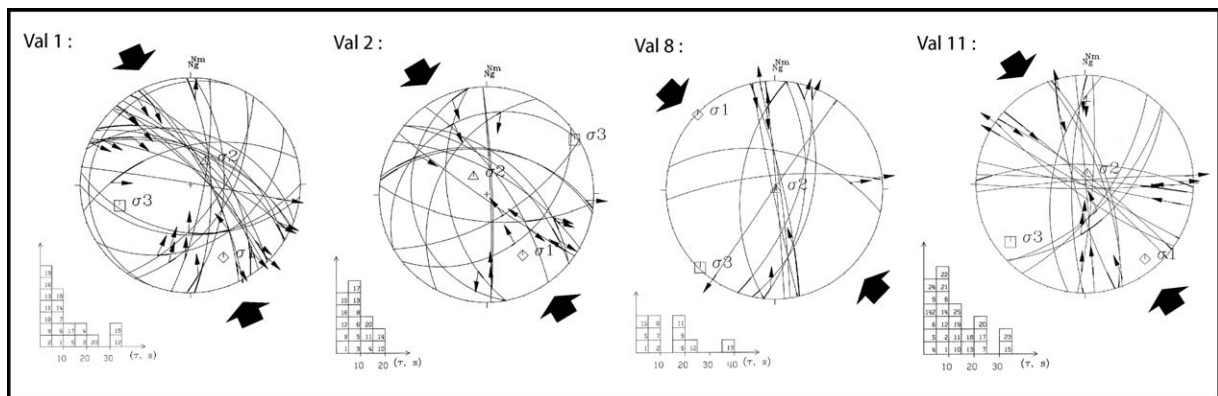


Fig. 4. Résultats des inversions de populations de plans striés mesurés dans la formation pliocène Valensole II (Tableau 1). Les histogrammes montrent les écarts entre les stries mesurées (S) et calculées ( $\tau$ ).

Fig. 4. Inversion results of fault planes populations measured in the Pliocene Valensole II formation (Table 1). Histogram shows the deviation between measured (S) and computed ( $\tau$ ) striae.

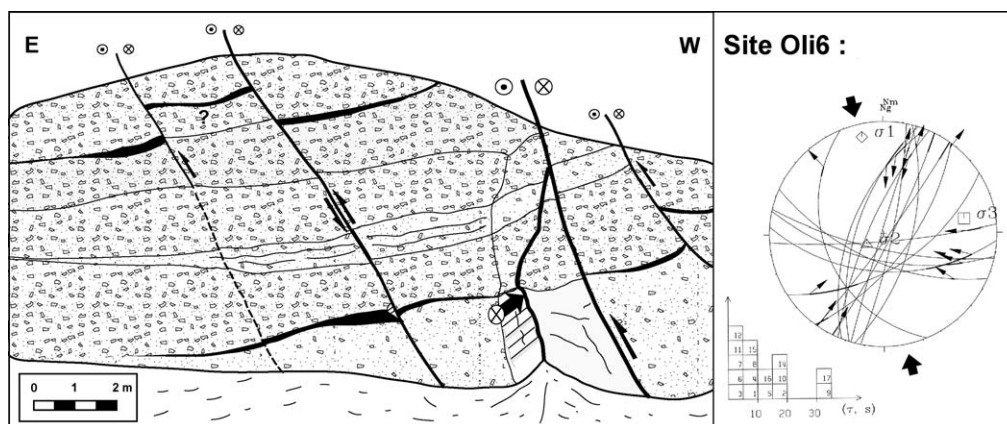


Fig. 5. Plan de faille majeur de la faille d'Aix à l'est de Meyrargues (site Oli6) et résultat de l'inversion des plans striés correspondants.

Fig. 5. The Aix fault east of Meyrargues (station Oli6) and corresponding inversion results.

tion post-oligocène en décrochement sénestre de la terminaison septentrionale de la zone de faille d'Aix. L'inversion des plans striés mesurés dans l'Oligocène (site Oli6, Fig. 5), permet de déterminer un régime décrochant caractérisé par une direction de  $\sigma_1$  N168°E. Ce résultat est cohérent avec ceux obtenus dans le Crétacé au voisinage de cette zone de faille.

#### 4. Discussion – Conclusion

La présente étude permet de préciser la cartographie de la segmentation de la terminaison sud de la FMD et de caractériser ses relations avec la faille d'Aix. Les indices de déformation quaternaire étant ténus (indices morphologiques), ils ne permettent pas de contraindre un tracé précis de la faille. Toutefois, quelques résultats de premier ordre se dégagent.

La FMD, au sud de Sainte-Tulle, consiste en plusieurs segments de faille, certains de ces segments s'étant propagés vers l'WSW et le sud-ouest, sous forme de failles inverses à vergence sud, dans le secteur oriental du bassin de Cucuron (direction WSW), ou de failles décrochantes-sénestres, dans le massif de Pont-de-Mirabeau (direction sud-ouest). L'agencement des failles suggère une géométrie en queue de cheval dans ce secteur. Des anomalies géomorphologiques (baïonnettes et anomalies des profils longitudinaux des talwegs) affectant la surface d'abandon du Valensole II (~ 2 Ma d'après Clauzon [9]), ainsi que des indices microtectoniques (galets cisailés...) obser-

vés dans la formation Valensole II, d'âge Pliocène, suggèrent l'existence d'un accident actif au Quaternaire, d'orientation NNW–SSE à composante décrochante sénestre, en rive droite de la moyenne Durance, entre Sainte-Tulle et Saint-Eucher. Aucune expression directe de la faille en surface n'a cependant été observée.

L'analyse de la déformation de l'Oligocène de Meyrargues, en rive gauche de la basse Durance, indique que la faille normale synsédimentaire oligocène d'Aix a été réactivée en décrochement sénestre au Cénozoïque supérieur. Ce segment de la faille d'Aix pourrait se connecter, au sud, à la faille inverse de la Trévaresse réactivée lors du séisme provençal du 11 juin 1909 [3,8]. C'est pourquoi, malgré la géométrie suggérant une terminaison de la FMD au nord de Peyrolles (Fig. 1), la faille d'Aix et la FMD doivent appartenir au même système de faille décrochant post-oligocène qui a accompagné et probablement contrôlé la propagation des failles inverses (est–ouest) du Panneau ouest-provençal, vers le sud (Fig. 6). Les arguments avancés s'appuient sur un diachronisme de la structuration des chaînons est–ouest du Lubéron et de la Trévaresse. En effet, l'essentiel de la structuration du Lubéron est achevée à 5,8 Ma [7,9], alors que, plus au sud, la déformation du chaînon de la Trévaresse se propage jusqu'à l'Actuel (séisme de 1909, par exemple, [8]). Par ailleurs, les déplacements en faille inverse à vergence sud de la Trévaresse consti-



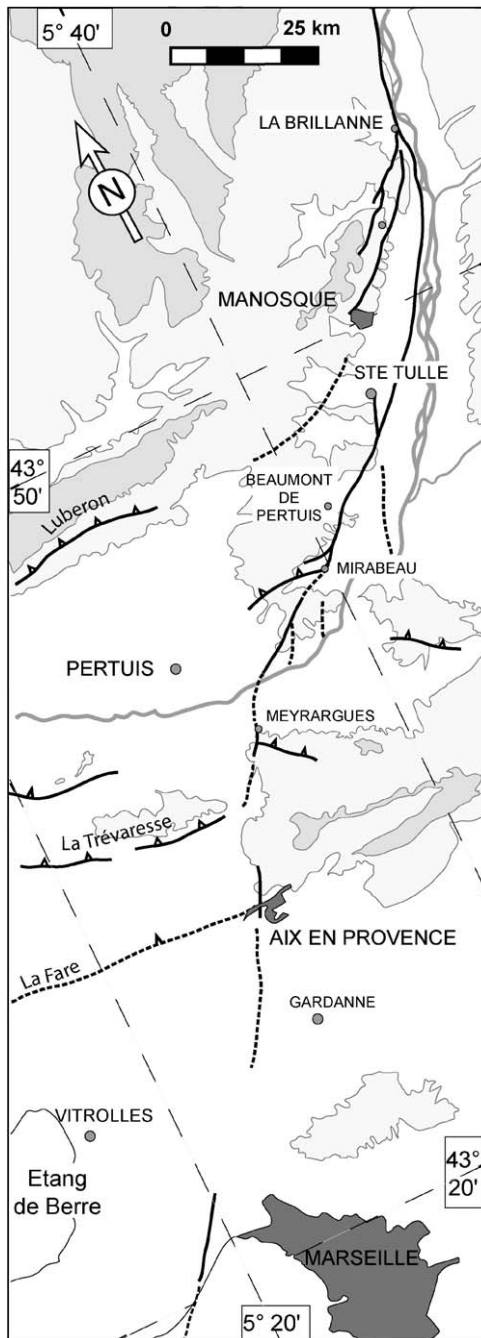


Fig. 6. Représentation synthétique des failles du système moyenne Durance-faille d'Aix. Les courbes de niveau 400 et 600 m sont représentées.

Fig. 6. Synthetic map of the Moyenne Durance-Aix fault system. Contours 400 and 600 m are shown.

tuent une réactivation tardive (fini- et post-Miocène) de failles normales oligocènes.

Entre Sainte-Tulle et Mirabeau, sur 11 sites, des mesures de cinématique ont été effectuées sur des galets striés du Pliocène qui définissent un régime décrochant caractérisé par une direction de  $\sigma_1$   $N151 \pm 6^\circ E$ . Entre Mirabeau et Meyrargues, les failles mesurées dans des dépôts plus anciens (oligocènes et crétacés) n'indiquent qu'une seule cinématique post-extension oligocène caractérisée par une direction moyenne de  $\sigma_1$   $N176 \pm 8^\circ E$ , compatible avec celle enregistrée sur la faille inverse de la Trévaresse dans les formations chattiennes et tortoniennes, de  $N7 \pm 3^\circ E$  [8]. Nous n'observons donc pas de variation significative de l'état de contrainte, depuis l'Oligocène, dans la zone de déformation couvrant le Nord de la faille d'Aix et le Sud de la FMD. La cinématique définie ici correspond à l'épisode le plus récent mis en évidence par Baroux [1] plus au nord, dans la partie centrale de la FMD, où cet auteur détermine une phase plio-quadernaire, caractérisée par un axe  $\sigma_1$  orienté  $N150^\circ E$ , impliquant un déplacement oblique senestre-inverse de la FMD. Il semble donc exister une réorientation spatiale des contraintes principales. À l'échelle régionale, cette variation latérale et abrupte (sur une zone de 15 km environ) du champ de contraintes conforte l'analyse des mécanismes au foyer de séismes instrumentaux provençaux [2].

## Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre des programmes ACI *Prévention des catastrophes naturelles* et EU *SAFE* (EVGI 2000-22005), avec le soutien du programme ISIS (CNES). Nous remercions M. Cushing (IRSN), pour les discussions fructueuses et la mise à disposition de documents. Nous souhaitons également remercier les rapporteurs pour leurs commentaires constructifs.

## Références

- [1] E. Baroux, Tectonique active en région à sismicité modérée : le cas de la Provence (France), Apport d'une approche multidisciplinaire, université Paris-Sud, Orsay, 2000, 327 p.

- [2] E. Baroux, N. Béthoux, O. Bellier, Analyses of the stress field in southeastern France from earthquake focal mechanisms, *Geophys. J. Int.* 145 (2001) 336–348.
- [3] E. Baroux, N.A. Pino, G. Valensise, O. Scotti, M.E. Cushing, Source parameters of the 11 June 1909, Lambesc (Provence, southeastern France) earthquake: A reappraisal based on macroseismic, seismological and geodetic observations, *J. Geophys. Res.* 108 (B9) (2003) 24–54.
- [4] A.-F. Baudrimont, P. Dubois, Un bassin mésogéen du domaine péri-alpin : le Sud-Est de la France, *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf. Aquitaine* 1 (1977) 261–308.
- [5] E. Calais, R. Bayer, J. Chery, F. Cotton, E. Doerflinger, M. Flouzat, F. Jouanne, M. Kasser, M. Laplanche, D. Maillard, J. Martinod, F. Mathieu, P. Nicolon, J.-M. Nocquet, O. Scotti, L. Serrurier, M. Tardy, C. Vigny, REGAL: A permanent GPS network in the Western Alps, configuration and first results, *Bull. Soc. géol. France* 172 (2001) 141–158.
- [6] E. Carey, Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles, *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.* 21 (1979) 57–66.
- [7] C. Champion, P. Choukroune, G. Clauzon, La déformation post-Miocène en Provence occidentale, *Geodin. Acta* 13 (2000) 67–95.
- [8] D. Chardon, O. Bellier, Geological boundary conditions of the 1909 Lambesc (Provence, France) earthquake: Structure and evolution of the Trévaresse ridge anticline, *Bull. Soc. géol. France* 174 (2003) 497–510.
- [9] G. Clauzon, Limites de séquences et évolution géodynamique, *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 1 (1996) 3–22.
- [10] P. Combes, La tectonique récente de la Provence occidentale : microtectonique, caractéristiques dynamiques et cinématiques. Méthodologie de la zonation tectonique et relations avec la sismicité, université Louis-Pasteur, Strasbourg, 1984, 182 p.
- [11] M. Cushing, P. Volant, O. Bellier, M. Sébrier, E. Baroux, B. Grellet, P. Combes, T. Rosique, in: A multidisciplinary experiment to characterize an active fault system in moderate seismic activity area: The example of the Durance fault (South Eastern France), EGS XXII General Assembly, 1997.
- [12] M. Cushing, O. Bellier, Faille de la moyenne Durance : précisions concernant le tracé en surface de la faille entre Pertuis et Château Arnoux, note technique n°03.21, IRSN, 2003, 17 p.
- [13] J.-P. Destombes, J. Gervais, J. Rouire, Carte géologique de la France à 1/50 000, Manosque (XXXII-43), 1972.
- [14] C. Gouvernet, J. Rouire, C. Rousset, Carte géologique de la France à 1/50 000, Pertuis (XXXII-43), 1970.
- [15] J.-C. Hippolyte, J. Angelier, F. Bergerat, D. Nury, G. Guieu, Tectonic-stratigraphic record of paleostress time changes in the Oligocene basins of the Provence, southern France, *Tectonophysics* 226 (1993) 15–35.
- [16] L. Moutier, C. Balme, Carte géologique du parc naturel régional du Luberon (éch. 1/100 000), 1997.
- [17] F. Nguyen, D. Jongmans, S. Garambois, Geophysical investigation on each site: pertinence and limitations, SAFE, WP6 deliverable report, Partner 4, université de Liège, 2003.
- [18] J.-P. Peulvast, E. Baroux, O. Bellier, M. Sébrier, Le problème de l'activité des failles de Nîmes, Salon-Cavaillon et de la moyenne Durance (Sud-Est de la France) : apports de la géomorphologie structurale, *Géomorphologie* 4 (1999) 327–358.
- [19] M. Sébrier, A. Ghafiri, J.-L. Bles, Paleosismicity in France: Fault trench studies in a region of moderate seismicity, *J. Geodyn.* 24 (1997) 207–217.
- [20] L. Siame, O. Bellier, R. Braucher, M. Sébrier, M. Cushing, D. Bourlès, B. Hamelin, E. Baroux, B. De Voogd, G.M. Raisbeck, F. Yiou, Local erosion rates versus active tectonics: Cosmic ray exposure modelling in Provence (south-east France), *Earth Planet. Sci. Lett.* 7010 (2004) 1–20.
- [21] M. Terrier, Néotectonique de la Provence occidentale (France) : vers une analyse multicritères des déformations récentes. Application à la classification des structures sismo-gènes, *Mém. BRGM* 207 (1991) 1–232.
- [22] M. Villeger, Évolution tectonique du panneau de couverture nord-provençal (mont Ventoux, Luberon, moyenne Durance), université Paris-Sud, Orsay, 1984, 182 p.
- [23] P. Volant, C. Berge-Thierry, P. Dervin, M. Cushing, M. Mohammadioun, F. Mathieu, The southeastern Durance fault permanent network: preliminary results, *J. Seismology* 4 (2000) 175–189.