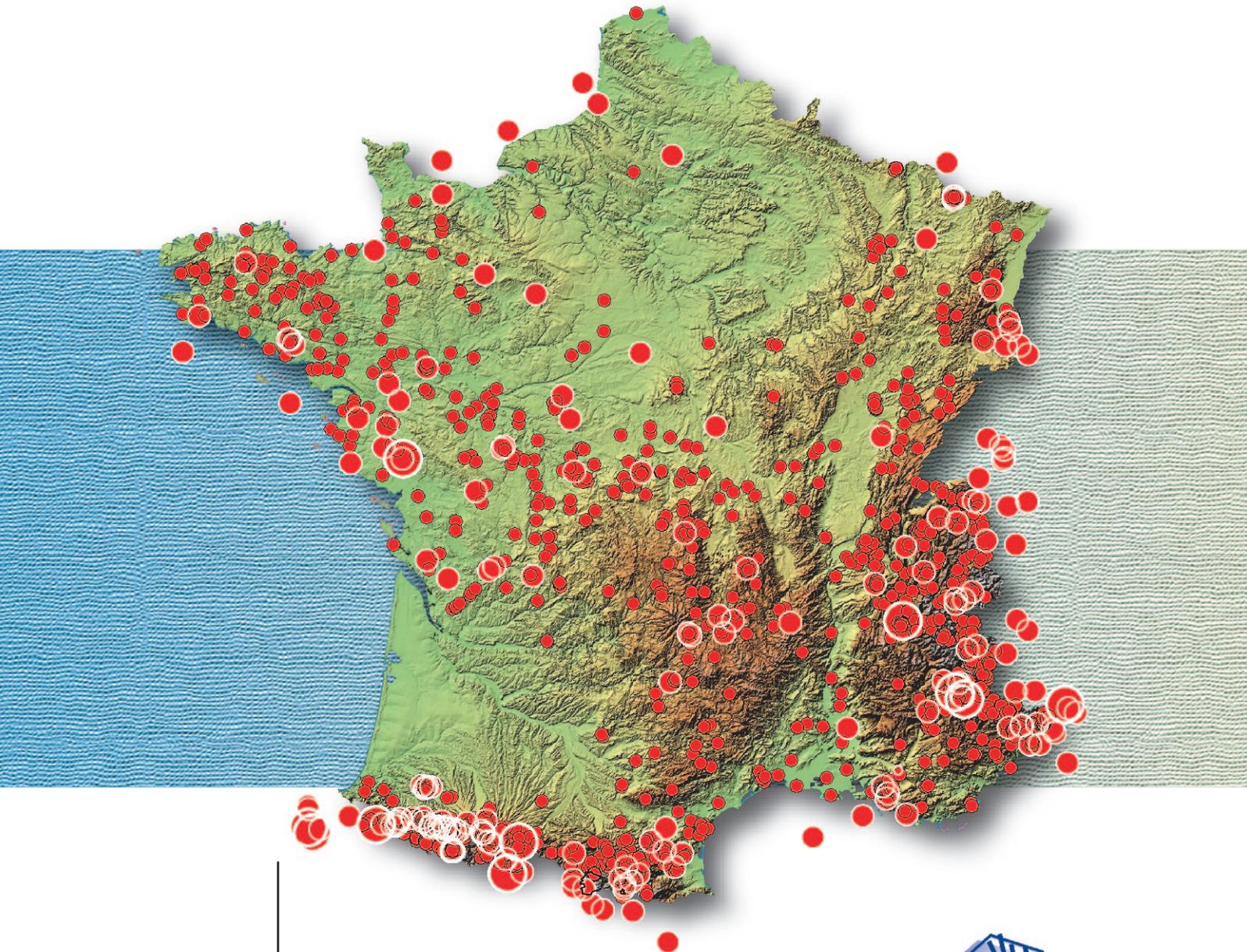
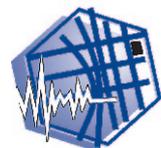


# Observations sismologiques



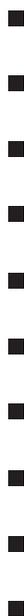
Volume 1  
Sismicité de la France  
en 1997, 1998 et 1999



**BCSF**  
**Bureau Central  
Sismologique  
Français**

Ecole et Observatoire  
des Sciences de la Terre





■ EDITION 2002

---

**Bureau central sismologique français**

**Directeur de publication :** Michel Cara,  
Directeur de l'EOST et du BCSF

**Rédaction et conception :**

Sismotectonique : Eric Jacques Physicien-adjoint - EOST  
Macrosismique : Christophe Sira Technicien CNRS

**Mise en page et illustrations :** Christophe Sira

**Compilation des données instrumentales**

**sur CD-ROM :** Armelle Bernard Ingénieur de Recherche

**Financement du document :**

Ecole et observatoire des sciences de la Terre,  
Université Louis Pasteur (Strasbourg 1)  
Institut national des sciences de l'Univers, CNRS

**Siège de la rédaction :**

BCSF 5, rue René Descartes, 67084 Strasbourg cedex  
tél. : 03 90 24 00 85  
Fax : 03 90 24 01 25  
E-mail : [bcsf@eost.u-strasbg.fr](mailto:bcsf@eost.u-strasbg.fr)  
site internet : [www.seisme.prd.fr](http://www.seisme.prd.fr)

Sont remerciés pour leurs conseils, Messieurs Michel Granet, Henri Haessler, Pho Hoang Trong, Marc Schaming.

Les relevés mensuels des observations macrosismiques de Pierre Stahl sont venu renforcer les observations du BCSF.

La compilation des données instrumentales et les déterminations hypocentrales ont été réalisées par Christiane Nicoli et Marc Grunberg du RéNaSS.

Imprimé par Gyss Imprimeur  
imprimé à 400 exemplaires  
disponible sur CD-ROM

# 1. Introduction

Le Bureau central sismologique français (BCSF) a pour mission de collecter les observations sismologiques relatives à la France et de faciliter leur diffusion. Après la réunion scientifique organisée à Strasbourg en septembre 1998 et la mise en place d'un comité scientifique (annexe II), le BCSF a profondément révisé ses procédures : refonte des formulaires d'enquêtes macrosismiques avec appel à témoignages individuels à partir de 2000 ; synthèse systématique des observations dans leur contexte sismo-tectonique. Par ailleurs, depuis une vingtaine d'années, le nombre d'organismes et de laboratoires acquérant des données sismologiques instrumentales s'est fortement accru. Le BCSF s'efforce de rassembler le maximum d'observations permettant de caractériser au mieux les événements sismiques. La présente publication et les notes préliminaires préparées dans le cadre de la procédure de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle bénéficient de ces évolutions.

Les données dont nous faisons état ici sont acquises sur fonds publics et sont d'accès libre. Certaines sont détenues par le BCSF à Strasbourg, d'autres par différents centres de données ou laboratoires des universités et du Centre national de la recherche scientifique (CNRS), d'autres enfin, dans le cadre de leurs missions de service public, par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), par le Département d'analyses et de surveillance de l'environnement du Commissariat à l'énergie atomique (CEA-DASE) et par l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN).

Au cours des dernières années, le BCSF n'a recensé que les données instrumentales et macrosismiques relatives au territoire métropolitain. Celles relatives à la sismicité des Antilles font l'objet d'un travail en cours en liaison avec l'Institut de Physique du Globe de Paris. Les données instrumentales rapportées ici proviennent essentiellement de deux réseaux de stations couvrant le territoire métropolitain. Le premier, le Réseau national de surveillance sismique (RéNaSS) a été constitué sur initiative de l'Institut national des sciences de l'Univers (INSU). Son site central est placé à l'Ecole et observatoire des sciences de la Terre (EOST), siège du BCSF à Strasbourg. Le second, le réseau du Laboratoire de détection et de géophysique du CEA-DASE (LDG), a son site central localisé à Bruyères-le-Chatel. Un troisième réseau d'instruments, le Réseau accélérométrique permanent (RAP) est en cours de constitution dans le cadre d'un Groupement d'intérêt scientifique comprenant plusieurs universités et organismes (INSU-CNRS, BRGM et CEA). Son site central est situé à l'Observatoire des sciences de l'Univers de Grenoble (OSUG).

Les données macrosismiques sont recueillies directement par le BCSF. Sur la période couverte par la présente publication, elles proviennent toutes d'enquêtes menées sur le terrain par les Services interministériels de défense et de protection civiles des préfectures, en utilisant les formulaires basés sur l'échelle d'intensité macrosismique MSK64 (Medvedev, Sponheuer et Karnik, 1964 ; cf. Annexe I). A partir de l'année 2001, ces enquêtes collectives sont complétées par des enquêtes individuelles menées auprès de particuliers, soit par formulaires imprimés, soit à travers le site internet du BCSF.

Avec ce volume qui porte sur la sismicité des années 1997 à 1999, le BCSF renoue avec la tradition des anciennes «Annales de l'Institut de physique du Globe de Strasbourg» qui présentaient de façon synthétique les informations instrumentales et macrosismiques. Les informations sur les séismes ressentis sont présentées sur des fiches synthétiques comprenant une analyse tectonique succincte avec cartes sur fonds topographiques. Ces «fiches séismes» concernent tous les événements de magnitude locale supérieure à 3,5 ayant donné lieu à une enquête macrosismique exploitable entre 1997 et 1999. En 1998, aucun séisme de magnitude supérieure à 3,8 ML (magnitude locale déterminée par le RéNaSS) n'a été localisé sur le territoire métropolitain. Sur les sept séismes de magnitude comprise entre 3,5 et 3,8 ML un seul a donné lieu à une enquête exploitable.

Les paramètres instrumentaux déterminés par le RéNaSS et par le LDG sont systématiquement reportés sur les fiches (coordonnées de l'épicentre, profondeur du foyer, magnitude). La localisation dite

«BCSF» est calculée en prenant, lorsque cela est possible, les données d'au moins 8 stations du RéNaSS et du LDG situées à moins de 100 km de l'épicentre avec deux lectures d'ondes S au minimum. Cette dernière solution est la plus homogène car la même procédure est appliquée à l'ensemble du territoire. Elle ne s'appuie toutefois que sur les stations françaises et des biais peuvent apparaître pour les séismes situés aux frontières. En général la solution dite BCSF est la plus précise car elle s'appuie sur un maximum de données proches de l'épicentre. En plus de la localisation et de la magnitude, les événements les plus importants ont en général donné lieu à une ou plusieurs déterminations du mécanisme au foyer. Nous avons reporté la solution qui nous paraît la plus fiable sur les cartes qui accompagnent les fiches de synthèse. Celle-ci est systématiquement présentée sur la demi-sphère focale inférieure, avec les zones d'ondes P compressives en gris.

Les intensités macrosismiques de la période 1997-1999 ont encore été évaluées sur l'échelle MSK64. La nouvelle échelle européenne EMS98 a progressivement été mise en application à partir de l'année 2000 avec la diffusion des nouveaux formulaires d'enquête du BCSF.

Dans chaque «fiche séisme», les intensités macrosismiques sont rapportées sur une carte distincte de celle présentant les localisations d'épicentres et le mécanisme au foyer lorsqu'il a été déterminé. Deux procédés sont utilisés pour tracer les courbes isoséistes : une procédure automatique et un lissage manuel qui permet d'assurer la continuité avec les cartes d'isoséistes publiées par le BCSF avant 1997. Complétant l'information macrosismique basée sur les témoignages, les premières observations accélérométriques du RAP sont également reportées pour la région de Grenoble.

En complément des «fiches séismes», nous présentons dans le volume 2 la liste de tous les événements détectés sur le territoire métropolitain et catalogués par le BCSF. Un CD-ROM complète la publication avec l'ensemble des temps d'arrivées utilisés pour les localisations du BCSF. Les enregistrements provenant des stations reliées au site central du RéNaSS sont par ailleurs disponibles via le site internet du RéNaSS à Strasbourg. Les données accélérométriques sont disponibles sur le site Internet du RAP à l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble. Le chapitre 5 regroupe l'ensemble des publications provenant de laboratoires français et relatives aux séismes en France sur les années 1996 à 1999.

De la maintenance des instruments sur le terrain au traitement des enregistrements, de la collecte des témoignages au traitement des enquêtes macrosismiques, le travail dont les résultats se trouvent regroupés dans ce volume n'est rendu possible que grâce à la participation de nombreux acteurs : personnels des universités, du CNRS et du CEA pour les données instrumentales, personnels des Services interministériels de défense et de protection civiles des préfectures, services des mairies, gendarmeries, directions départementales de l'équipement et casernes de sapeurs-pompiers pour les données macrosismiques. Que tous soient ici remerciés de leur contribution à cette publication.

Michel Cara

Directeur de l'Ecole et observatoire  
des sciences de la Terre,

Directeur du Bureau central sismologique français

## Adresses des sites Web

BCSF : [www.seisme.prd.fr](http://www.seisme.prd.fr)

EOST : <http://eost.u-strasbg.fr>

IPGP Antilles : <http://volcano.ipgp.jussieu.fr:8080/Donnees/infodonnees.html>

RAP : [www-rap.obs.ujf-grenoble.fr](http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr)

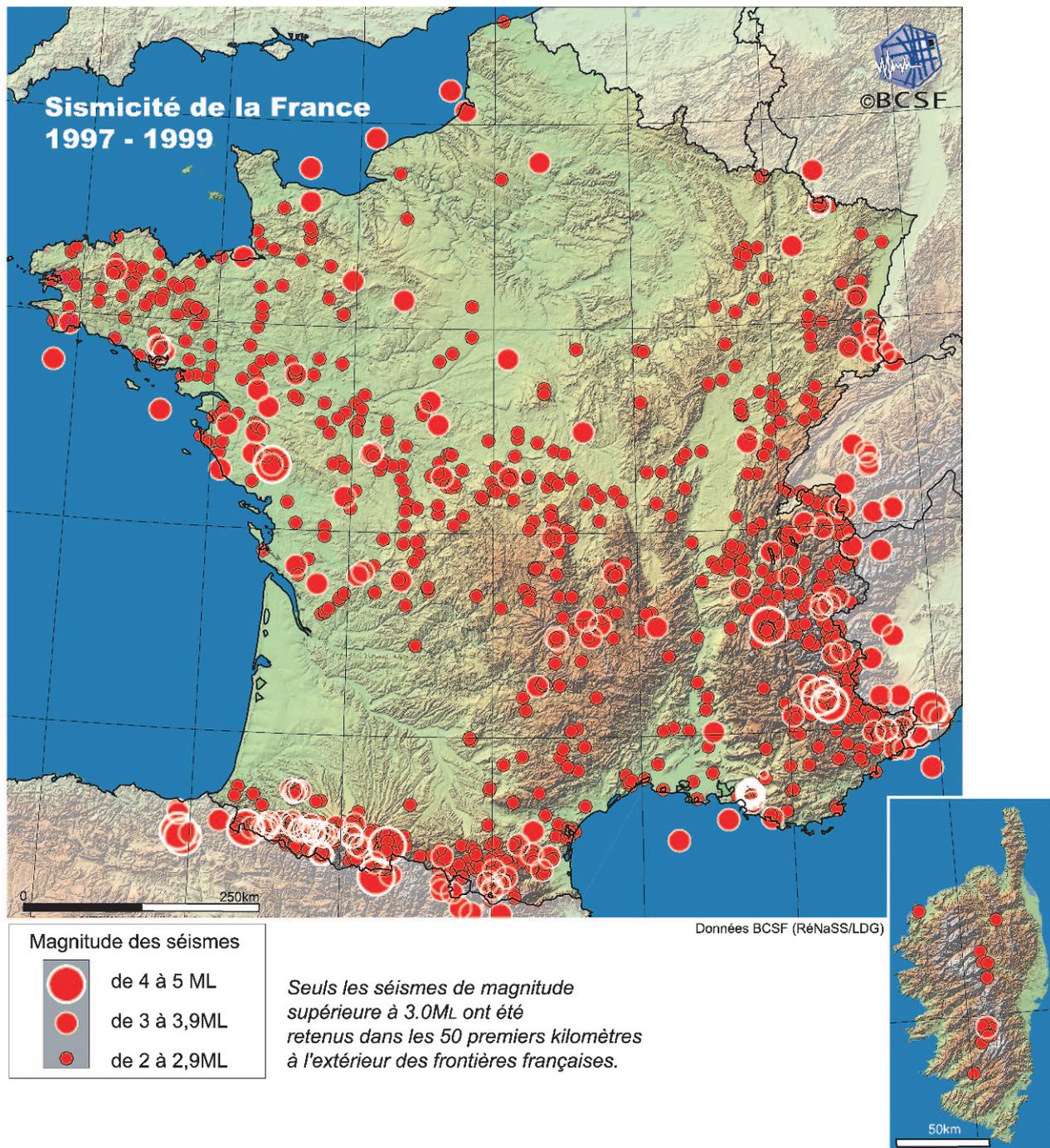
RéNaSS : <http://renass.u-strasbg.fr>

SISFRANCE (BRGM) : [www.sisfrance.net](http://www.sisfrance.net)

# SOMMAIRE

<b>1 - Introduction</b>	<b>p.3</b>
<b>2 - Sismicité instrumentale</b>	<b>p.6</b>
<b>3 - Stations sismologiques - territoire métropolitain au 31/12/2001</b>	<b>p.7</b>
<b>4 - Fiches séismes</b>	<b>p.12</b>
<b>1997</b>	
■ Séisme du 12 janvier 1997 Sainte-Hermine (Vendée)	p.12
■ Séisme du 1 <sup>er</sup> février 1997 SE de Mulhouse (Haut-Rhin)	p.15
■ Séisme du 26 juin 1997 E-SE de Saint-Sauveur-sur-Tinée (Alpes-Maritimes)	p.18
■ Séisme du 2 juillet 1997 E de Benasque (Espagne)	p.21
■ Séisme du 31 octobre 1997 O d'Allos (Alpes-de Haute-Provence)	p.24
■ Séismes des 4 et 6 décembre 1997 Lacq (Pyrénées-Atlantiques)	p.27
<b>1998</b>	
■ Séisme du 28 novembre 1998 O d'Argelès-Gazost (Hautes-Pyrénées)	p.31
<b>1999</b>	
■ Séisme du 11 janvier 1999 Laffrey (Isère)	p.34
■ Séisme du 16 février 1999 SE de Saint-Jean-Pied-De-Port (Pyrénées-Atlantiques)	p.39
■ Séisme du 11 juin 1999 NO d'Aramits (Pyrénées-Atlantiques)	p.42
■ Séisme du 11 juin 1999 S-SE d'Oloron-Ste-Marie (Pyrénées-Atlantiques)	p.45
■ Séisme du 23 août 1999 N-NO de Benasque (Espagne)	p.48
■ Séisme du 11 septembre 1999 N-NE de Merzig (Allemagne)	p.51
■ Séisme du 13 septembre 1999 S-SE de Crémieu (Savoie)	p.53
■ Séisme du 3 octobre 1999 N-NO de Châteauroux (Indre)	p.56
■ Séisme du 4 octobre 1999 O de Saint-Béat (Haute-Garonne)	p.60
■ Séisme du 1 <sup>er</sup> novembre 1999 NE de Nice (Alpes-Maritimes)	p.67
<b>5 - Publications (de 1996 à 1999) : Sismicité et tectonique active en France</b>	<b>p.73</b>
<b>6 - Annexes</b>	
■ Annexe I : Echelle d'intensité et formulaire d'enquête macrosismique	p.81
■ Annexe II : Journée scientifique du BCSF (22-02-1998)	p.86
■ Annexe III : Résumé du compte-rendu de la 1 <sup>re</sup> réunion du Comité scientifique du BCSF (28-04-99)	p.89
■ Annexe IV : glossaire des sigles	p.92

# 1. Sismicité instrumentale

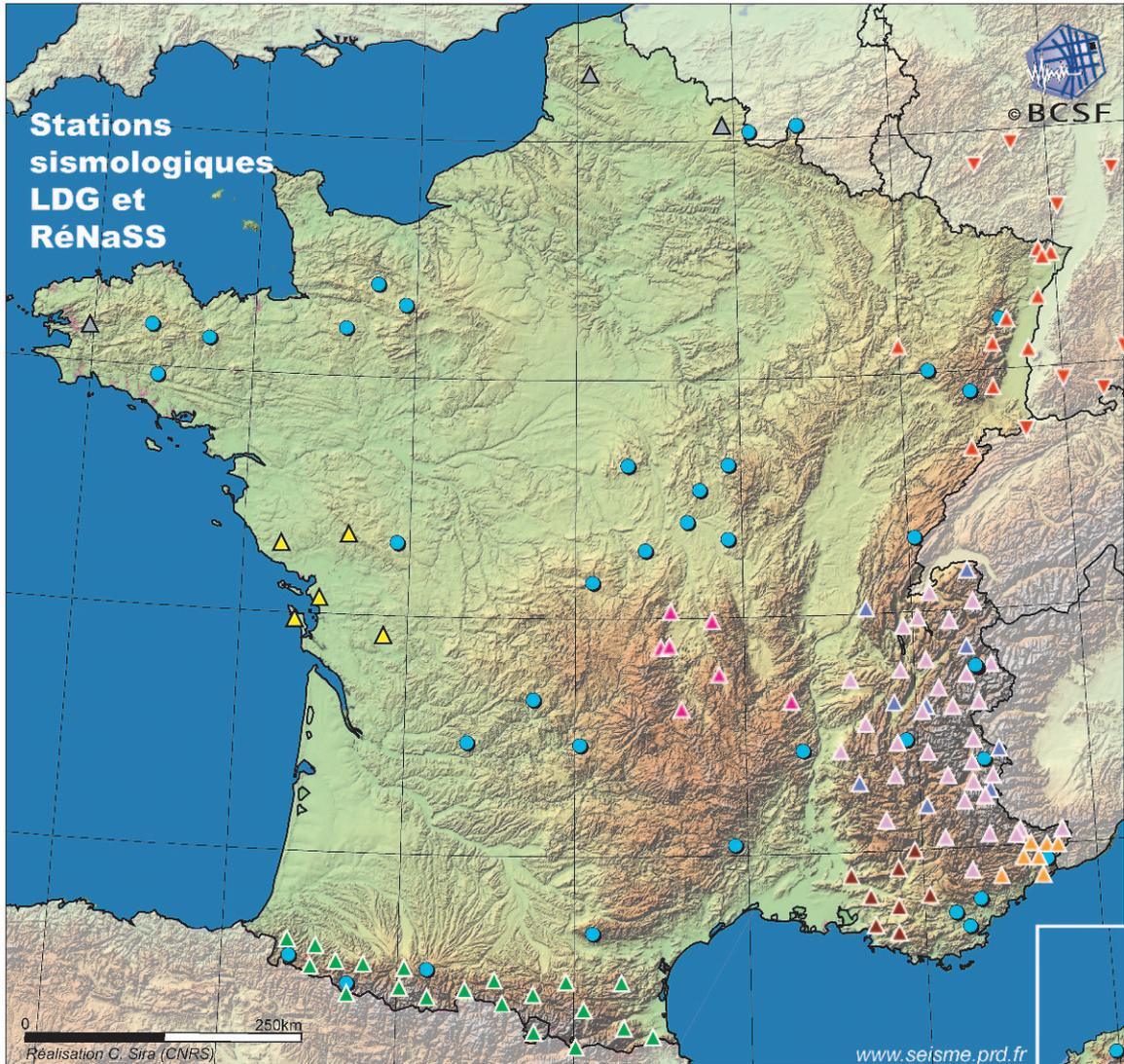


Les épicentres reportés sur la carte et dont les caractéristiques figurent dans le volume 2, sont calculés à partir des seules données du RéNaSS et du LDG (solution dite BCSF dans les fiches «séisme» de ce volume). La règle générale retenue pour ces localisations est de restreindre les données aux stations situées à moins de 100 km de l'épicentre et dont deux au moins ont donné lieu à des lectures d'ondes S. Lorsque le nombre de stations est inférieur à 8, la règle est soit relâ-

chée pour inclure des données de stations situées à plus de 100 km de l'épicentre lorsque cela est possible, soit ignorée. La profondeur est soit laissée libre lors du calcul soit fixée à 5 km lorsque la solution diverge. La magnitude utilisée pour cette carte est celle du RéNaSS. Elle est calculée à partir de la formule originale de Richter utilisant l'amplitude des signaux mesurés sur la composante verticale des stations courte-période après correction instrumentale.

## 2. Stations sismologiques

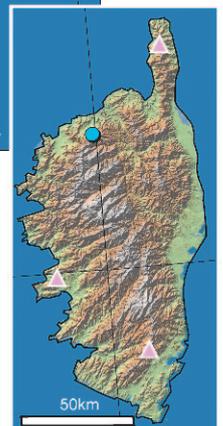
### Territoire métropolitain au 31/12/2001



● station du LDG (Laboratoire de géophysique du CEA)

Stations du RéNaSS (Réseau national de surveillance sismique)

- |                       |                                             |            |                  |
|-----------------------|---------------------------------------------|------------|------------------|
| ▲ Alpes               | ▲ Fossé Rhénan                              | ▲ Provence |                  |
| ▲ Auvergne            | ▼ Fossé Rhénan (station étrangère associée) | ▲ Pyrénées | ▲ station isolée |
| ▲ Arrière Pays niçois | ▲ Poitou Charente                           | ▲ Sismalp  |                  |



## Coordonnées des stations sismologiques

## Stations sismologiques du Laboratoire de détection géophysique (LDG) du CEA

Code	NOM	Réseau national	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
AVF	AVRIL SUR LOIRE	LDG	46,7906	3,3526	225
BAIF	BAIVES	LDG	50,0592	4,2078	215
BGF	BOIS D'AGLAND	LDG	46,5578	2,8464	390
CABF	LA CHAPELLE AUX BOIS	LDG	46,6111	6,0875	1070
CAF	CALVIAC	LDG	44,9258	2,0644	630
CDF	CHAMP DU FEU	LDG	48,4122	7,2761	1068
EPF	ESPARROS	LDG	43,0303	0,3400	750
ETSF	ETSAU	LDG	42,8986	-0,5592	910
FLN	LA FOLINIÈRE	LDG	48,7625	-0,4819	240
FRF	LA FORET ROYALE	LDG	43,5607	6,6468	310
GIVF	GIVET	LDG	50,1022	4,8233	295
GRR	GORRON	LDG	48,3883	-0,8583	220
HAU	HAUDOMPRES	LDG	48,0056	6,3481	577
HINF	HINTERALFELD	LDG	47,8167	6,8531	720
HYF	HUMBLIGNY	LDG	47,2685	2,6394	428
LASF	ST CROIX DE CADERLE-mas Hubert	LDG	44,0761	3,8570	520
LDF	LA DRUITIÈRE	LDG	48,5936	-0,1222	290
LFF	LA FRESTAL	LDG	44,9395	0,7402	200
LMR	LA MOURRE	LDG	43,3339	6,5092	200
LOR	LORMES	LDG	47,2683	3,8589	520
LPG	LA PLAGNE 1	LDG	45,4977	6,7514	2570
LPL	LA PLAGNE 2	LDG	45,5164	6,7324	2070
LRG	LORGUES	LDG	43,4547	6,3603	110
MBDF	MONTBARDON	LDG	44,7269	6,7714	1520
MFF	ST MARTIN DU FOUILLOUX	LDG	46,6022	-0,1458	270
MTLF	MONTOLIEU	LDG	43,3411	2,2175	365
ORIF	ORIS EN RATTIER (galerie mine)	LDG	44,9183	5,8800	1080
PGF	PIOGGIOLA	LDG	42,5483	8,9994	1130
QUIF	QUISTINIC	LDG	47,9167	-3,1656	125
RJF	LES REJAUDOUX	LDG	45,3044	1,5164	410
ROSF	ROSTRENNEN	LDG	48,3364	-3,2736	260
SBF	SOSPEL	LDG	43,8631	7,4352	847
SGMF	SAINT GILLES DU MENE	LDG	48,2542	-2,5569	230
SJPF	SAINT JEAN PIED DE PORT	LDG	43,1133	-1,2250	450
SMF	SIGNAL DE MONT	LDG	46,6453	3,8411	459
SSF	SAINT-SAULGE	LDG	47,0615	3,5060	355
TCF	TOULX SAINTE CROIX	LDG	46,2881	2,2100	593
VIVF	LES CHABANNES	LDG	44,8561	4,6728	620

## Stations sismologiques du Réseau national de surveillance sismique (RéNaSS)

## Provence

Code	NOM	Réseau national	Réseau local	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
BERF	BERTAGNE	RéNaSS	PROVENCE	43,3132	5,6908	1030
GANF	GANAGOBIE	RéNaSS	PROVENCE	43,9975	5,9087	650
GELF	GRANDE-ETOILE	RéNaSS	PROVENCE	43,3837	5,4275	550
PRAF	BASTIDE-DU-PRADON	RéNaSS	PROVENCE	43,8042	5,1692	700
PUYF	PUYLOUBIER	RéNaSS	PROVENCE	43,5324	5,7003	460
TAVF	TAVERNES	RéNaSS	PROVENCE	43,6174	6,0578	689
TREF	TREVARESSE	RéNaSS	PROVENCE	43,6242	5,3838	460
VILF	VILLEMUS	RéNaSS	PROVENCE	43,8526	5,7153	770

## Stations isolées

Code	NOM	Réseau national	Réseau local	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
BST	BREST	RéNaSS	Station isolée	48,3032	-4,0612	280
DOMF	DOMPIERRE-sur-HELP	RéNaSS	Station isolée	50,1289	3,8611	145
MENF	MENCAS	RéNaSS	Station isolée	50,5582	2,1550	100

## Auvergne

Code	NOM	Réseau national	Réseau local	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
AGO	SAINT-AGOULIN	RéNaSS	AUVERGNE	46,0524	3,1313	523
CFF	CLERMONT-FERRAND	RéNaSS	AUVERGNE	45,7630	3,1112	400
LBL	LUBILHAC	RéNaSS	AUVERGNE	45,2324	3,2470	950
PLDF	PLANTADE	RéNaSS	AUVERGNE	45,9699	3,6212	940
PYM	PUY-DE-MANSON	RéNaSS	AUVERGNE	45,7505	3,0078	970
SSB	ST-SAUVEUR-BADOLE	RéNaSS	AUVERGNE	45,2792	4,5418	700
COLF	COLLANGETTES	RéNaSS	AUVERGNE	45,5179	3,6945	740

## Arrière pays niçois

Code	NOM	Réseau national	Réseau local	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
AURF	AURIERE	RéNaSS	ARRIERE PAYS NICOIS	43,8874	7,3275	1040
AUTN	AUTION	RéNaSS	ARRIERE PAYS NICOIS	43,9957	7,4275	2065
CALN	CALERN	RéNaSS	ARRIERE PAYS NICOIS	43,7524	6,8893	1430
MVIF	MONT-VIAL	RéNaSS	ARRIERE PAYS NICOIS	43,8964	7,1525	1480
REVF	REVERE	RéNaSS	ARRIERE PAYS NICOIS	43,7400	7,3675	700
SAOF	SAORGE	RéNaSS	ARRIERE PAYS NICOIS	43,9864	7,5553	600
TOUF	MONT-TOURNERAIT	RéNaSS	ARRIERE PAYS NICOIS	44,0137	7,2483	1830

## Fossé rhénan

Code	NOM	Réseau national	Réseau local	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
ABH	ALTEBURG	RéNaSS	FOSSE RHENAN-LED	49,8817	7,5475	620
BBS	BASEL-BLAUEN	RéNaSS	FOSSE RHENAN-SEDZLE	47,4646	7,5092	700
ECH	ECHERY	RéNaSS	FOSSE RHENAN	48,2159	7,1583	580
FELD	FELBERG	RéNaSS	FOSSE RHENAN-LED	47,8760	8,0040	1330
HOFF	HOFFEN	RéNaSS	FOSSE RHENAN	48,9417	7,9638	150
KTD	KALMIT	RéNaSS	FOSSE RHENAN-LED	49,3202	8,0837	670
LANF	LANGENBERG	RéNaSS	FOSSE RHENAN	48,9807	7,8053	500

LIBD	LIMBURG	RéNaSS	FOSSE RHENAN-LED	48,1506	7,6023	200
LOMF	LOMONT-DE-CHAMESOL	RéNaSS	FOSSE RHENAN	47,3509	6,8275	1000
MOF	MOLKENRAIN	RéNaSS	FOSSE RHENAN	47,8517	7,1332	1085
RUP	RUPPELSTEIN	RéNaSS	FOSSE RHENAN-LED	49,7017	7,0603	750
SLE	SCHLEITHEIM	RéNaSS	FOSSE RHENAN-SEDZ	47,7660	8,4933	590
SPAK	SPAICHINGEN	RéNaSS	FOSSE RHENAN-SEDZ	48,1017	8,7862	997
SRBF	SURBOURG	RéNaSS	FOSSE RHENAN	48,9149	7,8522	200
STR	STRASBOURG-CP	RéNaSS	FOSSE RHENAN	48,5846	7,7658	135
THEF	THEY-SOUS-MONFORT	RéNaSS	FOSSE RHENAN	48,2269	5,9863	469
TOD	TROMM	RéNaSS	FOSSE RHENAN-LED	49,6057	8,8038	570
WLS	WELSCHBRUCH	RéNaSS	FOSSE RHENAN	48,4134	7,3533	775

## Alpes

Code	NOM	Réseau national	Réseau local	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
GDM	GRAND'MAISON	RéNaSS	SISMALP	45,2041	6,1163	1574
GRN	GRENOBLE	RéNaSS	SISMALP	45,2426	5,7453	1040
OG01	VACHERESE	RéNaSS	SISMALP	46,3307	6,6830	1040
OG05	JUJURIEUX	RéNaSS	SISMALP	46,0406	5,4583	400
OG22	ABRIES	RéNaSS	SISMALP	44,8227	6,9452	1810
OG25	LE CAIRE	RéNaSS	SISMALP	44,3699	6,0735	1060
OG26	ST-NAZAIRE-LE-DESERT	RéNaSS	SISMALP	44,5784	5,3022	840
RSL	ROSELEND	RéNaSS	SISMALP	45,6884	6,6255	1583
SURF	SAINT-OURS	RéNaSS	SISMALP	44,4809	6,8128	1820

## Charentes

Code	NOM	Réseau national	Réseau local	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
LCHF	LA CHATAIGNERAIE	RéNaSS	CHARENTES	46,6694	-0,7417	166
LRYF	LA ROCHE-SUR-YON	RéNaSS	CHARENTES	46,5787	-1,5472	67
MATF	MATHAT	RéNaSS	CHARENTES	45,8310	-0,2880	30
LYRF	LA ROCHELLE	RéNaSS	CHARENTES	46,1635	-1,0506	30
OLEF	ILE D'OLERON	RéNaSS	CHARENTES	45,9445	-1,3488	3

## Pyrénées

Code	NOM	Réseau national	Réseau local	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
ATE	ARETTE	RéNaSS	PYRENEES	43,0859	-0,7003	480
CARF	CARCANIERES	RéNaSS	PYRENEES	42,7161	2,1055	1220
FDAF	LES FORGES D'ABEL	RéNaSS	PYRENEES	42,8189	-0,5672	1230
FILF	FILLOLS	RéNaSS	PYRENEES	42,5604	2,5603	850
GRBF	GOURBIT	RéNaSS	PYRENEES	42,8414	1,5367	878
LABF	LABASSERE	RéNaSS	PYRENEES	43,0476	0,0737	750
LARF	LARRAU	RéNaSS	PYRENEES	43,0380	-0,9875	670
LEPF	Le PEYRAT	RéNaSS	PYRENEES	42,9485	1,9077	470
MELF	MELLES	RéNaSS	PYRENEES	42,8727	0,7592	940
MLS	MOULIS	RéNaSS	PYRENEES	42,9579	1,0947	450
MTHF	MOUHOUMET	RéNaSS	PYRENEES	42,9387	2,5338	620
ORDF	ORDIAP	RéNaSS	PYRENEES	43,2135	-0,9357	270
OSSF	OSSES	RéNaSS	PYRENEES	43,2561	-1,2618	240
PAND	PRINC.-D'ANDORRE	RéNaSS	PYRENEES	42,5226	1,5467	1857
RESF	ENS	RéNaSS	PYRENEES	42,8077	0,3385	1270
REYF	REY	RéNaSS	PYRENEES	43,0697	-0,3925	1000

SAJF	St-JEAN L'ALBERE	RéNaSS	PYRENEES	42,4845	2,8822	450
SALF	SALAU	RéNaSS	PYRENEES	42,7600	1,1893	900
VALF	VALCEBOLLERE	RéNaSS	PYRENEES	42,4019	2,0173	1580
VIEF	VIEY	RéNaSS	PYRENEES	42,8837	0,0237	1000

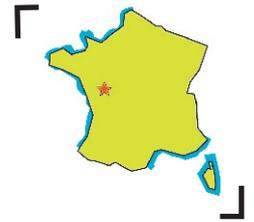
## Sismalp

Code	NOM	Réseau national	Réseau local	Latitude (degrés décimaux)	Longitude (degrés décimaux)	Altitude (mètres)
AJAF	AJACCIO	RéNaSS	SISMALP	41,9833	8,7302	210
BROM	BAINS-DE-BROMINES	RéNaSS	SISMALP	45,9451	6,0668	535
CBB	COMBE-BREMOND	RéNaSS	SISMALP	44,5966	6,8535	1980
CREF	CREVOUX	RéNaSS	SISMALP	44,5495	6,6228	1680
JAUF	JAUSIERS	RéNaSS	SISMALP	44,4292	6,7500	1585
LURI	LURI	RéNaSS	SISMALP	42,8989	9,3958	180
OG02	MONNETIER-MORNEX	RéNaSS	SISMALP	46,1542	6,2208	620
OG03	SAMOENS	RéNaSS	SISMALP	46,0667	6,7305	1000
OG04	LA CLUSAZ	RéNaSS	SISMALP	45,9137	6,4380	1330
OG06	MOYE	RéNaSS	SISMALP	45,8811	5,8902	650
OG07	SAINTE-REINE	RéNaSS	SISMALP	45,5927	6,1410	915
OG08	COMMELLE	RéNaSS	SISMALP	45,4482	5,2397	550
OG09	SAIN-THIBAUD-DE-COUZ	RéNaSS	SISMALP	45,5124	5,8363	630
OG10	SAIN-TETIENNE-DE-CUINES	RéNaSS	SISMALP	45,3522	6,2758	1035
OG11	MONTAGNY	RéNaSS	SISMALP	45,4527	6,6095	1120
OG12	VILLAROGER	RéNaSS	SISMALP	45,5376	6,9053	1550
OG13	CHORANCHE	RéNaSS	SISMALP	45,0734	5,3995	560
OG14	ST.MAURICE-EN-VALGODEMARD	RéNaSS	SISMALP	44,8152	6,1123	1090
OG15	BRIANÇON	RéNaSS	SISMALP	44,9114	6,6487	1985
OG16	COMBOVIN	RéNaSS	SISMALP	44,8501	5,0975	775
OG17	PRUNIERES	RéNaSS	SISMALP	44,9067	5,7662	1140
OG18	ALBANNETTE	RéNaSS	SISMALP	45,1932	6,4290	1455
OG19	SAIN-TJULIEN-EN-BEAUCHENE	RéNaSS	SISMALP	44,6304	5,7260	1035
OG20	REALLON	RéNaSS	SISMALP	44,6134	6,3312	1570
OG21	SAIN-TCREPIN	RéNaSS	SISMALP	44,7156	6,6185	1395
OG23	TENDE	RéNaSS	SISMALP	44,1162	7,6185	930
OG24	AUSSOIS	RéNaSS	SISMALP	45,2217	6,7357	1495
OG27	MEOLANS	RéNaSS	SISMALP	44,3932	6,5085	1393
OG28	IZON-LA-BRUISSE	RéNaSS	SISMALP	44,2582	5,5975	1040
OG29	DIGNE	RéNaSS	SISMALP	44,0926	6,2650	685
OG30	VILENEUVE-D'ENTRAUNES	RéNaSS	SISMALP	44,1095	6,7775	1350
OG31	MERCANTOUR	RéNaSS	SISMALP	44,1315	7,1348	1035
OG32	CASTELLANE	RéNaSS	SISMALP	43,8104	6,5593	1130
OG33	ROURE	RéNaSS	SISMALP	44,0919	7,0872	1195
OSPF	L'OSPEDALE	RéNaSS	SISMALP	41,6632	9,1915	965
SSB	SAIN-TSAUVEUR	RéNaSS	SISMALP / AUVERGNE	45,2792	4,5420	700
VAU	VAUJANY	RéNaSS	SISMALP	45,1602	6,0682	1455

# 3 - Fiches séismes

## Séisme du 12 janvier 1997

### Sainte-Hermine (Vendée)



**HEURE**  
 en temps universel :  
 01h24mn  
 en temps légal :  
 02h24mn

**MAGNITUDE**  
 RéNaSS : 4,3 ML  
 LDG : 4,2 ML  
 LEPCAT : 4,2 ML

**COORDONNEES**  
 RéNaSS  
 lat. : 46,56° N  
 long. : 1,05° W  
 profondeur : 6 km

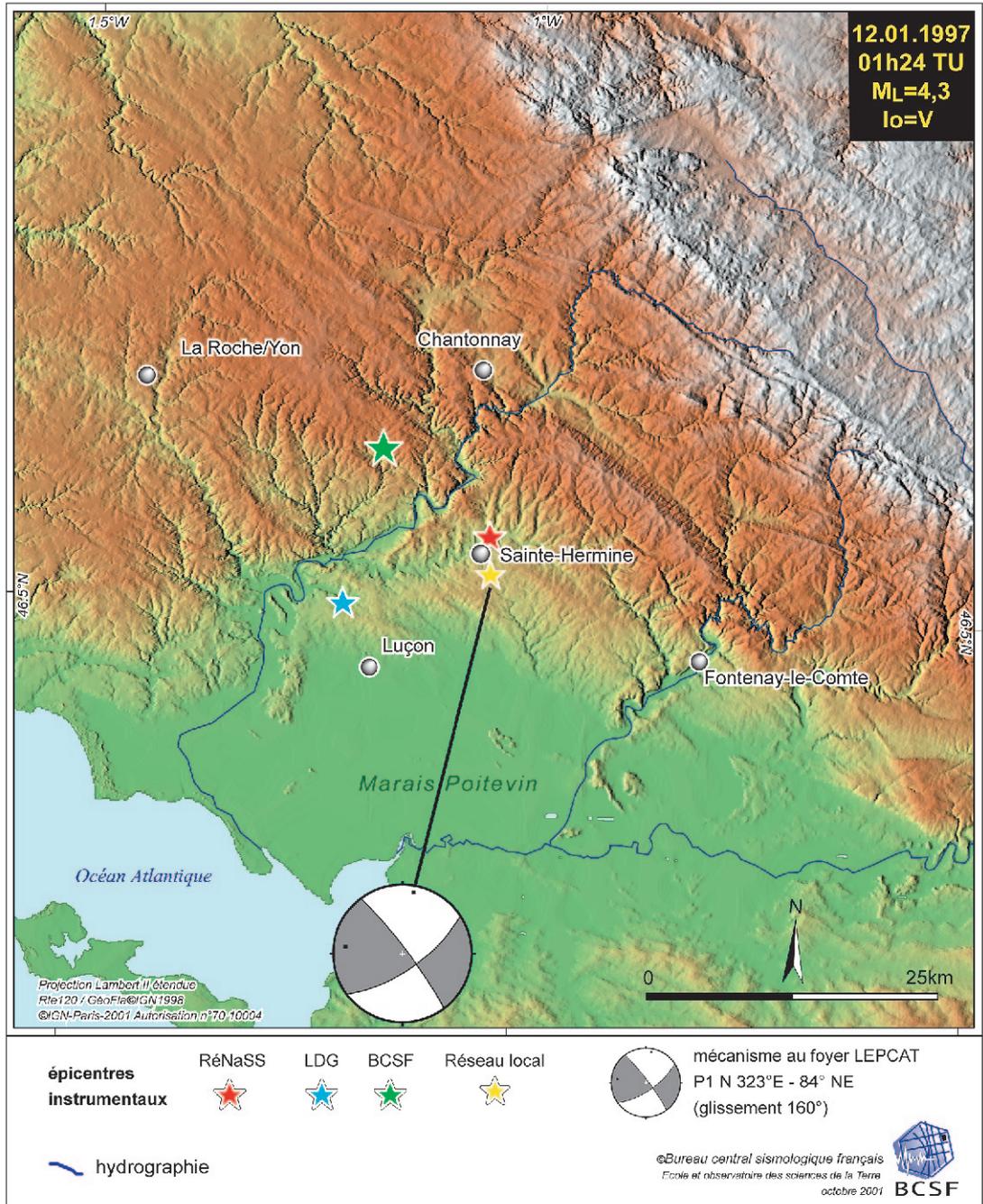
LDG  
 lat. : 46,50° N  
 long. : 1,20° W  
 profondeur : 6 km

Réseau local  
 LEPCAT  
 lat. : 46,54° N  
 long. : 1,04° W  
 profondeur : 15 km

BCSF  
 lat. : 46,63° N  
 long. : 1,12° W  
 profondeur : 5 km

**MECANISME  
 AU FOYER**  
 données :  
 29 polarités

sources :  
 Observatoire de  
 Clermont-Ferrand,  
 Laboratoire  
 des Sciences  
 de l'Université  
 de La Rochelle avec  
 la collaboration  
 du LDG-CEA



#### Localisation

Un séisme de magnitude légèrement supérieure à 4 (ML=4,2 selon le LEPCAT, 4,3 selon le RéNaSS) s'est produit pendant la nuit du 12 janvier 1997 à 2h24 (heure légale) en Vendée, au nord du Marais Poitevin, dans le triangle

de Luçon, Fontenay-le-Comte et Chantonay. La détermination épicentrale du LEPCAT tombe dans le réseau sismologique régional de Poitou-Charentes-Vendée (5 stations), à 26 kilomètres de la station la plus proche (LCHF). Elle est à environ 2 km au SSE de la commune de Sainte-Hermine, et est proche de celle du RéNaSS



Région de Sainte-Hermine  
(© mairie de Ste-Hermine)

(environ 1,5 km au NNE de Sainte-Hermine). La localisation du RéNaSS reprend trois des stations du réseau local (LCHF en particulier). Les solutions du LDG et du BCSF se distinguent nettement des deux premières et sont situées à une douzaine de kilomètres à l'WSW et au NW de Sainte-Hermine, respectivement. Il semble que cela soit dû à un problème de pointé sur une station LDG proche, également prise en compte dans la solution du BCSF. L'épicentre instrumental du séisme du 12/1/1997 (ML=4,3) obtenu seulement à l'aide des stations du réseau local est donc le plus fiable, et la solution RéNaSS est préférable à celle du BCSF.

### Sismicité régionale

La Région Centre-ouest connaît une activité sismique faible mais significative. Après l'Arc alpin, la Chaîne pyrénéenne et le Fossé rhénan, elle est la quatrième zone la plus active en France par l'importance des séismes historiques.

La zone de 20 km de rayon entourant l'épicentre montrait depuis plusieurs décennies un très faible niveau d'activité sismique : 5 séismes de magnitude comprise entre 2 et 3 entre 1962 et 1996 (voir carte de la sismicité de la France entre 1962 et 1993 - CEA-LDG, 1995).

Si l'on se focalise sur une zone de 100 km de rayon autour de l'épicentre du séisme de janvier 1997, il apparaît qu'elle a subi dans le passé quelques séismes notables d'intensité épicentrale MSK VII-VIII (Lambert J. & coll., 1998) : les séismes de Loudun (1711), Parthenay (1772) et Bouin-Noirmoutier (1799, localisation entre Noirmoutier et Machecoul). Pour la période contemporaine, on peut rappeler le séisme d'Oléron en 1972 qui a atteint la magnitude locale de 5,2 (intensité MSK VII).

### Contexte sismotectonique

Le séisme de janvier 1997 s'est produit dans la partie sud du Massif Armoricaïn. Ce massif appartient à l'ancienne Chaîne hercynienne. Dans la région épicentrale, l'épaisseur de la couverture sédimentaire mésozoïque est inférieure à quelques centaines de mètres, voire à 100 m (cf par exemple planche 2a, Grellet et coll., 1993), le séisme a donc eu lieu dans le socle hercynien (Primaire). Il est situé à environ 10 km au SW d'une ancienne faille hercynienne passant par Chantonay (appartenant au Faisceau sud armoricaïn) d'orientation NW - SE qui semble encore active, avec un jeu normal décrochant dextre

(voir par exemple les planches 9 et 16, Grellet et coll., 1993).

De l'étude des mécanismes au foyer disponibles entourant la zone épicentrale (planches 12 et 17, Grellet et coll., 1993), il ressort une contrainte tectonique compressive NW - SE et une contrainte distensive NE - SW.

La déformation actuelle est de type décrochante-distensive (dextre selon des accidents NW-SE hérités de l'orogénèse hercynienne).

Le mécanisme au foyer du séisme du 12 janvier 1997, déterminé par le LEPCAT en combinant les polarités d'ondes P obtenues par les stations de son réseau, celles de l'Observatoire de physique du Globe de Clermont-Ferrand et celles du LDG, tout en se donnant une profondeur hypocentrale de 15 km (voir le Bulletin n°2 du réseau sismologique régional de Poitou-Charentes-Vendée du LEPCAT), est essentiellement décrochant selon 2 plans nodaux NW - SE ou NE - SW quasi verticaux. La direction NW - SE est à rapprocher de celle des failles principales de même direction, la direction NE - SW peut concerner les failles secondaires affectant le socle primaire (voir par exemple la carte géologique de la France, BRGM, 1996). Le plan "préféré" est le plan d'orientation NW - SE (azimut N323°E, pendage 84°NE, glissement 160° principalement dextre) car pour l'instant, aucun indice d'activité récente, selon des accidents d'orientation NW - SE, n'a été détecté dans la région (voir la carte de la tectonique actuelle et récente de la France et des pays limitrophes, Grellet et coll., 1993). Un autre argument allant dans ce sens est celui de la géomorphologie qui semble, dans la région épicentrale, dominée par une structuration hercynienne NW - SE. On peut aussi noter que les isoséistes (en particulier V et IV) tendent à s'allonger suivant un axe NW - SE.

### Références citées

- Bulletin du Réseau sismologique régional Poitou-Charente-Vendée, N°2, Séismes régionaux enregistrés du 1<sup>er</sup> janvier 1997 au 30 juin 1997, L.E.P.C.A.T., La Rochelle, 1997.
- Carte Géologique de la France au Millionième, 6ème édition, Edition BRGM, Orléans, 1996.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, Mém. Soc. géol. Fr, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Sismicité de la France 1962-1993 (carte), CEA-Laboratoire de détection et de géophysique, Bruyère le Chatel, 1995.

**DONNEES MACROSISMIIQUES**

Intensité maximale : V  
 formulaires collectés : 571  
 enquête portant sur 5 départements

**Calculs sur l'isoséiste d'intensité III**

9162 km<sup>2</sup>  
 378000 habitants  
 228 communes  
 148 réponses à l'enquête

**Dégâts signalés**

13 communes

**Enquête macrosismique**

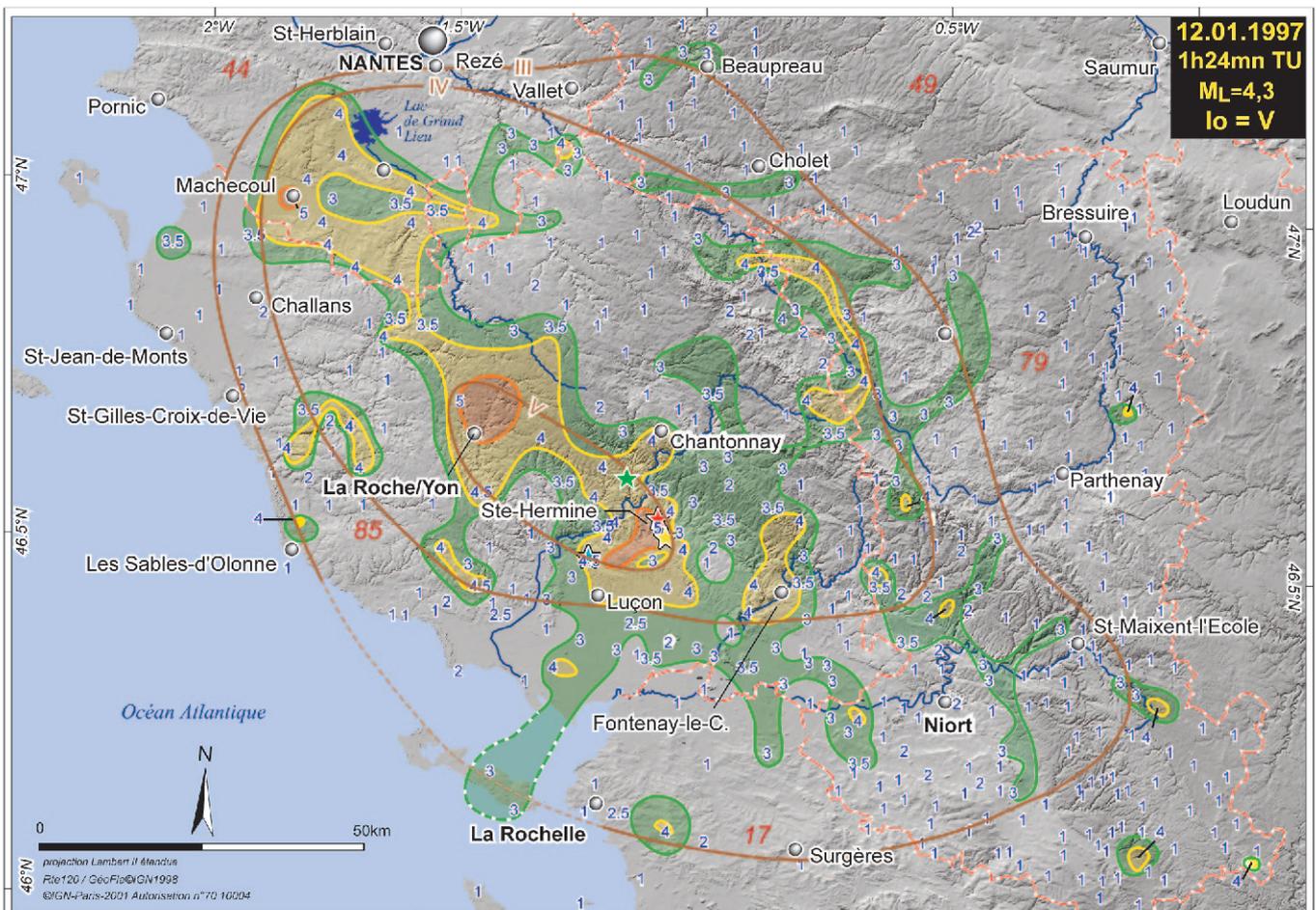
A la demande du BCSF, des questionnaires d'enquête macrosismique ont été diffusés par les Services interministériels de défense et de protection civiles des départements de la Charente-Maritime, des Deux-Sèvres, de la Loire-Atlantique, du Maine-et-Loire et de la Vendée. Ce séisme a été fortement ressenti en Vendée et dans une moindre mesure dans les départements limitrophes (voir les journaux régionaux datés du 13/01/1997: Ouest-France, La Nouvelle République et Vendée-Matin).

171 communes ont ressenti la secousse selon l'enquête réalisée. Dans la zone épiscopentrale des dormeurs ont été réveillés en sursaut. Un bruit d'explosion (ou d'accident de voiture pour certains témoins) a été nettement perçu jusqu'à environ 20 km de l'épicentre (par exemple à Fontenay le

Comte), ne faisant finalement que peu de dégâts. Dix communes ont déclaré des dégâts légers, deux autres des dégâts modérés (un témoignage isolé de dégât sévère concernant un mur extérieur est rapporté).

Un grondement sourd a été perceptible jusqu'à au moins une cinquantaine de kilomètres de l'épicentre (par ex. à Niort).

L'aspect chaotique de la distribution des intensités macrosismiques est très probablement dû au fait que l'enquête n'a pu être effectuée dans le département de la Vendée qu'un an après le séisme. On ne peut donc accorder trop de crédit au détail des courbes présentées (contourage automatique). Un lissage manuel des intensités conduit aux courbes allongées présentées sur la figure. Celles-ci sont allongées suivant un axe NW - SE (cet axe atteint près de 50 km pour l'isoséiste V).



**12.01.1997**  
**1h24mn TU**  
**ML=4,3**  
**Io = V**

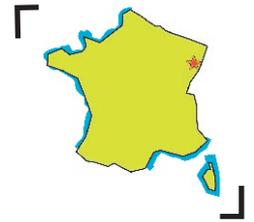
épiscopentres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensités sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse	hydrographie
★ RéNaSS	1			intensité I	non perceptible	— — — — —
★ LDG	2			intensité II	à peine perceptible	— — — — —
★ BCSF	3		— III —	intensité III	faiblement ressentie	— — — — —
★ Réseau local	4		— IV —	intensité IV	largement ressentie	— — — — —
	5		— V —	intensité V	fortement ressentie	— — — — —

Bureau central sismologique français  
 Ecole et observatoire des sciences de la terre  
 Strasbourg oct. 2000, C.Siv



# Séisme du 1<sup>er</sup> février 1997

## Sud-est de Mulhouse (Haut-Rhin)



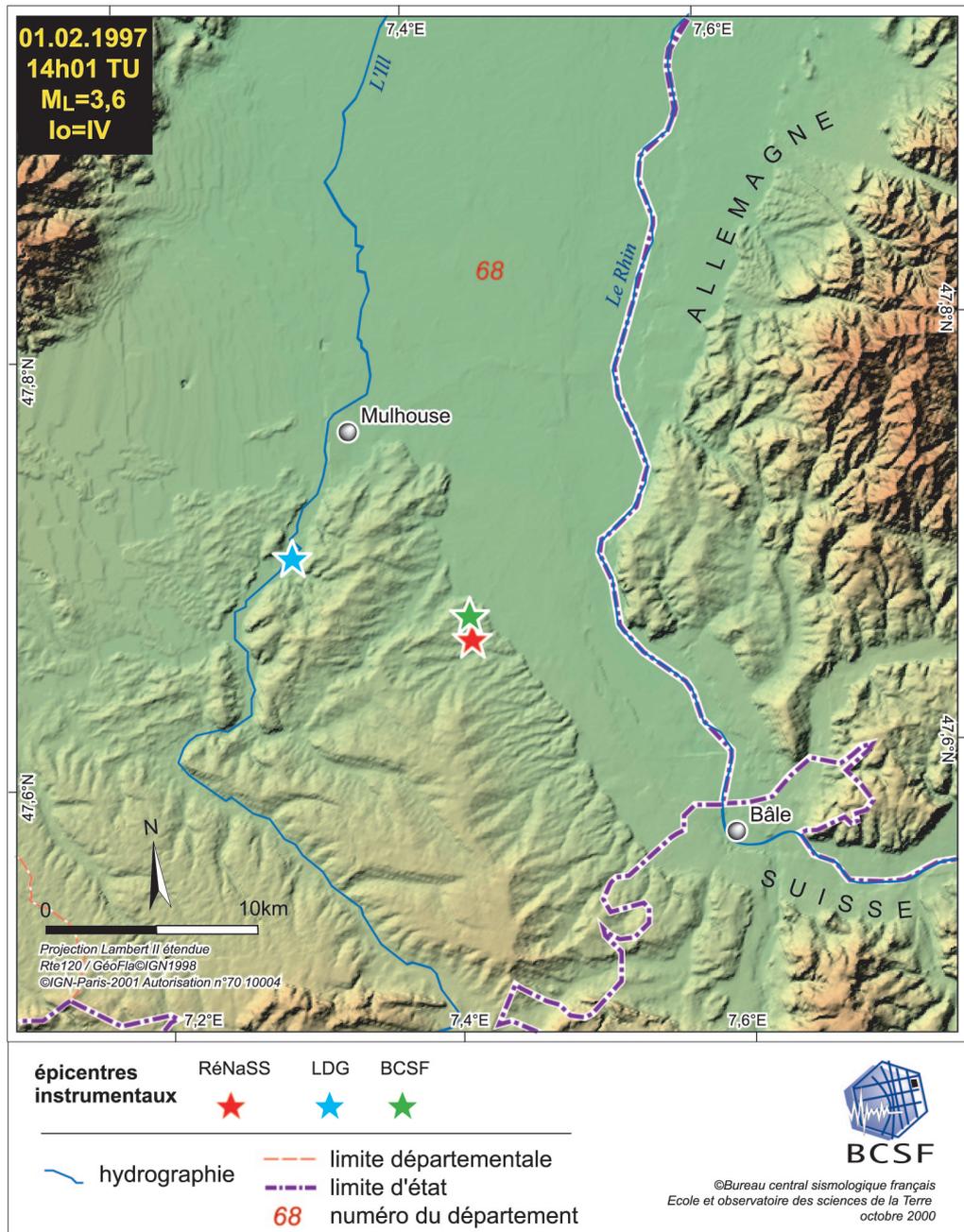
**HEURE**  
en temps universel :  
14h01 mn  
en temps légal :  
15h01 mn

**MAGNITUDE**  
RéNaSS : 3,6 ML  
LDG : 3,7 ML

**COORDONNEES**  
RéNaSS  
lat. : 47,66° N  
long. : 7,42° E  
profondeur : 9 km

LDG  
lat. : 47,7° N  
long. : 7,3° E  
profondeur : 15 km

BCSF  
lat. : 47,67° N  
long. : 7,42° E  
profondeur : 10 km



### Localisation

Le 1<sup>er</sup> février 1997 à 15h01 (heure légale), un séisme de magnitude  $M_L=3.6$  (RéNaSS) s'est produit dans le sud de l'Alsace, à une vingtaine de kilomètres au SE de Mulhouse. Les localisations du RéNaSS et du BCSF sont très proches l'une de l'autre. L'épicentre publié par le LDG est

à l'écart des deux autres (~10 km à l'ouest). Ces trois déterminations sont situées dans le réseau sismologique du Fossé rhénan. Les déterminations RéNaSS et BCSF qui prennent en compte les données de ce réseau local nous paraissent les plus fiables.

## Sismicité régionale

Le Fossé Rhénan est la troisième région en France de par son activité sismique. Sa partie sud, particulièrement la bordure SW de la Forêt-Noire et le Sundgau, présente actuellement l'activité sismique la plus soutenue (Bonjer, 1997). Dans un rayon de 100 km autour de la zone épicertrale du séisme du 1<sup>er</sup> février 1997, on compte 4 séismes historiques destructeurs :

- les deux séismes de Bâle en 1356 (intensités MSK=VII-VIII et IX-X),
- Lucerne en 1601 (Unterwalden, intensité MSK=VIII)
- Remiremont en 1682 (Vosges, intensité MSK=VIII) (Lambert et coll., 1998).

En ce qui concerne la période récente, le 15 juillet 1980, la partie sud du Fossé Rhénan a connu le séisme le plus fortement ressenti (Sierentz, ML=4.7, intensité MSK=VI-VII, Bonjer, 1997 et Lambert et coll., 1998) depuis 1926 (région du Kaiserstuhl, intensité MSK=VII, Lambert et coll., 1998). Le choc du 1<sup>er</sup> février 1997 n'est situé qu'à environ 5 km à l'ouest de celui du 15 juillet 1980 si l'on retient les localisations RéNaSS ou BCSF.

## Contexte sismotectonique

Le Fossé Rhénan appartient au système de rifts cénozoïques européens dont la formation a débuté à la fin de l'Eocène (~40 Ma). Ce système de rift s'étend depuis la Mer du Nord jusqu'à la Méditerranée (par exemple Brun et coll., 1991 ; Echtler, Lüschen et Mayer, 1994). De nombreuses failles qui appartiennent au Fossé rhénan présentent des signes d'activité récente (voir la carte de Grellet et coll., 1993).

De l'étude des nombreux mécanismes au foyer disponibles dans la région du séisme du 1<sup>er</sup> février (en faille normale ou décrochement, Bonjer, 1997) il apparaît que la direction de la contrainte

compressive minimale est horizontale : NE-SW. Les deux autres directions sont moins bien contraintes : la direction NW-SE est soit celle de la contrainte compressive intermédiaire soit celle de la contrainte compressive maximale (Plenefisch et Bonjer, 1997). Ceci est compatible avec un régime tectonique principalement décrochant-distensif. On peut noter que le séisme du 15 juillet 1980 présentait un mécanisme au foyer essentiellement décrochant (plans nodaux subverticaux NW-SE et NE-SW, Bonjer, 1997). Cet événement fut suivi d'autres chocs présentant des mécanismes au foyer divers (en failles normales, décrochant, et même deux mécanismes inverses). Dans un rayon de 10 km autour du séisme du 1<sup>er</sup> février 1997, des signes d'activité récente ont été détectés sur des failles normales d'orientation principalement NNE-SSW (voir par exemple la carte de Grellet et coll., 1993).

## Références citées

- Bonjer, K.-P., Seismicity pattern and style of seismic faulting at the eastern border fault of the southern Rhine Graben, *Tectonophysics*, 275, 41-69, 1997.
- Brun, J. P., Wenzel, F. & ECORS-DEKORP team, Crustal-scale structure of the southern Rhinegraben from ECORS-DEKORP seismic reflection data, *Geology*, 19, 758-762, 1991.
- Echtler, H.P., Lüschen, E. & Mayer, G., Lower crustal thinning in the Rhinegraben : Implication for recent rifting, *Tectonics*, 13, 342-353, 1994.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, *Mém. Soc. géol. Fr*, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Plenefisch, T. & Bonjer, K.-P., The stress field in the Rhine Graben area inferred from earthquake focal mechanisms and estimation of frictional parameters, *Tectonophysics*, 275, 71-97, 1997.

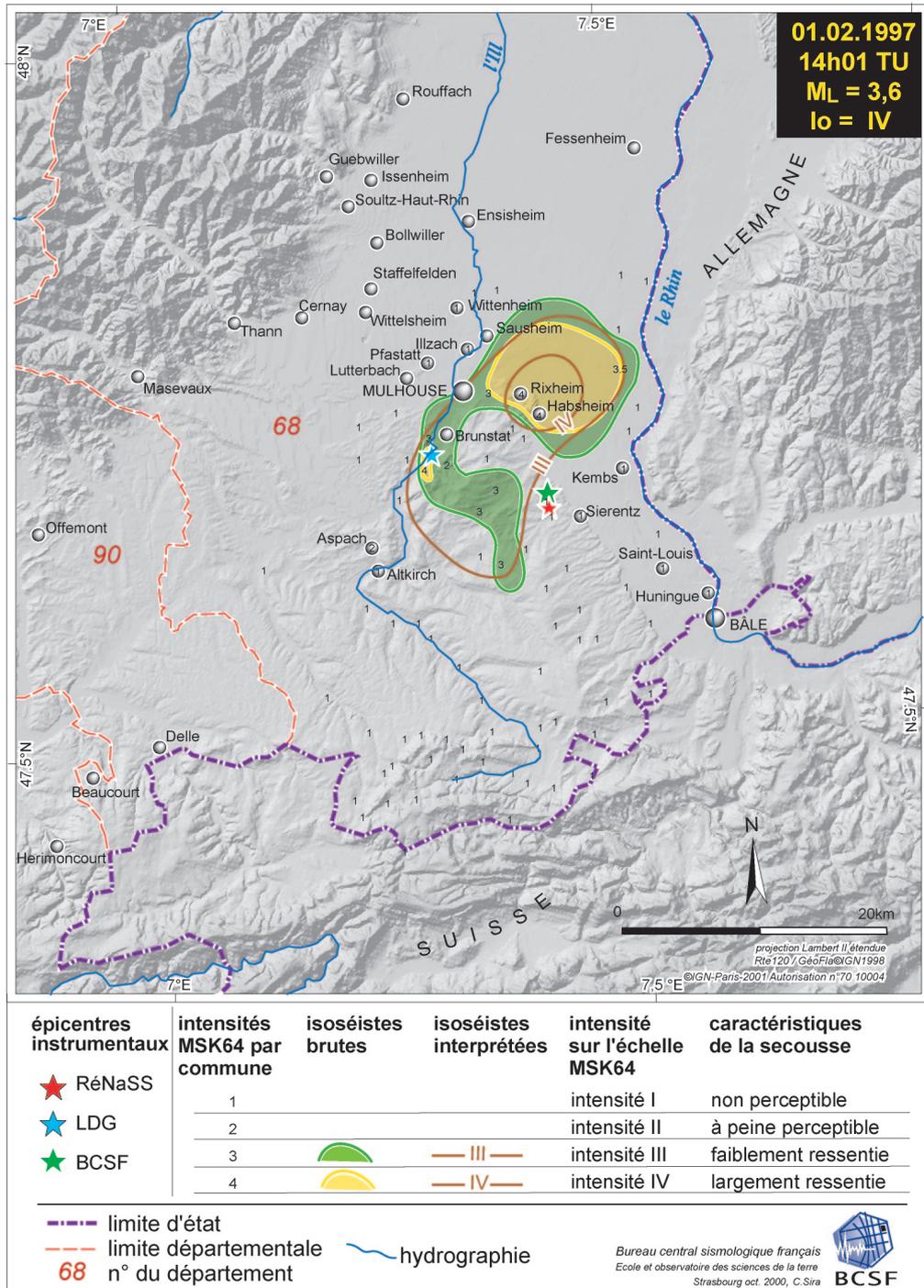
**DONNEES  
MACROSISMIIQUES**

Intensité  
maximale : IV  
formulaire  
collectés : 294

**Calculs sur  
l'isoséiste  
d'intensité III**

161 km<sup>2</sup>  
40000 habitants  
13 communes  
11 réponses  
à l'enquête

**Dégâts signalés**  
2 communes

**Enquête macrosismique**

Le séisme du 1<sup>er</sup> février a été précédé le 15 janvier par un séisme d'une magnitude plus faible (3,1ML). L'épicentre instrumental se situait nettement à l'ouest de celui du 1<sup>er</sup> février (23 km) sur la commune de Burnhaupt-le-Bas. Il avait été ressenti faiblement (Dernières nouvelles d'Alsace du 16.01.97) jusque dans les quartiers sud-ouest de Mulhouse, ainsi que dans le nord du Sundgau. Aucun dégât n'avait été signalé.

Le séisme du 1<sup>er</sup> février 1997, d'une magnitude de 3,6ML pour le RéNaSS a également été peu ressenti, sans doute à cause de sa profon-

deur (9 km). 11 communes ont signalé avoir ressenti le séisme et 2 autres déclarent des dégâts légers : Aspach (quelques incohérences) située à 14 km de l'épicentre du RéNaSS et Habsheim située à 6,5 km. La population n'a pas manifesté de frayeur particulière hormis pour la commune de Habsheim, où le choc a été plus particulièrement ressenti.

L'intensité IV a été atteinte à l'épicentre macrosismique.

La forme allongée NE-SW de l'isoséiste peut marquer un effet d'amplification locale. ■

# Séisme du 26 juin 1997

## Est-sud-est de St-Sauveur-sur-Tinée (Alpes-Maritimes)



**HEURE**  
 en temps universel :  
 06h08mn  
 en temps légal :  
 08h08mn

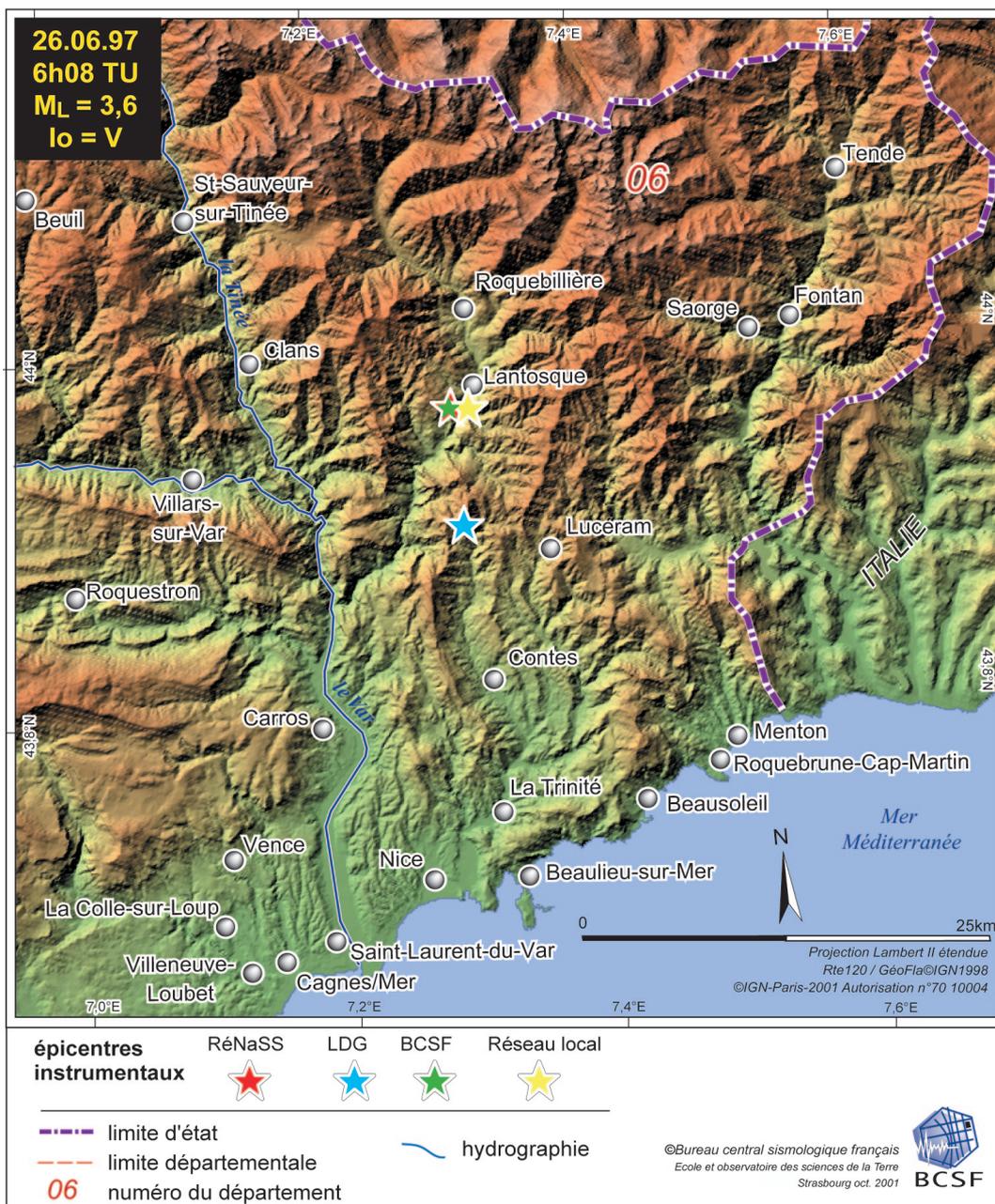
**MAGNITUDE**  
 RéNaSS : 3,6 ML  
 LDG : 3,4 ML  
 Réseau local :  
 3,6 ML

**COORDONNEES**  
 RéNaSS  
 lat. : 43,97° N  
 long. : 7,3° E  
 profondeur : 4 km

LDG  
 lat. : 43,9° N  
 long. : 7,3° E  
 profondeur : 3 km

Réseau local  
 lat. : 43,97° N  
 long. : 7,31° E

BCSF  
 lat. : 43,97° N  
 long. : 7,3° E  
 profondeur : 4 km



### Localisation

Le 26 juin 1997, à 8h08 heure légale, un séisme de magnitude  $M_L = 3,6$  (selon le RéNaSS) a eu lieu à une trentaine de kilomètres au nord de Nice. Ce séisme est situé dans le réseau sismologique de l'arrière-pays niçois. Les localisations

du réseau local et du BCSF (incluant les données du réseau niçois) sont très voisines et placent l'épicentre sur la commune de Lantosque. Celle publiée par le LDG se trouve environ 8 km au sud des deux premières.

## Sismicité régionale

L'Arc alpin est la région de France qui avec les Pyrénées, présente la sismicité la plus importante.

A plusieurs reprises, la région de Nice a subi des séismes historiques destructeurs. Dans un rayon d'environ 50 km autour de l'épicentre du séisme du 26/6/1997 et parmi les séismes ayant produit des intensités épicentrales ( $I_0$ ) MSK= $\sim$ VIII, on peut noter les événements suivants :

- 23/06/1494 (Roquebillière, Alpes-Maritimes,  $I_0$ = VIII),
- 20/07/1564 (Roquebillière, Alpes-Maritimes,  $I_0$ = VIII),
- 18/01/1618 (Coaraze, Alpes-Maritimes,  $I_0$ = VIII),
- 15/02/1644 (Roquebillière, Alpes-Maritimes,  $I_0$ = VIII),
- 26/05/1831 (Bussana, Ligurie, MSK= VIII),
- 29/12/1854 (San Remo, Mer Ligure,  $I_0$ = VII-VIII),
- 23/02/1887 (Imperia, Mer Ligure,  $I_0$ = IX) (voir Lambert et coll., 1998).

Le séisme enregistré et localisé présentant la magnitude la plus forte depuis la mise en route du réseau sismologique français en 1962 s'est produit en mer à environ 90 km au sud-est de Nice en 1963 ( $I_0$ =VII-VIII,  $M=6,0$ ). Les derniers séismes nettement ressentis dans la région se sont produits en mer, au large de Nice en 1989 (ML=4,5,  $I_0$ =IV, Ritz et coll., 1990) et près de Vintimille en 1995 (ML=4,7,  $I_0$ =IV, Courboux et coll., 1998).

## Contexte sismotectonique

Le séisme du 26 juin s'est produit à l'extrémité sud des Alpes françaises, sur la bordure NW de l'Arc de Nice, le plus méridional des chaînons subalpins (voir par exemple Labaume, Ritz et Philip, 1989 ; Ritz, 1992). La structuration de l'Arc de Nice s'est faite principalement à partir de l'ère tertiaire à l'Oligo-Aquitainien ( $\sim$ 25 Ma), en réponse à un régime de contrainte compressif (voir par ex. Labaume, Ritz et Philip, 1989 ; Ritz, 1992). La formation de cet arc est liée au décollement et au glissement vers le sud de la couverture du massif cristallin de l'Argentera-Mercantour. Cette couverture est constituée de terrains sédimentaires secondaires et tertiaires, son décollement a été favorisé par la présence à la base de la série sédimentaire d'argiles et d'évaporites du Trias qui ont joué le rôle d'un lubrifiant (voir par ex. Gèze, 1963). Le glissement a été guidé latéralement à l'ouest et à l'est par deux systèmes de failles décrochantes, orientés  $\sim$ NNE-SSW, les systèmes

de Vésubie-Mont Féron-St.-Blaise-Aspremont et Breil-Sospel-Monaco, respectivement.

L'épicentre tombe quasiment sur le tracé de la faille St.-Blaise-Aspremont, tel qu'il est reporté sur la carte de Grellet et coll. (1993). Quelques kilomètres au sud de l'épicentre, des signes d'activité récente ont été détectés sur la faille de St. Blaise-Aspremont ou sur un chevauchement un peu à l'est (carte de Grellet et coll., 1993).

Les mécanismes au foyer disponibles dans la région sont principalement décrochantes ou inverses et sont compatibles avec une direction de la contrainte compressive maximale variant d'ouest en est de  $\sim$ N-S à NW-SE (voir par ex. les planches 12 et 15 de Grellet et coll., 1993 ; Rebai et coll., 1992 ; Madeddu et coll., 1996).

## Références citées

- Courboux, F., Deschamps, A., Cattaneo, M., Deverchère, J., Virieux, J., Augliera, P., Lanza, V. & Spallarosa, D., Source study and tectonic implications of the 1995, Ventimiglia (border of Italy and France) earthquake (ML = 4.7), *Tectonophysics*, 290, 245-257, 1998.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, *Mém. Soc. géol. Fr.*, n°164, 1993.
- Gèze, B. Caractères structuraux de l'Arc de Nice (Alpes Maritimes), in livre à la mémoire du professeur P. Fallot, *Mém. h.s, Soc. géol. fr.*, 289-300, 1963.
- Labaume, P., Ritz, J.F., Philip, H., Failles normales récentes dans les Alpes sud-occidentales, leurs relations avec la tectonique compressive. *C. R. Acad. Sci. Paris.*, 308, 1553-1560, 1989.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Madeddu, B., Bethoux, N., Stephan, J.F., Champ de contrainte post-Pliocène et déformation récentes, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 167 : 6, 797-810, 1996.
- Rebai, S., Philip, H., Taboada, A., Modern tectonic stress field in the Mediterranean region : evidence for stress deviation at different scales. *Geophys. J. Int.*, 110, 106-140, 1992.
- Ritz, J.F. Tectonique récente et sismotectonique des Alpes du Sud, analyse en termes de contraintes. *Quaternaire*, 3, 111-124, 1992.

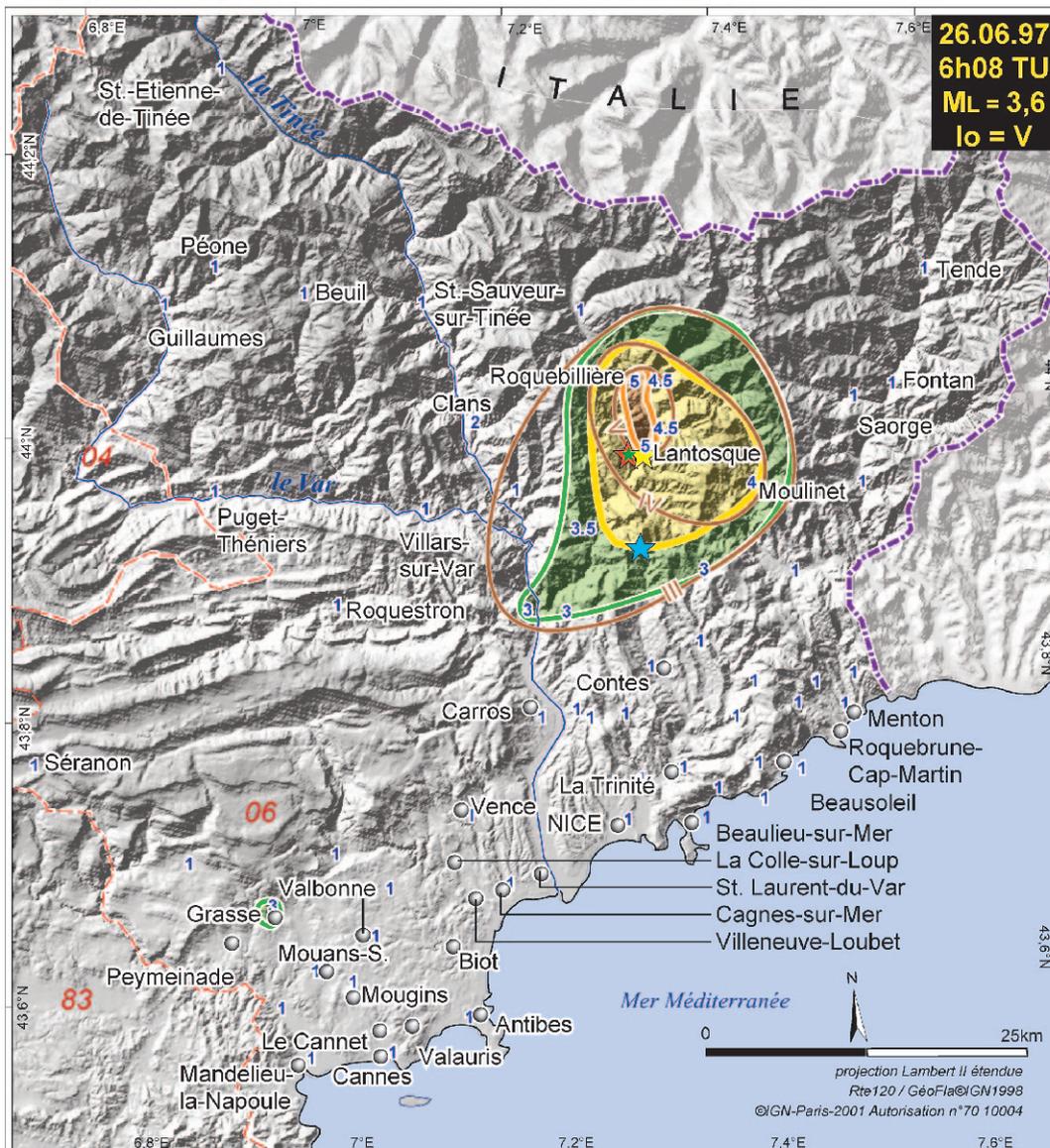
**DONNEES  
MACROSISMIIQUES**

Intensité maximale : V  
formulaire collectés : 72

**Calculs sur  
l'isoséiste  
d'intensité III**

342 km<sup>2</sup>  
49700 habitants  
11 communes  
10 réponses  
à l'enquête

**Dégâts signalés  
2 communes**



épïcèntres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1			intensité I	non perceptible
★ LDG	2			intensité II	à peine perceptible
★ BCSF	3		— III —	intensité III	faiblement ressentie
★ Réseau local	4		— IV —	intensité IV	largement ressentie
	5		— V —	intensité V	fortement ressentie

limite d'état      hydrographie  
 limite départementale  
**06** numéro du département

©Bureau central sismologique français  
 Ecole et observatoire des sciences de la Terre  
 Strasbourg mars 2001 - C. Sira      **BCSF**

**Enquête macrosismique**

Ce séisme de magnitude locale 3,6 a été ressenti sur une vingtaine de kilomètres autour de l'épicentre instrumental localisé à Lantosque. L'intensité maximale observée est de V, répartie entre les communes de Lantosque et Roquebillière où le séisme a créé localement quelques frayeurs, renversant des objets légers voire lourds et stables

par endroits. Il a fait de rares dégâts légers à modérés (fissurations et chutes de plâtre). Un bruit d'explosion a été perçu localement. Deux des trois répliques de magnitude 2,2 et 2,6ML (6h10TU et 8h06TU) ont également été ressenties sur les communes de Moulinet et Lantosque. ■

# Séisme du 2 juillet 1997

## Est de Benasque (Espagne)



**HEURE**  
 en temps universel :  
 03h20mn  
 en temps légal :  
 05h20mn

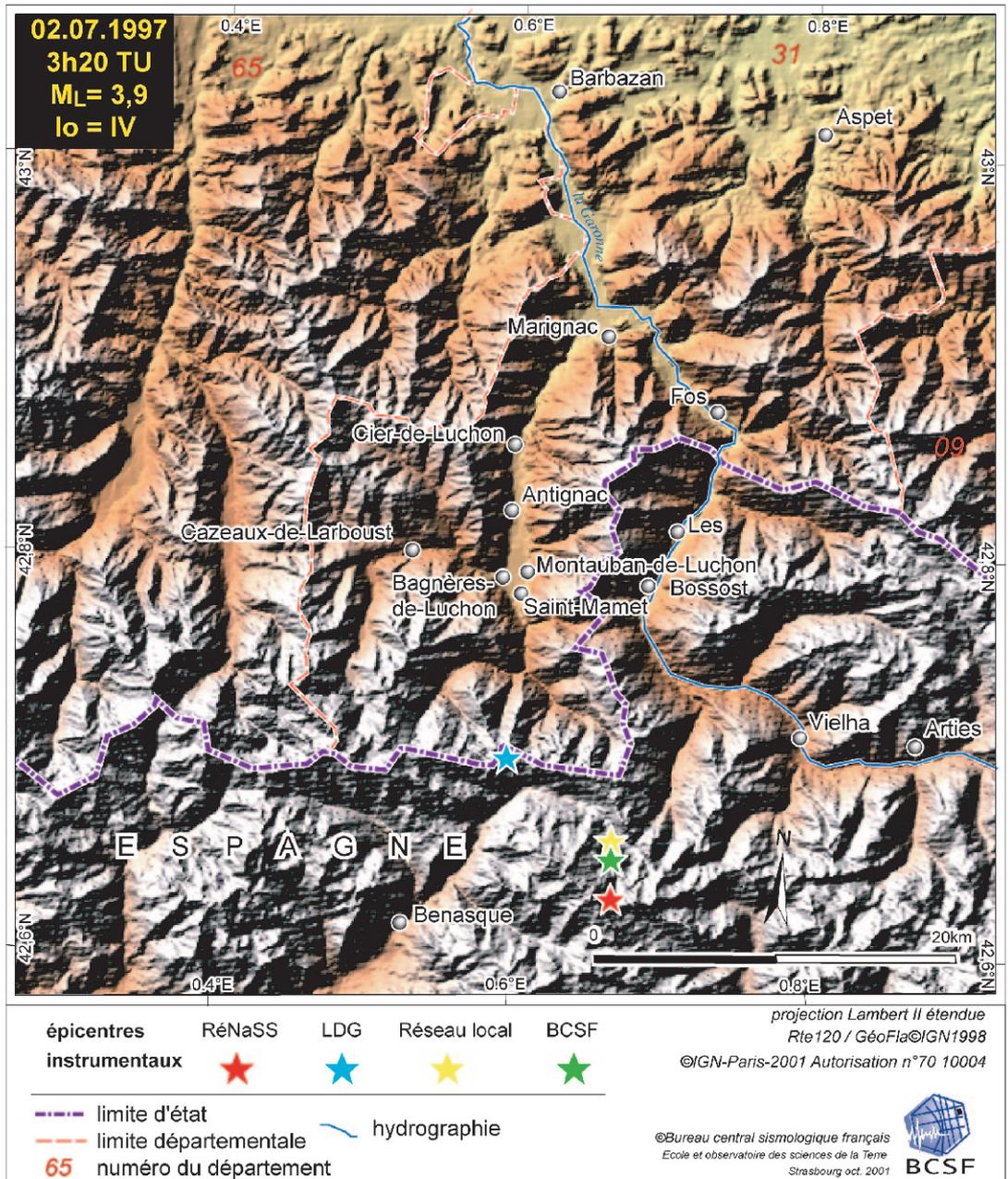
**MAGNITUDE**  
 RéNaSS : 3.9 ML  
 LDG : 4 ML  
 réseau local : 3.8 ML

**COORDONNEES**  
 RéNaSS  
 lat. : 42,63° N  
 long. : 0,67° E  
 profondeur : 2 km

LDG  
 lat. : 42,7° N  
 long. : 0,6° E  
 profondeur : 15 km

Réseau local  
 RSSP  
 lat. : 42,656° N  
 long. : 0,673° E  
 profondeur : 3 km

BCSF  
 lat. : 42,65° N  
 long. : 0,67° E  
 profondeur : 5 km



### Localisation

Le 2 juillet 1997 à 5h20 (heure légale), un séisme de magnitude  $ML=3,9$  (RéNaSS) s'est produit dans les Pyrénées centrales. La localisation BCSF est très proche ( $\sim 1$  km au sud) de celle obtenue par le réseau sismologique de l'Observatoire Midi-Pyrénées (RSSP). La localisation du RéNaSS est à environ 3 km au sud de celle du RSSP. L'épicentre publié par le LDG se trouve à environ

8 km au NW de la solution du RSSP. La détermination du RSSP est la plus fiable, car celle-ci est située dans le réseau sismologique local qui couvre les Pyrénées en combinant des stations françaises (OMP et CEA) et espagnoles (IGN et SGC). Cet épicentre est à une dizaine de kilomètres à l'est de Benasque (Espagne), à environ 5 km au sud de la frontière franco-espagnole.

## Sismicité régionale

La chaîne des Pyrénées est la seconde région en France, après les Alpes, de par son activité sismique historique. Le choc du 2 juillet 1997 se trouve au SE de la faille de l'Adour, là où la sismicité pyrénéenne perd son aspect de guirlande étroite suivant la Faille nord-pyrénéenne (FNP) et prend une allure plus diffuse vers l'est (voir par ex. Souriau et coll., 2001). Ce choc s'est produit dans une région qui a subi à plusieurs reprises des dégâts causés par des tremblements de terre. Dans un rayon de 75 km autour de la zone épiscopale du séisme du 2 juillet 1997, on compte 5 séismes historiques destructeurs : celui de Ribagorza en 1373 (Espagne, intensité MSK=VIII-XI), celui de Bagnères en 1660 (Bigorre, intensité MSK=VIII-IX), celui de Juncalas en 1750 (Bigorre, intensité MSK=VIII), celui d'Argelès-Gazost en 1854 (Bigorre, intensité MSK=VII-VIII), et celui de Viella en 1923 (Espagne, Val d'Aran, intensité MSK=VIII) (Lambert et coll., 1998). Ce dernier séisme n'est distant que d'une quinzaine de kilomètres du choc du 2 juillet 1997.

## Contexte sismotectonique

La formation de la chaîne des Pyrénées a débuté vers -70 Ma, lors de la collision entre les plaques Ibérie et Eurasie en réponse à la montée vers le nord de l'Afrique. Parmi les accidents tectoniques majeurs de cette chaîne figurent la faille nord-pyrénéenne (FNP) qui borde au nord la zone axiale des Pyrénées, le Chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP) et le Chevauchement sud-pyrénéen (CSP) qui limitent au nord et au sud la chaîne des Pyrénées (voir par ex. Choukroune, 1992). Alors que le CFNP n'est distant que d'une trentaine de kilomètres du centre de la zone axiale, le CSP en est sur les deux tiers de sa longueur à près de 80 km. Ceci est lié à la structure asymétrique de la chaîne, dont les nappes de charriage mises en place lors de la phase de collision sont principalement déversées vers le sud, la plaque Eurasie agissant sur la plaque Ibérie comme un indenteur, la croûte inférieure de l'Ibérie subductant partiellement. La FNP, faille subverticale (au moins au travers de la croûte supérieure), est située à l'aplomb d'un saut impor-

tant du Moho, situé à environ 30 km de profondeur au nord et 55 km au sud. La FNP est considérée comme une limite de plaque entre l'Eurasie et l'Ibérie qui a joué en faille transformante lors de l'ouverture du Golfe de Gascogne entre -115 et -80 Ma (voir par ex. Choukroune et Mattauer, 1978), et qui a été plus ou moins déformée par la collision (voir par ex. Mattauer, 1990 ; Roure et Choukroune, 1998).

Le choc du 2 juillet 1997 se trouve à une trentaine de kilomètres au sud de la FNP, dans le massif granitique de Maladeta (zone axiale de la chaîne des Pyrénées). Dans cette région peu de mécanismes au foyer sont disponibles (voir par ex. Grellet et coll., 1993 ; Souriau et coll., 2001), et l'essentiel des signes de déformation récente (failles décrochantes, inverses, plissements) compatibles avec une contrainte tectonique compressive d'orientation N-S à NW-SE sont situés au nord de la FNP (voir la carte de Grellet et coll., 1993).

## Références

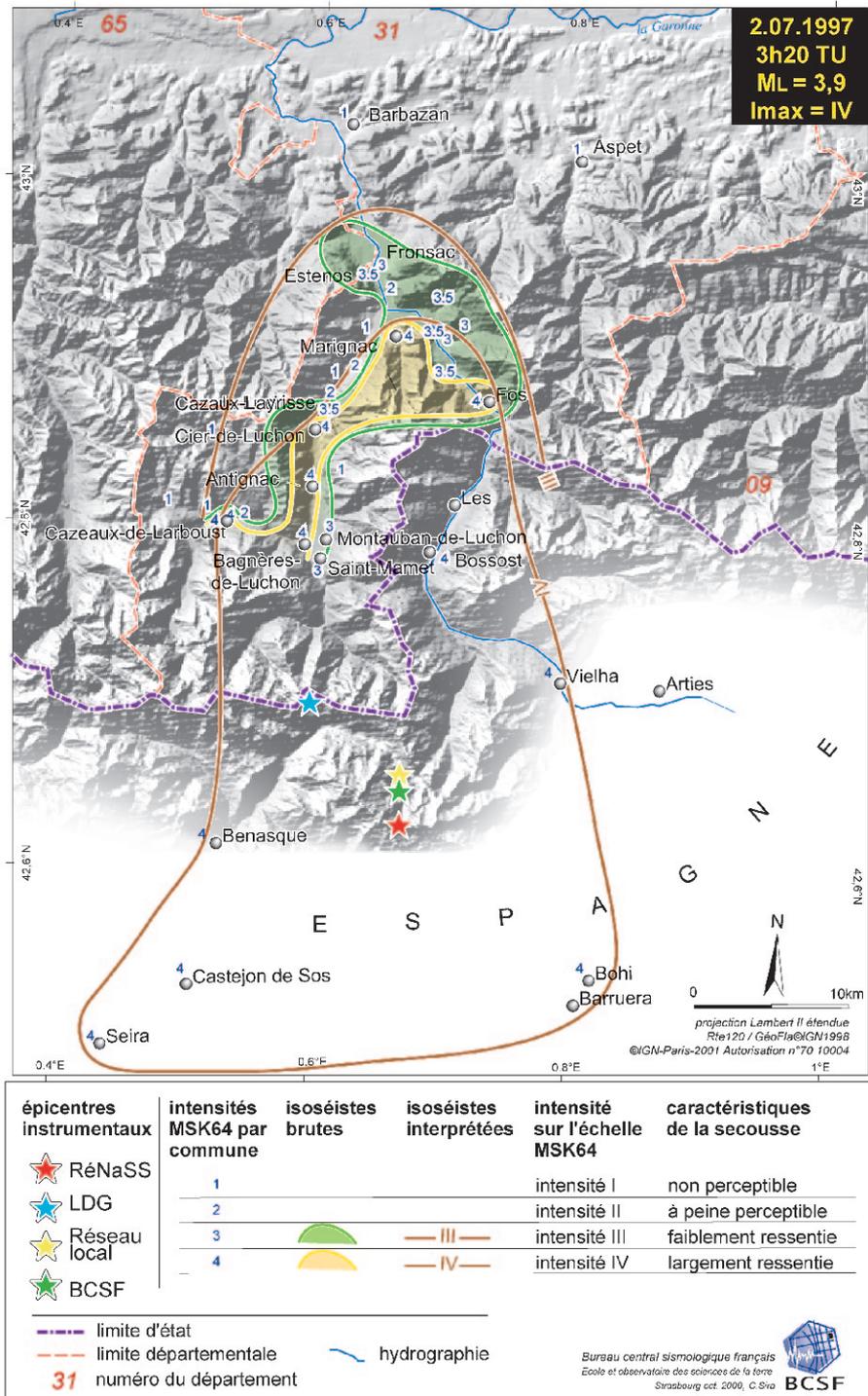
- Choukroune, P. & Mattauer, M., Tectonique des plaques et Pyrénées : sur le fonctionnement de la faille transformante nord-pyrénéenne ; comparaison avec des modèles actuels, *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7)20, 698-700, 1978.
- Choukroune, P., Tectonic evolution of the Pyrenees, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 20, 143-158, 1992.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, *Mém. Soc. géol. Fr.*, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Mattauer, M., Une autre interprétation du profil ECORS Pyrénées, *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8)6, 307-311, 1990.
- Roure, F. & Choukroune, P., Contribution of the ECORS seismic data to the Pyrenean geology: crustal architecture and geodynamic evolution of the Pyrenees, *Mém. Soc. géol. Fr.*, 173, 37-52, 1998.
- Souriau, A., Sylvander, M., Rigo, A., Fels, J.F., Douchain, J.M. & Ponsolles, C., Sismotectonique des Pyrénées: principales contraintes sismologiques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 172, 25-39, 2001.

**DONNEES  
MACROSISMQUES**

Intensité maximale  
IV  
formulaire collectés  
38

**Calculs sur  
l'isoséiste  
d'intensité III**

150 km<sup>2</sup>  
(partie française)  
8300 habitants  
29 communes  
18 réponses  
à l'enquête

**Dégâts signalés  
3 communes****Enquête macrosismique**

Ce séisme localisé à environ 5 km au sud de la frontière espagnole au NE de Bénasque a eu lieu dans une région montagneuse et donc peu favorable au travail macrosismique de par la faible densité de la population. 20 communes ont signalé avoir senti le séisme côté français et 8 en Espagne (données IGN). C'est à 5h20 durant leur fin de nuit que les frontaliers français et espagnols furent réveillés par ce séisme. Le séisme a été senti jusqu'à Fronsac en Haute-Garonne (intensité III). L'Institut Géographique

National d'Espagne a enregistré quant à lui l'intensité IV jusqu'à la latitude de la ville de Seira et l'intensité III pour El Pont de Suerte quelques kilomètres plus au sud. Très peu de dégâts sont signalés en France. Les communes d'Estenos et de Bagnères de Luchon signalent de faibles dommages (fissurations) et celle de Cazaux-Layrisse est affectée de rares dégâts de degré 2. ■

# Séisme du 31 octobre 1997

## Ouest d'Allos (Alpes-de-Haute-Provence)



**HEURE**  
 en temps universel : 04h23mn  
 en temps légal : 05h23mn

**MAGNITUDE**  
 RéNaSS : 4.8 ML  
 LDG : 4.7 ML  
 réseau local : 4.0 ML  
 Sismalp : 4.0 ML

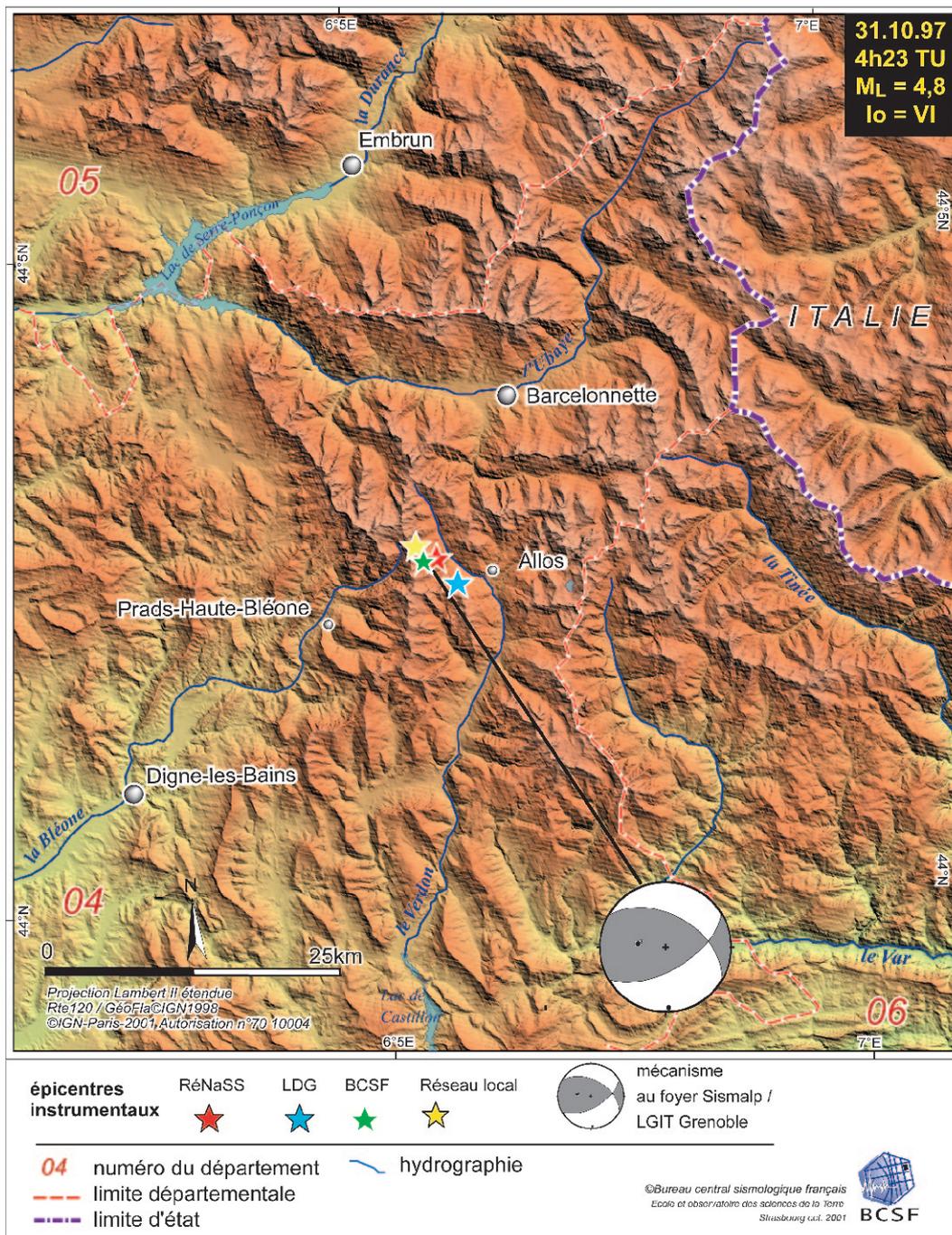
**COORDONNEES**  
 RéNaSS  
 lat. : 44.26° N  
 long. : 6.57° E  
 profondeur : 2 km

LDG  
 lat. : 44.24° N  
 long. : 6.59° E  
 profondeur : 2 km

Réseau local  
 Sismalp  
 lat. : 44.268° N  
 long. : 6.554° E  
 profondeur : 6,2 km

BCSF  
 lat. : 44.26° N  
 long. : 6.56° E  
 profondeur : 5 km

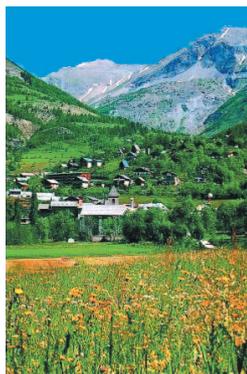
**MECANISME AU FOYER**  
 Source des données : Sismalp / LGIT Grenoble



### Localisation

Le 31 octobre 1997 à 5h23 (heure légale), un séisme de magnitude 4,8 selon le RéNaSS (4,0ML selon Sismalp) a eu lieu entre Digne et Barcelonnette (Alpes-de-Haute-Provence). L'épicentre est situé à moins de 10 kilomètres à l'ouest de la commune d'Allos. Le séisme s'est

produit dans le réseau sismologique de Sismalp dont les données ont été intégrées partiellement dans les localisations RéNaSS et BCSF rapportées ici. La localisation Sismalp figure également sur le fond topographique.



Région d'Allos

## Sismicité régionale

L'Arc alpin est la région de France ayant la plus forte activité sismique historique. Le séisme du 31 octobre s'est produit dans une zone présentant une sismicité instrumentale significative.

Dans la région de 75 km de rayon qui entoure la zone épiscopale, on ne compte pas moins de 9 séismes ayant occasionné des destructions (d'intensités épiscopales MSK VII-VIII; Lambert et coll., 1998) entre 1618 et 1959. Les deux séismes destructeurs les plus proches de l'épicentre (distants d'une quarantaine de kilomètres) se sont produits en 1866 (La Motte-du-Caire, Haute-Provence) et en 1959 (St-Paul-sur-Ubaye, Haute-Ubaye).

Dans un rayon d'environ 20 km autour de l'épicentre du séisme principal du 31 octobre, près de douze chocs de magnitude inférieure à 3,7 se sont succédés entre le 2 octobre et le 6 novembre 1997. Les 8 chocs précédant le séisme le plus fort l'encadrent géographiquement, tandis que les 4 autres sont localisés plus au nord. Cette sismicité du 2 octobre au 6 novembre se distribue principalement selon 2 axes qui se recoupent au niveau du choc principal : un axe NW-SE et un axe N-S.

## Références citées

- Carte Géologique de la France au Millionième, 6<sup>ème</sup> édition, Edition BRGM, Orléans, 1996.
- Carte Géologique de la France au 1/250000, GAP, Edition BRGM, Orléans, 1980.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, Mém. Soc. géol. Fr., n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Madeddu, B., Bethoux, N., Stephan, J.F., Champ de contrainte post-Pliocène et déformation récentes, B. S. G. F., 167 : 6, 797-810, 1996.
- Sue, C. & Tricart, P., Late-Alpine brittle extension above the Frontal Pennine Thrust near Briançon, Western Alps, *Ecol. Geol. Helv.*, 92, 171-181, 1999.

## Contexte sismotectonique

Le séisme d'octobre 1997 s'est produit dans la partie sud de la Chaîne alpine, au niveau de l'Arc de Castellane. D'après les mécanismes au foyer disponibles entourant la région épiscopale (planche 12, Grellet et coll., 1993 ; Madeddu et coll., 1996), la direction de la contrainte compressive maximale (horizontale) est NNE-SSW à NE-SW, le style de déformation est compressif et se traduit par des failles inverses ou des plis d'orientation NW-SE. Néanmoins, il est intéressant de noter que moins de 10 kilomètres plus au nord, l'essentiel des mécanismes sont en failles normales (région E2 de la Figure 2 de Sue et coll., 1999). L'épicentre (Sismalp ou RéNaSS) se trouve à moins de 3 kilomètres à l'ouest d'un chevauchement (faille inverse) d'orientation NW-SE (penté vers le NE) qui sépare les formations de la nappe de Digne (appartenant à la zone externe) de celles de l'Embrunais-Ubaye (appartenant à la zone subbriançonnaise - voir par exemple la Carte Géologique de Gap au 1/250000, 1980) et à environ 5 kilomètres au SSE d'une faille inverse affectant la nappe de Digne. Ces nappes sont constituées de formations sédimentaires secondaires et tertiaires qui ont été décollées de leur socle cristallin et déplacées vers l'ouest lors de

la surrection des Alpes. La nappe de l'Embrunais-Ubaye provient d'une région plus interne des Alpes que celle de Digne qui s'est peu déplacée par rapport à son socle et la chevauche en partie.

Il est frappant de constater que le mécanisme au foyer du 31 octobre 1997 (Sue et coll., 1999) est très voisin de celui d'un séisme survenu en décembre 1989 (Madeddu et coll., 1996) et situé près de 5 kilomètres plus à l'ouest. Ces deux mécanismes montrent un plan nodal presque E-W à pendage S et un plan NW-SE à pendage NE. Cependant le séisme de 1989 étant plus profond (9 km) et situé plus à l'ouest, il n'est pas possible qu'ils se soient produits sur le même plan de faille.

On peut noter que la faille inverse, qui s'arrête à quelques kilomètres à l'W-NW de l'épicentre du choc principal du 31 octobre d'après la carte Géologique de Gap, se prolonge de quelques kilomètres vers le SE sur la carte de Grellet et coll. (1993). D'après le tracé de ces auteurs, cette faille, qui est visible sous la forme d'une balafre sombre sur le fond topographique, passe à environ 5 kilomètres au SW de l'épicentre du séisme. Il est tentant d'associer ce séisme à cette faille, en privilégiant le plan nodal NW-SE du mécanisme au foyer. Un autre indice allant dans ce sens est la présence sur la carte de Grellet et coll. (1993) de failles inverses, situées environ 10 kilomètres plus au NE, présentant des signes d'activité récente. L'épicentre du séisme est à 4-5 kilomètres au NE de la faille, et son foyer est à une profondeur d'environ 5-6 kilomètres. En tenant compte de l'altitude où affleure la faille, vers 2000 m, l'hypothèse que le séisme se soit produit sur cette faille est plausible avec un pendage d'environ 60°, et compatible avec celui du plan nodal NW-SE du mécanisme au foyer (55°). Par ailleurs, du fait de sa profondeur, ce séisme est très vraisemblablement situé dans le socle, sous la nappe de Digne. En effet, le toit du socle hercynien se trouve probablement à une profondeur comprise entre 1000 et 2000 mètres sous la surface de cette nappe (voir par exemple la carte géologique de la France au 1/1000000). Selon l'hypothèse retenue, la faille à l'origine du séisme du 31 octobre 1997 s'enracinerait ainsi dans le socle et traverserait la nappe de Digne.

**Note :** Sismalp, nom du réseau sismologique local (44 stations) surveillant la sismicité d'une grande partie des Alpes (depuis le Lac Léman jusqu'au nord de l'arrière-pays niçois). Ce réseau intégré au RéNaSS est géré par le Laboratoire de géophysique interne et de tectonophysique (L.G.I.T) à Grenoble.

**DONNEES MACROSISMQUES**

Intensité maximale : VI  
 formulaires collectés : 178  
 enquête portant sur 3 départements

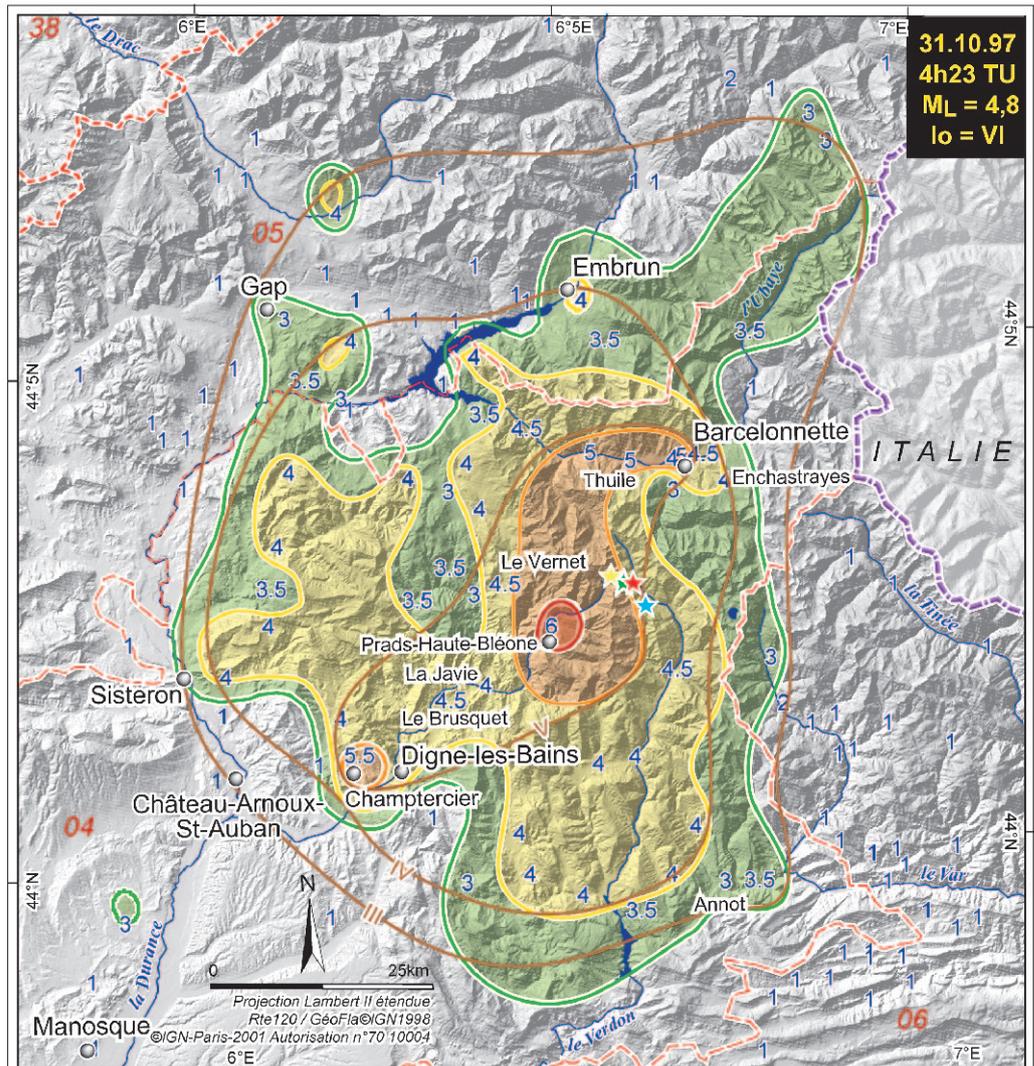
**Calculs sur l'isoséiste d'intensité III**

4017 km<sup>2</sup>  
 89800 habitants  
 102 communes  
 52 réponses à l'enquête

**Dégâts signalés**  
 11 communes

**Enquête macrosismique**

Ce séisme enregistré à 5h23 (heure légale) et localisé à proximité de "La Foux d'Allos", a été principalement ressenti du nord au centre du département des Alpes-de-Haute-Provence, et plus faiblement sur la partie sud-est du département des Hautes-Alpes. L'intensité VI a été atteinte sur la commune de Prads-Haute-Bléone. Les habitants ont été surpris durant leur sommeil, réveillés en sursaut dans la zone épacentrale par le mouvement du sol ou simplement par le grondement dans l'isoséiste III. Plusieurs séismes



épicentres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1		— III —	intensité I	non perceptible
★ LDG	2		— IV —	intensité II	à peine perceptible
★ BCSF	3		— V —	intensité III	faiblement ressentie
★ réseau local	4		— VI —	intensité IV	largement ressentie
	5			intensité V	fortement ressentie
	6			intensité VI	effrayante

06 numéro du département    hydrographie  
--- limite départementale  
--- limite d'état

©Bureau central sismologique français  
 Ecole et observatoire des sciences de la Terre  
 Strasbourg Octobre 2001. C. Sira **BCSF**

avaient auparavant été enregistrés sur la zone, le 2 (2.2ML), le 3 (4ML), et le 8 octobre (2.1ML). Quelques répliques d'intensité inférieure ont été signalées entre 5h30 et 8h30 et les jours suivants l'événement. L'isoséiste V orientée NE - SW s'étend sur une cinquantaine de kilomètres si l'on inclut la zone de Digne. D'après les résultats de l'enquête du BCSF, 44 communes (dont 33 dans le département 04) ont ressenti la secousse.

Situé dans une zone montagneuse et peu habitée, ce séisme a fait peu de dégât. Onze communes ont déclaré des dégâts légers ou modérés (fissurations de plâtres, chutes de débris, glissement de tuiles) : Annot, Champtercier, Enchastrayes, La Javie, Le Brusquet, Le Vernet, Les Thuiles, Méolans-Revel, Prads-Haute-Bléone, St.-Vincent-Les-Forts, Selonnet. Des fissures de terrains ont été notées à Champtercier et des fissures sur routes ou chemins à Prads-Haute-Bléone. ■

# Séismes des 4 et 6 décembre 1997

## Lacq (Pyrénées-Atlantiques)



4/12/1997

**HEURE**

en temps universel :

22h51 mn

en temps légal :

23h51 mn

**MAGNITUDE**

RéNaSS : 3,9 ML

LDG : 4,1 ML

Réseau local Elf :

3,8 ML

**COORDONNEES**

RéNaSS

lat. : 43,44° N

long. : 0,63° W

profondeur : 2 km

LDG

lat. : 43,38° N

long. : 0,68° W

profondeur : 2 km

Réseau local Elf

lat. : 43,397° N

long. : 0,628° W

profondeur : 5 km

BCSF

lat. : 43,43° N

long. : 0,64° W

profondeur : 6 km

6/12/1997

**HEURE**

en temps universel :

20h33mn

en temps légal :

21h33mn

**MAGNITUDE**

RéNaSS : 3,4 ML

LDG : 3,4 ML

Réseau local Elf :

3,5 ML

**COORDONNEES**

RéNaSS

lat. : 43,47° N

long. : 0,63° W

profondeur : 8 km

LDG

lat. : 43,38° N

long. : 0,7° W

profondeur : 10 km

Réseau local Elf

lat. : 43,410° N

long. : 0,657° W

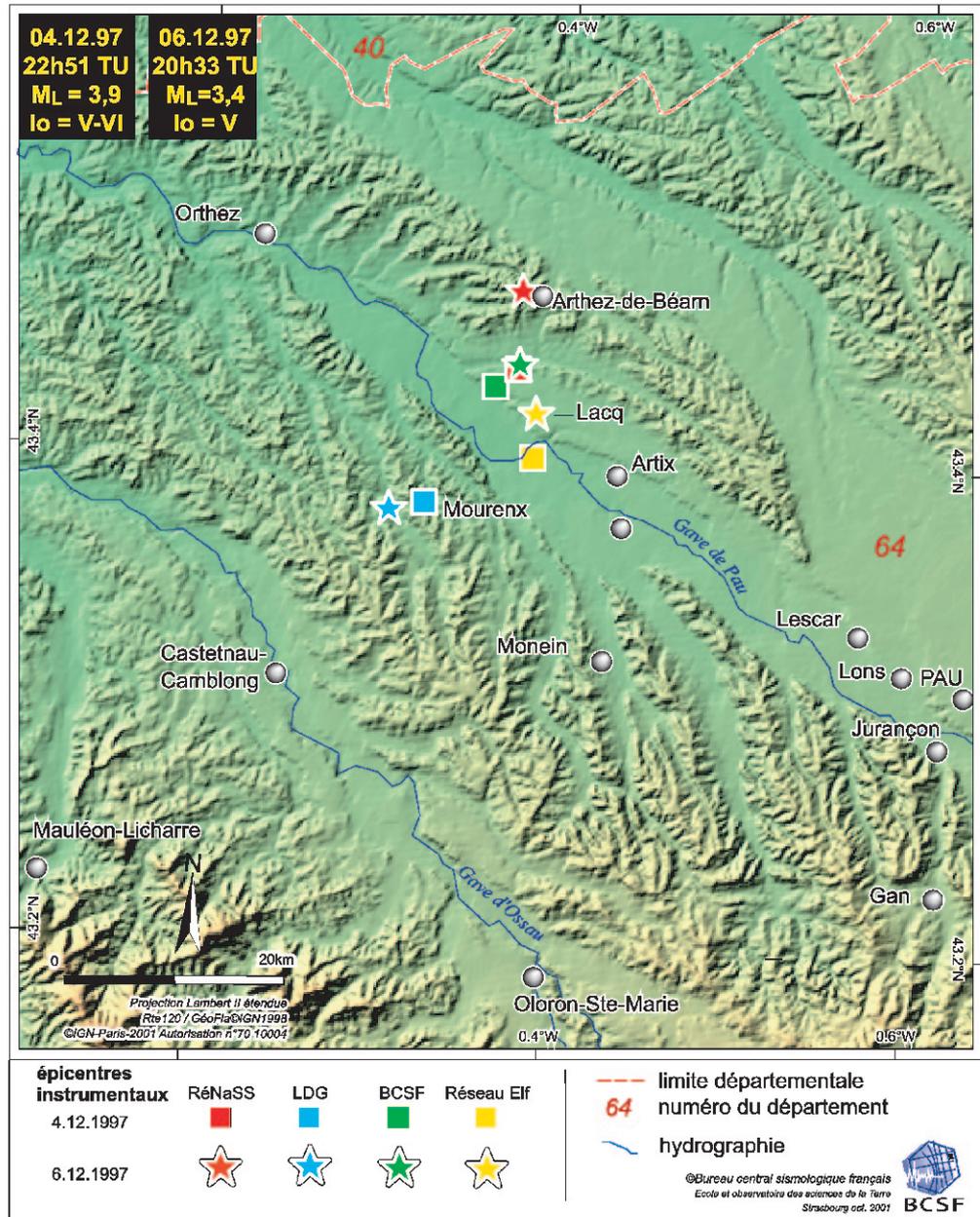
profondeur : 2 km

BCSF

lat. : 43,44° N

long. : 0,63° W

profondeur : 5 km



### Localisation

Le 4 et le 6 décembre 1997 deux séismes de magnitude locale respectivement 3,9 et 3,4 (selon le RéNaSS) se sont produits à moins de 10 km de Lacq. Les épïcêtres de ces séismes sont situés dans le réseau sismologique de la société Elf Aquitaine à Lacq (8 stations installées progressivement à partir de 1974 par l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg couvrant une zone de près de 15 km de côté). Ce réseau était dédié au suivi de l'activité sismique induite par l'extraction

de gaz naturel du gisement de Lacq (Wittlinger, 1980). Sa maintenance a été interrompue fin 1997. Les localisations des séismes de décembre 1997 effectuées par le RéNaSS et le BCSF intègrent les stations du réseau sismologique de Lacq et sont donc plus fiables que celle du LDG qui ne prend pas en compte ces données locales. Les solutions du réseau sismologique de Lacq qui entourent les événements et ignorent les stations distantes sont les plus fiables.



Région de lacq

## Sismicité régionale

La région des Pyrénées est la deuxième zone la plus active en France après l'Arc alpin. Le site de Lacq se trouve à moins de 75 km au N-NE de la partie des Pyrénées qui a été la plus touchée par des séismes destructeurs d'intensité épicertrale supérieure ou égale à VII-VIII (voir Lambert J. et coll., 1998), en 1660 (Bagnères, Bigorre,  $Io=VIII-IX$ ), en 1750 (Lourdes-Juncalas, Bigorre,  $Io=VIII$ ), en 1854 (Argelès-Gazost, Bigorre,  $Io=VII-VIII$ ), en 1967 (Arette, Béarn,  $Io=VIII$ ) et en 1980 (Arudy, Béarn,  $Io=VII-VIII$ ). Il est à noter que l'activité sismique associée au site de Lacq semble détachée de la bande d'activité de la Chaîne pyrénéenne (voir par exemple Souriau et Pauchet, 1998 ; Gagnepain-Beynax et coll., 1996). L'activité sismique ne s'y manifeste que depuis 1969, près de 13 ans après le début de l'exploitation du gisement de gaz de Lacq (Wittlinger, 1980). Cette activité est comprise principalement entre 4 et 8 km de profondeur (Wittlinger, 1980 ; Segall et coll., 1994). Depuis 1969, en moyenne un séisme de magnitude supérieure à 3 est ressenti chaque année dans la région de Lacq (Grasso et Wittlinger, 1990). Les séismes des 4 et 6 décembre 1997 s'inscrivent donc dans cette sismicité locale.

## Contexte sismotectonique

Le site de Lacq est situé sur la bordure NW de la Chaîne pyrénéenne à 25 km au nord de la Faille nord pyrénéenne qui présente une activité sismique bien identifiée. Le gisement de Lacq est bordé au SW par le Chevauchement frontal nord-pyrénéen (voir par exemple la carte géologique de la France au 1/1000000), qui semble asismique compte tenu des connaissances actuelles.

Les gisements d'hydrocarbures de Lacq se trouvent dans la couverture secondaire-tertiaire qui atteint près de 8 km d'épaisseur (voir par exemple la figure 1 de Lahaie et Grasso, 1999). Cette couverture est plissée et les hydrocarbures sont piégés dans une structure en dôme. Deux niveaux de production se distinguent. Le premier est un gisement de pétrole dont le toit se trouve vers 500 m de profondeur, le second produisant du gaz naturel se trouve à plus de 3000 m de profondeur (Wittlinger, 1980 ; Grasso et Wittlinger, 1990). Il est à noter que la pression de gaz du gisement a enregistré, depuis sa mise en production, une chute d'environ 500 bars. Cette baisse de pression est très probablement à l'origine de la sismicité observée dans la région de Lacq (voir par exemple : Wittlinger, 1980 ; Segall et coll., 1994).

Une dizaine de kilomètres au SW du site de Lacq, des failles d'orientation NW-SE (presque

parallèles à la direction locale du chevauchement frontal nord pyrénéen) avec un mouvement possible décrochant inverse montrent toutefois des signes d'activité Quaternaire ancien (Grellet et coll., 1993).

La direction de la contrainte tectonique maximale horizontale est problématique dans la région de Lacq. D'après la carte de la trajectoire de la contrainte tectonique maximale (la plus compressive) horizontale établie à l'échelle de la France à partir de mécanismes au foyer régionaux (planche 15, Grellet et coll., 1993), celle-ci serait NW-SE. Cependant, toujours au niveau de Lacq, le même type de carte obtenue à partir de mesures de contraintes in situ (planche 14, Grellet et coll., 1993) donne une direction NE-SW. Sur le site de Lacq, si l'on excepte les mécanismes composites de Wittlinger (1980) et de Feignier & Grasso (1990), seul le mécanisme du séisme du 5/02/1980 ( $ML=4,4$ ) est disponible (événement n° 35 de l'article de Nicolas et coll., 1990, reporté sur la carte : Sismicité de la France 1962-1993, CEA-LDG, 1995). Celui-ci est compatible avec une direction de la contrainte compressive maximale horizontale N-S à NW-SE qui peut se déduire de la déformation récente (failles inverses et plissements).

## Références citées

- Carte Géologique de la France au Millionième, 6<sup>ème</sup> édition, Edition BRGM, Orléans, 1996.
- Feignier, B. & Grasso, J.R., Seismicity induced by gas production: I. Correlation of focal mechanisms and dome structure, PAGEOPH, 134, 405-426, 1990.
- Gagnepain-Beynax, J., Massinon, B., Olivera, C. et Martinez-Solarès, J.M., Sismicité de la chaîne des Pyrénées et ses avant-pays, In: Synthèse Géologique des Pyrénées Vol1: Introduction Géophysique, Cycle Hercynien ed. Barriolas, A. & Chinon, J. C., Edition BRGM-ITGE, 1996. (parution 2000).
- Grasso, J.R. & Wittlinger, G., Ten years of seismic monitoring over a gas field, Bull. Seismol. Soc. Am., 80, 450-473, 1990.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, Mém. Soc. géol. Fr., n°164, 1993.
- Lahaie, F. & Grasso, J. R., Loading rate impact on fracturing pattern: Lessons from hydrocarbon recovery, Lacq gas field, France. J Geophys. Res., 104, 17941-17954, 1999.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Nicolas, M., Santoire, J.P. & Delpéch, P.Y., Intraplate seismicity: new sismotectonic data in Western Europe, Tectonophysics, 179, 27-53, 1990.
- Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, Mém. Soc. géol. Fr., n°164, 1993.
- Segall, P., Grasso, J. R. & Mossop, Poroelastic stressing and induced seismicity near the Lacq gas field, southwestern France, J Geophys. Res., 99, 15423-15438, 1994.
- Sismicité de la France 1962-1993 (carte), CEA-Laboratoire de Détection et de Géophysique, Bruyères-le-Chatel, 1995.
- Souriau, A. & Pauchet, H., A new synthesis of the Pyrenean seismicity and its tectonic implications. Tectonophysics, 290, 221-244, 1998.
- Wittlinger, G., Etude de la sismicité en champ proche par un réseau sismologique à faible ouverture : application au Frioul (Italie) et au gisement de Lacq (France), Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Louis Pasteur, Strasbourg, 261 pp., 1980.

**DONNEES  
MACROSISMIOQUES**

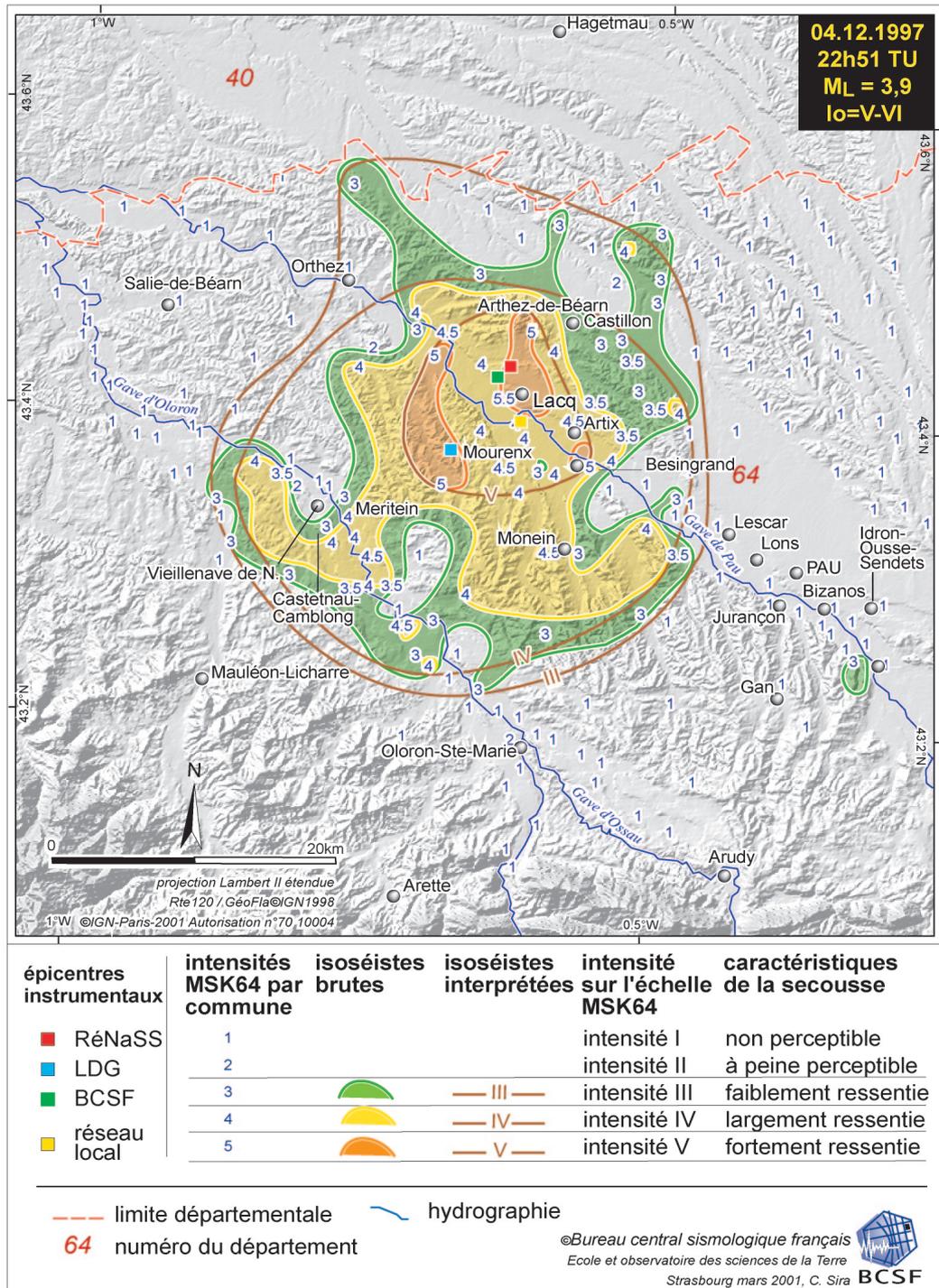
Intensité  
maximale : V-VI  
formulaire  
collectés : 216

**Calculs sur  
l'isoséiste  
d'intensité III**

681 km<sup>2</sup>  
41600 habitants  
76 communes  
64 réponses  
à l'enquête

**Dégâts signalés**

4 communes

**Enquête macrosismique**

Il était 23h51 (heure légale) le jeudi 4 décembre lorsque le séisme a surpris dans leur repos les habitants de 68 communes réparties sur un rayon de 15 à 20 kilomètres autour de l'épicentre instrumental.

A la suite de l'enquête lancée par le BCSF avec l'aide du SIDPC du département des Pyrénées Atlantiques, 45 communes ont signalé un grondement sourd de 5 à 6 secondes, ou bruit d'explosion identique à un coup de canon pour les témoins proches de l'épicentre.

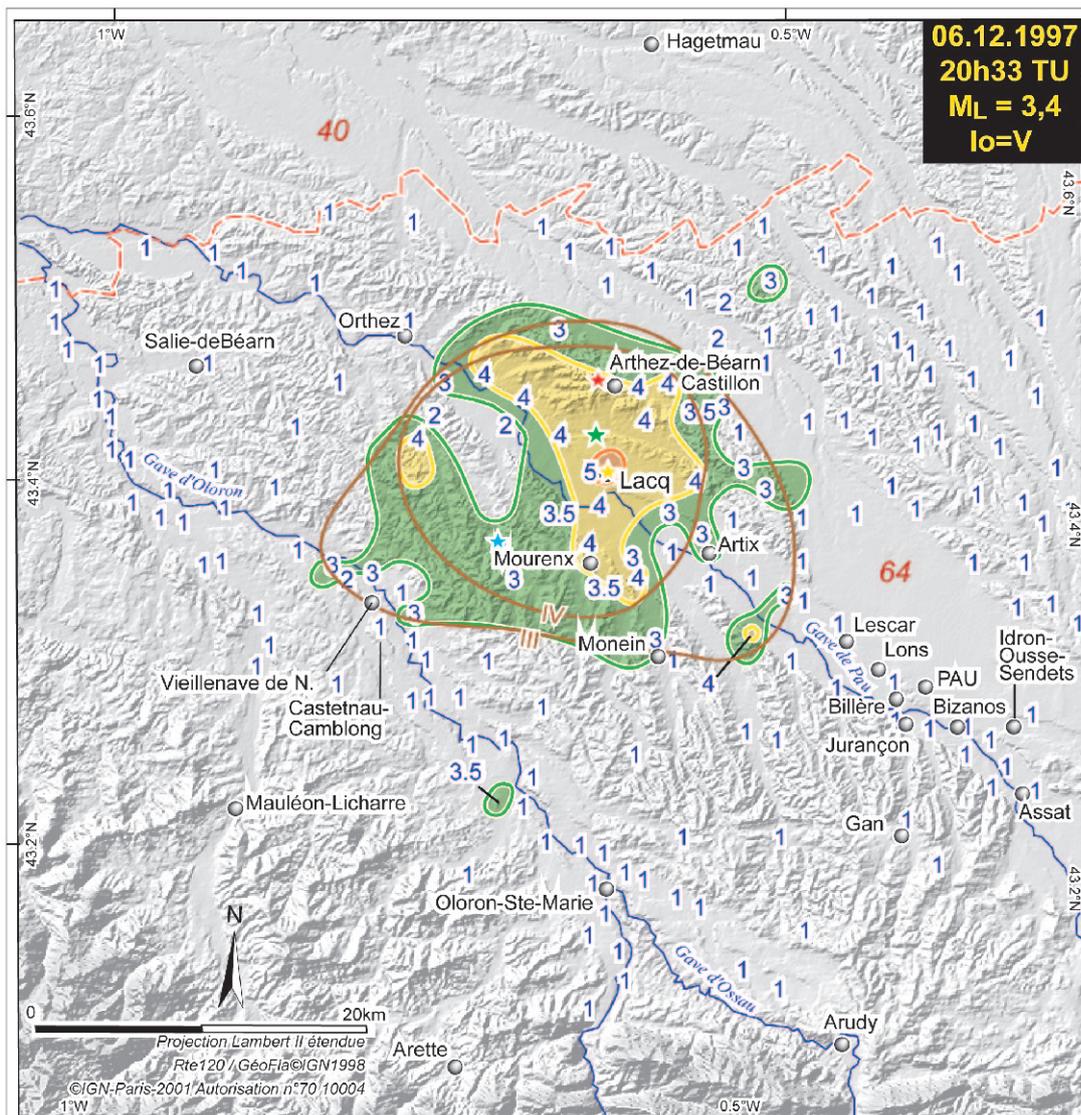
Ce séisme a fait vibrer les objets, provoqué des craquements de poutres, des balancements de tableaux, voire de rares déplacements de mobilier ; mais il a finalement causé plus de frayeurs (19 communes) que de dégâts (4 communes : Artix, Besingrand, Lacq, Meritein). Castillon et Vieillenave-de-Navarrenx déclarent aussi des dégâts, leur questionnaire comporte toutefois d'importantes incohérences. Les communes relèvent généralement des dégâts modérés avec des fissurations de murs, des chutes de petits à gros débris de plâtres.

**DONNEES MACROSISMQUES**

Intensité maximale : V  
formulaire collectés : 217

**Calculs sur l'Isoséiste d'intensité III**  
341 km<sup>2</sup>  
29700 habitants  
36 communes  
35 réponses à l'enquête

**Dégâts signalés**  
1 commune



épicentres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1			intensité I	non perceptible
★ LDG	2			intensité II	à peine perceptible
★ Réseau Elf	3		— III —	intensité III	faiblement ressentie
★ BCSF	4		— IV —	intensité IV	largement ressentie
	5			intensité V	fortement ressentie

limite départementale  
**64** numéro du département  
 hydrographie

Bureau central sismologique français  
 Ecole et observatoire des sciences de la Terre  
 Strasbourg - Oct. 2000 : C. Sira

**Enquête macrosismique**

Deux jours après le séisme du 4 décembre, celui du 6 décembre 1997 a causé moins de trouble dans la population locale. 38 communes ont signalé avoir senti le séisme et deux seulement ont déclaré des dégâts légers. Lacq a subi, comme pour le 4 décembre, des dommages plus importants que les autres communes en particulier sur les murs (fissurations). La commune signale la chute de couronnes de cheminées et

d'éléments de toiture. Castillon (Canton-d'Arthez-de-Béarn) signale également des dégâts de 1<sup>er</sup> degré, néanmoins son questionnaire comporte des incohérences importantes. Les habitants de 8 communes déclarent avoir été effrayés par le choc. La répartition des effets semble assez semblable dans les deux cas. ■

# Séisme du 28 novembre 1998

## Ouest d'Argelès-Gazost (Hautes-Pyrénées)



**HEURE**  
en temps  
universel :  
13h32mn  
en temps légal :  
14h32mn

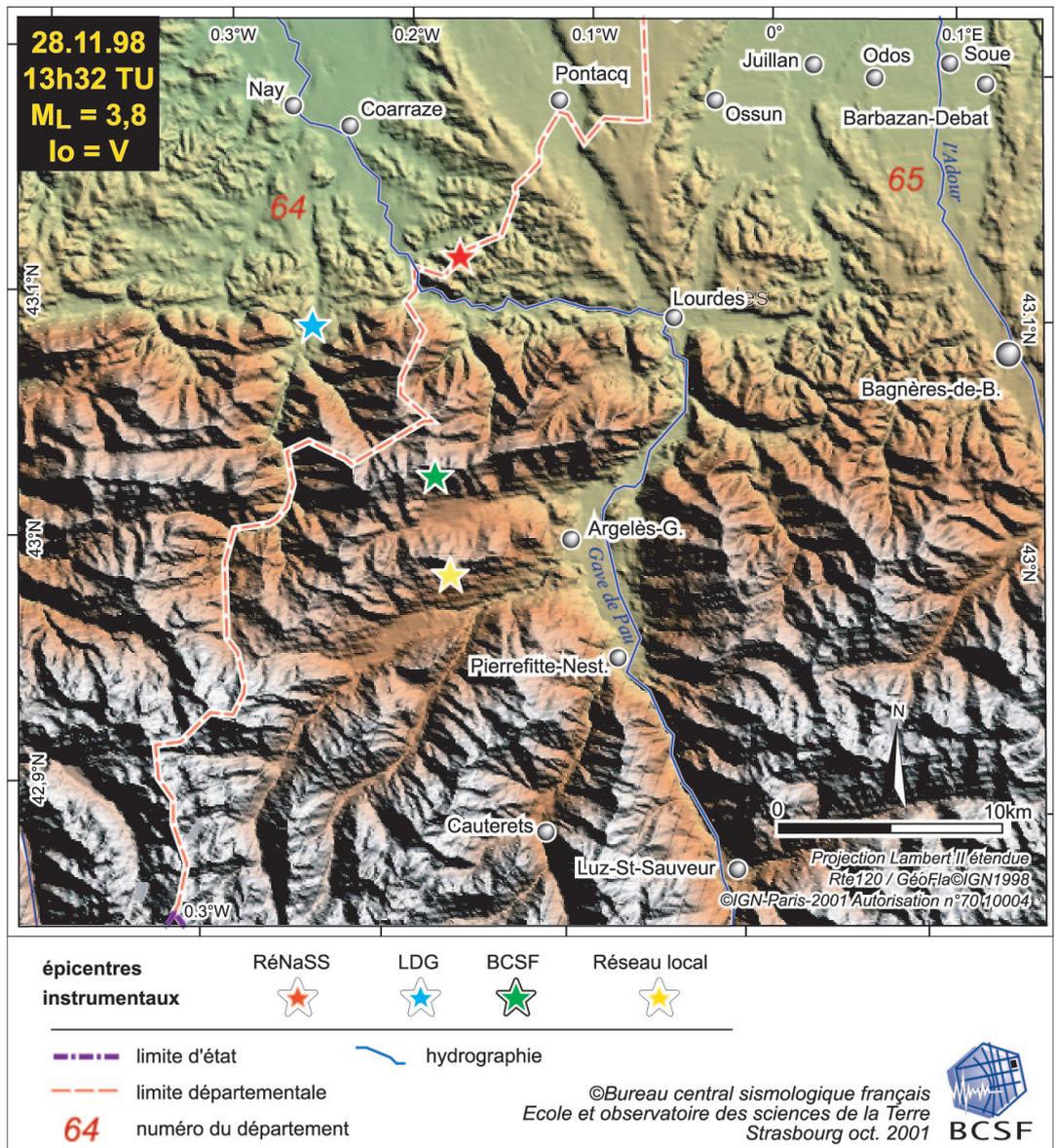
**MAGNITUDE**  
RéNaSS : 3,8 ML  
LDG : 3,8 ML  
réseau local :  
3,7 ML

**COORDONNEES**  
RéNaSS  
lat. : 43,12° N  
long. : 0,17° W  
profondeur :  
10 km

LDG  
lat. : 43,09° N  
long. : 0,25° W  
profondeur :  
15 km

réseau local  
lat. : 42,989° N  
long. : 0,173° W  
profondeur :  
2 km

BCSF  
lat. : 43,03° N  
long. : 0,18° W  
profondeur :  
5 km



### Localisation

Le 28 novembre 1998 à 14h32 (heure légale), un séisme de magnitude ML=3,8 (RéNaSS) a eu lieu dans les Pyrénées centrales. La localisation BCSF est proche (~4 km au nord) de celle obtenue par le réseau sismologique de l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP). La localisation du RéNaSS est à environ 14 km au nord de celle de l'OMP. L'épicentre publié par le LDG se trouve à environ

13 km au NNW de la solution de l'OMP. La détermination de l'OMP est la plus fiable, celle-ci étant localisée dans le réseau sismologique local qui combine à la fois des stations françaises (OMP et CEA) et des stations espagnoles (IGN et SGC). L'épicentre est situé à une quinzaine de kilomètres au SW de Lourdes et à environ 5 km à l'WSW d'Argelès-Gazost.

## Sismicité régionale

Après les Alpes, la chaîne des Pyrénées est en France la région qui présente l'activité sismique historique la plus forte. Le choc du 28 novembre 1998 se trouve à l'ouest de la faille de l'Adour, où la sismicité se concentre principalement selon une guirlande assez étroite le long de la faille nord-pyrénéenne (FNP) (voir par ex. Souriau et coll., 2001). Ce choc s'est produit dans une région qui a régulièrement subi des dégâts importants d'origine sismique. Dans un rayon de 75 km autour de la zone épiscopale du choc du 28 novembre 1998, on compte 6 séismes historiques destructeurs : celui de Bagnères en 1660 (Bigorre, intensité MSK= VIII-IX), celui de Juncalas en 1750 (Bigorre, intensité MSK=VIII), celui d'Argelès-Gazost en 1854 (Bigorre, intensité MSK=VII-VIII), celui de Berdun en 1923 (Espagne, Navarre, intensité MSK=VII-VIII), celui d'Arette en 1967 (Béarn, intensité MSK= VIII) et celui d'Arudy en 1980 (Ossau, intensité MSK= VII-VIII) (Lambert et coll., 1998). Le choc du 28/11/1998 se trouve respectivement à moins de 15 et 25 km des épicentres macrosismiques des séismes de Juncalas (1750) et d'Argelès-Gazost (1854).

## Contexte sismotectonique

La formation des Pyrénées a débuté vers -70 Ma, lors de la collision entre les plaques Ibérie et Eurasie. Parmi les failles majeures de la chaîne des Pyrénées, figure la Faille nord-pyrénéenne (FNP) qui borde au nord la zone axiale des Pyrénées, le Chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP) et le Chevauchement sud-pyrénéen (CSP) qui limitent au nord et au sud la chaîne des Pyrénées (voir par ex. Choukroune, 1992, pour plus de détails, consulter la fiche du séisme du 2/07/1997 de ce volume).

Le choc du 28 novembre 1998 se trouve à moins de 5 km au sud de la FNP, dans la zone axiale et à environ 7 km au SW de la terminaison d'une faille

décrochante d'orientation NW-SE montrant des indices d'activité récente (voir la carte de Grellet et coll., 1993). Cette dernière faille est parallèle à la faille de l'Adour qui est située une vingtaine de kilomètres plus à l'ouest et montre aussi des indices de déformation récente. Les mécanismes au foyer disponibles dans cette région (voir par ex Grellet et coll., 1993 ; Souriau et coll., 2001), sont principalement inverses ou décrochants et compatibles, comme les signes de déformation récente (failles décrochantes, inverses, plissement) situés au nord du FNP (voir la carte de Grellet et coll., 1993), avec une contrainte tectonique compressive d'orientation N-S à NW-SE.

## Références citées

- Choukroune, P., Tectonic evolution of the Pyrenees, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 20, 143-158, 1992.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th., et Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, *Mém. Soc. géol. Fr.*, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Mattauer, M., Une autre interprétation du profil ECORS Pyrénées, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 6, 307-311, 1990.
- Souriau, A., Sylvander, M., Rigo, A., Fels, J.F., Douchain, J.M. & Ponsolles, C., Sismotectonique des Pyrénées: principales contraintes sismologiques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 172, 25-39, 2001.



Région du Lavedan

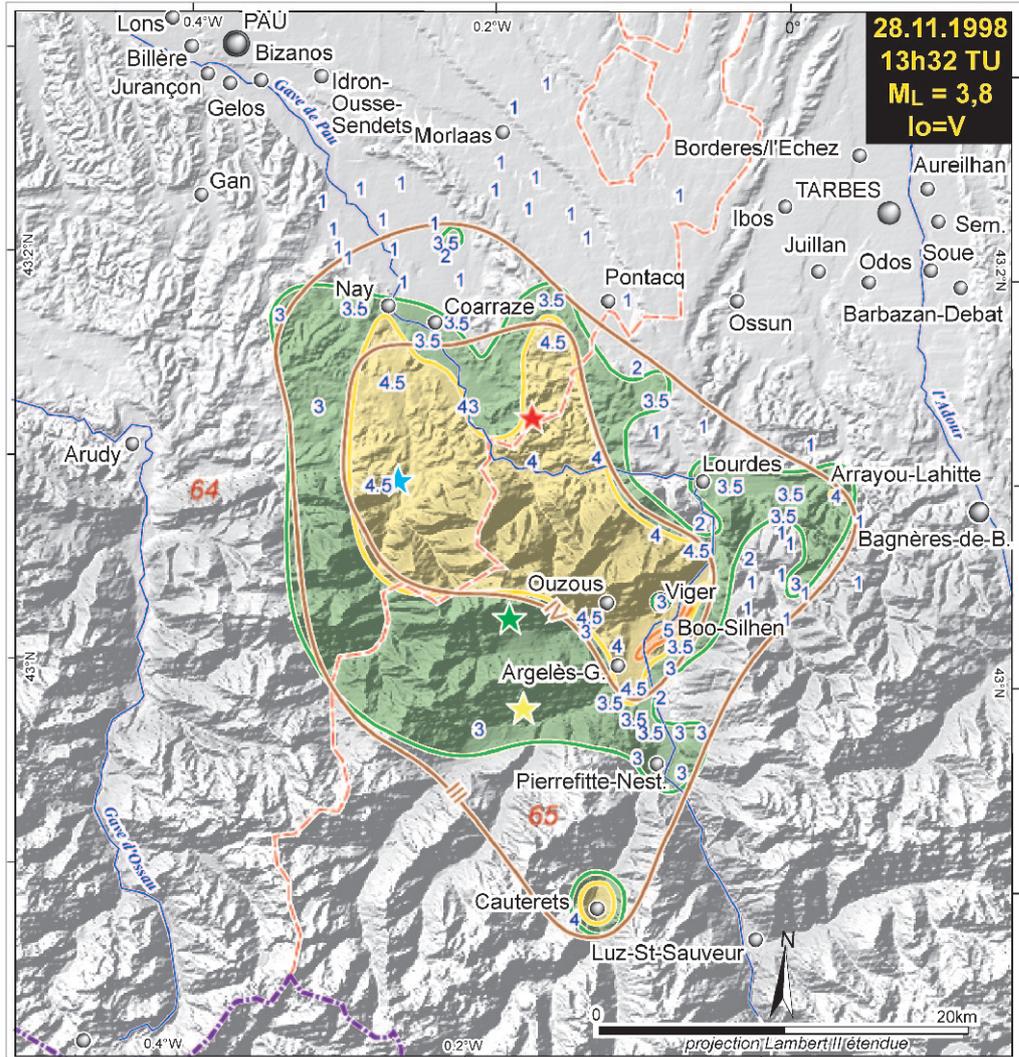
**DONNEES MACROSISMQUES**

Intensité maximale : V  
 formulaires collectés : 85  
 enquête portant sur 2 départements

**Calculs sur l'isoséiste d'intensité III**  
 528 km<sup>2</sup>

44400 habitants  
 62 communes  
 39 réponses à l'enquête

**Dégâts signalés**  
 3 communes



épicentres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1		— III —	intensité I	non perceptible
★ LDG	2		— IV —	intensité II	à peine perceptible
★ Réseau local	3		— V —	intensité III	faiblement ressentie
★ BCSF	4			intensité IV	largement ressentie
	5			intensité V	fortement ressentie

limite d'état  
 limite départementale  
 hydrographie  
**64** numéro du département

Rte 120 / GéoFla©IGN1998  
 ©IGN-Paris-2001 Autorisation n°70 10004  
 Bureau central sismologique français  
 Ecole et observatoire des sciences de la terre  
 Strasbourg oct. 2000, C. Sira

**Enquête macrosismique**

L'enquête lancée par le BCSF avec l'aide des SIDPC des préfectures des Hautes-Pyrénées et des Pyrénées-Atlantiques indique que 46 communes ont ressenti le séisme du 28 novembre 1998 à 14h32 heure légale. Dans le département des Hautes-Pyrénées, on a noté l'intensité V sur la seule commune de Boo-Silhen, l'intensité dans la zone épicentrale étant plutôt de l'ordre de IV-V. De légers dégâts (1<sup>er</sup> degré) ont été signalés sur 3 communes : Arrayou-Lahitte, Viger et

Lagos. La commune d'Ouzous signale également des dégâts mais le formulaire comporte quelques incohérences et n'a pu être intégré dans les calculs d'intensité. Deux minutes plus tard une seconde secousse (lat. : 43.10°N, et long. 0,19°W) de magnitude inférieure (2.6ML RéNaSS) a été perçue à Argelès-Gazost, Artigues, Barlest, Gazost, Lourdes, St-Pe-de-Bigorre, St-Savin et Viger. ■

# Séisme du 11 janvier 1999

## Laffrey (Isère)



**HEURE**  
 en temps universel :  
 03h37mn  
 en temps légal :  
 04h37mn

**MAGNITUDE**  
 RéNaSS : 4,1 ML  
 LDG : 4,2 ML  
 Sismalp : 3,5 ML

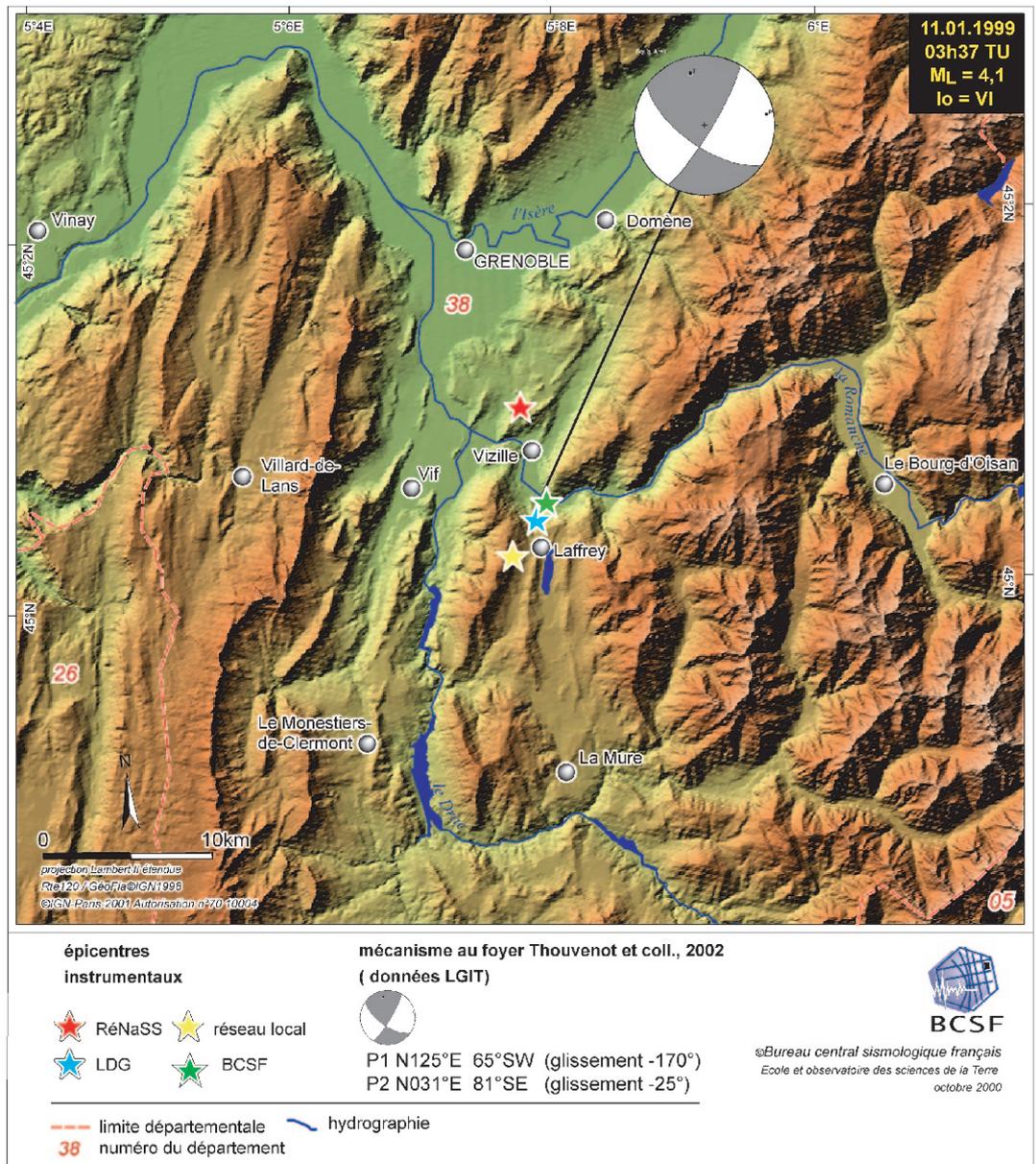
**COORDONNEES**  
 RéNaSS  
 lat. : 45,10° N  
 long. : 5,76° E  
 profondeur : 2 km

LDG  
 lat. : 45,04° N  
 long. : 5,77° E  
 profondeur : 2 km

Réseau local  
 Sismalp  
 lat. : 45,025° N  
 long. : 5,747° E  
 profondeur : 2,5 km

BCSF  
 lat. : 45,05° N  
 long. : 5,78° E  
 profondeur :  
 5 km

**MECANISME  
 AU FOYER**  
 sources :  
 Laboratoire  
 de Géophysique  
 interne et de tectono-  
 physique  
 (d'après  
 F. Thouvenot  
 et coll., 2002)



### Localisation

Dans la nuit du 11 janvier 1999, à 4h37 (heure légale, 3h37 temps universel), un séisme de magnitude 4,1 (RéNaSS) s'est produit dans la région de Laffrey (Isère), 18 kilomètres au sud de Grenoble. Cette secousse, bien ressentie par la population, est l'une des plus importantes ayant affecté la bordure occidentale du massif de Belledonne depuis plusieurs décennies. Elle a été enregistrée par l'ensemble des stations sismologiques françaises. Les épïcêtres de ce choc

déterminés par le réseau Sismalp (Thouvenot et coll., 2002), le LDG et le BCSF sont groupées, les localisations LDG et BCSF sont respectivement à ~1,5 kilomètres et 2,5 kilomètres au NNE de la solution Sismalp. La détermination RéNaSS se trouve à 8 kilomètres au nord de celle du réseau local. Le foyer déterminé à l'aide de Sismalp se trouve à environ 2 km au SW de Laffrey, sur la commune de Saint-Jean-de-Vaulx.

## Sismicité régionale

L'Arc alpin est la région de France qui connaît l'activité sismique historique la plus forte, cependant cette activité reste modérée par rapport à celles d'autres régions actives du pourtour méditerranéen. On ne compte généralement que quelques événements de magnitude supérieure à 3 par an (voir par ex. Thouvenot et coll., 1998 ; Sue et coll., 1999).

Dans un rayon de 100 kilomètres autour du séisme du 11/01/1999, on compte 5 séismes d'intensité épicentrale ( $I_0$ ) MSK supérieure à VII ayant occasionné des destructions : le séisme de Bugey-Chautagne en 1822 (Bresse,  $I_0 =$  VII-VIII), celui de Saint-Clément en 1935 (Embrunais :  $I_0 =$  VII-VIII), celui de Saint Paul en 1959 (Haute-Ubaye :  $I_0 =$  VII-VIII), celui de Corençon en 1962 (Vercors :  $I_0 =$  VII-VIII,  $M_L=5,3$ ) et celui d'Epagny-Annecy en 1996 (Haute Savoie,  $I_0 =$  VII-VIII,  $M_L=5,3$ ), (Lambert et coll. 1998). On peut noter que le séisme du 11/01/1999 n'est distant que d'une quinzaine de kilomètres (vers le NE) du séisme de Corençon et qu'il s'est produit pratiquement au même endroit que le séisme du 23 septembre 1997 ( $M_L=2,1$ ) bien ressenti à Vizille et Vif.

Jusqu'au 11 mars 1999, une quarantaine de répliques de magnitude inférieure à 3,0 ont été détectées à la suite de ce séisme ( $M_L=4,1$ ).

## Contexte sismotectonique

Les Alpes occidentales résultent de la collision Europe-Afrique qui a conduit au poinçonnement de l'Europe par le promontoire Adriatique (Adria) à l'Éocène (55-35 Ma) (voir par ex. Tapponnier et coll., 1977 ; Le Moine et coll., 2000). La collision se poursuit et elle se traduit par de l'épaississement et du raccourcissement en particulier au niveau des chaînes subalpines et du Jura (voir par ex., Thouvenot et coll., 1998). Ce raccourcissement est accommodé par des chevauchements plio-quadernaires et des failles décrochantes obliques (Thouvenot et coll., 1998).

Le séisme du 11 janvier 1999 ( $M_L=4,1$ ) se trouve à l'extrémité SW du massif de Belledonne. Il s'est produit à environ 2 km de profondeur (soit à près de 3 km sous la surface), ce qui le place dans le socle cristallin car à l'emplacement de ce séisme les séries de la base de la couverture sédimentaire secondaire qui appartiennent aux formations du Trias et du Lias (consulter par exemple la carte géologique au 1/250000 de Valence) affleurent et l'épaisseur de cette couverture ne doit pas excéder localement la centaine de mètres.

Le foyer du séisme du 11 janvier 1999 ( $M_L=4,1$ ) tombe sur la zone de faille de Belledonne (faille décrochante dextre d'orientation  $\sim N35^\circ E$  qui longe la bordure occidentale du massif du même nom) vers sa terminaison SW dans une zone de relais allongée (probablement relativement extensif d'après sa géométrie rhomboïdale et la disposition qui semble en pas à droite des deux segments qui se relaient) voir par exemple la carte sismotectonique de Grellet et coll. (1993). L'épicentre est localisé à moins de 2 km à l'W de la trace superficielle du segment de faille orientale du relais orienté  $\sim N35^\circ E$  et en extrémité E d'une des failles E-W situées dans ce relais.

Le mécanisme au foyer établi d'après l'analyse des enregistrements sismiques (Thouvenot et coll., 2002) est principalement décrochant avec un mouvement essentiellement horizontal dextre selon un plan subvertical orienté  $N31^\circ E$  ou principalement senestre selon un plan orienté  $N125^\circ E$  et un peu moins penté. Ce mécanisme est assez comparable à d'autres situés d'une part à une vingtaine de kilomètres plus au NE sur la bordure occidentale du massif de Belledonne (Sue et coll., 1998) et d'autre part sur la bordure occidentale du Vercors (Nicolas et coll., 1990). D'après l'orientation des plans nodaux du mécanisme au foyer, un segment de la faille de Belledonne a probablement été réactivé.

Selon les mécanismes au foyer disponibles à l'ouest de la faille de Belledonne, la contrainte horizontale la plus compressive dans cette zone est orientée ENE-SWS (Sue et coll., 1998).

Les indices de déformation récente qui ont été décelés sur la faille de Belledonne sont situés d'après la carte de Grellet et coll. (1993) à une cinquantaine de kilomètres plus au NE. Toujours d'après la carte de Grellet et Coll. (1993), les autres indices d'activité les plus proches concernent des failles inverses dans le massif du Vercors ou sur sa bordure occidentale ainsi que sur des failles NE-SW situées une trentaine de kilomètres à l'est.

## Effets de site

A la suite du séisme du 11/01/1999 des effets de site intéressants ont pu être observés à l'aide des stations accélérométriques du RAP (réseau accélérométrique permanent). Ces stations enregistrent l'accélération du sol. Le remplissage du bassin grenoblois (pouvant dépasser plusieurs centaines de mètres d'épaisseur) constitué de sédiments quaternaires (cailloutis, sables, marnes lacustres...) de faible rigidité élastique par rapport à l'encaissant rocheux (par ex. granite ou calcaire)

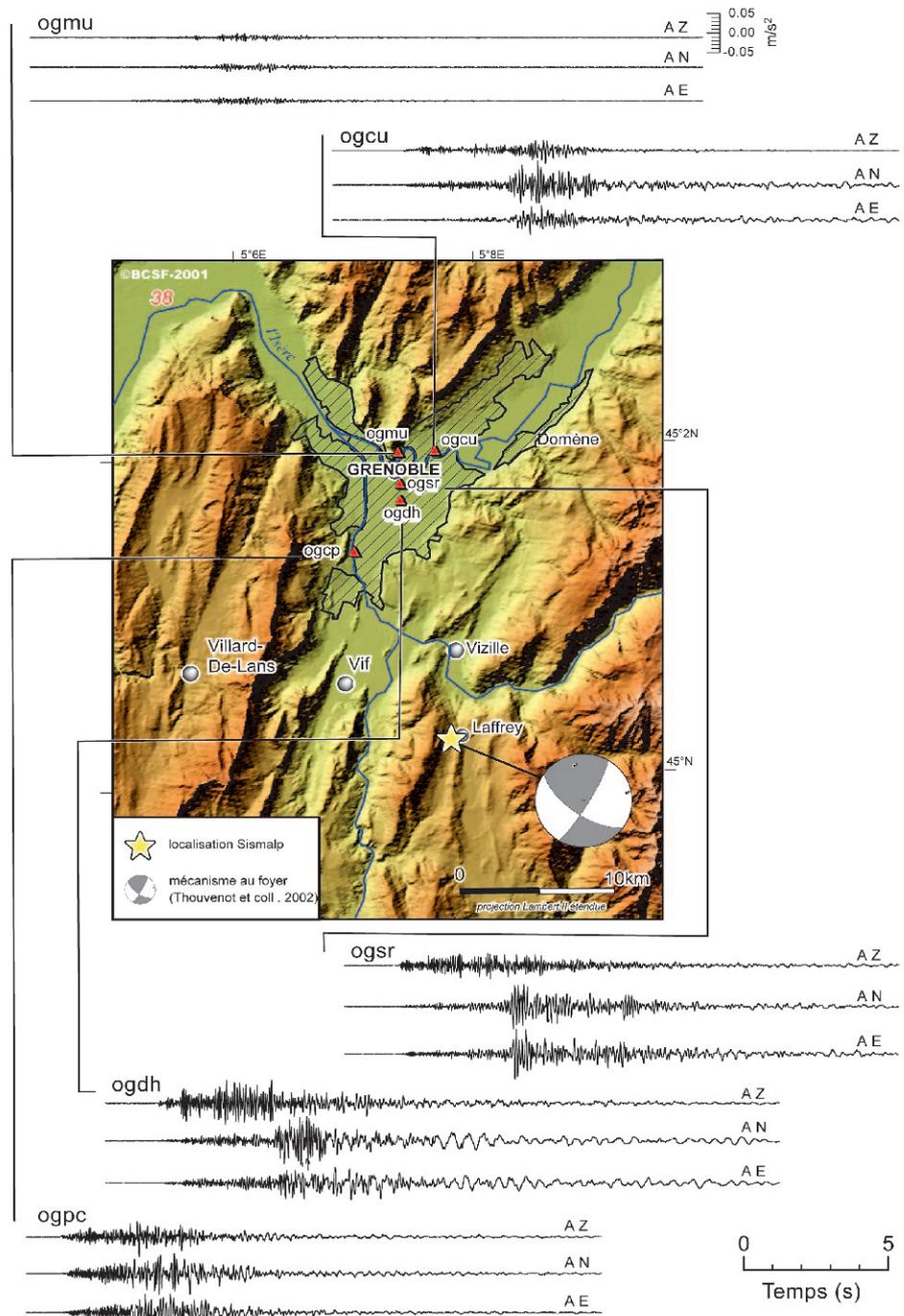
et sa géométrie en "V" piègent dans le bassin les ondes sismiques et amplifient les accélérations du sol (Cotton et coll., 1999). Ceci se traduit dans ce bassin par rapport à d'autres sites sur le rocher par une amplification d'un facteur 10 à 20 dans une gamme de fréquences comprises entre 0,3 Hz et 5 Hz et

un allongement d'une vingtaine de secondes du signal sismique, phénomènes auxquels sont sensibles les immeubles (Cotton et coll., 1999, voir aussi : Le Brun et coll., 2001).

### Séisme du 11 janvier 1999 (ML=4,1) Accélération du sol (verticale, N-S et E-W) - données RAP

#### Références citées

- Carte Géologique de la France au 1/250000, Valence, BRGM, Orléans, 1980.
- Cotton, F., Bard, P. Y., Berge, C. & Hatzfeld, D., Qu'est-ce qui fait vibrer Grenoble ? La Recherche, 320, 39-41, 1999.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, Mém. Soc. géol. Fr, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Le Brun, B., Hatzfeld, D. & Bard, P.-Y., Site effect study in urban area: experimental results in Grenoble (France), Pure appl. geophys., 158, 2543-2557, 2001.
- Lemoine, M., de Graciansky, P.C. & Tricard, P., De l'océan à la chaîne de montagne : tectonique des plaques dans les Alpes, Soc. Géol. Fr. Coll Géosciences, Gordon and Breach Sc. Publ., Paris, 207p., 2000.
- Nicolas, M., Santoire, J.P. & Delpech, P.Y., Intraplate seismicity : new seismotectonic data in Western Europe, Tectonophysics, 179, 27-53, 1990.
- Sue, C., Thouvenot, F., Fréchet, J. & Tricard, P., Widespread extension in the core of the western Alps revealed by earthquake analysis. J. G. R., 104, 25611-25622, 1999.
- Tapponnier, P., Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée : poinçonnement et écrasement rigide-plastique, Bull. Soc. géol. Fr., (7), 437-460, 1977.
- Thouvenot, F., Fréchet, J., Tapponnier, P., Thomas, J. C., Le Brun, B., Ménard, G., Lacassin, R., Jenatton, L., Grasso, J. R., Coutant, O., Paul, A. & Hatzfeld, D., The ML-5.3 Epagny (French Alps) earthquake of 15 July 1996: a long-awaited event on the Vuache fault. Geophysical Journal International, 135, 876-892, 1998.
- Thouvenot, F., Fréchet, J., Jenatton, L. & Gamond, J.-F., The Belledonne Border Fault: identification of a major active seismic strike-slip fault in the western Alps, soumis à Geophys J. Int., 2002.
- Voir aussi la note d'informations sur le séisme de Laffrey (Isère) du 11 janvier 1999, site web du LGIT de Grenoble ([www.lgit.obs.ujf-grenoble.fr/observations/sismalp](http://www.lgit.obs.ujf-grenoble.fr/observations/sismalp)), 2001.



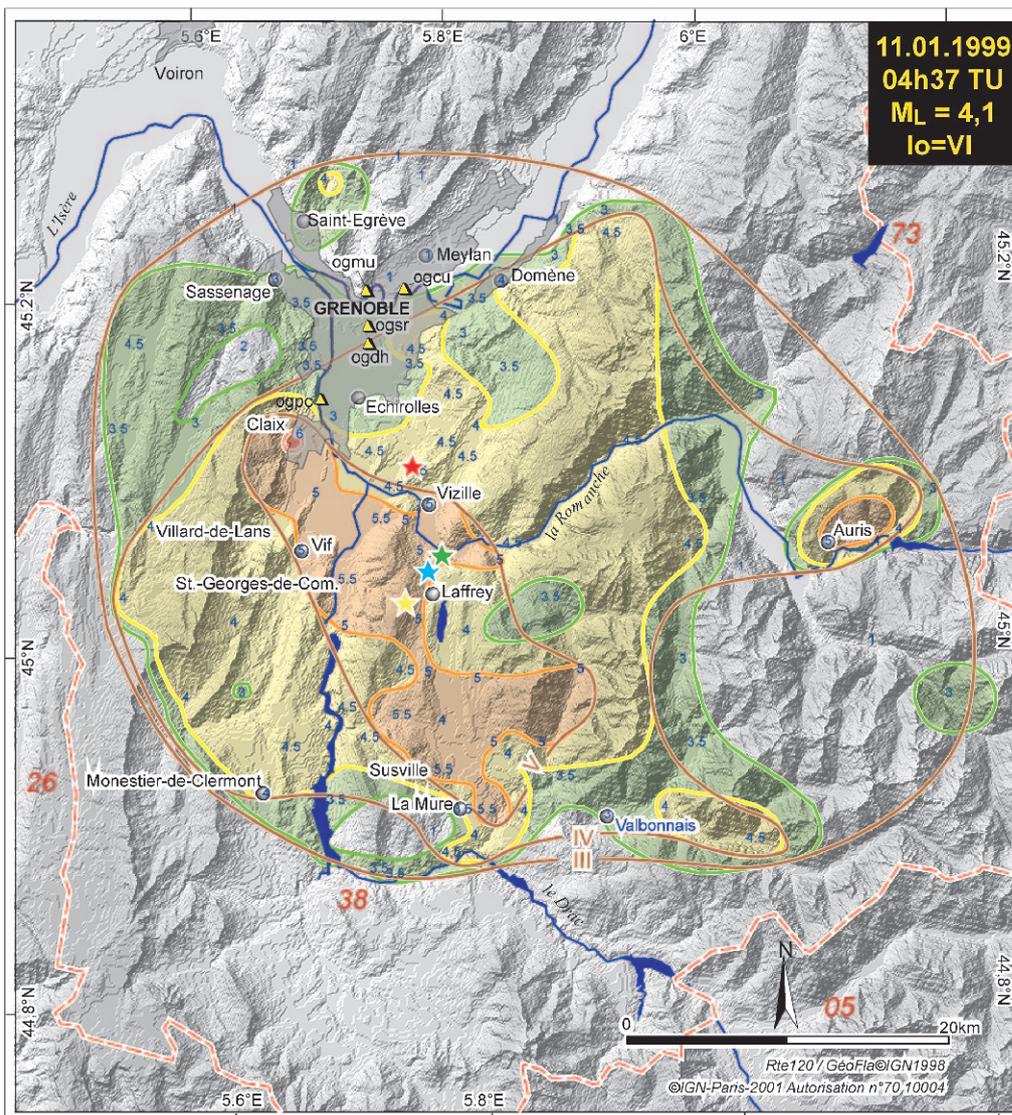
**DONNEES  
MACROSIMIQUES**

Intensité  
maximale : VI  
formulaire  
collectés : 118

**Calculs sur  
l'isoséiste  
d'intensité III**

1390 km<sup>2</sup>  
405200 habitants  
98 communes  
83 réponses  
à l'enquête

**Dégâts signalés  
18 communes**



épisodes instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1			intensité I	non perceptible
★ LDG	2			intensité II	à peine perceptible
★ Réseau local	3			intensité III	faiblement ressentie
★ BCSF	4			intensité IV	largement ressentie
Station accélérométrique	5			intensité V	fortement ressentie
▲ ogpc	6			intensité VI	effrayante
				hydrographie	
				limite départementale	
				zone urbaine	
			<b>38</b>	numéro du département	

Bureau central  
sismologique français  
Ecole et observatoire  
des sciences de la terre  
Strasbourg oct. 2001, C. Sira  
**BCSF**

**Enquête macrosimique**

Suite à l'enquête menée le 11 janvier au matin, le BCSF a reçu 118 réponses sur 98 communes. 86 communes déclarent avoir ressenti la secousse, accompagnée pour 53 d'entre-elles d'un bruit caractéristique (grondement ou explosion pour les localités proches de l'épicentre). La plupart des personnes dormaient encore et furent réveillées par la secousse.

En raison de la rareté des événements importants

dans cette région, ce séisme a provoqué de nombreux cas de frayeurs (34 communes). La commune de Vif note même la panique ayant saisi ses habitants.

Pour quinze communes, les petits objets (vaisselle, livres, verres) fortement secoués, se déplacent ou chutent. Sur quatre communes on relève même le déplacement de mobiliers lourds.

Il a été fait mention de dégâts dans 18 com-

munes au total, 14 de premier degré (fissurations de plâtres ou chutes de petits débris en faible nombre), 5 de second degré (fissuration de murs extérieurs et gros débris de plâtres ou de crépis extérieurs en faible nombre). St-Georges-de-Commiers rapporte de nombreuses fissurations. Susville signale l'écroulement sur 10 m d'un

mur de soutènement, seul dégât constaté sur la commune.

Sur les 18 communes déclarant des dégâts, 5 d'entre elles ont renvoyé un formulaire comportant quelques incohérences dans les réponses. Elles se trouvent de fait, exclues de nos calculs d'intensités pour les cartographies isoséistes. ■

### Répliques ressenties

Date	Heure UTC	Lat.	Long.	Pro.	Magn. Sismalp	Magn. RéNaSS	ressenti à	Intensité MSK64
11.01.1999	20:17	-	-		1,2	-	St-Georges-de-Commiers	-
12.01.1999	19:08	-	-		-	1,4	-	-
14.01.1999	00:44	45,01	5,73		1,6	-	St-Georges-de-Commiers	IV
							N.D.-de-Commiers	IV
							N.D.-de-Mésage	III
21.01.1999	04:28	-	-	-	0,2	-	St-Georges-de-Commiers	-
21.01.1999	04:31	45,07	5,73	2	1,6	2,5	St-Georges-de-Commiers	IV
							N.D.-de-Commiers	IV
21.01.1999	05:15	-	-	-	0,5	-	St-Georges-de-Commiers	-
23.01.1999	11:21	-	-	-	-	1,5		
23.01.1999	20:03	45,21	5,72	2	1,6	2,7	St-Georges-de-Commiers	-
							N.D.-de-Mésage	-
							N.D.-de-Commiers	-
							St.-Pierre-de-Mésage	-
23.01.1999	23:04	-	-	-	1	-	St-Georges-de-Commiers	-
26.01.1999	22:26	-	-	-	1,2	-	St-Georges-de-Commiers	III
26.01.1999	23:32	45,11	5,72	2	1,8	2,7	St-Georges-de-Commiers	IV
							N.D.-de-Commiers	IV
							N.D.-de-Mésage	IV
							St-Jean-de-Vaulx	IV
							Vif	IV
							Vizille	IV
27.01.1999	00:16	45,07	5,77	2	1,9	2,7	St-Georges-de-Commiers	IV
							N.D.-de-Commiers	IV
							N.D.-de-Mésage	IV
							Vizille	IV
							Vif	IV
							St-Jean-de-Vaulx	I
27.01.1999	02:17	-	-	-	0,8	-	St-Georges-de-Commiers	-
31.01.1999	08:04	-	-	-	0,4	-	St-Georges-de-Commiers	-
03.02.1999	16:20	45,09	5,71	2	2,6	2,8	Chollonge	IV
							Laffrey	IV
							St-Jean-de-Vaulx	IV
							St-Georges-de-Commiers	IV
							St-Barth.-de-Séchilienne	III
							Vif	III
							Grenoble	III
04.12.1999	00:40	-	-	-	0,9	-	St-Georges-de-Commiers	III
06.02.1999	18:58	-	-	-	1,2	-	St-Georges-de-Commiers	III
11.03.1999	17:16	45,49	5,89	2	1,5	2,3	St-Georges-de-Commiers	III

# Séisme du 16 février 1999

## Sud-est de Saint-Jean-Pied-de-Port (Pyrénées-Atlantiques)



**HEURE**  
en temps universel :  
01h50mn  
en temps légal :  
02h50mn

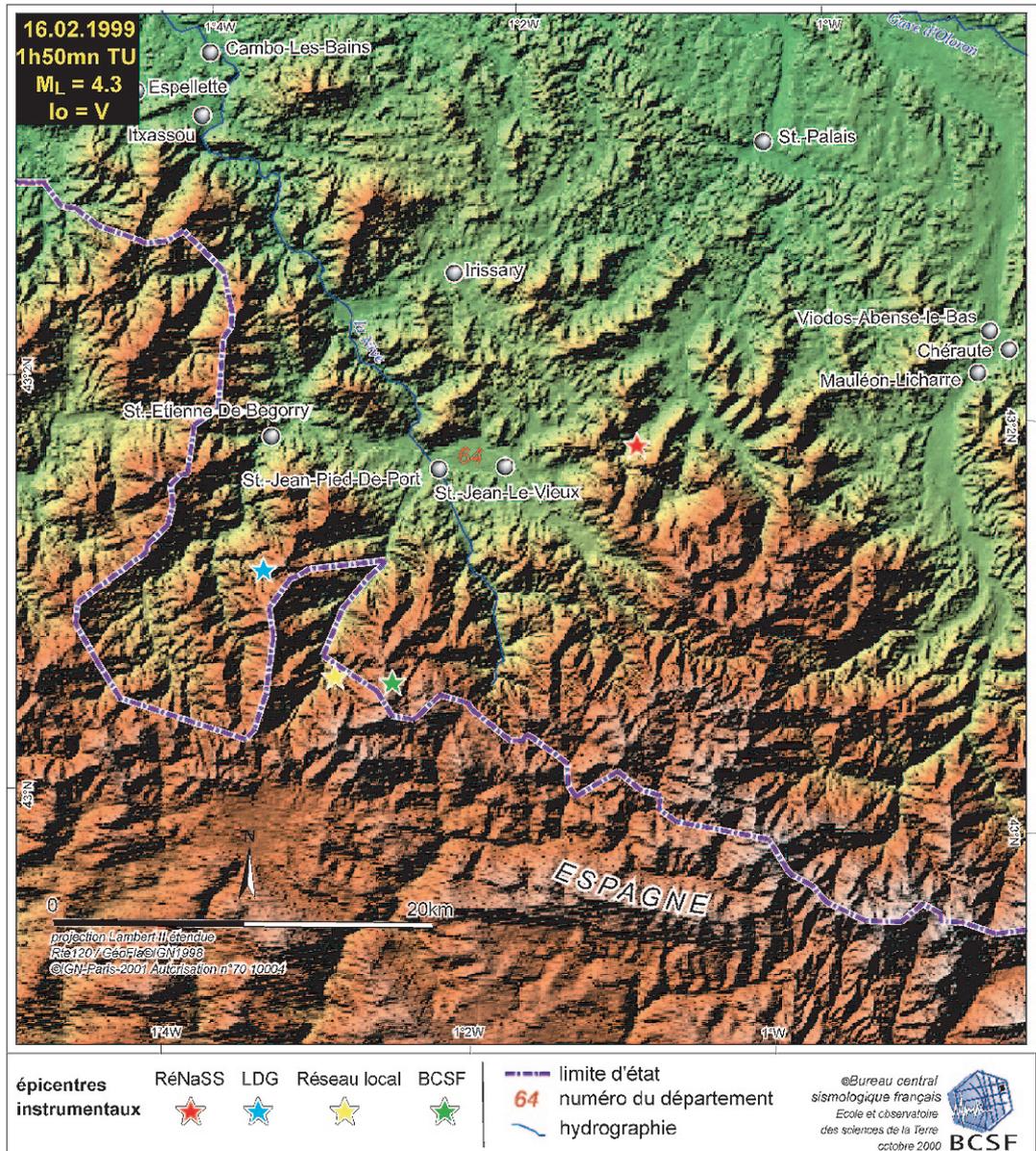
**MAGNITUDE**  
RéNaSS : 4,3 ML  
LDG : 4,1 ML  
RSSP : 4,2 ML

**COORDONNEES**  
RéNaSS  
lat. : 43,18° N  
long. : 1,11° W  
profondeur : 2 km

LDG  
lat. : 43,11° N  
long. : 1,35° W  
profondeur : 2 km

Réseau local  
RSSP  
lat. : 43,060° N  
long. : 1,299° W  
profondeur : 11 km

BCSF  
lat. : 43,06° N  
long. : 1,26° W  
profondeur : 5 km



### Localisation

Le 16 février 1999 à 02h50 (heure légale), un séisme de magnitude  $ML=4,3$  (RéNaSS) a eu lieu dans les Pyrénées-Atlantiques. La localisation épacentrale BCSF est proche ( $\sim 3$  km à l'est) de celle obtenue à l'aide du réseau sismologique de surveillance sismique des Pyrénées (RSSP) de l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP). La localisation du RéNaSS est située à environ 20 km au NE

de celle du RSSP. L'épicentre publié par le LDG se trouve à environ 7 km au NNW de la solution du RSSP. La détermination du RSSP est la plus fiable, celle-ci étant localisée dans le réseau sismologique local qui combine des stations françaises et espagnoles. Les épicesenters du BCSF et du RSSP sont situés à une douzaine de kilomètres au SSW de Saint-Jean-Pied-de-Port.

## Sismicité régionale

La chaîne des Pyrénées est avec les Alpes la région française qui présente l'activité sismique la plus forte. Le choc du 16 février 1999 se trouve à l'extrémité ouest de la bande assez étroite qui concentre une part notable de la sismicité pyrénéenne. Cette bande est axée sur une partie du tracé occidental de la faille nord-pyrénéenne (FNP). A l'ouest de l'épicentre du 16 février 1999, la sismicité est diffuse et distribuée sur une zone de près de 100 km de large (voir par ex. Souriau et coll., 2001).

D'après les archives historiques disponibles, ce choc s'est produit dans une région qui n'a subi des dégâts importants d'origine sismique qu'au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. Dans un rayon de 75 km autour de la zone épiscopale du choc du 16 février 1999, on compte 3 séismes destructeurs: celui de Berdun en 1923 (Espagne, Navarre, intensité MSK=VII-VIII), celui d'Arette en 1967 (Béarn, intensité MSK= VIII, ML=5,3-5,7) et celui d'Arudy en 1980 (Ossau, intensité MSK= VII-VIII, ML=5,2) (Lambert et coll., 1998).

## Contexte sismotectonique

La formation des Pyrénées a débuté vers -70 Ma, lors de la collision entre les plaques Ibérie et Eurasie. Parmi les failles majeures de la chaîne des Pyrénées, figurent la faille nord-pyrénéenne (FNP) qui borde au nord la zone axiale des Pyrénées, le chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP) et le chevauchement sud-pyrénéen (CSP) qui limitent au nord et au sud la chaîne des Pyrénées (voir par ex. Choukroune, 1992). Pour plus de détails, consultez les fiches du séisme du 2/07/1997 ou du 4/10/1999 (ce volume).

Le choc du 16 février 1999 s'est produit dans le socle hercynien. Il se situe à une dizaine de kilomètres au sud d'une faille chevauchante (qui est dans le prolongement de la FNP), et à 5 km au nord d'un autre chevauchement (qui borde localement au sud la zone axiale).

Selon la carte sismotectonique de la France de Grellet et coll. (1993), les failles les plus proches montrant des indices d'activité récente sont situées à une quarantaine de kilomètres du séisme du 16 février 1999 (principalement au nord).

D'après les mécanismes au foyer disponibles dans la région (voir par ex Grellet et coll., 1993; Souriau et coll., 2001), la contrainte tectonique horizontale la plus compressive est d'orientation N-S à NW-SE. Les mécanismes au foyer sont principalement inverses et/ou décrochants et les signes de déformation récente concernent des failles décrochantes, inverses et des plis.

## Références citées

- Choukroune, P., Tectonic evolution of the Pyrenees, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 20, 143-158, 1992.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H. , Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, *Mém. Soc. géol. Fr.*, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Souriau, A., Sylvander, M., Rigo, A., Fels, J.F., Douchain, J.M. & Ponsolles, C., Sismotectonique des Pyrénées : principales contraintes sismologiques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 172, 25-39, 2001.

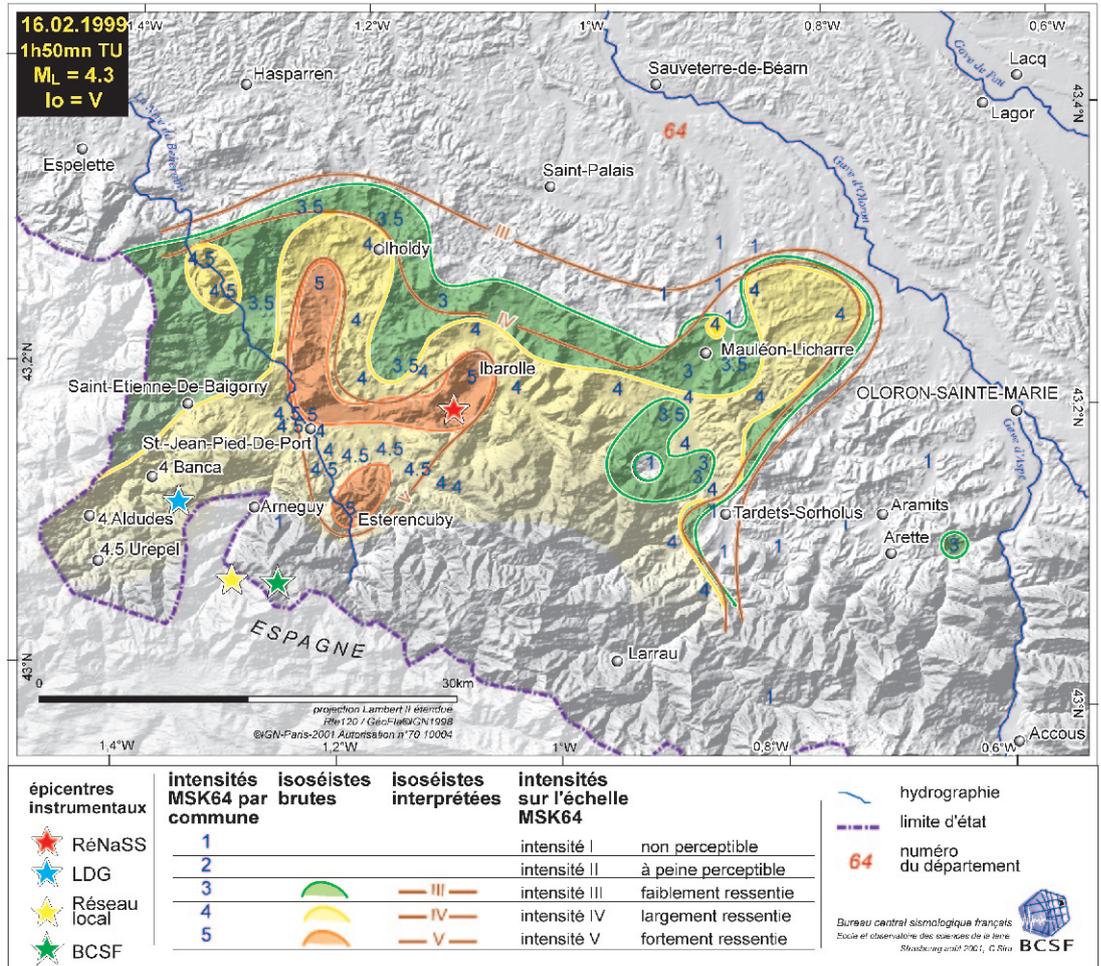
## DONNEES MACROSISMQUES

Intensité  
maximale : V  
formulaire  
collectés : 62

## Calculs sur l'isosséiste d'intensité III (ouverte)

24500 habitants  
63 communes  
44 réponses  
à l'enquête

dégâts signalés  
7 communes



## Enquête macrosismique

C'est durant son sommeil que la population des environs de Saint-Jean-Pied-de-Port a ressenti cet événement. L'enquête du BCSF, lancée dès le 16 février au matin, a permis de collecter 57 réponses sur 87 communes. 43 d'entre elles déclarent avoir ressenti la secousse, accompagnée pour 40 communes d'un bruit caractéristique (grondement ou explosion pour les localités proches de l'épicentre).

Aucun appel, relatif à ce séisme, n'a été enregistré par le groupement de gendarmerie départemental des Pyrénées-Atlantiques. La commune d'Ibarrolle (I = V) relève cependant des cas de panique, et pour 12 autres communes ce sont les sentiments de frayeur qui prédominent.

Quelques glissements d'éléments de toitures sont indiqués en petit nombre à Bidarray, Urepel, Saint-Michel, Saint-Jean-Pied-de-Port et Arneguy. Des fissurations légères et en petit nombre sont signalées à Bidarray. Quelques chutes de gros débris de plâtres ont eu lieu à Esterencuby, Arneguy et Aldudes. 4 communes signalent le déplacement de petits bibelots et des chutes d'objets sont notés dans la commune d'Ibarrolle.

La commune d'Irissary relève quant à elle l'augmentation du niveau d'eau d'un puits.

L'événement somme toute modéré a été perçu jusqu'à 55 kilomètres de l'épicentre dans le département des Landes, dans les communes de Sainte-Marie et de Saint-Martin de Seignaux. ■

# Séisme du 11 juin 1999

## Nord-ouest d'Aramits (Pyrénées-Atlantiques)



**HEURE**  
en temps universel :  
02h08mn  
en temps légal :  
04h08mn

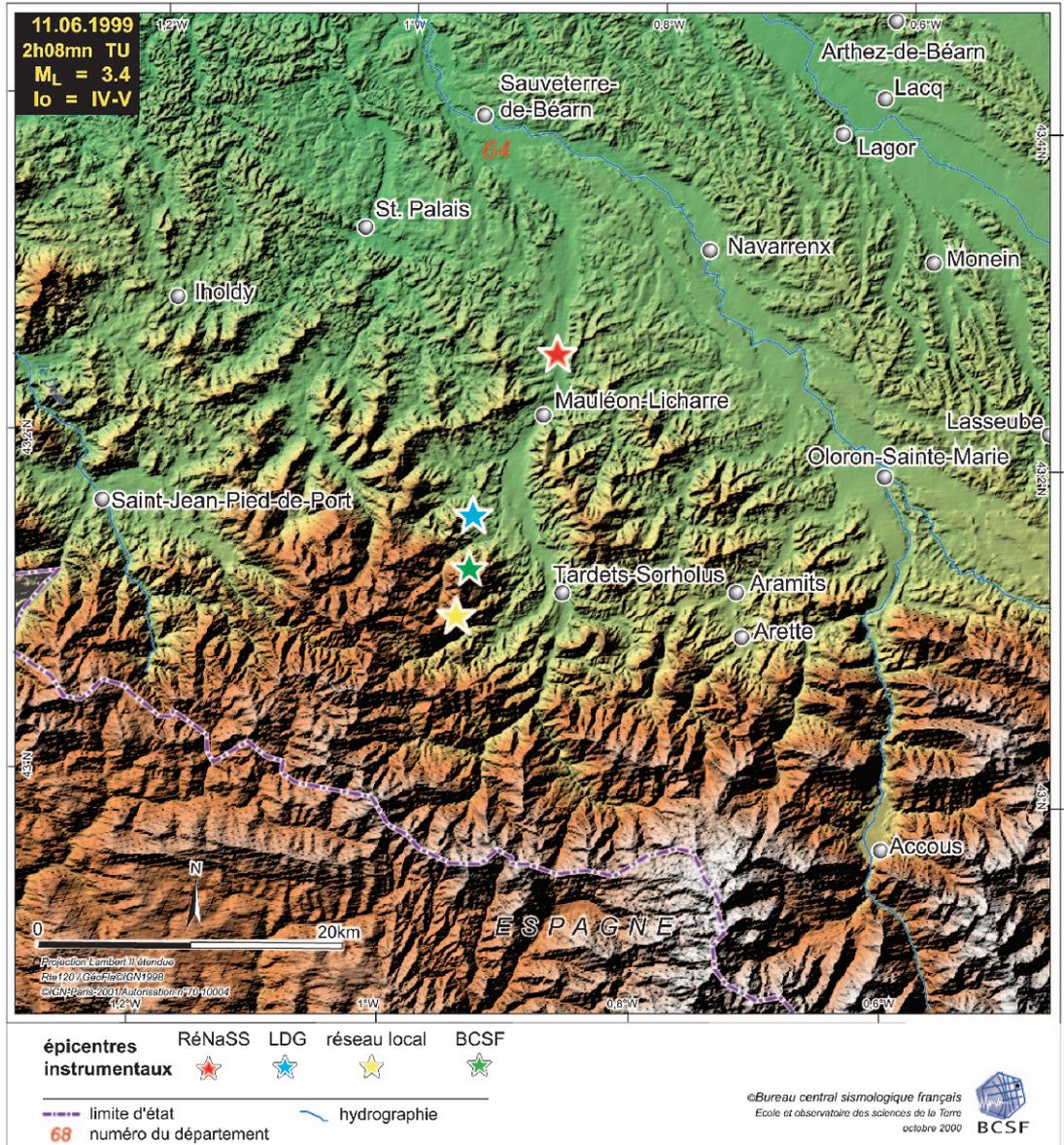
**MAGNITUDE**  
RéNaSS : 3,4 ML  
LDG : 3,3 ML  
RSSP : 3,3 ML

**COORDONNEES**  
RéNaSS  
lat. : 43,26° N  
long. : 0,88° W  
profondeur : 2 km

LDG  
lat. : 43,16° N  
long. : 0,94° W  
profondeur : 6 km

Réseau local  
RSSP  
lat. : 43,104° N  
long. : 0,951° W  
profondeur : 16 km

BCSF  
lat. : 43,13° N  
long. : 0,94° W  
profondeur : 5 km



### Localisation

Le 11 juin 1999 à 04h08 (heure légale), un séisme de magnitude ML=3,3 (RéNaSS) a eu lieu dans les Pyrénées-Atlantiques. La localisation BCSF est proche (~3 km au nord) de celle obtenue par le réseau sismologique de l'Observatoire Midi-Pyrénées (RSSP). La localisation du RéNaSS est à environ 19 km au NNE de celle du RSSP. L'épicentre publié par le LDG se trouve à environ

7 km au nord de la solution du RSSP. La détermination du RSSP est la plus fiable, celle-ci étant localisée dans le réseau sismologique local qui combine des stations françaises et espagnoles. Cet épicentre est situé à environ 25 km à l'ESE de Saint-Jean-Pied-de-Port et à environ 29 km à l'WSW d'Oloron-Sainte-Marie.

## Sismicité régionale

Avec les Alpes, la chaîne des Pyrénées est en France la région qui présente l'activité sismique la plus notable.

Le choc du 11 juin 1999 à 2h08 TU se trouve à l'extrémité ouest de la bande assez étroite (~20 km de large) où se concentre principalement la sismicité pyrénéenne, le long de la faille nord-pyrénéenne (FNP), à l'ouest de la faille de l'Adour (voir par ex. Souriau et coll., 2001). Ce choc s'est produit dans une région qui, à plusieurs reprises, a subi des dégâts importants d'origine sismique. Dans un rayon de 75 km autour de la zone épiscopale du choc du 11 juin 1999 à 2h08 TU, on compte 5 séismes historiques destructeurs : celui de Juncalès en 1750 (Bigorre, intensité MSK=VIII), celui d'Argelès-Gazost en 1854 (Bigorre, intensité MSK=VII-VIII), celui de Berdun en 1923 (Espagne, Navarre, intensité MSK=VII-VIII), celui d'Arette en 1967 (Béarn, intensité MSK= VIII, ML=5,3-5,7) et celui d'Arudy en 1980 (Ossau, intensité MSK= VII-VIII, ML=5,2) (Lambert et coll., 1998). Le choc du 11/06/1999 se trouve à une quinzaine de kilomètres de l'épicentre du séisme d'Arette (1967).

## Contexte sismotectonique

La formation des Pyrénées a débuté vers -70 Ma, lors de la collision entre les plaques Ibérie et Eurasie. Parmi les failles majeures de la chaîne des Pyrénées, figure la faille nord-pyrénéenne (FNP) qui borde au nord la zone axiale des Pyrénées, le chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP) et le chevauchement sud-pyrénéen (CSP) qui limitent au nord et au sud la chaîne des Pyrénées (voir par ex. Choukroune, 1992). Pour plus de détails, consultez la fiche des séismes du 2/07/1997 ou du 4/10/1999 (ce volume).

Le choc du 11/06/1999 à 2h08 TU se trouve dans la zone nord-pyrénéenne qui présente à l'affleurement principalement des dépôts de flysh méso-

zoïque. Il est situé à environ 5 km au nord d'une zone de faille qui est dans le prolongement de la FNP et à environ 40 km au sud du CFNP qui forme la bordure nord de la zone nord-pyrénéenne. D'après sa profondeur déterminée par le réseau local (~15 km), le séisme du 11/06/1999 à 2h08 TU s'est produit dans le socle hercynien.

Selon la carte sismotectonique de la France de Grellet et coll. (1993), les failles les plus proches montrant des indices d'activité récente sont situées à une trentaine de kilomètres du séisme du 11/06/1999 à 2h08 TU (principalement au nord).

Les mécanismes au foyer disponibles dans cette région (voir par ex Grellet et coll., 1993 ; Souriau et coll., 2001) sont principalement inverses ou décrochants et compatibles, comme les signes de déformation récente (failles décrochantes, inverses, plissement) situés au nord de la FNP (voir la carte de Grellet et coll., 1993), avec une contrainte tectonique compressive d'orientation NW-SE.

## Références citées

- Choukroune, P., Tectonic evolution of the Pyrenees, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 20, 143-158, 1992.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H. , Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, *Mém. Soc. géol. Fr.*, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Souriau, A., Sylvander, M., Rigo, A., Fels, J.F., Douchain, J.M. & Ponsolles, C., Sismotectonique des Pyrénées : principales contraintes sismologiques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 172, 25-39, 2001.

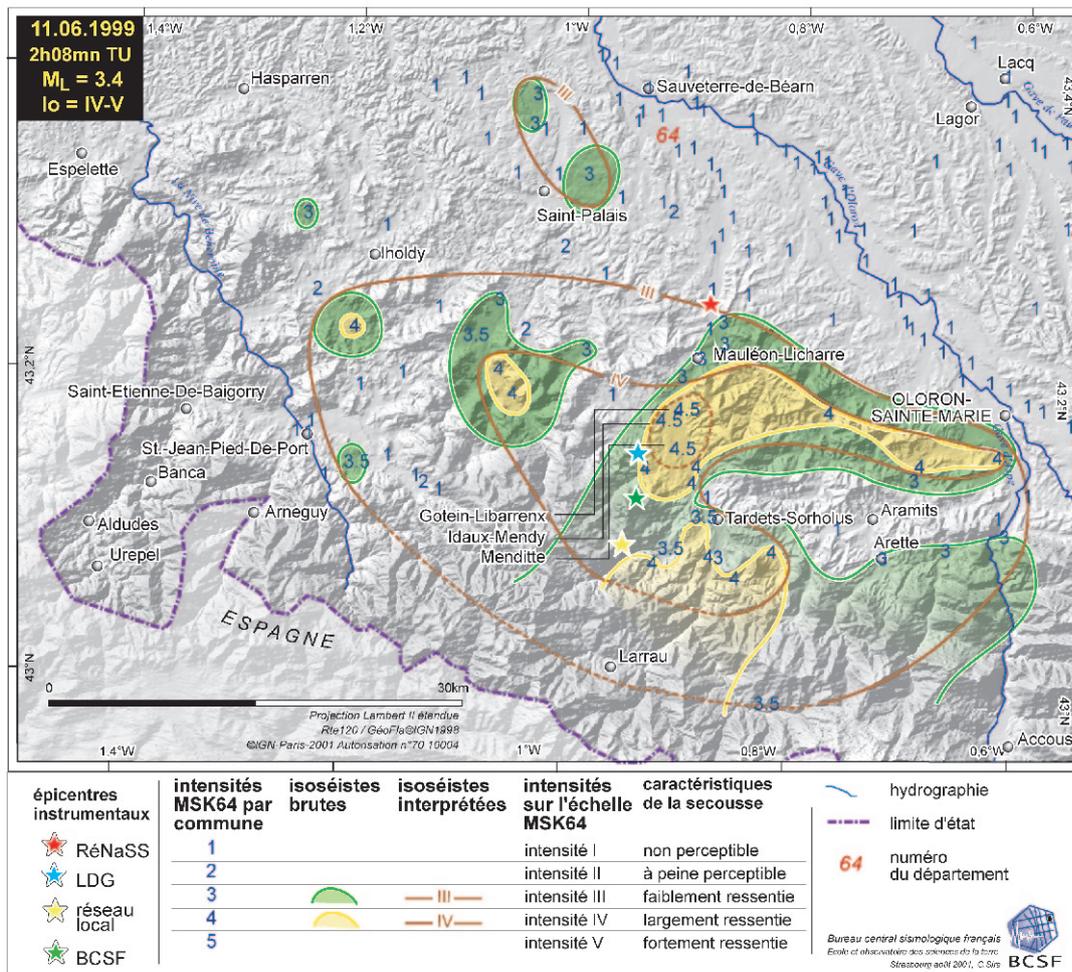
**DONNEES  
MACROSISMIOQUES**

Intensité  
maximale : IV-V  
formulaire  
collectés : 177

**Calculs sur  
l'isosséiste  
d'intensité III**

18700 habitants  
47 communes  
36 réponses  
à l'enquête

**Aucun  
dégât signalé**



**Enquête macrosismique**

Pour la seconde fois de l'année, les habitants de la région de Mauléon-Licharre furent réveillés par un séisme. L'enquête du 11 juin sur un rayon de 30 km autour de l'épicentre (13 cantons / 223 communes) a collecté 177 réponses. Aucun dégât matériel n'a été déclaré à la suite de cet événement. 41 communes ont ressenti la secousse, accompagnée pour 27 d'entre elles d'un bruit caractéristique (grondement ou explosion pour les localités proches de l'épicentre).

L'intensité maximale a été observée dans les communes de Gotein-Libarrenx, Idaux-Mendy, et Menditte, où quelques habitants ont été effrayés. L'ellipse d'intensité III semble orientée NW-SE et calée dans sa partie NE sur la limite des reliefs des massifs montagneux en bordure du gave d'Oloron. Pour la partie sud, la répartition de la population ne permet pas de confirmer avec certitude les limites des isosséistes. ■

# Séisme du 11 juin 1999

## Sud sud-est d'Oloron-Ste-Marie (Pyrénées-Atlantiques)



**HEURE**  
en temps universel :  
11h47mn  
en temps légal :  
13h47mn

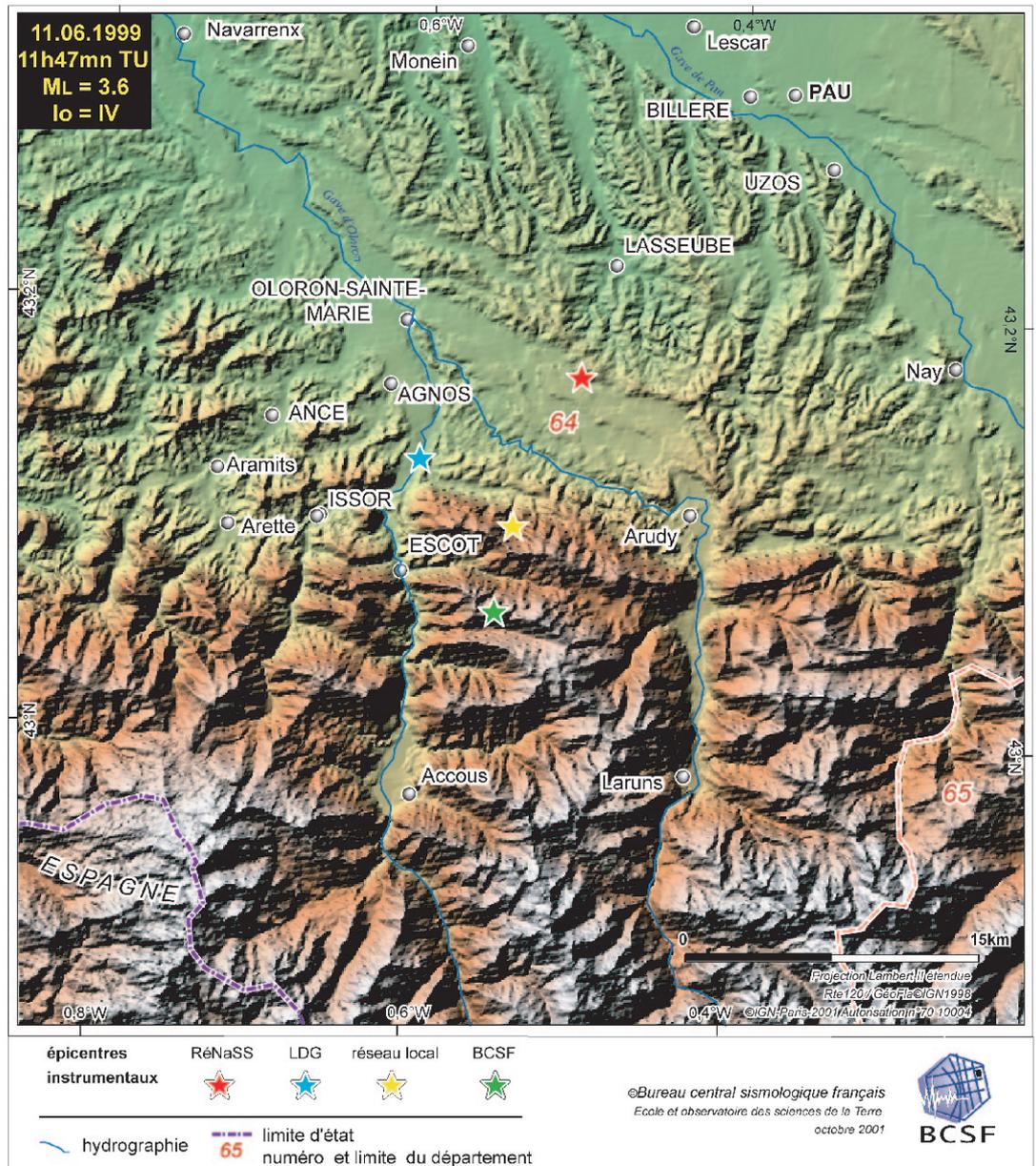
**MAGNITUDE**  
RéNaSS : 3,6 ML  
LDG : 3,7 ML  
RSSP : 3,6 ML

**COORDONNEES**  
RéNaSS  
lat. : 43,17° N  
long. : 0,5° W  
profondeur : 2 km

LDG  
lat. : 43,13° N  
long. : 0,6° W  
profondeur : 2 km

Réseau local  
RSSP  
lat. : 43,10° N  
long. : 0,54° W  
profondeur : 12 km

BCSF  
lat. : 43,06° N  
long. : 0,55° W  
profondeur : 10 km



### Localisation

Le 11 juin 1999 à 13h47 (heure légale), un séisme de magnitude ML=3,6 (RéNaSS, RSSP) a eu lieu dans les Pyrénées-Atlantiques. La localisation BCSF est proche (~4,5 km au sud) de celle obtenue par le réseau sismologique de l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP). La localisation du RéNaSS est à environ 8,5 km au NNE de celle du RSSP. L'épicentre publié par le LDG se trouve à environ

6 km au NW de la solution du RSSP. La détermination du RSSP est la plus fiable, celle-ci étant localisée dans le réseau sismologique local qui combine des stations françaises et espagnoles. Cet épicentre est situé à une douzaine de kilomètres au SSE d'Oloron-Sainte-Marie, entre les communes d'Escot et d'Arudy.

## Sismicité régionale

Après les Alpes, la chaîne des Pyrénées est en France la région qui présente l'activité sismique historique la plus forte. Le choc du 11/06/1999 à 11h47 TU se trouve dans la bande étroite (~20 km de large) où la sismicité pyrénéenne à l'ouest de la faille de l'Adour se concentre principalement le long de la faille nord-pyrénéenne (FNP) (voir par ex. Souriau et coll., 2001).

Ce choc s'est produit dans une région qui a régulièrement subi des dégâts importants d'origine sismique. Dans un rayon de 75 km autour de la zone épicertrale du choc du 11 juin 1999, on compte 6 séismes historiques destructeurs : celui de Bagnères en 1660 (Bigorre, intensité MSK=VIII-IX), celui de Juncalas en 1750 (Bigorre, intensité MSK=VIII), celui d'Argelès-Gazost en 1854 (Bigorre, intensité MSK=VII-VIII), celui de Berdun en 1923 (Espagne, Navarre, intensité MSK=VII-VIII), celui d'Arette en 1967 (Béarn, intensité MSK= VIII, ML=5,3-5,7) et celui d'Arudy en 1980 (Ossau, intensité MSK= VII-VIII, ML=5,2) (Lambert et coll., 1998). Le choc du 11/06/1999 à 11h47 TU se trouve à une vingtaine de kilomètres à l'est de l'épicentre du séisme d'Arette et à une quinzaine de kilomètres à l'ouest de celui du séisme d'Arudy (1980).

On peut aussi noter que le choc du 11/06/1999 à 11h47 TU, qui suit de quelques heures celui du même jour à 2h08 TU (ML=3,4), est situé 35 km plus à l'est.

## Contexte sismotectonique

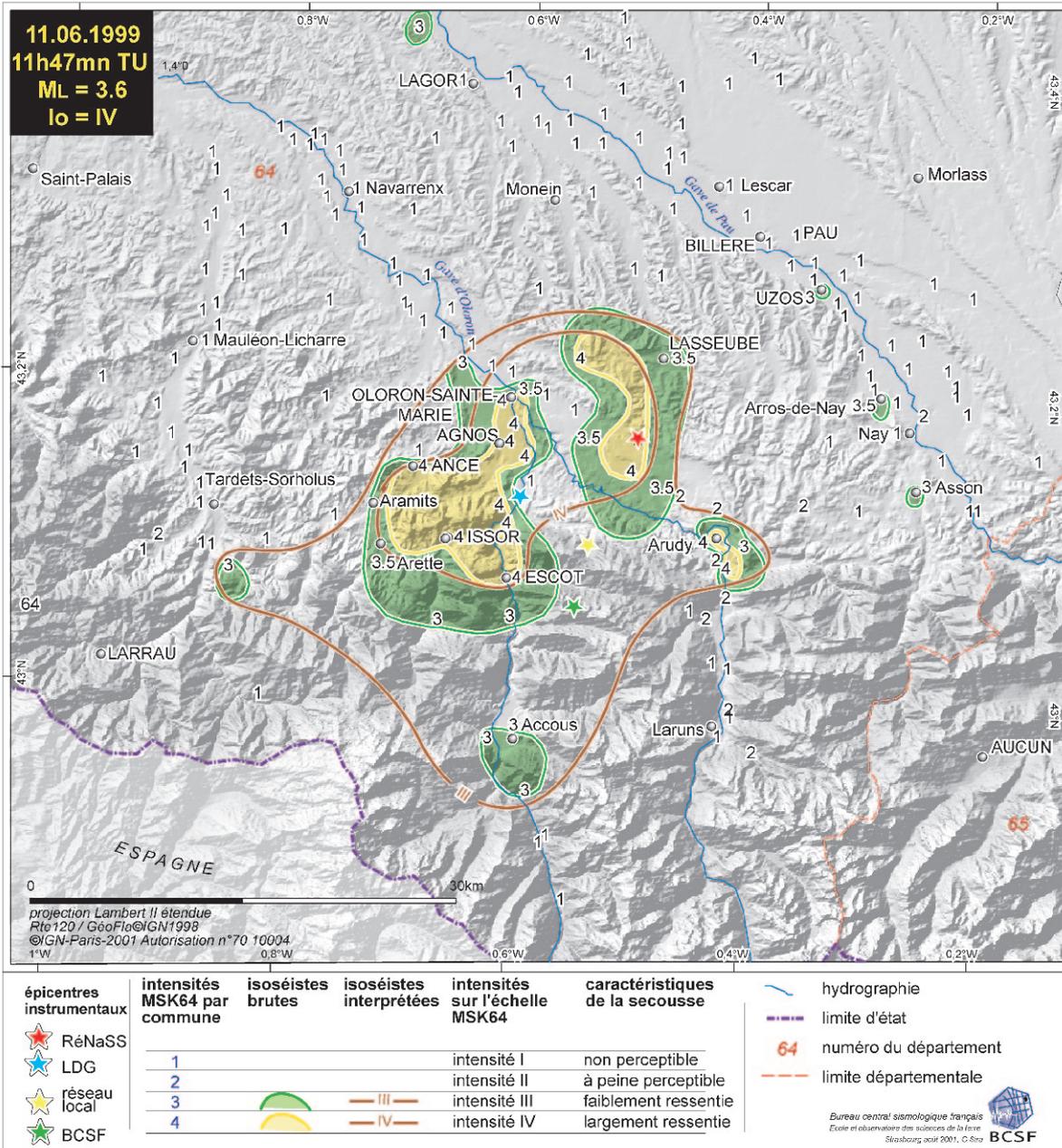
La formation des Pyrénées a débuté vers -70 Ma, lors de la collision entre les plaques Ibérie et Eurasie. Parmi les failles majeures de la chaîne des Pyrénées, figure la faille nord-pyrénéenne (FNP) qui borde au nord la zone axiale des Pyrénées, le chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP) et le chevauchement sud-pyrénéen (CSP) qui limitent au nord et au sud la chaîne des Pyrénées (voir par ex. Choukroune, 1992). Pour plus de détails, consultez la fiche des séismes du 2/07/1997 et du 4/10/1999 (ce volume).

Le choc du 11/06/1999 à 11h47 TU, comme celui du même jour à 2h08 TU, se trouve dans la zone nord-pyrénéenne qui présente à l'affleurement principalement des dépôts de Flysch Mésozoïque. Il est situé à environ 10 km au nord de la FNP et à une dizaine de kilomètres au sud du CFNP, failles qui forment respectivement les bordures sud et nord de la zone nord-pyrénéenne. D'après sa profondeur (~12 km d'après la détermination obtenue par le réseau local), le séisme du 11/06/1999 à 11h47 TU s'est produit dans le socle Hercynien. Selon la carte sismotectonique de la France de Grellet et coll. (1993), les failles les plus proches montrant des indices d'activité récente sont situées à une dizaine de kilomètres au nord du séisme du 11/06/1999 à 11h47 TU.

Les mécanismes au foyer disponibles dans cette région (voir par ex. Grellet et coll., 1993 ; Souriau et coll., 2001) sont principalement inverses ou décrochants et compatibles, comme les signes de déformation récente (failles décrochantes, inverses, plissement) situés au nord du FNP (voir la carte de Grellet et coll., 1993), avec une contrainte tectonique compressive d'orientation NW-SE.

## Références citées

- Choukroune, P., Tectonic evolution of the Pyrenees, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 20, 143-158, 1992.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H. , Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, *Mém. Soc. géol. Fr.*, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Souriau, A., Sylvander, M., Rigo, A., Fels, J.F., Douchain, J.M. & Ponsolles, C., Sismotectonique des Pyrénées : principales contraintes sismologiques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 172, 25-39, 2001.



**DONNEES MACROSISMQUES**  
 Intensité maximale : IV  
 formulaires collectés : 195

**Calculs sur l'isoseisme d'intensité III**  
 329 km<sup>2</sup>  
 27400 habitants  
 29 communes  
 26 réponses à l'enquête

**Aucun dégât signalé**

### Enquête macrosismique

A 13h47 heure légale, les habitants du canton d'Oloron-Sainte-Marie ont été surpris dans leurs activités. Deuxième événement pour cette même journée, il n'a pas fait de dégât. L'intensité maximale IV a été atteinte sur une zone d'environ 100 km<sup>2</sup>. L'enquête du BCSF mise en oeuvre par la préfecture des Hautes-Pyrénées a permis de collecter 195 réponses sur 227 communes contactées. 41 d'entre elles déclarent avoir ressenti la secousse, jusqu'à 30 km de l'épicentre. L'intensité III a été relevée jusqu'à une vingtaine de kilomè-

tres de l'épicentre instrumental, hormis 3 communes plus éloignées (Uzos, Arros-de-Nay, Asson) et proches du gave de Pau.

Aucun appel relatif à ce séisme, n'a été enregistré par le groupement de gendarmerie départemental des Pyrénées-Atlantiques. ■

# Séisme du 23 août 1999

## Nord nord-ouest de Benasque (Espagne)



**HEURE**  
 en temps universel :  
 22h30mn  
 en temps légal :  
 00h30mn

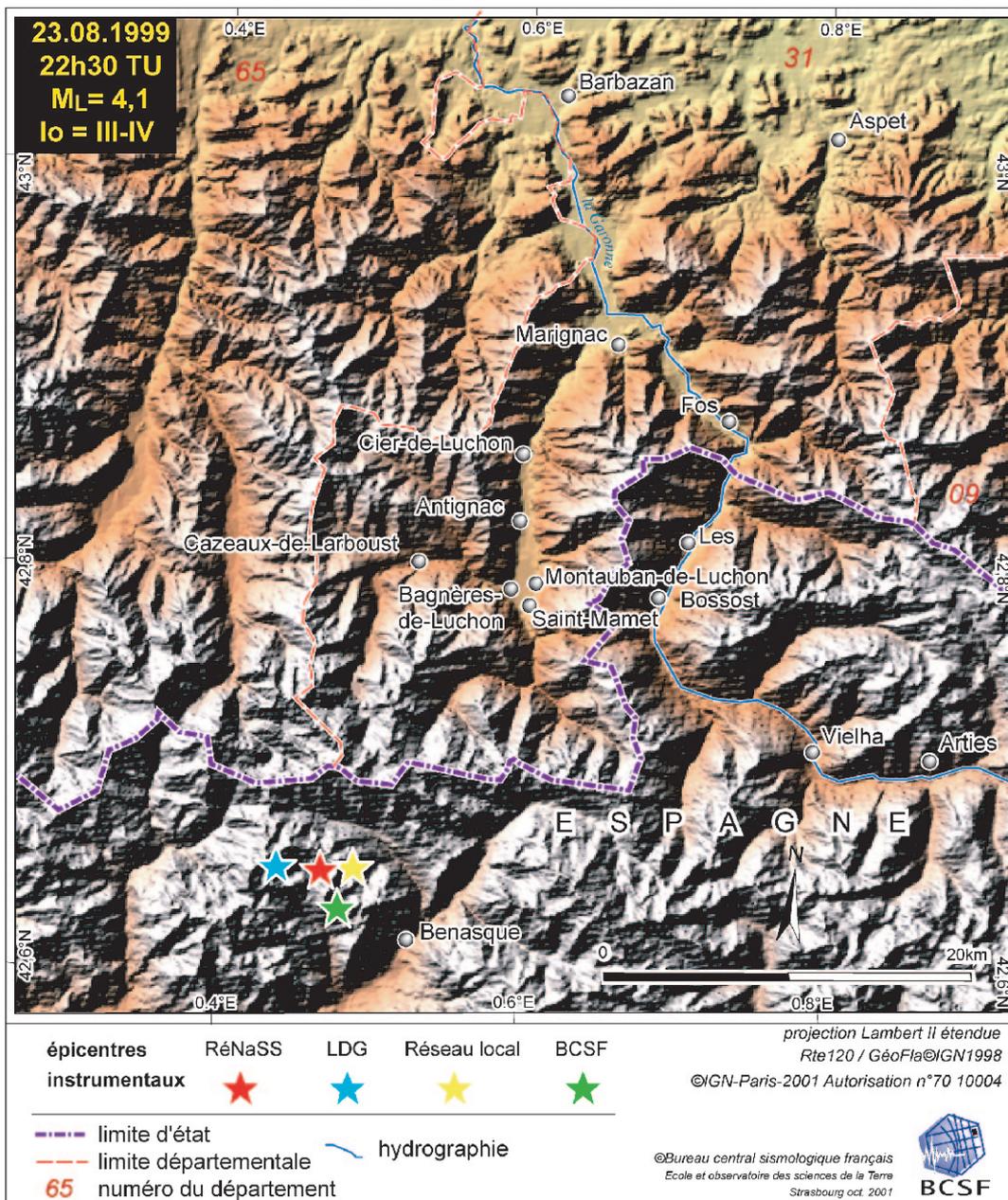
**MAGNITUDE**  
 RéNaSS : 4,1 ML  
 LDG : 3,7 ML  
 RSSP : 3,7 ML

**COORDONNEES**  
 RéNaSS  
 lat. : 42,65° N  
 long. : 0,47° E  
 profondeur : 5 km

LDG  
 lat. : 42,65° N  
 long. : 0,44° E  
 profondeur : 3 km

Réseau local  
 RSSP  
 lat. : 42,646° N  
 long. : 0,488° E  
 profondeur : 7 km

BCSF  
 lat. : 42,63° N  
 long. : 0,48° E  
 profondeur : 5 km



### Localisation

Le 24 août 1999 à 00h30 (heure légale, soit en temps universel le 23 août 1999 à 22h30), un séisme de magnitude ML=4,1 (RéNaSS) s'est produit dans les Pyrénées centrales, dans le nord de l'Espagne. La localisation RéNaSS est très proche (~1,5 km à l'ouest) de celle obtenue par le réseau sismologique de l'Observatoire Midi-

Pyrénées (RSSP). La localisation du BCSF est à environ 2,5 km au SSW de celle du RSSP. L'épicentre publié par le LDG se trouve à environ 4 km à l'ouest de la solution du RSSP. La détermination du RSSP est la plus fiable, car celle-ci est située dans le réseau sismologique local qui couvre les Pyrénées en combinant des stations

françaises (RSSP et CEA) et espagnoles (IGN et SGC). Cet épicentre est à environ 4 kilomètres au NW de Benasque (Espagne), 5 km au sud de la frontière franco-espagnole et 16 km au SW de Bagnères-de-Luchon.

### Sismicité régionale

La chaîne des Pyrénées est la seconde région en France, après les Alpes, de par son activité sismique historique. Comme le séisme du 2 juillet 1997 (ML=3,9 ; lo=IV) situé seulement 14 km plus à l'est, le choc du 23 août 1999 se trouve au SE de la faille de l'Adour, là où la sismicité pyrénéenne perd son aspect de bande étroite suivant la faille nord-pyrénéenne (FNP) et prend une allure plus diffuse (voir par ex. Souriau et coll., 2001). Ce choc s'est produit dans une région qui a subi à plusieurs reprises des dégâts causés par des tremblements de terre. Dans un rayon de 75 km autour de la zone épacentrale du séisme du 23 août 1999, on compte 5 séismes historiques destructeurs : celui de Ribagorza en 1373 (Espagne, intensités MSK=VIII-XI), celui de Bagnères en 1660 (Bigorre, intensité MSK= VIII-IX), celui de Juncalas en 1750 (Bigorre, intensité MSK=VIII), celui d'Argeles-Gazost en 1854 (Bigorre, intensité MSK=VII-VIII), et celui de Viella en 1923 (Espagne, Val d'Aran, intensité MSK=VIII) (Lambert et coll., 1998). Ce dernier séisme n'est distant du choc du 23 août 1999 que d'une trentaine de kilomètres vers l'est.

### Contexte sismotectonique

La formation de la chaîne des Pyrénées a débuté au début de l'ère tertiaire (vers -70Ma), lors de la collision entre les plaques Ibérie et Eurasie en réponse à la montée vers le nord de l'Afrique. Parmi les accidents tectoniques majeurs de cette

chaîne figurent le front nord-pyrénéen (FNP) qui borde au nord la zone axiale des Pyrénées, le chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP) et le chevauchement sud-pyrénéen (CSP) qui limitent au nord et au sud la chaîne des Pyrénées (voir par ex. Choukroune, 1992).

Le choc du 23 août 1999 se trouve à une trentaine de kilomètres au sud de la FNP, dans la zone axiale. Il est situé dans un petit massif granitique juste à l'ouest du massif de Maladeta. Dans cette région, peu de mécanismes au foyer sont disponibles (voir par ex Grellet et coll., 1993 ; Souriau et coll., 2001) et l'essentiel des signes de déformation récente (failles décrochantes, inverses, plissements) compatibles avec une contrainte tectonique compressive d'orientation N-S à NW-SE, sont situés au nord de la FNP (voir la carte de Grellet et coll., 1993).

### Références citées

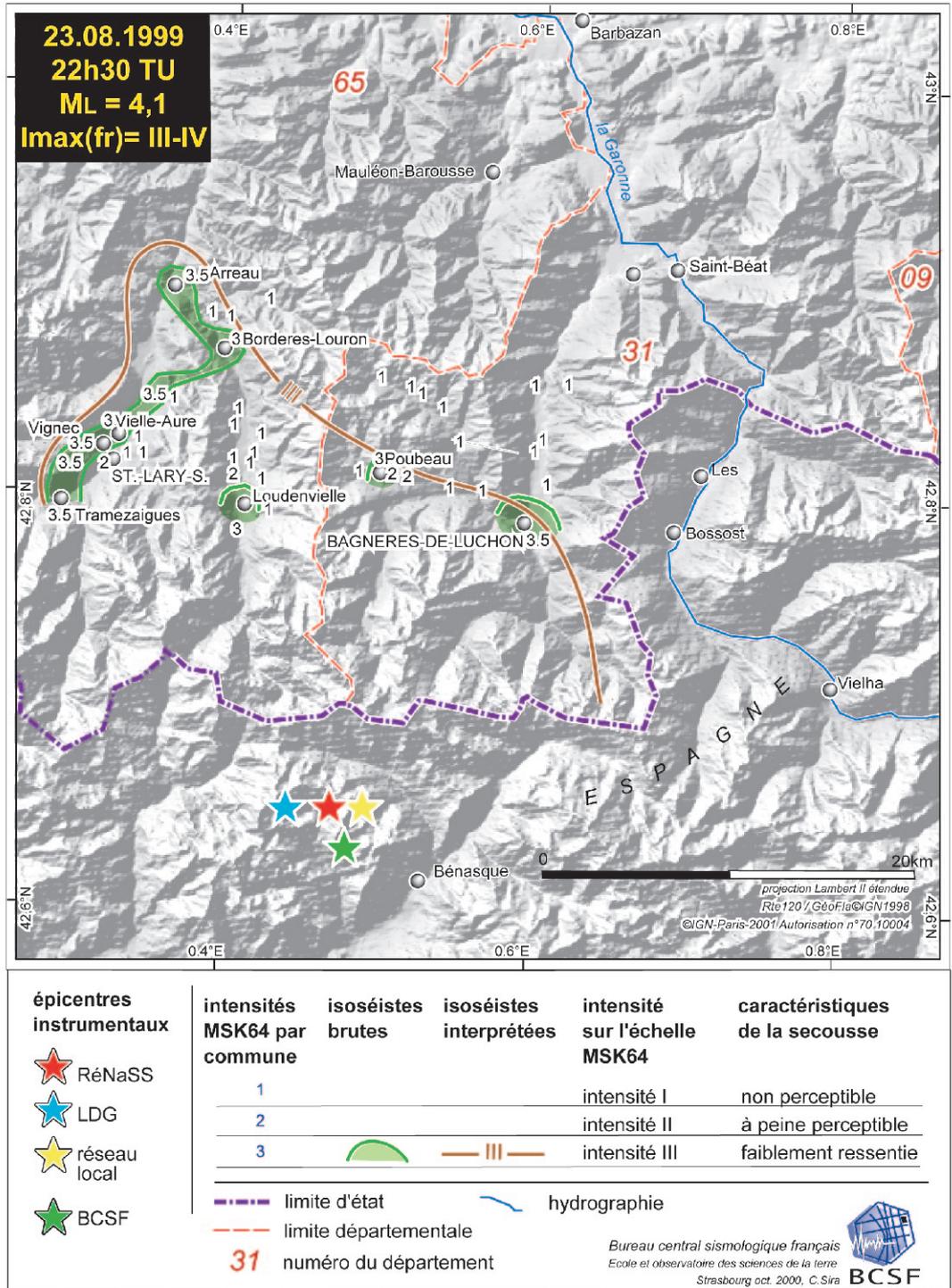
- Choukroune, P., Tectonic evolution of the Pyrenees, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 20, 143-158, 1992.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H. , Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, *Mém. Soc. géol. Fr.*, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Souriau, A., Sylvander, M., Rigo, A., Fels, J.F., Douchain, J.M. & Ponsolles, C., Sismotectonique des Pyrénées : principales contraintes sismologiques. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 172, 25-39, 2001.

**DONNEES  
MACROSISMIIQUES**

Intensité  
maximale : III-IV  
formulaire  
collectés : 46

**Calculs sur  
l'isoséiste  
d'intensité III**  
5800 habitants  
15 communes  
8 réponses  
à l'enquête

**Aucun  
dégât signalé**



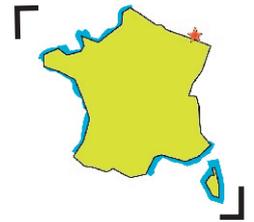
**Enquête macrosismique**

Dans la nuit du lundi 23 au mardi 24 août 1999 à 00h30mn (heure légale), le séisme de Bénéasque (Espagne) a légèrement perturbé les habitants de la vallée d'Aure de Tramezaigne à Arreau, et jusque dans la vallée de Luchon (Bagnères-de-Luchon) au sud-est du département des Hautes-Pyrénées. La secousse n'a duré qu'une fraction de seconde selon les quelques témoins réveillés

par celle-ci. Aucun mouvement de frayer n'est signalé par les communes, mairies et gendarmeries. 7 communes rapportent l'existence d'un bruit. L'intensité maximale atteinte en France (I<sub>max fr</sub>) est estimée entre III et IV, (secousse plutôt faiblement ressentie par peu de personnes). Ce séisme n'a fait aucun dégât. ■

# Séisme du 11 septembre 1999

## Nord nord-est de Merzig (Allemagne)



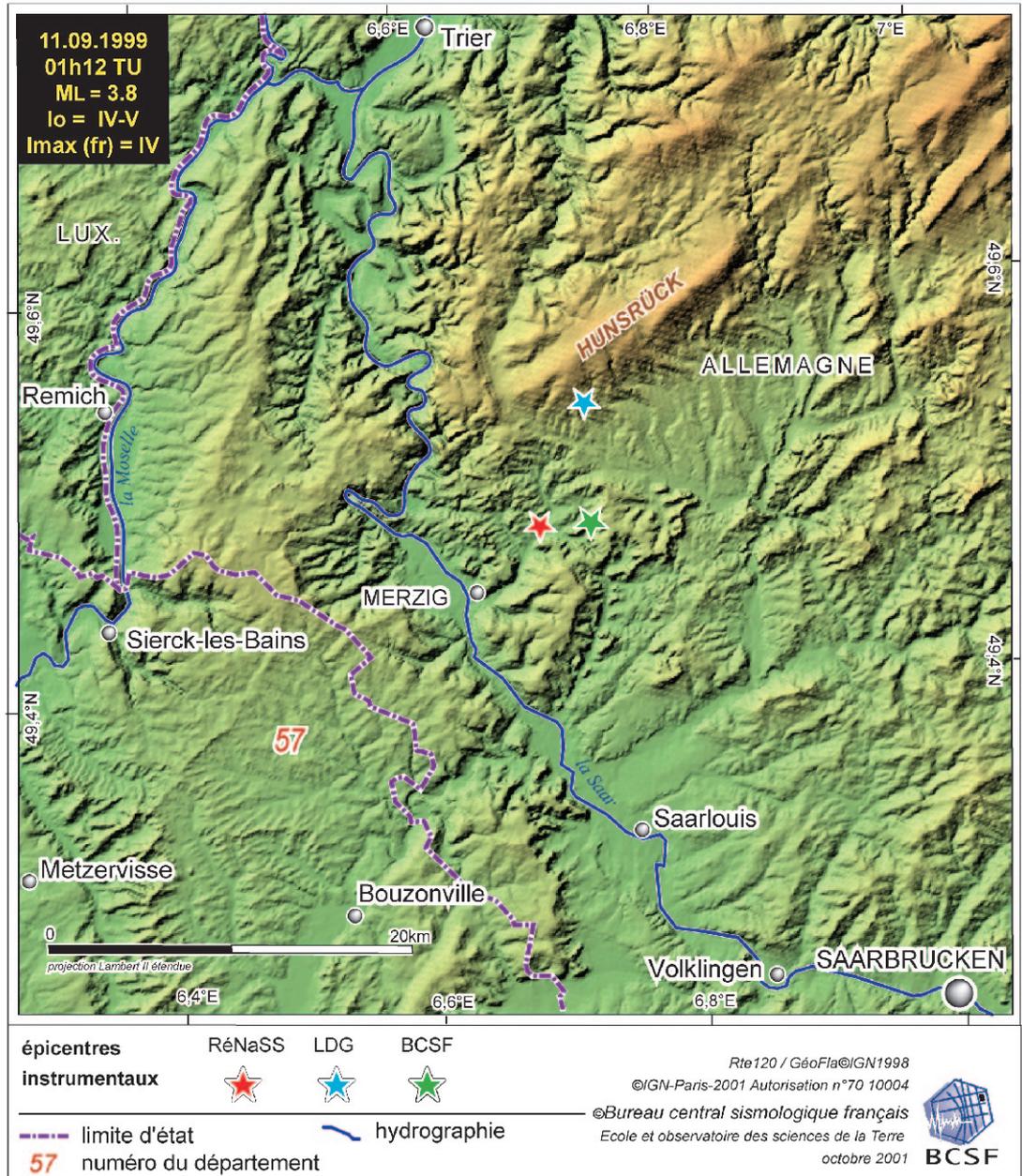
**HEURE**  
en temps universel :  
01h12mn  
en temps légal :  
03h12mn

**MAGNITUDE**  
RéNaSS : 3,8 ML  
LDG : 4 ML

**COORDONNEES**  
RéNaSS  
lat. : 49,48° N  
long. : 6,69° E  
profondeur : 2 km

LDG  
lat. : 49,54° N  
long. : 6,73° E  
profondeur : 2 km

BCSF  
lat. : 49,48° N  
long. : 6,73° E  
profondeur : 1 km



### Localisation

Ce séisme de magnitude 3,8 (RéNaSS) a son épïcêtre en Allemagne, au N-NE de Merzig. L'épïcêtre le plus probable nous paraît être celui du RéNaSS compte tenu de la bonne couverture en stations sismologiques dans la région. Il n'y a pas de séisme historique significatif dans un

rayon de 50 km (Amic, 1993 ; Bonjer, 1997) à l'exception peut-être d'un seul, mal localisé, près de Saarlouis en 1591 (Ahorn et Murawski, 1975). Ces derniers auteurs notent par ailleurs deux séismes tectoniques mineurs à proximité de l'épïcêtre du 11 septembre 1999 (1<sup>er</sup> avril 1931,

**Références citées**

- Ahorner, L. et Murawski, H., 1975. Erdbentätigkeit geologischer Wesdegang der Hunsrück - Südrand - Störung. Z dt. geol. Ges., 126, 63-82.
- Bonjer, K.P., 1997. Seismicity pattern and style of seismic faulting at the eastern border fault of the southern Rhine Graben, Tectonophys. 275, 41-69.
- Amic, J.F., 1993. Evaluation de l'aléa sismique dans le Nord-Est de la France. Dipl. Ing. Phys. du Globe, Strasbourg.

lo = V, 20 mai 1974, ML=2,9). Notons que cette zone est proche du bassin houiller de la Sarre au SE où l'activité minière est à l'origine de nombreuses secousses sismiques. La localisation de l'épicentre et l'analyse des enregistrements sismologiques du RéNaSS permettent de rejeter la possibilité d'une origine minière pour cet évé-

nement. L'épicentre est proche de la faille du Hunsrück qui délimite un relief marqué sur son flanc NW. L'origine de ce séisme est probablement lié à cette faille ou à des failles auxiliaires plus au sud. Ce séisme révélerait ainsi l'existence d'une activité tectonique à proximité de la faille du Hunsrück.

**Enquête macrosismique**

Selon l'enquête lancée le 11 septembre par le BCSF, ce léger tremblement de terre, ressenti par assez peu de personnes à la frontière franco-allemande entre la Moselle et la Sarre, a eu des effets modérés sur les constructions dans deux communes (Menskirch et Colmen).

que peu de données pour cette enquête, nous avons choisi de conserver l'ensemble des formulaires de qualité A (bonne) et B (quelques incohérences) afin d'obtenir une cartographie isoséiste plus complète. Nous indiquons par des points d'interrogations les intensités incertaines.

L'envoi des formulaires n'a pu être réalisé par la préfecture de Moselle qu'un mois et demi après l'événement. Ils furent remplis généralement à la mi-novembre par les mairies. Ce délai explique très certainement les incertitudes et incohérences relevées dans les témoignages collectés. N'ayant

Sur le territoire français, l'intensité III a été ressentie jusqu'à une trentaine de kilomètres de l'épicentre instrumental, et l'intensité maximale (Imax fr) a atteint le degré IV. Selon le BRGM (SISFRANCE), l'intensité comprise entre IV et V a été atteinte à l'épicentre en Allemagne. ■

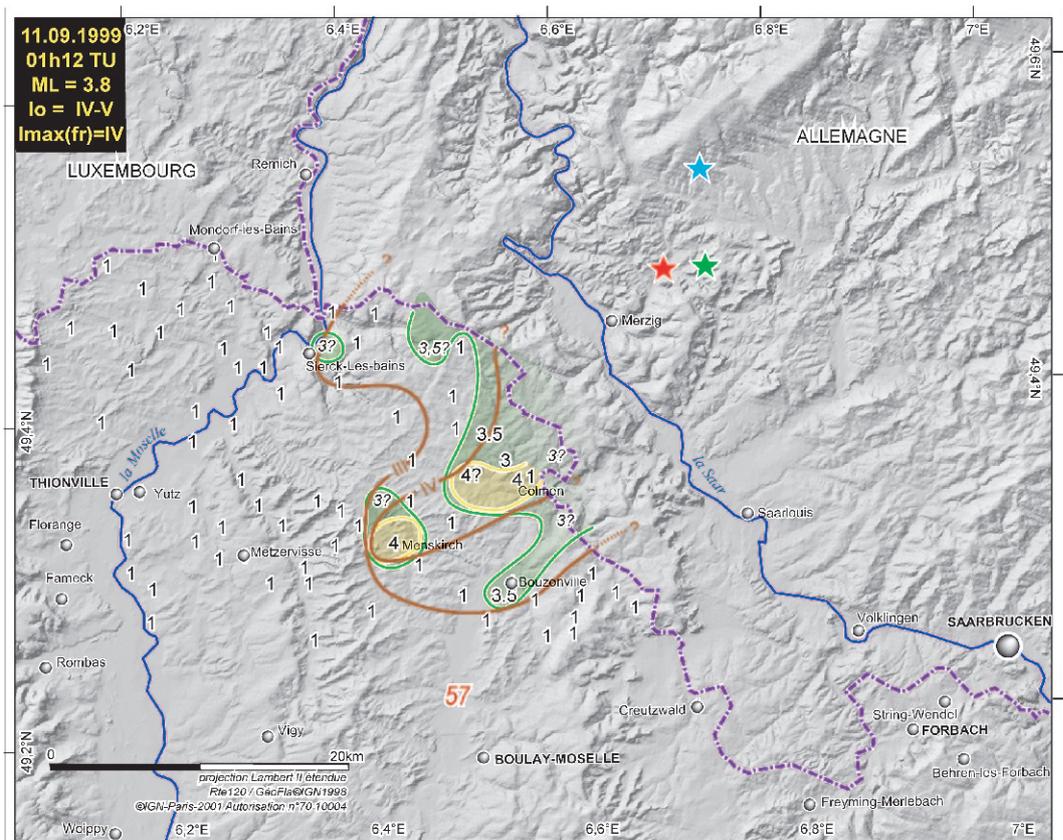
**DONNEES MACROSISMIQUES**  
 Intensité maximale (en France) : IV  
 formulaires collectés : 87

**Calculs sur l'isoséiste d'intensité III**  
 13200 habitants  
 27 communes  
 18 réponses à l'enquête

**Dégâts signalés**  
 2 communes



Région de la Saar



épicentres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1			intensité I	non perceptible
★ LDG	2			intensité II	à peine perceptible
★ BCSF	3			intensité III	faiblement ressentie
	4			intensité IV	largement ressentie

limite d'état  
 numéro du département  
 hydrographie

Bureau central sismologique français  
 Ecole et observatoire des sciences de la terre  
 Strasbourg oct. 2000, C.Sire

# Séisme du 13 septembre 1999

## Sud sud-est de Crémieu (Isère)



**HEURE**  
 en temps universel :  
 23h27mn  
 en temps légal :  
 01h27mn

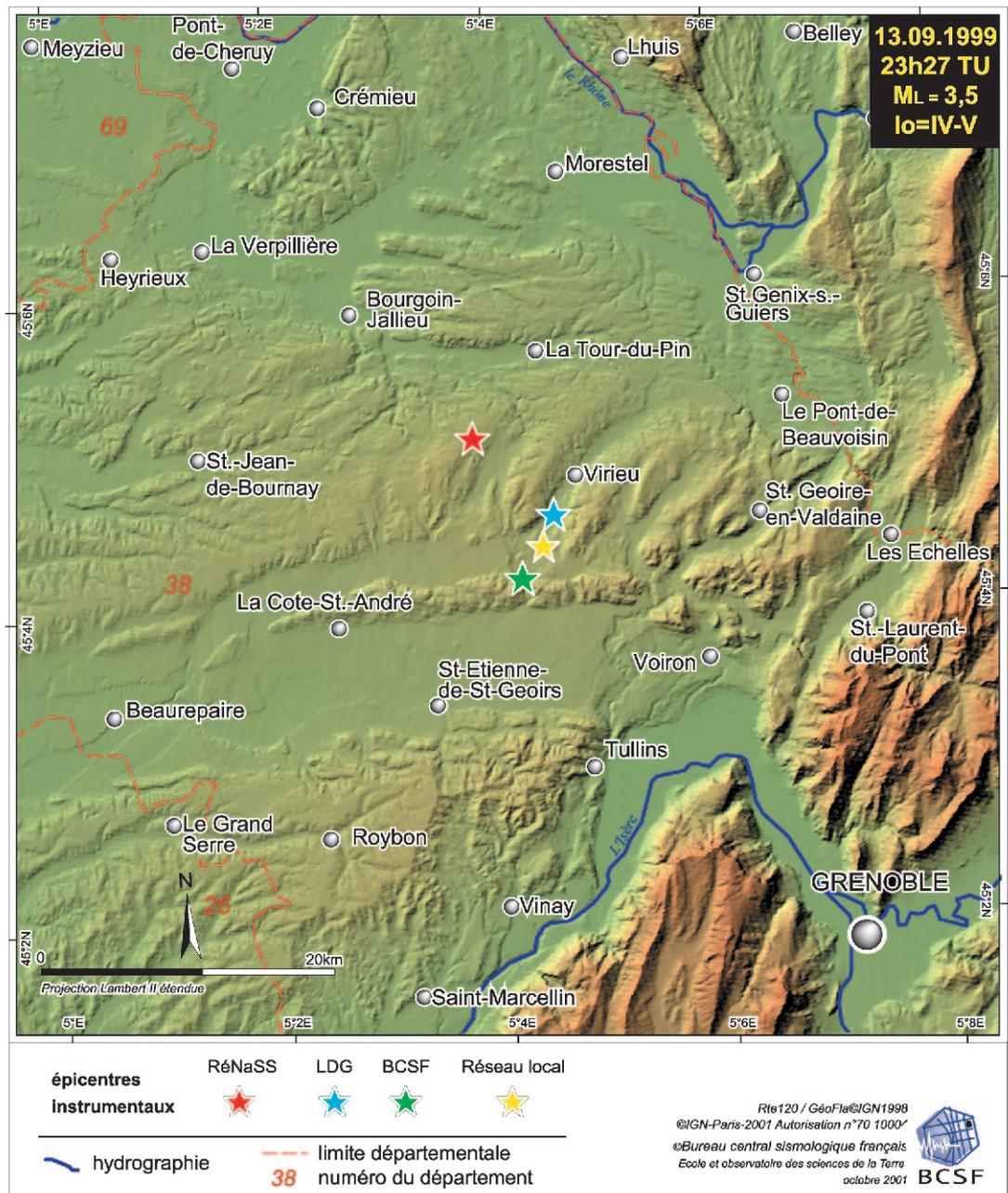
**MAGNITUDE**  
 RéNaSS : 3,5 ML  
 LDG : 4 ML  
 Sismalp : 3,1 ML

**COORDONNEES**  
 RéNaSS  
 lat. : 45,51° N  
 long. : 5,38° E  
 profondeur : 10 km

LDG  
 lat. : 45,46° N  
 long. : 5,45° E  
 profondeur : 4 km

Réseau local  
 Sismalp  
 lat. : 45,44° N  
 long. : 5,44° E  
 profondeur : 4 km

BCSF  
 lat. : 45,42° N  
 long. : 5,42° E  
 profondeur : 5 km



### Localisation

Le 14 septembre 1999 à 01h27 (temps légal) soit le 13 septembre 1999 à 23h27 (TU), un séisme de magnitude ML=3,5 (RéNaSS) a eu lieu dans le Dauphiné en bordure des Alpes. Les localisations du BCSF et du LDG sont proches de celle obtenue par le réseau sismologique de SISMALP, à

environ 2,5 km au SSW et NNE respectivement. La solution du RéNaSS se détache de ce groupe et se trouve à une dizaine de kilomètre au NW de la solution Sismalp. La localisation Sismalp se trouve à environ 35 kilomètres au NW de Grenoble, et à 5,5 kilomètres au SSW de Virieu,

la commune la plus proche. Les estimations de la profondeur du séisme sont comprises entre 4 et 10 kilomètres, mais aucune n'est très fiable (par exemple la station Sismalp la plus proche de l'épicentre est à 32 km).

### Sismicité régionale

L'Arc alpin est la région de France qui a connu l'activité sismique historique la plus importante, cependant cette activité reste relativement modérée par rapport à d'autres régions actives (voir par ex. Thouvenot et coll., 1998 ; Sue et coll., 1999). La région épiscopale du séisme du 13 septembre 1999 à 23h27 (TU) a connu dans le passé des séismes nettement ressentis tel le séisme historique de Voreppe en 1754 (Dauphiné), d'intensité épiscopale  $I_0 = VI-VII$ , situé à une quinzaine de kilomètres à l'ENE du séisme du 13 septembre 1999. Dans un rayon de 75 kilomètres on compte 3 séismes d'intensité épiscopale supérieure à VII ayant occasionnés des destructions :

- Bugey-Chautagne en 1822  
(Bresse,  $I_0 = VII-VIII$ ),
- Corençon en 1962  
(Vercors,  $I_0 = VII-VIII$ ,  $ML=5,3$ ),
- Epagny-Annecy en 1996  
(Haute Savoie,  $I_0 = VII-VIII$ ,  $ML=5,3$ ),  
(Lambert et coll. 1998).

### Contexte sismotectonique

Les Alpes occidentales résultent de la collision entre l'Europe et l'Afrique (à l'Eocène : 55-35 Ma, Tapponnier et coll., 1977 ; Le Moine et coll., 2000). Actuellement, la collision se traduit par de l'épaississement et du raccourcissement qui est accommodé, en particulier au niveau des chaînes subalpines et du Jura, par des chevauchements plio-quadernaires et des failles décrochantes obliques (voir par exemple Thouvenot et coll., 1998).

Le séisme du 13 Septembre 1999 TU ( $ML=3,5$ ) s'est produit dans le petit bassin molassique du Bas Dauphiné, à une vingtaine de kilomètres à l'ouest du massif de la Grande Chartreuse (appartenant aux chaînes subalpines) et à une quarantaine de kilomètres au sud de la terminaison Sud du Jura. Ce séisme s'est probablement

produit dans le socle, car sa profondeur varie entre 4 et 10 km selon les déterminations, l'altitude moyenne est localement d'environ 500 m à 600 m au dessus du niveau de la mer et l'épaisseur de la couverture sédimentaire est comprise entre 2 et 3 kilomètres.

D'après les mécanismes au foyers disponibles inverses ou décrochantes (Nicola et coll., 1990 ; Sue et coll., 1999), la direction de contrainte horizontale la plus compressive varie du N au S de E-W à NW-SE.

Dans un rayon d'une trentaine de kilomètres autour du séisme on trouve des signes de déformation récente selon des directions NE-SW associées à des plis ou à des chevauchements (en bordure du massif de la Grande Chartreuse et dans le bassin du Bas Dauphiné) et selon des directions NW-SE accommodant des mouvements décrochantes obliques dans la partie septentrionale du bassin du Bas Dauphiné et en bordure du Jura (voir la carte sismotectonique de la France de Grellet et coll., 1993).

### Références citées

- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H. , Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, Mém. Soc. géol. Fr, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Lemoine, M., de Graciansky, P.C. & Tricard, P., De l'océan à la chaîne de montagne : tectonique des plaques dans les Alpes, Soc. Géol. Fr. Coll. Géosciences, Gordon and Breach Sc. Publ., Paris, 207p., 2000.
- Nicolas, M., Santoire, J.P. & Delpéch, P.Y., Intraplate seismicity : new sismotectonic data in Western Europe, Tectonophysics, 179, 27-53, 1990.
- Sue, C., Thouvenot, F., Fréchet, J. & Tricart, P., Widespread extension in the core of the western Alps revealed by earthquake analysis. J. G. R., 104, 25611-25622, 1999.
- Tapponnier, P., Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée : poinçonnement et écrasement rigide-plastique, Bull. Soc. géol. Fr., (7), 437-460, 1977.
- Thouvenot, F., Fréchet, J., Tapponnier, P., Thomas, J. C., LeBrun, B., Ménard, G., Lacassin, R., Jenatton, L., Grasso, J. R., Coutant, O., Paul, A. & Hatzfeld, D., The ML-5.3 Epagny (French Alps) earthquake of 15 July 1996: a long-awaited event on the Vuache fault. Geophysical Journal International, 135, 876-892, 1998.

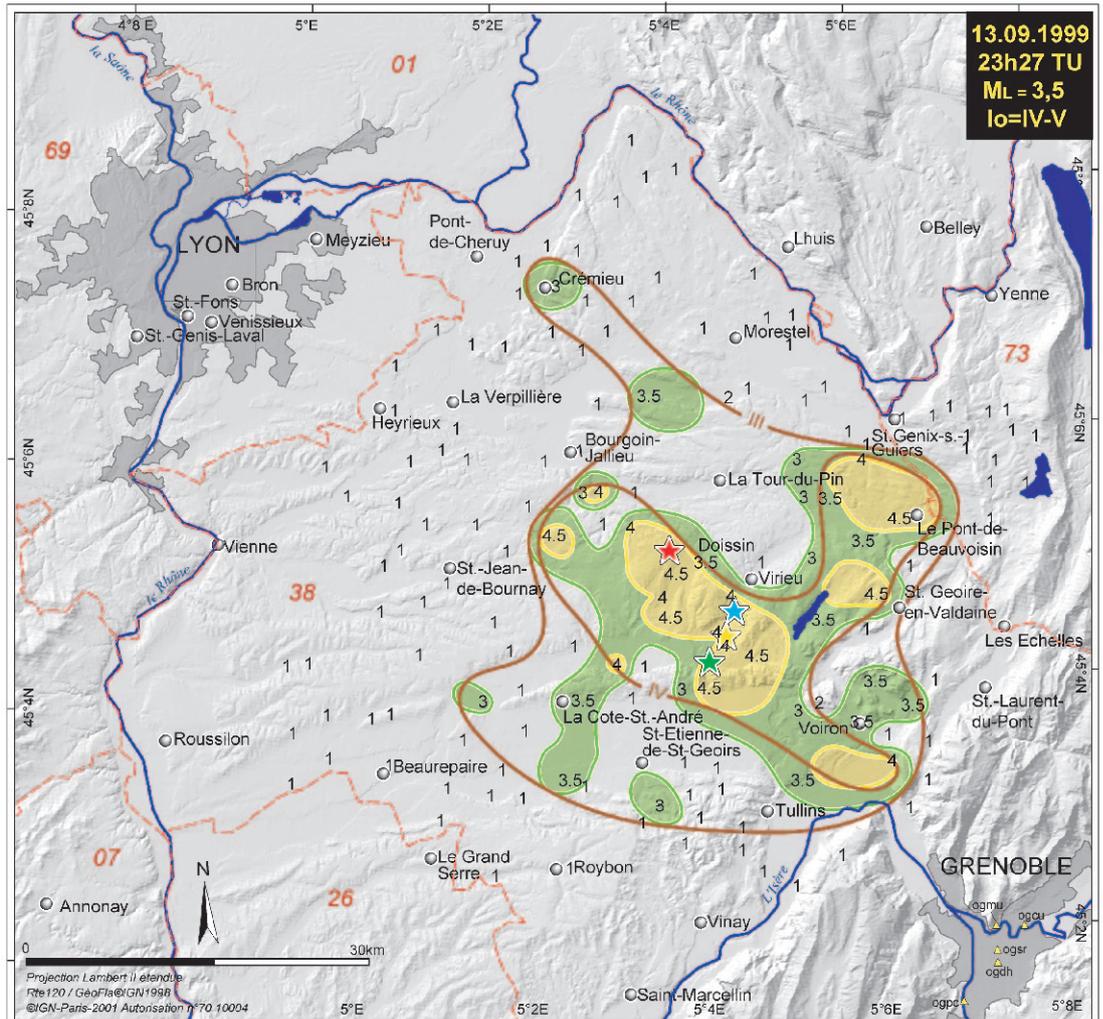
**DONNEES MACROSISMQUES**

Intensité maximale : IV-V  
formulaires collectés : 230

Calculs sur l'isoséiste d'intensité III  
524 km<sup>2</sup>

93000 habitants  
62 communes  
31 réponses à l'enquête

Dégâts signalés  
11 communes



épicentres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1			intensité I	non perceptible
★ LDG	2			intensité II	à peine perceptible
★ Réseau local	3		— III —	intensité III	faiblement ressentie
★ BCSF	4		— IV —	intensité IV	largement ressentie
station accélérométrique ▲ ogpc					
			— limite départementale		
			38 numéro du département		

Bureau central sismologique français  
Ecole et observatoire des sciences de la Terre  
Strasbourg octobre 2001, C.Sira  
**BCSF**

**Enquête macrosismique**

C'est dans un rayon d'une trentaine de kilomètres autour de l'épicentre que l'événement sismique du 13 septembre 1999 a réveillé les habitants. Localisé sur la canton de Grand-Lemps, ce séisme a atteint une intensité maximale estimée entre les valeurs IV et V (assez largement ressenti). L'enquête menée conjointement dans les trois départements de l'Ain, de l'Isère et de la

Savoie montre que 6 communes déclarent avoir eu majoritairement quelques dégâts de 1<sup>er</sup> degré, 4 de degré 1 et 2. Un dégât de degré 3 est noté par la commune de Doissin (lézardes profondes sur mur extérieur de bâtiment de type C). Le BCSF n'a pas de données d'experts en bâtiment sur ces dommages. ■

# Séisme du 3 octobre 1999

## Nord nord-ouest de Châteauroux (Indre)



**03.10.1999**  
**20h03mn TU**  
**ML = 3,7**  
**Io = IV**

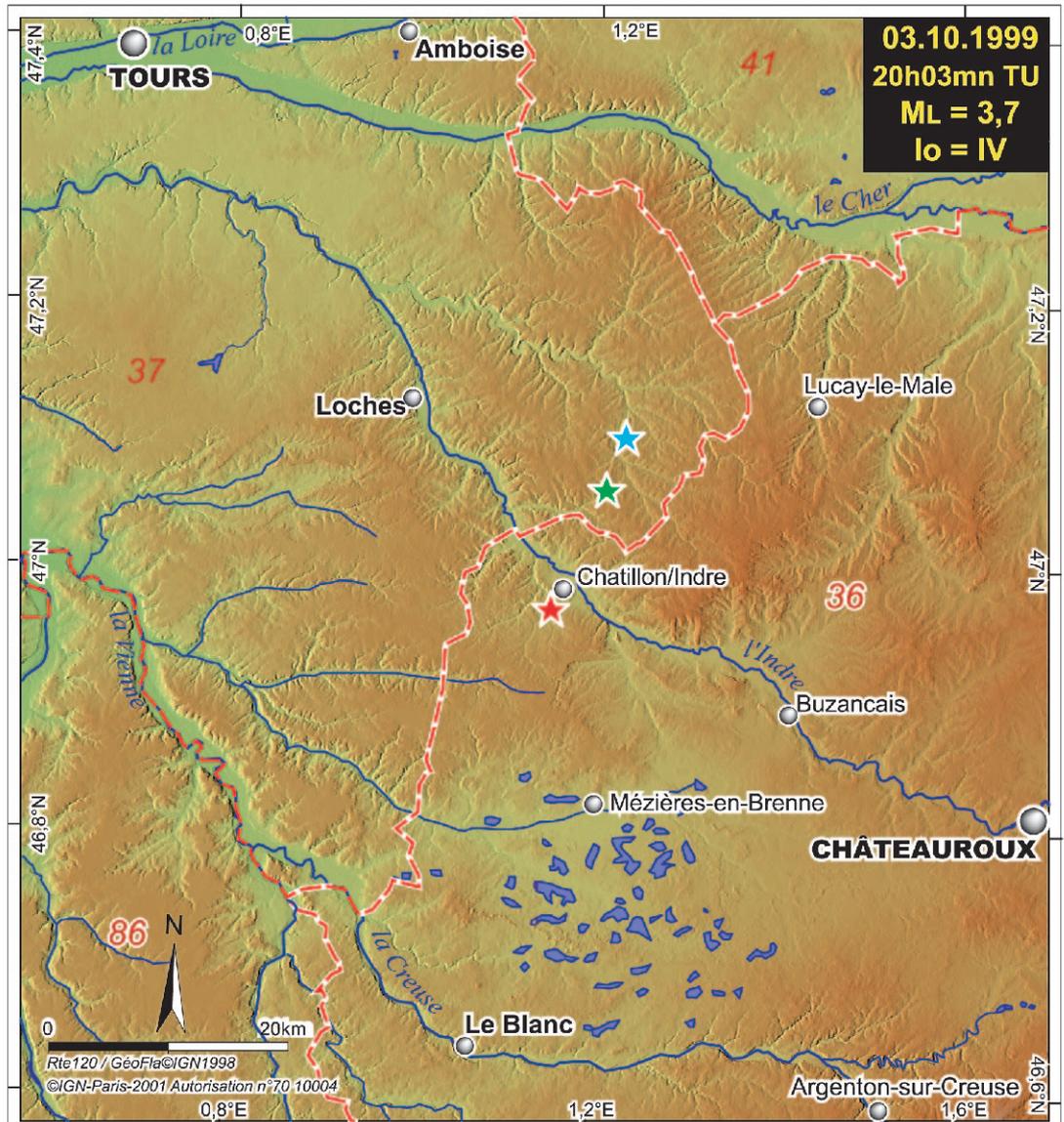
**HEURE**  
 en temps universel :  
 20h03mn  
 en temps légal :  
 22h03mn

**MAGNITUDE**  
 RéNaSS : 3,7 ML  
 LDG : 3,7 ML

**COORDONNEES**  
 RéNaSS  
 lat. : 46,97° N  
 long. : 1,15° E  
 profondeur : 15 km

LDG  
 lat. : 47,1° N  
 long. : 1,23° E  
 profondeur : 2 km

BCSF  
 lat. : 47,06° N  
 long. : 1,21° E  
 profondeur : 5 km



**épicentres instrumentaux**      RéNaSS      LDG      BCSF  
★      ★      ★  
 --- limite départementale      — hydrographie  
37 numéro du département

©Bureau central  
 sismologique français  
 Ecole et observatoire  
 des sciences de la Terre  
 Novembre 2001



### Localisation

Dans la soirée du dimanche 3 octobre 1999, à 22h03 (heure légale), un séisme de magnitude locale 3,7 (RéNaSS) s'est produit au NW de Châteauroux dans le département de l'Indre et

Loire (37). Cet événement n'a pas été suivi de réplique dans les semaines qui ont suivi. La localisation BCSF qui place le séisme sur la commune de Loches-sur-Indrois semble la meilleure

car elle prend en compte le plus de stations avec la meilleure couverture azimutale. La localisation du LDG se situe environ 6 kilomètres plus au nord, et celle du RéNaSS, une quinzaine de kilomètres vers le SSE.

### Sismicité régionale

La Région Centre-Ouest connaît une activité sismique modeste mais significative. Après l'Arc alpin, la Chaîne pyrénéenne et le Fossé rhénan, elle est la quatrième zone la plus active en France, du point de vue de la sismicité historique. Dans un rayon de 100 km autour du séisme du 3/10/1999 (ML=3,7), on compte dans le passé 3 séismes destructeurs d'intensité épiscopale (Io) MSK=VII-VIII : le séisme de 1579 dans les environs de la Châtre (Berry), celui de Sainte Maure en 1657 (Touraine) et celui de Loudun en 1711 (Poitou), Lambert et coll. (1998).

### Contexte sismotectonique

Le séisme du 3 octobre 1999 (ML=3,7) s'est produit à l'extrémité SE du massif Armoricaïn et au NW du massif Central, ces deux massifs appartenant à l'ancienne chaîne hercynienne. Dans la région épiscopale du séisme, l'épaisseur de la couverture sédimentaire mésozoïque atteint près de 1000 m (voir par exemple planche 2a, Grellet et coll., 1993). L'hypocentre du séisme est donc très probablement situé dans le socle.

Cet événement est peut-être lié au rejeu de l'extrémité SE d'un des accidents de la zone de faille hercynienne sud armoricaïne. De l'étude des mécanismes au foyer disponibles (Nicolas et coll.,

1990 ; Grellet et coll., 1993), il ressort que les contraintes tectoniques horizontales sont les contraintes compressives moyenne et minimum (ou distensive) orientées respectivement NW-SE et NE-SW. D'ouest en est, on passe d'une déformation actuelle de type décrochante-distensive (dextre selon les accidents NW-SE hérités de l'orogénèse hercynienne), à distensive.

D'après la carte sismotectonique de la France de Grellet et coll. (1993), les indices de déformation récente les plus proches ont été détectés à une cinquantaine de kilomètres à l'ouest, au sud-est et à l'est. Ceux-ci sont principalement associés à des failles normales décrochantes d'orientation NW-SE et des failles normales d'orientation NW-SE à N-S.

### Références citées

- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H. , Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, Mém. Soc. géol. Fr, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Nicolas, M., Santoire, J.P. & Delpéch, P.Y., Intraplate seismicity : new sismotectonic data in Western Europe, Tectonophysics, 179, 27-53, 1990.

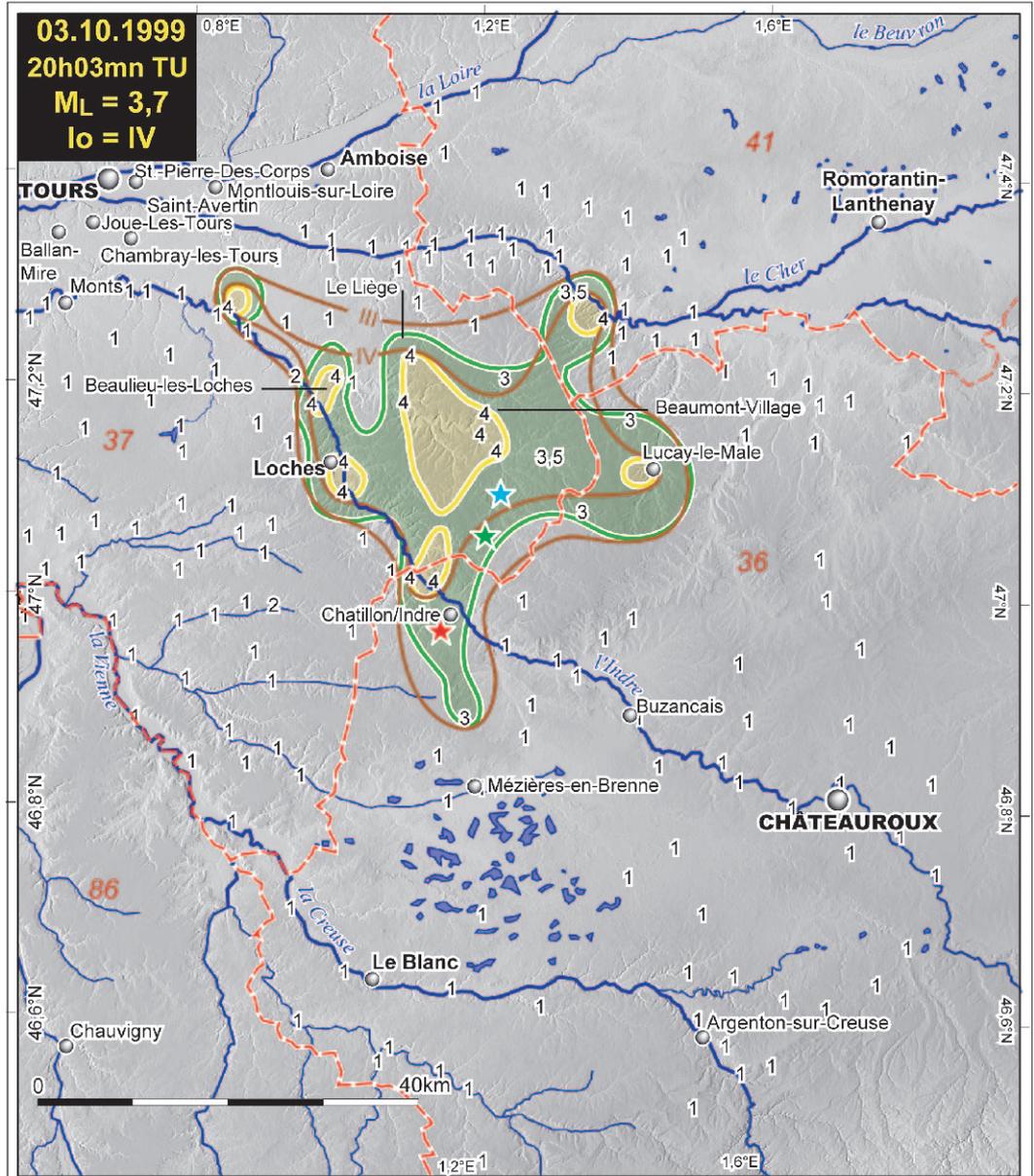
**DONNEES  
MACROSISMQUES**

Intensité  
maximale : IV  
formulaire  
collectés : 210

**Calculs sur  
l'isoséiste  
d'intensité III**

825km<sup>2</sup>  
33100 habitants  
29 communes  
21 réponses  
à l'enquête

**Dégâts signalés**  
3 communes



épicesentres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1			intensité I	non perceptible
★ LDG	2			intensité II	à peine perceptible
★ BCSF	3			intensité III	faiblement ressentie
	4			intensité IV	largement ressentie

--- limite départementale  
37 numéro du département  
hydrographie

Rte120 / GéoFla©IGN1998  
©IGN-Paris-2001 Autorisation n°70 10004  
©Bureau central sismologique français  
Ecole et observatoire des sciences de la Terre  
Septembre 2001, C. Sira **BCSF**

**Enquête macrosismique**

Menée dans les trois départements de l'Indre, du Loir-et-Cher, et de l'Indre-et-Loire, l'enquête macrosismique du BCSF du 4 octobre a montré clairement que le séisme a été assez peu perçu par la population. Les SIDPC ont fait diffuser les questionnaires d'enquête auprès des mairies, des gendar-

meries et des casernes de sapeurs pompiers dans un rayon d'une quarantaine de kilomètres autour de la région épicesentrale. Le retour des formulaires a été effectif dans sa totalité le 7 janvier 2000. Le BCSF a reçu pour les 3 départements 210 réponses dont 28 positives (le séisme a été perçu) et 179

négatives (le séisme n'a pas été ressenti). Le séisme a été globalement peu ressenti en lieu clos (20 réponses sur 28), et le plus souvent non reconnu immédiatement comme un tremblement de terre (20 réponses sur 28). L'intensité IV a été observée dans certaines communes de la région épiscopale (entre Loches et Lucay-le-Male). L'isoseisme III a été estimée sur un rayon d'environ 20 km.

Les témoignages ne rapportent aucune panique de la part des habitants qui semblent avoir été, dans de rares cas seulement, un peu effrayés. Une perte d'équilibre a été notée sans précision de la situation de la personne.

23 formulaires signalent des effets sur les objets. Parmi ceux-ci, 50% des réponses sont des vibrations d'objets, de vitres ou vitrines, dont 25% aux étages supérieurs. 50% des 23 formulaires signalent des craquements de poutres et de planchers. Un seul formulaire souligne des battements de portes et fenêtres (étages supérieurs) sans dégât particulier.

Les animaux domestiques ont été peu réactifs à ce phénomène et n'ont été signalés nerveux que dans la région épiscopale d'intensité IV.

22 réponses sur les 28 positives reçues signalent un bruit lors de la secousse. Ces bruits sont décrits comme des grondements souterrains ou aériens.

Dans le département de l'Indre, il a été fait mention de dégâts dans 3 communes : Beaulieu-les-Loches, Beaumont-Village et le Liège, principalement quelques fissures de murs, intérieurs ou extérieurs.

# Séisme du 4 octobre 1999

## Ouest de Saint-Béat (Haute-Garonne)



**HEURE**  
 en temps universel :  
 18h14mn  
 en temps légal :  
 20h14mn

**MAGNITUDES**  
 RéNaSS : 4,8 ML  
 LDG : 5,1 ML  
 SGC\* : 4,5ML

**COORDONNEES**  
 RéNaSS  
 lat. : 42,86° N  
 long. : 0,60° E  
 profondeur : 10 km

LDG  
 lat. : 42,92° N  
 long. : 0,60° E  
 profondeur : 10 km

Réseau local  
 RSSP  
 lat. : 42,870° N  
 long. : 0,637° E  
 profondeur : 17 km

BCSF  
 lat. : 42,94° N  
 long. : 0,62° E  
 profondeur : 15 km

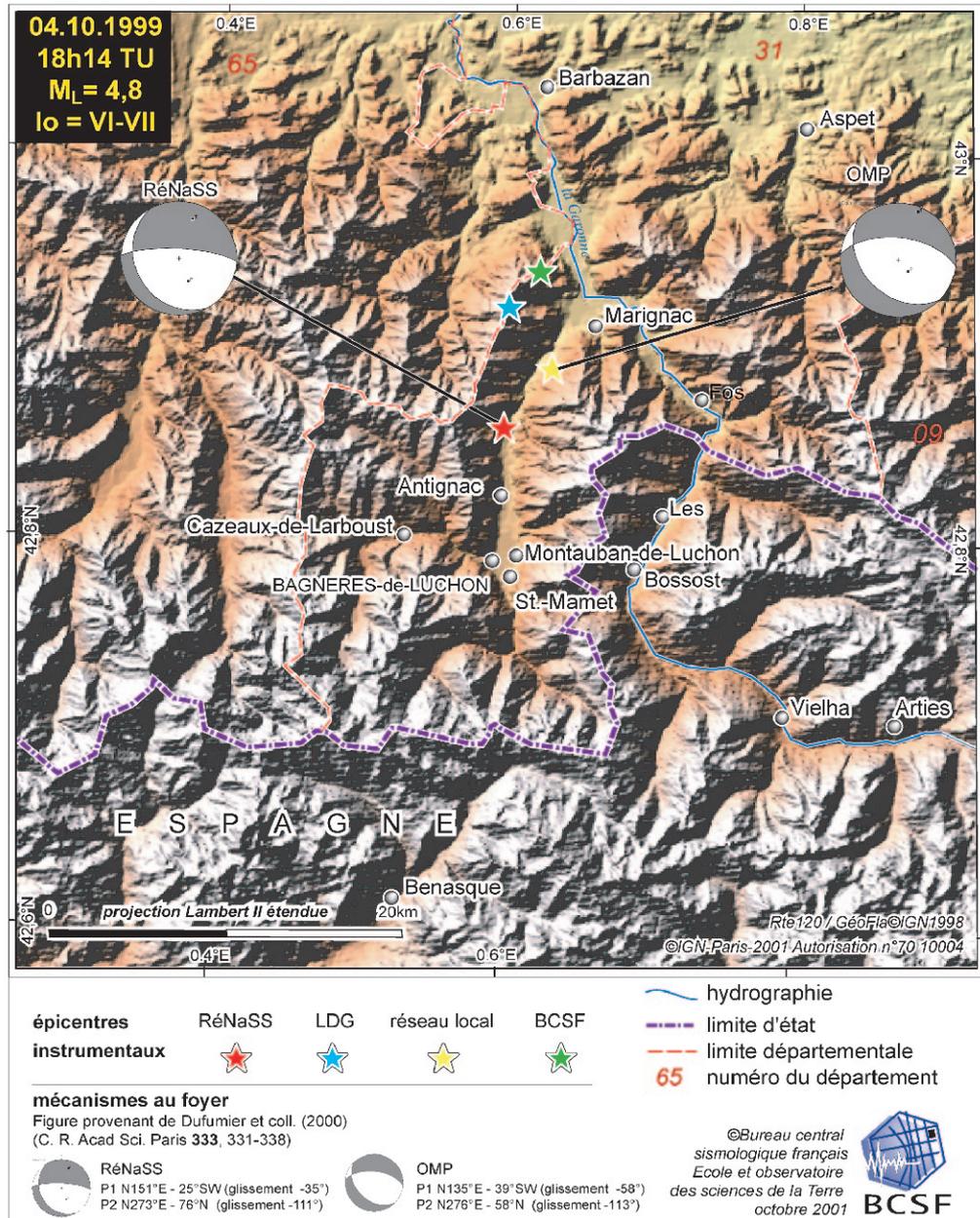
SGC\*  
 lat. : 42,89° N  
 long. : 0,63° E  
 profondeur : 11 km

**MECANISME  
 AU FOYER**  
 données OMP  
 18 polarités  
 données RéNaSS  
 18 polarités

sources :  
 Observatoire Midi-  
 Pyrénées et Réseau  
 national de  
 surveillance  
 sismique

solutions publiées par  
 Dufumier et coll. (2000),

\* localisation publiée par  
 l'ICC dans son Bulletin  
 Sismologique 1999.



### Localisation

Dans la soirée du lundi 04 octobre 1999, à 20h14 (heure légale), un séisme de magnitude ML=4,8 (RéNaSS) s'est produit dans la région de Saint-Béat (Haute-Garonne) à la limite des départements des Hautes-Pyrénées et de la Haute-Garonne. Cette secousse, bien ressentie par la population, est l'une des plus importantes détectées dans cette région du front nord-pyrénéen

depuis le séisme de la Mongie du 6 janvier 1989 (ML=4,9). Elle a été enregistrée par l'ensemble des stations sismologiques françaises et espagnoles. Le séisme du 4 octobre 1999 s'est produit à près de 20 kilomètres au nord de celui du 2 juillet 1997 (ML=3,9, lo MSK= IV) qui fait l'objet d'une fiche dans la présente publication.

Autres magnitudes publiées :

**ML** : LEDBW (Freiburg) = 4,6 ;

**mb** : USGS=4,4; LDG=4,5; MDD=4,5 ; IGN Madrid et KIS=4,7 ;

**Mw** : 4,4 (Mo=4,3  $10^{15}$  Nm, Dufumier et coll., 2000). Moyenne ML=4,8 : magnitude BCSF.

Les solutions données par l'OMP et le SGC combinent les stations françaises et espagnoles (RSSP, SGC et LDG).

Ce séisme a été suivi à 22h34 (heure légale) d'une réplique plus faible (2,2ML selon le RéNaSS et 1,6 selon le SGC) enregistrée par les réseaux locaux.

### Sismicité régionale

La chaîne des Pyrénées est la seconde région en France, après les Alpes, de par son activité sismique historique. Le choc du 4 octobre 1999 se trouve à une trentaine de kilomètres à l'est de la faille, de l'Adour. Alors qu'à l'ouest de cette faille la sismicité pyrénéenne se distribue selon une bande étroite axée le long de la faille nord-pyrénéenne (FNP), plus à l'est, entre la faille de l'Adour et le massif granitique de Maladeta (zone axiale de la chaîne des Pyrénées), la sismicité est nettement plus diffuse et clairsemée selon les cartes de sismicité instrumentale ; voir par exemple la carte de la Sismicité de la France 1962-1993 du CEA-LDG (1995) et celles de la période 1989-1999 de Souriau et coll. (2001).

Le séisme du 4 octobre 1999 s'est produit dans une région qui a souvent subi des dégâts causés par des tremblements de terre.

Dans un rayon de 75 km autour de la zone épiscopale du séisme du 4 octobre 1999, on compte 5 séismes historiques destructeurs d'intensité épiscopale ( $Io$ )  $MSK \geq VIII$  :

- Ribagorza en 1373 (Espagne,  $Io=VIII-XI$ ),
- Bagnères en 1660 (Bigorre,  $Io=VIII-IX$ ),
- Juncal en 1750 (Bigorre,  $Io=VIII$ ),
- Argeles-Gazost en 1854 (Bigorre,  $Io=VII-VIII$ ),
- Viella en 1923 (Espagne, Val d'Aran,  $Io=VIII$ ) (Lambert et coll., 1998).

Plus récemment, cette région a connu le séisme de la Mongie (aussi dit de Campan) en 1989 (ML=4,9,  $Io=V-VI$ , Bigorre, épiscote situé à 55 km au NW de celui du séisme du 4 octobre 1999), qui est localement l'avant dernier choc fortement ressenti et ayant causé des dégâts légers.

### Contexte tectonique général

La formation de la chaîne des Pyrénées a débuté vers -70 Ma, lors de la convergence entre les plaques Ibérie et Eurasie en réponse à la montée vers le nord de l'Afrique. Ce processus de collision fait suite à une période d'extension liée à la propagation vers le nord de la Ride médio-atlantique qui s'est traduite entre -115 et -80 Ma par l'ouverture du golfe de Gascogne avec accretion océanique (voir par ex. Mattauer, 1990 ; Choukroune, 1992). Parmi les accidents tectoniques majeurs de la chaîne des Pyrénées, comptent principalement la faille nord-pyrénéenne (FNP, bordant au nord la zone axiale des Pyrénées), le chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP, chevauchant vers le nord) et le chevauchement sud-pyrénéen (CSP, chevauchant vers le sud) qui limitent au nord et au sud la chaîne des Pyrénées (voir par ex. Choukroune, 1992). Alors que le CFNP n'est distant que d'une trentaine de kilomètres du centre de la zone axiale, le CSP en est sur les deux tiers de sa longueur à près de 80 km. Ceci est lié à la structure asymétrique de la chaîne, dont les nappes de charriage mises en place lors de la phase de collision sont principalement déversées vers le sud (le versant espagnol étant nettement moins abrupt que le versant français). La plaque Eurasie agit sur la plaque Ibérie comme un indenteur, la croûte inférieure de l'Ibérie subductant partiellement sous l'Eurasie (voir par ex. Souriau & Granet, 1995 ; Roue et Choukroune, 1998). La FNP, faille sub-verticale (au moins au travers de la croûte supérieure), est située à l'endroit d'une brusque variation de l'épaisseur de la croûte terrestre qui passe de 30 km au nord à 55 km au sud. La FNP est considérée comme une limite de plaque entre l'Eurasie et l'Ibérie. Elle a joué en faille transformante lors de l'ouverture du Golfe de Gascogne (voir par ex. Choukroune et Mattauer, 1978), et qui a été plus ou moins déformée par la collision continentale (voir par ex. Mattauer, 1990 ; Roue et Choukroune, 1998).

Les failles citées délimitent les principales unités de la chaîne des Pyrénées. La zone nord-pyrénéenne est limitée au nord par le chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP). Elle est composée essentiellement de dépôts de flysch mésozoïque et quelques unités paléozoïques, en particulier les massifs nord-pyrénéens dans la partie centrale de la chaîne. La zone paléozoïque axiale comprend les plus hauts sommets de la chaîne. Cette zone est composée de formations paléozoïques déformées par l'orogénèse hercynienne et reprises par l'orogénèse alpine. Elle est limitée au nord par la faille nord-pyrénéenne (FNP). La couver-

ture sédimentaire de la zone sud-pyrénéenne est quant à elle composée de dépôts mésozoïques et cénozoïques. Cette dernière unité est limitée au sud par le chevauchement sud-pyrénéen (CSP), chevauchant le bassin de l'Ebre où les séries cénozoïques reposent sur un socle hercynien (voir par exemple Choukroune, 1992).

### Contexte sismotectonique régional

Le choc du 4 octobre 1999 se trouve à environ 5 km au sud de la FNP, dans la zone axiale de la chaîne des Pyrénées. Les mécanismes au foyer disponibles les plus proches correspondent à des séismes dont les épicentres sont situés à une quarantaine de kilomètres plus au NW (voir par ex Grellet et coll., 1993 ; Souriau et coll., 2001). Leurs mécanismes sont principalement décrochants (avec des plans nodaux quasiment verticaux orientés E-W ou N-S) ou inverses (avec des plans nodaux orientés NE-SW). Ces mécanismes au foyer et l'essentiel des signes de déformation récente (failles décrochantes, inverses, plissements), sont situés au nord de la FNP et sont compatibles avec une contrainte tectonique compressive d'orientation N-S à NW-SE, (voir la carte de Grellet et coll., 1993 ; et Souriau et coll., 2001).

Les mécanismes au foyer déterminés par l'OMP/RSSP ou le RéNaSS pour le séisme du 4 octobre 1999 (voir Dufumier et coll., 2000) sont assez voisins. Ils sont compatibles avec le jeu essentiellement en faille normale d'un accident soit orienté E-W avec un fort pendage vers le nord, soit NW-SE avec un pendage inférieur à 40° vers le SW. Le mécanisme au foyer déterminé par la modélisation de la forme des ondes de surface (Dufumier et coll., 2000), est assez différent des deux premiers. Il est compatible avec le jeu de failles principalement inverses NE-SW. Ce dernier mécanisme semble cohérent par rapport au contexte tectonique, mais n'explique pas de manière convaincante 7 des 19 polarités d'onde P utilisées pour établir les deux autres. Il apparaît donc moins fiable. A la lumière des différents travaux de recherche publiés, le mécanisme du séisme du 4 octobre s'intègre difficilement dans le schéma tectonique actuellement admis dans la région.

### Références citées

- Butlletí Sismològic 1999, Institut cartogràfic de Catalunya, pp. 154, 2000.
- Choukroune, P. & Mattauer, M., Tectonique des plaques et Pyrénées : sur le fonctionnement de la faille transformante nord-pyrénéenne ; comparaison avec des modèles actuels, Bull. Soc. géol. Fr., (7)20, 698-700, 1978.
- Choukroune, P., Tectonic evolution of the Pyrenees, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 20, 143-158, 1992.
- Dufumier, H., Souriau, A., Sylvander, M., Judenherc, S. & Granet, M., Calculs de magnitudes et mécanisme au foyer pour le séisme de Saint-Béat du 4 Octobre 1999, C. R. Acad. Sci., 331, 331-338, 2000.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H. , Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, Mém. Soc. géol. Fr, n°164, 1993.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Mattauer, M., Une autre interprétation du profil ECORS Pyrénées, Bull. Soc. géol. Fr., (8)6, 307-311, 1990.
- Roure, F. & Choukroune, P., Contribution of the ECORS seismic data to the Pyrenean geology: crustal architecture and geodynamic evolution of the Pyrenees, Mém. Soc. géol. Fr, 173, 37-52, 1998.
- Sismicité de la France 1962-1993 (carte), CEA-Laboratoire de Détection et de Géophysique, Bruyères-le-Chatel, 1995.
- Souriau, A. & Granet, M., A tomography study of the lithosphere beneath the Pyrenees from local and teleseismic data, J. Geophys. Res., 100, 18117-18134, 1995.
- Souriau, A., Sylvander, M., Rigo, A., Fels, J.F., Douchain, J.M. & Ponsolles, C., Sismotectonique des Pyrénées : principales contraintes sismologiques. Bull. Soc. Géol. Fr., 172, 25-39, 2001.

## Enquête macrosismique

L'enquête macrosismique menée par le BCSF à partir du 5 octobre, s'est faite grâce à l'aide apportée par le service interministériel de défense et de protection civiles (SIDPC) des préfectures des départements suivants : Ariège, Aude, Aveyron, Gers, Gironde, Haute-Garonne, Hautes-Pyrénées, Hérault, Landes, Lot, Pyrénées-Orientales, Pyrénées-Atlantiques, Tarn, Tarn et Garonne.

Le SIDPC a fait diffuser les questionnaires d'enquête auprès des mairies, des gendarmeries, et des casernes de sapeurs pompiers sur un rayon d'environ 150 kilomètres autour de la région épiscopale (lesquelles répercutent souvent les questionnaires à la population pour réponse).

En date du 15 janvier 2000, le BCSF a reçu pour l'ensemble des 15 départements 3105 réponses dont 600 positives (le séisme a été perçu) et 2505 négatives (le séisme n'a pas été ressenti).

Le séisme du 4 octobre 1999 de magnitude 4,8 est l'un des plus importants survenus dans cette partie des Pyrénées sur plusieurs décennies. Malgré sa magnitude, il a été suivi par peu de répliques. L'OMP (selon Annie Souriau) n'a localisé que 2 seules répliques : une le jour même à 20h34, une le lendemain à 09h21. Il n'y a pas eu non plus de précurseur localisé.

L'enquête macrosismique a montré clairement que le séisme a provoqué plus de peur que de mal, aucune personne n'a été blessée. Il a été largement ressenti par la population.

L'intensité macrosismique maximale a atteint le degré VI-VII. En général le séisme a provoqué des dégâts matériels modérés : fissurations des plâtres des plafonds, des cloisons intérieures, des murs extérieurs ; chute de débris de plâtres, et de morceaux de crépi.

Lors d'une visite à Sost, le BCSF a pu constater des dégâts sévères, attribués au séisme selon le maire ; en particulier sur l'église du village, marquée des deux côtés d'une large fissuration. Deux blocs de pierre sont également tombés causant des dégâts sur le toit inférieur du bâtiment. (photos 1,2,3). D'autres fissures ont été constatées dans les maisons du village.

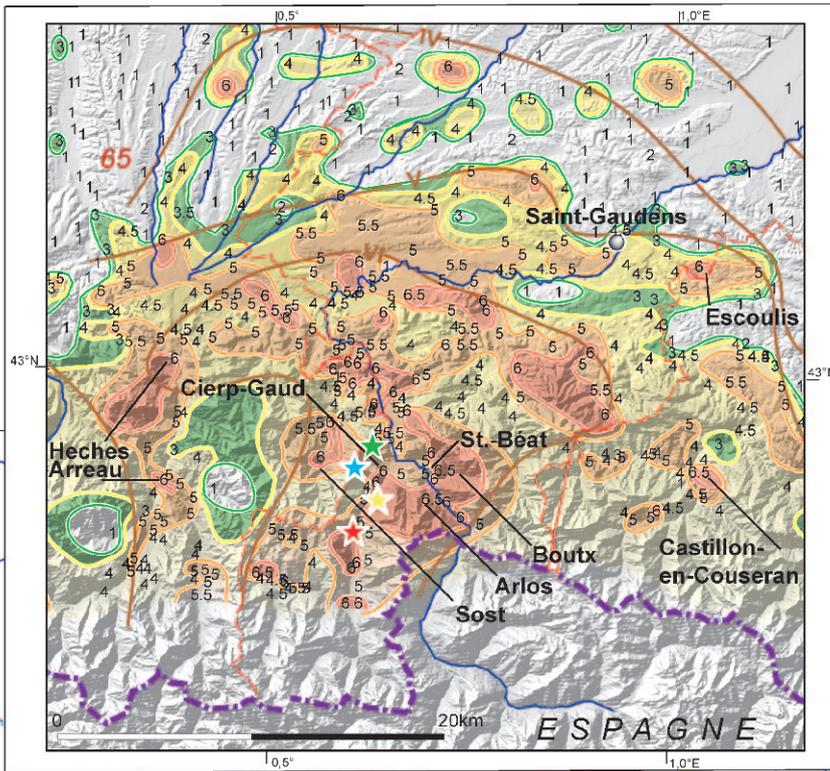
photo 1 : emplacement du bloc supérieur du contrefort



photo 2 : lézarde profonde du mur extérieur le long du contrefort.



photo 3 : Les deux blocs décrochés des contreforts ayant endommagé la toiture servent ici au maintien de la bâche anti-infiltration .



**DONNEES MACROSISMQUES**

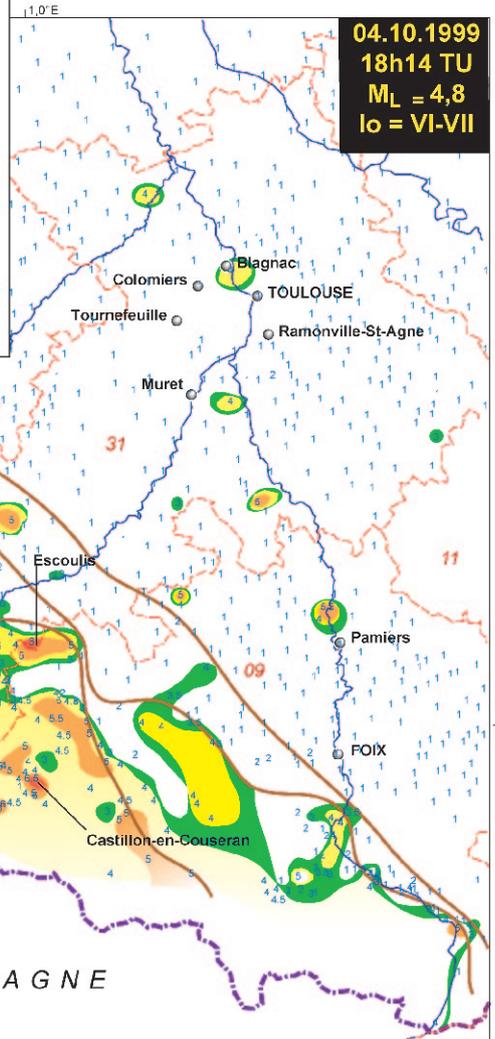
Intensité maximale : entre VI et VII  
formulaires collectés : 4341

**Calculs sur l'isoséiste d'intensité III**

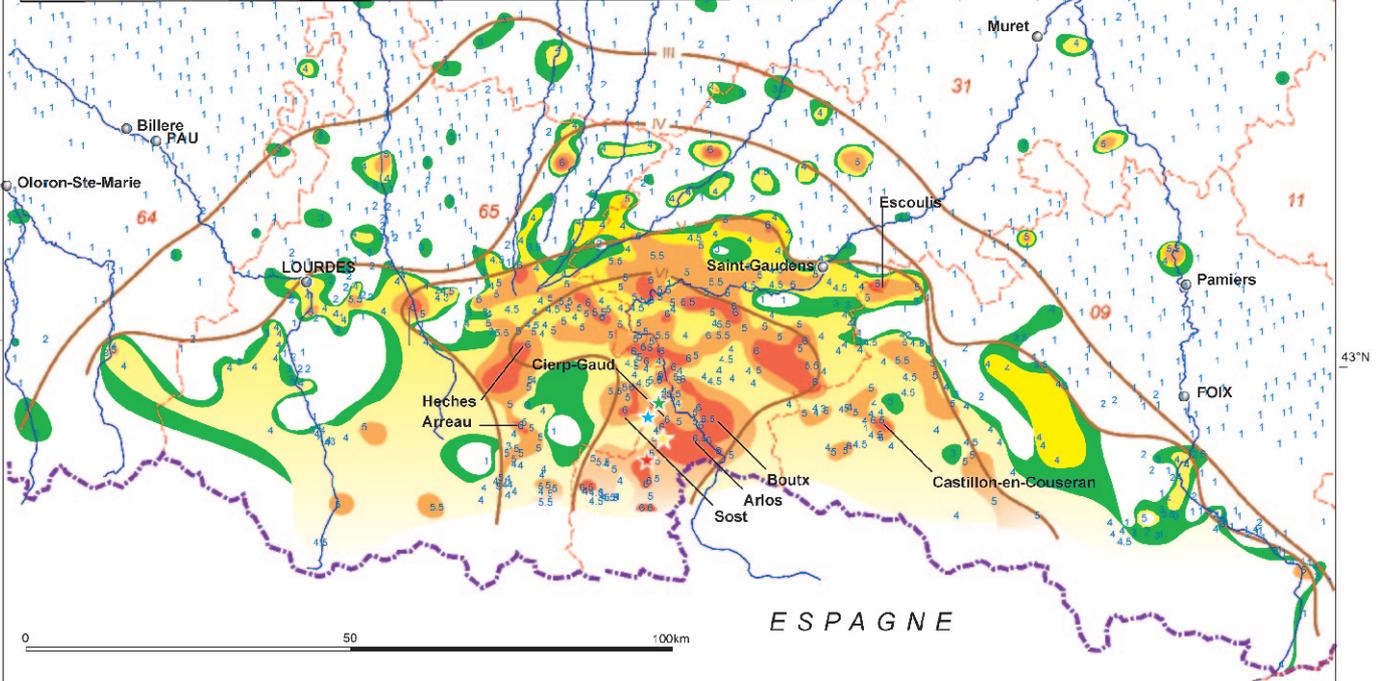
297800 habitants  
536 communes  
481 réponses à l'enquête

enquête portant sur 15 départements

**Dégâts signalés**  
172 communes



**04.10.1999**  
**18h14 TU**  
**M<sub>L</sub> = 4,8**  
**I<sub>0</sub> = VI-VII**



épicentres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	isoséistes interprétées	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1		— III —	intensité I	non perceptible
★ LDG	2		— IV —	intensité II	à peine perceptible
★ BCSF	3		— V —	intensité III	faiblement ressentie
	4		— VI —	intensité IV	largement ressentie
	5		— VII —	intensité V	assez forte
	6			intensité VI	forte avec frayeur
★ réseau local	7			intensité VII	très forte

- limite d'état
- limite départementale
- 31 numéro du département hydrographie

Rte 120 / GéoFlis©IGN1998  
©IGN Paris 2001 Autorisation n°70 10004  
Bureau central sismologique français  
Ecole et observatoire des sciences de la Terre  
Septembre 2001 **BCSF**

### Analyse des dégâts portant sur l'ensemble des 15 départements (09,11,12,31,32,33,34,40,46,47,65,64,66,81,82)

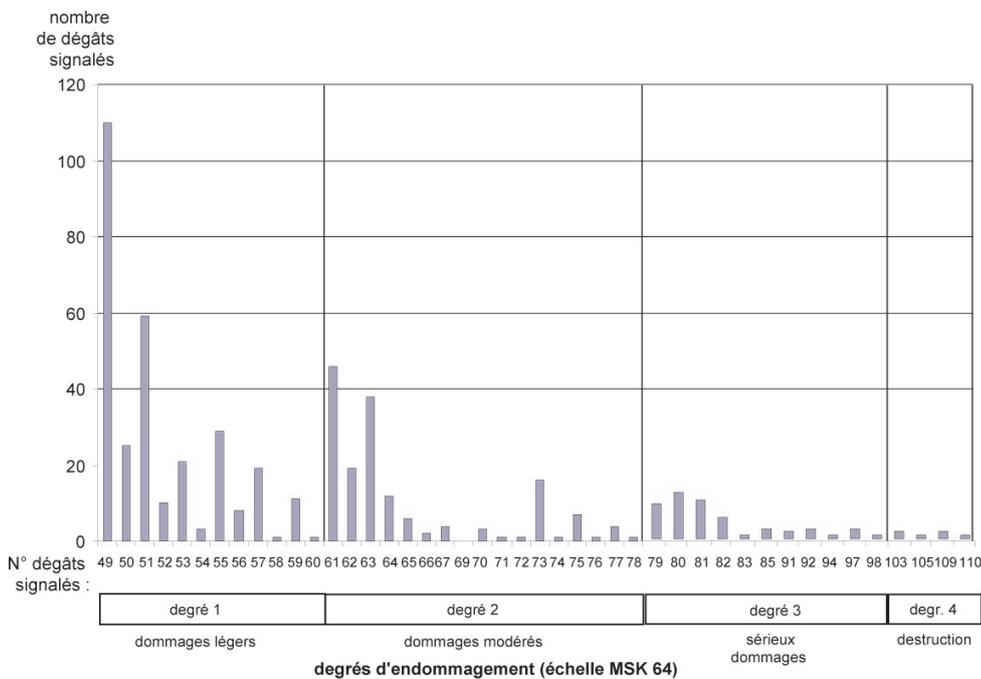
208 réponses, pour 172 communes sur 2792 enquêtées, signalent des dégâts.

Les rapports sur les dégâts constatés sont les suivants :

- dommages légers : 57% ,
- dommages modérés : 31% ,
- dommages sérieux 11% ,
- destruction : 1%

Les dégâts mentionnés sont principalement du premier degré (fissurations de plâtres ou des chutes de petits débris de plâtres) ou du second degré (fissurations de murs, chutes d'assez gros blocs de plâtre, chutes de tuiles ou d'ardoises, fissurations de cheminées ou chutes de parties de cheminées).

### Synthèse des dégâts signalés au 15 janvier 2000



### Extrait du formulaire d'enquête (effets sur les constructions)

#### 5. EFFETS SUR LES CONSTRUCTIONS

(Préciser en fonction du type de construction, colonnes A, B, C, et de la nature des dégâts, le pourcentage de constructions concernées à l'échelle de la commune : peu, beaucoup)

##### \* Dégâts légers

- . Fissuration des plâtres des plafonds, des cloisons intérieures, chute de débris de plâtre .....
- . Glissement des éléments de couverture .....

##### \* Dégâts modérés

- . Fissuration des murs extérieurs; chute de gros débris de plâtres intérieurs, chute de morceaux de crépis extérieur
- . Chute de couronne de cheminée .....
- . Chute de tuiles, d'ardoises .....

##### \* Dégâts sévères

- . Lézards profonds dans les murs extérieurs .....
- . Chutes de cheminées .....
- . Décollement de cloisons extérieures .....
- . Ecoulement partiel de murs d'enceinte .....

##### \* Destructions

- . Désolidarisation des murs extérieurs .....
- . Ecoulements partiels et larges brèches dans certaines parties de l'habitation .....
- . Effondrement de cloisons intérieures .....

##### \* Destruction totale

Préciser les caractéristiques .....

	TYPE A (Briques crues, pierres tout venant, )		TYPE B (maçonnerie, pierre de taille)		TYPE C (béton armé, bois)	
	Peu	Beaucoup	Peu	Beaucoup	Peu	Beaucoup
. Fissuration des plâtres des plafonds, des cloisons intérieures, chute de débris de plâtre .....	43	50	41	51	53	54
. Glissement des éléments de couverture .....	55	58	57	59	59	60
. Fissuration des murs extérieurs; chute de gros débris de plâtres intérieurs, chute de morceaux de crépis extérieur	61	62	63	64	65	66
. Chute de couronne de cheminée .....	67	69	69	70	71	72
. Chute de tuiles, d'ardoises .....	73	74	75	76	77	78
. Lézards profonds dans les murs extérieurs .....	79	80	81	82	83	84
. Chutes de cheminées .....	85	86	87	88	89	90
. Décollement de cloisons extérieures .....	91	92	93	94	95	96
. Ecoulement partiel de murs d'enceinte .....	97	98	99	100	101	102
. Désolidarisation des murs extérieurs .....	103	104	105	106	107	108
. Ecoulements partiels et larges brèches dans certaines parties de l'habitation .....	109	110	111	112	113	114
. Effondrement de cloisons intérieures .....	115	116	117	118	119	120

## Enquête macrosismique par les établissements scolaires

Parallèlement à l'enquête des SIDPC, le BCSF a procédé à une enquête dans les collèges et lycées et auprès des élèves de quatrième et de seconde. L'objectif de l'enquête lancée par le BCSF dès le 11 octobre était de comparer les données collectées par les lycées et collèges avec celles issues de l'enquête initiée par les préfetures (mairies, gendarmeries, sapeurs-pompier) et d'évaluer la possibilité de mettre en place un nouveau réseau de collecte de données individuelles.

Ce travail a été réalisé grâce à l'aide apportée par les inspecteurs d'académies (et leurs services) de Toulouse, Tarbes, Foix, ainsi que les proviseurs et principaux des établissements suivants :

Collège Lakanal - Foix (09)  
Collège Jules Palmades - Seix (09)  
Collège de Saint-Girons (09)  
Collège Bertrand Laralde - Montrejeau (31)  
Collège Desaix - Tarbes (65)  
Collège d'Astarac-Bigorre - Trie-sur-Baise (65)  
Collège Maréchal Foch - Arreau (65)  
Collège Gaston Febus - Lannemezan (65)  
Collège Leclerc - St Gaudens (31)

Lycée Gabriel Faure - Foix (09)  
Lycée du Couserans - Saint-Girons (09)  
Lycée Gourdan-Polignan (31)  
Lycée Bagatelle - Saint-Gaudens (31)  
Lycée Michelet - Lannemezan (65)  
Lycée Victor Duruy - Bagnères de Bigorre (65)

Les professeurs de Sciences de la vie et de la Terre ou de géographie ont diffusé les questionnaires d'enquête auprès des élèves de quatrième et de seconde (lesquels ont rempli en famille les questionnaires pour réponse). Le retour des derniers formulaires a été enregistré fin décembre.

Le BCSF a reçu pour l'ensemble des établissements cités plus haut 1188 réponses (collège 615, lycées 573) dont 691 réponses positives (le séisme a été perçu) et 497 négatives (le séisme n'a pas été ressenti).

106 formulaires ont relevé des dégâts, généralement modérés à faibles.

Si la qualité des réponses collectées et la sensibilisation d'un public jeune aux risques sismiques pour le réseau "éducation" est assez bonne, les problèmes majeurs d'une généralisation de ce type d'enquête sont les périodes de vacances et la complexité administrative de gestion.

Pour ces raisons, cette expérience n'a pas été poursuivie. ■

# Séisme du 1<sup>er</sup> novembre 1999

## Nord-est de Nice (Alpes-Maritimes)



**HEURE**  
en temps universel :  
17h22mn  
en temps légal :  
18h22mn

**MAGNITUDES**  
RéNaSS : 3,3 ML  
LDG : 3,4 ML  
Réseau local : 3,3 ML  
3,4 Mw

**COORDONNEES**  
RéNaSS  
lat. : 43,78° N  
long. : 7,36° E  
profondeur : 4 km

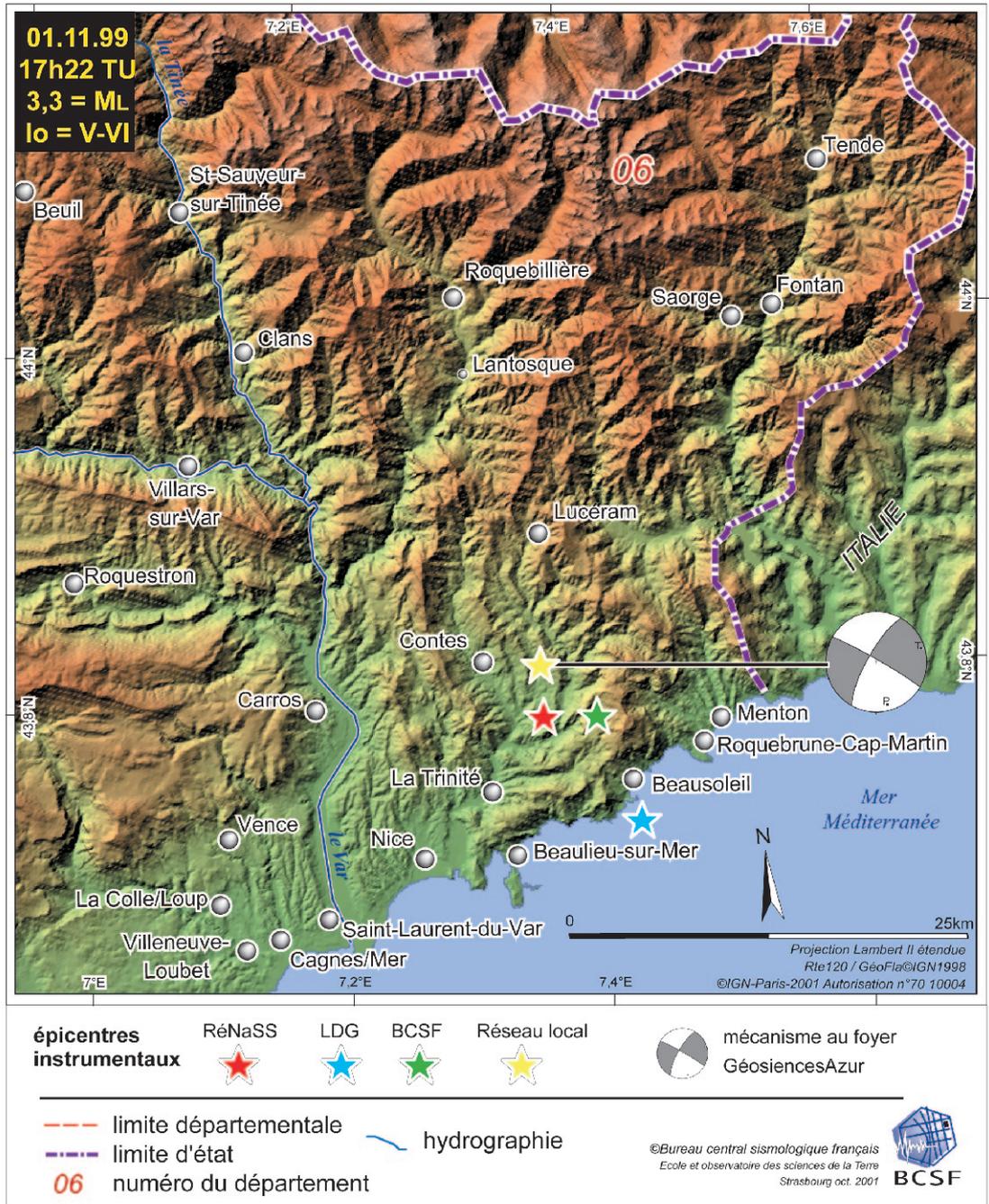
LDG  
lat. : 43,72° N  
long. : 7,43° E  
profondeur : 4 km

Réseau local  
Géosciences Azur  
lat. : 43,805° N  
long. : 7,362° E  
profondeur : 3 km

BCSF  
lat. : 43,78° N  
long. : 7,40° E  
profondeur : 5 km

**MECANISME AU FOYER**  
plan nodal P1  
azimut : N209°E  
pendage : 75,5°NW  
glissement : -4°  
(11 polarités)

sources :  
Géosciences Azur  
Courboulex  
et coll. (2001)



### Localisation

Dans la soirée du lundi 1<sup>er</sup> novembre 1999, à 18h22 (heure légale), un séisme de magnitude locale 3,3 (RéNaSS) s'est produit à une dizaine de kilomètres au NE de Nice (Alpes Maritimes), sur la commune de Blausac. Grâce en grande

partie aux stations des réseaux sismologiques et accélérométriques permanents en service dans les Alpes-Maritimes (RéNaSS, TGRS, RAP et LDG), les coordonnées hypocentrales ont pu être calculées avec une bonne précision par le

laboratoire Géosciences Azur de l'Université de Nice Sophia-Antipolis, la station la plus proche étant à environ 6 km de l'épicentre (Courboux et coll., 2001). Par rapport à la détermination de Géosciences Azur, la localisation faite par le RéNaSS est à environ 3 kilomètres plus au sud, celle du BCSF environ 5 kilomètres plus au SE et celle du LDG une dizaine de kilomètres vers le SE.

### Sismicité régionale

L'Arc alpin est avec les Pyrénées, la région de France la plus active sismiquement. En particulier, la région de Nice a connu par le passé un nombre non négligeable de séismes ayant occasionné des destructions notables.

Dans un rayon d'environ 50 km autour de la région épiscopale du 1/11/1999 on compte sept séismes ayant atteint des intensités épiscopales (Io) MSK = ~VIII :

- Roquebillière, 23/06/1494 (Alpes-Maritimes, Io = VIII),
- Roquebillière, 20/07/1564 (Alpes-Maritimes, Io = VIII),
- Coaraze, 18/01/1618 (Alpes-Maritimes, Io = VIII),
- Roquebillière, 15/02/1644 (Alpes-Maritimes, Io = VIII),
- Bussana, 26/05/1831 (Ligurie, Io = VIII),
- San Remo, 29/12/1854 (Ligurie, en mer, Io = VII-VIII),
- Imperia, 23/02/1887 (Ligurie, en mer, Io = IX).

Notons que pour la période récente, le séisme enregistré et localisé présentant la magnitude la plus forte depuis la mise en route du réseau sismologique français (en 1962) s'est produit en mer Ligure à environ 90 km au sud-est de Nice en 1963 (intensité maximale observée à terre = VII-VIII, M = 6.0).

Le séisme du 1/11/1999 (ML=3,3), qui n'a pas eu de conséquence notable, est le plus important ressenti dans la région niçoise depuis celui du 21 avril 1995 dont la magnitude locale était 4,7 ML (Mer Ligure au large de San Remo, Courboux et coll. 1998 ; Courboux et coll., 2001). Cet événement a été suivi de plusieurs répliques de magnitudes inférieures (ML ≤ 2,1).

Les communes de Peille, Blausasc, Peillon, Cantaron, et la Turbie ont signalé une deuxième secousse plus légère sans que l'on puisse affirmer, par manque d'information sur l'heure de cette observation, une conjonction exacte entre ces constats et les répliques enregistrées.

### Contexte sismotectonique

Le séisme du 1<sup>er</sup> novembre 1999 s'est produit à l'extrémité sud des Alpes françaises, dans l'Arc de Nice, le plus méridional des chaînons subalpins (voir par exemple Labaume et coll., 1989 ; Ritz, 1991 ; Ritz, 1992). La formation des Alpes s'est faite en réponse à la collision Europe-Afrique débutant principalement à l'Eocène (voir par exemple Tapponnier, 1977 ; Lemoine et coll., 2000). Plus particulièrement, la formation de l'arc de Nice est liée au décollement et au glissement vers le sud de la couverture du massif cristallin de l'Argentera-Mercantour. Cette couverture est constituée de terrains sédimentaires secondaires et tertiaires. Son décollement a été favorisé par la présence à sa base d'argiles et d'évaporites du Trias qui ont joué le rôle d'un lubrifiant (Gèze, 1963). Le glissement a été guidé latéralement à l'ouest et à l'est par deux systèmes de failles décrochantes, orientés ~NNE-SSW, les systèmes de Vésubie-Mont Féron-St.-Blaise-Aspremont et Breil-Sospel-Monaco, respectivement. Cette structuration s'est faite principalement à partir de l'ère Tertiaire, à l'Oligo-Aquitainien, en réponse à un régime de contrainte compressif lié à la formation des Alpes (Labauume et coll., 1989 ; Ritz, 1992).

Le séisme est situé quelques kilomètres à l'ouest de la faille de Peille-Laghet (Courboux et coll., 2001), moins d'une dizaine de kilomètres à l'ouest du système décrochant senestre de Breil-Sospel-Monaco qui fut affecté en 1983 par la séquence sismique de la moyenne vallée de la Roya (séisme principal de magnitude ~3, Hoang-Trong et coll. 1987). La profondeur du séisme du 1<sup>er</sup> novembre 1999 est comprise entre 1,5 et 3,5 km. Il se trouve donc probablement à la base de la couverture décollée, voire sous celle-ci, car l'épaisseur de cette couverture est inférieure à 2 km (voir fig.8 p.39, notice carte géologique de Nice au 1/250000).

Le mécanisme au foyer déterminé par Courboux et coll. (2001) est essentiellement décrochant, avec un mouvement senestre selon un plan nodal NNE-SSW et dextre selon un plan WNW-ESE, les deux plans étant subverticaux. Selon ces auteurs, le mécanisme de ce séisme est tout à fait compatible avec la réactivation de la faille de Peille-Laghet avec un mouvement décrochant senestre (compte tenu des incertitudes de 2 à 3 km sur l'épicentre). D'après une analyse du spectre en déplacement des ondes P effectuée par Courboux et coll. (2001), le moment sismique est de  $1,25 \cdot 10^{14}$  Nm (correspondant à une magnitude d'énergie Mw = 3,4). Ces auteurs ont par ailleurs estimé que la rupture sismique a duré environ 0,1 s impliquant une longueur de faille brisée comprise entre 300

et 600 m (sous l'hypothèse d'une vitesse de rupture moyenne de 3 km/s).

Les mécanismes au foyer disponibles dans la région sont décrochants ou inverses et montrent une direction de la contrainte compressive maximale variant d'ouest en est de ~N-S à NW-SE (voir par ex. les planches 12 et 15 de Grellet et coll., 1993 ; Baroux et coll., 2001).

Des signes d'une activité récente (plio-quaternaires) ont été décelés sur la failles de Peille-Laghet, ainsi que sur les systèmes de faille de Breil-Sospel-Monaco et Vésubie-Mont Férion-St.-Blaise-Aspremont (voir Ritz, 1991 ; Grellet et coll., 1993).

### Effets de site

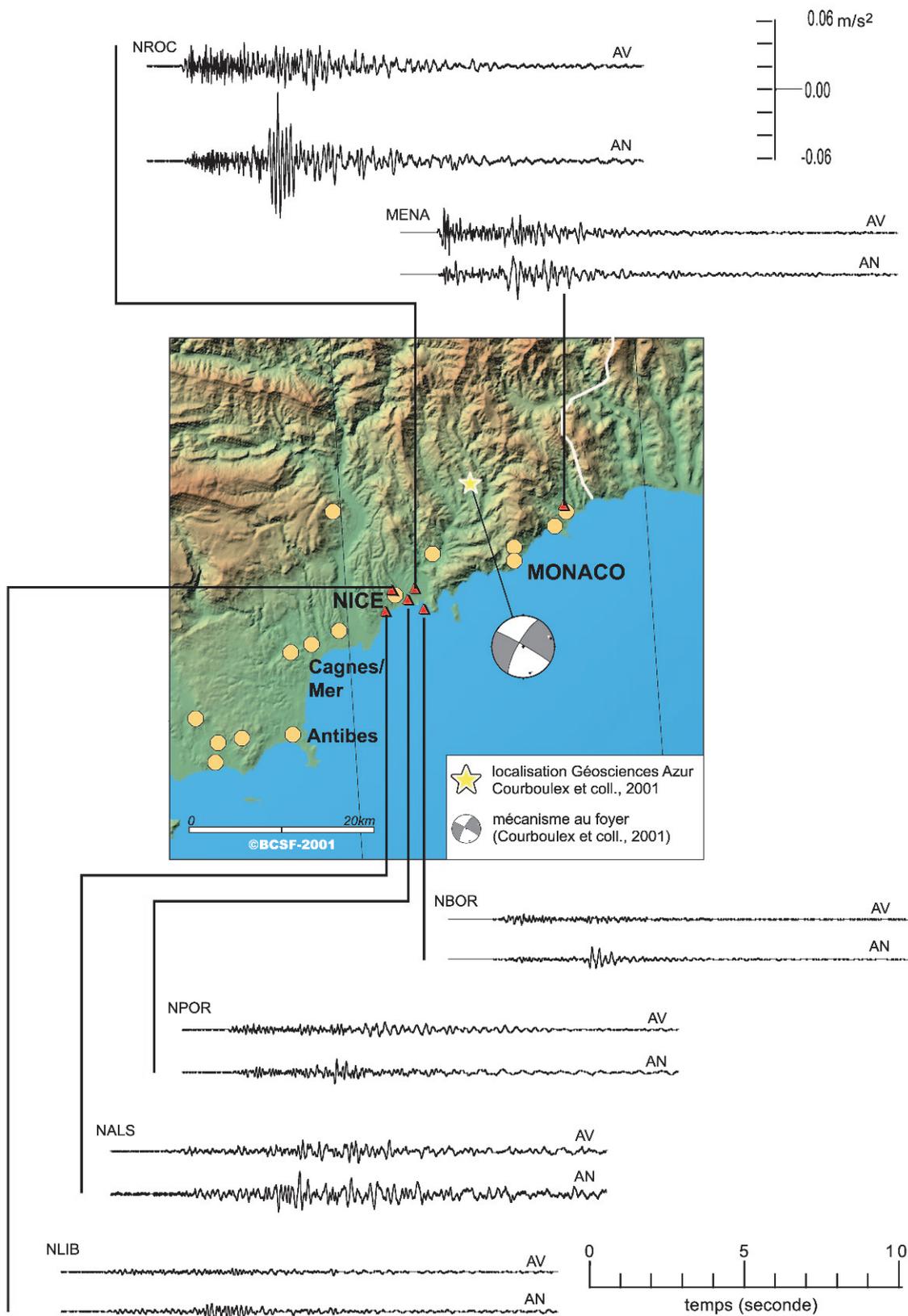
Les stations accélérométriques du réseau RAP installées dans la ville de Nice et de Menton montrent des différences d'amplitudes importantes entre les sites (voir la figure 4 de Courboux et coll., 2001). A Nice, entre 2 stations distantes de 2,5 km, les différences d'amplification autour de 1,5 Hz peuvent atteindre un facteur 10 (Courboux et coll., 2001).

### Références citées

- Baroux, E., Béthoux, N. & Bellier, O., Analyses of the stress field in southeastern France from earthquake focal mechanisms, *Geophys J. Int.*, 145, 336-348, 2001.
- Carte Géologique de la France au 1/250000, Nice, BRGM, Orléans, 1981.
- Courboux, F., Deschamps, A., Cattaneo, M., Deverchère, J., Virieux, J., Augliera, P., Lanza, V. & Spallarosa, D., Source study and tectonic implications of the 1995, Ventimiglia (border of Italy and France) earthquake (ML = 4.7), *Tectonophysics*, 290, 245-257, 1998.
- Courboux, F., Duval, A.-M., Deschamps, A., Lomax, A. & Larroque, C., Les enseignements du petit séisme de Peilles (Alpes Maritimes, France), *C.R. Acad. Sci.*, 333, 105-112, 2001.
- Gèze, B. Caractères structuraux de l'Arc de Nice (Alpes Maritimes), dans le livre à la mémoire du professeur P. Fallot, *Mém. h.s. Soc. géol. fr.*, 289-300, 1963.
- Grellet, B., Combes, Ph., Granier, Th. et Philip, H., Sismotectonique de la France Métropolitaine dans son cadre géologique et géophysique, *Mém. Soc. géol. Fr.*, n°164, 1993.
- Hoang-Trong, P., Haessler, H., Holl, J.M., Legros, Y., L'essai sismique (oct 83 - jan. 84) de la moyenne vallée de la Roya (Alpes Maritimes) : activité récente d'un ancien système de failles conjuguées. *C.R.A.S.*, 304, 319-324, 1987.
- Labaume P., Ritz J.F., Philip H. Failles normales récentes dans les Alpes sud-occidentales, leurs relations avec la tectonique compressive. *C.R.A.S.*, 308, 1553-1560, 1989.
- Lemoine, M., de Graciansky, P.C. & Tricard, P., De l'océan à la chaîne de montagne : tectonique des plaques dans les Alpes, *Soc. Géol. Fr. Coll. Géosciences, Gordon and Breach Sc. Publ.*, Paris, 207p., 2000.
- Ritz, J.F. Evolution du champ de contrainte dans les Alpes du Sud depuis la fin de l'Oligocène. Implications sismotectoniques. Thèse doctorat, Univ. Montpellier II, 1991.
- Ritz, J.F. Tectonique récente et sismotectonique des Alpes du Sud, analyse en termes de contraintes. *Quaternaire*, 3, 111-124, 1992.
- Tapponnier, P., Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée : poinçonnement et écrasement rigide-plastique, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), 437-460, 1977.

Séisme du 1<sup>er</sup> novembre 1999 (ML=3,3)  
 Accélération du sol (verticale et N-S)

Données RAP



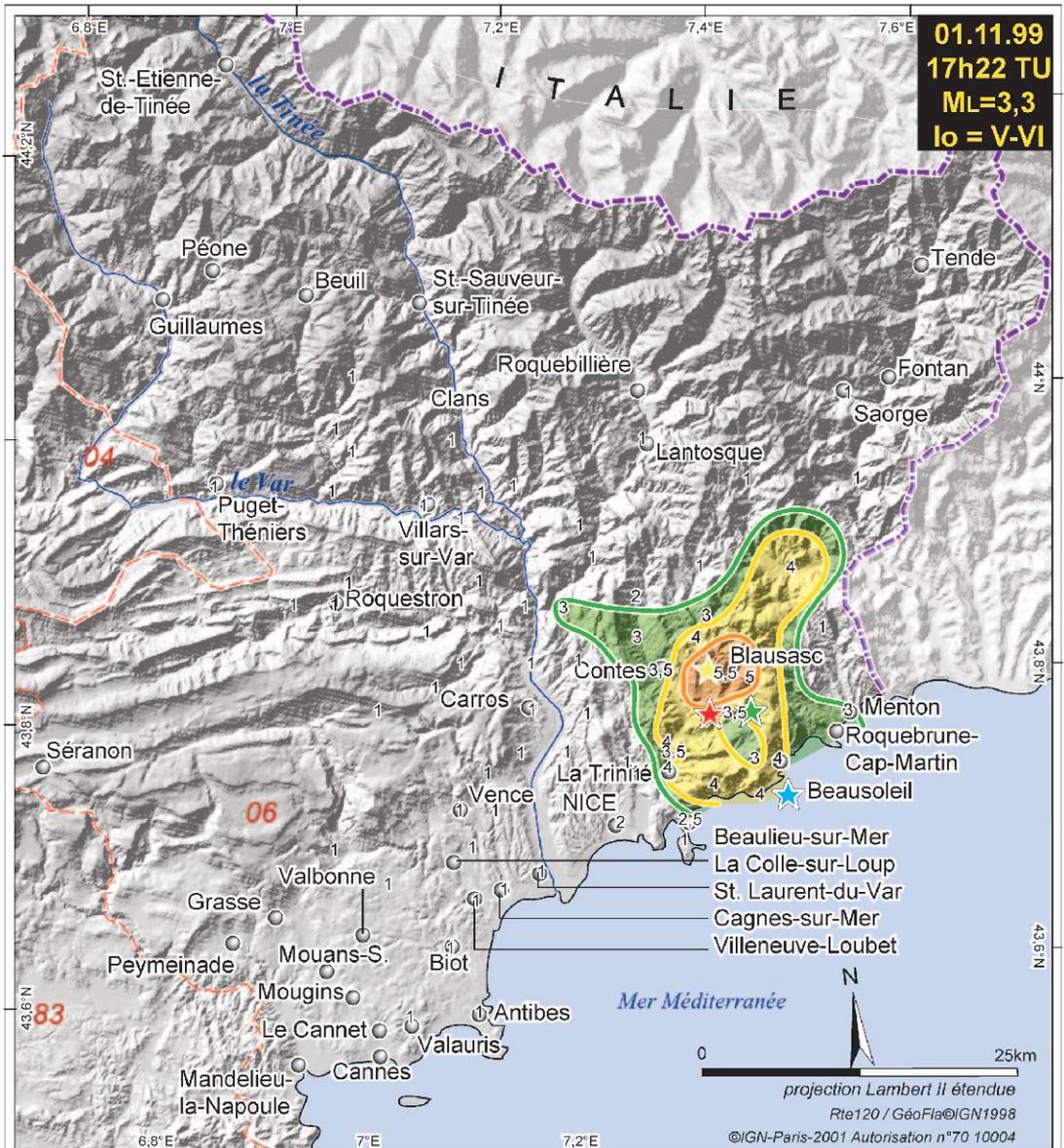
**DONNEES  
MACROSISMQUES**

Intensité  
maximale : V-VI  
formulaire  
collectés : 90

**Calculs sur  
l'isoséiste  
d'intensité III**

99800 habitants  
21 communes  
14 réponses  
à l'enquête

**Dégâts signalés**  
4 communes



épicentres instrumentaux	intensités MSK64 par commune	isoséistes brutes	intensité sur l'échelle MSK64	caractéristiques de la secousse
★ RéNaSS	1		intensité I	non perceptible
★ LDG	2		intensité II	à peine perceptible
★ Réseau local	3		intensité III	faiblement ressentie
★ BCSF	4		intensité IV	largement ressentie
	5		intensité V	fortement ressentie

limite d'état      hydrographie  
 limite départementale  
**06** numéro du département

©Bureau central  
 sismologique français  
 Ecole et observatoire  
 des sciences de la Terre  
 Novembre 2001

**Enquête macrosismique**

L'enquête macrosismique initiée par le BCSF le 2 novembre, s'est faite grâce à l'aide apportée par le service interministériel de défense et de protection civiles (SIDPC) de la préfecture du département des Alpes-Maritimes. Les questionnaires d'enquête ont été dif-

fusés par le SIDPC des Alpes-Maritimes auprès des mairies, des gendarmeries et des casernes de sapeurs-pompiers dans un rayon d'une trentaine de kilomètres centré sur la région épiscopale. Au 3 janvier 2000 le BCSF avait reçu l'ensemble des 90 formu-

lares collectés soit 26 réponses positives (le séisme a été perçu) et 64 réponses négatives (le séisme n'a pas été ressenti).

Sur les 26 réponses positives reçues, 20 signalent que le séisme a été ressenti par peu de monde en lieu clos, et le plus souvent non reconnu immédiatement comme un tremblement de terre (14/26).

Les communes de l'Escarène, Sospel, Peille et Blausasc ont ressenti plus particulièrement ce séisme. Blausasc est d'ailleurs la seule commune déclarant que de très nombreuses personnes ont ressenti le séisme à l'extérieur des bâtiments.

Seules les communes de Blausasc (I = VI) et l'Escarène (I = IV) signalent quelques personnes effrayées voire paniquées. Suite à cette secousse, le standard téléphonique du Centre opérationnel d'incendie et de secours (CODIS) a enregistré de nombreux appels en provenance d'habitants de la région niçoise et de l'est du département, tout comme celui des sapeurs-pompiers de Nice (plus d'une centaine en 1/2 heure). Aucune victime n'a été signalée.

A Drap, chemin du Grec, selon Nice Matin du 2 novembre, quelque cinquante habitants d'un lotissement d'une quinzaine de villas sont sortis dans la rue par mesure de sécurité.

Le mouvement a été signalé horizontal à Cap d'Ail «*Le lit sur lequel j'étais assise s'est déplacé d'avant en arrière et le lustre s'est mis à tanguer (4<sup>ème</sup> étage d'un immeuble)*»

21 formulaires sur 26 représentant 18 communes signalent des effets sur les objets.

50% des 26 formulaires indiquent des vibrations plutôt faibles d'objets à tous les étages. Peu de craquements de poutres et de plan-

chers ont été signalés (5/21).

6 formulaires soulignent le déplacement de petits bibelots dont 2 dans les étages supérieurs d'un bâtiment.

Les animaux domestiques ont été peu réactifs à ce séisme et n'ont été notés nerveux que sur de rares formulaires (4/26).

21 réponses sur les 26 positives reçues signalent un bruit lors de la secousse. Ces bruits sont décrits, en général, comme des grondements souterrains.

Proche de l'épicentre le bruit a été identifié comme une explosion, un double bang semblable à une explosion de conduite de gaz pour certains, notamment dans les communes de la Trinité (vieille ville) et Contes. Plusieurs personnes étaient persuadées que ce bruit avait été causé par l'explosion de mines sur la carrière de Borghéas de Peillon. La déflagration sans conséquence notable, a semble-t-il, marqué les esprits.

Quatre communes indiquent quelques dégâts aux constructions : Blausasc, Cap d'Ail, Peille et Sospel (1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et de rares 3<sup>e</sup> degré). ■

# 5 - Publications (1996 - 1999) : sismicité et tectonique active en France

## ANNEE 1996

### Publications, ouvrages

- Carte Géologique de la France au Millionième, 6ème édition, Edition BRGM, Orléans, 1996.
- Beck, C., Manalt, F., Chapron, E. & Van Resenbergen, P., Enhanced seismicity in the early post-glacial period: evidence from the post-würm sediments of Lake Annecy, northwestern Alps, *J. of Geodynamics*, 22, 155-171, 1996.
- Benedicto, A., Labaume, P., Seguret, M. & Seranne, M., Low-angle crustal ramp and basin geometry in the Gulf of Lion passive margin; Oligocene-Aquitainian Vistrenque Graben, SE France, *Tectonics*, 15, 1192-1212, 1996.
- Chapron, E., Van Resenbergen, P., Beck, C., De Batist, M. & Paillet A., Lacustrine sedimentary record of brutal events in Lake Le Bourget (Northwestern Alps-Southern Jura), *Quaternaire*, 7, 2/3, 155-168, 1996.
- Fréchet, J., Thouvenot, F., Jenatton, L., Hoang-Trong P. & Frogneux, M., Le séisme du Grand-Bornand (Haute-Savoie) du 14 décembre 1994 : un coulissage dextre dans le socle subalpin, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 323, 517-524, 1996.
- Gagnepain-Beynax, J., Olivera, C & Massinon, B, Sismicité instrumentale, In: Synthèse Géologique des Pyrénées Vol. 1, Pub. BRGM-ITGE, 64-66 & Gph. 2, 1996.
- Huault, M.F., Paleocological events during the last 15 000 years: France, Normandy, Edit. by B.E. Berglund, H.J.B. Birks, M. Ralska-Jasiewiczowa and H.E. Wright, John Wiley and sons, Ltd, 557-585, 1996.
- Lambert J. & Levret-Albaret A., Mille ans de séismes en France, Ouest Editions, 78 pp., 1996.
- Lazzarre, J. Tricart, P., Courrioux, G. & Ledru, P., Héritage téthysien et polyphasage alpin : réinterprétation tectonique du « synclinal » de l'aiguille de Morges (Massif du Pelvoux, Alpes occidentales, France), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 323, 1051-1058, 1996.
- Levret, A., Cushing, M. & Peyridieu, G., Recherche des caractéristiques de séismes historiques en France. Atlas de 140 cartes macrosismiques. Publication IPSN, 2 vol., 400p. et 140 cartes, 1996.
- Madeddu, B., Bethoux, N., Stephan, J.F., Champ de contrainte post-Pliocene et déformation récentes, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 167 : 6, 797-810, 1996.
- Martinod, J., Jouanne, F., Taverna, J., Ménard, G., Gamonf, J.F., Darmendrail, X., Notter, J.C. & Basil, C., Present-day deformation of the Dauphine (SE France) Alpine and Subalpine massifs, *Geophys. J. Int.*, 99, 189-200, 1996.
- Melville, C.P., Levret, A., Alexandre, P. Lambert, J. & Vogt, J., Historical seismicity of the strait of Dover-Pas de Calais, *Terra Nova*, 8, 626-647, 1996.
- Mugnier, J.L., Bergerat, F., Damotte, B., Guellec, S., Nicolas, A., Polino, R., Roure, F., Tardy, M. & Truffert, C., Crustal structures of the western Alps and their Forelands, *Mém. Soc. Géol. France*, 170, 73-97, 1996.
- Souriau A., Rigo, A., Olivera, C. & Mattauer M., Le récent séisme des Pyrénées, *Pour la Science*, 224, 28-29, 1996.
- The ECORS-CROP Alpine seismic traverse, edited by Roure, F., Bergerat, F., Damotte, B., Mugnier, J-L., Polini, R., *Mém. Soc. géol. Fr*, 170, 116p., 1996.
- Tricart, P., Bouillin, J.P., Dick, P., Moutier, L. & Xing, C., Le faisceau de la faille de la Haute-Durance et le rejeu distensif du Front Briançonnais au SE du Pelvoux (Alpes occidentales), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 323, 251-257, 1996.
- Vivourlet, B., Tricart, P. & Villemin, T., Blocs basculés tardialpins dans les nappes Briançonnaises de Haute Durance (Alpes occidentales, France) et évolution néotectonique des zones internes, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 322, 475-481, 1996.

## Thèses 1996

- Chabert-Pelline, C., Géométrie et cinématique de la branche occidentale de l'arc de Castellane (Chaîne subalpines de Haute-Provence, France), Thèse, Univ. Nice-Sophia Antipolis, 1996.
- Fontaine, C., Sismicité et structure en vitesse de la marge nord-ligure à partir des données de la campagne à terre et en mer Sisbalig II, Thèse, Univ. Paris VI, 1996.
- Helm, John A., Aléa sismique naturel et sismicité induite du projet géothermique européen RCS (Roche Chaude Sèche) de Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin, France), Thèse, Univ. L. Pasteur, Strasbourg, 1996.
- Herquel, G., Anisotropie sismique crustale par analyse de la biréfringence des ondes S. Application au Nord-Tibet et au gisement de Lacq, Thèse Univ. L. Pasteur, Strasbourg, 1996.
- Lachet, C., Observation des séismes en milieux urbains: Méthodes simples d'étude des effets de site et de simulation des mouvements forts. Thèse Univ. Joseph Fourier, Grenoble, 1996.
- Lecerf D., Apports des données sismiques ECORS 2,5D à la connaissance de la structure superficielle de la croûte dans la zone Nord Pyrénéenne, Thèse Université Louis Pasteur, Strasbourg, 234p., 1996.
- Madeddu, B., Sismotectonique des Alpes sud-occidentales et de la marge nord-Ligure : implications géodynamiques. Thèse Univ. de Nice-Sophia Antipolis, 1997.
- Thouvenot, F., Aspects géophysiques et structuraux des Alpes occidentales et de trois autres orogènes (Atlas, Pyrénées, Oural). Thèse de Doctorat d'État, Univ. J.-Fourier, Grenoble, 378 p., 1996.

## Rapports 1996

- Bisch, P., Thouvenot, F., De Vanssay, B., Dominique, P., Le Brun, B., Hatzfeld, D., Bard, P.Y., Lathuille, P., Jalil, W., Leaud P. & Davidovici, V., Le séisme d'Epagny (Haute-Savoie, France) du 15 juillet 1996, Rapport de mission AFPS, 1996.
- Blès, J.L., Dominique, P., & coll., Contribution à l'étude des dangers d'installations industrielles à «risque spécial» de la Guyane : évaluation déterministe de l'aléa sismique. Rapport BRGM, R38830, février 1996.
- Blès, J.L., Dominique, P., Godefroy, P., Stieltjes, L., Contribution à l'étude des dangers d'installations industrielles à «risque spécial» de la région Languedoc-Roussillon. Rapport BRGM, R38487, février 1996.
- Blès J.L., Bour M., Dominique P., Godefroy P., Martin C., Terrier M. , Avec La Coll. De Baudu R. Et Lambert J., - Zonage sismique de la France pour l'application des règles parasismiques aux installations classées. Rapport BRGM R38754, 43p., 7 fig., 2 tabl., 1 ann, 1996.
- Chassagneux D., Martin C., Monge O., Samarq F. & Sedan O., Microzonage sismique des communes de Schoelcher, Fort-de-France et Le Lamentin: effets de site et liquéfaction, Rapport BRGM R39186, 93 p., 33 fig., 15 tabl. et 4 annexes, 1996.
- Davidovici, V., De Vanssay, B., Martin, C., Luong, M.P. & Zacek, M., Le séisme de St-Paul-de-Fenouillet (Pyrénées-Orientales, France) du 18 février 1996, Rapport de mission AFPS, 1996.
- Dominique, P., Blès, J.L., Deverly, F., Berthier, F. & Rosset, P., Séisme d'Annecy (Haute-Savoie, France) du 15 juillet 1996, rapport de mission, Rapport BRGM, R39029, 1996.
- Heitz, I., Contribution à l'étude du risque sismique dans le Fossé Rhénan Supérieur, DEA Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 1996.
- Lignier, V., Caractérisation des destructurations synsédimentaires d'origine sismique dans des sédiments lacustres quaternaires « les argiles du Trièves », DEA Univ. J. Fourier, Grenoble, 1996.
- Mandroux, F., Dominique, P., Evaluation probabiliste de l'aléa sismique : développement d'une chaîne de calcul. Application au Sud-Est de la France. Rapport BRGM, R38537, mars 1996.
- Pousset, N., Caractérisation de l'atténuation de la mine de Gardanne par l'étude d'événements sismiques induits, Diplôme d'ingénieur EOST-ULP, Strasbourg, 1996.
- Stieltjes L., Bour, M. & Monge, O., avec la coll. de Martin C. et Mouroux P., Projet GEMITIS Nice: évaluation de l'aléa sismique local sur la ville de Nice. Rapport BRGM, R39082, 1996.
- Terrier M., Microzonage des communes de Fort-de-France, Schoelcher et Le Lamentin : failles actives. Rapport BRGM, R38988, 1996.

## ANNEE 1997

### Publications, ouvrages

- Bonjer, K.-P., Seismicity pattern and style of seismic faulting at the eastern border fault of the southern Rhine Graben, *Tectonophysics*, 275, 41-69, 1997.
- Bouillin, J.-P., Pêcher, A., Rolland, Y., Carrio, E., Dumont, T. & Tricart, P., Les filons sédimentaires jurassiques du Pelvoux, enregistreurs des déformations alpines de la bordure orientale du massif cristallin externe de l'Oisans (Alpes occidentales). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 324, 409-415, 1997.
- Butlletí Sismològic 1996, Institut cartogràfic de Catalunya, 223 p., 1997.
- Cushing, M., Volant, P., Bellier, O., Sébrier, M., Barroux, E., Grellet, B., Combes, P. & Rosique, T., A multidisciplinary experiment to characterize an active fault system in moderate seismic activity area: the example of the Durance fault (Southeastern France), *Annales Geophysicae*, 15, 233, 1997.
- Eva, E., Solarino, S., Eva, C. & Neri, G., Stress tensor orientation derived from fault plane solution in the southwestern Alps, *J. Geophys. Res.*, 102, 8171-8185, 1997.
- Lambert J., Les tremblements de terre en France : Hier, Aujourd'hui, Demain, Ed. BRGM, 196 pp., 1997.
- Maurer, H., Burkhard, M., Deichmann, N. & Green, G., Active tectonism in the central Alps: Contrasting stress regimes north and south of the Rhone Valley, *Terra Nova*, 9, 91-94, 1997.
- Mayer, G., Mai, P.M., Plenfish, T., Echtler, H., Lüschen, E., Wehrle, V., Müller, B., Bonjer, K.-P., Prodehl, C. & Fuchs, K., The deep crust of the Southern Rhine Graben: reflectivity and seismicity as image of dynamic processes, *Tectonophysics*, 275, 15-40, 1997.
- Müller, B., Wehrle, V., Zeyen, H. & Fuchs, K., Short-scale variations of tectonic regimes in the western European stress province north of the Alps and Pyrenees, *Tectonophysics*, 275, 199-219, 1997.
- Plenfish, T. & Bonjer, K.-P., The stress field in the Rhine Graben area inferred from earthquake focal mechanisms and estimation of frictional parameters, *Tectonophysics*, 275, 71-97, 1997.
- Rigo, A., Pauchet, H., Souriau, A., Gresillaud, A., Nicolas, M., Olivera, C. & Figueras, S., The February 18, 1996 earthquake sequence in Eastern Pyrenees: first results, *J. Seismol.*, 1, 3-14, 1997.
- Sébrier, M., Ghafiri, A. & Blès, J.L., Paleoseismicity in France: Fault trench studies in a region of moderate seismicity, *Journal of Geodynamics*, 24, 207-217, 1997.
- Solarino, S., Kissling, E., Sellami, S., Smriglio, G., Thouvenot, F., Granet, M., Bonjer, K. & Sleijko, D., Compilation of a recent seismicity data base of the greater Alpine region from several seismological networks and preliminary 3D tomographic results. *Annali di Geofisica*, 60, 161-174, 1997.
- Sobolev, S., Zeyen, H., Granet, M., Achauer, U., Bauer, Ch., Werling, F., Altherr & Fuchs, K., Upper mantle temperatures and lithosphere-asthenosphere system beneath the French Massif Central constrained by seismic, gravity, petrologic and thermal observations, *Tectonophysics*, 275, 143-164, 1997.
- Van Vliet Lanoe, B., Bonnet, S., Hallegouet, B., & Laurent, M., Neotectonic and seismic activity in the Armorican and Cornubian Massifs: regional stress field with glacio-isostatic influences? *Journal of Geodynamics*, 24, 219-239, 1997.
- Zeyen, H., Novak, O., Landes, M., Prodehl, C., Driad, L. & Hirn, A., Refraction-seismic investigations of the northern Massif Central, *Tectonophysics*, 275, 99-117, 1997.

### Thèses 1997

- Crouzet, C., Le thermopaleomagnétisme : méthodologie et applications (tectonique, thermique et géochronologique) à la zone dauphinoise interne (Alpes occidentales, France), Savoie. Thèse Univ. Montpellier II, 1997.
- Delannoy, J.J., Recherches géomorphologiques sur les massifs karstiques du Vercors et de la transversale de la Ronda (Andalousie). Les apports morphogéniques du karst., Thèse de doctorat Univ. de Savoie, 678 p., 1997.
- Le Brun, B., Les effets de site: étude expérimentale et simulation de trois configurations. Thèse Univ. Joseph Fourier, Grenoble, 208p., 1997.

### Rapports 1997

- Baroux, E., Bellier, O., Sébrier, M., Paillou, P. & Cushing, M., Utilisation de l'imagerie 2D et 3D pour l'analyse de la tectonique active en France : Application à la région de la faille de la Durance. IPSN, Rapport final, 1997.
- Blès, J.L., Terrier, M., La paléosismicité en France : méthodes, résultats et applications. Etat de l'Art

en 1996 - rapport BRGM, R39116, 1997.

- Cornou, C., Etude des premières données du réseau accélérométrique permanent, DEA Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 1997.
- Dominique P., Samarçq F., Microzonage sismique du bassin d'Annecy - 1<sup>re</sup> Phase, Rapport BRGM, R39810, 1997.
- Dominique P., Fitzenz D. & Samarçq F., Evaluation probabiliste de l'aléa sismique à l'échelle du territoire national. Rapport BRGM, R39774, 1997.
- Dubois, A., Etude de l'activité microsismique induite par l'exploitation de la taille IRMA 1250 aux HBL, Diplôme d'ingénieur EOST, Strasbourg,, 1997.
- Judenherc, S., Tomographie isotrope et anisotrope de la France à partir des ondes sismiques régionales - Calcul d'un modèle de vitesse  $VP_n$ - Recherche d'anisotropie  $P_n$ , DEA Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 1997.
- Lebreton, S. Comparaison des magnitudes locales diffusées par différents Instituts Européens, Diplôme d'ingénieur EOST, Strasbourg, 1997.
- Lutz P., Evaluation de l'aléa sismique sur le site de la centrale nucléaire de Chinon. DEA Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 1997.
- Oudet, S., Apport de la méthode de localisation hypocentrale 3DGRIDLOC à l'étude de la sismicité des Alpes Occidentales, Diplôme d'ingénieur EOST, Strasbourg, 1997.
- Terrier, M., Dominique, P., Contribution à l'étude des dangers des installations industrielles à «risque spécial» du département du Haut-Rhin : évaluation de l'aléa sismique. Rapport BRGM, N2457, mai 1997.
- Trolong, E., Présentation et analyse d'un logiciel SIG. Application : étude morphostructurale de la région de Digne, Diplôme d'ingénieur EOST, Strasbourg, 1997.
- Vidal, S., Synthèse géologique et interprétation sismique régionale d'un site potentiel de stockage du Bassin Aquitain, Diplôme d'ingénieur EOST, Strasbourg, 1997.

## ANNEE 1998

### Publications, ouvrages

- Ambert et coll., Sébrier et coll., Mattauer, Commentaires à la note de Robin Lacassin et coll. « Signature morphologique de l'activité de la faille des Cévennes (Languedoc, France) », C. R. Acad. Sci. Paris, 326, 855-859, 1998.
- Autran, A., Blès, J.L., Combes, P., Cushing, M., Dominique, P., Durouchoux, C., Mohammadioun, B. & Terrier, M., Probabilistic seismic hazard assessment in France. Part One: seismotectonic zonation. Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering, 6-11 September 1998, Paris, France, Abstract volume, CD-ROM, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, CD-ROM, p. 78, 1998.
- Baize, S., Camuzard, J.-P., Freslon, M., Langevin, C. & Laignel, B., Carte géologique de la France au 1/50000, Notice explicative de la feuille 117 : Carentan, 1<sup>re</sup> édition, Edition BRGM, Orléans, 1998.
- Baize, S., Lagarde, J.-L., Laville, E. & Dugué O., Géomorphologie d'un plateau littoral (Cotentin - Normandie) : enregistrement des signaux tectoniques et climatiques, Bull. Soc. géol. Fr., 169, 851-866, 1998.
- Barruol, G., Souriau, A., Vauchez, A., Diaz, J., Gallart, J., Tubia, J. and Cuevas, J., Lithospheric anisotropy beneath the Pyrenees from shear wave splitting. J. Geophys. Res., 103, 30039-30053, 1998.
- Béthoux, N., Ouillon, G. & Nicolas M., The instrumental seismicity of the western Alps: spatio-temporal patterns analysed with the wavelet transform, Geophys. J. Int., 135, 177-194, 1998.
- Bonnet, S., Guillocheau, F. & Brun, J.-P., Relative uplift measured using river incisions: The case of the Armorican basement (France). C. R. Acad. Sci. Paris, 327, 245-251, 1998.
- Butletí Sismològic 1997, Institut cartogràfic de Catalunya, 174 p., 1999.
- Courboux, F., Deschamps, A., Cattaneo, M., Deverchère, J., Virieux, J. Augliera, P., Lanza, V. & Spallarosa, D., Source study and tectonic implications of the 1995, Ventimiglia (border of Italy and France) earthquake (ML = 4.7), Tectonophysics, 290, 245-257, 1998.
- Delcaillau, B., Ozouf, J.-C., Masiee, D., Laville, E. & Coutard, J.-P., Evolution géomorphologique d'un bassin versant cotier; l'exemple de la Touques (Basse-Normandie), C. R. Acad. Sci. Paris, 326, 609-615, 1998.
- Ferhat, G., Feigl, K., Ritz, J.F. & Souriau, A., Geodetic Measurement of tectonic deformation in the Southern Alps and Provence, France, 1887-1994. E. P. S. L., 159, 39-46, 1998.
- Lacassin, R., Meyer, B., Benedetti, L., Armijo, R. & Tapponnier, P., Signature morphologique de l'activité de la faille des Cévennes (Languedoc, France), C. R. Acad. Sci. Paris, 326, 807-815, 1998.

- Lacassin, R., Meyer, B., Benedetti, L., Armijo, R. & Tapponnier, P., Réponse aux commentaires de Ambert et coll., Mattauer et Sébrier et coll. à la note « Signature morphologique de l'activité de la faille des Cévennes (Languedoc, France) », C. R. Acad. Sci. Paris, 327, 861-866, 1998.
- Lambert, J., Levret-Albaret, A., Cushing, M. & Durouchoux, C., Mille ans de séismes en France, Catalogue d'épicentre, paramètres et références, Ouest Edition, Presses Académiques, 80 pp., 1998.
- Liaghat, C., Villemain, T. & Jouanne, F., Present-day vertical movements in the southern Rhine Graben, France, C. R. Acad. Sci. Paris, 327, 55-60, 1998.
- Nicolas, M., Béthoux, N. & Madeddu, B., Instrumental seismicity of the Western Alps: a revised catalogue, Pageoph., 152, 707-731, 1998.
- Roure, F. & Choukroune, P., Contribution of the ECORS seismic data to the Pyrenean geology: crustal architecture and geodynamic evolution of the Pyrenees, Mém. Soc. géol. Fr, 173, 37-52, 1998.
- Souriau, A. & Pauchet, H., A new synthesis of the Pyrenean seismicity and its tectonic implications. Tectonophysics, 290, 221-244, 1998.
- Souriau, A., Banda, E. Daignières, M., Pyrénées, Structures profondes, Apport de la Géophysique à Terre: Hétérogénéités lithosphériques. In: Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées, Vol.1, A. Barnolas and J.C. Chiron, Ed., Editions BRGM - ITGE, Orléans, pp. 72-75, 1988.
- The ECORS Pyrenean deep seismic surveys, edited by Damotte, B., Mém. Soc. géol. Fr, 173, 108p., 1998.
- Thouvenot, F., Fréchet, J., Tapponnier, P., Thomas, J. C., Le Brun, B., Ménard, G., Lacassin, R., Jenatton, L., Grasso, J. R., Coutant, O., Paul, A. & Hatzfeld, D., The ML-5.3 Epagny (French Alps) earthquake of 15 July 1996: a long-awaited event on the Vuache fault. Geophysical Journal International, 135, 876-892, 1998.
- Van Rensbergen, P., De Bastit, M., Beck, C. & Manalt, F., High resolution seismic stratigraphy of Late Quaternary fill of Lake Annecy (northwestern Alps) evolution from glacial to interglacial sedimentary processes, Sedim. Geol., 117, 71-96, 1998.
- Working Group EPAS: Dominique, P., Autran, A., Blès, J.L., Fitzenz, D., Samarcq, F., Terrier, M., Cushing, M., Gariel, J.C., Mohammadioun, B., Combes, P., Durouchoux, C., & Goula, X., Probabilistic seismic hazard assessment in France. Part 2: Probabilistic approach: seismic hazard map on the national territory (France). Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering, 6-11 September 1998, Paris, France, Abstract volume, CD-ROM, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, CD-ROM, p. 86, 1998.

## Thèses 1998

- Bonnet, S., Tectonique et dynamique du relief : Le socle armoricain au Pléistocène, Thèse de l'Université de Rennes I, Mémoires Geosciences Rennes, 86, 352 pp., 1998.
- Hévin, G., Utilisation des ondes de surface pour l'auscultation des structures en génie civil. Application à la caractérisation des fissures de surface. Thèse Univ. Joseph Fourier, Grenoble, 1998.
- Laurent, O. Modalités de la structuration d'un prisme de front de chaîne : L'exemple de l'arc de Castellane (chaînes subalpines méridionales, France). Thèse Univ. Nice Sophia Antipolis, 1998.
- Nivière, B., Géomorphologie quantitative et tectonique du Fossé Rhénan : modèles de soulèvement des flancs du rift et de dégradation de terrasses quaternaires, Thèse Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 1998.
- Pauchet, H., Sismicité de la chaîne pyrénéenne: Image générale et analyse de la crise sismique de Saint-Paul de Fenouillet (Février 1996). Thèse Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 244 pp, 1998.
- Sue, C., Dynamique actuelle et récente des Alpes occidentales internes. Approche structurale et sismologique. Thèse, Univ. J.-Fourier, Grenoble, 1998.

## Rapports 1998

- Blès, J.L., Bour, M., Dominique, P., Godefroy, P., Martin, C. & Terrier, M., Zonage sismique de la France pour l'application des règles parasismiques aux installations classées. Document BRGM, n° 279, 1998.
- Bulletin du Réseau Sismologique Régional Poitou-Charente-Vendée, N°2, Séismes régionaux enregistrés du 1<sup>er</sup> janvier 1997 au 30 juin, 1997, L.E.P.C.A.T., La Rochelle, 1998.
- Cornou, C., Modélisation appliquée aux effets de site : étude du bruit de fond sismique, Diplôme d'ingénieur EOST, Strasbourg, 1998.

- Ertlen, T., La campagne sismologique Geofrance 3D, contribution à la connaissance sismotectonique des Alpes Maritimes, Rapport de DEA «Dynamique de la lithosphère», Univ. Nice Sophia-Antipolis.
- Ganiere, P., Mise en évidence d'effets de site à partir de données de macrosismicité historique, Diplôme d'ingénieur EOOST, Strasbourg, 1998.
- Lambert, J., coll. Dominique, P., Le séisme du 18 janvier 1870 et son épicer centre probable dans le Golfe du Lion (Méditerranée). Rapport BRGM R 40118, 1998.
- Sebe, O., Evaluation des effets de site à l'échelle cantonale : Contribution méthodologique et application aux cantons de Huningue et Sierentz, Diplôme d'ingénieur EOOST, Strasbourg, 1998.

## **ANNEE 1999**

### **Publications, ouvrages**

- Amorese, D., Lagarde, J.L. & Laville, E., Apoin t pattern analysis of the distribution of earthquakes in Normandy (France). Bull. Seism. Soc Am., 89, 742-749, 1999.
- Benedicto, A., Séguret, M. & Labaume, P., Interaction between faulting, drainage and sedimentation in extensional hangingwall syncline basins: Example of Les Matelles basin (Gulf of Lion rifted margin, SE France). Geological Society of London Special Publication, 156, 81-108, 1999.
- Bethoux, N., Deschamps, A., Nolet, G., Bertrand, E., Contrucci, I., Sosson, M. & Ferrandini, The deep structure of Corsica as inferred by a broad band seismological profile, Geophys. Res. Lett., 26, 2661-2664, 1999.
- Bour, M., Vermeersch, F. & Martin, C., Evaluation de l'aléa sismique régional aux Antilles. Génie parasismique et réponse dynamique des ouvrages, proc. 5ème Coll. Nat. AFPS, 19-21 octobre 1999, Cachan, vol. 1, p. 399-406, 1999.
- Butlletí Sismològic 1998, Institut cartogràfic de Catalunya, 153 p., 1999.
- Calais, E., Continuous GPS measurements across the Western Alps, 1996-1998., Geophys. J. Int., 138, 1, 221-230, 1999.
- Carozza, J.M. & Delcaillau, B., L'enregistrement géomorphologique de la tectonique quaternaire par les nappes alluviales : l'exemple du bassin de la Têt (Rousillon, France), C. R. Acad. Sci. Paris, 329, 735-740, 1999.
- Cotton, F., Bard, P.Y., Berge, C. and Hatzfeld, D., Qu'est-ce qui fait vibrer Grenoble ? La Recherche, 320, 39-41, 1999.
- Courboux, F., N. Deichmann & Gariel, J.C., Rupture Complexity of a moderate intraplate earthquake in the Alps: the 1996 M5 Epagny-Annecy Earthquake, Geophys. J. Int, 139, 152-160, 1999.
- Courboux, F., Deichmann, N., Scotti, O., Le séisme d'Annecy ; effets de la segmentation des failles sur la rupture, publication du 5<sup>ème</sup> colloque national AFPS, Cachan, 339-346, 1999.
- Dominique P., Microzonage sismique du district d'Annecy. Génie parasismique et réponse dynamique des ouvrages, proc. Vème Coll. Nat. AFPS, Cachan, vol. 1, p. 357-364 , 19-21 octobre 1999.
- Fréchet, J., Rigo, A., Souriau, A. & Thouvenot, F., Comparaison de deux séismes destructeurs en France en 1996 : Saint-Paul-de-Fenouillet (Pyrénées) et Épagny (Alpes). CNFGG, rapport quadriennal 95-98, 59-70, 1999.
- Goula, X., Oliveira, C. , Fleta, J., Grellet, B., Lindor , R., Rivera, L., Cisternas, A. & Carbon, D., Present and recent stress regime in the Pyrenees, Tectonophysics, 308, 487-502, 1999.
- Guilbert, J., Poupinet, G., Kelner, S. & Allemand, P., Massif central: détermination et modélisation de l'atténuation des ondes P téléseismiques). C. R. Acad. Sci. Paris, 328, 789-796, 1999.
- Judenherc, S., Granet, M., & Boumbar, N., Two-dimensional anisotropic tomography of lithosphere beneath France using regional arrival times, J. Geophys. Res., 104, 13201-13216, 1999.
- Lahaie, F. & Grasso, J.R., Loading rate impact on fracturing pattern: Lessons from hydrocarbon recovery, Lacq gas field, France. J. Geophys. Research., 104, 17941-17954, 1999.
- Larroque C., Gaffet S., Cornou C., Schissele E., Bertrand E., Bethoux N., Bouchon M., Corrazzi M., Courboux F., Deschamps A., Duval A.M., Maron C., Glot J.P., Janod F., Guiguet R., Vidal S., Virieux J., A multi-array experiment in Annot for site effect analysis. C.R. Acad. Sci. Paris, 329, 3, 167-174, 1999.
- Le Brun B., Bour M., Fabriol H. & Demand J., Extension du réseau accélérométrique de Pointe-à-Pitre : justification et premiers résultats. Génie parasismique et réponse dynamique des ouvrages, proc. 5ème Coll. Nat. AFPS, Cachan, vol. 1, p. 391-398, 19-21 octobre 1999.
- Lemeille, F., Cushing, M., Cotton, F., Grellet, B., Ménillet, F., Audru, J.C., Renardy, F. & Fléhoc, Ch., Traces d'activité pléistocène de failles dans le Nord du fossé du Rhin supérieur (plaine d'Alsace, France), C.R. Acad. Sci. Paris, 328, 839-846, 1999.

- Monge, O., Chassagneux, D., Martin, C., Sedan, O. & Vermeersch, F., Evaluation de l'aléa sismique local : partie 1, microzonages de Fort-de-France et Pointe-à-Pitre. Génie parasismique et réponse dynamique des ouvrages, proc. 5ème Coll. Nat. AFPS, Cachan, vol. 1, p. 407-414, 19-21 octobre 1999.
- Pauchet, H., Rigo, A., Rivera, L. & Souriau, A., A detailed analysis of the February 1996 aftershock sequence in the eastern Pyrenees, France, *Geophys. J. Int.*, 137, 107-127, 1999.
- Peulvast, J., Baroux, E., Bellier, O. & Sébrier, M., Le problème de l'activité des failles de Nîmes, de Salon-Cavaillon et de la Moyenne Durance (SE de la France): apports de la géomorphologie structurale, *Géomorphologie*, 4, 327-358, 1999.
- Poitrasson, F., Dundas, S.H., Toutain, J.P., Munoz, M. and Rigo, A., Earthquake related elemental and isotopic lead anomaly in Springwater. *Earth Planet. Sci. Letters*, 169, 269-276, 1999.
- Rigo, A. & Cushing, M., Effets topographiques sur les comparaisons de profils de nivellement : cas français de Saint-Paul-de-Fenouillet (Pyrénées-Orientales) et d'Arudy (Pyrénées-Atlantiques), *C.R. Acad. Sci. Paris*, 329, 697-704, 1999.
- Rigo, A. & Massonnet, D., Investigating the 1996 Pyrenean earthquake (France) with SAR interferograms heavily distorted by atmosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3217-3220, 1999.
- Scotti, O., Levret, A. & Hernandez, B., Verification of macroseismic methods on five ML > 5 instrumental earthquakes in France. *Phys. Chem. Earth.*, 24, 6, 495-499, 1999.
- Seguret, M., & Benedicto, A., Le duplex à plis de propagation de rampes de Cazedarnes (arc de Saint-Chinian, avant-pays nord-pyrénéen, France, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 170, 31-44, 1999.
- Sue, C. & Tricart, P., Late-Alpine brittle extension above the Frontal Pennine Thrust near Briançon, Western Alps, *Eclog. Geol. Helv.*, 92, 171-181, 1999.
- Sue, C., Thouvenot, F., Fréchet, J. & Tricart, P., Widespread extension in the core of the western Alps revealed by earthquake analysis. *J. G. R.*, 104, 25611-25622, 1999.
- Talaya, J., Feigl, K., Térmen, A. & Colomina, I., Practical lessons from analysis of a GPS network designed to detect movements of ~ 1mm:yr in the Pyrenees, *Physisc and Chemistry of the Earth*, 24, 355-359, 1999.
- Thomas, J.C., Claudel, M. E., Collombet, M., Dumont, T., Tricart, P. & Chauvin, A., First paleomagnetic data from the sedimentary cover of the French penninic Alps: evidence for Tertiary counterclockwise rotations in the Western Alps. *Earth and Planetary Science Letters* 171, 561-574, 1999.
- Fréchet, J. & Thouvenot, F., *Sismolog 5 : Logiciel de dépouillement, de cartographie et de modélisation sismique*. Logedic, Poitiers, 195 p., 1999.

### Thèses 1999

- Benedetti, L., Sismotectonique de l'Italie et des régions adjacentes : fragmentation du promontoire adriatique, Thèse Univ. Paris VI, 358 p., 1999.
- Rollet, N., Structures profondes, dynamique et remobilisation du bassin Ligure et de ses marges, Thèse Université Paris VI, 1999.

### Rapports 1999

- Andre, E., Evaluation probabiliste de l'aléa sismique sur le territoire national, Diplôme d'ingénieur EOST, Strasbourg, 1999.
- Courboux, F., Deschamps, A., Lomax, A., Bethoux, N., Brunel, D., Gaffet, S., Larroque, C., Maron, C., Monfret, T., Pillet, R., Virieux, J., Duval, A.M., Meneroud, J.P. & Vidal, S., Rapport sur le séisme de Peille-Blausasc (Alpes maritimes) du 1<sup>er</sup> Novembre 1999 (rapport interne, Nice), 1999.
- Fréchet, J., Rigo, A., Souriau, A. & Thouvenot, F., Comparaison de deux séismes destructeurs en France en 1996: Saint-Paul de Fenouillet (Pyrénées) et Epagny (Alpes). CNFGG/ IASPEI report for the 1999 UGGI, J.P. Barriot, Ed., 59-70, 1999.
- Heintz M., Sismologie large bande et effets de site dans le fossé rhénan, DEA Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 1999.
- Mazet-Roux, G., Imagerie sismique de la croûte du Limousin, DEA EOST-ULP, Strasbourg, 1999.

## 6 - Annexes

- Annexe I : Echelle d'intensité MSK64 et formulaire d'enquête
- Annexe II : Journée scientifique du BCSF - Strasbourg, 22 septembre 1998
- Annexe III : Résumé du compte rendu de la 1<sup>re</sup> réunion du Comité scientifique du BCSF
- Annexe IV : glossaire des sigles

# Annexe I

## Echelle d'intensité MSK64 et formulaire d'enquête

### Echelle d'intensité macrosismique (MSK 1964)

#### 1 - Terminologie et classification des termes utilisés dans l'échelle

##### 1 - Classification des constructions (constructions non antiséismiques)

- Type A : maisons en argile, pisé, briques crues : maisons rurales : constructions en pierres tout venant ;
- Type B : constructions en briques ordinaires ou en blocs de béton : constructions mixtes maçonnerie-bois : constructions en pierres taillées ;
- Type C : constructions armées : constructions de qualité en bois.

##### 2 - Définition des termes de quantité

- Quelques : 5% environ
- Beaucoup, nombreux : 50%
- La plupart : 75%

##### 3 - Degrés d'endommagement des constructions

- 1<sup>er</sup> degré : dommages légers : fissurations des plâtres : chutes de petits débris de plâtre.
- 2<sup>e</sup> degré : dommages modérés : fissurations des murs : chutes d'assez gros blocs de plâtre, chutes de tuiles : fissurations de cheminées ou chutes de parties de cheminées.
- 3<sup>e</sup> degré : sérieux dommages : lézardes larges et profondes dans les murs : chutes de cheminées.
- 4<sup>e</sup> degré : destruction : brèches dans les murs : effondrements partiels éventuels : destruction de la solidarité entre parties différentes d'une construction : destruction de remplissages ou de cloisons intérieures.
- 5<sup>e</sup> degré : dommage total : effondrement total de la construction.

##### 4 - Effets considérés dans l'échelle

- Effets sur les personnes et sur l'environnement ;
- Effets sur les structures de toute nature ;
- Effets sur les sites naturels.

#### 2 - Degrés de l'échelle d'intensité

##### Degré I - Secousse non perceptible

L'intensité de la vibration se situe au dessous du seuil de perception humaine : la secousse est détectée et enregistrée seulement par les sismographes.

##### Degré II - Secousse à peine perceptible

La secousse est ressentie seulement par quelques individus au repos dans leur habitation, plus particulièrement dans les étages supérieurs des bâtiments.

**Degré III - Secousse faible ressentie seulement de façon partielle**

La secousse est ressentie par quelques personnes à l'intérieur des constructions et n'est ressentie à l'extérieur qu'en cas de circonstances favorables. La vibration ressemble à celle causée par le passage d'un camion léger. Des observateurs attentifs notent un léger balancement des objets suspendus, balancement plus accentué dans les étages supérieurs.

**Degré IV - Secousse largement ressentie**

Le séisme est senti à l'intérieur des constructions par de nombreuses personnes et par quelques personnes à l'extérieur. Des dormeurs isolés sont réveillés mais personne n'est effrayé. La vibration est comparable à celle due au passage d'un camion lourdement chargé. Les fenêtres, les portes et les assiettes tremblent. Les planchers et les murs font entendre des craquements. Le mobilier commence à être secoué. Les liquides contenus dans des récipients ouverts s'agitent légèrement. Les objets suspendus se balancent légèrement.

**Degré V - Réveil des dormeurs**

Le séisme est senti à l'intérieur par tout le monde et à l'extérieur par de nombreuses personnes. De nombreux dormeurs s'éveillent, quelques-uns sortent en courant. Les animaux sont nerveux. Les constructions sont agitées d'un tremblement général. Les objets suspendus sont animés d'un large balancement. Les tableaux cognent sur les murs ou sont projetés hors de leur emplacement. En certains cas, les pendules à balancier s'arrêtent. Les objets peu stables peuvent être renversés ou déplacés. Les portes ou les fenêtres ouvertes battent avec violence. Les liquides contenus dans des récipients bien remplis se répandent en petite quantité. La vibration est ressentie comme celle due à un objet lourd dégringolant dans le bâtiment.

De légers dommages du 1<sup>er</sup> degré sont possibles dans les bâtiments de type A.

Modification en certains cas du débit des sources.

**Degré VI - Frayeur**

Le séisme est senti par la plupart des personnes, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments. De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent vers l'extérieur. Quelques personnes perdent l'équilibre. Les animaux domestiques s'échappent de leur stalle. Dans quelques cas, les assiettes et les verres peuvent se briser, les livres tomber. Le mobilier lourd peut se déplacer et dans les clochers les petites cloches peuvent tinter spontanément.

Dommages du 1<sup>er</sup> degré dans quelques constructions du type B et dans de nombreuses constructions du type A. Dans quelques bâtiments de type A, dommages du 2<sup>e</sup> degré.

En certains cas, des crevasses de l'ordre du centimètre peuvent se produire dans les sols détrempés, des glissements de terrains peuvent se produire en montagne : on peut observer des changements dans le débit des sources et le niveau des puits.

**Degré VII - Dommages aux constructions**

La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent au-dehors. Beaucoup ont de la difficulté à rester debout. La vibration est ressentie par des personnes conduisant des voitures automobiles. De grosses cloches se mettent à sonner.

Dans de nombreux bâtiments du type C, dommages du 1<sup>er</sup> degré ; dans de nombreux bâtiments de type B, dommages du 2<sup>e</sup> degré. De nombreux bâtiments de type A sont endommagés au 3<sup>e</sup> degré et quelques-uns au 4<sup>e</sup> degré. Dans quelques cas, glissement des routes le long des pentes raides ; fissures en travers des routes ; joints de canalisations endommagés ; fissures dans les murs de pierres.

Des vagues se forment sur l'eau et celle-ci est troublée par la boue mise en mouvement. Les niveaux d'eau dans les puits et le débit des sources changent. Dans quelques cas, des sources tariées se remettent à couler et des sources existantes se tarissent. Dans des cas isolés des talus de sable ou de graviers s'éboulent partiellement.

**Degré VIII - Destruction de bâtiments**

Frayeur et panique - même les personnes conduisant des voitures automobiles sont effrayées. Dans quelques cas des branches d'arbres se cassent. Le mobilier, même lourd, se déplace ou se renverse. Les lampes suspendues sont endommagées en partie.

De nombreux bâtiments du type C subissent des dommages du 2<sup>e</sup> degré et quelques-uns du

3<sup>e</sup> degré ; quelques bâtiments de type B sont endommagés au 3<sup>e</sup> degré et quelques-uns au 4<sup>e</sup> degré. De nombreux bâtiments du type A sont endommagés au 4<sup>e</sup> degré et quelques-uns au 5<sup>e</sup> degré. Ruptures occasionnelles de joints de canalisations. Les monuments et les statues se déplacent ou tournent sur eux-mêmes. Les stèles funéraires se renversent. Les murs de pierres s'effondrent. De petits glissements de terrains peuvent se produire dans les ravins et le long des routes en talus sur de fortes pentes.

Les crevasses dans le sol atteignent plusieurs centimètres de largeur. L'eau des lacs devient trouble. De nouvelles retenues d'eau se créent dans les vallées. Des puits asséchés se remplissent et des puits existants se tarissent. Dans de nombreux cas, changement dans le débit et le niveau de l'eau.

#### **Degré IX - Dommages généralisés aux constructions**

Panique générale ; dégâts considérables au mobilier. Les animaux affolés courent dans toutes les directions et poussent des cris.

De nombreux bâtiments du type C subissent des dommages du 3<sup>e</sup> degré, quelques-uns du 4<sup>e</sup> degré. De nombreux bâtiments du type B subissent des dommages du 4<sup>e</sup> degré et quelques-uns du 5<sup>e</sup> degré. De nombreux bâtiments du type A sont endommagés au 5<sup>e</sup> degré. Les monuments et les colonnes tombent. Dommages considérables aux réservoirs au sol ; rupture partielle des canalisations souterraines. Dans quelques cas, des rails de chemin de fer sont pliés, des routes endommagées.

Des projections d'eau, de sable et de boue sur les plages sont observées. Les crevasses dans le sol atteignent 10 cm ; elles dépassent 10 cm sur les pentes et les berges des rivières. En outre, un grand nombre de petites crevasses s'observent dans le sol ; chutes de rochers ; nombreux glissements de terrain ; grandes vagues sur l'eau ; des puits asséchés peuvent retrouver leur débit et les puits existants peuvent s'assécher.

#### **Degré X - Destruction générale des bâtiments**

De nombreux bâtiments du type C subissent des dommages du 4<sup>e</sup> degré et quelques-uns du 5<sup>e</sup> degré. De nombreux bâtiments du type B subissent des dommages du 5<sup>e</sup> degré ; la plupart des bâtiments du type A subissent des destructions du 5<sup>e</sup> degré ; dommages dangereux aux barrages et aux digues ; dommages sévères aux ponts. Les lignes de chemin de fer sont légèrement tordues. Les canalisations souterraines sont tordues ou rompues. Le pavage des rues et l'asphalte forment de grandes ondulations.

Les crevasses du sol présentent des largeurs de plusieurs centimètres et peuvent atteindre 1 m. Il se produit de larges crevasses parallèlement aux cours d'eau. Les terres meubles s'éboulent le long des pentes raides. De considérables glissements de terrain peuvent se produire dans les berges des rivières et le long des rivages escarpés. Dans les zones littorales, déplacements de sable et de boue ; changement de niveau d'eau dans les puits ; l'eau des canaux, des lacs, des rivières est projetée sur la terre. De nouveaux lacs se créent.

#### **Degré XI - Catastrophes**

Dommages sévères même aux bâtiments bien construits, aux ponts, aux barrages et aux lignes de chemin de fer ; les grandes routes deviennent inutilisables ; les canalisations souterraines sont détruites.

Le terrain est considérablement déformé aussi bien par des mouvements dans les directions horizontales et verticales que par de larges crevasses, de nombreux glissements de terrain et chutes de rochers. La détermination de l'intensité de la secousse nécessite des investigations spéciales.

#### **Degré XII - Changement du paysage**

Pratiquement toutes les structures au-dessus et au-dessous du sol sont gravement endommagées ou détruites.

La topographie est bouleversée. D'énormes crevasses accompagnées d'importants déplacements horizontaux et verticaux sont observés. Des chutes de rochers et des affaissements de berges de rivières s'observent sur de vastes étendues. Des vallées sont barrées et transformées en lacs ; des cascades apparaissent et des rivières sont déviées. La détermination de l'intensité nécessite des investigations spéciales.

MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR  
Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE  
Université Louis-Pasteur (Strasbourg I)

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE

Bureau Central Sismologique Français

Centre National de la Recherche Scientifique - Institut National des Sciences de l'Univers

La collecte et l'archivage des renseignements et témoignages relatifs aux tremblements de terre ressentis en France sont assurés par le BCSF. En accord avec Monsieur le Directeur de la Défense et de la Sécurité Civiles, je demande aux destinataires de ce questionnaire d'apporter leur contribution à ces enquêtes dont je souligne l'intérêt.

Le Préfet

1. LIEU

DEPARTEMENT :	COMMUNE :	N° INSEE :	LIEU-DIT :
---------------	-----------	------------	------------

2. DATE

JOUR DE LA SEMAINE :	JOUR :	MOIS :	ANNEE :	HEURE-MINUTES (DE 0 à 24H à partir de minute)
----------------------	--------	--------	---------	-----------------------------------------------

Le tremblement de terre a-t-il été ressenti ? OUI  NON  1  
Même dans le cas où le tremblement de terre n'a pas été ressenti, veuillez renvoyer le questionnaire.

3. EFFETS SUR LES PERSONNES

A NOTER : Etages inférieurs : Rez de chaussée, 1er et 2ème étages.  
Etages supérieurs : à partir du 3ème étage.  
Tout : tout le monde.  
Beaucoup : beaucoup de monde.  
Peu : peu de monde.

- \* La secousse a été ressentie seulement par quelques personnes au repos dans les étages supérieurs de l'immeuble .....  2
- \* La secousse a été ressentie par quelques personnes, mais non reconnue immédiatement comme un tremblement de terre .....  3
- \* La secousse a provoqué des troubles dans la conduite automobile .....  4
- \* La secousse a été ressentie en lieux clos (maisons, cinémas, théâtre ..) par : peu  5 beaucoup  6 toit  7
- \* La secousse a été ressentie à l'extérieur par : peu  8 beaucoup  9 toit  10
- \* Le tremblement de terre a réveillé ..... peu  12 beaucoup  13 toit  14
- \* Le tremblement de terre a provoqué des : Pertes d'équilibre  15 Chutes  17 Paniques  19  
Erayeurs  16 Vertiges  18

4. EFFETS SUR LES OBJETS

- \* Légères vibrations des lampes, chaises, lits ..... - aux étages supérieurs  20  
- à tous les étages  21
- \* Les liquides dans les récipients pleins ont ..... oscillés .....  22  
..... débordés .....  23
- \* Arrêts des pendules ( noter l'heure) ..... ( )  24

- |                                                                         | Faiblement<br>▼             | Fortement<br>▼              |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| * Vibrations des vitres de fenêtres, vitrines, verres, assiettes, etc : |                             |                             |
| - aux étages supérieurs .....                                           | <input type="checkbox"/> 25 | <input type="checkbox"/> 26 |
| - à tous les étages .....                                               | <input type="checkbox"/> 27 | <input type="checkbox"/> 28 |
| * Craquements de meubles, poutres, planchers .....                      | <input type="checkbox"/> 29 | <input type="checkbox"/> 30 |
| * Balancement des cadres, tableaux accrochés .....                      | <input type="checkbox"/> 31 | <input type="checkbox"/> 32 |
| * Battement et ouverture des fenêtres, portes, ustensiles .....         | <input type="checkbox"/> 33 | <input type="checkbox"/> 34 |
| * Sonnerie des petites cloches, pendules .....                          | <input type="checkbox"/> 35 | <input type="checkbox"/> 36 |
| * Sonnerie des grosses cloches .....                                    | <input type="checkbox"/> 37 | <input type="checkbox"/> 38 |

IL A ÉTÉ REMARQUÉ :

- |                                   | Déplacement<br>▼            | Chute<br>▼                  |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| - Petits bibelots .....           | <input type="checkbox"/> 39 | <input type="checkbox"/> 40 |
| - Vaisselle, livres, verres ..... | <input type="checkbox"/> 41 | <input type="checkbox"/> 42 |
| - Objets stables et lourds .....  | <input type="checkbox"/> 43 | <input type="checkbox"/> 44 |
| - Mobiliers légers .....          | <input type="checkbox"/> 45 | <input type="checkbox"/> 46 |
| - Mobiliers lourds .....          | <input type="checkbox"/> 47 | <input type="checkbox"/> 48 |

Adresse postale : BCSF - IPG , 5, Rue René Descartes, 67084 Strasbourg Cedex

## 5. EFFETS SUR LES CONSTRUCTIONS

(Préciser en fonction du type de construction, colonnes A, B, C, et de la nature des dégâts, le pourcentage de constructions concernées à l'échelle de la commune : peu, beaucoup)

**TYPE A**  
(Briques crues,  
pierres tout venant, )

**TYPE B**  
(maçonnerie, pierre de  
taille)

**TYPE C**  
(béton armé, bois)

	TYPE A		TYPE B		TYPE C	
	Peu	Beaucoup	Peu	Beaucoup	Peu	Beaucoup
<b>* Dégâts légers</b>						
. Fissuration des plâtres des plafonds, des cloisons intérieures, chute de débris de plâtre .....	<input type="checkbox"/> 49	<input type="checkbox"/> 50	<input type="checkbox"/> 51	<input type="checkbox"/> 52	<input type="checkbox"/> 53	<input type="checkbox"/> 54
. Glissement des éléments de couverture .....	<input type="checkbox"/> 55	<input type="checkbox"/> 56	<input type="checkbox"/> 57	<input type="checkbox"/> 58	<input type="checkbox"/> 59	<input type="checkbox"/> 60
<b>* Dégâts modérés</b>						
. Fissuration des murs extérieurs; chute de gros débris de plâtres intérieurs, chute de morceaux de crépis extérieur .....	<input type="checkbox"/> 61	<input type="checkbox"/> 62	<input type="checkbox"/> 63	<input type="checkbox"/> 64	<input type="checkbox"/> 65	<input type="checkbox"/> 66
. Chute de couronne de cheminée .....	<input type="checkbox"/> 67	<input type="checkbox"/> 68	<input type="checkbox"/> 69	<input type="checkbox"/> 70	<input type="checkbox"/> 71	<input type="checkbox"/> 72
. Chute de tuiles, d'ardoises .....	<input type="checkbox"/> 73	<input type="checkbox"/> 74	<input type="checkbox"/> 75	<input type="checkbox"/> 76	<input type="checkbox"/> 77	<input type="checkbox"/> 78
<b>* Dégâts sévères</b>						
. Lézards profondes dans les murs extérieurs .....	<input type="checkbox"/> 79	<input type="checkbox"/> 80	<input type="checkbox"/> 81	<input type="checkbox"/> 82	<input type="checkbox"/> 83	<input type="checkbox"/> 84
. Chutes de cheminées .....	<input type="checkbox"/> 85	<input type="checkbox"/> 86	<input type="checkbox"/> 87	<input type="checkbox"/> 88	<input type="checkbox"/> 89	<input type="checkbox"/> 90
. Décollement de cloisons extérieures .....	<input type="checkbox"/> 91	<input type="checkbox"/> 92	<input type="checkbox"/> 93	<input type="checkbox"/> 94	<input type="checkbox"/> 95	<input type="checkbox"/> 96
. Eroulement partiel de murs d'enceinte .....	<input type="checkbox"/> 97	<input type="checkbox"/> 98	<input type="checkbox"/> 99	<input type="checkbox"/> 100	<input type="checkbox"/> 101	<input type="checkbox"/> 102
<b>* Destructions</b>						
. Désolidarisation des murs extérieurs .....	<input type="checkbox"/> 103	<input type="checkbox"/> 104	<input type="checkbox"/> 105	<input type="checkbox"/> 106	<input type="checkbox"/> 107	<input type="checkbox"/> 108
. Eroulements partiels et larges brèches dans certaines parties de l'habitation .....	<input type="checkbox"/> 109	<input type="checkbox"/> 110	<input type="checkbox"/> 111	<input type="checkbox"/> 112	<input type="checkbox"/> 113	<input type="checkbox"/> 114
. Effondrement de cloisons intérieures .....	<input type="checkbox"/> 115	<input type="checkbox"/> 116	<input type="checkbox"/> 117	<input type="checkbox"/> 118	<input type="checkbox"/> 119	<input type="checkbox"/> 120
<b>* Destruction totale</b>						
Préciser les caractéristiques .....						

## 6 EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

. Bruits entendus : grondement souterrain ou aérien, grondement ressemblant à un coup de tonnerre, bruit de vent, bruit d'explosion, bruit d'un camion lourdement chargé montant une côte .....  121

. Effets lumineux .....  122 . L'eau des étangs, canaux, lacs, devient trouble ....  123

. Source .....  124 **asséchée**  124 **redevenant normale**  125 **apparition nouvelle source**  126

. Variation de l'eau : le niveau des puits a .....  127 **augmenté**  127 **diminué**  128

. Fissures dans terrain humide .....  129

. Larges fissures sur les berges de rivières .....  130

. Fissures sur les chemins et routes .....  131

## 7. EFFETS SUR LES ANIMAUX DOMESTIQUES

. Les animaux sont .....  132 **nerveux**  132 **s'échappent de leur stalle**  133 **panique générale**  134

. Le comportement anormal des animaux a été observé .....  135 **avant**  135 **pendant**  136 **après le séisme**  137

## 8. AUTRES OBSERVATIONS

Avant ou après le séisme principal, a-t-il été observé d'autres secousses ?

.....

## 9. IDENTIFICATION

. Avez-vous **personnellement** senti le séisme ? .....  138 **OUI**  138 **NON**  139

. Si oui quelle était votre occupation au moment du séisme .....

Nom et Prénom : ..... Date à laquelle le questionnaire a été rempli .....

Adresse : .....

*Veuillez utiliser une feuille annexe pour d'autres précisions ou observations utiles. Merci de votre collaboration*

# Annexe II

## Journée scientifique du BCSF

### Strasbourg, 22 septembre 1998

77 ans après sa création, le Bureau central sismologique français a organisé cette journée scientifique en s'interrogeant sur ses missions. Si les données relatives aux vibrations sismiques enregistrées ou ressenties en France relèvent directement du BCSF, d'autres observations sur les séismes concernent également le BCSF : observations tectoniques et géomorphologiques, études géodésiques, électromagnétiques, géochimiques... L'accès à la grande variété des données en jeu, l'animation et la représentation de la communauté scientifique concernée, sont autant de questions qui ont servi de trame aux discussions de cette journée qui a réuni près de 80 scientifiques concernés par les problèmes d'aléa sismique en France.

Le Président de l'Université Louis Pasteur, Jean-Yves Mérindol, ouvre la réunion par un

bref historique du développement de la sismologie et de la physique du Globe à l'Université de Strasbourg. Reprenant l'héritage allemand, un décret de 1921 a confié la collecte des données sismologiques en France à l'Institut de physique du Globe de la Faculté des sciences de Strasbourg. C'est par une décision similaire datée du même jour que l'Institut de physique du Globe de la Faculté des sciences de Paris était chargé du magnétisme terrestre.

Le directeur du BCSF, Michel Cara, introduit la session scientifique consacrée le matin aux études d'aléa sismique et l'après-midi aux dispositifs de collecte et de distribution des données ainsi qu'à la discussion sur le rôle des différents organismes impliqués par l'étude des séismes en France.

### L'aléa sismique

Agnès Levret, de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN-CEA) expose les travaux à l'origine du fichier SIRÈNE comprenant les valeurs d'intensités macrosismiques ressenties en France métropolitaine depuis un millier d'années (partenariat entre CEA, EDF et BRGM). Pascal Dominique, du Bureau de recherches géologiques et minières, présente ensuite l'utilisation de ces données macrosismiques en traçant l'historique de l'évaluation de l'aléa sismique en France et en replaçant ces études dans leur cadre réglementaire.

Anne Deschamps, du CNRS à l'Université de Nice-Sophia Antipolis, montre quels sont les paramètres clés des sources sismiques, depuis les paramètres décrivant les propriétés intégrales du mécanisme à la source qui conditionnent sa durée et l'amplitude des vibrations sismiques émises, jusqu'à la description fine de la rupture sur le réseau de failles qui conditionne le contenu haute fréquence des vibrations près de la source.

Judith Riepl, de l'IPSN-CEA, présente les travaux menés à l'Université Joseph Fourier de Grenoble qui montrent l'importance des structures géologiques locales dans la modulation du contenu

fréquentiel et dans l'amplification d'une vibration sismique sous un site donné.

François Thouvenot, de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, présente en conclusion de cette première série d'exposés un ensemble de travaux menés après le séisme d'Épagny-Anancy du 15 juillet 1996 (magnitude 5,2). Ceci illustre à quel point les différentes facettes de l'étude d'un séisme - mécanismes du choc principal et des répliques, localisation précise des foyers, analyse tectonique et distribution des effets ressentis - forment un tout qui nécessite d'associer étroitement sismologues et tectoniciens.

La seconde partie de la matinée est consacrée à l'exposé de différentes études tectoniques, paléosismologiques et sismotectoniques. Elle est introduite par Bertrand Meyer, de l'Institut de physique du Globe de Paris, avec un exposé montrant que les failles actuellement actives sismiquement ne sont pas nécessairement celles qui sont à l'origine des gros séismes qui ont pu avoir lieu en France dans un passé géologique récent.

Pierre Choukroune, de l'Université Aix-Marseille 3, présente les travaux réalisés à l'Université

de Toulouse après le séisme de Saint-Paul de Fenouillet du 18 février 1996 (magnitude 5,6), ainsi qu'une étude géomorphologique sur la région de la « faille de la Durance ».

Bertrand Delouis, de l'ETH à Zurich, présente la technique de modélisation des polarités d'ondes sismiques en termes de tenseur des contraintes tectoniques, à partir d'une population de séismes présentant des mécanismes de rupture variés.

Thierry Cameelbeck, de l'Observatoire Royal de Belgique, résume l'étude paléosismologique menée après le séisme qui a touché la ville de Roermond le 13 avril 1992 (magnitude 5,3). Cet exemple montre comment un léger accident topographique peut cacher un paléoséisme de magnitude de l'ordre de 6,4 dans une région considérée jusqu'alors faiblement sismique.

Pascal Bernard, de l'IPG de Paris conclut la matinée avec une fresque générale sur les phénomènes précurseurs des séismes. Il présente en particulier un essai de classification statistique qui permet de quantifier les conditions dans lesquelles un précurseur sismique peut être identifié dans le « bruit de fond » des mesures géophysiques. Les « prédictions VAN » entrent dans ce champ d'analyse.

### La surveillance instrumentale

La session de l'après-midi est consacrée à la présentation de la surveillance instrumentale des différentes parties du territoire national.

Michel Granet, de l'École et observatoire des physique du Globesciences de la Terre du Réseau national de surveillance sismique (RéNaSS) qui constitue la fédération des réseaux régionaux développée sur l'initiative de l'Institut national des sciences de l'Univers et des universités depuis le début des années 80. La centralisation des données de ce réseau se fait en temps quasi réel au site central de Strasbourg auprès du BCSF.

Bruno Feignier, du Département analyse et surveillance de l'Environnement du CEA, présente le réseau métropolitain du Laboratoire de détection géophysique du CEA (LDG). Ce réseau sismique est équipé d'une instrumentation homogène avec centralisation des données en temps réel au site de Bruyères le Châtel.

Jean Louis Cheminée, de l'Institut de physique du Globe de Paris, présente le réseau de surveillance sismique des Antilles qui est fortement couplé au réseau de surveillance volcanologique.

Nicolas Deichmann, de l'ETH de Zurich, présente les caractéristiques générales de la sismicité de la Suisse, avec environ un séisme de magnitude

6 par siècle. Le dispositif de surveillance sismique est centralisé à l'ETH.

Denis Hatzfeld, du CNRS à l'Université Joseph Fourier de Grenoble, présente les réalisations du réseau accélérométrique des Alpes dont l'intérêt essentiel, outre l'étude des séismes proprement dits, est de caractériser l'effet des structures géologiques locales par l'étude des effets de site. Cette expérience constitue le prototype du Réseau accélérométrique permanent (RAP).

Jacques Hinderer, du CNRS à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, présente l'apport des mesures satellitaires du système GPS (Global Positioning System - système de positionnement par satellite) pour l'estimation des déformations intracontinentales. Compte tenu du faible niveau des mouvements différentiels à mettre en évidence, de l'ordre du millimètre par an, un soin tout particulier doit être apporté à l'amélioration de la qualité des mesures.

### L'information sur les séismes

Les exposés suivants sont principalement consacrés aux problèmes de l'information sur les séismes. En l'absence du représentant de la Délégation aux risques majeurs, empêché au dernier moment, Michel Cara fait état du souci de la Délégation pour qu'une information rapide soit disponible sur les effets ressentis des séismes. L'application des dispositions relatives à la déclaration de catastrophe naturelle nécessite en particulier que le BCSF informe rapidement les maires des communes qui engagent ce type de procédure.

Bruno Feignier, du CEA-DASE, présente l'organisation opérationnelle de l'information sur les séismes qui fonctionne au LDG à Bruyères Le Chatel. La centralisation en temps réel des signaux sismiques, et les liens étroits avec le Centre sismologique euro-méditerranéen, est une originalité du dispositif fonctionnant au LDG.

Michel Granet, de l'EOST, présente l'organisation opérationnelle du site central du RéNaSS ainsi que la procédure d'information automatique qui permet de distribuer à une large liste de correspondants les paramètres du foyer sismique dans des délais très brefs.

Darius Amir-Mazaheri, président de l'Association française de génie parasismique (AFPS), sensibilise l'audience aux effets destructeurs des séismes avec de nombreux exemples de comportement de constructions. Il montre notamment le degré de vulnérabilité de certaines structures, même pour des séismes de magnitude relativement modérée, ce qui met l'accent sur l'import-

tance des études de génie parasismique pour sécuriser les régions urbanisées à l'avenir.

### Débat général : le BCSF

En introduction au débat, Jean-Pierre Gratier, directeur du département scientifique des Sciences de la Terre de l'Univers et de l'Environnement du Ministère en charge de la recherche et de la technologie, rappelle que le risque sismique constitue l'un des risques naturels majeurs en France et que les scientifiques ont une responsabilité vis à vis de la collectivité nationale. La variété des données relatives aux séismes est très grande. Elle rend nécessaire la coordination de la collecte de ces données par une structure oeuvrant dans un cadre pluridisciplinaire et pluri-organismes. Cette structure peut être le BCSF à condition qu'elle soit portée par la communauté scientifique, ce qui est indispensable à un fonctionnement efficace de la mise à disposition des données.

Le débat qui suit montre la complexité des questions relatives aux recherches sur les phénomènes sismiques, même en se restreignant à l'aspect «aléa sismique» et en écartant l'étude

des risques au niveau du bâti construit pour lequel l'AFPS rassemble les professionnels du domaine. En matière d'étude de l'aléa sismique, la multiplicité des acteurs concernés, dont certains relèvent d'autres tutelles ministérielles que le MENRT, ne facilite pas non plus la coordination de la collecte de données. C'est une limite évidente du rôle que le BCSF peut être amené à jouer.

Corrélativement, la discussion fait apparaître que cette multiplicité de partenaires rend encore plus nécessaire l'existence d'un BCSF pour améliorer la lisibilité des recherches faites sur l'aléa sismique en France. L'exemple des mesures géodésiques GPS qui commencent à être conduites par plusieurs organismes pour suivre les déformations tectoniques intracontinentales en France est révélateur de cette situation. Le rassemblement des efforts conduits dans ce domaine, la pérennisation des mesures, traitements et collectes d'informations sont nécessaires pour une meilleure prise en compte de l'aléa sismique en France. Par ailleurs, l'intégration des données sur la sismicité des Antilles aux bases de données du BCSF n'est pas faite. Des efforts restent là aussi à faire pour rassembler et rendre accessibles aux chercheurs les données sismologiques.

En conclusion du débat, un consensus fait apparaître la nécessité de placer un comité scientifique auprès du BCSF. L'un des objectifs de ce comité devrait être d'étudier les possibilités d'élargissement du rôle du BCSF par rapport à ses activités actuelles de collecte de données macrosismiques et de publication d'un bulletin sur la sismicité de la France. Jean-Pierre Gratier ajoute que le comité devrait également travailler sur les points suivants :

- prospective scientifique pour l'acquisition de données nouvelles,
- validation des méthodes d'acquisition,
- politiques d'échanges de données,
- organisation de l'information sur les séismes,
- propositions et expertises pour les collectivités.

Michel Cara

#### Membres du comité scientifique du BCSF

(initiative MENRT-INSU, décembre 1998) :

Michel Cara	Professeur EOST/ULP, Strasbourg,
Rolando Armijo	Physicien IPG, Paris,
Pierre-Yves Bard	Ingénieur LCPC, Univ. J. Fourier Grenoble,
Yves Caristan	Ingénieur CEA-DASE,
Kurt Feigl	Chargé de Recherche CNRS, Toulouse,
Michel Granet	Physicien EOST/ULP, Strasbourg,
Claude Jaupart	Professeur IPG, Paris,
Lucien Faugère	Professeur Univ. Paris 1-Sorbonne,
Jean Virieux	Professeur Univ. Nice-Sophia Antipolis,
Thierry Winter	Ingénieur BRGM, Orléans.

# Annexe III

## Résumé du compte-rendu de la 1<sup>re</sup> réunion du Comité scientifique du BCSF

Paris, 28 avril 1999

Trois points étaient à l'ordre du jour de cette réunion : les réseaux accélérométriques, les enquêtes macrosismiques, et la publication du BCSF.

### Réseaux accélérométriques

À la fin des années 80, il est apparu que si les réseaux sismologiques étaient bien adaptés au suivi de la sismicité en France, ils l'étaient beaucoup moins pour étudier les processus de ruptures de failles et les variations d'amplitude des vibrations sismiques dues aux structures géologiques. Ces deux questions étant clés pour l'ingénierie parasismique, le développement d'une instrumentation complémentaire était nécessaire (recommandations du groupe d'experts réuni par le BCSF les 5 et 6 juin 1990).

La plupart des capteurs sismiques équipant les réseaux CEA/DASE, CNRS/INSU et ceux des Universités, ont généralement été installés loin des zones habitées. Ces instruments étant très sensibles, un séisme situé à proximité d'un capteur sature les enregistreurs, même pour une magnitude modérée. De ce constat, deux projets sont nés au début de la décennie : une extension du Réseau National de Surveillance Sismique (le RéNaSS) à des capteurs large-bande et le projet de réseau accélérométrique à grande dynamique.

Le premier projet a été réalisé avec un fort soutien de l'INSU. Il a bénéficié en outre de diverses initiatives régionales et transfrontalières (à Grenoble et à Nice). L'instrumentation du RéNaSS étendue à une bande de fréquences plus large comprend une dizaine de stations sismologiques à large bande. Ces instruments restent dans l'optique d'une très grande sensibilité. Ils sont complémentaires, à l'échelle régionale, du réseau mondial Géoscope.

Le deuxième projet s'est développé à partir de 1993 autour du réseau accélérométrique-pilote des Alpes. Actuellement, il comprend une trentaine de stations dont 14 sont installées en milieu urbain (5 à Grenoble, 2 à Annecy, 2 à Chambéry

et 5 à Nice). L'extension du réseau accélérométrique à d'autres régions françaises est considérée comme une nécessité par le Comité Scientifique. Un réseau accélérométrique est projeté à court terme en Alsace (14 stations, IPGS-EOST), aux Antilles (10 stations IPGP-BRGM) et en 2000 dans les Pyrénées (5 stations OMP).

Le développement d'un réseau accélérométrique permanent implique la mise en place de moyens financiers et humains pour en assurer l'installation et la maintenance. Ceci devrait impliquer à la fois le budget recherche-enseignements supérieurs (salaires des personnels CNRS et universités) et celui des autres ministères concernés soit par le risque naturel soit par la sécurité des ouvrages d'art. Comme il est fondamental d'équiper le milieu urbain, il est aussi souhaitable que les collectivités territoriales participent au projet.

Faire fonctionner un réseau accélérométrique permanent à long terme nécessite d'y associer étroitement la communauté scientifique intéressée. Les Observatoires des sciences de l'Univers, des Universités et de l'INSU offrent un cadre idéal pour cela. Compte tenu de l'existence d'une expérience réussie à l'Observatoire de Grenoble avec le projet pilote des Alpes, le Comité propose que l'Observatoire de Grenoble ait la charge du pilotage du RAP.

### Les enquêtes macrosismiques

Les enquêtes macrosismiques sont conduites par le BCSF depuis 1921. La procédure actuelle est précisée par une circulaire de la Direction de la Défense et de la Sécurité Civile en date du 27 mars 1986. Elle s'appuie sur les services préfectoraux des départements. Par ailleurs un protocole d'accord passé en 1987 entre l'INSU agissant pour le compte du BCSF et le BRGM confie au BRGM la mise en forme numérique des données macrosismiques. Ces données sont intégrées dans la base de données SIRÈNE (BRGM-EDF-CEA).

La procédure actuellement en vigueur prend 2

à 3 mois, voire plus d'après Hoang Trong Pho. L'enquête est lancée lorsque le site central du RéNaSS à Strasbourg signale un événement de magnitude  $ML \geq 3,5$  en France. En général 10 à 20 enquêtes sont effectuées par an. Les formulaires d'enquêtes sont envoyés au(x) préfet(s) du ou des départements concernés ainsi que la liste des cantons susceptibles d'être touchés. Les préfetures transmettent ensuite les formulaires aux communes qui les renvoient à Strasbourg normalement via les préfetures.

Ce type de procédure fonctionne depuis plus de 20 ans. Plusieurs problèmes sont identifiés. Celui du délai d'abord. Un délai minimum de 2-3 mois est trop long. Réduire l'information à un point par commune est par ailleurs trop réducteur. Par exemple, lors du séisme d'Annecy, la commune proche de Sillingy a renvoyé 480 réponses. Une étude de détail a montré la richesse d'information que ce type d'enquêtes pouvait donner, en particulier en termes d'effets de site. À la suite du séisme de Laffrey du 11 janvier 1999, une enquête à l'échelle de l'agglomération a été menée par le LGIT à Grenoble, sur l'initiative de l'IPSN, parallèlement à l'enquête officielle du BCSF via la préfeture. Cette enquête (diffusée par les journaux et par les lycées) a recueilli près de 2000 réponses, celle du BCSF, 118...

Ces exemples montrent qu'il serait souhaitable de densifier les enquêtes macrosismiques afin de disposer d'une base d'information plus objective et de mettre en évidence d'éventuels effets de site. Michel Cara suggère d'automatiser la lecture des formulaires d'enquête en faisant apparaître deux champs de questions : l'un avec cases à cocher, facilement numérisable, l'autre rempli sous forme d'écriture cursive où des observations libres seraient rapportées. Ces questionnaires comportant l'adresse des personnes les ayant remplis ainsi que des informations pouvant être sensibles en matière d'assurance, doivent pouvoir être traitées confidentiellement. La CNIL devra être saisie avant de constituer une telle base de donnée.

Un autre problème se pose si l'enquête macrosismique se fait au niveau de l'îlot pour rechercher des effets de site très locaux : comment passer de l'adresse d'un particulier aux coordonnées géographiques de son habitation ? Pour l'instant il n'existe pas de base de données permettant de régler ce problème de façon automatique sur l'ensemble du territoire.

La question de savoir quel est le meilleur moyen de diffusion pour des enquêtes plus denses est longuement discutée (diffusion par les médias, les maires des communes, l'internet, les professeurs des lycées, les services régionaux du BRGM ou

de la DRIRE, procéder par téléphone, s'appuyer sur les Sociétés d'Assurance, l'AFPS...). Pour les séismes ayant occasionné des dégâts importants, il paraît clair que le problème des enquêtes macrosismiques se pose différemment. Il est suggéré dans ce cas de faire appel aux directions départementales de l'équipement et aux services de pompiers et de gendarmerie.

Kurt Feigl suggère pour renforcer la fiabilité et estimer les incertitudes de poser des questions plus redondantes qu'actuellement. Il faut de plus repenser l'éventail des questions posées lors des enquêtes, certaines étant devenues obsolètes. Un groupe de réflexion sur la révision du questionnaire d'enquête macrosismique est constitué. Il comprend : J. Lambert (BRGM), A. Levrey (IPSN), F. Cotton (IPSN), P. Dominique (BRGM), M. Nicolas (LDG), F. Thouvenot (LGIT).

Pour aider à la quantification des effets de sites à l'aide des enquêtes macrosismiques, Pierre Yves Bard propose également de renforcer la diffusion des questionnaires à proximité des sites équipés d'accéléromètres.

En conclusion, le sentiment général est que les enquêtes macrosismiques sont utiles et qu'il faudrait aller au-delà de leur simple utilisation de calibrage des magnitudes des séismes historiques. Pour aborder l'étude des effets de site il faudrait de plus faire évoluer les enquêtes, les densifier et rendre leur dépouillement automatique.

## La publication du BCSF

La publication du BCSF regroupe, sous des formes qui ont évolué au cours du temps, toutes les informations sur les paramètres instrumentaux et les effets macrosismiques des séismes du territoire métropolitain depuis 1921. Sa forme actuelle couvre en plusieurs volumes la période 1976-1996, avec deux parties séparées comprenant la liste des paramètres des séismes déterminés à partir des caractéristiques instrumentales d'une part, les informations macrosismiques provenant des enquêtes et leur interprétation sous forme de cartes d'isoséistes d'autre part.

Afin de rendre plus lisible et plus riche d'informations cette publication, Eric Jacques propose de refondre la partie concernant les séismes de  $ML \geq 3,5$  pour lesquels les enquêtes macrosismiques sont lancées systématiquement. Il est notamment proposé d'adopter une présentation par fiche où l'ensemble des informations existantes sur chaque séisme serait regroupé. D'autre part, il est proposé que la liste des localisations de la sismicité instrumentale constituant la seconde partie de la publication actuelle soit gravée sur

un CD-ROM fourni avec la nouvelle publication. Ce CD-ROM contiendrait ainsi l'ensemble des données, quelle que soit la magnitude de l'événement .

Ces propositions paraissent pertinentes mais ambitieuses. Le débat porte surtout sur le délai de sortie de la nouvelle publication : 2 ans, 3 ans ou moins de 2 ans ? Une publication de synthèse sortant deux ans après la fin de l'année ou les

événements se produisent semble finalement être un bon compromis. Compte tenu du caractère très évolutif de l'information, il est aussi suggéré de mettre le contenu de la publication du BCSF en ligne sur le serveur Web avec réactualisation régulière.

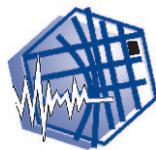
Eric Jacques, Michel Cara

# Annexe IV

## Glossaire des sigles

AFPS :	Association Française de Génie Parasismique
BCSF :	Bureau Central Sismologique Français
BRGM :	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CEA :	Commissariat à l'Énergie Atomique
CLDG :	Centre Littoral de Géophysique
CNIL :	Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
CNRS :	Centre National de la Recherche Scientifique
CODIS :	Centre Opérationnel d'Incendie et de Secours
DASE :	Département Analyses et Surveillance de l'Environnement
DRIRE :	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
EDF :	Electricité de France
EMS98 :	Européan Macrosismic Scale 1998 (échelle d'intensité macrosismique)
EOST :	Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre
ETH Zurich :	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
ICC :	Institut cartogràfic de Catalunya, Barcelone
IGN :	Instituto Geografico Nacional de Madrid
IGN :	Institut Géographique National (France)
IPSN :	Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire
IPGP :	Institut de Physique du Globe de Paris
IPGS :	Institut de Physique du Globe de Strasbourg
INSU :	Institut National des Sciences de l'Univers (CNRS)
LCPC :	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LEPCAT :	Laboratoire d'Etudes Physiques et Chimiques Appliquées à la Terre (Université de La Rochelle), ancien nom du CLDG.
LDG :	Laboratoire de Détection Géophysique (CEA)
LGIT :	Laboratoire de Géophysique Interne et de Tectonophysique, Grenoble
MSK64 :	Echelle macrosismique Medvedev, Sponheuer et Karnik de 1964
OMP :	Observatoire Midi-Pyrénées
RAP :	Réseau Accélérométrique Permanent
RéNaSS :	Réseau National de Surveillance Sismique
RSSP :	Réseau de Surveillance Sismique des Pyrénées
RSP :	Réseau Sismique de Provence
SIDPC :	Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles
SISFRANCE :	Base de données de sismicité historique de la France (BRGM)
SISMALP :	Réseau Sismologique des Alpes
SGC :	Servei Geologic de Catalunya de Barcelone
ULP :	Université Louis Pasteur, Strasbourg





**BCSF**  
**Bureau Central**  
**Sismologique**  
**Français**

Ecole et Observatoire  
des Sciences de la Terre



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

5, rue René Descartes - 67084 Strasbourg cedex  
Site internet : [www.seisme.prd.fr](http://www.seisme.prd.fr)