


IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Rapport d'avancement du projet RAP 2008

Etude de faisabilité de l'utilisation des
enregistrements accélérométriques en
continu pour l'analyse de la corrélation de
bruit : Application aux stations RAP à Nice

DEI/SARG/2010-036

 Généraliste, parasismique et acoustique
Ingénieurs-Consultants SADIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE L'INTERVENTION

Service d'analyse des risques liés à la géosphère

Système de management
de la qualité IRSN certifié

Demandeur	Réseau Accélérométrique Permanent (GIS-RAP)
Référence de la demande	Convention inter-établissement Programme de Recherche GIS-RAP
Numéro de la fiche programme	01D/T04-004/01
Processus de rattachement	R4

**Etude de faisabilité de l'utilisation des
enregistrements accélérométriques en continu
pour l'analyse de la corrélation de bruit :
Application aux stations RAP à Nice**

L.F. Bonilla⁽¹⁾, S. Thomassin⁽²⁾, C. Gélis⁽¹⁾, Ch. Maron⁽³⁾, N. Shapiro⁽⁴⁾

(1) Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, France

(2) Société Résonance, Suisse

(3) Geoazur, France

(4) Institut de Physique du Globe de Paris, France

Rapport DEI/SARG/2010-036

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur(s)	Chef du SARG	Directeur de la DEI	Directeur Général de l'IRSN
Noms	L.F. Bonilla	D. Baumont	D. GAY	D. CHAMPION	J. REPUSSARD
Dates	30/07/2010	30/07/2010	29/09/2010	30/09/2010	
Signatures	<i>F. Bonilla</i>	<i>D. Baumont</i>	<i>D. Gay</i>	<i>D. Champion</i>	<i>J. Reussard</i>

DIFFUSION : Libre Interne Limitée

RESUME

DANS LE CADRE DE L'APPEL D'OFFRE RAP-2008, L'IRSN, L'IPGP ET LA SOCIETE SUISSE RESONANCE SE SONT ASSOCIES POUR TRAVAILLER SUR LE SUJET CONCERNANT LA CARACTERISATION GEOPHYSIQUE DU MILIEU. CE PROJET COMPORTE UNE ETUDE DE LA FAISABILITE DE L'UTILISATION DES DONNEES ACCELEROMETRIQUES ENREGISTREES EN CONTINU POUR L'ANALYSE DE LA CORRELATION DE BRUIT. LES DONNEES ANALYSEES ONT ETE ENREGISTREES PAR LES STATIONS DU RESEAU RAP LOCALISEES DANS LA REGION NIÇOISE.

MOTS-CLES

EFFETS DE SITE, RAP

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION.....	2
2 FAISABILITE DE L'UTILISATION DES ENREGISTREMENTS ACCELEROMETRIQUES EN CONTINU POUR L'ANALYSE DE LA CORRELATION DE BRUIT : APPLICATION AUX STATIONS RAP A NICE	2
3 REFERENCES	4
4 ANNEXE 1: PRESENTATION REALISEE PAR FABIAN BONILLA LORS DES BIENNALES DU RAP EN MAI 2010	4

1 INTRODUCTION

Durant l'année 2008, le Groupement d'Intérêt Scientifique du Réseau Accélérométrique Permanent (GIS-RAP) a fait appel aux chercheurs en France pour recueillir des propositions d'études et de recherche sur le risque sismique. Ainsi, l'IRSN, l'IPGP et la société suisse RESONANCE se sont associés pour travailler ensemble pendant un an sur l'utilisation des données accélérométriques enregistrées en continu pour l'analyse de la corrélation de bruit. Le projet proposé vise à caractériser le milieu géologique afin d'améliorer la modélisation des effets de site pour l'estimation du mouvement sismique et de l'aléa sismique. Ce projet repose sur l'exploitation des enregistrements effectués sur les stations RAP localisées dans la région Niçoise. Les personnes impliquées dans le projet sont :

- IRSN : Fabian Bonilla et Céline Gélis
- IPGP : Nikolai Shapiro
- Résonance : Sylvette Thomassin

Fabian Bonilla de l'IRSN a été désigné coordinateur du projet. Le budget alloué par le bureau du RAP à ce projet est de 6000 €, montant qui a essentiellement servi à prendre en charge les frais associés aux réunions techniques entre partenaires. Le présent document constitue le rapport intermédiaire du projet et décrit brièvement les travaux réalisés. Ces travaux ont été présentés lors des biennales du RAP qui ont eu lieu en Mai 2010 en Corrèze. Cette présentation est attachée en annexe de ce rapport. Enfin, les études se poursuivent et devraient permettre de produire une publication scientifique à la fin de cette année.

2 FAISABILITE DE L'UTILISATION DES ENREGISTREMENTS ACCELEROMETRIQUES EN CONTINU POUR L'ANALYSE DE LA CORRELATION DE BRUIT : APPLICATION AUX STATIONS RAP A NICE

La connaissance du milieu géologique est un élément déterminant pour une bonne évaluation des risques naturels (étude des effets de site pour l'aléa sismique par exemple). Les ondes sismiques, d'origine anthropique (explosions, industrie, ...) ou naturelle (séismes, océans, ...), sont modifiées par les propriétés du milieu qu'elles traversent. L'étude de ces ondes permet donc d'extraire des informations sur les propriétés du milieu de propagation.

Dans des régions à sismicité modérée telles que la France, l'étude des vibrations ambiantes enregistrées en réseau (Bonney-Claudet et al., 2006), non causées par des séismes, peut permettre de déterminer les propriétés géologiques locales (en supposant le champ d'ondes incident isotrope).

En complément, Shapiro et al. (2005) ont développé une méthode basée sur l'enregistrement en continu des vibrations ambiantes du sol. Le principe repose sur l'inter corrélation des signaux enregistrés en continu par deux capteurs (durée d'enregistrement de l'ordre du mois), permettant d'évaluer la fonction de Green entre ces deux capteurs. Les ondes de surface dominent la fonction d'inter corrélation car elles sont très énergétiques et sont principalement générées par des sources superficielles (océans, perturbations atmosphériques). La courbe de dispersion de ces ondes est calculée puis inversée, de manière à obtenir un profil de vitesse 1D des ondes de cisaillement. Grâce à

cette méthode, la gamme de fréquences pour lesquelles les courbes de dispersion sont calculées atteint des valeurs plus basses qu'avec une méthode de type réseau, ce qui permet de déterminer la vitesse des ondes de cisaillement à des profondeurs plus importantes.

Cette méthode est classiquement mise en œuvre sur des enregistrements de la vitesse du sol. Le présent projet consiste à étudier la faisabilité d'appliquer la méthode développée par Shapiro et al. (2005) à des données accélérométriques. Nous proposons de calculer les corrélations croisées entre les signaux enregistrés en continu par les stations du réseau RAP localisées à Nice. Nous évaluerons la possibilité d'extraire de ces corrélations les courbes de dispersion des ondes de surface pour chaque paire de capteurs.

Par ailleurs, Bonnefoy-Claudet et al. (2008) ont utilisé conjointement les courbes de dispersion issues des mesures en réseau et de l'inter corrélation de bruit, couvrant des domaines de fréquences distincts, pour mieux contraindre l'inversion des courbes de dispersion des ondes de surface et ainsi améliorer la connaissance du milieu dans le bassin de Santiago de Chili. En effet, l'utilisation combinée des mesures en réseau et de corrélation du bruit ont permis d'une part l'obtention du modèle de vitesse jusqu'à environ 900 m de profondeur et d'autre part une plus grande stabilité de l'inversion des données en réseau.

Les principaux résultats obtenus dans le cadre de ce projet montrent que :

- Il est, en effet, possible d'utiliser les enregistrements accélérométriques (données RAP) pour réaliser l'inter-corrélation du bruit sismique.
- Des durées d'enregistrement d'une semaine en continu semblent suffisantes pour calculer la fonction de Green, même si le rapport signal/bruit pourrait être amélioré en augmentant la durée d'enregistrement.
- Lors des investigations effectuées autour de cette technique, nous avons détecté des problèmes liés à la variété des instruments utilisés pour l'acquisition des données sismiques (accéléromètres provenant de divers fabricants). L'utilisation d'enregistrements obtenus avec des capteurs différents occasionne un déphasage des signaux qui altère l'évaluation de la fonction de Green et par conséquent la courbe de dispersion associée. La correction de la réponse instrumentale est donc nécessaire.
- Nous avons aussi mis en évidence que les numériseurs génèrent du bruit numérique pour les fréquences supérieures à 2 Hz. Ceci limite malheureusement le calcul de la courbe de dispersion à environ 1,5 Hz maximum.

Les perspectives de ce travail préliminaire indiquent que :

- Il est possible de coupler des mesures de bruit ambiant provenant de réseaux de faible taille (quelques dizaines de mètres d'ouverture) et des réseaux permanents de grande taille (quelques kilomètres d'ouverture) afin d'augmenter la profondeur d'investigation géophysique.
- Ce couplage pourrait permettre de caractériser le milieu pour des profondeurs au-delà des premiers 30 m (profondeur classiquement utilisée pour caractériser le site, mais qui reste insuffisante pour évaluer l'effet de site).
- Ces analyses pourraient à terme permettre de construire des modèles locaux et régionaux de vitesse qui permettront une meilleure évaluation de l'effet de site.

3 REFERENCES

- Bensen G.D., M.H. Ritzwoller, M.P. Barmin, A.L. Levshin, F. Lin, M.P. Mochetti, N.M. Shapiro, and Y. Yang (2007). Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements, *Geophys. J. Int.*, **169**, 1239-1260.
- Bonnefoy-Claudet, S. (2004). Nature du bruit de fond sismique : implications pour les études des effets de site, thèse Université Joseph Fourier, 241 pp.
- Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F. and Bard, P.Y. (2006). The nature of noise wavefield and its implication for site effects studies. A literature review. *Earth-Sciences Review*, **79**(3-4), 205-227
- Bonnefoy-Claudet S., Baize S., Berge C., Bonilla L.F., Leyton F. and Campo J. (2008). Potentiality of Microtremor to Evaluate site Effects at Shallow Depths in the deep basin of Santiago de Chile. Proceedings in the 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Levshin, A.L., L. Ratnikova, and J. Berger (1992). Peculiarities of surface wave propagation across central Eurasia, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **82**, 2464-2493.
- Shapiro, N.M, M. Campillo, L. Stehly, and M.H. Ritzwoller (2005). High resolution surface wave tomography from ambient seismic noise, *Science*, **307**, 1615-1618.
- Wathelet, M. (2008). An improved neighborhood algorithm: parameter conditions and dynamic scaling, *Geophysical Research Letters*, **35**, L09301, doi:10.1029/2008GL033256

4 ANNEXE 1: PRESENTATION REALISEE PAR FABIAN BONILLA LORS DES BIENNALES DU RAP EN MAI 2010

Noise correlation analysis using continuous accelerometer data: an example of RAP stations in Nice

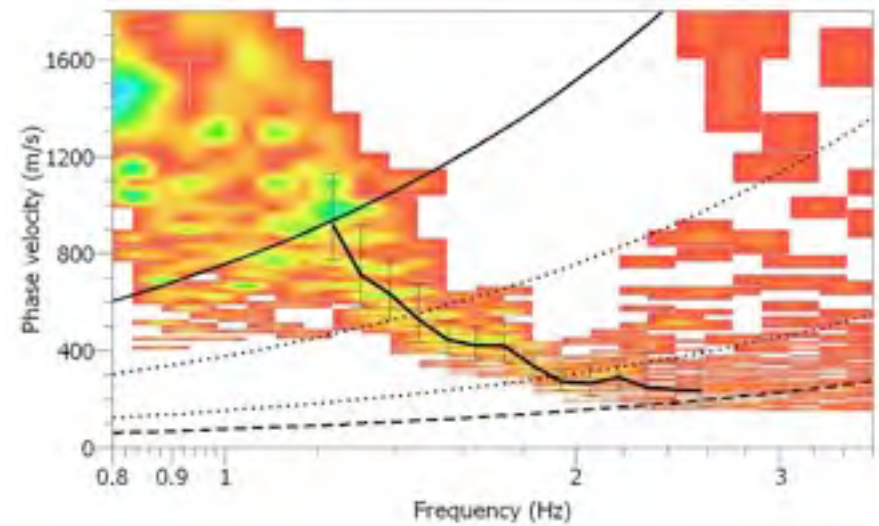
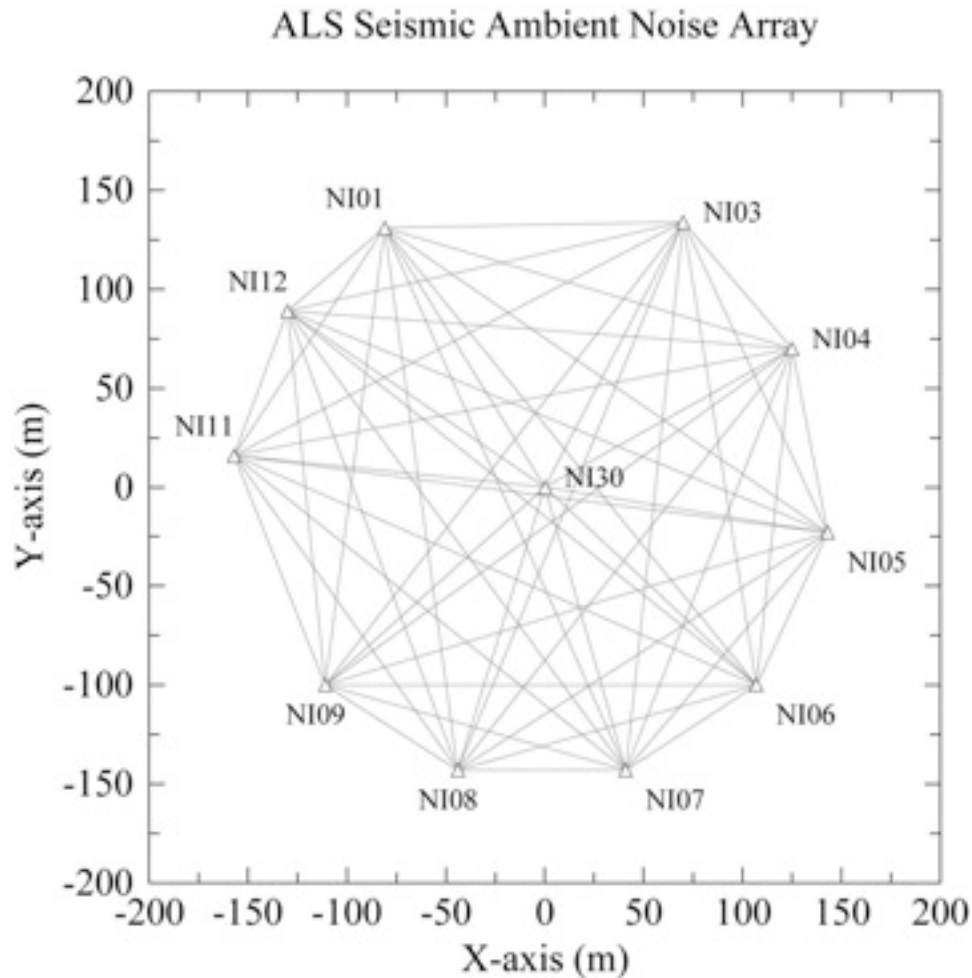
L.F. Bonilla¹, S. Thomassin², C. Gelis¹, Ch. Maron³,
N. Shapiro⁴

1. IRSN, Fontenay-aux-Roses, France
2. Resonance, Carouge, Switzerland
3. Geoazur, Sophia Antipolis, France
4. IPGP, Paris, France

Questions

- Is it possible to use continuous accelerometer data to perform seismic noise correlation analysis?
- Why Nice?
 - RAP stations working in continuous mode
 - NALS station studied by S. Thomassin Bonnefoy-Claudet using “classical” ambient noise techniques during her thesis (GEM-GEP project, 2002)
 - Geotechnical characterization of Nice (3D) by the CETE

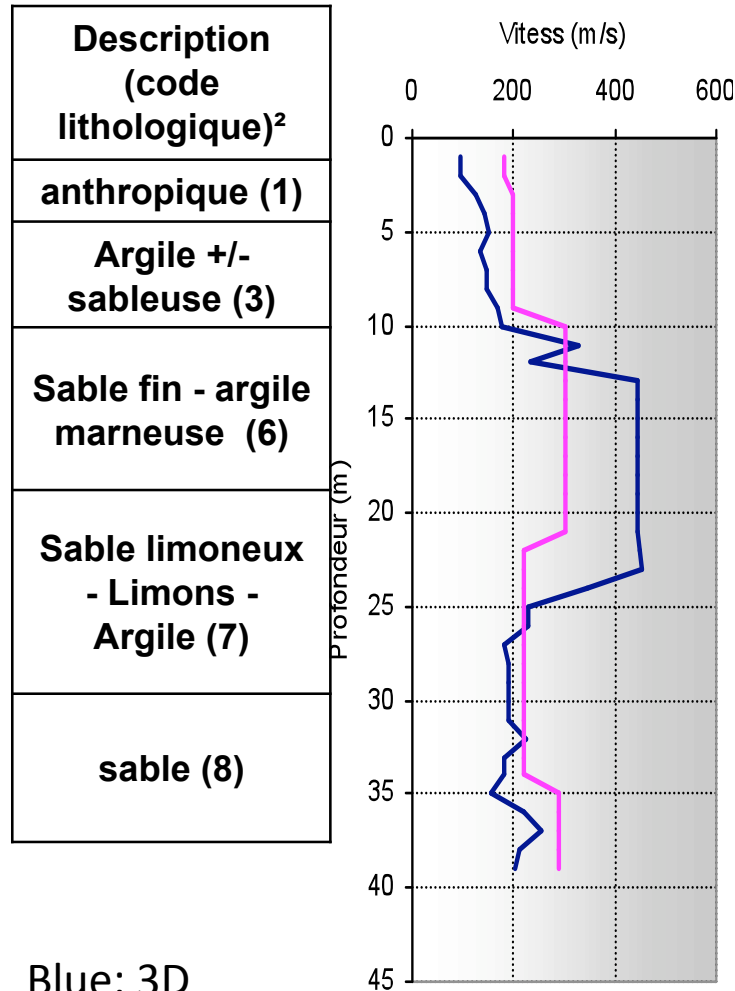
Previous studies at NALS



- 45' of noise recording
- $f_0 = 0.8$ Hz (H/V method)
- V_s inverted < 100 m depth

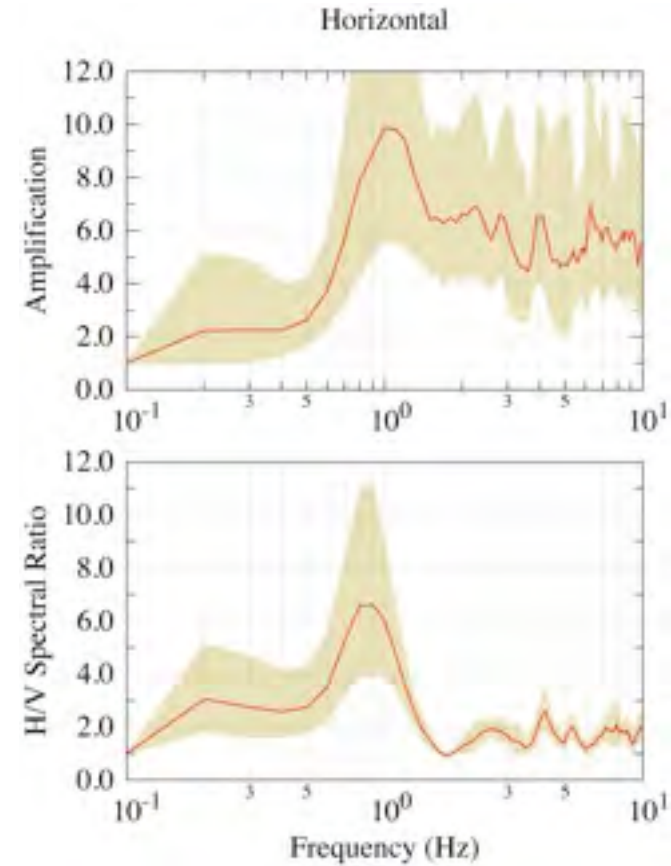
After S. Thomassin Bonnefoy-Claudet (2002)

More...using earthquake data



Blue: 3D

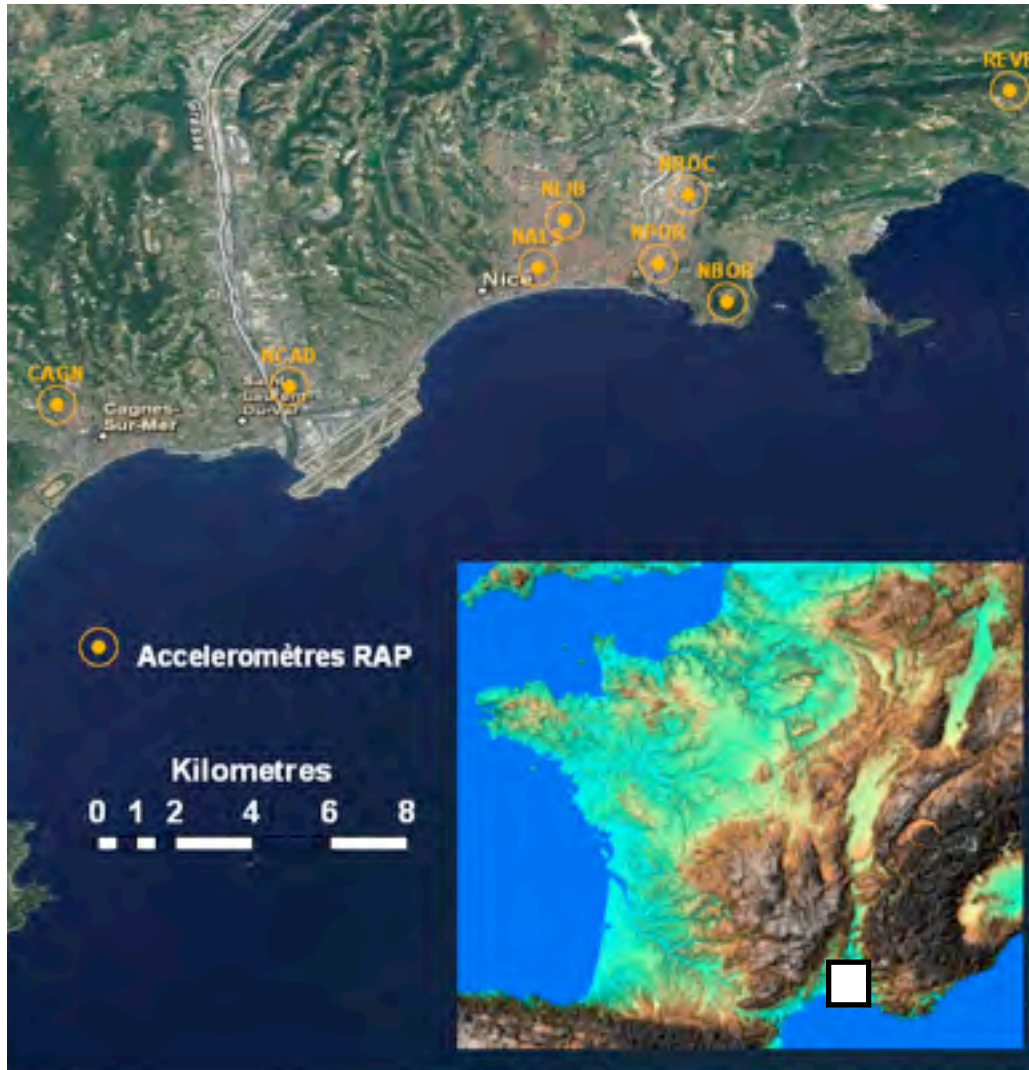
Magenta: simplified 2D



- Reference station: NBOR
- Broadband amplification
- f_0 close to H/V result (noise)

After J. Regnier (2007)

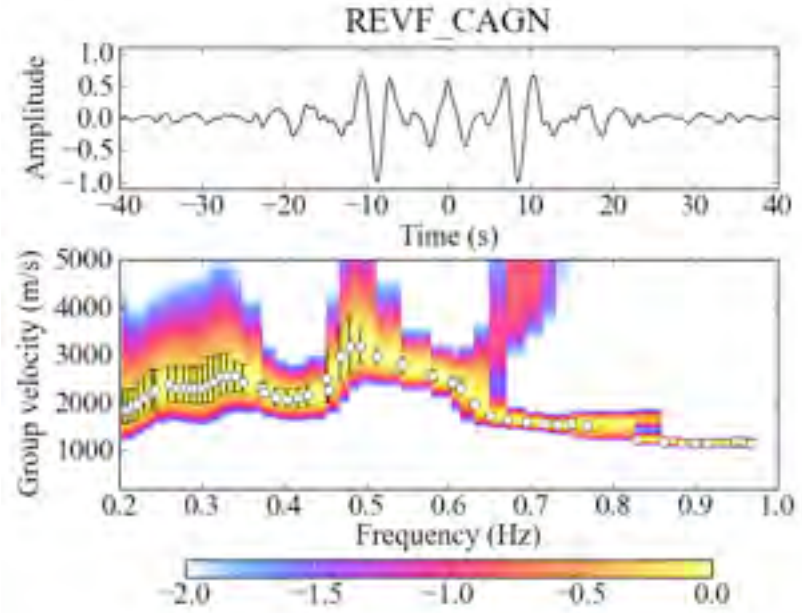
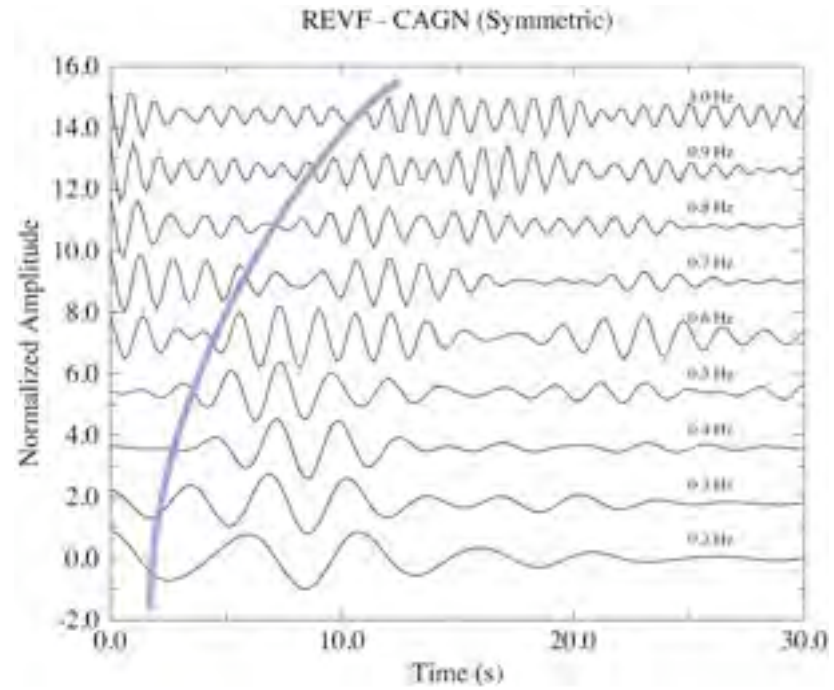
Nice-RAP data



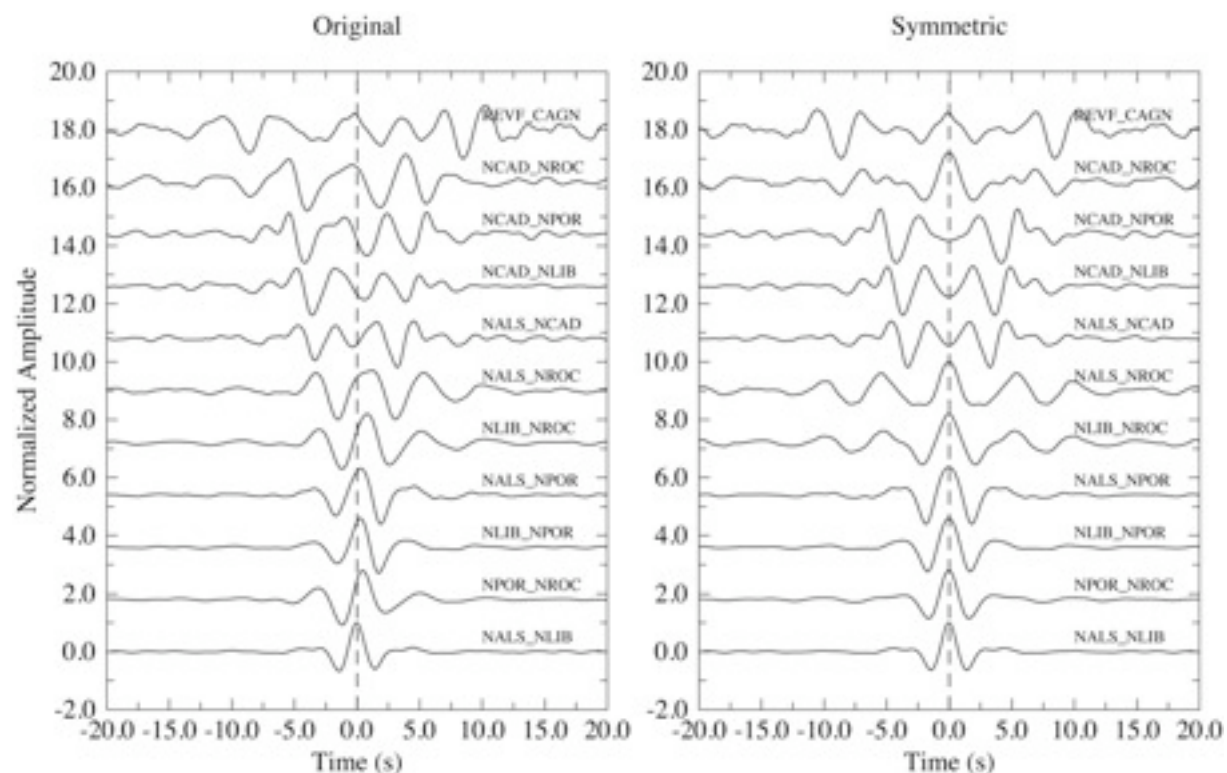
- 1 week of continuous recording (125 Hz)
- Different instrumentation (sensors)
- NBOR not working at this time

Noise correlation analysis

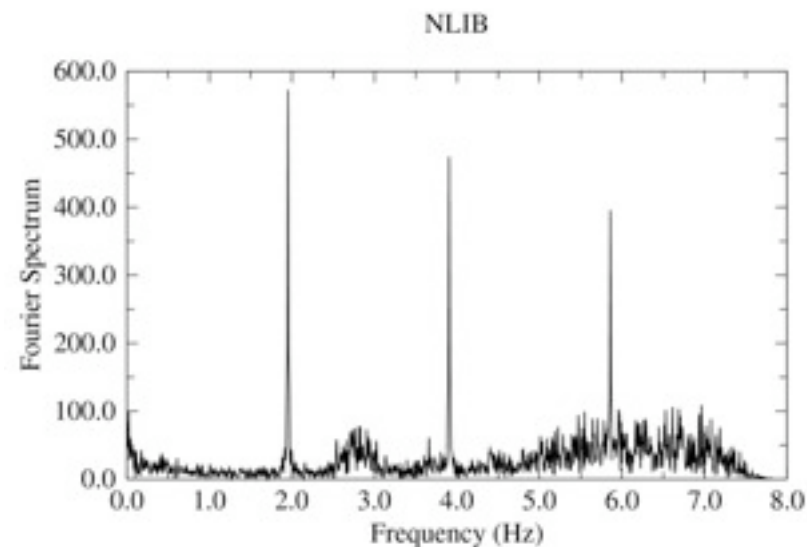
- Standard processing as explained in Bensen et al. (2007)
- Use of vertical components
- Data are band-passed between 0.1 and 1.25 Hz
- Correlation on 100 s time windows (no overlapping)
- Computation of symmetric correlation series (average of direct and reverse correlation)
- Frequency-time analysis (Levshin et al., 1992)



The other stations...



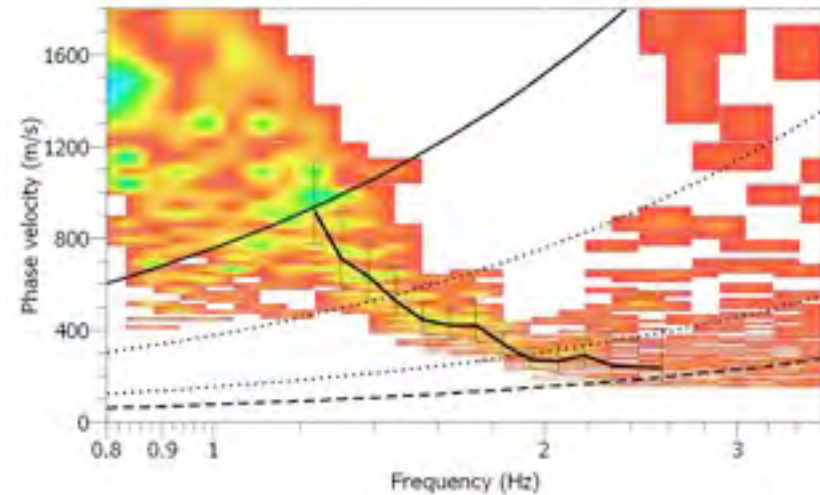
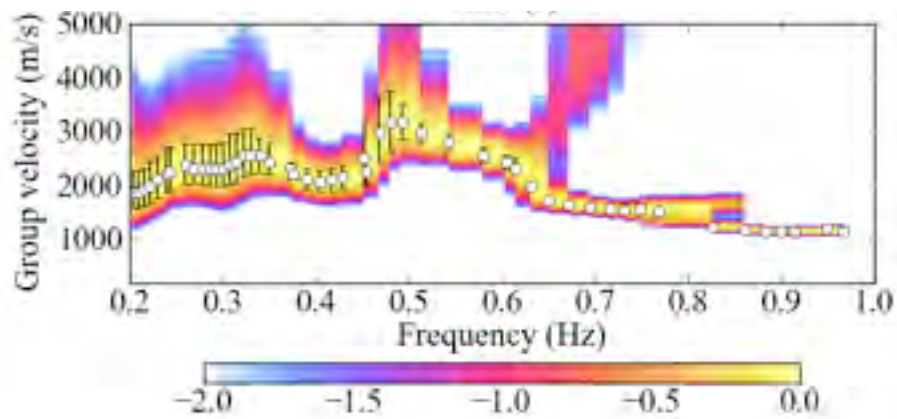
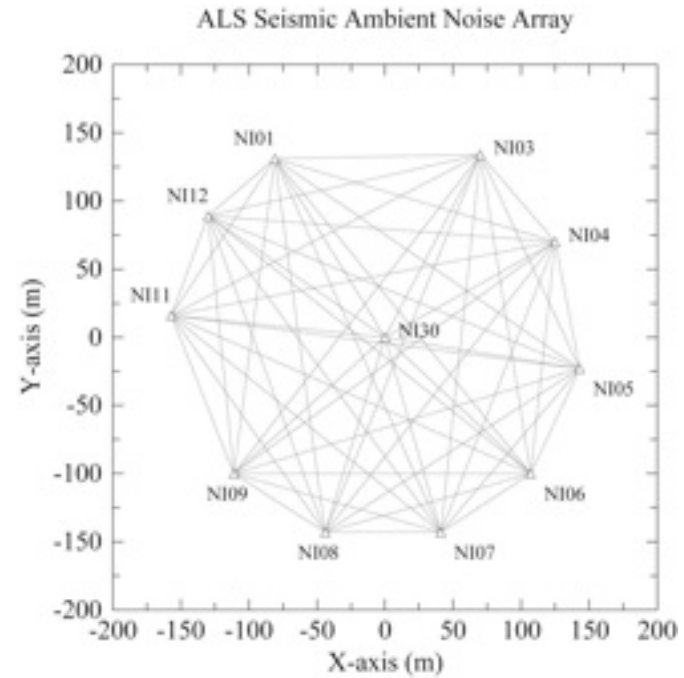
- The difference between instruments produce timing problems (need instrument response correction)
- Difficult to go to higher frequencies due to instrumental noise of digitizers (?)



Coupling small/large networks

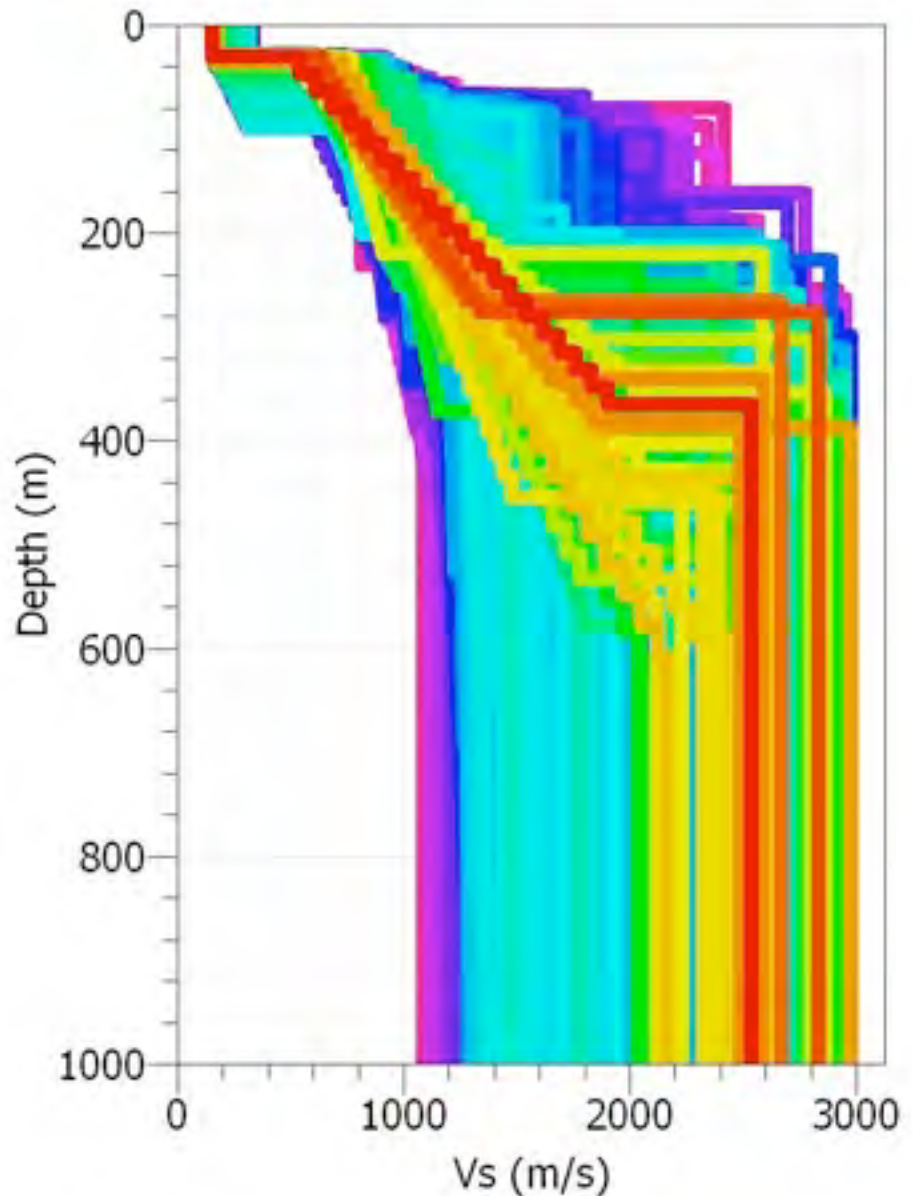


+

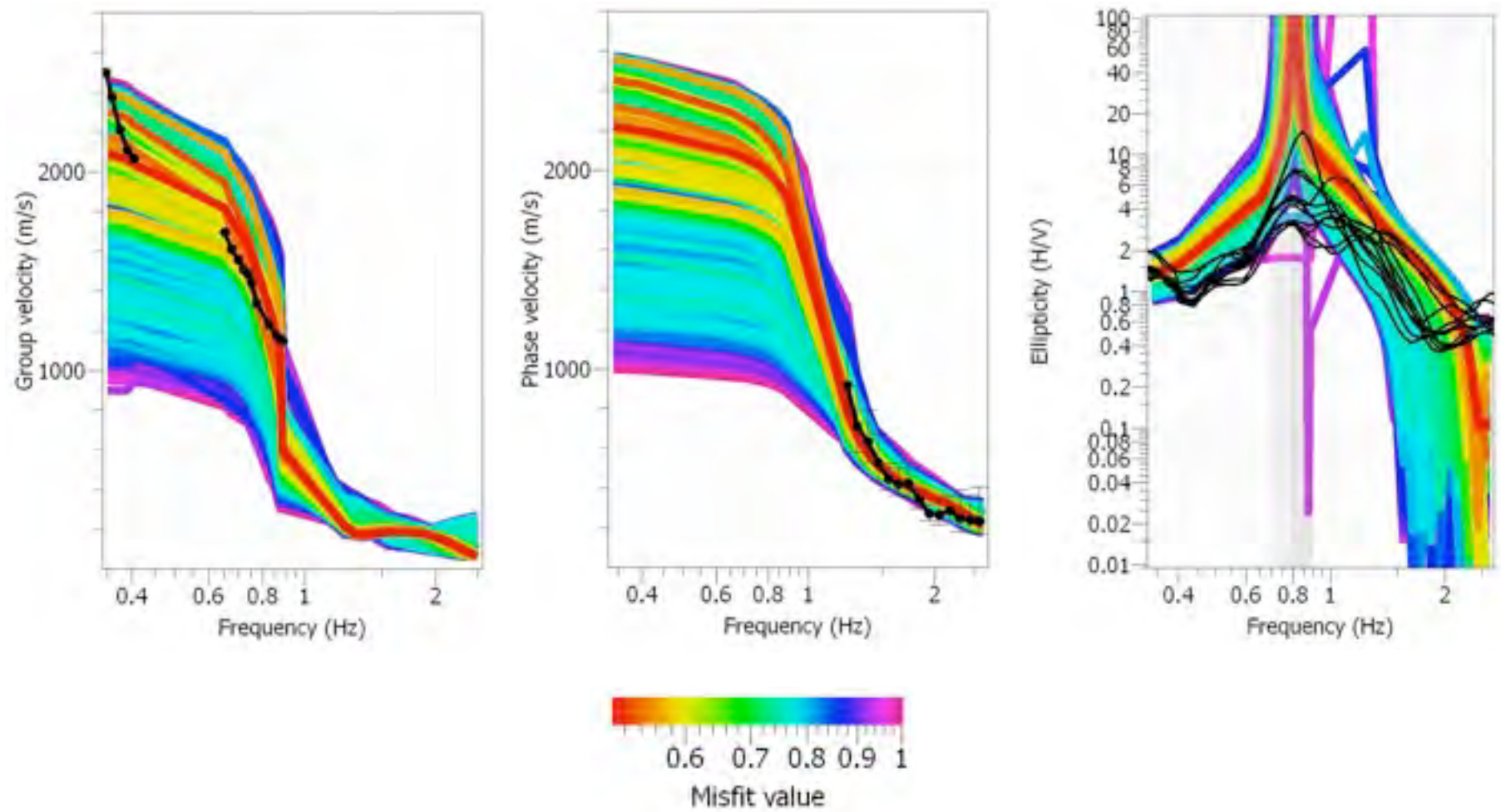


Preliminary results

- Dinver (Wathelet, 2008)
- 2 layers over a half space:
 - Uniform layer - $100 < V_s < 2000$ m/s; interface depth < 100 m
 - Gradient (20 layers) - $500 < \text{Top_}V_s < 3500$ m/s; $800 < \text{Bottom_}V_s < 3500$ m/s; interface depth < 3000 m
 - Half space - $600 < V_s < 3500$ m/s
- Increasing velocity (no velocity inversions)
- Density is fixed at 2000 kg/m^3 for all layers
- $f_0 = 0.8 \pm 0.1$ Hz



Some details...



Conclusions

- Yes, it is possible to use accelerometers to perform noise correlation analysis
- One week of recording seems to be fine
- Better to have same type of sensors
- Need of having good digitizers
- Accelerometers are easier to install than broadband stations

Perspectives

- Velocity models for site-specific studies (coupling of large/small arrays)
- Ground motion prediction at a given velocity range beyond V_{s30} (good rock condition)
- Constructing regional and local velocity models for wave propagation studies