

Microzonage sismique spectral de la région de Sion Secteur A – Sion agglomération



RÉSONANCE Ingénieurs-Conseils SA

21 rue Jacques Grosselin
CH – 1227 CAROUGE (Genève)

Tél. +41 22 301 02 53
Fax +41 22 301 02 70
E-mail resonance@resonance.ch

Carouge, le 27 juillet 2011

RT 266.02-A/CL/MK/TB

Table des matières

1. Introduction et objectifs	3
1.1 Introduction	3
1.2 Objectifs.....	3
2. Modélisation des effets de site	3
2.1 Méthodologie	3
2.2 Séismes de référence.....	5
3. Caractérisation du site	7
3.1 Géologie du site	7
3.2 Profils sismiques MASW	7
3.3 Mesure des fréquences propres par la méthode H/V	9
3.4 Lois de non-linéarité	10
3.5 Profils de calcul	12
4. Calculs et étude de sensibilité	17
4.1 Fonctions d'amplification et spectres de réponse	17
4.2 Comparaison 1D – 2D	18
4.3 Variation des vitesses d'ondes S	19
4.4 Variation de l'angle d'incidence	20
5. Résultats et proposition de spectres spécifiques	22
5.1 Résultats des calculs.....	22
5.2 Spectres spécifiques proposés.....	24
5.3 Remarque concernant les formes des spectres d'input et finaux.....	27
6. Conclusions.....	27
7. Littérature.....	28

Annexe 1 : Rapport géologique (GéoVal Ingénieurs-Géologues SA)

Annexe 2 : Rapport de mesures MASW (Geo2X Sàrl Geophysics & Geology)

Annexe 3 : Résultats des mesures H/V

Annexe 4 : Résultats des calculs

Annexe 5 : Carte de microzonage sismique spectral

1. Introduction et objectifs

1.1 Introduction

La vallée du Rhône est caractérisée par une géologie qui induit des effets de site sismiques du fait de sa géométrie 2D et de la présence de matériaux meubles sur une épaisseur importante. Dans une telle situation, la seule classification des terrains selon les classes de sols de la norme SIA-261, et l'utilisation des spectres associés à ces classes, ne suffisent souvent pas à garantir un dimensionnement correct des structures. En effet, les spectres de la norme correspondent à des spectres moyens associés à des classes de sols basées sur une description des 30 premiers mètres de dépôts et ne peuvent donc pas être adaptés à tous les types de situations ; notamment, ils ne tiennent pas compte des effets de site spécifiques liés à la géométrie et à la nature de l'ensemble des dépôts dans une vallée ou un bassin sédimentaire.

Le Service Sismologie Suisse (SED) a réalisé plusieurs études concernant la prise en compte des effets de site dans la vallée du Rhône, notamment avec la thèse de Roten (2007). Cependant, ces études ont été menées avec un objectif de recherche en sismologie et ne sont pas exploitables en termes de sismologie appliquée à destination des ingénieurs structures.

1.2 Objectifs

Pour ces raisons, le bureau Résonance Ingénieurs-Conseils SA de Carouge a été mandaté par la Ville de Sion ainsi que le Canton du Valais pour établir un microzonage sismique spectral afin de déterminer les mouvements auxquels peut être soumis le sol en cas de tremblement de terre. La présente étude a permis d'établir la carte de microzonage sismique spectral de la région de Sion (Secteur A: Sion agglomération).

2. Modélisation des effets de site

Les effets de site ont pu être pris en compte au moyen de simulations numériques en 2D. Ainsi, à partir des valeurs de l'aléa sismique local pour le rocher "dur", déterminées pour plusieurs fréquences par le Service Sismologique Suisse (SED), des calculs de l'amplification du mouvement du sol ont pu être menés, pour plusieurs séismes d'input, le long de cinq profils au travers de la vallée. Les fonctions d'amplifications ainsi obtenues ont permis de déterminer des spectres de dimensionnement spécifiques à la région de Sion.

2.1 Méthodologie

Des simulations en une dimension (1D) et en deux dimensions (2D) ont été effectuées dans le cadre de cette étude. Les techniques utilisées pour effectuer ces simulations sont détaillées dans les paragraphes suivants.

En premier lieu, pour toutes ces simulations, les trois éléments suivants doivent être déterminés :

- le profil de vitesses des ondes S,

- le comportement non-linéaire des sols meubles,
- un mouvement sismique à la base des dépôts meubles.

2.1.1 Simulation 1D : le logiciel CyberQuake

CyberQuake est un logiciel mis au point en 1997 par le département logiciels du BRGM. Ce logiciel permet de calculer les mouvements du sol dans le cas d'une propagation verticale d'ondes planes dans une colonne de sol avec des couches planes et horizontales. Il simule les mouvements non-linéaires du sol par une approche viscoélastique linéaire équivalente. Cette méthode, développée par Seed et Idriss dans les années 70, est celle qui est utilisée pour simuler la non-linéarité des matériaux dans le logiciel SHAKE (Schnabel et al., 1972).

Il convient donc d'entrer le comportement mécanique des différentes couches. Cela consiste à fournir les fonctions liant le module de cisaillement (G) et l'amortissement (D), à la déformation (courbes $G-\gamma$ et $D-\gamma$), pour les différentes formations.

Le programme commence par calculer une première fois la propagation verticale des ondes dans les différentes couches horizontales. Ensuite, il détermine la déformation dans les couches et ajuste en conséquence le module de cisaillement et l'amortissement en fonction du comportement des matériaux que l'on a indiqué en entrée du programme. CyberQuake recalcule alors le mouvement des ondes dans ces couches déformées. Il procède ainsi à plusieurs itérations jusqu'à ce que la différence entre la déformation obtenue et celle donnée en entrée soit inférieure à un seuil de tolérance que l'on peut fixer. Le programme calcule alors le mouvement du sol en surface à partir des nouveaux paramètres géotechniques qui ont été déterminés lors de la dernière itération.

Pour des sollicitations faibles à modérées, les solutions obtenues grâce à CyberQuake sont comparables à celles déterminées avec des modèles plus sophistiqués ou des observations sur le terrain. Cependant, en cas d'un comportement non-linéaire trop prononcé, les solutions fournies par le modèle linéaire-équivalent ne sont pas satisfaisantes. La présente étude n'est cependant pas concernée par ce domaine.

2.1.2 Simulation 2D : méthode d'Aki-Larner linéaire équivalente

Pour les simulations 2D, un programme écrit par P.-Y. Bard (ISTerre, anciennement LGIT, Grenoble) a été utilisé. Ce programme est basé sur une méthode de calcul dite méthode d'Aki-Larner (1970). Dans le cadre du projet Interreg III-B Sismovalp, Résonance a contribué, en collaboration avec l'ISTerre, au développement d'une nouvelle version du programme de calcul des effets de site en 2D, selon la méthode d'Aki-Larner. Cette nouvelle version permet la prise en compte du comportement non linéaire des matériaux, au moyen d'une procédure linéaire équivalente, similaire à celle décrite pour le logiciel CyberQuake. Ce programme a été testé sur des vallées théoriques avant d'être appliqué dans le cadre du microzonage sismique spectral des secteurs de Brigue et Viège (Lacave and Koller, 2007 ; Lacave et al., 2008). Ce programme comble une lacune dans les outils disponibles pour les calculs 2D d'effets de site, d'importance notable pour les cas de vallées alpines comme le Valais par exemple.

La méthode d'Aki-Larner est basée sur la résolution de l'équation d'ondes classique en sismologie. On considère une superposition de couches horizontales,

homogènes, isotropes et de paramètres physiques différents, sur un demi-espace. La méthode permet de déterminer la réponse impulsionnelle d'un milieu 2D ou 3D soumis à une onde incidente plane, dans le cas d'une polarisation horizontale de type SH. Des simulations dans le cas d'une polarisation verticale avec des ondes de type P-SV n'est pas nécessaire, les résultats en termes d'amplification spectrale étant similaires. Finalement, une convolution est faite avec un signal sismique "d'input", de manière à obtenir la réponse de la vallée à un séisme incident donné.

Il est à noter ici qu'un tel calcul 2D est limité dans le domaine des hautes fréquences en raison d'instabilités numériques. Ainsi, le calcul de la fonction de transfert est fait de la manière suivante selon le domaine de fréquence (f_0 étant la fréquence propre fondamentale de la vallée) :

- Entre 0 et $4*f_0$: calcul 2D (Aki-Larner) ;
- au-delà de $8*f_0$: calcul classique 1D ;
- entre $4*f_0$ et $8*f_0$: interpolation linéaire des solutions 1D et 2D avec raccordement aux extrémités de l'intervalle.

Les informations géologiques concernant le centre de la vallée (le centre étant défini ici comme l'endroit le plus profond de la vallée et non comme le milieu du profil) permettent de déterminer un profil de calcul "moyen", c'est à dire un agencement de couches horizontales homogènes caractérisées par leur densité, leur épaisseur et la vitesse de propagations des ondes S dans chaque formation.

Un premier calcul est alors lancé sans tenir compte de la non-linéarité. Pour ce faire, les accélérogrammes d'input sont divisés par 1000. La fréquence fondamentale au centre de la vallée (fréquence fondamentale du bassin f_0) est alors obtenue en examinant le rapport des spectres de Fourier des accélérogrammes d'entrée et de sortie du programme (fonction de transfert) pour le point correspondant au centre de la vallée. La fréquence f_0 est ensuite comparée à la fréquence H/V mesurée au centre de la vallée. La comparaison est possible car les vibrations ambiantes tout comme les sollicitations sismiques utilisées pour ce calcul sont des mouvements faibles. Si les deux fréquences ne sont pas les mêmes, le profil de vitesse est ajusté de manière réaliste de façon à se rapprocher de la fréquence H/V. Ces étapes sont répétées jusqu'à ce que la fréquence fondamentale calculée au centre de la vallée et la fréquence H/V mesurée au même endroit soient similaires. Le dernier profil de calcul est alors le profil dit moyen utilisé dans toutes les simulations avec les accélérogrammes correspondant à l'aléa régional au rocher dur.

2.2 Séismes de référence

La dernière réévaluation de l'aléa sismique de la Suisse, par le Service Sismologique Suisse, a été publiée en 2004. Les valeurs de l'accélération spectrale, pour différentes fréquences et pour différentes périodes de retour, sont valables pour un sol de type "rocher dur", c'est à dire avec une vitesse des ondes S de l'ordre de 1500 m/s.

Pour déterminer le spectre d'input au rocher dur, à la base des dépôts, une forme spectrale inspirée de la forme pour un sol Classe A de la norme SIA-261 a été adoptée. Le spectre ainsi déterminé est un spectre de la forme du spectre A dont le plateau a pour valeur la moyenne des valeurs d'aléa au rocher dur aux périodes

0.1 et 0.2 s. La forme spectrale correspondante est présentée en noir sur la Figure 6. Ce spectre maintient la marge de réserve inhérente au spectre de la norme SIA 261, pour la classe de sol A (rocher "mou").

Tableau 1 : Paramètres des séismes d'input.

Numéro	Région	Pays	Date	Profondeur	Ms	Distance épacentrale
acc232	Montenegro	Yougoslavie	05/24/79	5 km	6.3	21 km
acc368	Lazio Abruzzo	Italie	07/05/84	8 km	5.8	31 km
acc642	Umbro-Marchigiana	Italie	10/14/97	7 km	5.6	23 km
acc961	Sicilia-Orientale	Italie	12/13/90	5 km	5.2	79 km
acc01	semi-artificiel Sabetta & Pugliese				6.5	50 km
acc02	semi-artificiel Sabetta & Pugliese				6.5	50 km

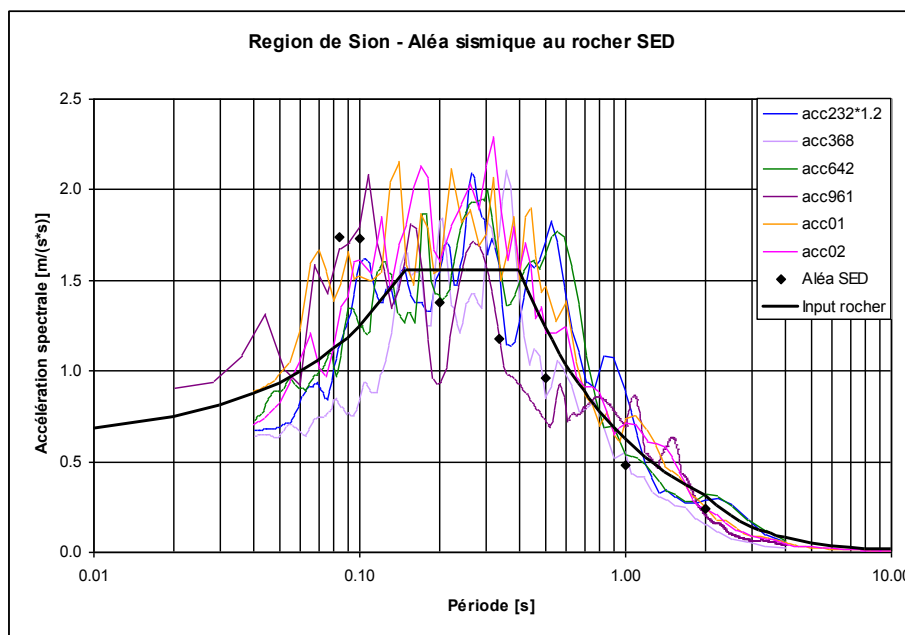


Figure 1 : Spectres des séismes d'input utilisés et comparaison avec le spectre au rocher correspondant à l'aléa pour le site de Sion. Les points noirs indiquent les valeurs brutes d'aléa au rocher, calculées par le Service Sismologique Suisse.

Pour le calcul des effets de site, six accélérogrammes ont été choisis de manière à ce que leurs spectres couvrent le spectre input choisi, pour tenir compte de l'aléa sismique au rocher à la base de la structure. Quatre accélérogrammes réels ont été choisis parmi la base de données "European Strong-Motion Database, Volume 2" (Ambraseys et al., 2004). Deux autres accélérogrammes ont été créés avec un logiciel développé par Sabetta and Pugliese (1996). Ce programme permet de générer des accélérogrammes semi-artificiels, pour un couple magnitude-distance

et un type de sol donnés. Ces accélérogrammes sont qualifiés de semi-artificiels car, contrairement à d'autres logiciels comme SIMQKE, ils sont créés à partir d'enregistrements réels provenant d'une base de données italienne et, surtout, leur contenu fréquentiel varie avec le temps, comme c'est le cas pour des séismes réels. Les caractéristiques des six séismes choisis sont données dans le tableau 1, et leurs spectres sont présentés sur la figure 1.

3. Caractérisation du site

3.1 Géologie du site

La caractérisation géologique et géotechnique du site est décrite dans le rapport du bureau GéoVal Ingénieurs-Géologues SA, Sion, joint en annexe 1.

Dans la région de Sion, la vallée du Rhône est caractérisée par une épaisseur maximale de dépôts quaternaires de 500 à 600 m, en amont et en aval, tandis qu'elle n'est que d'environ 275 m, au droit du profil passant par la ville de Sion. Par ailleurs, la moitié de la largeur du profil passant par la ville de Sion est caractérisé par une épaisseur des dépôts inférieure à environ 50 m. Les dépôts quaternaires présents dans la région de Sion sont caractérisés ainsi :

- dépôts fluviatiles grossiers : gravier sableux, plus ou moins limoneux, avec des pierres et des blocs ;
- cône de déjection : alternance de dépôts deltaïques et d'inondations, graviers sablo-pierreux, limon sableux ou sable fin limoneux ;
- dépôts glacio-lacustres indifférenciés : graviers sableux ou sable graveleux à pourcentage variable en limon, avec pierres et rares blocs ;
- dépôts morainiques : sable graveleux-limoneux avec des pierres et des blocs ;
- dépôts torrentiels sous-glaciaires : graviers sableux avec pierres et blocs.

Plus de détails sur la caractérisation géologique et géotechnique des dépôts sont donnés dans les rapports annexés. Les cinq profils géologiques 2D, au travers de la vallée, ainsi que les estimations des vitesses des ondes S dans les différentes formations sont également donnés à l'annexe 1.

3.2 Profils sismiques MASW

Deux profils sismiques ont été réalisés dans le secteur de Sion, par la technique MASW qui permet de déterminer les vitesses des ondes S dans les couches superficielles. MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) est l'abréviation anglaise pour la méthode d'inversion des courbes de dispersion des ondes de surface (Gabriels et al., 1987 ; Park et al., 1999). Cette méthode donne des résultats d'une qualité similaire à celle des tests cross-hole, mais à un coût bien inférieur, pour les couches superficielles. La réalisation de tels profils permet donc une meilleure définition des paramètres d'entrée nécessaires pour les simulations numériques des effets de site. Ce sont d'ailleurs les couches superficielles qui ont souvent le plus grand impact sur les effets de site.

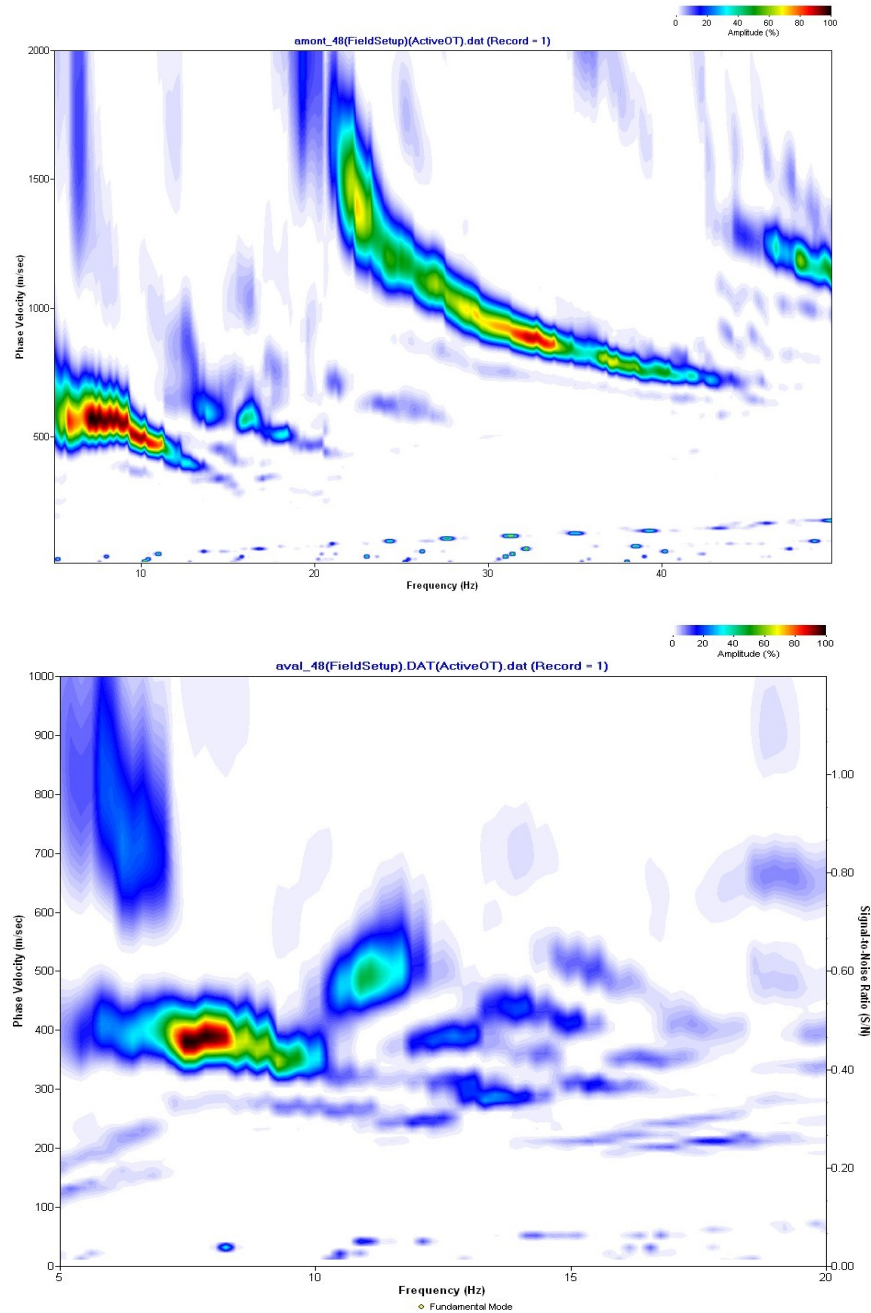


Figure 2 : Diagrammes d'énergie dans le domaine vitesse de phase – fréquence, issu des signaux MASW, pour les profils amont (en haut) et aval (en bas).

Les détails concernant la localisation des profils et la géométrie d'acquisition sont donnés dans le rapport du bureau Geo2X Sàrl Geophysics & Geology, Oulens, présenté à l'annexe 2. L'emplacement des profils a été choisi en fonction des critères suivants :

- situation de chacun des profils sur des terrains de nature différente et de structure superficielle différente, d'après les coupes géologiques du secteur, afin de mesurer les vitesses sismiques dans différentes formations ;

- situation dans une zone non bâtie pour l'installation des capteurs et l'emplacement du tir ;
- emplacement le long d'une route ou d'un chemin, pour des raisons d'accès et pour ne pas abîmer les cultures ;
- emplacement du point de tir à distance suffisante des diverses canalisations enterrées présentes dans le secteur.

Les profils sont donc situés sur deux différents types de dépôts présents en surface dans la région de Sion, à savoir :

- le cône de déjection (profil amont),
- les alluvions du Rhône (profil aval).

Le traitement des données a été effectué avec le logiciel SurfSeis (Multichannel Analysis of Surface Waves, C. B. Park, 1998). Plusieurs modules sont utilisés successivement pour réaliser les opérations suivantes, à partir des données brutes enregistrées par les 48 géophones :

- analyse et traitement des signaux pour identifier correctement la partie correspondant au 1^{er} mode des ondes de surface et pour vérifier le rapport signal/bruit (figure 2) ;
- calcul de la courbe de dispersion de la vitesse de phase ainsi que du rapport signal/bruit dans la bande de fréquence et de vitesse la plus appropriée ;
- procédure itérative d'inversion en ondes S et ajustement du profil de vitesses S, jusqu'à stabilisation du résultat.

L'analyse des signaux s'est avérée assez délicate pour les deux profils. Ainsi, les valeurs de vitesses dans les couches superficielles seront également variées lors de l'étude de sensibilité par la suite.

Les résultats pour le profil situé sur les dépôts du cône de déjection (amont) indiquent des vitesses des ondes S variant entre 300 et 500 m/s environ, sur les 30 premiers mètres de dépôts. Tandis que pour le profil situé sur les dépôts d'alluvions et d'inondation du Rhône (aval) l'analyse conduit à des vitesses comprises entre 150 et 500 m/s sur les 20 premiers mètres de dépôts.

3.3 Mesure des fréquences propres par la méthode H/V

La méthode H/V (aussi dite de "Nakamura") est une méthode empirique pour déterminer la fréquence fondamentale des sédiments reposant sur un socle type rocher. La méthode consiste à mesurer les vibrations ambiantes puis à faire le rapport des spectres de Fourier entre la composante horizontale (moyenne des deux composantes horizontales perpendiculaires mesurées) et la composante verticale (Nakamura, 1989 ; SESAME, 2004). Cette technique nécessite donc l'emploi d'un sismomètre trois composantes sensible à des fréquences inférieures à 1 Hz, la fréquence de résonance d'un bassin sédimentaire très profond pouvant être de l'ordre de 0.2 Hz. Les sources des vibrations ambiantes sont d'origine naturelle (microséismes) et humaines (microtrémors). Les océans constituent la principale source naturelle de vibrations ambiantes, pour les fréquences inférieures à 1 Hz. Quant aux activités humaines, elles peuvent générer des vibrations dans une gamme de fréquences très étendue, plutôt supérieure à 1 Hz.

Les résultats des mesures H/V doivent toujours être interprétés avec prudence car de nombreuses perturbations sont susceptibles de venir parasiter les enregistrements. Les recommandations pour une interprétation correcte ont été fixées par le projet de recherche européen SESAME (2004). Le vent (> 5 m/s), la pluie, les industries ou les constructions souterraines sont des éléments qui peuvent avoir une influence néfaste sur les résultats. De plus, il est important d'assurer un bon couplage entre le sol et le capteur et de maintenir une bulle de niveau correcte pour le capteur.

L'origine du pic H/V demeure à ce jour imparfaitement comprise. Cependant, la communauté scientifique s'accorde à dire que ce pic est la conséquence d'un changement de polarité des ondes de Rayleigh à la fréquence de résonance du bassin. En principe, ces ondes sont associées à un mouvement elliptique des particules dans le sens rétrograde. Cependant, à la fréquence fondamentale, le mouvement devient prograde. Ceci signifie que le mouvement est nul sur la composante verticale au voisinage de la fréquence fondamentale. Le rapport H/V, lui, devrait tendre vers une valeur infinie.

En pratique, on obtient un pic d'une amplitude finie car les vibrations ambiantes enregistrées sont constituées d'un ensemble d'ondes de volume et d'ondes de surface. Le niveau d'amplification relevé sur les diagrammes H/V n'a toutefois pas de signification même s'il semble qu'il représente une borne inférieure du niveau d'amplification réel du sol, en termes de spectres de Fourier (Bard, 1999).

Dans le cadre du microzonage de la région de Sion, un quadrillage comprenant 70 points de mesures a été réalisé afin d'élaborer une carte des iso-fréquences pour cette région. De plus, des mesures qui avaient été réalisées par le Service Sismologique Suisse (SED), en 2007, dans l'agglomération de Sion, ont également été prises en compte. Les mesures H/V permettent, suivant les cas, d'ajuster le modèle de vitesse des ondes S ou la profondeur du rocher, en accord avec les observations géologiques, les mesures MASW, les données de forage ou de sismique réflexion parfois disponibles.

Les résultats des mesures mettent en évidence des fréquences propres de l'ordre de 0.4 à 0.5 Hz dans les parties profondes de la vallée et des valeurs plus élevées sur les bords de la vallée, bien que beaucoup de points de mesure situés sur les bordures n'aient pas donné de résultats clairs (ce qui est normal en raison de la forte pente du substratum rocheux).

Les points de mesure ainsi que les fréquences fondamentales correspondantes sont présentés en annexe 3. La carte des iso-fréquences propres a été réalisée par le bureau GéoVal, à partir des résultats des mesures de la présente étude ainsi que des mesures qui avaient été réalisées par le SED en 2007.

3.4 Lois de non-linéarité

Au fur et à mesure que le taux de déformation s'accroît, la rigidité du sol se réduit tandis que l'amortissement devient plus important. Le logiciel CyberQuake tient compte de cette non-linéarité par le moyen de paramètres dits linéaires équivalents. Il est donc nécessaire de définir le comportement du sol en fonction de la déformation. Les lois de non-linéarité utilisées pour le profil de calcul sont présentées sur la figure 3. Il s'agit de la courbe moyenne entre la courbe donnée

par Seed & Idriss (1970) et celle selon Ishibashi & Zhang (1993), pour un indice de plasticité $IP = 0$ et pour différentes profondeurs (10, 35, 75 et 100 m).

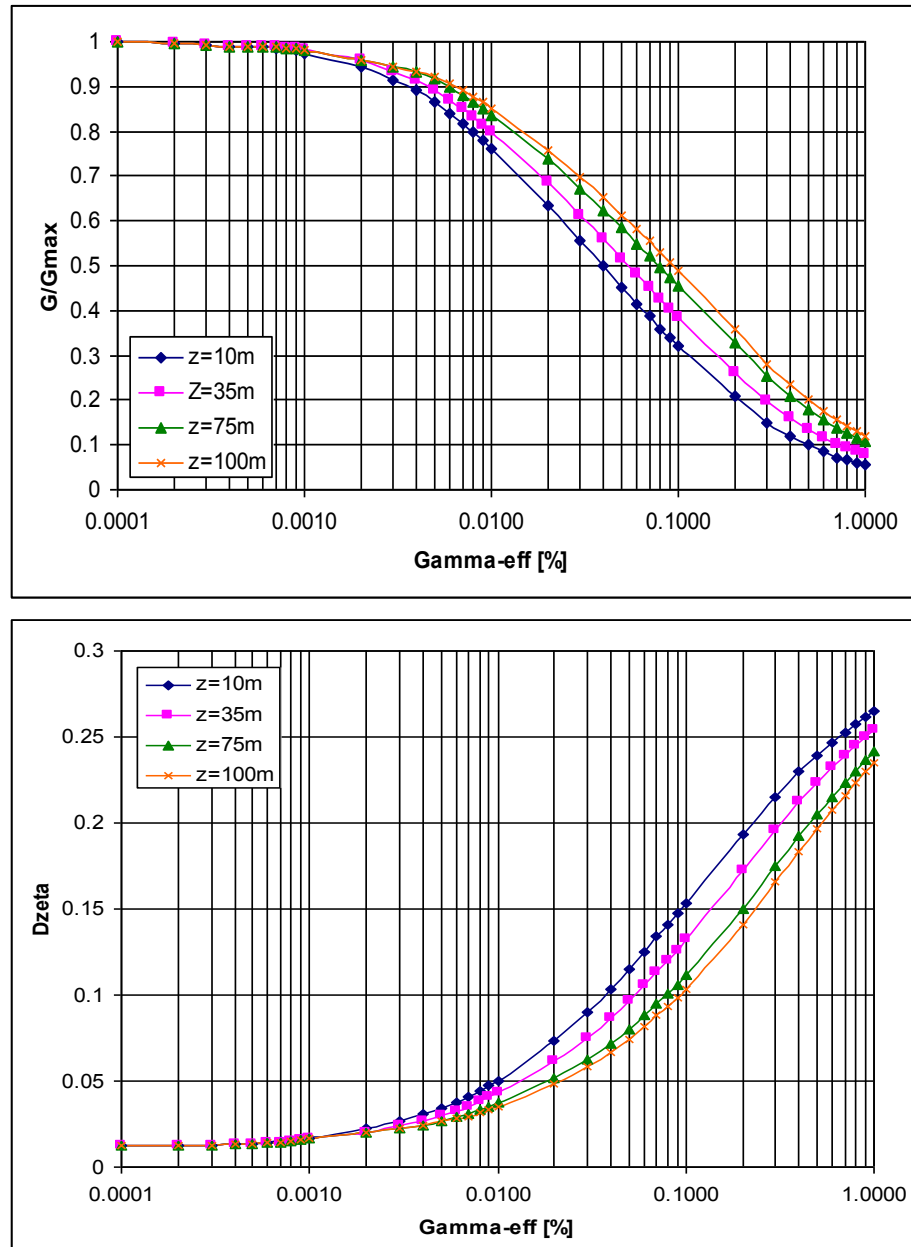


Figure 3 : Lois de non-linéarité utilisées pour les différents dépôts. En haut, module de cisaillement en fonction de la déformation; en bas, amortissement en fonction de la déformation.

La répartition des courbes en fonction de la profondeur z est la suivante :

- $z = 0-20$ m : courbe moyenne pour $z = 10$ m,
- $z = 20-50$ m : courbe moyenne pour $z = 35$ m,
- $z = 50-100$ m : courbe moyenne pour $z = 75$ m,
- $z > 100$ m : courbe moyenne pour $z = 100$ m.

Au-delà de la profondeur de 100 m, les courbes de comportements des matériaux valables pour $z = 100$ m ont été maintenues car, pour les profondeurs plus importantes, les courbes correspondantes donnent lieu à une non-linéarité trop faible, à notre avis. De plus, la différence à laquelle conduiraient de telles courbes est négligeable par rapport aux incertitudes liées à l'estimation des vitesses dans les couches profondes.

3.5 Profils de calcul

Les cinq profils de vallée utilisés pour le calcul des effets de site dans le secteur de Sion sont présentés sur la figure 4. Les caractéristiques des dépôts correspondants sont données dans les tableaux 2 à 6. Les cinq profils sont espacés d'environ 1 km, l'annexe 1 indique leur position sur une carte. La figure 4 montre clairement que la morphologie de la vallée est sensiblement différente au droit des cinq profils considérés. En effet, les profils Sion Ville et Sion Ouest sont caractérisés par une profondeur nettement inférieure aux trois autres. D'autre part, le profil situé en aval de Sion (profil Orge) est, lui, caractérisé par un fort encaissement, et donc probablement un fort effet 2D. A l'inverse, le profil situé en amont de Sion (profil Hôpital), se situe dans un secteur au droit duquel la vallée est plus large, pour une profondeur maximale semblable.

Malgré cette géométrie complexe, seuls des calculs 2D sont menés, les calculs 3D restant encore plutôt au stade de la recherche. De plus, il est rarement possible d'avoir les données suffisantes pour "alimenter" un modèle 3D. De toute façon, le secteur de Sion est tout de même plutôt caractérisé par une géométrie de vallée, contrairement à des régions de type bassin, comme c'est le cas à Martigny ou à Grenoble. Ainsi, une série de profils 2D, relativement serrés, permet de capter les caractéristiques principales de la réponse de la vallée.

Il est à noter ici que le modèle de topographie du substratum rocheux utilisé par Roten (2007) dans le secteur de Sion ne présente pas cette variation de profil significative au droit de la ville de Sion. La topographie utilisée par Roten (2007) provient des études menées par Frischknecht and Wagner (2004) ainsi que Rosseli (2001). Elle présente une profondeur maximale de la vallée d'environ 550 m tout le long de la vallée entre Bramois et Orge.

Les profils de vitesse estimés a priori sont issus des données géotechniques, d'après le module de cisaillement G , de la manière suivante :

$$G = 220 \cdot K_2 \cdot \sqrt{\sigma'_m} \quad \text{et} \quad v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

avec K_2 : coefficient de compacité, σ'_m : contrainte moyenne effective et ρ : densité. Les détails de cette estimation des vitesses sont donnés dans les tableaux à la fin de l'annexe 1. La vitesse au rocher est également estimée sur la base des considérations géologiques (Annexe 1). Ensuite, les vitesses dans les dépôts meubles ont été ajustées (divisées ou multipliées par des facteurs allant de 1.1 à 1.3), comme indiqué dans les tableaux 2 à 6, en tenant compte de la fréquence fondamentale des dépôts issue des mesures de Nakamura. La figure 5 présente, de manière graphique, les cinq profils de vitesses ainsi obtenus.

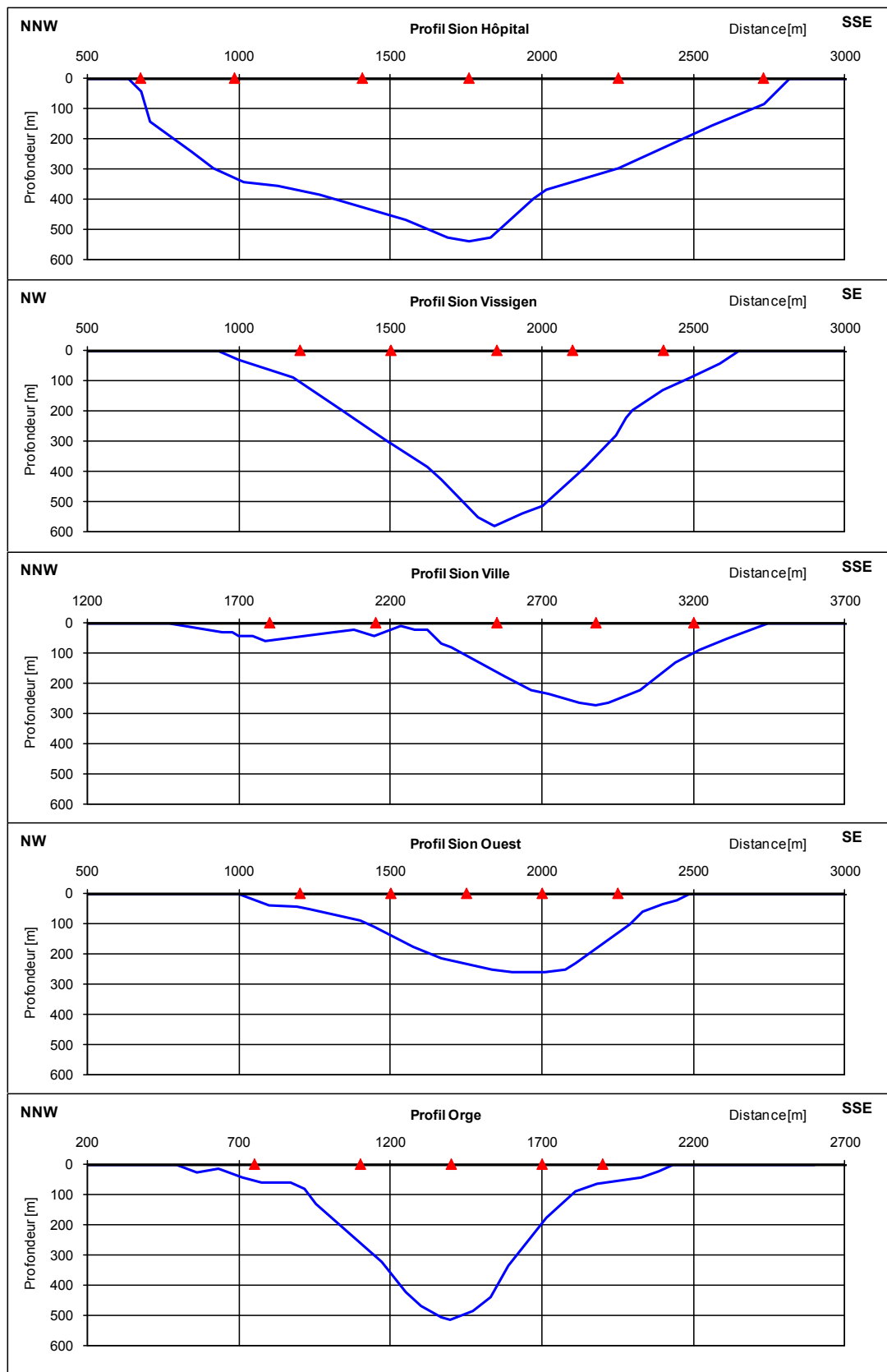


Figure 4 : Profils schématiques (d'amont vers l'aval) utilisés pour les calculs 2D. Les triangles rouges indiquent la position des "récepteurs" utilisés pour les calculs (numérotés par ordre croissant de "gauche" à "droite").

Tableau 2 : Profil de vitesse utilisé pour le calcul des effets de site, le long du profil Hôpital.

Dépôts	Profondeur toit de la couche [m]	Vs estimée [m/s]	Vs ajustée [m/s]	Densité [t/m ³]
Dépôts deltaïques et d'inondation	0	250	312	2.10
	5	270	337	2.10
	15	300	375	2.10
	25	350	437	2.10
	40	403	504	2.10
	60	450	562	2.10
Dépôts glacio-lacustres	85	474	592	2.00
	120	525	656	2.00
	175	564	705	2.00
	225	596	745	2.00
	275	662	827	2.00
	325	668	835	2.00
	375	750	937	2.00
Dépôts torrentiels sous glaciaires	430	868	1085	2.20
	470	891	1114	2.20
	520	900	1125	2.20
Rocher	543	2200	2200	2.65

Tableau 3 : Profil de vitesse utilisé pour le calcul des effets de site, le long du profil Sion Vissigen.

Dépôts	Profondeur toit de la couche [m]	Vs estimée [m/s]	Vs ajustée [m/s]	Densité [t/m ³]
Dépôts fluviatiles grossier et d'inondation (Rhône) / Dépôts fluviatiles grossier et d'inondation (Borgne)	0	277	346	2.10
	10	307	384	2.00
	20	365	456	2.00
	30	434	542	2.10
	40	459	574	2.10
Dépôts glacio-lacustres	50	399	499	2.00
	60	418	522	2.00
	80	449	561	2.00
	100	474	592	2.10
	150	525	656	2.10
	200	564	705	2.10
	250	596	745	2.10
	300	624	780	2.10
	350	648	810	2.10
	400	670	837	2.10
Dépôts morainiques	410	675	844	2.10
	415	874	1092	2.20
Dépôts torrentiels sous glaciaires	425	890	1112	2.22
	445	814	1017	2.20
	480	836	1045	2.20
	505	857	1071	2.20
Rocher	550	872	1090	2.20
	585	2200	2200	2.65

Tableau 4 : Profil de vitesse utilisé pour le calcul des effets de site, le long du profil Sion Ville.

Dépôts	Profondeur toit de la couche [m]	Vs estimée [m/s]	Vs ajustée [m/s]	Densité [t/m ³]
Dépôts fluviaux grossier et d'inondation (Rhône) / Dépôts torrentiels et deltaïques de la Sionne	0	277	220	2.10
	10	330	260	2.10
	20	365	290	2.10
	30	370	295	2.10
Dépôts glacio-lacustres	40	377	300	2.00
	50	399	320	2.00
	60	418	335	2.00
	80	449	360	2.00
	100	474	380	2.10
	130	525	420	2.10
Dépôts morainiques	160	557	445	2.10
	190	722	575	2.15
Dépôts torrentiels sous glaciaires	200	749	600	2.15
	220	685	550	2.20
	240	700	560	2.20
Rocher	260	721	580	2.20
	274	2200	2200	2.65

Tableau 5 : Profil de vitesse utilisé pour le calcul des effets de site, le long du profil Sion Ouest.

Dépôts	Profondeur toit de la couche [m]	Vs estimée [m/s]	Vs ajustée [m/s]	Densité [t/m ³]
Dépôts fluviaux grossier et d'inondation (Rhône)	0	277	213	2.10
	10	330	254	2.10
	20	365	281	2.10
	30	434	334	2.10
	40	462	355	2.10
Dépôts glacio-lacustres	45	339	261	2.00
	50	418	321	2.00
	60	449	345	2.00
	80	474	365	2.10
	100	525	404	2.10
	150	557	428	2.10
Dépôts morainiques	196	722	555	2.15
	210	749	576	2.15
Dépôts torrentiels sous glaciaires	222	685	527	2.20
	240	714	549	2.20
Rocher	260	2200	2200	2.65

Tableau 6 : Profil de vitesse utilisé pour le calcul des effets de site, le long du profil Orge.

Dépôts	Profondeur toit de la couche [m]	Vs estimée [m/s]	Vs ajustée [m/s]	Densité [t/m ³]
Alluvions grossières et dépôts d'inondation	0	270	245	2.10
	10	310	282	2.10
	20	360	327	2.10
	40	430	391	2.10
Dépôts glacio-lacustres	60	445	404	2.00
	80	465	423	2.00
	100	500	455	2.00
	150	545	495	2.00
	200	580	527	2.00
	250	630	573	2.00
	300	670	609	2.00
Dépôts morainiques	338	870	791	2.20
	370	885	804	2.20
Dépôts torrentiels sous glaciaires	390	845	768	2.20
	420	860	782	2.20
	450	880	800	2.20
	500	895	814	2.20
Rocher	515	2200	2200	2.60

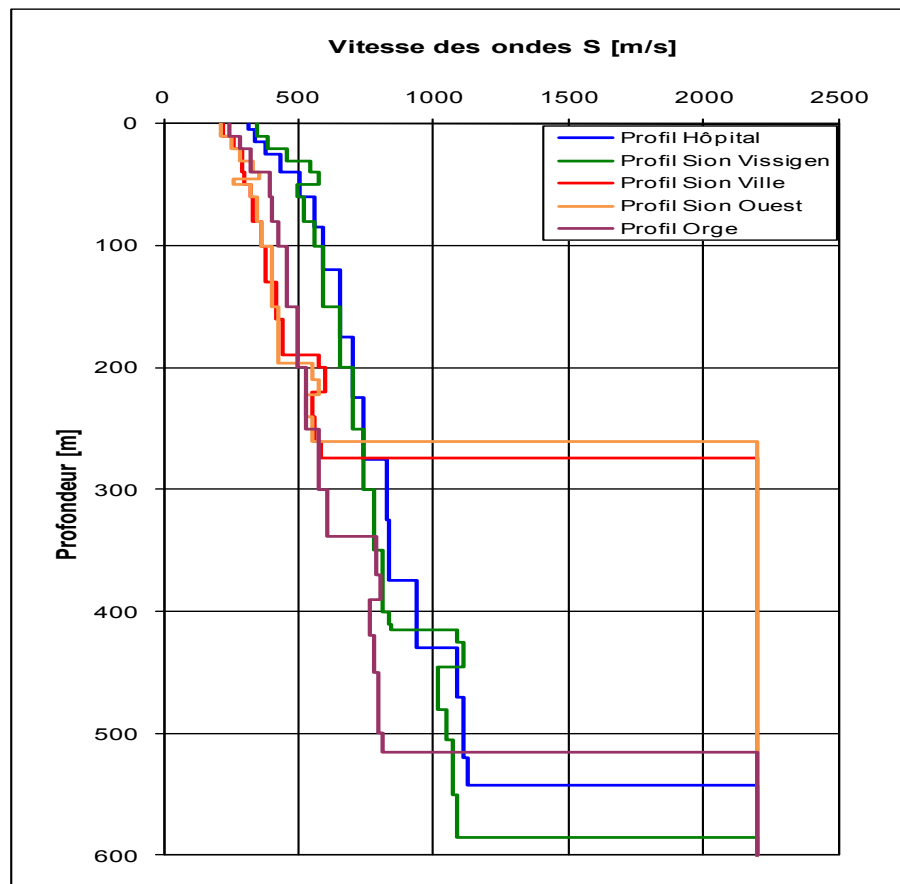


Figure 5 : Profils de vitesse des ondes S utilisés pour les calculs d'effets de site sur les cinq profils 2D à travers la vallée du Rhône dans le secteur de Sion.

4. Calculs et étude de sensibilité

4.1 Fonctions d'amplification et spectres de réponse

Les effets de site sont quantifiés à l'aide de calculs 2D, pour les six séismes de référence choisis et pour les cinq profils de calcul. Les résultats obtenus sont présentés sous la forme de "fonctions d'amplification" (rapport entre le spectre de réponse obtenu en surface des dépôts et le spectre de réponse du séisme d'input pour un site rocheux hypothétique de surface). Ensuite, les fonctions d'amplification sont multipliées par le spectre de réponse correspondant au rocher dur (spectre "input rocher"), afin d'obtenir les spectres de réponse correspondants.

Les figures 6 et 7 montrent, à titre d'exemple, les fonctions d'amplification et les spectres de réponse, respectivement, obtenus à l'issue des calculs au récepteur 3 du profil Sion Ville, pour les six séismes d'input.

L'ensemble des résultats des calculs menés pour chaque récepteur, pour les cinq profils considérés, est présenté à l'annexe 4.

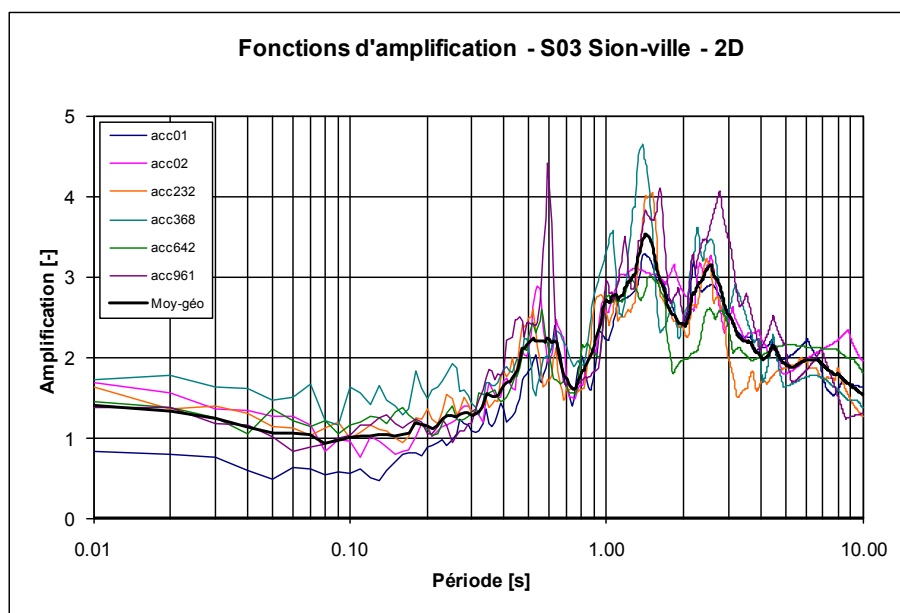


Figure 6 : Fonctions d'amplification au niveau du récepteur 3 du profil Sion Ville obtenues avec le profil de vitesse moyen.

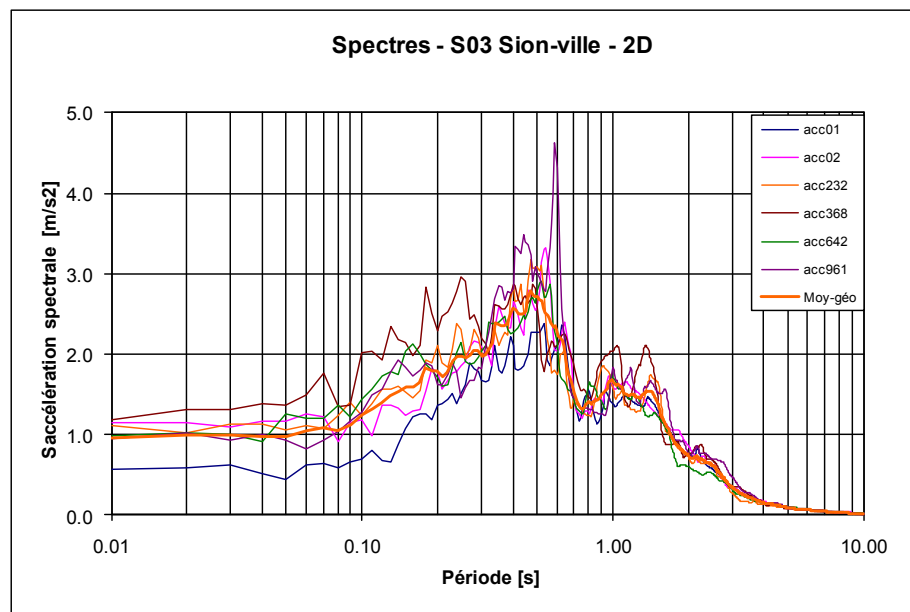


Figure 7 : Spectres de réponse au niveau du récepteur 3 du profil Sion Ville obtenus avec le profil de vitesse moyen.

4.2 Comparaison 1D – 2D

Des calculs 1D ont également été menés, avec les mêmes séismes d'input, à titre de comparaison, de manière à apprécier l'importance de l'effet 2D et de mettre en évidence la gamme de période dans laquelle il est significatif. La figure 8 montre une comparaison des fonctions d'amplification moyennes 1D (en bleu) et 2D (en rouge) obtenues avec les six séismes d'input, pour les profils de calcul Sion Hôpital, Mont d'Orge et Sion Ville (de haut en bas sur la figure), pour un récepteur situé en bordure NNW du profil (à gauche) et au centre du profil (à droite).

Cette comparaison met en évidence la variabilité de l'effet 2D, tant dans son ampleur, que dans la gamme de période à laquelle il se produit, en fonction de la géométrie de la vallée au droit du profil considéré (voir figure 4). L'effet 2D observé au centre de la vallée peut être très différent de celui caractérisant les bords, selon la forme du profil.

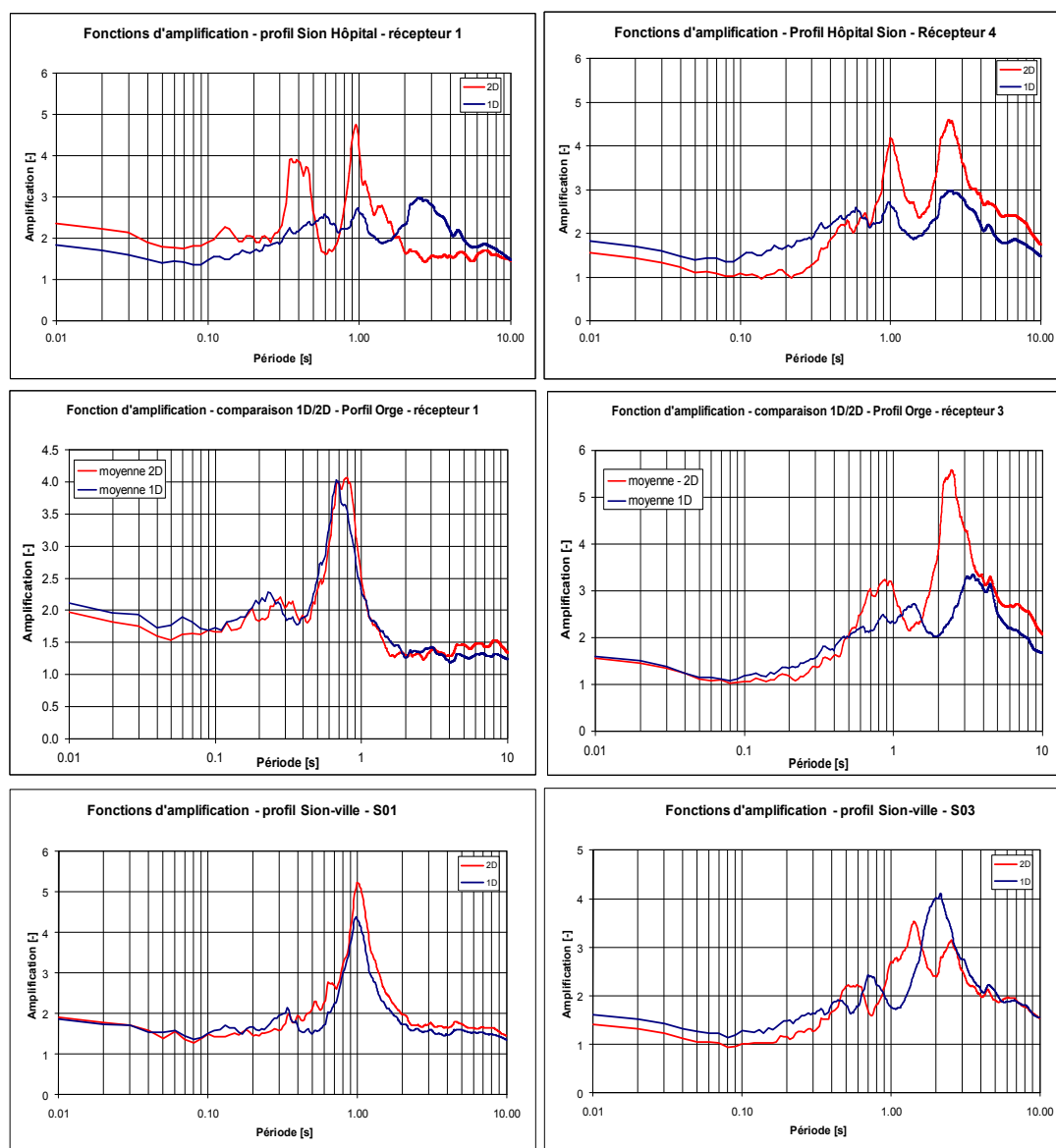


Figure 8 : Comparaison des fonctions d'amplification moyennes 1D (en bleu) et 2D (en rouge) obtenues avec les six séismes d'input, pour les profils de calcul Hôpital, Mont d'Orge et Sion Ville (de haut en bas), pour un récepteur situé en bordure NNW du profil (à gauche) et au centre du profil (à droite).

4.3 Variation des vitesses d'ondes S

La vitesse des ondes S est, avec l'estimation de la géométrie du soubassement rocheux, le paramètre le plus déterminant dans la modélisation de l'effet de site. Ce paramètre est généralement mal connu, en particulier quand les dépôts quaternaires sont présents sur une épaisseur importante comme c'est le cas dans la vallée du Rhône. Les mesures MASW permettent une meilleure détermination de la vitesse des ondes S dans les couches superficielles (ici 20 à 30 premiers mètres) et les mesures H/V donnent une bonne approximation de la vitesse moyenne des ondes S dans la formation quaternaire. Cependant, les incertitudes concernant ce

paramètre restent élevées, d'où la nécessité de tenir compte d'une variation du profil moyen en ondes S dans les simulations. Pour chaque profil et chaque récepteur, le paramètre de vitesse a été varié d'un facteur 1.4, ce qui correspond à une variation d'un facteur 2 du module de cisaillement maximal ($V_s = (G_{\max}/\rho)^{1/2}$). La figure 9 illustre l'influence d'une variation de vitesse d'un facteur 1.4 sur les fonctions d'amplification et les spectres de réponse, dans l'exemple du récepteur 3 du profil Orge.

Le premier pic d'amplification sur les spectres de réponse apparaît pour des périodes d'autant plus longues que les vitesses considérées pour les simulations sont basses.

De manière à tenir compte de cette grande incertitude sur la détermination des vitesses des ondes S, les profils de vitesse ont systématiquement été variés par un facteur 1.4, pour l'ensemble des calculs effectués.

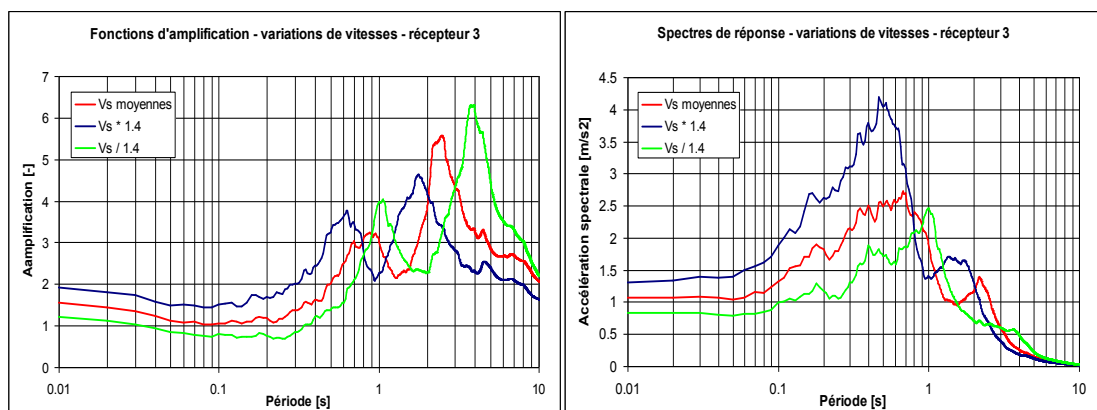


Figure 9 : Fonctions d'amplification (à gauche) et spectres de réponse (à droite) résultant des simulations effectuées avec le profil de vitesse moyen varié d'un facteur 1.4, au niveau du récepteur 3 du profil Orge.

4.4 Variation de l'angle d'incidence

Le programme de simulation 2D offre la possibilité de faire varier l'angle d'incidence du champ d'onde à la base de la sédimentation quaternaire. La modification de ce paramètre peut entraîner des différences significatives sur les résultats des simulations. Or, les ondes sismiques excitant la vallée suite à un tremblement de terre n'arrivent pas forcément avec une incidence proche de la verticale, cela dépend des caractéristiques du séisme (distance, profondeur). Ainsi, une variation du paramètre d'incidence lors des différentes simulations s'impose afin de ne pas exclure certains cas de figure pouvant se produire.

Pour cette étude, les simulations ont été effectuées avec une arrivée des ondes sous incidence normale ainsi qu'avec un angle de plus ou moins 30° par rapport à la verticale. Ces variations restent conformes aux limites imposées par la théorie d'Aki-Larner qui est valable pour des angles inférieurs à 30-40°. En effet, l'influence de l'angle d'incidence est variable selon le séisme d'input et surtout selon la forme

du substratum rocheux qui, en fonction de l'angle d'incidence, conduit à des ondes arrivant plutôt orthogonalement à l'interface ou au contraire plutôt tangentiellement comme représenté sur la figure 10.

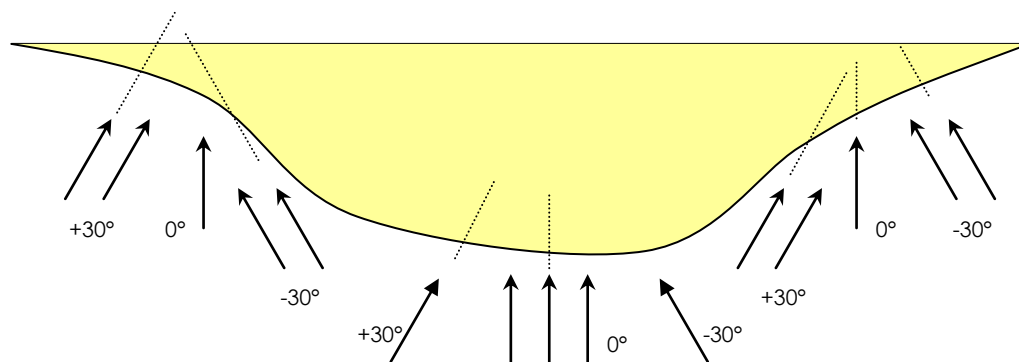


Figure 10 : Arrivée des ondes à l'interface bedrock /dépôts quaternaires selon les incidences 0° , $+30^\circ$ et -30° , par rapport à la verticale.

La figure 11 montre les spectres de réponse obtenus aux récepteurs 1 et 5 du profil Sion Vissigen, pour les séismes acc01 et acc961, sous les trois différentes conditions d'incidence utilisées. Les récepteurs 1 et 5 correspondent aux deux extrémités du profil. La figure 11 permet de confirmer l'importance de ce paramètre puisque, dans l'ensemble, d'un côté du profil la simulation avec une incidence $+30^\circ$ (orthogonale au fond de la vallée) donne les amplifications les plus fortes alors que de l'autre, c'est la simulation avec une incidence -30° (orthogonale au fond de la vallée) qui occasionne les plus fortes amplifications.

Pour l'ensemble des calculs effectués avec les profils de Vs moyens, l'angle d'incidence a été systématiquement varié de $+30^\circ$ ou -30° par rapport à la verticale.

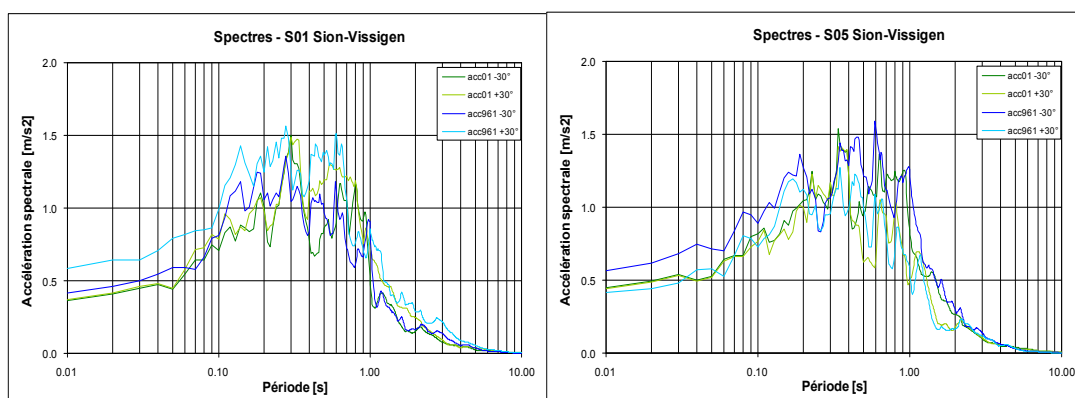


Figure 11 : Spectres de réponse obtenus pour le profil Sion Vissigen au récepteur 1 (à gauche) et au récepteur 5 (à droite), pour les séismes acc01 et acc961, avec différents angles d'incidence.

5. Résultats et proposition de spectres spécifiques

5.1 Résultats des calculs

L'ensemble des résultats des calculs menés pour chaque récepteur, pour les cinq profils considérés, est présenté à l'annexe 4.

Ces résultats ont été comparés et groupés par ressemblance (niveau d'amplification, bande de période amplifiée, etc.). Les figures 12 à 14 présentent ainsi les résultats de tous les calculs, groupés par réponse similaire. Les secteurs issus de ces regroupements correspondront aux trois micro-zones auxquelles sont attribués les spectres spécifiques représentés sur les figures 12 à 14, respectivement. La carte de l'annexe 5 indique les limites géographiques de validité de ces spectres.

Les résultats obtenus aux points de contrôle 1 et 2, situés en bordure N du profil passant par l'hôpital, sont caractérisés par des pics très élevés dans la gamme de 0.3 à 1 s (voir annexe 4). Or, comme le montre la figure 4, la pente du substratum rocheux est ici très forte ($> 45^\circ$), et se situe en dehors des limites de validité de la méthode de calcul Aki-Larner utilisée dans le programme 2D. Les résultats correspondants ne sont donc pas considérés comme fiables.

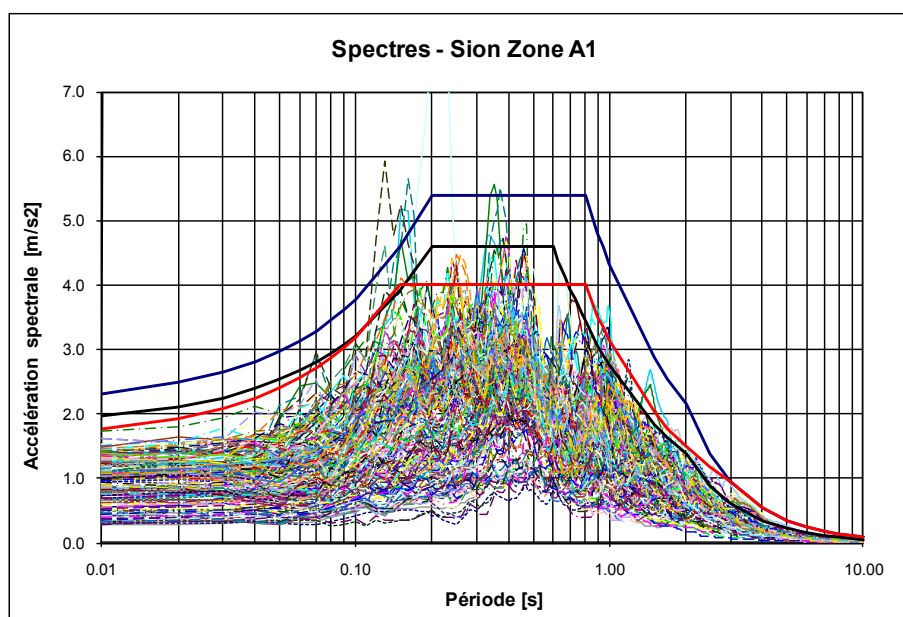


Figure 12 : Spectres de réponse issus de tous les calculs menés aux points de contrôle dont la réponse définit la micro-zone A1. En rouge : spectre élastique proposé pour la micro-zone A1, en noir : spectre SIA-261 classe C, en bleu : spectre SIA-261 classe D.

Dans le secteur d'étude, il n'a pas été aisé de déterminer des groupes de réponse spectrale homogène ainsi que les micro-zones associées, en raison de la grande variabilité latérale de la morphologie du soubassement rocheux (voir figure 4). Finalement, trois micro-zones ont été distinguées :

- la micro-zone Sion A1, correspondant à la "plaine", au niveau de l'hôpital, ainsi qu'aux zones de "plaine de profondeur intermédiaire", plus en aval (en jaune sur la carte),
- la micro-zone Sion A2, correspondant au "centre de la plaine", en aval de l'hôpital, caractérisée par une amplification plutôt basse fréquence (en vert sur la carte),
- la micro-zone Sion A3, correspondant à certains "bords de la plaine", caractérisés par une amplification plutôt haute fréquence (en orange sur la carte).

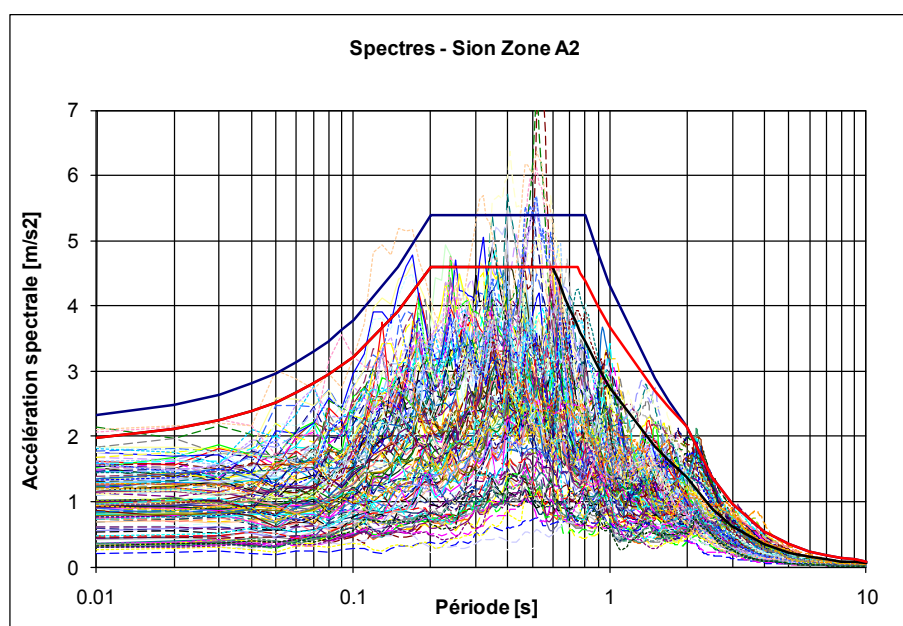


Figure 13 : Spectres de réponse issus de tous les calculs menés aux points de contrôle dont la réponse définit la micro-zone A2. En rouge : spectre élastique proposé pour la micro-zone A2, en noir : spectre SIA-261 classe C, en bleu : spectre SIA-261 classe D.

Roten (2007) a présenté les résultats d'un travail de thèse réalisé au sein du SED, portant sur les effets de site dans la vallée du Rhône, analysés au moyen de vibrations ambiantes, d'enregistrements de mouvements faibles et de simulations numériques. Un réseau de stations sismologiques temporaire a permis l'enregistrement de plusieurs séismes, des rapports spectraux entre site sur dépôts meubles et site de référence au rocher ont permis de mettre en évidence des amplifications significatives entre 0.5 et 10 Hz. Les rapports de spectres de réponse présentés pour les quelques séismes enregistrés et les quelques stations du réseau temporaire (Appendix B de Roten, 2007) sont cohérents avec les résultats de la présente étude de microzonage pour ces endroits. Des résultats de simulations sont également montrés, pour deux points situés le long d'un profil ayant une forme proche de celui de Vissigen, pour des scénarios sismiques particuliers (pas de fonctions d'amplification par rapport au rocher, donc amplitudes des spectres pas comparables). Les fréquences auxquelles ont lieu l'amplification sont cohérentes avec les résultats de la présente étude.

L'ensemble des travaux très poussés de Roten (2007) n'est malheureusement pas exploitable en termes de contribution au microzonage sismique spectral, et en particulier à la détermination de spectres de réponse spécifiques au site, car il se concentre sur quelques points en particulier, ne couvrant de loin pas l'ensemble de la zone d'étude. D'autre part, les différents résultats de l'étude sont très orientés vers des considérations d'ordre méthodologiques, ne permettant pas d'en tirer profit sur le plan de la sismologie appliquée au génie parasismique. Enfin, il convient de rappeler ici que le modèle de topographie du substratum rocheux utilisé par Roten (2007) dans le secteur de Sion ne présente pas de variation de profil significative au droit de la ville de Sion. La topographie utilisée par Roten (2007) provient des études menées par Frischknecht and Wagner (2004) ainsi que Rosseli (2001). Elle présente une profondeur maximale de la vallée d'environ 550 m tout le long de la vallée entre Bramois et Orge, ce qui est en contradiction avec les profils déterminés dans le cadre de la présente étude.

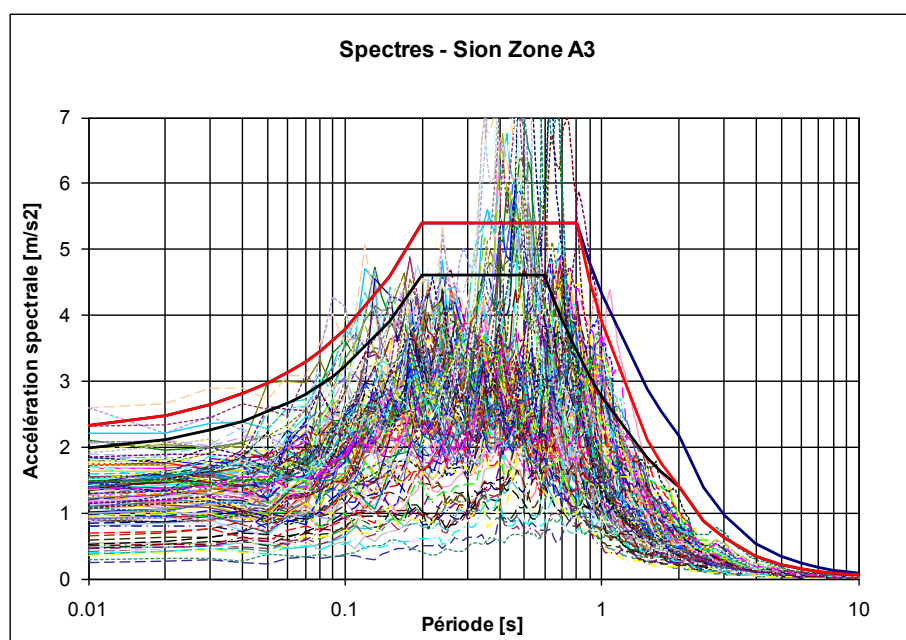


Figure 14 : Spectres de réponse issus de tous les calculs menés aux points de contrôle dont la réponse définit la micro-zone A3. En rouge : spectre élastique proposé pour la micro-zone A3, en noir : spectre SIA-261 classe C, en bleu : spectre SIA-261 classe D.

5.2 Spectres spécifiques proposés

La figure 15 présente les spectres spécifiques associés aux trois micro-zones déterminées pour le secteur A (Sion agglomération) à l'issue de la présente étude.

Les trois spectres de dimensionnement élastiques proposés pour le secteur de Sion agglomération (secteur A) sont définis comme suit, en fonction de la gamme de période propre (T) considérée :

Spectre Sion A1 :

$T \leq 0.15 \text{ s}$	$S_o = 1.6 + 16 * T$	$[\text{m/s}^2]$
$0.15 \text{ s} \leq T \leq 0.8 \text{ s}$	$S_o = 4.0$	$[\text{m/s}^2]$
$0.8 \text{ s} \leq T \leq 3 \text{ s}$	$S_o = 3.143 / T^{1.08}$	$[\text{m/s}^2]$
$T \geq 3 \text{ s}$	$S_o = 8.64 / T^2$	$[\text{m/s}^2]$

Spectre Sion A2 :

$T \leq 0.2 \text{ s}$	$S_o = 1.84 + 13.8 * T$	$[\text{m/s}^2]$
$0.2 \text{ s} \leq T \leq 0.75 \text{ s}$	$S_o = 4.6$	$[\text{m/s}^2]$
$0.75 \text{ s} \leq T \leq 2 \text{ s}$	$S_o = 3.686 / T^{0.77}$	$[\text{m/s}^2]$
$T \geq 2 \text{ s}$	$S_o = 8.64 / T^2$	$[\text{m/s}^2]$

Spectre Sion A3 :

$T \leq 0.2 \text{ s}$	$S_o = 2.16 + 16.2 * T$	$[\text{m/s}^2]$
$0.2 \text{ s} \leq T \leq 0.8 \text{ s}$	$S_o = 5.4$	$[\text{m/s}^2]$
$0.8 \text{ s} \leq T \leq 2 \text{ s}$	$S_o = 3.876 / T^{1.49}$	$[\text{m/s}^2]$
$T \geq 2 \text{ s}$	$S_o = 5.52 / T^2$	$[\text{m/s}^2]$

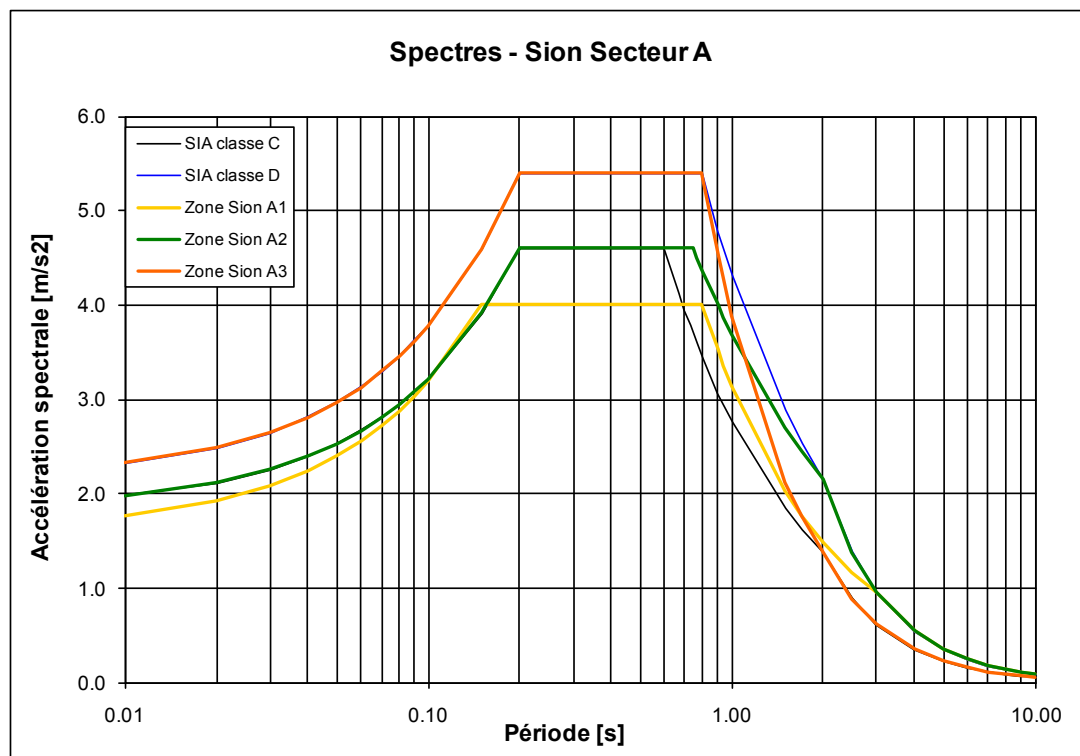


Figure 15 : Spectres de réponse élastiques proposés pour les trois micro-zones déterminées à l'issue du microzonage sismique spectral de la région de Sion agglomération.

Les spectres proposés sont des spectres de réponse élastiques qui s'appliquent aux mouvements horizontaux pour un taux d'amortissement relatif de 5 % de la valeur critique. Il est recommandé d'utiliser ces spectres à la place de ceux de la norme SIA 261, paragraphe 16.2.3.1, pour le contrôle ou le dimensionnement sismique des structures. La valeur du spectre élastique à $T = 0$ s, à savoir $S_a(T=0s)$ remplace le produit $a_{gd} \cdot S$ de la norme.

Les spectres de dimensionnement peuvent être calculés en analogie avec les formules du paragraphe 16.2.4.1 de la norme SIA 261. En particulier, pour les bâtiments neufs, l'accélération spectrale minimale de dimensionnement, $0.1 \gamma_f a_{gd}/g$, doit être respectée, a_{gd} étant la valeur donnée par la norme pour la zone 3b, à savoir 1.6 m/s^2 .

En ce qui concerne les accélérations sismiques verticales, il convient de prendre en 0.7 fois spectre proposé pour la direction horizontale, en conformité avec la norme SIA 261.

Contrairement à la norme SIA 261, la période maximale de validité de la méthode des forces de remplacement est fixée à $T_{\text{lim,MFR}}$ telle que :

$$S_a(T_{\text{lim,MFR}}) \geq S_{a,\text{plateau}} / 4$$

Pour des périodes fondamentales plus longues, la méthode du spectre de réponse est nécessaire.

Pour le tableau 27 de la norme, concernant les mesures constructives en fonction de la zone et de la classe d'ouvrage, il convient de considérer les micro-zones de ce microzonage comme appartenant à la zone Z3.

Enfin, pour le contrôle ou le dimensionnement des structures dans le domaine des longues périodes, en particulier les ponts, il convient de calculer u_{gd} de la manière suivante :

$$u_{gd} = S_{D,\text{max}} / 1.25$$

$S_{D,\text{max}}$ étant le déplacement spectral maximal constant dans le domaine des longues périodes. Cette approximation est conforme avec la norme SIA 261 et l'Eurocode 8.

Pour l'ensemble des spectres proposés, le déplacement spectral maximal constant est atteint pour la période T_D , à partir de laquelle S_a a une décroissance en $1/T^2$. Ainsi, la valeur de $S_{D,\text{max}}$ peut être calculée pour $T > T_D$ comme suit :

$$S_{D,\text{max}} = S_a(T > T_D) / \omega^2(T > T_D)$$

$$\text{avec } \omega = 2\pi / T.$$

En cas d'utilisation du tableau 3.1 de l'EC8 Partie 2 (ponts), donnant la distance au-delà de laquelle les mouvements sont considérés indépendants, il conviendra de prendre une valeur de $L_g = 300 \text{ m}$.

5.3 Remarque concernant les formes des spectres d'input et finaux

Actuellement, une discussion a lieu, au niveau national, afin de tendre à une meilleure harmonisation des procédures de détermination des spectres dans le cadre des études de microzonage sismique. En effet, des démarches différentes sont, par exemple, adoptées par Résonance Ingénieurs-Conseils SA et par le Service Sismologie Suisse, quand à la détermination de la forme du spectre d'input au rocher dur ainsi que de celles des spectres finaux. Un colloque sera organisé cet été, auquel seront invitées l'ensemble des personnes concernées en Suisse (représentant de la norme SIA 261, de la Confédération, de Résonance, du SED) et deux experts étrangers (France et Italie) impliqués dans le choix des formes spectrales et dans la norme EC8, afin d'aboutir, si possible, à un consensus concernant le choix des formes des spectres d'input et finaux. Ainsi, il est possible qu'à partir de l'automne prochain, une nouvelle démarche soit adoptée. La procédure utilisée jusqu'ici par Résonance étant plus prudente (par mesure de précaution) que celle du SED, il n'y a pas à craindre que les spectres proposés à l'issue des microzonages soient trop bas.

6. Conclusions

Le secteur de Sion agglomération a pu être étudié à partir d'un ensemble de simulations 2D, le long de cinq profils au travers de la vallée. Les calculs ont été conduits à partir de six séismes d'input, choisis conformément à l'aléa sismique local pour le rocher "dur", communiqué par le Service sismologique suisse. L'analyse des fonctions d'amplification obtenues à l'issue des simulations a permis de délimiter trois micro-zones dont la réponse sismique peut être considérée comme relativement homogène, et auxquelles sont associés trois spectres de dimensionnement spécifiques.

Ces spectres sont présentés sur la figure 15. Leur expression analytique est donnée au chapitre 5.2. La carte de l'annexe 5 indique la répartition géographique des secteurs d'application de ces spectres. En cas de bâtiments situés en limite de deux micro-zones, il convient de prendre le spectre le plus pénalisant à la fréquence propre dudit bâtiment. Il est recommandé d'utiliser ces spectres à la place de ceux de la norme SIA-261, paragraphe 16.2.3.1, pour le contrôle ou le dimensionnement sismique des structures dans le secteur de Sion agglomération. Les spectres inélastiques peuvent être calculés en analogie avec les formules du paragraphe 16.2.4.1 de la norme SIA 261. En dehors des trois micro-zones définies par le présent microzonage, il convient d'utiliser les spectres des différentes classes de sol de fondation, selon la norme SIA-261.

Les spectres proposés couvrent la réponse sismique de l'ensemble des points appartenant à une même micro-zone, ils incluent donc une certaine marge de réserve intrinsèque, variable selon les points. Dans le cas particulier d'un bâtiment spécifique existant, par exemple, il est possible d'affiner encore un peu plus l'étude au site en question, afin de préciser davantage les caractéristiques du spectre à considérer. Ceci peut avoir une importance capitale en termes de coûts de renforcements nécessaires ou non.

Il est à noter que les spectres, ainsi que les limites des micro-zones, pourront être amenés à être légèrement modifiés, une fois que les études des secteurs B et C

(amont et aval de Sion) auront été menées à bien, pour des questions de cohérence sur l'ensemble de la région de Sion. Une carte de microzonage complète viendra alors remplacer la carte partielle présentée à l'annexe 5.

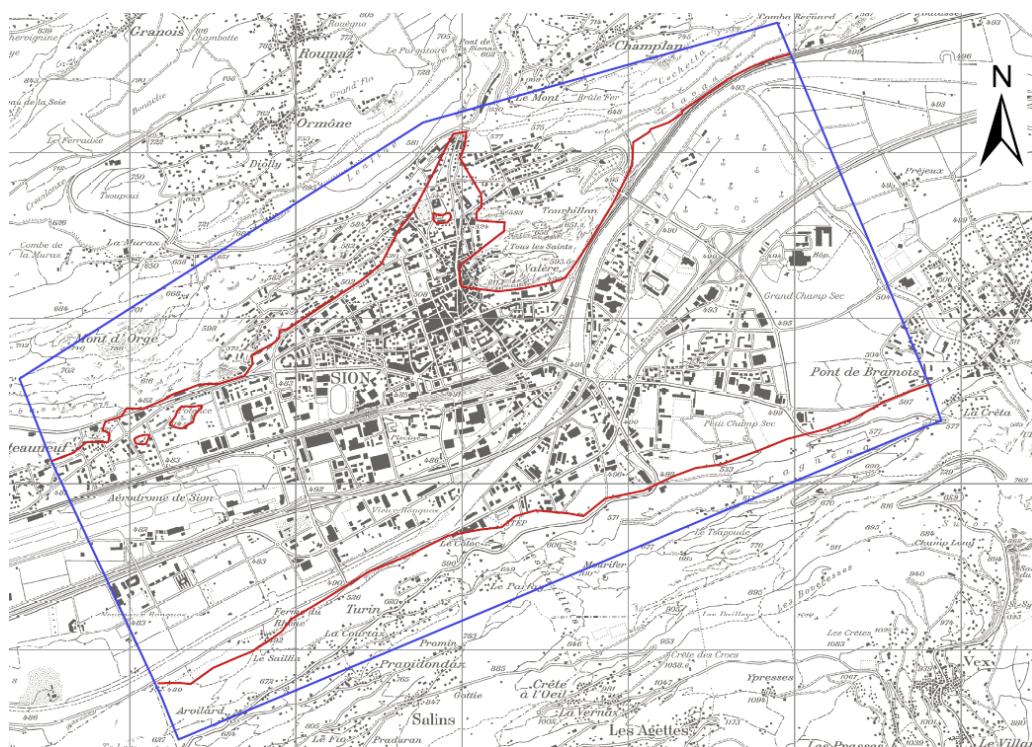
7. Littérature

- Aki K. and K.L. Larner (1970), Surface motion of a layered medium having irregular interface due to incident plane SH waves, *J. Geophys. Res.*, 75, pp. 933-954.
- Ambraseys, N., J. Douglas, R. Sigbjörnsson, C. Berge-Thierry, P. Suhadolc, G. Costa and P. Smit, (2004). European Strong-Motion Database, Volume 2. Contract GR/52114/01 (P), Engineering and Physical Science Research Council of the UK.
- BRGM (1998). CyberQuake, User's Guide, Version 2, BRGM, Orléans.
- Frischknecht, C., and Wagner, J.-J. (2004). Seismic Soil Effect in an Embanked Deep Alpine Valley; A Numerical Investigation of Two-Dimensional Resonance. *Bull. seism. Soc. Am.*, 94, 171–186.
- Gabriels, P., Snider, R., and Nolet, G., (1987). In situ measurements of shear-wave velocity in sediments with higher-mode Rayleigh waves. *Geophys. Prospecting*, 35, 187-196.
- Ishibashi I and X. Zhang (1993). Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay. *Soils and Foundations*, Vol. 33, n° 1, 182-191.
- Lacave C. and M. G. Koller (2007). Microzonation of the city of Visp (Switzerland) using a 2D equivalent linear approach. 4th International Conference on *Earthquake Geotechnical Engineering, Thessaloniki, Greece*. Paper No. 1755.
- Lacave C, P.-Y. Bard, M. Kham, M. G. Koller (2008). 2D equivalent linear site effect simulation: example applications to two deep valleys. *Bull. Earthquake Eng.* No. 6, pp.197–211. DOI 10.1007/s10518-007-9054-1.
- Nakamura Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimations of Subsurface Using Microtremors on the ground Surface, *QR RTRI*, 30, pp. 25-33.
- Norme SIA-261 (2003). Société Suisse des Ingénieurs et Architectes, Zurich.
- Park C. B., (1998). SurfSeis, Multichannel Analysis of Surface Waves, Kansas Geological Survey, USA.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, v. 64, n. 3, pp. 800-808.
- Rosselli, A. (2001). Modélisation gravimétrique bi- et tridimensionnelle du substratum rocheux des vallées alpines. Ph.D. thesis, Université de Lausanne.
- Roten D. (2007). Site effects in the Rhône valley analysed by ambient noise, weak motion records and numerical simulations. Diss. ETH No. 17471.
- Sabetta F. and A. Pugliese, (1996). Estimation of response spectra and simulation of non-stationary earthquake ground motions. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, pp. 337-352.
- Seed, H.-B. et Idriss, I.-M. (1970). Soil moduli and damping for dynamic response analysis. Report N°. FERC 70-10, UCB.
- Service sismologique Suisse, SED (2004). Seismic hazard assessment of Switzerland. <http://www.seismo.ethz.ch>

- SESAME (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations : measurements, processing and interpretation. Sesame European research project. http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Delivrables/Del-D23-HV_User_Guidelines.pdf
- Schnabel B., J. Lysmer and H.B. Seed (1972). SHAKE – a Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, Report EERC, 72-12.
- Vucetic M and R. Dobry (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 117, No. 1, pp. 89-107.

Annexe 1 : Rapport géologique (GéoVal Ingénieurs-Géologues SA)

**Microzonage sismique spectral de la région de Sion,
Secteur A – Sion agglomération,
Rapport géologique.**



Bleu: limite du Secteur A – Sion agglomération

Rouge : limite entre les roches meubles quaternaires de la plaine et les roches indurées des versants.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	3
1.1 Mandat	3
1.2 Buts du rapport	3
1.3 Travaux effectués	3
1.4 Documents consultés	4
2. GÉOLOGIE DU SECTEUR A – SION AGGLOMÉRATION	4
2.1 Coupes géologiques verticales prévisionnelles	4
2.1.1 Coupe Mont d’Orge	5
2.1.2 Coupe Sion Ouest.....	6
2.1.3 Coupe Sion Ville	6
2.1.4 Coupe Vissigen	6
2.1.5 Coupe Hôpital	6
2.2 Vitesses de cisaillement prévisionnelles des différents terrains	7
3. CONCLUSIONS	7

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Plan de situation des 5 coupes géologiques verticales prévisionnelles.
- Annexe 2 : Coupes géologiques verticales prévisionnelles : Mont d’Orge, Sion Ouest, Sion Ville, Vissigen, Hôpital.
- Annexe 3 : Vitesses de cisaillement prévisionnelles des différents terrains des 5 coupes géologiques prévisionnelles.

LISTE DES FIGURES

- Figure 1: Profil en long du contact roches meubles – roches indurées à l’axe de la plaine du Rhône (au maximum d’épaisseur de roches meubles).....*5

1. Introduction

1.1 Mandat

- Mandant : Etat du Valais, DTEE, Service des routes et des cours d'eau, Géologue cantonal.
- Contexte : Le présent rapport est intégré en tant qu'Annexe 1 dans le rapport de Résonance SA « Microzonage sismique spectral de la région de Sion, Secteur A – Sion agglomération ».
- Le présent rapport remplace et annule les rapports Tissières du 14 mars 2007 (coupe géologique de l'Hôpital, [7]) et du 27 juin 2008 (coupes géologiques de Sion-Ville et Mont d'Orge, [8]). Les éléments repris de ces rapports sont mentionnés.
- Coordonnées : X = 593'979 m, Y = 119 '823 m, Z sol = 490 m s/mer, commune de Sion.

1.2 Buts du rapport

Le but du rapport est de présenter la géologie présente dans la région de Sion, plus précisément dans le secteur A – Sion agglomération. L'accent est mis sur les matériaux meubles quaternaires de la plaine ainsi que sur la forme de leur contact avec le substratum de roches consolidées.

1.3 Travaux effectués

Les travaux effectués sont les suivants :

Au bureau :

- Recherche et compilation des données existantes, notamment rapports Tissières 2007-2008 [7 et 8] et informations des forages sur le cône de la Sionne,
- Reprise des coupes géologiques Hôpital [7] et Mont d'Orge [8] réalisées par Tissières (roches meubles) et Mario Sartori (roches consolidées et forme du contact *roches meubles – roches consolidées*),
- Réalisation des coupes géologiques de Sion-Ville, Sion Ouest et Vissigen, avec Mario Sartori pour la partie roches consolidées et forme du contact *roches meubles – roches consolidées*,
- Calcul des vitesses de cisaillement prévisionnelles des différents terrains, y c. coupes Hôpital et Mont d'Orge (modifié d'après [7] et [8]),
- Rédaction du présent rapport.

1.4 Documents consultés

- [1] Horwitz L. (1911), Contribution à l'étude des cônes de déjections dans la vallée du Rhône (entre le glacier du Rhône et le Léman). Thèse, Faculté des sciences de l'Université de Lausanne.
- [2] Finger Willi et Weidmann Marc (1987), Quelques données géologiques nouvelles sur la vallée du Rhône entre Sierre et le Léman. Bulletin Murithienne 105: pp. 27-40.
- [3] CRSFA (1992), Programme Géothermoval, recherche et mise en valeur des ressources géothermiques du Valais. Phase I, rapport final. Fascicule N°4 – Sion. Rapport CRSFA/92/06, 19 pages et 2 annexes, non publié.
- [4] Besson O. et al. (1993), Campagne de sismique-réflexion dans la vallée du Rhône entre Sion et St-Maurice : perspectives d'exploitation géothermique des dépôts torrentiels sous-glaciaires. Bulletin du CHYN n°12 : numéro spécial, circulations profondes et ressources géothermiques du Valais, Suisse, pp. 39-58.
- [5] Pfiffner et al. (1997), Incision and backfilling of Alpine valleys : Pliocene, Pléistocene and Holocene processes. Deep structure of the Swiss Alps, Results of PNR20, pp. 265-276.
- [6] Rosselli A. & Olivier R. (2003), Modélisation gravimétrique 2.5D et carte des isohypses au 1:100'000 du substratum rocheux de la vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig (Suisse). Eclogae geol. Helv. 96, pp. 399-423.
- [7] Tissières SA (14 mars 2007), Microzonage de Sion, chapitre géologique. (Coupe Hôpital). Mandat n°4.100.
- [8] Tissières SA (27 juin 2008), Microzonage de Sion, chapitre géologique. (Coupe Sion Ville et Mont d'Orge). Mandat n°4.100.

2. Géologie du secteur A – Sion agglomération

2.1 Coupes géologiques verticales prévisionnelles

La situation géographique des 5 coupes est présentée dans l'Annexe 1. Les coupes sont présentées dans l'Annexe 2.

Les coupes Mont d'Orge et Hôpital proviennent respectivement de [8] et [7]. Elles ont été réalisées par Tissières (roches meubles) et Mario Sartori (roches indurées). Toutes les autres coupes ont été réalisées par GéoVal (roches meubles) et Mario Sartori (roches indurées, feuille 1306 Sion, version quasi-finale). La coupe de Sion Ville, initialement réalisée par Tissières-Sartori [8], a été complètement refaite dans le présent rapport.

La répartition des roches meubles en profondeur est tirée de [6]. La précision sur ces dépôts, définis par géophysique (sismique réflexion), peut être qualifiée de faible. Le forage carotté le plus profond atteint seulement 50.8m (FR5 – Puits AEP Grand Champsec 2). La précision sur l'interface *roches meubles* – *roches indurées*, également définie par géophysique, est meilleure, sans supprimer toutefois toute incertitude.

La structure en U typique des auges glaciaires est visible sur toutes les coupes. Le profil en long du contact *roches meubles* – *roches indurées* montre une nette remontée aux profils Sion W et Sion Ville (Figure 1).

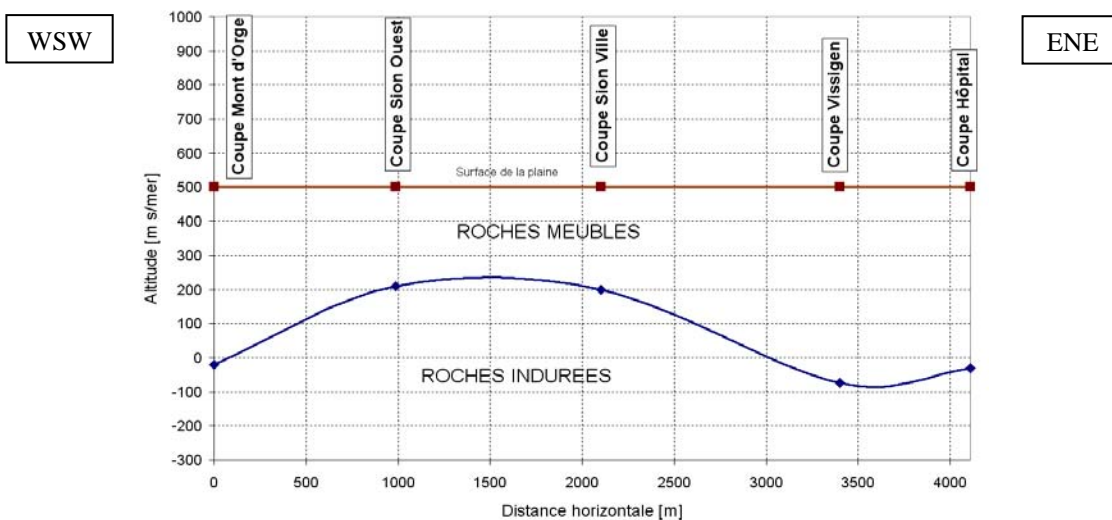


Figure 1: Profil en long du contact roches meubles – roches indurées à l'axe de la plaine du Rhône (au maximum d'épaisseur de roches meubles).

Les roches meubles sont composées de graviers, sables et limons avec parfois des pierres et des blocs. Les roches indurées sont détaillées dans les coupes mais ne sont pas discutées ci-dessous car toutes ces roches consolidées sont assimilées à une même vitesse de cisaillement (cf. chap. 2.2).

Les 5 coupes sont commentées ci-dessous d'Ouest en Est.

2.1.1 Coupe Mont d'Orge

Le contact entre les roches meubles et les roches indurées présente une morphologie en *U semi-ouvert* d'environ 500m d'épaisseur maximale au centre de la plaine (environ sous l'autoroute). La cote minimale des sédiments meubles y avoisine le niveau de la mer. Les bordures sud et nord des sédiments meubles laissent entrevoir des roches consolidées peu profondes (< 100m), respectivement sur environ 300m de plaine au sud du profil (environ sous le Rhône) et sur environ 200m au nord (W de la colline des Potences).

Sur la coupe générale, on trouve du bas vers le haut :

- dépôts torrentiels sous-glaciaires,
- dépôts morainiques indifférenciés,
- dépôts glacio-lacustres indifférenciés,
- alternance de d'alluvions grossières et de dépôts d'inondation du Rhône.

2.1.2 Coupe Sion Ouest

Le contact entre les roches meubles et les roches indurées présente une morphologie en *U ouvert* d'environ 300m d'épaisseur maximale au centre de la plaine (environ sous l'autoroute). La cote minimale des sédiments meubles y est proche de 200 m s/mer. La bordure nord des sédiments meubles laisse entrevoir des roches consolidées peu profondes (< 100m) sur environ 400m de plaine (environ sous le service cantonal des automobiles).

Sur la coupe générale, on trouve la même succession que sur la coupe Mont d'Orge, mais avec des épaisseurs moindres.

2.1.3 Coupe Sion Ville

Le contact entre les roches meubles et les roches indurées présente une morphologie en *U ouvert* d'environ 300m d'épaisseur maximale au centre de la plaine (environ sous la gare). La cote minimale des sédiments meubles y est proche de 200 m s/mer. La partie nord des sédiments meubles laisse entrevoir des roches consolidées peu profondes (< 100m) sur environ 900m de plaine. Il s'agit des matériaux du cône de déjection de la Sionne.

Sur la coupe générale, on trouve du bas vers le haut :

- dépôts torrentiels sous-glaciaires,
- dépôts morainiques indifférenciés,
- dépôts glacio-lacustres indifférenciés,
- alternance d'alluvions grossières et de dépôts d'inondation du Rhône (partie sud du profil), dépôts torrentiels et deltaïques de la Sionne (partie nord du profil).

2.1.4 Coupe Vissigen

Le contact entre les roches meubles et les roches indurées présente une morphologie en *U semi-ouvert* d'environ 550m d'épaisseur maximale au centre de la plaine (environ sous la route de Chippis). La cote minimale des sédiments meubles y est proche de -75 m s/mer, soit sous le niveau de la mer.

Sur la coupe générale, on trouve du bas vers le haut :

- dépôts torrentiels sous-glaciaires,
- dépôts morainiques indifférenciés,
- dépôts glacio-lacustres indifférenciés,
- alternance d'alluvions grossières et de dépôts d'inondation du Rhône (partie nord du profil), dépôts torrentiels et deltaïques de la Borgne (partie sud du profil).

2.1.5 Coupe Hôpital

Le contact entre les roches meubles et les roches indurées présente une morphologie en *U ouvert* d'environ 500m d'épaisseur maximale au centre de la plaine (environ sous l'Hôpital). La cote minimale des sédiments meubles y est proche du niveau de la mer.

Sur la coupe générale, on trouve du bas vers le haut :

- dépôts torrentiels sous-glaciaires,
- dépôts glacio-lacustres indifférenciés, y c. dépôts deltaïques et placages morainiques,
- alternance de dépôts deltaïques (Borgne) et de dépôts d'inondation du Rhône, dépôts fluviaux grossiers (zone sous le Rhône).

2.2 Vitesses de cisaillement prévisionnelles des différents terrains

Les vitesses de cisaillement prévisionnelles sont présentées dans l'Annexe 3. Elles sont extraites de [7] et [8] pour les coupes Hôpital et Mont d'Orge, avec des modifications mentionnées en caractères gras.

Les valeurs sont indiquées pour le maximum d'épaisseur du matériel quaternaire. Pour la coupe de Sion Ville, les vitesses sont également détaillées pour la vieille ville de Sion et ses alentours (roches indurées peu profondes).

Les vitesses de cisaillement prévisionnelles de toutes roches indurées ont été fixées à 2'200 m/s.

Les vitesses de cisaillement des roches meubles sont comprises entre 277 et 895 m/s.

3. Conclusions

La géologie présente une nette remontée de la profondeur des roches indurées aux profils de Sion W et Sion Ville. Le remplissage meuble quaternaire présente une succession (du bas vers le haut) de dépôts torrentiels sous-glaciaires, de dépôts morainiques indifférenciés, de dépôts glacio-lacustres indifférenciés et d'une alternance de d'alluvions grossières et de dépôts d'inondation du Rhône, avec parfois la présence des dépôts deltaïques des affluents latéraux (Sionne et Borgne).

Ces éléments, ainsi que la forme du contact 'roches meubles' – 'roches indurées', auront une influence sur la sismicité de la région.

Distribution :

- 1 exemplaire digital (.pdf) : Résonance SA, Carouge, Mme Corinne Lacave, pour intégration en tant qu'Annexe 1 dans le rapport « Microzonage sismique spectral de la région de Sion, Secteur A – Sion agglomération ».

Sion, le 28 juin 2011.

GéoVal Ingénieurs-Géologues SA
Géologie – Géotechnique – Hydrogéologie

Rey Jean-Marc
Géologue dipl. SIA & Hydrogéologue dipl. SSH



Saudan Corinne
Géologue dipl.

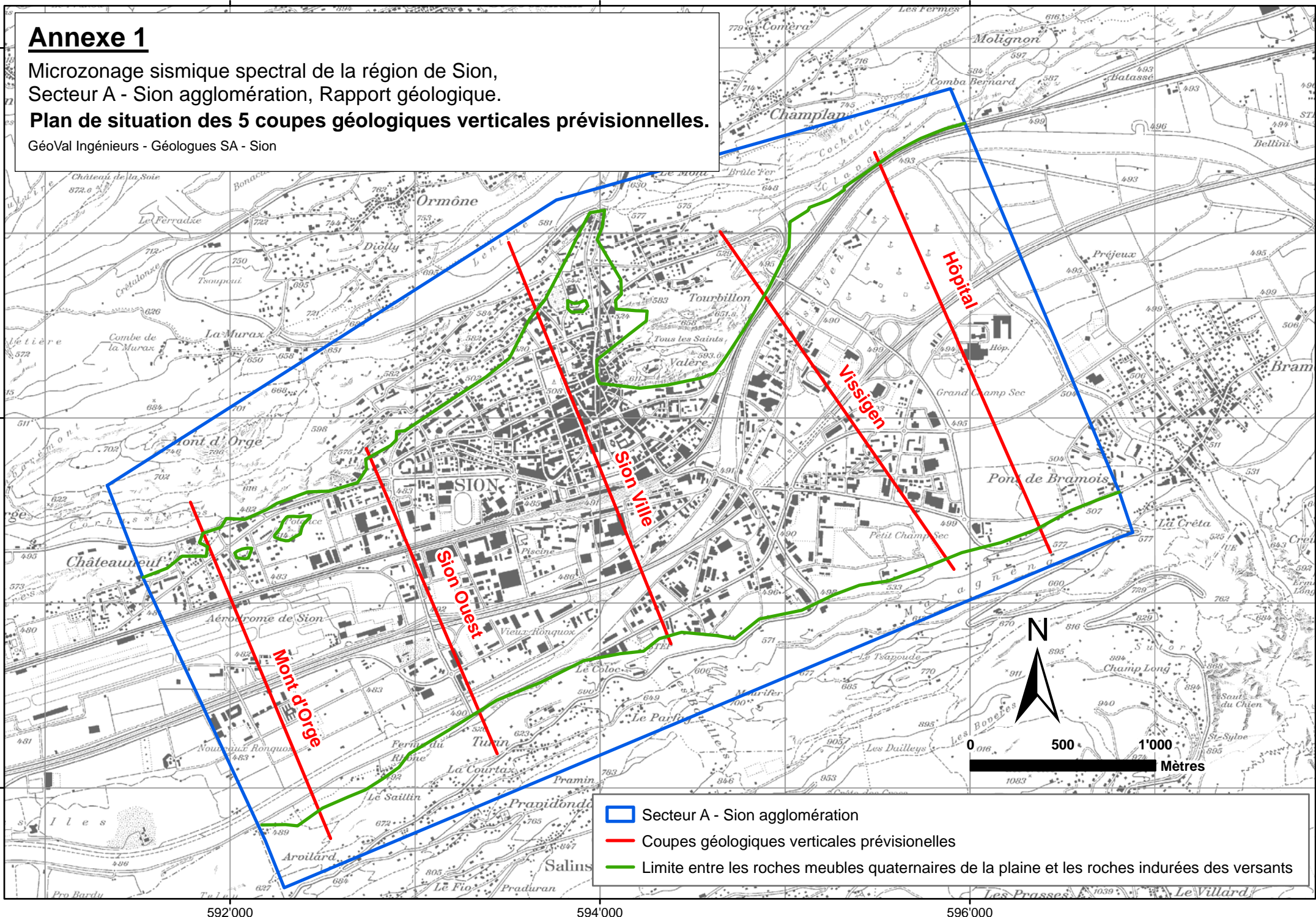


Annexe 1

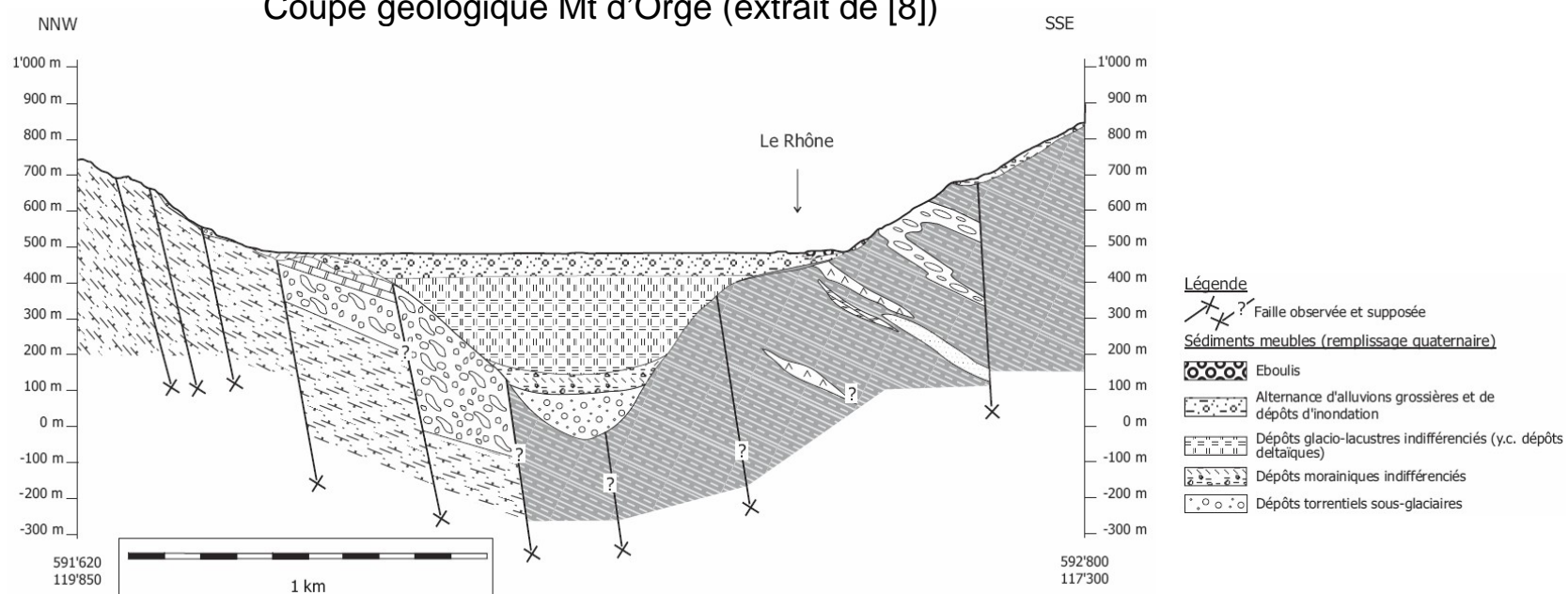
Microzonage sismique spectral de la région de Sion,
Secteur A - Sion agglomération, Rapport géologique.

Plan de situation des 5 coupes géologiques verticales prévisionnelles.

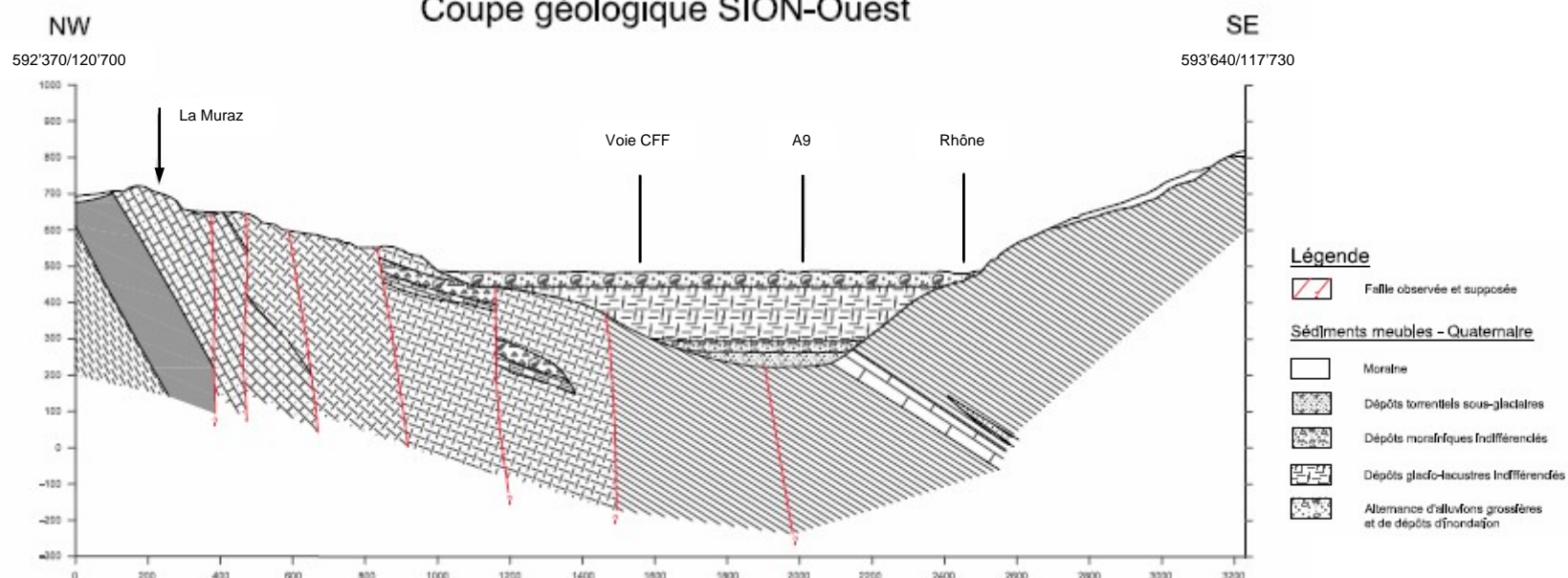
GéoVal Ingénieurs - Géologues SA - Sion



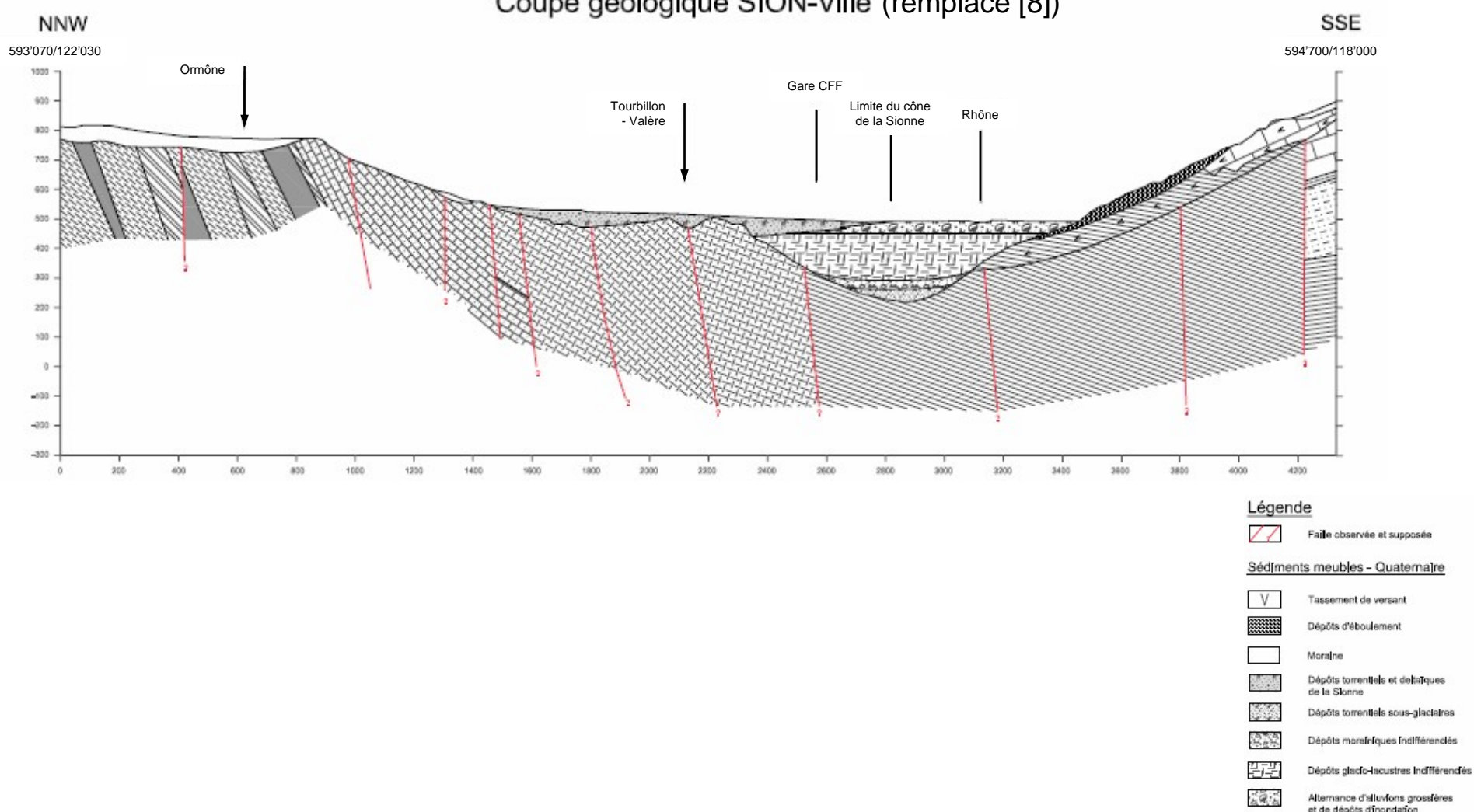
Coupe géologique Mt d'Orge (extrait de [8])

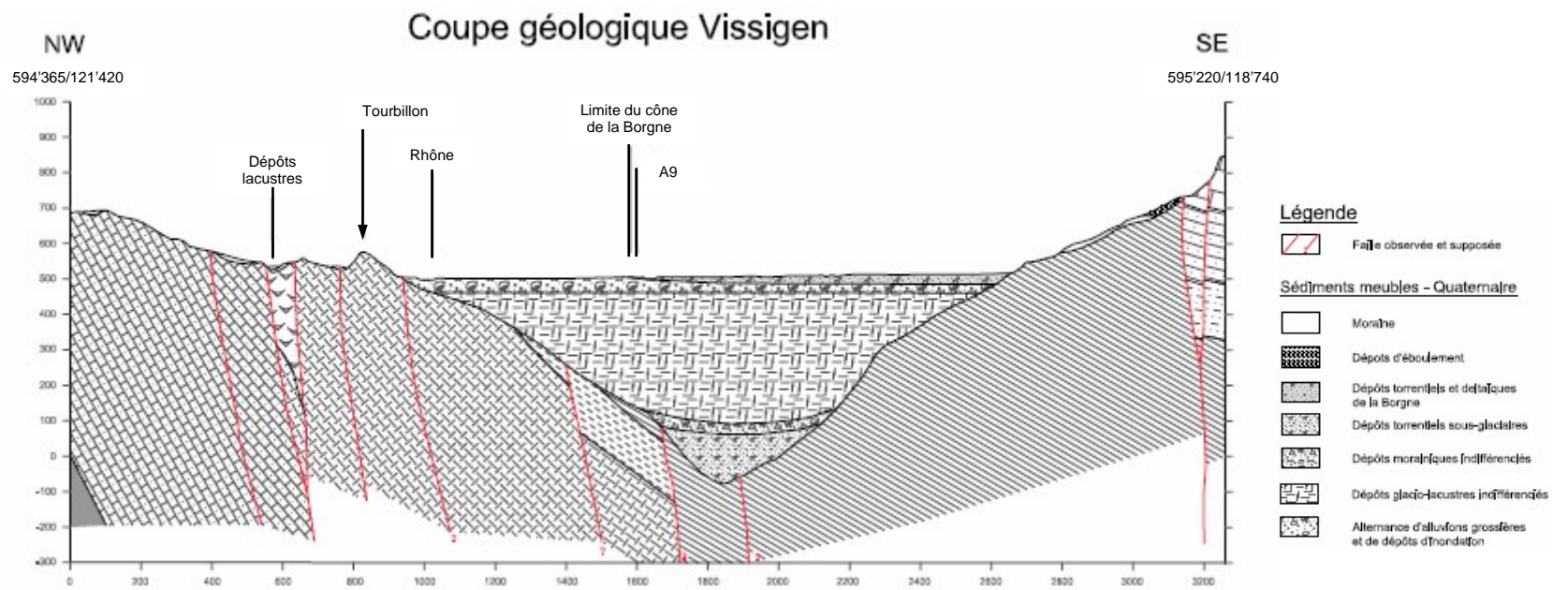


Coupe géologique SION-Ouest

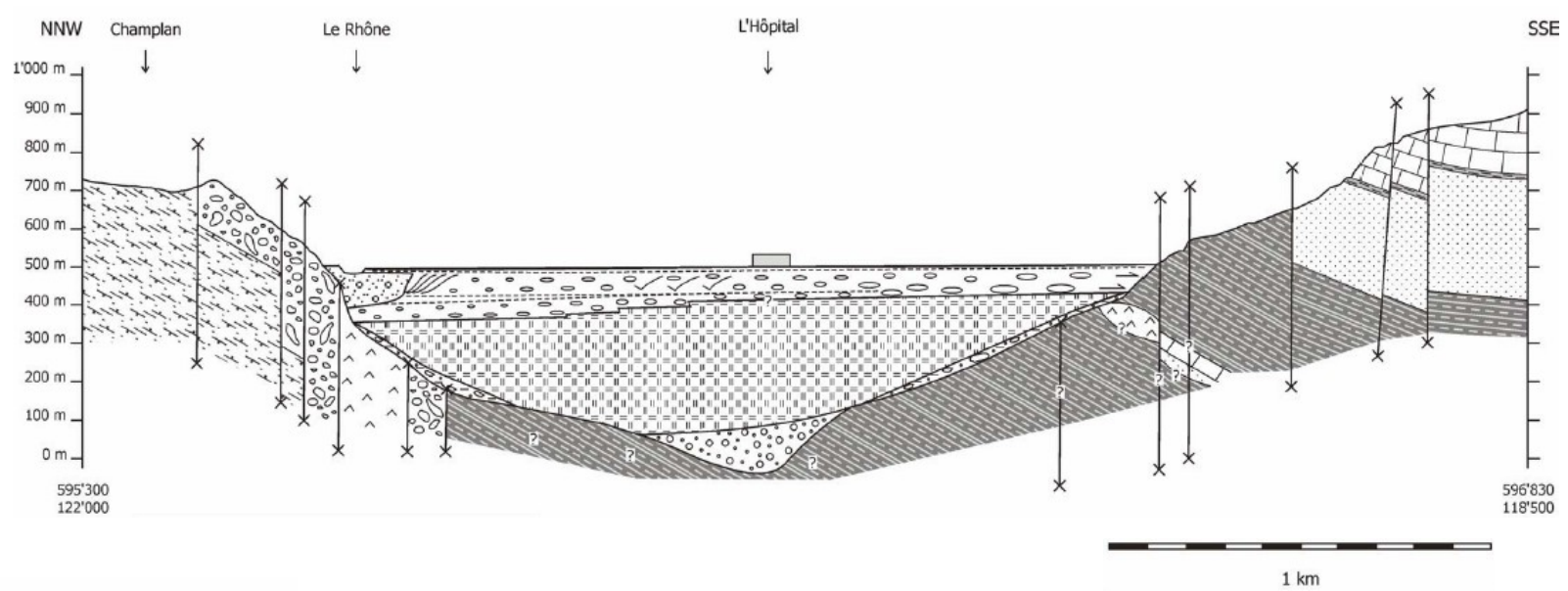


Coupe géologique SION-Ville (remplace [8])





Coupe géologique de l'Hôpital (extrait de [7])



Vitesses de cisaillement prévisionnelles des différents terrains

Coupe géologique verticale prévisionnelle Mont d'Orge

Tiré de [8] Tissières 2008, modifié (en gras)

Profondeur [m] z	Densité [t/m ³] ρ (rho)	ρ' [t/m ³] $\rho' = \rho - 1$	K2 (coefficient f (compacité))	Φ (phi) [°]	λ_0 (lambda) $1 - \sin \Phi$	g [m/s ²] $(1+2\lambda_0) / 3$	sigma σ_m' [kN/m ²] $((1+2\lambda_0) / 3) * z * g * \rho'$	G module de cisaillement [kN/m ²] $220 * K2 * (\sigma_m')^{1/2}$	Vs vitesse de cisaillement [m/s] racine carrée (G/ ρ)	
Sédiments meubles: dépôts torrentiels sous-glaciaires										
200	2.100	1.100	120	38	0.38	9.81	0.59	1'272	941'702	670
250	2.105	1.105						1'598	1'055'245	708
300	2.200	1.200						2'082	1'204'629	740
350	2.200	1.200						2'429	1'301'148	769
400	2.205	1.205						2'788	1'393'881	795
450	2.205	1.205						3'136	1'478'434	819
500	2.210	1.210						3'499	1'561'636	841
550	2.210	1.210						3'849	1'637'857	861
Sédiments meubles: dépôts morainiques (placage morainique et moraine de fond)										
100	2.100	1.100	140	35	0.43	9.81	0.62	666	795'135	615
150	2.100	1.100						1'000	973'837	681
200	2.150	1.150						1'394	1'149'763	731
250	2.150	1.150						1'742	1'285'474	773
300	2.200	1.200						2'181	1'438'453	809
350	2.200	1.200						2'545	1'553'707	840
400	2.220	1.220						2'957	1'674'767	869
450	2.220	1.220						3'326	1'776'358	895
Sédiments meubles: dépôts glacio-lacustres indifférenciés										
100	2.000	1.000	80	30	0.50	9.81	0.67	654	450'092	474
150	2.000	1.000						981	551'248	525
200	2.000	1.000						1'308	636'527	564
250	2.000	1.000						1'635	711'658	597
300	2.005	1.005						1'972	879'220	662
350	2.005	1.005						2'300	949'666	688
400	2.010	1.010						2'642	1'130'843	750
450	2.010	1.010						2'972	1'199'440	772
Sédiments meubles: alternance d'alluvions grossières et de dépôts d'inondation										
10	2.100	1.100	90	35	0.43	9.81	0.62	67	161'642	277
50	2.100	1.100	110					333	441'764	459
100	2.150	1.150	697					638'790	545	
Roches consolidées										
>260	2.6 - 2.7								2'200	

Vitesses de cisaillement prévisionnelles des différents terrains

Coupe géologique verticale prévisionnelle Sion Ouest

Valeurs pour le maximum d'épaisseur du matériel quaternaire (environ centre de la vallée)

Profondeur [m] z	Densité [t/m ³] ρ (rê)	ρ' [t/m ³] $\rho' = \rho - 1$	K2 (coefficient f (compacité))	Φ (phi) [°]	λ_o (lambda) $1 - \sin \Phi$	g [m/s ²] $(1+2\lambda_o) / 3$	sigma σ_m' [kN/m ²] $((1+2\lambda_o) / 3) * z * g * \rho'$	G module de cisaillement [kN/m ²] $220 * K2 * (\sigma_m')^{1/2}$	Vs vitesse de cisaillement [m/s] racine carrée (G/ ρ)
------------------------	---	--	--------------------------------------	---------------------	---	--	--	---	--

Dépôts fluviatiles grossiers et dépôts d'inondation (Rhône)

(profondeur limite supérieure = 0 m; épaisseur approximative = 40 m)

10	2.100	1.100	90	35	0.43	9.81	0.62	67	161'642	277
20	2.100	1.100						133	228'597	330
30	2.100	1.100						200	279'973	365
40	2.100	1.100	110				267	395'126	434	

Dépôts glacio-lacustres indifférenciés

(profondeur limite supérieure = 40 m; épaisseur approximative = 150 m)

40	2.000	1.000	80	30	0.50	9.81	0.67	262	284'663	377
50	2.000	1.000						327	318'263	399
60	2.000	1.000						392	348'640	418
80	2.000	1.000						523	402'575	449
100	2.100	1.100						719	472'061	474
150	2.100	1.100						1'079	578'154	525
190	2.100	1.100					1'367	650'691	557	

Dépôts morainiques (placage morainique et moraine de fond)

(profondeur limite supérieure = 190 m; épaisseur approximative = 30 m)

190	2.150	1.150	140	35	0.43	9.81	0.62	1'324	1'120'650	722
220	2.150	1.150						1'533	1'205'882	749

Dépôts torrentiels sous-glaciaires

(profondeur limite supérieure = 220 m; épaisseur approximative = 40 m)

220	2.200	1.200	120	38	0.38	9.81	0.59	1'527	1'031'583	685
260	2.205	1.205						1'812	1'123'783	714

Roches consolidées

>260	2.6 - 2.7									2'200
------	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	-------

Vitesses de cisaillement prévisionnelles des différents terrains

Coupe géologique verticale prévisionnelle Sion-Ville

Remplace [8] Tissières 2008

Profondeur [m] z	Densité [t/m ³] ρ (rhô)	ρ' [t/m ³] $\rho' = \rho - 1$	K2 (coefficient f (compacité))	Φ (phi) [°]	λ_o (lambda) $1 - \sin \Phi$	g [m/s ²] $(1+2\lambda_o)/3$	sigma σ_m' [kN/m ²] $((1+2\lambda_o)/3)*z*g*\rho'$	G module de cisaillement [kN/m ²] $220*K2*(\sigma_m')^{1/2}$	Vs vitesse de cisaillement [m/s] racine carrée (G/ ρ)
------------------------	--	--	--------------------------------------	---------------------	---	--	--	---	--

Valeurs pour le maximum d'épaisseur du matériel quaternaire (environ centre de la vallée)

Dépôts fluviatiles grossiers et dépôts d'inondation (Rhône) (profondeur limite supérieure = 0 m; épaisseur approximative = 40 m)										
10	2.100	1.100	90	35	0.43	9.81	0.62	67	161'642	277
20	2.100	1.100						133	228'597	330
30	2.100	1.100						200	279'973	365
40	2.100	1.100	110				0.33	267	395'126	434
Dépôts glacio-lacustres indifférenciés (profondeur limite supérieure = 40 m; épaisseur approximative = 150 m)										
40	2.000	1.000	80	30	0.50	9.81	0.67	262	284'663	377
50	2.000	1.000						327	318'263	399
60	2.000	1.000						392	348'640	418
80	2.000	1.000						523	402'575	449
100	2.100	1.100						719	472'061	474
150	2.100	1.100						1'079	578'154	525
190	2.100	1.100	1'367	650'691	557					
Dépôts morainiques (placage morainique et moraine de fond) (profondeur limite supérieure = 190 m; épaisseur approximative = 30 m)										
190	2.150	1.150	140	35	0.43	9.81	0.62	1'324	1'120'650	722
220	2.150	1.150						1'533	1'205'882	749
Dépôts torrentiels sous-glaciaires (profondeur limite supérieure = 220 m; épaisseur approximative = 50 m)										
220	2.200	1.200	120	38	0.38	9.81	0.59	1'527	1'031'583	685
270	2.205	1.205						1'882	1'145'190	721
Roches consolidées										
>270	2.6 - 2.7									2'200

Valeurs pour la vieille ville de Sion et alentours

Dépôts torrentiels et deltaïques de la Sionne (profondeur limite supérieure = 0 m; épaisseur approximative = 80 m)										
10	2.000	1.000	90	33	0.46	9.81	0.64	62	156'508	280
20	2.000	1.000						125	221'336	333
30	2.005	1.005						188	271'757	368
40	2.005	1.005	110					251	383'531	437
50	2.100	1.100						344	448'610	462
60	2.100	1.100						412	491'428	484
80	2.150	1.150						575	580'206	519
Roches consolidées										
>80	2.6 - 2.7									2'200

Vitesses de cisaillement prévisionnelles des différents terrains

Coupe géologique verticale prévisionnelle Vissigen

Valeurs pour le maximum d'épaisseur du matériel quaternaire (environ centre de la vallée)

Profondeur [m] z	Densité [t/m ³] ρ (rho)	ρ' [t/m ³] $\rho' = \rho - 1$	K2 (coefficient f (compacité))	Φ (phi) [°]	λ_o (lambda) $1 - \sin \Phi$	g [m/s ²] $(1+2\lambda_o) / 3$	sigma σ_m' [kN/m ²] $((1+ 2 \lambda_o) / 3) * z * g * \rho'$	G module de cisaillement [kN/m ²] $220 * K2 * (\sigma_m')^{1/2}$	Vs vitesse de cisaillement [m/s] racine carrée (G/ ρ)
------------------------	--	--	--------------------------------------	---------------------	---	--	--	---	--

Dépôts fluviatiles grossiers et dépôts d'inondation (Borgne)

(profondeur limite supérieure = 0 m; épaisseur approximative = 15 m)

10	2.100	1.100	90	35	0.43	9.81	0.62	67	161'642	277
15	2.100	1.100						100	197'971	307

Dépôts fluviatiles grossiers et dépôts d'inondation (Rhône)

(profondeur limite supérieure = 15 m; épaisseur approximative = 35 m)

15	2.000	1.000	90	35	0.43	9.81	0.62	91	188'758	307
30	2.000	1.000						182	266'944	365
40	2.100	1.100	110	35	0.43	9.81	0.62	267	395'126	434
50	2.100	1.100						333	441'764	459

Dépôts glacio-lacustres indifférenciés

(profondeur limite supérieure = 50 m; épaisseur approximative = 360 m)

50	2.000	1.000	80	30	0.50	9.81	0.67	327	318'263	399
60	2.000	1.000						392	348'640	418
80	2.000	1.000						523	402'575	449
100	2.100	1.100						719	472'061	474
150	2.100	1.100						1'079	578'154	525
200	2.100	1.100						1'439	667'595	564
250	2.105	1.105						1'807	748'088	596
300	2.105	1.105						2'168	819'489	624
350	2.105	1.105						2'529	885'150	648
400	2.105	1.105						2'891	946'265	670
410	2.105	1.105						2'963	958'020	675

Dépôts morainiques (placage morainique et moraine de fond)

(profondeur limite supérieure = 410 m; épaisseur approximative = 30 m)

410	2.200	1.200	140	35	0.43	9.81	0.62	2'981	1'681'616	874
440	2.220	1.220						3'252	1'756'510	890

Dépôts torrentiels sous-glaciaires

(profondeur limite supérieure = 440 m; épaisseur approximative = 140 m)

440	2.205	1.205	120	38	0.38	9.81	0.59	3'066	1'461'914	814
490	2.210	1.210						3'429	1'545'941	836
540	2.210	1.210						3'779	1'622'900	857
580	2.215	1.215						4'076	1'685'405	872

Roches consolidées

>580	2.6 - 2.7									2'200
------	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	-------

Vitesses de cisaillement prévisionnelles des différents terrains

Coupe géologique verticale prévisionnelle Hôpital

Tiré de [7] Tissières 2007, modifié (en gras)

Profondeur [m] z	Densité [t/m ³] ρ (rho)	ρ' [t/m ³] $\rho' = \rho - 1$	K2 (coefficient f (compacité))	Φ (phi) [°]	λ_0 (lambda) $1 - \sin \Phi$	g [m/s ²] $(1+2\lambda_0) / 3$	sigma σ_m' [kN/m ²] $((1+2\lambda_0) / 3) * z * g * \rho'$	G module de cisaillement [kN/m ²] $220 * K2 * (\sigma_m')^{1/2}$	Vs vitesse de cisaillement [m/s] racine carrée (G/ ρ)	
Sédiments meubles: dépôts torrentiels sous-glaciaire										
300	2.200	1.200	120	38	0.38	9.81	0.59	2'082	1'204'629	740
350	2.200	1.200						2'429	1'301'148	769
400	2.205	1.205						2'788	1'393'881	795
450	2.205	1.205						3'136	1'478'434	819
500	2.210	1.210						3'499	1'561'636	841
550	2.210	1.210						3'849	1'637'857	861
Sédiments meubles: dépôts morainiques (placage morainique et moraine de fond)										
100	2.100	1.100	140	35	0.43	9.81	0.62	666	795'135	615
150	2.100	1.100						1'000	973'837	681
200	2.150	1.150						1'394	1'149'763	731
250	2.150	1.150						1'742	1'285'474	773
300	2.200	1.200						2'181	1'438'453	809
350	2.200	1.200						2'545	1'553'707	840
400	2.200	1.200						2'908	1'660'982	869
450	2.200	1.200						3'272	1'761'738	895
Sédiments meubles: dépôts glacio-lacustres indifférenciés										
100	2.000	1.000	80	30	0.50	9.81	0.67	654	450'092	474
150	2.000	1.000						981	551'248	525
200	2.000	1.000						1'308	636'527	564
250	2.000	1.000						1'635	711'658	597
300	2.005	1.005						1'972	879'220	662
350	2.005	1.005						2'300	949'666	688
400	2.010	1.010	100	30	0.50	9.81	0.67	2'642	1'130'843	750
450	2.010	1.010						2'972	1'199'440	772
Sédiments meubles: alternance de dépôts deltaïques et d'inondation										
10	2.100	1.100	80	33	0.46	9.81	0.64	69	145'909	264
50	2.100	1.100						344	326'262	394
100	2.100	1.100						687	461'404	469
150	2.150	1.150						1'078	577'803	518
200	2.150	1.150						1'437	667'190	557
250	2.200	1.200						1'874	761'984	589
300	2.200	1.200						2'249	834'712	616
Sédiments meubles: dépôts fluviaux grossiers (Rhône)										
10	2.100	1.100	90	35	0.43	9.81	0.62	67	161'642	277
50	2.100	1.100						333	361'443	415
100	2.100	1.100						666	511'158	493
150	2.100	1.100						1'000	626'038	546
200	2.100	1.100						1'333	722'887	587
Roches consolidées (Carbonifère de la zone houillère)										
div	2.6 - 2.7								2'200	

Annexe 2 : Rapport de mesures MASW (Geo2X Sàrl Geophysics & Geology)

Résonance Ingénieurs-Conseils SA

C. P. 1571
21 rue Jacques-Grosselin
CH - 1227 CAROUGE

**Microzonage sismique de la région de Sion (Valais):
Enregistrement de profils sismiques
pour l'étude des ondes de surface**



Avril 2007

Geo2X Sàrl *Geophysic & Geology*.

Rue du Centre, 6

CH-1377 Oulens

Switzerland

Fax ++41 21 881 48 00

Tél . ++41 76 383 75 72

<http://www.geo2x.com>

Sommaire

<u>1</u>	<u>INTRODUCTION</u>	<u>2</u>
<u>2</u>	<u>LOCALISATION.....</u>	<u>3</u>
2.1	PROFIL 1 SION-OUEST	4
2.2	PROFIL 2 BRAMOIS.....	5
<u>3</u>	<u>PROFIL 1 SION-OUEST.....</u>	<u>6</u>
<u>4</u>	<u>PROFIL 2 BRAMOIS.....</u>	<u>8</u>
<u>5</u>	<u>CONCLUSIONS.....</u>	<u>10</u>
<u>6</u>	<u>CONTENU DU CD-ROM.....</u>	<u>11</u>
<u>7</u>	<u>IMAGES DE TERRAIN</u>	<u>3</u>

Liste des figures

Figure 1	Situation générale des zones d'étude	3
Figure 2	Situation du profil Sion-aval	4
Figure 3	Situation du profil Bramois	5
Figure 4	Tir Sion –Aval	6
Figure 5	Spectre de fréquence et FK.....	7
Figure 6	Tir Bramois	8
Figure 7	Spectre de fréquence et FK.....	9
Figure 8	Situation du profil Sion amont.....	1
Figure 9	Situation du profil Bramois	2
Figure 10	Percement des trous pour lacer les charges explosive.....	3
Figure 11	Mise en place du matériel.....	3

1 INTRODUCTION

Le 24 Avril 2007, le bureau **Geo2.I** a réalisé deux profils de sismique pour l'acquisition des ondes de surface pour la microzonation sismique de la région pour le compte de la société **Résonance Ingénieurs conseils** de Genève. Les enregistrements ont les caractéristiques suivantes :

- Enregistreur Geometrics StrataView 48 canaux
- 48 géophones *Sensor* neuf de 4.5 Hz
- 2 câbles sismiques de 24 géophones
- Source explosif 200 gr
- Durée d'écoute 2 sec.
- Echantillonnage 0.250 ms
- Espacement des géophones 4 mètres
- Distance entre tir et géophone 1= 40 m et 36 m

Les deux profils ont été enregistré à proximité de la ville de Sion (Valais). Les enregistrements ont été réalisés sur les emplacements indiqués par Mme Elisabeth Carrupt-Steiner du **Bureau d'ingénieurs et géologues Tissières SA**.

Cette dernière s'est également occupée du permittage et de réunir toutes les informations sur les obstacles sous-terrains (Câbles, téléphone, eau)

2 LOCALISATION

Les deux sites sont placés de part et d'autre de la ville de Sion.

- Le profil aval est parallèle au Rhône, dans la région dite les « Iles ». Il est caractéristique d'un substratum de remplissage de la vallée du Rhône.
- Le site amont se situe dans les vergers, a proximité de Bramois. Il est représentatif d'un substratum de cône de déjection.

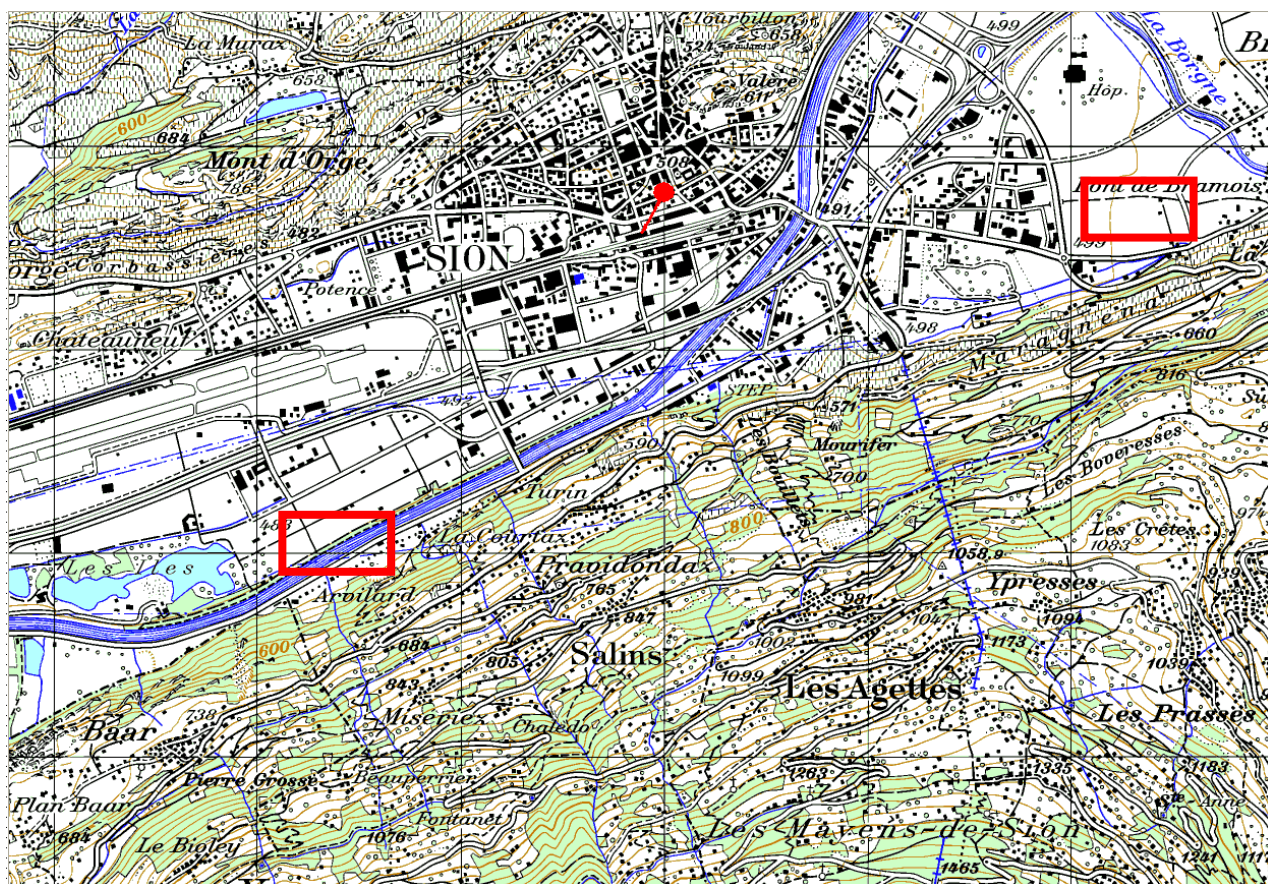


Figure 1 Situation générale des zones d'étude

2.1 PROFIL 1 SION-QUEST

Ce profil se situe parallèlement au Rhône, immédiatement en amont du lieux-dit les Iles. Le profil longe la bande boisée bordant les rives du Rhône, le tir a été fait à 10 mètres du chemin de pierre.



Figure 2 Situation du profil Sion-aval

2.2 PROFIL 2 BRAMOIS

Ce profil a été enregistré le long du chemin du Lièvre au milieu des verger. Le tir était placé en bordure du verger, à l'Est, du côté du nouveau lotissement. Le propriétaire des lieux, M. Bernard Varone a assisté au tir et a pu constater l'absence totale de dégât.

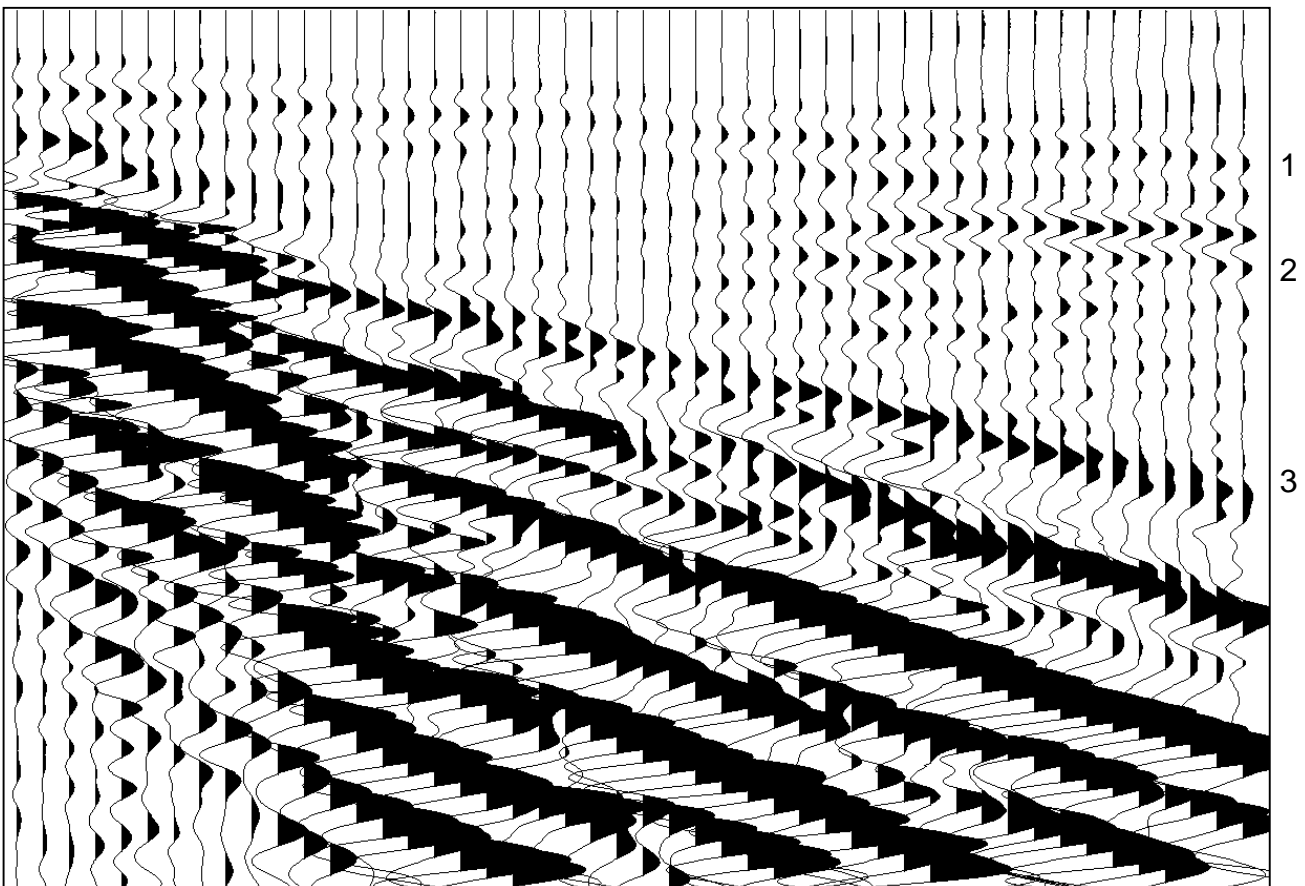


Figure 3 Situation du profil Bramois

3 PROFIL 1 SION-OUEST

- Nombre de tir : 2
- Distance entre géophone 4 m
- Distance du tir au premier géophone 40 m
- Echantillonnage 0.250 ms
- Temps d'écoute : 1024 ms

Ce tir montre une onde réfractée de 1950 m/s. En profondeur, à 230 ms, une très belle hyperbole de réflexion s'observe. Elle pourrait correspondre au sommet du substratum rocheux qui serait à 250 m de profondeur.



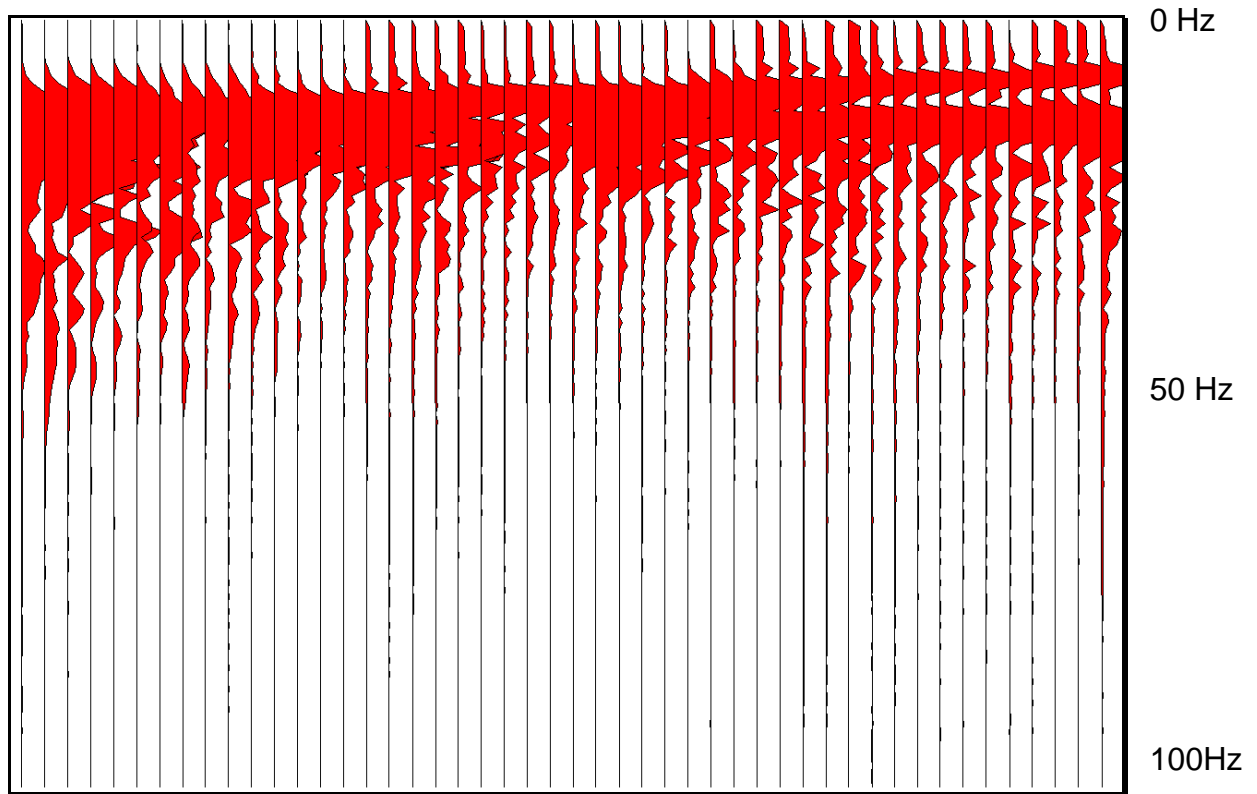
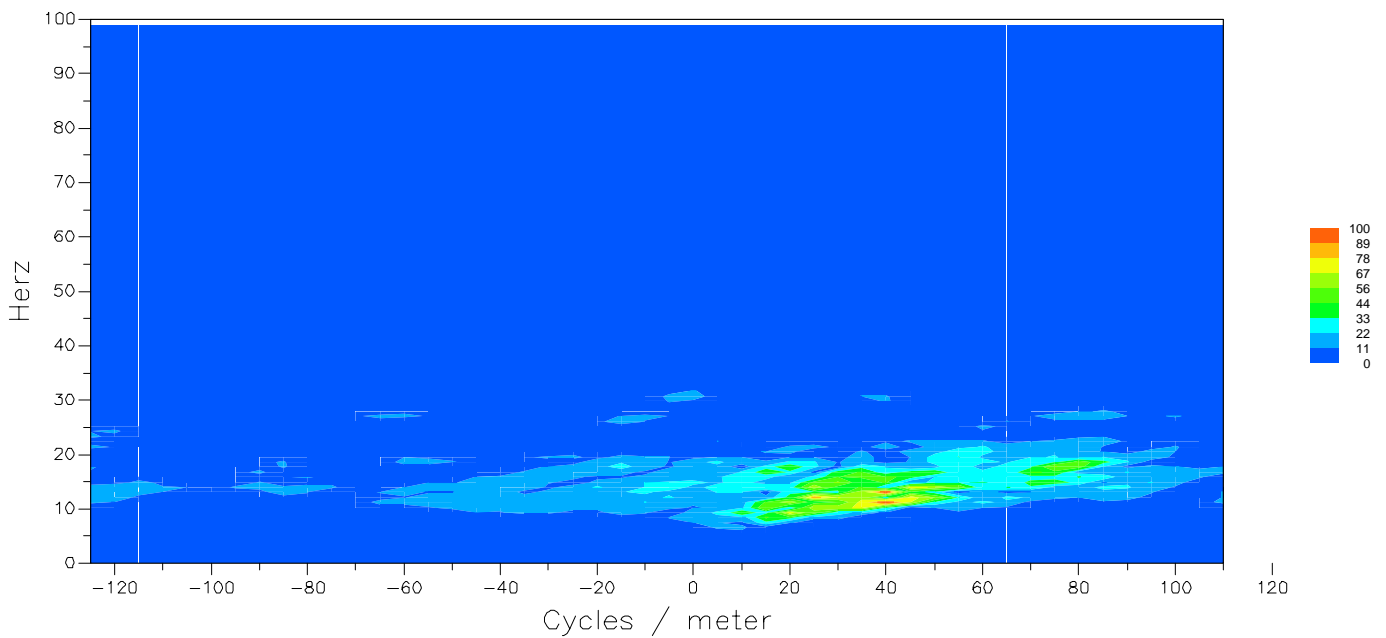


Figure 5 Spectre de fréquence et FK

FK Spectrum



4 PROFIL 2 BRAMOIS

- Nombre de tir : 2
- Distance entre géophones 4 m
- Distance du tir au premier géophone 36 m (Raisons pratiques)
- Echantillonnage 0.250 ms
- Temps d'écoute : 1024 ms

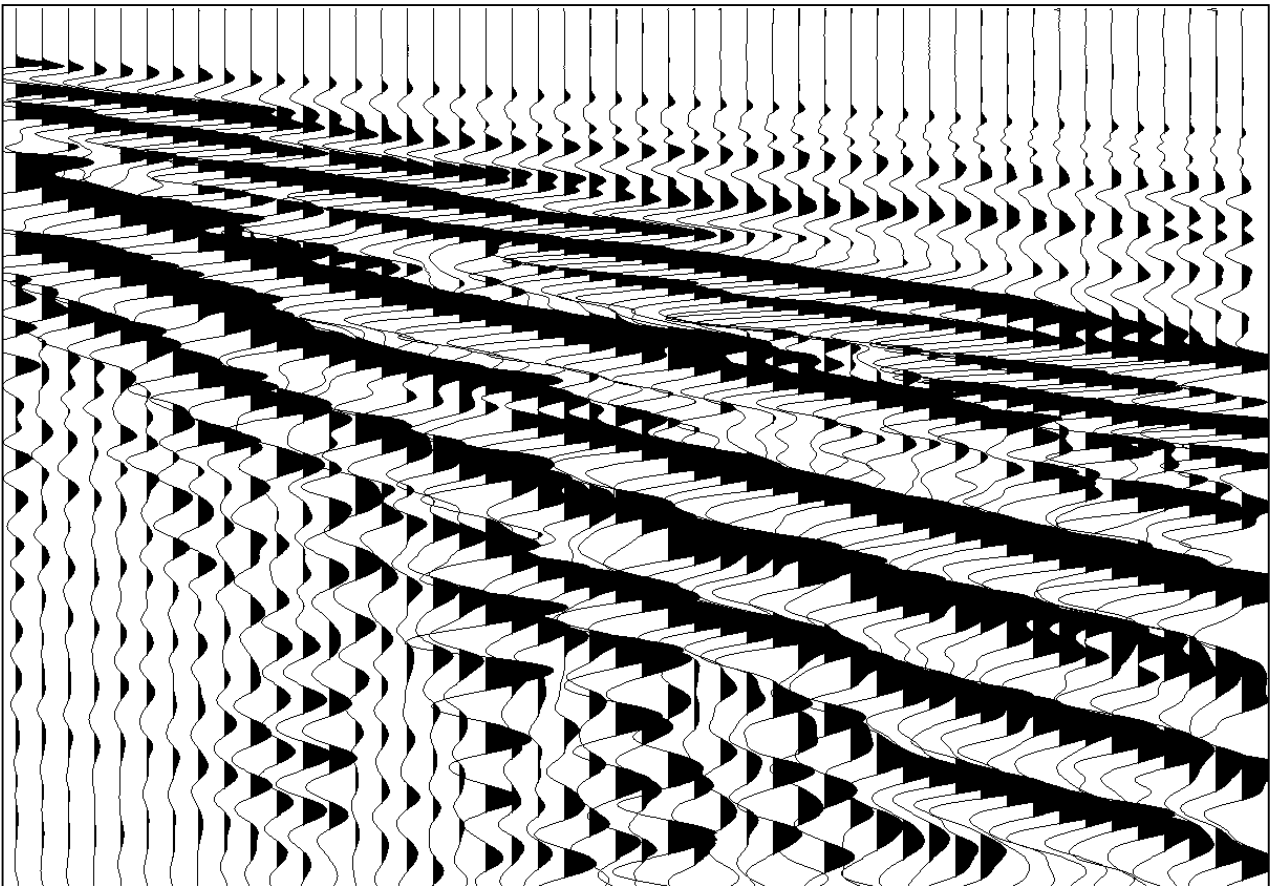


Figure 6 Tir Bramois

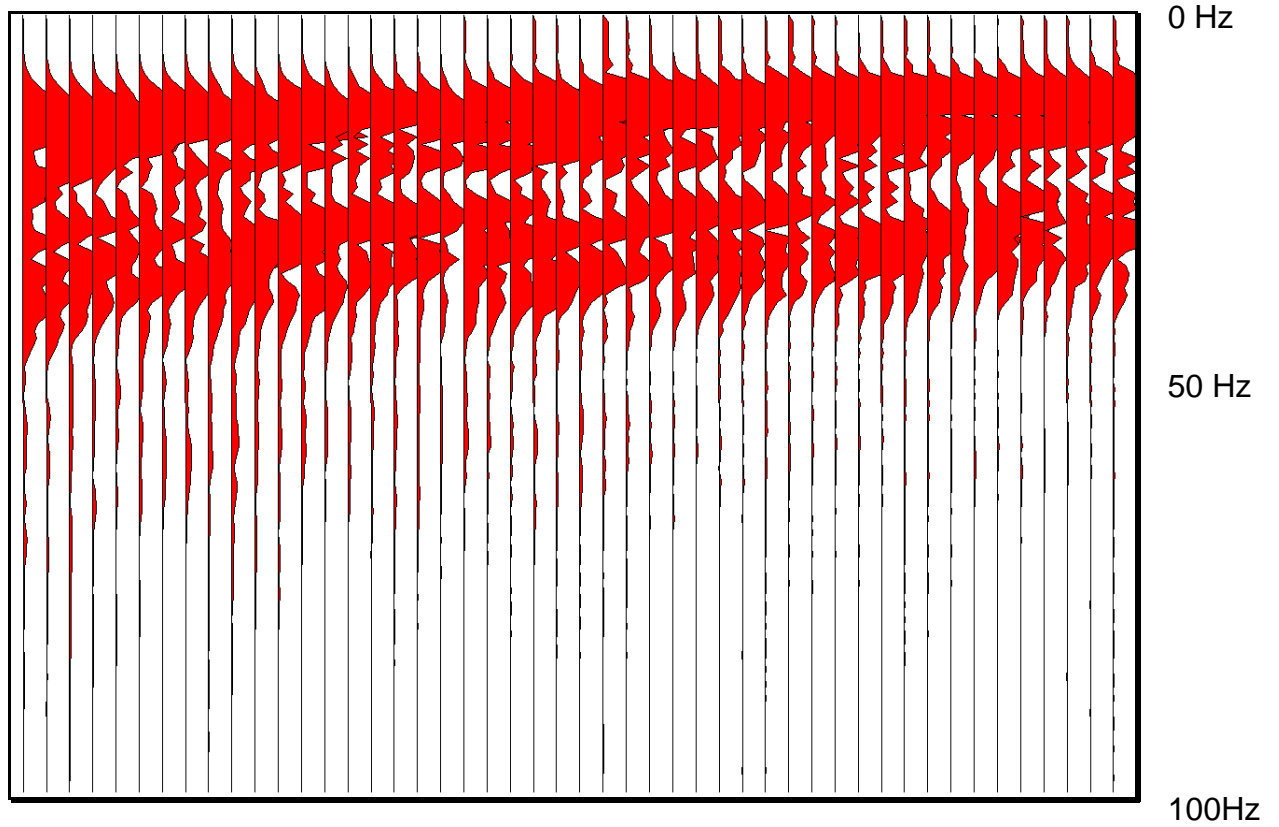
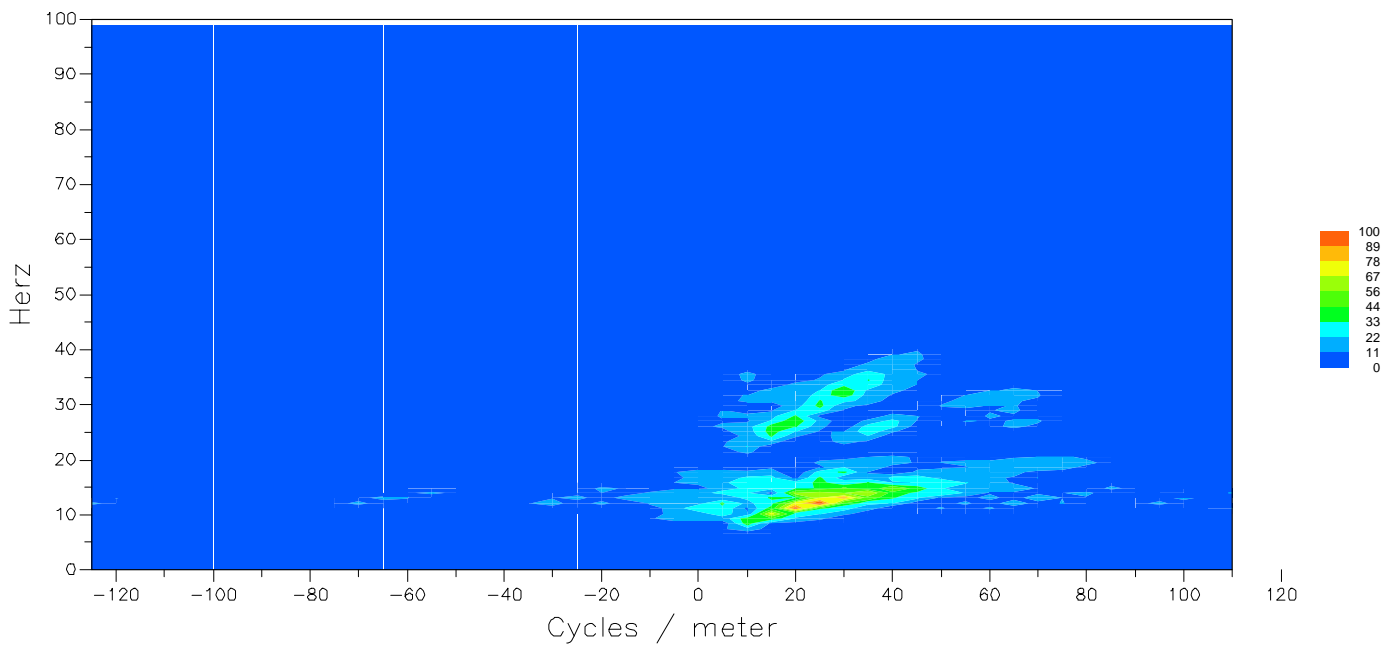


Figure 7 Spectre de fréquence et FK

FK Spectrum



5 CONCLUSIONS

Les enregistrements sont de très bonne qualité sur les deux sites. Chaque tir comportait 200 grammes de Gamsite C placés dans des trous de 1.80 m forés dans le sol. Aucun dégât n'a été observé en surface, le bruit insignifiant.

Deux tirs ont été réalisés sur chacun des deux sites, ces deux tirs ont été ensuite additionnés pour améliorer le rapport signal / bruit.

Toutes les données sont fournies dans un CD-ROM sous forme :

- Fichiers de terrain au format SEG2
- Fichiers au format SEISMIC UNIX additionnés
- Fichiers ASCII des tous les canaux
- 48 Fichiers ASCII pour chaque canal

GEO2X Sàrl
J. Jenny Jm. Frautschi
60 Avenue de Gennevex
CH-1237 Avully/Geneva



Genève, le jeudi 26 avril 2007

Jacques JENNY

6 CONTENU DU CD-ROM

Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA

```

25.04.2007 14:51 <REP> .
25.04.2007 14:51 <REP> ..
25.04.2007 11:48 <REP> Amont
25.04.2007 11:42 <REP> Aval
25.04.2007 14:50 <REP> Rapport
25.04.2007 14:51 0 txt.txt
1 fichier(s) 0 octets

```

Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Amont

```

25.04.2007 11:48 <REP> .
25.04.2007 11:48 <REP> ..
25.04.2007 11:45 <REP> ASCII
25.04.2007 14:51 <REP> BMP
25.04.2007 11:41 <REP> SEG2
25.04.2007 14:51 <REP> SU
0 fichier(s) 0 octets

```

Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Amont\ASCII

```

25.04.2007 11:45 <REP> .
25.04.2007 11:45 <REP> ..
25.04.2007 11:43 67'582 amont_48.01
25.04.2007 11:43 67'602 amont_48.02
25.04.2007 11:43 67'604 amont_48.03
25.04.2007 11:43 67'671 amont_48.04
25.04.2007 11:43 67'745 amont_48.05
25.04.2007 11:43 67'590 amont_48.06
25.04.2007 11:43 67'610 amont_48.07
25.04.2007 11:43 67'731 amont_48.08
25.04.2007 11:43 67'563 amont_48.09
25.04.2007 11:43 67'578 amont_48.10
25.04.2007 11:43 67'694 amont_48.11
25.04.2007 11:43 67'597 amont_48.12
25.04.2007 11:43 67'507 amont_48.13
25.04.2007 11:43 67'581 amont_48.14
25.04.2007 11:43 67'564 amont_48.15
25.04.2007 11:43 67'593 amont_48.16
25.04.2007 11:43 67'599 amont_48.17
25.04.2007 11:43 67'576 amont_48.18
25.04.2007 11:43 67'523 amont_48.19
25.04.2007 11:43 67'633 amont_48.20
25.04.2007 11:43 67'537 amont_48.21
25.04.2007 11:43 67'526 amont_48.22
25.04.2007 11:43 67'458 amont_48.23
25.04.2007 11:43 67'548 amont_48.24
25.04.2007 11:43 67'622 amont_48.25
25.04.2007 11:43 67'580 amont_48.26
25.04.2007 11:43 67'482 amont_48.27
25.04.2007 11:43 67'548 amont_48.28
25.04.2007 11:43 67'585 amont_48.29
25.04.2007 11:43 67'663 amont_48.30
25.04.2007 11:43 67'656 amont_48.31
25.04.2007 11:43 67'670 amont_48.32
25.04.2007 11:43 67'733 amont_48.33
25.04.2007 11:43 67'740 amont_48.34
25.04.2007 11:43 67'642 amont_48.35
25.04.2007 11:43 67'775 amont_48.36
25.04.2007 11:43 67'643 amont_48.37
25.04.2007 11:43 67'694 amont_48.38
25.04.2007 11:43 67'561 amont_48.39
25.04.2007 11:43 67'531 amont_48.40
25.04.2007 11:43 67'579 amont_48.41
25.04.2007 11:43 67'638 amont_48.42
25.04.2007 11:43 67'555 amont_48.43
25.04.2007 11:43 67'602 amont_48.44
25.04.2007 11:43 67'553 amont_48.45
25.04.2007 11:43 67'514 amont_48.46
25.04.2007 11:43 67'381 amont_48.47
25.04.2007 11:43 67'549 amont_48.48
25.04.2007 11:43 3'056'292 amont_48.txt
49 fichier(s) 6'301'000 octets

```

Sion_Ondes_S_2007.doc

Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Amont\BMP

```

25.04.2007 14:51 <REP> .
25.04.2007 14:51 <REP> ..
25.04.2007 11:47 3'037'234 amont_48.bmp
25.04.2007 14:11 502'494 amont_48_FK.wmf
25.04.2007 14:18 3'037'234 amont_48_frq.bmp
25.04.2007 14:11 1'204'818 amont_48_hz.wmf
4 fichier(s) 7'781'780 octets

```

Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Amont\SEG2

```

25.04.2007 11:41 <REP> .
25.04.2007 11:41 <REP> ..
24.04.2007 02:20 801'856 1002.DAT
24.04.2007 02:32 801'856 1003.DAT
2 fichier(s) 1'603'712 octets

```

Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Amont\SU

```

25.04.2007 14:51 <REP> .
25.04.2007 14:51 <REP> ..
25.04.2007 11:31 1'595'904 amont.su
25.04.2007 14:10 797'952 amont_48.su
2 fichier(s) 2'393'856 octets

```

Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Aval

```

25.04.2007 11:42 <REP> .
25.04.2007 11:42 <REP> ..
25.04.2007 11:45 <REP> ASCII
25.04.2007 14:50 <REP> BMP
25.04.2007 11:40 <REP> SEG2
25.04.2007 14:50 <REP> SU
0 fichier(s) 0 octets

```

Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Aval\ASCII

```

25.04.2007 11:45 <REP> .
25.04.2007 11:45 <REP> ..
25.04.2007 11:44 67'542 aval_48.01
25.04.2007 11:44 67'632 aval_48.02
25.04.2007 11:44 67'544 aval_48.03
25.04.2007 11:44 67'476 aval_48.04
25.04.2007 11:44 67'427 aval_48.05
25.04.2007 11:44 67'423 aval_48.06
25.04.2007 11:44 67'628 aval_48.07
25.04.2007 11:44 67'419 aval_48.08
25.04.2007 11:44 67'390 aval_48.09
25.04.2007 11:44 67'450 aval_48.10
25.04.2007 11:44 67'473 aval_48.11
25.04.2007 11:44 67'541 aval_48.12
25.04.2007 11:44 67'511 aval_48.13
25.04.2007 11:44 67'514 aval_48.14
25.04.2007 11:44 67'564 aval_48.15
25.04.2007 11:44 67'661 aval_48.16
25.04.2007 11:44 67'672 aval_48.17
25.04.2007 11:44 67'779 aval_48.18
25.04.2007 11:44 67'659 aval_48.19
25.04.2007 11:44 67'524 aval_48.20
25.04.2007 11:44 67'652 aval_48.21
25.04.2007 11:44 67'709 aval_48.22
25.04.2007 11:44 67'787 aval_48.23
25.04.2007 11:44 67'670 aval_48.24
25.04.2007 11:44 67'662 aval_48.25
25.04.2007 11:44 67'580 aval_48.26
25.04.2007 11:44 67'520 aval_48.27
25.04.2007 11:44 67'481 aval_48.28
25.04.2007 11:44 67'502 aval_48.29
25.04.2007 11:44 67'466 aval_48.30
25.04.2007 11:44 67'521 aval_48.31
25.04.2007 11:44 67'533 aval_48.32
25.04.2007 11:44 67'669 aval_48.33

```

Enregistrement de profils sismiques ondes de surface près de Sion (Valais)

25.04.2007 11:44	67'543 aval_48.34	25.04.2007 11:47	3'037'234 aval_48.bmp
25.04.2007 11:44	67'510 aval_48.35	25.04.2007 14:07	512'940 aval_48_FK.wmf
25.04.2007 11:44	67'495 aval_48.36	25.04.2007 14:15	3'037'234 aval_48_frq.bmp
25.04.2007 11:44	67'552 aval_48.37	25.04.2007 14:07	5'001'318 aval_48_hz.wmf
25.04.2007 11:44	67'498 aval_48.38	4 fichier(s)	11'588'726 octets
25.04.2007 11:44	67'528 aval_48.39	Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Aval\SEG2	
25.04.2007 11:44	67'559 aval_48.40	25.04.2007 11:40	<REP> .
25.04.2007 11:44	67'612 aval_48.41	25.04.2007 11:40	<REP> ..
25.04.2007 11:44	67'512 aval_48.42	23.04.2007 23:48	802'052 1000.DAT
25.04.2007 11:44	67'608 aval_48.43	23.04.2007 23:39	802'052 1001.DAT
25.04.2007 11:44	67'569 aval_48.44	2 fichier(s)	1'604'104 octets
25.04.2007 11:44	67'544 aval_48.45	Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Aval\SU	
25.04.2007 11:44	67'547 aval_48.46	25.04.2007 14:50	<REP> .
25.04.2007 11:44	67'532 aval_48.47	25.04.2007 14:50	<REP> ..
25.04.2007 11:44	67'796 aval_48.48	25.04.2007 11:30	1'595'904 aval.su
25.04.2007 11:44	3'056'292 aval_48.txt	25.04.2007 14:06	797'952 aval_48.su
49 fichier(s)	6'299'278 octets	2 fichier(s)	2'393'856 octets
Répertoire de D:\projets\Sion_Ondes_S\DATA\Aval\BMP			
25.04.2007 14:50	<REP> .		
25.04.2007 14:50	<REP> ..		



Figure 8 Situation du profil Sion amont

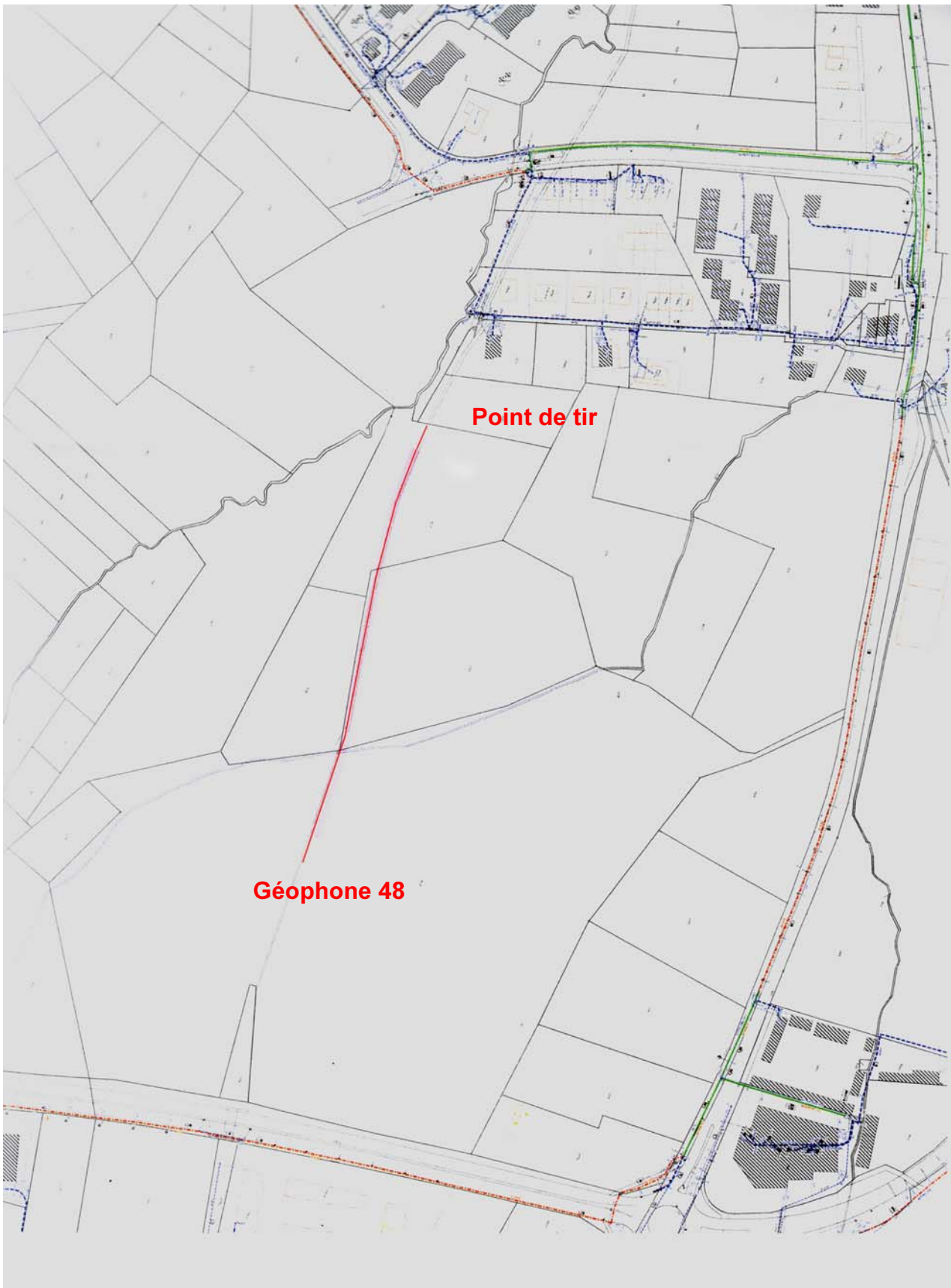


Figure 9 Situation du profil Bramois

7 IMAGES DE TERRAIN



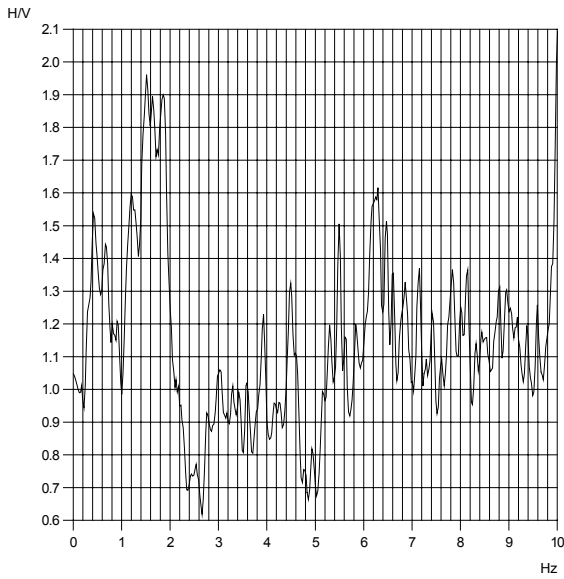
Figure 10 Percement des trous pour placer la charge explosive

Figure 11 Mise en place du matériel

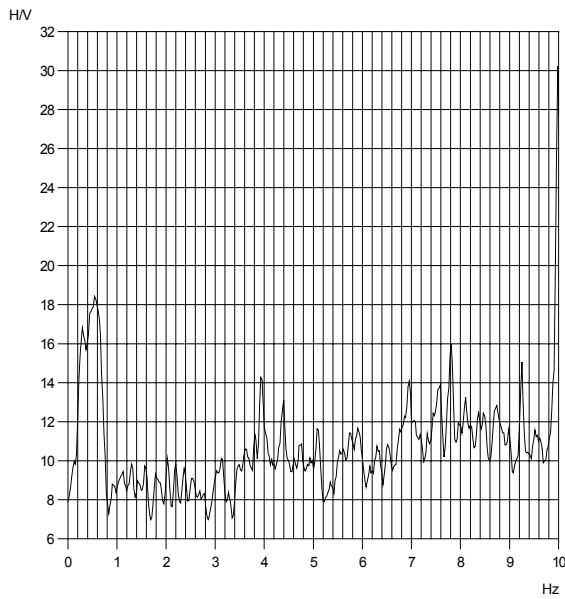


Annexe 3 : Résultats des mesures H/V

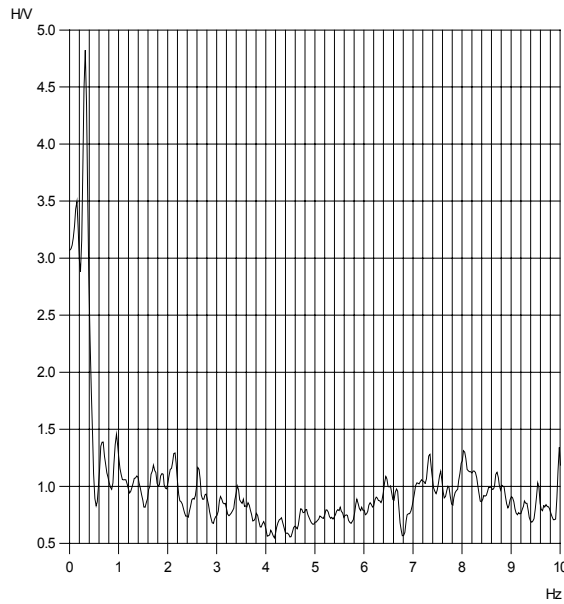
S01hv



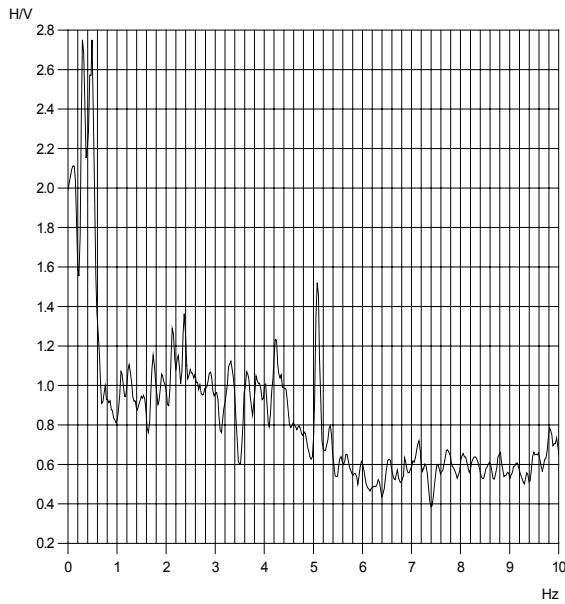
S02hv



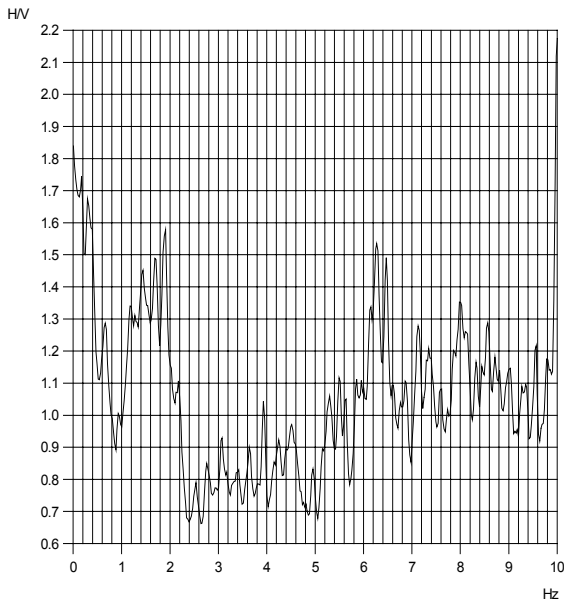
S03hv



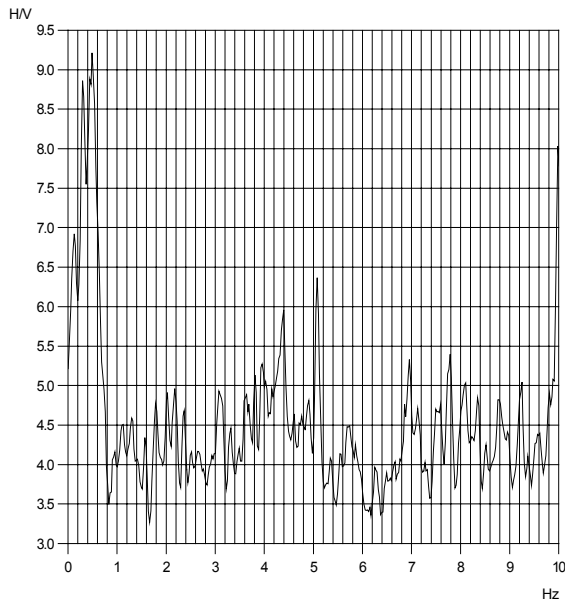
S04hv

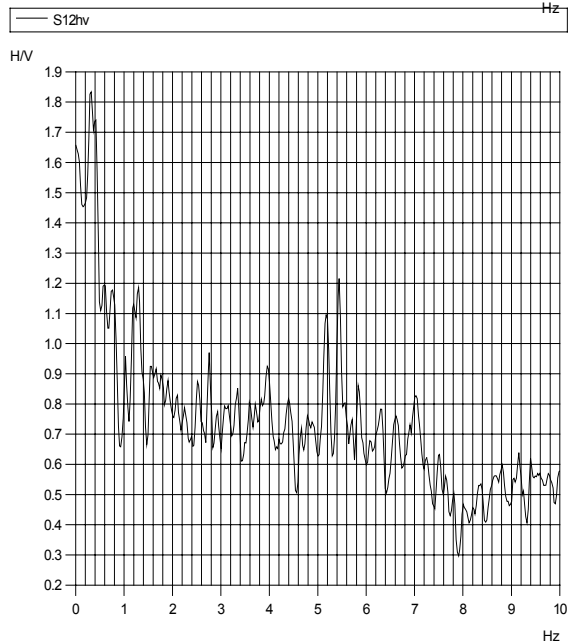
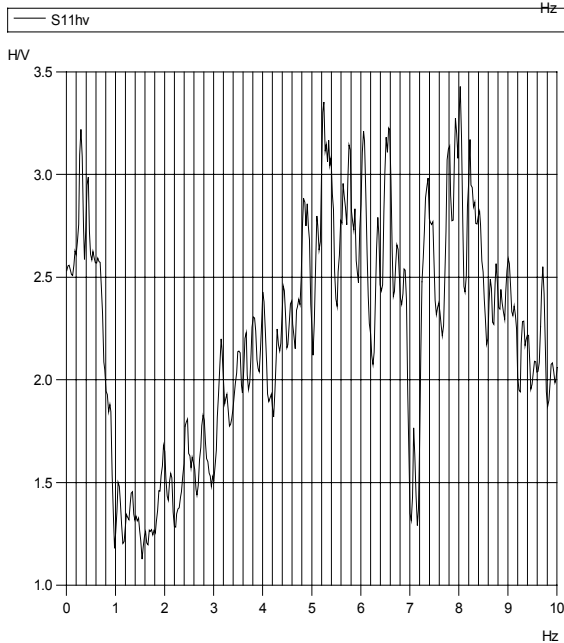
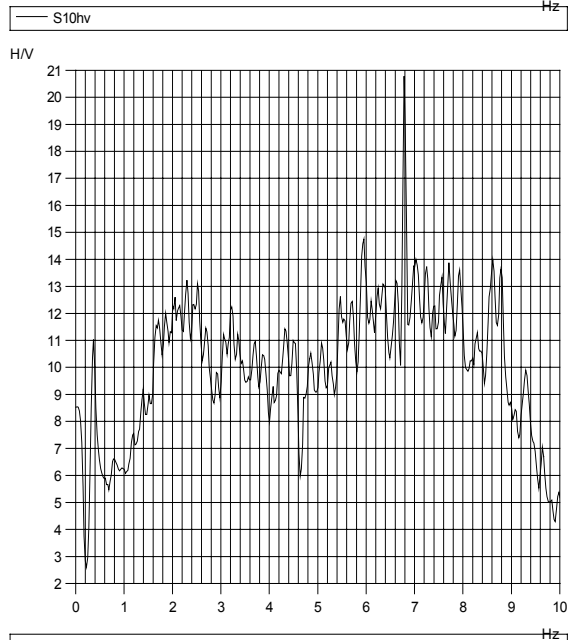
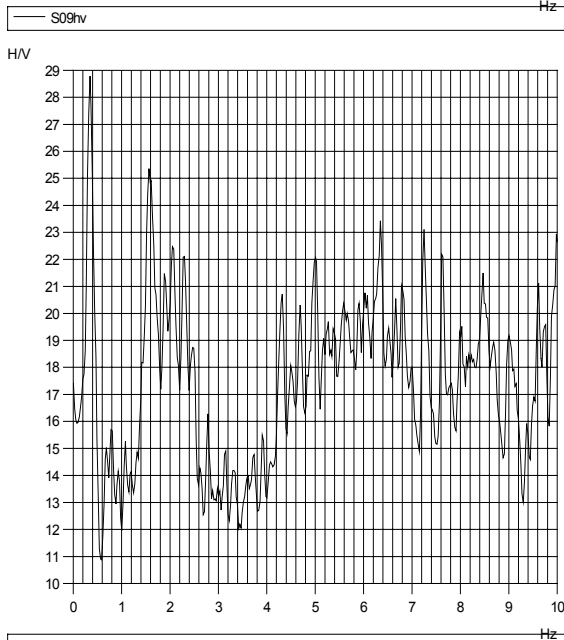
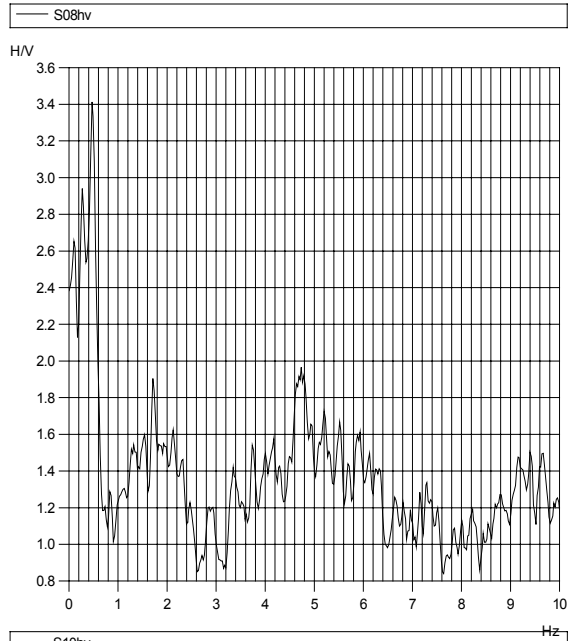
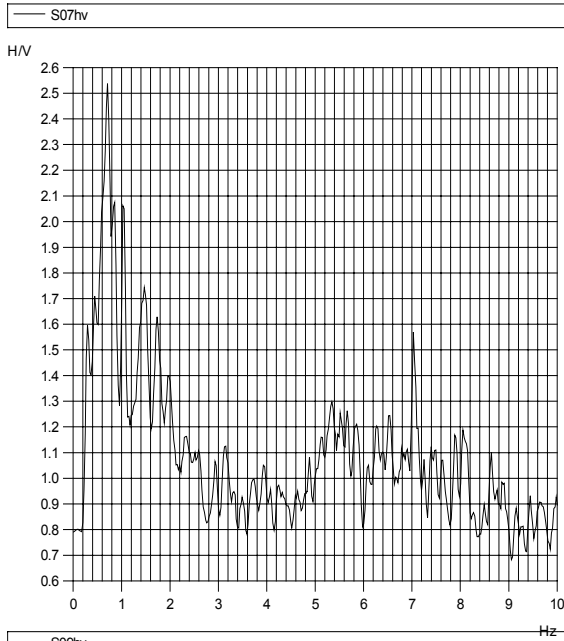


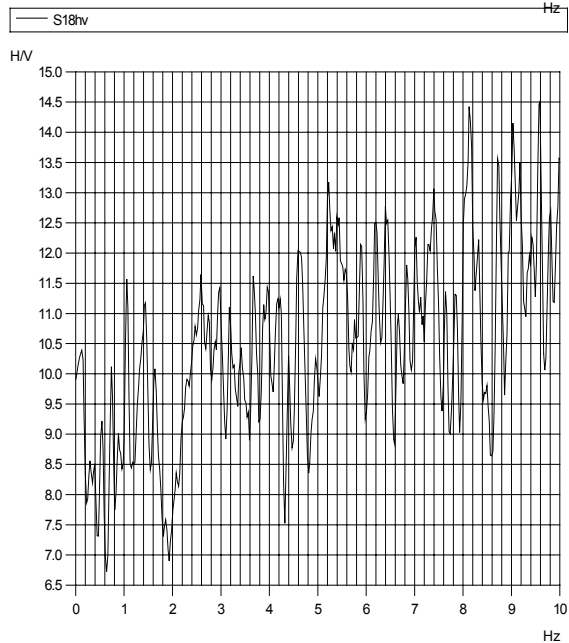
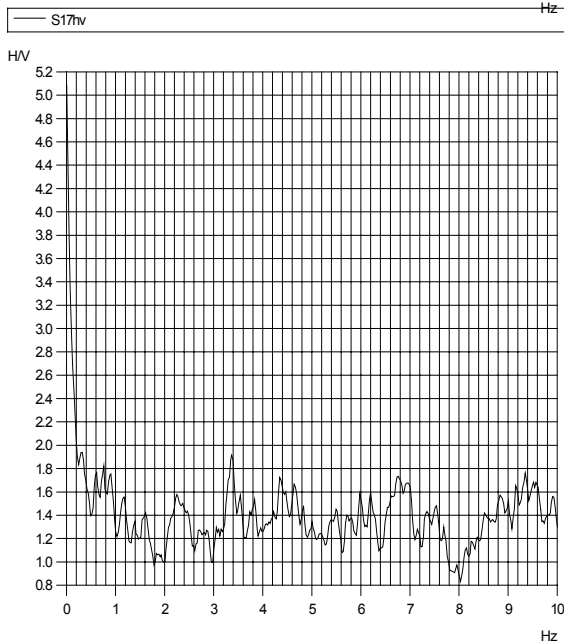
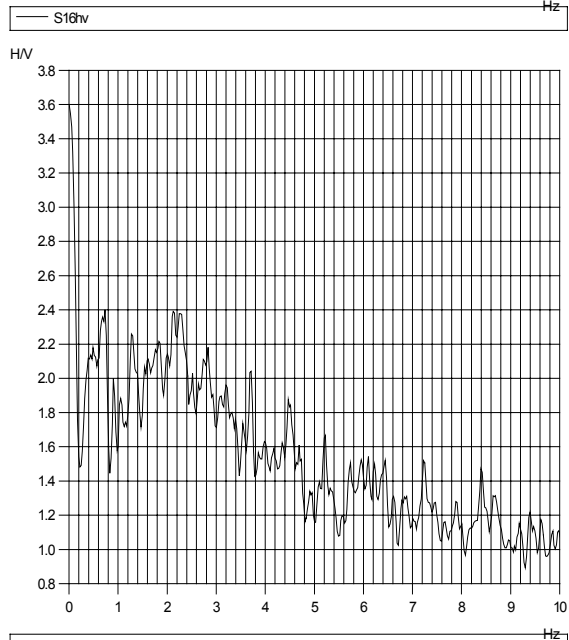
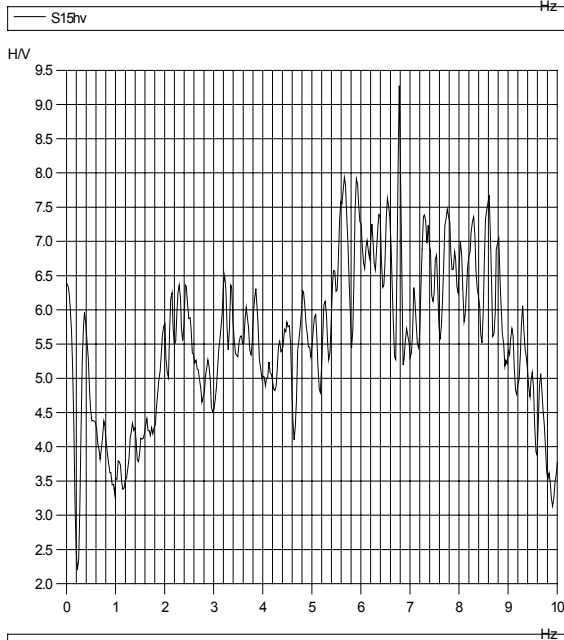
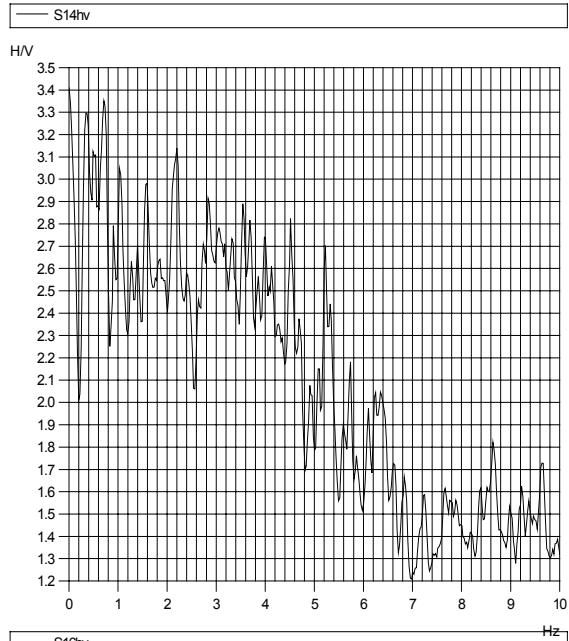
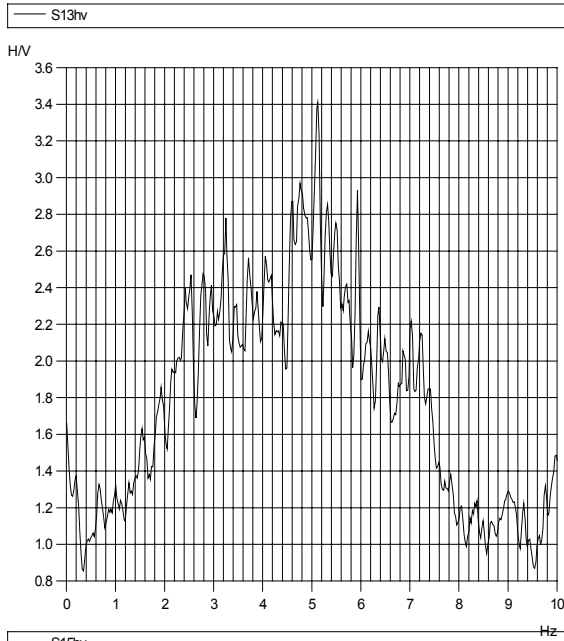
S05hv

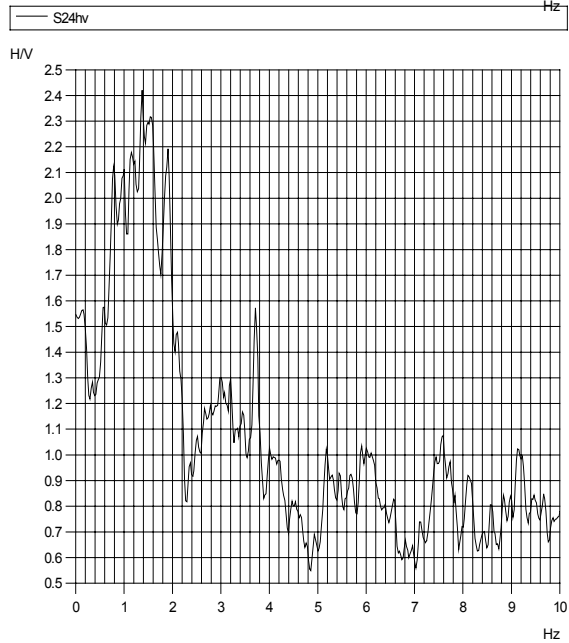
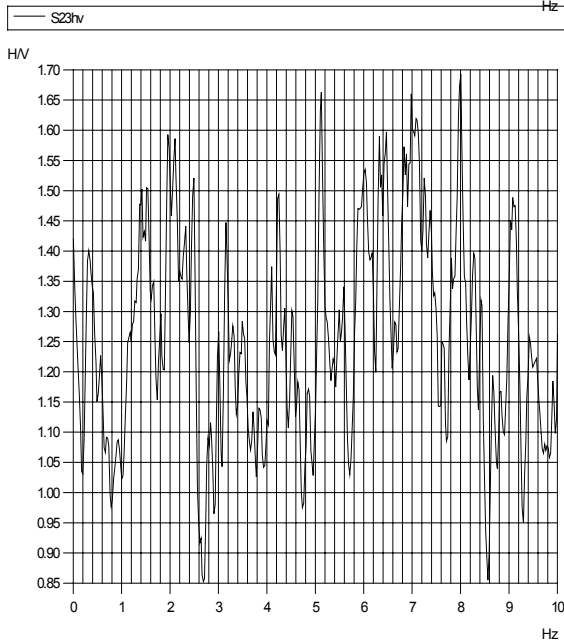
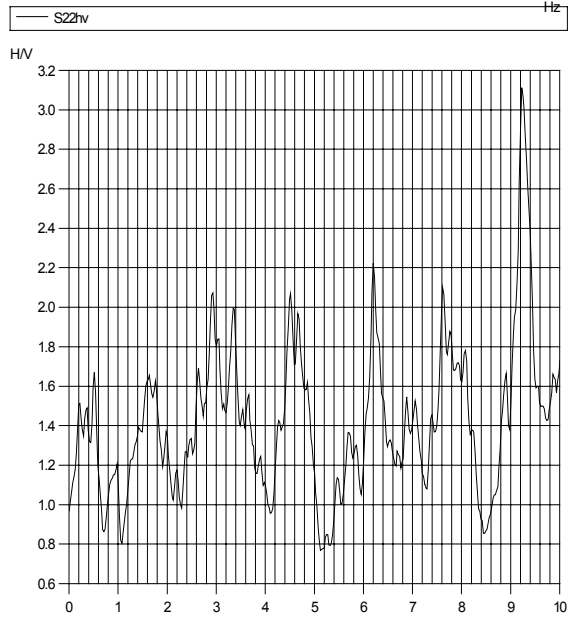
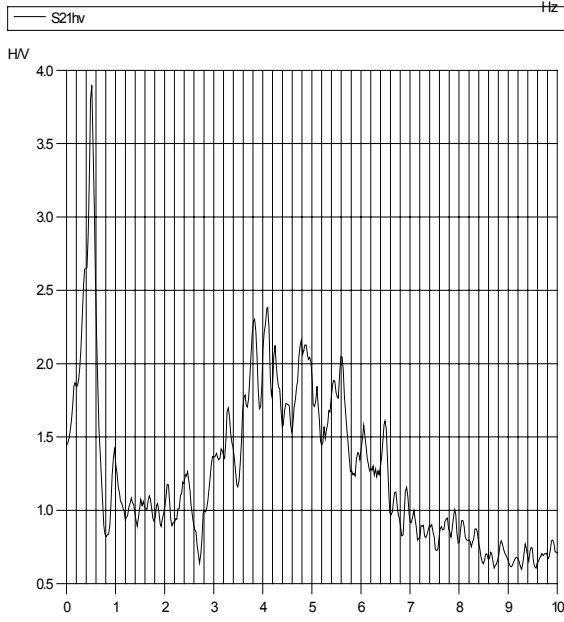
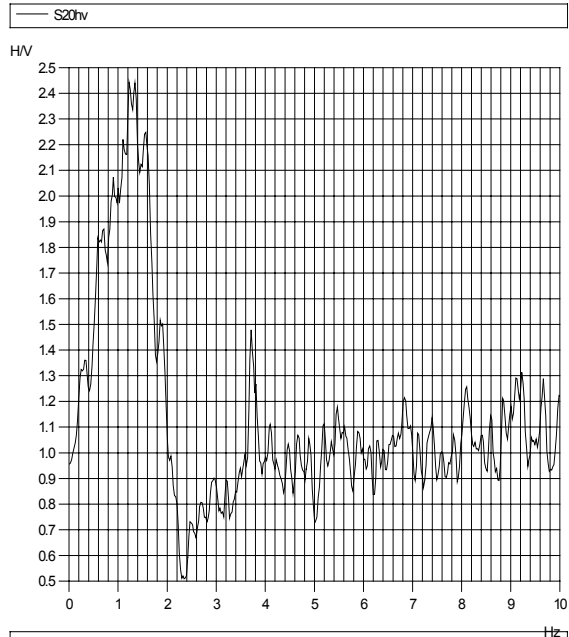
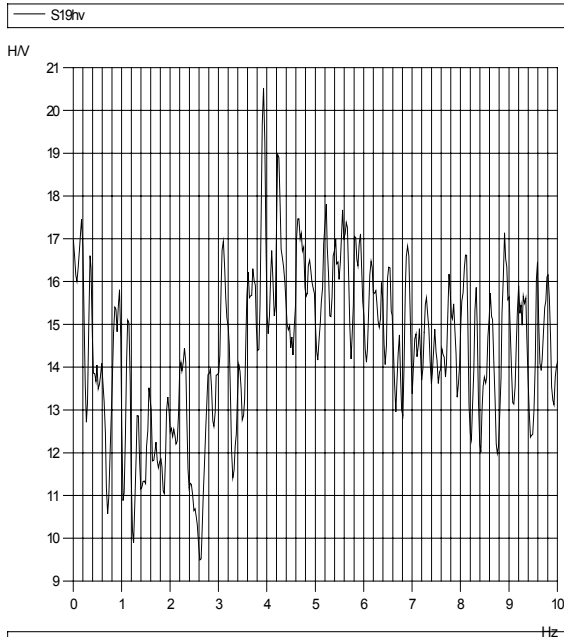


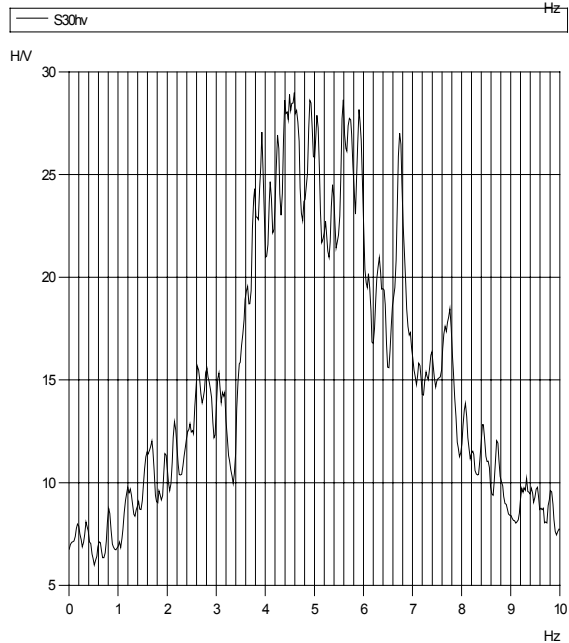
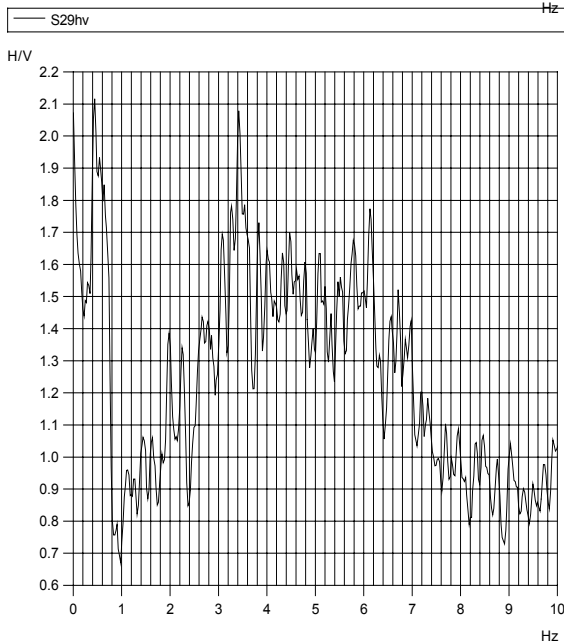
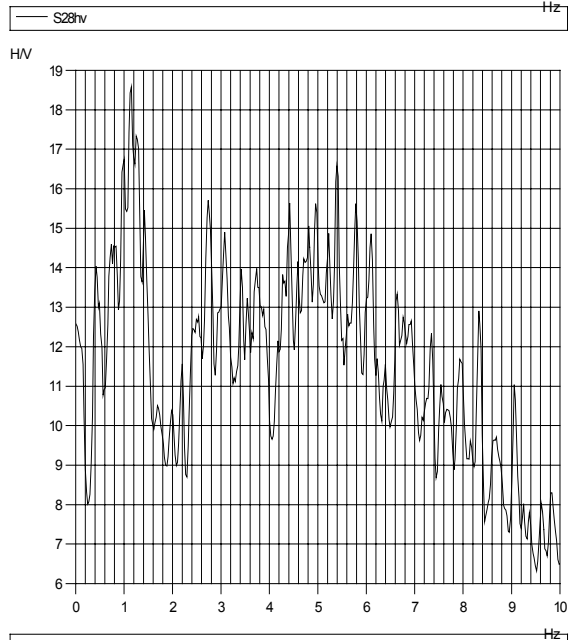
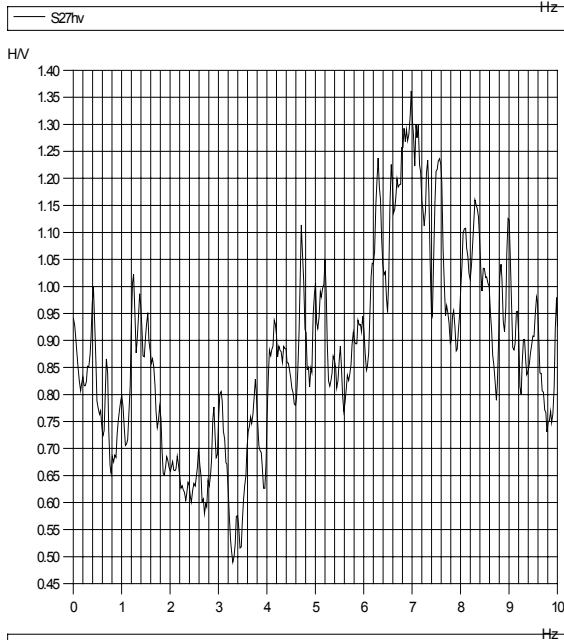
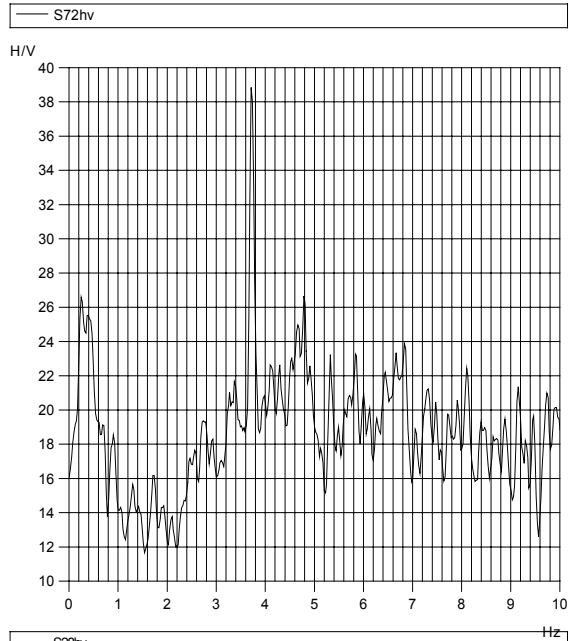
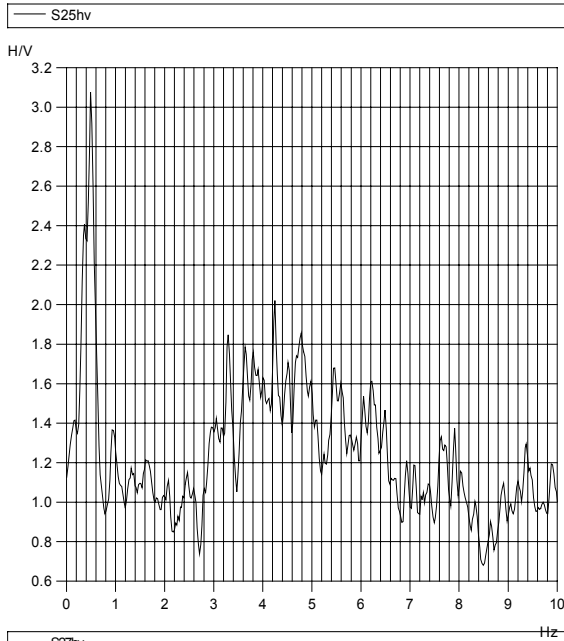
S06hv

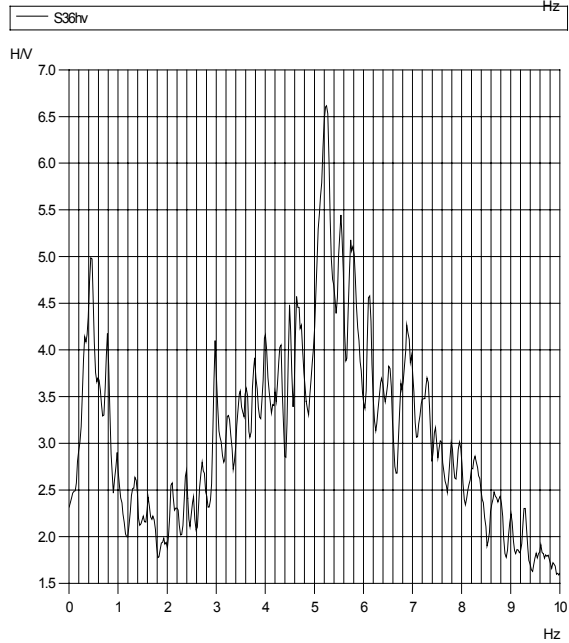
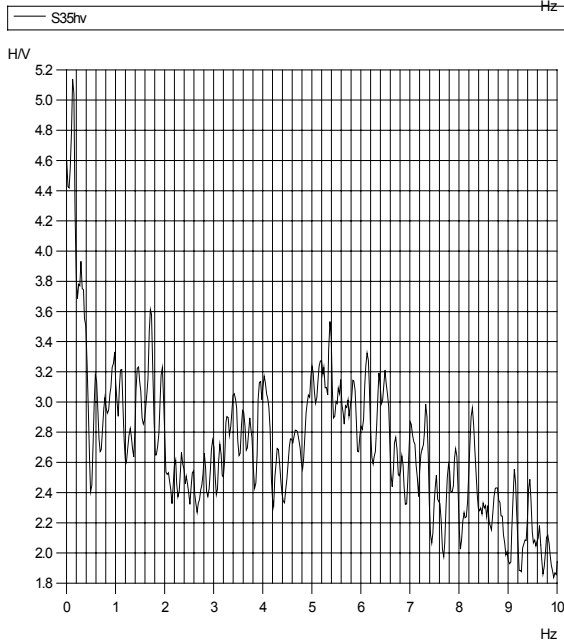
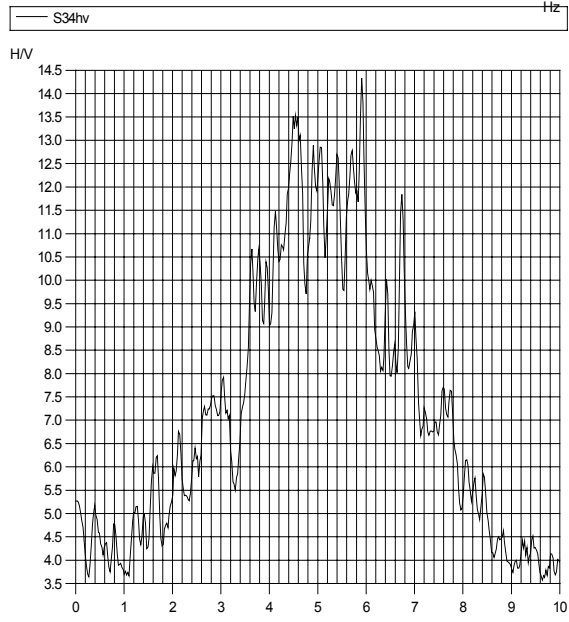
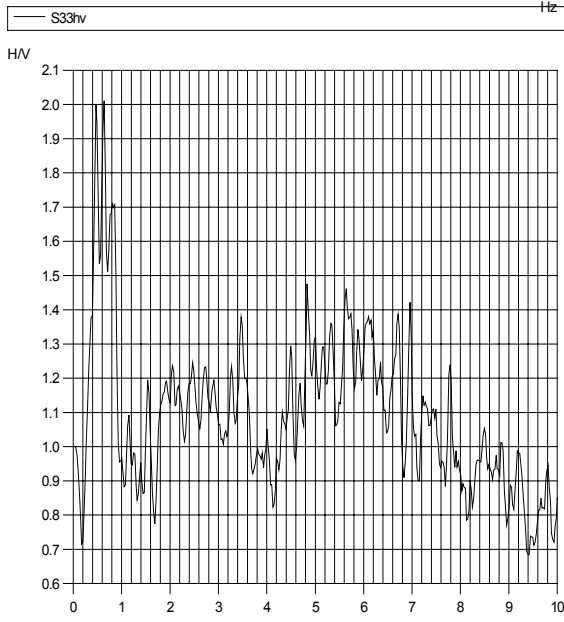
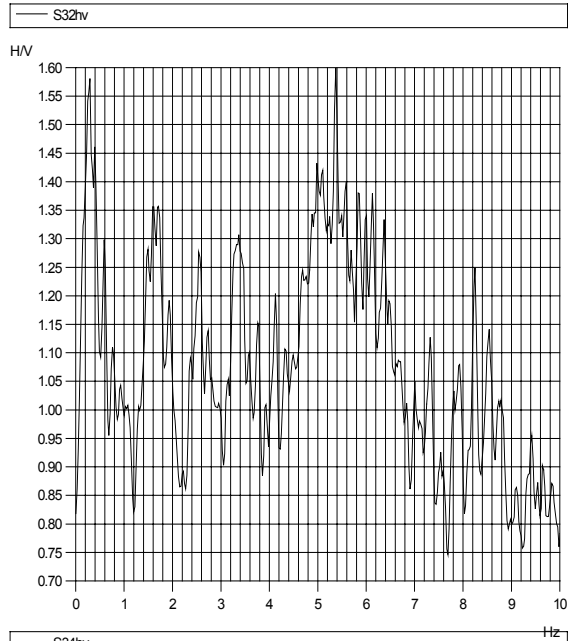
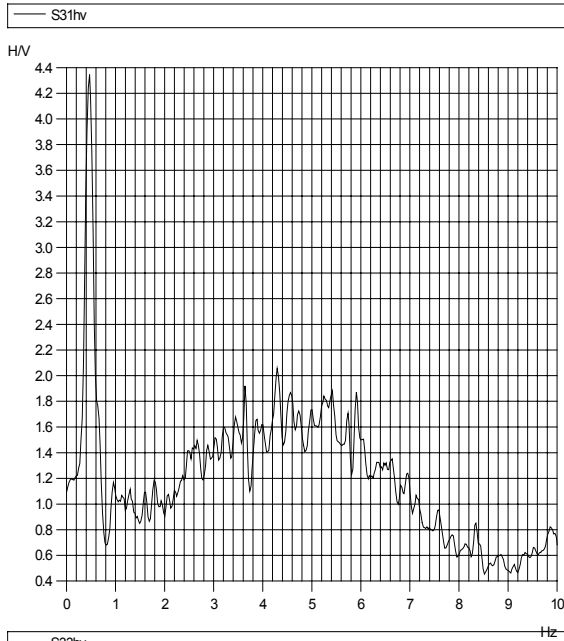


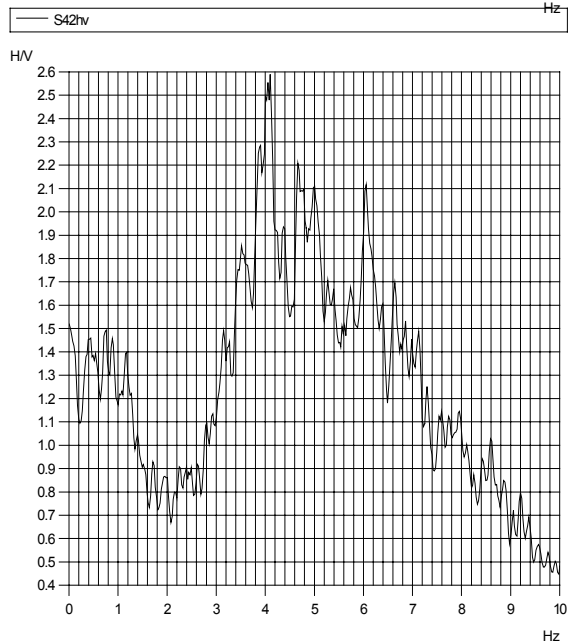
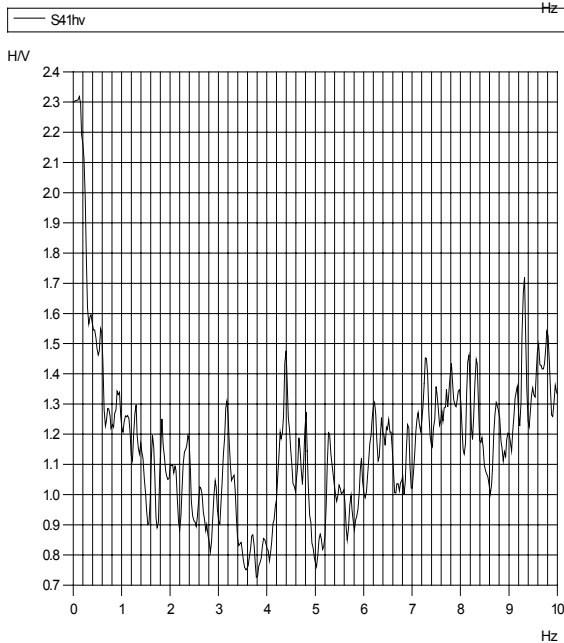
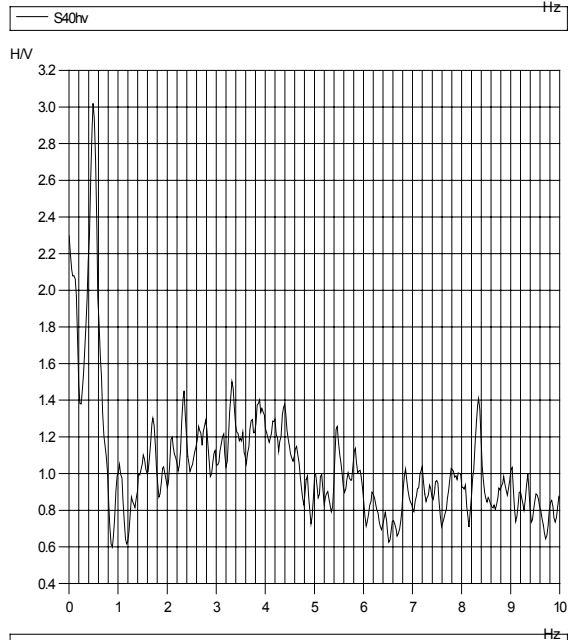
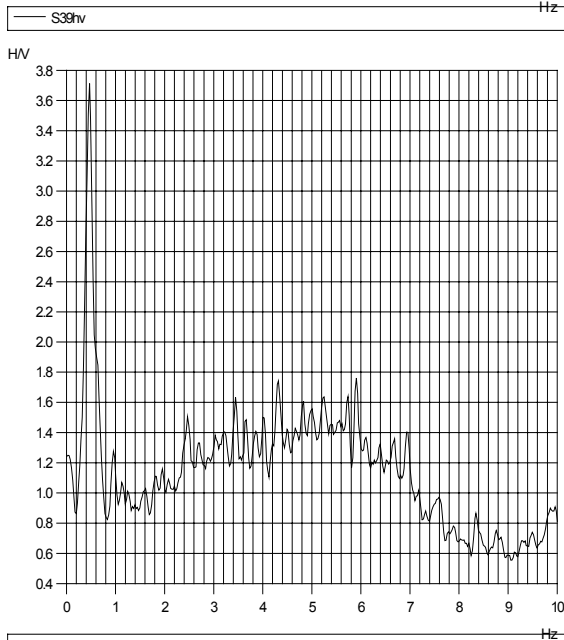
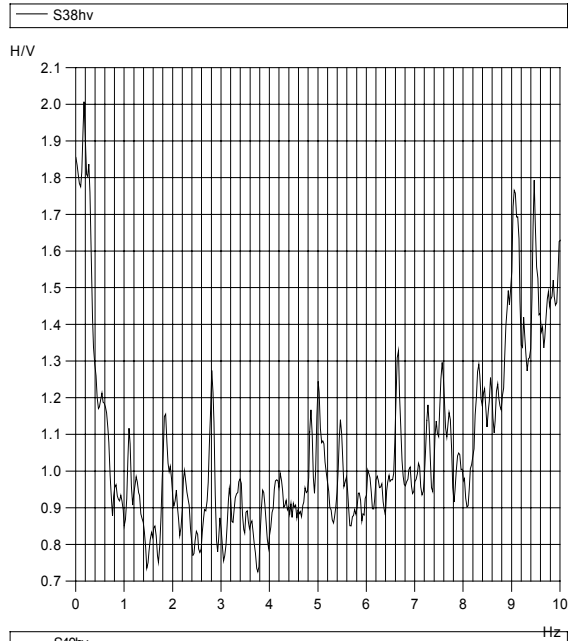
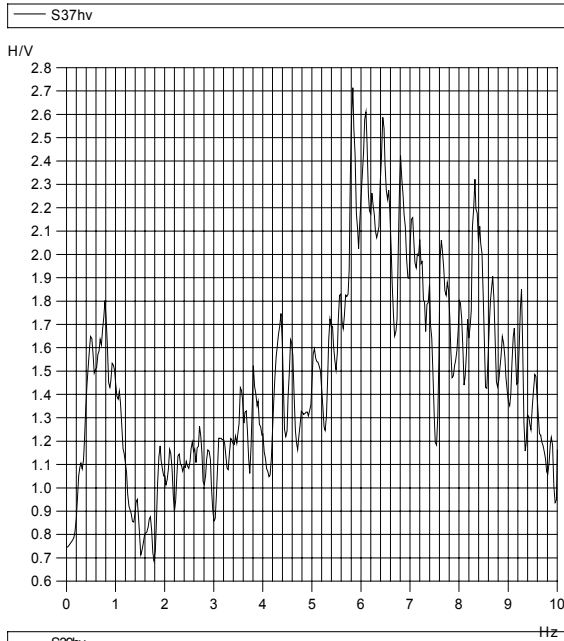


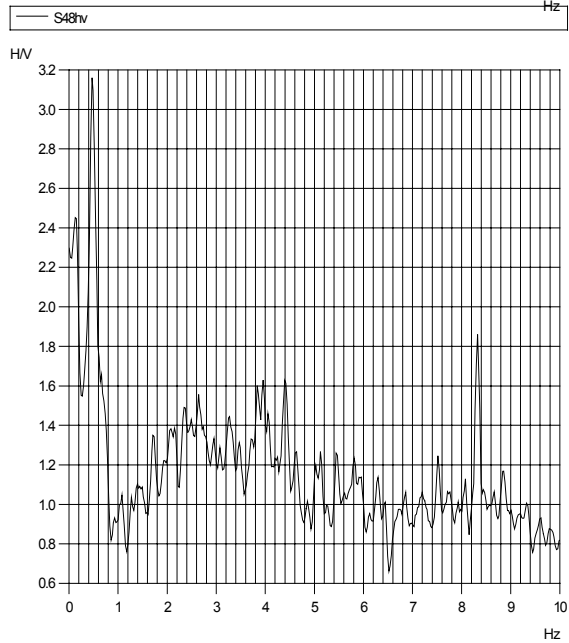
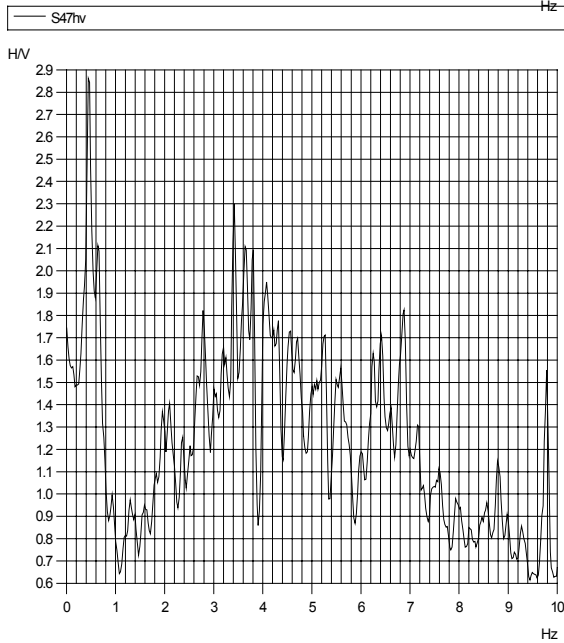
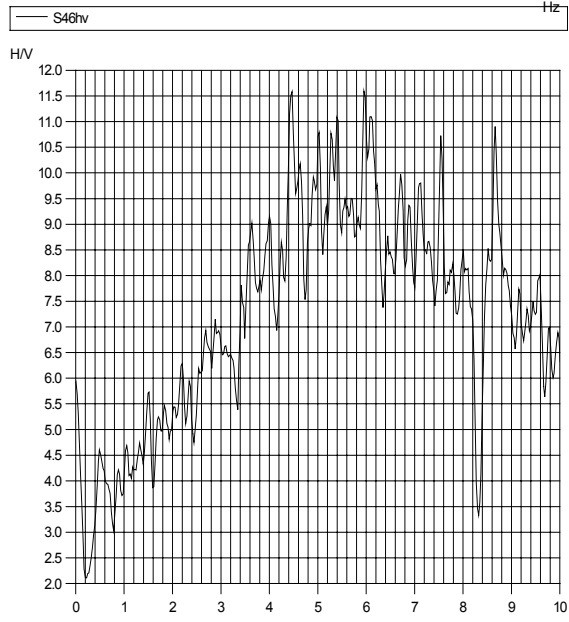
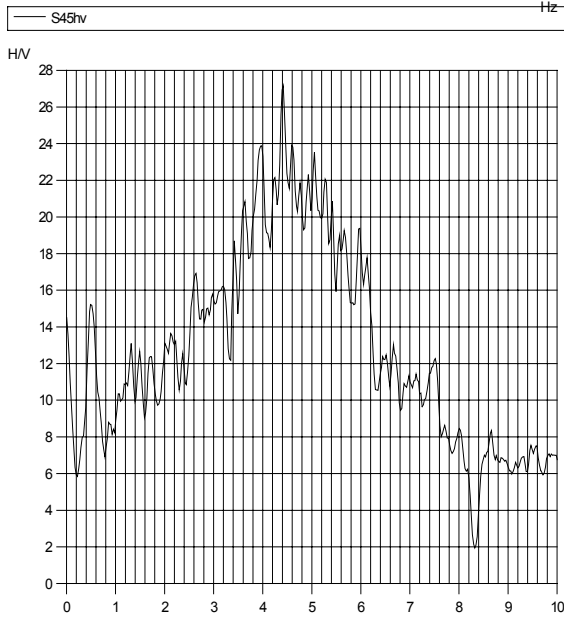
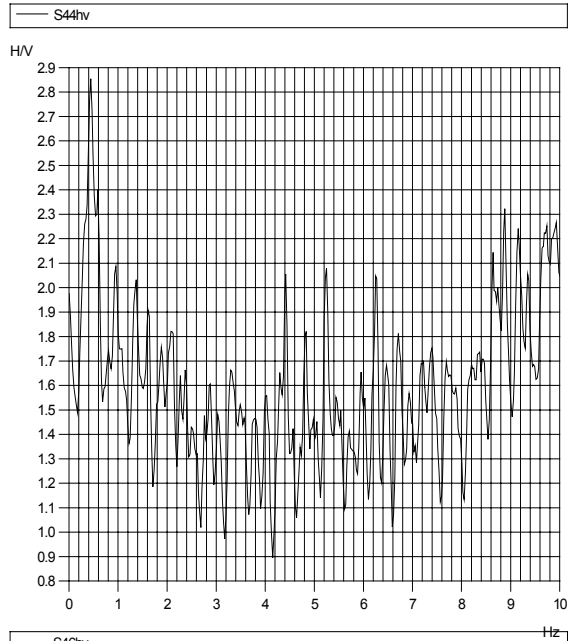
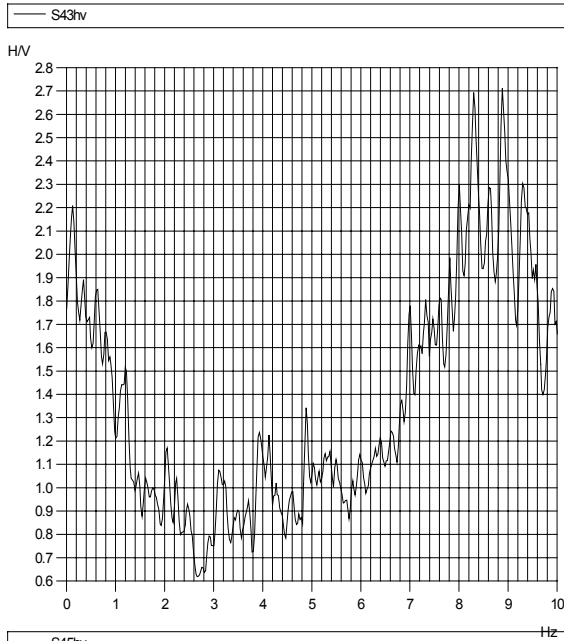


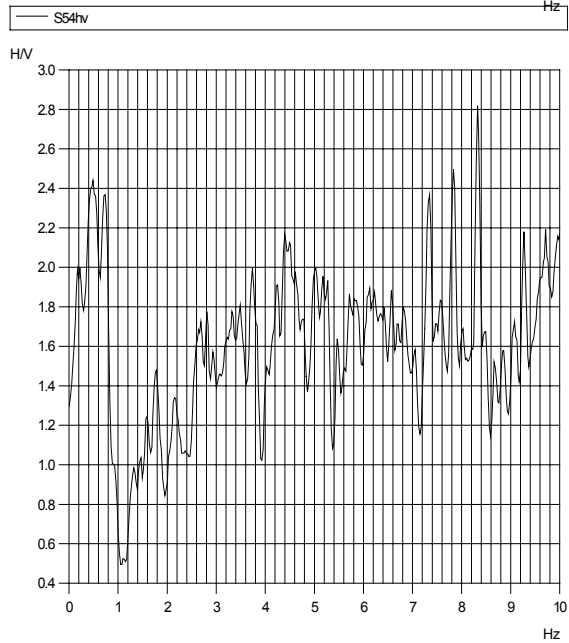
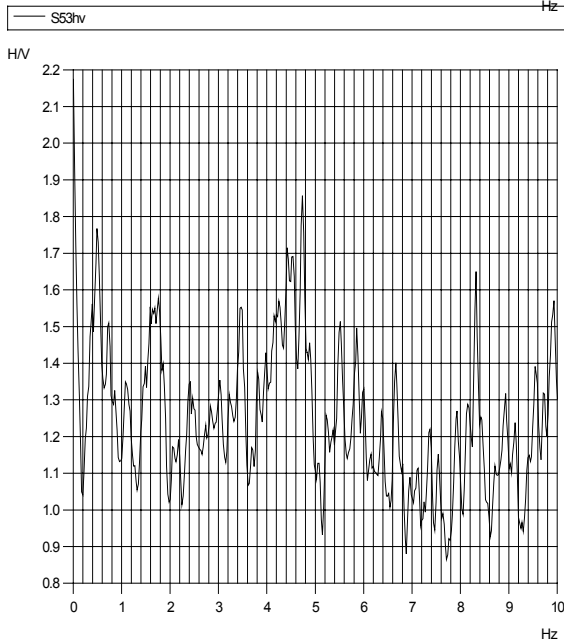
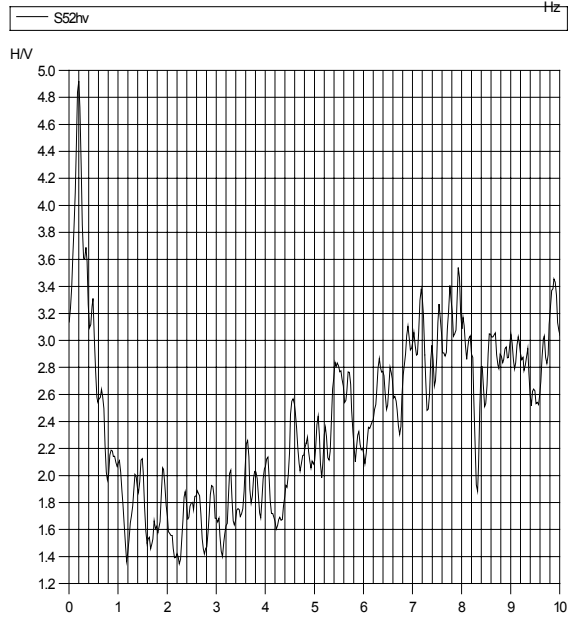
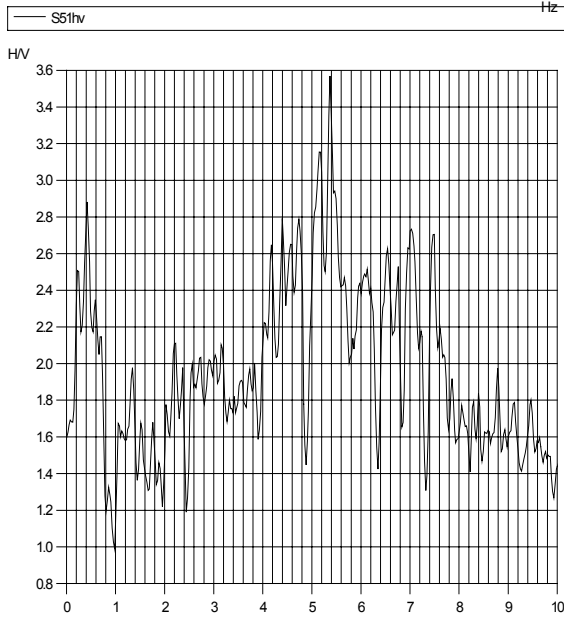
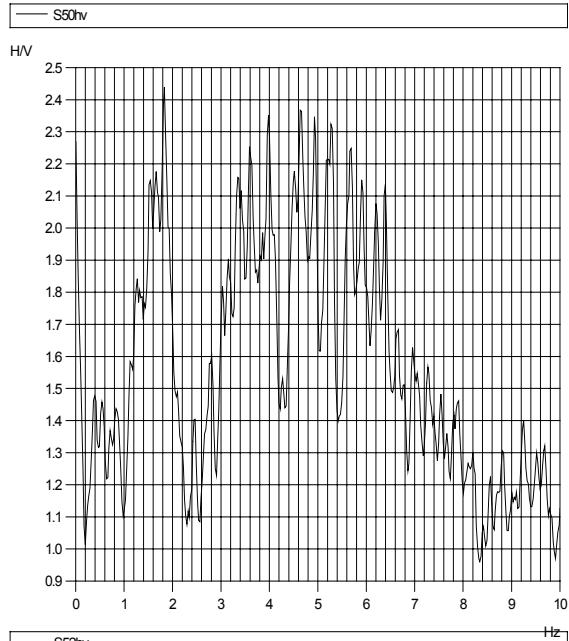
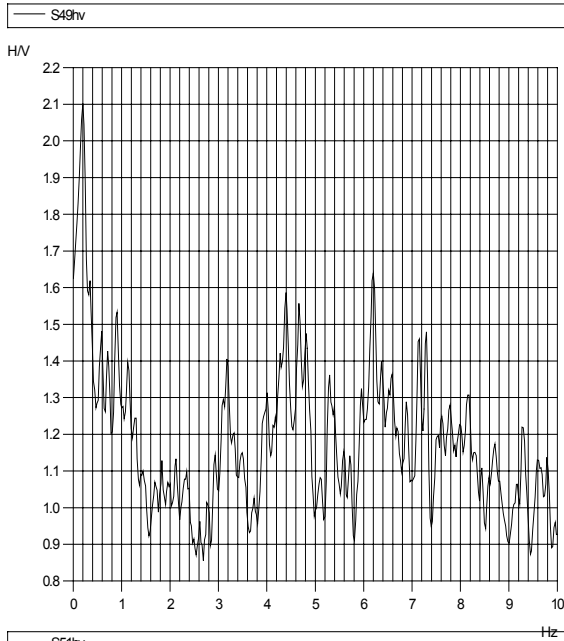


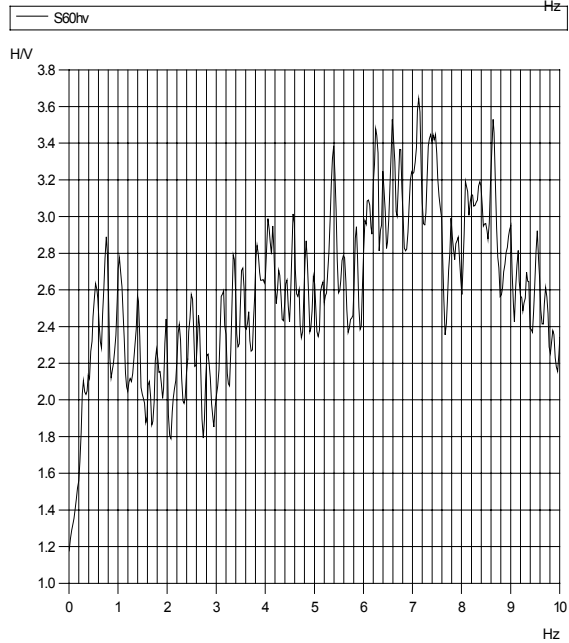
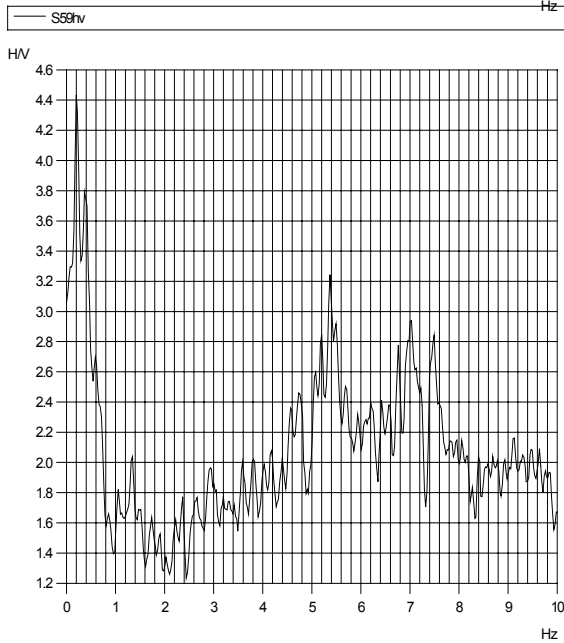
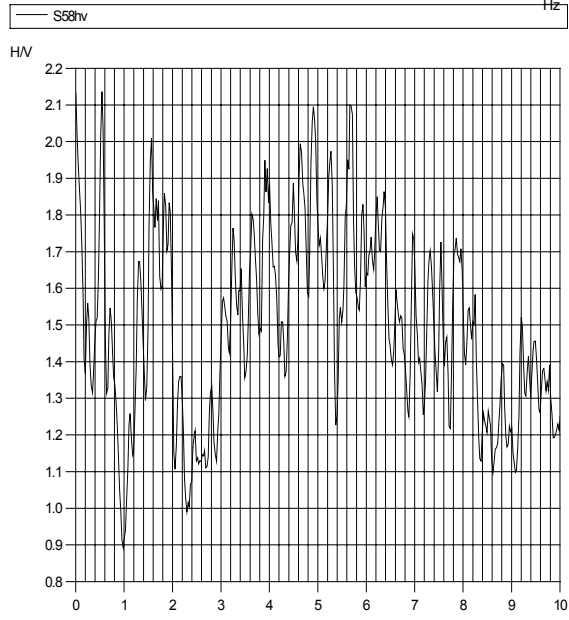
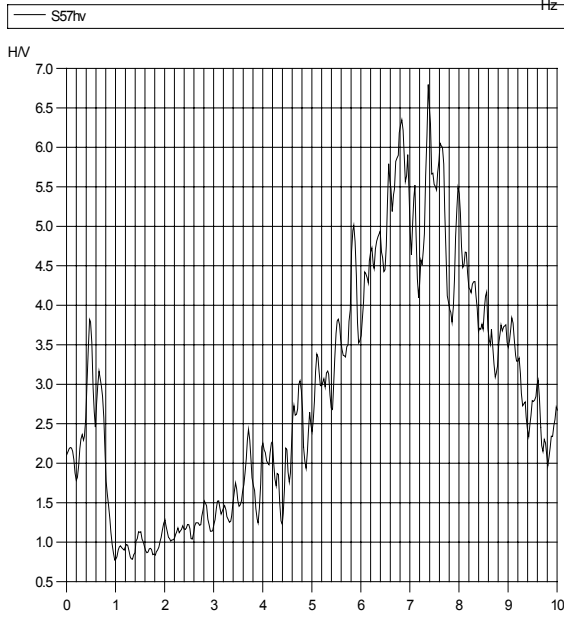
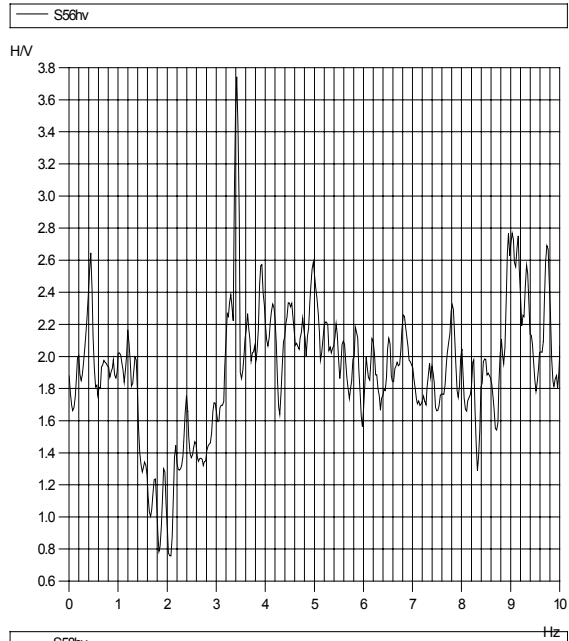
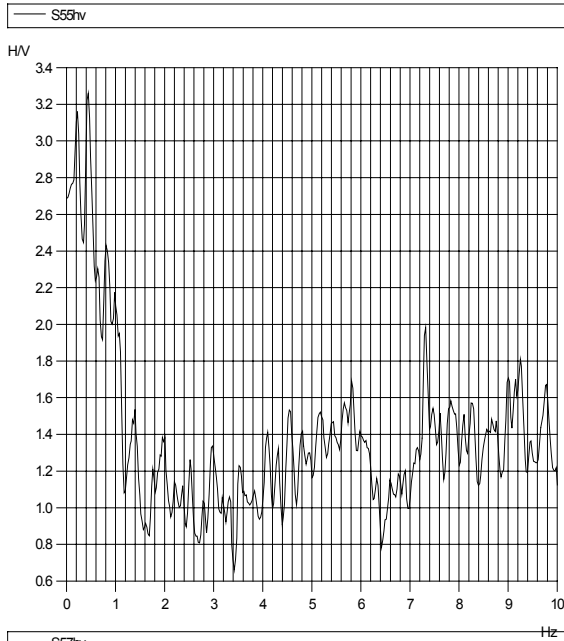


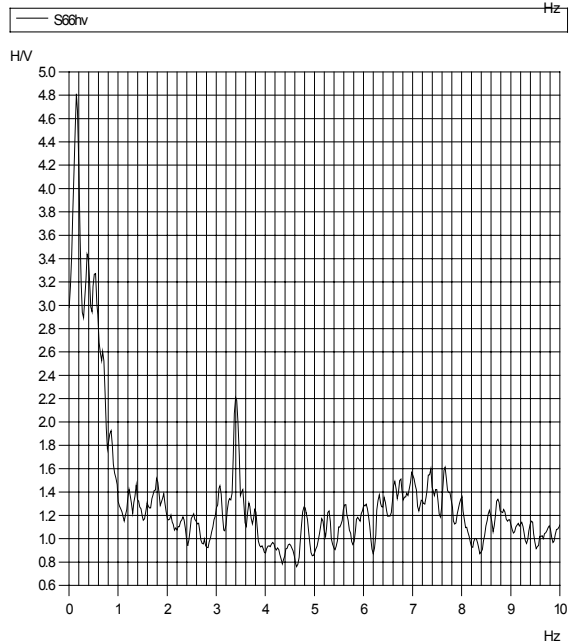
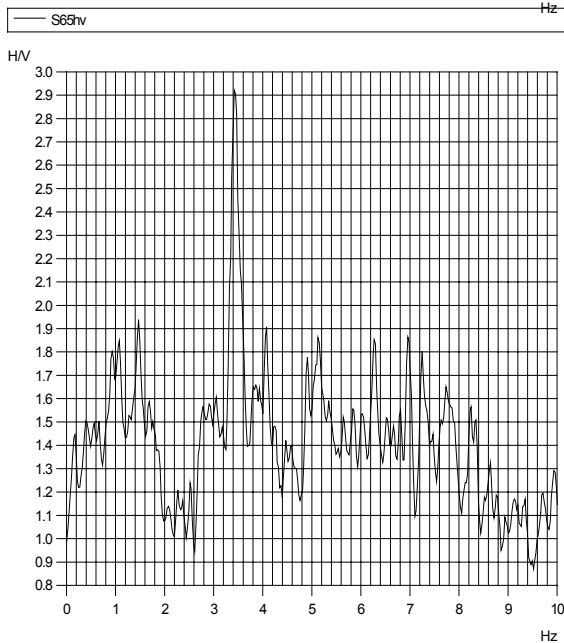
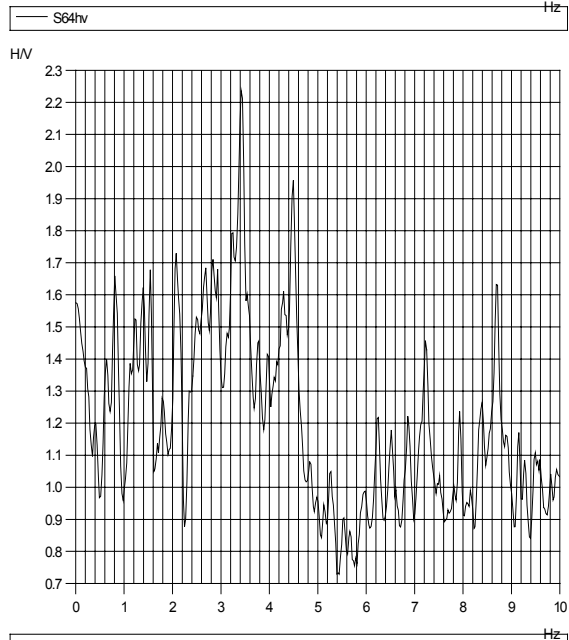
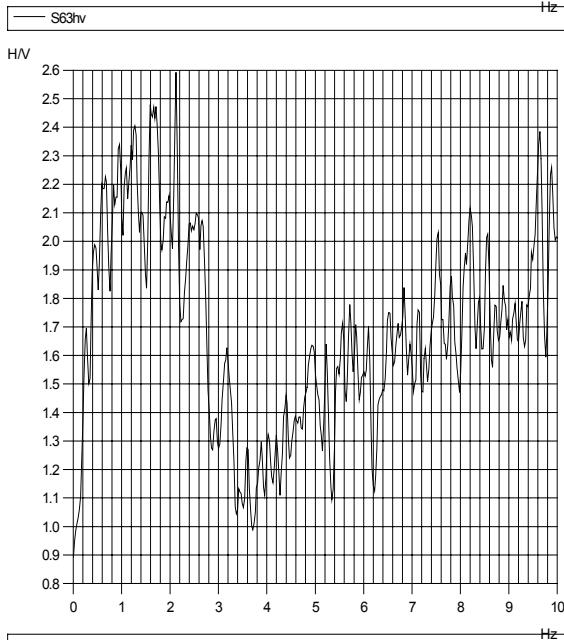
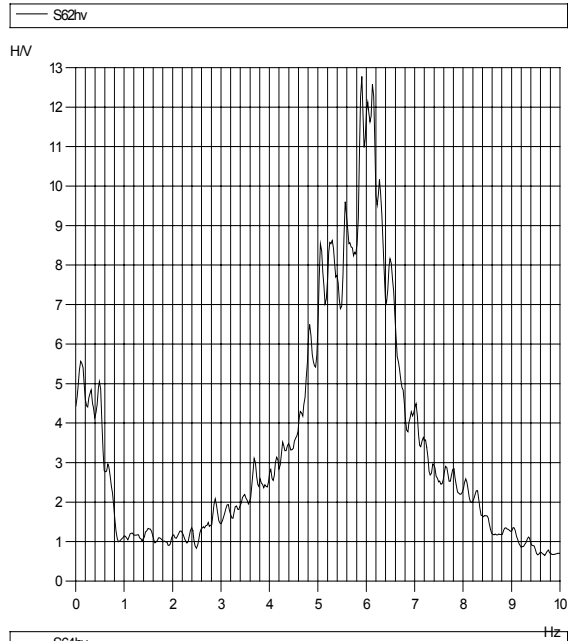
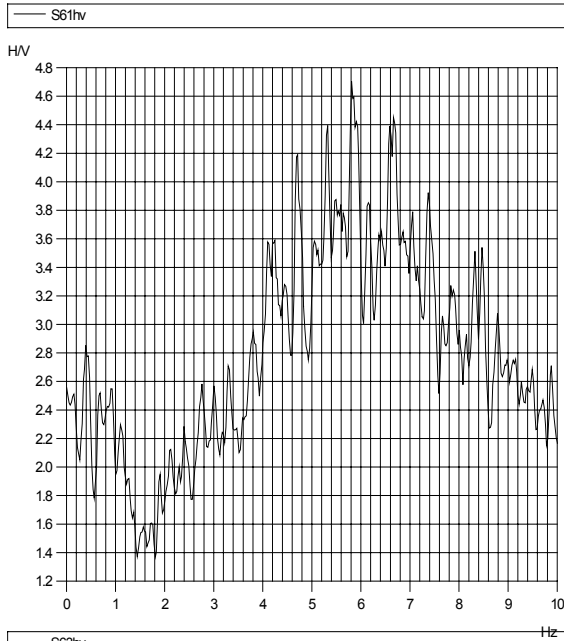


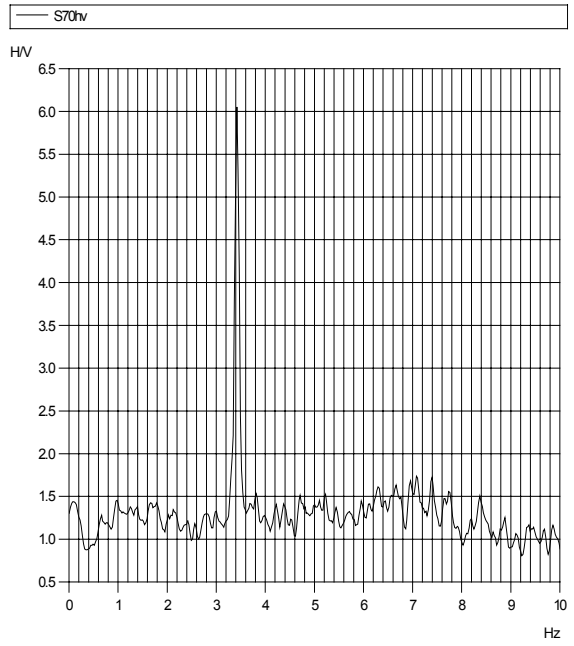
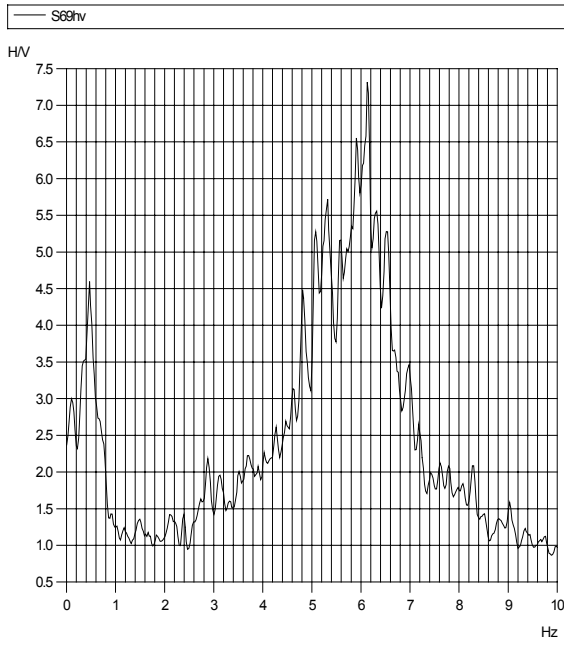
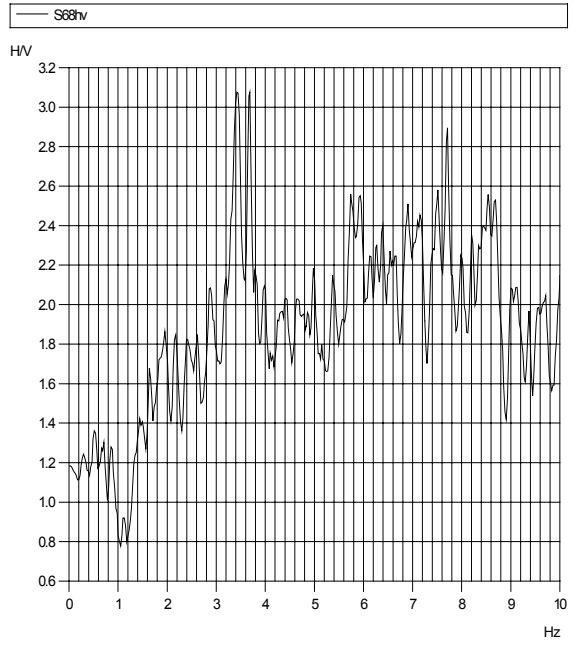
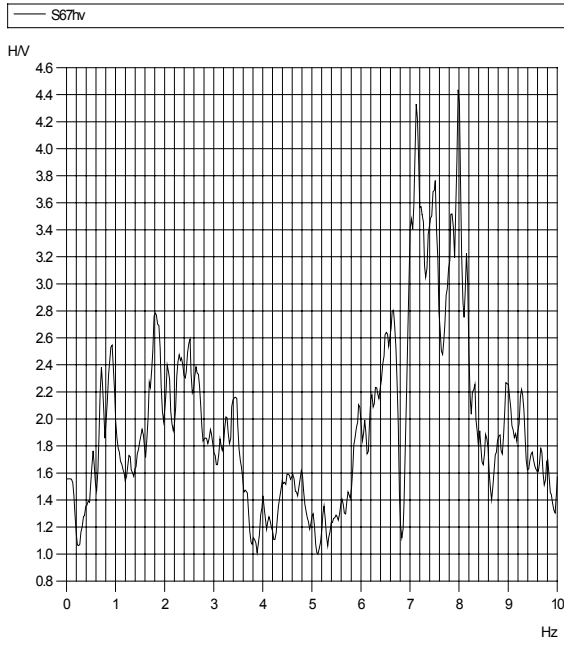








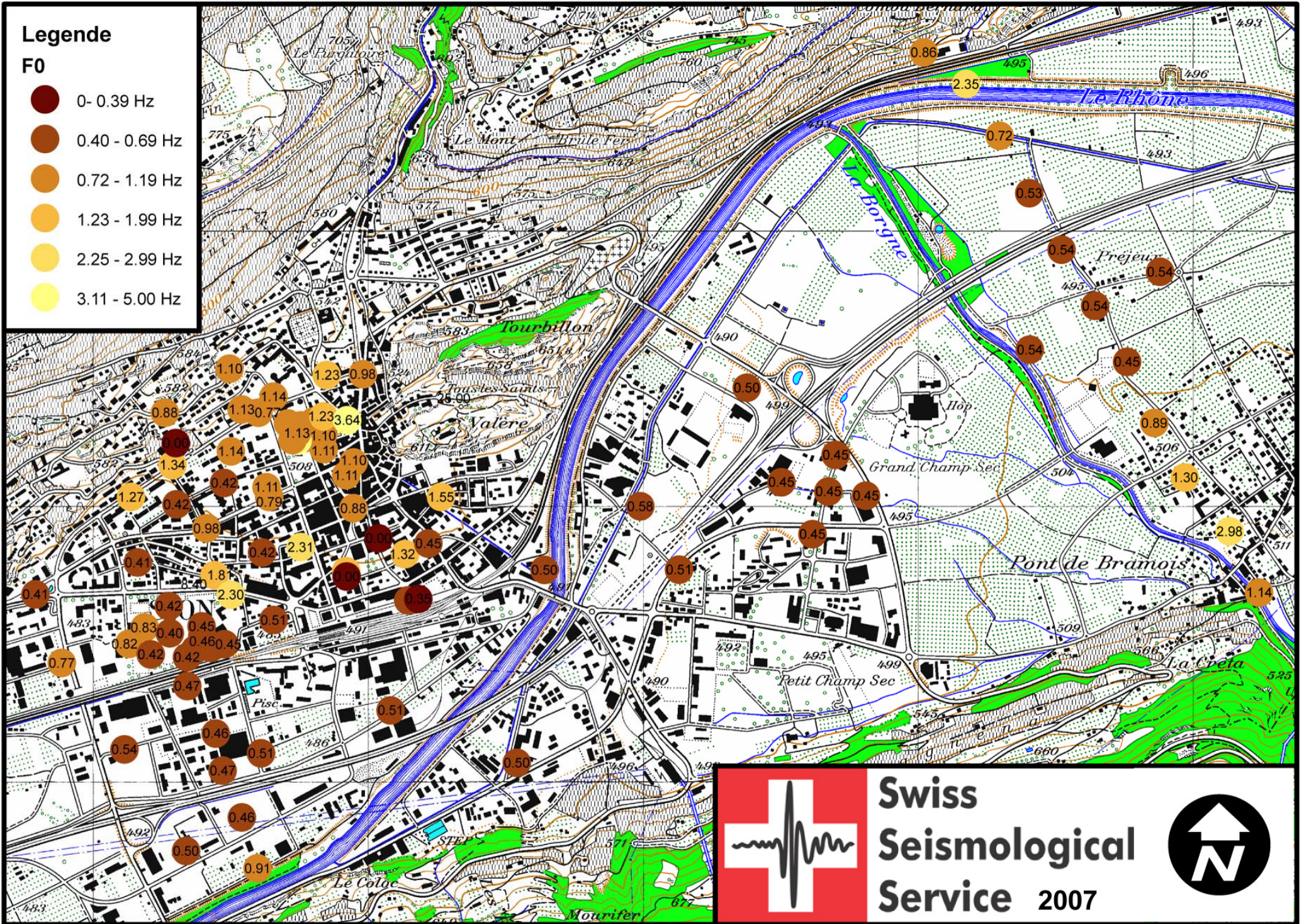




Legende

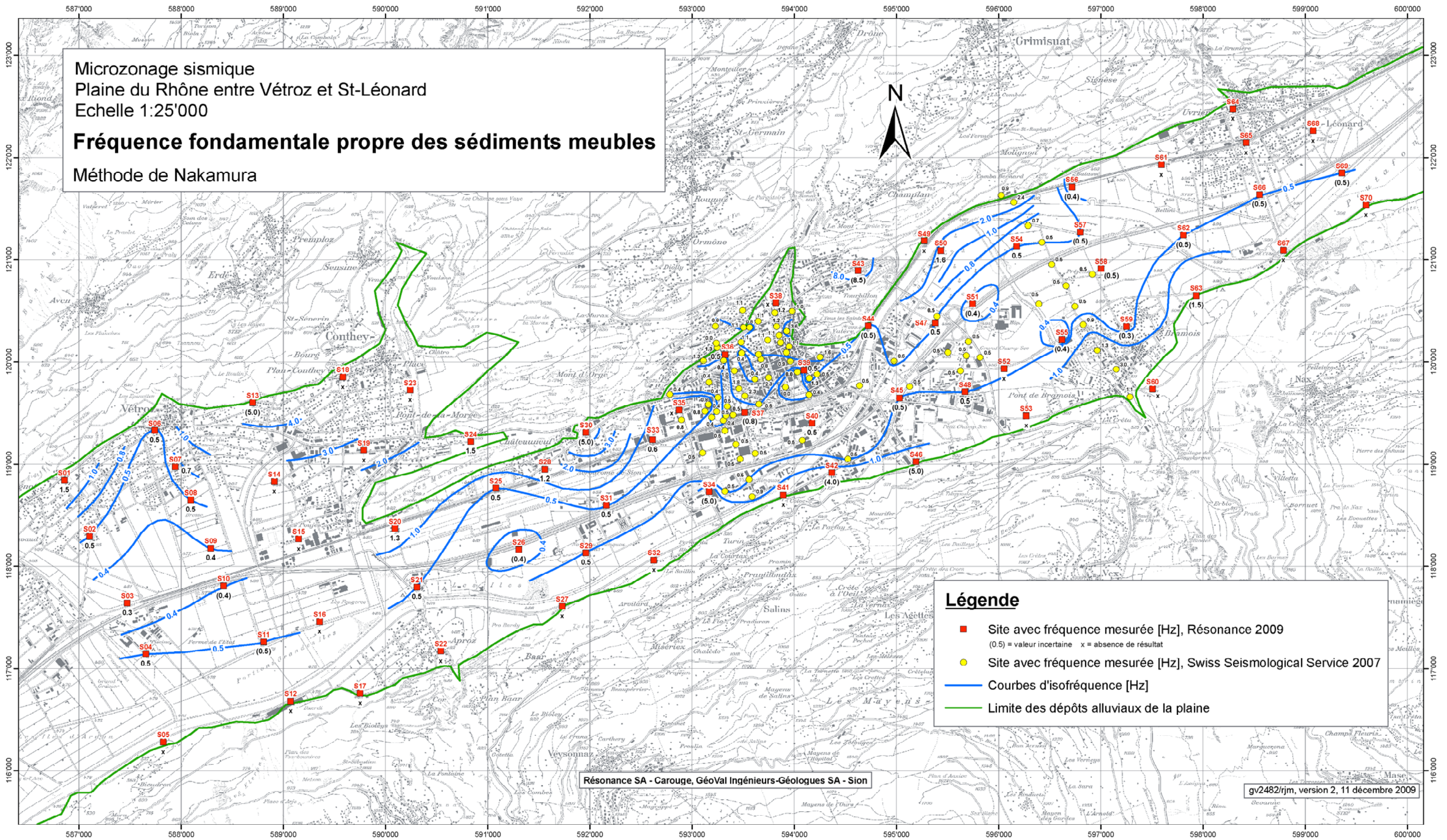
F0

- 0- 0.39 Hz
- 0.40 - 0.69 Hz
- 0.72 - 1.19 Hz
- 1.23 - 1.99 Hz
- 2.25 - 2.99 Hz
- 3.11 - 5.00 Hz



Swiss
Seismological
Service 2007





Microzonage sismique
 Plaine du Rhône entre Vétroz et St-Léonard
 Echelle 1:25'000
Fréquence fondamentale propre des sédiments meubles
 Méthode de Nakamura

Légende

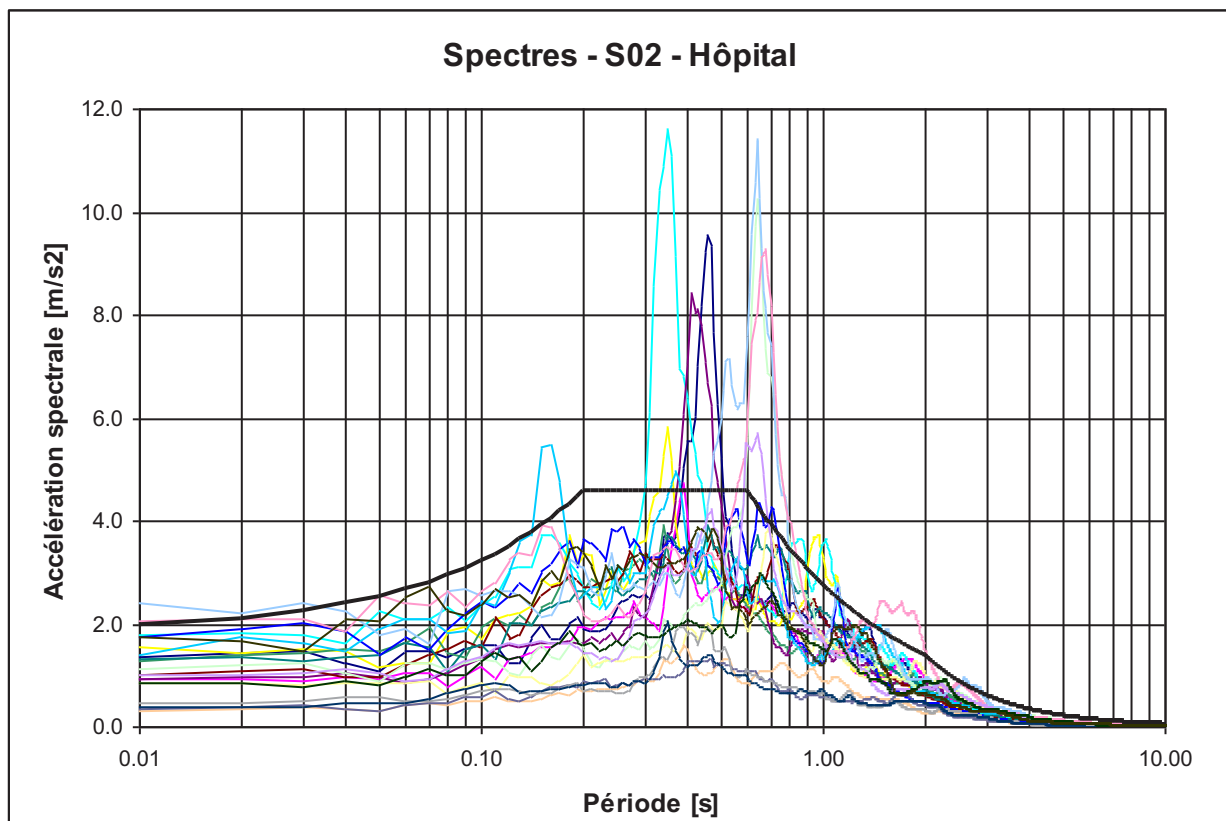
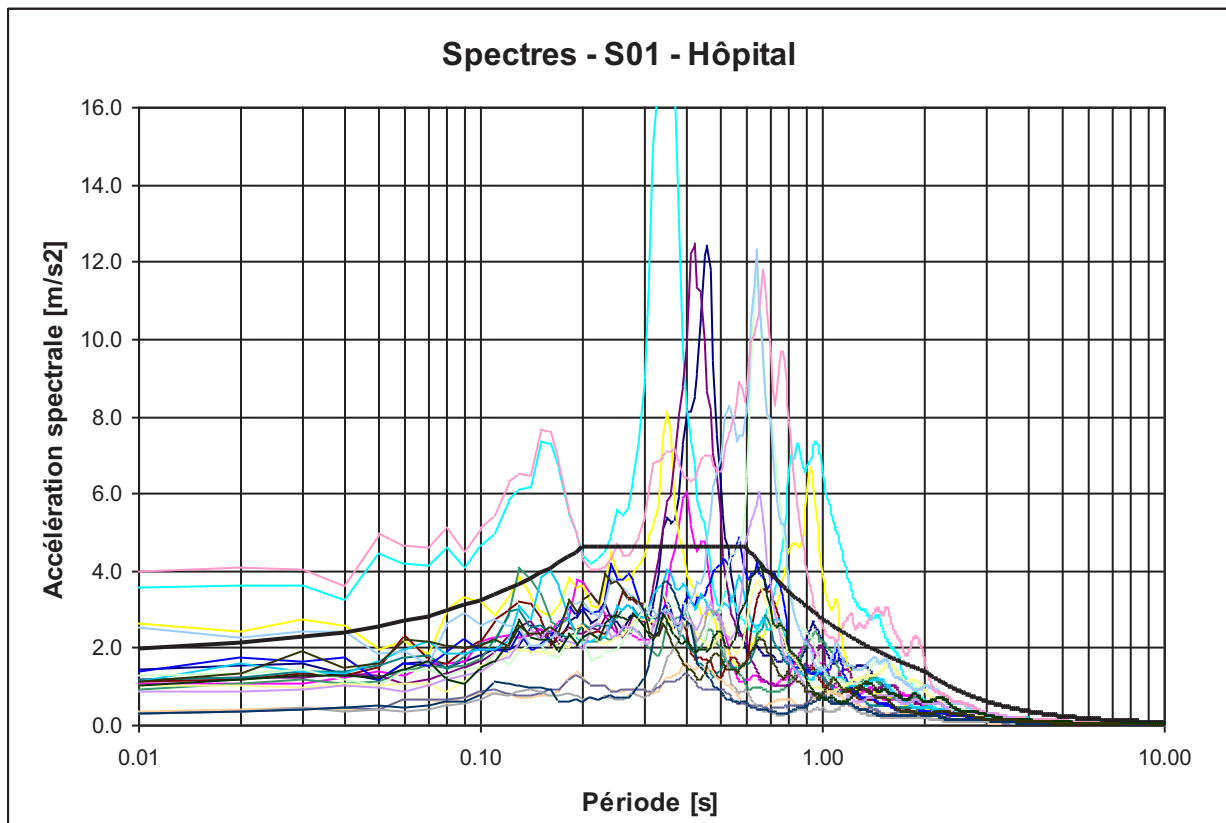
- Site avec fréquence mesurée [Hz], Résonance 2009
(0.5) = valeur incertaine x = absence de résultat
- Site avec fréquence mesurée [Hz], Swiss Seismological Service 2007
- Courbes d'isofréquence [Hz]
- Limite des dépôts alluviaux de la plaine

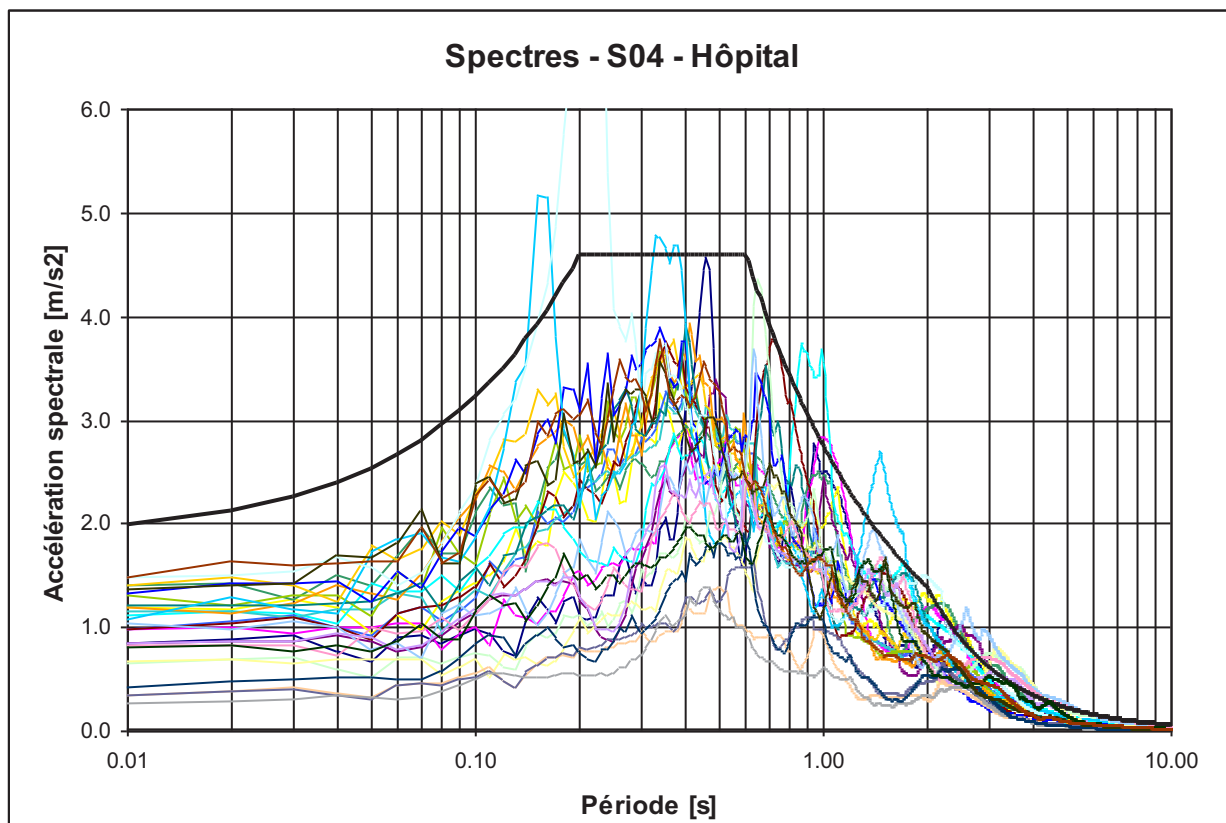
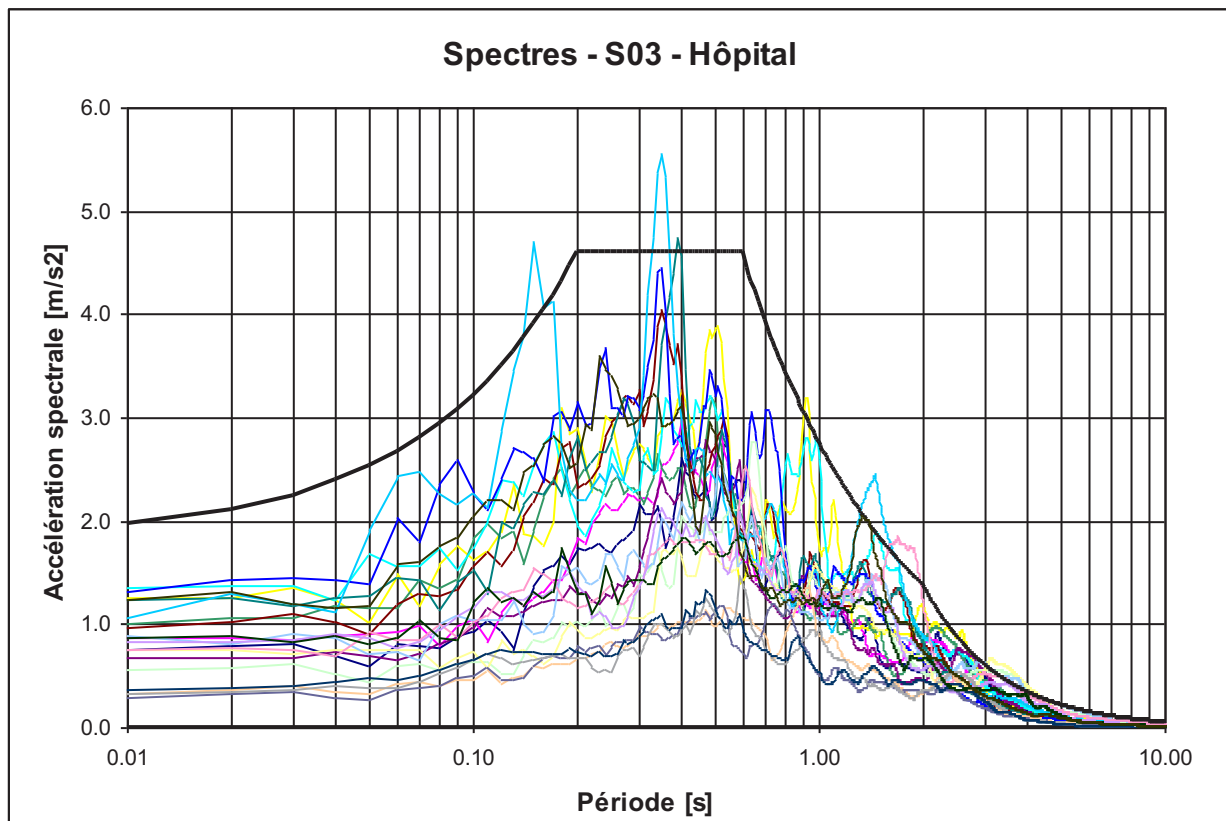
Résonance SA - Carouge, GéoVal Ingénieurs-Géologues SA - Sion

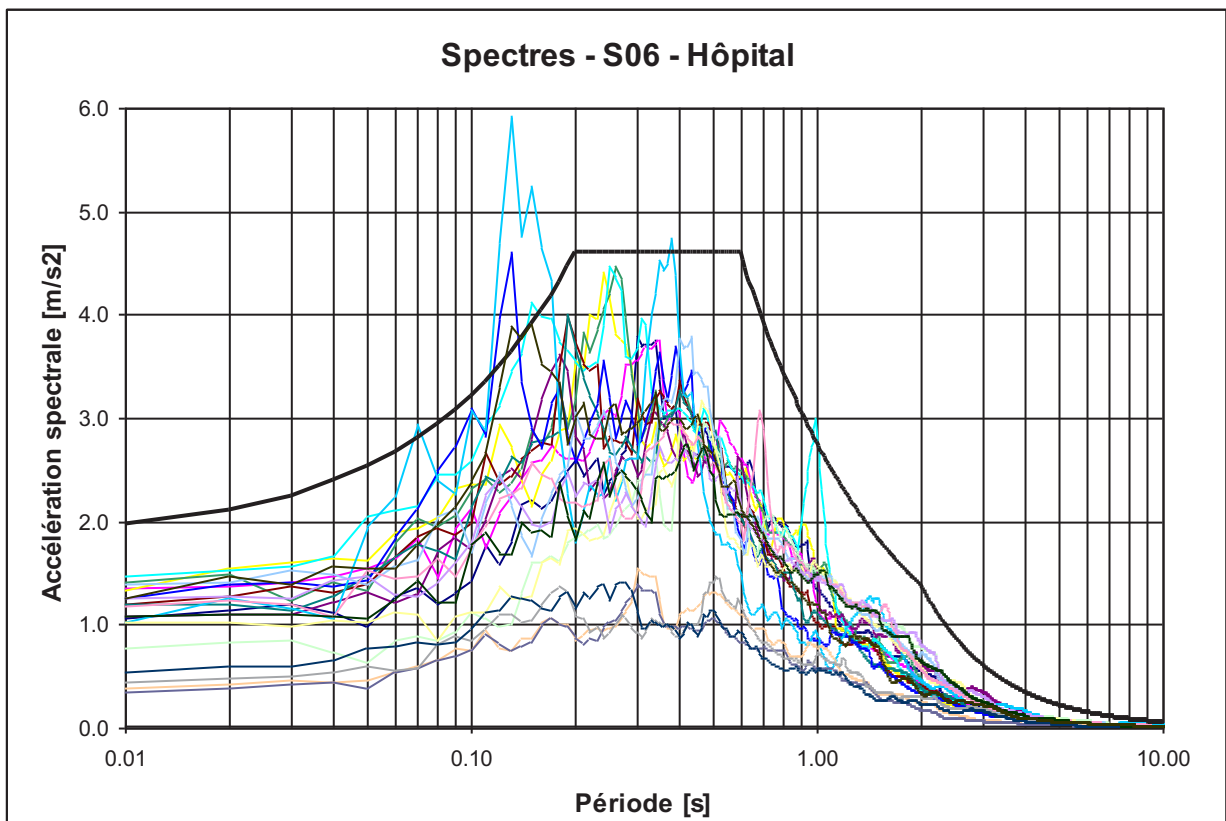
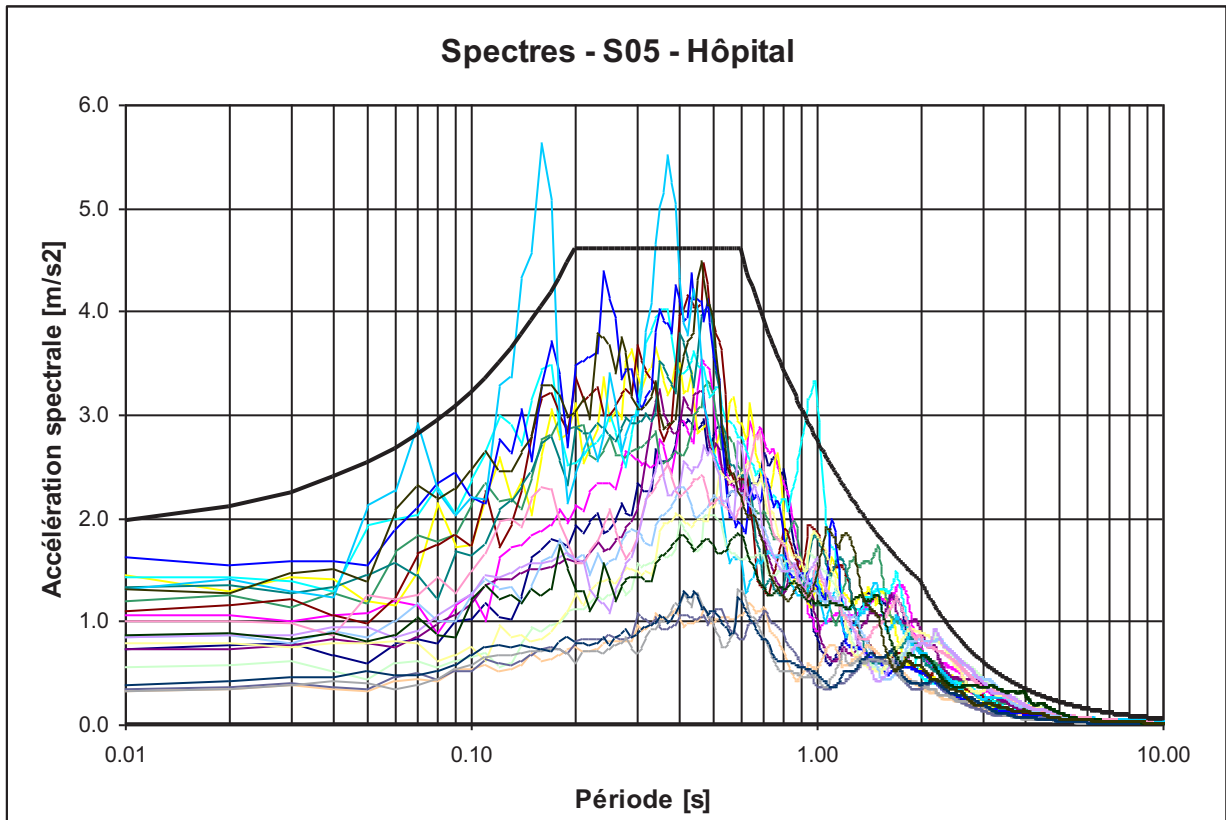
gv2482/rjm, version 2, 11 décembre 2009

Annexe 4 : Résultats des calculs

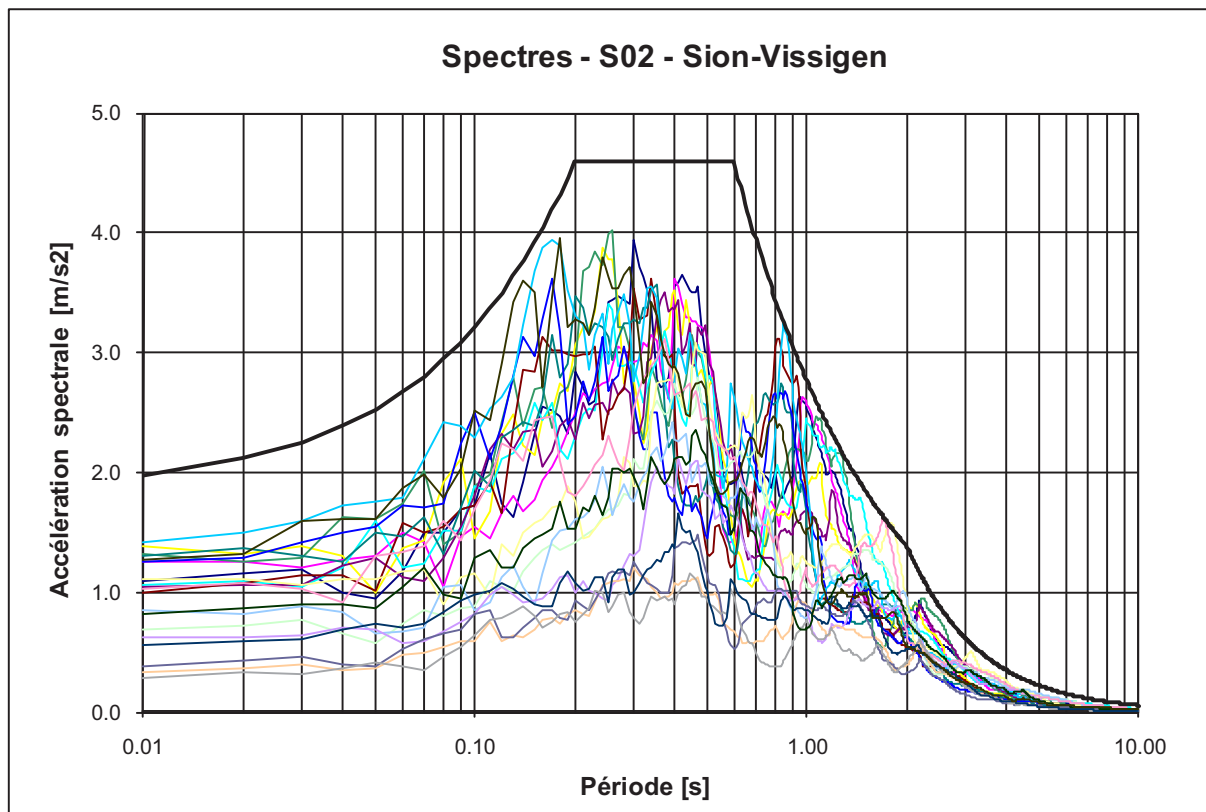
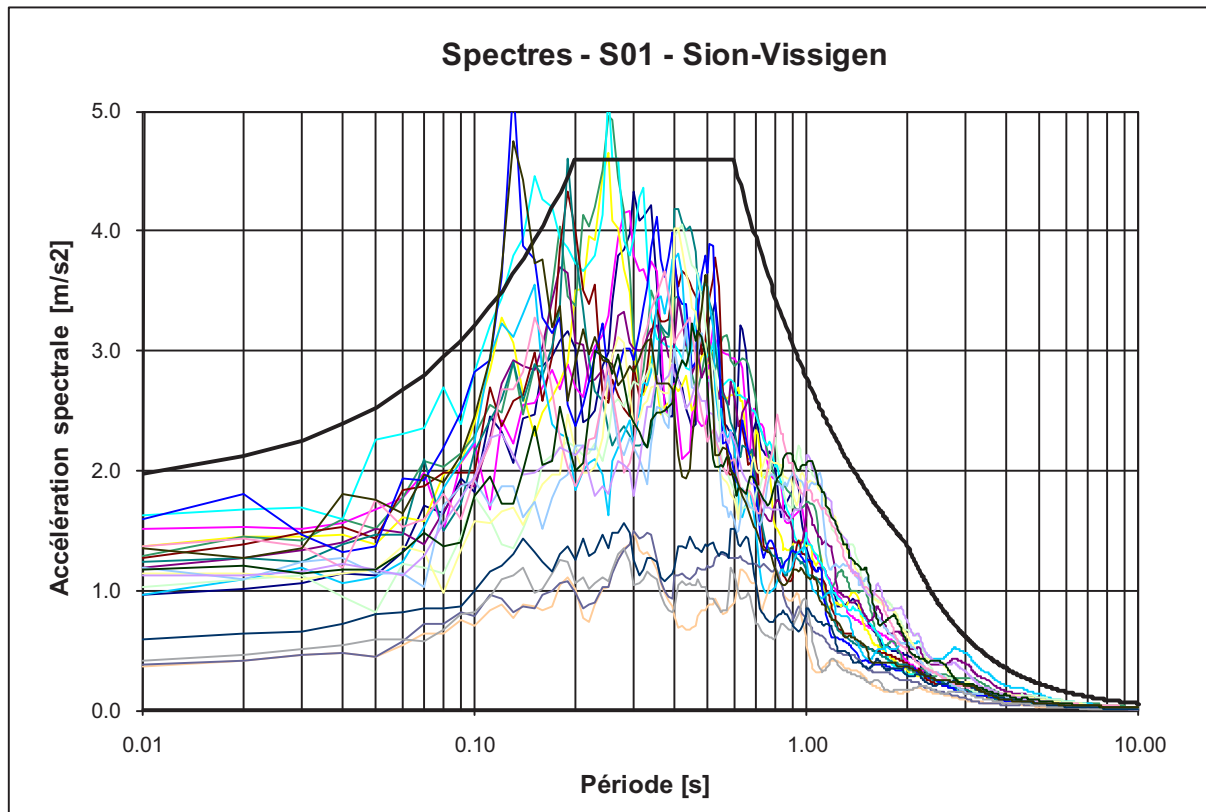
Profil Hôpital

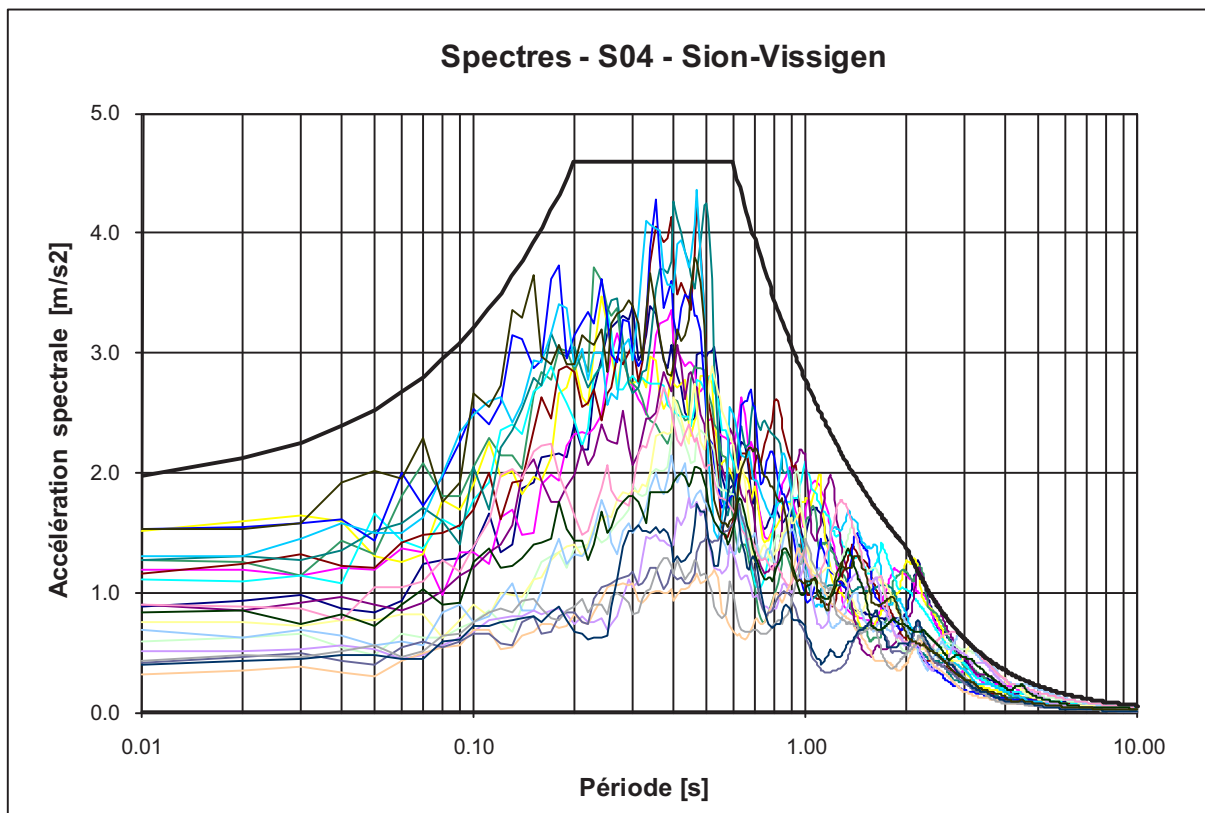
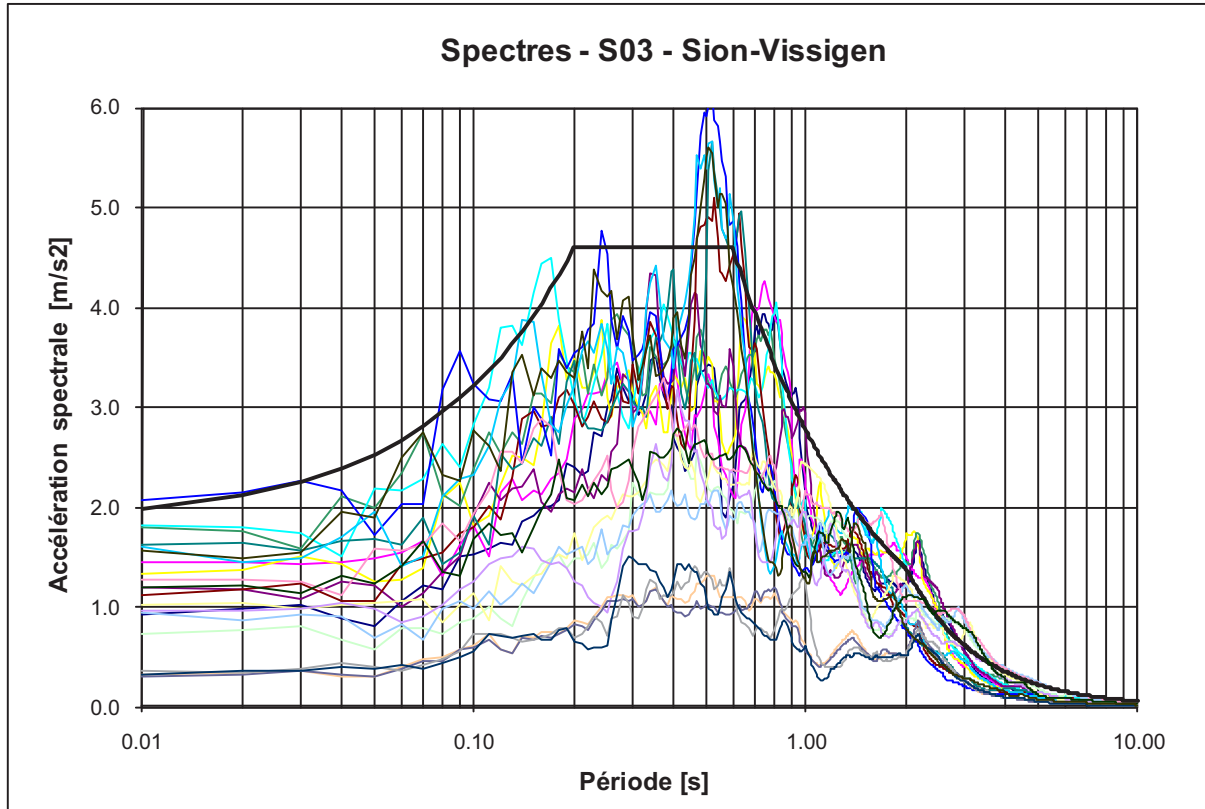


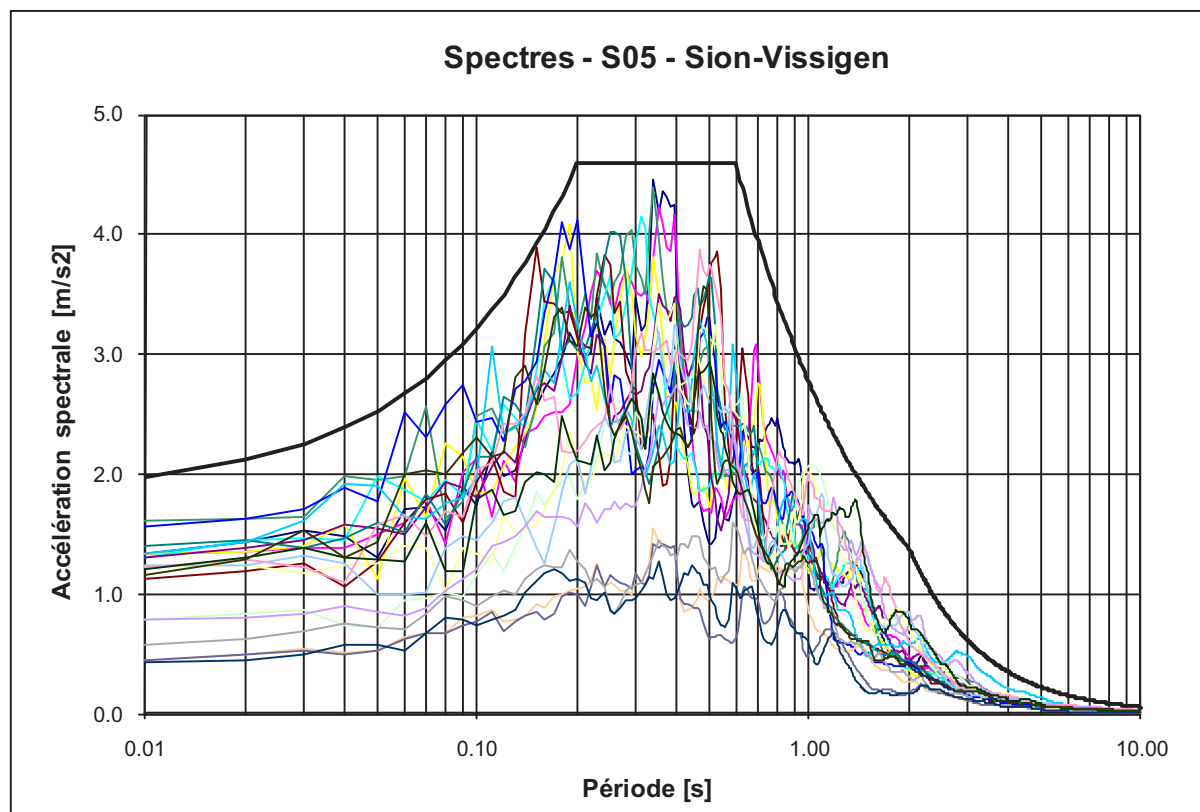




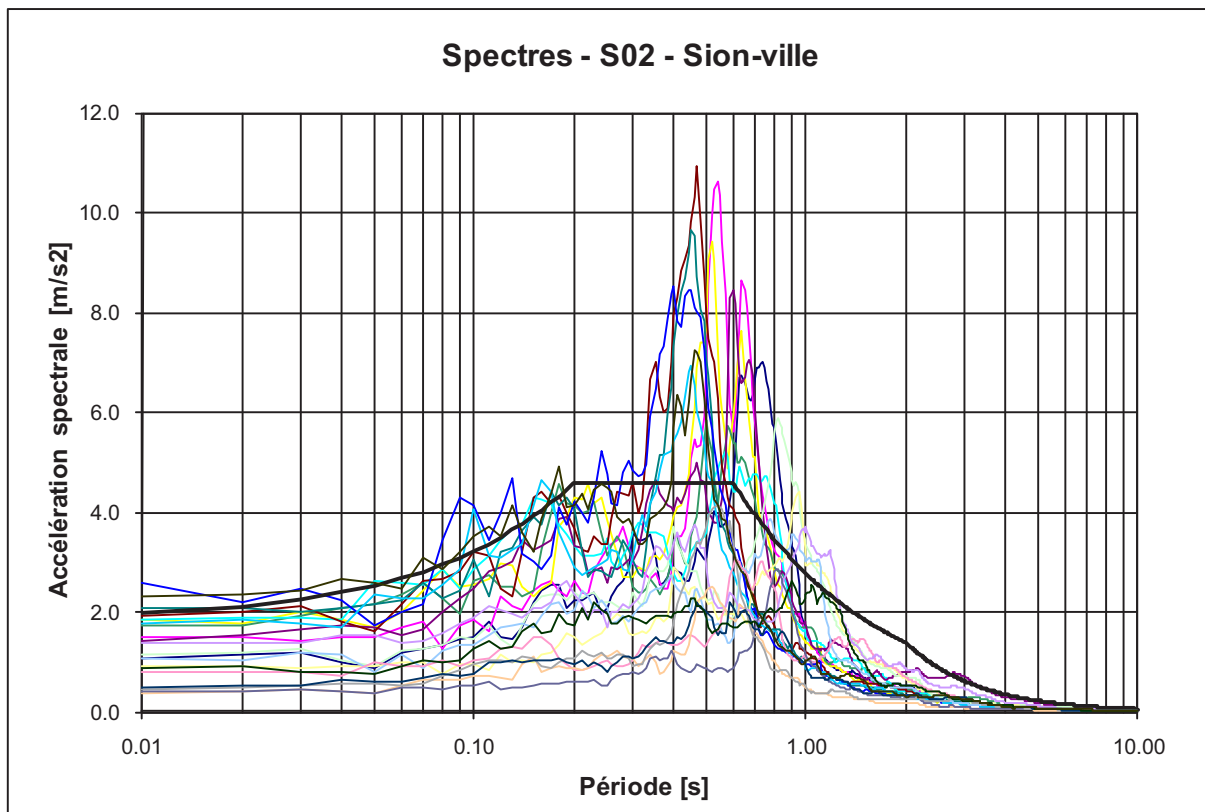
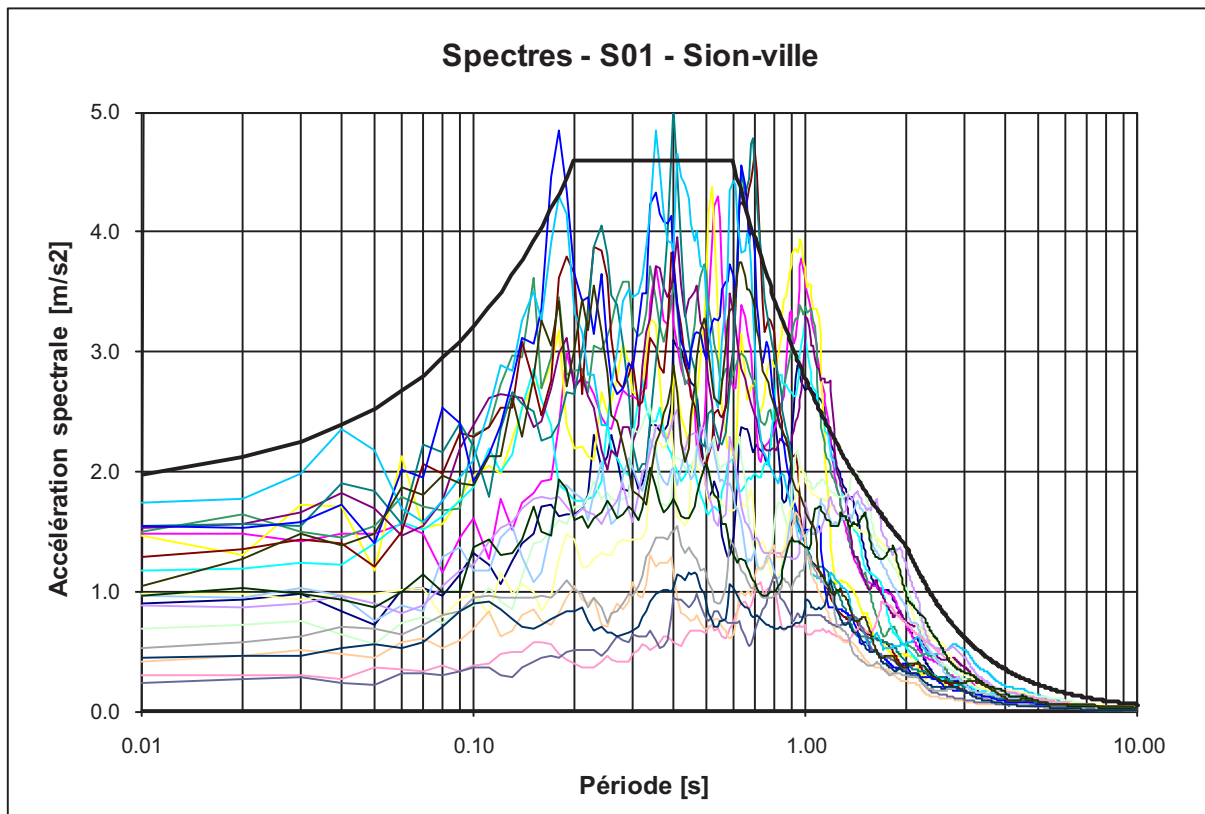
Profil Sion Vissigen

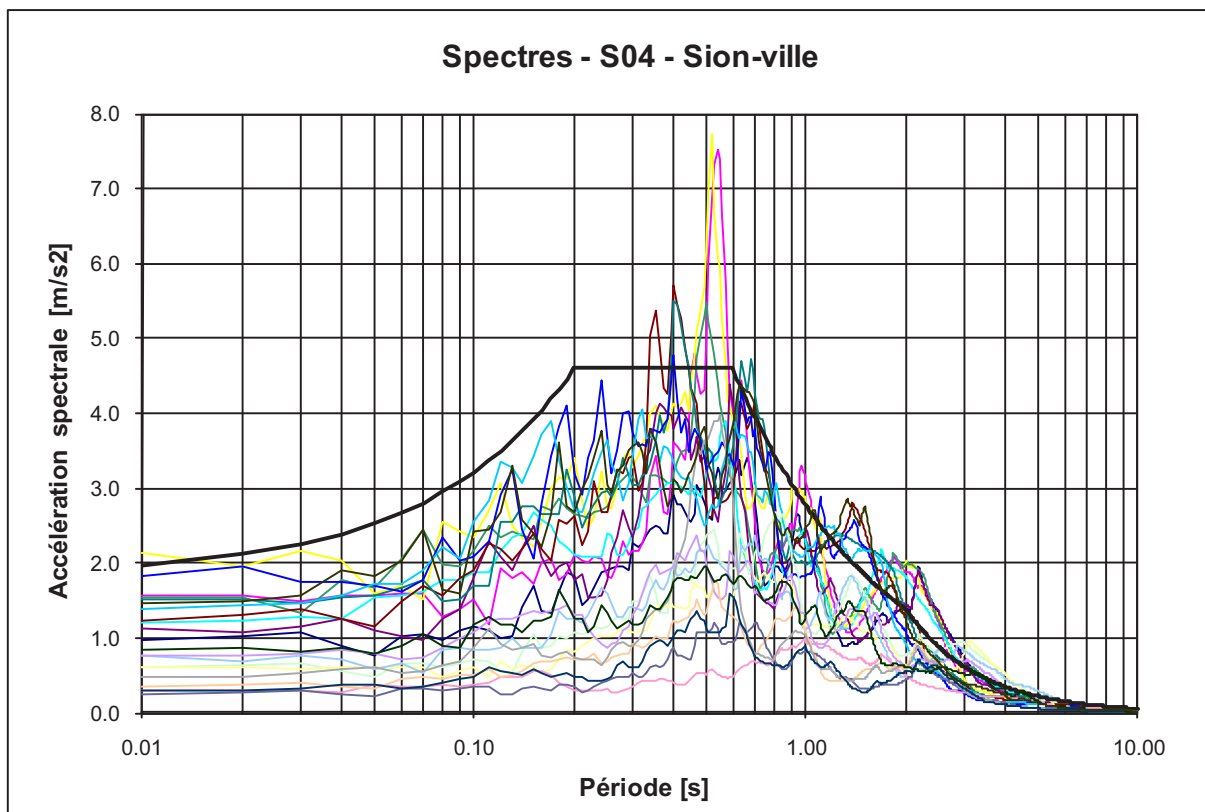
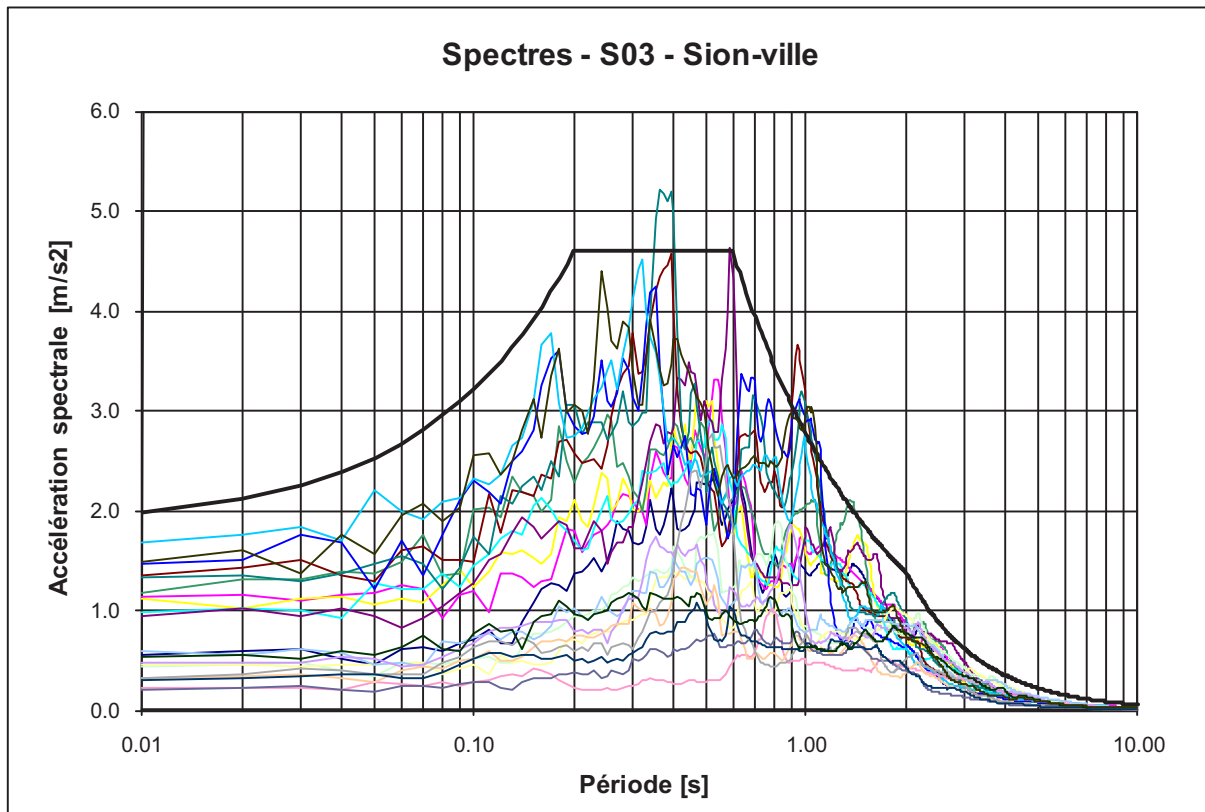


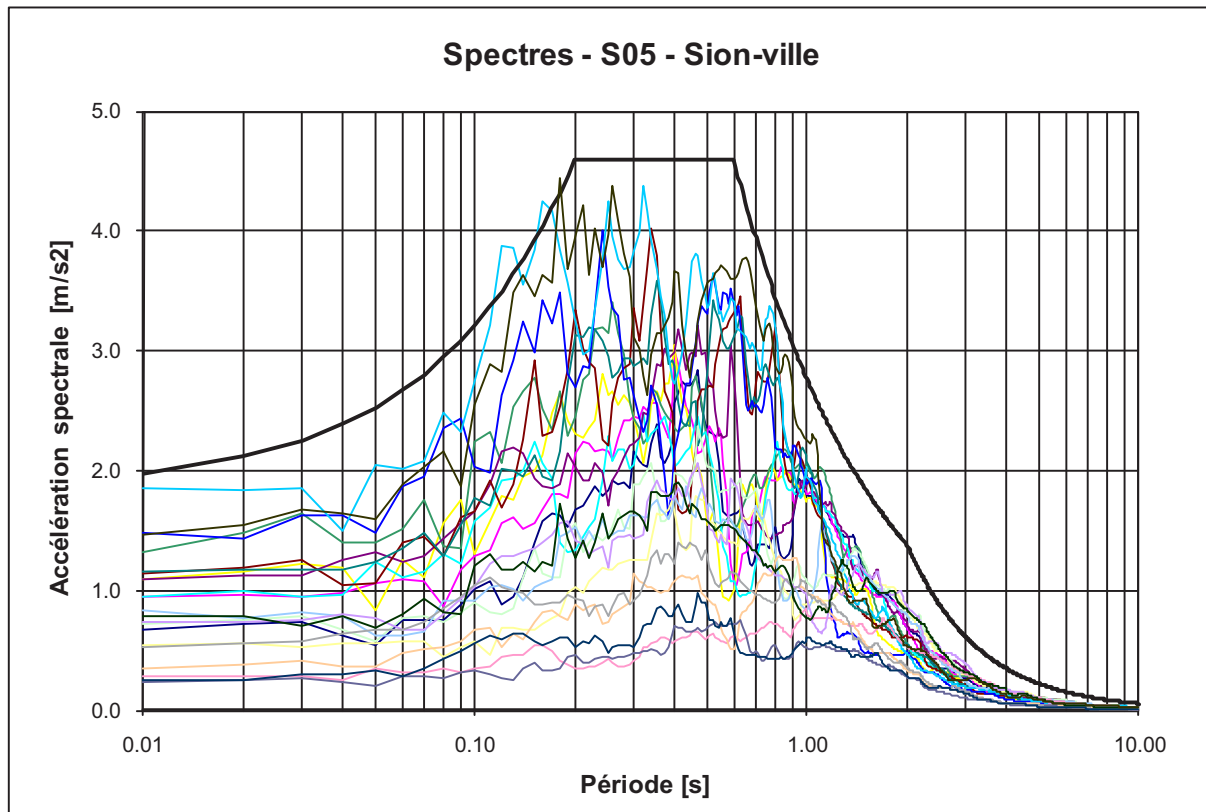




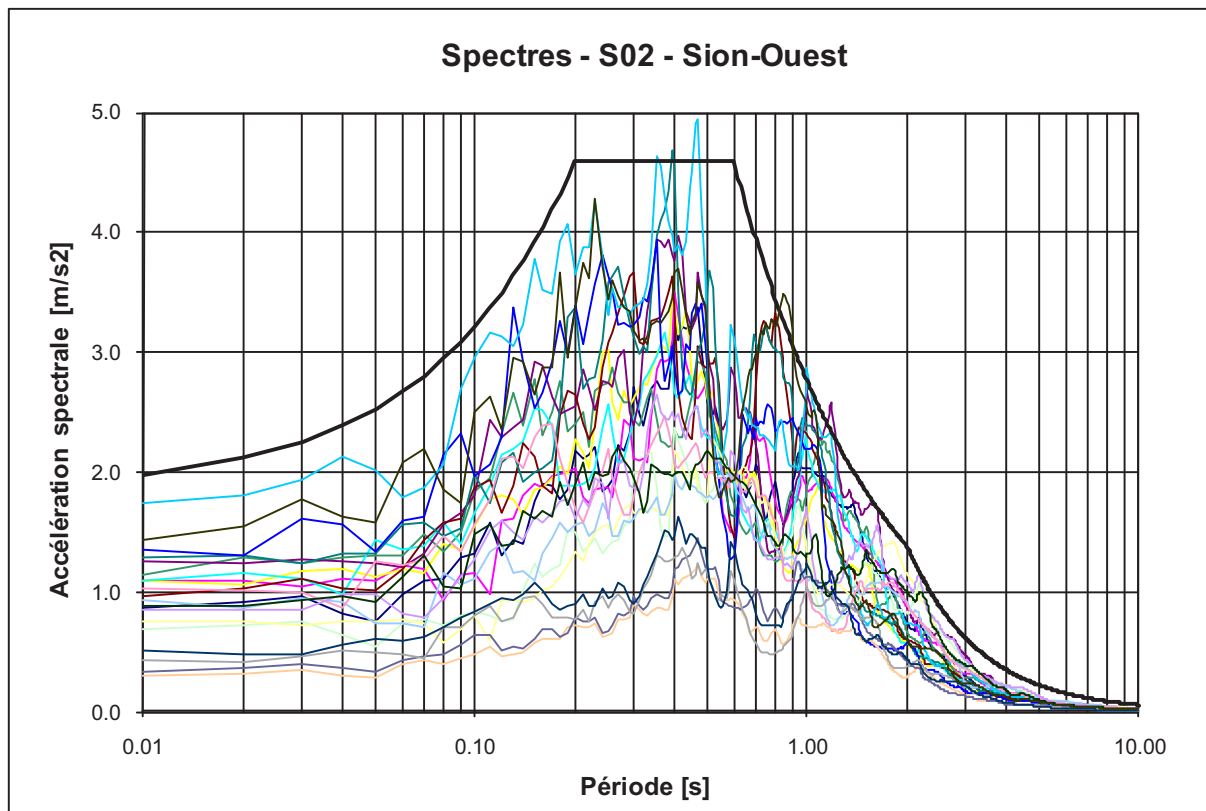
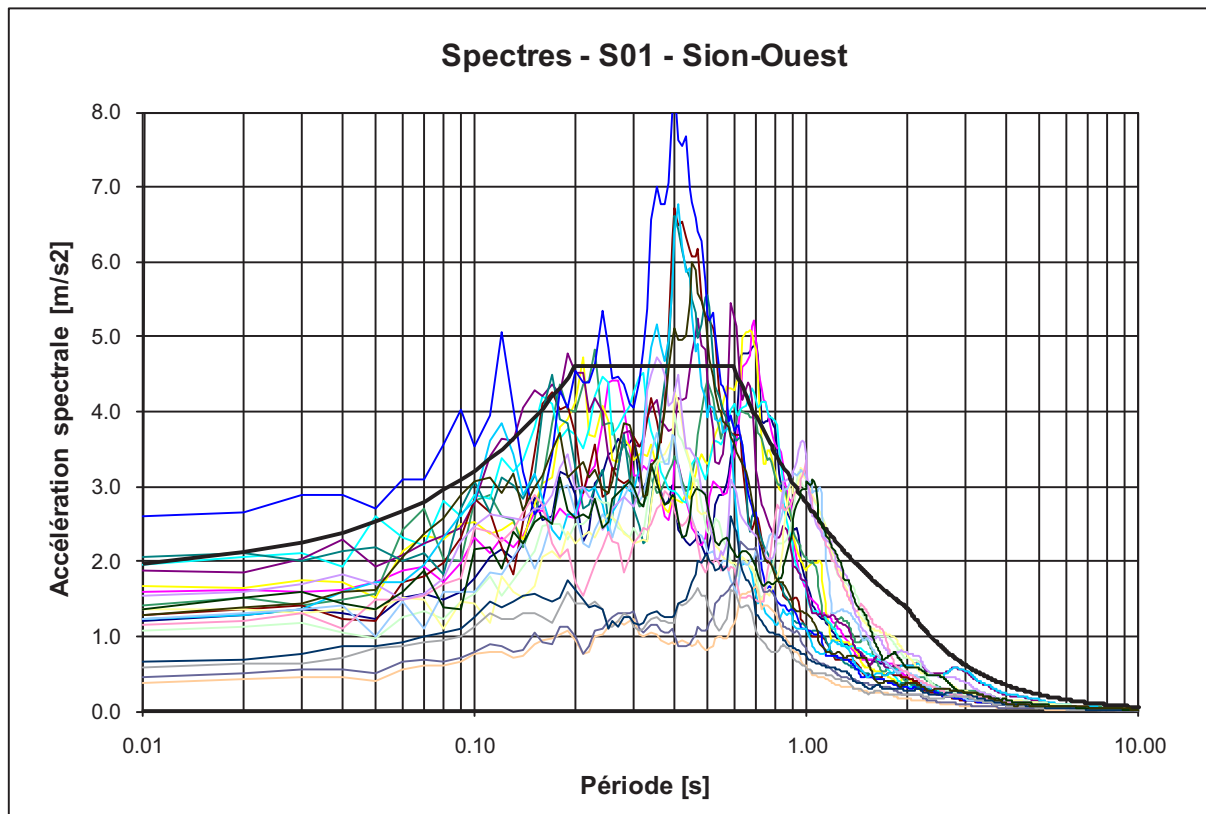
Profil Sion Ville

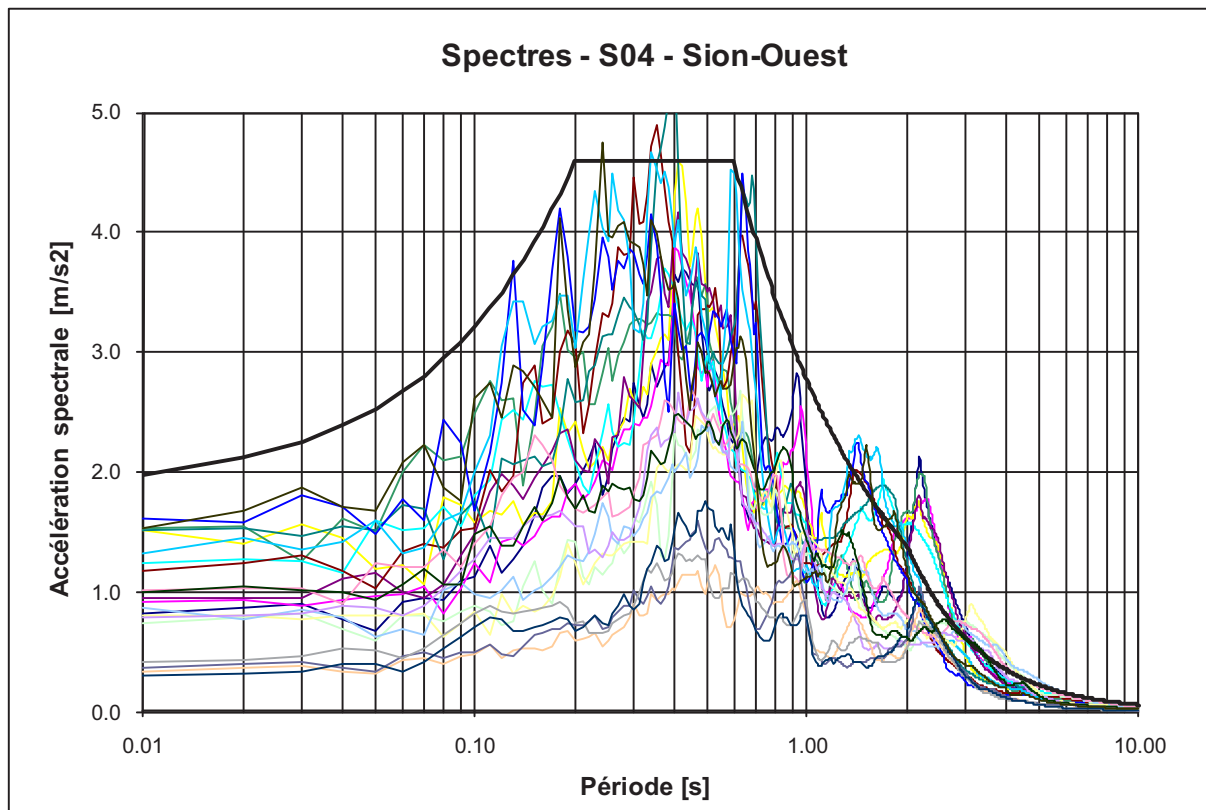
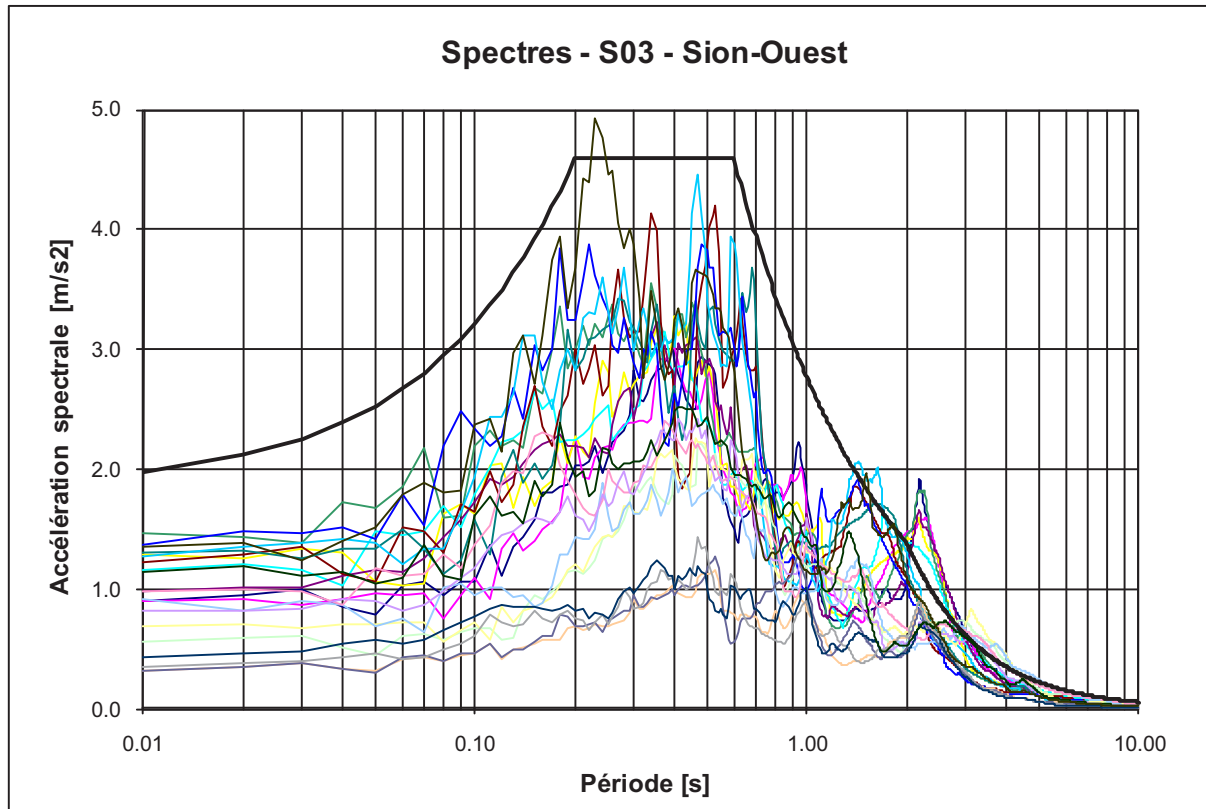


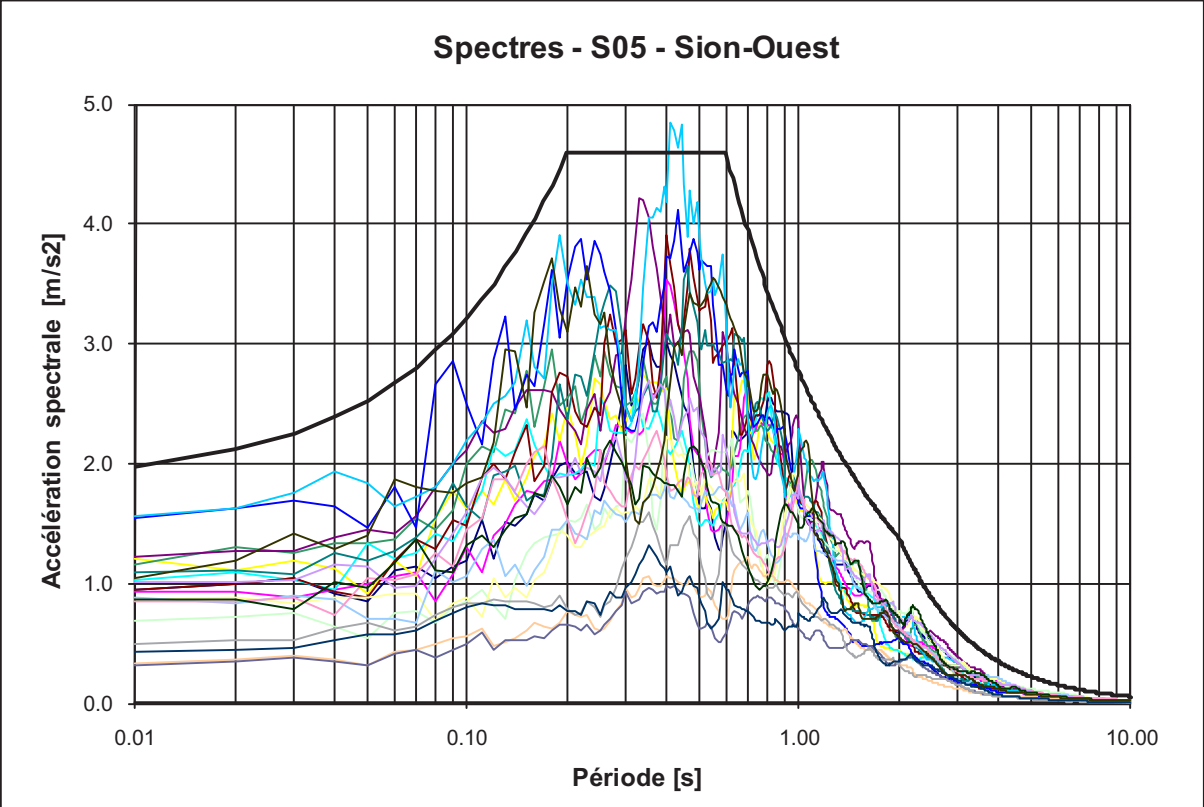




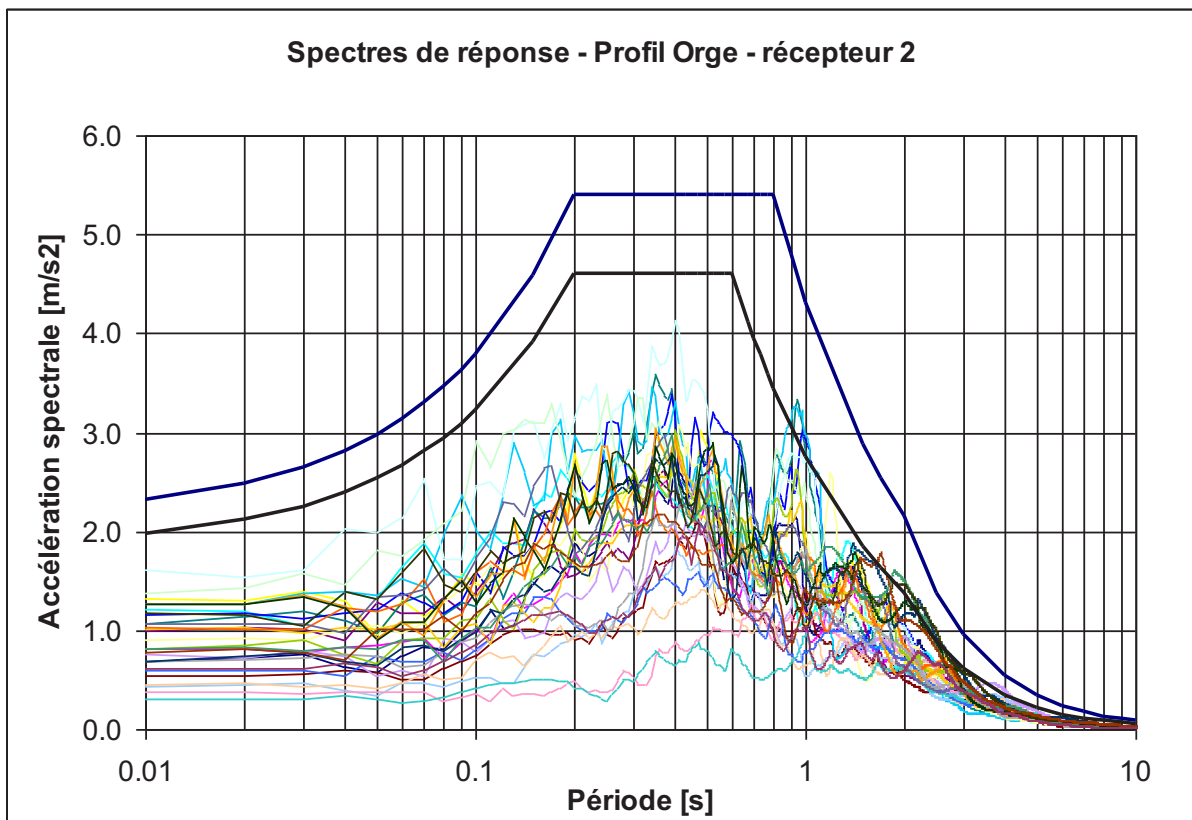
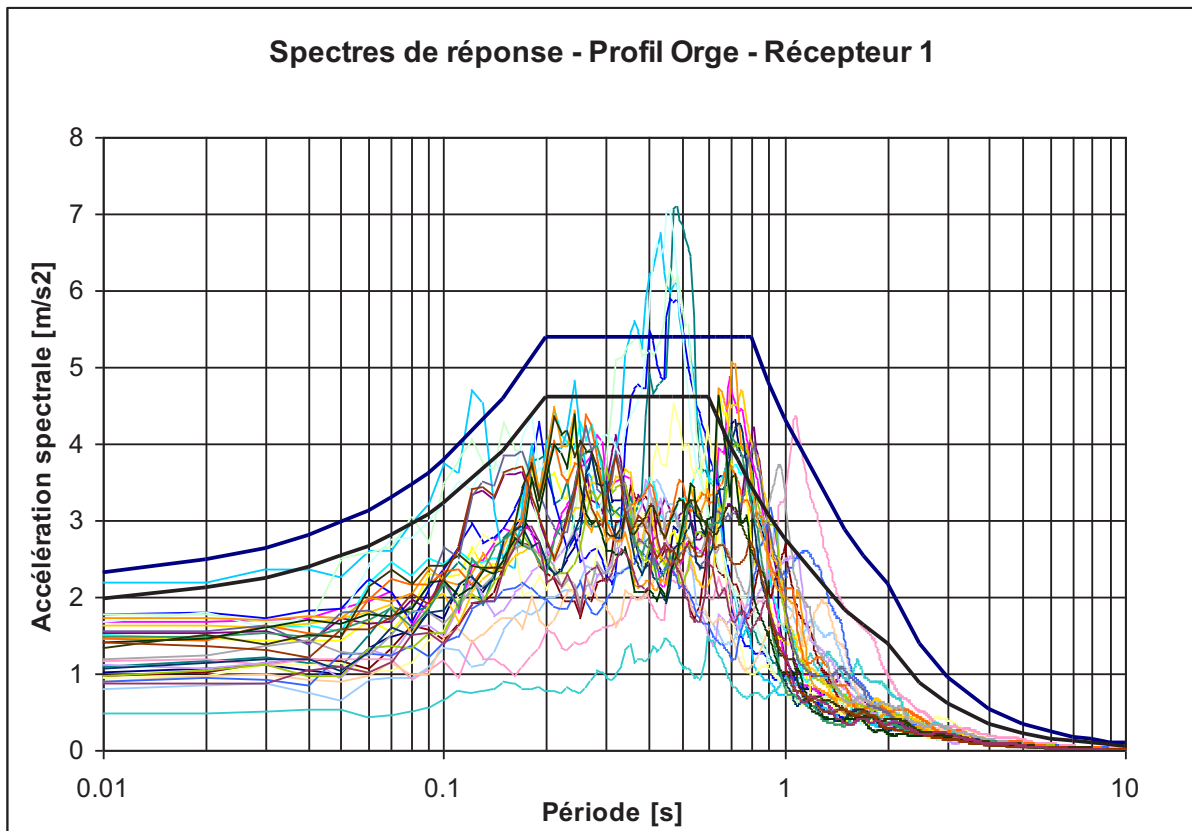
Profil Sion Ouest

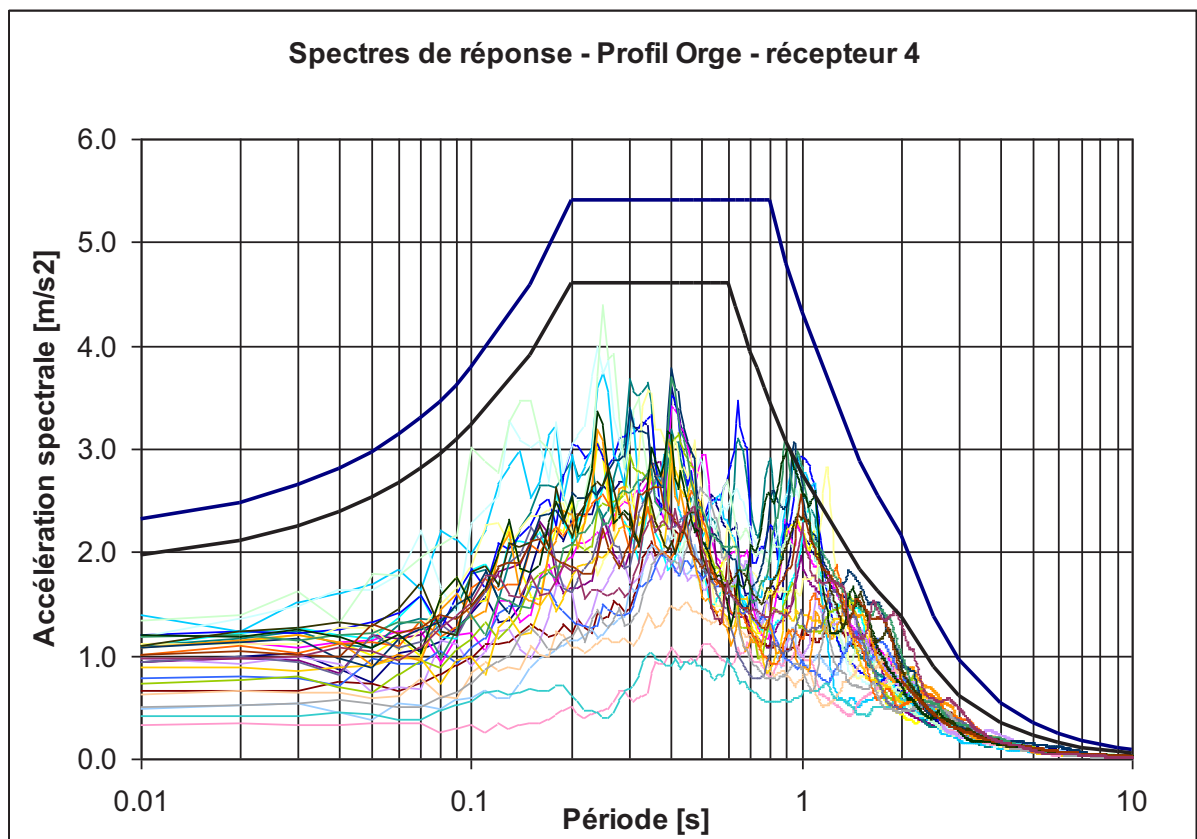
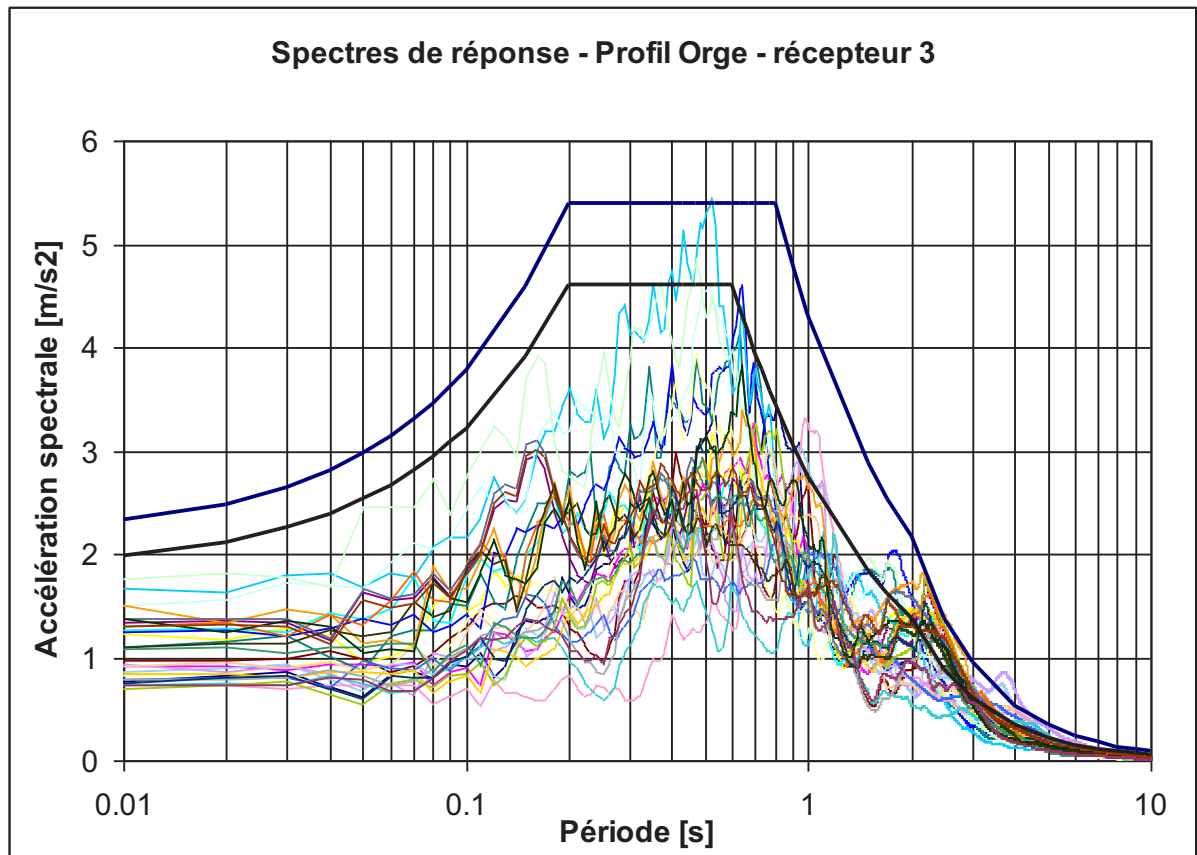


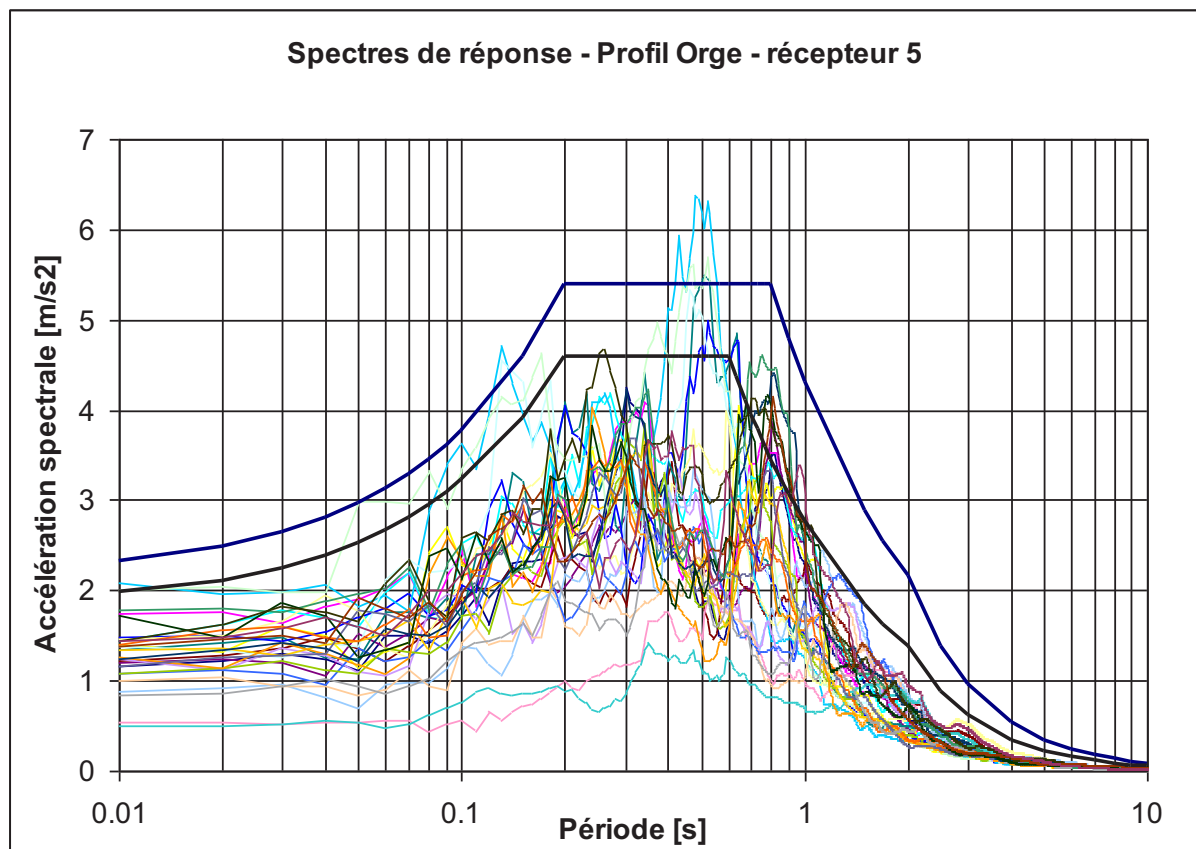




Profil Orge







Annexe 5 : Carte de microzonage sismique spectral

Microzonage sismique Sion - secteur A

Echelle 1:25'000

Carte définitive

Résonance Ingénieurs-conseils SA
GéoVal Ingénieurs - Géologues SA
Juin 2011

592'000

594'000

596'000

122'000

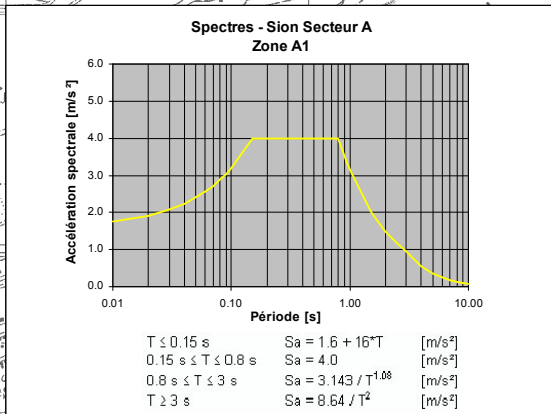
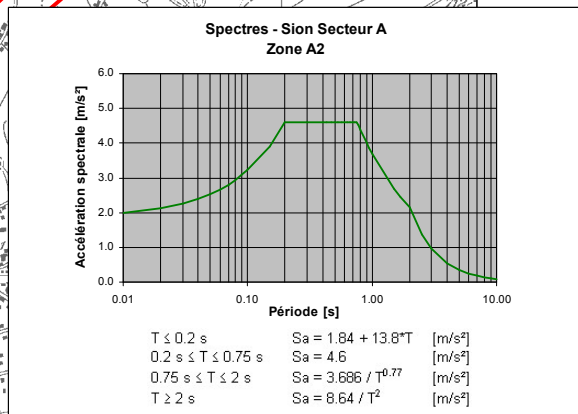
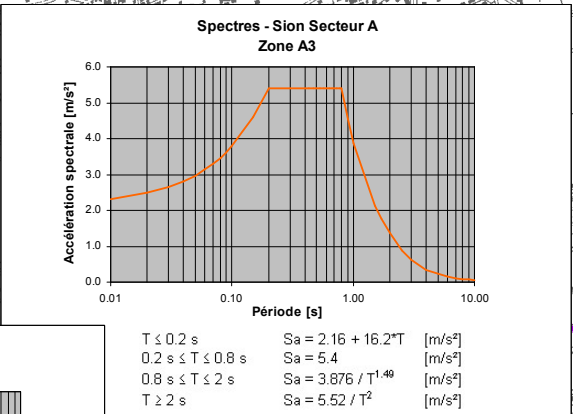
120'000

118'000

122'000

120'000

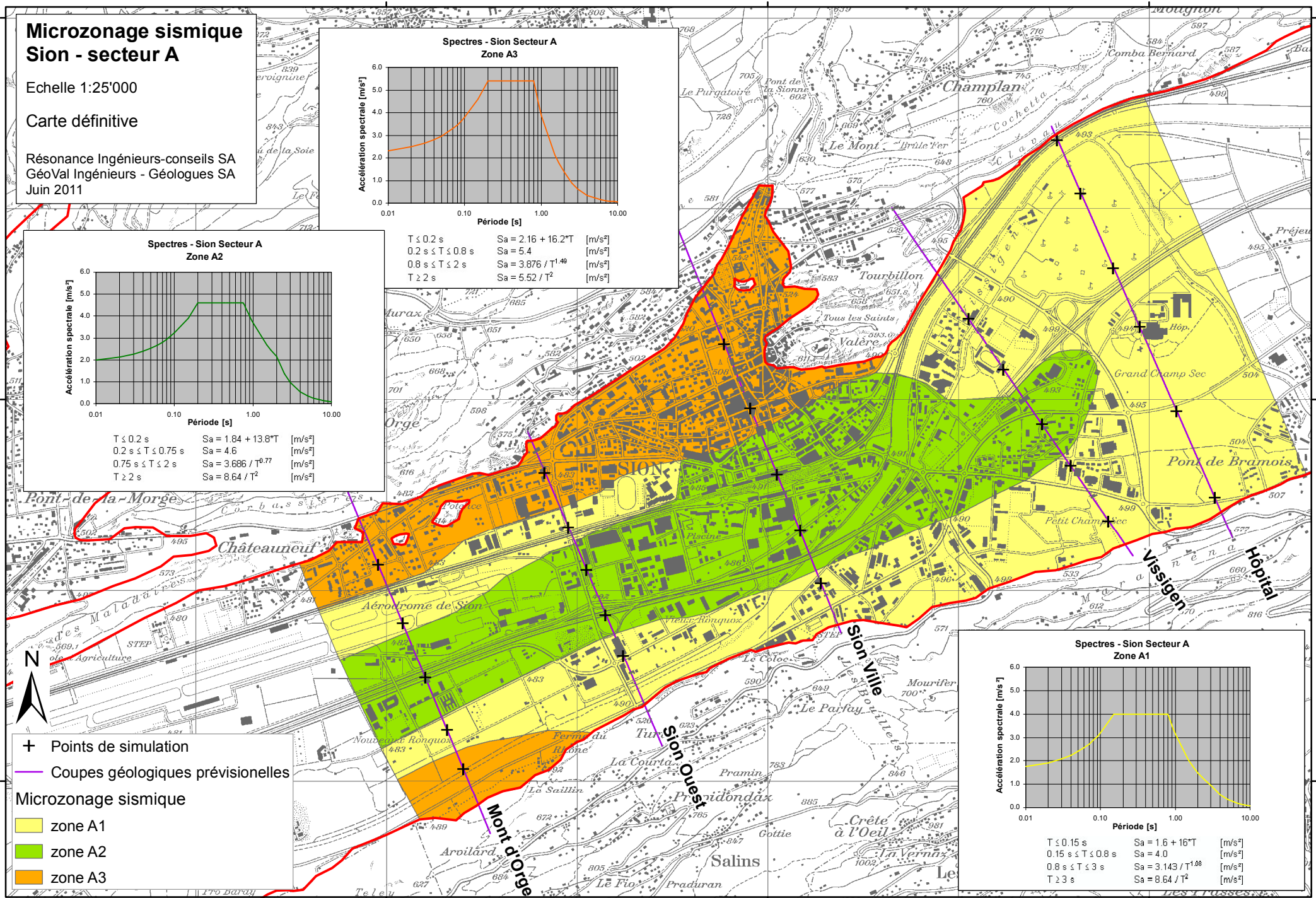
118'000



- + Points de simulation
- Coupes géologiques prévisionnelles

Microzonage sismique

- zone A1
- zone A2
- zone A3



592'000

594'000

596'000