

4.3 Région Nord-Est

(fig. 3) Localisation BCSF des principaux séismes sur la période 2003 - 2005



Les caractéristiques principales de la déformation tectonique et de la sismicité dans le nord-est de la France.

Contexte général

Le secteur Nord-Est regroupe ici les Vosges, le Fossé Rhénan et le Jura. 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 (Brun et al., 1991 ; Echtler, Lüschen et Mayer, 1994). Au Pliocène, le front du Jura se plisse comme le démontre la mise en place du Jura de Ferrette (Sud de Bâle) au Pliocène moyen (~ 4 Ma, Nivière et al., 2000). La poussée du Jura se poursuit jusqu'à l'actuel.

Le réseau hydrographique jeune incisant des terrasses quaternaires au front du Jura (SE de la Serre, Forêt de Chaux) témoigne de la surrection récente de cette région. Dans le SW du fossé Rhénan et dans le fossé Bressan, on observe au Pliocène une phase de subsidence entraînant le dépôt de matériaux d'origine alpine. A partir du Pléistocène (~ 1 Ma) débutent la surrection du Horst de Mulhouse, la formation du fossé de Sierentz et le basculement des plateaux de l'Ajoie vers le NE (Theobald et al., 1977).

La dynamique récente de la région (fin quaternaire) montre des mouvements verticaux relatifs, traduisant l'influence conjuguée de la déformation des « Vosges - Fossé Rhénan - Jura Souabe » et de la poussée du Jura. Vogt (1980) estime à 400 m le relèvement absolu des Vosges au Quaternaire, sur les 2 derniers millions d'années.

Les dépôts tertiaires et quaternaires au sein du Fossé Rhénaux atteignent une épaisseur de plus de 3300 m. Les terrasses fluviales rhénanes sont basculées vers le nord et les cailloutis du Sundgau sont plissés selon des axes E-W (Meyer et al., 1994 ; Nivière et al., 2000 ; Giamboni et al., 2004). Bien que cette région soit l'une des plus actives de France, la vitesse de déformation horizontale au travers de la région est très faible, estimée à moins de 0,6 mm/an à partir des mesures GPS (Nocquet et Calais, 2003). Ceci est confirmé par Rozsa et al. (2005) qui indiquent un déplacement horizontal inférieur à 0,5-1,0 mm/an au travers du Fossé Rhénaux supérieur selon une orientation globalement NS.

La vitesse de déformation verticale actuelle reste mal connue. Elle a été estimée localement entre 0,11 et 0,27 mm/an sur la faille de Bâle-Reinach (Ferry et al., 2005) respectivement au cours du Quaternaire et depuis le Pléistocène. Actuellement la contrainte maximale horizontale régionale, déduite des mécanismes au foyer de petits séismes, est orientée NW-SE (N135°) et la contrainte minimale horizontale est orientée N45°. Ce tenseur de contraintes indique un régime de déformation favorable au décrochement senestre sur des failles N-S et dextre sur des failles E-W. Dans le sud du Fossé Rhénaux la contrainte maximale horizontale tend à s'orienter N160° (Plenefisch and Bonjer, 1997). Dans la couverture sédimentaire du Jura, la contrainte maximale horizontale Sh, découplée du socle (Becker et al., 1987), s'oriente radialement par rapport au front interne du Jura. L'évolution tectonique actuelle de la région apparaît ainsi dominée par la poussée Alpine qui entraîne le décollement et le plissement du Jura et une réactivation du Fossé Rhénaux se traduisant par le relèvement des Vosges du sud (et de la forêt Noire) et la subsidence relative du Fossé Rhénaux. La région des Vosges est caractérisée par une sismicité distribuée principalement le long de l'axe Epinal – Remiremont - Luxeuil-les-Bains. Elle présente une forte sismicité instrumentale et historique, qui n'a jusqu'alors jamais pu être corrélée clairement à une rupture en surface (Blès et al., 1991; Haessler and Hoang-Trong, 1985; Plantet and Cansi, 1988). Après relocalisation il ressort que cette sismicité semble suivre un axe de direction N0-10 depuis le NE de Luxeuil-les-Bains, où s'est produit le séisme de 1682 ($I_0 = VIII$) jusqu'au nord-est d'Epinal (Audin et al., 2002). Les plus importants séismes historiques connus qui ont marqué cette région sont ceux du 18/02/849 et du 12/05/1682, d'intensité épiscopale estimée à VIII. Pour la période instrumentale, il y a eu trois crises sismiques majeures, les crises de l'année 1973 dominées par l'événement du 22/02/1973 (M_L

(LDG) = 4,1), la crise de Remiremont de décembre 1984 avec son paroxysme le 29/12/1984 ($I_0 = VI$, M_L (LDG) = 4,8) et le séisme de Rambervillers (22 février 2003, 5,4 M_L RéNaSS, d'intensité épiscopale VI-VII EMS98 – Cara et al., 2005) qui est l'événement majeur de cette région depuis 1682. Les séismes de 849, 1682 et 1984 se répartissent géographiquement du sud au nord. La crise sismique de 1984 a été enregistrée par un réseau local permettant des relocalisations précises de l'événement majeur et des répliques. Elles sont alignées sur 3 km de longueur et entre 6 et 8 km de profondeur le long d'un plan orienté N03°, en cohérence avec le mécanisme au foyer de l'événement principal (décrochement senestre pur selon un plan NS vertical sub-méridien (Haessler et al., 1985)). Le séisme de 2003, qui fait l'objet d'une fiche détaillée, a été ressenti à près de 650 km de l'épicentre (Cara et al. 2005). Il a été suivi de nombreuses répliques, dont environ 600 dans les trois premiers mois (magnitudes comprises entre 0 et 3,4), qui se poursuivent encore plus de 4 ans plus tard (3,5 M_L le 26 mai 2007). La relocalisation des répliques a permis de déterminer que le segment de faille qui a rompu lors du choc principal est orienté N296° à pendage de 44° vers le NE à une profondeur entre 9,5 et 12,5 km (Haned 2007) selon un mécanisme normal décrochant senestre (Jacques et al. 2004). Il s'agit ainsi d'une faille antithétique aux grandes failles à pendage sud présentes dans la région. Les mécanismes aux foyers déterminés pour ces séismes sont compatibles avec une contrainte compressive à grande échelle orientée NW-SE, perpendiculaire à l'arc alpin.

L'activité sismique du Fossé Rhénaux est diffuse et difficilement corrélable à des accidents en surface. Le graben du Rhin et ses structures associées (Vosges et Forêt Noire) présente une activité sismique associée à des mécanismes au foyer décrochants. La zone du Fossé Rhénaux est limitée au sud par les plis et chevauchements du Jura Frontal et le seuil Rhin-Saône. La sismicité augmente dans la zone de transition entre le Fossé Rhénaux et le Jura. L'événement marquant du Fossé Rhénaux est le séisme de Bâle (Suisse) du 18/10/1356, ($I_0 = IX$), l'un des plus importants séismes ressentis en France et le plus important connu au nord des Alpes. La région du Sundgau subit une forte activité sismique comme en témoigne la crise de Mulhouse de 1980 à proximité du horst de Mulhouse-Altkirch, avec l'événement principal du 15/07/1980, M_L (LDG) = 4,9, $I_0 = VI-VII$. La sismicité historique, plus diffuse (1239, 1784, 1444, 1372), est située le long du flanc ouest du horst et à proximité des failles normales orientées NS à N30°.

Déformation récente et sismicité du Jura

La structuration du Jura a commencé au Miocène supérieur (~ 10 Ma).. Au Pliocène (-2 à -5 Ma.), le front nord du Jura commence à se plisser comme le démontre la mise en place du Jura de Ferrette au sud de Bâle (Nivière et Winter, 2000). Le Jura est caractérisé par une tectonique tangentielle compressive, localement décrochante, liée à la poussée alpine orientée NW-SE et au décollement de la couverture au niveau des évaporites du Trias. Cette zone est limitée au sud par le chevauchement interne à la bordure du bassin molassique et au nord par le chevauchement frontal. Dans la couverture sédimentaire du Jura, la contrainte maximale horizontale, découplée du socle (Becker et al., 1987), s'oriente radialement par rapport au front du Jura. En surface, la déformation est accommodée par des plis et chevauchements (orientés N90° à l'est et s'orientant NS vers l'ouest) et des décrochements orientés N160, probablement associés à des accidents du socle donnant à certains plis une allure sigmoïdale. La morphologie souligne clairement les plis et les décrochements associés au chevauchement. Le mouvement relatif au travers du Jura par rapport à la plaque Eurasienne indique une convergence inférieure à 1 mm/an ($\pm 0,2$ à $0,5$ mm/an) (Walpersdorf et al. 2006). La sismicité apparaît plus importante au voisinage des chevauchements internes et frontaux et reste diffuse au sein même du domaine.

L'ensemble du Front du Jura est actif et marqué par une sismicité instrumentale moyenne et une sismicité historique assez bien corrélée aux accidents frontaux, essentiellement un chevauchement relayé localement par des plis faillés, où des mouvements récents sont reconnus. Les plus forts séismes connus dans la région du Jura sont proches de la zone frontale. Il s'agit des séismes du 18/01/1155, $l_o = VII$, Jura, (Lons le Saunier) région où l'on observe actuellement un essaim de micro-sismicité, du 30/10/1828, $l_o = VII$, aux environs de Besançon. Le séisme de Roulans, au nord-est de Besançon, (23 février 2004 - $5,3 M_L$ - ressenti à plus de 350 km - $l_{max} V-VI$) est le séisme le plus fort observé sur la période instrumentale au front nord du Jura. Il a eu lieu sur une faille, orientée soit EW soit NE-SW, inverse décrochante crustale, l'hypocentre étant entre 14 et 16 km de profondeur alors que la couverture plissée ne dépasse pas 3-4 km d'épaisseur. Dans la zone interne du Jura, le séisme principal est celui du 21/06/1971, M_L (LDG) = 4,8, $l_o = VII$, « barrage de Vouglans », dont le mécanisme au foyer montre un décrochement senestre sur une faille N10 à pendage 45° ouest (Lachaize, 1982). Le reste de l'activité sismique se distribue principalement aux limites de contact avec les Alpes. On relève notamment dans la partie sud du Jura une concentration de séismes historiques localisés aux abords des Alpes dont le plus important est celui de Bugey-Chantagne du 19/02/1822, $l_o = VII-VIII$.

Sismicité sur la période 2003-2005

La sismicité du secteur Nord-Est a été particulièrement forte au cours de la période couverte par cette publication. Trois événements de magnitude supérieure à 5 ont affecté la région. Rambervillers le 22 février 2003 ($5,4 M_L$), Roulans le 23 février 2004 ($5,1 M_L$) et Waldkirch le 5 décembre 2004 ($5,3 M_L$ - Allemagne). Des précisions sont apportées dans leurs fiches respectives. Les séismes de Rambervillers (bordure ouest des Vosges) et de Waldkirch (bordure ouest de la Forêt Noire) font partie du système "Vosges-Fossé Rhénan- Forêt Noire" alors que le séisme de Roulans a eu lieu au front nord du Jura. Tous les autres séismes sont de magnitude inférieure à $4,1 M_L$ et leurs épicentres sont tous localisés dans les pays voisins mais proches de nos frontières (Allemagne et Suisse). En Suisse, quatre séismes de magnitude modérée ont eu lieu, tous ressentis en France avec une Intensité atteignant IV. Parmi eux, deux événements proches, les 28 juin 2004 ($4,1 M_L$ en décrochement inverse) et 12 novembre 2005 ($3,8 M_L$), ont eu lieu dans la région de Frick – Moenthal (extrémité NE du Jura), un à proximité de Bâle le 21 juin 2004 ($3,8 M_L$ en décrochement normal) et un autre le 12 mai 2005 dans la région de Rumisberg (à proximité du front sud du Jura - $3,9 M_L$ en faille inverse) localisé dans la croûte inférieure sous le Jura (Deichmann et al., 2006).

Les séismes de la région nord-est ayant dépassé la magnitude 3.5 M_L sont :

- 22 février 2003, à l'est de Rambervillers (88), 5,4 M_L
- 22 août 2003 (9h21 TU), au sud-est de Montreux (Suisse), 3,8 M_L - sans donnée macrosismique
- 22 août 2003 (9h30 TU), au sud-est de Montreux (Suisse), 3,7 M_L - sans donnée macrosismique
- 23 février 2004, au sud-est de Roulans (25), 5,1 M_L
- 21 juin 2004, au sud-est de Bâle (Suisse), 3,8 M_L
- 28 juin 2004, région de Frick (Suisse), 4,1 M_L
- 5 décembre 2004, région de Waldkirch (Allemagne), 5,3 M_L
- 12 mai 2005, région de Rumisberg (Suisse), 3,9 M_L
- 20 juillet 2005, au nord de Merlebach (57), 3,5 M_L - sans donnée macrosismique
- 22 septembre 2005, au nord-est de Saarlouis (Allemagne), 3,7 M_L
- 12 novembre 2005, région de Moenthal (Suisse), 3,8 M_L

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).
- Becker A., P. Blümling et W. H. Müller, Recent stress field and neotectonics in the Eastern Jura Mountains, Switzerland, *Tectonophysics*, 135, 277-288, (1987).
- Blès J. L., A. Colleau, J. Fourniguet, P. Godefroy, N. Lenôtre, B. Sauret, P. Combes, J. Y. Dubié, P. Vaskou et R. G. G. d. R. G. d. I. I. e. Néotectonique), Proposal for classification of fault activity in an intraplate collision setting: Definitions and examples, *Tectonophysics*, 194, 279-293, (1991).
- Brun J. P., F. Wenzel et Ecors-Dekorp team, Crustal scale structure of the southern Rhine graben from ECORS DEKORP seismic reflection data, *Geology*, 19, 758-762, (1991).
- Cara M., W. Brüstle, M. Gisler, P. Kästli, C. Sira, C. Weihermüller et J. Lambert, Transfrontier macroseismic observations of the $M_L=5.4$ earthquake of February 22, 2003 at Rambervillers, France, *Journal of Seismology*, 9, 317-328, (2005).
- Deichmann N., M. Baer, J. Braunmiller, S. Husen, D. Fäh, D. Giardini, P. Kästli, U. Kradolfer et S. Wiemer, Earthquakes in Switzerland and surrounding regions during 2005., *Ecol. geol. Helv*, 99, 443-452, (2006).
- Echtler H. P., E. Lüschen et G. Mayer, Lower crustal thinning in the Rhine graben: Implication for recent rifting, *Tectonics*, 13, 342-353, (1994).
- Ferry M., M. Meghraoui, B. Delouis et D. Giardini, Evidence for Holocene palaeoseismicity along the Basel-Reinach active normal fault (Switzerland): a seismic source for the 1356 earthquake in the Upper Rhine graben, *Geophys. J. Int.*, 160, 554-572, (2005).
- Giamboni M., K. Ustaszewski, S. M. Schmid, M. E. Schumacher et A. Wetzel, Plio-Pleistocene transpressional reactivation of Paleozoic and Paleogene structures in the Rhine-Bresse transform zone (northern Switzerland and eastern France), *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 93, 207-223, (2004).
- Haessler H. et P. Hoan-Trong, La crise sismique de Remiremont (Vosges) de décembre 1984: Implications tectoniques régionales Série II, *Acad. Sc. Paris*, 14, 671-675, (1985).
- Haned A., La séquence des répliques du séisme de Rambervillers du 22 Février 2003, Master 2 GER Sciences de la Terre, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 29 p., (2007).
- Jacques E., J. Van der Woerd, L. Dorbath, H. Vasquez, L. Rivera, H. Haessler, B. Delouis, M. Frogneux, M. Meghraoui et M. Cara, Preliminary results of the 22 February 2003 Rambervillers (Vosges, France) earthquake sequence, rapport EU _ projet SAFE, 6 p., (2004).
- Jacques E., J. Van der Woerd, L. Dorbath, H. Vasquez, L. Rivera, H. Haessler, B. Delouis, M. Frogneux, M. Meghraoui et M. Cara, Preliminary results of the 22 February 2003 Rambervillers (Vosges, France) earthquake sequence, *EGU04, Geophysical Research Abstracts*, Vol. 6, 06168, (2004).
- Lachaize M., La sismicité instrumentale (1962-80) de la région: Limagnes - Jura Souabe et ses implications tectoniques, Thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 114 p., (1982).
- Meyer B., R. Lacassin, J. Brulhet et B. Mouroux, The Basel 1356 earthquake: which fault produced it? *Terra Nova*, 6, 54-63, (1994).
- Nivière B., T. Winter et M. Giamboni, Propagation active du Jura vers le Nord au sud du fossé rhénan supérieur. Conséquences sismotectoniques. Résumé RST 2000, paper presented at 18^{ème} réunion des Sciences de la Terre, Paris, 17 au 20 avril 2000, (2000).
- Nocquet J. M. et E. Calais, Crustal velocity field of western Europe from permanent GPS array solutions, 1996-2001, *Geophysical Journal*
- Plantet J.L. et Y. Cansi, Accurate epicenters location with a large network example of the 1984/1985 Remiremont Sequence, in: *Seismic hazard in Mediterranean Regions*, 347-358, (1988).
- Rozsa S., M. Mayer, M. Westerhaus, K. Seitz et B. Heck, Towards the determination of displacements in the Upper Rhine Graben area using GPS measurements and precise antenna modelling, *Quaternary Science Reviews*, 24, 427-440, (2005).
- Theobald N., H. Vogt et O. Wittmann, Néotectonique de la partie méridionale du bloc rhénan, *Bull. BRGM,(2ème série), Section IV*, 2, 121-140, (1977).