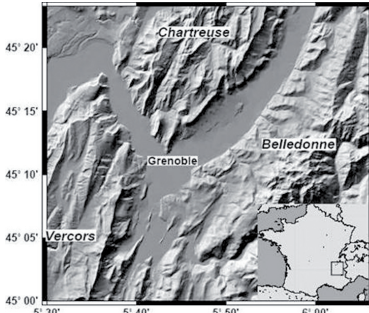




Grenoble

Aléa sismique et effet de site dans la vallée grenobloise



La vallée grenobloise, confinée entre les massifs de La Chartreuse, de Belledonne et du Vercors, est une ancienne vallée glaciaire, remplie d'alluvions meubles sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur (jusqu'à 800m au centre du bassin). Le fort contraste de rigidité entre ces alluvions et le substratum rocheux est à l'origine d'une amplification élevée du mouvement sismique dans le Y grenoblois [par ex. Lebrun et al., 2001]. Ainsi le séisme d'Annecy (environ 120km de Grenoble) de magnitude 5 le 15 juillet 1996 a-t-il été très bien ressenti par les grenoblois malgré la distance. Des études récentes montrent par ailleurs la possibilité de séismes de magnitude 5.5 dans la région. Un événement en coulisage dextre sur la faille de Belledonne est notamment envisagé à environ 10-15km à l'Est du bassin Grenoblois (N30°). [Thouvenot et al, 2003]

Figure 1 : Carte de situation de la vallée grenobloise

Instrumentation

Au-delà des campagnes géophysiques (gravimétrie, sismique réflexion, réfraction, forages) permettant la réalisation d'un modèle 3D du bassin, la vallée grenobloise est équipée de plusieurs stations sismiques chargées d'enregistrer le mouvement sismique. Avant le projet Sismoalp, sept stations permanentes du Réseau Accélérométrique Permanent (RAP) étaient déjà en place (une sur le rocher et six dans le bassin dont 2 à l'intérieur du forage de Montbonnot). Dans le cadre du projet Sismoalp, une station permanente supplémentaire a été installée à l'intérieur de ce forage, à 40m de profondeur, forage qui atteint le substratum à 534m de profondeur. Au cours de l'été 2005, 20 stations temporaires large bande ont été déployées dans le bassin sédimentaire : 10 stations le long d'un profil entre les communes de Biviers et Domène et 10 réparties dans le centre de la vallée. Alors que les premières avaient pour but de caractériser les ondes diffractées sur les bords de la vallée, les 10 autres ont été mises en place pour déterminer la variabilité spatiale de l'amplification et de la prolongation des ondes sismiques à une échelle kilométrique (figure2). Ce dispositif a notamment permis d'enregistrer le séisme de Vallorcine (M=4.6) le 8 septembre 2005 dont les données sont en cours d'analyse. Enfin, 300 mesures de bruit de fond ont été réalisées dans l'ensemble de la vallée pour étudier plus précisément l'impact de la géologie de surface sur le mouvement sismique. [Guéguen et al, 2007]

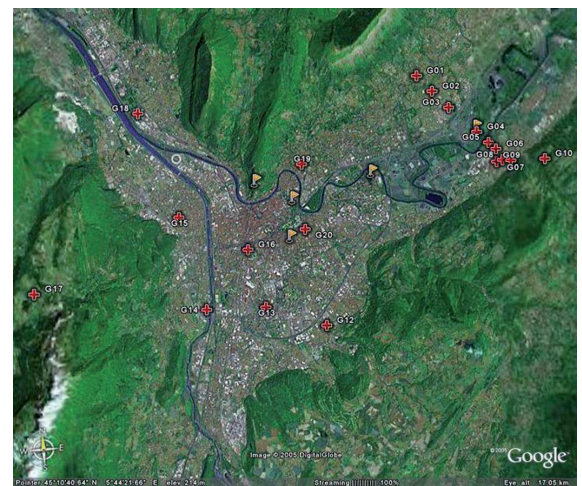


Figure 2 : situation des stations. Les drapeaux représentent les stations du RAP et les croix les vélocimètres large bande installés temporairement.

Caractéristiques de la vallée

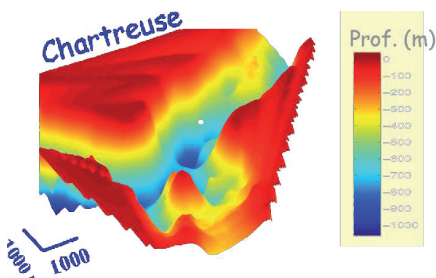


Figure 3 : Topographie de l'interface sédiments/substratum rocheux.

Le substratum rocheux est constitué d'une alternance de marnes et de calcaires marneux du Jurassique. Le remplissage sédimentaire est quant à lui composé d'argiles lacustres entremêlées de dépôts sableux en profondeur, le tout surmonté par des alluvions fluviales plus grossières, notamment en provenance du Drac.

Les mesures gravimétriques très denses ont permis d'établir la topographie du substratum rocheux dans l'ensemble du Y grenoblois (figure3). Elle révèle à la fois de très fortes épaisseurs (500 m dans le Grésivaudan, et jusqu'à 800 m sous Grenoble), et une topographie très irrégulière, assez éloignée des visions classiques des vallées glaciaires «en U». Ces très fortes variations latérales d'épaisseur contribuent efficacement au piégeage des ondes sismiques. La prospection sismique a permis une mesure précise des vitesses de propagation dans les sédiments et le substratum, mettant en évidence un très fort contraste d'impédance (≈ 3) ce qui explique l'efficacité du piégeage.

Evaluation de l'effet de site

Résonance de la vallée

La méthode des rapports spectraux utilisant des stations de référence situées en dehors du bassin a tout d'abord été utilisée. L'analyse de ces rapports spectraux montre que l'amplification se produit principalement dans une gamme de 0.25 à 5Hz. Le pic de résonance autour de 0.3Hz est lié à la réponse globale du bassin alors que les plus hautes fréquences reflètent l'hétérogénéité des niveaux supérieurs.[Guéguen et al, 2007]. Les fréquences de résonance mesurées localement sont différentes des fréquences calculées dans une hypothèse 1D (hypothèse généralement utilisée dans les études d'aléa sismique classiques, où le piégeage des ondes n'implique que les limites des couches géologiques situées à la verticale du point considéré). Ces différences s'expliquent par le faible rapport largeur/profondeur de la vallée, qui est à l'origine de résonances 2D/3D (influence de la géométrie des bords de la vallée sur les vibrations enregistrées à l'intérieur du bassin) à des fréquences différentes. Ces modes de résonance ont été étudiés par de nouvelles mesures dans les branches Nord Est et Nord Ouest de la vallée : ils montrent une très bonne correspondance avec les modes de résonances théoriques de structures purement 2D ayant la géométrie 2D locale de la vallée. [Cornou, 2006]

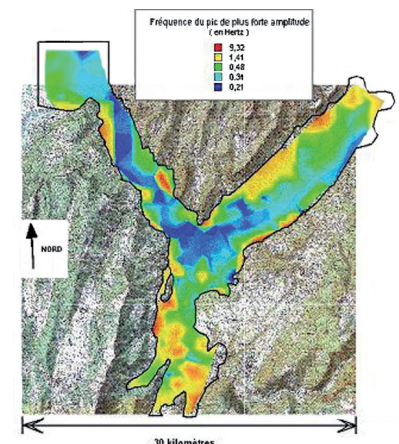


Figure 4 : Cartographie des fréquences de résonance issue des rapports spectraux dans une gamme de fréquence de 0,2Hz à 10Hz.

Simulation du mouvement sismique

Une simulation de la propagation des ondes sismiques a été réalisée à partir du modèle 3D de la vallée en utilisant la méthode des éléments spectraux. Les sismogrammes synthétiques issus de cette simulation et les enregistrements de petits séismes locaux présentent une assez bonne comparaison pour des fréquences inférieures à 1 Hz.

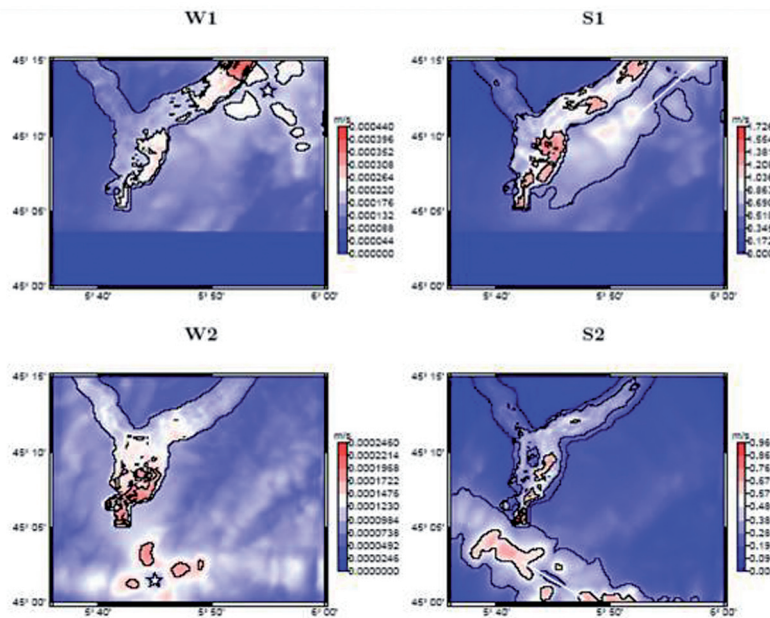


Figure 5 : Carte des Peak Ground Velocity calculés pour quatre cas : deux mouvements faibles W1 et W2, et deux mouvements forts S1 et S2. La ligne externe noire représente la forme en Y du bassin sédimentaire.

La figure 5 montre la carte des PGV (Peak Ground Velocity) obtenus pour quatre événements : deux mouvements faibles (W1 et W2) correspondant respectivement au séisme de Lancey le 26/04/2003 (ML=2,9) et au séisme de Laffrey le 01/10/05 (ML=2.8) et deux mouvements forts (S1 et S2) qui sont des extrapolations des mouvements faibles à une magnitude 6. Cette simulation montre que la plupart de l'amplification se produit dans la partie Est de la vallée pour un séisme localisé sur la faille de Belledonne. Les mouvements faibles et les mouvements forts présentent une distribution générale du PGV similaire, sauf dans le cas S1 où l'effet de directivité (amplification des ondes dans la direction de propagation de la rupture, due à l'émission des ondes sur une faille de large dimension, lors de forts séismes ($M_w > 5$), et non plus en un point) amplifie considérablement les ondes S dans le Sud Est de la vallée. Etant donnée les fréquences considérées et la simplicité du modèle de vitesse (pas de variations latérales), les valeurs des PGV sont causées par des interférences d'ondes de surfaces diffractées sur les bords de la vallée. Les études montrent que les effets de la topographie sont moins important à l'intérieur de la vallée que sur le rocher (à l'extérieur) où le facteur d'aggravation atteint 2,5. L'amplification sur les crêtes et la désamplification dans les creux semblent systématique alors que ce qui se passe sur les pentes est moins prévisible. [Chaljub, 2006]

Comparaison avec les futures normes parasismiques EC8

Les simulations pour un site au centre du bassin grenoblois montrent que les niveaux d'accélération du sol dépassent les niveaux définis par les futures normes européennes pour les sols rigides standard (catégorie B ou C dans la classification EC8). Ces résultats suggèrent que les normes européennes ne sont pas adaptées aux constructions dans les vallées alpines et que, par conséquent, des mirozonages sont nécessaires dans de telles configurations géologiques.

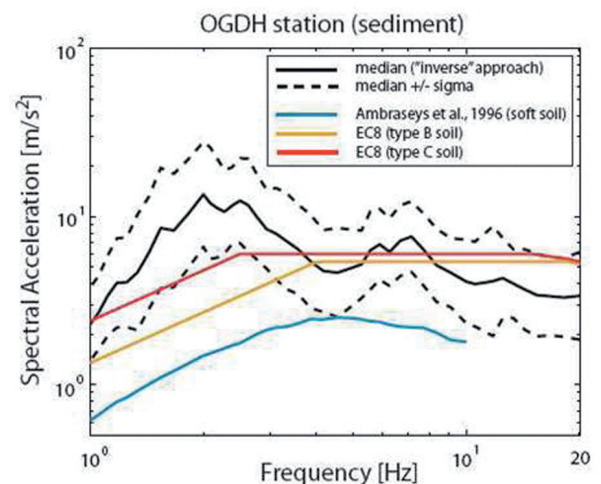


Figure 6 : Spectre d'accélération moyen et écart type associé dans la vallée. Comparaison des résultats obtenus dans le cadre de Sismoalp avec les estimations sur sédiments d'Ambraseys et al. (1996) et les futures normes EC8 (d'après Causse et al, 2007).

Bibliographie Publications dans le cadre du projet Sismoalp :

- Causse, M., Cotton, F., Cornou, C. and Bard P.-Y., 2007 : Calibrating median and uncertainty estimates for a practical use of Empirical Green's Functions technique. Bull. Seism. Soc. Am., accepté pour la publication.
- Chaljub, E., Cornou, C., Bard, P.-Y., 2006 : Numerical benchmark of 3D ground motion simulation in the valley of Grenoble, French Alps. Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Grenoble, France, 30 August - 1 September 2006, Paper Number: SB1.
- Chaljub, E., 2006 : Spectral element modelling of 3D wave propagation in the Alpine valley of Grenoble, France. Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Grenoble, France, 30 August - 1 September 2006, Paper Number: S04.
- Chaljub, E., Komatitsch, D., Capdeville, Y., Vilotte, J.P., Valette, B., and Festa, G., 2007 : Spectral Element Analysis in Seismology in Advances in Wave Propagation in Heterogeneous Media, édité par Ru-Shan Wu et Valérie Maupin, « Advances in Geophysics » series, Elsevier, vol. 48, p. 365-419.
- Drouet, S., Chevrot, S., Cotton, F. and Souriau, A., 2007 : Simultaneous inversion of source spectra, attenuation parameters and site responses. Application to the data of the French Accelerometric Network. Bull. Seism. Soc. Am., accepté pour la publication.
- Guéguen P., Cornou, C., Garambois S. and Banton J., 2007 : On the limitation of the H/V spectral ration using seismic noise as an exploitation tool : application to the Grenoble valley (France), a small aspect ratio basin. PAGEoph. 167, 115-134.

Autres publications sur le risque sismique à Grenoble :

- Cornou, C., Bard P.Y. and Dietrich M., 2003 : Contribution of dense array analysis to basin edge induced waves identification and quantification. Application to Grenoble basin, French Alps (II). Bull Seism. Soc Am.
- Lebrun, B., Hatzfeld D. and Bard P.-Y., 2001 : A site effect study in urban area: experimental results in Grenoble (France) PAGEoph 158, 2543-2557.
- Thouvenot, F., Fréchet, J., Jenatton, L., & Gamond, J.-F., 2003 : The Belledonne border fault : identification of an active seismic strike-slip fault in the western Alps, Geophys. J. Int., 155(1), 174-192.