



**RÉSEAU ACCÉLÉROMÉTRIQUE PERMANENT
FRENCH ACCELEROMETRIC NETWORK**



RESEAU ACCELEROMETRIQUE PERMANENT

OPERATION PILOTE-PHASE 16

Convention CV0000417

Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques

Sous Direction de la Prévention des Risques Majeurs

Rapport final

Philippe GUEGUEN

Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique de Grenoble

Résumé

Après la consolidation du RAP dans les différentes régions françaises de métropole (Alpes du Nord et du Sud, Fossé Rhénan, Pyrénées, Massif Central et Bretagne) et le renforcement des installations vers l'Outremer (Antilles, Nouvelle Calédonie et Mayotte), le GIS-RAP a choisi pour la phase 16 d'initier de nouvelles opérations de recherche en accord avec les décisions prises lors de l'Assemblée Générale du GIS-RAP de 2006. Lors des journées techniques et scientifiques du RAP en 2006, deux nouveaux groupes de travail sur la magnitude de moment et sur les évolutions techniques du réseau ont été créés en complément des deux groupes existants sur la caractérisation des conditions de site et sur la liquéfaction. Par ailleurs, le premier appel à proposition sur des programmes de recherche a été lancé, afin d'augmenter la synergie entre les partenaires du GIS-RAP et de favoriser la valorisation des données. Enfin, quelques nouvelles installations de stations ont été menées dans le centre de la France et sur le dispositif instrumental focalisé sur l'analyse des effets de site du bassin de Grenoble est en cours de renforcement.

Septembre 2008

INTRODUCTION

Dans le domaine des risques sismiques, le Groupement d'Intérêt Scientifique du Réseau Accélérométrique Permanent (GIS-RAP) a pour objectif l'amélioration de notre connaissance des mouvements sismiques forts qui peuvent affecter le territoire français (métropoles et départements d'outre-mer). Pour cela, il coordonne l'acquisition, la gestion, la valorisation et la diffusion des données du mouvement du sol enregistrées en France, par les réseaux régionaux qui constituent l'ossature principale du RAP. Les données sont centralisées au Site Central du RAP basé au Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique (LGIT) de l'Université de Grenoble. Il assure la mise à jour de la base de données RAP, un soutien technique aux centres régionaux du RAP, une veille technologique et il s'occupe de gérer la jouvence des stations du réseau. C'est aussi au niveau du site central que sont discutées, testées et développées les nouvelles technologies et procédures qui sont ensuite déployées sur l'ensemble des réseaux RAP.

Par ailleurs, le GIS-RAP doit initier et/ou promouvoir l'utilisation et la valorisation de ces données, pour améliorer en France la compréhension et la caractérisation du mouvement sismique via des projets scientifiques et de recherche. Pour cela, le bureau scientifique du GIS-RAP a été constitué afin de regrouper autour de mêmes objectifs les acteurs français concernés par les problématiques gravitant autour des risques sismiques et des mouvements forts. Il est constitué de membres institutionnels ayant des finalités diverses (EPST, Universités, EPIC) mais qui se retrouvent néanmoins autour de plusieurs objectifs scientifiques : l'analyse des mécanismes de rupture caractéristiques (effets de source), les mouvements accélérométriques prévisibles en France (loi d'atténuation et fonctions de Green empiriques), la proposition de nouveaux spectres de dimensionnement, l'estimation et la prise en compte des effets géologiques particuliers (effets de site) et la réponse des structures et bâtiments (vulnérabilité sismique).

En 2008, le RAP est constitué de **148** stations installées dans les régions les plus actives de France Métropole, aux Antilles et maintenant en Nouvelle-Calédonie et à Mayotte (Fig. 1). Ces stations constituent l'épine dorsale du RAP. Parmi ces stations, certaines ont été intégrées au RAP grâce au CDSA des Antilles et à la principauté de Monaco. En complément, le GIS-RAP a choisi de collecter également les données provenant des partenaires du GIS-RAP qui possèdent des réseaux propres. Parmi eux, en 2008 ont été ajoutés à la base de données du RAP le réseau RAS-LDG qui viennent s'ajouter aux réseaux associés du BRGM aux Antilles (RAS-BRGM) et du Conseil Général de Martinique (RAS-CGMA).

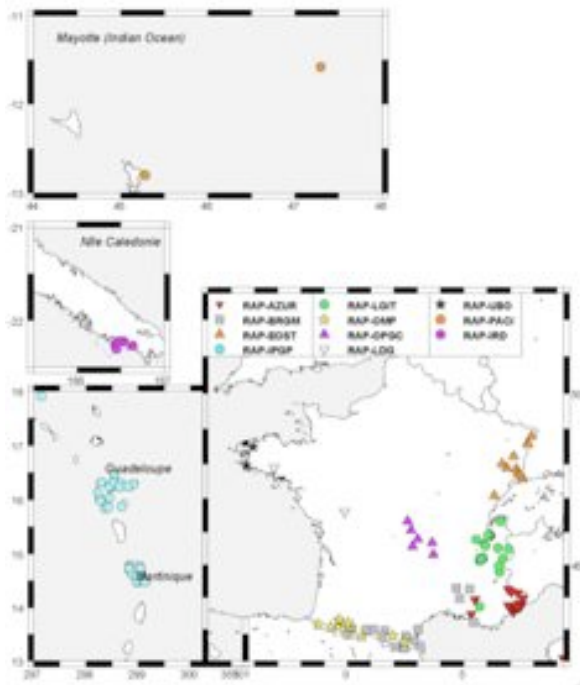


Figure 1. Carte des stations du RAP.

Les données sont nombreuses et de qualité. Depuis 1995, 10 058 événements sismiques ont été enregistrés par au moins une station du RAP ou des réseaux associés (Fig. 2). Ces événements correspondent à 18 888 enregistrements. La haute sensibilité des stations RAP permet de détecter des séismes modérés ($M_L < 2$) et leur grande dynamique permet d'enregistrer sans saturer des mouvements forts. L'accélération maximale contenue dans la base du RAP est 0.7g enregistrée lors de la réplique du 14/02/2005 ($M_L = 5.4$) suite au séisme des Saintes (Antilles) du 21/11/2004 ($M_L = 6.3$).

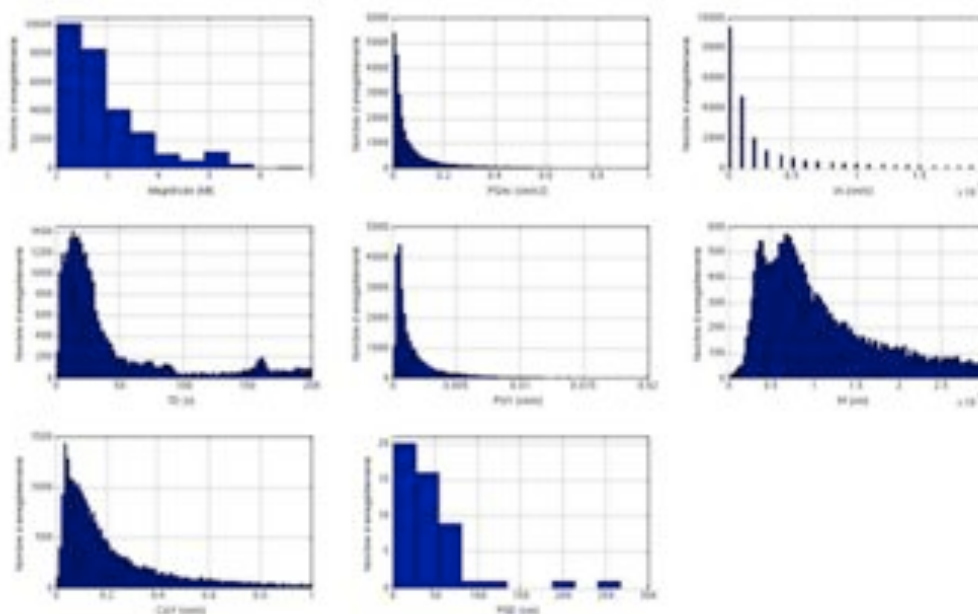


Figure 2. Calcul des paramètres du mouvement du sol sur la base du RAP et selon le protocole établi dans le projet européen NERIES auquel le RAP participe.

IIIÈME BIENNALE DU RAP: LES JOURNÉES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

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 points de blocage 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. Des temps d'échange et de synthèses ont été prévus. 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.

Bruno Feignier, Président du GIS-RAP a rappelé les objectifs que s'était fixé le GIS-RAP lors de sa création. Il souligne la nécessité d'un réseau accélérométrique en France, qui malgré une sismicité modérée, contribue à la compréhension de l'aléa et de la vulnérabilité sismique en France. Le pari de dimensionner un réseau accélérométrique sensible est payant par le nombre d'informations et de connaissances qu'il apporte. Il présente le programme de ces journées, en rappelant le rôle important qu'elles jouent dans le fonctionnement du réseau RAP. Elles doivent être le lieu d'échange entre chercheurs et ingénieurs concernés par le risque sismique en France.

Philippe Sabourault, représentant le Ministère de l'Ecologie et Développement Durable, rappelle que comme depuis sa création, le RAP est une priorité du ministère. Il apprécie que les actions présentées chaque année par le GIS aboutissent en conformité avec ses objectifs scientifiques et techniques. Le ministère continuera à soutenir le RAP, même si l'objectif initial fixé à 100 stations installées sur le territoire français a été atteint. Il reste à l'écoute des propositions du GIS-RAP et il encourage ce dernier à initier un nouveau projet fédérateur à moyen ou long terme, projet qui sera considéré avec bienveillance par le ministère.

Le relevé de conclusions est visibles en Annexe

Programme des III^{ème} journées du RAP - Les Houches, 29/30/31 mai 2006

29 mai 2006	Accueil et inscriptions		
29/05 AM	13h30-15h00 - Session Plénière 1 Chairman : Bruno Feignier	Accueil et introduction Le point de vue du MEDD Le point sur le réseau	Bruno Feignier Philippe Sabourault Philippe Guéguen
	15h30-17h30 - Session Plénière 2 Etudes sur les forts séismes récents en France Chairman: Martin Vallée François Beauducel	Le séisme de Vallorcines (8 septembre 2005, $M_l=4.9$): contexte sismotectonique et analyse et al. des répliques Le séisme de Chamonix de 1905: données macrosismiques et instrumentales, mécanisme au foyer et traces de faille Le séisme des Saintes du 21 décembre 2004 (Guadeloupe, $M_w=6.3$) et sa séquence de 27000 répliques Le séisme des Saintes: données macrosismiques, adaptation des procédures d'enquêtes aux Antilles Etude de la source des séismes majeurs des Saintes (21/11/2004 et 14/02/2005) par modélisation déterministe et empirique	Michel Cara et al. François Beauducel et al. Michel Cara Christophe Sira Bertrand Delouis Martin Vallée
	17h30 - 18h00	Discussions- Conclusions	
	30/05 Matin	8h30-10h00 - Session plénière 3 La vie du réseau : Base de données - Evolutions techniques - les DOM-TOM Chairman: Pascal Dominique Marc Régnier	La base de données du RAP : état des lieux et perspectives La station Titan3F (256) Sismicité régionale et réseau RAP en Nouvelle Calédonie Sismicité régionale et réseau RAP à Mayotte Le RAP aux Antilles: spécificités, traitements automatiques et première lois d'atténuation Le réseau du Conseil Général de la Martinique: structure et premiers résultats Séisme de Wallis et Futuna de 1993
	10h30-12h30 - Session scientifique 1 - Mouvements forts/ mouvements faibles Chairman: John Douglas Françoise Courboux	Simulation du mouvement sismique dans le bassin Grenoblois par la méthode des fonctions de Green empiriques Modélisation d'accélérogrammes large-bande en combinant un modèle cinématique de source avec des FGE -Simulation de séismes de magnitude modérée dans la ville de Nice Simulation stochastique d'accélérogrammes large-bande Mouvements faibles/mouvements forts : le cas de la durée des signaux Peut on utiliser les modèles empiriques issus des mouvements faibles pour prédire les mouvements forts ? Confronter estimations d'aléa sismique probabilistes aux observations : est-ce possible en France à partir des données accélérométriques?	Matthieu Causse Javier Ruiz Carine Kohrs-Sansorny - Fabian Bonilla John Douglas Fabrice Cotton Céline Beauval
	10h30 - 12h30 - Session Technique 1 – Evolution et perspectives techniques	La Titan3F - Procédures Autour d'Inter - Evolutions techniques	Jean-Michel Douchain - Mickael Langlais
	30/05 AM	13h30-14h15 - Session plénière Spéciale	Analyse des données accélérométriques pour la caractérisation de l'aléa sismique en France métropolitaine

	14h15-15h15 - Session plénière 4	Spectres de réponse et grandeurs utilisées en génie parasismique	Pierre-Yves Bard
	Effets sur structures	Estimation de la vulnérabilité du bâti existant: apport des modélisations physiques et numériques	Didier Combescure
	Chairman: Philippe Guéguen	Comportement dynamique de l'hôtel de ville de Grenoble à partir d'enregistrements et de modèles simples	Clotaire Michel
	15h30-17h00 - Session scientifique 2	Atténuation du mouvement sismique avec la profondeur à Hualien (Taiwan)	Bruno Hernandez
	Effets de site	Valuation for practical use of S-wave velocity structures estimated by surface wave inversion applied to microtremors and hammer-generated waves	Seiji Tsuno
	Chairman : Emmanuel Chaljub Fabian Bonilla	Conditions de site des statins accélérométriques: premier bilan	Philippe Guéguen
		Mesure des effets de site dans la vallée grenobloise	Cécile Cornou
		Modélisation numérique des effets de site dans la vallée grenobloise	Emmanuel Chaljub
	15h30 - 17h00 - Session technique 2 Base de données	InBdsis - Les volumes SEED	Catherine Péquegnat
	17h00 - 17h30	Discussion - Conclusions	
31/05 Matin	8h30 - 10h00 - Session plénière 5 –	Détermination conjointe de la magnitude de moment et du mécanisme au foyer, application à quelques séismes français	Bertrand Delouis
	Magnitude de moment		
	Chairman : Bertrand Delouis - Fabrice Cotton	Calcul de la magnitude de moment de quelques séismes français récents	Stéphane Nechtschein
	10h15 - 11h30 - Session plénière 6	Détermination des Intensités macrosismiques en France: évolution des méthodes du BCSF depuis 1999.	Christophe Sira
	Intensité, relations avec les mouvements du sol (PGA, PGV, ...)	Cartes macrosismiques transfrontalières entre la France, la Suisse et l'Allemagne: exemples sur 4 séismes de 2003 à 2005.	Michel Cara
	Chairman : Michel Cara - Annie Souriau	Intensités macrosismiques et effets de site: tests sur 3 séismes récents du nord-est de la France	Antoine Schlupp
		Corrélation Intensités PGA – Corrélations avec les relations "classiques" et celles utilisées pour les "shakemaps" en Californie	Pierre-Yves Bard
		Séismes ressentis: Relations entre intensités, magnitudes, accélérations et fréquences dominantes	Annie Souriau
	11h30 - 12h30 Session plénière 7	Synthèse et perspectives	Bruno Feignier

GROUPES DE TRAVAIL

Suite aux groupes de travail Liquéfaction et Reconnaissance des conditions de site des stations, deux autres groupes de travail ont été mis en place au sein du RAP. Nous rappelons ici les conclusions des groupes de travail, les résultats finaux ayant été publiés dans un rapport présenté en Annexe.

GT-Technique – 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 2006. 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.

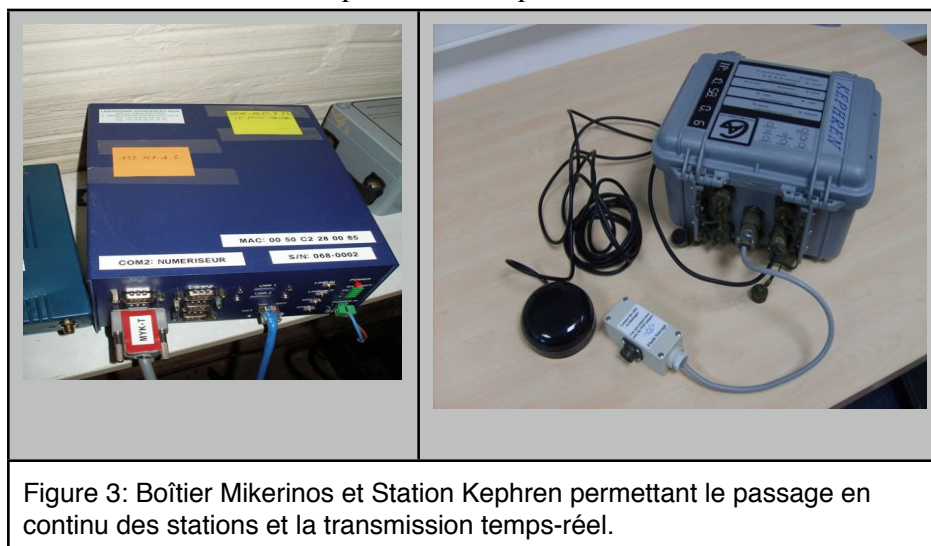


Figure 3: Boîtier Mikerinos et Station Kephren permettant le passage en continu des stations et la transmission temps-réel.

Voir Rapport final Annexe 2.

GT-Magnitude de moment –

Les différentes approches utilisées par le groupe de travail nous ont permis de vérifier la robustesse des déterminations de MW par la méthode des spectres, que ce soit en champ lointain ou en champ proche. A une exception près, les valeurs de MW 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. 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 Mw.

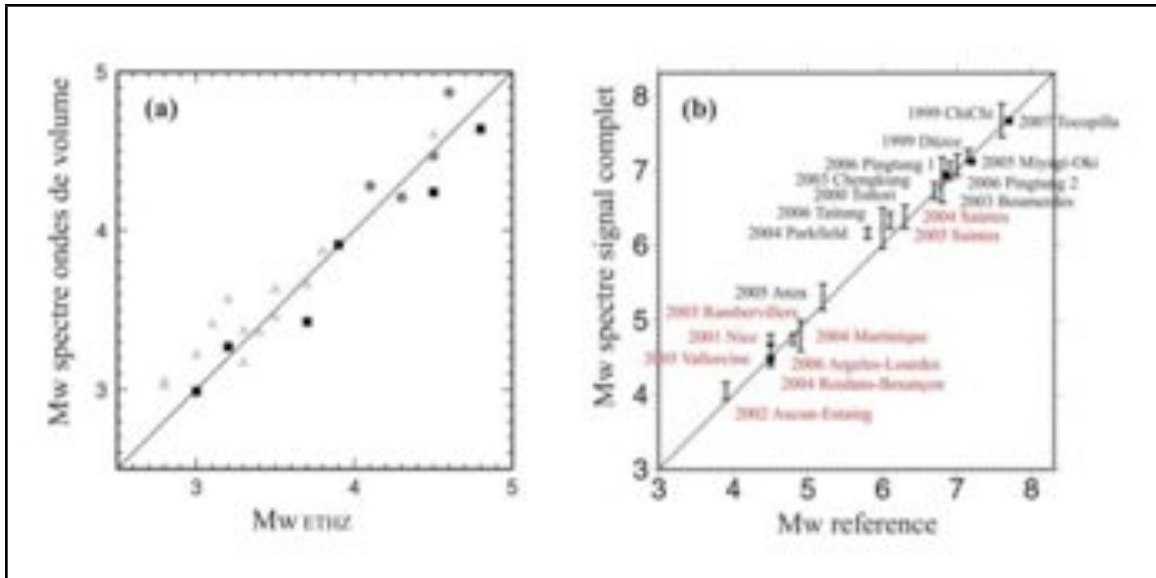


Figure 4: Comparaison des magnitudes de moment obtenues à partir des spectres avec celles déterminées par des inversions de la source. **(a)** En ordonnée MW obtenue à partir du spectre des ondes de volume (S) avec les données RAP métropolitaines (triangles: Alpes; ronds: Pyrénées; carrés: Fossé Rhéna). La magnitude MW 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, Mw déterminée par des inversions de la source (ETH Zurich, INGV Roma, IGN Madrid, GCMT et études spécifiques publiées). D'après Delouis et al. (2008).

Voir Rapport final Annexe 3.

GT-Liquéfaction – Le groupe de travail liquéfaction est sur les rails depuis 2005. Il s'est traduit par la sélection d'un site pilote aux Antilles et par le montage d'une proposition ANR acceptée en 2006 pour rapprocher la communauté de la dynamique des sols de celle du RAP. L'instrumentation du site a été finalisé par le site central en juillet 2008. Les premières données vont commencer à être analysées en 2008-2009.

APPEL D'OFFRE DU 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, 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. L'appel d'offre, à la charge du site central, a retenu en 2007 les projets suivants :

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)**

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).**

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).**

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).**

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

Le retour de cet appel d'offre et les conclusions des projets ont été présentés lors des journées techniques et scientifiques du RAP qui se sont tenues en 2008. Les rapports seront disponibles sur le site web du RAP fin 2008 mais d'ores et déjà le retour que nous en avons est très intéressant.

Tout d'abord, plusieurs papiers scientifiques ont été publiés grâce à cette action. Les chercheurs impliqués ont également apprécié d'avoir la possibilité de travailler en groupe, entre différents organismes et instituts. Cette action sera donc renouveler en 2008 afin de poursuivre cette dynamique.

INSTALLATION D'UNE STATION DANS LES ARDENNES

Sur proposition du bureau du GIS-RAP, l'installation d'une station RAP dans les Ardennes a été confiée au LDG. Depuis 1980, des séismes ont été enregistrés de magnitude supérieure à 3, localisés au niveau de la frontière franco-belge. Cette activité certes modérée, traduit une zone de déformation ayant provoquée par le passé des séismes historiques majeurs. On note ainsi des séismes d'intensité supérieure à 5, avec en particulier les événements du Brabant de 1939 (intensité VII) et du Hainaut de 1949, 1965 et 1966 (intensité VII). D'autre part, des séismes plus au Nord ont été recensés dans la base de données historiques SisFrance : ce sont ceux de 1382 et de 1580, localisés en mer du Nord et qui produisirent des intensités supérieures à VII. Cette région, particulièrement urbanisés avec les secteurs de Lille et Roubaix, est une zone caractérisée par des enjeux importants.

La station a été livrée, le site reconnu et la station sera opérationnelle fin 2008.

FINANCEMENT D'UNE THÈSE LABELLISÉE RAP

Le bureau du GIS-RAP a sollicité la participation du Ministère à un financement de thèse, rapprochant la communauté de la sismologie (BCSF) et la communauté des ingénieurs. Par manque de candidat pour l'année universitaire 2007-2008, la thèse démarrera en 2008 sur un thème concernant les intensités macro-sismiques et le mouvement du sol, en relation avec la vulnérabilité des bâtiments. Le co-financement viendra de l'IRSN, partenaire du GIS-RAP. Un comité de suivi intégrant des membres du bureau se constituera et les résultats de ce travail feront l'objet de présentations et de rapport d'avancement tous les ans.

La candidature de Chloé Lesueur a été retenue par le comité IRSN, il nous faut donc mettre en place les crédits pour sa bourse qui débutera en octobre 2008.

FONCTIONNEMENT DU SITE CENTRAL

A l'échelle européenne, plusieurs réseaux accélérométriques, dont le RAP, se sont rapprochés afin d'ouvrir leurs activités aux autres. En particulier, une certaine homogénéité des données doit être assurée ainsi que des connaissances sur les stations et les données, afin de permettre facilement l'échange de données entre réseaux. En pratique, il faut permettre à l'utilisateur de récupérer via le web, et pour un séisme se produisant entre plusieurs pays, l'ensemble des données dans le même format. C'est pourquoi des efforts ont été menés depuis 2006 pour créer une synergie autour de ces activités. Cette action entre dans le cadre d'un projet européen (NERIES, FP6). Le RAP est coordinateur d'une action qui est de mettre en application à l'échelle européenne ce qui existe déjà à l'échelle française, à savoir la récupération des données et le suivi des stations par le web. Cette tâche a nécessité de recenser l'ensemble des matériels installés en Europe et de les décrire techniquement de façon à distribuer des données indépendantes du matériel d'acquisition. Ce travail a été fait au cours du premier semestre 2007 et conclu par la réalisation d'un outil de génération automatique des réponses instrumentales des stations accélérométriques.

A la demande des coordinateurs du projet NERIES, le premier meeting européen sur l'accélérométrie a été organisé à Grenoble par le RAP et le LGIT (<http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/MeetingGrenoble.html>) Ce meeting a permis de faire le bilan des premières années du projet NERIES et de commencer un travail de coordination entre réseaux accélérométriques européens.



First Euro-Mediterranean meeting on
Accelerometric Data Exchange and Archiving

Grenoble, 10 & 11 March 2008



Chairman: Rémy Bossu - Philippe Guéguen - Antoni Roca
Toril Van Eck

Enfin, le site central a validé les données de 2007, il a assuré le suivi du matériel des stations, la coordination du personnel technique, la gestion de la base de donnée et l'animation scientifique.

Il a assuré la jouvence des stations et le remplacement des matériels défectueux.

Conclusion

L'installation des nouvelles stations prévues phase 15 s'est achevée en 2007. La plupart des stations prévues dans le cadre des précédentes conventions (Phase 14 et 15) ont été installées et fonctionnent correctement. La thèse sur l'estimation des magnitudes s'est terminée et a produit de nombreuses publications scientifiques grâce aux données du RAP. Le financement d'une thèse est une opération très rentable en matière de valorisation des données acquises. En complément, l'archivage des données du site central s'est poursuivi, la jouvence des stations se poursuit et des opérations ponctuelles pour le passage à l'enregistrement continu ont démarré. Un effort de documentation des outils de gestion des réseaux a été réalisé.

D'autre part des efforts ont été réalisés pour améliorer la communication entre les partenaires du GIS-RAP par la création et la maintenance d'un site WEB et depuis 2004 par la parution de la lettre du RAP.

Annexe 1 - Relevé de conclusions des III^{ème} journées du RAP

III^{ème} Journées techniques et scientifiques du RAP
Centre de Physique des Houches
29 mai 2006 – 31 mai 2006

Document de synthèse

Philippe Guéguen

document complet sous: <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr/> rubrique communication/
publication

Novembre 2006

Introduction

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 points de blocage 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. Des temps d'échange et de synthèses ont été prévus. 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 initiées 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.

Programme

29 mai 2006 Accueil et inscriptions			
29/05 AM	13h30-15h00 - Session Plénière 1	Accueil et introduction	Bruno Feignier
	Chairman : Bruno Feignier	Le point de vue du MEDD	Philippe Sabourault
		Le point sur le réseau	Philippe Guéguen
	15h30-17h30 - Session Plénière 2	Le séisme de Vallorcines (8 septembre 2005, François Thouvenot MI=4.9): contexte sismotectonique et analyse et al. des répliques	
	Etudes sur les forts séismes récents en France	Le séisme de Chamonix de 1905: données macrosismiques et instrumentales, mécanisme au foyer et traces de faille	Michel Cara et al.
Chairman: Martin Vallée	Le séisme des Saintes du 21 décembre 2004 (Guadeloupe, Mw=6.3) et sa séquence de 27000 répliques	François Beauducel et al.	
François Beauducel	Le séisme des Saintes: données macrosismiques, adaptation des procédures d'enquêtes aux Antilles	Michel Cara Christophe Sira	
	Etude de la source des séismes majeurs des Saintes (21/11/2004 et 14/02/2005) par modélisation déterministe et empirique	Bertrand Delouis Martin Vallée	
	17h30 - 18h00	Discussions- Conclusions	
30/05 Matin	8h30-10h00 - Session plénière 3	La base de données du RAP : état des lieux et perspectives	Catherine Péquegnat
	La vie du réseau : Base de données - Evolutions techniques - les DOM-TOM	La station Titan3F (256)	Javier Revilla Mickael Langlais
		Sismicité régionale et réseau RAP en Nouvelle Calédonie	Pierre Lebellegarde
		Sismicité régionale et réseau RAP à Mayotte	Pascal Dominique
	Chairman: Pascal Dominique	Le RAP aux Antilles: spécificités, traitements automatiques et première lois d'atténuation	François Beauducel et al.
	Marc Régnier	Le réseau du Conseil Général de la Martinique: structure et premiers résultats	Bernard Naigre John Douglas
		Séisme de Wallis et Futuna de 1993	Marc Régnier
	10h30-12h30 - Session scientifique 1 -	Simulation du mouvement sismique dans le bassin Grenoblois par la méthode des fonctions de Green empiriques	Matthieu Causse
	Mouvements forts/ mouvements faibles	Modélisation d'accélérogrammes large-bande en combinant un modèle cinématique de source avec des FGE	Javier Ruiz
	Chairman: John Douglas	-Simulation de séismes de magnitude modérée dans la ville de Nice	Carine Kohrs-Sansorny -
Françoise Courboux	Simulation stochastique d'accélérogrammes large-bande	Fabian Bonilla	
	Mouvements faibles/mouvements forts : le cas de la durée des signaux	John Douglas	
	Peut on utiliser les modèles empiriques issus des mouvements faibles pour prédire les mouvements forts ?	Fabrice Cotton	
	Confronter estimations d'aléa sismique probabilistes aux observations : est-ce possible en France à partir des données accélérométriques?	Céline Beauval	
	10h30 - 12h30 - Session Technique 1 - Evolution et perspectives techniques	La Titan3F - Procédures Autour d'Inter - Evolutions techniques	Jean-Michel Douchain - Mickael Langlais
30/05 AM	13h30-14h15 - Session plénière Spéciale	Analyse des données accélérométriques pour la caractérisation de l'aléa sismique en France métropolitaine	Stéphane Drouet

	14h15-15h15 - Session plénière 4	Spectres de réponse et grandeurs utilisées en génie parasismique	Pierre-Yves Bard
	Effets sur structures	Estimation de la vulnérabilité du bâti existant: apport des modélisations physiques et numériques	Didier Combescure
	Chairman: Philippe Guéguen	Comportement dynamique de l'hôtel de ville de Grenoble à partir d'enregistrements et de modèles simples	Clotaire Michel
	15h30-17h00 - Session scientifique 2	Atténuation du mouvement sismique avec la profondeur à Hualien (Taiwan)	Bruno Hernandez
	Effets de site	Valuation for practical use of S-wave velocity structures estimated by surface wave inversion applied to microtremors and hammer-generated waves	Seiji Tsuno
	Chairman : Emmanuel Chaljub Fabian Bonilla	Conditions de site des statins accélérométriques: premier bilan	Philippe Guéguen
		Mesure des effets de site dans la vallée grenobloise	Cécile Cornou
		Modélisation numérique des effets de site dans la vallée grenobloise	Emmanuel Chaljub
	15h30 - 17h00 - Session technique 2	InBdsis - Les volumes SEED	Catherine Péquegnat
	Base de données		
	17h00 - 17h30	Discussion - Conclusions	
31/05 Matin	8h30 - 10h00 - Session plénière 5 –	Détermination conjointe de la magnitude de moment et du mécanisme au foyer, application à quelques séismes français	Bertrand Delouis
	Magnitude de moment		
	Chairman : Bertrand Delouis - Fabrice Cotton	Calcul de la magnitude de moment de quelques séismes français récents	Stéphane Nechtschein
	10h15 - 11h30 - Session plénière 6	Détermination des Intensités macrosismiques en France: évolution des méthodes du BCSF depuis 1999.	Christophe Sira
	Intensité, relations avec les mouvements du sol (PGA, PGV, ...)	Cartes macrosismiques transfrontalières entre la France, la Suisse et l'Allemagne: exemples sur 4 séismes de 2003 à 2005.	Michel Cara
	Chairman : Michel Cara - Annie Souriau	Intensités macrosismiques et effets de site: tests sur 3 séismes récents du nord-est de la France	Antoine Schlupp
		Corrélation Intensités PGA – Corrélations avec les relations "classiques" et celles utilisées pour les "shakemaps" en Californie	Pierre-Yves Bard
		Séismes ressentis: Relations entre intensités, magnitudes, accélérations et fréquences dominantes	Annie Souriau
	11h30 - 12h30 Session plénière 7	Synthèse et perspectives	Bruno Feignier

Lundi 29/05 – 13h30-15h00 - Session Plénière 1

Coordinateur : Bruno Feignier

Accueil et introduction - B. Feignier

Bruno Feignier, Président du GIS-RAP rappelle les objectifs que s'était fixé le GIS-RAP lors de sa création. Il souligne la nécessité d'un réseau accélérométrique en France, qui malgré une sismicité modérée, contribue à la compréhension de l'aléa et de la vulnérabilité sismique en France. Le pari de dimensionner un réseau accélérométrique sensible est payant par le nombre d'informations et de connaissances qu'il apporte. Il présente le programme de ces journées, en rappelant le rôle important qu'elles jouent dans le fonctionnement du réseau RAP. Elles doivent être le lieu d'échange entre chercheurs et ingénieurs concernés par le risque sismique en France.

Le point de vue du MEDD - P. Sabourault

Philippe Sabourault, représentant le Ministère de l'Ecologie et Développement Durable, rappelle que comme depuis sa création, le RAP est une priorité du ministère. Il apprécie que les actions présentées chaque année par le GIS aboutissent en conformité avec ses objectifs scientifiques et techniques. Le MEDD continuera à soutenir le RAP, même si l'objectif initial fixé à 100 stations installées sur le territoire français a été atteint. Il reste à l'écoute des propositions du GIS-RAP et il encourage ce dernier à initier un nouveau projet fédérateur à moyen ou long terme, projet qui sera considéré avec bienveillance par le ministère.

Le point sur le réseau - P. Guéguen

Philippe Guéguen, directeur du GIS-RAP, présente les actions engagées par le GIS au cours des deux dernières années. Introduisant son exposé par deux résultats scientifiques importants extraits des données du RAP, il présente ensuite le bilan des installations des nouvelles stations en 2004-2005 ainsi que le contenu de la base de données du RAP accessible sur le web (Fig. 1). En 2006, 121 stations sont installées en Métropole, aux Antilles et vers deux nouveaux territoires d'outremer que sont la Nouvelle-Calédonie et Mayotte. La base de données contient maintenant plus de 16000 enregistrements dont ceux des séismes majeurs récents (crise des Saintes et Vallorcines). Il présente ensuite les nombreux projets scientifiques régionaux, nationaux, européens et internationaux qui se servent des données du RAP. Il souligne en particulier le rôle fédérateur des actions pilotes du RAP ainsi que la nécessité de poursuivre la création de groupes de travail RAP consacrés à des problématiques spécifiques. Enfin, sans en présenter les résultats, il mentionne les travaux de thèse de Stéphane Drouet, première thèse « labellisée » RAP qui est un des moyens les plus efficaces pour valoriser l'acquisition des données du réseau depuis 10 ans. A ce titre, il souhaite que le RAP puisse enclencher une nouvelle thèse sur un sujet qui devrait émerger de ces journées.

Lundi 29/05 – 15h30 - 17h30 - Session Plénière 2

Etudes sur les forts séismes récents en France

Coordinateurs: Martin Vallée – François Beauducel

Le séisme de Vallorcines (8 septembre 2005, $M_l=4.9$): contexte sismotectonique et analyse des répliques - F. Thouvenot (LGIT), J. Fréchet (IPGS), M. Frogneux (IPGS), N. Deichmann (SED) et M. Cara (IPGS)

François Thouvenot présente la séquence du séisme de Vallorcines du 8 septembre 2005, d'un point de vue expérimental ainsi que quelques effets induits. Il s'est produit dans une zone qui présente une activité continue depuis 1989 (Fig. 2). D'après F. Thouvenot, la position et le mécanisme au foyer du séisme de Vallorcine (décrochement dextre sur un azimut N55°E) est en accord avec le régime sismotectonique des massifs cristallins externes. L'analyse des répliques montre qu'il a rompu un segment de 3 km x 2 km d'une faille jusque là inconnue (« faille de la Loriaz »). 401 répliques ont été localisées en 4 mois. Les incertitudes de localisation ont été inférieures à 150 m pour les 305 répliques qui se sont produites alors que le réseau temporaire de 27 stations était déployé, en collaboration entre le LGIT, l'IPGS et le service Suisse (SED). Le séisme a déclenché des répliques sur deux failles secondaires situées à 2 et 5 km au NW de la faille principale.

Le séisme de Chamonix de 1905: données macrosismiques et instrumentales, mécanisme au foyer et traces de faille – M. Cara (IPGS), P.-J. Alasset (IPGS), L. Rivera (IPGS) et J. Van der Woerd (IPGS).

Michel Cara présente des comparaisons macrosismiques entre 4 événements importants des Alpes du Nord : Chamonix (1905), Grand Bornan (1994), Epagny (1996) et Vallorcines (2005). Il utilise en particulier une relation reliant intensité macrosismique et magnitude ($M = a I + b \log R + cR + d$), la différence des intensité à la même distance du séisme pouvant représenter la différence entre les magnitudes ($\Delta M = a \Delta I$, avec $a \sim 0.45$). Ils introduisent également des comparaisons entre 4 hypothèses de mécanismes au foyer, compatibles avec la tectonique de la région, pour tenter de simuler le seul enregistrement du séisme historique de 1905 (Fig. 3). Les conclusions de leur étude montre que la magnitude macrosismique de 1905 est de l'ordre de 5.5 à 6, avec un M_w de 5.5. D'autre part, sur les 4 mécanismes étudiés, celui de la Remuaz donne le meilleur accord, soit une faille normale enracinée sous le fond de la vallée.

Le séisme des Saintes du 21 décembre 2004 (Guadeloupe, $M_w=6.3$) et sa séquence de 27000 répliques – François Beauducel et al., IPGP/BRGM.

François Beauducel présente la crise des Saintes et détaille à la fois l'ensemble des répliques enregistrées, les effets induits ainsi que la gestion de la crise sismique. Après un bref rappel de la sismicité instrumentale des Antilles et du contexte sismotectonique, la séquence des répliques est présentée. Tandis qu'en 2003 457 séismes régionaux ont été localisés (M comprise entre 2 et 6.4), l'année 2004 et 2005 ont vu 13500 et 12900 séismes se produire. La plupart bien évidemment sont en relation directe avec le séisme principal du 21 novembre 2004 ($M=6.3$) puisque environ 25000 répliques dans la zone des Saintes ont été enregistrées. Le RAP-IPGP avait 11 stations opérationnelles, le PGA maximal ayant été enregistré est de 0.164g, l'accélération estimée aux Saintes (qui ne disposait pas de station accélérométrique) étant d'environ 0.5g (Fig. 4). Le nombre important de répliques après le choc principal a saturé les mémoires des stations, comme on s'y attendait, et avec la saturation des lignes téléphoniques, de nombreuses répliques ont été perdues. Mais le choc principal a été récupéré, mission première du RAP. Deux nouvelles stations ont été installées sur les Saintes juste après le choc principal, qui ont montré des accélération très fortes pour des séismes modérés mais proches. Au cours des 30 jours qui ont suivi le séisme, des « mini-crisis » se sont produites, relançant les répliques. Des mouvements de terrain ont été observés dans le secteur de Guadeloupe et Saintes, ainsi qu'un petit tsunami sur l'archipel des Saintes. Depuis le séisme, le volcan La Soufrière montre une activité plus soutenue que précédemment.

Le séisme des Saintes: données macrosismiques, adaptation des procédures d'enquêtes aux Antilles – Michel Cara et Christophe Sira (IPGS)

Après un bref rappel des différentes intensités, de leur signification, de leur utilité et de la façon de les estimer, M. Cara présente quelques exemples de dommages observés aux Antilles, après la crise des Saintes. Les intensités observées sont comprises entre IV et VIII, avec des anomalies relevées à proximité des côtes au Sud et à l'Ouest de la Guadeloupe, traduisant certainement des effets de site locaux (Fig. 5). Il rappelle que jusqu'à maintenant il n'existait pas de formulaire standard BCSF pour les Antilles, ce séisme étant ainsi l'occasion de normaliser les procédures d'enquêtes pour cette région. Ils ont observé en particulier que l'habitat était très vulnérable (implantation sur des terrains à forte pente, matériaux de qualité mécaniques variables, pas d'application des règles parasismiques...). Ils constatèrent également des difficultés dans la collecte d'information (connaissance exact du nombre de bâtiments difficile, retour faible vers les mairies des effets produits sur les bâtiments des particuliers, difficulté d'accès rapide aux différentes îles) mais ils estiment que cette enquête, par le nombre de retours de questionnaires, a permis de sensibiliser (un peu plus encore) la population et les acteurs locaux au risque sismique. Des développements en collaboration avec l'OVSG permettront la mise en ligne automatique de l'information sismologique concernant les Antilles sur le site du BCSF, le développement d'une cartographie automatique des intensités et de systématiser les procédures d'enquête (seuil de déclenchement, procédure, diffusion).

Etude de la source des séismes majeurs des Saintes (21/11/2004 et 14/02/2005) par modélisation déterministe et empirique – Bertrand Delouis et Martin Vallée (Geoscience Azur)

Bertrand Delouis présente une modélisation déterministe du choc principal des Saintes et de la plus forte réplique du 14 février 2005. Pour cela il utilise un modèle cinématique simple permettant d'explorer l'ensemble des paramètres de la source. Il utilise les données RAP intégrées en déplacement. Il suit deux approches différentes : (1) la première fixe l'hypocentre et recherche le mécanisme au foyer, le plan de rupture, la position de la rupture et sa vitesse ; (2) la deuxième fixe le mécanisme au foyer et le plan de rupture et recherche l'hypocentre, la position et la vitesse de la rupture. Dans les deux cas, le critère de sélection des solutions est l'ajustement des formes d'onde issues des enregistrements accélérométriques (Fig. 6). Ces deux approches permettent une bonne estimation de la position de l'hypocentre, montre le degré de complexité de la source mais ne permet pas de déterminer le plan de rupture (choix entre les deux).

De son côté, Martin Vallée présente l'étude de la source du choc principal par fonction de Green empirique (Fig. 7). Pour cela, il utilise 4 petits séismes enregistrés par le RAP, entre 30 et 70km de distance et qui se rapproche le plus du choc principal (localisation à proximité du choc principal, mécanisme similaire et magnitude autour de 5). Il observe un bon accord entre les deux approches employées (modèles de propagation théorique et fonction de Green empirique). La durée de la source du séisme des Saintes est ainsi estimée à 7-8s et la source est constituée de 2 zones principales de relâchement du moment. Malheureusement, là encore, le plan de faille actif parmi les 2 plans nodaux ne ressort pas clairement de cette étude. Il envisage finalement de poursuivre l'exploration de la source en particulier en améliorant le couplage des deux approches.

Mardi 30/05 – 8h30-10h00 - Session plénière 3

La vie du réseau : Base de données - Evolutions techniques - les DOM-TOM

Coordinateurs: Pascal Dominique – Marc Régnier

La base de données du RAP : état des lieux et perspectives – Catherine Péquegnat (LGIT)

Catherine Péquegnat présente l'état des lieux de la base de données du RAP. Après une rapide présentation de l'architecture actuelle du site central (Fig. 8), elle présente les évolutions informatiques, avec en particulier un point sur l'implantation du NetDC, tout le système de mise à jour de la base et l'intégration des nouvelles données par Rsync. D'autre part, un « upgrade » des machines informatiques est évoqué pour un passage à des processeurs 64bits. En plus de l'interface web utilisateurs, un nouvel accès aux données sous forme d'archives pré-préparées est maintenant disponible (QuickAccess). Ces deux dernières années, un outil SIG couplé à la base a été développé (BDSig) pour le site central ainsi qu'un outil de gestion des stations et des channels (InBDsis). Des informations viendront également compléter la base de données, en enrichissant les informations décrivant les événements et la description des conditions de site.

La station Titan3F (256) – Javier Revilla et Mickael Langlais (LGIT)

Javier Revilla présente les tests effectués au LGIT pour comprendre le fonctionnement de la Tian3F décidé par le bureau du GIS-RAP ainsi que ses problèmes de fonctionnement. Il rappelle que le développement de cette station devait permettre des enregistrements plus longs (augmentation de la mémoire de 8Mo à 256Mo) sans modifier considérablement leur fonctionnement et leur gestion (Fig. 9). Après un rappel du plan d'action choisi pour mener ces tests, J. Revilla expose les problèmes rencontrés : la station n'occupe que 63% de la mémoire utile (soit environ 2x80Mo par partition), les partitions ne cyclent pas mais « swappent » (effacement instantané de la mémoire de 80Mo de la partition 1 quand la partition 2 est remplie), il est impossible de communiquer avec la station quand elle est en mode d'écriture du tampon de 8Mo vers une partition de 80Mo (avec des temps d'inhibition qui peuvent atteindre plusieurs minutes) et des instabilités apparaissent quand le tampon de 8Mo est entièrement rempli (en général quand la station enregistre en permanence – situation de crise – car le taux de transfert du tampon vers la CF est lent) avec en particulier une inhibition de la station pouvant atteindre 1 heure. Les problèmes sont essentiellement dus au fait que la station T3F a été adaptée de la Titan3.

Mickael Langlais présente ensuite les échanges avec Agecodagis et les modifications faites par le constructeur suites aux dysfonctionnements observés. Sur la base des remarques faites au constructeur (Mémoire utile trop faible, communication PC-Station aléatoire, taux de transfert « Tampon vers Carte flash » trop lent, problème de gestion de la mémoire), ce dernier a apporté quelques améliorations, à savoir un nouveau système de fichiers de 2 partitions de 103Mo, une nouvelle priorité de la communication au détriment du transfert de la mémoire tampon vers la carte flash, une augmentation du taux de transfert (~6ko/s) et la limitation du remplissage du tampon à 5Mo. Les tests ont permis de recommander l'utilisation de la CF en 2 partitions et de permettre de configurer la CF en mode cyclé. Avec ces améliorations, une version 600 est maintenant disponible qui remplit les fonctionnalités demandées par le bureau du GIS-RAP. Des stations sont en court de déploiement sur le réseau RAP-LGIT et elles peuvent être fournies aux centres régionaux suivant une procédure à mettre en place.

Sismicité régionale et réseau RAP en Nouvelle Calédonie – Pierre Lebellegarde (IRD)

Parmi les nouveaux réseaux du RAP, celui de Nouvelle Calédonie, géré par l'IRD sera constitué à terme de 5 stations T3F couplées à des Episensor FBA. Pierre Lebellegarde présente l'activité de la zone, avec en particulier une zone de subduction très rapide à l'Est, caractérisée par des vitesses de convergences de l'ordre de 120mm/an. Cette subduction génère régulièrement des séismes de magnitude supérieure à 6. D'autre part, une activité locale se produit au Sud de l'île, proche de Nouméa, avec des séismes de magnitudes plus modérées. Il a donc été décidé de déployer des stations dans l'agglomération de Nouméa.

Actuellement 4 stations sont en fonctionnement et une dernière est en court d'installation (Fig. 10).

Sismicité régionale et réseau RAP à Mayotte – Pascal Dominique (BRGM)

Pascal Dominique présente le contexte sismotectonique de Mayotte où deux stations RAP sont installées. Mayotte, située à proximité de contacts de plaques, a déjà subi des séismes par le passé, d'intensité comprise entre 4 et 7.5, le maximum recensé en 1993 lors d'un séisme de magnitude 5 situé à proximité de l'archipel. Deux stations RAP gérées par le BRGM sont installées, la première sur l'aéroport de Pamandzi-Dzaoudzi et la seconde sur l'île de Grande Glorieuse (Fig. 11).

Le RAP aux Antilles: spécificités, traitements automatiques et première lois d'atténuation – François Beauducel, Sara Bazin et Mendy Bengoubou-Valérius (IPGP/OVSG)

Après un rappel du contexte tectonique et de la sismicité historique, François Beauducel souligne que les missions de l'observatoire sont l'enregistrement de la sismicité régionale et la participation aux études fondamentales, la publication des bulletins de phases et d'hypocentres, l'envoi de communiqués lors des secousses ressenties et l'information préventive (médias, grand public, éducation, ...). Il présente ensuite l'état des stations accélérométriques du RAP que l'IPGP gère aux Antilles ainsi que des stations installées dans le cadre du CDSA. F. Beauducel rappelle en particulier que ces stations acquises dans le cadre d'un projet FEDER seront intégrées à la base de données du RAP. Il développe ensuite les procédures mises en place à l'OVSG pour l'identification des stations et la gestion des installations, ainsi que pour l'estimation empirique des intensités. A partir des données accélérométriques du RAP, une loi B3 a été développée afin de donner rapidement une première estimation des intensités probables (Fig. 12).

Le réseau du Conseil Général de la Martinique: structure et premiers résultats – Bernard Naigre (CGMA) et John Douglas (BRGM)

Bernard Naigre présente le réseau du Conseil Général de Martinique. Déployé depuis une vingtaine d'années, ce réseau est constitué de 26 stations accélérométriques, dont 4 compatibles au matériel RAP et interrogées par l'IPGP/OVSM (Fig. 13). Ce réseau a été mis en place afin d'enrichir les données de mouvement du sol sur le territoire et pour étudier les phénomènes sismiques. Il est essentiellement installé dans des bâtiments publics tels que des écoles gérées par le CGMA. Des programmations de nouvelles installations sont prévues en 2006-2007, en particulier l'instrumentation d'un nouvel hôpital et la modernisation des stations existantes. Des conventions existent entre le CGMA et l'IPGP ainsi qu'avec le GIS-RAP pour l'échange et la diffusion des données. C'est pourquoi depuis 2003, les données sont intégrées à la base de données du RAP. John Douglas présente l'analyse de ces données de 1996 à 2004 (rapport BRGM RP-53906-FR) au travers la comparaison de spectres observés et de spectres obtenus à partir de relations d'atténuation empiriques.

Mardi 30/05 – 10h30 - 12h30 - Session scientifique 1

Mouvements forts/mouvements faibles

Coordinateurs: John Douglas et Françoise Courboux

Simulation du mouvement sismique dans le bassin Grenoblois par la méthode des fonctions de Green empiriques – Matthieu Causse (LGIT/LDG)

Matthieu Causse présente des simulations aveugles réalisées par fonction de Green empiriques (fge) pour prédire le mouvement sismique dans le bassin de Grenoble. Après une discussion sur la variabilité du mouvement sismique pour des couples magnitude/distance identiques et illustrée par des données du réseau japonais KickNet, M. Causse présente le développement d'une méthode de simulation extraite de Pavic et al. (2000) et calée sur les relations empiriques de prédiction de Ambrasey et al. (2005). Cette méthode suit trois étapes : 1) détermination du mouvement sismique médian au rocher ; 2) détermination de la variabilité en accord avec le modèle empirique ; 3) calcul du mouvement sismique au sédiment. Cette méthode est appliquée à Grenoble pour un scénario de magnitude 5.5 situé à 15km. La comparaison aux spectres des EC8 montre une sous-estimation réglementaire en particulier pour les hautes périodes (Fig. 14). Des pistes sont présentées pour améliorer la fonction source des simulations, en particulier en introduisant un modèle cinématique plus complexe considérant une distribution du glissement statique (Herrero et Bernard, 1994), une vitesse de rupture constante et une montée du glissement selon Tinti et al. (2005) compatible avec la dynamique de la rupture. Enfin, des perspectives sont envisagées, en particulier vers les méthodes de simulation par fonction de Green hybride, alliant les simulations hautes fréquences des fge et les simulations basses fréquences des méthodes des éléments spectraux.

Modélisation d'accélérogrammes large-bande en combinant un modèle cinématique de source avec des FGE – Javier Ruiz (IRSN/IPGP)

Javier Ruiz présente des simulations hybrides par fge et méthodes numériques 1D. Après un rappel du principe de la simulation cinématique du mouvement du sol (fonction source, modèle de glissement, vitesse de rupture puis fge numérique ou empirique), il présente des simulations réalisées à partir d'un modèle de source composite à distribution fractale et d'un processus de propagation dans un demi espace infini 1D. Il compare ainsi le PGA simulé aux relations empiriques classiques (Ambrasey et al., 2005 ; Sabetta and Puliese, 1996) qui montrent une grande dispersion des PGA traduisant ainsi la grande variabilité du mouvement sismique. J. Ruiz poursuit par des simulations à la station OGMU (RAP-LGIT) par fge hybrides pour enrichir les prédictions basses fréquences par des méthodes numériques (Fig. 15). Le scénario est un séisme de magnitude 6 à 15 km de Grenoble. Il montre ainsi que le couplage des deux méthodes permet de prédire l'ensemble de la gamme de fréquence du spectre et semble bien adaptée à la prédiction du mouvement sismique.

Simulation de séismes de magnitude modérée dans la ville de Nice – Carine Kohrs-Sansorny et Françoise Courboux (Geoscience-Azur)

Après une introduction présentant l'activité sismique de ces dernières années ainsi que les effets de séismes historiques dans la région niçoise, Françoise Courboux présente les résultats de prédiction de mouvements forts par la méthode des fonctions de Green empirique. Deux approches stochastique et stochasto-cinématique sont utilisées. La fonction de green ainsi que les simulations doivent respecter une fonction source en $-\omega^2$ et la fonction source numérique doit avoir la même forme que le rapport théorique des spectres. Le schéma de sommation doit ainsi être choisi de façon à respecter au mieux ces conditions. Après plusieurs schémas de sommation testés pour la fonction source, un schéma de sommation d'ordre de 4 est choisi qui permet d'ajuster au mieux le spectre de référence. Ensuite la source est divisée en 4 sous failles contenant n dislocations. Cette étude est appliquée pour simuler un séisme de magnitude 5.7 à 10 km au Nord de Nice et un séisme de magnitude de magnitude 6.3 à 25 km au Sud de Nice. Après une test de sensibilité des simulations obtenues en fonction des paramètres sources de la fge et du

séisme cible (en particulier fréquence coin et chute de contrainte), F. Courboux compare les prédictions aux spectres réglementaires des EC8. Ces résultats montrent en particulier à la station NALS (RAP-AZUR) des amplifications importantes, au-delà des règles (Fig. 16).

Simulation stochastique d'accélérogrammes large-bande - Fabian Bonilla (IRSN), Guillaume Pousse (IRSN/LGIT), Fabrice Cotton (LGIT) et Ludovic Margerin (LGIT)

Fabian Bonilla présente tout d'abord quelques méthodes de générations d'accélérogrammes synthétiques, notamment la méthode de Boore qui génère des spectres de réponse correct mais pour des formes d'onde incorrect, et la méthode Sabetta et Pugliese qui est largement déficiente en basse fréquence. Il propose ensuite une méthode hybride basée sur les études de Pousse (2005) avec un modèle en ω^2 , une fréquence f_{max} qui dépend de la diminution de la fréquence centrale et l'amplitude du spectre qui dépend de $P_a(t)$ (puissance instantanée). Il propose ensuite une comparaison avec les données du KNet pour un set de données correspondant à des séismes de magnitude 5.5 enregistrés à 30km par une station sur un site de classe C. Il conclut en disant que la méthode hybride permet la génération rapide d'accélérogrammes synthétiques. Ces derniers sont calculés sur la base des propriétés statistiques des observations. Le modèle en ω^2 aide à mieux contraindre les basses fréquences (Fig. 17) ce qui permet à ce moment là l'intégration en vitesse et en déplacement, très utile en sismologie de l'ingénieur.

Mouvements faibles/mouvements forts : le cas de la durée des signaux – John Douglas (BRGM)

Après une présentation de plusieurs définitions de calcul de la durée du mouvement du sol, John Douglas présente plusieurs lois Magnitude/durée pour différentes valeurs de magnitudes et de distances épacentrales. En particulier, il montre des valeurs de durée « à seuil » plus fortes que celles prédites par Kawashima & Aki (1989): De même, il montre des différences importantes entre les durées efficaces relatives (5-95% Intensité d'Arias) et celles prédites par la loi de Abrahamson & Silva (1996), et cela quelque soit le type de sol et la distance (Fig. 18).

Peut-on utiliser les modèles empiriques issus des mouvements faibles pour prédire les mouvements forts ? – Guillaume Pousse (IRSN/LGIT), Fabrice Cotton (LGIT), Fabian Bonilla (IRSN) and Franck Scherbaum (U-Postdam)

Fabrice Cotton rappelle que les stations accélérométriques ont été développées pour enregistrer des séismes de mouvements forts sans saturer. Pour cette raison, le nombre d'enregistrements accélérométriques de mouvement fort reste faible, même si des efforts d'instrumentation ont été faits depuis 2001. Du fait de ce manque de donnée de mouvement fort, les modèles de prédiction empiriques issus de bases de données de régions à forte sismicité sont toujours utilisés en Europe et en particulier en France. Les premières données accélérométriques significatives française (séisme de Nice de 2001) ont cependant montré des atténuations plus fortes avec la distance que celles prédites par ces modèles établis sur la base des mouvements forts « non français ». Ces observations ont posé la question de la pertinence des modèles de prédiction du mouvement sismiques basés sur des bases de données non françaises. F. Cotton décrit ensuite les résultats d'une étude récente (Pousse et al., 2006) basée sur l'utilisation des données japonaises du réseau Kick-Net. Il montre ainsi (Fig. 19) que suivant la magnitude considérée, l'atténuation est plus rapide pour les séismes de magnitude plus faible, en relation directe avec le coefficient b de la formulation classique des relations empiriques. Ces conclusions montrent que l'extrapolation des relations d'atténuation du mouvement du sol en dehors de leurs domaines de validité n'est pas possible. Ces résultats peuvent expliquer la surestimation des spectres de réponse des mouvements faibles (observations de Nice) par les relations

établies sur la base de mouvements forts. Ces différences peuvent selon lui aussi s'expliquer par la chute de contrainte différente selon la magnitude des séismes.

Confronter estimations d'aléa sismiques probabilistes aux observations : est-ce possible en France à partir des données accélérométriques? – Céline Beauval
(Géoscience Azur)

Céline Beauval rappelle que des incertitudes très fortes existent sur l'estimation de l'aléa probabiliste. Elle se demande ainsi s'il est possible de contraindre ces évaluations par des observations faites en particulier en France. Après une présentation de la signification et de la définition de l'évaluation probabiliste en général, elle présente quelques tests préliminaires effectués sur quelques stations du RAP. Elle montre ainsi qu'il n'y a pas de confrontations possibles entre observations et prédictions pour des accélérations à 475 ans de période de retour avant environ 20000 ans d'observation. En France, la comparaison est possible (i.e. on peut estimer que les taux observés sont fiables) pour des niveaux d'accélération très faible (~0.001g) mais elle s'interroge alors sur la possibilité d'extrapoler cette comparaison pour des niveaux plus forts (Fig. 20). Ses premiers résultats semblent néanmoins confirmer que cette comparaison pourrait être effectuée, dans des zones sismiquement très actives, même si les périodes de retour sont courtes.

Mardi 30/05 – 10h30 - 12h30 - Session technique 1

Evolutions et perspectives techniques

Coordinateurs: Jean-Michel Douchain et Mickael Langlais

Cette session a été l'occasion de faire le bilan des différents outils disponibles au sein du RAP. Tout d'abord, les soft de maintenance des stations ont été présentés :

- Jtcs pour la configuration des stations via le port série ;
- xsef sous linux ;
- Jtitanrel pour la mise à jour du soft interne des stations.

Ensuite les « softs » développés au niveau du site central, et disponibles pour l'ensemble des partenaires du RAP, ont été présentés, en particulier Autour d'Inter pour la gestion de l'interrogation des stations et InBDSis pour le suivi des stations. Enfin, J.-M. Douchain et M. Langlais ont rappelé que la liste de diffusion isis n'était pas assez utilisée alors qu'il ne faut pas hésiter à faire remonter les dysfonctionnements auprès d'Agecodagis.

Un état des lieux de l'instrumentation a ensuite été fait, avec des propositions de conserver des Titan3 sur les sites peu bruités et d'installer les stations Titan3F, maintenant opérationnelles, si l'on souhaite conserver des durées d'enregistrement plus longs ou si les sites sont bruités. Néanmoins, il a été rappelé que les communications téléphoniques, avec la Titan3 ou la Titan3F, restent trop lentes et qu'il faut essayer d'améliorer ce point. Une solution peut être de connecter la station à l'ADSL avec une gestion du continue par le soft TITacq.

Ils rappellent enfin que des évolutions techniques sur le réseau sont à prévoir et qu'il est nécessaire de mettre en place un groupe de travail technique RAP pour envisager sereinement le futur, tout en sachant que peu de stations Titan3 ou 3F peuvent être construites encore par le constructeur.

Mardi 30/05 – 13h30 - 14h15 - Session plénière spéciale

Analyse des données accélérométriques pour la caractérisation de l'aléa sismique en France métropolitain

Thèse de doctorat de Stéphane Drouet

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, 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 ont été testés. 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. Une inversion génétique (non linéaire) autorisant une dépendance de l'atténuation anélastique avec la fréquence a ensuite été utilisée. 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 (Fig. 21).

Enfin les résultats précédents (magnitudes et effets de site) ont été exploités pour effectuer un classement des modèles de prédiction des mouvements sismiques forts. Un résultat majeur concerne la caractérisation des fonctions de site des stations accélérométriques du RAP.

Mardi 30/05 – 14h15 - 15h5 - Session plénières 4

Effets sur structures

Coordinateur: Philippe Guéguen

Spectres de réponse et grandeurs utilisées en génie parasismique - Pierre-Yves Bard (LGIT)

Pierre-Yves Bard présente quelques grandeurs utilisées en génie parasismique et calculées à partir des données accélérométriques. Les plus simples sont les pga, pgv et pgd. Il rappelle que les dommages sont en général observés pour des valeurs de pga, pgv et pgd compris entre 0.1 et 2g, 0.1 et 2m/s et 1cm à quelques dizaines de centimètres. Il rappelle que ces valeurs sont très dépendantes de la fréquence du signal et la corrélation avec les dommages n'est pas évidente. Il rappelle la définition des spectres de réponse (Fig. 22) qui reste un indicateur difficilement maniable mathématiquement car très non linéaire. Il aborde ensuite les pseudo-spectres de réponse qui permettent des relations simples entre accélération et déplacement, ces paramètres étant très utilisés par la communauté des ingénieurs. Il fait le lien entre la simulation des structures par approche push-over (force/déplacement) et la représentation similaire du mouvement du sol (PSA/PSD). Ce lien permet

en particulier d'évaluer la performance de la structure en fonction de la demande et il est souvent utilisé pour des estimations d'intégrité ou de vulnérabilité des structures. Il finit par quelques expressions d'intensité et de durée de signaux, des paramètres à utiliser avec précaution mais qui permettent de caractériser les enregistrements par des indicateurs de nocivité qui peuvent être comparés aux dommages observés.

Estimation de la vulnérabilité du bâti existant: apport des modélisations physiques et numériques - Didier Combescure (CEA)

Cette présentation, faite par Didier Combescure, est un peu atypique dans la communauté de la sismologie. Mais l'accélérométrie étant utilisée par les ingénieurs, des ponts doivent exister entre ces deux communautés. En particulier, D. Combescure rappelle le rôle des calculs et des essais dans le diagnostic du bâti existant. Il rappelle également le principe du dimensionnement qui repose sur le calcul linéaire élastique et la prise en compte des dispositions constructives. Ces dernières, difficiles à modéliser, sont en général validées par le retour d'expérience, les essais en laboratoire et les calculs non linéaires sur des structures types. Il rappelle que d'après le retour d'expérience, les structures résistent aux séismes par le contreventement et par leur ductilité, c'est-à-dire leur capacité à se déformer. Construire parasismique revient ainsi (1) à empêcher les modes de rupture fragile de se développer en choisissant les modes de rupture les plus dissipatifs (par exemple, éviter les ruptures par effort tranchant ou la ruine des planchers et de la toiture) et (2) à maîtriser les dispositions constructives (par exemple, méthodes de ferrailage du béton armé, chaînages de la maçonnerie, support des solives d'un plancher...). Pour le bâti existant, une méthode largement employée consiste à réaliser des simulations push-over. Cela revient à appliquer un chargement horizontal statique à la structure, à déterminer la courbe de capacité de la structure puis à comparer avec un spectre S_a/S_d du mouvement du sol (Fig. 23). Le point d'intersection entre la capacité de la structure et la demande est appelé point de performance de la structure. Il peut être utilisé comme un indicateur de l'état de la structure après un séisme.

Comportement dynamique de l'hôtel de ville de Grenoble à partir d'enregistrements et de modèles simples - Clotaire Michel (LGIT)

Clotaire Michel présente les premières utilisations des données collectées dans l'hôtel de ville de Grenoble, site pilote du RAP. Après un rappel de l'instrumentation en place, il présente une méthode d'estimation des modes de déformation de la structure à partir du bruit de fond. Cette méthode, basée sur la décomposition dans le domaine fréquentiel, consiste à enregistrer simultanément les vibrations ambiantes en différents points de la structure. L'estimation des matrices de densité spectrale permet ensuite leur décomposition en valeurs singulières. Ces valeurs sont une estimation sans biais des déformées modales de la structure. Les pics de la première valeur singulière représentent les degrés de liberté du système, à savoir fréquence, amortissement et déformée modale. Il est ensuite possible à partir d'un signal à la base de l'oscillateur (la structure) et des modes de déformation de simuler la réponse de la structure et ses déformations internes. Des déformations excessives, au-delà du seuil de résistance des matériaux, provoque les premières apparitions de fissures. C. Michel présente une première comparaison du mouvement enregistré au sommet de la structure lors du séisme de Vallorcines et la simulation par convolution de la réponse de la structure obtenue par bruit de fond et du signal enregistré à sa base. La correspondance est très bonne (Fig. 24), avec un respect des amplitudes, des phases les plus fortes et de la durée du signal. C. Michel énonce des perspectives pour la prise en compte de la torsion, pour le suivi des zones identifiées comme étant irrégulières (du point de vue de la déformée modale) dans la structure par l'installation de nouveaux capteurs et par l'instrumentation de nouveaux bâtiments.

Mardi 30/05 – 15h30 - 17h00 - Session scientifique 2

Effets de Site

Coordinateurs: Emmanuel Chaljub et Fabian Bonilla

Atténuation du mouvement sismique avec la profondeur à Hualien (Taiwan) - Bruno Hernandez (CEA/DASE), J. Albaric (EOST), Y. Fukushima (Shimizu) et R. Bossu (CEA/DASE)

Bruno Hernandez nous présente le site test de Hualien à Taiwan où un réseau dense en surface et en profondeur d'accéléromètres a été installé. Il montre sur un exemple de séisme que l'amplitude des signaux décroît avec la profondeur. Une étude systématique est réalisée sur un jeu de 51 données correspondant à des séismes de magnitude supérieure à 5, dont l'hypocentre se situe à moins de 30km. Il montre ainsi sur ce jeu de données que la valeur de cette atténuation dépend de la fréquence et de la profondeur considérée (Fig. 25). Les causes principales de cette variation surface/profondeur sont les interférences entre les ondes montantes et descendantes, l'effet « facteur 2 » de la surface libre ainsi que plus modérément l'effet du gradient d'impédance mécanique. Des lois d'atténuations des PSA ainsi que des fonctions d'amplification entre la surface et la profondeur sont proposées. Ces dernières sont en particulier comparées à des modélisations élastiques 1-D d'ondes planes SH à incidence verticale qui reproduisent au premier ordre les facteurs d'atténuation observés sur les composantes horizontales des données. Enfin, B. Hernandez mentionne que l'écart-type de la relation d'atténuation en PGA est de 0,23 (les capteurs sont identiques les conditions de site homogènes et les (tS-tP) sont cohérents avec la localisation des événements).

Valuation for practical use of S-wave velocity structures estimated by surface wave inversion applied to microtremors and hammer-generated waves - Seiji Tsuno (LGIT)

Seiji Tsuno présente une étude réalisée au Japon pour identifier le profil de vitesse des ondes S en surface par la méthode utilisant du bruit de fond sismique. Il rappelle que la détection des Vs est une opération délicate et chère quand des méthodes classiques géotechniques sont employées. La méthode utilisée dans cette étude est la méthode SPAC (Aki, 1957) comparée à une méthode utilisant des données de sismique active et de la sismique en forage. Il observe quelques différences notamment au niveau de la précision sur les interfaces des couches en profondeur définies par des méthodes géotechniques classiques (Fig. 26). Il conclut ainsi que la méthode SPAC est suffisamment précise à basse fréquence pour obtenir les profils de vitesse. Il compare ensuite les réponses 1D des sites à partir des profils de vitesse obtenus par ces différentes méthodes. Il constate des variations faibles (quelques %) entre les différentes réponses, principalement à des fréquences supérieures à 5Hz, ces différences venant essentiellement de la précision et de la résolution en fréquence des courbes de dispersion. Il propose ainsi une méthode pour accéder au profil de vitesse des sites, en mixant le bruit de fond réseau pour obtenir les courbes de dispersion à basse fréquence (profond) et une méthode de reconnaissance active (type SASW) pour la résolution haute fréquence (surface) des courbes de dispersion.

Conditions de site des stations accélérométriques: premier bilan - Philippe Guéguen (LGIT)

Philippe Guéguen présente l'état d'avancement des travaux du groupe de travail RAP « Caractérisation des conditions de site des stations du RAP ». Après un bref rappel des

objectifs de ce groupe (à savoir tester sur une dizaine de stations plusieurs méthodes de reconnaissances et proposer à terme une procédure de reconnaissance acceptable), P. Guéguen présente quelques exemples de résultats sur les stations testées. La méthode des rapports spectraux utilisant le bruit de fond ou les séismes, quel que soit le processus de calcul, donnent des résultats stables qui permettent d'évaluer au premier ordre si le site présente une amplification ou pas (Fig. 27). Une deuxième approche consiste à utiliser des dispositifs actifs (méthode SASW) ou passifs (bruit de fond réseau) pour obtenir une estimation des profils de vitesse. Ces deux méthodes sont complémentaires, le SASW permettant une estimation des V_s à la surface mais une mauvaise résolution en profondeur, au-delà de la première interface, le bruit de fond réseau (avec la méthode SPAC ou f-k) permettant de mieux contraindre le profil de vitesse moyen à plus grande profondeur. A première approximation, le V_s par le bruit de fond donne une estimation sur les trente premiers mètres d'un V_s moyen, comme au sens de la définition du V_{s30} utilisé dans les règles EC8. Enfin, des comparaisons avec des essais géotechniques de type SPT sont présentées sur uniquement quelques stations, le coût de ces essais dépassant le budget disponible. Tandis que les corrélations empiriques entre N_{SPT} et V_s sont cohérentes aux estimations des V_s par les méthodes géophysiques, il existe également une bonne corrélation entre la profondeur des interfaces superficielles extraites de la géotechnique et du SASW, ainsi que de l'application de la relation simple donnant la fréquence de résonance de la couche superficielle en fonction de son épaisseur et de son V_s ($f_0 = V_s/4H$). On s'aperçoit ainsi de la complémentarité intéressante entre le SASW (pour la surface et les interfaces) et l'analyse du bruit de fond réseau, confirmée également avec l'étude du rapport H/V séisme ou bruit de fond.

Mesure des effets de site dans la vallée grenobloise - Cécile Cornou (LGIT)

Cécile Cornou nous présente les résultats d'une expérience récente menée dans le bassin de Grenoble. Elle consiste en l'installation pendant 3 mois de 19 stations temporaires disposées dans le bassin de Grenoble, deux étant installées au rocher. L'objectif de cette instrumentation était de mieux comprendre les effets de site 2D et 3D du bassin, les effets de bord de bassin, l'analyse des sources du bruit et l'analyse de la structure par corrélation du bruit. Ce dispositif était en place lors du séisme de Chamonix (08 septembre 2005). Sur l'ensemble des stations, complété par celles du RAP-LGIT en place depuis 1997 dans Grenoble, elle observe une grande stabilité des effets de site (méthode site sur référence), avec une résonance vers 0.3Hz et des amplifications plus hautes fréquences. Il est intéressant également de voir qu'à quelques mètres seulement, deux stations peuvent montrer des amplifications haute fréquence différentes, conséquence de formations superficielles variables latéralement. Le long d'un profil, l'utilisation du bruit de fond fait apparaître les résonances 2D radiales et transverses du bassin, ces modes étant les modes dominants dans le bassin (Fig. 28). Elle montre également que suivant la station au rocher considérée pour les rapports site sur référence, des variations apparaissent, ce qui selon elle confirme la difficulté de définir une station comme une référence, le rocher présentant des amplifications (même légères) qui peuvent modifier la réponse des sites. Elle conclut ainsi en encourageant l'installation d'une autre station au rocher à Grenoble et la nécessité de caractériser dans les sites sédimentaires les conditions géologiques et géotechniques au droit même de chaque station.

Modélisation numérique des effets de site dans la vallée grenobloise - Emmanuel Chaljub (LGIT)

Emmanuel Chaljub présente les résultats d'une simulation numérique des effets de site de Grenoble par la méthode des éléments spectraux. Les objectifs de cette étude sont de calculer les effets de site là où il n'y a pas de points de mesures, d'étudier les effets de bords et à terme de comprendre ce qui se passe au niveau de la topographie. Après un rappel de la connaissance de la géométrie et de la structure du bassin, il présente la méthode numérique employée. Cette méthode (éléments spectraux) bien adaptée aux

géométries 3D, permet de prendre en compte la topographie, avec une faible dispersion numérique et est bien adaptée au calcul parallèle, ce qui dans le cas de géométries 3D est indispensable pour des calculs importants. E. Chaljub présente les résultats d'une simulation sur un séisme s'étant produit sur la faille de Belledonne (Fig. 29). Il compare en particulier les formes d'onde des enregistrements du RAP aux simulations. Les formes et amplitudes sont reproduites, le calcul étant fiable jusqu'à 1Hz. Il envisage ainsi de monter en fréquence numériquement, ce qui impose une connaissance fine des derniers mètres du remplissage sédimentaire et d'utiliser des méthodes hybrides couplant les éléments spectraux basses fréquence et les fonctions de Green empiriques haute fréquence.

Mercredi 31/05 – 8h30 - 10h00 - Session plénière 5

Magnitude de moment

Coordinateurs: Bertrand Delouis – Fabrice Cotton

Détermination conjointe de la magnitude de moment et du mécanisme au foyer, application à quelques séismes français - Bertrand Delouis (Géoscience Azur)

Après un rappel des dimensions permettant de caractériser la source sismique, Bertrand Delouis rappelle que l'ajustement des sismogrammes ou des spectres permet de déterminer M_0 . Mais pour estimer correctement M_0 , il faut que les autres paramètres qui contrôlent le mouvement du sol soit bien connus: milieu de propagation des ondes de la source au site inclus (vitesses, atténuation, géométrie...), diagramme de radiation (mécanisme au foyer), effets de propagations de la rupture (directivité) pour les séismes importants. La réponse instrumentale doit également être bien connue. Il mentionne deux méthodes pour déterminer la magnitude de moment : par ajustement des formes d'onde (temporel) ou par ajustement du spectre du mouvement du sol. Pour l'ajustement des formes d'onde, il présente deux méthodes considérant soit un point source soit une source étendue (modèle cinématique). La propagation des ondes est prise en compte par la méthode du nombre d'onde (M. Bouchon). Il présente quelques exemples sur des séismes enregistrés par le RAP. Il aborde ensuite l'estimation du M_w à partir du plateau du spectre basse fréquence des ondes P ou S en déplacement. Il compare ensuite avec d'autres estimations de magnitude provenant d'autres organismes (Fig. 30). Il montre ainsi que les données RAP sont bien calibrées (séisme de Besançon, accord avec stations large bande suisses, + autres cas). Il mentionne que l'inversion conjointe de M_w et du mécanisme au foyer à faible distance épiscopale (< 100 km), avec prise en compte d'un modèle de vitesse optimisé, intègre tous les paramètres requis pour une détermination précise de M_w à basse fréquence, avec un impact faible de l'atténuation anélastique. Il souhaite poursuivre des tests et des comparaisons plus systématiques nécessaires pour les déterminations de M_w à partir des plateaux des spectres pour établir si cette approche rapide est suffisamment fiable. Enfin, il encourage le RAP à favoriser les comparaisons des méthodes, peut-être par la constitution d'un groupe de travail RAP sur M_w .

Calcul de la magnitude de moment de quelques séismes français récents - Stéphane Nechtschein et Oona Scotti (IRSN)

Oona Scotti rappelle le cadre général de l'étude qui consiste à faire le lien entre la magnitude macrosismique et la magnitude de moment. Dans ce contexte, Stéphane Nechtschein s'est consacré au calcul de M_w pour des séismes français récents. Il utilise une liste d'événements pour lesquels des données des réseaux LDG et RAP sont disponibles. La méthode qu'il utilise est basée sur le plateau basse fréquence des spectres du déplacement de l'onde P. Il utilise le modèle de vitesse du LDG, il ne considère que des

stations situées en champ lointain, avec la meilleure couverture azimutale et il convertit les composantes verticales en horizontales en utilisant l'approximation pratiquée par les ingénieurs (composante horizontale = 3/2 composante verticale). Il sépare les données entre les plus anciennes (données LDG) et les plus récentes (RAP). Il observe ainsi des écarts plus importants entre les Mw estimés sur les composantes

verticales (Mwz) et horizontales (Mwx) pour les 4 séismes anciens. Il constate que Mwz légèrement plus proche des Mw0 que Mwx. Enfin, il constate que les Mw sont relativement proches des Mw0 des autres organismes (Fig. 31).

Mercredi 31/05 – 10h15 - 11h30 - Session plénière 6

Intensité, relations avec les mouvements du sol (PGA, PGV...)

Coordinateurs: Annie Souriau et Michel Cara

Détermination des Intensités macrosismiques en France : évolution des méthodes du BCSF depuis 1999 - Christophe Sira (BCSF)

Après un rappel des échelles d'intensités utilisées en Europe (Mercalli, Rossi-Forel, MSK, EMS98...), Christophe Sira rappelle la signification des intensités observées. Elles représentent l'importance des mouvements oscillants du sol. Elles sont déterminées à partir des effets sur les personnes, les objets et les bâtiments. Elles sont corrigées de la vulnérabilité des constructions, de la localisation des personnes et de la nature des objets. Elles sont estimées en faisant une moyenne statistique des enquêtes. Les types d'effets pris en compte sont sur les personnes (I - non ressenti à V-VI-saturation), sur les objets (de IV à VII) et sur les constructions de V à XI avec une saturation pour I=X pour les bâtiments de classe de vulnérabilité A). C. Sira décrit ensuite les classes de vulnérabilité de l'EMS98 ainsi que l'échelle de dommages. Puis, il décrit les différentes formes que prennent les enquêtes : les enquêtes administratives (Formulaires papier collectifs diffusés auprès des mairies, des gendarmeries et des pompiers), les enquêtes individuelles (formulaires papiers individuels ou internet) et les enquêtes de terrain (Interview des responsables locaux comme les élus, les services généraux, principaux d'établissement...). L'analyse de données diverses sont également réalisées (rapports préfecture, DDE, AFPS, déclarations des particuliers, Informations média...). C. Sira présente ensuite les évolutions réalisées au BCSF depuis 2004 : affichage des séismes ressentis aux Antilles sur le site Internet du BCSF (www.seisme.prd.fr) (avec les caractéristiques des séismes, la cartographie de la localisation, l'appel à témoignages), création d'un formulaire internet dédié aux Antilles sur site BCSF, création d'une identification du niveau de sévérité de la secousse par iconographie (formulaire internet) (Fig. 32).

Cartes macrosismiques transfrontalières entre la France, la Suisse et l'Allemagne : exemples sur 4 séismes de 2003 à 2005 - Michel Cara (BCSF)

Avant de comparer des cartes macrosismiques réalisées de part et d'autres de frontières, Michel Cara rappelle les procédures en vigueur en France, en Allemagne, en Suisse et en Italie. En France, la procédure est manuelle, réalisée à partir de formulaires collectifs et individuels collectés sous format papier et internet. En Allemagne (Bade-Wurtemberg), la procédure est manuelle à partir de formulaires collectifs. Les anciens formulaires basés sur l'intensité MCS ont été ré-interprétés selon l'échelle EMS98. Encore en Allemagne (Sarre, Palatinat), la procédure est manuelle réalisée à partir de formulaires collectifs et individuels. En Suisse, une procédure automatisée est appliquée sur la base d'informations collectées par internet et auprès d'un réseau d'individus collectifs. Un filtrage suivant une loi d'atténuation est ensuite appliqué par ajustement manuel. En Italie, les intensités sont

exprimées selon l'échelle MCS et suit une procédure nationale de l'INGV basée sur des formulaires collectifs.

Michel Carra compare ensuite sur 4 exemples de séismes récents les valeurs des intensités établies de part et d'autre des frontières par les différents pays (séismes du 22 février 2003- Fig. 33, du 05 décembre 2004, du 23 février 2004 et du 08 septembre 2005). Il montre ainsi qu'il existe un bon accord aux frontières, montrant ainsi que ces estimations sont stables et ne dépendent que très peu des opérateurs. Cependant, il note que les intensités comparées restent faibles, entre I et V, et qu'il serait intéressant de pouvoir explorer des intensités plus fortes. Il rappelle ainsi que pour les intensités inférieures à VI, il existe des différences inférieures à ½ degré d'intensité entre les échelles EMS98 et MSK, Mercalli et MCS (Molin, 1995). Pour des intensités supérieures à VI, l'échelle EMS98 diffère significativement des autres échelles en particulier à cause de la rigueur dans la prise en compte de la vulnérabilité, de la réduction du facteur subjectif et de la représentation statistique des dégâts.

Intensités macrosismiques et effets de site: tests sur 3 séismes récents du nord-est de la France - Antoine Schlupp (EOST)

La question principale posée par Antoine Schlupp est la suivante : peut-on, à partir des intensités macrosismiques, identifier les effets de site en relation avec les zones sédimentaires non consolidées ? Pour répondre à cette question, les formulaires collectifs et individuels du BCSF collectés lors de trois séismes importants (22 février 2003, 23 février 2004 et 05 décembre 2005) sont croisés avec les informations géologiques et sédimentaires. Il montre ainsi que les intensités collectives qui donnent une information représentative d'une surface étendue nécessitent de considérer toute la surface urbanisée. Cependant, les intensités communales ne sont pas classables entre uniquement le rocher et le sédiment alors même que toutes les lois d'atténuation existantes utilisant les intensités communales mélangent des données partiellement au rocher et au sédiment. Les intensités individuelles, quant à elles, montrent la variabilité de « l'intensité » au sein de la commune (Fig. 34). Cette analyse ne démontre pas l'absence d'effets de site mais que l'intensité communale n'est pas la donnée pertinente pour estimer ces effets de sites, du moins avec les niveaux d'intensités observés dans la région. La difficulté de mise en évidence des effets de site peut suggérer que ceux-ci restent faibles, au moins dans les contextes étudiés ici, et qu'ils ne sont qu'un élément parmi d'autres de la variabilité importante du mouvement sismique. Il serait ainsi intéressant d'utiliser uniquement des données en champ proche de séisme associées à des intensités d'au moins deux degrés plus forts que ceux analysés (VII-VIII).

Pour cela, il est indispensable de travailler dans des régions à plus forte sismicité que la France métropolitaine. Il note cependant que des mesures accélérométriques denses en champ proche, au rocher et au sédiment, sur les répliques des prochains séismes forts en France ou aux Antilles seraient des plus utiles. Celles-ci apporteraient de nombreuses données quantitatives à comparer aux témoignages individuels et collectifs.

Corrélation Intensités PGA – Corrélations avec les relations "classiques" et celles utilisées pour les "shakemaps" en Californie - Pierre-Yves Bard (LGIT)

Pierre-Yves Bard mentionne tout d'abord que des tentatives ont été faites pour comparer le risque déduit de l'aléa (convolution avec vulnérabilité) et le risque statistiquement "observé" en termes d'intensité. Il apparaît clairement la nécessité de passer par des corrélations intensité – pga. Il examine ainsi une possibilité immédiate offerte par le RAP et le BCSF sur 7 séismes récents : Guadeloupe Saintes – choc principal (14 sites) - Laffrey 1999 (5) - Nice 2001 (6) - Rambervillers 2003 (9) - Arudy 2003 (1) - Roulans 2004 (10) - Vallorcine 2005 (11). Il établit tout d'abord une première corrélation des intensités et des pga pour les séismes précédents avant de rappeler les lois internationales disponibles dans la littérature.

Il rappelle que ces relations sont la base des shake-maps disponibles en Californie. Il montre ainsi (Fig. 35) qu'une grande variabilité existe entre ces lois et les données du RAP et du BCSF. Il considère que d'autres études doivent être menées en particulier avec en croisant d'autres valeurs d'intensités (collectives ou communes), en se focalisant à proximité des stations. Les effets de site, généralement ignorés dans ces lois, devraient également être intégrés, ainsi que des contextes tectoniques différents. Il suggère enfin l'exploration d'autres paramètres (PGV, SI, Arias...) et encourage vivement la poursuite de ces analyses.

Séismes ressentis : Relations entre intensités, magnitudes, accélérations et fréquences dominantes - Anne Souriau (OMP)

Annie Souriau présente une étude récente qui discute de la possibilité ou pas de relier une valeur de pga à chaque intensité. Pour cela, elle utilise un jeu de séismes pour lesquels sont disponibles des pga et des intensités macrosismiques (gamme II à VI). Elle présente tout d'abord une figure représentant la relation entre intensité, distance et magnitude, la pente de la distribution ne variant que très peu. Ensuite, les relations entre pga et distance sont discutées en particulier la pente variable de la régression suivant la magnitude considérée. Ensuite elle discute les relations entre pga et intensités, avec en particulier le constat que à grande distance, une intensité équivalente est obtenue pour un pga plus petit, d'où le rôle certain de la fréquence dans ce qui est ressenti (Fig. 36). Elle s'interroge ainsi sur quel pga et quelle fréquence correspondent à une intensité donnée. Elle conclut que les relations Intensité – PGA n'ont pas grand sens si on ne précise pas la fréquence. Les intensités reflètent le fait que, à accélération égale, l'homme est plus sensible aux basses fréquences qu'aux hautes fréquences. Il est malgré tout remarquable que des notions comme "ressenti par quelques rares individus au repos" (I=II), et "ressenti par quelques personnes à l'intérieur" (I=III), "réveil des dormeurs" etc correspondent approximativement à une échelle logarithmique d'énergie (loi de Weber).

Mercredi 31/05 – 11h30 - 12h30 - Session plénière 7

Synthèse et perspectives

Coordinateur: Bruno Feignier

Bruno Feignier présente une synthèse des différents thèmes abordés lors de ces journées. Il note en particulier l'intérêt de travailler sur la magnitude de moment et sur les intensités, deux thèmes qui ont été largement discutés lors de ces journées et qui mobilisent plusieurs partenaires du RAP. Une demande de co-financement de thèse auprès du MEDD sur un de ces deux thèmes sera donc déposée, l'expérience récente d'un thèse labellisée RAP ayant montré le bénéfice important que l'on peut en attendre sur la connaissance de l'aléa en France. Il rappelle également que la connaissance des conditions de site reste prioritaire pour les années à venir, sachant que c'est avec une bonne connaissance des effets dus au sol que la qualité des données sera améliorée. Il mentionne l'intérêt des sessions portant sur des thèmes plus proches de la communauté des ingénieurs que de celle de la sismologie, ces deux communautés ayant tout intérêt à se rapprocher. Cela peut en particulier passer par la poursuite des instrumentations en immeubles. Il rappelle également que les stations du RAP vont devoir évoluer, certaines ayant plus de 15 ans d'existence. Il faut donc assurer une veille technologique pour commencer à penser au remplacement des stations.

Liste des participants

Agathe Roulle	BRGM
Anne Deschamps	AZUR-Nice
Annie Souriau	OMP-Toulouse
Antoine Schlupp	BCSF
Benjamin Francois	BRGM
Bernard Naigre	CGMA
Bertrand Delouis	AZUR-Nice
Bruno Feignier	CEA
Bruno Hernandez	CEA
Catherine Pequegnat	LGIT
Cecile Cornou	LGIT
Céline Beauval	IRD
Christophe Voisin	LGIT
Christophe Sira	BCSF
Clotaire Michel	LGIT
Didier Bertil	BRGM
Didier Combescure	CEA
Emmanuel Chaljub	LGIT
Fabian Bonilla	IRSN
Fabrice Cotton	LGIT
Francois Beauducel	IPGP
Francois Dunand	GEOTER
Françoise Courboulex	AZUR-Nice
Francois Thouvenot	LGIT
Hormoze Modaressi	BRGM
Javier Revilla	LGIT
Javier Ruiz	IRSN
Jean-Michel Douchain	OPGC
John Douglas	BRGM
Marc Nicolas	LDG
Marc Regnier	IRD
Martin Vallée	IRD
Matthieu Causse	LGIT
Mendy Bengoubou-Valerius	IPGP
Michel Cara	BCSF
Michel Granet	EOST-Strasbourg
Mickael Langlais	LGIT
Nicholas Shapiro	IPGP
Pascal Dominique	BRGM
Pascal Bernard	IPGP
Philippe Guéguen	LGIT
Philippe Sabourault	MEDD
Pierre Lebellegard	IRD
Pierre-Yves Bard	LGIT
Oona Scotti	IRSN
Sébastien Benahmed	OMP-Toulouse
Seiji Tsuno	LGIT
Sophie hatton	LGIT
Stephane Cartier	LGIT
Stephane Drouet	LDG

Annexe 2 - Groupe de travail Technique

Rapport Groupe de travail Technique

Responsables :

Jean-Michel Douchain, OPGC Clermont-Ferrand

Mickael Langlais, LGIT Grenoble

Didier Brunel, Geoscience-Azur, Nice

Partenaires: Tous les réseaux régionaux du RAP

2008

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 :

- Faire le bilan des développements existants et des perspectives techniques envisagées au sein des réseaux régionaux du RAP;
- 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;
- Évaluer les solutions possibles pour améliorer la qualité, la gestion des données collectées, en interrogeant les constructeurs et les réseaux accélérométrique internationaux;
- Être les correspondants techniques du bureau scientifique du RAP.

2. Organisation du travail du GT

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 AGEODAGIS) ;
- Installation des stations et en particulier protection contre la foudre et autres surtensions;
- Questionnaire destiné à l'ensemble des réseaux régionaux.

3. Bilan des objectifs

3. 1. Solutions existantes

Le bilan des solutions existantes a été dressé en grande partie grâce au questionnaire technique. Merci aux différents intervenants régionaux d'avoir complété et renvoyé le questionnaire. Merci également à Sophie HATTON d'avoir grandement participé à la gestion de l'enquête.

De cette enquête, il ressort qu'en 2007 la chaîne d'acquisition d'une station RAP classique est la suivante :

- Matériel :
 - Capteur Episensor EST (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.

3. 2. Évaluation/développement de nouvelles solutions

3. 2. 1. Solution pour le passage à une acquisition continue

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.

Nous ne détaillerons pas les solutions PC Sage et TITacq qui restent utilisées mais ne sont plus maintenues. Elles ne représentent pas l'avenir mais ont participé à la validation des principes d'acquisition et de transmission des données accélérométrique continues.

3. 2. 1. 1. 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 déclenché) en un numériseur à enregistrement continu compatible avec les produits de la gamme Osiris. Le Mykerinos-T construit le flux de données continu 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 (1750€) que par 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.

3. 2. 1. 2. 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. 2. 2. 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 service informatique 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),

3. 2. 3. Intégration des flux continus et extraction des données

L'extraction des données utilise le logiciel rtitan2 et une liste d'évènements (fenêtre de temps) qui interrogent les données archivées par ftp sur un serveur local.

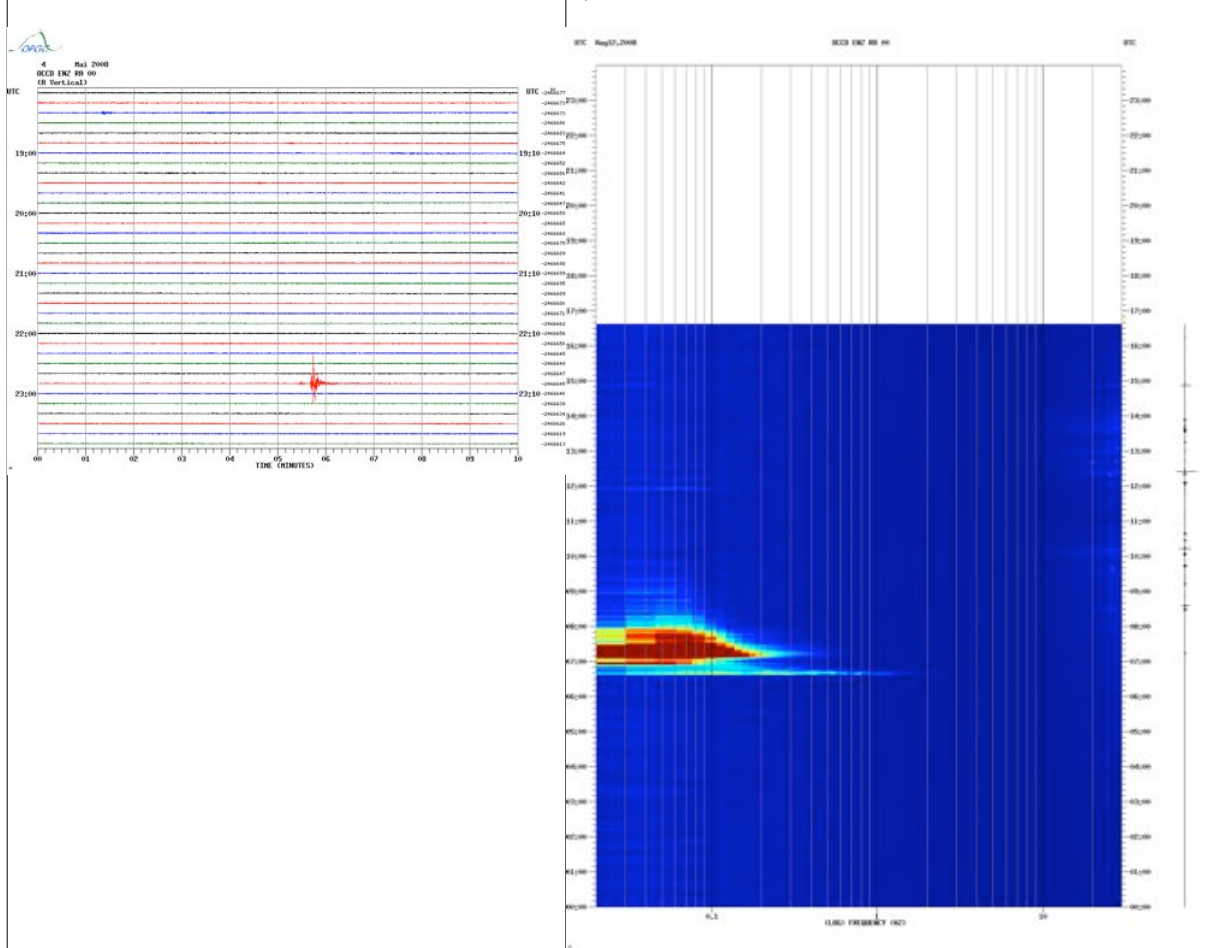
Nous avons également évalué l'intégration des flux seedlink avec Seiscomp 2.5. Celle de Seiscomp 3.0 est en cours.

Nous avons validé l'utilisation des flux seedlink vers Earthworm pour les sismogrammes et

spectrogrammes journaliers (Annexe1).

Un exemple est accessible sur le web de l'OPGC : <http://www.observatoire-geophysique.fr/sismo/index.html>

Sismogramme : Séisme du 04/05/2008 à 22h55 de magnitude 2,8 enregistré par OCCD.
Spectrogramme : 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.



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.

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

- le logiciel SeisNetWatch (multi constructeurs) distribué par ISTI.
- 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.

3. 3. 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 et 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.

4. Travaux en cours

Voici la liste des travaux que nous n'avons pas achevés :

- 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.

5. 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.

Annexe 3 : Groupe de travail Mw

Groupe de travail sur la magnitude de moment (M_w)

Bertrand Delouis (1) , Stéphane Drouet (2), Michel Cara (4), Stéphane Nechtschein (3), Chloé Lesueur (3),
Matthieu Sylvander (5), Annie Souriau (5), Olivier Sebe (6), Audrey Tocheport (5)

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

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 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 mesurées 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 (Table 1). Enfin,

nous présentons un exemple d'utilisation des valeurs de M_w pour le recalage de la magnitude des événements historiques.

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. 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 Ω_0 représente l'amplitude spectrale à basse fréquence (la valeur plateau):

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

où M_0 est le moment sismique, $R^{\text{P ou S}}$ le facteur de radiation des ondes P ou S (fonction du mécanisme au foyer et de la direction du rai sismique à la source), ρ 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 Ω_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 $(2\pi f)^2$.

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 γ 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. 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).

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.

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.html>) 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.

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 épacentrale. 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 ΔI et de magnitude ΔM 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 ΔM d'environ 2 (e.g. 4.5-6.5).

Une illustration de cette approche est présentée 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 ΔI entre éléments des paires ne sont considérés qu'aux distances épacentrales supérieures à 30km et pour des intensités supérieures à III (figure). Ces écarts sont convertis en écarts de magnitudes ΔM 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 Göttinguen (Cara et al., 2008).

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 spectrale est en cours; elle permettra une implémentation en routine des déterminations de M_w .

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 Paul Sabatier, 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.*

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 (R i g n e y) 23/02/2004,	47.30° 6.28° 15 km	5.0	4.2	4.5	4.5 ETHZ
W a l d k i r c h (Colmar) 05/12/2004	48.08° 8.03° 12 km	4.5	4.2	4.4	4.5 ETHZ
V a l l o r c i n e 08/09/2005	46.03° 6.88° 7 km	4.4	4.6	4.5	4.5, 4.4, 4.6 ETHZ, INGV, GCMT
M a r t i n i q u e 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.

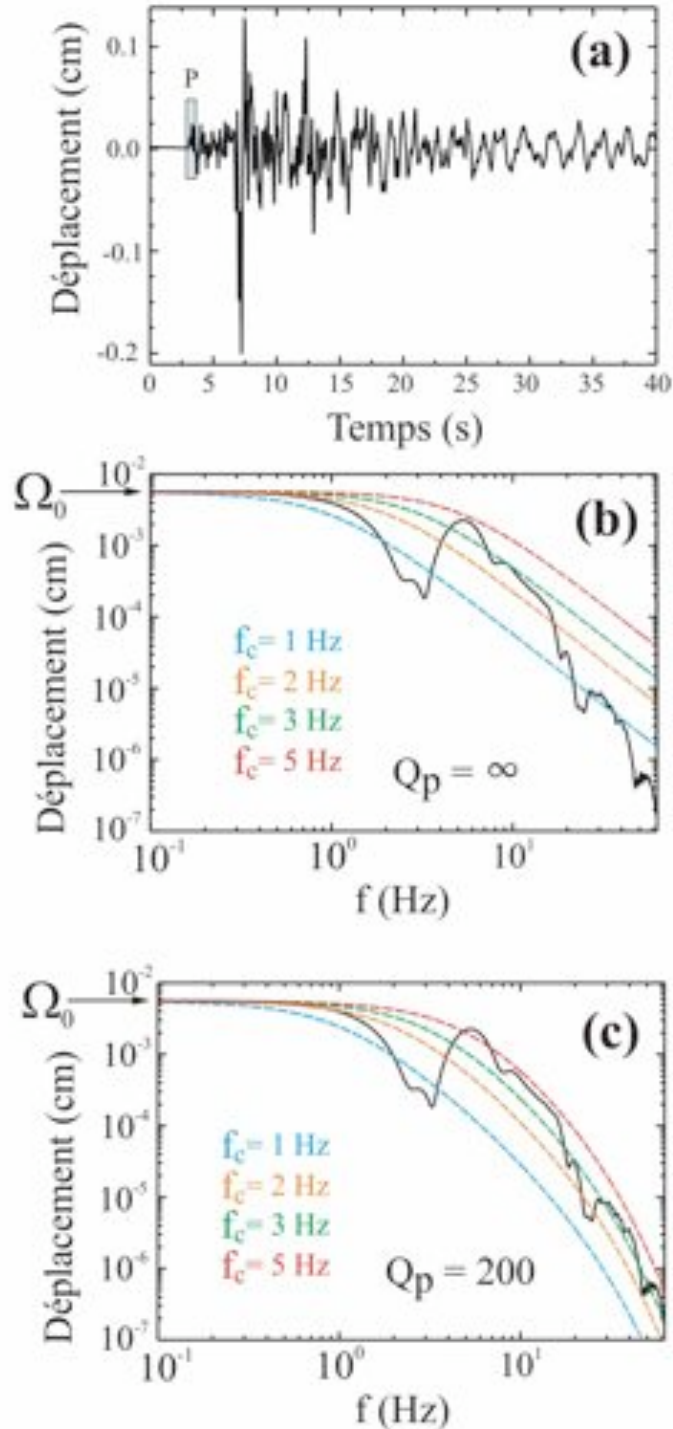


Figure 1. Exemple d'ajustement d'une fonction de type spectre de Brune à un enregistrement du RAP. **(a)** Enregistrement du séisme au large de Nice du 25 Février 2001 (M_w 4.5) à la station NBOR située à 24 km de l'épicentre, intégré en déplacement. La fenêtre temporelle pour le calcul du spectre de 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 Ω_0 est 5.7×10^{-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.

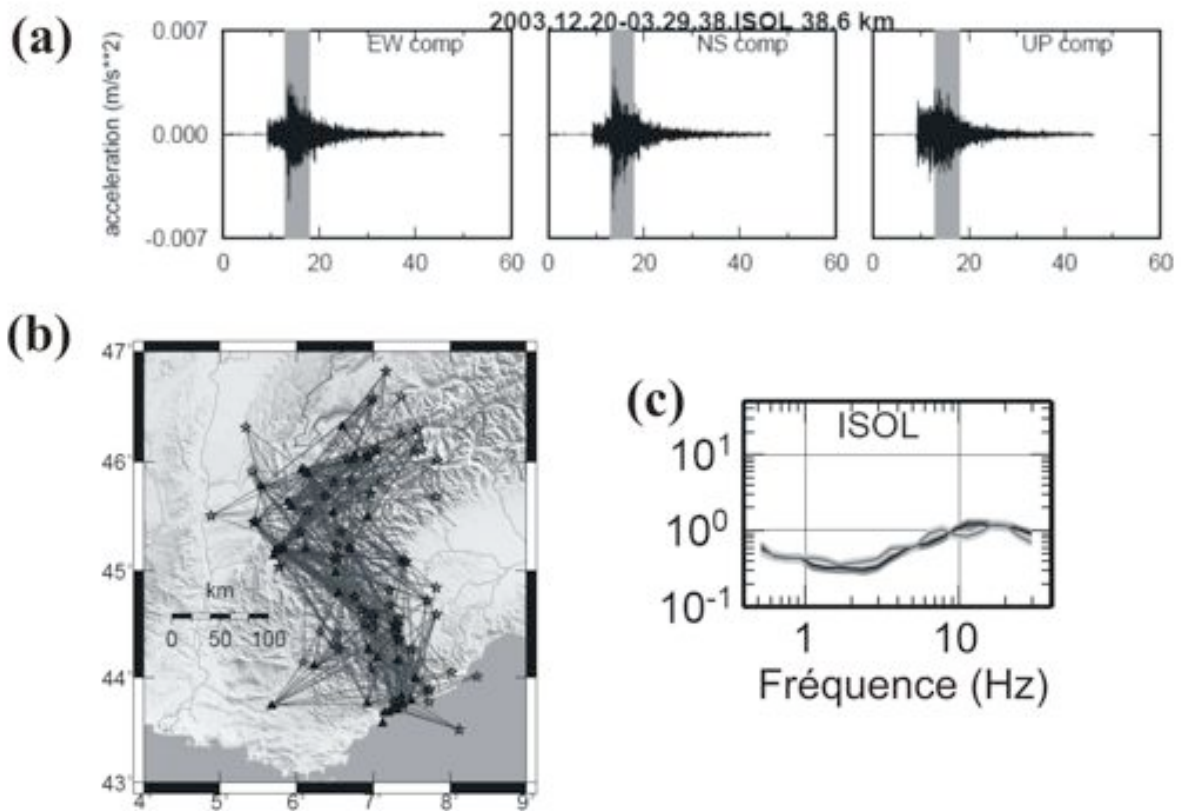


Figure 2. (a) Exemple de sismogrammes (accélération) d'un séisme du 20 décembre 2003 (04h30, $M_w = 3.4$) avec la fenêtre utilisée pour le calcul du spectre des ondes S (station ISOL). (b) Localisation des séismes (étoiles), des stations (triangles), et des trajets (lignes) utilisés par S. Drouet dans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

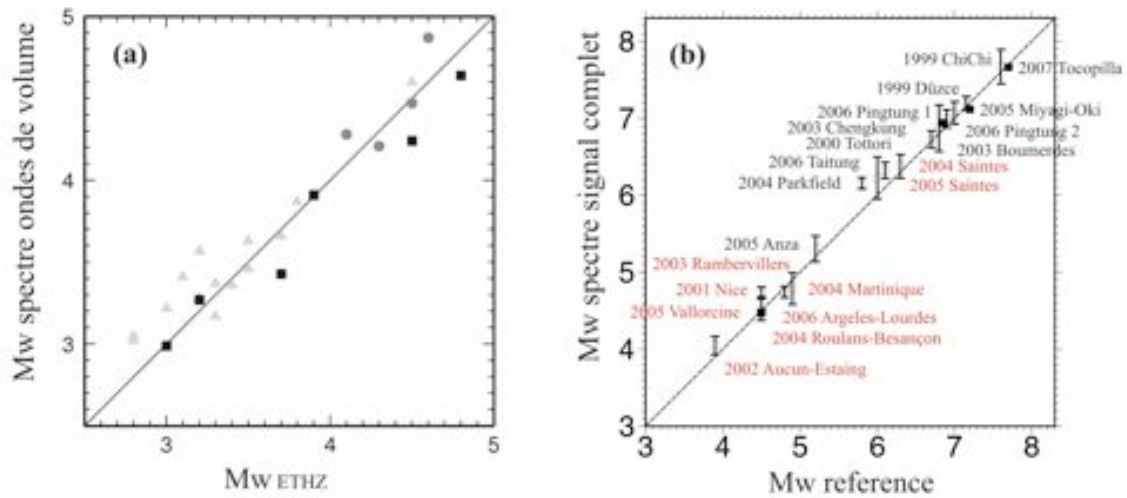


Figure 3. Comparaison des magnitudes de moment obtenues à partir des spectres avec celles déterminées par des inversions de la source. **(a)** En ordonnée M_w obtenue à partir du spectre des ondes de volume (S) avec les données RAP métropolitaines (triangles: Alpes; ronds: Pyrénées; carrés: Fossé Rhéna). 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).

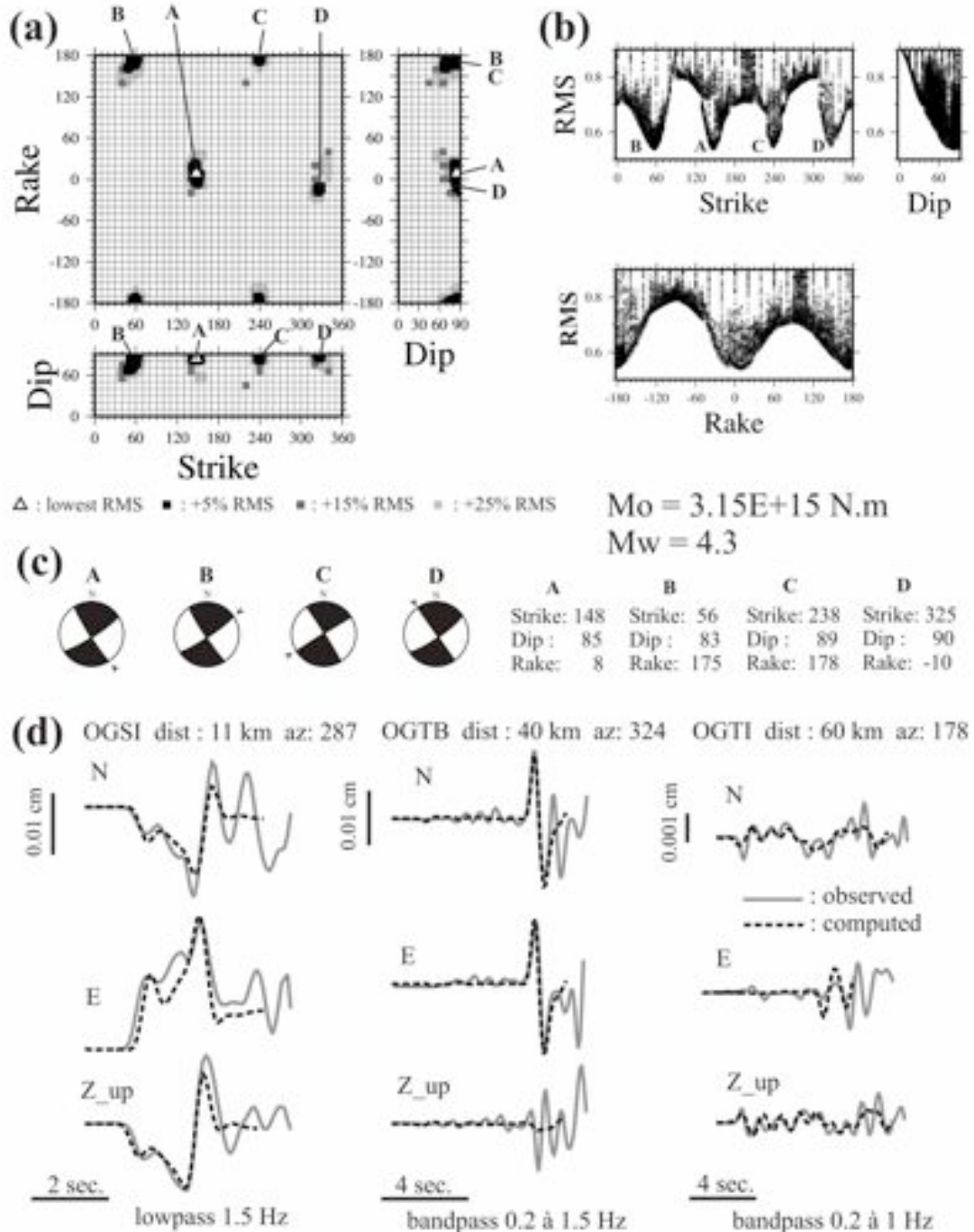


Figure 4. Inversion des formes d'ondes pour le séisme de Vallorcine du 8 septembre 2005 (11h27 UTC) à la frontière franco-suisse (46.03N, 6.9E, Prof. 7km, ReNaSS / SED). Inversion point source avec trois stations RAP proches (OGSI, OGTB, OGTI). **(a)** Meilleures solutions trouvées par exploration de 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.

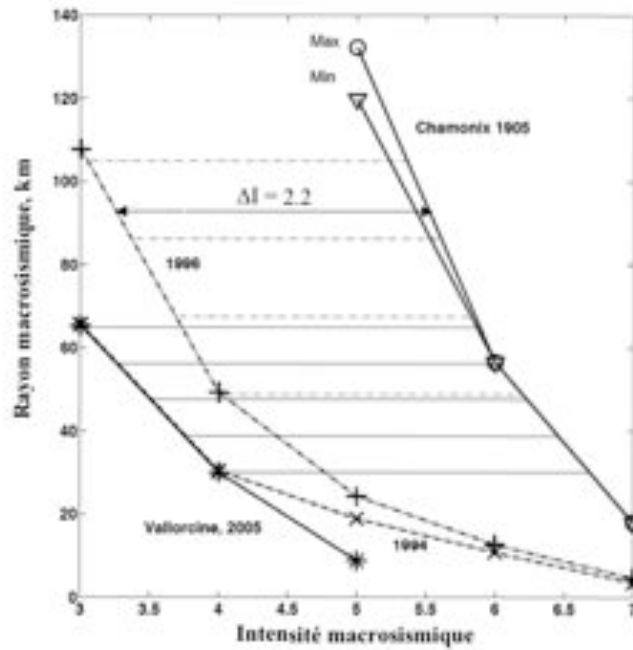


Figure 5. Rayon macrosismique R en fonction de l'intensité I pour 3 paires de séismes constituées d'une part de celui de Chamonix de 1905 (deux estimations Min et Max pour R) et d'autre part de l'un des 3 séismes récents de référence (Vallorcine (2005), Grand Bornand (1994) et Épagny-Annecy (1996)). L'écart ΔI propre à chaque paire est estimé pour plusieurs valeurs de R indiquées par les traits horizontaux (exemple $\Delta I=2.2$). L'écart ΔI moyen de chaque paire est converti en écart de magnitude ΔM 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 $M_w = 5.6 \pm 0.1$.