

Tectonique/*Tectonics*  
(Sismologie/*Seismology*)

## La crise sismique de janvier 1989 en Haute-Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence, France) : étude fine de la sismicité par le nouveau réseau SISMALP

Fabrice GUYOTON, Julien FRÉCHET et François THOUVENOT

**Résumé** – Une crise sismique a été enregistrée en janvier 1989 dans la vallée de la Haute-Ubaye, entre les massifs du Pelvoux et de l'Argentera, par le nouveau réseau alpin permanent SISMALP. Parmi les 250 séismes enregistrés du 22 au 26 janvier, sept événements de magnitude  $M_L$  comprise entre 2,4 et 3,4 ont pu être localisés sous le massif du Chambeyron. L'analyse par méthode interspectrale du multiplet (groupe de séismes identiques) formé par les événements étudiés montre que les distances entre les différents hypocentres sont de l'ordre de 120 m. Les solutions focales obtenues sont bien contraintes et correspondent à des mécanismes en faille normale subméridienne dans un domaine en décrochement dextre extensif.

### The seismic crisis in Haute-Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence, France) in January 1989: a detailed study using the new Alpine seismic network (SISMALP)

**Abstract** – About 250 seismic events were recorded in January 1989 in the area between the Pelvoux and Argentera massifs by a new permanent seismic network (SISMALP). Seven events in the magnitude range  $M_L=2.4$  to 3.4 have been located under the Chambeyron massif. These events constitute a multiplet (similar waveform earthquakes) that can be analysed using cross-spectral methods. This allows us to estimate at about 120 m the distances between hypocentres. Well-constrained fault-plane solutions show submeridian normal faulting in an extensive dextral strike-slip faulted domain.

**Abridged English Version** – While the ECORS-CROP vertical-reflection seismic profile recently allowed us to detail partly the deep structure of the western Alps [1], very few studies address the present dynamics of the chain. This kinematic approach is obviously limited by a lack of reliable seismological data. For that purpose, a new permanent seismic network (SISMALP) has just been installed in the French Alps. The ultimate goal of SISMALP is to install about 35 seismic Data Collecting Platforms (DCP's) connected to the Observatoire de Grenoble through switched telephone lines ([2], [3]). The network will monitor the Alpine seismic activity. Recording teleseismic events will also allow us to study the lithospheric structure. In January 1989 a seismic crisis occurred in Haute-Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence). At that time, the SISMALP network consisted of 13 DCP's (20 in April 1990), installed in a broad band transverse to the Alpine chain and extending from the eastern Massif Central to the Italian border (Fig. 1). The seismic crisis studied here is a first example of the capability of this new network to provide reliable and homogeneous data sets.

The Briançonnais zone is one of the most active seismic areas in the French Alps. Several historical destructive earthquakes struck this region ([4], [5]). The seismicity map (Fig. 2) shows a very diffuse seismic pattern that does not allow us—at least for the moment—to find a relation between earthquakes and major tectonic surface features. The seismic crisis occurred in Haute-Ubaye, between the Pelvoux and Argentera massifs, from January 22nd to 26th, 1989. Among about 250 recorded events, we selected seven earthquakes with a magnitude  $M_L$  ranging from 2.4 to 3.4 (Table I), for which at least 12 P- or S-phases were recorded. We localized the hypocentres under the Chambeyron massif, about 5 km NE of

Note présentée par Xavier LE PICHON.

Saint-Paul-sur-Ubaye (*Fig. 3 a*). [In 1977 a seismic crisis under the same massif had already been studied with a local temporary network by one of us (J.F.) ([5], [6]).]

Because P-wave arrival times can be read from the SISMALP digital signals with an accuracy of 10 ms, most root-mean-square residuals are lower than 0.05 sec. We estimate the absolute location of hypocentres (full circles in *Fig. 3*) to be accurate within 1 km if a 3-dimensional velocity model is used. Data from other European seismic networks (<sup>1</sup>) also allowed us to compare the present location accuracy with what could be achieved before the installation of the SISMALP network when using a 1-dimensional velocity model (open circles, *Fig. 3*). Cross-section AA' (*Fig. 3 a*) shows the hypocentre distribution with depth (*Fig. 3 b*): earthquakes are located in the upper crust at a depth of about 10 km, slightly east of the Penninic Front that marks the limit between external and inner Alps. As the seismograms appeared very similar in most stations, we applied the doublet cross-spectral method ([7], [8]) to the seven events selected in Table I. Figure 4 shows an example of seismic doublet as recorded by SISMALP DCP OG 17. The similarity of the waveform and the delay (travel-time difference) analysis show that the distances between hypocentres are very small (about 120 m), thus making the focal zone very narrow.

The two main shocks (Nr. 1 and 6, Table I) provide well-constrained fault-plane solutions (*Fig. 5*). These two focal mechanisms are identical (Table II) and exhibit dominant normal faulting. The most likely fault plane strikes N-NW and dips steeply to the East, with a slight dextral component. The position of the T axis indicates a local E-W extension in the crust. This confirms the importance of normal faulting at depth under the Chambeyron massif, as has already been recognized ([5], [6], [9]).

(<sup>1</sup>) S.E.D. (Zürich), I.G.G. (Genova), L.D.G.-C.E.A. (Bruyères-le-Châtel), I.P.G. de Strasbourg, Observatoire de Clermont-Ferrand.

INTRODUCTION. — Les structures alpines sont actuellement relativement bien connues, tant par la géologie de surface qui permet de définir les grands traits tectoniques, que par les sondages sismiques profonds, les études gravimétriques ou magnétiques. Alors que tout dernièrement le grand profil ECORS-CROP de sismique réflexion verticale a permis de détailler au moins localement la structure profonde de la chaîne [1], très peu de travaux ont porté sur la dynamique actuelle des Alpes occidentales. Un nouveau réseau sismologique permanent (SISMALP) est en cours d'implantation dans les Alpes françaises et permet maintenant une étude fiable de la sismicité. La crise sismique de la Haute-Ubaye étudiée ici en est le premier exemple.

LE PROJET SISMALP. — Il vise à l'établissement d'un réseau d'environ 35 stations sismologiques réparties sur l'ensemble des Alpes françaises et reliées, par le réseau téléphonique commuté, à l'Observatoire de Grenoble ([2], [3]). En janvier 1989, ce réseau était composé de 13 balises téléphoniques (20 en avril 1990) formant un large profil transversal à l'arc alpin, de la bordure est du Massif Central à la frontière italienne (*fig. 1*). Dans sa configuration finale, il permettra d'étudier la sismicité alpine et de sonder la lithosphère à l'aide des signaux télésismiques. Un micro-ordinateur situé à l'Observatoire de Grenoble assure, avec un logiciel de communication spécifique, l'interrogation entièrement automatique et la gestion de l'ensemble des balises téléphoniques.

TABLEAU I

Dates et coordonnées des séismes sélectionnés.

*Dates and coordinates of selected events.*

N°	Date	Heure	Latitude	Longitude	Profondeur (km)	Magnitude ( $M_L$ )
1. ....	22.01.1989	11:58:33,71	44°32,4	6°48,7	9,6	3,4
2. ....	22.01.1989	17:21:49,30	44°32,4	6°49,0	9,6	2,8
3. ....	22.01.1989	19:34:17,51	44°32,3	6°48,6	9,6	2,4
4. ....	23.01.1989	05:54:57,72	44°32,6	6°48,6	9,9	2,9
5. ....	23.01.1989	14:08:32,57	44°32,2	6°48,5	10,6	2,6
6. ....	25.01.1989	03:16:57,86	44°32,1	6°48,5	9,9	3,4
7. ....	25.01.1989	12:17:37,86	44°32,4	6°48,2	9,9	3,0

TABLEAU II

Pour les événements 1 et 6, azimuts et pendages fournis par les mécanismes au foyer : axes P et T et plans nodaux F1 et F2.

*For events 1 and 6, azimuths and dips provided by the fault-plane solutions: P and T axes and F1 and F2 nodal planes.*

N°	P	T	F1	F2
1. ....	91/17	217/61	344/66	31/34
6. ....	92/21	224/58	346/70	36/30

**SISMICITÉ HISTORIQUE.** — L'activité sismique de la zone briançonnaise entre les massifs du Pelvoux et de l'Argentera est l'une des plus importantes des Alpes françaises. Historiquement, cette région a été affectée par plusieurs gros séismes destructeurs dont le plus récent est celui de Saint-Paul-sur-Ubaye le 5 avril 1959 de magnitude 5,3 ([4], [5]). La carte de sismicité historique des séismes de magnitude supérieure à 3 pour la période s'étendant de 1500 à 1988 montre une répartition très diffuse et ne permet pas de relier directement les séismes aux accidents tectoniques majeurs de la région (*fig. 2*). Pour la sismicité récente (avant l'implantation de SISMALP), cet aspect diffus est dû à la mauvaise couverture en stations sismologiques; l'hétérogénéité de la croûte alpine est également responsable d'erreurs de localisation pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres [5].

**LOCALISATION DES SÉISMES.** — Parmi les 250 séismes enregistrés par SISMALP lors de la crise sismique du 22 au 26 janvier 1989, nous avons sélectionné sept événements (tableau I) de magnitude  $M_L$  allant de 2,4 à 3,4 dont 12 phases au minimum ont été enregistrées par le réseau. Les hypocentres (cercles pleins, *fig. 3*) ont été calculés en tenant compte des variations tridimensionnelles des vitesses sismiques dans les Alpes. Ils sont localisés sous le massif du Chambeyron à environ 5 km au NE de Saint-Paul-sur-Ubaye. C'est sous ce même massif qu'une crise sismique a déjà été étudiée en 1977 par l'un d'entre nous (J. F.) grâce à un réseau local ([5], [6]). Les résidus moyens quadratiques obtenus sont presque tous inférieurs à 0,05 s. L'incertitude sur la position absolue des hypocentres est de l'ordre du kilomètre. En utilisant uniquement les données des autres réseaux sismologiques européens <sup>(1)</sup>, les hypocentres calculés à l'aide d'un modèle de vitesse tabulaire (cercle vides, *fig. 3*) montrent l'ordre de grandeur de l'erreur commise antérieurement sur les localisations (environ 10 km). La coupe AA' (*fig. 3 a*) montre la

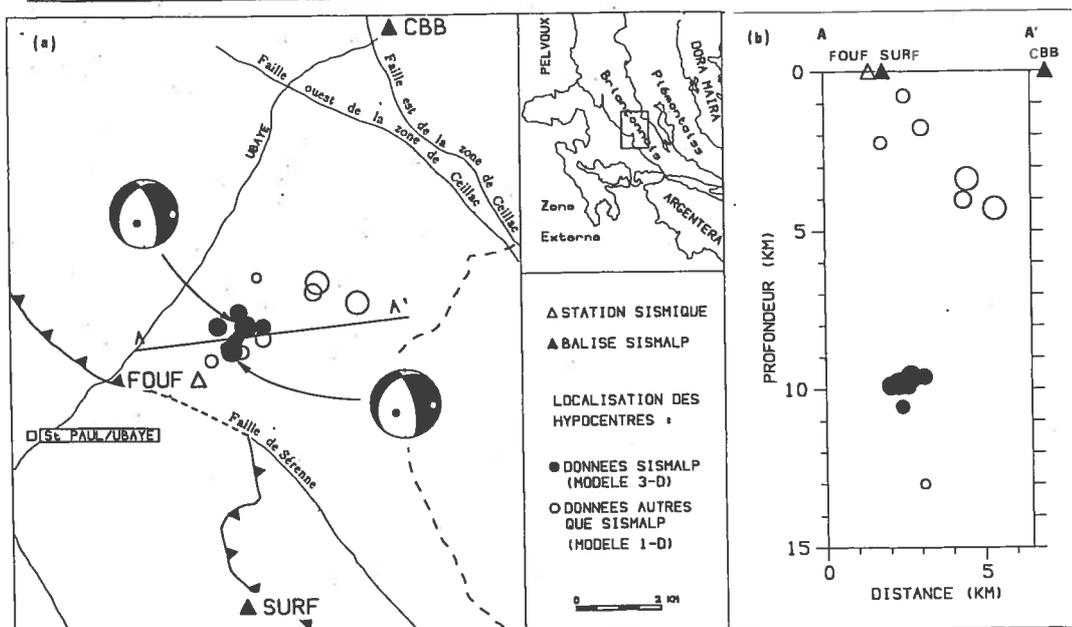


Fig. 3. — (a) Localisation des hypocentres calculés. AA' : position de la coupe de la figure 3 b; trait gras à barbe : front penninac. (b) Répartition des hypocentres en profondeur.

Fig. 3. — Location of computed hypocenters. AA' : position of cross-section in Figure 3 b; thick barbed line: Penninic Front. (b) Distribution of hypocenters with depth.

répartition des hypocentres en profondeur (fig. 3 b). Les séismes sont situés dans la croûte supérieure à environ 10 km de profondeur, à l'est du front penninac.

**DOUBLET SISMIQUE.** — Toute crise sismique montre l'existence de séismes ayant des formes d'ondes identiques : ce sont des doublets ou multiplets sismiques ([7], [8]). La méthode interspectrale d'analyse des doublets, indépendante du modèle de vitesse, permet, à partir de mesures extrêmement fines de petites variations de temps de propagation le long des sismogrammes, de relocaliser très précisément les hypocentres les uns par rapport aux autres. Pour le multiplet sismique formé par les sept événements du tableau I, nous montrons un exemple de doublet sismique enregistré par la station OG 17 (fig. 4). La similitude des formes d'ondes démontre que les sources sismiques sont très voisines. Pour l'ensemble du multiplet, les variations des délais (différences de temps de parcours) calculés pour les phases P et S sont inférieures à 15 ms; ceci définit une distance maximale relative de l'ordre de 120 m entre les sources. On peut donc considérer la zone focale active comme quasi ponctuelle.

**MÉCANISMES AU FOYER.** — Seuls les deux principaux séismes de la crise (n° 1 et 6, tableau I) fournissent des solutions focales bien contraintes (fig. 5). Les autres solutions, malgré un trop faible nombre de sens de premier mouvement, sont parfaitement compatibles avec les solutions présentées. Les deux mécanismes au foyer obtenus sont identiques (tableau II) et correspondent au jeu d'une faille normale à légère composante de décrochement. Les axes P et T obtenus indiquent une extension E-O. L'importance du faillage normal sous le massif du Chambeyron a déjà été signalée à plusieurs reprises ([5], [6], [9]). Cette étude la confirme sans ambiguïté.

**RELATIONS AVEC LA TECTONIQUE.** — Les failles longitudinales de direction N 130 à N 150 bordant la zone briançonnaise à l'est et à l'ouest ont joué un rôle majeur dans la

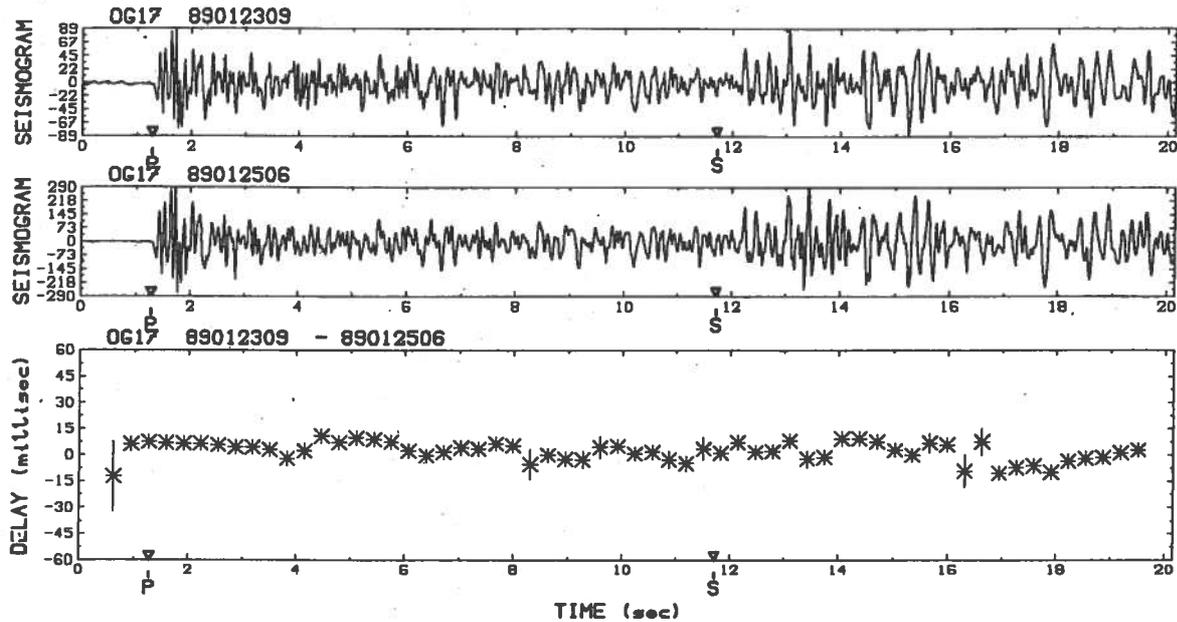


Fig. 4. — Exemple de doublet sismique dans la région de la Haute-Ubaye : événements 4 et 6 enregistrés par la station OG17.

Fig. 4. — Example of earthquake doublet in Haute-Ubaye region: events 4 and 6, as recorded by station OG17.

89/01/22 11:58:33

89/01/25 3:16:57

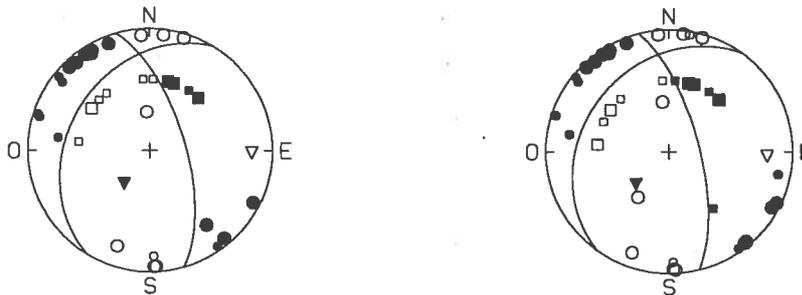


Fig. 5. — Mécanismes au foyer (hémisphère inférieure, projection de Schmidt). Noir : compression; blanc : dilatation; rond : onde directe; carré : onde réfractée; symbole réduit : lecture moins sûre. Triangle noir : axe P; triangle blanc : axe T.

Fig. 5. — Focal mechanisms (lower hemisphere, Schmidt projection). Full symbol: compression; open symbol: dilatation; circle: direct wave; square: refracted wave; small-size symbol: less-reliable reading. Full triangle: P axis; open triangle: T axis.

tectonique récente [10]. Ces accidents souvent très redressés — par exemple la faille de Sérénne à proximité de la zone épiscopale étudiée — présentent des rejets importants. Ils correspondent à un jeu, soit en faille normale, soit plus probablement en décrochement dextre (mécanisme au foyer du séisme du 5 avril 1959 [5], décalage dextre du massif de l'Argentera sur les failles de Bersezio et de Ruburent [10]). Le jeu de failles normales à légère composante dextre, calculé ici, pourrait donc s'intégrer dans un régime de déformation régionale de type décrochant-extensif de la zone externe du Briançonnais, induit par une compression N-S et une extension E-O.

CONCLUSION. — Cette étude montre que le réseau SISMALP permet d'obtenir des résultats de qualité équivalente à ceux que fournirait un réseau temporaire local d'étude de la microsismicité. D'ici fin 1991, le réseau SISMALP couvrira l'ensemble des Alpes françaises. En multipliant des études de détail similaires à celle-ci, des localisations très fiables et des mécanismes au foyer bien contraints doivent permettre une nouvelle approche de la dynamique de l'arc alpin occidental.

(<sup>1</sup>) S.E.D. (Zürich), I.G.G. (Gênes), L.D.G.-C.E.A. (Bruyères-le-Châtel), I.P.G. de Strasbourg, Observatoire de Clermont-Ferrand.

Note remise le 31 mai 1990, acceptée après révision le 20 août 1990.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] R. BAYER, M. CAZES, G. V. DAL PIAZ et coll., *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, série II, 1987, p. 1461-1470.
- [2] F. THOUVENOT, J. FRÉCHET, F. GUYOTON, R. GUIGUET et L. JENATTON, Seismic networks and rapid digital data transmission and exchange, *Cahiers du Centre européen de Géodynamique et de Séismologie*, 1, 1990, p. 1-10.
- [3] J. FRÉCHET, F. THOUVENOT, G. POUPINET, F. GUYOTON, J. SARRAULT et A. NEDELLEC, soumis au *Bull. seism. Soc. Am.*, 1990.
- [4] J.-P. ROTHÉ, *Ann. Inst. Phys. Globe Strasbourg*, 3/3, 1941, p. 1-105.
- [5] J. FRÉCHET, *Thèse 3<sup>e</sup> cycle*, Université de Grenoble, 1978, 159 p.
- [6] J. FRÉCHET et N. PAVONI, *Eclogae geol. Helv.*, 72/3, 1979, p. 763-779.
- [7] G. POUPINET, W. L. ELLSWORTH et J. FRÉCHET, *J. geophys. Res.*, 89/B7, 1984, p. 5719-5731.
- [8] J. FRÉCHET, *Thèse d'État*, Université de Grenoble, 1985, 207 p.
- [9] G. MÉNARD et J. FRÉCHET, soumis aux *Earth and Planet. Sc. Let.*, 1990.
- [10] J.-C. BARFÉTY, M. GIDON et C. KERCKHOVE, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 267, série D, 1968, p. 394-397.

*Laboratoire de Géophysique interne et Tectonophysique,  
Observatoire de Grenoble, I.R.I.G.M., B.P. n° 53 X, 38041 Grenoble.*

#### EXPLICATIONS DE LA PLANCHE

Fig. 1. — Localisation des stations sismologiques du réseau SISMALP (grisé : massifs cristallins).

Fig. 1. — Position map of the SISMALP seismic network (shaded: crystalline massifs).

Fig. 2. — Sismicité historique de la zone briançonnaise.

Fig. 2. — Historical seismicity of the Briançonnais zone.

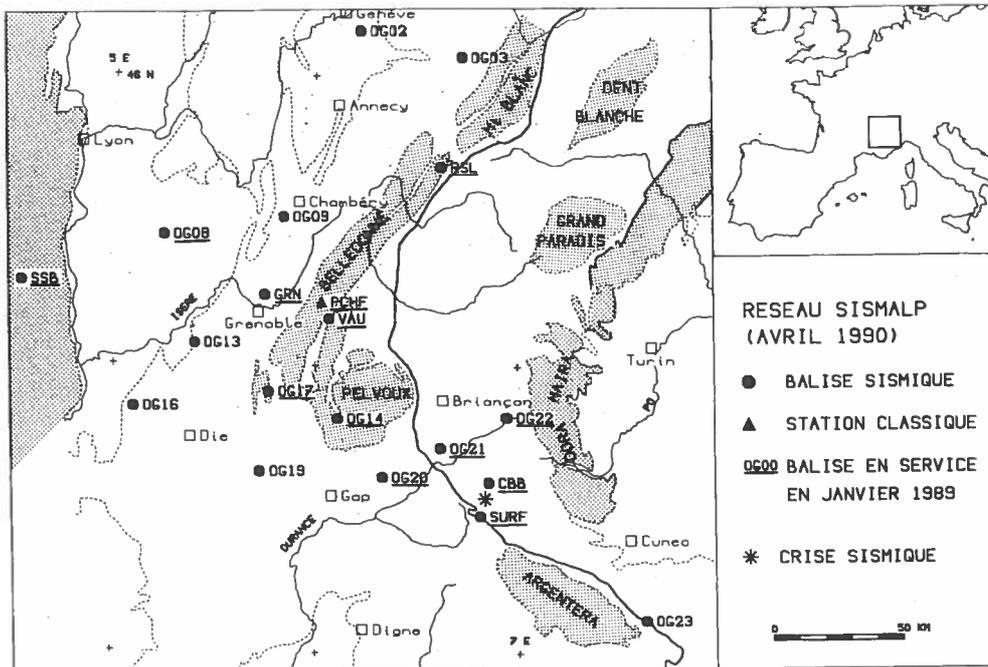


Fig. 1

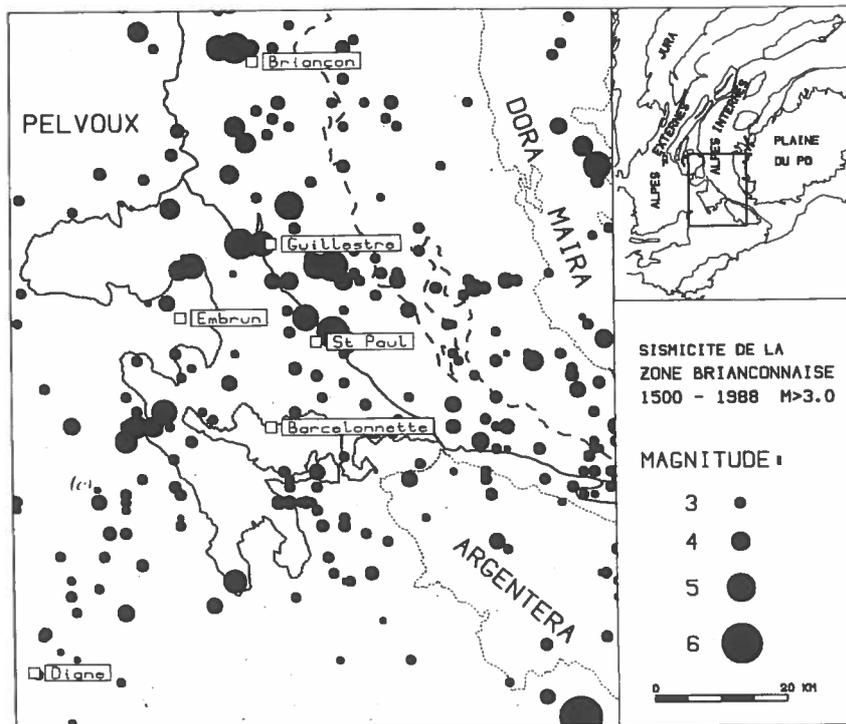


Fig. 2