

Apport de la géophysique de sub-surface à l'étude de la faille du Vuache, Haute-Savoie, France.

Stéphane Baize¹, André Revil^{2,3}, Marc Cushing¹, Francis Lemeille¹, Alexandre Bolève²,
Philippe Leroy²

(1) IRSN-DEI-SARG-BERSSIN, BP17, 92262 Fontenay-aux-Roses, France

(2) CNRS-CEREGE, Europôle de l'Arbois, 13545 Aix en Provence, Cedex 4, France

(3) Colorado School of Mines, Golden, CO, USA

Abstract

The aim of the study is to perform geophysical investigations to locate accurately the position of the Vuache fault (France), that generated some moderate earthquakes. The final goal is to dig paleoseismological trenches. We used two complementary techniques : electrical tomography gave promising results, as well as ambient noise measurements. We thus could identify anomalies that we interpret as the fault trace in post-Würmian sediments.

Contexte de l'étude

L'objectif de l'étude géophysique est d'imager les premières dizaines de mètres du sous-sol pour localiser une faille active. L'objet étudié, la faille du Vuache, est la source d'une sismicité actuelle qui s'est récemment manifestée à Epagny (M=5, le 15/7/1996) (figure 1). En recherchant la trace de la faille dans les séries géologiques récentes, il s'agit de reconnaître si cette faille a provoqué d'autres séismes majeurs dans le passé «préhistorique» (paléoséismes). Cet objectif ne peut être rempli qu'en analysant les déformations des couches superficielles dans des tranchées. Avant d'engager ces travaux lourds et coûteux, il faut localiser au mieux la structure à étudier. Nous avons choisi de coupler 2 méthodes de prospection (tomographie de résistivité électrique et bruit sismique) pour laquelle des résultats encourageants ont déjà été obtenus sur un objet similaire (Revil et al., soumis).

La faille du Vuache est une structure majeure du bassin molassique. Elle est importante au sens de ses dimensions (40 km sur 2 à 5 km) et aussi au sens de son rôle dans l'histoire tectonique régionale au cours des derniers millions d'années. Cette faille présente un jeu relatif en décrochement senestre, que ce soit en déformation cumulée (derniers millions d'années) ou en déformation «instantanée» actuelle, comme l'attestent les mécanismes au foyer des séismes ou les mesures GPS (Walpersdorf et al., 2006). La cible des investigations paléosismiques est située dans le bassin annécien, au nord-ouest de la ville, où le sous-sol est constitué de sédiments meubles récents qui correspondent aux premières phases du comblement du lac pro-glaciaire, après 25000 ans (figures 2) (Nomade, 2003). Ces dépôts sont des sables fins, silts ou argiles recouvrant la moraine würmienne. La partie sommitale est

constituée de plusieurs dizaines de mètres de sédiments grossiers fluvio-deltaïques. Une grande partie de ces sédiments a été traversée par le forage des Iles (figure 2).

Méthodologie

Le matériel utilisé pour la tomographie de résistivité donne une imagerie sur plus de 200 m de profondeur (pour un échantillonnage tous les 20 m sur un profil de 1,2 km). Dans ces conditions, la clef du succès réside dans l'amélioration du rapport signal/bruit qui est obtenue en répétant un grand nombre de fois les mesures (stacking). Nous utilisons des dispositifs Wenner-Alpha et dipôle-dipôle. Nous avons aussi réalisé les mesures avec un échantillonnage tous les 5 mètres, pour augmenter la résolution. Les mesures de résistivité apparente sont inversées (logiciel RES2DINV : Loke & Barker, 1996), pour donner une image en "résistivité vraie", laquelle est interprétable en termes de structures. La valeur de la résistivité électrique d'une roche dépend de son argilosité, de son contenu en eau et de la charge ionique de l'eau (Revil et al., 1998).

La méthode de Nakamura (1989) permet de caractériser la fréquence fondamentale du sol en enregistrant le bruit sismique. Sur un site sans contraste d'impédance (rocher), le rapport des composantes horizontales et de la composante verticale du bruit est voisin de 1. A contrario, une couche sédimentaire d'épaisseur h donnera un pic à la fréquence f_0 , avec $f_0 = \beta/4h$ où β est la vitesse des ondes S. Le retour d'expérience de campagne de mesures (ex. Schlupp et al, 2001) montre que la méthode permet d'imager des variations d'épaisseur de couches à faibles vitesses (sédiments meubles) reposant sur du rocher. Cependant, l'application directe de ces mesures en terme d'épaisseur nécessite leur étalonnage sur des données géologiques précises.

Résultats

Les mesures ont été effectuées sur l'ensemble du tracé de la faille, entre Frangy et Annecy. Elles ont permis de préciser la localisation probable de la faille et d'affiner la segmentation. Les différents profils électriques et les mesures de bruit ont été calés sur les données disponibles (forages et géologie de surface). Grâce aux profils électriques, il est possible de reconstituer une stratigraphie et une géométrie des sections, au premier ordre. Les unités géologiques présentent les gammes de résistivité suivantes : graves alluviales de 100 à 1000 $\Omega.m$, alluvions fines de 10 à 60 $\Omega.m$, moraine de 80 à 100 $\Omega.m$, molasse miocène de 50 à 300 $\Omega.m$, et substratum calcaire, au-delà de 1000 $\Omega.m$.

Les résultats pour le secteur spécifique de l'aéroport sont les plus remarquables et c'est là que seront effectuées les investigations paléosismiques. Il s'agit de la zone épicertrale, où les dégâts ont été les plus importants pendant le séisme de 1996, avec endommagement des bâtiments et ouverture de fissures dans le sol à l'aplomb de la faille. Sur la plupart des profils, on reconnaît en surface les graves alluviales résistives et leurs variations d'épaisseur (environ 10 à 40 m à l'aéroport, du sud au nord). Dans les niveaux inférieurs, la résistivité diminue et certaines structures sub-verticales peuvent être observées. L'origine de celles-ci n'est pas totalement sûre, mais il est remarquable qu'elles se localisent dans l'axe des segments qui ont rompu en 1996 (figure 2). Certaines sections montrent des contrastes de résistivité suggérant l'existence en profondeur de corps sédimentaires légèrement inclinés vers le NNE. Nous les interprétons comme des bancs de molasse miocène qui sont ainsi structurés sur les bordures du bassin.

Les sections de l'aéroport sont celles où les anomalies conductrices sont les plus marquées (figure 3). Elles affectent le banc résistif de graves, sur plusieurs m de large, sans le décaler verticalement. L'anomalie se prolonge en profondeur, semble-t-il jusqu'à la base, et elle est localisée là où les fissures sont apparues lors du séisme de 1996. Ces faits suggèrent que l'anomalie correspond au décrochement du Vuache. Par ailleurs, les mesures de bruit

sismique, effectuées tous les 50 m le long du profil électrique, montrent des pics de fréquence propre du sol entre 1,5 et 0,9 Hz que nous associons à l'interface sédiments meubles/molasse. On note une diminution régulière de la fréquence du pic, depuis les bordures SW et NE vers le centre. On note surtout que, au niveau de l'anomalie électrique, il y a une nette dispersion de la fréquence d'amplification du rapport H/V entre 1,5 à 0,5 Hz, si bien qu'il est difficile de considérer un ou des pics individuels. Ce fait pourrait être lié à la perturbation des ondes sur la structure verticale. Les sections tomographiques haute résolution confirment la localisation de l'anomalie. Celle-ci est subverticale et recoupe les graves jusque dans les premiers mètres. Ces données permettront de creuser les tranchées paléosismiques (été 2007) dont les résultats pourront être présentées au congrès.

Références

- Loke M.H. & Barker R.D. (1996). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. *Geophys. Prospecting*, 44, 131-152.
- Manalt F. (1998). Enregistrement lacustre de la dernière déglaciation dans les Alpes Nord-Occidentales. Le remplissage sédimentaire du Lac d'Annecy (Haute Savoie). Thèse inédite, Université de Savoie, 227 pp.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quaternary Report Railway Tech. Res. Inst.*, 30, 25-30.
- Nomade J. (2005). Chronologie et sédimentologie du remplissage du lac d'Annecy depuis le tardiglaciaire : Implications paléoclimatologiques et paléohydrologiques. Thèse de l'université Joseph Fourier, 181p.
- Revil A. et al. (1998). Electrical conductivity in shaly sands with geophysical applications. *J. Geophys. Res.*, 103(B10), 23925-23936, 1998.
- Revil A. et al. Identification of an active fault in the South of France using high-resolution resistivity imaging and the H/V method, soumis à *Geophys. Prospecting*.
- Schlupp A. et al. (2001). Mouvement post-messinien sur la faille de Nîmes: implications pour la sismotectonique de Provence. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 172, 697-711.
- Thouvenot F. et al. (1998). The ML 5.3 Épagny (French Alps) earthquake of 1996 July 15: a long-awaited event on the Vuache Fault. *Geophys. J. Int.*, 135, 876-892.
- Walpersdorf A. et al. (2006). Deformation in the Jura Mountains (France): First Results from Semi-Permanent GPS Measurements. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 245, 365-372.

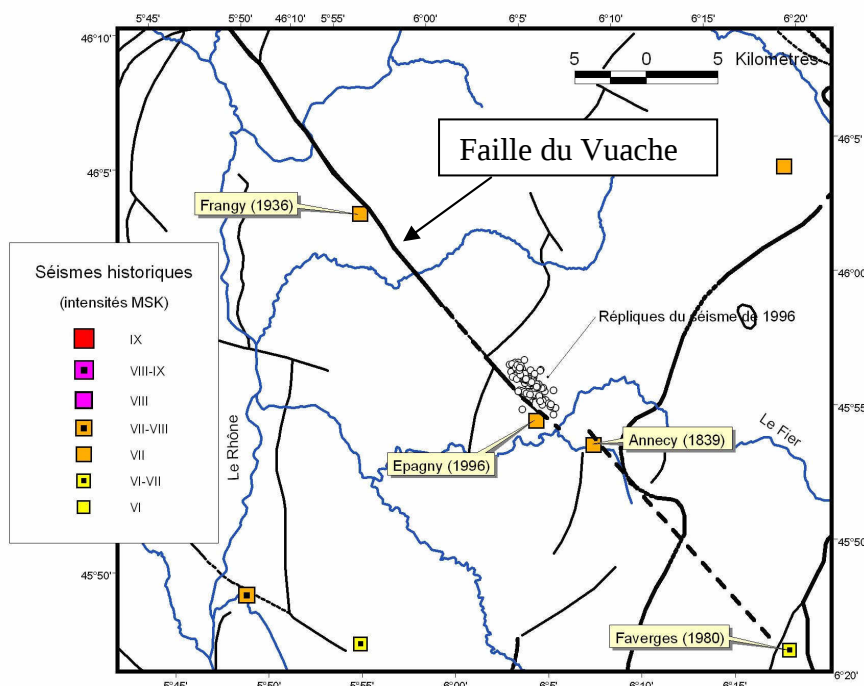


Figure 1 : La faille du Vuache, les séismes historiques associés (d'après SISFRANCE) et les répliques du séisme de 1996 (Thouvenot et al., 1998). Ces dernières permettent de situer la faille ayant rompu pendant ce séisme.

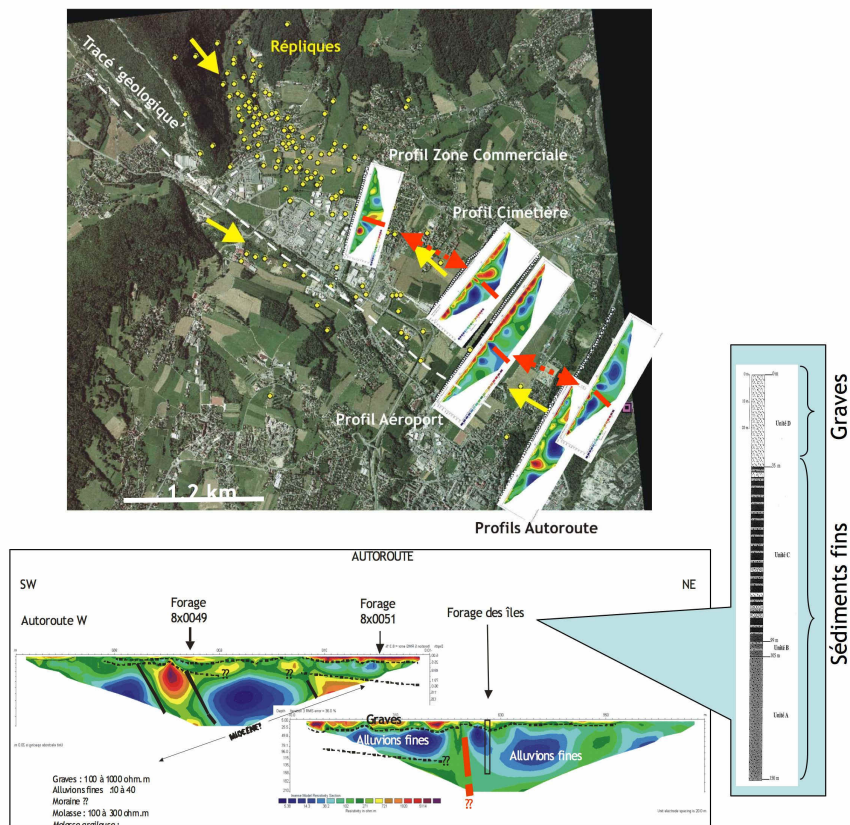


Figure 2 : Localisation des sections de tomographie électrique dans le NW du bassin annécien, en haut, et détail de l'interprétation géologique de 2 de ces sections sur la base des données de forage (coupe du forage des îles, d'après Manalt, 1998), en bas. Les répliques du séisme de 1996 (points jaunes) permettent de distinguer 2 segments cosismiques (flèches jaunes). En rouge, les anomalies électriques supposées représenter la faille.

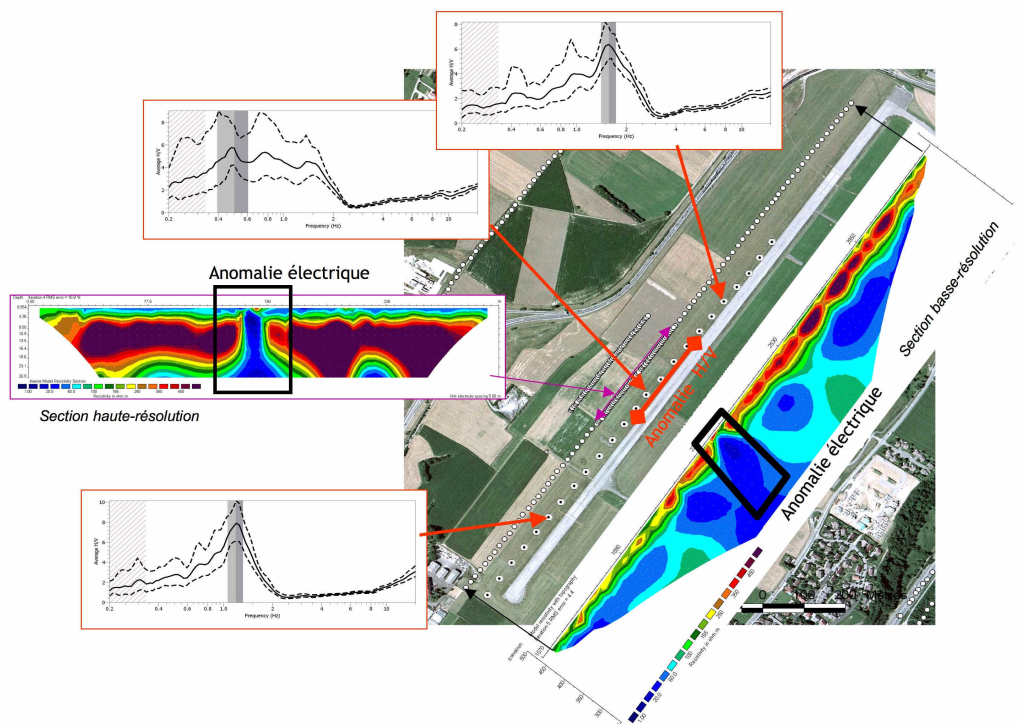


Figure 3 : Détail des données géophysiques acquises sur l'aéroport. Les anomalies des sections tomographiques sont associées à une « perturbation » du signal H/V, avec étalement de la fréquence d'amplification. La section haute résolution présentée a été produite en dispositif dipôle-dipôle.