

Séisme du 22 février 2003 Rambervillers (Vosges)



HEURE
en temps universel :
20h41min
en temps légal :
21h41min

MAGNITUDE M_L
RéNaSS : 5,4
LDG : 5,9

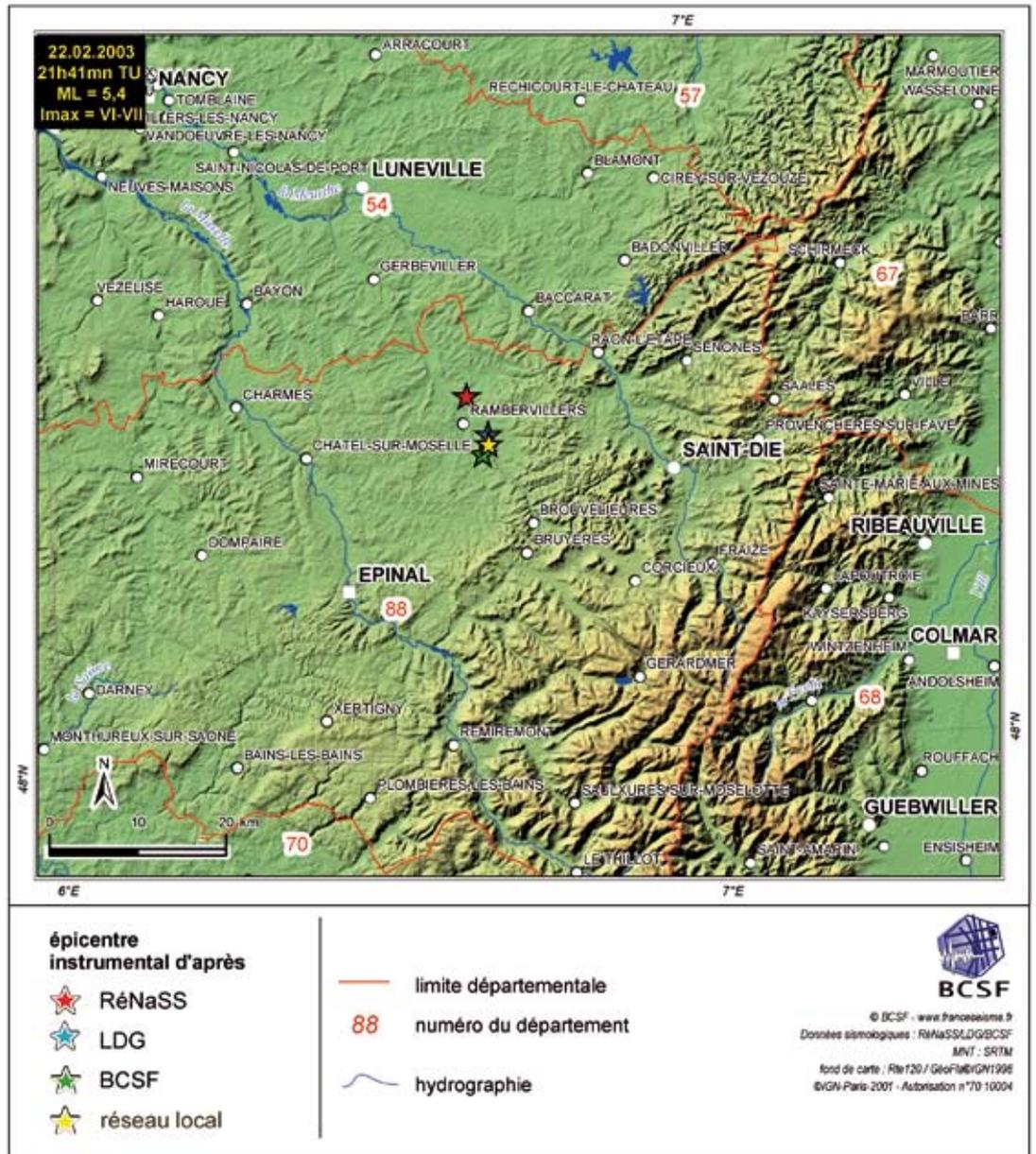
MAGNITUDE M_w
Géosciences-Azur : 4,8
ETH (Zurich) : 4,8

LOCALISATION ÉPICENTRE
D'APRÈS:
RéNaSS
lat. : 48,37° N
long. : 6,64° E
profondeur : 10 km

LDG
lat. : 48,33° N
long. : 6,67° E
profondeur : 12 km

BCSF
lat. : 48,31° N
long. : 6,66° E
profondeur : 10 km

Réseau local :
lat. : 48,32° N
long. : 6,67° E



(fig.1)

Contexte sismotectonique

Le séisme de magnitude 5,4 M_L (RéNaSS) qui s'est produit à l'ouest de St-Dié (48,34°N ; 6,67°E) le samedi 22 février 2003 à 21h41 (heure légale) a été suivi de nombreuses répliques dont, une de magnitude 3,4 M_L moins d'un quart d'heure après (21h54), une de magnitude 3,1 M_L le lendemain matin (5h54) ; au total six séismes de magnitude $M_L > 3$. Ce séisme principal a été ressenti très

largement en dehors des Vosges et du Fossé Rhénan, au-delà de Paris et de Lyon, jusque dans la Manche à près de 650 km de l'épicentre, mais aussi en Belgique, Allemagne et en Suisse. Le dernier séisme important connu dans la région avait atteint la magnitude de 4,8 M_L en 1984 (Haessler et Hoang Trong, 1985).

Le séisme du 22 février a son épïcéntré au nord d'une zone relativement sismique (Audin et al., 2002), où avait eu lieu le tremblement de terre historique de Remiremont de 1682 (intensité épi-

centrale VIII estimée au Val d'Ajol, Vogt, 1993; Lambert, 1997). Cette zone sismique s'étend sur un axe NNE-SSW de 80 km de long et 20 de large allant de Lure au sud à Thaon-les-Vosges au nord. Elle se situe grossièrement à la limite entre les Vosges cristallines et la couverture sédimentaire secondaire. La sismicité instrumentale dans cette zone est distribuée en «essaims» allongés de direction NNE-SSW et NS, comme la crise de 1984 (Haessler et Hoang Trong, 1985), mais aussi de direction NW-SE, comme la crise de 1971-1974. Les mécanismes aux foyers déterminés pour ces séismes sont soit de type décrochant sénestre NS (Haessler et Hoang Trong, 1985), soit normal décrochant (sénestre NNE-SSW ou dextre NW-SE, comme en 1974), soit encore chevauchant NE-SW (crise de 1974). L'ensemble est compatible avec une contrainte compressive à grande échelle orientée NW-SE, perpendiculaire à l'arc alpin.

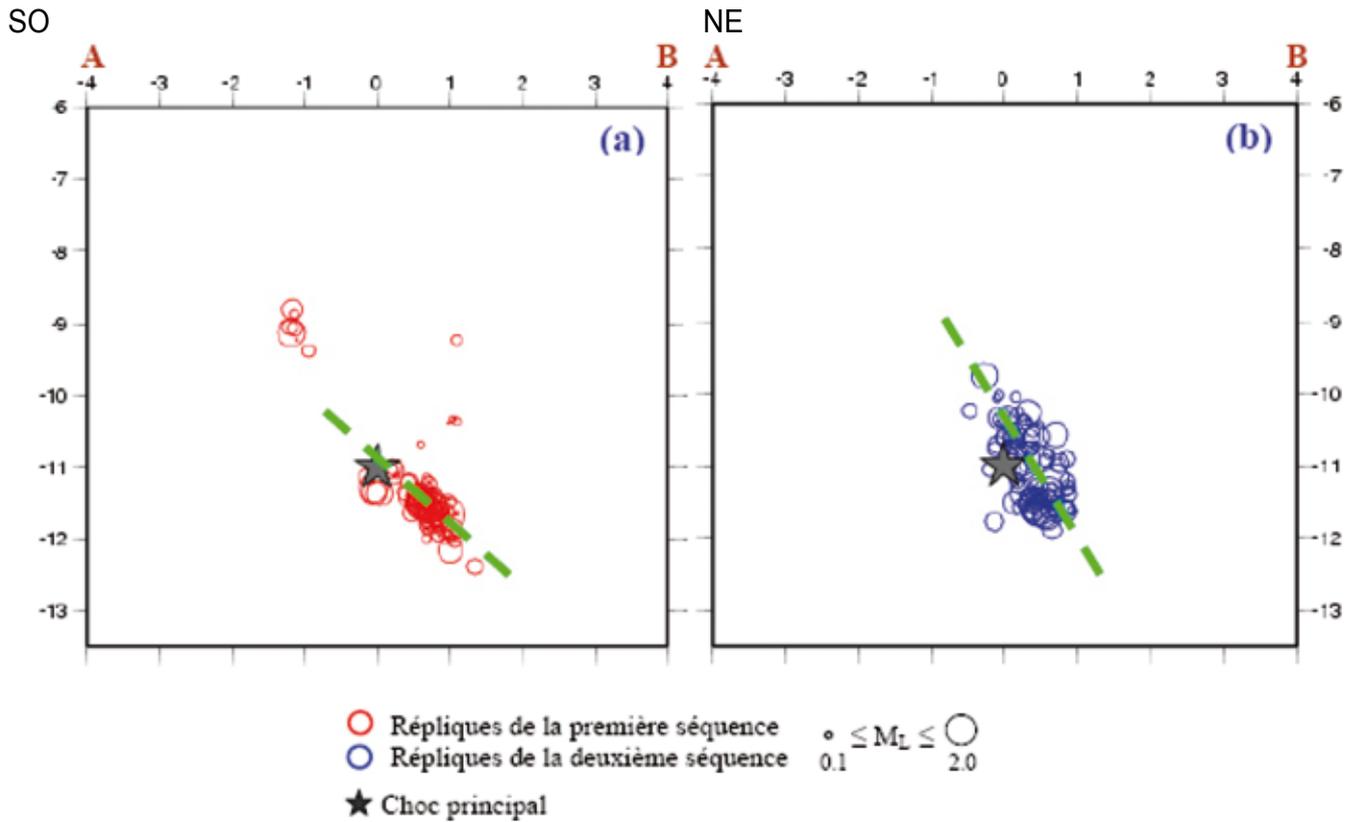
Ces mouvements sont également compatibles avec un rejeu de l'ancien décrochement ductile du socle de Sainte-Marie-aux-Mines dans un sens sénestre (plan N 25) comme le suggère un mécanisme au foyer sur cette faille.

Le séisme de Rambervillers du 22 février 2003, de magnitude $M_L=5,4$ (RéNaSS) et d'intensité estimée à VI-VII (Echelle EMS98), est le deuxième plus important séisme qui a affecté la région des Vosges. Historiquement, le plus fort événement connu dans les Vosges est celui de Remiremont du 12 mai 1682.

Le mécanisme au foyer du choc principal a été calculé par plusieurs organismes et, hormis celui de "HRV CMT", ils sont tous similaires (cf carte des "Mécanismes au foyer des principaux événements sismiques (2003-2005)" dans cette publication). Il permet d'identifier deux composantes normales décrochantes, l'une normale sénestre sur plan NS à pendage ouest et l'autre normale dextre sur un plan NW-SE à pendage nord. Ces mécanismes sont calculés soit en utilisant les polarités d'arrivée d'ondes P aux stations françaises, allemandes et belges (Jacques et al. 2004) soit par l'analyse des données large-bande européennes (ETH, Zurich, Suisse, <http://www.seismo.ethz.ch/mt/>) soit par la modélisation de formes d'ondes à partir des enregistrements accélérométriques et large-bande (Geoscience Azur, Nice, <http://geoazur.unice.fr/SEISME> et IPGS - Jacques et al. 2004). Le mécanisme HRV CMT" (Harvard Centroid-Moment-Tensor) obtenu par inversion des formes d'onde à partir du réseau Global FDSN et Géoscope (The Global CMT Project, USA, <http://www.globalcmt.org/>) est

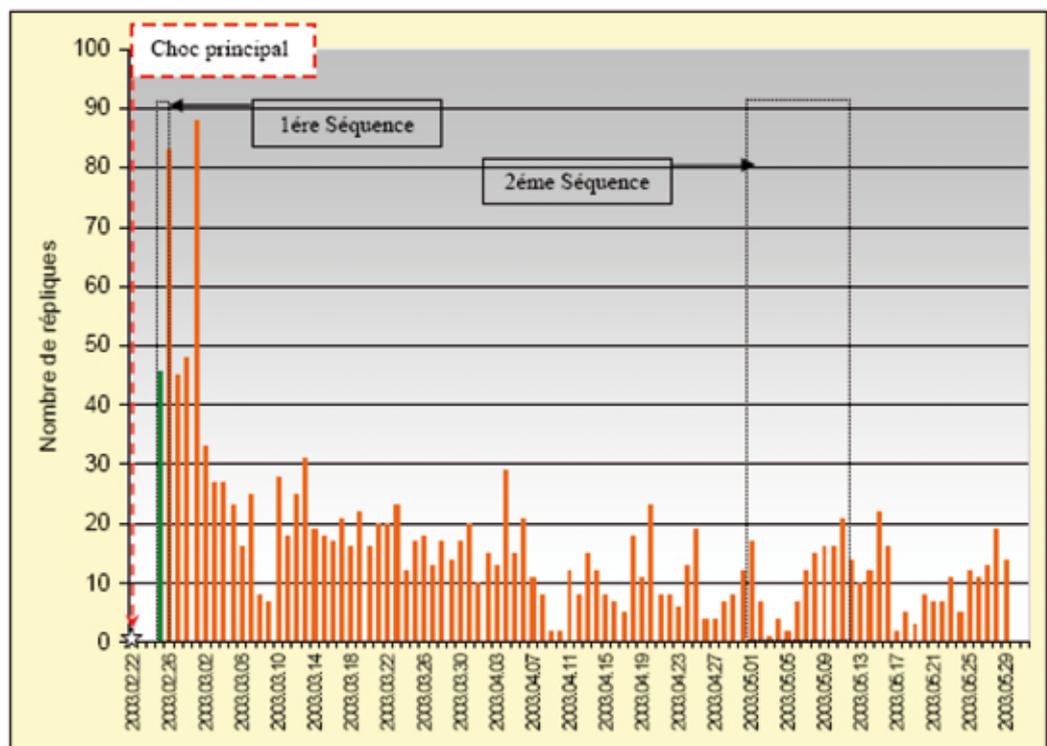
quant à lui avec des plans dont le pendage est soit plus fort vers le sud soit plus faible vers le nord. Un autre mécanisme calculé par l'INGV (Rome) donne une faille normale d'azimut NW-SE sans composante décrochante (<http://www.bo.ingv.it/RCMT/2003/R022203A.html>). L'étude des mécanismes au foyer, montre que le régime tectonique est globalement dominé par des jeux en faille normale, avec une composante décrochante plus ou moins prononcée. Ces mécanismes au foyer sont en accord avec un champ de contraintes où la contrainte maximale horizontale régionale, déduite des mécanismes au foyer, est orientée NW-SE et la contrainte minimale horizontale est orientée N45°. De plus, le mécanisme du choc principal est compatible avec les mécanismes au foyer des principaux séismes survenus dans la région des Vosges, qui sont soit décrochant sénestre NS (crise sismique de Remiremont, 1984), soit normal décrochant (sénestre NNE-SSW ou dextre NW-SE, comme en 1974), soit encore chevauchant NE-SW (crise de 1974), l'ensemble étant compatible avec une contrainte compressive à grande échelle orientée NW-SE. Le séisme de Rambervillers a été enregistré par la plupart des stations du Réseau Accélérométrique Permanent RAP, depuis celles du Réseau Fossé-Rhénan (RAP-EOST), jusqu'à celles du Réseau Alpes (RAP-LGIT) et du Réseau Provence-Pyrénées (RAP-BRGM et RAP-OMP).

Le Réseau national de surveillance sismique (RéNaSS) dispose de 10 stations dans un rayon de 200 km autour de l'épicentre. Ces stations sont essentiellement localisées au sud et à l'est de l'épicentre (réseau Fossé Rhénan), la plus proche étant située à 40 km de l'épicentre. Trois autres stations du Commissariat à l'énergie atomique sont également à proximité, à moins de 100 km au sud et à l'est. Une des stations du RéNaSS se trouve à l'ouest, à environ 50 km et une station du LDG-CEA est au sud-ouest. Huit autres stations étrangères associées au RéNaSS sont situées dans un rayon de 250 km, en Allemagne et en Suisse, à l'est et au nord. Ainsi près de 21 stations se trouvent à moins de 250 km. La couverture azimutale est donc bonne exceptée vers le nord ouest. Un réseau temporaire de 11 stations 3 composantes a été disposé par les équipes de recherche de l'IPGS dans les jours qui ont suivi le choc principal autour de la zone épiscopale déterminée par le RéNaSS (fig.1). Le maillage de ce réseau était relativement dense (5 à 12 km entre stations) et couvrait une aire de 20 x 20 km environ. Ce réseau a fonctionné pendant environ 3 mois et a été remplacé par un réseau de



(fig. 2) : Distribution spatiale des hypocentres suivant une section orientée N 30° représentée sur la figure 2a, première et deuxième séquences séparées.
 a) section verticale A-B, montrant que les hypocentres de la première séquence s'organisent autour d'un plan moyen (trait vert discontinu) plongeant de 45° vers le NE.;
 b) section verticale A-B, montrant que les hypocentres de la deuxième séquence s'organisent autour d'un plan moyen (trait vert discontinu) plongeant de 60° vers le NE.

(fig.3) Nombre d'événements par jours du 26 février au 29 mai 2003



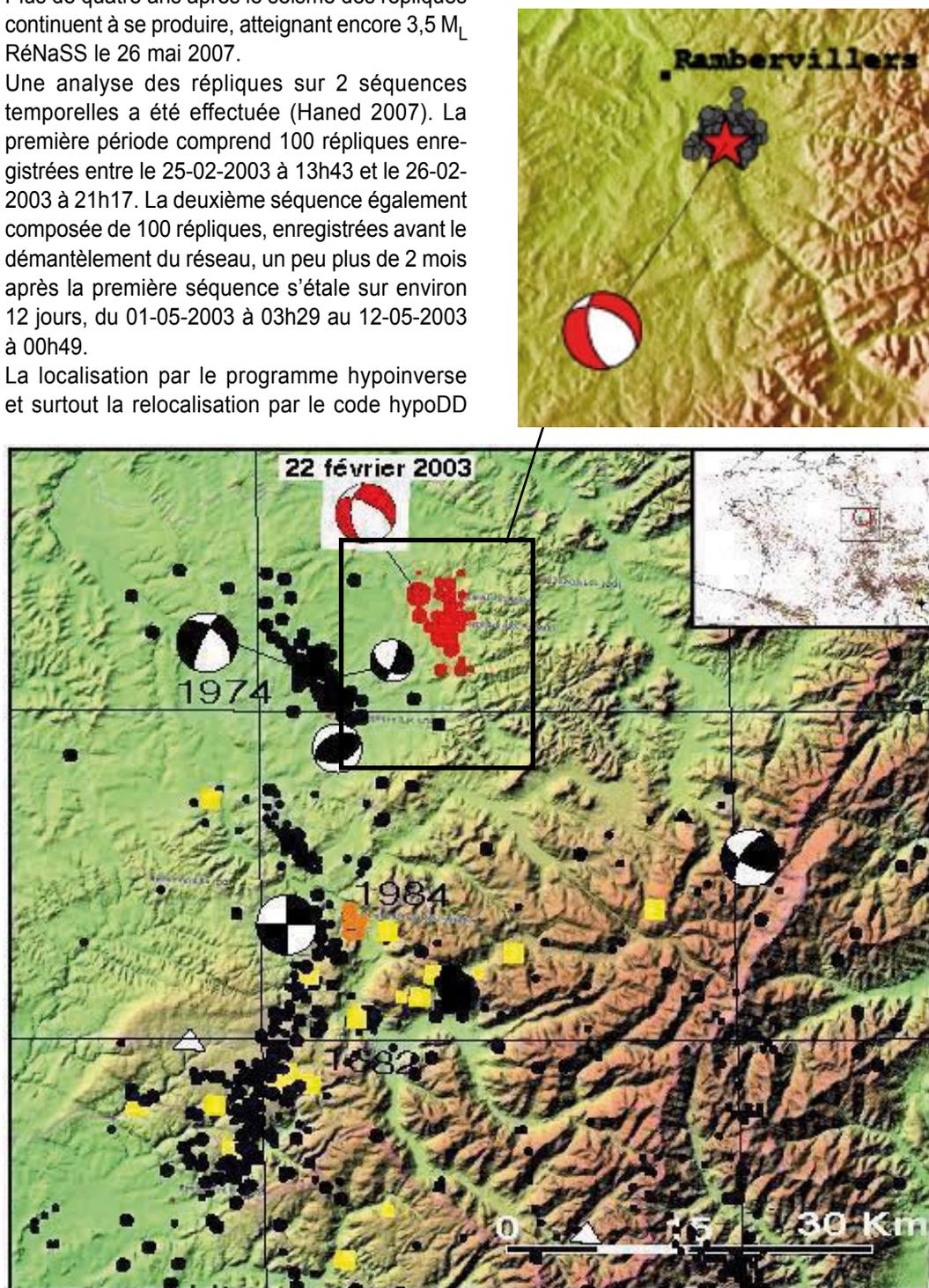
— Donnée de 13 heures -de 11h00 à 23h59-

4 stations 3 composantes plus autonomes qui a fonctionné jusqu'au mois de juillet 2004. Pendant les trois premiers mois, le RéNaSS a détecté et enregistré un total de 180 répliques à partir du réseau permanent alors que le réseau temporaire permettait d'en enregistrer environ 4 à 5 fois plus, c'est-à-dire environ 600 répliques dont les magnitudes sont comprises entre 0 et 3,4 M_L RéNaSS. Plus de quatre ans après le séisme des répliques continuent à se produire, atteignant encore 3,5 M_L RéNaSS le 26 mai 2007.

Une analyse des répliques sur 2 séquences temporelles a été effectuée (Haned 2007). La première période comprend 100 répliques enregistrées entre le 25-02-2003 à 13h43 et le 26-02-2003 à 21h17. La deuxième séquence également composée de 100 répliques, enregistrées avant le démantèlement du réseau, un peu plus de 2 mois après la première séquence s'étale sur environ 12 jours, du 01-05-2003 à 03h29 au 12-05-2003 à 00h49.

La localisation par le programme hypoinverse et surtout la relocalisation par le code hypoDD

de 200 événements, a permis de montrer qu'ils sont organisés selon une direction NW-SE, et que les profondeurs s'échelonnent entre 9.5 et 12.5 km. Les hypocentres des événements du 25 et 26-02-2003 sont distribués dans une zone d'environ 2.5x1.5 km, ce qui est tout à fait compatible avec les dimensions d'un séisme de magnitude M_L 5, et s'organisent autour d'un plan moyen



(fig. 4) Carte de la sismicité régionale (d'après Audin et al., 2002) et localisation préliminaire (en rouge) de la crise sismique de Rambervillers. L'encart montre le résultat de la re-localisation de cette crise sismique à l'aide des données du réseau de stations temporaires (Haned, 2007).

plongeant de 45° vers le NE. L'allongement des répliques, ainsi que leur pendage, sont compatibles avec le plan N 296° à pendage de 44° vers le NE du choc principal obtenu à partir de la solution focale de l'IPGS qui est donc le plan de faille du choc principal. Il s'agit ainsi d'une

faille antithétique aux grandes failles à pendage sud présentes dans la région. L'activité sismique correspondant à la 2^{ème} séquence s'étale davantage vers l'ouest, dans une région où il n'y avait pas d'évènements lors de la première séquence de répliques. La distribution spatiale des événe-

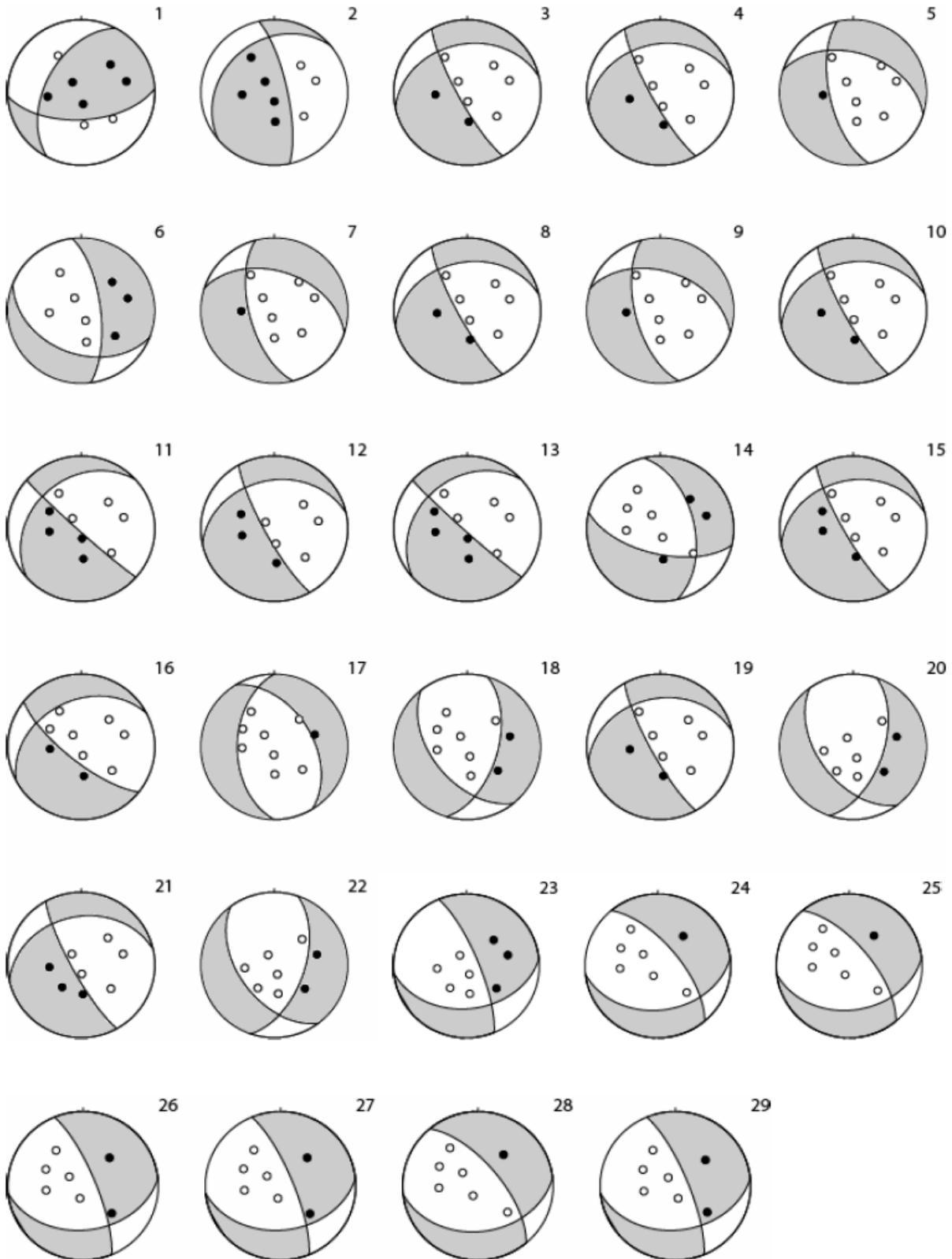
(fig. 5) Tableau des paramètres des mécanismes au foyer

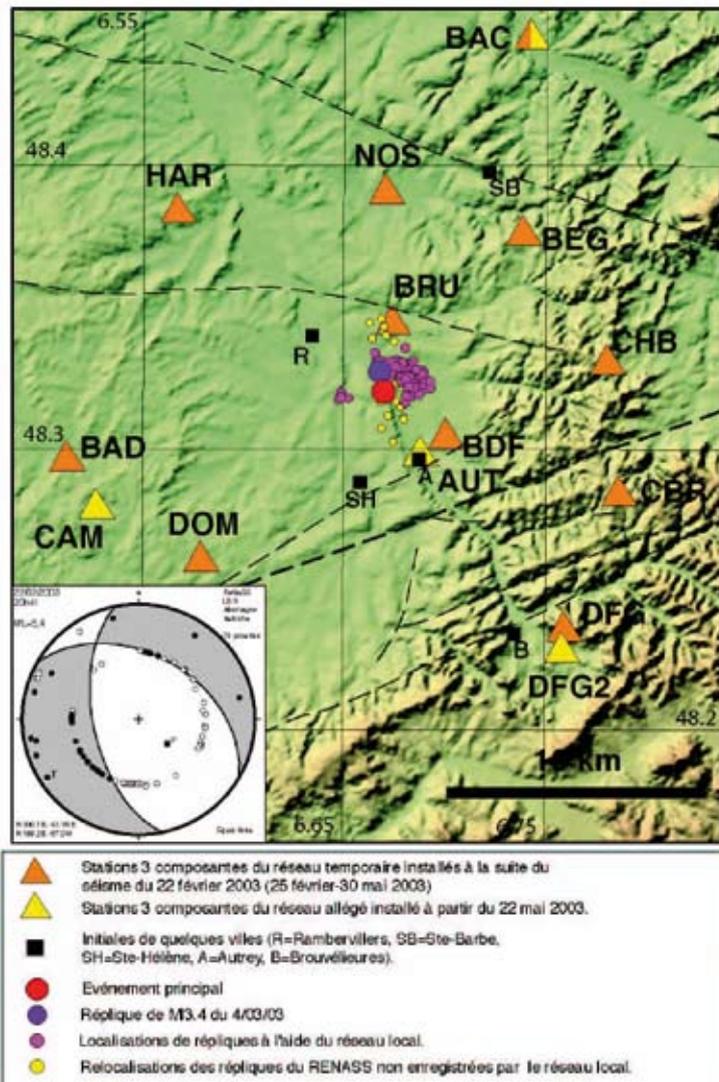
Temps d'origine (TU)			Hypocentre			M_L	Plan 1			Plan 2			Donnée
N	JJ/MM/AAAA	hh :mm :ss	Lat.(N)	Long.(E)	Dep(km)		St	Dp	Rk	St	Dp	Rk	UD
1	25/02/2003	16 :14 :49.42	48,323°	6,676°	10,686	0,4	207,80	49,30	42,60	86,90	59,10	130,60	8
2	25/02/2003	18 :09 :11.18	48,325°	6,672°	11,451	1,2	347,90	75,40	64,80	229,70	28,90	148,50	8
3	25/02/2003	18 :52 :06.71	48,325°	6,673°	11,540	1,6	257,50	33,70	-160,00	151,20	79,50	-57,80	8
4	25/02/2003	23 :03 :39.55	48,316°	6,677°	11,290	1,4	257,50	33,70	-160,00	151,20	79,50	-57,80	8
5	25/02/2003	23 :39 :32.06	48,324°	6,680°	11,679	1,0	287,90	44,70	-140,60	167,60	63,50	-52,60	8
6	26/02/2003	00 :04 :32.12	48,327°	6,680°	10,370	0,4	337,60	76,30	-51,90	84,30	40,10	-158,50	8
7	26/02/2003	00 :34 :30.17	48,328°	6,667°	11,528	0,7	287,90	44,70	-138,10	165,40	62,00	-53,60	8
8	26/02/2003	01 :14 :13.70	48,326°	6,677°	11,638	1,2	257,50	33,70	-160,00	151,20	79,50	-57,80	8
9	26/02/2003	01 :15 :43.33	48,326°	6,667°	11,404	1,3	287,90	44,70	-138,10	165,40	62,00	-53,60	8
10	26/02/2003	04 :19 :30.33	48,325°	6,674°	11,733	1,1	257,50	33,70	-160,00	151,20	79,50	-57,80	8
11	26/02/2003	07 :55 :06.56	48,325°	6,674°	11,477	0,9	227,50	31,70	-173,60	132,00	86,60	-58,50	9
12	26/02/2003	09 :05 :01.71	48,315°	6,676°	11,142	0,7	257,50	33,70	-160,00	151,20	79,50	-57,80	8
13	26/02/2003	09 :27 :20.18	48,324°	6,672°	11,507	1,3	227,50	31,70	-173,60	132,00	86,60	-58,50	9
14	26/02/2003	10 :45 :15.32	48,326°	6,680°	10,333	0,3	347,00	51,50	-38,00	102,90	61,20	-134,70	9
15	26/02/2003	11 :16 :50.31	48,326°	6,678°	11,707	0,5	257,50	33,70	-160,00	150,00	80,00	-57,80	9
16	26/02/2003	11 :41 :36.27	48,326°	6,677°	11,581	0,8	242,40	36,30	-151,30	128,60	73,50	-57,20	9
17	26/02/2003	11 :47 :09.22	48,326°	6,672°	11,792	0,5	328,50	46,60	-113,10	180,30	48,10	-67,50	9
18	26/02/2003	13 :27 :28.66	48,322°	6,681°	11,621	0,9	140,80	50,30	-132,80	16,30	55,60	-50,70	9
19	26/02/2003	13 :55 :27.14	48,326°	6,677°	11,665	1,7	257,50	33,70	-160,00	151,20	79,50	-57,80	8
20	26/02/2003	18 :00 :19.03	48,321°	6,681°	11,483	1,0	143,50	50,00	-133,00	18,90	55,90	-50,90	8
21	26/02/2003	19 :21 :20.76	48,325°	6,672°	11,485	1,6	257,50	33,70	-160,00	151,20	79,50	-57,80	8
22	26/02/2003	19 :24 :51.83	48,322°	6,682°	11,702	0,4	143,50	50,00	-133,00	18,90	55,90	-50,90	8
23	26/02/2003	19 :40 :10.85	48,323°	6,680°	11,799	1,0	337,60	76,30	-51,90	84,30	40,10	-158,50	8
24	06/05/2003	21 :28 :18.54	48,327°	6,660°	10,365	0,2	320,10	66,40	-58,80	83,50	38,40	-139,90	7
25	07/05/2003	00 :30 :29.18	48,328°	6,660°	10,605	1,2	320,10	66,40	-58,80	83,50	38,40	-139,90	7
26	07/05/2003	11 :08 :18.83	48,323°	6,665°	10,759	0,6	337,60	76,30	-51,90	84,30	40,10	-158,50	7
27	07/05/2003	11 :08 :52.20	48,323°	6,665°	10,795	1,2	337,60	76,30	-51,90	84,30	40,10	-158,50	7
28	07/05/2003	12 :38 :14.88	48,328°	6,660°	10,445	0,4	320,10	66,40	-58,80	83,50	38,40	-139,90	7
29	08/07/2003	09 :45 :42.59	48,319°	6,678°	11,525	0,8	337,60	76,30	-51,90	84,30	40,10	-158,50	7

N : Numéro du mécanisme au foyer. Dep : Profondeur. M_L : Magnitude locale. St : Azimut. Dp : Pendage. Rk : Plongement. UD : Nombre de polarité d'onde P.

(fig. 6) - Représentation des 29 mécanismes au foyer, avec les polarités d'onde P.

N° 1 à 23 : Première séquence.
 N° 24 à 29 : Deuxième séquence.





ments des deux séquences, suivant une section verticale d'azimut N0 30°, montre en outre une migration globale vers la surface des hypocentres de la deuxième séquence par rapport à ceux de la première séquence. Les hypocentres des répliques de la 2^{ème} séquence présentent une plus grande dispersion et s'organisent autour d'un plan moyen plongeant de 60° vers le NE.

(fig.7) - Réseau temporaire sismologique déployé autour de la zone épiscopale et localisation des événements sismiques

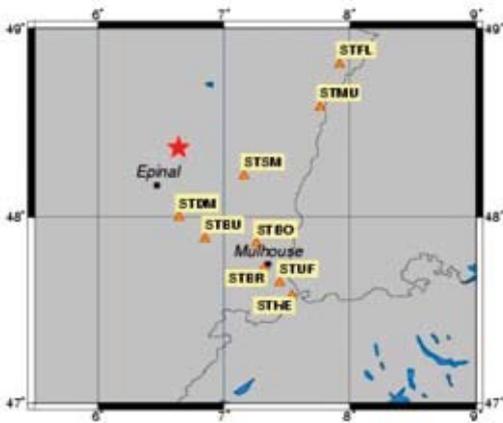
Date-heure UTC	Lat	Long	Prf	Magnitude (M _L)	Localisation
22/02/2003-20:41:05,84	48,31	6,66	10	5,4	M, NE EPINAL(88)
22/02/2003-20:54:25,50	48,32	6,68	10	3,4	W SAINT-DIE(88)
22/02/2003-21:06:44,71	48,36	6,66	10	2,8	WNW SAINT-DIE(88)
22/02/2003-21:34:24,50	48,36	6,67	10	2,7	WNW SAINT-DIE(88)
23/02/2003-00:16:41,96	48,30	6,64	10	3,1	NE EPINAL(88)
23/02/2003-03:39:50,87	48,33	6,68	10	2,5	WNW SAINT-DIE(88)
23/02/2003-04:53:47,81	48,30	6,66	10	3,2	NE EPINAL(88)
23/02/2003-22:58:21,15	48,35	6,66	10	2,8	WNW SAINT-DIE(88)
23/02/2003-23:58:52,53	48,30	6,65	10	3,4	NE EPINAL(88)
24/02/2003-00:35:41,95	48,30	6,64	10	3,1	NE EPINAL(88)
26/02/2003-13:55:26,69	48,35	6,68	10	2,6	WNW SAINT-DIE(88)
26/02/2003-23:24:33,50	48,36	6,68	10	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
01/03/2003-06:51:19,11	48,35	6,66	5	2,5	WNW SAINT-DIE(88)
03/03/2003-07:54:25,32	48,34	6,66	10	2,7	WNW SAINT-DIE(88)
04/03/2003-19:08:11,88	48,33	6,66	10	3,4	WNW SAINT-DIE(88)
05/03/2003-02:28:06,58	48,35	6,68	10	2,5	WNW SAINT-DIE(88)
05/03/2003-02:52:59,08	48,35	6,68	10	2,7	WNW SAINT-DIE(88)
17/03/2003-05:24:13,58	48,34	6,69	10	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
01/04/2003-09:15:06,78	48,34	6,67	10	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
25/04/2003-23:19:50,42	48,33	6,67	10	2,7	WNW SAINT-DIE(88)
04/05/2003-11:21:58,80	48,34	6,67	5	2,5	WNW SAINT-DIE(88)
24/05/2003-17:53:45,19	48,33	6,65	5	2,6	NE EPINAL(88)
11/06/2003-23:08:20,56	48,35	6,66	5	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
20/06/2003-17:57:17,46	48,33	6,65	5	2,5	WNW SAINT-DIE(88)
29/06/2003-11:00:35,91	48,34	6,66	5	2,8	WNW SAINT-DIE(88)
29/06/2003-11:23:31,17	48,34	6,67	5	2,7	WNW SAINT-DIE(88)
11/08/2003-21:56:04,78	48,33	6,65	5	2,4	W SAINT-DIE(88)
31/10/2003-15:59:20,57	48,35	6,63	5	2,8	NE EPINAL(88)
03/11/2003-18:04:46,00	48,33	6,64	10	3,0	NE EPINAL(88)
13/11/2003-18:31:08,43	48,34	6,68	5	3,0	WNW SAINT-DIE(88)
13/11/2003-22:18:31,79	48,33	6,65	5	3,0	W SAINT-DIE(88)
04/12/2003-06:43:34,48	43,34	6,68	10	2,6	W SAINT-DIE(88)
08/12/2003-09:58:42,64	48,33	6,64	10	2,8	NE EPINAL(88)
17/01/2004-18:39:40,20	48,35	6,66	10	2,9	WNW SAINT-DIE(88)
23/01/2004-20:36:16,53	48,32	6,67	10	2,6	W SAINT-DIE(88)
14/02/2004-16:41:51,42	48,33	6,65	10	2,8	W SAINT-DIE(88)
16/02/2004-09:58:27,98	48,32	6,67	10	3,3	W SAINT-DIE(88)
31/03/2004-08:12:43,96	48,32	6,65	10	2,6	W SAINT-DIE(88)
12/04/2004-19:14:15,60	48,34	6,64	10	2,6	NE EPINAL(88)
01/05/2004-06:25:43,63	48,31	6,65	10	3,0	NE EPINAL(88)
26/05/2004-09:37:49,37	48,32	6,65	10	2,7	NE EPINAL(88)
10/01/2005-07:58:01,84	48,32	6,65	10	2,4	W SAINT-DIE(88)
10/04/2005-07:38:31,26	48,31	6,67	10	2,5	W SAINT-DIE(88)
08/06/2005-10:21:05,35	48,34	6,62	10	3,3	NE EPINAL(88)
09/06/2005-23:58:32,79	48,32	6,65	10	2,9	NE EPINAL(88)
22/06/2005-08:19:51,88	48,34	6,64	10	2,4	NE EPINAL(88)
20/07/2005-15:21:06,17	48,33	6,66	15	2,9	WNW SAINT-DIE(88)
21/11/2005-13:53:50,83	48,34	6,65	10	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
04/05/2006-11:29:50,64	48,32	6,66	10	2,4	W SAINT-DIE(88)
19/07/2006-03:53:26,16	48,32	6,67	10	2,5	W SAINT-DIE(88)
17/10/2006-10:32:31,30	48,34	6,66	10	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
16/03/2007-09:29:43,73	48,34	6,67	10	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
01/04/2007-19:33:21,39	48,34	6,67	10	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
03/04/2007-13:43:20,96	48,34	6,67	10	2,9	WNW SAINT-DIE(88)
07/04/2007-05:41:18,10	48,34	6,67	10	2,6	WNW SAINT-DIE(88)
08/04/2007-19:30:11,96	48,34	6,67	10	2,9	WNW SAINT-DIE(88)
17/05/2007-03:34:57,25	48,33	6,64	10	3,1	NE EPINAL(88)
26/05/2007-13:40:22,82	48,33	6,66	10	3,5	WNW SAINT-DIE(88)
26/05/2007-15:33:56,96	48,33	6,68	10	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
27/04/2007-01:50:26,75	48,34	6,66	10	2,5	WNW SAINT-DIE(88)
10/06/2007-05:00:48,11	48,34	6,66	10	2,5	W SAINT-DIE(88)
26/07/2007-15:34:25,69	48,32	6,65	10	2,5	NE EPINAL(88)
27/07/2007-14:14:11,67	48,33	6,64	10	2,4	NE EPINAL(88)
28/07/2007-16:55:49,28	48,34	6,65	10	2,4	WNW SAINT-DIE(88)
07/08/2007-06:46:15,35	48,32	6,65	10	2,7	NE EPINAL(88)
07/08/2007-06:50:36,50	48,32	6,68	10	2,4	W SAINT-DIE(88)
07/08/2007-14:41:59,19	48,32	6,67	10	2,4	M, W SAINT-DIE(88)
13/08/2007-06:00:20,13	48,34	6,66	10	2,6	WNW SAINT-DIE(88)
17/08/2007-05:43:01,96	48,33	6,66	10	2,9	W SAINT-DIE(88)
19/08/2007-07:32:54,57	48,33	6,64	10	3,6	NE EPINAL(88)
05/09/2007-10:30:23,57	48,33	6,66	10	2,5	W SAINT-DIE(88)

Données accélérométriques

Ce séisme est le plus fort en France métropolitaine depuis le déploiement du Réseau Accélérométrique Permanent (RAP). La station accélérométrique la plus proche de l'épicentre est située à 41 km, sur la commune de Dommartin-les-Remiremont (88), et a enregistré l'accélération maximale égale à 0,42 m/s², soit 0,04g (g=accélération de la pesanteur, soit 9,81 m/s²). Cette accélération est 2,5 fois inférieure à celle donnée par l'arrêté du 29 mai 1997 pour les ouvrages à risque normal (maison individuelle), pour la zone (sismicité très faible mais non négligeable) dans laquelle le séisme s'est produit. La décroissance avec la distance des accélérations enregistrées se situe dans la gamme de valeurs prédites par les lois d'atténuation utilisées en Europe. D'autre part, les spectres de réponse calculés à partir des enregistrements du RAP se situent en dessous des spectres réglementaires Eurocodes 8, pour toutes les classes de sol (A= Rocher à E = Sédiments mous). Les données accélérométriques obtenues lors de ce séisme et les spectres qui en découlent ont été comparés aux lois d'atténuation existantes (Scherbaum et al. 2007) et sont bien modélisés par les équations de Berge-Thierry et al. (2003).

geable) dans laquelle le séisme s'est produit. La décroissance avec la distance des accélérations enregistrées se situe dans la gamme de valeurs prédites par les lois d'atténuation utilisées en Europe. D'autre part, les spectres de réponse calculés à partir des enregistrements du RAP se situent en dessous des spectres réglementaires Eurocodes 8, pour toutes les classes de sol (A= Rocher à E = Sédiments mous). Les données accélérométriques obtenues lors de ce séisme et les spectres qui en découlent ont été comparés aux lois d'atténuation existantes (Scherbaum et al. 2007) et sont bien modélisés par les équations de Berge-Thierry et al. (2003).

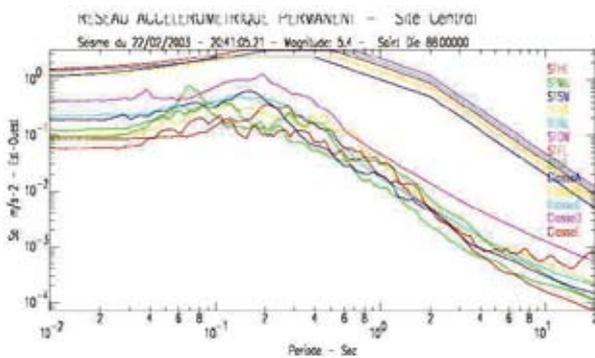
Données Rap
(Philippe Gueguen)



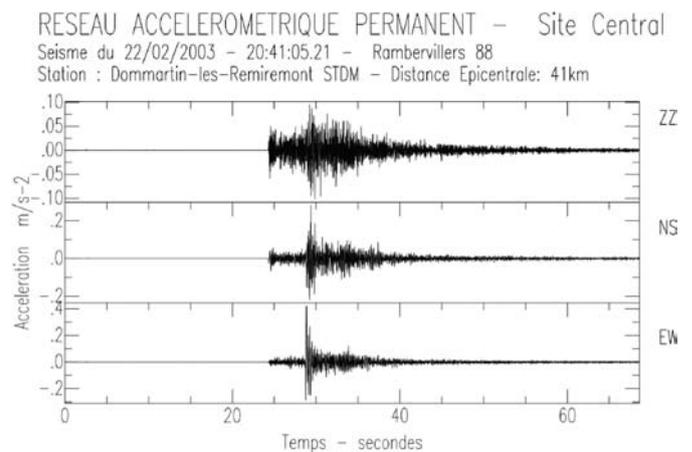
(fig.8) Localisation des stations du RAP-EOST (Fossé-Rhénan) par rapport au séisme de Rambervillers (étoile).

Accélérations maximales verticales (Z), horizontales (N-S et E-W) enregistrées par les stations RAP-EOST.

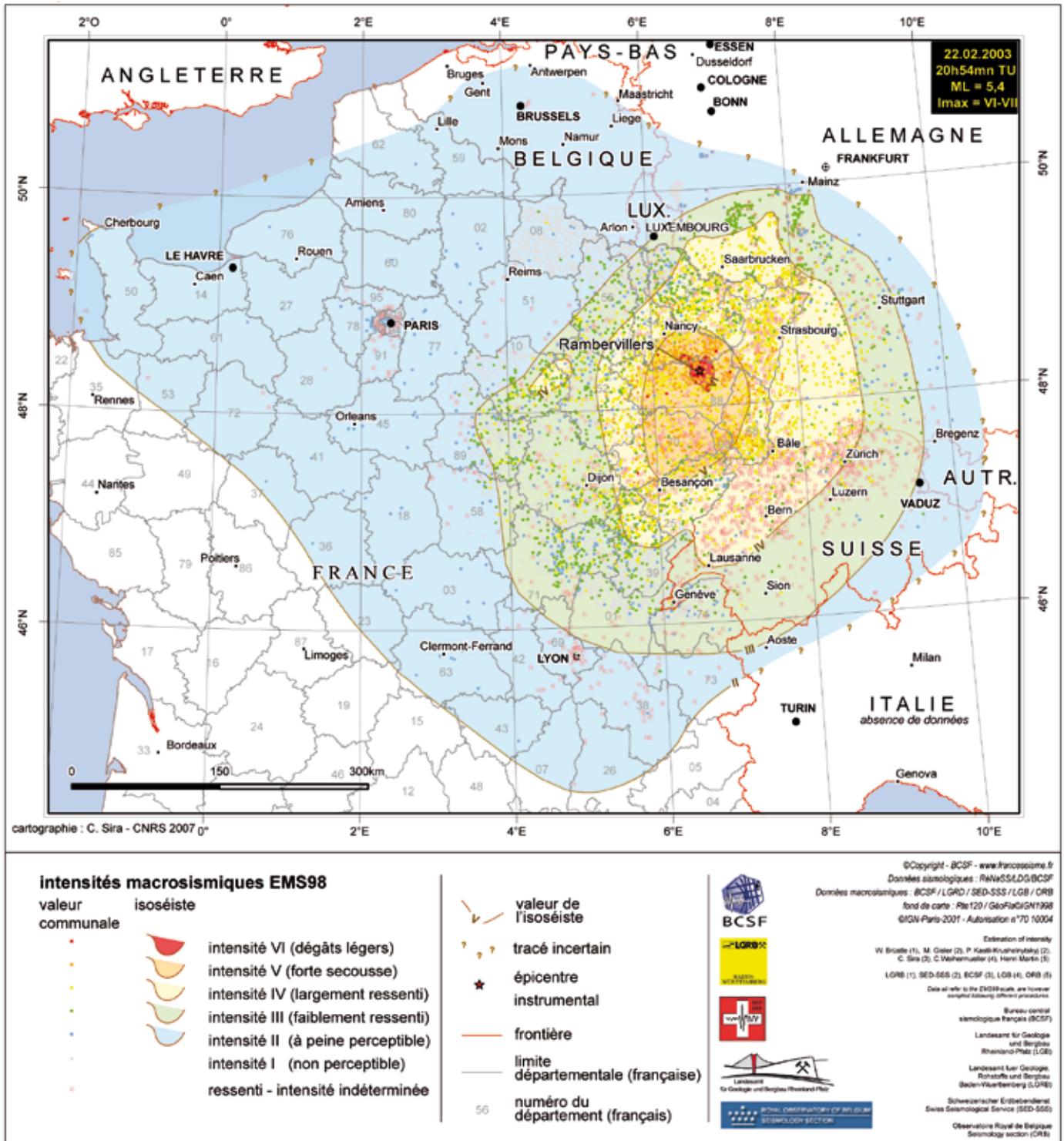
Station	Distance épicentrale (km)	Type de sol	Z % g	NS % g	EO % g
Dommartin les R. STDM	41	C	1.04	2.88	4.31
Sainte Marie / Mines STSM	42	A	1.22	3.52	1.91
Bussang STBU	56	C	1.68	1.68	2.20
Bollwiller STBO	73	C	0.33	1.06	0.98
Strasbourg STMU	87	C	0.47	1.69	1.25
Brunstatt STBR	88	C	0.56	2.04	1.68
Uffheim STUF	100	C	0.88	1.51	0.94
Fournets-Luisans STFL	106	C	0.56	0.64	0.88
Hesingue STHE	111	C	0.33	0.46	0.59



(fig.9) Spectres de réponse de la composante Est-Ouest calculés à partir des données du RAP-EOST et comparaison aux spectres réglementaires EC8 pour les différentes classe de sol.



(fig.10) Accélérations enregistrées à la station Dommartin-les-Remiremont (88)



(fig.12) - Carte macrosismique

Aucun village visité lors de la mission de terrain du BCSF ne présente de dégâts généralisés sur l'ensemble des bâtiments. Le bâti ancien en moellons et pierres brutes, souvent majoritaire dans les communes, a subi les dommages les plus importants et les plus fréquents. Compte tenu de la magnitude élevée du séisme (5,4 M_L RéNaSS, 4,8 M_W Geosciences Azur) ; on peut s'étonner du faible niveau des dégâts en

général, lié vraisemblablement à la bonne qualité des constructions. Plusieurs témoignages montrent par exemple que des cheminées et des toitures ont été refaites à la suite de la tempête de 1999. On peut voir dans beaucoup de villages des cheminées entièrement gainées en acier galvanisé ce qui a contribué à une meilleure résistance de ces structures aux secousses modérées.

Les églises ont été les bâtiments les plus endommagés dans la zone épiscopentrale, le rapport à l'élancement étant un élément important dans la résistance à la secousse. On retrouve assez régulièrement de légères fissurations aux ouvertures (niveau 1), et plus rarement des dommages plus graves comme à Sainte-Hélène, où de larges fissures (niveau 2 à 3) sur les clochers ont obligé les Maires à interdire l'accès des bâtiments au public en attendant les réparations.

Procédure d'enquête macrosismique

Les intensités macrosismiques de ce séisme ont été évaluées en utilisant différentes procédures d'enquête dans chacun des pays concernés par cet événement (Belgique, Allemagne, Suisse). Le détail de ces procédures a fait l'objet d'une publication (Cara et al., 2005). Nous décrivons ci-dessous la procédure française.

A minuit, le site internet du BCSF comptait près de 600 témoignages de particuliers, permettant très rapidement de délimiter une zone de perception principale du séisme.

Le périmètre d'enquête macrosismique a été arrêté le lendemain vers 12h avec plus de 1900 témoignages de particuliers localisés, qui se rajoutaient alors aux informations collectées auprès des Codis des différents départements.

Le BCSF a diffusé près de 13000 formulaires collectifs par l'intermédiaire des services des préfectures pour la collecte des effets constatés dans les 20 départements suivants : Ain, Ardennes, Aube, Bas-Rhin, Côtes-d'Or, Doubs, Haute-Marne, Haut-Rhin, Haute-Savoie, Haute-Saône, Jura, Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Nièvre, Saône-et-Loire, Territoire-de-Belfort, Vosges, Yonne.

Un troisième réseau a été activé pour collec-

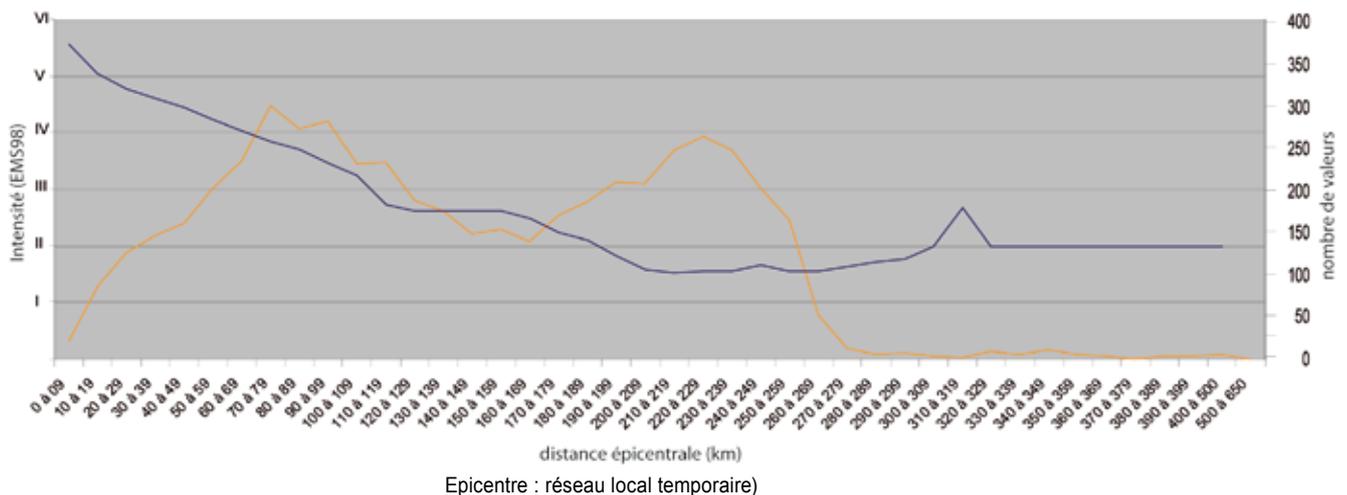
ter des informations auprès des particuliers. La Poste a mis en place dans les 50 bureaux les plus proches de l'épicentre une urne, une affiche promotionnelle de l'enquête et des formulaires individuels à disposition du public. 2000 témoignages ont ainsi été collectés complétant les données individuelles reçues par Internet sur la zone proche de l'épicentre.

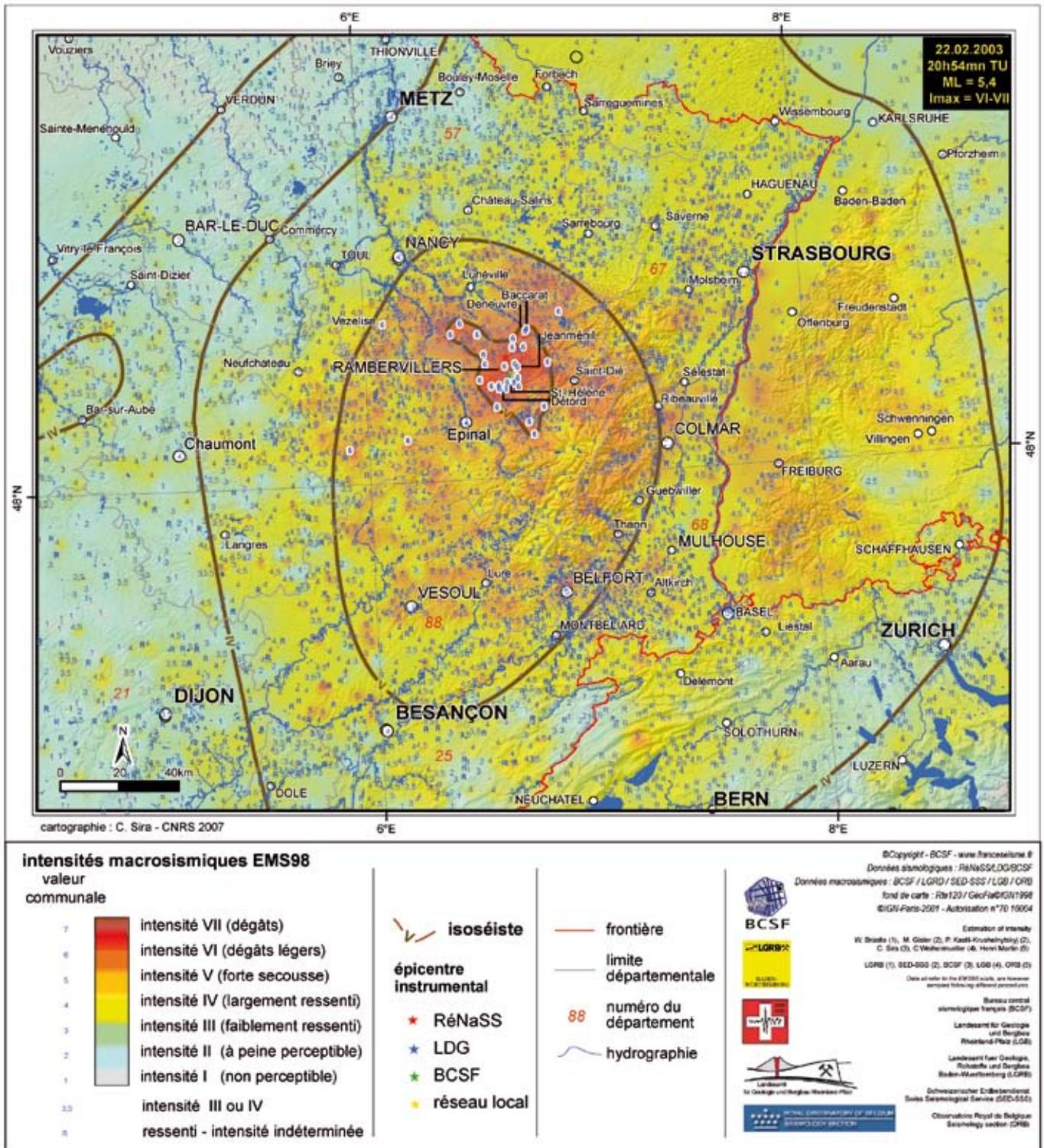
A partir du 26 février, le BCSF a réalisé une mission post-sismique en collaboration avec le BRGM et l'IRSN.

Durant 6 jours, une équipe de 4 personnes a effectué une mission sur la zone épiscopentrale pour établir les intensités les plus fortes. Les nombreux élus, responsables de services techniques et particuliers rencontrés au cours de cette mission, ont permis d'évaluer avec précision les intensités des villages les plus touchés. Pour chacune des communes, la démarche a été de rencontrer un élu ou un responsable en relation avec la population, de faire un état précis de l'ensemble des effets générés par la secousse (personnes, objets, environnement, constructions), d'établir une typologie bâimentaire sur les communes, pour évaluer le niveau de sévérité de la secousse. Une valeur d'intensité EMS98 a été estimée à partir de l'ensemble de ces indicateurs.

Les communes suivantes ont été visitées par l'équipe macrosismique : Anglemont, Autrey, Aydoilles, Azerailles, Baccarat, Ban-de-Laveline, Bult, Deneuvre, Destord, Dompierre, Etival-Clairefontaine, Frémifontaine, Girecourt-sur-Durbion, Grandvillers, Housseras, Jeanménil, Menil-sur-Belvitte, Mortagne, Ortencourt, Padoux, Pierrepont, Romont, Saint-Benoît-la-Chipotte, Grandvillers, Rambervillers, Roville-aux-Chênes, Saint-Dié, Nonzeville, Saint-Genest, Saint-Gorgon, Sainte-Hélène, Saint-Remy, Schirmeck, Sercœur, Vaumecourt-de-Rambervillers.

(fig.13) Moyenne des intensités communales EMS-98 par tranche de distances épiscopentrales (trait bleu). Le nombre d'intensités utilisées par tranche est indiqué (trait orange)





(fig.14) - Carte macrosismique

Outre les intensités des villes précédemment citées, les valeurs des autres communes ont été établies sur la base de formulaires collectifs confortés par les témoignages individuels collectés par Internet ou par le réseau de La Poste, ainsi qu'avec les nombreuses informations parvenues au BCSF.

Les données d'intensités utilisées sur les cartes macrosismiques (fig. 12 et 14) sont les données répondant aux critères de qualité supérieure de l'estimation (A , B) pour chacun des pays. Pour les autres communes ayant reçu la qualité C ou simplement le signalement d'effets ressentis sans détermination possible d'intensité, la lettre R a été utilisée. Cette valeur n'a pas été prise en compte dans l'analyse colorée des carte.

**VOSGES
MEURTHE-et-
MOSELLE**

Effets macrosismiques principaux

**Sainte-Hélène - intensité VI-VII
(dép. 88, distance épacentrale* : 3 km)**

Dans la commune de Sainte-Hélène (400 habitants), presque toute la population s'est retrouvée dans la rue, très paniquée. Le bruit accompagnant la secousse a ressemblé pour de nombreuses personnes à celui d'une forte explosion accompagnée d'un très fort grondement. Certaines d'entre elles ont pensé que la toiture allait s'effondrer. Le séisme a secoué l'ensemble des structures et des objets, entraînant parfois leur chute (des personnes parlent d'ondulation des murs). Les vitres et les portes ont également vibré fortement. Les poutres et planchers ont craqué. Il n'a pas été relevé d'ouverture de porte ou de fenêtre mais quelques mobiliers lourds ont été déplacés. Ainsi au 1^{er} étage d'une maison, un réfrigérateur a avancé d'un mètre, et le haut d'un vaisselier a connu un léger déplacement, brisant quelques verres. Dans

(photo 15) Sainte-Hélène (dép.88) Défaillance d'un mur en moellons brutes considéré comme un dégât de niveau 4 sur l'EMS98 .



(photo 16) Sainte-Hélène (dép.88)
Rotation de la Marianne à la mairie



(photo 17) -Sainte-Hélène (dép.88)
Déplacement d'un réfrigérateur
au 1^{er} étage d'une maison.



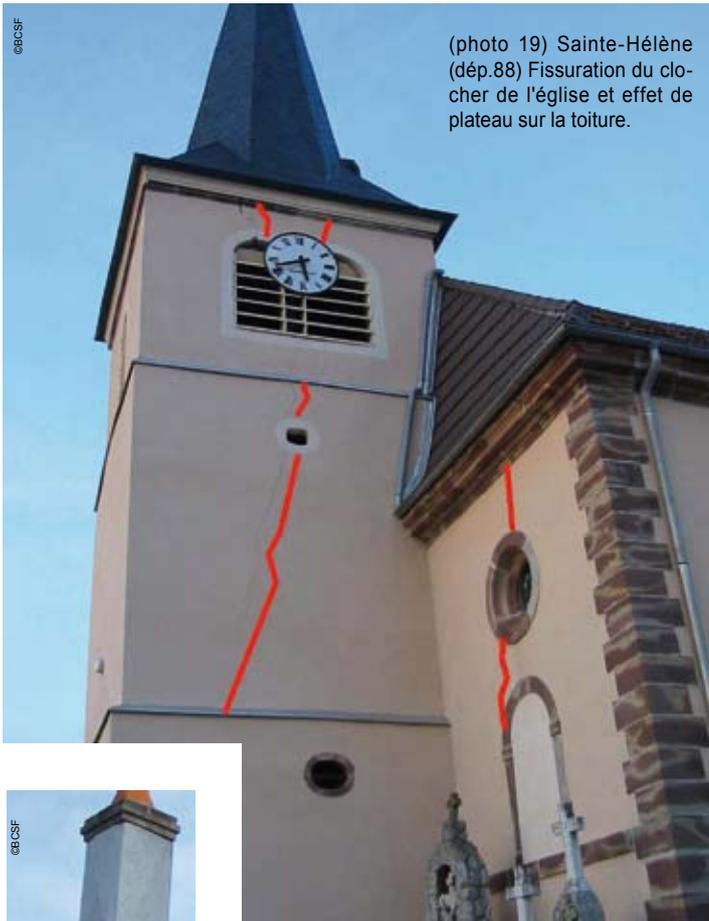
(photo 18) Sainte-Hélène (dép.88)
Renversment de stèles dans le cimetière
autour de l'église

cet appartement, les effets ont été si forts que les occupants n'ont pas souhaité dormir chez eux le soir même. L'appartement a été fissuré entre les parois murales et le plafond, ainsi qu'au dessus des fenêtres.

Les animaux ont également été paniqués à l'intérieur des bâtiments.

Dans cette commune, 80% des bâtiments sont de vulnérabilité A (moellons, pierres sèches) et 20% de vulnérabilité B (maçonnerie, agglo). Des fissures fines ou superficielles ont été retrouvées en grand nombre sur les structures porteuses et non porteuses. 70 déclarations de dégâts concernant des maisons anciennes et 10 des maisons de moins de 30 ans. Un mur de type moellon a subi des dégâts de niveau 4. Un mur de la façade de l'atelier municipal s'est largement désolidarisé des autres parties de la structure (niveau 3). Des fissures larges ont été également relevées en grand nombre sur la commune.

* épicentre recalculé par le réseau local temporaire

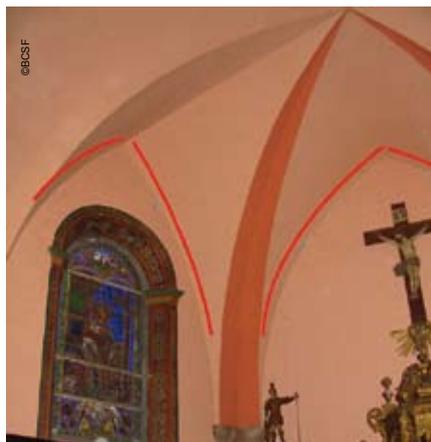


(photo 19) Sainte-Hélène (départ.88) Fissuration du clocher de l'église et effet de plateau sur la toiture.



(photo 20) Exemple d'un chemisage en acier galvanisé ayant protégé de nombreux éléments de ce type sur la région.

(photo 21) Sainte-Hélène Fissuration généralisée au raccordement des tympans et des structures contreventées.



Quelques chutes de tuiles ont été signalées. Les cheminées n'ont pas été endommagées, leur renforcement par un chemisage en acier galvanisé a probablement préservé ces éléments habituellement fragiles.

L'église de Sainte-Hélène, comme quelques églises de la région épiscopale, a connu une fissuration large de son clocher. On peut souligner ici une faiblesse de sa conception dans l'ouverture sur un faux doubleau. Le jambage central manquant à cette ouverture n'a pas permis une bonne répartition du poids de la toiture. Celle-ci a subi par ailleurs "un effet de vrille" ou "effet de plateau" avec rotation autour de l'axe du clocher. Les tympans du cœur de l'église (partie rapportée à la structure de l'église) ont été systématiquement fissurés au niveau de leur raccord à la voûte qui semble avoir bien résisté. Deux fissures sur l'arc séparant la nef du cœur sont apparues ne remettant pas en cause la stabilité du bâtiment.

Dans le cimetière, deux stèles sont tombées et trois croix ont été cassées dans leur partie supérieure par un effet de "fouet", malgré un ferrailage interne.

Les répliques à 1h16 (3,1 M_L) et 5h53 (3,2 M_L) du 23 février ainsi que celle de 00h58 (3,4 M_L) le 24 février ont été ressenties. L'intensité III semble avoir été atteinte à Sainte Hélène pour ces 3 répliques.

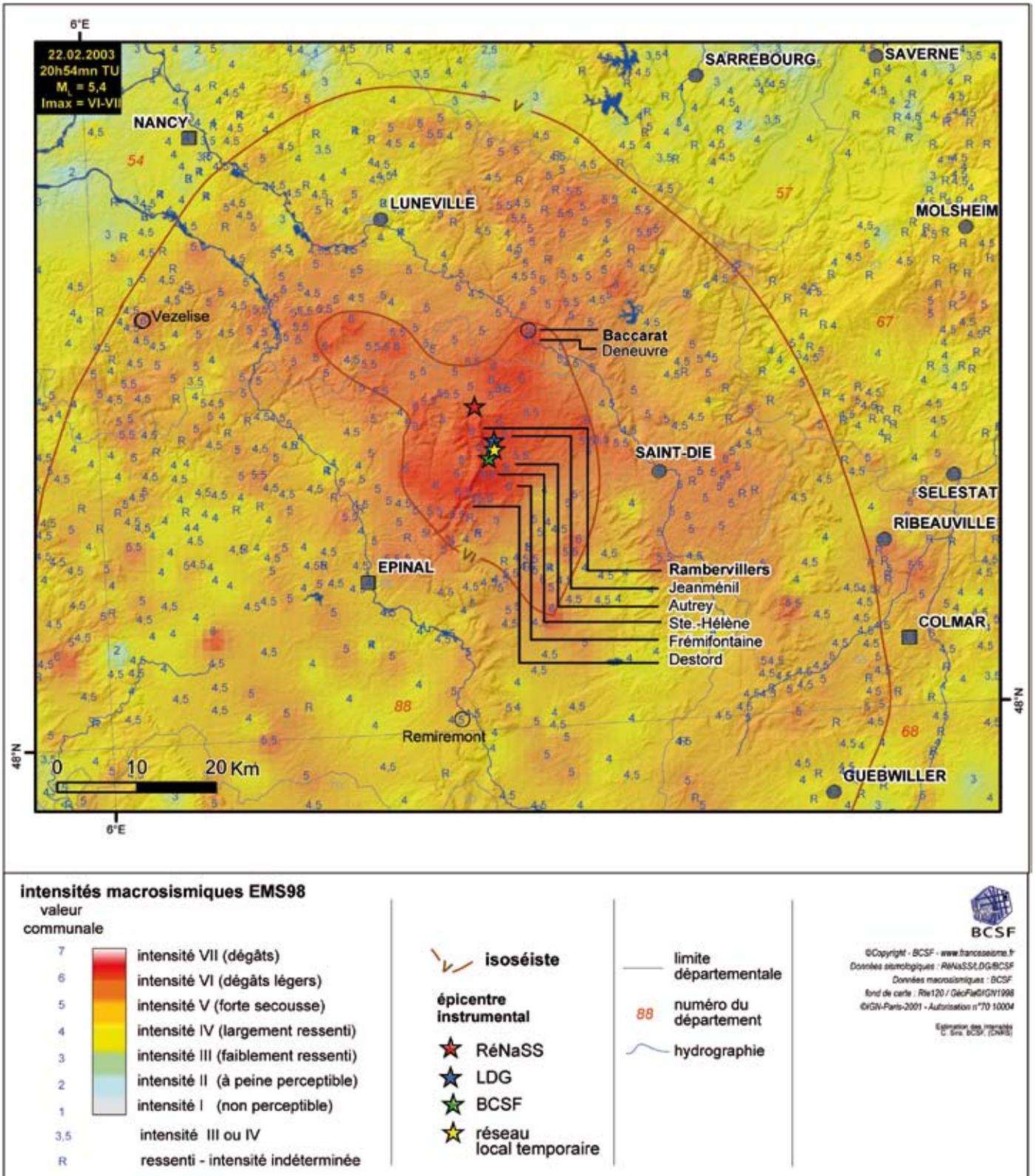


(photo 22) Sainte-Hélène Fissuration au niveau du toit de la nef et de l'arc principal.

(photo 23) Sainte-Hélène (départ.88) Chute de petits morceaux de plâtre à proximité du clocher



(photo 24) Sainte-Hélène Rotation de la croix



(fig.25) Carte macrosismique - zone épicentrale

Destord - intensité VI-VII (dép. 88, dist. épiscopale : 6 km)

Sur la commune de Destord (200 habitants), tous les habitants du village ont été paniqués et se sont retrouvés dans la rue. Quelques enfants sont sortis en criant. La forte "explosion" décrite a souvent été comparée à un crash d'avion ou à l'explosion d'une chaudière. Elle a été accompagnée d'un très fort grondement venant du sol. La secousse a engendré une oscillation importante des objets suspendus et une vibration forte de petits objets et du mobilier léger. Certains tiroirs ou portes d'armoires se sont ouverts, laissant parfois tomber des verres. Des étagères ont été décrochées. Quelques objets lourds ont été déplacés comme un poêle en faïence (200 kg) déplacé de 10cm. Les cadres ont connu un désordre généralisé. Une armoire fragilisée sur son pied par une mauvaise réparation est tombée sur un lit au 1^{er} étage d'une maison ancienne. Quelques petits objets instables, comme des lampes de chevets ou des réveils, sont tombés.



(photo 26) Destord
Déplacement d'un poêle en faïence



(photo 27) Destord
Ouverture d'un meuble à tiroirs



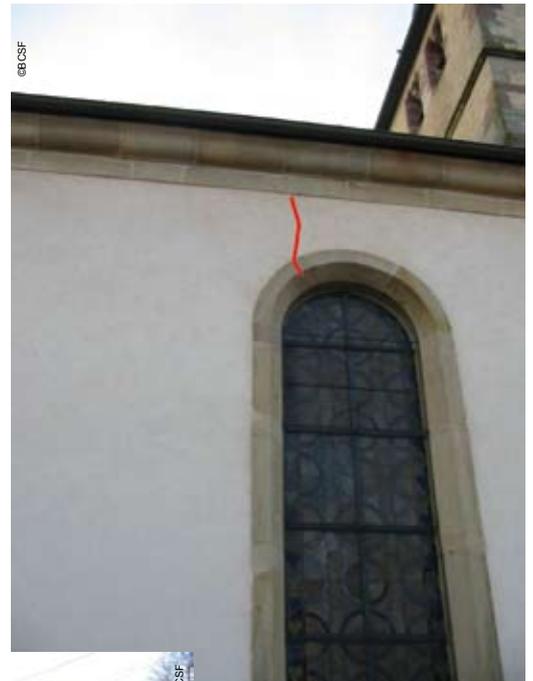
(photo 28) Destord
Ouverture de portes, chutes et bris d'objets



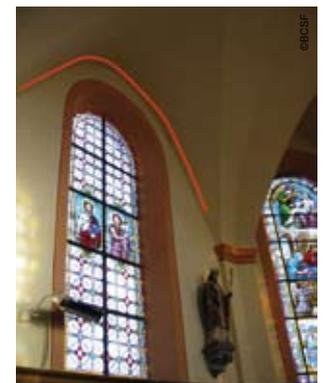
Les bâtiments de la commune sont principalement de vulnérabilité A. Des fissures fines ou superficielles ont été relevées en grand nombre, des fissures larges en nombre plus restreint. Deux murs en moellons ont connu une défaillance. De rares chutes de cheminées ou de tuiles ont été notées. Les quelques maisons en "agglomération" de la commune n'ont eu que des fissures fines en petit nombre.

L'église soumise à des contraintes d'oscillation, a été fissurée légèrement au dessus de chaque ouverture de la nef. A l'intérieur, la séparation entre la nef et le cœur est fissurée, comme le sont aussi les raccords des tympans à la structure. Les répliques de 21 h 54 (3,4 M_L) un quart d'heure après le choc principal, de 1 h 16 (3,1 M_L) et le lendemain de 5 h 53 (3,2 M_L) ont été ressenties.

(photo 29) Destord
Fissuration systématique aux ouvertures de la nef



(photo 30) Destord
Cisaillement de la croix d'une pierre tombale



(photo 32) Destord
Fissuration au raccordement des tympans avec la voûte

(photo 31) Destord
Défaillance d'un mur en moellons au niveau des panes de la toiture.

Jeanménil - intensité VI (dép. 88, dist. épiscopale : 2 km)

L'ensemble des habitants de la commune de Jeanménil (1000 habitants), est également sorti dans la rue effrayé par le bruit d'explosion et de grondement fort. Dans la commune, de nombreux objets ont oscillé, vibré ou tremblé. Beaucoup d'entre eux sont tombés à terre, des tiroirs se sont ouverts. Il n'a pas été noté de chute de mobilier lourd ou léger. Un habitant du centre du bourg a rapporté qu'il avait retenu son armoire. La verrière a connu quelques bris de pièces à l'intérieur des vaisseliers. Quatre chapeaux de cheminées ont été endommagés et trois d'entre elles sont tombées. Les tuiles n'ont pas connu de désordre notable.

Le village a été très largement reconstruit après 1944 (près de 80%), le bâti est donc plutôt de vulnérabilité B. Cependant les fissures fines sont en grand nombre et quelques fissures larges ont été relevées ne traversant toutefois que rarement

le mur de part en part. La répartition des effets sur les bâtiments connaît géographiquement une répartition assez homogène sur l'espace de la commune (une trentaine de déclarations en mairie). Au lieu-dit "Larifontaine", une habitation de plus de cent ans (vulnérabilité A) a connu des fissurations généralisées, aux angles de murs et aux planchers, certaines étant visibles à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. Les habitants n'ont pas connu de perte d'équilibre lors du séisme, ni relevé d'ouverture de porte ou de fenêtre, mais ils ont constaté la chute du chapeau de cheminée et de quelques objets à l'intérieur de leur maison. La description de la secousse est visiblement semblable à celle vécue par l'ensemble de la commune, mais la plus forte vulnérabilité du bâtiment a semble-t-il aggravé les effets.



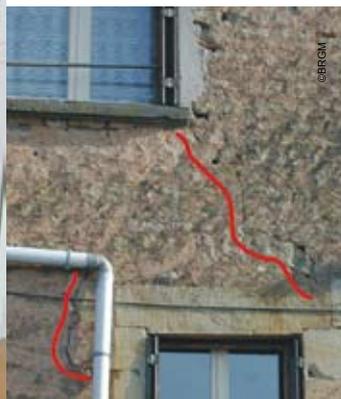
(photo 33) Jeanménil
Lieu-dit Larifontaine - fissuration généralisée sur bâtiment de vulnérabilité A.



(photo 34) - Jeanménil
Lieu-dit Larifontaine - fissuration entre mur et plafond



(photo 35) - Jeanménil
Lieu-dit Larifontaine
fissuration intérieure et extérieure



Frémifontaine - intensité VI (départ. 88, distance épiscopale : 5 km)

L'ensemble des 300 habitants de cette commune est sorti des bâtiments. Ils ont eu l'impression que le mouvement était parallèle à la départementale 70 qui traverse la ville (N-S). Le bruit a été ressenti comme un roulement par certains, d'autres ont cru à une chute d'avion ou une chaudière qui explose. Beaucoup de petits bibelots sont tombés, ainsi que des bouteilles dans les caves.

Le bâti est constitué d'environ 2/3 de maisons anciennes (150 maisons environ). Les dégâts nombreux concernent des fissures en façade et en intérieur (chutes de plâtre).

Dans la salle de classe d'un bâtiment récent accolé au bâtiment plus ancien de l'école/mairie, des fissures apparaissent au niveau de la voûte sur laquelle repose le toit. Deux maisons parmi les plus touchées ont été évacuées. Elles présentaient de larges fissures intérieures et extérieures. Les maisons récentes n'ont été affectées que de fissures plus fines.



(photo 36) Frémifontaine (départ. 88)
Intérieur de la salle de classe de l'école de Frémifontaine



(photo 37) - Frémifontaine (départ. 88)
Fissure extérieure sur bâtiment



(photo 38) Frémifontaine (départ. 88)
Fissure extérieure fine sur bâtiment



(photo 39) - Frémifontaine (départ. 88)
Fissure extérieure sur bâtiment



(photo 40) Frémifontaine (départ. 88)
Maison évacuée,
exemple de fissure sur un coin





(photo 41) - Rambervillers (départ. 88) - Elargissement d'une fissuration sur bâtiment en cours de démolition.

Rambervillers - intensité VI (départ. 88, distance épicentrale : 4 km)

La grande majorité des 6126 habitants de la commune de Rambervillers, angoissée par ce bruit d'explosion et ce grondement soudains est sortie dans la rue. L'inquiétude (on parle d'angoisse) des habitants a été augmentée par le retentissement de la sirène juste après le séisme. Les objets ont connu un large balancement, les vitres et vitrines une forte vibration. De nombreux objets se sont cassés en chutant. Les animaux, effrayés se sont très souvent enfuis.

La commune est composée, selon les élus, de



(photo 42) Rambervillers (départ. 88) - Chute d'une cheminée non chemisée.

10% des bâtiments en vulnérabilité A, 70% en vulnérabilité B et 20% en vulnérabilité C. Les bâtiments sont principalement de faible hauteur (généralement RC+2). Quelques cheminées ont été cassées au ras du toit sur des bâtiments anciens. De nombreux chapeaux de cheminées ont été soumis à un désordre important. De nombreuses fissures fines ou superficielles sont apparues dans l'ensemble des bâtiments. Les fissures plus larges ont été peu nombreuses mais ont touché quelques bâtiments de vulnérabilité B. De nombreux témoins signalent des difficultés à réouvrir leurs portes après le jeu de la structure au moment de la secousse. La "Maison du peuple" a connu une fissuration au niveau du raccord des murs porteurs avec la charpente. Un vieux garage particulièrement fragile et en cours de démolition s'est effondré. Dans le même ensemble, un bâtiment fragile a connu l'élargissement d'une fissure existante sur son mur extérieur.

Les répliques de 00 h 16 (3,1 M_L) et 5 h 53 mn (3,2 M_L) le 23 au matin ont été ressenties plus faiblement.



(photo 44) - Rambervillers (départ. 88) - Chute de cheminée sur bâtiment en mauvais état.



(photo 45) - Rambervillers (départ. 88) - Fissuration large de part en part d'un mur porteur en agglo.



(photo 46) - Rambervillers (départ. 88) - Fissuration large, vraisemblablement due à un effet de "claquage" sur le crépis.

(photo 47) Rambervillers (départ. 88) - Fissuration légère sur maison particulière.





(photo 48) Abbaye Notre Dame d'Autrey (dép. 88)



(photo 49) Façade sud, corps du bâtiment



(photo 50) Bâtiments de l'Abbaye Notre Dame d'Autrey



(photo 51) - Large agrandissement d'une fissure derrière l'autel.

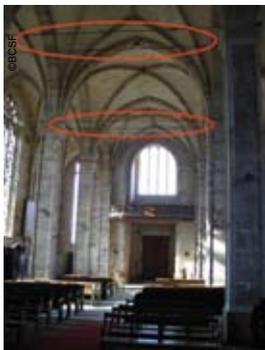
(photo 52) Fissure large sur structure en pierre de taille



Extérieur

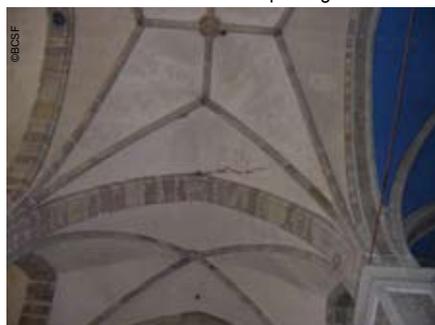
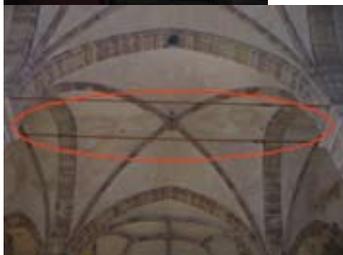
(photo 53) Fissurations entre murs et plafonds

(photo 54) Tiges d'acier de renforcement des voûtes



Intérieur

(photo 55) Fissuration large sur le remplissage de la voûte



Autrey intensité VI (dép. 88, distance épacentrale : 2 km)

La secousse associée à un bruit "d'explosion de chaudière" a effrayé et paniqué la centaine d'habitants de cette commune qui s'est précipitée dans la rue. Des enfants ont crié dans le village. Des portes d'armoires ont été ouvertes, l'eau d'un aquarium a débordé. Les objets suspendus se sont fortement balancés. Quelques objets instables ou mal fixés ont été déplacés ou ont chuté, comme ce fut le cas pour quelques mobiliers plus lourds. Quelques fissures fines se sont produites sur des bâtiments de vulnérabilité A et B. Une coupure d'électricité a eu lieu durant 5 minutes. L'abbaye Notre Dame d'Autrey du 12^e siècle, a été fortement secouée. Le père Benoît-Joseph a bien ressenti sous ses pieds "comme une vague qui soulevait tout sur son passage se propageant dans le sens sud-nord". Pas de bris de vaisselle, mais le déplacement et la chute d'objets légers ont affecté cette abbaye. Quelques portes se sont ouvertes. Une cheminée a été fendue, et l'oscillation des murs (en pierres) a dégagé dans le réfectoire une poussière importante. Sur l'ensemble des bâtiments de l'abbaye, des fissures fines ou larges sont apparues en grand nombre, notamment sur un des bâtiments rattaché au corps principal par un passage haut. Malgré son élancement, l'abbaye en elle-même a bien résisté à la secousse. Il faut indiquer que cet édifice a bénéficié d'un renforcement de sa structure par les services des Monuments Historiques, consistant à placer une pince métallique au-dessus des voûtes de la nef et des tiges d'acier empêchant l'écartement des murs. Dans le sens longitudinal le déplacement lors de la secousse (témoins en ciment) semble relativement faible au vu de la hauteur de l'édifice. Dans le sens transversal à la nef, par contre le mouvement est plus visible et les fissures sont plus larges engendrant selon les Monuments Historiques de lourds travaux de rénovation. Il est fort probable que l'abbaye aurait subi des dommages plus graves encore sans ces renforcements. Sur l'une des fenêtres, les vitraux sont gondolés de haut en bas, et derrière l'autel une fissure a été largement agrandie. Les lustres volumineux ont également oscillé largement comme l'indique le découpage du câble de soutien dans le plâtre du remplissage de la voûte.

(photo 56)
Deneuvre (départ. 54)
Vue panoramique
du presbytère
et hauteur du
surplomb.



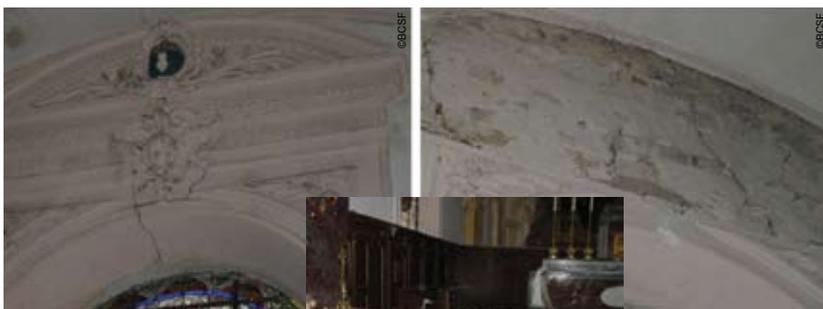
(photo 57) - Deneuvre (départ. 54)
Plan général de l'église



(photo 58) - Agrandissement
de fissures existantes



(photo 59) - Fissuration
sur ancienne ouverture



(photo 60) Chute de décor
en plâtre

(photo 61) Fissure large du clocher



(photo 63) Chaînage
du haut du clocher
ayant maintenu la
structure

(photo 64)
Affaissement d'une
clef de voûte



(photo 62)
Désordre
de cheminée

Deneuvre - intensité VI (départ. 54, distance épiscopale : 15 km)

Le Maire de cette commune nous a signalé une forte vibration et une explosion "de l'ordre de 100 décibels", suivie d'un grondement sourd provenant du sous-sol. Les objets ont vibré et oscillé entraînant parfois à la chute. Plus de 200 produits d'un supermarché situé en contre-bas du centre du village sont tombés des étagères. Il n'a pas été signalé d'ouverture de porte et de fenêtre, ni de déplacement de mobilier lourd.

Deneuvre est une commune de 571 habitants avec près de 230 maisons principalement de vulnérabilité A (90%). Les déclarations de dégâts concernent près de 25% des habitations. Sur 59 dommages déclarés, 50 concernent des bâtiments de type moellons et pierres brutes majoritairement situés en haut du village, 10 concernent des maisons plus modernes de type maçonnerie situées en contre-bas. La commune de Deneuvre située à 15 km de l'épicentre, proche de Baccarat semble être le siège d'une amplification. 30 m de dénivelé abrupt séparent le rocher du haut du village et le contrebas où coule la Meurthe. Cette position particulièrement dominante en rapport au reste des terrains pourrait induire une amplification de la secousse comparé à d'autres communes plus proches et moins touchées comme Menil-sur-Belvitte.

Une dizaine de cheminées en brique non renforcées sont tombées dans la commune. Une maison de plus de cent ans a été fortement endommagée. Le sol d'un particulier a connu un affaissement. La secousse a mis en évidence les défauts des constructions vieillissantes, comme le presbytère.

Dans le chœur de l'église (en bon état général), les chutes des décors en stuc ont été impressionnantes mais elles ne sont pas aussi significatives de l'ampleur de la secousse que la large fissuration qui a affecté le clocher de haut en bas (niveau 2 à 3). Comme le montre les photos ci-contre, la fissure (2 à 3 cm de large), se retrouve à l'intérieur de l'édifice. Le chaînage relativement récent en béton armé réalisé au sommet de la structure, sous la charpente a joué un rôle prépondérant dans la cohésion de l'ensemble du clocher, diminuant l'ampleur des effets. Les répliques ressenties les jours suivants ont continué à produire des effets sur les bâtiments.



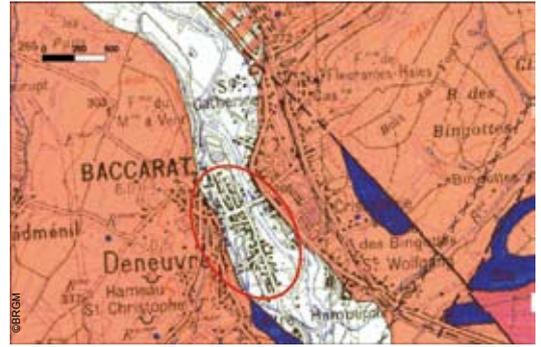
(photo 65) Fissures d'angle sur
une maison proche de l'église

Baccarat - intensité VI (départ. 54, distance épicentrale : 16 km)

Beaucoup d'habitants sur les 5000 que compte cette commune sont sortis dans la rue à la suite du bruit assourdissant et de la grosse secousse créés par le séisme.

A la salle des fêtes de Baccarat, les lustres se sont balancés, du plâtre est tombé, un mouvement de panique a gagné les 250 personnes présentes. Une coupure d'électricité durant 1 minute a accru le sentiment d'angoisse des personnes et «tout le monde s'est mis à hurler» nous rapporte un témoin... «certains sont sortis en courant... c'était la panique.» Le téléphone a connu quelques dérangements.

De nombreuses fissures ont été remarquées sur de les bâtiments anciens, dont plusieurs bâtiments publics, essentiellement dans le centre historique de Baccarat. Les dommages ont été concentrés sur la rive gauche de la Meurthe, comme l'ont confirmé les pompiers et les témoignages individuels. Quelques cheminées au centre ville sont tombées où sont devenues dangereuses, en raison de la présence de fissures. Quatre voitures



(fig. 66) - Extrait carte géologique

ont d'ailleurs été endommagées par la chute de pierres provenant des cheminées.

La nappe phréatique a été souillée. Le taux de turbidité était 6 fois plus élevé qu'habituellement. Le retour à la normale n'a été effectif qu'une semaine après le séisme. Quelques fuites aux canalisations d'eau potable (suite au gel/dégel mais peut-être également au séisme) ont été notées en plus grand nombre qu'en période équivalente sur les autres années.

La carte ci-dessus montre la géologie de Baccarat. L'ellipse rouge est centrée sur la zone la plus endommagée de la commune. On voit clairement que cette zone correspond à des dépôts alluvionnaires sur la rive gauche de la Meurthe. Ceci laisse penser que dans cette zone où l'intensité a pu atteindre localement à VI-VII, des effets de site dus à la présence d'un bassin alluvionnaire ont pu avoir lieu. Sur le grès, les dommages sont moins importants. La cristallerie de Baccarat par exemple, est située sur des grès (en orange sur la carte) et n'a subi aucun dommage. Il y a cependant des bâtiments construits également sur le grès qui ont subi des dommages importants, mais leur localisation se trouve être à la limite de la zone alluvionnaire.

(photo 67) Baccarat (Dép.54)
Endommagement
de cheminées



(photo 68)
Baccarat (Dép. 54)
Fissuration large sur mur
extérieur



(photo 70)
Intervention des pompiers
sur une cheminée menaçante



(photo 71) Dégâts structuraux
verticaux de niveau 3



(photo 69) Fissuration fine sur
mur extérieur



(photo 72)
Baccarat (départ. 54)
Fissuration large sur mur extérieur



(photo 73) Fissuration large sur mur extérieur



(photo 74) Désordre sur cheminée.

Autres observations relevées sur les départements de Meurthe-et-Moselle et des Vosges.

Au-delà des observations faites lors de notre mission de terrain, d'autres effets nous ont été signalés dans les deux départements de la Meurthe-et-Moselle et des Vosges.

Sur ces deux départements, la population n'a pas toujours pensé à un séisme mais plus fréquemment à un crash d'avion, ou une explosion de chaudière. A des distances plus éloignées de l'épicentre (la Bresse 38 km, Gérardmer 31 km) le bruit été semblable à un "glissement de neige sur le toit".

Dans le département des Vosges, les communes de Ménil-sur-Belvitte, Frémifontaine, Jeanménil, Neuville-sous-Châtenois ont mis en place un arrêté de mise en péril sur des maisons particulières.

Dans le département de la Meurthe-et-Moselle, les communes de Baccarat, Deneuvre, Séranville,

Saint-Maurice-aux-Forges, Cirey-sur-Vezouze, Verdental, Vezelise, Remenoville ont établi la même procédure dans des maisons particulières ou des églises.

Ces dernières ont d'ailleurs été les édifices les plus touchés. C'est ainsi que l'église de Vézelize a été fermée au public dès le lundi suivant l'événement, madame le Maire ayant constaté des élargissements de fissures et quelques chutes de plâtres provenant de la voûte d'une hauteur de 19 mètres.

Dans les bâtiments hauts comme certains immeubles d'Epinal, ou de Nancy, les oscillations ont créé de grandes frayeurs chez les particuliers, même à des distances importantes de l'épicentre.

Certains particuliers décrivent à des distances assez éloignées de l'épicentre, comme à Bains-

les-Bains (35 km), des dégâts de niveau 2 ou 3 de type fissures larges sur des murs porteurs ou sur les fondations de leur maison. Cependant les effets restent ponctuels et ne reflètent pas la sévérité générale de la secousse. D'autres effets très importants, comme à Borville (intensité VI) se sont produits dans la semaine qui a suivi le séisme du 22 février (photo 115). La structure fragilisée a-t-elle travaillé après le séisme ? Les répliques, même de faible magnitude, ont-elles suffi à provoquer ce type de dommage ?

Sous l'égide des préfetures, les sites sensibles tels que les barrages, les centrales électriques et industries sensibles ont été inspectées sans que ne soient décelés de désordres particuliers.

(photo 75) Borville - Intensité VI
(dép.54 - 24 km de l'épicentre)

Le mur d'une maison ancienne de type A, avait subi un "gonflement" lors du séisme sans s'ouvrir complètement. Les dégâts ne sont apparus que lors de la semaine suivante. Le dimanche 2 mars au matin il a été constaté des modifications de la structure ; l'après-midi l'effondrement s'est produit sur l'ensemble du mur de la façade, la toiture n'a été retenue que par les étais placés par un artisan en prévention de l'éboulement. (sans visite BCSF - image envoyée par le propriétaire)



(photo 76) Bains-les-Bains - Intensité VI (dép. 88 - 35 km de l'épicentre)
Fissurations sur maison particulière, atteignant les fondations selon le propriétaire (sans visite BCSF - images envoyées par le propriétaire)

Nombreuses fissures sur le bâtiment, dont fissure large descendant jusque dans les fondations (pierres fendues).

Un mur porteur coupé de part en part. Mouvement généralisé de l'ensemble du bâtiment entraînant des difficultés à l'ouverture des fenêtres.



Dans le Haut-Rhin (68)

Des milliers d'appels sont arrivés en deux-heures selon le Centre opérationnel d'incendie et de secours (CODIS), ne donnant lieu qu'à une vingtaine d'interventions. L'ensemble du Haut-Rhin a ressenti largement les effets du séisme qui a produit quelques dégâts sur les constructions les plus fragiles.

On observe fréquemment la résurgence de fissures auparavant recouvertes par des peintures ou des crépis, ces derniers n'ayant pas résisté aux mouvements alternatifs du bâtiment, comme l'ont constaté les cabinets d'expertises. D'autres fissures sont issues directement de la désolidarisation des interfaces entre les matériaux de nature différente ou de réalisation distante dans le temps. Ces fissures n'affectent pas, dans leur très grande majorité, la structure des bâtiments.

A la centrale nucléaire de Fessenheim située dans le Haut-Rhin à 90 km de l'épicentre, aucune anomalie n'a été constatée par l'exploitant (EDF) et aucune baisse de puissance de la centrale n'a été nécessaire.

Pour les habitants de Colmar (I = IV-V, distance 58 km), ville de 65000 habitants du sud de l'Alsace, le bruit produit a été décrit comme "un gros souffle" semblable à une avalanche, un "emballement de machine à laver", un "passage de chars" devant la maison (J'ai pensé à 5 ou 6 chars militaires qui rentraient de manœuvre et qui passaient dans ma rue... Le 152^{ème} RIMECA n'est pas très loin....), ou encore plus rarement à "l'explosion d'une chaudière". Dans les étages supérieurs l'amplification est directement liée à la réponse de la structure du bâtiment et varie d'un site à l'autre. Les cas de panique sont relativement rares ; le sentiment général de la population se place entre inquiétude et frayeur.

2% des 11837 bâtiments de la ville ont connu un endommagement léger (niveau 1), ce qui reste un effet mineur à l'échelle de la commune et nous conduit à affecter une intensité EMS98 comprise entre IV et V.

Ces effets représentent néanmoins un nombre non négligeable de bâtiments (environ 270). Les principaux dégâts ont été des fissures fines en petit nombre ou l'agrandissement de fissures pré-existantes. Si l'intensité de la secousse n'a pas atteint le seuil des dégâts significatifs, quelques dégâts ont causé de réelles inquiétudes pour les propriétaires qu'ils soient privés ou publics, notamment lors de la chute de cheminées, rue de Neuf-Brisach, rue des Accacias, ou encore sur l'ancien bâtiment des jeunes et de la culture qui

a occasionné des dégâts sur la toiture, le rebord d'une fenêtre et la vitre du rez-de-chaussée. Pour de plus rares habitations les fissures sont apparues en grand nombre. Une quinzaine de bâtiments ont été affectés par quelques chutes de crépis provenant de parements, de balcons, de façades, de plafonds ou de cheminées. On peut citer notamment le clocher de l'église Sainte-Marie dont une partie du parement est tombée, la structure proprement dite de l'édifice n'a pas été affectée. Une quinzaine de témoignages ont signalé des effets sur les carrelages (soulèvements, fissures, décollements) et des fissures plus larges. Aucun bâtiment n'a été mis en péril. 48 familles ont été évacuées d'un immeuble de 14 étages voué à être démolie en 2004 dans le cadre du réaménagement urbain du quartier par la Colmarienne du logement. Les mesures d'évacuation ont été prises par soucis de précaution en attendant le passage des experts. Ceux-ci ont conclu que seuls les balcons présentaient une fragilisation, mais les habitants ont été particulièrement choqués des effets de la secousse sur leur immeuble.

Les bâtiments fragilisés par le passé ont subi les dégâts les plus importants. Une dizaine de constructions semblent avoir connu une modification de leur soubassement par tassement de terrain. Dans ces cas les portes ont eu du mal à s'ouvrir et les planchers ou plafonds ont parfois été décalés de quelques centimètres. Les chutes de tuiles n'ont pas été significatives (5 cas signalés). Une dizaine de toitures ont été endommagées suite à l'oscillation du bâtiment (fissuration de poutre, ou déplacement des éléments de charpente), comme sur le bâtiment Rudolphi au sein du lycée professionnel rue Saint Jean. Deux murs se sont effondrés sans que l'on ait d'information sur le type et l'état de ces constructions (rue des Platanes et Grand rue).

L'enrobé du Pont du Général de Gaulle a été fissuré de façon importante et 4 canalisations d'eau ont été sectionnées, rue Schauenberg, rue du Nord, impasse du 17 décembre et quai Pflieger. Il y a peu de témoignages de chutes d'objets.

A Saint-Louis (I=IV-V, dist. 58 km), 49 logements d'un immeuble de 12 étages situé rue de la Gare ont présenté des fissures dans les dalles des balcons, localisées systématiquement à mi-longueur du balcon. Compte tenu de la régularité, l'origine semble selon les experts due à un défaut d'exécution des joints secs recoupant les balcons en leur milieu.

Dans cette agglomération proche de l'aéroport, le bruit a parfois été assimilé à la chute d'un avion. L'aéroport EuroAirport a fonctionné normalement

et n'a subi aucun dommage. Sur cette commune, peu de maisons semblent avoir été affectées par des dégâts .

A Thann (I=IV-V, dist. 65 km), un pan de roche d'une cinquantaine de tonnes sur les flancs de l'Engelbourg a menacé une habitation située en contrebas. Des experts ont pris en charge ce délicat travail sur cette zone déjà connue pour son instabilité. Les pompiers Thannois sont également intervenus pour sécuriser une cheminée présentant des fissures place de Lattre-de-Tassigny. Mais là encore peu de bâtiments ont été affectés par la secousse.

Sur la commune d'Orbey (68, I=V-VI, dist. 42 km), une cheminée cassée a endommagé le toit d'une maison.

Les habitants de Ribeauvillé (I=V-VI, dist. 50 km), ont observé les ondulations des bâtiments lors du passage des ondes sismiques. Celles-ci ont d'ailleurs produit quelques effets sur les constructions (descellement de 2 chapeaux de cheminées, et des fissures dans quelques maisons).

A Mulhouse, (I=IV-V, dist. 81 km), la secousse a été largement ressentie par la population. Deux secousses successives ont été perçues à quelques secondes d'intervalle, variant de "la bourrasque de vent" au "passage d'un gros camion", sans engendrer de mouvements de panique. Les sapeurs-pompiers sont intervenus pour une cheminée fragilisée rue Gutenberg mais la ville compte très peu de dégâts sur les bâtiments (une cinquantaine environ, principalement de niveau 1). La tour de l'Europe, bâtiment haut de la ville de Mulhouse (100 m) n'a marqué qu'un balancement léger d'ouest en est.

D'autres villes ont connu des effets sur leurs constructions (très majoritairement des fissures fines - dommages de niveau 1) en plus ou moins grand nombre. Parmi les plus significatives, relevons les communes d'Horbourg-Wihr, Labaroche, Morschwiller-le-Bas, Pulversheim, Sainte-Marie-aux-Mines et Wintzenheim.

De rares dégâts de niveau 2 sont relevés dans ces communes.

Dans le du Bas-Rhin (67)

Les pompiers ont reçu environ 1000 appels. Les dégâts ont été limités à des fissures plus ou moins larges ou l'agrandissement de fissures existantes, dans 25 villes du département.

A Strasbourg (I=IV-V, dist. ép. 85 km), l'ensemble de la population Strasbourgeoise a largement senti le séisme, les lustres ont bougé, quelques objets sont tombés, mais l'inquiétude est le sentiment le plus représentatif sur la ville. Hormis l'évacuation de l'Opéra qui aura marqué les mélomanes comme les esprits, c'est dans les tours de grande hauteur comme à l'esplanade ou dans les HLM de la cité de HautePierre que le séisme aura produit les effets les plus importants sur les personnes.

Très peu de dégâts ont été déclarés en mairie sur l'agglomération (une cinquantaine environ). Rue des Pontonniers, le service des eaux a dû intervenir pour réparer une canalisation, ainsi que rue d'Obserhausbergen à Eckbolsheim, commune de l'agglomération Strasbourgeoise.

En Centre-Alsace les habitants de Sélestat (I=IV-V, dist. 58 km) ont eu quelques frayeurs. Le bruit précédant la secousse a été comparé à "l'essorage d'une machine à laver le linge", ou à "des personnes sautant fortement sur les planchers des étages supérieurs".

A Obernai (I=V, dist. ép. 62), comme à Barr (I=IV, dist. ép. 58) certains habitants ayant vécu le séisme à l'origine de la catastrophe d'Izmit de 1999 (Turquie), ont été particulièrement effrayés par cette secousse. Le reste de la population ne semble pas avoir réagi avec le même niveau d'inquiétude.

La commune de Ranrupt (I=V, dist. 40 km) signale des fissures sur l'église.

Un rocher situé sur une falaise surplombant trois pavillons à Schaeferhof (annexe de la commune du Dabo - I=IV-V, dist. 85 km), a menacé les habitants. Des travaux d'expertises et de consolidations ont été menés.

En Moselle (57)

A Boulay-en-Moselle (I=III, dist. 97 km), route d'Ottonville, à l'ancienne décharge publique, des milliers de mètres cubes de remblais en provenance de démolitions déposés au cours des dernières années ont décroché sur 100 m de front débordant jusque sur des terrains communaux, heureusement sans faire de dégât. Effet du dégel ou du séisme, la raison n'est pas certaine, mais

l'addition des deux phénomènes en est probablement la cause.

Pour le nord de la Franche-Comté, l'un des sites sensibles pouvait être le barrage de Champagny. Aucun dégât n'a été constaté. Il faut noter qu'il n'était rempli qu'à la moitié de sa capacité de 13 millions de mètres cubes d'eau.

Dans le Territoire de Belfort (90)

A Belfort (I=V, dist. épïc. 77), la secousse souvent comparée à une explosion lointaine a marqué les esprits. Les habitants se sont très souvent retrouvés dehors assez inquiets. En une heure, le centre d'alerte belfortain a reçu près de 280 appels. Les pompiers ont sécurisé une cheminée rue Valencienne. Les personnes habitant les tours semblent ici aussi avoir été les plus effrayées par la secousse. Après identification du phénomène la plupart des habitants ont regagné leurs habitations. Seule une cinquantaine d'habitations a été affectée de fissures légères sur les façades, sur les plafonds et sur quelques murs.

A Bessoncourt (ressenti, dist. épïc. 78) un affaissement de plancher d'une habitation a été signalé. Dans la commune de Giromagny quelques effets plus importants ont été indiqués comme la chute d'un plafond, quelques fissures de murs ou de façades et quelques chutes de tuiles. Sans les citer de manière exhaustive, c'est en tout une cinquantaine de communes du territoire de Belfort qui ont été affectées par quelques dégâts de niveau 1 à 2 sur quelques habitations, comme les communes de Bavillers, Bourogne, Charmois, Delle, Offemont, Roppe, Rougemont-le-Château, ou Valdoie.

Dans la Haute-Saône (70)

Les résidents des tours d'un quartier du Montmarin à Vezoul sont sortis des immeubles, effrayés par le balancement de leur bâtiment. A Héricourt, un quartier a été coupé d'électricité.

Dans le Doubs (25)

A Besançon (I=IV, dist. épïc. 129), des patrouilles de gendarmes sont allées sur le terrain pour rassurer la population, mais la ville n'a connu que très peu d'effets sur les constructions, 4 au total déclarés en Préfecture. A Montbéliard, (I=III, dist. épïc. 90) une cinquantaine d'habitations a été fissurée et une dizaine à Mandœuvre. Une chute de cheminée a été signalée à Flangebougé et dans la commune de l'Isle-sur-le-Doubs malgré une

intensité relativement modérée.

Dans le département du Jura (39)

Seules huit communes ont signalé en préfecture des effets aux constructions concernant pour chacune, une à deux habitations, touchées par des fissures, un décollement de carrelage ou la chute de tuiles.

En Saône-et-Loire (71)

Un même constat est fait pour ce département où seules cinq communes signalent à la préfecture des dommages aux constructions.

En Rhône-Alpes (69)

Les pompiers ont été submergés d'appels de personnes inquiètes mais aucun dégât n'a été observé.

En région parisienne

Le central du CODIS a été lui aussi submergé d'appels. Dans l'heure qui suivie le séisme, 700 appels avaient été comptabilisés sur Paris, provenant principalement des arrondissements de la couronne est de Paris : 13^{ème}, 19^{ème}, 20^{ème}, 12^{ème}, 13^{ème} et 14^{ème} arrondissements. Mais la secousse qui a duré environ 5 à 7 secondes n'a fait aucun dégât. Les personnes les plus effrayés étaient situées dans les tours de grande hauteur, certaines souhaitant la visite d'experts en bâtiment pour vérifier les structures de leurs habitations. Mais les témoignages sont également provenus des étages inférieurs voir jusqu'au rez-de-chaussée.

Observations complémentaires

Selon les témoignages reçus par internet, ce séisme a été ressenti sur 51 départements, de l'Alsace à la région parisienne et des Ardennes à la Drôme et à la Savoie. De rares témoignages sur des localisations distantes ont été rapportés des départements de Seine-Maritime, Manche, Mayenne, Sarthe, Indre et Loire-et-Cher, principalement dans des étages élevés d'immeubles mais aussi en rez-de-chaussée où les balancements lents ont inquiété les témoins de ce phénomène.

Centres de secours

En France, les interventions des sapeurs-pompiers, hormis dans les départements des Vosges et de la Meurthe et Moselle ont été peu nom-

breuses, mais des milliers d'appels leurs sont parvenus. Le réconfort moral a été l'occupation principale des agents des services publics.

Dans les départements du Territoire de Belfort de la Haute-Saône et du Haut-Rhin quelques interventions pour mise en sécurité de bâtiments ont été réalisées. Quelques reconnaissances ont été faites dans le Doubs, la Côte d'Or, la Marne, l'Yonne.

Sur les départements du 01, 08, 10, 52, 55, 57, 58, 71, 74 aucune intervention n'a été faite.

Ce séisme a également été ressenti en Belgique, en Allemagne dans le Bade-Wurtemberg, et en Suisse de Zurich à Olten et de Bâle à Berne (fig. 12).

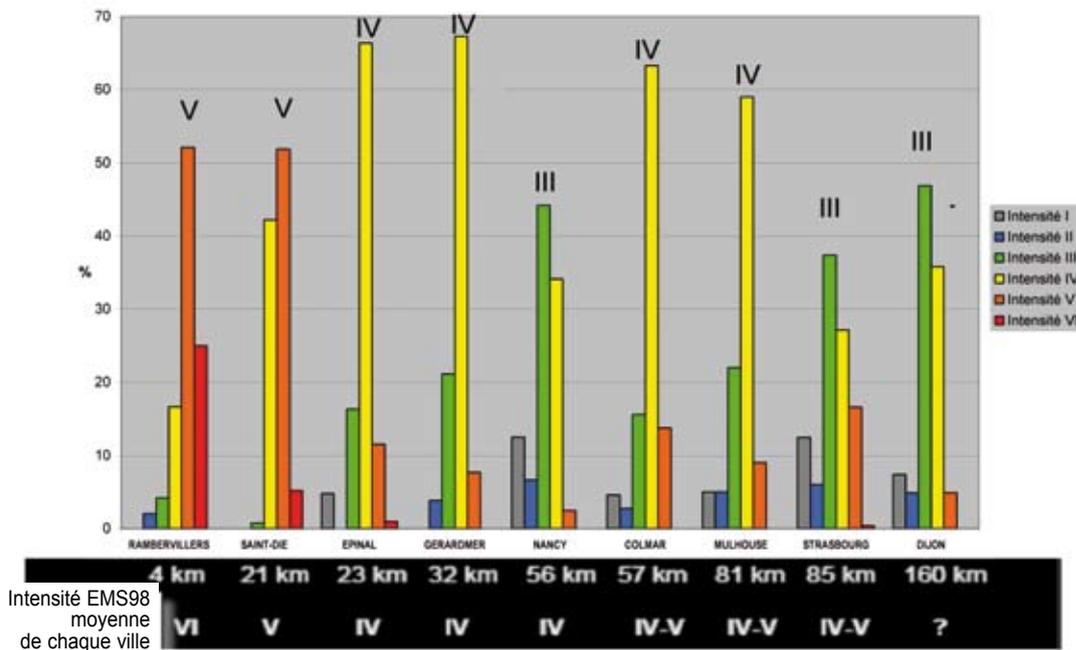
Eléments d'analyse statistique des données macrosismiques.

Le séisme de Rambervillers du 22 février 2003 a fait l'objet d'une enquête très vaste, définie de façon à répondre aux exigences de l'EMS98 pour la détermination des intensités. De plus, il a donné lieu à un très important retour de témoignages individuels, type d'enquête mise en place depuis 2001 par le BCSF, avec 13 088 formulaires remplis (cf formulaires collectifs et individuels en annexe). Ainsi, c'est l'évènement pour lequel le BCSF possède actuellement des données macrosismiques les plus nombreuses. Les témoignages recueillis essentiellement par Internet paraissent objectifs et de bonne qualité, la plupart des témoins étant chez eux au moment de la secousse. Grâce à ces données uniques, le BCSF a engagé un travail d'analyse détaillé des effets observés lors de cet évènement (Schlupp et al. 2006, Houbbron 2007, Cara et al. 2007) afin de mieux comprendre les origines de la variabilité des intensités macrosismiques et du mouvement du sol lors d'un tel séisme.

Analyse et comparaison des données individuelles et collectives

Ignorant les degrés d'intensité élevés (<VI EMS-98) pour lesquels la prise en compte des dommages aux constructions nécessite une analyse sur le terrain, chaque témoignage individuel relatif à un site donné est traduit en pseudo intensité. Le qualificatif « pseudo » signifie que la statistique des effets sur une zone est absente au niveau du témoignage individuel. Un tel témoignage est localisé à l'adresse et l'intensité est ramené au sol en diminuant de 1° la valeur déterminée au-dessus du 2e étage et en ne tenant pas compte des témoignages au-dessus du 4e étage conformément aux recommandations de l'EMS-98 (Grünthal et al., 1998).

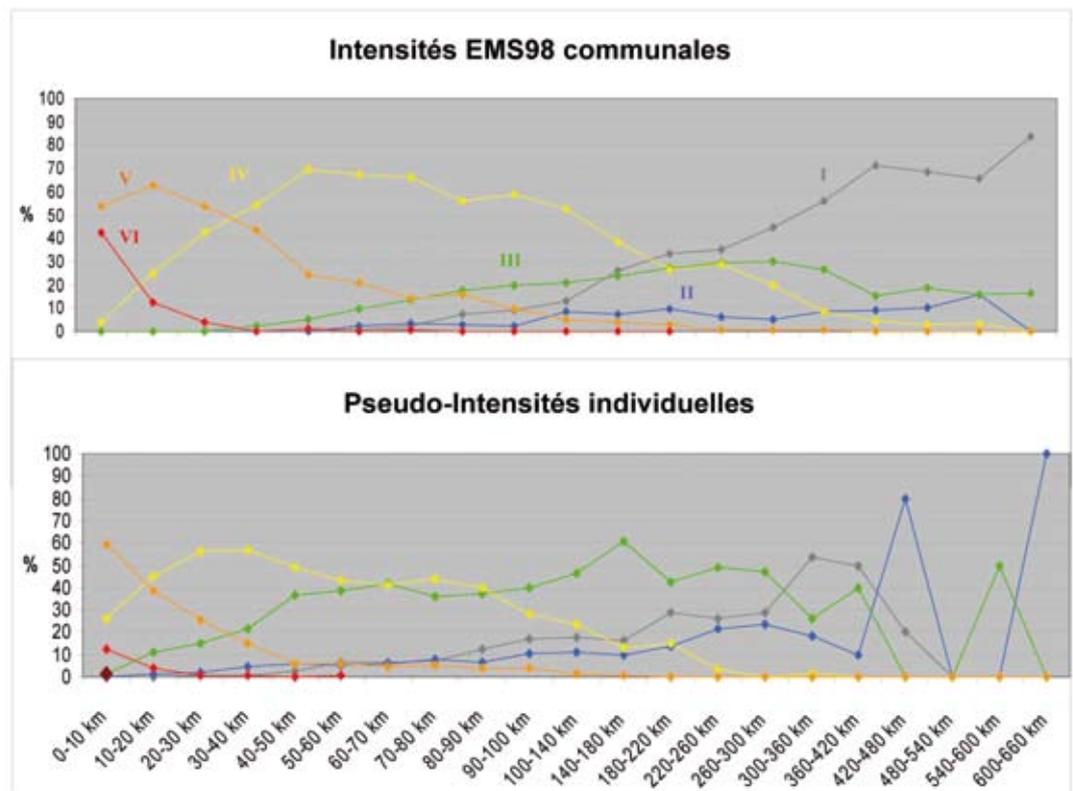
(fig. 77) Pseudo-intensité (nombre de témoignages par classe d'intensité)



La figure 77 montre que les pseudos intensités présentent généralement une grande dispersion au sein de chaque localité. On notera toutefois une assez bonne cohérence entre les valeurs des pseudos intensités correspondant au maximum de chaque histogramme et les valeurs finales EMS-98 attribuées par le BCSF à partir des formulaires collectifs essentiellement. Les écarts dépassant le demi degré d'intensité sont observés dans les localités suivantes: Rambervillers où les dommages aux constructions signalés par les témoins sont plus faibles que ceux constatés sur le terrain par l'équipe BCSF-BRGM ; Nancy (56km) où le maximum est centré sur l'intensité III

mais l'histogramme présente une asymétrie marquée vers les plus grandes valeurs ; Strasbourg (85km) qui présente la même asymétrie qu'à Nancy. L'accord est remarquable à Epinal (23km) et Gérardmer (32km). On peut penser à première vue que la variabilité des pseudos intensités dans une localité est due au manque de fiabilité des témoignages individuels mais la cohérence des réponses laisse penser que ce ne doit pas être le seul facteur. La variabilité locale des secousses sismiques due aux interférences dans le champ d'ondes sismiques et aux effets de site est aussi très probablement présente dans ces valeurs de pseudo intensité.

(fig. 78) - Moyenne par tranche de distance des intensités communales et des pseudo-intensités provenant des témoignages individuels.

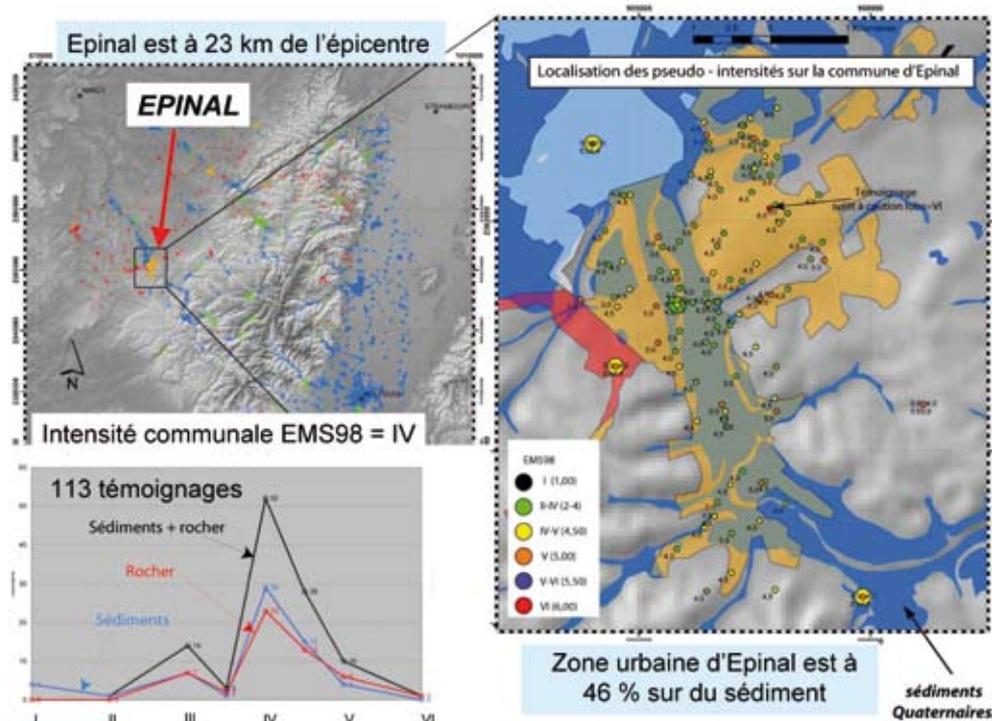


La figure 78 représente le pourcentage d'intensité EMS98 (figure du haut) et de pseudo intensité (figure du bas) pour une classe de distances donnée. Elle montre qu'il existe dans les deux cas plusieurs degrés d'intensité pour une classe de distances donnée. Ces valeurs montrent une évolution régulière de chaque niveau d'intensité avec la distance sous la forme d'une distribution entrelacée des différents degrés d'intensité suivant 3 phases. Pour chaque niveau d'intensité on observe une phase en augmentation suivie d'une phase en plateau plus ou moins étendue et une phase en décroissance. L'entrelacement

des courbes montre qu'à une distance donnée, une intensité domine en pourcentages et est dans une phase plateau alors que la représentation du degré supérieur est en décroissance et celle du degré inférieur est en croissance. Cette analyse statistique préliminaire montre que la variabilité des effets ressentis à une distance donnée reflète probablement un processus physique plutôt qu'une variabilité aléatoire dans les réponses comme cela était considéré préalablement.

Répartition des intensités en fonction de la géologie dans une commune

(fig. 79)



La figure 79 montre une analyse qui a pu être faite sur la commune d'Epinal (Schlupp et al. 2006) où nous disposons de nombreuses données individuelles. La figure en haut à gauche montre la proportion de la surface urbanisée qui est sur des sédiments meubles (rouge=75 à 100 % au rocher, vert= 75 à 50 % au rocher, orange = 50 à 25 % au rocher, bleu = 25 à 0 % au rocher). Ceci montre que l'on ne peut pas faire de classification d'une commune de façon binaire entre rocher et sédiments. La figure en haut à droite montre la répartition des pseudo-intensités déduites des témoignages individuels sur la commune urbanisée d'Epinal (orange) avec en transparence (bleu) la partie sur des sédiments meubles. La figure en bas à gauche montre la répartition des valeurs de pseudo intensités en fonction du lieu d'observation, au rocher ou au sédiment. On observe qu'il n'y a pas de différence entre les observations au rocher ou au sédiments. Ainsi, trois cas sont possibles; soit les données ne permettent pas de mettre en évidence des effets de site liés à la géologie (séparation rocher – sédiments), soit ils

n'existent pas à ce niveau d'intensité, soit enfin il n'y a pas d'effet de site dans la configuration d'Epinal. Au final, il semble que les effets de site ne sont qu'un élément parmi d'autres de la variabilité importante du mouvement sismique.

L'exploitation des réponses aux formulaires d'enquête individuelle pour le séisme de Rambervillers du 22 février 2002 montre que certains champs de questions donnent lieu à des réponses très cohérentes lorsqu'on les analyse par rapport à la distance épacentrale. Ceci est encourageant pour mener plus loin les analyses en recherchant les écarts à la moyenne des réponses sur une localité. L'intérêt de ce type de données macrosismiques est de pouvoir couvrir les zones urbanisées avec un échantillonnage spatial beaucoup plus dense que ce qui est envisageable avec les données instrumentales du Réseau Accélérométrique Permanent RAP.

Références citées

- Audin, L., J.-P. Avouac, M. Flouzat et J.-L. Plantet, Fluid-driven seismicity in a stable tectonic context: The Remiremont fault zone, Vosges, France, *Geophysical Research Letters*, 29, 6, 15-18, (2002).
- Berge-Thierry C., F. Cotton, O. Scotti, D. A. Griot-Pommeret et Y. Fukushima, New empirical response spectral attenuation laws for moderate European earthquakes., *J. Earthquake Engineering*, 7, 193-222, (2003).
- Betbeder-Matibet, J., et Bour, M., Lois d'atténuation pour les valeurs du pic de mouvement, *Cahier Technique AFPS*, 23, 23-56, (2002).
- Cara M., A. Schlupp, A. Houbron et Ch. Sira: Intensités macrosismiques et témoignages individuels : une piste pour détecter les effets de site? 7eme Colloque National AFPS 2007, Ecole Centrale Paris, Châtenay Malabry 4 - 6 juillet (2007)
- Cara, M., W. Brüstle, M. Gisler, P. Kästli, C. Sira, C. Weihermüller et J. Lambert., Transfrontier macroseismic observation of the ML= 5.4 earthquake of february 22, 2003 at Rambervillers, France, *J. Seismology*, 9, 317-328. (2005)
- Grünthal, G. (ed.),. European macroseismic scale 1998 EMS-98, *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, vol.15, Luxembourg, 99 p, (1998).
- Haessler, H., et P. Hoang-Trong, La crise sismique de Remiremont (Vosges) de décembre 1984 : Implications tectoniques régionales, *Compte-Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 300, II, 14, (1985).
- Haned, A., La séquence de répliques du séisme de Rambervillers du 22 février 2003, rapport de stage de Mastern Université Louis Pasteur EOST - Strasbourg, 29, (2007).
- Houbron A. Analyse des témoignages individuels macrosismiques, Rapport de Master 2 Géosciences Environnement Risques Spécialité Sciences de la Terre, ULP Strasbourg,(2007).
- Lambert, J., Les tremblements de terre en France, *Mémoire du BRGM*, 43-47, (1997).
- Scherbaum F., F. Cotton et P. Smit, On the use of response spectral reference data for the selection of ground motion models for seismic hazard analysis: the case of rock motion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 2164-2185, (2004).
- Schlich, R. et Rothé, J.P., Observations sismologiques – la sismicité de la France entre 1971 et 1977, publication du BCSF, Strasbourg, 208p. (1983).
- Schlich, R., Observations sismologiques, sismicité de la France en 1984, 1985 et 1986, publication du BCSF, Strasbourg 229p. (1990).
- Schlupp A, M. Cara et C. Sira, Estimation des effets de site inclus dans les intensités macrosismiques observées. Applications sur des données récentes et historiques, Rapport d'étude du contrat ILL réf: CAS ESP CDC ILL 05-01 Ind. A, En collaboration avec le CEA/DASE/LDG: Marc Nicolas, Alain Gachon. 66 pages, (2006).
- Vogt, J., Les tremblements de terre en France, *Mémoire du BRGM*, 96, 179-188, (1979).

Sites Internet utilisés

- <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr>
<http://www.prim.net>