

Livrable 1.3

Effets de site sismologiques à Séchilienne

S. Garambois¹, M. Langlais¹, P. Guéguen¹

1. ISTerre, Université Grenoble Alpes & CNRS, 38041 Grenoble cedex 9.

Introduction. En plus des stations sismologiques du réseau OMIV, 3 stations sismologiques avec capteurs vélocimétriques large-bande et accélérométriques, ont été installées entre juillet 2012 (2 stations internes au glissement, OGS1 & OGS2) et septembre 2013 (station de référence, OGS3), comme indiqué sur la figure 1. Ces stations et capteurs ont été installés afin d'évaluer de potentiels effets de site sismiques, c'est-à-dire d'évaluer le spectre d'amplification, dus à la topographie et à la présence du glissement de terrain, qui présente des roches altérées et fracturées reposant sur un rocher plus sain.

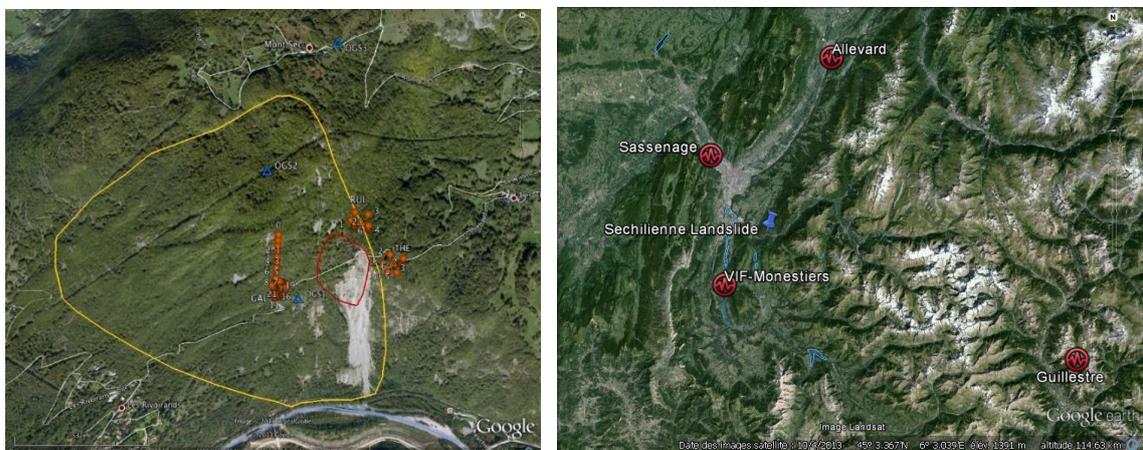


Figure 1. Gauche : Localisation des stations du réseau OMIV (rouge) et dédiées aux effets de site (bleu) sur le mouvement de terrain de Séchilienne. La station OGS3 est la station de référence installée en septembre 2013. A droite, les 4 séismes analysés.

1. Stations et capteurs utilisés:

Chaque station est connectée à un vélocimètre 3 composantes (qui est intégré au réseau OMIV afin de permettre une meilleure localisation des événements internes) et à un accéléromètre 3 composantes, qui sera plus spécifiquement dédié à l'enregistrement des mouvements forts. Les données sont enregistrées afin une fréquence d'échantillonnage de 200 Hz ou 120 Hz. Nous avons concentré notre travail sur les stations du réseau RAP (OGS1 & OGS2).

2. Méthodologie

Nous avons tout d'abord comparé les rapports spectraux, composante/composante, des stations vélocimétriques et accélérométriques entre les stations OGS1 et OGS2 situées au sein du mouvement en prenant comme référence OGS3 située en dehors du mouvement (au niveau du village du Mont-sec). Au vu des séismes analysés (faibles distances, faible magnitude), nous avons ensuite privilégié les données accélérométriques. Enfin, nous avons comparé ces résultats de rapports spectraux avec ceux de la méthodologie H/V pour un séisme (Garambois et al., 2013) qui consiste à estimer le rapport d'amplitude spectrale entre les composantes horizontales (H) et verticales (V) d'une station unique.

Plusieurs séismes se produisant depuis septembre 2013 ont été analysés afin d'évaluer la variabilité de l'effet de site en fonction de l'azimut du séisme.

Le logiciel Geopsy (<http://www.geopsy.org/>) a été utilisé pour toutes les analyses. Pour toutes les analyses, une fenêtre temporelle unique de longueur variable (dépendante du signal), centrée sur le séisme a été considérée. Il a toujours été utilisé une fonction de lissage qui préserve les différents nombre de points entre basse et haute fréquences. La fonction de lissage est celle proposée par Konno et Ohmachi (1998) et est contrôlée par une constante de lissage qu'on a pris à 40. Une fonction d'apodisation a été également utilisée afin de minimiser les effets de bords liés au fenêtrage temporel.

Séisme	Date	Heure	Magnitude	Profondeur	Distance	Azimuth
Allevard	18/01/2014	01h01	2.4	11	40	Nord-Est
Vif-Monestiers	04/01/2014	23h10	1.9	10.5	15	Sud-Ouest
Sassenage	14/12/2013	14h54	1.9	11	21	Nord-Est
Guillestre	19/12/2013	09h59	2.7	3.6	75	Sud-Est

Table 1. Localisation, occurrence et magnitude des séismes considérés.

1. Séisme D'Allevard, 18 janvier 2014, 01h01.53, Mag=2.4 (SISMALP), Prof=11 km

Nous avons tout d'abord effectué une étude comparative en considérant le séisme d'Allevard du 28 janvier 2014. Celui-ci est situé au Nord-Est du mouvement, à environ 40 km du glissement au Nord-Nord-Est.

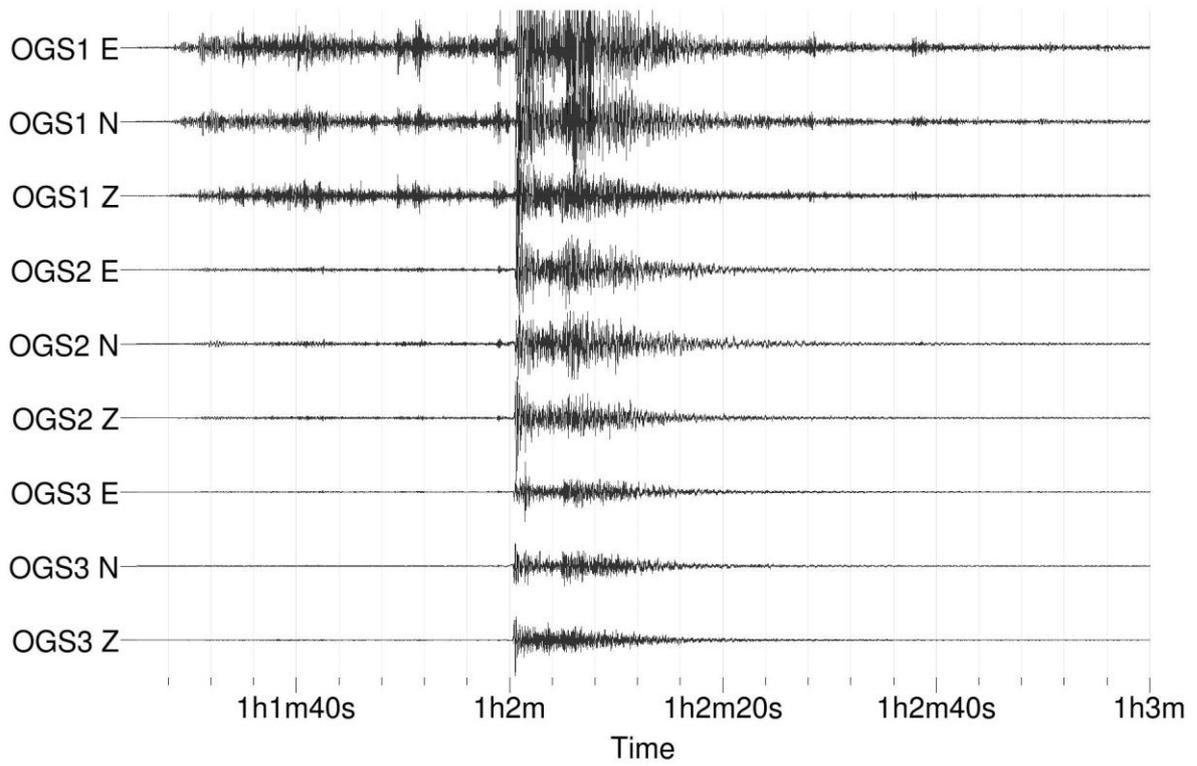


Figure 2. Vélomètres de chacune des composantes après application d'un filtre à 0.5 Hz, nécessaire pour atténuer le bruit élevé basse fréquence.

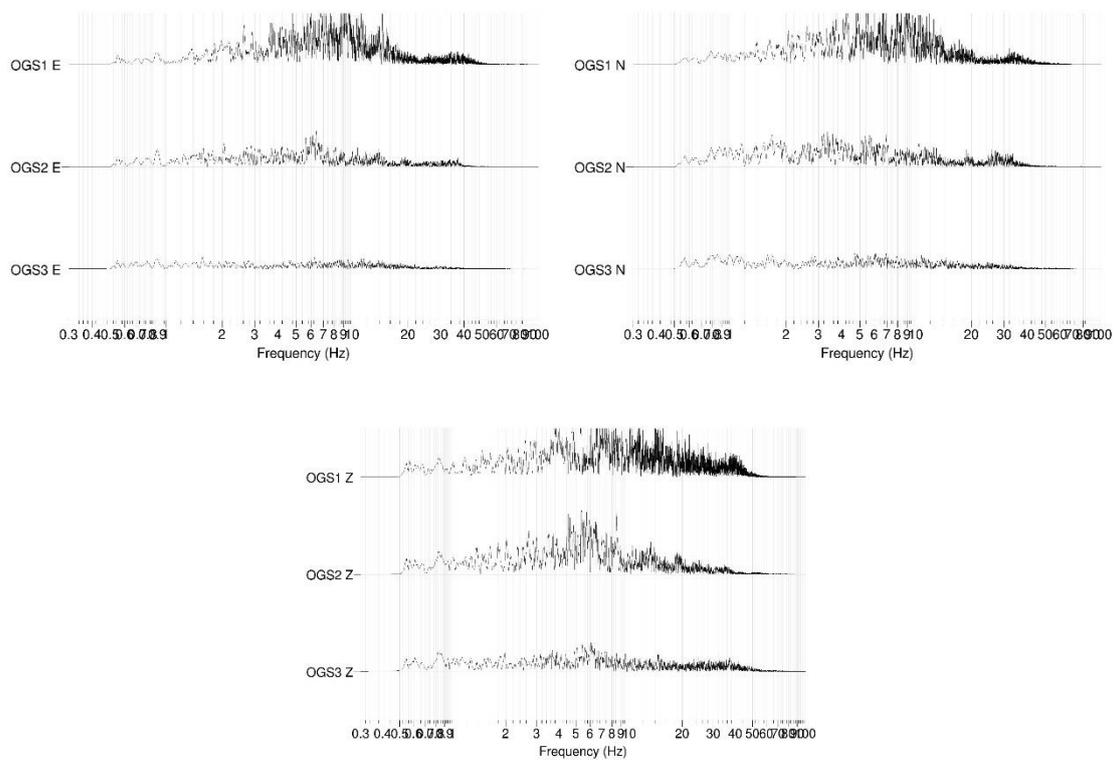


Figure 3. Contenu spectral par composante de chaque station (filtrées à 0.5 Hz).

Les Figures 2 et 3 montrent les vitesses de particules non normalisées enregistrées au niveau de chacune des stations et composantes pour le séisme, ainsi que leur contenu spectral. On observe une forte variabilité des réponses suivant les stations, la station OGS1 semblant montrer le plus fort niveau d'amplification, notamment sur les composantes horizontales. La station OGS2 montre également un niveau d'amplification non négligeable par rapport à la station de référence OGS3. Ces observations se confirment au vu du contenu spectral pour toutes les composantes.

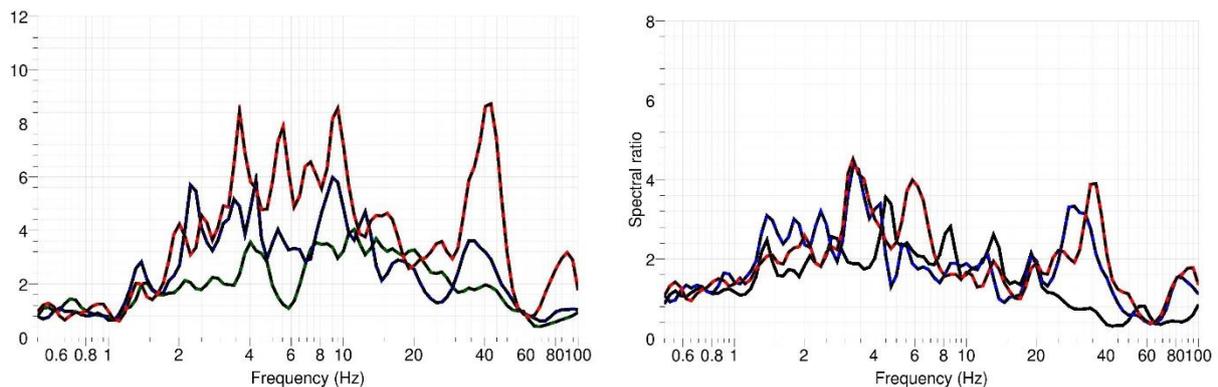


Figure 4. Rapport spectraux entre 0.5 et 100 Hz par rapport à OGS3 pour les composantes Est-Ouest (rouge), Nord-Sud (bleu) et verticales (vert). A gauche, OGS1 et à droite OGS2.

La figure 4 montre les rapports spectraux obtenus sur les vélocimètres. On retrouve bien les principales observations temporelles et fréquentielles aperçues sur les figures 2 et 3, à savoir :

- Toutes les composantes présentent un niveau d'amplification non négligeable entre 1 et 50 Hz.
- La station OGS1, située au centre du mouvement, montre des niveaux d'amplifications plus importants dépassant un facteur 8 alors que pour OGS2, située au bord Nord du mouvement sous le Mont-sec, ils ne dépassent pas 5.
- Il n'y a pas de fréquence unique mais un spectre d'amplification assez compliqué, présentant une gamme d'amplification principale entre 2 et 10 Hz puis un autre pic vers 40 Hz pour OGS1. La composante Est-Ouest est clairement la plus amplifiée. Pour OGS2, la partie basse fréquence se situe entre 1.5 et 8 Hz avec un maximum vers 3.5 Hz, alors que l'amplification haute fréquence se situe vers 30 Hz. Les composantes horizontales sont les plus amplifiées, et cela de manière assez identique.

Accéléromètres

Le contenu spectral des accéléromètres est élevé et donc peu d'énergie se retrouve dans la gamme de fréquence que l'on veut étudier pour définir les effets de site. De plus, leur sensibilité est adaptée aux mouvements forts et est donc moins sensible aux mouvements modérés générés par un séisme de cette magnitude.

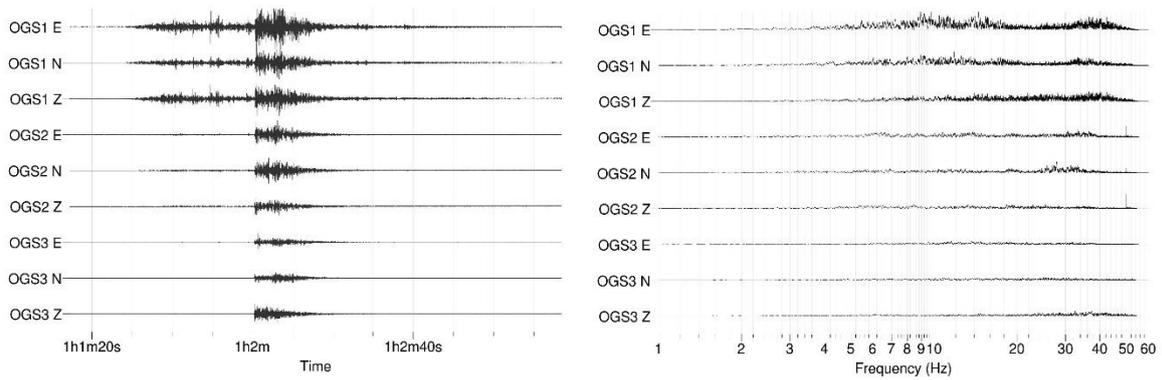


Figure 5. Accéléromètres et leur contenu spectral.

On observe un fort effet de site sur les traces en temps et sur le contenu spectral, à nouveau très marqué pour EGS1. Cependant, on préférera établir les réponses d'amplification à l'aide des velocimètres, en raison du manque d'énergie basse-fréquence.

Méthode H/V

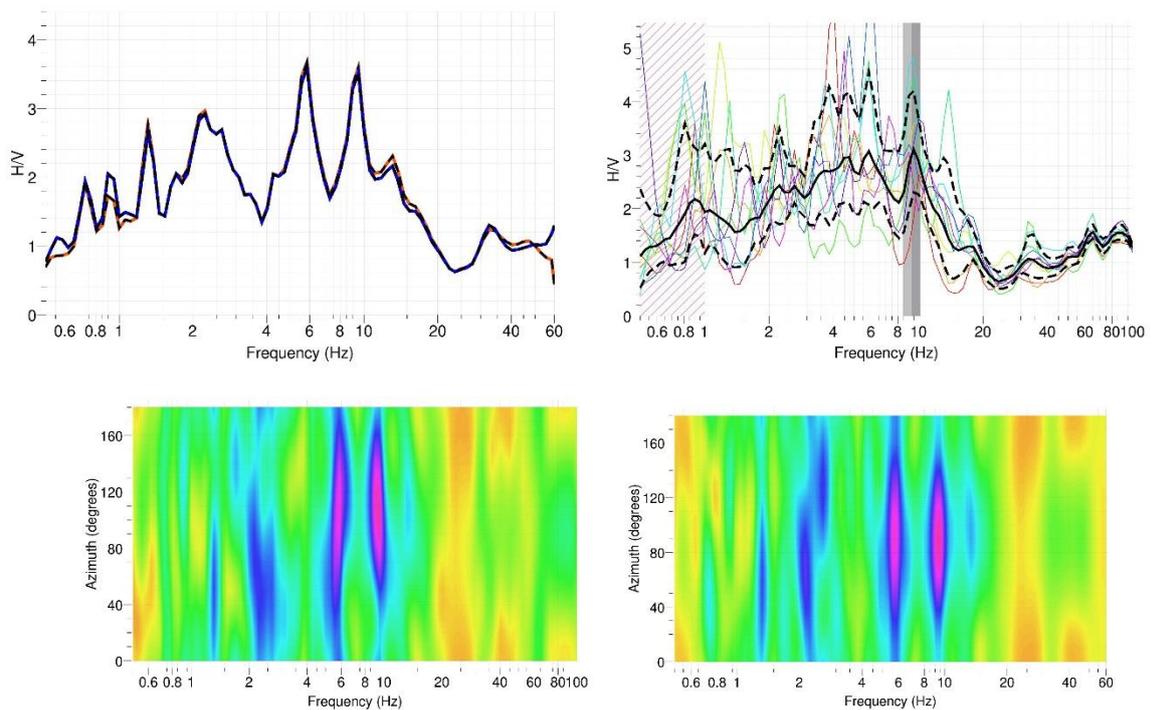


Figure 6. Analyses H/V sur le velocimètre OGS1 (bleu) et l'accéléromètre (rouge). Une seule fenêtre temporelle (70 s, gauche) et 9 fenêtres temporelles (10 s, droite) ont été utilisées pour le velocimètre. En bas, anisotropie de la réponse H/V par rapport à l'orientation N-S pour velocimètre (gauche) et accéléromètre (droite).

Les calculs effectués sur les analyses H/V pour la station OGS1 (Figure 6) montrent que les résultats sont identiques entre données velocimétriques et accélérométriques (Fig. 6, haut, gauche) et que le nombre de fenêtres temporelles utilisées dans l'analyse joue peu sur le résultat

final moyenné. On retrouve ainsi une amplification forte entre 1.5 et 10 Hz, mais dont l'amplitude est minorée sur le H/V, comme attendu. Il convient donc de considérer les amplitudes d'amplifications liées aux analyses par rapport spectral par la suite.

On retrouve également une partie basse-fréquence qui pourrait être liée à la réponse de la structure 1D (supérieure à la centaine de mètres), présente entre 1.5 et 4 Hz centrée sur 2.5 Hz puis une structure plus superficielle, de quelques dizaines de mètres, entre 6 et 10 Hz.

Enfin, l'analyse azimuthale (Figure 6, bas) montre qu'il existe une forte anisotropie de la réponse, donc l'amplification peut varier d'un facteur 4 aux fréquences de résonance, avec un maximum vers la composante Est-Ouest (90 °).

La Figure 7 montre le résultat H/V effectuée sur la station OGS3. Il montre bien que le spectre reste assez plat dans toute la gamme de fréquences analysées et que cette station de référence s'avère une bonne station de référence pour les études de rapports spectraux au-delà de 1 Hz.

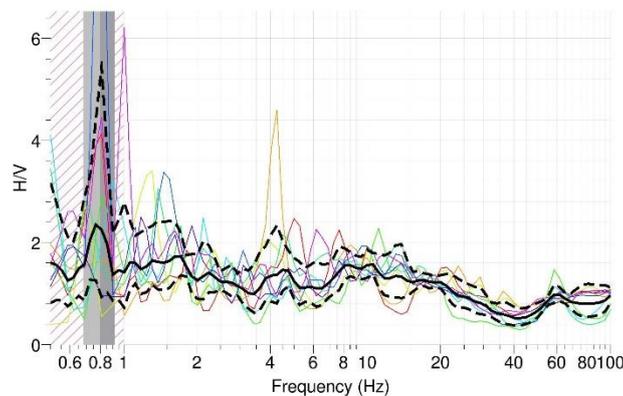


Figure 7. Analyses H/V sur le capteur vélocimétrique OGS3.

Conclusions méthodologique

On a montré que le choix du capteur (accéléromètre ou vélocimètre) influait peu la courbe et la réponse azimuthale d'amplification. L'utilisation d'une station de référence et la méthode H/V donnent quasiment les mêmes résultats en termes de spectre, mais les amplitudes à considérer seront celles issues du calcul des rapports spectraux par rapport à OGS3. Nous allons maintenant étudier la variabilité de cette réponse en fonction de l'azimuth du séisme considéré pour quelques séismes supplémentaires enregistrés depuis septembre 2013, cette analyse étant destinée à être complétée au fil du temps.

2. Le séisme de VIF-MONESTIER, 4 janvier 2014, 23h10.10, Mag=1.9 (SISMALP), Prof=10.54km

Ce séisme est situé à environ 15 km au Sud-Ouest de Séchilienne.

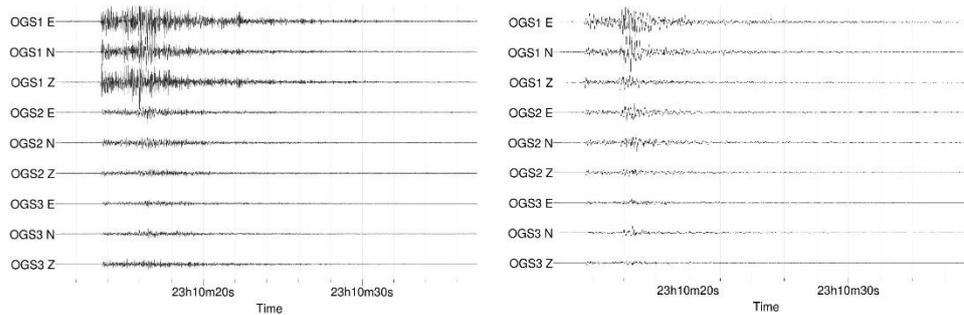


Figure 8. Reponses accélérométriques (gauche) et vélocimétriques (droite, filtré entre 0.7 et 20 Hz) du séisme de VIF-MONESTIER.

Pour caractériser ces effets de site, on a effectué un rapport spectral pour chaque composante entre la station considérée du mouvement (OGS1 & OGS2) et la station de référence (OGS3).

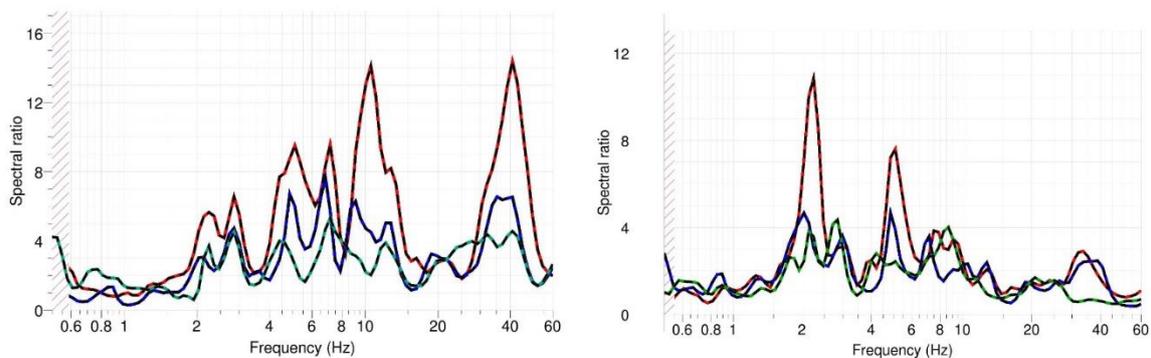


Figure 9. Rapport spectraux entre 0.5 et 100 Hz par rapport à OGS3 pour les composantes Est-Ouest (rouge), Nord-Sud (bleu) et verticales (vert). A gauche, OGS1 et à droite OGS2 (données accélérométriques).

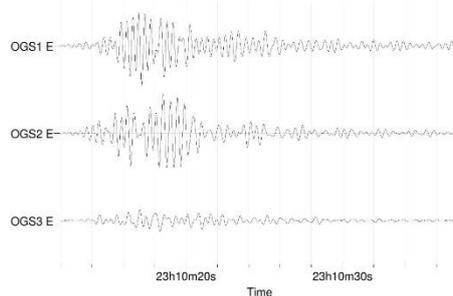


Figure 10. Composantes accélérométriques filtrées entre 1 et 3 Hz.

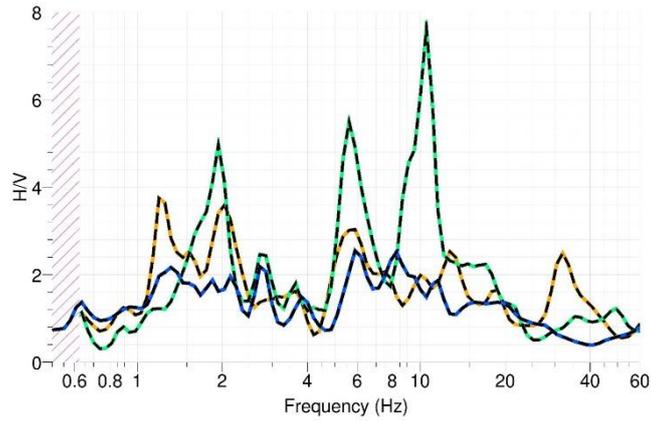


Figure 11. Calculs H/V pour les 3 stations.

3. Séisme de Sassenage, 14 septembre 2013 janvier 2014, 14h54, Mag=1.9 (SISMALP), Prof=11 km

Ce séisme est situé à 21 km au Nord-Ouest du mouvement.

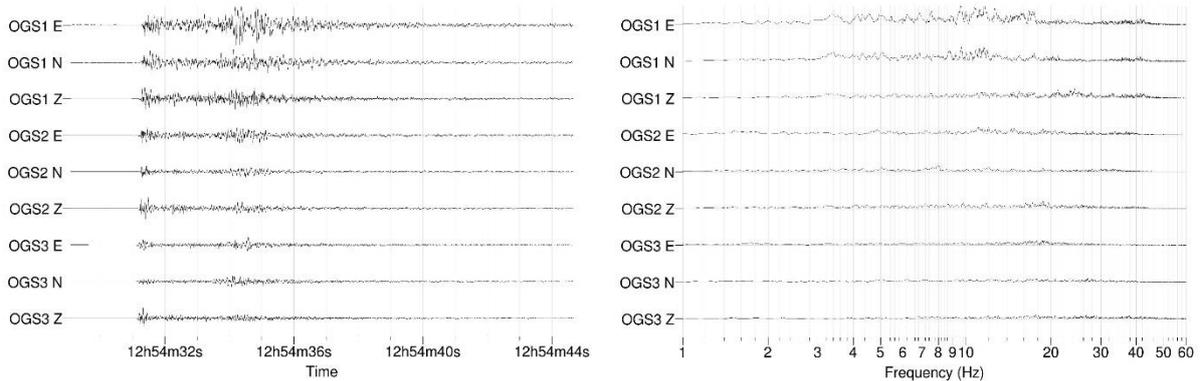


Figure 12. Réponses vélocimétriques (gauche) et contenu fréquentiel associé (droite) du séisme de SASSENAGE.

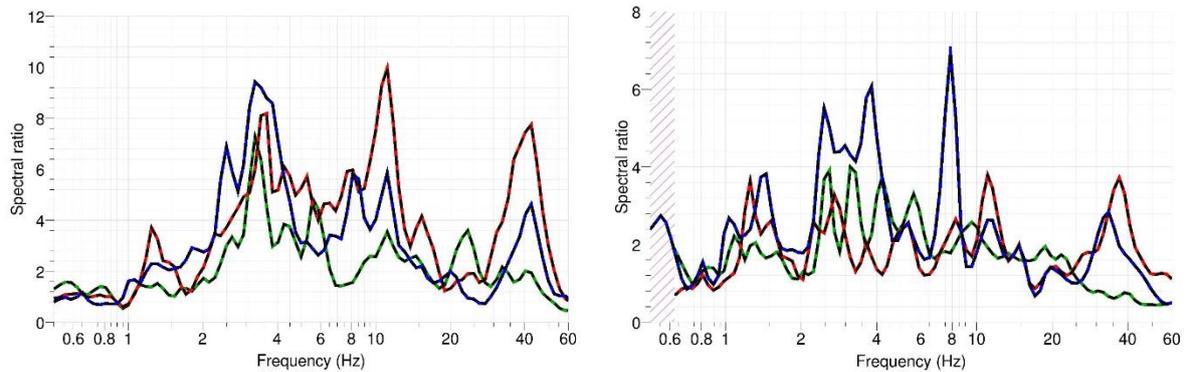


Figure 13. Rapport spectraux entre 0.5 et 60 Hz par rapport à OGS3 pour les composantes Est-Ouest (rouge), Nord-Sud (bleu) et verticales (vert). A gauche, OGS1 et à droite OGS2 (données vélocimétriques).

4. Séisme de Guillestre – La Roche de rame, 19 décembre 2013, 09h59, Mag=2.7 (SISMALP), Prof=3.6 km

Ce séisme est situé à 75 km au Sud-Est du mouvement.

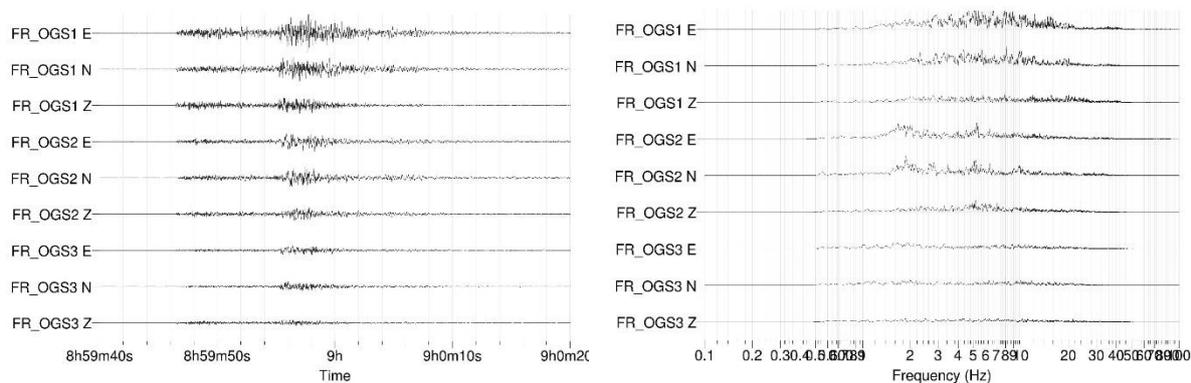


Figure 14. Réponses vélocimétriques (gauche) et contenu fréquentiel associé (droite) du séisme de Guillestre La Roche de Rame. On notera l'amplification vers 2 Hz sur OGS2 visible sur les composantes horizontales

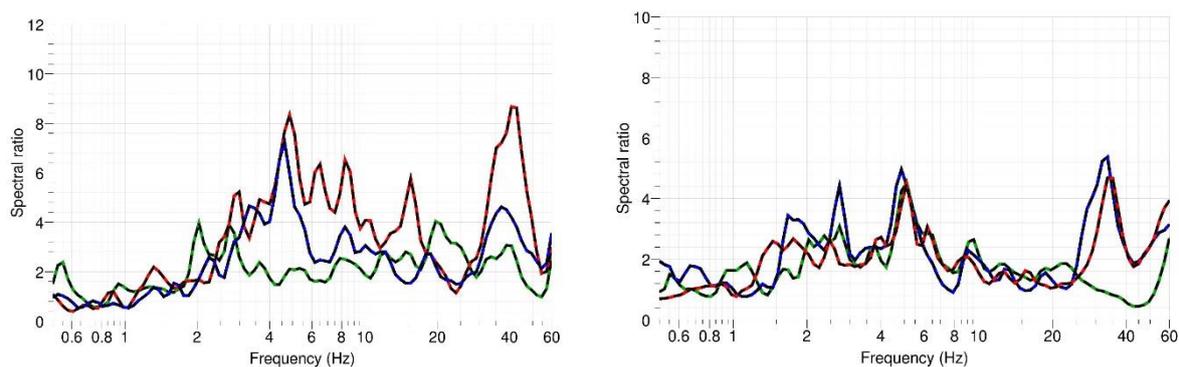


Figure 15 Rapport spectraux entre 0.5 et 60 Hz par rapport à OGS3 pour les composantes Est-Ouest (rouge), Nord-Sud (bleu) et verticales (vert). A gauche, OGS1 et à droite OGS2 (données vélocimétriques).

VARIABILITE SUIVANT l'AZIMUTH du SEISME

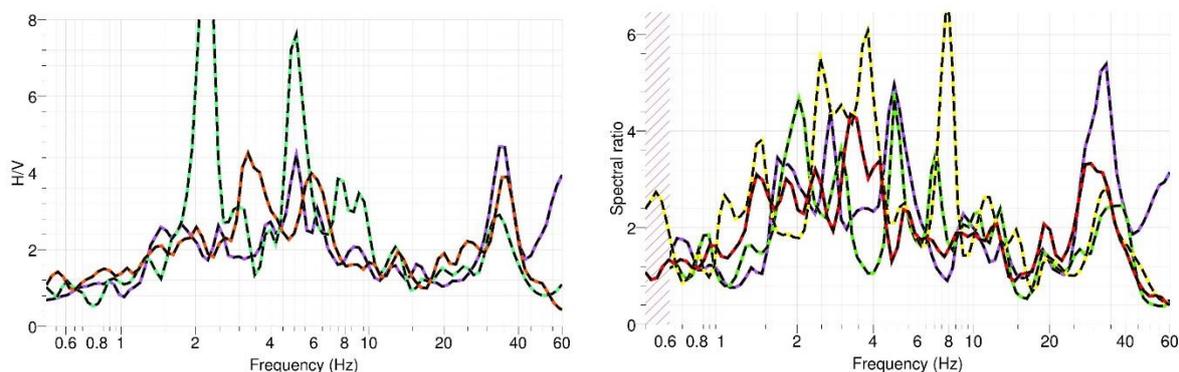


Figure 16 Variabilité des résultats pour la station OGS2, composante E-W (gauche) et N-S (droite).

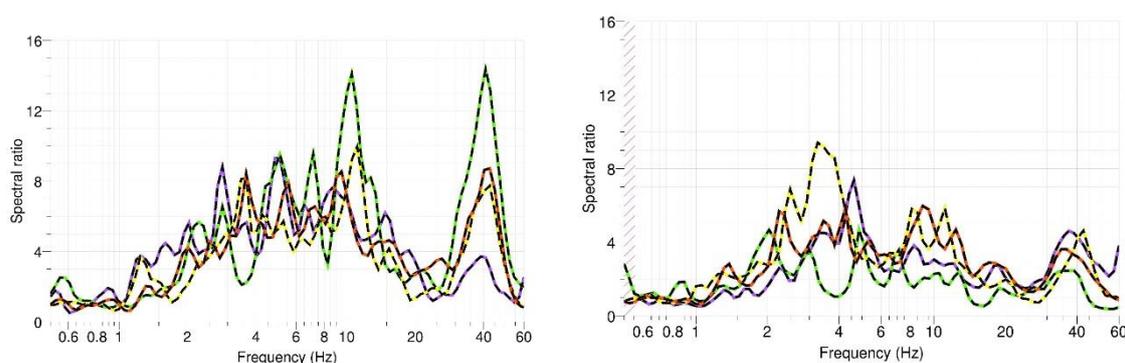


Figure 17 Variabilité des résultats pour la station OGS1, composante E-W (gauche) et N-S (droite).

Les figures 16 et 17 montrent qu'il existe une variabilité de l'amplification spectrale dépendante du séisme, mais celle-ci est tout de même limitée. Ainsi, on voit assez bien que la station OGS1 située au sein du glissement dans la partie la plus active montre le spectre d'amplification le plus fort, atteignant plus de 8 pour la composante E-W (parallèle aux discontinuités principales). L'amplification présente 2 plages, une étalée entre 1.5 et 15 Hz avec un pic autour de 4 à 5 Hz et l'autre centrée sur 40 Hz.

Pour OGS2 (Fig. 16), la variabilité semble plus marquée, peut-être en raison d'effets 3D plus prononcés. L'amplification dépasse rarement un facteur de 4 et plusieurs pics semblent apparaître, un à 35 Hz, un vers 1.5-2 Hz et un entre 3 et 6 Hz, mais la plage basse fréquence (1.5-10 Hz) reste complexe.

Quoi qu'il en soit, il semble exister un fort effet de site dû au mouvement, sans doute en raison de la présence de roches altérées reposant sur une formation plus dure et moins fracturée. Cette amplification spectrale devra être prise en compte si l'on veut simuler l'effet de séismes sur les mouvements superficiels et permettront une confrontation à l'avenir avec des simulations de

différents séismes et les vitesses de déplacements qu'ils engendrent au sein et en dehors du mouvement.

Références

Garambois S., Jongmans D. & A. Helmstetter, 2012, Seismic characterization of landslides and the emergence of seismic monitoring, EAGE, 74th Cong of EAGE, Copenhagen, juin 2012.

Geopsy software, <http://www.geopsy.org/>

Konno, K. and Omachi, T., Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor, 1998, Bull. Seism. Soc. Am., 88, 228-241.