

24. Evaluation des effets de site sismiques dans le canton de Genève – Etat des lieux

par

Corine FRISCHKNECHT¹, Sandra HURTER³, Olivier KAUFMANN²
& Azarm FARZAM¹

Résumé.—FRISCHKNECHT C., HURTER S., KAUFMANN O. & FARZAM A., 2013. Evaluation des effets de site sismiques dans le canton de Genève – Etat des lieux. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 25: 303-309.

Comparé au reste de la Suisse, Genève se situe dans une zone d'aléa sismique faible. Cependant, si on en prend en compte également la densité de population, d'infrastructures et de construction, la combinaison de ces paramètres induit un risque élevé. Un des domaines où l'on peut agir, pour réduire les risques, est la vulnérabilité des zones habitées. Cela nécessite d'une part d'analyser le comportement du bâti, domaine de l'ingénieur, mais également celui du sol sous sollicitation sismique. Un des paramètres à connaître, utile pour les ingénieurs, est la fréquence de résonance fondamentale du sol. Ce travail présente l'état des lieux des recherches qui ont été effectuées sur le canton de Genève, avec une présentation plus détaillée de l'analyse du sillon genevois, dont le remplissage est composé de dépôts non consolidés, correspondant à la couche D de la classification des sols de fondation. L'investigation a été menée au moyen de la méthode H/V en utilisant les bruits sismiques ambiants. Les résultats obtenus permettent d'établir une première carte d'isofréquences fondamentales, dont les valeurs varient de 1.1 à 4.7 Hz. Le niveau d'amplification, en général sous-estimé avec cette méthode, varie entre 3 et 10.

Mots clés: effets de site, bruit de fond, sols de fondation, Genève.

Abstract.—FRISCHKNECHT C., HURTER S., KAUFMANN O. & FARZAM A., 2013. Seismic site effects analysis on the Canton of Geneva - current state. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 25: 303-309.

Compared to the rest of Switzerland, Geneva is located in a low seismic hazard area. However, if one takes into account population density, infrastructure and buildings, the combination of these parameters induces a high risk. One aspect where one can act to reduce seismic risk is physical vulnerability. This requires the analysis of the building behavior, domain of engineers, but also the response of the soil

¹Unité des risques géologiques, Section des Sciences de la Terre et de l'environnement, Université de Genève, Suisse.

²Département de géologie et de paléontologie, Section des Sciences de la Terre et de l'environnement, Université de Genève, Suisse.

³School of Geosciences, University of Monash, Australia.

E-mail: corine.frischknecht@unige.ch

submitted to seismic loading. One of the first parameters to investigate, useful for the engineers, is the fundamental resonant frequency of the soil. This work presents some researches that have been conducted on the canton of Geneva, with a more detailed analysis of the trough of Geneva, whose filling consists of unconsolidated deposits, corresponding to the layer D on the Swiss classification of soil foundation. The investigation was conducted using the H/V ratio on ambient seismic noises. The results obtained allow establishing a preliminary map of fundamental frequency where values range from 1.1 to 4.7 Hz. The amplification level, generally underestimated with this method, varies between 3 and 10.

Keywords: site effects, ambient noise, soil foundation, Geneva.

INTRODUCTION

Selon la carte de l'aléa sismique de Suisse, Genève est situé dans la zone 1, c'est-à-dire la plus faible (SIA 261 2003). Cependant si on prend en compte la densité de population, de constructions et d'infrastructures, le niveau de risque potentiel devient l'un des plus élevés de Suisse (CONVERIUM 2006).

En outre des séismes récents en France voisine, Grand Bornand, 1994, Epagny 1996, Vosges, 2003, Doubs, 2004 ont été ressentis à Genève, mais de manière différente par la population en fonction du positionnement sur le canton (TREVETHAN-HERNANDEZ 2010). Si on considère que la distance à la source sismique est constante, les facteurs principaux pouvant jouer un rôle sur la variation de la réponse sismique sont la géologie locale et le type de construction.

En 2004, suite à la directive sur l'établissement du microzonage sismique (OFEG 2004), le canton de Genève a élaboré la carte des sols de fondation (MEYER 2005), montrant ainsi la diversité des sols du canton (figure 1). C'est un premier pas vers une identification des zones susceptibles de réagir différemment pour un même séisme.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le canton de Genève est situé à la frontière avec la France où des zones de rupture orientées NW-SE ont également été actives durant le Quaternaire (SIGNER & GORIN 1995). En outre, ce canton, limité au sud par le Salève et au nord par le Jura, est localisé dans un bassin molassique ayant un remplissage quaternaire plus ou moins important. La carte isopaque (KAUFMANN 2010) montre que l'épaisseur maximale du remplissage quaternaire atteint 186 m.

EVALUATION DES EFFETS DE SITE SISMIQUE

L'objectif principal d'une évaluation des effets de site est d'obtenir la fréquence fondamentale de résonance d'un site et le niveau d'amplification possible.

L'évaluation des effets de site s'effectue par quatre approches principales et complémentaires:

1. L'acquisition d'enregistrements de mouvements faibles et forts à l'aide de réseaux de stations sismiques,

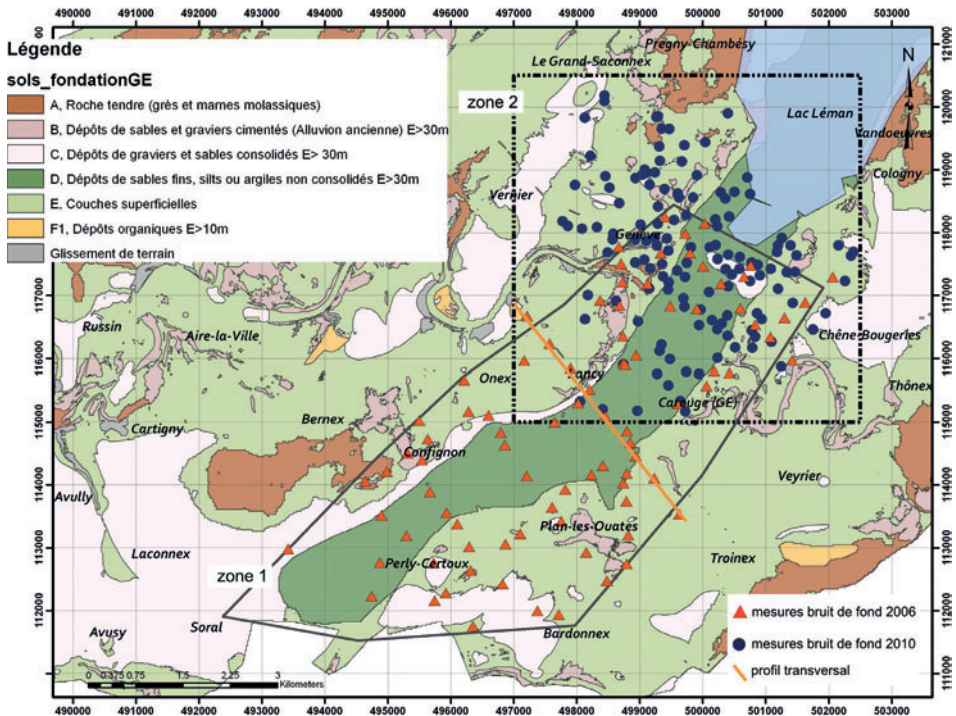


Figure 1.–Carte de fondation des sols du canton de Genève et localisation des deux études détaillées des effets de site sismiques.

Soil foundation map of the Canton of Geneva and location of the two study areas for seismic site effects.

2. L'acquisition du bruit de fond sismique ambiant,
3. La définition d'un modèle géologique et des paramètres physiques de la zone d'étude,
4. La modélisation numérique.

Dans une zone à faible sismicité comme le canton de Genève, l'acquisition de mouvements sismiques faibles et forts va prendre des années. En outre, à l'heure actuelle, une seule station est en opération, ne permettant pas ainsi d'avoir une représentativité de la réponse au niveau de la géologie locale. Par conséquent, une approche alternative est d'utiliser les bruits ambiants générés par l'activité humaine et naturelle. C'est l'approche dite de NAKAMURA (1989). Malgré le fait que le concept théorique ne soit pas encore clairement établi, cette méthode est largement utilisée en Suisse et ailleurs pour l'investigation des effets de site (BOUR *et al.* 1998, WIDMER *et al.* 2003, FRISCHKNECHT *et al.* 2005, KANDILAROV *et al.* 2009), car elle a démontré, dans les cas où le contraste d'impédance est suffisant, qu'elle permettait d'obtenir la fréquence fondamentale de résonance du site, un paramètre important dans l'analyse du risque sismique et que d'autre part, elle est non-invasive, ce qui permet d'investiguer dans des zones urbaines denses. Cependant en terme d'information

sur le niveau d'amplification pouvant se produire lors d'un séisme, les résultats obtenus par cette approche sont considérés comme représentant le niveau minimal potentiel (PAROLAI *et al.* 2004).

Pour compléter les résultats obtenus par cette approche empirique, on recourt à la modélisation numérique de la réponse des sols. Cela nécessite d'avoir des informations sur la géologie locale en termes de types de dépôt, d'épaisseur, de géométrie ainsi que des paramètres physiques, principalement les ondes sismiques P et S, le facteur d'atténuation et la masse volumique.

Dans le cas du canton de Genève, KAUFMANN (2010) a élaboré un modèle géologique 3D qui identifie la géométrie et la composition des différentes couches principales du canton.

En termes de paramètres physiques, des travaux récents ont permis l'élaboration de cartes de masse volumique, d'épaisseurs et de vitesses d'ondes P pour les roches, à l'échelle de la Suisse (MARILLIER *et al.* 2007, ZAPPONE *et al.* 2010) permettant ainsi d'avoir des intervalles de valeurs plus restreints. Par contre, les données sur les ondes S sont quasi-inexistantes sur le canton de Genève, à l'heure actuelle.

Acquisition du bruit de fond ambiant

Une des premières tentatives d'utilisation du bruit de fond sur le canton de Genève a été effectuée en 1989 par DONINELLI (1989). Les approches théoriques et le matériel ayant depuis évolué, une nouvelle campagne d'acquisition a été effectuée en 2006, dans le cadre de l'étude de HURTER (2008). Un des objectifs de cette étude était d'évaluer la réponse sismique de la couche D.

Dans la typologie des classes des sols de fondation, la couche D est définie comme une couche de dépôts de sables fins, silts ou argiles non consolidés dépassant 30 m d'épaisseur (OFEQ, 2004). Dans le canton de Genève, cette couche se retrouve principalement dans le sillon central du bassin genevois (MEYER 2005). Grâce au modèle géologique de KAUFMANN (2010) et au modèle numérique d'altitude du canton, il a été possible de déterminer les paramètres principaux de ce sillon. La partie exposée (le reste se poursuivant dans le lac), qui repose principalement sur la Molasse, est caractérisée par une largeur de 1.4 km et d'une longueur de 9.4 km, pour une épaisseur maximale de 125 m. Ces paramètres décrivent une vallée peu profonde pour laquelle une réponse unidimensionnelle peut être attendue, à savoir dominée par une résonance verticale et des diffractions d'ondes de surface par les bords de la structure.

Mais le type de résonance dépend également du contraste des vitesses d'onde S entre le remplissage sédimentaire et le substratum (BARD & BOUCHON 1985). D'où l'importance d'avoir des mesures d'ondes S.

93 points de mesure du bruit ambiant ont été enregistrés avec un sismomètre LE-3DLite/1s à 3 composantes (figure 1, zone 1). Sur chaque site, la durée d'enregistrement était de 15 minutes avec un taux d'échantillonnage de 16ms. Le traitement du signal a été effectué avec le programme GeoPsy (WATHELET 2006). Le signal a été découpé en fenêtres de 25 secondes, dont les plus stationnaires ont été conservées. Le spectre de Fourier est ensuite calculé et lissé pour chacune des fenêtres et des composantes. Les composantes Nord et Est horizontales sont combinées au moyen de la moyenne quadratique. Le rapport

spectral des composantes horizontales sur la composante verticale H/V est ensuite calculé pour chaque fenêtre et finalement, le rapport moyen est obtenu avec l'ensemble des fenêtres utilisées pour chaque site.

RÉSULTATS

La figure 2 présente l'évolution de la fréquence fondamentale de résonance et le niveau d'amplification le long d'un profil transversal. On peut observer de manière générale que la valeur de la fréquence diminue avec l'augmentation de l'épaisseur du dépôt. En ce qui concerne le niveau maximal d'amplification, il est d'environ 4.5 sur le profil, mais varie de 3 à 10, sur la zone (HURTER 2008).

Sur la base de ces données H/V, une carte préliminaire de la fréquence fondamentale pour la couche D peut être obtenue (figure 3). Sur cette dernière, on peut constater que les valeurs de fréquence varient de 1.1 à 4.7 Hz.

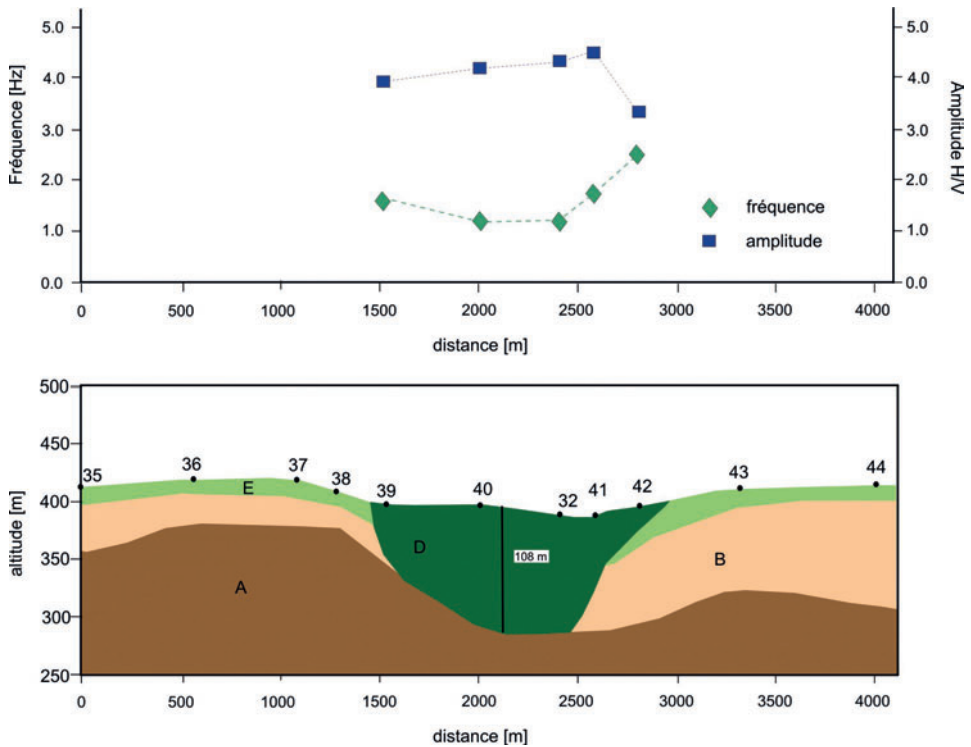


Figure 2.—Evolution du rapport spectral H/V le long d'un profil transversal à travers la couche D. Shape of the spectral ratio H/V along a transverse profile on the layer D.

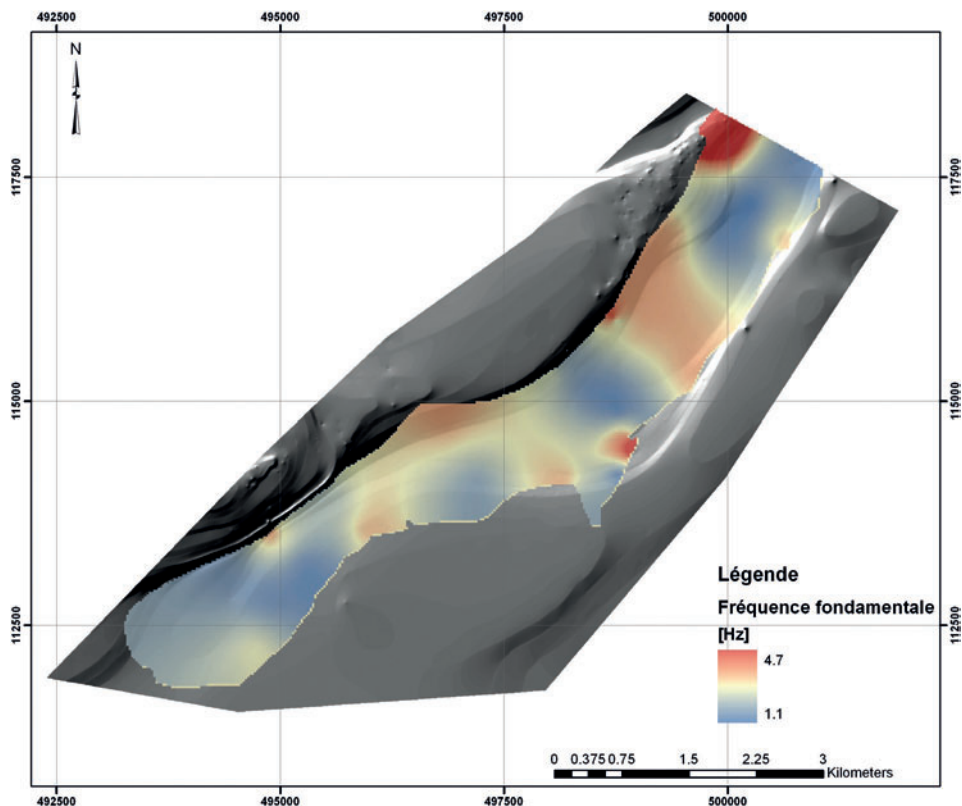


Figure 3.—Carte d'isofréquence fondamentale pour le sillon principal du canton de Genève.
Fundamental isofrequency map for the main through of the Canton of Geneva.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'évaluation des effets de site sur le canton de Genève en est à ses prémices. La carte des sols de fondation a mis en évidence l'existence d'une accumulation de dépôts non consolidés (couche D) dans le sillon central. L'utilisation de la méthode H/V a permis d'obtenir une carte préliminaire de la fréquence de résonance de cette structure.

Il s'agit là d'une première étape. Il reste à caractériser le niveau d'amplification, à investiguer l'effet pouvant être induit par les bords du sillon en utilisant le biais de la modélisation numérique ainsi qu'à confirmer si la réponse de cette structure est bien unidimensionnelle.

Une nouvelle campagne d'acquisition de données a été menée en 2010 (figure 1, zone 2). Cela permet d'une part de poursuivre l'analyse de la réponse sismique sur le canton, en termes de fréquence fondamentale et d'autre part, de comparer ces données avec les données d'intensité qui ont été acquises par questionnaire lors des séismes de 1994, 2003 et 2004 ressentis à Genève. En effet, les mesures ont été effectuées à proximité de ces données.

En parallèle à cette nouvelle campagne, des mesures d'ondes de cisaillement ont été effectuées dans un des piézomètres du canton de Genève. Cela a permis d'obtenir un profil de l'évolution des vitesses de l'onde S en fonction de la profondeur pour certaines des unités présentes sur le canton de Genève.

La combinaison du modèle géologique du canton et des paramètres géophysiques nouvellement acquis permettra de développer des modèles pour l'évaluation numérique de la réponse sismique. Cela permettra de comparer les résultats obtenus avec l'approche empirique du rapport H/V et ainsi de comprendre les mécanismes en jeu.

RÉFÉRENCES

- BARD P.-Y. & BOUCHON M., 1985. The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 75, N°2, 519-541.
- BOUR M., FOUISSAC D., DOMINIQUE P. & MARTIN C., 1998. On the use of microtremor recordings in seismic microzonation, *Soil dynamics and earthquake engineering* 17: 465-474.
- CONVERIUM, 2006. Risk Map. Modeled losses for a specified return period in Smit (2010), Risk- and Crisis-management, handouts CERG 2010, Université de Genève.
- DONINELLI D., 1989. Microzonation sismique de la ville de Genève : essai d'application de la méthode du bruit sismique. Mémoire de diplôme, Université de Genève, 82p.
- FRISCHKNECHT C., ROSSET P. & WAGNER J.-J., 2005. Toward Seismic Microzonation. 2-D Modeling and Ambient Seismic Noise Measurements: The Case of an Embanked, Deep Alpine Valley, *Earthquake Spectra*, vol. 21, 3: 635-651.
- HERNANDEZ-TREVETHAN M., 2010. Scénarios de risque sismique pour la région urbaine de Genève, *Terre & Environnement* 98, Sciences de la Terre, Université de Genève, 162p.
- HURTER S., 2008. Evaluation des effets de site sismiques dans le canton de Genève, mémoire ELSTE (Genève), 128p.
- KAUFMANN O., 2010. Cartographie géologique du Canton de Genève par système d'information géoréférencée: conception et réalisation de modèles 2D et 3D avec leurs applications, thèse n° 4195, Université de Genève, 177p. + annexes.
- MARILLIER F., EICHENBERGER U. & SOMMARUGA A., 2007. Seismic synthesis of the Swiss Molasse Basin, report for 2007, <http://www.sgpk.ethz.ch/jahresbericht/2007/marillier-2007.pdf>, as seen 18.01.2010, 10p.
- MEYER M., 2005. La carte des sols de fondation selon SIA 261, notes explicatives et principes pour son établissement, Service cantonal de Géologie, 8p.
- NAKAMURA Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute*, vol. 30, 1: 25-33.
- OFEG, 2004. Principe pour l'établissement et l'utilisation d'études de microzonage en Suisse, Directives de l'OFEG, 2004, 68p.
- PAROLAI S., RICHWALSKI S.M., MILKERREIT C. & BORMANN P., 2004. Assessment of the stability of H/V spectral ratios from ambient noise and comparison with earthquake data in the Cologne area (Germany), *Tectonophysics* 390: 57-73.
- SIA 261, 2003. Actions sur les structures porteuses, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zürich.
- SIGNER C. & GORIN G., 1995. New geological observations between the Jura and the Alps in the Geneva area, as derived from reflection seismic data, *Eclogae geologicae Helvetiae* 88(2): 235-265.
- WATHELET M., 2006. Geopsy manual, <http://www.geopsy.org/documentation/geopsy/index.html>.
- WIDMER F., DUVERNAY B., FÄH D. & PARRIAUX A., 2003. Projet pilote de microzonage sismique à Yverdon (VD), *Bulletin für angewandte Geologie*, vol 8, 1: 5-16.
- ZAPPONE A., BRUIJN R., TRIPOLI B., BURG J., HOLLIGER K., BIEDERMANN A. & KISSLING E., 2010. Saphyr Project – Swiss Atlas for Physical properties of rocks, report 2010, <http://www.sgpk.ethz.ch/jahresbericht/2010/saphyr.html>, as seen 18.01.2011.