

## OPERATIONS INITIEES EN 2004

1. Instrumentation de l'Hôtel de Ville de Grenoble : 6 stations. Installation le 18 novembre 2004.
2. Instrumentation du deuxième forage de Montbonnot (Grenoble) en complément du forage profond (profondeur 42m) grâce à une collaboration RAP-LDG.
3. Poursuite des installations des stations aux Antilles (RAP-IPGP), en Auvergne (RAP-OPGC) et en Bretagne (RAP-UBO).
4. Caractérisation géotechnique et/ou géophysique des stations du RAP. Phase pilote en cours. Constitution d'un groupe de travail animé par le LGIT et assurant le suivi de cette phase avant application à l'ensemble des stations du RAP.
5. Création d'un groupe de travail Liquéfaction pour la réalisation d'un site pilote aux Antilles. Animé par le BRGM, ce groupe va fédérer autour de ce site les organismes français travaillant sur les problèmes de comportements dynamiques de sols et sur la liquéfaction en particulier.
6. Test au LGIT et aux Antilles de la version 405 de gestion des stations Titan3 : cette version possède une mémoire buffer de 256Mb. Après une série de test, une version est opérationnelle et sera diffusée vers les centres régionaux courant 2005.
7. Intégration à la base du RAP des données des réseaux associés BRGM Antilles et Conseil Général de la Martinique.
8. Couplage Base de données RAP/Système d'Information Géographique sur l'interface WEB : compatible avec la structure de la base existante, ce système permettra une série de visualisations en carte des événements et des stations du RAP.
9. Mise à jour des documentations techniques Base de Données du RAP (BDRAP).
10. Refonte du logiciel de suivi et de gestion des réseaux du RAP : organisé autour des modules d'INTER, cet outil devra alléger le suivi des réseaux.

## INFORMATIONS GENERALES

### • Extrait du Compte Rendu du Conseil des Ministres du 08/12/2004:

La prévention du risque sismique – Le ministre de l'Ecologie et du Développement Durable a présenté une communication sur la prévention du risque sismique, dans le cadre du **Plan Séisme**. Le Gouvernement a décidé de mettre en oeuvre un programme national de prévention du risque sismique sur six ans. Les grandes lignes de ce programme ont été validées et le détail opérationnel sera présenté en février prochain. Il comprend trois axes :

1. approfondir la connaissance scientifique du risque et mieux informer sur celui-ci,
2. améliorer la prise en compte du risque sismique dans la construction,
3. coopérer et communiquer entre tous les acteurs de la prévention et de la gestion du risque sismique.

Communication complète : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/>, rubrique [communication-publications](#).

### • Renouveau du bureau du GIS-RAP – Conseil Scientifique du GIS-RAP, 10 décembre 2004, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

Constitution du nouveau bureau :

Bruno Feignier (CEA/LDG) : Président  
Philippe Guéguen (LCPC/LGIT) : Directeur  
Pascal Dominique (BRGM) : Secrétaire  
Catherine Berge-Thierry (IRSN/BERSIN) : membre  
Fabrice Cotton (UJF/LGIT) : membre  
Annie Souriau (UPS/OMP) : membre

Extraits des compte-rendus du bureau et du conseil scientifique : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/> rubrique [accès restreint](#)

### • Articles parus et thèses soutenues ces six derniers mois utilisant les données du RAP

Dubos, N., et al. (2004). *Geophys. J. Int.*, 156, 527-540.

Rigo, A., et al. (2004). *J. Seismol.*, *submitted*

Drouet, S. et al. (2004). *Bull. Seism. Soc. Am.*, *accepted*

Souriau, A. (2004). *J. Seismol.*, *submitted*.

Sherbaum et al. (2004). *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 2164-2185.

Olivier Sèbe – Déconvolution aveugle et sismologie : estimation de la source sismique et des effets de site, *Thèse de doctorat Univ. J. Fourier, Grenoble, soutenue le 24 juillet 2004.*

Carine Sansorny – Modélisation semi-empirique de la source sismique pour l'évaluation des mouvements forts : application à une meilleure estimation de l'aléa sismique dans le Sud-Est de la France, *Thèse de doctorat, Univ. Nice Sophia Antipolis, soutenue le*

### • Mise à jour du site WEB du RAP

Forage Montbonnot Intermédiaire - Opération ciblée  
Instrumentation Immeuble - Réseau Associé CGMA -  
Documentations internes - Liste des publications

### • Conférences

EGU General Assembly – April 24-29, 2005 – Vienne Autriche – <http://www.copernicus.org/EGU/ga/egu05>

ASPEI General Assembly – Oct. 2005 – Santiago du Chili <http://www.iaspei.org/meetings/forthcoming.html#iaspeichile>

ESC/EAAE joint meeting – 3-8 septembre 2006, Genève – <http://www.ECEES.org>

### LA NOTE D'INFORMATION DU RAP

La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Il est destiné aux membres, aux tutelles et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet. Vous pouvez proposer une communication en contactant Philippe Guéguen [pgueg@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pgueg@obs.ujf-grenoble.fr).

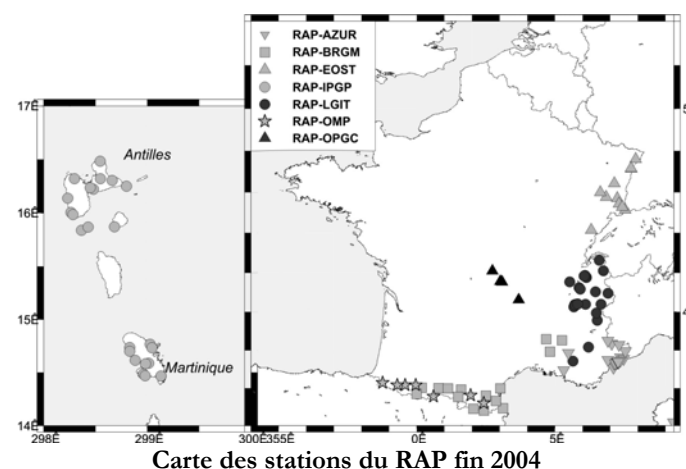
Adresse géographique : Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique - Maison des Géosciences -1381, rue de la Piscine - Domaine Universitaire - 38400 Saint-Martin-D'Hères  
Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France  
Tél : +33 (0)4 75 82 80 59 - Fax : +33 (0)4 76 82 81 01  
Web : <http://www.lgit.obs.ujf-grenoble.fr/> –  
Mail : [philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr)



## LA LETTRE D'INFORMATION DU RESEAU ACCELEROMETRIQUE PERMANENT

Janvier 2005

SOMMAIRE	
Editorial	1
La base de données du RAP en 2004	2
Opération Pilote : Instrumentation de l'Hôtel de Ville de Grenoble	2
Les journées du RAP	3
Opérations initiées en 2004	4
Informations générales	4
La note d'information du RAP	4



Nom du Réseau	Acronyme	Gestionnaire du Réseau	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	TOTAL
ANTILLES	RAP-IPGP	OVS - Guadeloupe OVMP - Martinique OVMP - Conseil Général Martinique								2	4	1	7
SUDEST	RAP-AZUR	Géosciences Azur - Nice	2	2	5	2		1	1	6	1	19	
ALPES	RAP-LGIT	LGIT - Observatoire de Grenoble	2	6	5	5	2	2		2		1	25
PYRENEES	RAP-OMP	Observatoire Midi-Pyrénées - Toulouse							6	2			8
PYRENEES - PROVENCE	RAP-BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières - Marseille					1	5	4	4	2		16
FOSSÉ-RHENAN	RAP-EOST	Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre - Strasbourg				3	4	1	2				10
AUVERGNE	RAP-OPGC	Observatoire de Physique du Globe Clermont-Ferrand									3	1	4
Nombre de stations installées en date du 01 janvier 2005													104

Tableau récapitulatif des installations du réseau RAP

**- EDITORIAL -** Depuis le constat énoncé par le rapport de la commission parlementaire de 1995 (rapport Kert) sur les risques naturels et la nécessité d'un réseau accélérométrique en France, le RAP (Réseau Accélérométrique Permanent) s'est développé sur le territoire français, essayant de couvrir la totalité des zones potentiellement actives. Contrairement à un réseau de surveillance sismologique classique, le RAP a eu pour vocation d'installer des stations d'enregistrement là où les enjeux avaient été clairement identifiés pour répondre à des problématiques scientifiques concernant l'aléa et la vulnérabilité sismiques. Suite à une opération pilote lancée en 1995, coordonnée par Denis Hatzfeld et confiée à Géosciences-Azur<sup>1</sup> et au LGIT<sup>2</sup> pour tester sa faisabilité technique et opérationnelle, un Groupement d'Intérêt Scientifique GIS-RAP fut créé en 2000 afin de réunir sous le même réseau d'observation tous les acteurs scientifiques et opérationnels impliqués dans la compréhension et la définition de l'aléa et de la vulnérabilité en France. Tandis qu'en 1995 4 stations accélérométriques étaient installées dans les Alpes, le Bureau du GIS-RAP programma à partir de 2000 l'extension du RAP de façon à répondre aux objectifs scientifiques qu'il s'était fixés. Cela se traduit par la mise en place d'un réseau régional dans le fossé rhénan (géré par l'EOST<sup>3</sup>), en Provence et dans les Pyrénées Orientales (géré par le BRGM<sup>4</sup> Marseille), dans les Pyrénées (géré par l'OMP<sup>5</sup>) et aux Antilles (géré par l'IPGP<sup>6</sup>). En 2004, deux réseaux régionaux supplémentaires sont venus compléter l'architecture du RAP, de façon à pallier le manque d'accéléromètres dans le massif central (géré par l'OPGC<sup>7</sup>) et en Bretagne (géré par l'UBO<sup>8</sup>).

Début 2005, le RAP compte 104 stations réparties autour des zones les plus actives. Des réseaux partenaires sont venus compléter cette instrumentation, en particulier dans la région de la moyenne Durance (réseau de l'IRSN<sup>9</sup>), dans des régions en manque d'instrumentation accélérométrique (par le LDG<sup>10</sup>, dans le Jura et en Vendée), et surtout en Guadeloupe (par le BRGM) et en Martinique grâce au réseau du Conseil Général avec lequel une convention a été signée en 2002. Simultanément, des opérations pilotes ont été lancées pour répondre à des interrogations scientifiques particulières (effets de site, variabilité du mouvement sismique, vulnérabilité...). Toutes les données sont distribuées à l'aide d'une base de données interrogeable sur le site WEB du RAP. La qualité des données a permis lors des séismes majeurs de communiquer à chaud les valeurs des accélérations maximales observées, et d'analyser à froid le mécanisme de la source sismique, les effets de propagation et d'effets de site, répondant ainsi à ses objectifs scientifiques et opérationnels.

Denis Hatzfeld qui fut à l'origine du RAP a quitté la direction du GIS qu'il assurait depuis sa création. Grâce à son dynamisme, les objectifs premiers fixés lors de la phase pilote ont été atteints, faisant du RAP un réseau opérationnel, efficace et de qualité. Nous allons pouvoir exploiter ces nouvelles données dans les années qui viennent et ainsi améliorer notre connaissance de l'aléa sismique.

Philippe Guéguen, directeur du RAP.

<sup>1</sup> RAP-AZUR, Laboratoire Géosciences AZUR, Université de Nice Sophia-Antipolis

<sup>2</sup> RAP-LGIT, Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Université de Grenoble

<sup>3</sup> RAP-EOST, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Université de Strasbourg

<sup>4</sup> RAP-BRGM, Bureau des Recherches Géologiques et Minières, Marseille

<sup>5</sup> RAP-OMP, Observatoire Midi-Pyrénées, Université de Toulouse

<sup>6</sup> RAP-IPGP, Institut de Physique du Globe de Paris

<sup>7</sup> RAP-OPGC, Observatoire de Physique du Globe de Clermont-Ferrand

<sup>8</sup> RAP-UBO, Université de Bretagne Occidentale, Brest

<sup>9</sup> IRSN, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, Fontenay-aux-Roses

<sup>10</sup> LDG, Laboratoire de Détection Géophysique, CEA.

## LA BASE DE DONNEES DU RAP EN 2004

Depuis 2000, les données enregistrées par les réseaux régionaux du RAP sont collectées, archivées et distribuées par le Site Central du RAP basé au LGIT. Organisées dans une base de données relationnelle, elles peuvent être récupérées au format SAC, ASCII ou SEED ou simplement visualisées. Des outils et des interfaces WEB ont été développés de façon à permettre à l'utilisateur d'interroger la base selon des critères de sélection tels que la magnitude, la date et la localisation des événements. L'ensemble des informations décrivant chaque donnée acquise est stocké dans la base. Chaque nuit, le Site Central interroge les réseaux régionaux et récupère les nouvelles données acquises le jour d'avant ainsi que les informations sismologiques qui leur sont associées afin qu'elles puissent répondre aux requêtes exprimées par l'utilisateur.

Pour limiter le temps d'indisponibilité de la base de données, celle-ci a été séparée en deux : une partie contenant les années antérieures (recalculée en général deux fois par an afin d'intégrer de nouvelles informations ou de nouvelles données issues par exemple des réseaux associés) ; une partie pour l'année en cours qui est ainsi recalculée chaque nuit de façon à mettre à disposition des utilisateurs les dernières données. Il est ainsi possible d'avoir via le WEB la liste des dix derniers événements intégrés à la base de données.

### En 2004, 5 événements majeurs ont été enregistrés :

- le séisme de Baume les Dames (23 février 2004, MI=5.1, PGA=0.027g à 24km)
- le séisme de Prades (21 septembre 2004, MI=4.7, PGA=0.014g à 9km)
- le séisme des Saintes (21 novembre 2004, MI=6.3, PGA=0.15g à 20km)
- le séisme de Pampelune (18 septembre 2004, MI=5.3, PGA=0.003g à 17km)
- le séisme de Fribourg (05 décembre 2004, MI=4.9, PGA=0.031g à 56km)

Ces séismes ont fait l'objet d'une note d'information préliminaire que vous pouvez retrouver sur le site Web du RAP (<http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/> rubrique [communication publications](#)).

## OPERATION PILOTE : INSTRUMENTATION DE L'HOTEL DE VILLE DE GRENOBLE

Une des spécificités du RAP est de proposer des opérations pilotes pour lesquelles une instrumentation adaptée tente de répondre à une problématique scientifique particulière. Parmi ces opérations, on peut noter l'analyse des effets de site à Grenoble et à Nice et le forage de Montbonnot (voir site <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/> rubrique [opérations ciblées](#)).

Dans le cadre de ses opérations, le RAP s'est associé à la Commune et au Syndicat Mixte pour le Suivi et l'Elaboration du Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Grenoble pour instrumenter un bâtiment de façon permanente par une série de capteurs accélérométriques.

Les objectifs scientifiques du projet sont :

1. la collecte d'un jeu de données accélérométriques dans une structure de génie civil typique de l'habitat français
2. l'analyse du comportement de la structure sous sollicitations modérées réelles
3. la simulation du comportement de la structure sous sollicitations fortes
4. le développement de méthodes d'évaluation du comportement dynamique validées par des enregistrements réels
5. l'amélioration des modèles d'évaluation de la vulnérabilité des structures

L'hôtel de ville de Grenoble a été choisi pour sa localisation dans une des régions les plus sismiques de France Métropole (en considérant le nouveau zonage sismique réglementaire), pour sa situation sur un bassin sédimentaire composé de matériaux mous favorisant l'interaction sol-structure et pour ses dispositions constructives (béton armé, élancement, régularité).

Construit à la fin des années 60 (date d'inauguration : 1968), l'hôtel de ville est une structure en béton armé composée de 12 étages, d'un rez-de-chaussée et d'un sous-sol.

La structure est équipée de 6 capteurs accélérométriques, 3 au rez-de-chaussée, 3 au sommet. Chaque installation est équipée :

- d'une station miniTitan
- d'un hub ethernet
- d'un capteur FBA-EST de marque Kinematics.

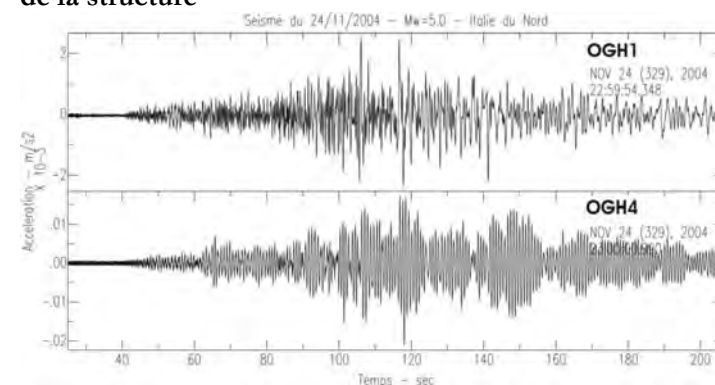
Un Titan GPS fournit un top horaire à l'ensemble des stations. Le top GPS est transmis par le réseau de hub à chaque station de manière simultanée.

Le 24 novembre 2004, un séisme de magnitude 5.3 s'est produit à 22:59:39 (heure TU) dans la région de Brescia au nord de l'Italie (localisation RéNaSS : latitude 45.65 N – longitude 10.59). Ce séisme, localisé à environ 330km de Grenoble (Fig. 7), a été parfaitement enregistré par les stations de l'Hôtel de Ville de Grenoble. Même si l'amplitude du signal est modérée (valeur maximale de l'ordre de 0.2cm/s<sup>2</sup>, soit 2 10<sup>-4</sup> g), on s'aperçoit que la structure a réagi en amplifiant le mouvement au sol d'un facteur 10. Il est intéressant de voir que le signal est particulièrement amplifié autour de la fréquence de vibration de la structure qui est de l'ordre de 1Hz.



**Localisation du séisme du 24 novembre 2004 (Italie du nord, MI=5.3)**

## Enregistrements au sommet (OGH4) et à la base (OGH1) de la structure



## LES JOURNEES DU RAP Carry-le-Rouet, 01-03 juin 2004

Les journées techniques du Réseau Accélérométrique Permanent (RAP), organisées à Carry-le-Rouet du 01 au 03 juin 2004, ont été décidées par le bureau du GIS-RAP. Cette deuxième édition, attendue et souhaitée par l'ensemble de la communauté scientifique ayant un lien avec le RAP, fait suite à celle organisée en mars 2002, qui avait permis le développement d'axes nouveaux de recherche, la continuation de l'instrumentation sur le territoire français et la programmation de modifications techniques des instruments d'observation (voir documents <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/> rubrique Communication-Publications). Ces journées servent non seulement à faire le point sur l'état d'avancement du réseau en France métropole et d'outre-mer, sur les aspects techniques du réseau à améliorer ou à modifier, ainsi que sur les avancées scientifiques réalisées sur la base des données accélérométriques. Ces journées du RAP ont été un succès, de par le nombre de participants (53 participants à comparer aux 32 de la première édition), par la qualité des présentations et par l'excellente synergie existant entre les différents groupes. Pour la première fois aussi, des représentants de réseaux accélérométriques européens des pays voisins ont été invités. Les journées ont été organisées en sessions plénières scientifiques et en ateliers de façon à permettre en particulier la mise en commun des problèmes techniques.

Ces journées ont par ailleurs été l'occasion pour des étudiants en thèse utilisant les données du RAP de présenter leurs travaux : Stéphane Drouet (OMP Toulouse), François Dunand (LGIT Grenoble), Carine Sansorny (Géoscience Azur Nice), et Olivier Sèbe (LGIT Grenoble).

Plusieurs grands thèmes ont été abordés lors de ces journées :

- Thème 1 :** L'instrumentation et les bases de données.
- Thème 2 :** Les effets de site et la prévision du mouvement sismique.
- Thème 3 :** Les séismes forts en France entre 2001 et 2004.
- Thème 4 :** Estimation de la magnitude.
- Thème 5 :** Comportement non-linéaire des sols.

Les discussions menées ont conduit à énoncer des observations et des recommandations sur le fonctionnement du réseau. Tout d'abord, il a été admis par l'ensemble de l'assistance que les qualités techniques du RAP et de la base de données qui lui est

associée, rendent le réseau français très performant. Devant la mise en place à l'échelle européenne de relations entre les réseaux accélérométriques, le RAP aura et devra jouer un rôle important pour enrichir de son expérience les collaborations futures. Cette étape passe par un effort de diffusion des données et des opérations menées par le RAP à l'échelle nationale, européenne et internationale. Néanmoins, des améliorations doivent être apportées pour assurer une meilleure gestion des réseaux régionaux, faciliter la mise à jour de la base de données pour assurer une meilleure qualité des données en temps quasi-réel et envisager la généralisation du système d'interrogation des stations à d'autres types de matériel.

Ensuite, il a été rappelé qu'améliorer la prédiction du mouvement sismique restait une des principales exigences que s'était fixées le RAP. Cela se traduit par la définition des conditions de site sous les stations pour intégrer les effets locaux à la prédiction ainsi que par l'utilisation des séismes modérés pour prédire le mouvement du sol pour un séisme majeur (en particulier avec la poursuite des développements des fonctions de Green empiriques, en essayant d'y introduire les effets non-linéaires). Pour une meilleure prise en compte des effets locaux, l'analyse de la variabilité spatiale du mouvement du sol, en particulier en milieu urbain, doit se poursuivre. Ce point ne pourra se développer qu'avec l'allongement des durées des enregistrements pour analyser en particulier les effets 3D dans des géométries complexes du sol. Les efforts sur la prédiction du mouvement sismique doivent naturellement s'orienter dans l'instrumentation de bâtiments pour aider à l'amélioration des prévisions de dommages.

D'autre part, il a été montré par l'étude des derniers séismes importants ressentis en France que le RAP a toujours rempli sa fonction d'enregistrer les mouvements forts sans saturer. Néanmoins, dans la perspective d'un séisme fort aux Antilles, il a été suggéré de remonter les seuils de saturation des stations accélérométriques. Les données du RAP ont permis l'application de nouvelles méthodes pour l'analyse de la source sismique, qui devrait également bénéficier de l'allongement des durées d'enregistrement. Avec les quelques gros séismes ressentis en France, des équivalences entre PGA et intensités doivent être envisagées, cette relation étant importante en terme de prévision du mouvement sismique et d'analyse du risque des zones urbaines. D'autre part, la qualité des données du RAP semble bien adaptée au calcul de la magnitude de moment et des études doivent se poursuivre pour tenter de généraliser le calcul de cette magnitude pour les plus gros séismes.

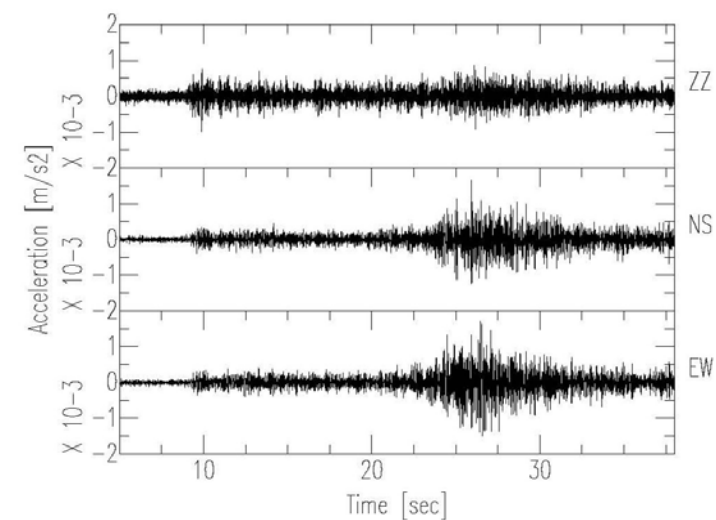
Enfin, des discussions sur les problèmes de liquéfaction et de non-linéarité du mouvement du sol ont été initiées. Elles ont confirmé la nécessité de rapprocher les communautés de sismologues et de mécaniciens des sols pour décrire au mieux les phénomènes observés. La poursuite de l'opération ciblée « Site liquéfaction aux Antilles » a été fortement appuyé par la communauté du RAP, mais en s'associant à d'autres organismes afin d'assurer des études complémentaires pour réaliser un site pilote efficace (en particulier, en complément de l'instrumentation d'un forage superficiel, il est suggéré de mettre en place des sondes de pression intersticielle, de compléter l'étude par des essais in-situ et en laboratoire et des modélisations).

Retrouvez le compte rendu global des journées techniques : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/> rubrique accès restreint.

Juillet 2005

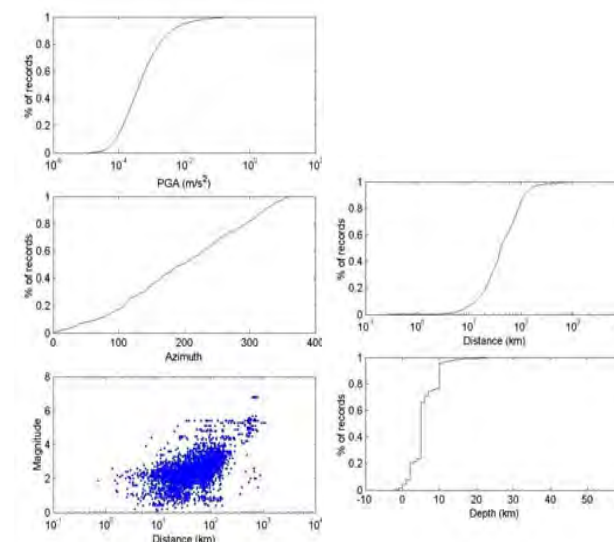
SOMMAIRE	
Editorial	1
L'enregistrement du semestre	1
Le séisme des Saintes du 21 novembre 2004	2
Evaluation du mouvement sismique en Europe de l'Ouest	3
Informations générales	4
La lettre d'information du RAP	4

## L'ENREGISTREMENT DU SEMESTRE



Premier enregistrement à la nouvelle station SMFF (RAP-LDG) du séisme d'Oléron (17) du 18 avril 2005 (MI=4.7 - R #150km). Cette station a été installée dans le cadre de l'extension à l'ouest du RAP, vers les zones de sismicité de Charente et de Bretagne.

## LA BASE DE DONNEES DU RAP



Distribution statistique des données du RAP en fonction de la magnitude et de la profondeur du séisme, de l'azimut, de l'accélération maximale et de la distance épacentrale (John Douglas, BRGM)

Bommer, J., Scherbaum, F., Cotton, F., Bungum, H. and Sabetta, F., 2004b. Discussion : Uncertainty analysis of strong-motion and seismic hazard by R. Sigbjörnson and N.N. Ambraseys. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2: 261-267.

Bommer, J., Scherbaum, F., Bungum, H., Cotton, F., Sabetta, F. and Abrahamson, N.A., 2005. On the use of logic trees for ground-motion prediction equations in seismic hazard analysis. *Bull Seism. Soc Am*, 95(2): 377-389.

Cotton, F., Scherbaum, F., Bommer, J., Bungum, H. and Sabetta, F., 2005. Criteria for selecting and adapting ground-motion models for specific target regions Application to Central Europe and rock sites. *Soumis à Journal of Seismology*.

Drouet, S., Souriau, A. and Cotton, F., 2005. Attenuation, seismic moment and site effects for weak motion events. Application to the Pyrenees. *Bull. Seism. Soc. Am.*, in press.

Pousse, G., Cotton, F. and Bonilla, F., 2005. Do weak motion models predict strong ground motion? Results from the Kiknet records analysis, EGU, Vienna.

Scherbaum, F., Schmedes, J. and Cotton, F., 2004a. On the conversion of source-to-site distance measures for extended earthquake source model. *Bull Seism. Soc Am*, 94: 1053-1059.

Scherbaum, F., Cotton, F. and Smit, P., 2004b. On the Use of Response Spectral-Reference Data for the Selection and Ranking of Ground-Motion Models for Seismic-Hazard Analysis in Regions of Moderate Seismicity: The Case of Rock Motion. *Bull Seism. Soc Am*, 94(6): 2164-2185.

Scherbaum, F., Bommer, J., Bungum, H., Cotton, F. and Abrahamson, N.A., 2005. Composite ground-motion models and logic trees: methodology, sensitivities and uncertainties. *Bull Seism. Soc Am.* in press.

## INFORMATIONS GENERALES

**Programme d'installation de nouvelles stations, financées par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable pour l'année 2005.**

- 4 stations : Pyrénées
- 2 stations : Nouvelle-Calédonie
- 2 stations : Wallis et Futuna
- 2 stations : Mayotte
- site liquéfaction

**Mise à niveau 256Mo des stations du RAP.**

Dans les cadres des recommandations faites lors des journées du RAP de Carry-le-Rouet, une version de stations permettant des enregistrements plus longs et des stockages de données plus importants en cas de crise a été développée sous l'initiative du GIS-RAP. Cette station, compatible à la version Inter2.641, sera transmise progressivement aux différents réseaux. Une note d'information rappelant les précautions à prendre pour le passage à 256 et les possibilités offertes par cette version sera disponible sur le site du RAP.

**Groupe de travail Liquéfaction**

Sur proposition du conseil du GIS-RAP, le BRGM a accepté d'animer un groupe de travail liquéfaction, articulé autour du site pilote liquéfaction aux Antilles. Dans ce cadre, un projet ANR-RGCU a été déposé pour tenter de fédérer à ce groupe d'autres équipes de recherche intéressées par la liquéfaction et le comportement non-linéaire des sols mais issus d'autres champs d'activité. Outre les membres du GIS-RAP, ce projet regroupe des équipes du L3S (Pierre Foray, INP Grenoble), du CERMES (Jean Canou, ENPC), du LMSS-Mat (Jean-Marie Fleureau, ECP) et ANTEA.

**Articles parus, thèses soutenues et rapports écrits ces six derniers mois utilisant les données du RAP**

**Kohrs-Sansorny, C.** et al. (2005). *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95-4, 1387-1400.

**Drouet, S.** et al. (2005). *Bull. Seism. Soc. Am.*, in press.

**Chaljub, E.**, et al. (2005). Proc. EGU, EGU05-A-05225.

**Bertil, D.**, et al. (2004). Séisme des Saintes, Rapport de Synthèse, *Rapport Interne, CDSA*, 8 décembre 2004, pp 36.

**Bertil, D.**, et al. (2005). Localisation des principales répliques du séisme des Saintes du 21 novembre 2004, *Rapport Interne, CDSA*, 15 avril 2005, pp. 12.

**Beauducel F.**, et al. (2005). Loi d'atténuation B-Cube pour l'évaluation rapide des intensités sismique probables dans l'Archipel de Guadeloupe, *Rapport Interne, Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe*, pp 12.

**Causse M.** (2005). Simulation du mouvement sismique par la méthode des fonctions de Green empiriques, *Rapport de M2R, Univ. J. Fourier Grenoble*, pp 33.

**Conférences**

**ASPEI General Assembly** – Oct. 2005 – Santiago du Chili  
<http://www.iaspei.org/meetings/forthcoming.html#iaspeichile>  
**International Conference of the 250th anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake** – 1-4 November 2005 – Lisbon  
<http://www.mundiconvenius.pt/2005/lisbon1755>

**8th US National Conference on Earthquake Engineering** – 18-21 April 2006, San Francisco  
<http://www.1906eqconf.org>

**ESG2006, III<sup>rd</sup> International Symposium** – 30 Aug.-01 Sept. 2006 – Grenoble  
<http://esg2006.obs.ujf-grenoble.fr>

**ESC/EAGE joint meeting** – 3-8 Septembre 2006, Genève –  
<http://www.ECEES.org>

**LA NOTE D'INFORMATION DU RAP**

La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Il est destiné aux membres, aux tutelles et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet. Vous pouvez proposer une communication en contactant Philippe Guéguen [pguegu@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pguegu@obs.ujf-grenoble.fr).

**Adresse géographique :** Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique - Maison des Géosciences - 1381, rue de la Piscine - Domaine Universitaire - 38400 Saint-Martin-D'Hères  
**Adresse postale :** LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France  
 Tél : +33 (0)4 75 82 80 59 - Fax : +33 (0)4 76 82 81 01  
 Web : <http://www.lgit.obs.ujf-grenoble.fr> –  
 Mail : [philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr)

**- EDITORIAL -** Le séisme des Saintes du 21 novembre 2004 est l'un des plus forts ressentis sur le territoire français depuis une cinquantaine d'années. Situé dans le contexte tectonique des Petites Antilles, il a provoqué des dommages importants, associés comme souvent à des effets psychologiques considérables sur les populations. Cette expérience est riche d'enseignements et pourra améliorer la prise en compte de l'aléa dans les nouvelles réglementations. Cet événement a permis de révéler des particularités qui nous interpellent. On peut citer par exemple le bon comportement de certaines constructions antillaises qui a priori présentaient des fragilités sismiques ; que dire également des accélérations très fortes (jusqu'à 0.7g) obtenues sur les principales répliques, à courte distance épacentrale, et dépassant les règles parasismiques en vigueur en France. Toutes ces observations nous poussent à poursuivre nos activités de recherche autour des données du RAP. Ce dernier, grâce à la politique d'instrumentation menée par le GIS-RAP autour des zones les plus actives du territoire français, nous assure des données à proximité des failles actives sismique et à la prédiction du mouvement sismique en champ proche. Dans cette logique, le GIS-RAP poursuit l'instrumentation du territoire français. En partenariat avec Geoscience Azur et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), cinq accéléromètres sont en cours d'installation en Nouvelle Calédonie et sur Futuna, tandis que le BRGM se charge de l'instrumentation de Mayotte. Ces deux régions d'outremer sont à proximité de zones actives et elles ont subi par le passé des séismes importants. Ce dispositif viendra enrichir la base du RAP de nouvelles données dans des contextes différents, tout comme celles des réseaux associés avec lesquels le GIS-RAP a souhaité s'associer (BRGM Antilles, LDG, Conseil Général de Martinique, IRSN). Les derniers séismes importants montrent que les données s'avèrent indispensables à la compréhension et à la prévision du mouvement sismique. D'autre part, elles ont été à l'origine de nouvelles pistes de recherche, de nouvelles synergies entre les différents partenaires du RAP. Leur qualité ainsi que le bon fonctionnement du réseau sont reconnus mais des améliorations peuvent encore être apportées, portant essentiellement sur l'évolution technique des stations d'enregistrement. Même si les stations ont très bien fonctionnées lors de la crise des Saintes, permettant de collecter le mouvement du sol provoqué par le choc principal, cette situation de crise a néanmoins permis de pointer des imperfections qui seront analysées et auxquelles des solutions seront proposés. C'est ainsi par l'expérience et grâce à l'implication des différents partenaires que le RAP continuera de s'améliorer.

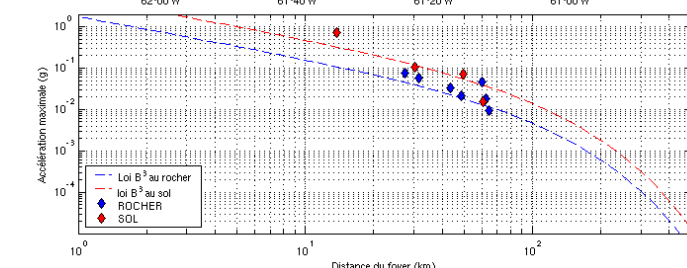
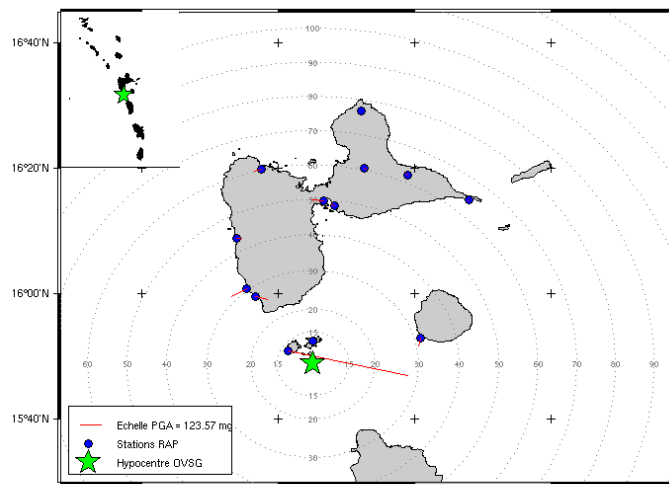
Philippe Guéguen, directeur du RAP.

## LE SEISME DES SAINTES DU 21 NOVEMBRE 2004

Le dimanche 21 novembre 2004, à 7h41 (11h41 TU), un séisme intra-plaque de magnitude 6.3 s'est produit entre l'archipel des Saintes et l'île de la Dominique. Ce séisme est le plus important séisme enregistré en Guadeloupe depuis plusieurs décennies. La profondeur a été estimée à 14.2 km par le Centre de Données Sismologiques des Antilles (CDSA) et la distance hypocentrale aux îles habitées des Saintes (Terre-de-Bas et Terre-de-Haut) est proche de 20 km (Bertil et al., 2004). Largement ressentie sur l'ensemble de la Guadeloupe, la secousse a fait une victime à Trois-Rivières et des dégâts importants aux Saintes (rapport de mission AFPS 2004, www.afps.seism.org). L'intensité EMS98 déterminée par une équipe du BCSF missionnée sur place, est de VIII dans l'archipel des Saintes et V à VII pour le sud Basse-Terre (source BCSF : www.seisme.prd.fr). Cinq mois après la première secousse, les répliques continuent et leur nombre dépasse 20 000 (source OVSG) dont 51 ont atteint une magnitude supérieure à 4 (Bertil et al., 2005).

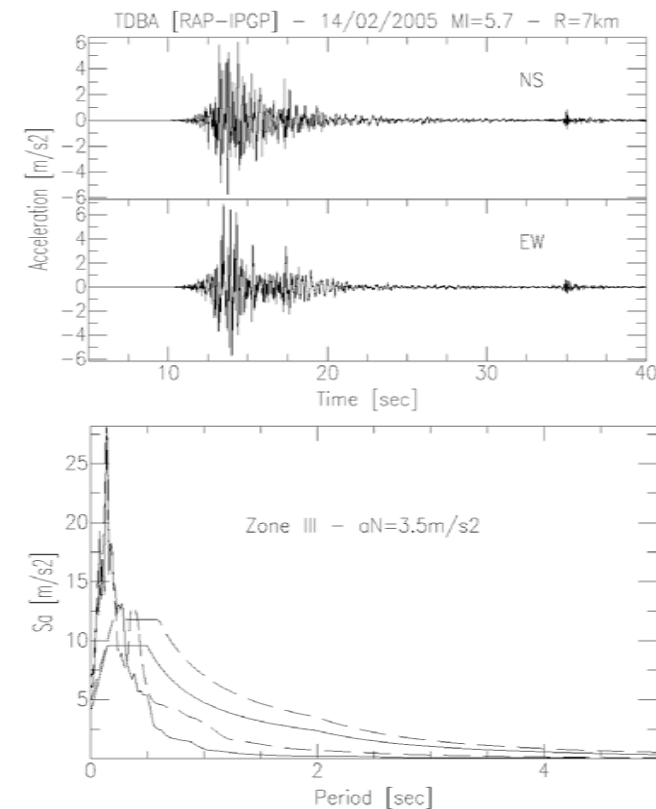
L'installation du réseau RAP-Guadeloupe avait été achevée deux jours avant la secousse principale, il se composait des 12 stations suivantes : ABFA, BERA, GBGA, HOUA, IPTA, JARA, MESA, MOLA, PIGA, PRFA, SFGA, et SROA. Les caractéristiques du réseau sont :

- communication par ligne RTC ou GSM avec l'OVSG,
- capteurs Kinematics EpiSensor calibrés pour une accélération maximale de 2 g,
- taille mémoire de 8 Mo soit 200 déclenchements,
- rapatriement automatique quotidien basé sur le bulletin d'hypocentres de l'OVSG.



Carte de l'archipel Guadeloupéen situant le réseau accélérométrique (12 stations RAP) et une station du CDSA) et la réplique du 14 février 2004. Les pics d'accélération (PGA) enregistrés sont reportés (en gris pour les stations « au sol » et en noir pour les stations « au rocher ») avec la courbe de la loi d'atténuation de Beauducel et al., 2005.

Dix stations ont enregistré la secousse principale et les niveaux d'accélération enregistrés sont modérés (maximum de 0.16 g mesurée à GBGA à 31 km). La station SROA supposée sur un site rocheux présente une accélération élevée (0.12 g) à 69 km. Les stations JARA et HOUA n'ont pas déclenché pendant la secousse principale pour des raisons techniques (mémoire bloquée). L'OVSG a pu rapidement installer dans la région concernée différentes stations dont deux accélérométriques : dès le 23 novembre 2004 la station HOUA a été déplacée du Houëlmont vers Terre-de-Bas (TDBA) et une station supplémentaire (matériel hors RAP) a été installée le 27 novembre dans le Fort Napoléon qui surplombe Terre-de-Haut (TDHA). Grâce à notre expérience des modems GSM, nous avons pu communiquer avec ces deux stations dès leur installation aux Saintes sans avoir besoin d'attendre une installation de ligne téléphonique qui peut nécessiter un délai de 2 mois. Malheureusement le Fort Napoléon a été endommagé par les secousses et la station TDHA est inondée. Elle n'a pu être déplacée vers la mairie de Terre de Haut (THMA) que le 21 février 2005. L'installation des stations sur l'archipel des Saintes a été très bénéfique : les données ont permis une relocalisation très fine des répliques et elles ont enregistré des signaux avec des distances hypocentrales très courtes (inférieures à 2 km).



Haut : Accélérations du sol suivant les composantes horizontales à la station TDBA (Terre de Bas) lors de la réplique de magnitude 5.7 du 14 février 2005. Bas : Spectres de réponses (traits fins) de la composante NS (continu) et EW (tirets) de la station TDBA pour le même événement, comparés aux spectres réglementaires zone III, pour les bâtiments de type B (continu : type de sol B – tirets : type de sol C).

Des PGA très forts ont ainsi été mesurés : TDBA a enregistré un pic d'accélération de 0.7 g le 14 février 2005 lors de la réplique de magnitude de 5.7. Cette valeur est très proche de l'ancien seuil de saturation et justifie le passage en 2 g des capteurs, décidé lors des Journées du RAP en juin 2004. Bien que non mentionné sur les Atlas Communaux (source

www.brgm.fr), un effet de site est observé sur la station de Terre-de-Bas : la commune de Petites-Anses a presque entièrement été construite dans une vallée recouverte par une épaisseur de cendres volcaniques. Cette observation pourrait expliquer un effet de site lithologique qu'il reste à étudier. Une équipe du CETE a été missionnée en février 2005 pour y faire des mesures de bruit de fond en réseau.

Fin avril 2005, près de 4000 déclenchements avaient été enregistrés par le réseau RAP-Guadeloupe, correspondant à plus de 1000 événements. Grâce aux très nombreuses données (plus de 1500 valeurs de PGA pendant le premier mois de la crise, magnitudes de 1.5 à 6.3, distances hypocentrales de 2 à 120 km), il a été possible d'élaborer une première loi d'atténuation simple pour les PGA (Beauducel et al., 2004). Cette loi empirique est maintenant utilisée en routine pour les communiqués envoyés aux autorités locales par l'OVSG. Elle permet d'évaluer l'accélération maximale probable les différentes communes de Guadeloupe. Des études plus précises permettront d'affiner la loi et de vérifier son application pour l'ensemble de la sismicité intra-plaque régionale.

**S. Bazin (1), D. Bertil (2), F. Beauducel (1), M. Bengoubou (1,3)**

contact : bazin@ipgp.jussieu.fr

1- IPGP – OVSG

2- BRGM - SGR Guadeloupe

3- Université des Antilles et de la Guyane

**Référence :**

Beauducel F., S. Bazin, M. Bengoubou-Valerius, 2005. Loi d'atténuation B-Cube pour l'évaluation rapide des intensités sismiques probables dans l'Archipel de Guadeloupe. *Rapport Interne, Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe – IPGP/UAG*, décembre 2004, pp 12.

### Evaluation du mouvement sismique en Europe de l'Ouest : choix, ajustement et utilisation combinés de modèles de prédiction des mouvements forts.

Ces deux dernières années, une réflexion sur l'évaluation du mouvement sismique (et de ses incertitudes) en Europe a été initiée par le projet suisse Pegasos. Ce projet, financé par un industriel (Nagra), a permis de réunir de petites équipes de chercheurs internationaux (Abrahamson et al., 2002). L'objectif de ce projet était de déterminer l'aléa sismique de manière probabiliste y compris pour des niveaux de probabilité faibles (grandes périodes de retour).

Une équipe (J. Bommer, H. Bungum, F. Cotton, F. Scherbaum et F. Sabetta) a été chargée de l'évaluation du mouvement sismique au rocher. De manière originale, le but de l'étude n'était pas de sélectionner un seul modèle mais plutôt de d'essayer de cerner les incertitudes en déterminant l'ensemble des modèles possibles et en associant à chacun d'eux un degré de confiance. L'ensemble des modèles choisis a ensuite été intégré dans un arbre logique. Cet exercice a rapidement conduit au développement et à la publication de plusieurs travaux de recherche. L'objectif de ce court article est de décrire brièvement ces travaux et de montrer comment les enregistrements du RAP ou les réflexions issues du GIS-RAP ont permis de contribuer à cette réflexion.

Il a tout d'abord été montré que l'évaluation de la variabilité du mouvement sismique est l'un des maillons les plus importants de la chaîne de l'évaluation de l'aléa sismique (Bommer et al.,

2004a, 2004b). Pour évaluer cette variabilité et séparer incertitude aléatoires et épistémiques, nous avons développé une méthodologie basée sur l'utilisation d'arbres logiques (Bommer et al., 2005). Les arbres logiques permettent de cerner les incertitudes liées au manque de connaissance (erreur épistémique) et de prendre en compte différents modèles de prédiction du mouvement sismique. La mise en place de cette méthodologie a nécessité des développements spécifiques. La méthodologie nécessaire pour sélectionner et ajuster les modèles de prédiction du mouvement du sol utilisés dans ces arbres logiques (Scherbaum et al., 2004a, Cotton et al., 2005) a été clarifiée. Il a été montré comment les informations issues des données européennes de mouvement faible peuvent aider à sélectionner (Scherbaum et al., 2004b) les modèles de prédiction du sol développés dans des pays à sismicité forte (Italie, Californie, Japon). Dans ce dernier article les données du RAP collectées lors du séisme de Saint Dié ont été utilisées. Un travail similaire se poursuit actuellement avec les données du réseau RAP Pyrénées (Thèse de S. Drouet, OMP, Toulouse). Le travail devrait montrer quels sont les modèles d'atténuation (et les méthodes de conversion de magnitude associées à ces modèles) qui expliquent le mieux les données « de mouvements forts » ( $M_L > 4.5$ ) acquises ces dernières années dans les Pyrénées.

D'une manière similaire aux discussions techniques de la réunion RAP de Carry le Rouet, de nombreuses réflexions ont été liées à l'utilisation des données obtenues lors de faibles séismes ( $M < 5$ ) pour prédire le mouvement sismique des forts séismes ( $M > 5$ ). Les résultats obtenus dans le cadre du projet Pegasos (e.g. Scherbaum et al., 2004b) suggèrent que l'ajustement aux conditions géologiques européennes des modèles issus des mouvements forts (Californie, Japon) est préférable à l'extrapolation des modèles d'atténuation empiriques (« lois » d'atténuation) issus des données de mouvements faibles. Deux raisons laissent penser qu'une telle extrapolation n'est pas possible. Plusieurs résultats récents suggèrent une augmentation des chutes de contrainte avec la magnitude. Certaines études récentes (Pousse et al., 2005) semblent indiquer que l'atténuation du mouvement sismique avec la distance est elle aussi dépendante de la magnitude.

Les données de mouvement faible permettent néanmoins de préciser les anomalies régionales et locales. L'analyse de ces données de mouvements faibles (e.g. Drouet et al., 2005) est par ailleurs essentielle dans le processus de sélection et d'ajustement des modèles de mouvement fort. Cette sélection et ces ajustements sont nécessaires au développement de nouveaux modèles composites (Scherbaum et al., 2005).

**Fabrice Cotton, UJF, LGIT.**

### Références

- Abrahamson, N.A., Birkhauser, P., Koller, M., Mayer-Rosa, D., Smit, P.M., Sprecher, C., Tinic, S. and Graf, R., 2002. PEGASOS- A comprehensive probabilistic seismic hazard assessment for nuclear power plants in Switzerland, 12 ECEE. Elsevier Science Ltd., London.
- Bommer, J.J., Abrahamson, N.A., Strasser, F.O., Pecker, A., Bard, P.Y., Bungum, H., Cotton, F., Fäh, D., Sabetta, F., Scherbaum, F. and Studer, J., 2004a. The challenge of determining upper limits on earthquake ground motions. *Seism. Res. Lett.*, 75: 82-95.24.

• **Adaptation du logiciel in-BDsis à la gestion des données des réseaux régionaux du RAP**

Suite aux II<sup>ème</sup> journées techniques du RAP organisées à Carry-le-Rouet (2004), il est apparu nécessaire de faciliter les échanges entre les réseaux régionaux et le site central lors de la création ou de la modification des sites, ceci afin de permettre une mise à jour optimisée des méta-données de la base accélérométrique. Une application interactif d'usage simple a été développée qui permet aux gestionnaires des sites régionaux de prendre en charge les tâches de modification des fichiers associés à la description de tout ce qui concerne les aspects matériels, sites et réseaux (fichiers méta-données channel.lst et station.lst). Elle permet de reprendre ces fichiers en entrée pour modifications, en local ou depuis le site central du RAP où ils sont disponibles pour chaque réseau régional. L'application peut en particulier s'exécuter sous Windows ou MacOs et elle est totalement autonome des logiciels de la base de données. Cette application est disponible au site central (contact :pequegna@obs.ujf-grenoble.fr).

• **Autour d'inter**

Un lot de routines et de procédures est maintenant disponible pour la gestion des réseaux. Il est articulé autour du logiciel INTER et traduit les commandes d'interrogation des stations, en mode routine, urgence ou gestion. L'ensemble des résultats de l'interrogation formulé par INTER est traduit en log de diagnostic pour connaître les anomalies de fonctionnement des stations. Cet outil simple à mettre en œuvre est accessible au site central (contact :pequegna@obs.ujf-grenoble.fr).

• **WEB-RAP**

En complément d'autour d'inter, une interface web traduit et représente les résultats des interrogations et calcule des statistiques. Cet outil permet en particulier de montrer sur un serveur web local la variation de la tension des batteries, le nombre de déclenchements des stations, les valeurs des calibrations, les dérives horaires etc... par jours, semaine, mois ou année, pour une ou plusieurs stations simultanément. Cet outil facilite la gestion des stations et permet en particulier d'ajuster au mieux les seuils de déclenchement et de contrôler les anomalies éventuelles de certaines stations. Cet outil est disponible au site central du RAP (contact :pequegna@obs.ujf-grenoble.fr)

• **Journées techniques et scientifiques du RAP – 29 au 31 mai 2006 – Ecole de physique des Houches.**

Information en ligne : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/> rubrique actualités.

• **Soutenance de thèse de Stéphane Drouet, avril 2006, Université de Toulouse**

**Résumé : Analyse des données accélérométriques pour la caractérisation de l'aléa sismique en France : magnitudes, atténuation régionale, conditions de site et évaluation des modèles de mouvements forts.** Ce travail est consacré à l'étude des données accélérométriques du RAP collectées en France métropolitaine pour fournir des éléments d'entrée aux

études d'aléa sismique. L'utilisation en France des lois de prédiction des mouvements forts issues de régions très actives nécessite des ajustements. En particulier, une échelle homogène de magnitude est indispensable pour l'utilisation de ces modèles. D'autre part, les stations du réseau RAP nécessitent une classification en terme de réponse du mouvement du sol. Enfin, les phénomènes d'atténuation au niveau de la France doivent être quantifiés.

Pour ce faire, à l'aide de plusieurs méthodes d'inversion, nous avons analysé l'influence de la source sismique, de l'atténuation et des effets de site dans les spectres de Fourier du déplacement des ondes S pour des données de mouvement faible. Une première méthode linéaire, appliquée aux données pyrénéennes, a permis de déterminer les magnitudes de moment, les effets de site, l'atténuation géométrique et une relation entre fréquence coin et magnitude. Nous avons ensuite utilisé une inversion génétique (non linéaire) autorisant une dépendance de l'atténuation anélastique avec la fréquence. Enfin, une inversion de Newton (inversion globale non-linéaire) est mise en place pour déterminer simultanément tous les paramètres impliqués, en particulier les magnitudes de moment et les effets de site des stations du RAP. Ces résultats permettent d'obtenir une loi unique pour la magnitude de moment sur l'ensemble de la France métropolitaine.

Enfin nous avons exploité les résultats précédents (magnitudes et effets de site) pour effectuer un classement des modèles de prédiction des mouvements sismiques forts.

Contacts : [stephane.drouet@ntp.obs-mip.fr](mailto:stephane.drouet@ntp.obs-mip.fr) – [annie.souriau@ntp.obs-mip.fr](mailto:annie.souriau@ntp.obs-mip.fr) – [fcotton@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:fcotton@obs.ujf-grenoble.fr)

• **Articles parus, thèses soutenues et rapports écrits ces six derniers mois utilisant les données du RAP**

**Pousse, G., 2005.** Analyse des données accélérométriques de K-net et Kik-net : implications pour la prédiction du mouvement sismique – accélérogrammes et spectres de réponse- et la prise en compte des effets de site non-linéaire. Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble.

• **Conférences**

**8<sup>th</sup> US National Conference on Earthquake Engineering –** 18-21 April 2006, San Francisco <http://www.1906eqconf.org>  
**ESG2006, III<sup>rd</sup> International Symposium –** 30 Aug.-01 Sept. 2006 – Grenoble <http://esg2006.obs.ujf-grenoble.fr>  
**ESC/EAAE joint meeting –** 3-8 Septembre 2006, Genève – <http://www.ECEES.org>

**LA NOTE D'INFORMATION DU RAP**

La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Il est destiné aux membres, aux tutelles et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet. Vous pouvez proposer une communication en contactant Philippe Guéguen [pguegu@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pguegu@obs.ujf-grenoble.fr).

**Adresse géographique :** Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique - Maison des Géosciences -1381, rue de la Piscine - Domaine Universitaire - 38400 Saint-Martin-D'Hères  
**Adresse postale :** LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France  
**Tél :** +33 (0)4 75 82 80 59 - **Fax :** +33 (0)4 76 82 81 01  
**Web :** <http://www.rap.obs.ujf-grenoble.fr> –  
**Mail :** [philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr)

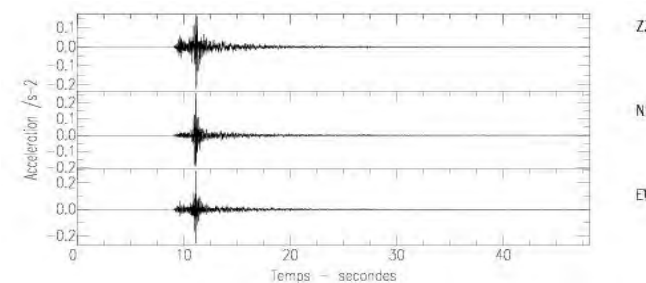


LA LETTRE D'INFORMATION DU RESEAU ACCELEROMETRIQUE PERMANENT

Janvier 2006

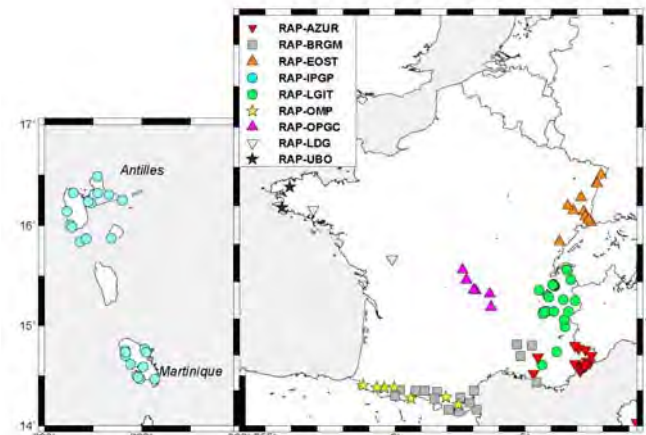
<b>SOMMAIRE</b>	
Editorial	1
L'enregistrement du semestre	1
Le Réseau Accélérométrique en 2005	1
Evaluation du Mouvement Sismique en Europe de l'Ouest :	2
Système d'Information Géographique couplé à la base du RAP	3
Informations générales	4
La lettre d'information du RAP	4

**L'ENREGISTREMENT DU SEMESTRE**

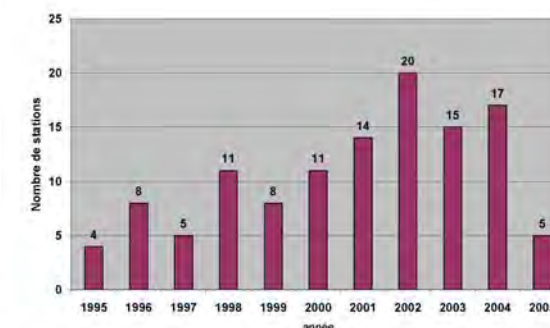


Enregistrement à la station OGS1 (RAP-LGIT) du séisme de Vallorcines (74) du 08 septembre 2005 (MI=4.6 – R #28km). Cette station fait partie des premières stations du RAP installées dans les Alpes.

**LE RESEAU RAP**



Stations accélérométriques installées en Métropole et aux Antilles en janvier 2006



Nombre de stations RAP installées par an

**- EDITORIAL -** En conformité avec ses objectifs scientifiques et avec le soutien de ses tutelles, la politique d'instrumentation du GIS-RAP s'est poursuivie en 2005 sur l'ensemble du territoire français. De nouvelles stations ont ainsi été implantées, principalement dans le massif central (RAP-OPGC), en Bretagne (RAP-LDG et RAP-UBO) ainsi que vers les territoires et départements d'outre-mer (Nouvelle Calédonie, Mayotte...). Simultanément, des travaux ont été engagés par le Site Central du RAP pour proposer des outils à destination des réseaux régionaux afin de faciliter la gestion et le suivi des stations. Ces travaux ont été le résultat de discussions et des propositions énoncées lors des II<sup>ème</sup> journées techniques et scientifiques du réseau. La qualité et la souplesse d'accessibilité des données ont placé le RAP parmi les leaders des réseaux accélérométriques européens. Cette reconnaissance a permis à notre groupement d'intérêt scientifique d'être identifié comme partenaire naturel d'un projet européen (NERIES) fédérant, entre autre, la plupart des réseaux accélérométriques européens. Grâce à son expérience, le RAP va ainsi devoir jouer un rôle important pour homogénéiser et faciliter l'accessibilité des données à l'échelle européenne, simplifiant en partie les travaux de recherches initiés pour une meilleure compréhension et évaluation de l'aléa sismique en France et en Europe. Il apparaît ainsi indispensable de maintenir le réseau à un niveau technique élevé pour faciliter et ainsi favoriser les activités de recherche qui se développent autour des données du RAP. Ces activités sont en particulier illustrées par les travaux de thèse de Stéphane Drouet (OMP-Toulouse) et de Guillaume Pousse (IRSN) dont les résultats ont permis de révéler de nouvelles problématiques, qui incitent le GIS-RAP à encourager de nouveaux axes de recherche. Des incidences directes sur les évolutions techniques futures sont apparues auxquelles il faudra apporter des solutions. Ces évolutions doivent bénéficier de l'émergence de nouvelles technologies et de l'expression de nouveaux besoins, en particulier sur la collecte et la transmission des données. Déjà, une solution a été proposée pour s'assurer de la sauvegarde du choc principal en cas de crise sismique. Des réflexions vont cependant devoir s'amorcer pour permettre aux réseaux régionaux d'augmenter les capacités des stations, faciliter et sécuriser l'accessibilité des données et proposer des solutions alternatives à celles existantes actuellement.

Les III<sup>ème</sup> journées techniques et scientifiques du RAP seront ainsi l'occasion de présenter les perspectives scientifiques qui se profilent autour du RAP ainsi que de réfléchir au visage que nous voudrions donner au réseau dans le futur.

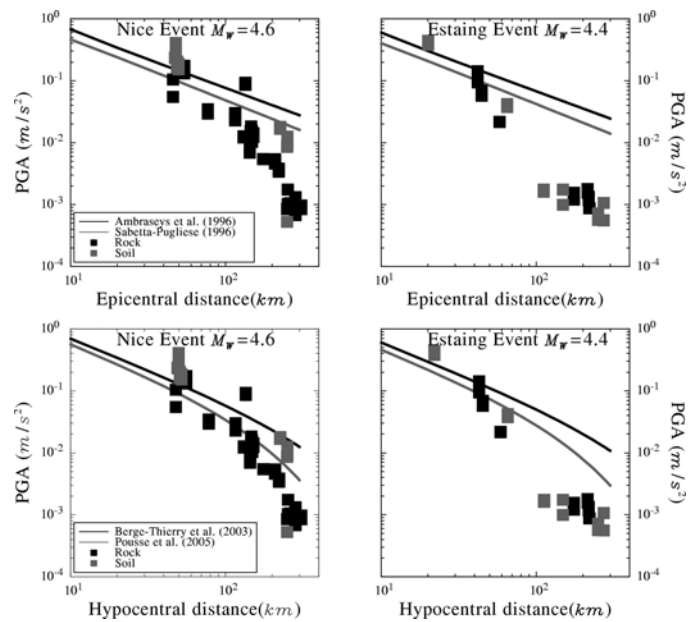
**Philippe Guéguen, directeur du RAP.**

## EVALUATION DU MOUVEMENT SISMIQUE EN EUROPE DE L'OUEST : INDICES DE CARACTERISTIQUES DIFFERENTES D'ATTENUATION ET D'AMPLIFICATION ENTRE SEISMES DE TAILLE VARIABLE

La pratique réglementaire du génie parasismique a subi des évolutions importantes ces dernières années. La prédiction du mouvement occasionné par un séisme d'une certaine magnitude à une distance particulière constitue une étape fondamentale dans toute analyse d'aléa sismique, qu'elle soit probabiliste ou déterministe. Dans ce contexte, l'utilisation de modèles empiriques prédictifs, calibrés sur des données enregistrées dans des zones actives du point de vue sismique, s'est répandue. Cependant, des questions restent irrésolues qui concernent l'applicabilité de cette approche dans des zones moins actives (Abrahamson et al, 2002, Scherbaum et al, 2004, Bommer et al, 2005, Cotton et al, 2006).

En particulier, l'utilisation de modèles prédictifs calibrés sur des données de fortes magnitudes pour prédire le mouvement occasionné par un séisme de faible magnitude ne semble pas permettre une évaluation correcte du mouvement. Par exemple, la comparaison des données enregistrées au cours des séismes de Nice (2001) et d'Estaing (2002) avec des prédictions révèle différents aspects (les prédictions ont été réalisées au moyen de plusieurs modèles, tous calibrés sur des données de magnitude majoritairement supérieure à 4,6) :

- Il y a une tendance des modèles Européens (Ambraseys et al., 1996, Sabetta and Pugliese, 1996, Berge-Thierry et al., 2003) et du modèle Japonais (Pousse et al., 2005) à surestimer le mouvement sismique à des distances supérieures à 100km.
- Il faut remarquer d'autre part que ces premières comparaisons indiquent une atténuation du mouvement avec la distance qui est plus rapide pour les petits séismes.

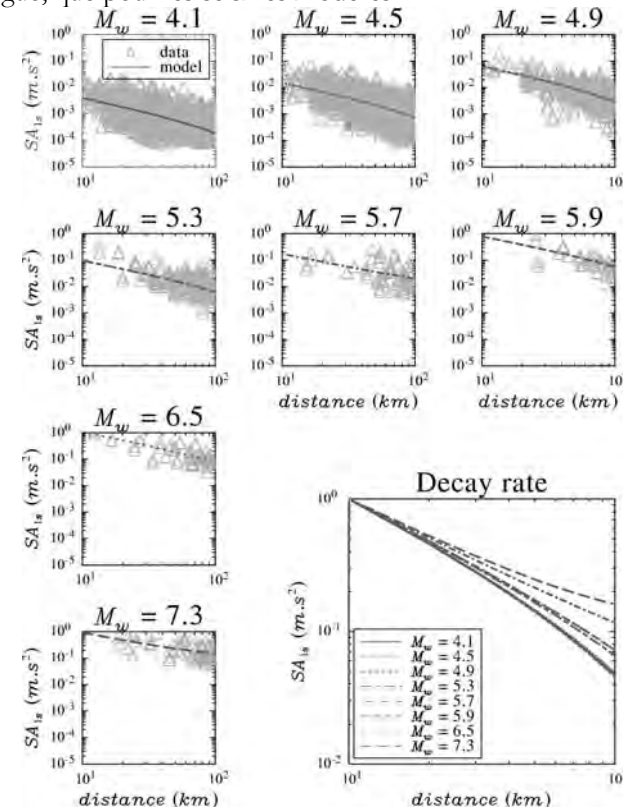


Comparaison des données des séismes de Nice (2001) et d'Estaing (2002) avec des prédictions obtenues pour l'accélération maximale du sol (en utilisant différents modèles prédictifs, tous calibrés sur des données de magnitude majoritairement plus importante que 5). L'atténuation est représentée en utilisant deux définitions de la distance (épicentrale et hypocentrale)..

Il faut également noter que cette dernière remarque concerne des enregistrements réalisés sur du substrat dur (rocher) pour lequel des phénomènes de non-linéarité des sols n'apparaissent pas.

Cette observation apporte donc de nouvelles contraintes pour l'évaluation du mouvement sismique, hors toute considération de site. Le travail de thèse de G. Pousse (2005) permet de tester l'hypothèse, à l'aide d'enregistrements en profondeur, d'une atténuation du mouvement avec la distance qui est fonction de la taille du séisme (les enregistrements en profondeur sont par ailleurs les seules données qui permettent d'établir et de quantifier de manière certaine la non-linéarité du comportement des sols meubles, responsables des effets de site ; effets dont il faut s'affranchir pour le problème présent).

Les données du réseau de profondeur Kiban Kyoshin network installé au Japon ont ainsi été analysées au moyen du modèle du point source (Berge-Thierry et al., 2003) qui est encore très largement utilisé en Europe. Ce travail met en évidence au moyen de cette base de données très dense que le mouvement sismique provoqué par des séismes de magnitude modérée s'atténue plus rapidement que celui provoqué par des séismes de magnitude plus importante. D'autre part, ce travail a mis en évidence que l'écart entre logarithmes du mouvement occasionné par deux séismes séparés d'un degré de magnitude diminue à mesure que la taille des séismes augmente. En d'autres termes, tout se passe comme s'il y avait un effet de saturation du mouvement avec la taille du séisme (Pousse, 2005). Cependant, ces effets n'ont pas encore d'interprétation définitive. Anderson (2000) a pu évoquer là un effet de source étendu des gros séismes, qui donne lieu à des destructions et reconstructions d'ondes plus complexes, et sur une durée plus longue, que pour les séismes modérés.



Comparaison des pseudo-accelérations spectrales à 1Hz, calculées à partir des données enregistrées en profondeur par le réseau Kik-net, et des prédictions. Ces prédictions sont réalisées au moyen d'analyses réalisées sur différents jeux de magnitude, tous distincts les uns des autres. Le graphique inférieur à droite témoigne d'une atténuation avec la distance plus lente pour les fortes magnitudes.

Ces résultats ont néanmoins une grande incidence sur la méthodologie à appliquer pour les études d'aléa dans les zones à sismicité modérée, telle que la France : en effet, recueillir des données de magnitude modérée, afin de calibrer un modèle prédictif de mouvement spectral, ne permettra pas de procéder à une extrapolation des prédictions pour appréhender le mouvement occasionné par un séisme de magnitude plus importante. Cela suggère qu'un effort doit être consenti dans l'ajustement aux conditions géologiques européennes des modèles issus des mouvements forts (Californie, Japon). C'est dans ce domaine que l'exploitation des données enregistrées par le RAP permettra d'apporter quelques éléments de réflexion.

**Guillaume Pousse - UJF (LGIT) / IRSN (BERSSIN)**

### Référence :

- Abrahamson, N.A., Birkhauser, P., Koller, M., Mayer-Rosa, D., Smit, P.M., Sprecher, C., Tinic, S. and Graf, R., 2002. PEGASOS- A comprehensive probabilistic seismic hazard assessment for nuclear power plants in Switzerland, 12 ECEE. Elsevier Science Ltd., London.
- Ambraseys, N.N., Simpson, K.A. and Bommer, J., 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe. EESD, 25: 371-400.
- Anderson, J.G., 2000. Expected shape of regressions for ground motion parameters on rock. BSSA, 90(6B): S43-52.
- Berge-Thierry, C., Cotton, F., Scotti, O., Griot-Pommer, D.A. and Fukushima, Y., 2003. New empirical response spectral attenuation laws for moderate European earthquakes. JEE, 7(2): 193-222.
- Bommer, J.J., Abrahamson, N.A., Strasser, F.O., Pecker, A., Bard, P.Y., Bungum, H., Cotton, F., Fäh, D., Sabetta, F., Scherbaum, F. and Studer, J., 2004. The challenge of determining upper limits on earthquake ground motions. SRL, 75: 82-95. 24.
- Cotton, F., Scherbaum, F., Bommer, J. and Bungum, H., 2006. Criteria for selecting and adapting ground-motion models for specific target regions. Application to Central Europe and rock sites. Journal of seismology, accepted.
- Pousse, G., Berge-Thierry, C., Bonilla, F. and Bard, P.Y., 2005. Eurocode8 design response spectra evaluation using the K-net Japanese database. JEE, 9(4): 547-574.
- Pousse, G., 2005. Analyse des données accélérométriques de K-net et Kik-net : implications pour la prédiction du mouvement sismique – accélérogrammes et spectres de réponse- et la prise en compte des effets de site non-linéaire. PhD dissertation.
- Sabetta, F. and Pugliese, A., 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. BSSA, 86(2): 337-352.
- Scherbaum, F., Schmedes, J. and Cotton, F., 2004. On the conversion of source-to-site distance measures for extended earthquake source model. BSSA, 94: 1053-1059.

## SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE COUPLE A LA BASE DE DONNEES DU RAP

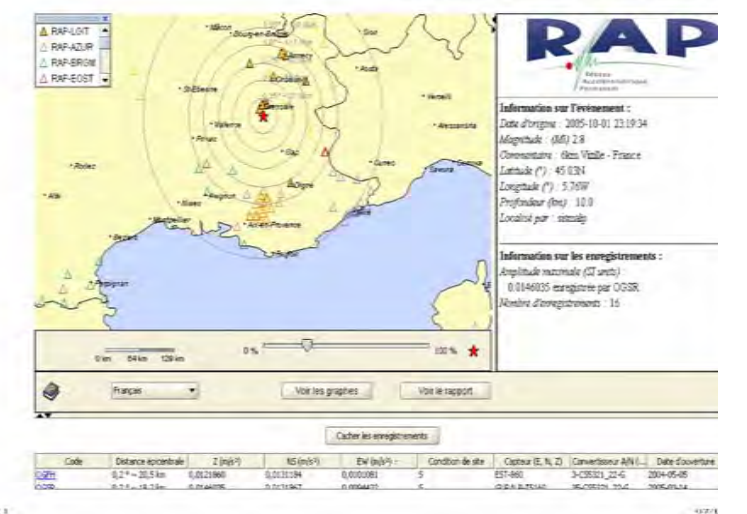
Outre ses objectifs scientifiques, la base de données du RAP (BDRap) a pour mission de permettre de consulter via le Web des informations concernant les séismes se produisant sur le

territoire français et récupérer les données répondant à des critères géographiques ou/et sismologiques sur le réseau régional, sur la station ou sur l'événement sismique. Pour cela, un projet de couplage de BDRap à un Système d'Information Géographique (SIG) a été envisagé. Cet outil permet la visualisation de la position géographique des stations, des séismes et des stations ayant enregistré le séisme. L'outil de représentation permet cette visualisation en réponse aux requêtes effectuées sur les données, les stations ou les séismes. Cette visualisation est disponible sur le site web du RAP. L'outil développé devient un module disponible dans la plateforme BDRap, faisant partie de la plateforme de gestion de base de données sismologiques (BDsis).

Plusieurs options de visualisation sont permises :

1. A partir du réseau régional, en réponse à la sélection d'une station du réseau régional, la visualisation de la position de la station et de celles avoisinantes est possible, la station sélectionnée apparaissant avec une description distincte des autres (taille du symbole par exemple) et avec les informations techniques la décrivant.
2. A partir d'une liste de séismes (événements), il est possible de visualiser pour chaque séisme, les uns après les autres la position de l'événement (avec des informations le décrivant), les stations ayant enregistré l'événement, les stations n'ayant pas enregistré, avec leur code comme étiquette du symbole et les valeurs de l'accélération maximale (PGA) pour chaque composante (3 par station).

Après une phase de consultation et de définition du cahier des charges, un système a été installé en ligne, en réponse à une requête de la base de données du RAP (<http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr>, rubrique accès à la base de données du RAP). Il est maintenant possible pour chaque séisme d'avoir une représentation en carte des stations et du séisme, d'avoir des informations sur les valeurs d'accélération enregistrées par les stations du RAP et de les comparer aux relations empiriques de prédiction du mouvement sismique.



Extrait du système SIG couplé à la base de données du RAP

**Catherine Péquegnat – LGIT/CNRS – Philippe Guéguen – LGIT/LCPC**

• **Mise à jour de la base du RAP pour l'année 2005 et Intégration des données des réseaux associés à la base de données**

Au cours du premier semestre 2006, la base du RAP 2005 a été nettoyée et validée. Elle met à disposition via internet plus de 17000 enregistrements, la majorité provenant des Antilles et de la séquence des répliques du séisme des Saintes. Le premier semestre 2006 a été l'occasion d'intégrer les données des réseaux associés en particulier les données du RAS-BRGM aux Antilles et du RAS-CGMA. Merci à Didier Bertil et Bernard Naignre pour leur participation lors de cette intégration.

• **Quick Access**

Une rubrique est maintenant accessible sur l'interface web de la base du RAP : **Data retrieval (Preassembled datasets)**. Cet accès permet de récupérer des archives de données constituées des enregistrements des séismes majeurs du RAP. Chaque archive contient les enregistrements aux formats SEED, SAC et ASCII ainsi que leur figure aux formats postscript et jpeg. Elle se nomme suivant un nom géographique, la date et l'heure de l'événement et les coordonnées géographiques de l'épicentre. Le choix des archives est fonction de la magnitude de l'événement et du nombre d'enregistrements collectés. Cet accès évite ainsi pour un événement donné de passer par la série de requêtes nécessaire via l'interface générique. Il permettra également en cas de séisme significatif de constituer une archive facilement téléchargeable.

• **Journées techniques et scientifiques du RAP – 29 au 31 mai 2006 – Ecole de physique des Houches.**

Le GIS-RAP a souhaité renouveler l'organisation des journées scientifiques et techniques autour de l'activité du RAP. Ces journées, réunissant l'ensemble des partenaires du GIS et les représentants des tutelles, sont organisées tous les deux ans. Elles initient une dynamique RAP pour encourager les échanges, les développements et les initiatives communes. Elles permettent à la fois :

1. de présenter des travaux de recherche concernant la compréhension et l'analyse de l'aléa et de la vulnérabilité sismique en France ;
2. de poser les problèmes scientifiques et techniques qui entourent le fonctionnement et l'exploitation du réseau ;
3. de créer une dynamique au sein des membres du RAP afin de résoudre ces difficultés.

Ces journées ont été structurées en ateliers, animés par des coordinateurs ayant à charge de faire un état des lieux de leur atelier, des besoins à mettre en œuvre pour améliorer le fonctionnement et la valorisation du RAP. Les sessions scientifiques ont abordé :

- les séismes récents du RAP
- les développements du RAP (techniques et instrumentaux)
- les comparaisons mouvements faibles/mouvements forts

- les DOM-TOM et les nouveaux réseaux RAP
- les effets de site
- la base de données du RAP
- la dynamique des structures et la vulnérabilité
- les relations entre intensités et mouvement du sol
- la magnitude de moment

D'autre part, ces journées ont été l'occasion de présenter les nouveaux développements techniques liés au fonctionnement et à la maintenance des stations du RAP ainsi qu'à la gestion de la base de données. Des opérations et des nouveaux axes de recherche ont également été initiés lors de ces journées. Tandis que les premières journées ont accueilli une quarantaine de personnes, les deux dernières éditions ont accueilli plus de 65 personnes, montrant le rôle fédérateur du GIS-RAP depuis quelques années, un des objectifs énoncés dès sa création. Un compte rendu sera disponible fin juillet sur le site du RAP.

• **Articles parus, thèses soutenues et rapports écrits ces six derniers mois utilisant les données du RAP**

**Drouet, S.**, 2006. Analyse des données accélérométriques pour la caractérisation de l'aléa sismique en France : magnitudes, atténuation régionale, conditions de site et évaluation des modèles de mouvements forts. Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse.

**Guéguen, P.** et al., 2006. On the limitation of the H/V spectral ratio using seismic noise as an exploration tool: application to the Grenoble valley (France), a small apex ratio basin, *PAGEOPH*, sous presse.

**Pousse, G.** et al. 2006. On the discrepancy of ground motion predictions derived from weak and strong motion records, soumis à BSSA.

• **Conférences**

**ESG2006, III<sup>rd</sup> International Symposium** – 30 Aug.-01 Sept. 2006 – Grenoble <http://esg2006.obs.ujf-grenoble.fr>

**ESC/EAAE joint meeting** – 3-8 Septembre 2006, Genève – <http://www.ECEES.org>

**AFPS2007, 7<sup>ème</sup> colloque national de l'Association Française de Parasismique** – 04-07 juillet 2007, Ecole Centrale de Paris. [http://www.mssmat.ecp.fr/AFPS\\_07.html](http://www.mssmat.ecp.fr/AFPS_07.html)

**IUGG2007, XXIV Congrès** – 2-13 juillet 2007, Perugia, Italy. <http://www.iugg2007perugia.it>

**LA NOTE D'INFORMATION DU RAP**

La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Il est destiné aux membres, aux tutelles et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet. Vous pouvez proposer une communication en contactant Philippe Guéguen [pguegu@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pguegu@obs.ujf-grenoble.fr).

**Adresse géographique :** Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique - Maison des Géosciences - 1381, rue de la Piscine - Domaine Universitaire - 38400 Saint-Martin-D'Hères  
**Adresse postale :** LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France  
**Tél :** +33 (0)4 75 82 80 59 - **Fax :** +33 (0)4 76 82 81 01  
**Web :** <http://www.rap.obs.ujf-grenoble.fr> -  
**Mail :** [philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr)

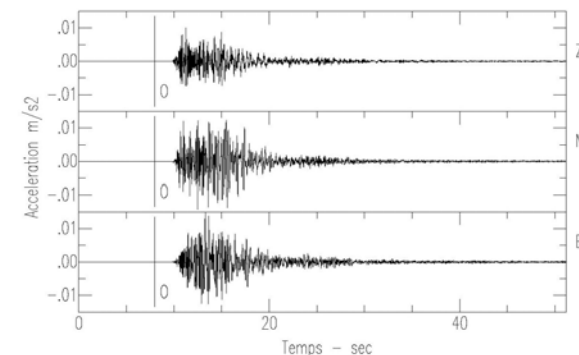


LA LETTRE D'INFORMATION DU RESEAU ACCELEROMETRIQUE PERMANENT

Juin 2006

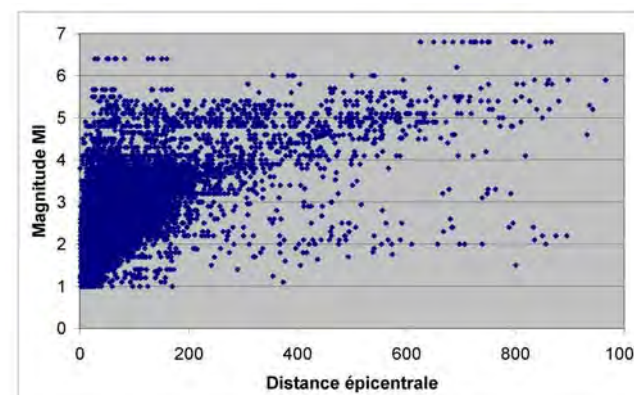
<b>SOMMAIRE</b>	
. Editorial	1
. L'enregistrement du semestre	1
. La base de données en 2006	1
. Comparaison des données accélérométriques avec des données vélocimétriques	2
. Analyse des données accélérométriques pour la caractérisation de l'aléa sismique en France	4
. Informations générales	6
. La lettre d'information du RAP	6

**L'ENREGISTREMENT DU SEMESTRE**

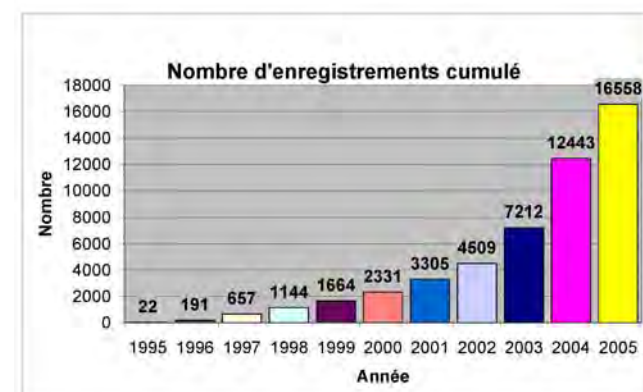


Enregistrements à la station OGMA (RAP-LGIT) d'un séisme de magnitude 3.7 (RéNaSS) localisé en Nord-Isère et situé à 25km de la station.

**LE RESEAU RAP**



Distribution des données accélérométriques contenues dans la base de données du RAP, en fonction de la magnitude et de la distance épicentrale.



Nombre d'enregistrements contenus dans la base de données du RAP fin 2005.

**EDITORIAL** - Après Oadawara en 1992 et Yokohama en 1998, le III<sup>ème</sup> symposium international dédié aux effets des formations géologiques superficielles sur le mouvement sismique (ESG) se tiendra pour la première fois en Europe. Le groupe de travail des associations internationales IASPEI et IAEE, créé en 1986, a en effet décidé que le site du bassin de Grenoble serait le site test pour la simulation des effets de site sous sollicitations sismiques. Cette décision traduit la particularité du bassin de Grenoble en matière d'effets de site. Le choix du site est en particulier la conséquence de nombreux travaux réalisés sur le bassin par l'équipe du LGIT et par la présence d'un site pilote test du RAP pour la compréhension des effets de site. Ce symposium sera en particulier l'occasion pour différentes équipes internationales de mener des simulations en aveugle du mouvement du sol en différents points du bassin, en particulier là où les stations du RAP sont installées. Ces dernières serviront de point de comparaison entre les différentes méthodes utilisées pour reproduire le mouvement du sol généré par un séisme faible localisé à proximité de Grenoble, sur la faille de Belledonne. Ce symposium sera l'occasion de se focaliser sur les points de blocage scientifique qui existent encore dans la compréhension des effets de site et on devrait voir émerger de nouvelles ambitions scientifiques à atteindre. Au-delà de l'unique intérêt scientifique de la manifestation, les actions pilotes du RAP sont mises en valeur. Cela confirme tout l'intérêt qu'elles peuvent apporter pour favoriser la mobilisation et la collaboration des chercheurs autour de problématiques spécifiques. On peut citer les actions existantes, ou à venir, comme des réussites des actions du GIS-RAP : les effets de site à Grenoble, Nice ou Annecy, le forage de Montbonnot, l'Hôtel de ville de Grenoble et prochainement un site effet de site à Bagnères de Bigorre et un site liquéfaction aux Antilles. Pour ne citer qu'elles, les opérations Liquéfaction et Hôtel de Ville servent de support à des programmes de recherches nationaux, mobilisant et regroupant autour de ces sites des communautés scientifiques situées en dehors ou à la périphérie des sciences de la terre.

Il est donc nécessaire d'encourager de telles actions, permanentes ou temporaires. La définition des sites pilotes peut être précédée d'opérations particulières temporaires et de discussions autour de points de blocage scientifiques. La constitution des groupes de travail RAP se justifie pleinement pour essayer de fédérer autour de thèmes scientifiques ou techniques les acteurs afin d'initier de nouveaux axes de recherche. Leur démarrage doit être fortement encouragé par le bureau du GIS-RAP.

**Philippe Guéguen, directeur du GIS-RAP.**

**COMPARAISON DES DONNEES ACCELEROMETRIQUES DU RAP AVEC LES DONNEES VELOCIMETRIQUES LARGE BANDE DU RESEAU GEOSCOPE : STATION STSM (RAP) ET STATION ECHERY (GEOSCOPE).**

Toutes deux situées dans les Vosges à moins d'un demi kilomètre l'une de l'autre, les stations ECH du réseau large bande Géoscope (48.216N, 7.158E) et la station accélérométrique STSM du RAP (48.2179N, 7.1536E) offrent une opportunité intéressante pour comparer les informations fournies par ces deux types de capteur. Sans prétendre à l'exhaustivité, l'objectif de cette courte note est de donner quelques éléments d'information quant aux similitudes et aux éventuelles différences des enregistrements fournis par ces deux stations, tant au niveau temporel (PGA), qu'au niveau spectral grâce à une étude du niveau de bruit et du rapport signal sur bruit.

Profitant de la forte activité sismique « alsacienne » de ces 4 dernières années, les enregistrements de 7 séismes ont été sélectionnés avec des magnitudes comprises entre 3.8 et 5.4, pour des distances épicentrales allant de 38km à 130km (c.f. tableau 1 et Figure 1-a). L'ensemble de ces données a été récupéré d'une part, au moyen d'une interrogation directe de la base de données du RAP (<http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/>) et d'autre part par requête autodrm au centre Géoscope de Jussieu (<http://geoscope.ipgp.jussieu.fr/>). Après avoir corrigé les enregistrements vélocimétriques de la station large bande ECH de la réponse de capteur (type STS1), les enregistrements accélérométriques correspondant ont été obtenus par simple dérivation.

Date	Lat.	Long.	Dist.	Mag	STSM		ECH
					PGA (125Hz)	PGA (20Hz)	PGA
22.02.03	4.31	6.66	38,4	5,4	1.20E-01	9.61E-02	1.18E-01
22.03.03	48.19	8.91	130,1	4,5	2.73E-03	1.70E-03	1.74E-03
23.02.04	47.3	6.28	121,7	5,1	1.53E-02	1.09E-02	1.33E-02
21.06.04	47,5	7,67	88,7	3,8	1,78E-03	1,13E-03	1,35E-03
28.06.04	47,54	8,14	105,3	4,1	2,50E-03	1,24E-03	1,67E-03
05.12.04	48,11	8	63,7	5,3	2,44E-02	1,37E-02	1,70E-02
12.05.05	47,32	7,63	106,1	3,8	2,46E-03	8,31E-04	9,30E-04

Tableau 1 : Comparaison des accélérations maximales du sol (PGA) extraites des données de la station RAP STSM pour un échantillonnage à 125 et 20Hz et extraites des données de la station large bande ECH pour les séismes analysés dans cette étude. Les distances sont en km et les PGA en m/s<sup>2</sup>.

A ce stade, une première comparaison des niveaux de PGA obtenus sur les deux types de capteurs a révélé une sous-estimation d'environ 60% (écart-type: 43%) du PGA sur la station vélocimétrique ECH par rapport à la station accélérométrique STSM pour l'ensemble des événements considérés. Plutôt qu'un problème de calibration de ces deux capteurs, il s'agit d'une conséquence directe de la bande passante instrumentale. En effet, un aspect pernicieux des mesures de PGA est leur apparente indépendance au contenu fréquentiel du signal considéré, en raison notamment de l'absence systématique de précisions sur la bande passante utilisée. Or ceci est faux: les valeurs de PGA sont bien entendu dépendantes de la bande passante du capteur. En effet, les

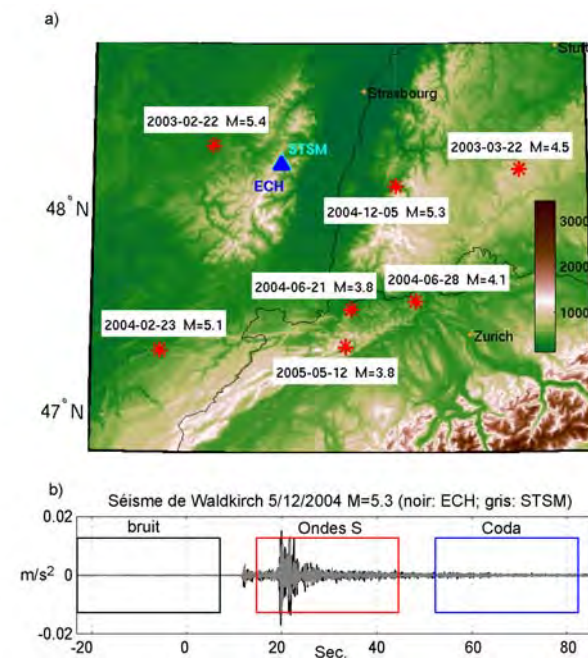


Figure 1 : Localisation des séismes et des stations concernées par cette étude et exemple de fenêtres sélectionnées pour le calcul de la densité spectrale..

enregistrements accélérométriques se caractérisant par un contenu énergétique plutôt haute fréquence, des capteurs avec une bande passante trop basse, tels que le STS1 avec une bande passante maximale de l'ordre 8 Hz (après correction de capteurs), ne permettront qu'une représentation partielle de l'énergie de l'action sismique et donc ne fourniront qu'une estimation biaisée du PGA. Ainsi, afin de pouvoir comparer les enregistrements des deux types de capteur, nous avons donc ré-échantillonné les enregistrements accélérométriques de la station STSM (capteur GURALP-T5197), initialement échantillonnés à 125Hz, à une fréquence de 20Hz correspondant à la fréquence d'échantillonnage du capteur STS1. Même, si elle est beaucoup plus faible, il persiste toujours une faible différence avec maintenant une surestimation moyenne de 10% (Ecart-type 18%) des données de la station ECH par rapport à la station STSM. En domaine temporel, cette légère surestimation se traduit par une très bonne similitude de la forme globale des enregistrements sismiques obtenus sur les deux capteurs (Figure 1b) mais présentant localement des différences parfois notables sur certaines formes d'ondes.

L'origine d'un tel comportement pouvant être l'augmentation de l'incohérence spatiale du champ d'ondes sismiques avec la fréquence, une étude spectrale a donc été menée. Ainsi, pour chaque enregistrement, la densité spectrale de puissance a été calculée sur 3 fenêtres de 30s situées respectivement (Figure 1b), avant l'arrivée des ondes P (fenêtre de bruit), au niveau des ondes S (tdebut=(ts+tp)/2) et 1s avant la fin de l'enregistrement (fenêtre de coda). Afin de limiter les effets de bord, chacune de ces fenêtres a été apodisée par une fenêtre de Hanning. La densité spectrale de puissance a alors été estimée par la méthode du corrélogramme de Blackman-Tukey avec une apodisation par une fenêtre de Bartlett et une fenêtre de Parzen à l'ordre 16 afin de limiter la variance de l'estimation spectrale (Blackman and Tukey 1958, Kay 1988, Max et

Lacoume 1996). (Remarque: dans un souci de concision, seules les composantes verticales ont été affichées, les autres composantes présentant des résultats similaires).

Dans un premier temps, l'analyse du bruit a permis de mettre en évidence la différence de sensibilité des deux types de capteur sismologique (Figure 2-a). En effet, la sensibilité élevée du capteur large bande STS1 (ECH), permet de clairement identifier les principales caractéristiques du bruit de fond microsismique (Pic à 0.2Hz), ainsi que de montrer le caractère bas bruit du site ECH (proximité avec le nouveau modèle bas bruit NLNM - Peterson 1993). Dans de telles conditions de bas bruit, la plus faible sensibilité des capteurs accélérométriques ne permet de mesurer qu'un bruit de type instrumental faiblement décroissant en fonction de la fréquence et de l'ordre de 125dB à 1Hz. Même si la perte en rapport signal sur bruit du capteur accélérométrique par rapport au capteur vélocimétrique atteint 30 dB entre 1 et 2Hz, des niveaux de rapport signal sur bruit similaires pour ces deux types de station peuvent être attendu en milieu urbain. En effet, en milieu urbain, le niveau de bruit est probablement proche du modèle de bruit élevé (NHNM), et par conséquent probablement supérieur au bruit instrumental du capteur accélérométrique. Il n'en est pas de même pour les basses fréquences où les stations vélocimétriques large bande restent irremplaçables.

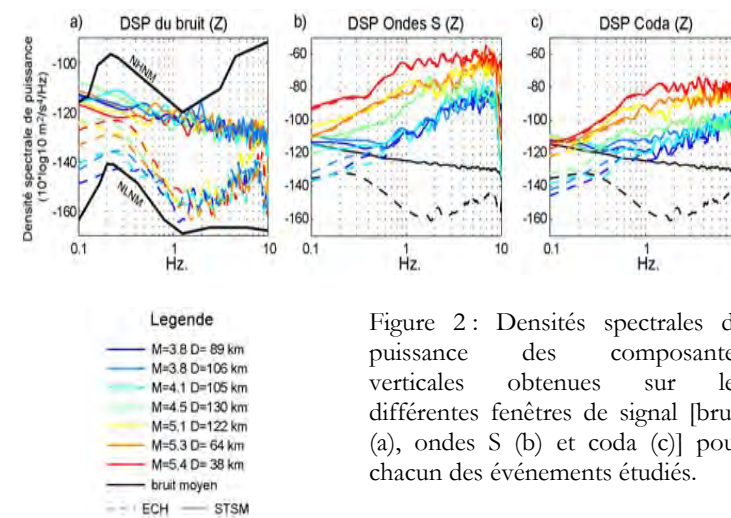


Figure 2 : Densités spectrales de puissance des composantes verticales obtenues sur les différentes fenêtres de signal [bruit (a), ondes S (b) et coda (c)] pour chacun des événements étudiés.

En ce qui concerne les enregistrements sismiques, fenêtre « ondes S », la densité spectrale de puissance du train d'ondes S pour le capteur accélérométrique et vélocimétrique présente des valeurs similaires sur l'ensemble de la bande utile de chaque capteur, sauf aux hautes fréquences (Figure 2-b). Afin de quantifier cette déviation haute fréquence, la valeur moyenne ainsi que l'écart-type du rapport des densités spectrales DSPacc/DSPvel ont été calculés sur l'ensemble des composantes et événements (Figure 3). Comme le montre cette figure, les densités spectrales de puissance fournies par les deux types de capteur présentent des valeurs similaires jusqu'à environ 4Hz. Au delà, les données issues du capteur vélocimétrique sont supérieures de 10% à 20% à celles du capteur accélérométrique, en accord avec ce qui a été observé sur les PGA. Même si la variabilité du champ d'ondes sismiques est probablement la principale cause de cette dépendance

fréquentielle, il est tout de même prudent de noter qu'il pourrait très bien être une conséquence des filtres antialiasing.

Enfin, l'étude de la densité spectrale de la fenêtre de coda a permis d'évaluer les niveaux de rapport signal/bruit et l'évolution de la bande utile en fin d'enregistrement, « fenêtre de coda » (Figure 2-c). Le résultat fondamental est la persistance d'un rapport signal sur bruit élevé même en fin d'enregistrement. En effet, l'ensemble des séismes de magnitude supérieure à 5 présente un rapport signal sur bruit compris entre 30 et 50 dB, même pour une distance épicentrale supérieure à 100km. Avec des niveaux de rapport signal/bruit aussi élevés et une bande utile commençant à 0.2Hz, l'allongement de la durée permettrait de fournir sans aucun doute des données de qualité aux méthodes récentes haute résolution utilisant le signal de coda pour estimer la source sismique ou les modalités de la propagation crustale (Campillo et Paul 2003, Sebe et al. 2005, Sebe 2004). Quant aux séismes de faibles magnitudes (3.8), malgré l'augmentation inévitable de la limite basse fréquence utile, aux alentours de 1Hz, l'allongement de la durée d'enregistrement reste encore intéressante puisque les caractéristiques fondamentales de la source sismique de tels séismes, telle que la fréquence coin, concernent les hautes fréquences qui présentent encore un rapport signal/bruit de l'ordre de 30dB à plus de 100km.

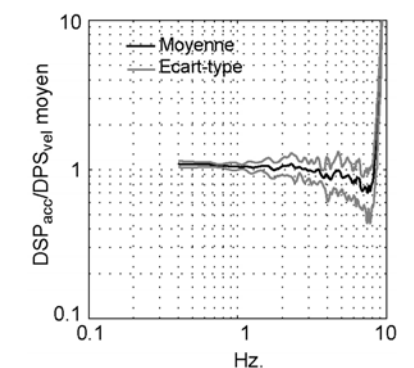


Figure 3 : Valeur moyenne et écart-type du rapport des densités spectrales de puissance entre les capteurs accélérométriques et vélocimétriques sur l'ensemble des composantes et événements sélectionnés.

En résumé, en plus d'avoir montré la similitude des niveaux d'accélération enregistrés par le RAP et Géoscope, cette courte étude a souligné non seulement la qualité des données accélérométriques du RAP, notamment en terme de rapport signal/bruit, mais aussi l'intérêt d'un allongement de la durée d'enregistrement. Dans un contexte de sismologie régionale, l'allongement de la durée d'enregistrement permettrait aux enregistrements du RAP d'être un complément de données de qualité au futur réseau large bande français.

**Olivier Sèbe, Université de Karlsruhe**

**Référence:**

Blackman R. B. and J. W. Tukey, (1958), The measurement of Power spectra from the point of view of communication Engineering, Dover, Mineola, New York.  
Campillo, M., and A. Paul (2003), Long range correlations in the diffuse seismic coda, *Science*, 299, 547-549.



- Kay, S. M., (1988). Modern spectral estimation: Theory and application. New Jersey, Prentice Hall.
- Max, J. et Lacoume J. L. (1996), Méthodes et techniques de traitement du signal et application aux mesures physiques, Masson, Paris.
- Peterson J. (1993). Observation and modeling of the background seismic noise. Open File Report 92-302, U.S. Geological Survey, Albuquerque, NM.
- Sebe O., Bard P.-Y. and Guilbert J. (2005), Single station estimation of seismic source time function from coda waves: the Kursk disaster. Geophysical Research
- Sèbe, O., Déconvolution aveugle et sismologie: estimation de la source sismique et des effets de site., Université Joseph Fourier, Grenoble, 2004.

**ANALYSE DES DONNEES ACCELEROMETRIQUES POUR LA CARACTERISATION DE L'ALEA SISMIQUE EN FRANCE: MAGNITUDES, ATTENUATION REGIONALE, CONDITIONS DE SITE ET EVALUATION DES MODELES DE MOUVEMENTS FORTS.**

Résumé du travail de thèse de Stéphane Drouet (OMP)

Le but de cette thèse était de déterminer des moments sismiques à partir des données du RAP de séismes modérés, permettant ainsi de définir des magnitudes de moment pour ces événements. D'autre part, les stations du RAP nécessitent une caractérisation en terme de réponse de site pour compléter les observations géologiques de surface. Enfin, les études d'aléa sismique passent par l'utilisation de modèles de prédiction du mouvement du sol. Les données de mouvements forts du RAP n'étant pas suffisantes pour établir un modèle spécifique pour la France, une méthode de sélection de modèles applicables en France est utilisée.

Une grande partie de cette étude a porté sur l'analyse des termes de source, de propagation et de site, extraits des spectres de Fourier en déplacement des ondes S en champ lointain, pour les séismes faibles à modérés. Pour isoler ces différents termes, nous avons utilisé trois types d'inversion qui présentent chacune des avantages et des inconvénients. Elles sont basées sur des hypothèses différentes et ne donnent pas accès aux mêmes paramètres, ou y donnent accès avec des résolutions différentes. Les hypothèses communes aux trois méthodes sont les suivantes:

- La source est de type Brune (1970, 1971), avec une décroissance en  $f^{-2}$  à haute fréquence.
- Le diagramme de radiation à la source est supposé homogène et isotrope, l'amplitude est donc supposée indépendante de l'azimut et du paramètre des rais.
- L'hypothèse de champ lointain est valable à partir de trois fois la longueur d'onde, c'est-à-dire trois fois la taille de la faille maximale ( $\approx 5$ km pour un séisme de magnitude 5), soit 15 km.
- La vitesse des ondes S est la même à la source et le long du trajet.
- L'atténuation due à la diffraction n'est pas prise en compte explicitement.
- La fréquence  $f_{max}$  (qui correspond à une diminution brutale de l'amplitude des spectres pour des fréquences

supérieures à  $f_{max}$ ) est supposée supérieure à 15 Hz pour toutes les stations.

Les données utilisées dans les trois inversions sont les spectres de Fourier calculés sur des fenêtres temporelles contenant les ondes S, entre les fréquences 0.5 et 15 Hz.

La première méthode testée est une inversion linéaire en deux étapes, basées sur l'amplitude et la forme du spectre, respectivement, qui est appliquée aux données pyrénéennes. Dans ce cas, le facteur Q est supposé indépendant de la fréquence. Nous avons observé que le facteur Q n'est pas résolu, que les fréquences coin obtenues sont comparables à celles issues d'une étude indépendante pour la France (basée sur l'analyse de la coda et de plus grandes distances), et que les effets de site sont bien restitués par cette méthode. Les paramètres d'amplitude (coefficient d'atténuation géométrique et moments sismiques) sont très dépendants les uns des autres, du facteur Q, et de la fenêtre utilisée pour définir les ondes S.

Ces résultats nous ont conduit à tester une inversion génétique (inversion non-linéaire) afin de prendre en compte un facteur de qualité dépendant de la fréquence sous la forme  $Q=Q_0 \times f^\alpha$ . Pour cette inversion, les données sont normalisées par les premiers points de chaque spectre afin de s'affranchir des contributions de l'atténuation géométrique (exposant  $\gamma$ ) et du moment sismique ( $M_0$ ), et les effets de site sont négligés. Nous avons alors pu montrer que les fréquences coin et les paramètres d'atténuation anélastique peuvent être découplés. D'autre part, des spécificités régionales sont apparues. Par exemple, l'atténuation anélastique est moins dépendante de la fréquence dans les Alpes, que dans les Pyrénées ou le fossé Rhénan.

En nous basant sur les résultats de ces deux méthodes, nous avons construit un modèle de départ pour une inversion linéarisée de Newton afin de déterminer simultanément tous les paramètres influençant les spectres. Dans ce cas, nous avons une mauvaise résolution de l'atténuation géométrique que nous avons finalement imposée à la valeur attendue pour des ondes de volume dans un milieu homogène ( $1/R$ ). Les paramètres d'atténuation anélastique sont très sensibles au modèle de départ, et nous avons choisi de rester proche des résultats obtenus avec l'inversion génétique. Les effets de site sont très peu dépendants des autres paramètres et bien restitués, mais le choix de la condition de fermeture, c'est-à-dire la référence par rapport à laquelle ils sont calculés peut influencer les résultats. Les moments sismiques et les magnitudes de moment sont cohérents d'une région à l'autre, et ici encore, l'atténuation anélastique semble varier d'une région à l'autre.

Les résultats les plus stables concernent les effets de site, qui, comme nous l'avons dit, dépendent peu des autres paramètres. Les résultats de la méthode linéaire et ceux de la méthode de Newton sont comparables (Fig. 1), et compatible avec les résultats d'autres méthodes (rapport spectraux avec station de référence, méthode de Nakamura). Nous avons ainsi identifié les stations du RAP qui peuvent être considérées comme des stations au rocher en France, c'est-à-dire ayant une réponse relativement plate et des amplifications comprises entre 0.5 et 2. Ces stations sont pour les Alpes: NBOR, OGAN, SAOF, OGCA, OGCH, OGDI, OGLE, OGMO, OGMU, OGS, STET, pour les Pyrénées: PYAS, PYAT, PYBA, PYBE, PYFE,

PYLS, PYOR, PYPT, et pour le fossé Rhénan: STBU et STSM. Des questions restent cependant ouvertes comme par exemple les amplifications ou dé-amplifications obtenues sur toute la gamme de fréquence dans certaines stations. Les paramètres d'atténuation sont vraisemblablement les plus difficiles à obtenir, que se soit l'atténuation anélastique ou géométrique, et

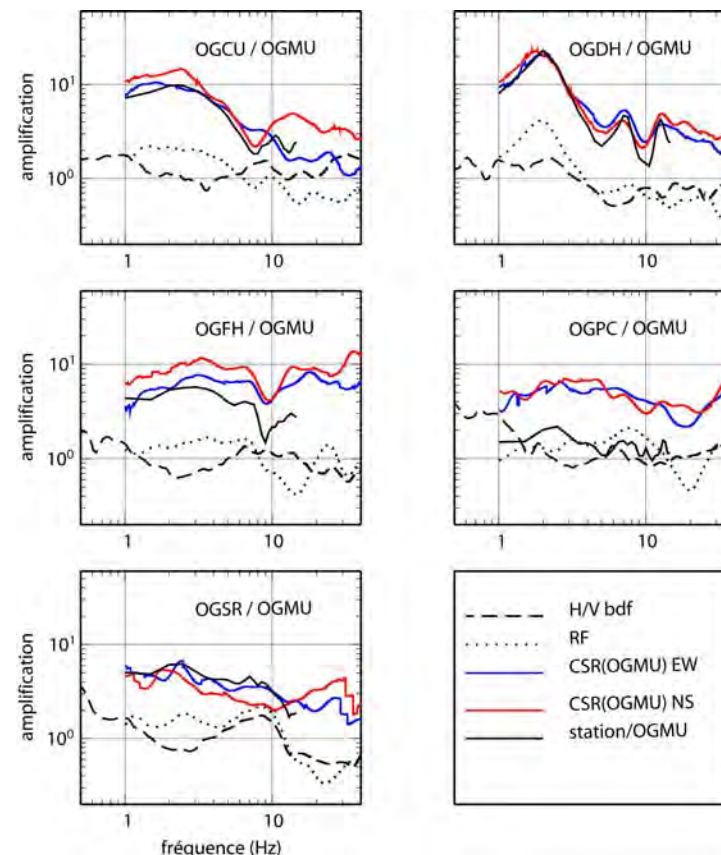


Figure 1: Comparaison pour les stations du bassin de Grenoble (OGDH, OGPU, OGFH, OGPC et OGSR) des effets de site obtenus par bruit de fond sismique, par méthode des rapports spectraux et par la méthode d'inversion linéarisée de Newton.

les interactions entre ces paramètres et les moments sismiques sont fortes, ce qui nous a poussé à imposer  $\gamma=1$  (atténuation géométrique en  $1/R$ ) pour stabiliser les résultats. De plus, ces paramètres semblent varier régionalement, et l'influence de la diffraction, en particulier dans les Pyrénées, peut polluer les résultats. Les atténuations anélastiques que nous obtenons sont:

$$Q=246 \times f^{0.30} \text{ dans les Alpes}$$

$$Q=251 \times f^{0.46} \text{ dans les Pyrénées}$$

$$Q=209 \times f^{0.55} \text{ dans le fossé Rhénan}$$

Nous avons aussi déterminé les relations suivantes entre les magnitudes de moment et les magnitudes locales pour la France métropolitaine (Fig. 2):

$$M_w = -0.06(\pm 0.13) + 0.80(\pm 0.03) \times M_{LDG}$$

$$M_w = -0.01(\pm 0.13) + 0.83(\pm 0.04) \times M_{ReNaSS}$$

La fréquence coin est reliée à la magnitude de moment par:

$$\log_{10}(f_c) = 1.73(\pm 0.03) - 0.34(\pm 0.01) \times M_w$$

Ces relations sont valables pour des magnitudes  $M_{LDG}$  comprises entre 2.9 et 5.9 et des magnitudes  $M_{ReNaSS}$  entre 2.4 et 5.4. D'autre part les chutes de contraintes associées à chaque séisme sont comprises entre 1 et 100 bars, et ne dépendent pas du moment sismique. Enfin, tous ces résultats ont été obtenus pour des distances entre 15 et 200 km, et des fréquences entre 0.5 et 15 Hz.

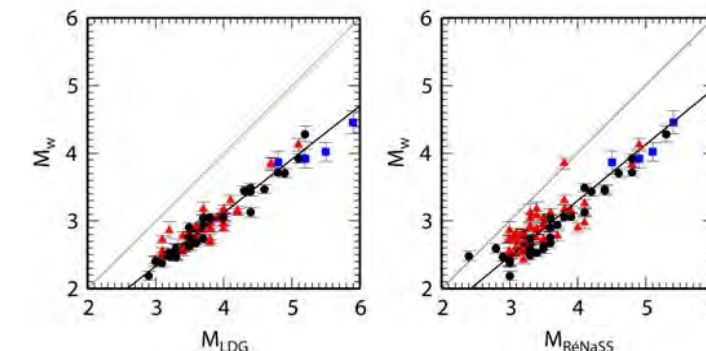


Figure 2: Comparaisons entre les  $M_w$  déterminées lors de cette étude et les magnitudes locales du LDG ( $M_{LDG}$ ) et du ReNaSS ( $M_{ReNaSS}$ )

Enfin, nous avons utilisé les séismes les plus importants enregistrés par le RAP pour tester divers modèles empiriques de prédiction du mouvement du sol, avec l'idée d'anticiper les mouvements attendus en cas de fort séisme en France. Les séismes à notre disposition restent de magnitude modérée et ne permettent pas d'établir un modèle spécifique pour la France. Pour cette raison, nous avons classé les modèles existant en fonction de la façon dont ils expliquent les données françaises. En se basant sur la conversion des magnitudes  $M_{LDG}$  en magnitudes de moment  $M_w$  données plus haut, et sur les stations identifiées au rocher, certains modèles permettent d'expliquer les données françaises: ce sont les modèles de Lussou *et al.* (2001), Abrahamson et Silva (1997), et Berge-Thierry *et al.* (2003). Nous avons aussi montré l'inadéquation de l'utilisation des magnitudes locales en entrée de ces modèles. L'utilisation combinée de ces modèles et des conversions de magnitudes locales en magnitudes de moment données ci-dessus permet d'anticiper des scénarios de mouvements forts. Nous avons aussi noté la variabilité présente dans les données qui peut provenir des réponses de site, de variations régionales d'atténuation, de variations dans les chutes de contrainte... Notons tout de même que nous manquons de données pour bien contraindre la variabilité de manière statistique.

**Stéphane Drouet – OMP-Toulouse**

**Nota :** Vous pouvez récupérer la thèse de Stéphane Drouet sur le site Web du RAP, sous la rubrique <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/Informations.html>.

**COMMUNICATION ET INFORMATIONS**

Je vous rappelle que si vous le souhaitez, vous pouvez mettre en ligne sur le site du RAP des documents scientifiques ou techniques en rapport avec les actions du RAP, l'aléa et la vulnérabilité en France. Pour cela, contactez P. Guéguen ([pguegu@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pguegu@obs.ujf-grenoble.fr)) et communiquez lui les documents souhaités.

### • Nouvelles installations

**RAP-LGIT** : les stations OGPS – Polygone Scientifique – et OGIM – Saint Ismier – complètent le dispositif du site pilote Effets de Site de Grenoble.

**RAP-IPGP** : plusieurs stations sont venues renforcer le dispositif existant en Guadeloupe. Ces stations, financées par le Centre de Données Sismologiques des Antilles (CDSA), intègrent ainsi de façon naturelle les stations du RAP-IPGP.

**RAP-OMP** : en 2006, le RAP-OMP a installé quatre nouvelles stations autour de Pau, de Tarbes et de Bagnères de Bigorre. Le site pilote de Bagnères de Bigorre est également en fonctionnement (Cf. page 3).

**RAP-IRD** : cinq stations sont maintenant opérationnelles en Nouvelle-Calédonie, gérée par l'IRD-Nouméa (Cf. page 2).

**RAP-OPGC** : Deux nouvelles stations viennent renforcer le dispositif actuel du Massif Central (OCLD et OCMD).

### • Implémentation NetDC (Standard international IRIS)

Afin d'améliorer la visibilité des données du RAP, le protocole de requêtes NetDC a été implanté au niveau du site central. Dans le cadre du portail FOSFORE de distribution de données sismologiques en France, il permettra de récupérer les données RAP en interrogeant n'importe quel serveur NetDC de la FDSN ([http://www.irir.edu/manuals/netdc/netdc\\_user.htm](http://www.irir.edu/manuals/netdc/netdc_user.htm)). L'intérêt de cette implémentation est d'offrir un accès batch aux données.

### • Les groupes de travail du RAP

**Groupe de travail Liquéfaction.** Les activités du groupe, animé par le BRGM, ont porté en 2006 sur le rapprochement des sciences de l'ingénieur et des sciences de la terre. Les objectifs scientifiques du site pilote liquéfaction ont été formulés conduisant à l'élaboration d'un projet ANR-CatTel accepté en 2006. (Partenaires : BRGM, LGIT, IRSN, ECP, L3S, CERMES, ANTEA)

**Groupe de travail Reconnaissances.** Après une première phase pilote sur une dizaine de stations du réseau, des comparaisons ont été menées afin d'arriver à une méthodologie de reconnaissances des conditions de site. Le groupe en a profité pour améliorer et synthétiser la connaissance des conditions de site des stations, grâce à la base de données du sous sol du BRGM et en collectant le maximum d'informations existantes sur les stations. Les conclusions vont vers une méthodologie à deux niveaux, la première s'appuyant sur une description géologique et des mesures H/V bruit de fond pour une première classification, la seconde préconisant des reconnaissances géophysiques de surface.

**Groupe de travail Magnitude de moment.** Suite aux journées du RAP des Houches, un groupe de travail sur la magnitude de moment a été constitué, animé par Bertrand Delouis (GeoScience-Azur). Ce groupe permettra de créer une synergie entre les membres du GIS-RAP intéressés par la magnitude de moment et l'évaluation du tenseur des moments, de réfléchir à une procédure homogène d'évaluation de la magnitude de moment et de proposer des perspectives en liaison avec le développement du réseau RAP.

**Développements techniques.** Le réseau RAP arrivant à maturité, et devant les progrès significatifs de l'instrumentation sismologique et accélérométrique de ces dernières années, il est important d'assurer l'avenir technique du réseau. Pour cela, un bilan des capacités des stations accélérométriques existantes au sein des réseaux RAP sera

abordé par le groupe ainsi que les évolutions techniques possibles, cohérentes avec les problématiques scientifiques du réseau. Ce groupe sera animé par Mickael Langlais (LGIT) et Jean-Michel Douchain (OPGC).

### • Renouvellement du bureau du GIS-RAP – Conseil Scientifique du GIS-RAP, 26 janvier 2007.

Constitution du nouveau bureau :

Annie Souriau (CNRS/OMP) : Président  
Philippe Guéguen (LCPC/LGIT) : Directeur  
Pascal Dominique (BRGM) : Secrétaire  
Michel Cara (BCSF/EOST) : membre  
Marc Rénier (IRD/Geoscience Azur) : membre  
Pierre-Yves Bard (LCPC/LGIT) : membre

### • Articles parus, thèses soutenues et rapports écrits ces six derniers mois utilisant les données du RAP

**Drouet, S., et al., (2006).** Selection and ranking of ground-motion models for seismic hazard analysis in the Pyrenees. J. Seismol., in press.

**Souriau, A. (2006).** Quantifying felt events: a joint analysis of intensities, accelerations and dominant frequencies. J. Seismol. 10, doi: 10.1007/s10950-006-2843-1.

**Péquegnat, C. and P. Guéguen. (2006).** Seismological knowledge representation with BDsis: the case of the French Accelerometric network (RAP), in Proc. 1st ECEES, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, paper# 1471.

**Douglas, J., et al., (2006).** A preliminary investigation of strong-motion data from the French Antilles, J Seismol, 10, 271-299.

**Chaljub, E., et al., (2006).** Measurement and variability study of site effects in the 3D glacial valley of Grenoble, French Alps, in Proc. ESG2006, Grenoble, 29 August - 01 September, 2006, Abstract# 154

### • Conférences

**AFPS2007,** 7ème colloque national de l'Association Française de ParaSismique – 04-07 juillet 2007, Ecole Centrale de Paris.

[http://www.mssmat.ecp.fr/AFPS\\_07.html](http://www.mssmat.ecp.fr/AFPS_07.html)

**IUGG2007,** XXIV Congrès – 2-13 juillet 2007, Perugia, Italy.

<http://www.iugg2007perugia.it>

**International Symposium on Seismic Risk Reduction - 26-27 April 2007, Bucharest, Roumania,**

<http://cnrs.utcb.ro/issrr2007/issrr2007.html>

## LA NOTE D'INFORMATION DU RAP

La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Il est destiné aux membres, aux tutelles et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet. Vous pouvez proposer une communication en contactant [Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr).

**Adresse géographique :** Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique - Maison des Géosciences -1381, rue de la Piscine  
Domaine Universitaire - 38400 Saint-Martin-D'Hères

**Adresse postale :** LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France

Tél : +33 (0)4 75 82 80 59 - Fax : +33 (0)4 76 82 81 01

Web : <http://www.rap.obs.ujf-grenoble.fr>

Mail : [philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr)

## RAP-INFO numéro 5 LA LETTRE D'INFORMATION DU RESEAU ACCELEROMETRIQUE PERMANENT



Janvier 2007

### SOMMAIRE

#### 1. Editorial

#### 1. L'enregistrement du semestre

#### 1. La base de données en 2006

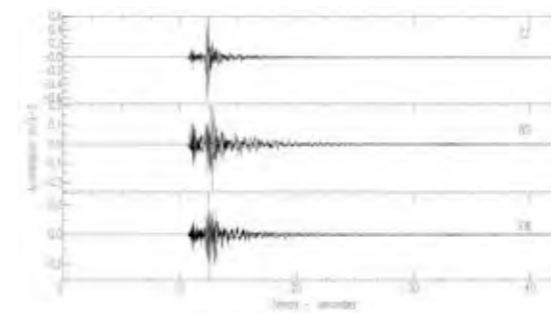
#### 1. Le réseau RAP-IRD de Nouvelle Calédonie

#### 2. Analyse des données accélérométriques pour la caractérisation de l'aléa sismique en France

#### 6. Informations générales

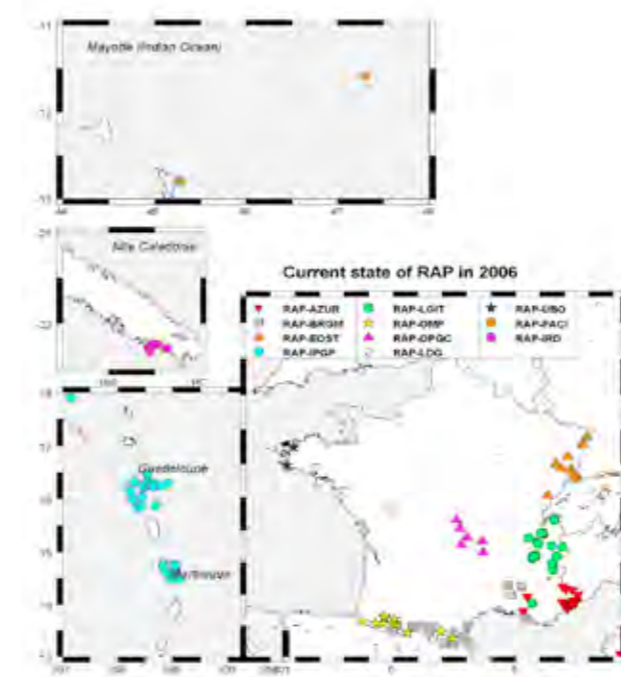
#### 6. La lettre d'information du RAP

### L'ENREGISTREMENT DU SEMESTRE



Enregistrements à la station PYLO (RAP-OMP) du séisme d'Argelès-Gazost du 17 novembre 2006 (MI=4.9, RéNaSS) localisé dans les Pyrénées à 12km de la station.

### LE RESEAU RAP EN 2006



**EDITORIAL** En 1989, le rapport établi à la demande du Ministère de l'Environnement et une recommandation du Bureau Central Sismologique Français exprimaient la nécessité de l'établissement d'un réseau accélérométrique permanent en France. Ces deux actions signaient en quelque sorte l'acte de naissance du RAP. 2007 est donc l'année de la majorité de notre réseau accélérométrique. Aujourd'hui, un réseau opérationnel de 150 stations permanentes a été établi, un centre de données met les accélérogrammes à disposition de toute la communauté scientifique et un Groupement d'Intérêt Scientifique rassemblant les différents organismes concernés pilote à la fois les évolutions du réseau et la recherche associée. Récemment, cette démarche s'est élargie au contexte européen. Le projet NERIES permet au RAP de jouer un rôle moteur et fédérateur pour l'établissement d'un standard européen pour l'échange et l'archivage de données accélérométriques. Ces résultats sont extrêmement positifs

Cependant, nous ne devons pas oublier que l'objectif fondamental du RAP est d'améliorer notre connaissance de l'aléa sismique en France. L'établissement du réseau est donc la base de départ incontournable et non l'aboutissement de notre démarche. Les données collectées grâce au RAP posent aujourd'hui de nouvelles questions scientifiques sur lesquelles nous devons travailler. Pour ne prendre que quelques exemples, on peut citer : la caractérisation de la capacité de liquéfaction d'un sol (enjeu majeur aux Antilles), la compréhension de l'atténuation de mouvement sismique, l'évaluation des mouvements forts à partir des mouvements faibles ou le lien entre accélération du sol et intensité macrosismique.

On le voit, avec un objectif clairement identifié et accepté de tous et avec l'aide des ministères concernés, la communauté scientifique française a réussi à se mobiliser pour doter la France d'un outil moderne d'acquisition de données accélérométriques. Aujourd'hui le challenge est de poursuivre son évolution pour améliorer encore nos connaissances scientifiques de l'aléa sismique. Au moment de passer les rênes de la présidence du GIS-RAP, je suis convaincu que notre communauté saura relever ce nouveau défi.

Bonne chance au RAP et heureuse année à tous !

**Bruno Feignier, Président du GIS-RAP.**

### 1. Introduction

En 2003, l'UMR Géosciences Azur a déposé une demande auprès du GIS-RAP pour l'installation de cinq stations accélérométriques, trois en Nouvelle-Calédonie, et deux sur l'île de Futuna. Les cinq stations ont été installées à partir de mi-avril 2006, dans un premier temps uniquement en Nouvelle-Calédonie.

### 2 – Le contexte géodynamique de la Nouvelle-Calédonie et du Pacifique sud-ouest

La Nouvelle-Calédonie se situe dans l'une des zones les plus actives du globe : elle se trouve en bordure de la plaque australienne, laquelle subducte sous la plaque Pacifique. Les vitesses de convergence le long de la zone active (fosse des Nouvelles Hébrides) varient de 5 cm/an au nord (Santo) à 12 cm/an au sud (Tanna). Ainsi qu'on peut le constater sur la carte de la sismicité historique dans la région (Fig. 1), les séismes se produisant en avant de l'arc sont relativement superficiels (< 70 km), et on admet qu'il se produit entre une et deux fois par an un séisme de magnitude  $\geq 7.0$ .

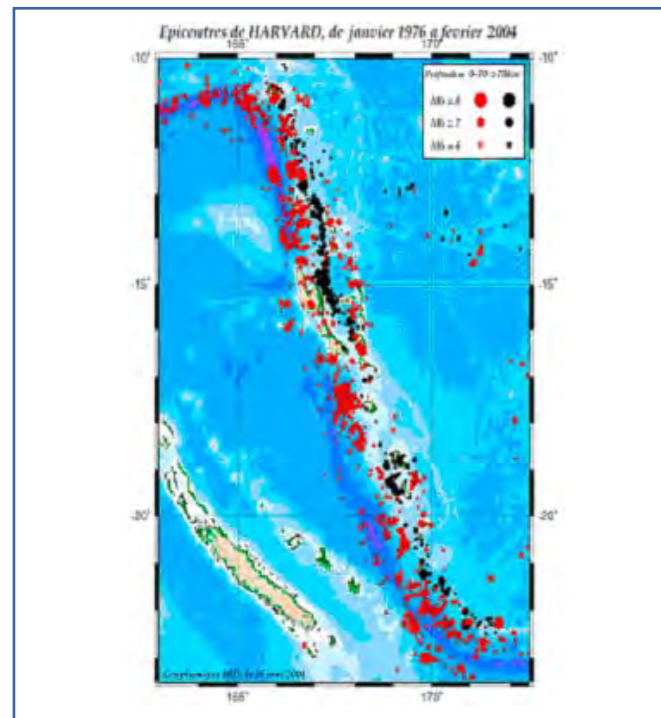


Figure 1 : Sismicité historique de l'arc des Nouvelles Hébrides

### 3. Le contexte local de la Nouvelle-Calédonie

Parallèlement à la sismicité de subduction, il existe une sismicité locale incomplètement connue, notamment aux alentours de l'agglomération de Nouméa et dans le sud de la Grande Terre (Fig. 2). Cette sismicité n'est pas négligeable comme le rappelle la récente crise sismique de janvier 2005 ; à l'heure actuelle, il y a seulement deux stations sismologiques autour de Nouméa. L'une située sur le centre zootechnique de Port Laguerre se compose de deux appareillages distincts. L'un très longue période appartenant au réseau international GEOSCOPE a une vision globale de la sismicité et l'autre courte période est parfaitement adapté à l'enregistrement de la sismicité locale (sud de la Grande Terre) et

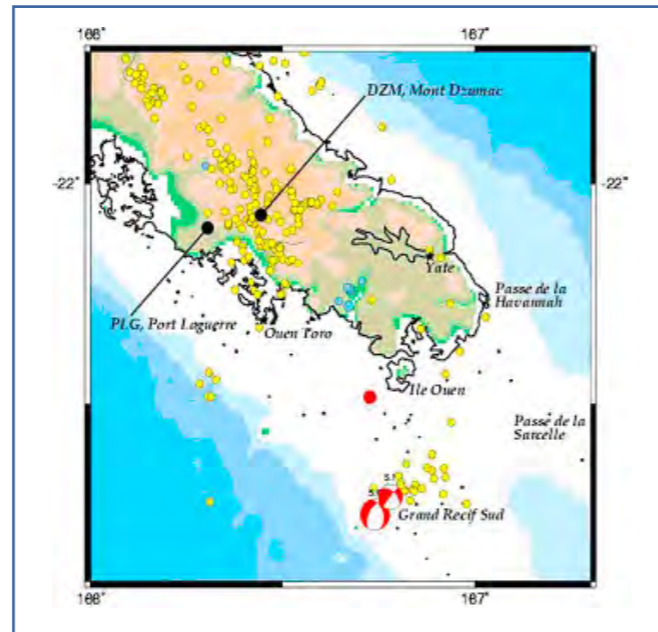


Figure 2 : La sismicité du sud calédonien. Les séismes détectés sont superficiels. (Ronds rouges : épicentres NEIC depuis 1960 et mécanismes au foyer de Harvard; Ronds jaunes : épicentres de 1992 à 1996 d'après Régnier et al., 1999; Ronds bleus : épicentres de la crise de janvier 2005, d'après Pillet et Pelletier, 2005).

régionale (sismicité du Vanuatu). La station des Monts Dzumac gérée par le DASE/CEA appartient au réseau CTBTO et l'IRD reçoit gracieusement en temps réel les enregistrements de ces appareils. Le sismomètre large bande installé aux Monts Dzumac permet d'avoir une vision de toutes les sismicités, locales autant que globales. La détermination non équivoque des épicentres impose au minimum trois stations sismologiques, sachant que les épicentres situés hors du réseau, à environ une dimension caractéristique de ce réseau seront mal déterminés. A la suite de la crise sismique de janvier 2005 aux alentours de Nouméa, 18 séismes ont pu être déterminés à l'aide des deux stations de Port Laguerre (PLG) et des Monts Dzumac (DZM) ainsi qu'avec les informations macrosismiques que la population nous a fournies. Les trois quarts de ces séismes se situent à la bordure est du Mont Dore, à Plum et l'autre partie vers la Tontouta et plus au nord. Cette zone sismique située à Plum n'apparaît pas dans les travaux antérieurs de l'IRD.

On se trouve donc face à deux types de sismicité : l'une régionale est susceptible d'être enregistrée et déterminée par les réseaux mondiaux tels que l'USGS ; l'autre locale ne l'est pas en raison de magnitudes trop faibles (au maximum 3.5). A l'heure actuelle la couverture de la Grande Terre en stations vélocimétriques est trop faible pour permettre localement la détermination de cette sismicité. En tout état de cause, l'agglomération de Nouméa étant située dans le sud de la Grande Terre, il a été décidé de déployer les 5 stations du RAP dans l'agglomération de Nouméa et les communes limitrophes en direction de l'est (Fig. 3). Les cinq emplacements se répartissent comme suit :

- **ONTR** : cave sismique du Ouen Toro (Nouméa sud): il s'agit d'un emplacement appartenant à l'IRD, et exploité de 1955 à 1984 ;
- **MVNO** (Nouméa centre-ville) : la station est située dans les caves de l'ancienne mairie de Nouméa ;

- **NORM** (Nouméa nord) : la station est située dans le local de l'observatoire de Normandie (station GPS permanente et balise DORIS) ;
- **LASL** (Lycée Agricole de Saint-Louis) : la station est située à l'ouest du massif du Mont-Dore ;
- **PLUM** (Collège de Plum) : la station est située à l'est du massif du Mont-Dore, au plus près de la zone active lors de la crise de janvier 2005.

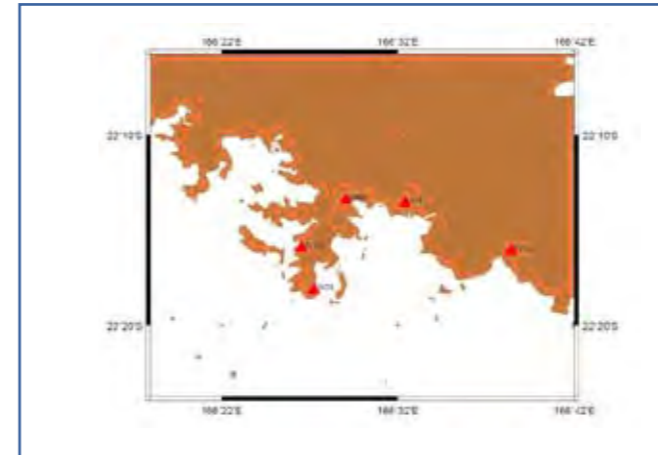


Figure 3 : Emplacement des 5 stations du RAP de Nouvelle-Calédonie.

### 4 – Premiers résultats

Les cinq stations ont été progressivement mises en place de mi-avril à mi-septembre 2006 et à l'heure actuelle le réseau est totalement opérationnel, si l'on excepte des difficultés de communication GSM avec la station du Ouen Toro. Voici un exemple d'événement localisé par l'USGS et enregistré par les stations RAP et la station vélocimétrique du Mont Dzumac.

Pour la récupération des données, il n'existe pas de site web proprement dit, il vaut mieux parler de mise à disposition des données. Les données et quelques autres renseignements (fiches stations, logs, etc.) sont disponibles via le web. La mise à jour de la base du RAP se fera ainsi automatiquement.

#### Contact :

Pierre Lebellegard  
Centre IRD de Nouméa, IRD BP A5  
98848 Nouméa CEDEX, Nouvelle-Calédonie  
Téléphone: +687 26 07 70  
Email : Pierre.Lebellegard@ird.nc

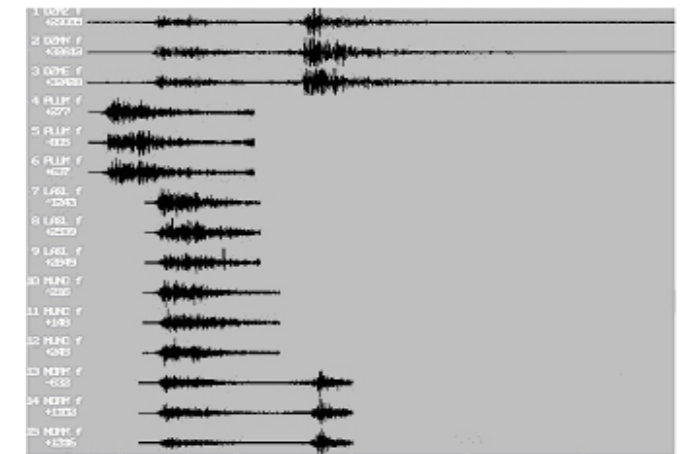


Figure 4 : Séisme du 2006-10-18 (15.081S ; 167.243E; Mw=6.2 ; VANUATU ; Localisation USGS)

ANALYSE DES DONNEES ACCELEROMETRIQUES POUR LA CARACTERISATION DE L'ALEA SISMIQUE EN FRANCE : MAGNITUDES, ATTENUATION REGIONALE, CONDITIONS DE SITE ET EVALUATION DES MODELES DE MOUVEMENTS FORTS.

Annie Souriau, Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse  
Christian Ponsolles, Observatoire Midi-Pyrénées, Tarbes

L'installation d'un site pilote du RAP à Bagnères-de-Bigorre a été décidée par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable sur proposition du Conseil Scientifique du RAP. Deux premiers sites pilotes, à Nice et Grenoble, sont instrumentés depuis plusieurs années. L'idée d'installer un troisième site pilote dans les Pyrénées était de permettre une inter-comparaison entre les vallées alpines et une vallée pyrénéenne, et d'obtenir des enregistrements à proximité des sources sismiques.

La ville de Bagnères-de-Bigorre a été choisie d'une part à cause de sa proximité des sources sismiques, d'autre part à cause de la relative simplicité géologique et topographique de la vallée. La ville de Lourdes, qui représentait l'autre implantation possible, est en effet située dans un contexte géologique et topographique beaucoup plus complexe. Le caractère linéaire de la vallée de Bagnères (du moins en ce qui concerne sa topographie) devrait permettre, dans certains cas, des modélisations en deux dimensions.

La Figure 1 montre la localisation du site pilote dans les Pyrénées, dans le contexte de la sismicité instrumentale des Pyrénées. On a rajouté, sur la Figure 2 relative à la Bigorre, les deux séismes historiques majeurs. Le séisme de 1660, d'intensité maximale IX, et celui de 1750, d'intensité VIII, ont provoqué d'importants dommages à Lourdes et Bagnères-de-Bigorre. Le premier a en partie détruit ces deux villes et causé la mort d'une trentaine de personnes (Lambert, 1997).

Les dix localisations pour le site pilote de Bagnères (Fig. 3) ont été choisies en tenant compte de la topographie de la ville, et des quelques informations disponibles sur la réponse des sols en se basant d'une part sur une expérience préliminaire H/V (Bouligand, 2000) complétée par quelques mesures en 2006, d'autre part sur les informations recueillies par les

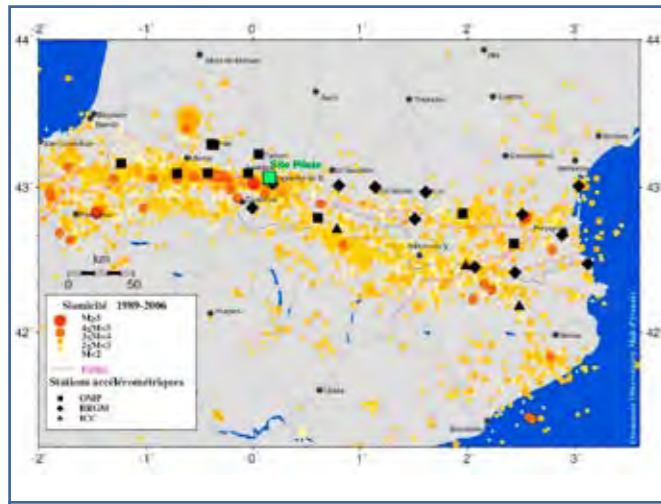


Figure 1 : Stations accélémétriques des Pyrénées superposées à la sismicité instrumentale, et localisation du site pilote .

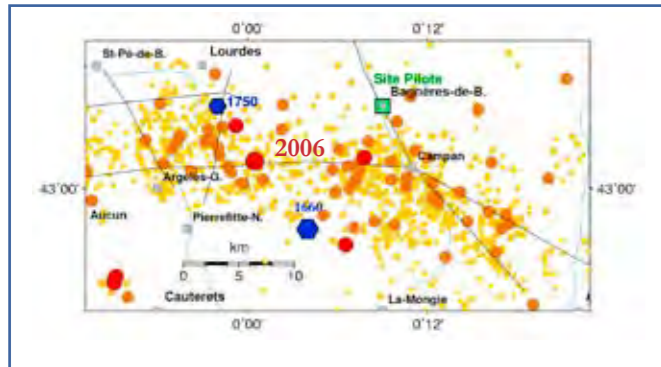


Figure 2 : Sismicité de la Bigorre, avec les deux séismes historiques majeurs (en bleu), le séisme du 17 novembre 2006 (M=5.0) (en rouge sombre), et le site pilote.



Figure 3 : Implantation des stations du site pilote de Bagnères, superposées à la topographie (IGN, 1995). A droite, carte géologique du même secteur (BRGM, 1989).

enquêtes macrosismiques (Sira, communication personnelle). Sept stations sont réparties suivant un profil perpendiculaire à la vallée, les trois autres sont en fond de vallée dans l'axe de la vallée, une vers le nord, et deux vers le sud (pour se rapprocher des sources sismiques). Ces sites s'ajoutent à celui de la station accélémétrique permanente PYBB, située dans l'ancien observatoire sismologique associé à l'Observatoire du Pic-du-Midi (stations BDB dans la base de données de l'ISC) (Fig. 3).

L'instrumentation installée dans ces sites (Fig. 4) a été développée spécifiquement par le LGIT pour cette expérience, à partir de l'équipement des stations permanentes, afin de permettre un

stockage important et une collecte facile des données. En plus de l'appareillage habituel des stations RAP, elles-ci comportent un pc avec une grosse unité de stockage des données, pour permettre un enregistrement continu à 125 Hz. L'ensemble est alimenté à travers un onduleur (Langlais, 2006).

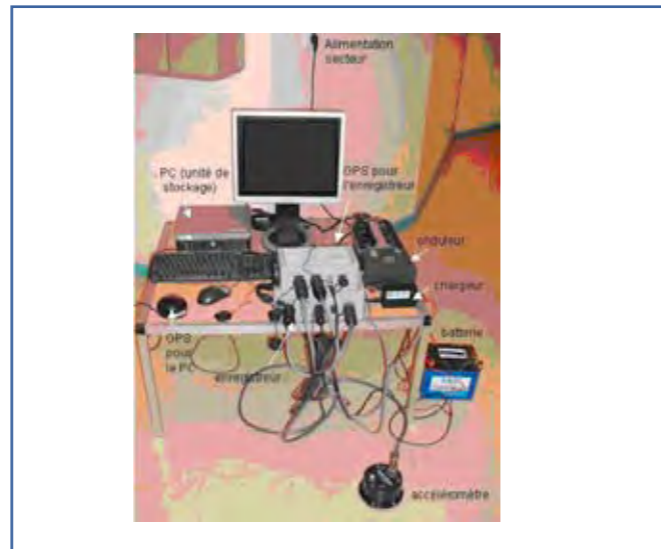


Figure 4 : Instrumentation installée dans les stations du site pilote de Bagnères-de-Bigorre

Lors du séisme du 17 novembre 2006, la station PYBB venait d'être installée, et le site pilote était en cours d'installation. Ce séisme, de magnitude 5.0 (détermination OMP) est localisé à 15 km à l'ouest-sud-ouest de la ville. La Figure 5 donne les enregistrements obtenus pour les composantes Verticale, Nord et Est. On note les fortes variations d'amplitude, et les fortes variations du contenu fréquentiel (en particulier pour les composantes horizontales) d'un site à l'autre, encore plus marquées que celles qui avaient été observées à Lourdes (Dubos et al., 2003). Les stations de fond de vallée ont un signal à plus haute fréquence que celles sur les flancs de vallée. L'amplitude y est généralement plus forte, sauf pour BBMU (Musée), située au pied du versant ouest. On note le contenu très basse fréquence et la longue durée du signal à BBHC (Haut-de-la-Côte). Ce signal à basse fréquence est en accord avec le spectre H/V (rapport des composantes horizontale et verticale) obtenu sur le bruit de fond pour un point voisin (Bouligand, 2000). Une autre observation intrigante est la différence d'amplitude des signaux Nord et Est à PYBB, alors que les autres sites donnent des composantes de même amplitude.

Pour comparaison, on donne dans la Figure 6 les enregistrements Nord et Est du séisme d'Arudy du 04 novembre 2006, de magnitude 3.5, qui s'est produit à 39 km à l'ouest de Bagnères. La station BBHC n'était pas encore installée. Les enregistrements sur les autres stations montrent la très forte diffraction observée sur les signaux d'Arudy, qui se propagent suivant l'axe de la chaîne pyrénéenne. Ceci montre l'importance d'avoir des stations proches des sources pour minimiser cet effet pour l'étude de la source. On remarque cependant le contenu à plus basse fréquence de BBAR (Arbizon), située sur le versant Est. Les rapports d'amplitude sont globalement similaires à ceux observés pour le séisme d'Argelès-Gazost. En particulier, les composantes Nord et Est de PYBB présentent la même différence d'amplitude. Un test sur le bruit de fond en effectuant une rotation de 90° du capteur suggère que cet effet est lié non pas à l'instrument, mais au pilier sismologique ou à

la cave sismique où il est installé. D'autres tests seront nécessaires pour préciser l'origine de cet effet, ils conduiront éventuellement à déplacer cette station.

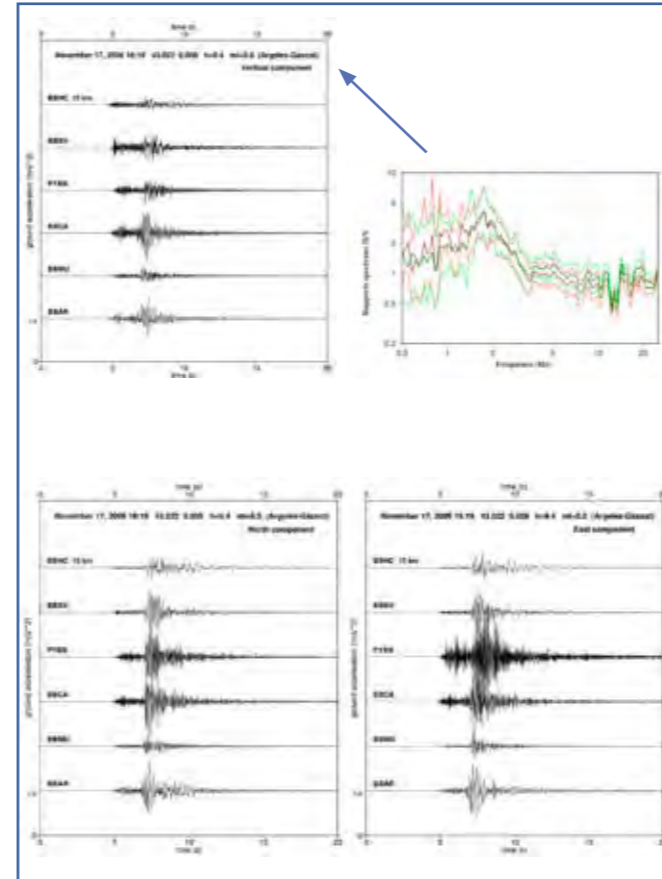


Figure 5 : Enregistrements du séisme d'Argelès-Gazost du 17 novembre 2006 à Bagnères-de-Bigorre. En haut, composante verticale ; en bas, les deux composantes horizontales. On donne aussi le rapport H/V obtenu sur le bruit par Bouligand (2000) pour un point situé non loin de BBHC.

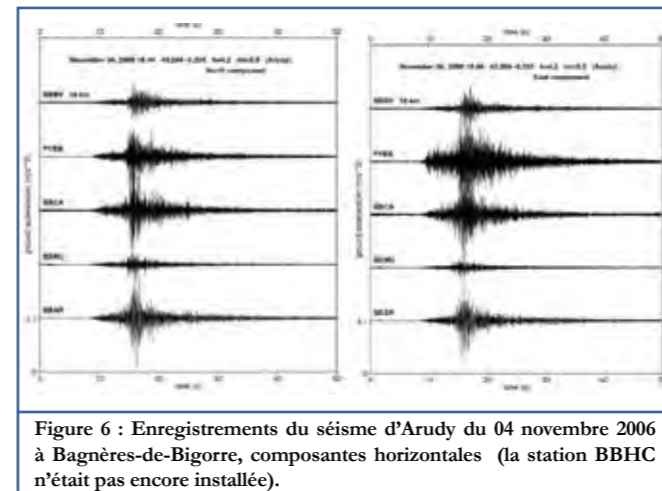


Figure 6 : Enregistrements du séisme d'Arudy du 04 novembre 2006 à Bagnères-de-Bigorre, composantes horizontales (la station BBHC n'était pas encore installée).

Pour conclure, ces premiers enregistrements révèlent une grande potentialité du site pilote de Bagnères-de-Bigorre pour une exploitation scientifique. Des effets de site très spectaculaires seront à modéliser, et l'opportunité d'avoir des sources proches donnant un signal peu perturbé par la diffraction devrait faciliter l'étude des sources. Avec l'installation complète du réseau, qui devrait

être achevée d'ici la fin 2006, on devrait disposer dans deux ans (qui est la durée prévue pour l'expérience) d'une base de données particulièrement intéressante.

## Références

Bouligand, 2000. Etude des effets de site dans la ville de Bagnères-de-Bigorre. Rapport de stage, Magistère SVT de l'ENS Lyon (2ème année), 35 pp.

Dubos, N., Souriau, A., Ponsolles, C. and Fels, J.F., 2003. Etude des effets de site dans la ville de Lourdes (Pyrénées, France) par la méthode des rapports spectraux. Bull. Soc. Géol. Fr., 174, 33-44.

Lambert, J. (Ed), 1997. Les tremblements de terre en France. Ed. BRGM, Orléans, 196pp.

Langlais, M., 2006. PC-Titan enregistrement continu, mode d'emploi. Notice technique LGIT Grenoble, Rev. 0633, 5 pp.

## Remerciements

Nos vifs remerciements vont à tous les acteurs du RAP, en particulier à Philippe Guéguen et Catherine Péquegnat pour les données des deux séismes présentés, et à Mickaël Langlais et Sophie Hatton pour les informations sur le matériel et la photo. Merci aussi à Matthieu Sylvander et Sébastien Benhamed à l'OMP pour la sismicité pyrénéenne, et à Christophe Sira pour les données macrosismiques. Enfin, nous exprimons notre gratitude à la ville de Bagnères, et aux organismes et personnes ayant accueilli les stations.

## Contact :

Annie Souriau , OMP

## LE SEISME D'ARGELES-GAZOST DU 17 NOVEMBRE 2006

Une note d'information sur le séisme d'Argelès-Gazost est disponible sur le site Web du RAP :

<http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr>

## COMMUNICATION ET INFORMATIONS

Si vous le souhaitez, vous pouvez mettre en ligne sur le site du RAP des documents scientifiques ou techniques en rapport avec les actions du RAP, l'aléa et la vulnérabilité en France.

Pour cela, contactez :

Philippe Guéguen ([pgueg@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pgueg@obs.ujf-grenoble.fr))

et communiquez lui les documents souhaités.

**Etude de la crise des Saintes (Antilles) de 2004-2005 : Source, simulations des mouvements du sol et aléa probabiliste.** Partenaires : Françoise Courboux (Coord.), Céline Beauval, Bertrand Delouis et Martin Vallée (Géoscience-Azur).

**Résumé :** Grâce à une analyse détaillée des données de la crise des Saintes enregistrées par le réseau RAP en 2004 et 2005, nous chercherons à obtenir une meilleure image de la source du choc principal et à retrouver les caractéristiques de ses principales répliques. Nous testerons ensuite la méthode de simulation stochastique de petits séismes développée par Kohrs-Sansorny et al (2005) pour simuler le choc principal. La variabilité des simulations sera analysée en fonction de la réplique choisie comme fonction de Green empirique. Les simulations des mouvements du sol obtenues par la méthode stochastique ainsi que des simulations en différences finies seront utilisées dans un calcul d'aléa probabiliste. Nous chercherons à tester si les accélérogrammes synthétiques peuvent permettre d'obtenir une estimation de l'aléa probabiliste plus réaliste.

**Caractérisation des conditions et des effets de site à Bagnères-de-Bigorre.** Partenaires : E. Chaljub (Coord.), M. Campillo, Cécile Cornou, S. hatton et Mickael Langlais (LGIT), Ludovic Margerin (CEREGE), A. Souriau et Christian Ponsolles (OMP).

**Résumé :** Les objectifs de ce projet sont (1) d'analyser les données enregistrées sur le site de Bagnères-de-Bigorre afin d'y caractériser le mouvement sismique et les effets de site à l'aide d'outils classiques (rapports spectraux site/référence, allongement de la durée etc...); (2) de réaliser une série de mesures destinées à contraindre la géométrie et les propriétés mécaniques du remplissage sédimentaires. Cette deuxième étape est indispensable à l'interprétation des observables et à l'utilisation de méthodes numériques 3D de simulation du mouvement sismique; (3) de mettre en œuvre des techniques de corrélation dans le bruit de fond sismique pour extraire les vitesses de phase des ondes de Rayleigh dans la vallée; (4) de tester de nouvelles méthodes de reconnaissances des structures superficielles basées sur la théorie des champs d'ondes aléatoires.

**Etablissement pour les Pyrénées d'un catalogue de paramètres à la source.** Partenaires : Audrey Tocheport (Coord.), Mathieu Sylvander et Sébastien Chevrot (OMP).

**Résumé :** Le projet consiste en l'étude de faisabilité de la création d'un catalogue de sismicité complet comprenant le tenseur de moment sismique appliqué à la sismicité d'une zone particulière, les Pyrénées. La mise à disposition des données permet la mise au point d'un traitement des données en temps quasi-réel et permettrait de fournir à la communauté scientifique des informations utiles sur les sources des séismes pyrénéens. D'autre part, les formes peuvent permettre des post-traitements permettant de proposer à la communauté des résultats toujours plus précis notamment par une relocalisation fine de la sismicité afin de mettre en évidence des structures et autre comportement de l'activité sismique afin de mieux comprendre l'activité sismique dans les Pyrénées.

• **Base de données du RAP.**

Une nouvelle possibilité de requêtes a été implémentée sur l'interface WEB de la base de données : la requête sur les conditions de site. Actuellement, une description élémentaire est disponible dans la base du RAP qui distingue le rocher (R) des sédiments (S) mais des informations plus détaillées sont en cours d'acquisition pour améliorer cette description. Cette opération fait suite à la première phase pilote lancée par le groupe de travail « Reconnaissance des conditions de site des stations accélérométriques ». La totalité des informations seront disponibles via le web.

• **La nouvelle plaquette du RAP.**

Une nouvelle plaquette est en cours d'édition. Elle sera communiquée à l'ensemble des membres, des partenaires et des tutelles du GIS-RAP en Septembre 2007.

• **Articles parus, thèses soutenues et rapports écrits ces six derniers mois utilisant les données du RAP**

**Jousset, P. and J. Douglas (2007).** Long-period earthquake ground displacements recorded on Guadeloupe (French Antilles), *Earth. Engng. Struc. Dyn.*, 36(7), 949-963.

**Guéguen, P. et al. (2007).** On the limitation of the H/V spectral ratio using seismic noise as an exploration tool: application to the Grenoble valley (France), a small apex ratio basin, *PAGEOPH*, 164(1), 115-134.

**Douglas, J. (2007).** Inferred ground motions on Guadeloupe during the 2004 Les Saintes earthquake, *Bull. Earthq. Engng*, DOI 10.1007/s10518-007-9037-2

**Guéguen, P. et al. (2007).** The French accelerometric network (RAP): current state in 2007, *CSEM/EMSC newsletter*, 22, 20-21.

• **Conférences**

**AFPS2007**, 7<sup>ème</sup> colloque national de l'Association Française de Parasismique – 04-07 juillet 2007, Ecole Centrale de Paris. [http://www.mssmat.ecp.fr/AFPS\\_07.html](http://www.mssmat.ecp.fr/AFPS_07.html)

**IUGG2007**, XXIV Congrès – 2-13 juillet 2007, Perugia, Italy. <http://www.iugg2007perugia.it>

**14WCEE**, 14<sup>ème</sup> congrès mondial de génie parasismique, 12-17 octobre 2008, Pékin, Chine <http://www.14wcee.org>

**LA NOTE D'INFORMATION DU RAP**

La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Il est destiné aux membres, aux tutelles et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet. Vous pouvez proposer une communication en contactant Philippe Guéguen [pguegu@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pguegu@obs.ujf-grenoble.fr).

**Adresse géographique :** Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique –1381, rue de la Piscine - Domaine Universitaire - 38400 Saint-Martin-D'Hères  
**Adresse postale :** LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France  
**Tél :** +33 (0)4 76 82 80 59 - Fax : +33 (0)4 76 82 81 01  
**Web :** <http://www.rap.obs.ujf-grenoble.fr> –  
**Mail :** [philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:philippe.gueguen@obs.ujf-grenoble.fr)



Juillet 2007

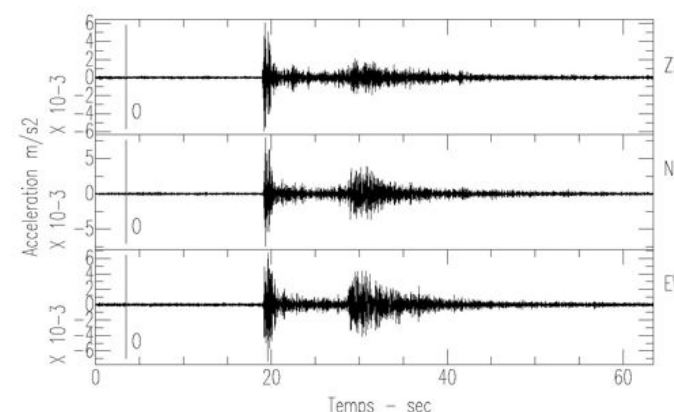
SOMMAIRE	
. Editorial	1
. L'enregistrement du semestre	1
. La plaquette du RAP	1
. Comparaison d'un STS2 et d'un EST	2
. Déplacements de séismes longue-période	3
. Le risque dans la région de Bâle-Mulhouse	5
. Caractérisation des conditions de site par bruit de fond	7
. Informations générales	9
. La note d'information du RAP	10

**EDITORIAL -**

Pour la deuxième fois, des comparaisons entre données large-bande et RAP sont abordées dans la lettre d'information, ce qui traduit l'intérêt croissant pour le rapprochement de ces deux instruments. Certes, les objectifs scientifiques conduisant à l'installation de ces réseaux sont réellement différents, mais leurs spécificités techniques sont complémentaires, en particulier pour les problématiques liées à l'étude du risque sismique. L'origine de la variabilité du mouvement sismique, le lien avec les nouvelles méthodes de dimensionnement des ouvrages en déplacement ou encore l'analyse de la source sismique sont autant de sujets qui encouragent le rapprochement des réseaux accélérométriques et vélocimétriques large-bande, rapprochement qui a d'ailleurs déjà commencé chez nos voisins italiens, suisses et allemands. A l'heure où le RAP a besoin de se moderniser, les nombreux développements réalisés ces dernières années par la communauté mondiale large-bande dans la distribution libre et en temps réel de données enregistrées en continu doit nous aider à orienter nos choix techniques futurs et ainsi bénéficier des nombreux développements qui sont proposés pour la gestion des réseaux permanents. Cette orientation qui consiste à développer le continu et le temps réel, fortement encouragée par les tutelles du GIS-RAP, a déjà commencé grâce notamment à l'implication du réseau dans le développement des échanges accélérométriques au sein de l'Europe (projet NERIES) et aux initiatives et propositions développées par le groupe de travail Technique du RAP mis en place pour moderniser le réseau. Quelques stations à Nice (RAP-AZUR) et à Clermont-Ferrand (RAP-OPGC) fonctionnent déjà en continu et des stations évolueront bientôt dans ce sens dans les Pyrénées et les Alpes. On peut ainsi imaginer que la spécificité du RAP qui consiste à installer des stations dans les centres urbains ou sur des objets particuliers (bassin sédimentaire, forages, bâtiments...) conduise prochainement à des échanges plus forts et plus systématiques avec les réseaux de surveillance sismologique français, et surtout avec le futur réseau large bande qui se met actuellement en place. Ce rapprochement ne doit cependant pas nous faire oublier les objectifs propres à l'accélérométrie en France : améliorer notre connaissance du risque sismique sur le territoire français et s'assurer de l'enregistrement des mouvements forts sans saturation des instruments.

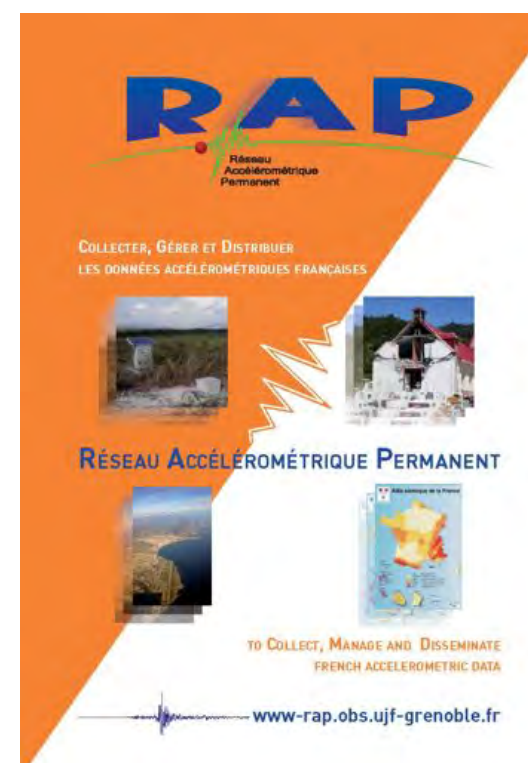
**Philippe Guéguen, Directeur du GIS-RAP.**

**L'ENREGISTREMENT DU SEMESTRE**



Enregistrements à la station STBR (RAP-EOST) d'un séisme à l'Est de Vesoul (70) le 15 janvier 2007 (M<sub>L</sub>=3.0, RéNaSS) localisé à 81 km de la station.

**LA NOUVELLE PLAQUETTE DU RAP**



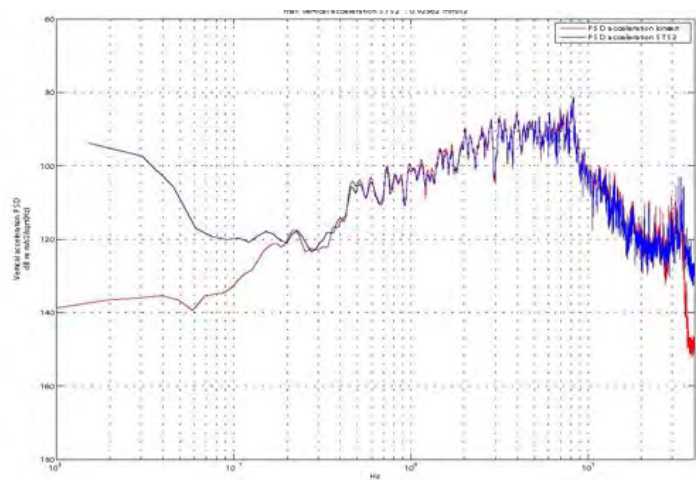
## COMPARAISON D'UN STS2 ET D'UN EST SUR DES ENREGISTREMENTS SISMQUES ET DE BRUIT MICROSISMQUE

Mickaël Langlais LGIT

Durant l'été 2007, nous avons mené une expérimentation visant à comparer les signaux vélocimétriques et accélérométriques, respectivement enregistrés par un capteur large bande STS-2 et par accéléromètre Episensor ES-T. L'objectif du projet était de comparer sur des événements sismiques et sur du bruit de fond les performances des deux types de capteurs, pour en particulier évaluer l'utilisation éventuelle des enregistrements continus accélérométriques.

Pour l'accéléromètre et pour le large bande, nous avons collecté un flux continu de données. Le signal de l'accéléromètre a été numérisé grâce à une station TITAN3 et le flux continu fournit par la station a été stocké sur le disque d'un PC grâce au logiciel TITAcq. Pour le large bande, le signal a lui aussi été numérisé par une station TITAN, mais du type NT, c'est-à-dire avec stockage des données continues sur un disque interne. Nous avons ensuite extrait différentes fenêtres de temps sur des séquences de bruit ou d'événements sismiques locaux ou régionaux. L'ensemble des informations et des analyses est disponible sur le site du RAP.

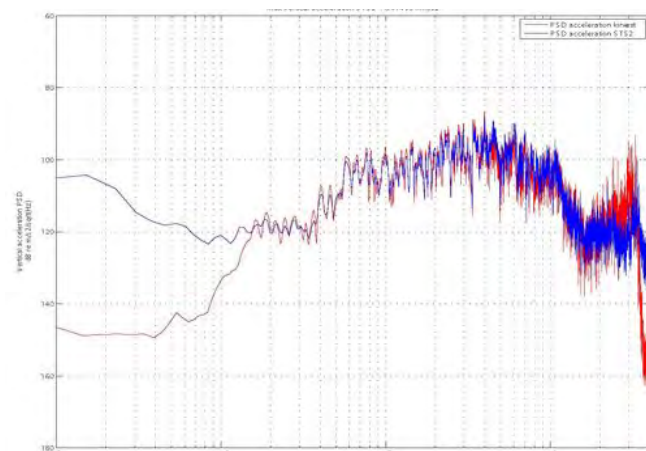
Les figures 1 et 2 représentent les densités spectrales de puissance (DSP) du séisme de SAN REMO-ITALIE du 2 septembre 2006 (01h21'29" UTC, magnitude 4.2ML). Il s'agit de la comparaison des DSP entre le signal du STS2 (converti en accélération) et le signal de l'accéléromètre pour les voies Z et N. La figure 3 est une comparaison des DSP des voies Z des deux différents capteurs mais pour une longue fenêtre de bruit (environ 6h).



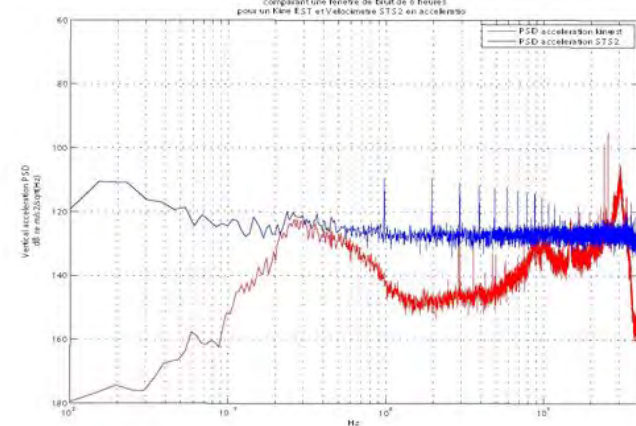
**Figure 1.** Comparaison des PSD de l'accélération horizontale du sol enregistrée par l'accéléromètre Episensor FBA-EST (bleu) et le velocimètre STS2 (rouge) pour le Séisme de San Remo (2006.09.02- 01:21:29, ML=4.2) – PGHA EST : 0.931 mm/s<sup>2</sup> – PGHA STS2 : 0.926 mm/s<sup>2</sup>

Concernant les signaux obtenus pour le séisme de SAN REMO, la première constatation est qu'après filtrage passe bande (0.01Hz à 40Hz) et dérivation du signal du STS2, les

PGA obtenus avec les deux types de capteur sont très proches (à 5% près). Cette observation avait déjà été montrée par O. Sèbe dans la lettre n° 3 du RAP. Nous notons également une bonne corrélation entre les deux types d'instrument dans la bande 0.1-20Hz pour des signaux sismiques ayant une amplitude maximale supérieure à 10 $\mu$ m/s<sup>2</sup>. Au-delà des 20Hz, le bénéfice va à l'Episensor alors que c'est en dessous de 0.1Hz que le STS2 est le plus performant. Les PSD du bruit permettent de mettre en avant la limitation en dynamique de la chaîne d'acquisition accélérométrique. Sur la figure 3, seul le bruit macrosismique situé vers 0.3Hz sort du bruit électronique de l'Episensor, du fait de la faible sensibilité de l'Episensor par rapport au STS2 et du faible niveau de bruit. Pour des signaux sismiques de faible amplitude (<10 $\mu$ m/s<sup>2</sup>), l'accéléromètre ne fournit en effet que du bruit électronique. Cette limitation est principalement le fait du système de numérisation TITAN qui, bien qu'étant performant, offre une dynamique d'environ 120dB. Nos EST ont une pleine échelle à 1g et avec une dynamique de l'électronique de numérisation TITAN à 120dB, nous arrivons logiquement au niveau des 10 $\mu$ m/s<sup>2</sup> que nous avons constaté dans la pratique.



**Figure 2.** Comparaison des PSD de l'accélération verticale du sol enregistrée par l'accéléromètre Episensor FBA-EST (bleu) et le velocimètre STS2 (rouge) pour le Séisme de San Remo (2006.09.02- 01:21:29, ML=4.2) – PGVA EST : 0.398 mm/s<sup>2</sup> – PGVA STS2 : 0.415 mm/s<sup>2</sup>



**Figure 3.** Comparaison des PSD dues à l'accélération horizontale du sol enregistrée par l'accéléromètre Episensor FBA-EST (bleu) et le velocimètre STS2 (rouge) pour une fenêtre de bruit de 6 heures.

On pourrait envisager de mieux exploiter la dynamique offerte par les Episensor (annoncée à 155dB) et ainsi mieux résoudre le bruit microsismique en ayant recours à une électronique de numérisation plus performante (mais rarement au-delà de 135dB), ou utiliser un étage de pré-amplification avant numérisation avec lequel nous pourrions facilement gagner un rapport 10 (soit 20dB). Toutefois, cette amélioration se ferait au détriment de la pleine échelle maximale en entrée, nous ramenant à une saturation du mouvement sismique à 0.1g au lieu des 1g actuel, qui est la configuration irréversible du réseau RAP en métropole. En ville, où le niveau de bruit peut atteindre 100 $\mu$ m/s<sup>2</sup> au dessus de 1Hz, on gagne 20dB en amplitude et le bruit enregistré par l'EST peut être utilisé.

## DEPLACEMENTS DE SEISMES LONGUE-PERIODE ENREGISTRES EN GUADELOUPE (ANTILLES)

Philippe Jousset et John Douglas, BRGM/ARN, Orléans

### 1. Introduction

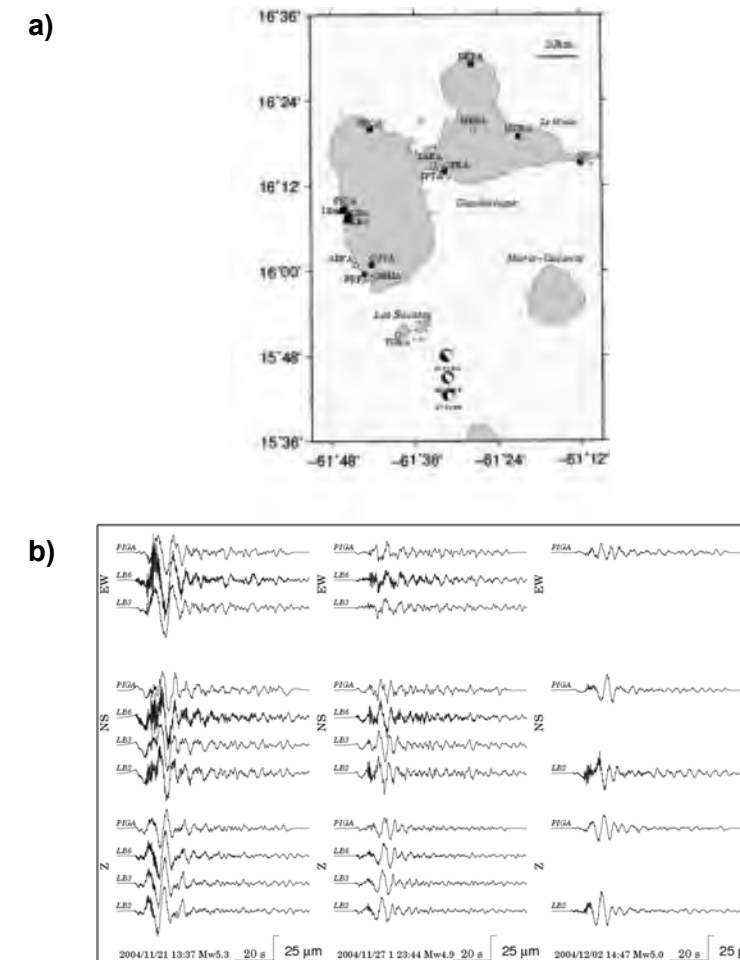
Les enregistrements en déplacement du sol déduits des accélérogrammes de 3 séismes dans l'ouest de l'Amérique du Nord (Hector Mines, Mw=7.1 ; Denali, Mw=7.9 ; et San Simeon, Mw=6.5) ont révélé l'existence de signaux longue période (de l'ordre de 10 s) de forte amplitude. De telles amplitudes des déplacements se traduisent par un pic important dans le spectre en déplacement, qui n'est pas actuellement pris en compte dans les spectres de construction. L'analyse des données du réseau accélérométrique permanent (RAP) en Guadeloupe, maintenu par l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe (Institut de Physique du Globe de Paris) et des données d'un réseau de sismomètres large-bande installé autour du champ géothermique de Bouillante par le BRGM, révèle l'existence de tels signaux pendant la séquence de répliques du séisme des Saintes (4.9  $\leq$  Mw  $\leq$  5.3) entre 2004 et 2006. Ces observations sont intéressantes du point de vue sismologique et du point de vue de l'ingénieur.

### 2. Utilisation d'enregistrements des sismomètres large bande pour l'analyse des mouvements forts.

Les enregistrements de sismomètres large bande n'ont pas été souvent utilisés pour l'analyse des mouvements forts, car la forte sensibilité de ces instruments conduit à la saturation des signaux des mouvements du sol à proximité de la source des séismes modérés et forts. Cependant, Bragado et Slejko (2005) ont combiné des enregistrements de sismomètres et d'accéléromètres pour enrichir la base de données accélérométriques nécessaires à l'étude des facteurs d'échelle et des lois d'atténuation. Comme le bruit intrinsèque des sismomètres est plus faible (Zahradnik, 2004), on peut obtenir les déplacements sur une gamme de fréquence plus étendue, jusqu'à au moins 20 s de période (Yu et Hu, 2004).

Nous avons installé un réseau de sismomètres large bande (Güralp CMG40-T, bande passante 0.016 à 100 Hz) pour un projet géothermique (Jousset et al., 2004), financé par l'ADEME. Ce réseau comporte 5 stations installées dans le

voisinage (rayon de 1 à 4 km) de la station PIGA (Ecole Pigeon) du RAP Guadeloupe (Figure 1a). Les enregistrements large bande (3 stations fonctionnaient au moment des répliques, LB2, LB3 et LB6), du fait de leur proximité de PIGA et de leur meilleur rapport signal/bruit procurent un test indépendant pour le calcul du déplacement déduit des accélérogrammes enregistrés à l'Ecole Pigeon. Nous avons utilisé ces enregistrements corrigés de la réponse instrumentale pour déduire des accélérogrammes par différenciation des vitesses des mouvements du sol (Douglas et al., 2006). Dans cette étude, nous nous intéressons aux signaux en déplacement obtenus par intégration en temps des sismogrammes et double intégration des accélérogrammes. A cause de la sensibilité des sismomètres, les enregistrements sont saturés et ne peuvent pas



**Figure 1. a.** Carte de Guadeloupe avec le réseau du RAP et le réseau large-bande. Les symboles pleins correspondent à des sites de rocher, les symboles vides à des sites de sol mou, les triangles sont les stations LB et les carrés sont les stations accélérométriques. **b.** Déplacements observés pour 3 répliques du séisme des Saintes à 3 stations du réseau large bande LB2, LB3 et LB6 et à l'Ecole Pigeon (PIGA). Les signaux à PIGA ont été filtrés entre 0.08 Hz et 50 Hz et les données large bande entre 0.03 Hz et 50 Hz.

être utilisés si la vitesse dépasse 0.5 cm/s, comme ce fût le cas pour le choc principal (Mw 6.3). Cependant, les répliques ayant des mouvements plus faibles, elles sont correctement enregistrées par le réseau large bande.

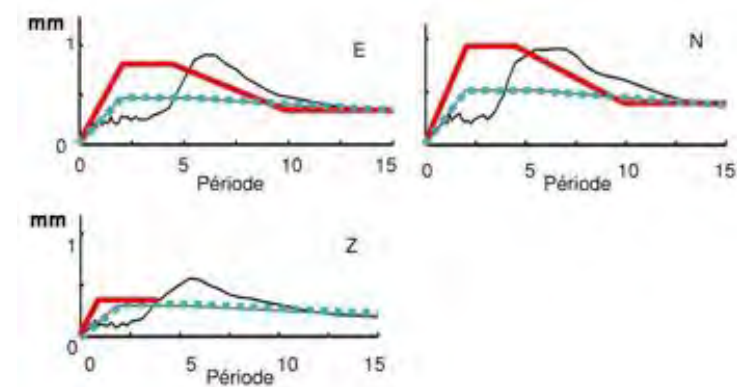
### 3. Traitement des données et observations

Pour estimer des déplacements physiquement réalistes, nous avons d'abord déterminé le rapport signal/bruit sur la partie de l'enregistrement précédent le séisme. Puis nous avons filtré les traces avec un filtre de Butterworth du quatrième ordre dont les fréquences de coupure ont été choisies de telle sorte que le rapport signal/bruit soit supérieur à 3. Cette procédure peut masquer une partie du signal dans les basses fréquences, mais elle a été utilisée par de nombreux auteurs (e.g., Akkar et Bommer, 2007). Dans notre étude, l'existence de signaux large bande en continu nous a permis de valider cette procédure en utilisant le signal large bande comme référence à LB6 et en faisant varier la fréquence de coupure à PIGA (à 1 km de la station). De cette façon là, nous montrons de façon générale qu'il y a peu d'énergie pour des périodes supérieures à 10 secondes dans les répliques analysées. La figure 1 compare les déplacements obtenus par les deux types d'instrument pour 3 répliques : les formes d'ondes et les amplitudes des déplacements sont similaires, ce qui montre que les déplacements obtenus par ces deux types d'instruments sont proches des déplacements réels. L'analyse de ces déplacements sur plusieurs stations du RAP en Guadeloupe révèle que ce phénomène est observé pour les stations et les trois répliques étudiées (Jousset and Douglas, 2007).

#### 4. Spectres de réponse en déplacement

Les spectres de réponse en déplacement sont de plus en plus utilisés et conduisent à affiner la connaissance des réponses des sites dans les basses fréquences. Le problème principal consiste à définir les périodes à partir de laquelle le plateau du spectre de déplacement est plat.

Pour le code HAZUS, la fréquence de coupure du plateau est défini par la formule  $T=10^{(Mw-5)/2}$ , qui donne 0.9 et 1.4 s pour des séismes de magnitude 4.9 et 5.3, respectivement. Le standard ASCE 7-05 utilise la formule  $Tc=10^{(0.3Mw-1.25)}$ , ce qui donne 1.7 et 2.2 pour les mêmes magnitudes. En ce qui concerne Eurocode 8, le plateau est plus complexe : il commence à 2s finit à 6s et décroît jusqu'au « Peak Ground



**Figure 2.** Spectres de réponse élastique en déplacement à PRFA (courbes noires) situé à 34 km de la source pour la réplique du 2 décembre 2004, 14:47 (Mw=5.0), spectre prédictif de l'Eurocode 8 (courbe rouge continue) normalisé par rapport au déplacement à 15 s (à 4s pour la composante verticale, le spectre n'étant pas défini) et le spectre prédit par Malhotra (2006 (courbe bleue pointillée).

Displacement» (PGD) à une période de 10 s. Nous avons calculé ces différents spectres de réponse pour nos observations en considérant une atténuation de 5% et les

résultats indiquent que la plupart des spectres observés présentent un pic entre 5 et 10 s qui dépasse le PGD jusqu'à au moins 10 s (Figure 2).

#### 5. Discussion

La période principale des déplacements de forte amplitude est de l'ordre de 5 à 10 s, ce qui est bien plus grand que les périodes attendues pour ces séismes de magnitudes modérées. Cette observation est intéressante du point de vue sismologique et des sciences de l'ingénieur.

La similarité des formes d'onde des signaux pour différentes stations suggère que la cause de ces longues périodes est liée à la source plutôt qu'à un effet de propagation des ondes ou de site. Contrairement aux déplacements générés par des ondes de surface observées après les ondes de volume, les longues périodes dans nos enregistrements sont observées dès le début du signal en même temps que les ondes de volumes. Parmi les processus possibles, l'existence de fluides dans la zone de rupture principale pourrait aider à expliquer ces fortes amplitudes à ces longues périodes (Chouet, 1986; Brodsky et Kanamori, 2001 ; Jousset et al., 2003 ; Jousset and Douglas, 2007).

Ces observations pourraient également avoir une incidence sur les codes de construction des grandes structures, comme les grands ponts et les bâtiments de grande hauteur. Les codes actuels ne tiennent pas compte des périodes au-delà de 5 s. Les amplitudes observées des déplacements sont inférieures au millimètre pour ces répliques et ne pouvaient pas endommager des structures. Cependant, si ces observations sont confirmées sur d'autres séismes de plus forte magnitude, il faudra envisager de modifier les spectres réglementaires.

Enfin, ces observations montrent que du point de vue méthodologique, l'association de sismomètres large bande à un réseau d'accéléromètres permet d'apporter des informations permettant de mieux interpréter les signaux observés.

#### Références

Akkar S. and J. Bommer, 2007. Empirical prediction equations for peak ground velocity derived from strong-motion records from Europe and the Middle East, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 97 (2),511-530, doi: 10.1785/0120060141.  
 Bragado PL. and Slejko D., 2005. Empirical ground-motion attenuation relations for the eastern Alps in the magnitude range 2.3-6.3. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 95 (1), 252-276, doi 10.1785/0120030231.  
 Brodsky E and H. Kanamori, 2001. Elastohydrodynamic lubrication of faults. *J. Geophys. Res.*, 106 (B8), 16357-16374.  
 Chouet B., 1986. Dynamics of a fluid-driven crack in 3-D by the finite difference method. *J. Geophys. Res.*, 91, 13967-13992.  
 Douglas J., D. Bertil, A. Roulé, P. Dominique and P. Jousset, 2006. A preliminary analysis of strong motion data from the French Antilles. *J. of Seismology*, 10, 271-299.  
 Jousset P., J. Neuberg and S. Sturton, 2003. Modelling the time dependent frequency content of low-frequency volcanic earthquakes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 128, 201-223.

Jousset P., S. Bès de Berc, H. Fabriol and B. Chouet, 2004. Monitoring and exploration of geothermal fields using broadband seismology : application to Bouillante, Guadeloupe. IAVCEI General Assembly, Pucon, Chile, 14th-19th, November, Symp. 8. 508b-pf-126.\*  
 Jousset P. and J. Douglas, 2007. Long-period earthquake ground displacements recorded on Guadeloupe (French Antilles). *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 36:949-963.  
 Malhotra P.K., 2006. Smooth spectra of horizontal and vertical ground motions. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 96, (2), 506-518 (DOI: 10.1785/0120050062)  
 Yu and Hu, 2004. Empirical long-period response spectral attenuation relations based on southern California digital broadband recordings. *Proceedings of the Thirteenth World Conference on Earthquake Engineering*, Paper N° 0344.  
 Zahradnik J., 2004. How many seismographs do we need to record ground motion at a station? *Studia Geophys. and Geodetica*, 49, 483-492.

### LE RISQUE DANS LA REGION DE BALE - MULHOUSE : INTERACTIONS RISQUE SISMIQUE - RISQUES TECHNOLOGIQUES, EFFETS DE SITE, EFFETS POTENTIELS D'UN SEISME

Elise Beck Valérie Calbini et Michel Granet

#### 1. Problématique

Le sud de l'Alsace est caractérisé par une sismicité faible à moyenne (zones Ib et II selon la classification actuelle). Outre le séisme historique du Jura Bâlois de 1356 (Intensité IX), quelques événements (M 5) se produisent de façon récurrente. Depuis 2001, des programmes d'étude du risque dans cette région ont été initiés sous des financements régionaux et européens.

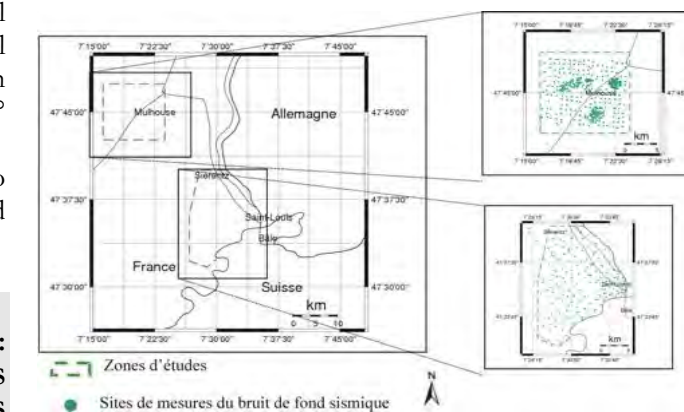
Un premier travail pluridisciplinaire a porté sur une étude des interactions entre les risques sismique et technologiques dans un système urbain (Beck, 2006). Avec une population dépassant 1.700.000 habitants et ses deux grandes agglomérations de Strasbourg et Mulhouse, l'Alsace est confrontée au risque naturel (séismes, inondations, coulées boueuses, mouvements de terrain, etc.) et au risque technologique (nucléaire, chimique, transports de matière dangereuse, stockage, etc.) direct ou induit. Une question essentielle concerne l'impact d'un possible séisme sur les industries et la population. L'étude a concerné plus particulièrement l'agglomération de Mulhouse (figure 1).

Pour cela, une approche intégrée multi-risques - prenant en compte aléa et vulnérabilité des éléments exposés - a été développée en deux phases :

- 1) Evaluation des aléas, vulnérabilités et des risques sismique et technologiques à l'échelle de l'agglomération ;
- 2) Simulation d'un séisme important (Mw 6.0) afin d'analyser les interactions potentielles « sismique - technologique ».

Un deuxième travail concerne les effets de site dans la région des Trois Frontières. La nature du sous-sol constitue une des composantes importantes du risque sismique. Ses conditions

géologiques et géotechniques sont susceptibles de modifier sensiblement la fréquence de résonance et l'amplitude du mouvement du sol initial lors du passage des ondes sismiques. Or, cette région est située dans le bassin sédimentaire du Rhin, entre les villes de Sierentz et Bâle (figure 1). Cette zone étant située dans un contexte très urbanisé et dans une vallée alluviale, la méthode de Nakamura nous a semblé appropriée pour quantifier les effets de site potentiels. Un des objectifs est la comparaison, en chaque site de mesure, entre les résultats des spectres H/V obtenus par la méthode de Nakamura et une modélisation 1D de la fonction de transfert du sol.



**Figure 1 :** Localisation des zones étudiées et des points de mesures de bruit de fond dans les deux secteurs investigués. La première étude a porté sur l'agglomération de Mulhouse. La majeure partie de cette zone est caractérisée par des alluvions quaternaires rhénanes et vosgiennes, alors que l'est (horst de Mulhouse) est constitué de terrains plus consolidés tertiaires, recouverts de plaquages de lèss würmiens. En ce qui concerne la seconde étude, nous nous intéressons à une zone située entre Sierentz et Bâle, séparée en deux entités géomorphologiques différentes : les collines du Sundgau à l'ouest et le bassin de Sierentz à l'est. Le bruit sismique a été enregistré durant 30 minutes en chaque site avec une fréquence d'échantillonnage de 125 Hz.

#### 2. Méthodologie

##### 2.1. Effets de site dans la région des Trois Frontières

Nous avons réalisé 277 points de mesures de bruit de fond sismique, parmi lesquels 153 ont permis le calcul d'un spectre H/V exploitable (figure 1). Afin de comparer ces spectres avec une modélisation 1D de la fonction de transfert du sol en chacun de ces sites, nous nous sommes basés sur le code SHAKE. Pour ce faire, le sous-sol a été représenté par une structure tabulaire, ce qui correspond bien au contexte géologique local, mis à part les faciès de bordure caractérisés par des conglomérats.

La zone a été quadrillée (2km x 2km). Dans chaque maille, nous avons déterminé un profil de sol à partir des coupes sismiques (épaisseurs des couches, vitesses des ondes P) et des données de forages disponibles, des coupes géologiques, des mesures de SASW. Au final, la structure du sol est représentée par cinq grandes « unités » géologiques : alluvions, molasse alsacienne, série grise, zone salifère, Jurassique, auxquelles nous avons associé une épaisseur, une vitesse d'ondes S, une valeur de densité et un facteur de qualité pour chaque maille.

##### 2.2. Etude de vulnérabilité

Etudier les risques sismique et technologiques implique de tenir compte de la vulnérabilité dans ses composantes physique, fonctionnelle, humaine et cognitive (figure 2). La vulnérabilité physique des bâtiments a été évaluée suivant un

potentiel d'entrer en résonance, à partir des mesures d'effets de site et d'un modèle simplifié permettant de calculer la fréquence de résonance des bâtiments (Madariaga et Perrier, 1991).

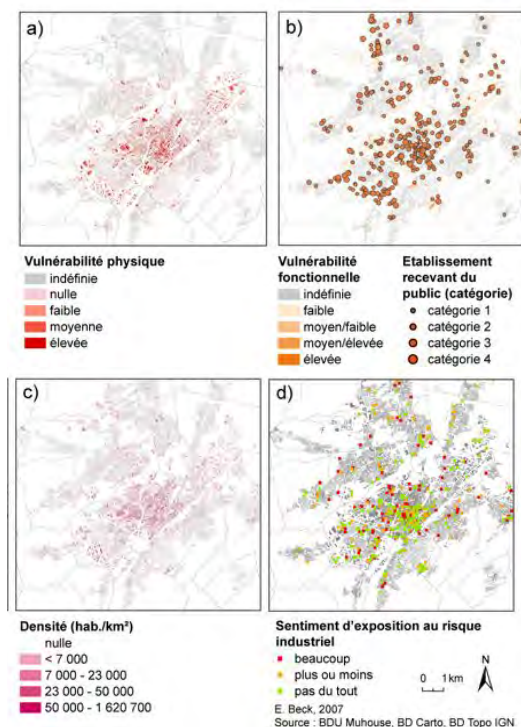


Figure 2. Représentations cartographiques de plusieurs dimensions de la vulnérabilité de l'agglomération mulhousienne : dimensions physique (a), fonctionnelle (b), humaine (c) et cognitive (d).

- La fonction d'un bâtiment détermine la gravité des conséquences d'une catastrophe. Certains bâtiments sont particulièrement sensibles en raison de : 1) l'importance de leur rôle dans la gestion d'une crise (autorités, services de secours, hôpitaux, etc.); 2) leur potentiel à générer des effets dominos (« points source » d'une industrie dangereuse); 3) la fragilité de la population qu'ils accueillent (maisons de retraite, crèches, etc.); 4) la densité de population qui les fréquentent (établissements recevant du public).

- La dimension humaine de la vulnérabilité implique de s'intéresser à la répartition de la population dans la ville : nous avons identifié les secteurs plus ou moins peuplés.

- Enfin, les représentations cognitives des risques par la population ont également été prises en compte par la mise en place d'une enquête par questionnaire. Les résultats ont été synthétisés sous la forme d'indices de vulnérabilité (D'Ercole, 1996).

### 3. Résultats

#### 3.1. Simulation d'un séisme sur l'agglomération de Mulhouse

Nous avons calculé des accélérations potentielles dans la région de Mulhouse à partir de la loi d'atténuation proposée par Ambraseys *et al.* (1996), qui s'applique à des contextes tectoniques et géologiques similaires à ceux de cette région. Notre connaissance de la sismicité et de la localisation des failles actives a permis de déterminer un scénario de séisme réaliste ( $M_w = 6.0$  avec un épocentre localisé sur la faille d'Illfurth; figure 3).

Cette simulation a permis de mesurer l'impact d'un séisme sur les bâtiments et les industries sensibles, et d'identifier les zones les plus susceptibles d'être concernées, en fonction de la

vulnérabilité des bâtiments et des densités de population. Ainsi, le site industriel de Rhodia subirait des accélérations de 0.17 g, qui pourraient être amplifiées compte tenu des effets de site observés dans ce secteur (figure 3).

Sur ce site industriel, deux bâtiments vulnérables correspondent à des points sources d'accident. Le scénario d'accident majorant correspond à une dispersion de substances toxiques dont les effets se feraient ressentir dans un rayon de 130 m autour du bâtiment. La zone résidentielle voisine du site industriel ne serait pas *a priori* touchée par cette dispersion.

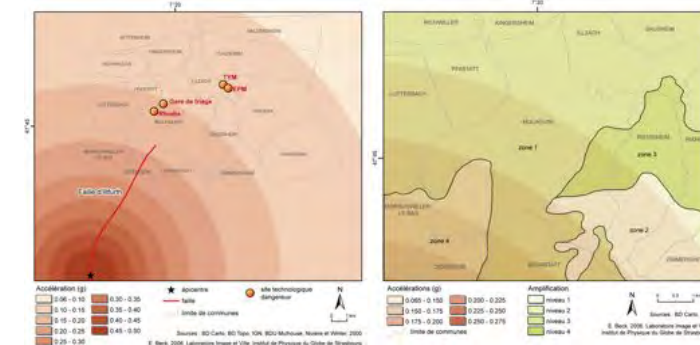


Figure 3. (Gauche) simulation des effets d'un séisme : accélérations attendues pour un séisme de magnitude  $M_w = 6.0$  dont l'épicentre est localisé sur la faille d'Illfurth. Les accélérations maximales, hors effets de site, atteintes dans la région de Mulhouse sont comprises entre 0.11 et 0.25 g ; (droite) accélérations attendues et zones « homogènes » d'effets de site. Ces zones homogènes ont été déterminées à partir de la variabilité spatiale des fréquences fondamentales déterminées à partir des mesures de bruit sismique (figure 2 : 590 mesures, parmi lesquelles 391 sont exploitées) et de la géologie de surface.

#### 3.2. Microzonage sur la région des Trois Frontières

Les résultats sont montrés sur la figure 4. Nous observons une bonne représentation de nos données par la modélisation. Pratiquement toute la partie sud est dominée par des fréquences de résonance variant de 0.5 à 0.8 Hz. Au nord, elles sont comprises entre 2.0 et 4.0 Hz. Une zone centrale est caractérisée par des valeurs comprises entre 0.8 et 1.2 Hz. Cette augmentation des valeurs de fréquence de résonance du sud au nord peut être mise en parallèle avec des interfaces géologiques plongeant vers le sud (observées sur les profils sismiques et les forages). L'interface principale correspond à la base de la série grise (constituée principalement de marnes).

Sur les deux spectres, modélisé et observé, nous observons un premier pic d'amplification vers 3 Hz. En première approximation, il serait associé à un contraste d'impédance situé vers 150 m de profondeur, qui correspond justement avec la base de la série grise à cet endroit. Nous observons un second pic vers 8 Hz, qui correspondrait à la limite argiles - marnes localisée vers 25m de profondeur.

### 4. Conclusion

Ces premières études ont permis d'acquérir une connaissance plus fine du risque sismique dans la région du sud du fossé rhénan et d'aborder pour la première fois la problématique des effets dominos en système urbain.

Dans le secteur mulhousien, la moitié des rapports spectraux obtenus par la méthode des fonctions récepteurs présente des valeurs de fréquence fondamentale identiques à celles issues des mesures de bruit et 40 % donnent des valeurs

d'amplification presque égales pour le pic de fréquence fondamentale. Dans la région des Trois Frontières, les valeurs des fréquences fondamentales sont, en première approximation, bien corrélées avec la géologie du sous-sol. De plus, les modélisations des fonctions de transfert obtenues grâce aux différentes caractéristiques du sol sont cohérentes avec les résultats réels, et ce sur divers sites de la zone d'étude.

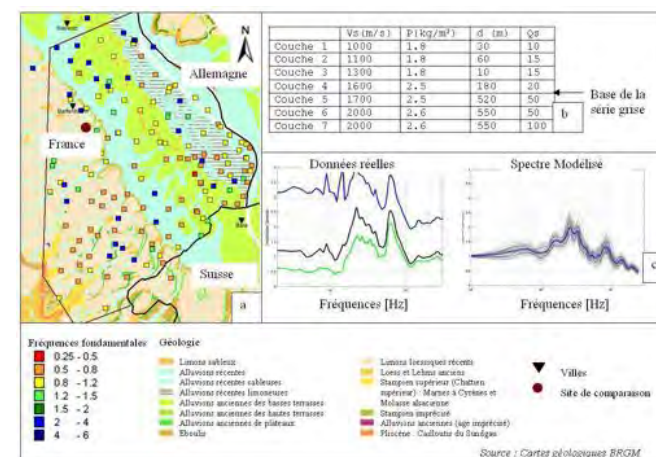


Figure 4. (a) Carte des fréquences fondamentales du sol obtenue à partir des mesures du bruit dans la région des Trois Frontières ; (b) modèle de sol pour le « site de comparaison » (voir légende pour situation). Le modèle est constitué de couches. Pour chacune, on précise la vitesse des ondes S ( $V_s$ ), la densité ( $\rho$ ), l'épaisseur (d) et le facteur de qualité des ondes S ( $Q_s$ ); (c) A gauche, le spectre obtenu avec une mesure de bruit de fond sismique au « site de comparaison ». La courbe noire représente le spectre moyen calculé ; les courbes bleue et verte représentent le spectre moyen multiplié par l'écart type et divisé par l'écart type, respectivement. A droite, une modélisation de la réponse du sol avec la structure décrite dans le tableau b et le logiciel SHAKE

L'ensemble des données sur le secteur de Mulhouse a été intégré dans un système d'information géographique, ce qui permet d'obtenir une information synthétique sur le territoire investigué en matière de risques sismique et technologiques et de proposer un support à la décision à destination des autorités en charge de la gestion des risques de Mulhouse.

L'étude globale des risques, qui considère aléas et vulnérabilités, nécessite de mobiliser des concepts, méthodes et outils de disciplines variées (dans le cas présent géophysique, géographie, psychosociologie), d'où l'intérêt de développer à l'avenir ces études pluridisciplinaires.

**Remerciements :** Les travaux cités ont été financés par l'Union Européenne dans le cadre du programme européen Interreg 3.8c « Microzonage sismique de la région du Sud du Rhin Supérieur » et la Région Alsace.

### Bibliographie

- Ambraseys N. N., Simpson K. A., Bommer J. J., 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25 : 371-400.
- Beck E., 2006. Approche multi-risques en milieu urbain. Le cas des risques sismique et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse (Bas-Rhin), thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 246 p. + annexes
- D'Ercole R., 1996. Représentations cartographiques des facteurs de vulnérabilité des populations exposées à une menace volcanique. Application à la région du volcan

Cotopaxi (Equateur), *Bull. Inst. Etudes andines*, 25(3) : 479-507.

Lopes Cardozo G., 2003, 3-D Geophysical imaging and tectonic modelling of active tectonics of the Upper Rhine Graben Region, these de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg.

Madariaga R., Perrier G., 1991. Les tremblements de terre, Presses du CNRS, 210 p.

Trampert J., Cara M., Frogneux M., 1993. SH Propagator matrix and  $Q_s$  estimates from boreholes-and-surface-recorded data, *Geophys J. Int.*, 112 : 290-299.

## CARACTERISATION DES CONDITIONS DE SITE A PARTIR DES TECHNIQUES « BRUIT DE FOND RESEAU »: RESULTATS D'UN BENCHMARK INTERNATIONAL

Cécile Cornou, LGIT, IRD, CNRS, UJF Grenoble.

### Introduction.

Des conditions géologiques locales défavorables peuvent donner lieu à d'importantes amplifications du mouvement du sol durant les séismes. Les effets de site peuvent être caractérisés par l'estimation du  $V_s30$  (vitesse moyenne sur les 30 premiers mètres des ondes S), par l'estimation du mouvement sismique via les équations de prédiction ou encore par le calcul de la fonction de transfert en ondes S. Cette dernière méthode, la plus pertinente, nécessite la connaissance des vitesses d'ondes S dans toute la couverture sédimentaire et dans le substratum rocheux. Initialement proposée par des auteurs japonais, les techniques de bruit de fond réseau pour caractériser les conditions de site ont un succès considérable depuis ces dix dernières années. Ces techniques comportent deux étapes: 1) l'estimation des vitesses de phase des ondes de surface et 2) l'estimation de la structure en vitesse par inversion de ces vitesses de phase. Bien que les techniques d'analyse utilisées soient bien comprises d'un point de vue théorique, leurs vraies performances à extraire correctement les profils de vitesse est difficile à estimer. Ces performances dépendent en effet de l'influence combinée de la structure en vitesse, des caractéristiques du champ d'ondes du bruit (nature, composition et caractéristiques spatio-temporelles des sources) et du jugement d'expert de l'analyste. Aussi, dans le cadre du dernier symposium intitulé *Effects of Surface Geology on seismic motion* (ESG2006, Grenoble, 30 août – 1 septembre), un *blind test* sur ces techniques de bruit de fond réseau a été organisé afin d'analyser les potentialités des méthodes basées sur le bruit pour estimer les conditions de site. Ce *blind test* comportait à la fois des données de bruit de fond synthétiques et réelles, les données synthétiques offrant l'opportunité d'un benchmark dans un cadre contrôlé tant pour la structure que pour les caractéristiques des sources de bruit.

### Organisation du benchmark

Les structures de vitesse proposées dans ce *blind test* comportaient quatre jeux de données synthétiques et quatre jeux de données réelles. Pour les données synthétiques, les structures comportaient un site à gradient de vitesse simple, un site présentant un profil de vitesse complexe incluant des zones

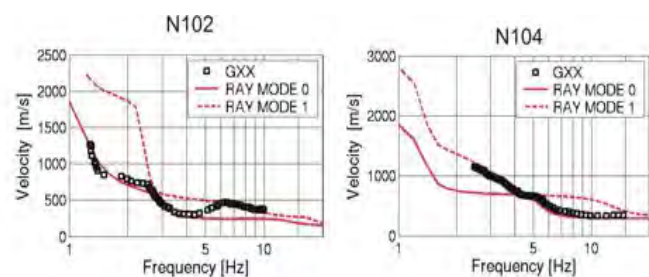


à moindre vitesse, un site simple de grande épaisseur sédimentaire et enfin un site comportant deux couches sur un demi-espace. Les sites réels présentent un site de grande épaisseur sédimentaire (Narita, Japon) et un site peu épais présentant un profil de vitesse complexe (Californie, USA), pour lesquels nous disposons de profils de vitesse de référence obtenus par des mesures en forage. Enfin, les deux derniers sites réels (Valais, Suisse ; Thessalonique, Grèce) étaient caractéristiques de sites présentant des propagations d'ondes 2D/3D mais pour lesquels aucun profil de référence n'est connu. Dix-neuf groupes ont participé à ce *blind test*, la moitié étant issue de pays asiatiques et l'autre moitié du continent européen. Pour chaque site, les participants devaient fournir les courbes de dispersion des ondes de surface et les profils de vitesse inversés ainsi que les incertitudes associées.

### Principaux résultats et enseignements

Nous ne présentons ici que les principaux résultats et enseignements tirés de ce benchmark. Les résultats détaillés peuvent être trouvés dans Cornou et al. (2006).

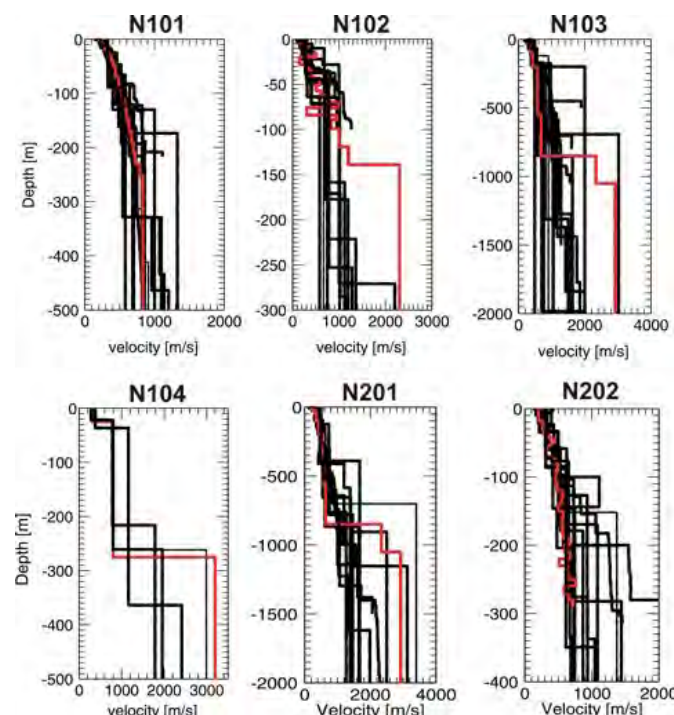
Pour l'estimation des vitesses de phase des ondes de Rayleigh, nous observons une tendance générale à la surestimation des vitesses de phase, tant pour les sites synthétiques que pour les sites réels (déviation relative de moins de 20% pour les synthétiques et de 5 à 80% pour les sites réels). A haute fréquence, nous expliquons cette surestimation par une mauvaise résolution du réseau combinée à l'existence de modes supérieurs dans le champ d'ondes. A basse fréquence, la surestimation de vitesse s'explique par une résolution du réseau insuffisante pour des ondes arrivant de directions différentes, insuffisance particulièrement critique pour les méthodes FK (Capon, 1969), la méthode SPAC (Aki, 1957) se comportant mieux. Cette surestimation à basse fréquence tient aussi au fait que les participants sont en général relativement optimistes sur les capacités de résolution des réseaux et en général estiment les vitesses de phase en dehors des limites recommandées dans la littérature. Avant toute inversion des courbes de dispersion, une étape cruciale consiste à interpréter les vitesses de phase mesurées et à associer ces vitesses à des modes de propagation (mode fondamental, 1<sup>er</sup> mode, etc ...). Cette étape a été particulièrement « critique », un nombre important de participants n'ayant pas correctement identifié les différents modes d'ondes de surface (Figure 1).



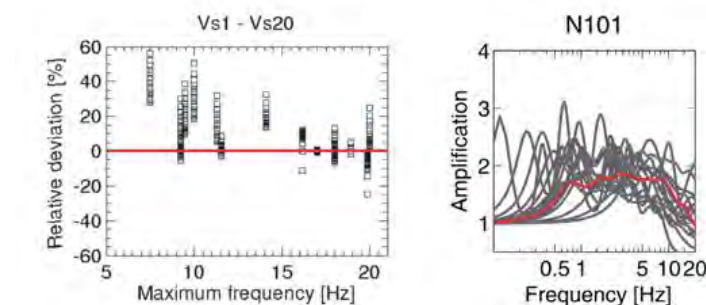
**Figure 1:** Exemple de mauvaise identification des modes d'ondes de Rayleigh. En rouge : courbes de dispersion théoriques pour le mode fondamental (trait plein) et le 1er mode (trait pointillé). Carrés noir : vitesses de phase interprétées par un des participants comme appartenant au mode fondamental d'ondes de Rayleigh

En ce qui concerne les profils de vitesse en ondes S inversés, le détail des profils de vitesse n'a jamais été retrouvé, tout comme

la profondeur et la vitesse dans le rocher et ce, quelque soit le site considéré (Figure 2). La mauvaise résolution des caractéristiques du rocher s'explique par l'effet de filtrage des terrains de couverture, conduisant à une déficience d'énergie sur la composante verticale à la fréquence de résonance du site. En cohérence avec les vitesses de phase mesurées, les vitesses moyennes d'ondes S dans les sédiments sont surestimées d'environ 10-15% en moyenne. Sans autre information sur le site permettant de mieux contraindre la profondeur et la vitesse du substratum rocheux, la fonction de transfert en ondes SH n'est pas une quantité qu'il est recommandé d'estimer à partir uniquement des profils de vitesse dérivés du bruit de fond réseau. Par contre, l'utilisation de méthodes d'estimation de l'amplification à partir du Vs30 semble plus robuste à condition que le dispositif expérimental de mesure des courbes de dispersion permette l'échantillonnage des vitesses de phase à haute fréquence (Figure 3).



**Figure 2:** Profils de vitesse en ondes S obtenus par les participants (noir) ayant correctement les différents modes d'ondes de Rayleigh. Le profil théorique est indiqué en rouge. Les jeux de données N101-N104 correspondent au jeu de données synthétiques, tandis que les jeux N201 et N2202 correspondent au jeu de données réelles.



**Figure 3:** (Gauche) Erreur relative sur les vitesses moyennes (carrés noirs) entre 1 et 20 m estimées par les participants (carrés noirs) en fonction de la fréquence maximale échantillonnée lors de l'estimation des vitesses de phase (site N101, gradient de vitesse simple). Cette figure montre la nécessité de mesurer les vitesses de phase à haute fréquence si l'on souhaite estimer correctement le Vs30. (Droite) Fonctions de transfert en ondes SH pour le site N101 calculées à partir des profils de vitesse inversés par les participants (traits gris). La fonction de transfert théorique est indiquée en rouge. Cette figure souligne la variabilité des amplifications obtenues pour ce site simple, et donc de la nécessité de mieux contraindre la profondeur et la vitesse des ondes S dans le rocher avant tout calcul d'amplification du site.

Enfin, ce benchmark a permis de souligner les efforts qu'il est indispensable de mener dans le futur :

- 1) L'identification et l'interprétation correcte des modes d'ondes de surface est une étape loin d'être évidente. Aucune recette miracle n'existe à ce jour et l'interprétation est le plus souvent du ressort du jugement d'expert qu'il serait nécessaire d'explicitier ;
- 2) Les techniques d'inversion doivent être améliorées. L'inversion étant un processus hautement non-linéaire, il est peu probable que les techniques d'inversion en tant que telles puissent être améliorées. Par contre, des alternatives très prometteuses consistent à l'introduction d'informations a priori dans le processus d'inversion ou à des inversions conjointes entre différentes données (vitesse de phase des ondes de Rayleigh et de Love, vitesse de phase et ellipticité des ondes de Rayleigh, vitesse de phase et sismique réfraction, etc.) ;
- 3) L'évaluation quantitative et objective de l'erreur obtenue sur les profils de vitesse (qu'aucun participant n'a pu évaluer de façon physiquement acceptable) est un impératif pour envisager des caractérisations de site fiables.

### Etudes en cours

Des études portant sur l'amélioration des techniques de caractérisation des conditions de site sont en cours dans le cadre du projet européen NERIES. L'objectif de ces études est non seulement d'améliorer les techniques d'inversion (inversion conjointe) et d'analyse de réseau mais aussi de fournir une méthodologie de caractérisation des conditions de site à partir de techniques passives (bruit de fond) et actives. Ces développements méthodologiques seront intégrés à la plateforme de logiciels libres SESARRAY (<http://www.geopsy.org>) destinée à diffuser les méthodes de caractérisation de l'aléa sismique que nous développons.

### Remerciements

Je remercie vivement M. Ohrnberger (IGUP Potsdam), D. Boore (USGS Menlo Park), K. Kudo (Nihon university, Japon) et P.-Y. Bard (LGIT) pour leur investissement dans l'organisation et l'analyse des données de ce blind test. Je remercie aussi M. Wathelet (LGIT) pour les discussions sur les méthodes d'inversion. Enfin, merci aux participants de ce blind test et aux collègues ayant fourni les données de bruit réelles (D. Hartzell, M. Asten, D. Roten, A. Savaiidis).

### Références

- Aki, K., 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, *Bull. Earthq. Res. Inst.* 35, 415-456.
- Capon, J., 1969. High Resolution frequency-wavenumber spectrum analysis. *Proceedings of the IEEE*, 57, 8, 1408-1418.
- Cornou, C., Ohrnberger, M., Boore, D. M., Kudo, K., Bard P.-Y., 2006. Using ambient noise array techniques for site characterisation: results from an international benchmark, in Proc. 3rd Int. Symp. on the Effects of Surface Geology on

Seismic Motion, Grenoble, 29 August - 01 September, 2006, Bard, P.Y., Chaljub, E., Cornou, C., Cotton, F. and Guéguen, P. Editors, LCPC Editions, paper NBT, <http://www-igut.obs.ujf-grenoble.fr/users/cornou>

### COMMUNICATION ET INFORMATIONS

Si vous le souhaitez, vous pouvez mettre en ligne sur le site du RAP des documents scientifiques ou techniques en rapport avec les actions du RAP, l'aléa et la vulnérabilité en France. Pour cela, contactez P. Guéguen ([pgueg@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pgueg@obs.ujf-grenoble.fr)) et communiquez lui les documents souhaités.

### INFORMATIONS GENERALES

#### • Appel d'offre 2007 du GIS-RAP

Dans le cadre de ses actions, le bureau du GIS-RAP a lancé le premier appel d'offre d'actions de recherche. En cohérence avec ses objectifs et ses missions, le bureau du GIS-RAP a souhaité ainsi encourager avec l'aide de ses tutelles des actions favorisant le développement de programmes de recherche associant plusieurs membres du GIS-RAP, améliorant la connaissance du risque sismique en France et valorisant les données du RAP. Les projets retenus en 2007 sont :

**Evaluation des magnitudes de moment pour les événements de la base RAP et calcul des réponses de site horizontales et verticales.** Partenaires : Stéphane Drouet (Coord. LDG), Fabrice Cotton (LGIT), Bertrand Delouis (Geoscience-Azur)

**Résumé :** Le réseau RAP propose une grande qualité de données pour des séismes modérés. Cependant, dans le but de fournir des éléments pour l'évaluation de l'aléa sismique, certains paramètres devraient être précisés. En particulier, il manque une estimation des magnitudes de moment dans le catalogue des séismes. A l'échelle régionale, ce paramètre est difficile à évaluer car les enregistrements sont très sensibles aux effets de propagation et de site. Le but de ce projet est donc de préciser ces paramètres en constituant des jeux de données pour trois régions distinctes en France métropolitaine, afin de pouvoir calculer rapidement les paramètres de source, en particulier une magnitude de moment pour n'importe quel séisme.

**Améliorer la modélisation des effets de site dans l'estimation du mouvement sismique et de l'aléa sismique.** Partenaires : Fabian Bonilla (Coord.), David Beaumont et Oona Scotti (IRSN), John Douglas et Pierre Gehl (BRGM), Céline Beauval et Stéphane Gaffet (Géoscience Azur), Anne-Marie Duval, Etienne Bertrand et Julie Régnier (CETE Méditerranée).

**Résumé :** Ce projet comporte deux volets. (1) Utilisation de la méthode « Quarter Wavelength » pour la caractérisation du sol sous les stations accélérométriques RAP afin d'estimer l'amplification au sol et de quantifier l'incertitude associée ; (2) Estimation conjointe de l'aléa sismique probabiliste site-spécifique et des effets de site.

## SOMMAIRE

Editorial	1
L'enregistrement du semestre	1
Analyse de vulnérabilité à l'aide d'enregistrements de vibrations ambiantes	2
Prise en compte des effets de site grâce à Vs0 et f0	4
Informations générales	5
La note d'information du RAP	6

## Editorial

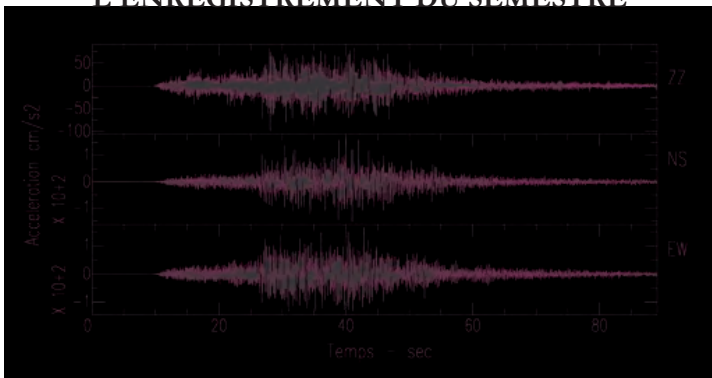
Le nombre de victimes provoquées par un séisme est à relier dans la plupart des cas à la chute des éléments de construction du bâti ancien. Spence et Coburn dans Earthquake Protection (2002, Edition Wiley) affirment même que depuis 1900, la destruction des constructions en maçonnerie, et depuis 1945 en béton, restent la première cause de mortalité en cas de séisme, la majorité des constructions ayant été réalisée avant la mise en application des règles parasismiques. Evaluer la capacité de structures anciennes à supporter le mouvement sismique est donc crucial si on souhaite connaître la quantité de dommage après une secousse et les conséquences directes d'un tel événement sur la population. En d'autres termes, cela revient à comprendre la répartition des dommages sismiques sur une zone géographique en tenant compte à la fois de la variabilité de l'aléa local et de la vulnérabilité des structures. A terme, ces informations permettraient d'évaluer les améliorations à apporter au bâti afin de réduire les conséquences humaines d'un séisme. Cependant, avant cela, il faut être capable de comprendre les écanismes qui interviennent dans la stabilité des constructions.

De nombreuses méthodes d'évaluations du bâti existent, la plupart reposant sur des relations empiriques donnant un niveau de dommage en fonction d'une catégorie de construction et d'une intensité sismique. Même si ces méthodes sont toutes calées sur des observations post-sismiques, elles ne sont pas toujours satisfaisantes et la réalité est parfois différente. Les séismes récents des Antilles (Saintes et Martinique) n'ont pas, heureusement, provoqués les dommages auxquels on aurait pu s'attendre au vu de la qualité des constructions. La compréhension de la réponse sismique des structures de conception française est donc une activité à laquelle le RAP peut prétendre contribuer, au travers de l'observation et de l'instrumentation. Cette activité peut permettre de comprendre sur des ouvrages spécifiques la façon avec laquelle les structures se déforment mais aussi de se doter de données de mouvement sismique enregistré dans des structures afin de caler des modèles de comportement. En effet, plusieurs points peuvent être soulevés sur lesquels le RAP peut apporter sa contribution: comment évolue en pratique la réponse d'une structure sous sollicitations sismiques? Quels sont les paramètres critiques qui contrôlent l'intégrité des structures?

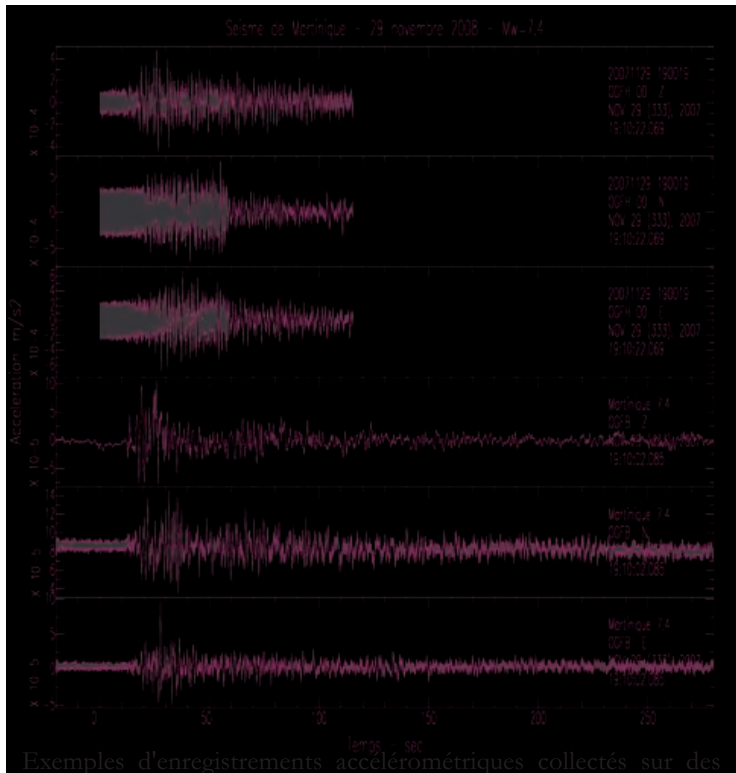
Après une première opération pilote menée à Grenoble, le RAP a décidé de poursuivre l'instrumentation de structures courantes, dans différentes régions sismiques françaises. Cette activité, menée en partenariat avec des partenaires locaux, sera la contribution expérimentale du RAP à la compréhension de la dynamique des structures et à l'évaluation de la vulnérabilité sismique.

Philippe Guéguen

## L'ENREGISTREMENT DU SEMESTRE



Enregistrements à la station MATR (RAP-IPGP) du séisme de Martinique du 29 novembre 2007 (Mw=7.4) localisé à 36 km de la station (distance épacentrale, profondeur du séisme: 140km)



Exemples d'enregistrements accélérométriques collectés sur des stations à enregistrement continu localisées sur le bassin de Grenoble lors du séisme de Martinique du 29 novembre 2007 (Mw=7.4).

# AIDE À L'ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ À L'AIDE D'ENREGISTREMENTS DE VIBRATIONS AMBIANTES ET D'ENREGISTREMENTS ACCÉLÉROMÉTRIQUES : EXEMPLE DE L'HÔTEL DE VILLE DE GRENOBLE

Clotaire MICHEL - Philippe GUEGUEN  
LGIT

## Introduction

L'Hôtel de Ville de Grenoble est le premier site pilote du RAP concernant la vulnérabilité des bâtiments aux séismes. Il a été équipé en Novembre 2004 par 6 stations accélérométriques enregistrant en continu les vibrations de cette structure. En complément, des enregistrements de vibrations ambiantes ont été menés par le LGIT en 36 points de la structure de manière à mieux connaître son comportement. Ses paramètres modaux (fréquences propres, amortissements et déformées modales) issus des enregistrements de séismes et de vibrations ambiantes ont été comparés.

## La structure et son réseau permanent RAP

L'Hôtel de Ville de Grenoble (Fig. 1), et plus particulièrement sa tour de 13 étages, est un bâtiment en béton armé construit en 1967. Sa structure est composée de deux noyaux en murs voiles, contenant notamment les escaliers et les ascenseurs, et d'une ossature en béton armé. Une plate-forme de 23 m de portée en béton précontraint située au 3ème étage sépare les étages supérieurs très réguliers, d'une partie irrégulière en élévation. Elle est fondée sur des pieux s'appuyant sur une couche compacte de sables et graviers.

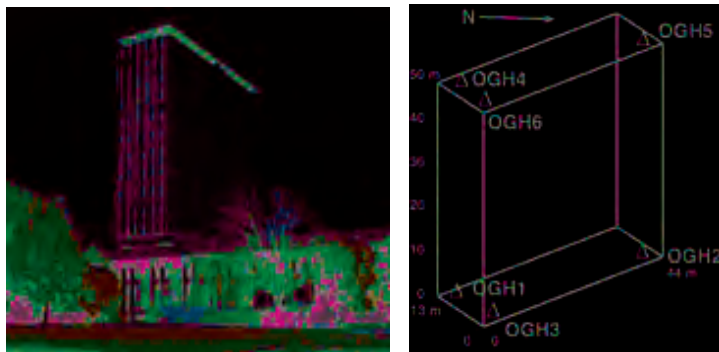


Figure 1: L'Hôtel de Ville de Grenoble et son réseau de station accélérométrique.

Le réseau de stations accélérométriques de l'Hôtel de Ville de Grenoble est composé de 6 systèmes d'acquisition MiniTitan 24 bits (Agecodagis) et de 6 accéléromètres 3C Episensor (Kinematics) reliés par un hub Ethernet qui permet le transfert des données à un ordinateur connecté à l'ADSL. Trois stations (OGH1, OGH2, OGH3) ont été placées au rez-de-chaussée du bâtiment et trois autres (OGH4, OGH5, OGH6) sur le toit (Fig. 1). Les composantes horizontales sont orientées dans les directions longitudinale (N) et transversale (E) de la structure. Les séismes sont extraits des enregistrements continus à l'aide de la liste fournie par le RéNaSS et les données sont disponibles au téléchargement sur la base de données du RAP.

En 2004 et 2005, le réseau a enregistré 9 séismes (Fig. 3) avec un bon rapport signal sur bruit dont les caractéristiques ont été étudiées en détail (Michel et Guéguen, 2007). Le plus fort a été le séisme de Vallorcine du 08/09/2005, ML=4.9 à 127 km du réseau. Il a généré des accélérations horizontales maximales de 2.3cm/s<sup>2</sup> au sol et 10.7cm/s<sup>2</sup> au toit. La déformation maximale moyenne a atteint 3.10<sup>-5</sup>, alors que le premier endommagement pour une telle structure serait atteint pour des valeurs de l'ordre de 2.10<sup>-3</sup> (FEMA, 2003).

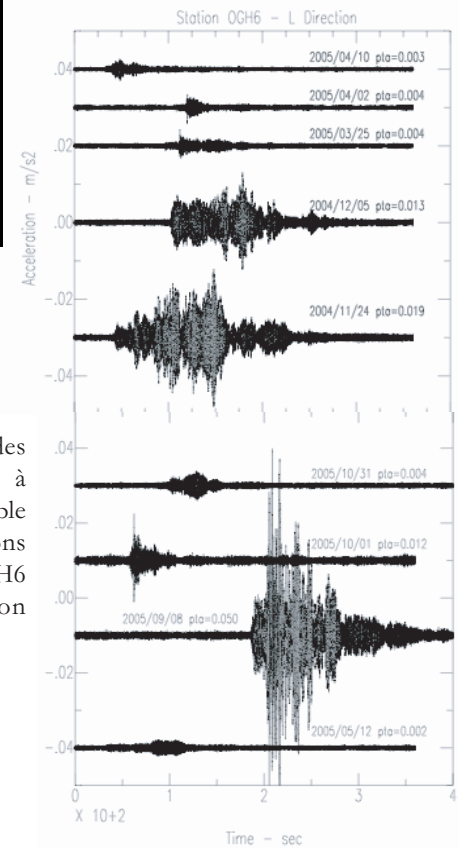
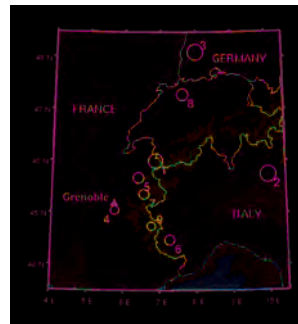


Figure 2: Localisation des événements enregistrés à l'Hôtel de Ville de Grenoble et exemple d'accélération observées à la station OGH6 dans la direction longitudinale.

## Tests sous vibrations ambiantes

Des enregistrements de vibrations ambiantes ont été réalisés à l'aide d'une station Cityshark II (Châtelain et al., 2000) qui permet l'enregistrement simultané de 6 capteurs, des sismomètres Lennartz 3D 5s. Au moins 2 points par étage ont ainsi été enregistrés. L'analyse modale a été réalisée par la méthode Frequency Domain Decomposition FDD (Brincker et al., 2001), une méthode fondée sur les corrélations permettant de séparer les modes très proches. Les trois premiers modes de la structure (premiers modes de flexion longitudinale, flexion transversale et torsion) ont été identifiés sans ambiguïté (Fig. 3a) entre 1 et 1.5 Hz, avec des amortissements de l'ordre de 1%. Des modes supérieurs peu nets ont également été mis en évidence.

## Modélisation simple

Un modèle 1D avec les masses concentrées au niveau des étages s'appuyant sur les paramètres modaux expérimentaux a été construit. Il permet le calcul de la réponse de la structure à un mouvement du sol donné à chaque étage et donc le calcul des déformations inter-étages. Il reproduit bien le mouvement

enregistré au sommet lors des 9 séismes étudiés, notamment celui de Vallorcine (Fig. 3b). Pour ce dernier, le calcul des déformations inter-étages montre que l'essentiel des déformations se concentre dans les étages situés au-dessus de la plate-forme, notamment dans la direction transversale pour ce séisme (Fig. 3c).

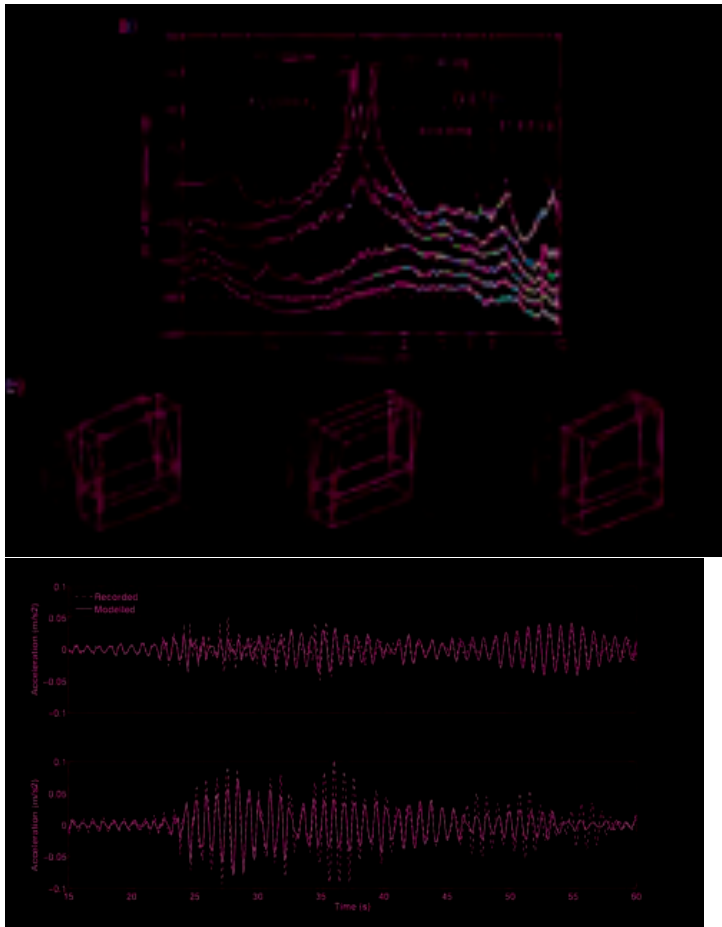


Figure 3: Analyse modale de l'Hôtel de Ville de Grenoble sous vibrations ambiantes, identification de ses modes de vibrations principaux et simulation du mouvement de la structure pour le séisme de Vallorcines du 08 septembre 2006.

### Evolution des fréquences propres

Le changement des fréquences propres selon l'amplitude de la sollicitation a été étudié pour les 9 séismes considérés par une modalisation autorégressive des fonctions de transfert entre le rez-de-chaussée et le toit. On constate une légère baisse des fréquences (3% sur deux ordres de grandeur de déformation) a tendance logarithmique. La différence d'environ 2% entre les valeurs sous séisme faible et sous vibrations ambiantes s'explique par la prise en compte de l'interaction sol-structure pour ce dernier cas.

### Analyse de vulnérabilité

Si on considère que le niveau de dommage " Léger " est atteint pour les valeurs données par la FEMA (2003), il est donc possible de déterminer la vulnérabilité de ce bâtiment aux séismes à partir du modèle issu des paramètres modaux (équation de Duhamel). La connaissance des paramètres modaux expérimentaux et de leurs variations en fonction de la sollicitation peut donc amener à déterminer leur vulnérabilité aux séismes. Les enregistrements disponibles actuellement à l'Hôtel de Ville de Grenoble restent cependant trop faibles

pour estimer son comportement sous grandes déformations. Cependant, une première série d'analyse selon deux méthodes (méthode 1 : à partir de séismes simulés à l'Hôtel de Ville par la méthode des fonctions Green empiriques, pour des magnitudes comprises entre 4 et 5.5 à 15km de Grenoble ; méthode 2 : en utilisant des spectres de réponse), montre la courbe de fragilité expérimentale de l'Hôtel de Ville de Grenoble, correspondant à sa probabilité de dépassement d'un niveau de dommage au moins léger (début de l'endommagement). La comparaison à la courbe HAZUS pour ce type de bâtiment est parfaitement cohérente (Fig. 4). On peut ainsi envisager de connaître le premier niveau d'endommagement pour des constructions auscultés par des méthodes basées sur l'utilisation des vibrations ambiantes.

### Références

Brincker, R., Zhang, L. and Andersen, P. (2001). Modal identification of output only systems using frequency domain decomposition, *Smart Materials and Structures*, 10, 441-445.

Chatelain, J.-L., Guéguen, P., Guillier, B., Fréchet, J., Bondoux, F., Sarraut, J., Sulpice, P. and Neuville, J.M. (2000). Cityshark: A user-friendly instrument dedicated to ambient noise (microtremor) recording for site and building response studies, *Seismological Research Letters*, 71, n°6, 698-703.

FEMA. HAZUS-MH MR1 Advanced Engineering Building Module. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2003.

Michel, C. 2007. Vulnérabilité sismique: de l'échelle du bâtiment à celle de la ville, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 181 pages.

Michel C., Guéguen P. " Full scale dynamic behaviour on an RC-building under low to moderate seismic motions: 1-year recordings in Grenoble City Hall (France) ", submitted to *Bull. Seis. Soc. Am.*

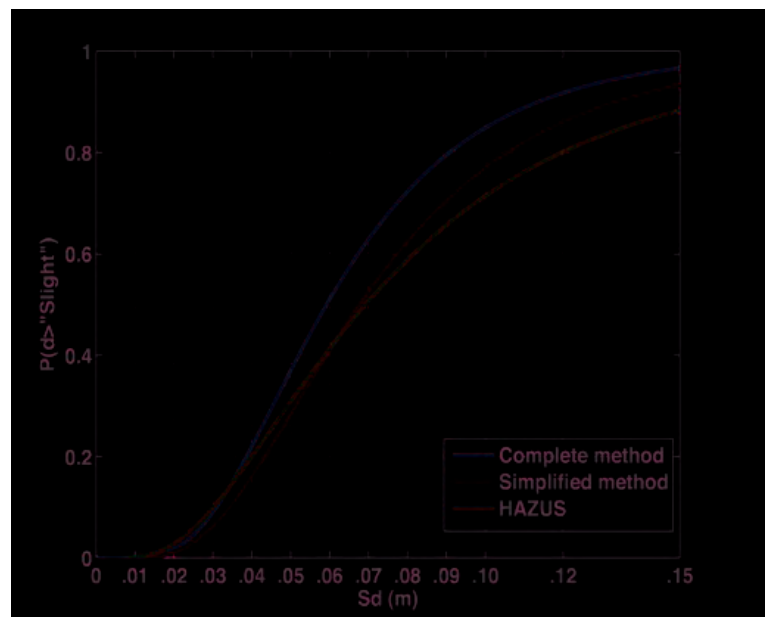


Figure 4: Courbe de fragilité de l'Hôtel de Ville de Grenoble pour le niveau de dommage "Léger" obtenu par la méthode Hazus et par les méthode 1 et 2 utilisant les propriétés dynamiques du bâtiment extraites des mesures de vibrations ambiantes.

# PRISE EN COMPTE DES EFFETS DE SITE GRÂCE À UNE FONCTION D'AMPLIFICATION SPECTRALE DÉFINIE PAR $V_{s0}$ ET $f_0$

Héloïse CADET  
LGIT/CETE

## Introduction

Devant le constat des dégâts en partie dus aux effets de site après les derniers séismes meurtriers, une meilleure estimation a priori de ces effets locaux apparaît indispensable pour mieux prévenir le risque sismique. Dans la réalité, les contraintes budgétaires pour ces risques à très longue période de retour font du développement de méthodes d'estimation peu onéreuses un objectif crucial. Caractériser de manière simple et aussi réaliste que possible les effets de site par rapport à un site au rocher est le but de cette étude. Pour cela des paramètres caractéristiques du site, mais aussi facilement mesurables de manière économique et pratique, sont choisis : la fréquence fondamentale  $f_0$  et la vitesse moyenne  $V_{sz}$  des ondes S sur les  $z$  premiers mètres,  $z$  entre 10 et 30.

L'idée est tout d'abord de coupler des informations tirées de l'analyse "H/V" des mesures de bruit de fond (fréquence fondamentale  $f_0$ ) et des mesures de vitesse d'onde de cisaillement, ou ondes S (obtenue par bruit de fond en réseau, MASW ou sismique classique), au minimum sur les 10 premiers mètres, pour caractériser les conditions de site. Ensuite, la deuxième étape consiste à établir des corrélations statistiques avec les fonctions d'amplification sur la base d'un grand nombre de données très bien étalonnées, disponibles grâce au réseau japonais Kik-net.

Dans cette synthèse, la caractérisation du site par les paramètres  $f_0$  et  $V_{sz}$  ne sera pas présentée (Cadet, 2007). L'objectif est de définir une fonction d'amplification permettant d'estimer un spectre de réponse d'un site particulier caractérisé par  $f_0$  et  $V_{sz}$  à partir d'un spectre de réponse au rocher. Le spectre spécifique au site prendra alors en compte les effets de site.

Des propositions ont été élaborées sur la base des données japonaise Kik-net (Figure 1) fournissant sur 622 sites un profil de vitesse des ondes de cisaillement et de compression, dont 548 avec des enregistrements en surface et en fond de forage.

## Caractérisation des sites

Pour estimer les vitesses moyennes  $V_{s05}$ ,  $V_{s10}$ ,  $V_{s20}$  et  $v_{s30}$ , nous disposons des mesures down-hole sur chaque site. La vitesse moyenne  $V_{sz}$  est l'épaisseur  $z$  divisée par le temps de parcours moyen sur  $z$  :  $V_{sz} = z / t(z)$

et

$$t(z) = \int_0^z \frac{dz}{V_s(z)}$$

Pour estimer la fréquence de résonance sur chaque site, le premier pic sur la courbe du rapport H/V séisme est pointé (Figure 2). Le rapport H/V est effectué sur l'ensemble des enregistrements en surface, avec une prise en compte d'un niveau maximal de bruit.

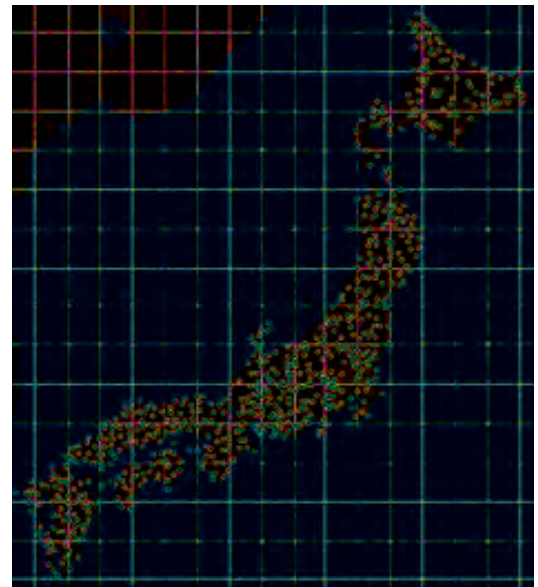


Figure 1: Carte de localisation des stations du réseau Kik-Net

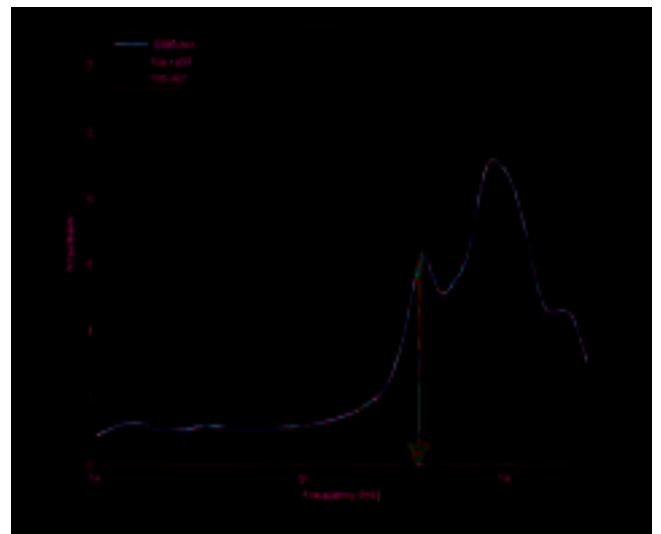


Figure 2. Exemple d'un rapport H/V séisme et du pointé de la fréquence fondamentale de résonance  $f_0$ .

## Estimation de la fonction d'amplification standard

Après avoir caractérisé chaque site par  $f_0$  et  $V_{sz}$ , on estime la fonction d'amplification de puits empirique par un rapport de spectres entre les enregistrements en surface et en profondeur (Figure 3).

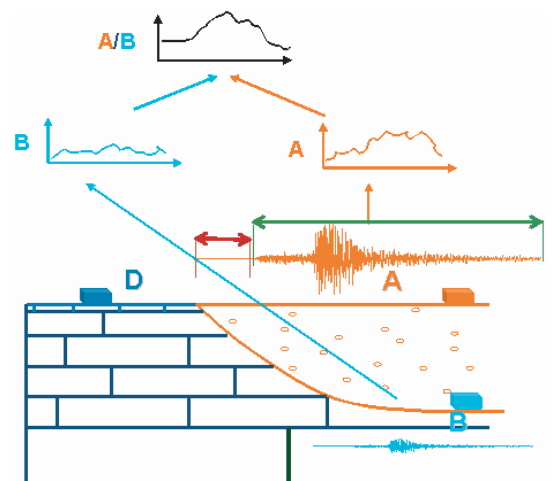


Figure 3. Calcul de la fonction d'amplification de puits

Ces fonctions sont normalisées vers un rocher de référence et corrigées de l'effet de profondeur pour se ramener à un rapport classique de spectres en surface site / rocher standard.

En effet un enregistrement en profondeur n'est pas équivalent à un enregistrement au rocher. Quelques couples de sites ont été sélectionnés de manière à avoir un site aux sédiments (A) avec un fond de forage au rocher (B) et un site au rocher (D) ayant des caractéristiques de vitesse équivalentes au rocher (B). Sur ces couples de site, un effet de profondeur qui amplifie la fonction d'amplification classique (site sur référence en surface) est visible à partir d'une fréquence proche de la première fréquence amplifiée de la couche de sol entre A et B (Figure 4). Un coefficient correcteur est proposé pour se ramener à un rapport classique en corrigeant l'effet de profondeur. Ce coefficient est égal à 1 en basse fréquence et passe progressivement de 1 à 2 autour de la fréquence destructrice. Les courbes corrigées sont visibles en noir sur la Figure 4.

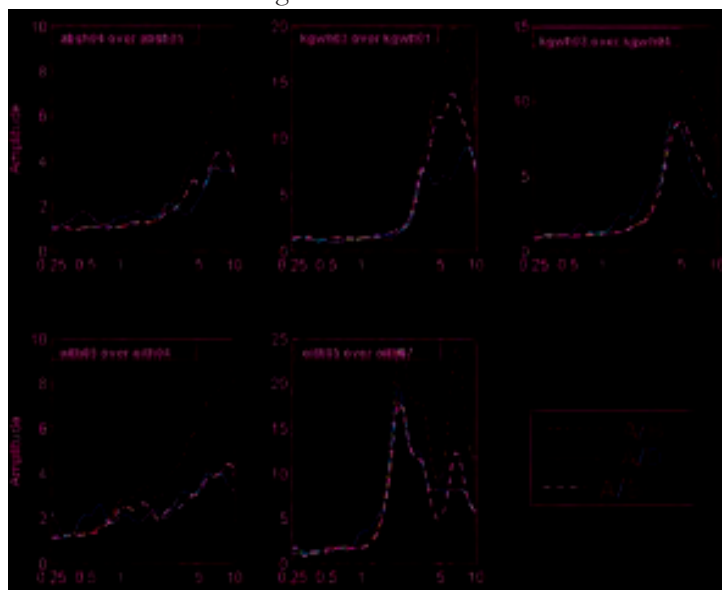


Figure 4: Exemples de l'effet de profondeur: en rouge pointillés rapport surface/profondeur, en bleu rapport surface/surface et en noir pointillé rapport A/B corrigé.

De plus la variation des caractéristiques de vitesse en fond de forage induit une variation de la fonction d'amplification (effet de contraste d'impédance). Cet effet d'impédance est corrigée en utilisant la méthode du quart de la longueur d'onde.

Les fonctions ainsi corrigées de l'effet de profondeur et normalisées vers un rocher standard sont comparables d'une part entre elles, et d'autre part à un rapport classique d'enregistrements en surface.

### Fonction correctrice des effets de site : étude statistique

Une analyse statistique permet alors, à partir de ces fonctions d'amplification empiriques entre une référence standard au rocher et un site, d'établir une fonction correctrice dépendant uniquement des deux paramètres  $f_0$  et  $V_{s10}$ . Cette fonction correctrice estime le spectre de réponse d'un site à partir du spectre de réponse au rocher avec plus de précision que les réglementations actuelles qui ont une vision nationale et non pas plus locale comme dans une étude de microzonage. Cette fonction est spécifique au site (Figure 6).

Le calcul des erreurs entre les fonctions empiriques normalisées corrigées et, d'une part la fonction correctrice ainsi établie, et d'autre part le rapport des spectres réglementaires des EC8 montre une nette amélioration de l'estimation des effets de site (Figure 7).

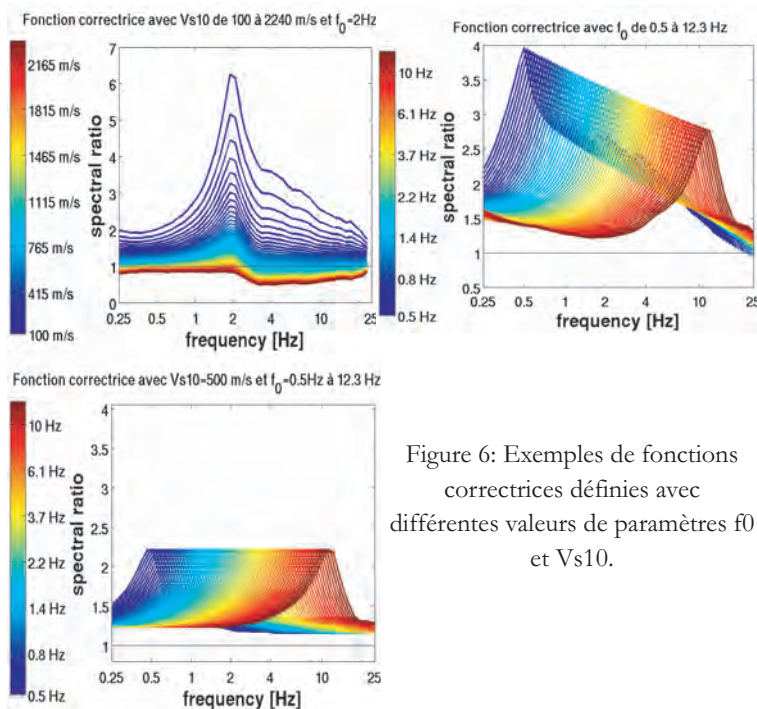


Figure 6: Exemples de fonctions correctrices définies avec différentes valeurs de paramètres  $f_0$  et  $V_{s10}$ .

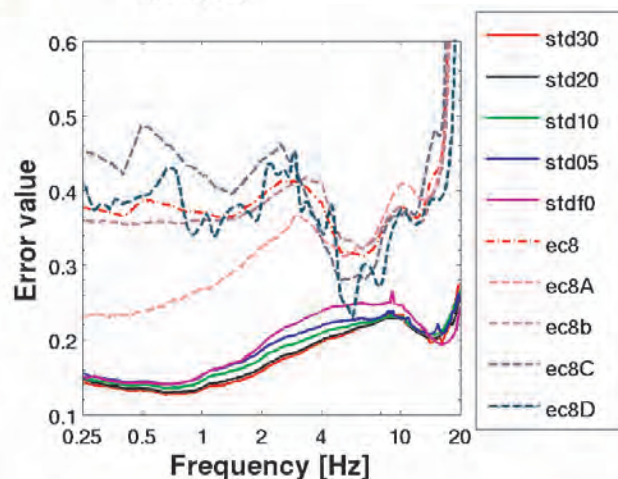


Figure 7: Erreur selon la fréquence entre les fonctions empiriques normalisées corrigées et, d'une part, les fonctions correctrices, et, d'autre part les rapports de spectres des EC8.

### Références:

Cadet, H. 2008. Utilisation combinée des méthodes basées sur le bruit de fond dans le cadre du zonage sismique, Thèse de doctorat Université Joseph Fourier, Grenoble, 193 pages.

### INFORMATIONS GENERALES

**Le séisme de Martinique du 29 novembre 2007, Mw 7.4.** Note d'informations RAP et des autres organismes sous <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr>, rubrique Nouveautés.

### Nouvelles installations

**RAP-OPGC:** une nouvelle station à Saint Flour (OCSF) termine le dispositif prévu dans le Massif Central.

**RAP-OMP:** Une station a été déplacée dans les Pyrénées pour améliorer les conditions d'enregistrement (PYPD)

## Passage des stations en continu

Dans le cadre des travaux réalisés par le groupe technique du RAP, des évolutions techniques ont été mises en place sur quelques sites. Ces évolutions doivent permettre à moindre coût de faire évoluer les stations RAP vers de l'enregistrement continu afin d'améliorer le suivi des stations et la qualité des données. Cette évolution permet également d'améliorer les moyens de communication et d'atteindre à terme la transmission temps-réel des données. Actuellement, trois dispositifs techniques sont en test sur une quinzaine de stations dans les Alpes et dans le Massif Central. Les évolutions seront présentées lors des journées du RAP qui auront lieu en 2008.

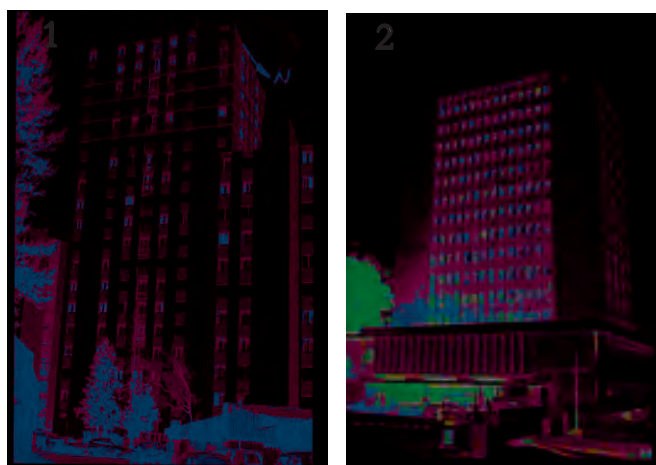
## La biennale du RAP - 4ème édition - 19-20-21 mai 2008.

Les journées du RAP, réunissant l'ensemble des partenaires et les représentants des tutelles, sont l'occasion de discuter des points scientifiques marquant du réseau et des aspects techniques liés aux stations d'enregistrement. C'est au cours de ces journées que des avancées ont été réalisées pour améliorer la qualité des données et que des points scientifiques ont été soulevés. Ces journées seront l'occasion de présenter les résultats des projets retenus dans l'Appel d'Offre 2007 et des avancées des groupes de travail mis en place par le RAP. Bien évidemment, une session spéciale concernera le séisme de Martinique du 29 novembre 2007. Informations et inscriptions :

<http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/JTSRAP2008.html>

## Instrumentation de bâtiments

Dans le cadre des nouvelles activités du RAP, un projet d'instrumentation de bâtiments a été décidé par le bureau du GIS-RAP, avec le soutien du MEDAD. Ces bâtiments doivent permettre de mieux comprendre la réponse dynamique des structures françaises, de proposer des méthodes d'évaluation de leurs propriétés dynamiques et à terme de proposer des méthodes d'évaluation de leur vulnérabilité. Plusieurs réseaux ont accepté de prendre en charge ces instrumentations, parfois en partenariat avec les collectivités locales. Les sites retenus sont un bâtiment à Lourdes (partenariat DDE et RAP-OMP, photo 1), à Nice (partenariat CETE et RAP-AZUR, photo 2), en Martinique (Conseil Général de la Martinique et RAP-IPGP).



Le schéma instrumental proposé devra dans tous les cas permettre d'identifier les modes de déformation des structures, la caractérisation de l'interaction sol-structure et l'identification de zones ayant un comportement particulier (défaut structural, irrégularité structurale en élévation...).

## Réunion des opérateurs des réseaux accélérométriques européens à Grenoble.

A la demande des coordinateurs du projet NERIES (<http://www.neries-eu.org>), une réunion réunissant les opérateurs des réseaux accélérométriques européens se tiendra à Grenoble les 10-11 mars 2008. Cette réunion doit initier la création d'une communauté accélérométrique en Europe, équivalente à celle des réseaux large-bande.

## Articles parus, thèses soutenues et rapports écrits ces six derniers mois utilisant les données du RAP

**Winter, T. et al. (2008).** Mission post-sismique aux Antilles: premiers enseignements sur le séisme du 29 novembre 2007, Rapport BRGM/RP-55070-FR, 99 pages.

**Guéguen, P., A. Souriau, C. Péquegnat, P. Dominique, P.-Y. Bard, M. Cara and M. Régnier (2007).** Le réseau Accélérométrique Permanent RAP: état des lieux en 2007. Actes du 7ème Colloque National AFPS, Paris, 04-06 juillet, papier 045.

**Péquegnat, C., P. Guéguen, D. Hatzfeld and M. Langlais (2008).** The French Accelerometric Network (RAP) and National Data Centre (RAP-NDC). SRL, 79(1), 79-89.

**Bengoubou-Valerius, M., S. Bazin, D. Bertil, F. Beauducel and A. Bosson (2008).** CDSA: a new seismological data center for the French Lesser Antilles. SRL, 79(1), 90-115.

**Courboux, F. et al. (2007).** Seismic hazard on the French Riviera: observations, interpretations and simulations. Geophysical Journal Int., 170(1), 387-400.

**Souriau, A. A. Roullé and C. Ponsolles (2007).** Site effects in the City of Lourdes, France, from H/V measurements: implications for seismic-risk evaluation. Bull. Seism. Soc. Am., 97(6), 2118-2136.

**Michel, C. (2008).** Vulnérabilité sismique: de l'échelle du bâtiment à celle de la ville. Thèse de doctorat Univ. Joseph Fourier, Grenoble, 181 pages.

**Cadet, H. (2008).** Utilisation combinée des méthodes basées sur le bruit de fond dans le cadre du zonage sismique. Thèse de doctorat Univ. Joseph Fourier, Grenoble, 193 pages.

## Conférences

First European strong motion workshop, Neries initiatives, Grenoble, 10-11 mars 2008. <http://www.emsc-csem.org>

14WCEE, 14ème congrès mondial de génie parasismique, 12-17 octobre 2008, Pékin, Chine <http://www.14wcee.org>

EGU, April 12-18 2008, Vienna, Austria. <http://meetings.copernicus.org/egu2008>.

## LA NOTE D'INFORMATION DU RAP

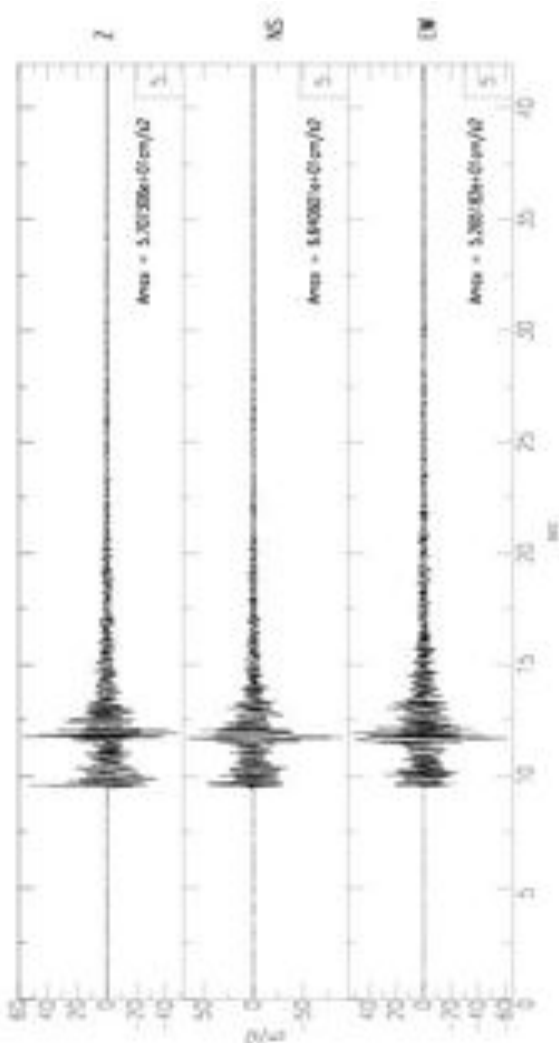
La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Il est destiné aux membres, aux tutelles et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet. Vous pouvez proposer une communication en contactant Philippe Guéguen [pguegu@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pguegu@obs.ujf-grenoble.fr).

## LA LETTRE D'INFORMATION DU RÉSEAU ACCÉLÉROMÉTRIQUE PERMANENT

### SOMMAIRE

Editorial	1
Groupe de travail Evolutions techniques	2
Analyse des signaux sismiques engendrés par les éboulements de terrain	4
Groupe de travail Magnitude de moment	6
Informations générales	11
La note d'information du RAP	12

### L'ENREGISTREMENT DU SEMESTRE



Enregistrement du séisme du 03 mai 2008 ( $M_L=4.0$  RéNaSS) au Sud-Est de Tarbes (65) enregistré à 6 km de l'épicentre par la station PYCA (RAP-BRGM). L'accélération maximale est de  $0.66\text{m/s}^2$  sur la composante NS.

### Editorial

Les journées du RAP se sont déroulées au mois de mars 2008, avec la participation d'un grand nombre de membres et de partenaires du réseau. Ces journées ont été riches en discussions et en présentations scientifiques, avec notamment le retour d'expérience du séisme de Martinique du 29 novembre 2008, certainement le plus fort séisme enregistré par les stations du RAP.

Outre les thèmes classiques du RAP qui sont à l'origine de l'essor du réseau, de nouvelles thématiques ont été abordées, telles que l'instrumentation de mouvement de terrain et de bâtiments qui sont soutenues par les tutelles du réseau. Les actions engagées par le bureau du GIS-RAP ces dernières années ont également permis de lancer des opérations particulières telles que l'instrumentation de sites pilotes (liquéfaction aux Antilles, effets de site à Bagnères de Bigorre) qui commencent à donner des résultats significatifs. L'appel d'offre 2007-2008 a favorisé l'émergence de travaux de recherche sur des thèmes couvrant l'aléa sismique depuis la source jusqu'aux effets de site. Les groupes de travail mis en place depuis quelques années ont également facilité l'interaction entre les opérateurs techniques des réseaux régionaux et le renforcement des liens entre les laboratoires et organismes gérant des stations RAP. Le groupe « Magnitude de moment » a abordé les différentes façons d'estimer la magnitude de moment des événements français, objectif énoncé lors des premières journées techniques et scientifiques du RAP qui eurent lieu en 2002.

On observe ainsi que l'activité du réseau ne décroît pas, grâce au renouvellement des actions et des thèmes scientifiques, et au soutien des tutelles du GIS-RAP. Tandis qu'une ré-organisation des services d'observation de l'INSU se met en place, le RAP, tout en intégrant ces mutations, doit pouvoir contribuer par son expérience et son organisation à la mise en place d'un réseau de surveillance sismologique de la France, tout en conservant sa spécificité scientifique et ses partenariats existants. Ce sera en particulier la mission du nouveau bureau qui sera mis en place à la fin de l'année 2008, avec le renouvellement de tous ces membres.

**Philippe Guéguen**  
Directeur du GIS-RAP



## 1. Introduction

Sous l'impulsion de la direction du RAP Central, nous avons animé depuis 18 mois un groupe technique. Les objectifs initialement déterminés étaient (1) de faire le bilan des développements existants et des perspectives techniques envisagées au sein des réseaux régionaux du RAP; (2) d'établir des fiches techniques en rapport avec la chaîne de mesure des stations du RAP (à savoir la communication, la configuration, l'interrogation) pour diffusion au niveau du site central du RAP; (3) d'évaluer les solutions possibles pour améliorer la qualité, la gestion des données collectées, en interrogeant les constructeurs et les réseaux accélérométriques internationaux; (4) d'être les correspondants techniques du bureau scientifique du RAP.

Début 2007, nous nous sommes réunis pour affiner les objectifs et définir un agenda. Au cours de cette journée, nous avons abordé les thèmes suivants :

- Transformation des stations déclenchées existantes (numériseur Titan 3 et Titan 3F) en station à acquisition continue : solution Mykerinos-T, solution PC sage, Solution TITacq...
- Nouvelle gamme de station proposée par le fournisseur actuel du RAP (Société AGECODAGIS);
- Installation des stations et en particulier protection contre la foudre et autres surtensions;
- Questionnaire destiné à l'ensemble des réseaux régionaux.

## 2. Bilan des objectifs

Le bilan des solutions existantes a été dressé en grande partie grâce au questionnaire technique. De cette enquête, il ressort qu'en 2007 la chaîne d'acquisition d'une station RAP classique est la suivante :

- Matériel : Capteur Episensor EST (il reste quelques CMG5), Numériseur Agecodagis T3/T3F – soft T602 (LTA/LTA0), Modem-Superviseur RTC ou GSM, Base de temps DCF ou GPS-titan, Alimentation batterie + chargeur secteur ou solaire.
- Logiciel : Système d'interrogation proposé par le site central (inter + scripts), Système propre aux réseaux régionaux (EOST, Géosciences...).

Hormis le remplacement des capteurs CMG5 Guralp par des Episensor EST Kinematics, le reste du matériel déployé au RAP n'a que très peu évolué depuis la création du réseau. Ce manque d'évolution est en partie représentatif de la fiabilité du matériel et de la qualité des données générées. Mais d'un autre côté, cette absence d'évolution pourrait provoquer l'obsolescence de notre réseau.

Le passage à un mode d'enregistrement continu est apparu au groupe technique comme l'évolution majeure à apporter au réseau pour maintenir son niveau de performance (au regard des réseaux Européens par exemple) et assurer par la même sa pérennité. Nous avons recherché et mis au point les solutions possibles pour opérer cette transformation. Nous avons toujours gardé à l'esprit trois critères d'orientation dans cette recherche : la performance, le coût et la simplicité de déploiement.

Nous avons abouti à 4 solutions que nous avons évaluées et validées. Les solutions PC Sage et TITacq qui restent utilisées mais ne sont plus maintenues ne représentent pas l'avenir et ne seront pas détaillées dans ce document. Restent deux solutions: la solution Mykerinos-T et la solution Kephren.

### Solution Mykerinos-T



Il s'agit d'un PC industriel distribué par la société Agecodagis permettant de transformer le numériseur de la gamme Titan (qui ne fonctionne qu'en mode déclenché) en un numériseur à enregistrement continu compatible avec les produits de la gamme Osiris. Le Mykerinos-T construit le flux de données continues en captant à la volée les données numérisées par le Titan via le port série. Cette solution au travers d'une interface TCP/IP donne accès aux protocoles désormais standard en sismologie HTTP, FTP et seedlink. La station ainsi composée (Mykerinos-T + Titan) est configurable à travers une page Web ou via le logiciel Oclient. Enfin, les données sont au format titan2 (gamme Osiris). Le logiciel rtitan2, équivalent de cvtit, assure la lecture/extraction/conversion des données titan2 et gère également le format titan première génération. Cette solution, très avantageuse tant par son coût que par

<sup>1</sup> LGIT - Grenoble

<sup>2</sup> OPGC – Clermont Ferrand

<sup>3</sup> Geoscience-Azur – Nice Sophia-Antipolis

sa facilité de mise en place, permet d'effectuer une modernisation partielle du parc en réutilisant les numériseurs Titan. Actuellement, 10 boîtiers Mykerinos sont opérationnels sur le réseau RAP. Ce nombre devrait être porté à 30 d'ici la fin de l'année 2008.

### Solution Station Kephren

La Kephren est la nouvelle génération de numériseur d'Agecodagis. Tout comme le Mykerinos-T, cette station fait partie de la gamme Osiris, elle offre donc les mêmes avantages en terme d'enregistrement continu et d'interface de communication. Cette station peut être commandée avec un nombre de voies de numérisation variable (3, 6, 12, ou 24). De plus, elle gère directement un récepteur GPS et offre ainsi la possibilité de corriger directement la dérive horaire de son horloge interne.



Cette station répond à nos besoins pour l'installation de nouveaux sites ou bien pour la jouvence du matériel sur des sites existants. Actuellement, une Kephren 24 voies est en exploitation sur le site de Belle-plaine (Le Gosier -Guadeloupe). Une Kephren 9 voies sera prochainement installée pour moderniser le site du forage de Montbonnot – Isère. Enfin, deux Kephren 24 voies sont prévues pour l'instrumentation des bâtiments en 2008 (Nice et Lourdes).

### **3. Solution pour la transmission des flux continus**

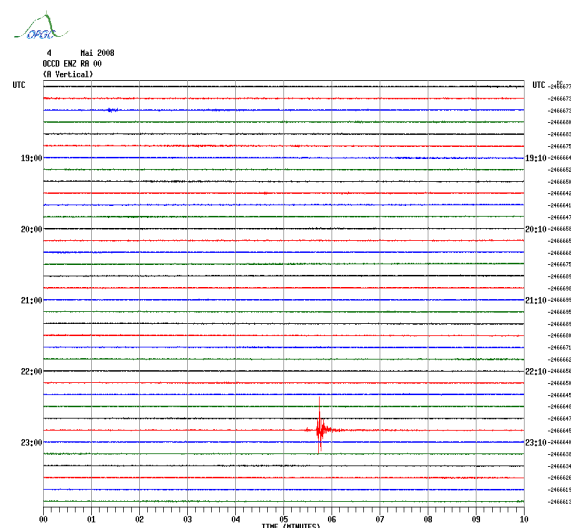
Le passage à l'enregistrement continu doit également correspondre à une modernisation des modes de transmission des données. Le groupe technique a recensé et évalué les différentes solutions existantes.

- Connexion Ethernet (sites publics, universités...): robuste et gratuit, dépendant des services informatiques des sites.
- ADSL, très large couverture en métropole (> 90% des sites alpins): bonne robustesse, environ 30€ HT/mois + abonnement, possibilité d'extension via relais wifi.
- Satellite : Solution COM-IP sous traité à Agecodagis – 3490€/an – (521k/128k), fonctionnement validé par Géoscience Azur depuis 1 an (débit montant effectif 108k).

### **4. Intégration des flux continus et extraction des données**

L'extraction des données utilise le logiciel rtitan2 et une liste d'événements (fenêtre de temps) qui interroge les données archivées par ftp sur un serveur local. Nous avons également évalué l'intégration des flux seedlink avec Seiscomp 2.5. Celle de Seiscomp 3.0 est en cours. Nous avons validé l'utilisation des flux seedlink vers Earthworm pour les sismogrammes et spectrogrammes journaliers (Fig. 1 et 2). Un exemple est accessible sur le web de l'OPGC: <http://www.obs.univ-bpclermont.fr/sismo/index.html> Les flux continus seedlink se visualisent avec EW+SWARM, Seiscomp3.0 ou Seisgram2k.

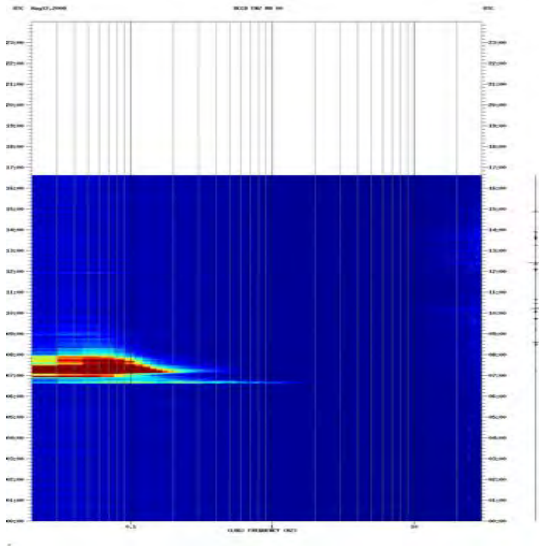
Actuellement, la maintenance et le suivi de l'état des stations se fait grâce à des scripts distribuant par mail une vue synthétique de l'état du réseau ainsi que des alertes en cas de dysfonctionnement important (absence de données, batterie faible ou absence de synchro temps). Pour ses produits, Agecodagis propose le logiciel OMNI (3000€) qui offre un suivi graphique des stations. Des alertes mail sont également générées. Ce logiciel est en cours d'évaluation.



**Figure 1:** Séisme du 04/05/2008 à 22h55 de magnitude 2,8 enregistré par OCCD.

D'autres produits permettent également de faire du monitoring de stations :

- le logiciel SeisNetWatch (multi constructeurs) distribué par ISTIL.
- le logiciel Nagios permet le suivi des connexions internet de nos stations.
- le contrôle de la qualité des données pourra être assuré avec des logiciels comme EW, PQLX, Geopsy ou des routines matlab.



**Figure 2:** Spectrogramme du séisme de Chine (Sichuan) du 12/05/2008 de magnitude 7.9, enregistré à OCCD, ainsi qu'une coupure de réseau à partir de 16h30.

## 5. Collecte et diffusion des informations techniques

Nous avons accueilli les nouveaux personnels techniques rattachés au RAP pour leur présenter le matériel, discuter de son fonctionnement (les former le cas échéant). Ces rencontres ont également permis d'aborder le transfert des données vers le site central, ainsi que la mise à jour de la base de données dataless avec l'outil in-BDsis.

Nous rappelons que les deux listes de diffusion dédiées au RAP ([rap-tech@ujf-grenoble.fr](mailto:rap-tech@ujf-grenoble.fr) et [isis@ujf-grenoble.fr](mailto:isis@ujf-grenoble.fr)) permettent d'échanger et de questionner les autres collègues membre du réseau. La première liste est orientée discussion technique, la seconde est plus générale. Ces deux listes ont permis de résoudre divers problèmes (ex : problèmes avec inter) et d'échanger des solutions techniques (ex : système de couplage capteur/sol).

Actuellement, nous travaillons sur la documentation pour la mise en place des nouveaux produits type Mykerinos/Kephren. Nous pensons mettre ces documents en ligne au travers d'un wiki que tous les abonnés pourrons enrichir de nouvelles informations.

## 6. Travaux en cours

Voici la liste des travaux qui seront développés prochainement:

- Gestion des flux continus (contrôle qualité, intégration, calcul paramètres, archivage, analyse automatique des signaux),
- Solution télécommunication (wifi, 3G+),
- Mise en place d'un wiki pour la centralisation et l'échange des informations techniques,
- PPP sur Kephren/Mykerinos via GSM/RTC.

## 7. Conclusion

Les travaux du Groupe Technique ont permis d'atteindre les objectifs suivants :

- Solutions pour le passage en continu validées.
- Solutions pour le rapatriement des données continues validées.
- Solutions pour l'intégration des flux continus en cours d'évaluation/validation

Nous voulons par ailleurs souligner la très forte participation à la session technique durant les Journées Techniques et Scientifiques du RAP 2008. Nous nous sommes tous accordés sur l'utilité de la mise en place d'une journée technique annuelle. Enfin, nous nous réjouissons qu'un ITA fasse partie du conseil du GIS-RAP dans les prochains statuts. Il pourra faire le lien entre les comités scientifiques et techniques.

### ANALYSE DES SIGNAUX SISMQUES ENGENDRÉS PAR LES ÉBOULEMENTS DE TERRAIN.

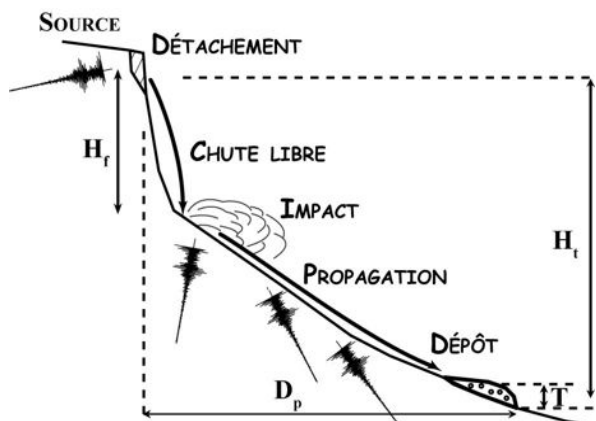
Jacques Deparis<sup>1</sup>, Denis Jongmans<sup>2</sup>, Fabrice Cotton<sup>2</sup>

## 1. Introduction

Les éboulements rocheux résultent d'un détachement de blocs à parti d'une paroi subverticale le long d'une surface de rupture en cisaillement (Cruden et Varnes, 1996). La masse descend par chute, rebond et / ou roulement avec un mouvement rapide. Après une chute libre représentant un dénivelé  $H_f$  (Fig. 1), la masse en mouvement se décompose et/ou rebondis en fonction des propriétés rhéologiques des matériaux (Giani, 1992) jusqu'à l'arrêt du mouvement. La gamme de volume des éboulements varie de quelques  $m^3$  à  $10^9 m^3$  (Corominas, 1996). La caractérisation des éboulements est traditionnellement basée sur une étude géomorphologique de terrain qui donne les principaux paramètres géométriques : hauteur totale de chute ( $H_t$ ), épaisseur des dépôts ( $T$ ) et distance de propagation ( $D_p$ ) (Figure 1). Une autre source d'information pour la caractérisation des éboulements provient des sismogrammes fournis par les réseaux sismologiques permanents, qui sont souvent les seules mesures dynamiques disponibles au cours de l'événement. Étonnamment, ces sources ont été très peu utilisées pour la caractérisation des éboulements. A notre connaissance, la première étude détaillée sur un glissement de terrain a été réalisée par Kanamori et Given (1982) et Kanamori et al (1984). Pour une analyse bibliographique plus détaillée, les lecteurs pourront se référer à Deparis (2007).

<sup>1</sup> GHYMAC, Université de Bordeaux 1

<sup>2</sup> LGIT, Grenoble



**Figure 1.** Schématisation des différents processus engendrés lors d'un éboulement de terrain

Dans cette étude, les sismogrammes engendrés par les éboulements de terrains seront étudiés afin d'identifier les sources sismiques dans les signaux et leur lien avec les différentes phases des éboulements (détachement, impact, laminage ...) en utilisant des réciproques de traitement du signal.

## 2. Présentation des signaux

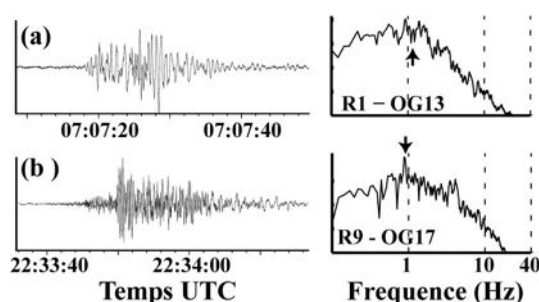
Les signaux étudiés (Fig. 2) font partie d'une étude présentée par Deparis et al. (2008). L'éboulement de La Palette (R1, Fig. 2a), de magnitude  $M_f$  égale à 1.5, s'est produit le 20 avril 1992 dans la partie haute d'une falaise de 250 m. La masse en mouvement, estimée à  $2.10^4 \text{ m}^3$ , a chuté d'une hauteur de 170 m pour continuer sa propagation le long d'une pente de marne de pendage variant de 30 à 50°. L'éboulement de Saint Antoine (R9, Fig. 2b), de magnitude  $M_f$  égale à 1.4, s'est produit le 8 juin 1999. La hauteur de chute est de 190 m pour une distance de propagation de 190 m. Pour ces deux événements, la fréquence coin ( $f_0$ ) du spectre de déplacement, indiquée par une flèche sur la figure 2, est proche de 1 Hz. Cette fréquence ne peut pas être utilisée car elle est biaisée par les capteurs utilisés, qui ont une fréquence de coupure de 1Hz.

## 3. Analyse des spectrogrammes et de la polarisation des ondes

Les enregistrements sismiques (Fig. 2) montrent des formes complexes avec une enveloppe irrégulière et plusieurs impulsions, probablement dues à l'existence de plusieurs sources.

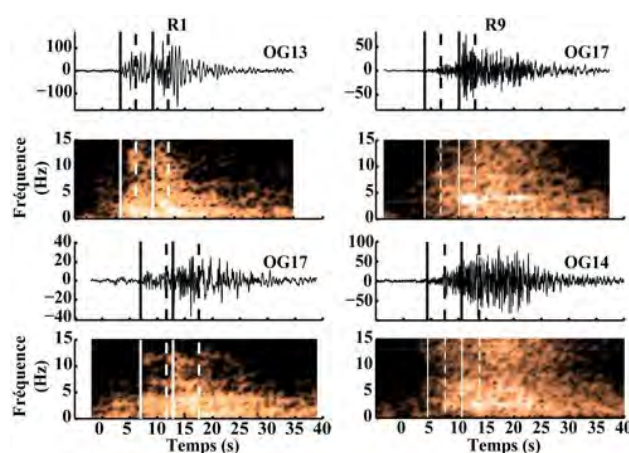
Pour l'événement le plus petit (R1), le sismogramme enregistré à la station OG13 et le spectrogramme correspondant montre clairement quatre sources sismiques: (1) les ondes P dues au rebond élastique provoqué par le détachement de la masse rocheuse à 3 s, (2) les ondes de surface correspondantes, qui sont plus

basse fréquence 3 secondes plus tard, (3) une phase plus haute fréquence (de 3 à 9 Hz) à 9 s et (4) des ondes plus basse fréquence arrivant 3 s plus tard.



**Figure 2.** Sismogrammes verticaux et spectres de déplacement de Fourier mesurés aux stations les plus proches. Les flèches indiquent la fréquence coin.

Pendant un événement (Fig. 1), les ondes sismiques sont générées pendant la rupture initiale, lors de l'impact de la masse rocheuse sur le sol et lors de sa propagation. Comme ces sources sont superficielles, l'énergie est radiée sous forme d'onde de volume et de surface. Nous avons donc tenté d'identifier les différentes phases sismiques à l'intérieur du sismogramme. La Fig. 3 montre le signal enregistré et le spectrogramme correspondant pour les deux événements et les deux stations les plus proches. Les spectrogrammes ont été calculés avec une fenêtre glissante de 2 s et un recouvrement de 80%.



**Figure 3.** Composante verticale (haut) et spectrogramme correspondant (bas). La première ligne continue montre les ondes P générées pendant la rupture initiale, et la seconde indique le temps théorique de l'impact calculé dans le contexte de chute libre. Les lignes pointillées montrent les ondes de surface correspondantes.

La différence de temps entre les arrivées haute fréquence (6s) correspond au temps de chute théorique de l'éboulement d'une hauteur  $D_f$ . Cette deuxième arrivée haute fréquence est donc provoquée par l'impact de la masse rocheuse sur le talus. Sur la même figure, les ondes de surface dont l'arrivée théorique est montrée en pointillé, correspond bien aux arrivées plus basse

fréquence observées sur le spectrogramme. Une analyse similaire a été effectuée sur 3 autres couples de sismogrammes et spectrogrammes pour les deux événements décrits, montrant des résultats similaires. Toutefois, le deuxième événement présente une allure plus complexe.

Une analyse de polarisation d'onde a été effectuée pour l'événement R9 (l'événement R1 ne possède pas d'enregistrement 3 composantes). La première phase sismique, due au rebond élastique, montre une polarisation d'onde de type P, comme la troisième phase étudiée qui est due à l'impact de la masse rocheuse sur le talus. La deuxième phase sismique montre une polarisation elliptique dans le plan Vertical – Radial, caractéristique des ondes de surface de type Rayleigh. Enfin la dernière phase sismique présente une polarisation tangentielle, caractéristique des ondes de Surface de type Love. En effet, le talus présente une pente supérieure à 50° au niveau de l'impact vertical, ce qui a induit des forces de type cisailant, qui génèrent des ondes de Love, particulièrement visibles à la station OG14 car cette dernière est perpendiculaire à la direction de propagation de l'éboulement. L'analyse de polarisation confirme donc notre interprétation initiale.

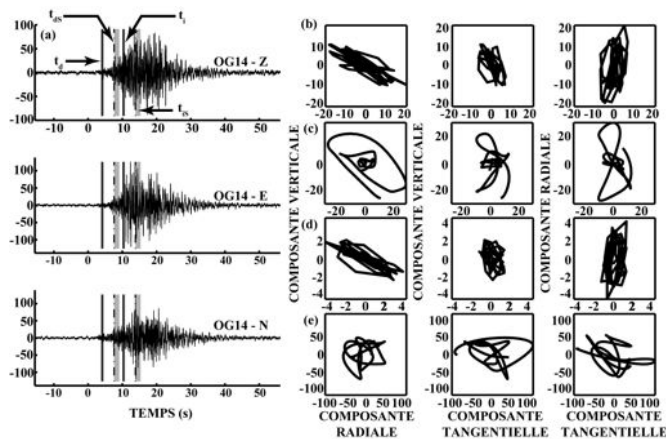


Figure 4. Analyse de polarisation effectuée sur une station 3 composantes pour l'événement R9 pour les différentes phases sismiques présentées sur la figure 3.

#### 4. Conclusion

Nous avons analysé deux sismogrammes enregistrés durant un éboulement dans les Alpes françaises dans le but d'obtenir des informations nouvelles sur le mécanisme des éboulements de terrain. Comme le réseau Sismalp est équipé de sismomètre courte période, il ne peut être conclu que la fréquence  $f_0$  est proche ou inférieure à 1 Hz. L'étude de vibration des particules montre la complexité du sismogramme, avec l'existence d'au moins deux trains d'onde de type P et de surface. Nous avons relié ces phases sismiques à deux sources distinctes : la rupture et le détachement du bloc de la falaise qui génère un rebond élastique d'une part, et l'impact après la chute d'autre part. La chute est un phénomène complexe qui pourrait inclure

d'autres processus (fragmentation de la masse, l'interaction avec la topographie). Afin de mieux caractériser la source des éboulements de terrain, il faudrait travailler sur des enregistrements effectués à l'aide de capteur large bande situé plus près de la source, pour limiter les effets de l'atténuation des ondes.

#### 5. Références

- Corominas, J. (1996). The angle of reach as a mobility index for small and large landslide. *Canadian Geotechnical Journal* **33**, 260-271.
- Cruden, D.M. et D.J. Varnes (1996). Landslide types and processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds), *Landslides : Investigation and Mitigation. Transportation Research Board, National Academy Press Washington, Special Report 247*, DC, 36-75.
- Deparis, J. (2007). *Etude des éboulements de terrain par méthodes géophysiques*. Thèse de l'université Joseph Fourier 248p.
- Deparis, J., D. Jongmans, F. Cotton, L. Baillet, F. Thouvenot et D. Hantz (2008). Analysis of rock-fall and rock-fall avalanche seismograms in the French Alps, *B.S.S.A* **98**.
- Giani, G.P. (1992), Rock slope stability analysis. *Balkema, Rotterdam*, 362p.
- Kanamori, H. et J.W. Given (1982). Analysis of Long-Period Seismic-Waves Excited by the May 18, (1980), Eruption of Mount St Helens - a Terrestrial Monopole. *Journal of Geophysical Research* **87**, 5422-5432.
- Kanamori, H., J.W. Given et T. Lay (1984). Analysis of Seismic Body Waves Excited by the Mount St-Helens Eruption of May 18, 1980. *Journal of Geophysical Research* **89**, 1856-1866.

#### GRUPE DE TRAVAIL : MAGNITUDE DE MOMENT

Bertrand Delouis<sup>1</sup>, Stéphane Drouet<sup>2</sup>, Michel Cara<sup>3</sup>, Stéphane Nechtschein<sup>4</sup>, Chloé Lesueur<sup>4</sup>, Matthieu Sylvander<sup>5</sup>, Annie Souriau<sup>5</sup>, Olivier Sèbe<sup>6</sup>, Audrey Tocheport<sup>5</sup>

#### 1. Introduction

La magnitude de moment, introduite par Kanamori en 1977, est une représentation logarithmique du moment sismique  $M_0$ , qui est lui-même proportionnel à la surface de faille rompue et à l'ampleur du glissement cosismique.  $M_w$  est une magnitude basée sur une théorie de la source

- 1 Geoscience-Azur – Université de Nice Sophia-Antipolis
- 2 Institute of Engineering Seismology & Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece
- 3 EOST, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Strasbourg
- 4 IRSN, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, Fontenay-aux-Roses
- 5 OMP, Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse
- 6 LDG, Laboratoire de détection géophysique, CEA/DASE, Bruyères-le-Chatel

sismique qui rend le mieux compte de l'importance des séismes. Les autres catégories de magnitude classiquement employées ( $M_L$ , la magnitude locale;  $m_b$ , la magnitude ondes de volume;  $M_s$ , la magnitude ondes de surface), toutes fonction logarithmique de l'amplitude maximale des ondes mesurée sur les sismogrammes, ont une base empirique et ont tendance à saturer pour les forts séismes. De plus, ces magnitudes classiques requièrent l'ajustement de constantes de calibration et montrent fréquemment des divergences importantes dans les valeurs de magnitudes déterminées par différents centres sismologiques pour un même événement.

La magnitude de moment  $M_w$ , qui ne sature pas, et qui est directement fonction des paramètres physiques de la rupture sismique, a tendance à devenir la magnitude de référence pour les études sur la source des séismes ainsi que pour l'établissement des catalogues de sismicité instrumentale et historique. Elle fournit des valeurs de magnitude plus homogènes d'un institut à l'autre, et permet la construction de relations fréquence – magnitude des séismes (relations de Gutenberg – Richter) plus fiables pour l'évaluation de l'aléa sismique.

Le moment sismique, nécessaire au calcul de la magnitude de moment, est généralement obtenu de deux façons: par le calcul du spectre des ondes de volume P ou S, ou bien par inversion des formes d'ondes. Cette dernière approche fournit généralement une information plus complète sur les séismes, avec notamment le mécanisme au foyer ou le tenseur des moments sismiques, mais elle est plus lourde à mettre en œuvre. Le groupe de travail sur  $M_w$  s'est principalement concentré sur l'approche spectrale qui permet des déterminations systématiques et rapides du moment sismique. Toutefois, des inversions de formes d'ondes ont également été conduites sur certains événements. L'un des principaux objectifs de ce groupe de travail est d'évaluer les possibilités d'obtenir des valeurs fiables et robustes de  $M_w$  à partir des données du RAP, avec la mise en œuvre d'approches différentes. Nous présentons brièvement les méthodes utilisées ainsi qu'une comparaison des résultats obtenus pour une série d'événements récents bien enregistrés par le RAP (Tab. 1). Enfin, nous présentons un exemple d'utilisation des valeurs de  $M_w$  pour le recalage de la magnitude des événements historiques.

## 2. Déterminations de $M_w$ à partir des spectres

Nous décrivons brièvement ci-dessous les approches suivies pour la détermination du moment sismique à partir du spectre en utilisant le modèle de Brune (1970). L'amplitude spectrale du déplacement du sol de l'onde P ou S peut être décrite par la relation suivante:

$$\text{Spectre}(f) = \Omega_0 \cdot 1 / (1 + f^2 / f_c^2) \cdot e^{-\pi f t / Q} \cdot \text{Site}(f), \quad (1)$$

où  $f$  est la fréquence et  $f_c$  la fréquence coin. En

représentation log-log ce modèle est caractérisé par un plateau à basse fréquence, suivi par une décroissance en  $f^{-2}$  au delà de  $f_c$ . Les termes d'atténuation anélastique ( $e^{-\pi f t / Q}$ ) et d'effet de site ( $\text{Site}(f)$ ), tous deux dépendants de la fréquence, modifient cette forme simple.

Séisme	Lat. Long. Prof.	$M_w$ RAP SN & CL	$M_w$ RAP SD	$M_w$ RAP BD	$M_w$ Par inversion automatisée du tenseur des moments sismiques
Aucun-Estaing, 16/05/2002 Pyrénées	42.93° -0.14° 10 km		4.2	4.0	3.9 ETHZ
Rambervillers 22/02/2003, Vosges	48.32° 6.67° 11 km	5.0	4.6	4.7	4.8, 4.8, 5.0 ETHZ, INGV, GCMT
Roulans-Besançon (Rigney) 23/02/2004,	47.30° 6.28° 15 km	5.0	4.2	4.5	4.5 ETHZ
Waldkirch (Colmar) 05/12/2004	48.08° 8.03° 12 km	4.5	4.2	4.4	4.5 ETHZ
Vallorcine 08/09/2005	46.03° 6.88° 7 km	4.4	4.6	4.5	4.5, 4.4, 4.6 ETHZ, INGV, GCMT
Martinique 30/08/2005 (prof. 49 km)	15.01° -60.47° 49 km	4.8		4.8	4.9 GCMT
Lourdes (Argeles-Gazost) 17/11/2006, Pyrénées	43.03° 0.01° 9 km		4.7	4.5	4.5 IGN (Madrid)

**Table 1.** Evénements ayant fait l'objet de multiples déterminations de  $M_w$  de la part du groupe de travail à partir des données du RAP. SN & CL: Stéphane Nechtschein et Chloé Lesueur; SD: Stéphane Drouet; BD: Bertrand Delouis. Pour comparaison, les valeurs de  $M_w$  diffusées par d'autres organismes basées sur des inversions du tenseur des moments sismiques à partir de données large bande régionales sont données en dernière colonne.

Pour le terme d'atténuation,  $t$  représente le temps de parcours de l'onde et  $Q$  le facteur de qualité, lui-même potentiellement dépendant de la fréquence. Le terme  $\Omega_0$  représente l'amplitude spectrale à basse fréquence (la valeur plateau):

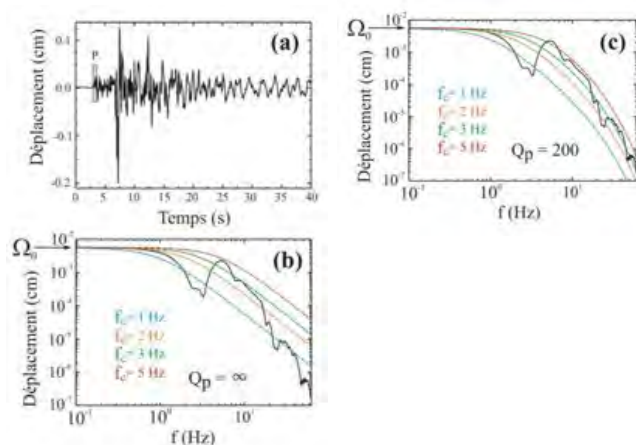
$$\Omega_0 = M_0 \cdot R^{P \text{ ou } S} \cdot \text{Surf} \cdot \text{Propa} / 4\pi\rho c^3 r \quad (2)$$

où  $M_0$  est le moment sismique,  $R^{P \text{ ou } S}$  le facteur de radiation des ondes P ou S (fonction du mécanisme au foyer et de la direction du rai sismique à la source),  $\rho$  la densité,  $c$  la vitesse de propagation de l'onde,  $r$  la distance parcourue par l'onde, Propa un terme de correction pour la propagation des ondes si celle-ci diffère d'un simple trajet dans un demi-espace homogène, Surf un terme d'amplification liée à la présence de la surface libre. La magnitude de moment est obtenue par la relation:

$$M_w = (2/3) \log M_0 - 6.0 \quad (3)$$

où  $M_0$  est exprimée en N.m. (Kanamori,1977).

Il s'agit là du spectre en champ lointain, défini dans la mesure où seules les ondes P et S sont utilisées. Dans la pratique, une fenêtre de quelques secondes de signal démarrant avec la première onde P ou S est sélectionnée, éventuellement apodisée, puis complétée par des zéros avant d'effectuer une transformée de Fourier numérique rapide (FFT). La valeur plateau  $\Omega_0$  du spectre et la fréquence coin peuvent alors être obtenues par ajustement de la fonction  $(\Omega_0/(1+f^2/f_c^2))$ . La Figure 1 illustre la démarche. En (b) l'atténuation n'est pas prise en compte et la fonction ne permet pas un ajustement correct de la pente du spectre vers les hautes fréquences. En (c), l'utilisation du terme d'atténuation anélastique ( $e^{-\pi f t/Q}$ ) avec un facteur de qualité égal à 200 montre un bien meilleur ajustement pour une fréquence coin de 3 Hz. Notons que tout ce qui est décrit ci-dessus en déplacement peut être exprimé en accélération en multipliant l'expression de Spectre (f) par  $(2\pi f)^2$ .



**Figure 1.** Exemple d'ajustement d'une fonction de type spectre de Brune à un enregistrement du RAP. (a) Enregistrement du séisme au large de Nice du 25 Février 2001 ( $M_w=4.5$ ) à la station NBOR située à 24 km de l'épicentre, intégré en déplacement. La fenêtre temporelle pour le calcul du spectre de l'onde P est indiquée en bleu. (b) Spectre(f) de l'onde P en déplacement (noir). Les courbes en couleur sont des fonctions  $\Omega_0/(1+f^2/f_c^2)$  pour différentes valeurs de la fréquence coin  $f_c$  (1, 2, 3, et 5 Hz). La valeur de  $\Omega_0$  est  $5.7 \times 10^{-3}$  cm dans chaque cas. L'atténuation anélastique n'est pas prise en compte, ce qui revient à considérer un facteur de qualité infini. (c) Idem (b) mais avec prise en compte du terme d'atténuation anélastique ( $e^{-\pi f t/Q_p}$ ) avec  $Q_p = 200$ . L'effet de site n'est pas pris en compte dans cet exemple.

Après avoir appliqué cette approche aux données du réseau de la Durance (magnitudes  $< 2.7$ ) et aux données du LDG pour les séismes métropolitains (rapports IRSN DEI/SARG n° 03-01, 2003 et DEI/SARG/2006-015, 2006), S. Nechtschein, avec la contribution de C. Lesueur, l'a étendue aux données du RAP pour les événements sélectionnés par le groupe. L'approche suivie est de modéliser le spectre à l'aide des relations (1) et (2), avec comme variable d'ajustement le moment sismique, la fréquence coin, et le facteur de qualité. L'effet de site est négligé et le facteur de radiation est supposé égal à sa

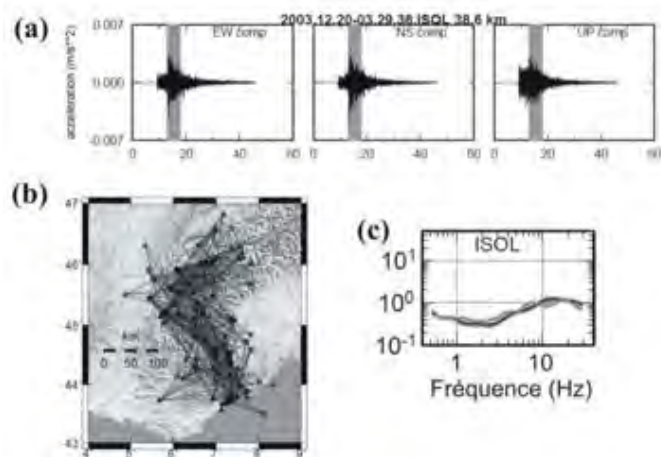
valeur moyenne sur la sphère focale, c'est-à-dire 0.52 pour les ondes P et 0.63 pour les ondes S. Un modèle de vitesse comportant deux couches pour la croûte et un demi-espace pour le manteau est utilisé, et le terme de propagation (Propa) correspond aux coefficients de transmission au niveau des interfaces. L'analyse spectrale est conduite en déplacement dans la bande de fréquence 0.1 à 20 Hz. La durée de la fenêtre temporelle sélectionnée pour les ondes P ou S est choisie de façon à obtenir un spectre bien stabilisé, elle est de l'ordre de quelques secondes.

Une démarche d'inversion a été développée par Stéphane Drouet (2006, 2008) de façon à déterminer les paramètres du spectre en champ lointain à l'aide de nombreux trajets sources – stations. Les paramètres inversés sont  $M_0$ ,  $f_c$ ,  $Q$ , Propa, et Site (f) des relations (1) et (2) ci-dessus.

Les inversions ont été conduites pour les sous réseaux RAP des Pyrénées, des Alpes, et du Fossé Rhénan. La prise en compte de la propagation n'est pas évaluée à l'aide d'un modèle de vitesse mais le terme  $1/r$  est remplacé par  $1/r^\gamma$ , où  $\gamma$  est une constante pouvant varier entre 0.5 et 1.5. Ceci permet de rendre compte d'une atténuation par expansion géométrique qui pourrait différer du cas  $\gamma=1$  correspondant à un milieu homogène. L'analyse spectrale est conduite en accélération dans la bande de fréquence 0.5 à 30 Hz. La fenêtre temporelle pour les ondes S est de 5 secondes. La Figure 2 montre en (a) un exemple de signaux et de fenêtres temporelles utilisées, en (b) les trajets sources-stations disponibles pour les Alpes, en (c) la réponse de site obtenue pour une des stations alpines (ISOL). Cette réponse est caractérisée par une amplification qui varie en fonction de la fréquence, avec des valeurs plus fortes au-delà de 5 Hz. Les valeurs de magnitude de moment déterminées par S. Drouet pour les événements de la Table 1 tiennent compte des valeurs du facteur de qualité et d'effets de site obtenus par inversion. La bonne cohérence des valeurs de  $M_w$  obtenues avec celles déterminées par l'ETH Zurich est montrée en Figure 3a.

Un autre exemple d'application de la méthode des spectres des ondes de volume peut être trouvé dans l'analyse de la séquence du séisme pyrénéen de Lourdes (Novembre 2005,  $M_w$  4.5) pour la détermination des magnitudes de moment des répliques (Sylvander et al., 2008).

Tout ce qui a été présenté précédemment requiert de se placer dans les conditions du champ lointain, c'est-à-dire de sélectionner des stations situées à des distances égales à plusieurs fois la dimension de la source, ce qui n'est pas un problème pour les séismes faibles à modérés.

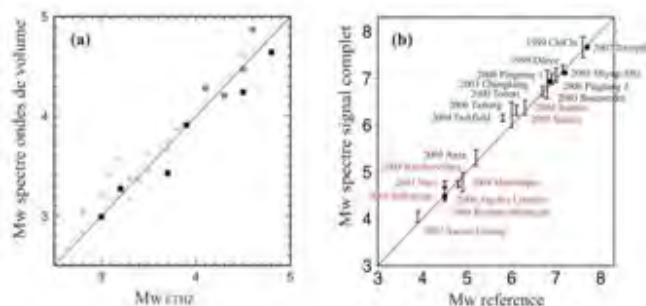


**Figure 2.** (a) Exemple de sismogrammes (accélération) d'un séisme du 20 décembre 2003 (04h30,  $M_w = 3.4$ ) avec la fenêtre utilisée pour le calcul du spectre des ondes S (station ISOL). (b) Localisation des séismes (étoiles), des stations (triangles), et des trajets (lignes) utilisés par S. Drouet dans son inversion pour les Alpes. (c) Réponse du site horizontale (noir) et verticale (gris) pour la station ISOL. Extrait de Drouet et al. (2008).

A proximité de la source, d'autres ondes, dites de champs proche et intermédiaire, peuvent affecter le spectre et compliquer l'analyse. En particulier, la relation (2) devient beaucoup plus complexe à proximité de la source, car le sismogramme résulte alors du mélange de différents types d'ondes ayant des vitesses, des facteurs de radiation, et des facteurs d'expansion géométriques différents.

Dans le cas d'une rupture assez étendue, des ondes S émises au début du séisme peuvent arriver en même temps, ou même avant les ondes P générées par la partie plus tardive de la rupture, ce qui rend impossible la définition d'une fenêtre temporelle propre à l'onde P ou à l'onde S. Pour étendre la méthode spectrale au domaine proche de la source, nous avons développé une nouvelle approche dite du "spectre complet" (Delouis et al., 2008). Des sismogrammes synthétiques contenant tous les termes en champs proche, intermédiaire et lointain sont calculés pour des sources étendues, des magnitudes de moment variant entre 2 et 8, différents mécanismes au foyer, et des distances épacentrales variant de 1 à 100 km. Le spectre de ces signaux est ensuite calculé en utilisant une fenêtre temporelle de 80s démarrant avec la première onde P et contenant l'ensemble des ondes émises par la rupture. Les valeurs plateaux des spectres synthétiques à basse fréquence sont alors récupérées et moyennées sur les différents mécanismes au foyer. Une fois toutes ces valeurs tabulées, les spectres des signaux "réels" enregistrés sont calculés pour une même longueur de signal de 80s. Finalement, en comparant les valeurs plateaux des spectres réels et synthétiques, nous obtenons la magnitude de moment des séismes par interpolation. Un filtre passe haut optimisé est appliqué avant calcul des spectres de façon à s'affranchir du problème de bruit basse fréquence associé notamment au décalage de la ligne de base affectant les enregistrements accélérométriques. La méthode a été

validée pour des séismes de magnitude comprise entre 3.5 et 7.6 enregistrés par différents réseaux accélérométriques, et en particulier pour les événements récents de la base de données du RAP (Figure 3b).



**Figure 3.** Comparaison des magnitudes de moment obtenues à partir des spectres avec celles déterminées par des inversions de la source. (a) En ordonnée  $M_w$  obtenue à partir du spectre des ondes de volume (S) avec les données RAP métropolitaines (triangles: Alpes; ronds: Pyrénées; carrés: Fossé Rhéna). La magnitude  $M_w$  en abscisse est celle déterminée par l'ETH Zurich par inversion du tenseur des moments sismiques. Figure modifiée d'après Drouet et al. (2008). (b) En ordonnée la magnitude obtenue à partir du spectre du signal complet en champ proche, avec les données du RAP en rouge et celles d'autres réseaux dans diverses zones sismiques du globe en noir (Taiwan, Japon, Turquie, Algérie, Chili, Californie). En abscisse,  $M_w$  déterminée par des inversions de la source (ETH Zurich, INGV Roma, IGN Madrid, GCMT et études spécifiques publiées). D'après Delouis et al. (2008).

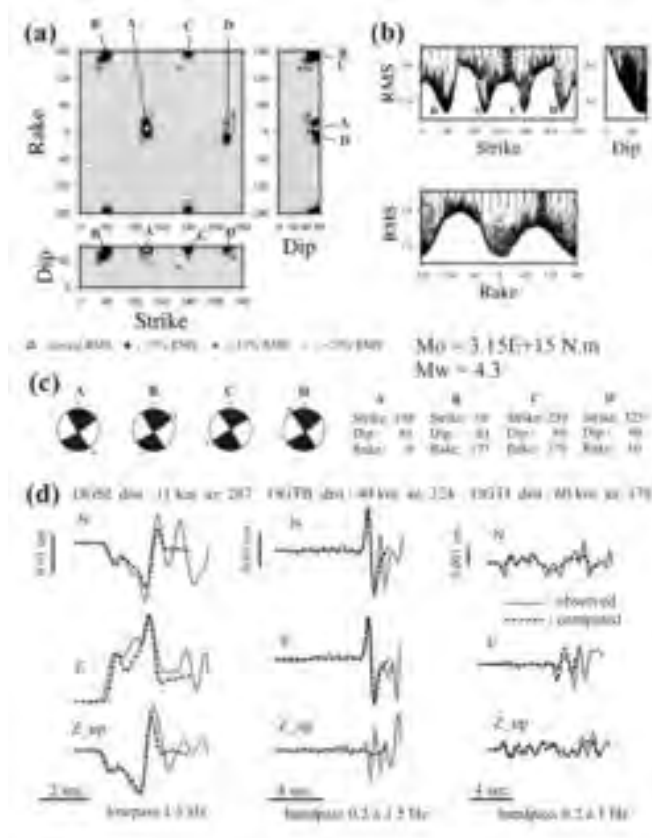
La table 1 montre la bonne cohérence des valeurs de  $M_w$  obtenues par les différentes méthodes spectrales. Seul le séisme de Roulans – Besançon montre un écart important ( $M_w$  4.2 à 5.0) et le groupe de travail reviendra sur l'analyse de cet événement pour en trouver l'origine.

### 3. Déterminations de $M_w$ à partir de la modélisation des formes d'ondes

Nous présentons en Figure 4 un exemple d'inversion des formes d'ondes réalisée pour le séisme de Vallorcine (proche de Chamonix) du 08/09/05. Dans ce cas, trois stations du RAP (OGSI, OGTB, OGTI) ont été suffisantes pour bien contraindre le mécanisme au foyer du séisme ainsi que son moment sismique. De nombreux autres séismes du territoire métropolitain ou de la région Guadeloupe – Martinique ont pu ainsi être modélisés de cette façon, démontrant la qualité des formes d'ondes issues des enregistrements du RAP. Certaines de ces études sont consultables sur la page web du laboratoire Géosciences Azur (<http://www-geoazur.unice.fr/SEISME/index.htm>) et sur celle de l'Observatoire Midi-Pyrénées (<http://w3.dtp.obs-mip.fr/obs/rap.htm>). La magnitude de moment trouvée pour le séisme de Vallorcine (Figure 4,  $M_w$  4.3) est légèrement inférieure aux autres déterminations (Table 1), mais en général les magnitudes de moment par inversion



des formes d'ondes et par analyse des spectres coïncident bien avec des différences inférieures ou égales à 0.2 degrés de magnitude.



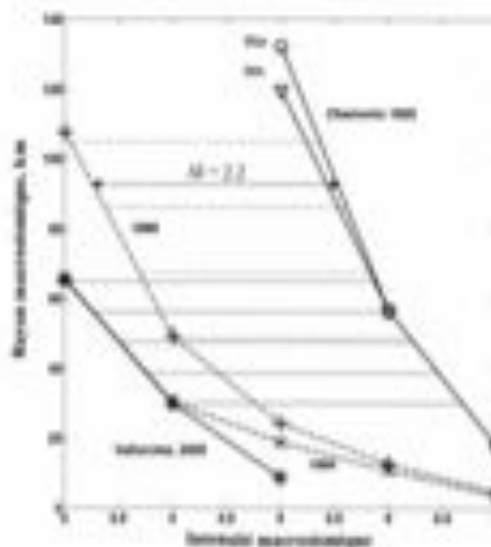
**Figure 4.** Inversion des formes d'ondes pour le séisme de Vallorcine du 8 septembre 2005 (11h27 UTC) à la frontière franco-suisse (46.03N, 6.9E, Prof. 7km, ReNaSS / SED). Inversion point source avec trois stations RAP proches (OGSI, OGTB, OGTT). (a) Meilleures solutions trouvées par exploration de l'espace des paramètres du mécanisme au foyer (strike, dip, rake), représentées dans les plans strike-rake, strike-dip et dip-rake. (b) Erreur RMS d'ajustement des formes d'ondes en fonction des valeurs des trois paramètres strike, dip, rake. (c) Solutions trouvées pour le mécanisme au foyer. Les quatre triplets (strike, dip, rake) trouvés (A, B, C, D) correspondent au même mécanisme; ce dernier est donc bien contraint. (d) Ajustement des formes d'ondes en déplacement. Le filtrage utilisé est indiqué.

#### 4. $M_w$ et données macrosismiques

L'estimation de la magnitude des séismes historiques du territoire français est basée sur leurs intensités macrosismiques. En supposant ces intensités correctement estimées, le principal problème est de tenir compte des effets d'atténuation avec la distance au foyer.

Une très grosse incertitude est en particulier liée à la profondeur du foyer lorsque l'on utilise les intensités de la zone épiscopale. Pour s'affranchir de ces problèmes, une approche robuste consiste à travailler suffisamment loin de l'épicentre par comparaison entre les intensités du séisme historique étudié et celles d'un séisme récent de caractéristiques instrumentales connues et dont l'épicentre est proche de l'épicentre du séisme historique. On peut de

cette façon comparer les intensités aux mêmes sites et à distances focales semblables et s'affranchir des problèmes d'atténuation. Cette méthode a été proposée pour la paire Rambervillers 2003 – Remiremont 1682 (Cara et al. 2005). Elle a été testée ensuite sur plusieurs séismes (Cara et al. 2008). Les sources d'incertitude principales sont dans le facteur de proportionnalité entre les écarts d'intensité  $\Delta I$  et de magnitude  $\Delta M$  des éléments de la paire. Une limitation est par ailleurs la plage de magnitudes considérée. La relation entre écarts d'intensités et de magnitudes n'est en effet linéaire que pour des intensités relativement faibles ( $I < VII$ ) et à condition que les écarts entre les magnitudes du séisme historique et de référence ne soient pas trop grands. Pour la France métropolitaine, nous considérons que la méthode s'applique pour des écarts de magnitude  $\Delta M$  d'environ 2 (e.g. 4.5-6.5).



**Figure 5.** Rayon macrosismique R en fonction de l'intensité I pour 3 paires de séismes constituées d'une part de celui de Chamonix de 1905 (deux estimations Min et Max pour R) et d'autre part de l'un des 3 séismes récents de référence (Vallorcine (2005), Grand Bornand (1994) et Epagny-Anancy (1996)). L'écart  $\Delta I$  propre à chaque paire est estimé pour plusieurs valeurs de R indiquées par les traits horizontaux (exemple  $\Delta I=2.2$ ). L'écart  $\Delta I$  moyen de chaque paire est converti en écart de magnitude  $\Delta M$  qui, ajouté à la magnitude  $M_w$  du séisme de référence, permet d'obtenir une valeur  $M_w$  du séisme de 1905. La magnitude moyenne du séisme de Chamonix de 1905 estimée à partir des 3 paires est  $M_w=5.6 \pm 0.1$ .

Une illustration de cette approche est présentée Fig. 5 pour le séisme du 29 avril 1905 à Chamonix (noté « Emosson » dans la base de donnée SisFrance). Les valeurs de magnitude publiées pour ce séisme, basées soit sur les données macrosismiques soit sur les données instrumentales de l'époque, vont de 5.1  $M_w$  (Bernardini et al., 2005) à 6 Ms (Camassi et al., 1997). Une paire intéressante peut être formée avec le séisme de Vallorcine de 2005 de magnitude 4.5  $M_w$  (cf. table 1) et dont l'épicentre est à moins de 10km de l'épicentre macrosismique du séisme de 1905. D'autres paires peuvent

être constituées avec des séismes récents situés à moins de 80km de l'épicentre macrosismique de 1905 (Annecy-Epagny 1996, 4.6  $M_w$ ; Grand Bornand 1994, 4.3  $M_w$ ). Les écarts d'intensité  $\Delta I$  entre éléments des paires ne sont considérés qu'aux distances épacentrales supérieures à 30km et pour des intensités supérieures à III (Fig. 5). Ces écarts sont convertis en écarts de magnitudes  $\Delta M$  avec un facteur de proportionnalité de 2.2 tiré des études régionales en France. Le résultat final donne une magnitude  $M_w = 5.6 \pm 0.1$  pour le séisme de Chamonix de 1905, en très bon accord avec une magnitude de moment de 5.5 calculée par modélisation des ondes de surface de deux sismogrammes Wiechert de l'observatoire de Göttingen (Cara et al., 2008).

## 5. Conclusions et perspectives

Les différentes approches utilisées par le groupe de travail nous ont permis de vérifier la robustesse des déterminations de  $M_w$  par la méthode des spectres, que ce soit en champ lointain ou en champ proche. A une exception près, les valeurs de  $M_w$  obtenues à partir des enregistrements du RAP pour les événements communs sont très cohérentes entre elles, ainsi qu'avec les valeurs fournies par d'autres approches et d'autres données (Table 1 et Figure 3). Les méthodes développées sont prêtes pour des applications systématiques qui devraient conduire à l'élaboration d'un catalogue de sismicité plus homogène, avec des valeurs fiables de magnitude qui pourront servir au calage des magnitudes des séismes historiques. Une approche par analyse du signal de coda est également en développement. L'automatisation des méthodes spectrales est en cours; elle permettra une implémentation en routine des déterminations de  $M_w$ .

## 6. Références

- Bernardi, F., Braunmiller, J. and D. Giardini, 2005. Seismic moment from regional surface-wave amplitudes: application to digital and analog seismograms, *Bull. Seismol. Am.*, 95, 408-418, doi:10.1785/01200440048.
- Brune, J. N., 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves of earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 75 (26), 4997-5009.
- Camassi, R. and M. Stucchi, 1997. NT4.1.1, un Catalogo Parametrico di Terremoti di Area Italiana al di Sopra della Soglia del Danno, GNDT, Milan, pp. 95.
- Cara, M., Brüstle, W., Gisler, M., Kästli, Ph., Sira, C., Weihermüller, C. and Lambert, J., 2005. Transfrontier macroseismic observations of the  $M_I=5.4$  earthquake of February 22, 2003 at Rambervillers, France, *Journal of Seismology*, 9, 317-328.
- Cara, M., Alasset, P.J. & C. Sira, 2008. Magnitude of historical earthquakes, from macroseismic data to seismic waveform modelling: application to the Pyrenees and a 1905 earthquake in the Alps, in *Historical Seismology Interdisciplinary Studies of Past and Recent Earthquakes Series: Modern Approaches in Solid Earth Sciences*, Fréchet, J., Meghraoui, M. and Stucchi, M. (eds.), Springer, Vol. 2, 363-378.
- Delouis, B., Charlety, J., and M. Vallée, 2008. Fast determination of earthquake source parameters from strong motion records:  $M_w$ , focal mechanism, and slip distribution, *EGU General Assembly 2008, Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-04939, 2008 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-04939
- Drouet, S., 2006. Analyse des données accélérométriques pour la caractérisation de l'aléa sismique en France métropolitaine, *Thèse de doctorat*, Univ. Toulouse III PaulSabatier, 198 pp.
- Drouet, S., Gueguen, P., Cotton, F., and B. Delouis (2008). Evaluation des magnitudes de moment pour les événements de la base RAP et calcul des réponses de site horizontales et verticales, *Rapport d'activité*, appel d'offre GIS-RAP 2007.
- Kanamori, H., 1977. The energy release in great earthquakes, *J. Geophys. Res.* 82, 2981-2987.
- Nechtschein, S., 2003. Calcul d'une magnitude de moment  $M_w$  pour les séismes enregistrés par le réseau de la Durance, *rapport IRSN DEI/SARG n° 03-01*, 29 pp.
- Nechtschein, S. and A. Lomax, 2006. Calcul de la magnitude de moment des principaux séismes français récents à partir de la base de données sismiques du CEA/LDG, *note technique IRSN DEI/SARG/2006-015*, 19 pp.
- Sylvander M., Souriau A., Rigo A., Tocheport A., Toutain J.P., Ponsolles C., Benahmed S., 2008. The November 2006,  $M_L = 5.0$  earthquake near Lourdes (France): new evidence for NS extension across the Pyrenees. submitted to *Geophys. J. Int.*

## INFORMATIONS GÉNÉRALES

### La Biennale du RAP

Comme tous les deux ans, la quatrième biennale du RAP (19-20-21 mai 2008, Carqueiranne) a réuni les partenaires du GIS-RAP pour débattre des objectifs scientifiques du réseau, à savoir les effets de source, de propagation et de site qui se produisent lors de tremblements de terre, la réponse de structures et leur vulnérabilité. Cette édition a réuni plus de 80 participants sur trois jours, avec une forte présence d'étudiants et de nombreuses personnes venant des Antilles. Evidemment, le séisme de Martinique ( $M_w=7.4$ ) du 29 novembre 2007 a été au coeur des discussions, avec des présentations faites sur la compréhension du phénomène et la gestion de la crise par l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de la Martinique et par le Conseil Général de la Martinique. Les observations faites sur place lors des missions post-sismiques organisées par l'Association Française de Parasismique (AFPS) et le Bureau Central Sismologique Français (BCSF) ont rendu compte de l'importance de cet événement.

Ces journées ont également permis de faire le point sur les activités des groupes thématiques mis en place par le GIS-RAP, ainsi que les résultats obtenus par les projets de recherche financés par le GIS-RAP en 2007-2008. Ces actions portent leur fruit puisque certains groupes envisagent de poursuivre leurs activités et il est souhaité

par le plus grand nombre de renouveler en 2008-2009 l'appel d'offre de recherche. Il permet non seulement de faire progresser la connaissance mais également de favoriser les interactions entre partenaires du GIS-RAP.

Plusieurs thématiques nouvelles qui concernent les effets de site et la réponse des structures sont apparues. L'instrumentation de bâtiments et leur modélisation sont des thématiques en cours de développement au RAP. C'est, pour l'étude du risque, un complément indispensable de l'étude de l'aléa. Les glissements de terrain sont encore très peu étudiés, et très peu instrumentés du point de vue des accélérations du sol. Pourtant, l'exemple exposé lors de ces journées a montré de fortes interactions possibles entre l'accélérométrie et la cinématique des mouvements de terrain, ces deux domaines d'action se complétant avantageusement. Ces nouvelles thématiques récompensent les efforts réalisés par les responsables des réseaux et les tutelles du GIS-RAP à maintenir ce réseau à un niveau performant.

Tandis que des transformations importantes sont en cours en France, organisées par l'INSU pour regrouper tous les services d'observation des sciences de la terre en un service sismologique unique (RESIF), le GIS-RAP apparaît comme une communauté structurée autour d'un réseau et d'objectifs scientifiques clairs, qui trouvera naturellement sa place dans cette nouvelle organisation.

**Synthèse des journées et présentations:** <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/JTSRAP2008.html>

### **Premier congrès européen des réseaux accélérométriques.**

Dans le cadre du projet européen NERIES, la première réunion des opérateurs des réseaux accélérométriques européens s'est tenue à Grenoble les 10 et 11 mars 2008. Cette réunion a permis d'aborder les développements présents et les besoins futurs pour l'échange et l'archivage des données accélérométriques. Cette discussion avait déjà débuté au sein de l'activité NA5 du projet NERIES. Par ailleurs, cette réunion a permis d'avoir une présentation tant technique et opérationnelle que scientifique des réseaux accélérométriques les plus importants en Europe. Cette réunion fût un succès, tant par les discussions qui eurent lieu que par le nombre de réseaux représentés.

Des présentations invitées ont aussi permis d'avoir l'état de l'art des domaines concernés par l'accélérométrie, tels que la définition et l'évaluation de l'aléa sismique, les effets de site, l'instrumentation de bâtiments. Un point important qui y fût débattu aborda les améliorations à apporter aux réseaux afin de répondre aux besoins des chercheurs. Les développements envisagés dans l'activité NA5 du projet NERIES ont également été présentés aux opérateurs des réseaux. Ils concernent l'échange des données et des paramètres du mouvement du sol. L'ensemble des participants ont finalement exprimé la nécessité de renouveler cete manifestation, avec l'organisation d'une

réunion annuelle européenne sur l'accélérométrie.

**Site web et présentation:** <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/MeetingGrenoble.html>

### **Articles parus, thèses soutenues et rapports écrits ces six derniers mois utilisant les données du RAP**

**Causse M., Cotton F., Cornou C. and Bard P.-Y.** (2008) Calibrating median and uncertainty estimates for a practical use of empirical Green's functions technique, Bull. Seism. Soc. Am., 98:344-353. DOI:10.1785/0120070075.

**Beauval C., Bard P.-Y., Hainzl S. and Guéguen P.** (2008) Can strong-motion observations be used to constrain probabilistic seismic-hazard estimates?, Bull. Seism. Soc. Am., 98:509-520 DOI: 10.1785/0120070006.

**Douglas J. and Gehl P.** (2008) Investigating strong ground-motion variability using analysis of variance and two-way-fit plots, Bull. Earthquake Eng., DOI: 10.1007/s10518-008-9063-8

**Lombardi D., Braunmiller J., Kissling E. and Giardini D.** (2008) Moho depth and Poisson's ratio in the Western-Central Alps from receiver functions, Geophysical Journal International, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2007.03706.x

**Bertrand E., Duval A., Castan M., and Vidal S.** (2007). 3D Geotechnical Soil Model of Nice, France, Inferred from Seismic Noise Measurements, for Seismic Hazard Assessment. American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract #NS11D-0798.

**Schlupp A., Sira C., Cara M., Bazin S., Michel C., Régnier J., Beauval C., Feuillet N., De Chaballier J.-B., Barras A.-V., Auclair S., Bouin M.-P., Duclos C. et Granet M.** (2008) Séisme de Martinique du 29 novembre 2007, rapport du BCSF : synthèse sismologique et étude macrosismique, BCSF2008-R1, 132 p., 266 figures, 3 tableaux, 5 annexes.

### **Conférences**

European Seismological Commission ESC 2008, 31st General Assembly, Hersonissos, Crete, Greece, 7-12 September 2008 - <http://www.esc2008.org/>

14WCEE, 14ème congrès mondial de génie parasismique, 12-17 octobre 2008, Pékin, Chine - <http://www.14wcee.org/>

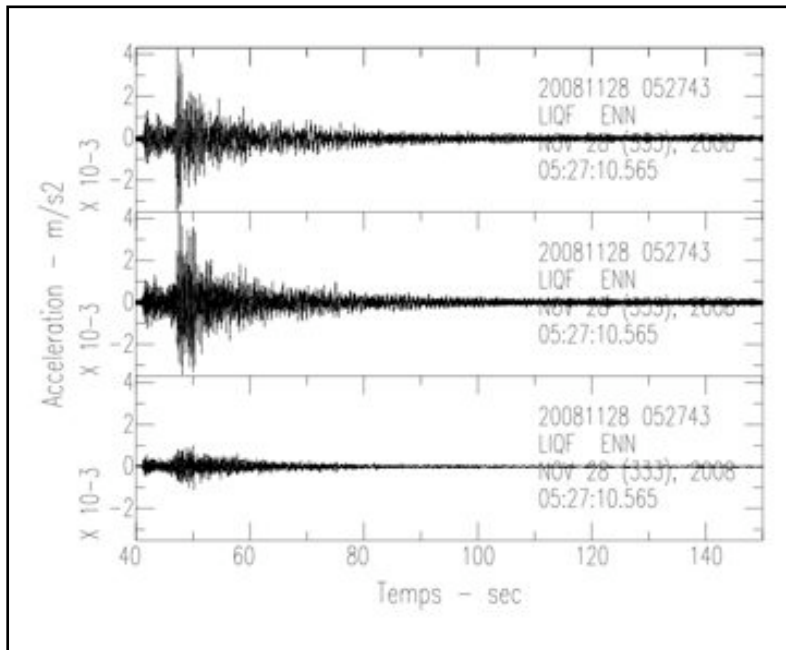
### **LA NOTE D'INFORMATION DU RAP**

La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire. Il est destiné aux membres, aux tutelles et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet. Vous pouvez proposer une communication en contactant Philippe Guéguen - [pgueg@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pgueg@obs.ujf-grenoble.fr).

# RAP

## La Lettre d'Information

Numéro 9 - Janvier 2009



Enregistrements Nord-Sud au forage de Belleplaine (bas: -38m; milieu: 15m; haut: 0m) Séisme du 28/11/2008  $M_L=3.11$  -  $R=150$  km.

### Sommaire

Editorial	page 2
Le Réseau RAP-UBO de Bretagne	page 3
Instrumentation de la tour Ophite de Lourdes	page 5
Résultats Appel d'Offre 2008	page 7
Groupes de travail RAP	page 7

### Composition du bureau du GIS-RAP

Suite à l'Assemblée Générale du 05 décembre 2008, le Conseil du GIS-RAP a voté la composition du nouveau bureau.

#### Président:

Michel Cara - EOST  
Strasbourg

#### Directeur:

Philippe Guéguen - LGIT/  
LCPC Grenoble

#### Secrétaire:

Dominique Pascal - BRGM  
Orléans

#### Membres:

Pierre-Yves Bard - LGIT/  
LCPC Grenoble

David Beaumont - IRSN  
Fontenay-aux-Roses

Marc Nicolas - LDG-CEA

#### Invité:

Jean-Michel Douchain -  
OPG Clermont-Ferrand

### LA NOTE D'INFORMATION DU RAP

La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire. Il est destiné aux membres, aux tutelles



et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet, privilégiant les articles scientifiques publiés et les rapports d'installation.

Vous pouvez proposer une communication en contactant Philippe Guéguen - [pgueg@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pgueg@obs.ujf-grenoble.fr).

**EDITO**

Après huit années d'existence, le GIS-RAP, dont les statuts prévoient un renouvellement tous les 4 ans, vient d'être reconduit lors du Conseil du GIS le 5 décembre 2008. Il faut se féliciter des avancées scientifiques qu'a permis cette structure souple et fédérative depuis sa création. Ce GIS avait pour objectif initial une meilleure évaluation de l'aléa sismique en France, grâce à l'installation d'un réseau d'une centaine de stations accélérométriques sur le territoire national, destinées à l'enregistrement des mouvements forts en cas de gros séismes, et à la création d'une base de d'enregistrements accessible à tous.

Ce double objectif a été largement réalisé, puisqu'il y a actuellement plus d'une centaine de stations sur le territoire métropolitain (et à Monaco), ainsi que des stations aux Antilles, en Nouvelle Calédonie et à Mayotte. Il faut y ajouter les stations des réseaux associés, en particulier en Martinique, et des sites pilotes à Grenoble, Nice, dans les Pyrénées et aux Antilles. La base de données inclut à ce jour plus de dix mille séismes.

Bien que les mouvements forts entraînant la saturation des réseaux vélocimétriques soient rares en France, l'accès aux données de mouvements modérés dans une base homogène et validée est un outil scientifique irremplaçable pour l'étude des sources, des lois d'atténuation, des effets de site, et pour la modélisation des accélérations attendues (shakemaps) ou la simulation de ce que pourraient produire des événements majeurs

semblables aux grands séismes historiques.

L'élargissement des activités du RAP vers l'instrumentation de bâtiments (Grenoble, Nice, Lourdes, Martinique) et vers les interactions sols-structures, ainsi que la prise en compte de la vulnérabilité, montrent la volonté de passer de l'aléa sismique au risque, permettant ainsi une ouverture plus grande en direction des acteurs sociaux-économiques.

La vocation du GIS-RAP reste cependant avant tout scientifique, la recherche s'appuyant sur des évolutions techniques, comme par exemple le passage à l'enregistrement continu. De nouveaux groupes de travail voient le jour: "risque en milieu urbain" et "rotations", s'ajoutant à ceux déjà existants: "magnitude de moment", "effets de site", "liquéfaction" et "évolution technique du matériel". Par ailleurs, le financement de thèses et d'appels d'offre incitatifs ont permis de dynamiser cette recherche.

Lors du Conseil du GIS-RAP, le représentant du MEEDDAT a réaffirmé sa confiance au RAP, auquel il continuera à apporter un fort soutien, malgré de possibles réductions budgétaires. La poursuite du "Plan séisme" montre que le risque sismique reste une préoccupation majeure de notre ministère de tutelle, intéressé par la production de produits dérivés tels que les shakemaps ou les cartes de vulnérabilité, mais aussi prêt à soutenir des études fondamentales qui sont de véritables défis, comme par exemple la recherche sur les précurseurs sismiques. L'importance d'une communication régulière à destination des collectivités territoriales et du public a été rappé-

lée, celle-ci est particulièrement attendue en cas de séisme. Cette communication passe aussi pas un site Internet convivial.

Les statuts renouvelés du RAP consacrent l'entrée de deux nouveaux membres: l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, qui par son Observatoire de Physique du Globe a pris une part très active à l'instrumentation, et le Département Milieux et Environnements de l'Institut de Recherche pour le Développement, fortement impliqué dans le risque sismique et responsable des stations en Nouvelle Calédonie. La participation d'un expert technique au bureau du RAP permettra une meilleure interaction entre évolutions techniques et projets scientifiques.

**Annie Souriau**  
**Présidente du GIS-RAP**  
**2006-2008**

**Opérations en cours**

Instrumentation d'un bâtiment en Martinique (collaboration Conseil Général de la Martinique)

Instrumentation d'un bâtiment à Nice (Geoscience-Azur et CETE Méditerranée)

Instrumentation d'un glissement de terrain dans les Alpes (LGIT)

Instrumentation Durance (IRSN)

## LE RÉSEAU RAP-UBO DE BRETAGNE

### 1- Introduction

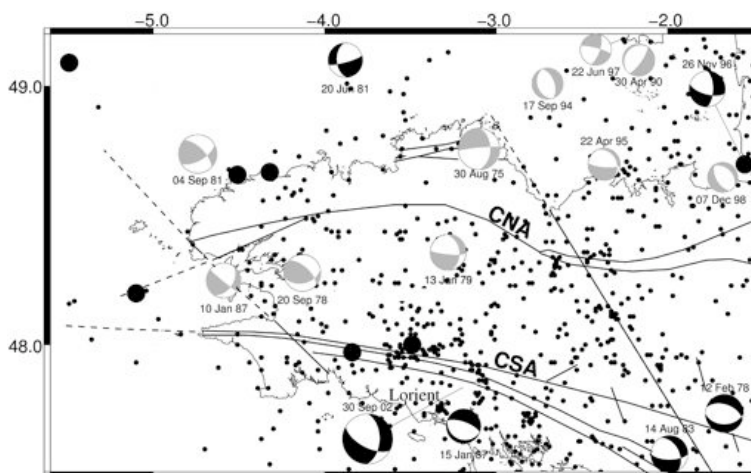
En 2003, suite au séisme de Hennebont (magnitude Mw 4.3, le 30 septembre 2002) qui a été fortement ressenti dans la partie occidentale de la Bretagne, le GIS-RAP a proposé d'installer quatre stations accélérométriques dans le Finistère. L'Université de Bretagne Occidentale (UBO), avec Jacques Déverchère et Julie Perrot, a été chargée de planifier et d'organiser cette installation. Après une phase d'étude et de recherche de sites, les quatre stations ont pu être installées à partir de février 2008, jusqu'à la dernière qui a été opérationnelle en octobre 2008.

### 2- Le contexte géologique et sismologique

La Bretagne est essentiellement composée de roches et de structures hercyniennes. Parmi d'autres structures majeures, le cisaillement sud-armoricain (CSA) est particulièrement visible dans la morphologie. Ainsi on distingue nettement sa trace en surface non seulement à terre mais aussi sous la mer au large de la pointe du Raz. Le CSA passe à proximité de Quimper et de Lorient et se prolonge par une branche sud à proximité de Vannes

et de Nantes (Figure 1).

La sismicité de la région apparaît comme étant relativement diffuse. Néanmoins, un effet de dispersion des épicentres est probable (e.g. Mazabraud et al., 2005b ; Arroucau, 2006) et est lié au fait qu'il y a très peu de stations permanentes présentes dans la région Ouest de la France (une station large-bande RéNaSS à Rennes, une station courte période RéNaSS à Brest et une station LDG courte période à Quistinic). Le réseau post-sismique dense installé après le séisme de Lorient (Perrot et al., 2005) a démontré que la microsismicité, quand elle est bien contrainte, a tendance à s'aligner selon les structures tectoniques majeures. Elle forme également des essaims sismiques (Mazabraud et al., 2005b). Les séismes majeurs connus dans le Massif Armoricain semblent également se concentrer à l'intersection de quelques failles héritées majeures, suggérant des effets de chargement de contraintes à ces intersections (Mazabraud et al., 2005b). La profondeur des foyers, quand elle a pu être correctement déterminée, indique des profondeurs relativement importantes (10-12 km), proches de la transition fragile-ductile prédite (Perrot et al., 2005 ; Mazabraud et al., 2005b).



**Figure 1:** Carte de sismicité de la Bretagne établie à partir du catalogue du catalogue LDG de 1962 à 1980 et du catalogue LDG et RéNaSS de 1980 à 2003. Les petits ronds noirs représentent les séismes de magnitude inférieure à 4 et les grands ronds noirs ceux de magnitude supérieure à 4. Les grandes structures tectoniques sont indiquées par des traits pleins à terre et des tirets en mer. Les mécanismes au foyer sont issus des études de Amorèse et al. (2000), Delouis et

## Liste des stations

### Station UBBR

Locaux UBO, Brest  
Type de Sol: Rocher  
Lat.(°) : 48.36N - Long.(°) : 4.56 W  
Titan3, horloge DCF, capteur EST

### Station UBQP

Locaux UBO, Quimper  
Type de Sol: Rocher  
Lat.(°) : 47.973N - Long.(°) : 4.094 W  
Titan3, horloge DCF, capteur EST

### Station UBVA

Locaux UBO, Vannes  
Type de Sol: Rocher  
Lat.(°) : 47.645N - Long.(°) : 2.745 W  
Titan3, horloge DCF, capteur EST

### Station UBNA

Locaux LCPC, Nantes  
Type de Sol: Sédiments  
Lat.(°) : 47.15 N - Long.(°) : 1.63 W  
Titan3, horloge DCF, capteur EST-  
Mode continu, communication TCP/IP

## Responsables RAP-UBO

JULIE PERROT



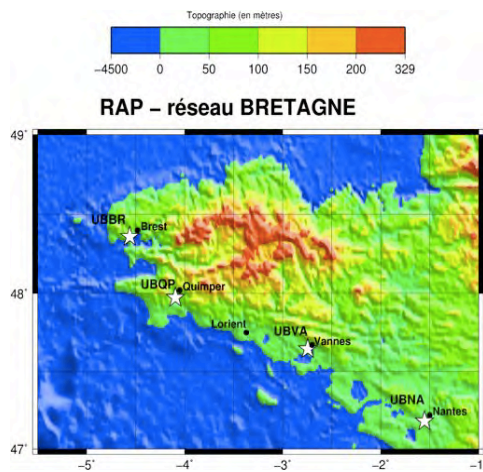
Maître de  
Conférence à  
l'Université de  
Bretagne  
Occidentale, UMR  
Domaine Océanique.

JACQUES DÉVERCHÈRE



Professeur à  
l'Université de  
Bretagne  
Occidentale,  
UMR Domaine  
Océanique.

LE RESEAU RAP-UBO DE BRETAGNE - SUITE



**Figure 2:** carte topographique de la région Bretagne. Chaque étoile blanche représente une station RAP du réseau

Le champ de contrainte de la région Bretagne montre essentiellement une composante compressive horizontale de direction généralement proche de NNW-SSE, probablement lié au rapprochement Europe/ Afrique (Delouis et al., 1993 ; Amorèse et al., 2000 ; Mazabraud et al., 2005a ; Perrot et al., 2005). Cela a pour effet de réactiver le CSA régulièrement en faille normale-dextre. Il y a environ un magnitude 4 ou plus tous les 4 ans en Bretagne, et environ 1000 séismes détectés sur 20 ans.

**3- Description du réseau**

Le choix d'installation des stations a été guidé par la surveillance nécessaire du CSA. Une station RAP-LDG étant installée à Quistinic près de Lorient, trois stations ont été installées le long du CSA entre Quimper et Nantes. La quatrième station a été installée à Plouzané, à l'IUEM (Institut Universitaire Européen de la Mer, Université de Brest, Plouzané) dans le souci de surveiller la région de Brest qui présente une sismicité historique et est située à proximité du Cisaillement Nord-Armoricain. Les stations IUEM, Quimper et Vannes ont été installées dans les sous-bassements de structures dépendant des centres Universitaires, et celle de Nantes a été installée dans les locaux du LCPC.

**4 Conclusion**

Suite à l'activité sismique récente et l'occurrence fréquente de séismes de magnitude supérieure à 4, il a été jugé nécessaire de développer notablement l'instrumentation accélérométrique en région Bretagne dans le cadre du GIS RAP. Les partenaires universitaires régionaux engagés dans des tâches de détection et de suivi de la sismicité se sont concertés pour identifier et installer plusieurs sites en des points stratégiques.

Les structures du Massif Armoricaïn héritées de l'Hercynien favorisent la concentration de contraintes, notamment à l'intersection d'autres failles, et sont ainsi à l'origine de séismes récents dont les magnitudes sont comprises entre 4 et 6. Le Cisaillement Sud-Armoricain présente notamment une activité non négligeable : il a ainsi été choisi de développer l'instrumentation dans son voisinage. Il est à noter que les séismes nucléent à des profondeurs dépassant fréquemment 10 km de profondeur, témoignant d'une transition fragile-ductile relativement profonde.

A l'heure actuelle, le réseau des stations RAP en Bretagne compte 5 stations (une dépendant du partenaire CEA : station de Quistinic du réseau Ouest, et 4 dépendant des partenaires UBO et LCPC). Le réseau est opérationnel mais en attente d'un séisme comparable à celui de septembre 2002, qui permettrait l'étalonnage et la vérification de la qualité du signal.

**REFERENCES CITEES**

Amorèse, D., Walker, A., Lagarde, J.-L., Santoiro, J.-P., Volant, P., Font, M., & Lecornu, M., 2000. New seismotectonic data from an intraplate region: focal mechanisms in the Armorican Massif (northwestern France), *Geophys. J. Int.*, 143, 837-846.

Arroucau, P., La sismicité du Massif Armoricaïn: relocalisations et interprétations tectoniques, 2006. Thèse de l'université de Nantes, 203pp.

Delouis, B., Haessler, H., Cisternas, A. & Rivera, L., 1993. Stress tensor determination in France and neighbouring regions, *Tectonophysics*, 221, 413-437.

Mazabraud, Y., Béthoux, N., Guilbert, J., & Bellier, O., 2005a. Evidence for short scale stress field variations within intraplate central-western France. *Geophys. J. Int.*, 160, 161-178

**REMERCIEMENTS**

L'installation du réseau RAP de Bretagne a pu être réalisée grâce à l'aide de nombreuses personnes. Parmi celles-ci, nous souhaitons notamment remercier: M. Jean-Yves Royer, le directeur de l'UMR 6538, pour son soutien à cette opération, M. Jacques Bégot, ingénieur UBO, pour l'aide apportée à l'installation des stations, MM. Marc Picard et Marc Le Beller des Services Techniques de l'UBO, M. David Lesvenan, directeur administratif du pôle universitaire Jakes-Hélias à Quimper, M. David Menier, maître de conférence à l'Université de Bretagne Sud, Vannes, et MM. Vincent Le Cam et Philippe Côte pour l'installation de la station au LCPC de Nantes. Enfin merci à Mickael Langlais d'avoir visité les sites de Quimper, Vannes et Nantes et d'avoir ainsi permis de clore la période d'installation de stations RAP du réseau Bretagne. Enfin merci à Philippe Guéguen pour sa patience et pour son appui.

**ETAT DES LIEUX DU RÉSEAU RAP EN 2009**

Actuellement, 139 stations accélérométriques en champ libre sont en fonctionnement en France, dont 39 à enregistrement continu et transmission temps réel.



INSTRUMENTATION DE LA TOUR OPHITE DE LOURDES

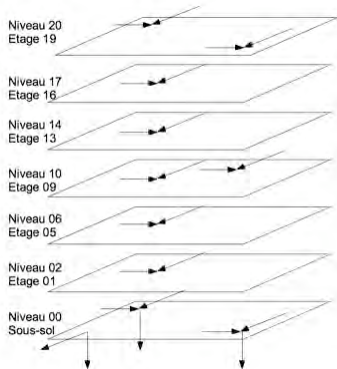
Après un premier programme d'instrumentation en champ libre de stations de mesure, le RAP a commencé en 2000 à se tourner vers l'instrumentation de bâtiments avec une première opération pilote à Grenoble. L'analyse du comportement dynamique des structures est essentielle pour comprendre la façon qu'ont les structures de se déformer sous sollicitations sismiques. Pour cela, plusieurs dispositifs existent: (1) l'enregistrement de vibrations ambiantes à différents niveaux; (2) l'utilisation de vibreurs fixés dans la structure. Cependant, pour s'assurer d'une analyse plus détaillée et mieux représentative du comportement réel d'un bâtiment sous séisme, une solution consiste à instrumenter de façon permanente une structure afin d'enregistrer ses déformations sous sollicitations sismiques. Cette instrumentation doit répondre à certaines caractéristiques de comportement tels que l'interaction sol-structure, la déformation sismique, l'apport des modes de torsion, l'évaluation de la vulnérabilité de la structure etc...

Pour cela, en collaboration avec la DDE65, l'ENIT, le LGIT et l'OMP, un bâtiment a été sélectionné sur Lourdes (65) pour faire l'objet d'une instrumentation permanente gérée par le RAP. La tour Ophite sélectionnée présentait toutes les caractéristiques structurales et techniques afin d'optimiser cette instrumentation.

Situé boulevard d'Espagne, la Tour Ophite est un bâtiment en béton armé des années 70 (année de construction : 1972). Il a un système porteur en murs voiles. Il est destiné à l'habitation collective et il est de classe B au sens de la réglementation PS92. Composé de 18 étages (SS+R+18), sa hauteur est de 50 m au dessus du sol, et ses dimensions en plan sont 24 m (L) par 19 m (T). Sa toiture est du type toiture terrasse. Il est régulier en plan et régulier en élévation. En liaison par une arête avec un bâtiment de 10 étages, il est en bon état, sans fissures apparentes ni dommages particuliers.



DESCRIPTION DE L'INSTRUMENTATION



Au total, 24 voies d'acquisition ont été installées. Elles se répartissent en 18 capteurs Episensor mono-composantes de type ES-U et 2 capteurs Episensor 3-composantes de type EST, fabriqués par Kinematics.

En terrasse, quatre capteurs ES-U (2 dans la direction longitudinale, 2 dans la direction transverse) sont placés à deux coins opposés. Outre

le mouvement de flexion, ces capteurs donneront de l'information concernant la torsion du bâtiment. Dans les étages courants, les capteurs ES-U sont fixés sous la dalle de l'étage supérieur. Ils sont placés dans les vides sanitaires, fixés au mur via une équerre aluminium collée à un mur porteur. Les niveaux instrumentés sont les niveaux 17, 14, 10, 06, 02, avec un capteur orienté selon la direction longitudinale et un capteur selon la direction transverse. Ces capteurs permettent d'identifier les modes de vibration sous séisme dans les directions longitudinale et transverse. L'instrumentation du niveau 10 est complétée par deux capteurs ES-U déportés dans le couloir afin de connaître à un niveau intermédiaire l'importance de la torsion. Au niveau du sous-sol, deux capteurs 3-composantes EST, incluant les directions longitudinale, transverse et verticale sont installés à l'aplomb des capteurs de la

terrasse. Pour compléter le dispositif, deux capteurs ES-U, dans les directions transversal et vertical au coin restant sont installés. Ce schéma instrumental permettra d'évaluer la torsion à la base, le roulis et la translation, et de participer à l'évaluation de la déformation.



Tous les capteurs sont connectés à une station Kephren 24 voies par liaison filaire, localisée au sous-sol dans une armoire sécurisée. Le temps TU est



INSTRUMENTATION DE LA TOUR OPHITE DE LOURDES *SUITE*

synchronisé par une antenne GPS située en terrasse. Elle est connectée à une ligne ADSL pour le suivi de la station et la récupération des données. Par ailleurs une sonde de température installée au sommet complète le dispositif, afin de mesurer les variations des paramètres modaux en fonction de la température.

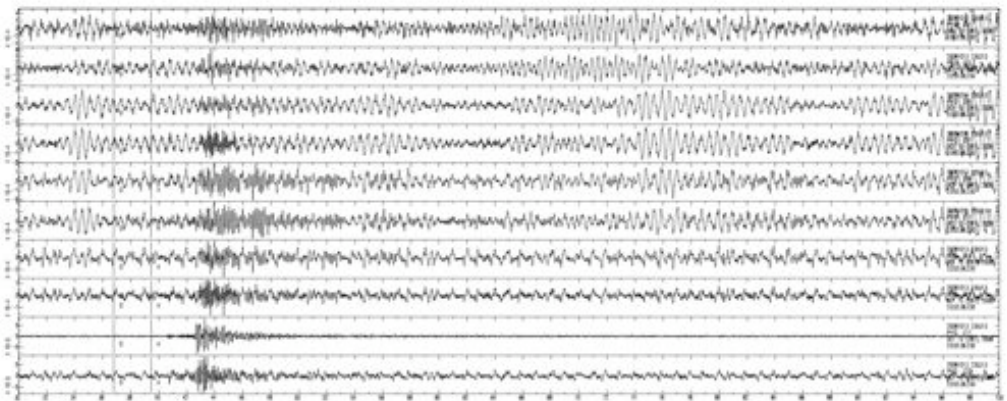
Les données en enregistrement continu sont collectées au site central du RAP à Grenoble. Actuellement, seuls quelques événements sismiques ont été détectés autour de Lourdes par le réseau national RéNaSS depuis l'installation de la station. Néanmoins, un petit événement s'est produit dans les environs de Tarbes le 13 octobre 2008 à 23:53 TU. De magnitude  $M_L=2.2$ , et localisé à l'ouest de

Tarbes (latitude 43.04, longitude -0.18), ce petit événement a été enregistré par la station de la tour Ophite.

On observe une parfaite synchronisation des différentes voies d'acquisition entre le haut et le bas de la tour. Cette qualité nous permettra de réaliser des analyses précises du comportement de la structure puisque des informations sur la phase nous seront nécessaires.

On observe que le niveau de bruit est plus fort dans la tour que dans les étages intermédiaires, et également au sous-sol. Ce niveau de bruit vient des vibrations propres de la tour, que l'on peut observer par la présence d'un signal monochromatique en terrasse.

Enregistrements des voies (du haut vers le bas) 01, 03, 05, 07, 09, 11, 13, 15, 17 et 20 (direction longitudinale) du séisme du 2008-10-13 à 23:53 de magnitude  $M_L=2.2$  (SW TARBES-65).



**Installation**

PHILIPPE GUEGUEN



Chercheur, LGIT, Grenoble.

MICKAEL LANGLAIS



Ingénieur, LGIT, Grenoble

FRANCK GRIMAUD



Technicien, Observatoire Midi-Pyrénées, Tarbes

SOPHIE HATTON



Technicienne, LGIT, Grenoble

**CONCLUSIONS**

Tandis que les années 80-90 ont vu à travers le monde un ralentissement des instrumentations de bâtiments au détriment de la modélisation et des essais dynamiques ponctuels, un regain d'intérêt est observé dans tous les pays sismiques. Le RAP poursuit son instrumentation en choisissant des bâtiments de conception française et situés dans différentes régions sismiques. Les données seront exploitées afin de

mieux comprendre la déformation et la vulnérabilité de ses structures. Déjà, un travail de thèse a démarré sur la tour de l'Ophite, mené à l'ENIT de Tarbes et des programmes de recherche (ANR-ARVISE, VULNERALP) ont été centrés sur l'hôtel de ville de Grenoble. Ces données doivent contribuer à l'amélioration de notre connaissance sur le lien entre mouvement sismique du sol et réponse des structures.

**PROGRAMME D'INSTRUMENTATION DE BÂTIMENTS**

Après deux structures instrumentées (Hôtel de ville de Grenoble et la tour Ophite de Lourdes), deux autres bâtiments seront prochainement équipés par le RAP et ses partenaires: une école en Martinique et le bâtiment central de l'hôpital de Nice.

APPEL D'OFFRE DU RAP 2008

Dans le cadre de ses actions, le bureau du GIS-RAP a lancé le deuxième appel d'offre d'actions de recherche. En cohérence avec ses objectifs et ses missions, il a souhaité ainsi encourager avec l'aide de ses tutelles des actions favorisant le développement de programmes de recherche associant plusieurs membres du GIS-RAP, améliorant la connaissance du risque sismique en France et valorisant les données du RAP. Les projets retenus en 2008 sont:

**PYRSIM: Simulation d'un séisme historique majeur dans les Pyrénées à partir de séismes instrumentaux** - Partenaires: Françoise Corboux (Coord.), Bertrand Delouis et Laetitia Honoré (Geoscience-Azur, Nice) - Annie Souriau, Marie Calvet et Matthieu Sylvander (OMP Toulouse).

**Résumé:** Le séisme historique qui a ébranlé les Pyrénées en 1660 a engendré des dégâts importants et causé la mort d'une trentaine de personnes. La reproduction de ce séisme, dont la magnitude est estimée à 6.1, aurait aujourd'hui des conséquences dramatiques sur les nombreuses agglomérations de la zone. Afin d'estimer les mouvements du sol engendrés par un tel séisme, nous proposons de simuler les enregistrements de ce séisme sur les stations présentes actuellement dans les Pyrénées en utilisant la méthode des fonctions de Green empiriques. Nous utiliserons

deux séismes récents ( $M_L$  4.1 en 2007 et  $M_L$  5.0 en 2006) particulièrement bien enregistrés par les stations accélérométriques du réseau RAP, comme fonctions de Green empiriques pour produire un jeu d'accélérogrammes réalistes dans une large bande de fréquence correspondant à un séisme de magnitude 6.1. Les résultats seront comparés aux modèles empiriques de prédiction de mouvements du sol et aux normes parasismiques.

**Effets de l'atténuation anélastique sur la réponse de sols et estimation probabiliste du mouvement sismique site-spécifique** - Partenaires: Fabian Bonilla (Coord.) et Céline Gélis (IRSN), John Douglas et Pierre Gehl (BRGM), Céline Beauval et Héloïse Cadet (LGIT), Julie Régner, Etienne Bertrand et Anne-Marie Duval (CETE).

**Résumé:** Ce projet comporte deux volets: (1) Estimation des effets de l'atténuation anélastique ( $\kappa$  et  $Q_s$ ) pour améliorer l'évaluation de l'effet de site: application sur les stations accélérométriques RAP; et (2) Estimation de l'aléa sismique probabiliste site-spécifique à Nice en incluant des effets de site 1D et 2D.

Un second appel d'offre début 2009 a été lancé auprès des partenaires du GIS-RAP. **Date limite pour acceptation: 01 mars 2009.**

GROUPES DE TRAVAIL

Deux nouveaux groupes de travail soutenus par le GIS-RAP ont démarré:

**Réseau sismologique mobile pour des mesures en milieu urbain en France: objectifs scientifiques, usage et organisation opérationnelle. (Coord. Antoine Schlupp, EOST/BCSF).** Dans l'évaluation du risque sismique, la compréhension d'une part de la variabilité du mouvement sismique en zone urbaine due en particulier à des effets locaux et d'autre part de la vulnérabilité des bâtiments qui peut être analysée au vu de leur réponse sismique sont fondamentaux. Le réseau RAP est installé dans les zones d'activité sismique majeure mais ne couvrira pas, de façon dense, des milieux urbains à proximité d'une source sismique importante. Pour cela, un réseau portable s'avère indispensable pour des mesures post-sismiques (répliques nombreuses et possibilité de répliques importantes). L'objectif de ce groupe de travail est de préciser les objectifs scientifi-

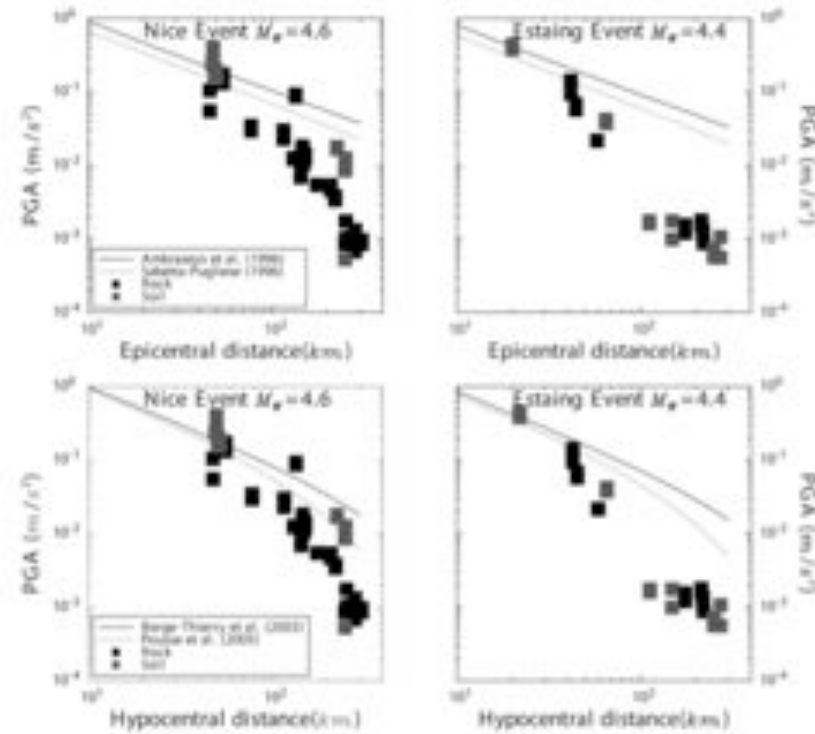
ques recherchés pour ce nouveau réseau accélérométrique/vélocimétrique portable, les équipements souhaitables (nombre, type ...), le mode opératoire de ce réseau et la répartition des matériels dans les différents laboratoires du territoire français (dans et hors métropole).

**Mouvement de rotation. (Coord. Robert Pillet, Geoscience-Azur).** Les tilts co-sismiques perturbent le signal accélérométrique et la double intégrale diverge rendant la mesure du déplacement co-sismique impossible. La mesure en parallèle aux accéléromètres existants du signal de rotation avec un capteur d'accélération angulaire adapté permettra la correction des traces sismiques. Hormis une mesure rigoureuse et très précise des déplacements co-sismiques, les tilts co-sismiques seront un nouveau champ d'étude qui fera suite au 'cavity tilt effect' initié par King et Harrison.

GROUPES DE TRAVAIL GIS-RAP



Plusieurs groupes de travail sont actifs dans le GIS-RAP: groupe liquéfaction (autour de l'ANR Belleplaine, Coord. BRGM), Technique (Coord. Jean-Michel Douchain, Mickael Langlais). Les groupes magnitude de moment et caractérisation des conditions de site sont actuellement à l'arrêt après avoir été très actifs jusqu'en 2008. Avec ces nouveaux groupes, le GIS-RAP continue de soutenir des actions de recherche ou de coordinations entre ses partenaires.



### Conférences

**International Workshop on Real Time Seismology: Rapid Characterization of the Earthquake Source and of its Effects** - May 2 – 8 in Erice, Sicily, Italy. register before February 15, 2009 on <http://erice2009may.rm.ingv.it/index.html>.

**Provence2009** - 06-08 juillet 2009, Aix-en-Provence (100 ème anniversaire du séisme de Lambesc). <http://www.provence2009.org/>

**2009 SSA Annual Meeting** 8-10 April, Monterey, California. <http://www.seismosoc.org/meetin>

**ARTICLES PARUS, THÈSES SOUTENUES ET RAPPORTS SCIENTIFIQUES**

**F. Cotton, G. Pousse, F. Bonilla, and F. Scherbaum.** 2008. On the Discrepancy of Recent European Ground-Motion Observations and Predictions from Empirical Models: Analysis of KiK-net Accelerometric Data and Point-Sources Stochastic Simulations, *Bull. seism. Am.*, 98: 2244-2261.

**M. Sylvander, B. Monod, A. Souriau and A. Rigo.** 2007. Analysis of an earthquake swarm (May 2004) in the French eastern Pyrenees: Towards a new tectonic interpretation of the Saint-Paul-de-Fenouillet earthquake (1996), *Comptes Rendus Geosciences* Volume 339, Issue 1, 75-84.

**F. Bonilla.** 2008. Améliorer la modélisation des effets de site dans l'estimation du mouvement sismique et de l'aléa sismique, *Rapport Final du Projet RAP 2007*, 4 pages.

**S. Drouet, B. Delouis, F. Cotton, P. Guéguen.** 2008. Evaluation des magnitudes de moment pour les événements de la base RAP et calcul des réponses de site horizontales et verticales, *Rapport Final du Projet RAP 2007*, 18 pages.

**A. Tocheport, M. Sylvander, S. Chevrot.** 2008. EPYCATA: Etablissement pour les PYrénées d'un CATALogue de paramètres à la source, *Rapport Final du Projet RAP 2007*, 6 pages.

**J. Converset, F. Courboulex.** 2008. Simulation du choc principal de la crise (Mw 6.4, Guadeloupe, 2004), *Rapport Final du projet RAP 2007*, 72 pages.

**J. Régnier, F. Bonilla, E. Bertrand, A.M. Duval, C. Beauval, O. Scotti, J. Douglas, P. Ghel.** 2008. Variability of one-dimensional soil amplification estimates at four sites of the French Accelerometric Network (RAP), in *Proc. 14th World Conference Earthq. Engng.*, October 12-17, 2008, Beijing, China, 8 pages.

**A. Laurendeau.** 2008. Amortissement des ondes dans les terrains sédimentaires, Master 2, Science de la Terre et Environnement, Université J. Fourier, Grenoble, 31 pages.

### Informations

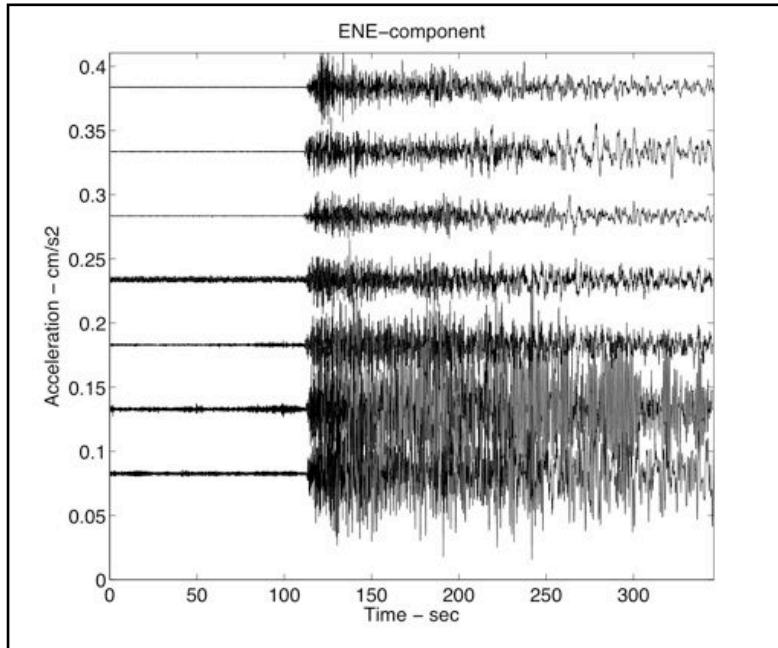
Réseau Accélérométrique Permanent  
LGIT  
Maison des Géosciences  
1381 rue de la piscine  
38400 Saint Martin d'Hères

BP 53  
38041 Grenoble cedex 9  
tél: 04 76 63 51 74  
fax: 04 76 63 52 52  
<http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr>

# RAP

## La Lettre d'Information

Numéro 10 - juillet 2009



Enregistrements du séisme de l'Aquila des stations RAP situées dans la ville de Nice (RAP-AZUR) - Composante Est-Ouest.

### Sommaire

Editorial	page 2
Simulations et aléa sismique probabiliste: étude de la variabilité du mouvement du sol	page 3
Le séisme de l'Aquila du 06 avril 2009	page 7
Résultats Appel d'Offre 2008 suite	page 10
Informations	page 10

### Information: La biennale du RAP 2010

Au printemps 2010 auront lieu les 5<sup>ème</sup> journées scientifiques et techniques du RAP. Ces journées permettent de présenter tous les deux ans les actions du RAP ainsi que les travaux de recherche récents concernant l'évaluation et la compréhension de l'aléa sismique sur le territoire français.

Vous pouvez dès à présent proposer d'organiser une session sur un thème correspondant aux objectifs scientifiques du RAP.

### Contact:

Philippe Guéguen  
pgueg@obs.ujf-grenoble.fr

### LA NOTE D'INFORMATION DU RAP

La note d'information du RAP présente une synthèse des activités du Réseau Accélérométrique Permanent ainsi que les orientations scientifiques et techniques prises par le bureau du GIS en concertation avec le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire. Il est destiné aux membres, aux tutelles



et aux partenaires du GIS-RAP. Deux parutions par an sont programmées, en janvier et en juillet, privilégiant les articles scientifiques publiés et les rapports d'installation.

Vous pouvez proposer une communication en contactant Philippe Guéguen - [pgueg@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:pgueg@obs.ujf-grenoble.fr).

**EDITO**

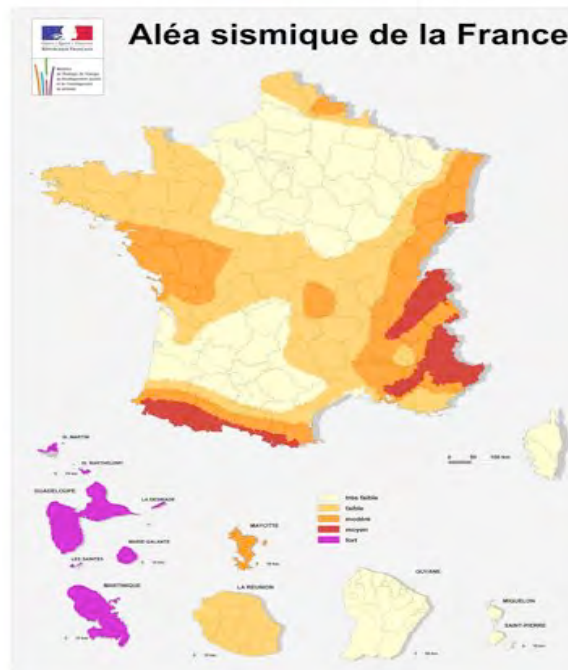
Fruit d'un long processus de concertation avec les professionnels et les collectivités, une nouvelle réglementation parasismique est en cours d'élaboration depuis quelques années. Elle sera constituée d'un nouveau zonage sismique de la France (objet de deux décrets en cours de signature) et de nouvelles règles de construction parasismique (notamment Eurocode 8) à appliquer pour les bâtiments, équipements, ponts et installations classées (objet de quatre arrêtés d'application).

Le nouveau zonage sismique, fondé sur une approche probabiliste, est issu des importantes avancées scientifiques depuis 20 ans notamment grâce à l'enregistrement de notre sismicité. Pour les bâtiments, équipements et ponts dont le fonctionnement est primordial pour la gestion de crise ou ceux dont la défaillance présente un risque moyen (bâti et pont courants par exemple) ou élevé (école par exemple) pour les personnes et ceux présentant le même risque en raison de leur importance socio-économique, des règles de construction parasismique seront obligatoires dans les zones de sismicité faible, modérée, moyenne et forte.

Pour les bâtiments, équipements et ponts, dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour les personnes (bâtiment agricole par exemple), aucune règle de construction parasismique ne sera imposée. Les équipements évoqués précédemment sont : les systèmes de canalisa-

tions aériennes et enterrées, les réservoirs de stockage, les structures hautes et élancées (tours, clochers, tours d'aspiration, pylônes, les cheminées dont les cheminées industrielles, les phares,...).

Pour les installations classées dont il apparaît qu'elles pourraient être à l'origine, en cas de séisme sur le territoire national



visé par le nouveau zonage sismique, de phénomènes dangereux pour la vie humaine, l'exploitant déterminera les moyens de protection parasismique nécessaires afin que les effets graves pour la vie humaine ne sortent pas des limites du site.

Toutefois, il ne sert à rien de promulguer des normes si celles-ci ne sont pas respectées. Nous mettons donc en œuvre de nouveaux moyens contribuant au renforcement du contrôle du respect des règles. Le champ des contrôles techniques obligatoires vis-à-vis des règles de construction parasismique a été étendu,

depuis 2006, d'une part aux bâtiments des zones de sismicité faible à forte dont la défaillance présente un risque élevé pour les personnes ou dont le fonctionnement est primordial pour la gestion de crise, et d'autre part aux bâtiments de zone de sismicité moyenne et forte dont le plancher bas du dernier niveau est à plus de 8 mètres du sol.

En complément, dans les cas où le contrôle technique est obligatoire, une attestation doit, depuis 2007, être établie lors de la demande de permis de construire et également à la déclaration d'achèvement de travaux. Enfin, en ce qui concerne le contrôle régalién, les agents commissionnés et assermentés, peuvent constater et verbaliser les infractions pour non-respect de la réglementation parasismique. L'Etat a établi un référentiel de contrôle du respect des règles de construction parasismique pour les maisons individuelles, type de bâtiment qui jusqu'à présent n'étaient pas contrôlés.

La prise en compte dans les constructions du risque sismique doit permettre lors des prochains séismes en France de réduire le nombre de victimes et l'étendue des dommages sur le territoire national.

**Philippe Sabourault**

Chargé de mission risques sismiques, volcaniques et tsunamis  
Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer

Pour en savoir plus: le site du plan séisme.

<http://www.planseisme.fr/>

**SIMULATIONS ET ALÉA SISMIQUE PROBABILISTE : ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ DU MOUVEMENT DU SOL**

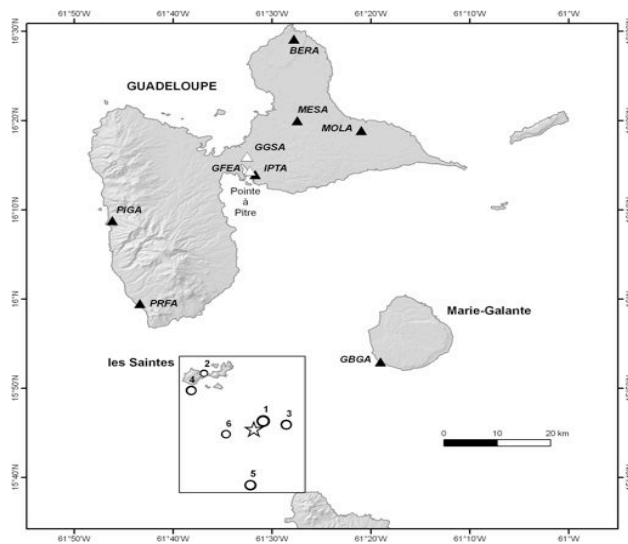
**1-Introduction**

L'étape de prédiction du mouvement du sol est une étape clef dans le calcul de l'aléa sismique probabiliste. La quasi totalité des études probabilistes se basent sur une équation de prédiction du mouvement du sol. Ces dernières années, l'accroissement des enregistrements en mouvements forts a permis le développement de modèles régionaux de plus en plus complexes. Ces équations de prédiction sont un outil fondamental pour estimer la probabilité qu'un séisme de magnitude donnée à une certaine distance du site produise sur ce site des mouvements du sol significatifs. Cependant, ces équations comportent aussi des limites bien connues : dans les régions à sismicité modérée, les équations ne peuvent être établies à partir des seules données régionales (trop peu nombreuses) mais reposent sur des bases de données provenant de régions plus larges. Par ailleurs, dans les régions à forte sismicité, des modèles régionaux peuvent être établis, mais les mouvements du sol prédits par ces équations correspon-

dent par définition à des niveaux moyens, des chemins de propagation variés entre différentes sources et différentes stations. L'objectif de cette étude est d'analyser, du point de vue de la variabilité du mouvement du sol, dans quelle mesure les méthodes de simulation utilisant des fonctions de Green empiriques peuvent être utilisées en remplacement (ou en complément) des équations de prédictions du mouvement du sol, dans le cadre probabiliste. Les méthodes actuelles de simulation permettent en effet de mieux prendre en compte les caractéristiques de la source, du chemin de propagation et du site (avec certaines limites fortes comme expliqué dans la suite). Cette étude constitue un complément à trois publications récentes, par Convertito et al. (2006), Hutchings et al. (2007) et Causse et al. (2008), et est plus détaillée dans une publication à venir (Beauval et al., 2009). Elle se concentre sur l'analyse de la variabilité du mouvement du sol prédit, appelée sigma, qui joue un rôle majeur dans l'estimation de l'aléa sismique probabiliste (e.g. Beauval et Scotti 2004 ; Strasser et al. 2009). Les enregistrements de six répliques du séisme des Saintes en Guadeloupe (Mw6.4, novembre 2004, Bertil et al.

**Table 1.** Caractéristiques du choc principal et des 6 répliques utilisées dans cette étude. Les magnitudes Mw des répliques ont été déterminées par Balestra (stage de master). Source des localisations/profondeurs : CDSA (Centre de Données Sismologiques des Antilles).

#	Date	Mw	Lon	Lat	H
0	11/21/04 11:41	6.4	15.757	-61.530	14.2
1	11/21/04 13:36	5.2	15.772	-61.514	12.4
2	11/21/04 22:32	4.0	15.861	-61.614	14.6
3	11/21/04 22:56	4.7	15.765	-61.475	9.9
4	11/22/04 02:01	4.7	15.82 9	-61.635	12.4
5	12/02/04 14:47	4.9	15.652	-61.536	13.7
6	12/26/04 15:19	4.5	15.747	-61.577	10.5



**Figure 1:** Zone d'étude: archipel de la Guadeloupe. Cercles: répliques du séisme des Saintes utilisées comme EGF pour simuler un séisme de magnitude 6.4 dans la zone de rupture du séisme de 2004. Etoile: séisme des Saintes (M6.4, 21/11/2004). Triangles noirs: stations RAP au rocher (Bengoubou-Vale-rius et al., 2008 ; Péqugnat et al. 2008) ayant enregistré les 6 répliques.

**CÉLINE BEAUVAL**



Chargée de Recherche à l'Institut de Recherche pour le Développement, UMR LGIT, Grenoble.

**LAETITIA HONORÉ**



Doctorante, Géoazur, Université de Nice Sophia Antipolis.

**FRANÇOISE COURBOULEX**



Chargée de Recherche au CNRS, Géoazur, Université de Nice Sophia Antipolis.

SIMULATIONS ET ALÉA SISMIQUE PROBABILISTE (SUITE)

2005), de magnitudes comprises entre  $M_w$  4 et 5.2 et de mécanismes au foyer similaires (Courboux et al. 2009), seront exploités pour simuler de futurs séismes de magnitude 6.4 se produisant dans la zone de rupture de celui de 2004 (Fig. 1 et Table 1).

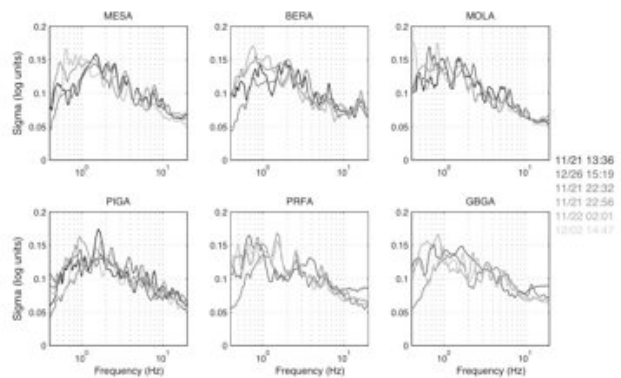
**2- Simulation des signaux numériques**

La méthode de simulation proposée par Kohrs-Sansorny et al. (2005) est choisie pour simuler le mouvement du sol. Elle utilise l'enregistrement d'un seul petit séisme considéré comme fonction de Green empirique pour représenter les effets de propagation et les effets de site. Cette méthode permet de simuler les enregistrements d'un séisme cible de magnitude donnée dans une large bande de fréquences avec très peu de paramètres d'entrée: le moment sismique et la fréquence de coupure du petit séisme (déterminés sur les données) ainsi que le rapport des chutes de contrainte entre le petit séisme et le séisme cible. Ce paramètre est le plus délicat à déterminer. Elle permet de générer rapidement un grand nombre de simulations correspondant à des processus de rupture variés. L'obligation de disposer d'un enregistrement de petit séisme à la station, localisé dans la zone de rupture du séisme cible, constitue une limite importante de la méthode, de même que le fait de ne pouvoir simuler le mouvement du sol que sur des sites instrumentés. Cependant elle présente aussi l'avantage de prendre en compte les caractéristiques propres à la source, au chemin de propagation et à l'effet de site de manière plus réaliste qu'un modèle régional (Courboux et al. 2009).

Une étude précédente par Douglas et al. (2006) a montré qu'il n'existe pas à l'heure actuelle d'équation de prédiction du mouvement du sol qui puisse être considérée adaptée à la sismicité superficielle enregistrée sur l'archipel de la Guadeloupe (les données disponibles sont en quantité trop faible pour démontrer l'adéquation ou la non adéquation des modèles existants). L'emploi des simulations numériques pour prédire le mouvement du sol dans une large bande de fréquence dans cette région présente donc un intérêt particulier.

**3- Quantification de la variabilité intrinsèque des prédictions du mouvement du sol**

Les rapports de chute de contrainte utilisés pour simuler les mouvements du sol sont ceux mesurés sur les rapports spectraux entre le choc principal du séisme des



**Figure 2:** Variabilité intrinsèque de l'accélération (sigma) prédite par la méthode de simulation Kohrs-Sansorny et al. (2005), à six stations au rocher et pour six séismes différents (répliques du séisme des Saintes utilisées comme EGF), écart-type estimé sur une distribution gaussienne de 500 accélérations par fréquence.

Saintes et les six répliques (Table 1). A une station donnée, pour chaque EGF, 500 accélérogrammes 3 composantes sont générés. Chaque réalisation correspond à une fonction source équivalente déterminée grâce à un tirage aléatoire selon une densité de probabilité (Ordaz et al, 1995) qui tient compte du paramètre C (rapport des chutes de contraintes). Pour chaque fréquence est obtenue une distribution du logarithme de l'accélération spectrale engendrée par le séisme cible (500 simulations). Cette distribution se révèle gaussienne, quelque soit la station et l'EGF employée, comme sont distribués les résidus des bases de données réelles en mouvements forts. Les valeurs de sigma (écart type) correspondent à l'incertitude intrinsèque (aléatoire), elles sont directement liées à la convolution de l'EGF à un grand nombre de fonctions sources temporelles (équivalentes). Les résultats (Fig. 2) montrent que les valeurs de sigma sont stables d'une station à l'autre (rocher), quelque soit l'EGF utilisée. La variabilité augmente de 0.4 Hz à 1.0 Hz et ensuite décroît vers les hautes fréquences, avec des valeurs entre 0.05 et 0.18. Ces sigmas sont propres au site considéré et à un séisme de magnitude  $M6.4$  dans la zone de rupture du séisme des Saintes, et ils se révèlent plus faibles que les sigmas des modèles de prédiction du mouvement du sol récemment publiés (entre 0.22 et 0.35 unité log; modèle ex. Ambraseys et al. 2005 sur la Fig. 2). Il n'y a que peu d'études qui quantifient le sigma propre à un site donné et une zone source particulière. Atkinson (2006) obtient



**LES STATIONS ACCÉLÉROMÉTRIQUES DES ANTILLES**

Actuellement, 35 stations RAP gérées par les observatoires volcanologiques et sismologiques de Guadeloupe et de Martinique (IPGP) sont en fonctionnement. Elles ont en particulier enregistré le séisme des Saintes ( $M_w=6.4$ ) et de Martinique ( $M_w=7.4$ ), ainsi que leur séquence de répliques, constituant un jeu de données considérable.

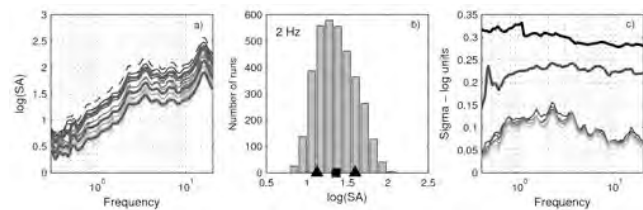
SIMULATIONS ET ALÉA SISMIQUE PROBABILISTE (SUITE)

une valeur minimale de 0.18 pour une seule station et en prenant en compte une seule zone source (azimut fixe, plusieurs magnitudes). Anderson et al. (2000) proposent une valeur maximale pour sigma entre 0.05 et 0.13, pour une station unique, une faille unique, et un séisme caractéristique. Morikawa et al. (2008) obtiennent des sigmas entre 0.15 et 0.2 par station, en appliquant des facteurs correcteurs pour réduire l'incertitude sur la source, la propagation des ondes et l'effet de site. Nos résultats sont cohérents avec ces estimations.

**4- Variabilité des prédictions incluant l'incertitude sur le rapport des chutes de contraintes**

Dans la méthode utilisée, l'incertitude liée à la source du futur séisme M6.4, est fortement liée à l'incertitude sur le rapport des chutes de contrainte entre séisme cible et petit séisme. Dans la suite, pour chaque EGF, des rapports de chute de contrainte entre le séisme cible et le petit séisme compris entre 1 et 15 sont testés (Kohrs-Sansorny et al. 2005), avec une équiprobabilité. Les distributions obtenues sont en général proches d'une gaussienne, et à nouveau la variabilité caractérisée par le sigma est quantifiée (Fig. 3, ex. station BERA et EGF n°2, comparaison avec le modèle Ambraseys et al. 2005). Les résultats sur l'exemple de la Fig. 3 peuvent être généralisés à l'en-

semble des stations étudiées: la variabilité sur la prédiction du mouvement du sol incluant l'incertitude sur la source (paramètre C) reste inférieure ou égale à la variabilité des modèles de prédiction du mouvement du sol (sigma entre 0.15 et 0.3 selon l'EGF sur l'intervalle 0.4-20 Hz, voir Beauval et al. 2009 pour la totalité des résultats). Ces sigmas intègrent la variabilité sur la source, mais restent propres au site, à une seule magnitude et à une localisation particulière pour la source; il est donc attendu que la variabilité reste inférieure à la variabilité des modèles de prédiction du mouvement de sol.



**Figure 3:** Estimation de la variabilité de mouvement du sol intégrant l'incertitude sur la source (contenue dans le paramètre C, rapport des chutes de contraintes entre le séisme cible M6.4 et le petit séisme). Ex. à la station BERA, à partir de l'EGF n°2. a) Superposition des distributions pour les 7 valeurs de C entre 1 et 15 (distribution totale en gras) ; b) Distribution totale intégrant les différents C à 2 Hz ; c) sigma individuel par valeur de C (courbes grisées fines), sigma total (courbe grise en gras), sigma du modèle Ambraseys et al. 2005 (courbe noire en gras).

Anderson, J., J. Brune, R. Anooshehpour, and S. Ni (2000). New ground motion data and concepts in seismic hazard analysis, *Curr. Sci.* **79**, 1278-1290.

Ambraseys, N.N., J. Douglas, S.K. Sarma, and P.M. Smit (2005). Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: Horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration, *Bull. Earthq. Eng.* **3**, 1, 1-53.

Atkinson, G. M. (2006). Single-station sigma, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **96**, 2, 446-455.

Beauval, C., and O. Scotti (2004). Quantifying sensitivities of PSHA for France to earthquake catalog uncertainties, truncation of ground-motion variability, and magnitude limites, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **94**, 1579-1594.

Beauval C., L. Honoré and F. Courboux (2009). Ground-motion variability and implementation of a probabilistic-deterministic hazard method, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, in press.

Bengoubou-Valerius, M., D. Bertil, S. Bazin, F. Beauducel, and A. Bosson (2008). CDSA: a New seismological data center for the French Lesser Antilles, *Seism. Res. Lett.* **79**, 1, 90-102.

Bertil, D., S. Bes de Berc, and J. Douglas (2005). Synthèse de la crise sismique des Saintes (Guadeloupe) entre le 21 novembre 2004 et le 30 mars 2005. BRGM report, RP-54401-FR, 238 pp.

**5- Conclusion**

Introduire la simulation du mouvement du sol dans le calcul probabiliste est prometteur. Ces méthodes de simulation permettent de mieux prendre en compte les caractéristiques de chaque couple source/site considéré. Cette étude se concentre sur la variabilité du mouvement du sol prédit et les distributions de probabilité du mouvement du sol obtenues par simulation. Dans le calcul probabiliste, ces distributions sont intégrées pour déterminer les probabilités de dépassement de niveaux du mouvement du sol. Si les niveaux médians prédits contrôlent bien sûr les estimations, la variabilité associée à ces niveaux médians influence également très fortement les estimations. Les variabilités intrinsèques sont quantifiées, elles sont inférieures au sigma des équations de prédiction du mouvement du sol régionales. Les limites fortes de la méthode de simulation proposée par Kohrs-Sansorny et al. (2005) ne permettent pas actuellement de mener une étude probabiliste complète en Guadeloupe. En effet, toutes les zones sources sismiques susceptibles de générer dans le futur des mouvements du sol significatifs sur le sol guadeloupéen devraient comprendre au moins un petit séisme enregistré.



## SIMULATIONS ET ALÉA SISMIQUE PROBABILISTE (SUITE)

- Causse, M., F. Cotton, C. Cornou, and P-Y. Bard (2008). Calibrating median and uncertainty estimates for a practical use of Empirical Green's Functions technique, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 98, 1, 344-353.
- Convertito, V., A. Emolo, and A. Zollo (2006). Seismic hazard assessment for a characteristic earthquake scenario: an integrated probabilistic deterministic method, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 96, 377-391.
- Courboux F., J. Converset, J. Balestra and B. Delouis. Ground-motion simulations of the 2004, Mw 6.4, les Saintes earthquake (Guadeloupe) using 10 smaller events, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, in revision.
- Douglas, J., D. Bertil, A. Roullé, P. Dominique, and P. Jousset (2006). A preliminary investigation of strong-motion data from the french Antilles, *J. Seismol.* 10, 271-299.
- Hutchings, L., E. Ioannidou, W. Foxall, N. Voulgaris, J. Savy, I. Kalogeras, L. Scognamiglio, and G. Stavrakakis (2007). A physically based strong ground-motion prediction methodology; application to PSHA and the 1999 Mw=6.0 Athens earthquake, *Geophys. J. Int.*, 168, 659-680.
- Kohrs-Sansorny, C., F. Courboux, M. Bour, and A. Deschamps (2005). A two-stages method for strong ground-motion simulations using stochastic summation of small earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 95, 4, 1387-1400.
- Morikawa, N., T. Kanno, A. Narita, H. Fujiwara, T. Okumura, Y. Fukushima, and A. Guerpinar (2008). Strong motion uncertainty determined from observed records by dense network in Japan, *J. of Seismology*, 12, 529-546.
- Ordaz, M., J. Arboleda, and S.K. Singh (1995). A scheme of random summation of an empirical Green's Function to estimate ground motions from future large earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 85, 6, 1635-1647.
- Péquegnat, C., P. Guéguen, D. Hatzfeld, and M. Langlais (2008). The French Accelerometric Network (RAP) and National Data Center (RAPNDC), *Seism. Res. Lett.* 79:1, 79-89.
- Strasser, F.O., N.A. Abrahamson and J.J. Bommer (2009). Sigma: Issues, Insights, and Challenges, *Seismological Research Letter*. 80, 40-56.

Les équations de prédiction du mouvement du sol, par nature, moyennent différentes sources sismiques, différents chemin de propagation et différents sites. Il n'est donc pas surprenant que la variabilité associée à ces équations soit plus élevée que la variabilité intrinsèque quantifiée pour une zone source donnée à un site particulier. Du point de vue du sigma, la question importante qui se pose est de déterminer si cette méthode stochastique reposant sur une fonction de Green empirique intègre toute la variabilité du mouvement du sol pour un couple site/source donné, même après prise en compte de l'incertitude sur le rapport des chutes de contraintes? Enfin, d'autres méthodes de simulation devront être testées pour une implémentation dans le calcul probabiliste, afin d'intégrer le mouvement en champ proche ainsi que les effets non linéaires, et afin d'être en mesure de simuler le mouvement du sol sur des sites non instrumentés.

**Remerciements**

Nous tenons à remercier les équipes de l'Observatoire Volcanologique et Sismologique de Guadeloupe et du BRGM qui gèrent les stations accélérométriques du réseau RAP en Guadeloupe, ainsi que l'équipe du RAP qui récupère et met à disposition les données. Merci aussi à J. Trévisan (Géoazur) pour son aide continue dans la gestion des données et la cartographie. Cette étude a bénéficié de l'aide de trois projets, un projet financé par le RAP (2007-2008) et deux projets ARN, QSHA (ANR-05-CATT-011) et ADN (ANR-07-BLAN-143).

**Ce texte est extrait de:**

Beauval C., L. Honoré, and F. Courboux (2009). Ground-motion variability and implementation of a probabilistic-deterministic hazard method, *Bull. Seism. Soc. Am.*, in press.

**ARTICLES PARUS, THÈSES SOUTENUES ET RAPPORTS SCIENTIFIQUES**

Causse M., F. Cotton, C. Cornou, P.Y. Bard (2008). Calibrating median and uncertainty estimates for a practical use of empirical Green's functions technique, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 98(1), p344-353.

Douglas, J. and R. Mohais (2009). Comparing predicted and observed ground motions from subduction earthquakes in the Lesser Antilles, *Journal of seismology*, DOI 10.1007/s10950-008-9150-y.

Delouis B., Charlety J. and Vallée M. (2009). A method for rapid determination of moment magnitude Mw for moderate to large earthquakes from the near-field spectra of strong-motion records (MWSYNTH), *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99(3), 1827-1840, doi: 10.1785/0120080234

Douglas J., Gehl P., Bonilla L.F., Scooti O., Réginié J., Duval A.-M. and Bertrand E. (2009). Making the most of available

site information for empirical ground-motion prediction, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99(3), 1502-1520, doi: 10.1785/0120080075

Bengoubou-Valerius M. (2008). Contribution à l'aléa sismique dans les Antilles Françaises par l'analyse des données sismologiques et accélérométriques régionales, PhD Thesis, Université des Antilles et de la Guyane, 188 pages

Secanell R., Clement C., Martin C., Carbon D. (2007). Évaluation probabiliste de l'aléa sismique du territoire national actualisée par méthodes Bayésiennes sur le REX. Rapport GEOTER : GTR/EDF/0508-458.

**RETROUVER LA LISTE DES RÉFÉRENCES DES PUBLICATIONS DU RAP SUR LE SITE:**

<http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/>

*Rubrique: communication.*

LE SEISME DE L'AQUILA DU 06 AVRIL 2009

**1- Introduction**

Le lundi 6 Avril 2009, à 3h32 (1h32 TU), un séisme de magnitude Mw 6.3 s'est produit dans les Abruzzes (Italie) à une centaine de kilomètres au nord-est de Rome. Ce tremblement de terre qui a touché la région de L'Aquila (L'aigle en italien), capitale de région et cité médiévale de plus de 68 000 habitants, est le plus important que l'Italie ait connu ces dernières années. Ce séisme est même le plus meurtrier vécu par la péninsule depuis celui de novembre 1980, responsable de près de 2 800 morts en Campanie. Au total, quelques 26 villes et villages ont été sérieusement endommagés. Le dernier séisme destructeur dans cette région montagneuse a eu lieu en 1915 entraînant la mort d'au moins 30 000 personnes autour de la ville d'Avezzano, non loin de la cité de L'Aquila.

Suite à ce nouvel événement, des équipes sismologiques allemandes (GFZ Potsdam) et françaises (BRGM, LGIT, CETE Méditerranée et GEOAZUR) sont allées mettre en place, en collaboration avec les équipes italiennes, des réseaux d'enregistrement temporaires en complément des réseaux permanents existants.

Le CETE Méditerranée s'est ainsi rendu sur place avec une dizaine de stations Kephren couplées à des capteurs vélocimétriques (Lennartz, Le3D, 5s) et accélérométriques (Geosig AC23). Une partie de ces instruments a été destinée à l'étude

des mouvements forts et des effets de site en particulier. Après plus d'un mois d'enregistrement, nous pouvons livrer quelques premières observations.

**2- Contexte**

L'épicentre du séisme a été localisé par l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, [www.ingv.it](http://www.ingv.it)) à une dizaine de km de profondeur, à moins de 10 km à l'ouest du centre ville de L'Aquila. Le séisme a été fortement ressenti dans tout le centre de l'Italie, de la côte adriatique à la côte tyrrhénienne. Les équipes d'intervention d'urgence de la protection civile italienne ont estimé l'intensité macrosismique après une visite de terrain dans les jours qui ont suivi la secousse principale (Camassi et al., 2009). L'intensité maximale relevée dans la zone épiscopale est estimée à X (MCS) tandis qu'à L'Aquila même, celle-ci a été évaluée à VIII-IX.

Le choc principal fait partie d'une séquence sismique qui a débuté en décembre 2008. Les épicentres des précurseurs du séisme du 6 Avril ont été localisés très proche du choc principal tandis que les répliques présentent une migration à la fois vers le sud-est et le nord-ouest (Fig. 1).

Le mécanisme en faille normale trouvé par les centres de recherches internationaux est en bonne cohérence avec le contexte tectonique en extension NE-SO de

ETIENNE BERTRAND

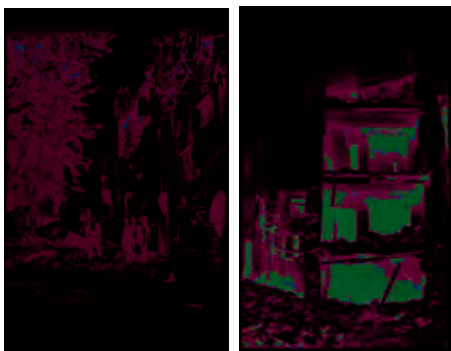


Chargé de Recherche au LCPC, Cete Méditerranée, Nice.

**Quelques chiffres clefs de ce séisme.**

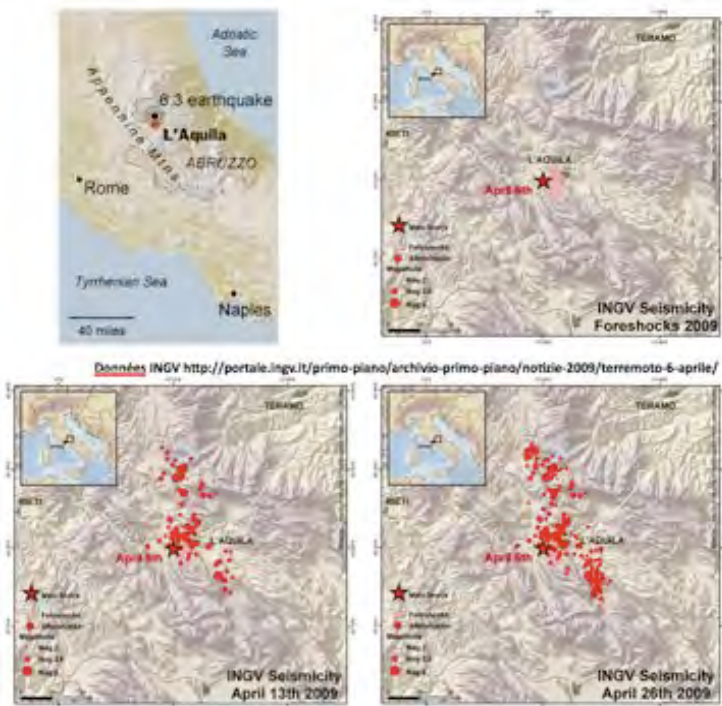
- Près de 300 décès ;
- Environ 1 000 blessés dont une centaine sérieusement ;
- Près de 26 000 sans-abris logés sous tente, plus de 32 000 réfugiés dans des hôtels du centre de l'Italie ou dans des habitations privées ;
- Environ 6 000 tentes mises en place par la protection civile italienne ;
- Environ 15 000 bâtiments détruits, près de 10 000 autres nécessitant des réparations (source : protection civile italienne : [www.protezionecivile.it](http://www.protezionecivile.it)) ;
- Coût des réparations évalué à près de 3 Mds d'€ ;
- Plus de 10 000 répliques la première semaine dont deux de magnitude Mw supérieure à 5,4.

QUELQUES RESSEMBLANCES AVEC LE SÉISME DE LAMBESC DE 1909



Le séisme d'Aquila possède des caractéristiques proches de celles du séisme qui frappa le sud de la France en 1909. Sa magnitude est légèrement supérieure à celle estimée du séisme de Lambesc tandis qu'on dénombrait alors une quarantaine de victimes. Une simulation commandée par le ministère en charge de l'environnement concluait en 1982 à des victimes et des pertes matérielles importantes si ce séisme historique se produisait de nouveau, résultats de l'augmentation depuis 1909 de la population, de l'urbanisation et des équipements économiques.

LE SEISME DE L'AQUILA (SUITE)



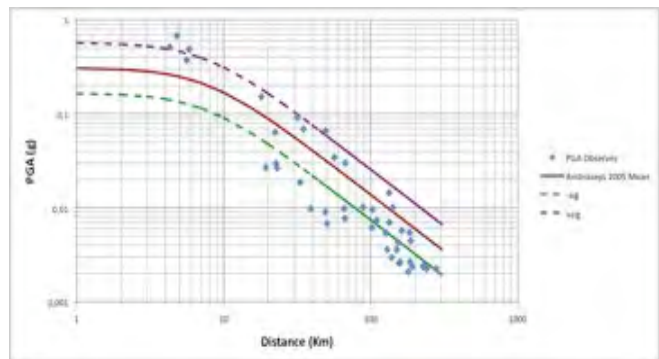
**Figure 1:** Crise sismique de L'Aquila : localisation des précurseurs, du choc principal et des répliques (d'après INGV - <http://portale.ingv.it/primo-piano/archivio-primo-piano/notizie-2009/terremoto-6-aprile>)

données européennes et du moyen orient. En l'absence d'information sur le type de sol aux stations du RAN, toutes les données ont été reportées sur le graphique et seule la loi empirique estimée pour des sites rocheux est représentée avec son écart type. Le PGA des stations les plus proches de l'épicentre, situées dans la ville de L'Aquila, est nettement plus important que ce que prévoit la loi empirique tandis que la même loi surestime le PGA pour la majorité des sites situés à plus grande distance. L'Aquila est construite sur des sols raides constitués de brèches d'une puissance de plusieurs dizaines de mètres reposant sur des dépôts quaternaires plus souples. La ville est également un haut topographique qui barre la vallée de l'Aterno. Ces conditions topographiques et géologiques sont à l'origine d'un effet de site très basse fréquence (0,6 Hz) déjà mis en évidence par De Luca *et al.* (2005). L'écart entre les prédictions pour un sol rocheux et les enregistrements tend à confirmer la présence d'effets de site à L'Aquila. Afin de mieux les préciser, l'équipe de recherche Risque Sismique du CETE Méditerranée en collaboration avec l'INGV et la protection civile italienne a déployé un réseau combiné accélérométrique et vélocimétrique dans la ville de L'Aquila. Près de 25 stations ont été installées dans la ville désertée. L'analyse des enregistrements en cours permettra une meilleure cartographie de ces effets de site dans la ville et d'analyser leur relation avec la répartition des dégâts observés après le séisme du 6 avril.

la chaîne des Apennins. Le nombre, la magnitude et la faible profondeur des répliques ont contribué à l'aggravation des dégâts dans L'Aquila et les villages voisins.

**3- Données accélérométriques et premières observations**

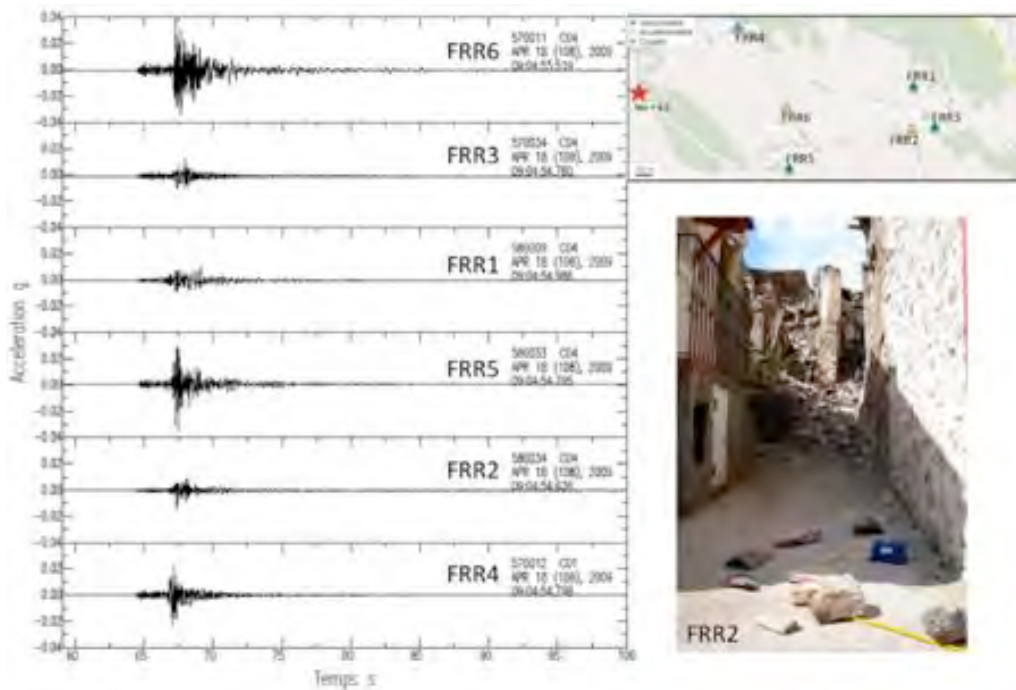
L'institut national de géophysique et volcanologie (INGV) gère en collaboration avec la protection civile italienne un réseau accélérométrique fort de 388 stations déployées sur l'ensemble du territoire italien, le RAN (Rete Accelerometrica Nazionale) équivalent du RAP. Les enregistrements montrent des accélérations maximales (PGA) allant jusqu'à 0,67g dans la ville de L'Aquila. Cependant certaines stations auraient saturé (G. Milana, communication personnelle), ce qui pourrait indiquer un PGA supérieur à 1g à ces endroits. La Figure 2 présente les PGA relevés sur les stations du RAN pour le choc principal en fonction de la distance épacentrale. Pour comparaison, nous avons reporté sur ce graphique la loi empirique de décroissance du PGA établie par Ambraseys *et al.* (2005) à partir de



**Figure 2 :** PGA observés lors du séisme du 6/04/09 comparés aux prédictions de la loi empirique d'Ambraseys *et al.* (2005) pour une faille normale et des sites au rocher (données du Réseau Accélérométrique Italien RAN)

Les stations du CETE Méditerranée avaient au préalable été mises en place sur le plateau de Roio, localisation supposée de l'épicentre, où plusieurs bourgs ont été très diversement endommagés. A cet endroit, se retrouvent des terrains similaires à ceux sur lesquels L'Aquila est bâtie et qui sont caractéristiques des Abruzzes, notamment la formation détritifique des méga-brèches. Cette installation a été réalisée dans la semaine qui a suivi le choc principal et a enregistré les principales répliques pendant près d'un mois. L'association de mesures accélérométriques (Geosig AC23) et vélocimétriques (Lennartz Le3D, 5s) permet

LE SEISME DE L'AQUILA (SUITE)



**Figure 3 :** Enregistrements accélérométriques de la réplique du 18/04/09 (MI=3,8) par le réseau Roio. Composante NS.

enregistrable, l'accéléromètre saturant moins vite que le velocimètre et le velocimètre étant plus sensible que le capteur accélérométrique. Un exemple d'enregistrement est montré sur la Figure 3. Il s'agit d'une réplique de magnitude  $M_L$  3,8 ayant eu lieu le 18 avril et localisée par l'INGV à une dizaine de kilomètres au nord du réseau. Le tableau ci-après donne la valeur maximale de l'accélération relevée sur les enregistrements. Ces valeurs s'échelonnent entre 0,01 g à la station FRR1 et plus de 0,04 g à FRR6. On note une bonne correspondance entre la géologie des terrains sur lesquels repose les stations et les PGA. En effet, ceux-ci sont plus élevés sur les terrains sédimentaires que sur les sols rocheux. D'autre part, il semblerait que sur la brèche le mouvement ne soit pas significativement amplifié par rapport au rocher dur.

Station			Distance (km)	PGA (g)
N°	Nom	Sol		
570012	FRR4	Rocher	11,076	0,023
570011	FRR6	Alluv.	11,986	0,044
570034	FRR3	Rocher	12,372	0,012
580009	FRR1	Rocher	11,807	0,010
580033	FRR5	Alluv.	12,677	0,035
580034	FRR2	Mégabrèche	12,363	0,015

**Tableau 1 :** Valeur des PGA relevés aux stations du réseau de Roio. Réplique du 18 avril 2009,  $M_L=3.8$ .

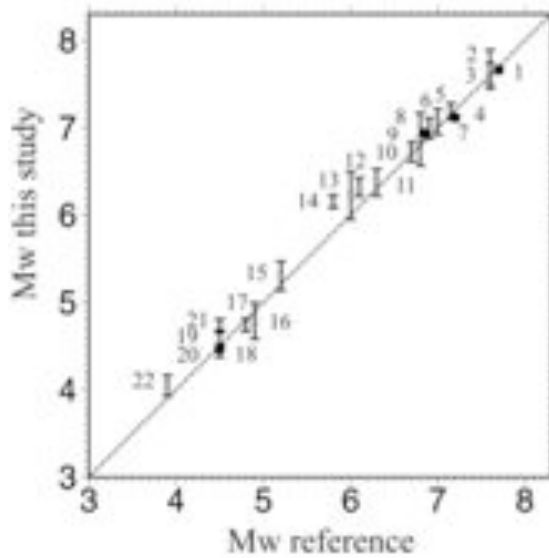
**4- Conclusion**

Le séisme qui a frappé l'Italie a provoqué de très nombreux dommages et les plus grandes pertes

humaines qu'ait connu le pays depuis près de 30 ans. La répartition des dégâts pose une nouvelle fois la question de la variabilité du mouvement du sol sous séisme et des effets de site. Afin de mieux comprendre la réponse des sols de la région de L'Aquila, des stations ont été installées successivement sur le plateau de Roio et dans le centre de L'Aquila. L'enregistrement des répliques va nous permettre de comparer les signaux et d'en déduire les amplifications locales susceptibles d'exister, vue la configuration géologique et topographique de la zone touchée par le tremblement de terre. Les données déjà recueillies montrent que les brèches ne semblent pas amplifier particulièrement le signal. Cependant, des études plus précises et l'analyse de tous les enregistrements obtenus permettront d'affiner ces premières observations.

**Références.**

Ambraseys N. N., Douglas J., Sarma S. K. and P. M. Smit (2005). Equation for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East : Horizontal peak ground accélération and spectral accélération, Bull. Earth. Eng., 3, 1-53.  
 Camassi R. et collaborateurs, 2009. Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009. INGV-Quest RPT03 - 20.04.2009.  
 De Luca G., Marcucci S., Milana G., and T. Sano (2005). Evidence of Low-Frequency Amplification in the City of L'Aquila, Central Italy, through a Multidisciplinary Approach Including Strong- and Weak-Motion Data, Ambient Noise, and Numerical Modeling. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 95, n°4, 1469-1481.



Magnitude de Moment  $M_w$  déterminées par Delouis et al. (Bull. Seism. Soc. Am., 99(3), 1827-1840, doi: 10.1785/0120080234) pour des séismes mondiaux et incluant 9 événements majeurs du RAP à partir d'une méthode d'estimation rapide à l'aide de stations accélérométriques.

**APPEL D'OFFRE RAP 2008 SUITE**

Trois nouveaux projets ont été financés par le RAP dans le cadre de l'appel d'offre RAP 2008.

**Evaluation de la magnitude de Moment pour le catalogue des Antilles et évaluation des conditions de site des stations RAP des Antilles.** Partenaires: Marie-Paule Bouin (Coord.), (IPGP/OVSG) - Stéphane Drouet, Fabrice Cotton (LGIT Grenoble). **Résumé:** Ce projet a pour objectif, d'une part d'évaluer les magnitudes de moment des séismes enregistrés par les stations RAP des Antilles, d'autre part d'évaluer les conditions des sites correspondants. Nous utiliserons les outils développés par Stéphane Drouet dans le cadre de sa thèse de Doctorat et présentés dans Drouet et al., 2008. L'échelle de magnitude de durée du catalogue des Antilles pourra donc être calibrée par rapport aux magnitudes de moment.

**Projet RAP-ID : définition de fiche d'Identité géophysique pour les stations RAP.** Partenaires: Julie Régner (Coord.), Etienne Bertrand, Anne-Marie Duval (Cete Méditerranée - Nice). **Résumé:** Ce projet propose de compléter les fiches « Monographie » pour chaque station RAP (fiches uniformisées à l'échelle européenne). Ces fiches regroupent des données relatives à l'installation de la station, des données géomécaniques et des données qualifiant la réponse du sol. Ce projet comprend 4 phases principales. Il s'agit d'abord d'unifier les données géomécaniques de base et de qualifier l'incertitude sur les

paramètres descriptifs du site. Ensuite, l'aléa sismique régional sera évalué de manière homogène sur chacun des sites. Puis, à travers 3 approches allant de l'empirique au numérique les fonctions d'amplification seront obtenues. Finalement, dans la dernière phase nous définirons la classe de sol EC8 ainsi que les spectres de réponse de référence en surface de chaque site.

**Faisabilité de l'utilisation des enregistrements accélérométriques en continu pour l'analyse de la corrélation de bruit : application aux stations RAP à Nice.** Partenaires: Fabian Bonilla (Coord.), Céline Gélis (IRSN-Fontenay-aux-Roses), Nikolai Shapiro (IPG Paris) - Sylvette Bonnefoy-Claudet (Résonance, Suisse). **Résumé:** Le présent projet consiste à étudier la faisabilité de la méthode développée par Shapiro et al. (2005) avec des données accélérométriques. Nous proposons de calculer les intercorrélations des signaux enregistrés en continu entre les stations du réseau RAP localisées à Nice : NLIB, NPOR, NALS, NROC (stations reposant sur des alluvions) et NBOR (station sur le rocher). Nous évaluerons la possibilité d'extraire de ces intercorrélations les courbes de dispersion des ondes de surface pour chaque paire de capteurs.

**Conférences**

**2009 2nd Euro-mediterranean meeting on accelerometer data exchange and archiving**, 10-12 November, Ankara, Turkey. <http://www.adea.metu.edu.tr>

**2010 SSA Annual Meeting** 20-23 April, Portland, Oregon. <http://www.seismosoc.org/meetings/>

**2010 ESC meeting**, 5-9 September, Montpellier, France. <http://www.esc2010.eu/>

**2011 IUGG meeting**, 28 June - 07 July, Melbourne, Australia. <http://www.iugg2011.com/>

**Informations**

Réseau Accélérométrique Permanent  
 LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9  
 tél: 04 76 63 51 74 - fax: 04 76 63 52 52  
<http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr>