

II^{ème} Biennale du RAP

Carry-le-Rouet, 01-03 juin 2004

Les journées techniques du RAP sont organisées tous les deux ans afin de créer une dynamique entre les partenaires du GIS. Des résultats scientifiques y sont présentés et les évolutions techniques sont envisagées afin de répondre aux besoins des utilisateurs des données. Ces journées abordent les différents thèmes qui concernent l'aléa et la vulnérabilité sismiques en France et les objectifs pour les années à venir y sont discutés.

Relevés de conclusions.

Préambule

Les journées techniques du Réseau Accélérométrique Permanent (RAP) ont été décidées et organisées par le bureau du GIS-RAP. Cette deuxième édition, attendue et souhaitée par l'ensemble de la communauté scientifique ayant un lien avec le RAP, fait suite à celle organisée en mars 2002, qui avait permis le développement d'axes nouveaux de recherche, la continuation de l'instrumentation sur le territoire français et la programmation de modifications techniques des instruments d'observation (voir synthèse en annexe 1). Ces journées servent non seulement à faire le point sur l'état d'avancement du réseau en France métropole et d'outre-mer, sur les aspects techniques du réseau à améliorer ou à modifier, ainsi que sur les avancées scientifiques réalisées sur la base des données accélérométriques.

Ces journées du RAP ont été un franc succès, de par le nombre de participants (53 participants à comparer aux 32 de la première édition), par la qualité des présentations et par l'excellente synergie existant entre les différents groupes. Pour la première fois aussi, des représentants de réseaux accélérométriques européens des pays voisins ont été invités.

Les journées ont été organisées en sessions plénières scientifiques et en ateliers de façon à permettre en particulier la mise en commun des problèmes techniques.

Mardi 01 juin 2004

1. INTRODUCTION

1.1 Introduction générale – Bruno Feignier, Président du RAP

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52
Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr

Bruno Feignier a présenté l'organisation des journées du RAP, en rappelant les thèmes des différentes sessions et ateliers. Il a été demandé à chaque animateur de sessions de prévoir une synthèse de leur session ainsi que la collecte des présentations qui seront mises en ligne sur le site web du RAP.

1.2 Présentation du MEDD – Philippe Sabourault

Philippe Sabourault, chargé de mission au MEDD, en charge du dossier du RAP, a rappelé la vision du MEDD concernant le RAP. Il a rappelé la nécessité de collecter (et de collecter encore) des données accélérométriques sur le territoire français pour la mise en application de règles françaises dans un contexte français. Il a présenté le plan « séisme » que le MEDD va bientôt faire paraître et qui reprend sept axes de travail dans lesquels le RAP peut avoir un rôle important à jouer :

- la révision du zonage sismique ;
- la simplification et la communication des nouvelles règles EC8 pour en améliorer leur mise en application ;
- le renforcement des contrôles techniques ;
- la réduction de la vulnérabilité du bâti existant (méthode de diagnostic et programme de réduction de cette vulnérabilité) ;
- la rédaction et la diffusion de règles de construction pour les TOM et DOM ;
- la communication du risque sismique en France pour les décideurs et les aménageurs ;
- la diffusion de plaquettes et de supports d'information à destination du grand public.

Philippe Sabourault a rappelé que le RAP serait soutenu dans sa volonté de participer à l'instrumentation sur les territoires d'outre-mer (en particulier, la Nouvelle Calédonie et Wallis et Futuna). Mais suite à une interrogation de Denis Hatzfeld, il a rappelé que le MEDD n'a pas vocation à financer de la recherche, uniquement de l'opérationnel et de l'équipement.

1.3 Développement et état du RAP – Denis Hatzfeld, Directeur du RAP

Après un bref rappel de l'historique et des objectifs du RAP (Cf le site web du RAP – <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr>), Denis Hatzfeld a présenté l'état du RAP (nombre de stations installées, nombre de séismes enregistrés dans la base). Il a également présenter les grands développement futurs du réseau qui seront (ou sont déjà) menés au cours des années futures :

- le passage aux Titan 256Mb, pour résoudre le problème de la récupération des données principales en cas de séisme majeur en France ;
- la refonte du système d'interrogation et de gestion des réseaux, organisé autour du programme *inter*, permettant une meilleure gestion de suivi des réseaux ;
- la poursuite des développements de la base de données sous le système BDSis (programme national INSU-CNRS)

- la généralisation du système *inter* à d'autres types de stations (Kinematics ou GeoSig par exemple) ;
- l'interface de BDRAP et BDSis avec un Système d'Information Géographique de façon à améliorer la représentation des événements ;
- le test et l'expertise d'un nouveau capteur CMG5.

2. PRÉSENTATION DES RÉSEAUX EUROPÉENS –

Status of the Friul accelerometric network in Italy, Interreg projects and current research topics on accelerometric data – P. Suhadolc (Université de Trieste, Italie)

The Swiss Strong Motion Network: data collection, use of data, and plans for the future – Donat Faeh (ETH – Zurich)


Peter SCHUALDOC (Université de Trieste, Italy) et Donat Faeh (ETH – Zurich)

Peter Suhadolc – Université de Trieste – et Donat Faeh – ETH Zurich – nous ont présenté les réseaux accélérométriques de la région de Trieste et de Suisse. Dans les deux cas, et à la différence du RAP, ces réseaux sont intégrés à des réseaux de surveillance et de détection, ce qui contrairement au RAP, leur permet une surveillance et un fonctionnement en temps réel, avec toutes les obligations qui en découlent (astreintes, bulletin d'alerte, localisation...).

Plusieurs points de convergences existent avec le RAP :

- nécessité de reconnaissances géotechniques sur les sites des stations accélérométriques ;
- contrôle des données de façon visuelle et en couplant avec d'autres données vélocimétriques ;
- problème des définitions des magnitudes (en particulier côté italien où plusieurs instituts participent au réseau, avec pour chacun une magnitude calculée). Le passage vers une magnitude de moment Mw est envisagée.
- carte d'accélération maximale (PGA) sous un SIG pour obtenir la carte des accélérations pour un séisme donné ;
- mise en place d'un réseau mobile d'intervention à déployer en cas de séisme majeur (les italiens possèdent même la liste des sites où installer rapidement ces stations).
- jouvence des stations les plus anciennes (en particulier côté suisse où des stations peu sensibles et obsolètes sont encore en opération).

Ces présentations ont permis de confirmer que le RAP suivait les mêmes voies que ses voisins européens. Il est parfois précurseur (reconnaissance géotechniques des stations), quelques fois plus en retard (carte de PGA). Mais les choix techniques et scientifiques décidés il y a 10 ans lors la création du RAP s'avèrent aujourd'hui justifiés et placent le Réseau Accélérométrique Permanent parmi les leaders au niveau européen.



Synthèse : Après avoir participé à la rédaction du projet européen NERIES (6PCRD), le RAP va continuer sa collaboration européenne via le programme NERIES 2 (en cours de rédaction). Il s'attachera en particulier à améliorer les transmissions en temps réel des données (?), à favoriser l'échange des données avec les partenaires européens frontaliers et à être moteur dans la reconnaissance géotechnique des stations accélérométriques.

Mercredi 02 juin 2004

3. SESSION INSTRUMENTATION ET BASE DE DONNEES

animateur : Denis HATZFELD (LGIT Grenoble)

3.1 Instrumentation – Jean-François FELS (OMP-Toulouse)

Cette session a permis de présenter les caractéristiques de la chaîne d'acquisition d'une station accélérométrique et son programme de gestion. Outre une consommation de l'ordre de 150mA, imposant une alimentation secteur, JF Fels a rappelé que les chaînes d'acquisition du RAP étaient de très bonne qualité. Les capteurs FBA Episensor utilisés majoritairement par le RAP ont une réponse plate sur une grande bande fréquence, ce qui permet de l'associer à un large bande et de ne pas avoir besoin de faire de correction de la réponse instrumentale dans la bande de fréquence sismique (0.01 – 50 Hz). Les convertisseurs A/N permettent un sur-échantillonnage pour abaisser le bruit électronique. En redistribuant le bruit et en appliquant un filtrage de décimation, le niveau de bruit devient très faible dans les fréquences qui nous intéressent et les hautes fréquences parasites sont éliminées.

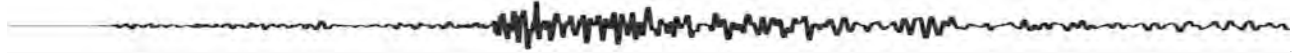
Le format des fichiers Titan récupéré est un format compact contenant des informations sur le temps, la station et les données. Ce format est particulièrement bien adapté à la communication série, par exemple par modem sur ligne téléphonique largement utilisé pour la gestion des stations du RAP. La correction en temps est automatique, en particulier lors de l'utilisation du programme cvtit (conversion format Titan vers d'autres formats). L'amélioration de cette correction peut être faite manuellement par lissage de la fonction temps.

JF Fels a montré que, des tests ayant été réalisés sur les stations du réseau RAP-OMP, il n'existait pas (ou peu) de variations au cours du temps des réponses des chaînes d'acquisition.

3.2 Base de données du RAP – Catherine PEQUEGNA (LGIT – Grenoble)

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52
Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr



Après une présentation détaillée du principe des bases de données relationnelles, Catherine Péquegnat a présenté l'architecture et l'ossature de la base de données du RAP. Cette ossature s'appuie sur celle du projet BDSIS (programme national INSU sur la gestion des bases de données, <http://www-bdsis.ujf-grenoble.fr>). Structurée sous forme de table, chaque enregistrement est relié à une série d'informations le décrivant, que ce soit des informations liées à l'événement ou celles décrivant l'ensemble de la chaîne d'acquisition et du matériel. Ces dernières sont décrites dans une table (channel.lst) qui permet de connaître la configuration instrumentale de chaque station et pour chaque période de temps.

Catherine Péquegnat a également discuté de l'implantation informatique de la base et des outils d'exploitation disponibles.

3.3 Suivi des données de la base du RAP – Philippe GUEGUEN (LGIT - Grenoble)

Après un rappel du fonctionnement des centres régionaux et du site central, en particulier sur la communication des données et des informations décrivant ces données, Philippe Guéguen a expliqué les informations dont a besoin le site central pour compléter la base de données et produire des données de qualité.

Pour fournir des données en accélération, la description des stations doit être à jour dans la base. Il est donc rappelé que les centres régionaux doivent en particulier informer immédiatement le site central de tout changement technique réalisé sur les stations du RAP, en communiquant le type et le numéro de capteur, le type et le numéro de la station et surtout du Crystal (5323 ou 5321). Une erreur de l'ordre de 30 % sur la valeur des PGA est possible en cas de confusion. P. Guéguen rappelle ainsi qu'un outil sur le site WEB du RAP permet actuellement aux gestionnaires des centres régionaux d'informer le site central de ces modifications.

D'autre part, P. Guéguen a montré qu'une donnée sans information sur l'événement qu'elle est censée avoir enregistré ne peut être incluse à la base de données.

Enfin, P. Guéguen a expliqué comment était organisé la base du RAP et comment était assuré la qualité de ces données. En particulier, les différents niveaux de contrôle des années antérieures assurent un niveau de qualité à la base. Pour des raisons d'accessibilité maximale de la base depuis l'extérieur, les données acquises en cours d'année ne sont pas contrôlées : elles sont récupérées des sites régionaux via leurs serveurs ftp et mises directement dans la base. C'est donc aux centres régionaux d'assurer le contrôle de leurs données.

Synthèse : Pour améliorer la base de données, des développements et des améliorations sont prévus :


- intégration immédiate des modifications des stations ;
- utilisation des tests de fonctionnement (calibrations) pour suivre les réponses des stations ;
- amélioration des diagnostics de la base de données pour connaître les défauts de récupération et de transmission des données des sites centraux vers le site central
- diffusion d'un catalogue.

D'autre part l'atelier technique a permis d'arriver aux propositions suivantes :

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52

Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr

- 
- des réunions plus fréquentes entre les responsables techniques des réseaux doivent avoir lieu, ainsi que la mise en place d'une liste de diffusion ;
 - l'amélioration et la simplification du programme de gestion doivent être prévues le plus rapidement possible. Un développement sous windows a été demandé sans que sa faisabilité d'une telle opération ne soit connue. La transmission des informations sur les modifications des stations vers le site central doit être intégrée à ce nouveau système.
 - la généralisation du programme inter à d'autres types de stations doit être envisagée.

4. SESSION EFFETS DE SITE

animateur : Pierre-Yves BARD (LGIT Grenoble)

Cette session fut l'occasion de présenter des études nouvelles réalisées à partir des données du RAP sur les effets de site, la prédiction du mouvement sismique et l'utilisation des enregistrements dans des bâtiments.

4.1. Présentation du projet DRAST « Reconnaissance des stations du RAP » - Etienne Bertrand – CETE Nice

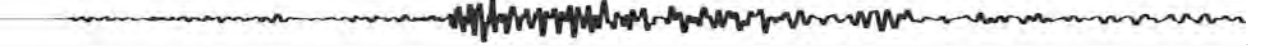
Cette présentation a permis de présenter le projet en cours de réalisation sur la caractérisation des stations accélérométriques du RAP. Ce projet a été proposé par le bureau du GIS-RAP (P. Guéguen), sur des financements de la DRAST et il sera réalisé par le CETE de Nice. Cette phase pilote se concentrera essentiellement sur l'utilisation du bruit de fond sur une dizaine de stations pour obtenir la fréquence de résonance du site (rapport H/V bruit de fond) et le profil de vitesse ondes S jusque 30m (bruit de fond réseau).

4.2. Effets de site par déconvolution aveugle – Olivier Sèbe (LDG/LGIT Grenoble)

Olivier Sèbe a montré par l'utilisation d'une méthode de déconvolution à phase minimale qu'il était possible d'extraire à partir de deux enregistrements sismiques en surface les termes d'effet de site. Par opposition avec les méthodes classiques Site/Référence, cette méthode annule les variations du terme propagatif d'une station à l'autre et s'affranchit des problèmes liés à la définition de la station de référence. Après un processus de stationnarisation de la coda de l'enregistrement, un algorithme d'autocorrélation est appliqué assurant une déconvolution à phase minimale. Cette déconvolution revient à trouver l'ondelette à phase minimale du rapport site/référence.

Devant la nécessité d'utiliser la Coda des signaux, O. Sèbe a surtout pointé le fait que les enregistrements du RAP devaient être plus longs pour être pleinement utilisés par cette nouvelle technique.

4.3. Evaluation du mouvement sismique– Fabrice Cotton (LGIT Grenoble)



Un des objectifs du RAP est de pouvoir évaluer le mouvement sismique fort à partir du mouvement sismique faible ou modéré. La sismicité de la France est telle que les données collectées dans la base du RAP doivent servir à prédire le mouvement du sol en cas de séisme fort. Fabrice Cotton présente pour le séisme de Saint Dié du 22 février 2003 la comparaison du mouvement prédit par les relations d'atténuation pouvant être utilisées en France et le mouvement observé pour différents types de sol. Les différences sont telles que, une des conclusions apportée par F. Cotton est que le choix du modèle de prédiction du mouvement du sol a un impact majeur sur l'évaluation de l'aléa (en comparaison, la magnitude maximale a peu d'importance). D'autre part, l'utilisation des mouvements faibles pour prédire les mouvements forts est un sujet de recherche ouvert et crucial pour les pays à sismicité modérée. Le mouvement sismique près des failles reste par ailleurs mal compris. Mais surtout, il faut absolument préciser les conditions de site des stations accélérométriques et redéfinir les mouvements sismiques au rocher.

4.4. Fonction de Green Empirique – C. Sansorny (Geoscience Azur – Nice)

Même si l'activité dans le Sud-Est de la France est une des plus élevées de France métropolitaine, la région est caractérisée par une sismicité modérée. Il n'existe pas d'enregistrements de séisme suffisamment forts pour avoir produit des dommages, mais un séisme historique destructeur s'est produit en 1886 (magnitude équivalente de 6). Dans le but de simuler des mouvements sismiques équivalents, C. Sansorny a développé un modèle basé sur la méthode des fonctions de Green empiriques. Les mouvements sismiques d'un séisme de magnitude $M_w=5.5$ à terre et celui d'un séisme de magnitude $M_w=6.5$ en mer (deux scénarios envisageables pour la région de Nice) ont respectivement été simulés par la superposition de petits séismes de magnitude $M_w=3.4$ (décembre 2000) et $M_w=4.6$ (février 2001) ayant été enregistrés par le RAP. Pour chaque scénario, de façon à conserver la décroissance de la fonction source en ω^{-2} , la superposition de ces petits séismes a été décalée en temps de façon à reproduire la dislocation totale sur chaque sous-faille, la rupture de la propagation et les effets liés à la propagation. Les sismogrammes simulés permettent de prédire un mouvement sismique dans Nice ainsi que les spectres de réponses utilisés dans les règles de constructions parasismiques.

4.5. Fonction de Green Empirique – Pierre-Yves BARD (LGIT – Grenoble)

Pierre-Yves BARD a présenté la synthèse de plusieurs études de fonction de Green empiriques (FGE), en s'attachant à identifier les incertitudes et leurs effets sur la prédiction du mouvement sismique. Il rappelle que l'utilisation des FGE devrait toujours être assortie de calculs d'incertitudes, en particulier celles sur les paramètres de source qui contraignent le plus les mouvements prédits. En tenant compte de ces précautions, les modélisations par FGE apparaissent préférables à celles utilisant les lois d'atténuation car elles tiennent compte des spécificités du site et surtout elles produisent un signal temporel plus adapté à l'évaluation du risque. PY Bard rappelle la nécessité de réseaux sismologiques et accélérométriques de qualité couplés à de bonnes études de source pour réduire ces incertitudes.

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52

Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr

PY Bard énonce l'intérêt pour le RAP de promouvoir des études systématiques de source pour des événements de magnitude supérieure à 3, d'améliorer la prise en compte des non-linéarités et des incertitudes et de résoudre le problème des hautes fréquences des FGE qui pour l'instant restent mal contrôlées même si leur importance est démontrée.

4.6. Non-linéarités dans les bâtiments – François DUNAND (LGIT – Grenoble)

François Dunand a présenté des résultats préliminaires sur le comportement des structures à partir du bruit de fond sismique ou de mouvements forts collectés dans des bâtiments californiens (murs voiles ou poteaux-poutres). Contrairement aux idées reçues des ingénieurs structures, la fréquence de vibration obtenue par des mouvements faibles et celle déduite des mouvements forts (0.1 à 1g) sont quasiment identiques, avec un rapport entre elles de 0.8. Cette constatation vaut jusqu'à des accélérations fortes de l'ordre de 1g.

Synthèse : Suite à cette session plusieurs points apparaissent clairement :

- la caractérisation des stations accélérométriques est essentielle pour pouvoir mieux analyser le mouvement sismique. Les projet DRAST et NERIES vont dans ce sens et le bureau du RAP espère beaucoup sur les résultats du projet DRAST.
- la prédiction du mouvement sismique est un enjeu essentiel dans l'analyse du risque sismique. Pour cela, il faudra pouvoir faire le lien entre les mouvements faibles (la majorité des données acquises sur le territoire français) et les mouvements forts (le séisme majeur en France qui pourrait se produire), lancer des études sur la variabilité du mouvement sismique en zone urbaine, poursuivre les travaux sur les fonctions de Green empiriques (une des méthodes les plus performantes pour la prédiction du mouvement sismique).
- l'acquisition de nouvelles données doit se poursuivre, sur le sol mais aussi dans les bâtiments qui peuvent améliorer les prédictions de comportement en cas de séismes. Il est donc recommandé de poursuivre les instrumentations de bâtiments « types ».
- pouvoir obtenir des enregistrements plus longs apparaît maintenant nécessaire et indispensable pour comprendre des effets de site 3D (comme dans le bassin de Grenoble) ou utiliser des nouvelles techniques d'analyse (déconvolution aveugle).

5. SESSION SEISMES FORTS EN FRANCE

animatrice : Françoise COURBOULEX (GEOAZUR – Nice)

Cette session fut l'occasion de présenter les différentes études réalisées suite aux quelques gros séismes qui se sont produits en France depuis 2000.

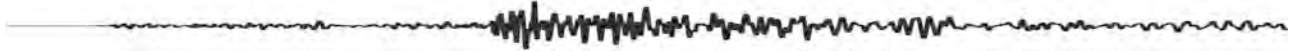
.1 Inversion de la source à partir des formes d'onde en champ proche : application aux données du RAP – Bertrand DELOUIS (GEOAZUR – Nice)

Suite aux séismes de magnitude élevée enregistrés par le RAP (Séisme de Nice, 25 février 2001 $M_l=4.5$ – Séisme de Rambervillers, 22 février 2003 $M_l=5.4$ – Séisme de Besançon, 23 février 2004 $M_l=5.1$), Bertrand Delouis inverse la source de façon à retrouver le mécanisme au foyer, le

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52

Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr



moment sismique et le plan de faille. En se donnant des paramètres de source fixes (dimension de la faille, localisation et le temps de montée de dislocation), plusieurs jeux de paramètres sont explorés de façon à reproduire au mieux les enregistrements obtenus à l'aide d'un modèle de source étendue (pour lequel les paramètres sont ceux du mécanisme au foyer, la vitesse de rupture, la directivité et la dislocation) ou ponctuelle (mécanisme au foyer, dislocation). Il montre ainsi qu'à partir de 2 ou 3 stations le mécanisme au foyer est bien contraint et il propose des valeurs de magnitude de moment M_w inférieures à celles de la magnitude locale. Il conclut qu'il n'a pas été possible de discriminer le plan de faille du fait pour ces exemples que la distance d'enregistrement est trop grande par rapport à la dimension de la source.

.2 Lorient, Saint Dié, Besançon : recherche de la profondeur des séismes – Jocelyn GUILBERT (CEA/LDG – Paris).

Basée sur l'analyse cepstrale, la présentation de Jocelyn Guilbert tente de contraindre les profondeurs des séismes français à l'aide d'enregistrements lointains. Calculer le cepstre d'une fonction revient à calculer la transformée inverse du logarithme du module au carré de la transformée de Fourier directe. Après un filtrage en azimut et vitesse, le cepstre fait ressortir l'arrivée de l'onde pP qui donne l'indication sur la profondeur de la source. J. Guilbert nous montre ainsi que pour des séismes de magnitude assez élevée ($M_w > 4.5$) et suffisamment profonds ($> 10\text{km}$), il est possible connaître précisément la profondeur, information essentielle pour comprendre les amplitudes maximales (PGA) produites par les séismes et prédire les mouvements sismiques forts.

.3 Analyse des répliques du séisme de Lorient : Campagne SISBREIZH – Julie PERROT (UBO – Brest).

Après un bref rappel de la sismicité du massif armoricain et du séisme de Lorient (30/09/2002, $M_l = 5.4$), Julie Perrot nous a présenté l'analyse des répliques enregistrées lors du déploiement d'un réseau temporaire de 12 stations sismologiques. 62 répliques ont été enregistrées dont 42 qui ont pu être correctement localisées. La plupart des répliques présente des mécanismes en strike-slip et/ou un mécanisme en faille normale similaire au choc principal. L'ensemble des événements se localisent entre 11.5 et 13.5km. La rupture s'est produite selon un plan de faille de 2km de long, de direction $N120^\circ$ et de pendage $S60^\circ$ localisé à environ à environ 12km de profondeur. Selon Julie Perrot, ce plan de faille correspond à la branche Nord du cisaillement Sud Armoricaïn.

.4 La crise de Cauterets de mai 2002 – Annie SOURIAU (OMP – Toulouse).

Lors de cette crise de sismicité qui se produisit le 16 mai 2002, 2 séismes ($M_L = 4.6$ et 4.3) se succédèrent à 14h56 et 15h14 (TU). La localisation par double différence (Waldhauser et Ellsworth, 2000) qui réduit les incertitudes liées à cette localisation permet d'envisager selon Annie SOURIAU un scénario de deux ruptures superposées. Si une rupture unique s'était produite, la magnitude

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52

Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr

aurait été proche de 5. Les données du RAP (premières données de cette importance acquises par le RAP dans les Pyrénées) ont permis d'établir une loi d'atténuation semi logarithmique reliant la magnitude et l'accélération maximale. En extrapolant à un magnitude 6, scénario envisagé pour la ville de Lourdes, l'accélération maximale attendue serait ainsi de l'ordre de 0.25g pour un séisme à 10km.

.5 Etude du séisme des Antilles du 1er Mars 2004 à partir des données régionales – Didier BERTIL (BRGM – Antilles) .

Ce séisme parmi l'un des premiers de cet ordre de grandeur enregistré par les stations RAP des Antilles ($M_d=4.7$) est localisé dans la partie interne de l'arc de sismicité des Antilles, proche de la localisation du séisme de 1974 ($M_s=5.7$) et de celui de 1999 ($M_w=5.8$). Après un bref rappel du contexte tectonique de la région et des caractéristiques de ce séisme, D. Bertil présente les accélérations enregistrées sur les îles de Guadeloupe et de Martinique. Les plus fortes accélérations sont de l'ordre de 3mg à Pointe-à-Pitre et 6mg à Fort de France. La décroissance des accélérations en fonction de la distance pour cette magnitude est cohérente avec la relation prédite par la relation de Youngs et al. de 1997.

.6 La crise sismique de Rambervillers ($M_{15.4}$, St Dié, 22/02/2003-03/2004) et le séisme de Roulans ($M_{15.1}$, Besançon, 23/02/2004) – Jérôme VAN DER WOERD (EOST – Strasbourg).

Après la présentation du séisme de Rambervillers, de ses mécanismes et de ses effets sur les constructions (quelques dégâts enregistrés), Jérôme van der Woerd analyse la séquence de répliques qui se produit après le choc principal. Cet essaim de répliques très compact, entre 12 et 13 km de profondeur, présente de nombreuses similitudes avec la crise sismique qui se produit en 1971-1974. Le mécanisme au foyer est compatible avec la tectonique régionale. Une bonne corrélation entre les données instrumentales et historiques peut être envisagée, puisque des cartes d'iso-intensités ont été proposées par le Bureau Central Sismologique Français, sur cet événement et sur les événements historiques. Il est intéressant de noter que contrairement au séisme de Rambervillers, le séisme de Roulans (Besançon) ne produit que peu de répliques, pour une magnitude équivalente.

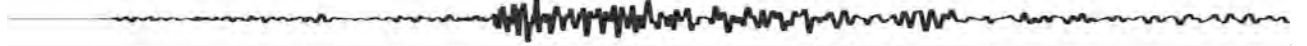
.7 Estimation de la fonction source du séisme de Rambervillers (22/02/2003) par déconvolution à phase minimale du signal de coda – Olivier SEBE (LGIT Grenoble).

Suivant la méthode proposée §4.2, Olivier Sèbe propose d'estimer, à partir d'un seul enregistrement sismique, la fonction source d'un événement sismique sans aucune connaissance sur la fonction de Green Source-Station. Après avoir vérifié à partir de deux modèles classiques de source que la fonction source est à phase minimale (modèle de Brune et de Haskell), O. Sèbe applique son

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52

Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr



algorithme d'estimation sur des enregistrements du séisme de Rambervillers du 22 février 2003. Il trouve une durée de source de l'ordre de 0.5 seconde et un moment sismique de $1.6 \cdot 10^{16}$ Nm, comparable à celui proposé par l'ETH de Zürich. La fonction source à phase minimale est également très similaire à la fonction source obtenue après déconvolution par fonction de Green empirique. Selon O. Sèbe, il est donc possible de déterminer à partir d'un seul enregistrement les principales caractéristiques de la fonction source. Seule la directivité semble difficile à retrouver.

Synthèse : De cette session, plusieurs points peuvent être retenus :

- le RAP a toujours rempli sa fonction à savoir enregistrer sans saturer les mouvements les plus forts en France. Ce constat montre aussi le fort taux de fonctionnement des stations du RAP.
- de nouvelles méthodes sont appliquées grâce à la qualité des données du RAP, même si comme précédemment, certains paramètres d'acquisition doivent évoluer comme la durée des fenêtres d'enregistrement.
- au vu des niveaux d'accélération et de, malgré tout, la faible magnitude des séismes, il faut envisager comme souhaité par le bureau du RAP, de relever les seuils de saturation, en particulier pour les stations des Antilles.
- des équivalences entre PGA et intensités macrosismiques pourraient être envisagées, relation importante en terme de prévision du mouvement sismique et d'analyse du risque sur des zones urbanisées.

6. SESSION ESTIMATIONS DE MAGNITUDE

animateur : Michel CARA (BCSF) – Fabrice COTTON (LGIT)

6.1 La magnitude : La ou les ? – Michel CARA (BCSF – Strasbourg)

Après un historique sur l'estimation et la définition des magnitudes locales, Michel Cara a passé en revue la diversité des magnitudes disponibles dans la littérature. Il a en particulier rappelé les domaines de validité de ces magnitudes qui ont fait l'objet de nombreux groupes de travail internationaux. La magnitude de moment M_w introduite par Kanamori en 1977 a été discutée ainsi que les relations entre magnitude et intensités macrosismiques étudiées sur des séismes historiques français. Des relations ont ensuite été présentées par Michel Cara permettant de relier les différentes valeurs de magnitude.

6.2 Energie rayonnée et moment sismique – Luis RIVERA (EOST – Strasbourg)

Dans la continuité de la présentation de Michel Cara qui terminait par la relation entre l'énergie émise par le séisme et le moment de la source sismique, Luis RIVERA a discuté la théorie de cette relation en s'appuyant sur l'exemple du séisme d'Hector Mine de 1999. Après un rappel du bilan énergétique du séisme, Luis Rivera a rappelé que l'énergie rayonnée d'un séisme est définie comme la quantité d'énergie qui serait transportée à l'infini sous forme d'ondes sismique si le séisme avait lieu dans un milieu illimité et sans atténuation. En rappelant les méthodes d'évaluation sur des données régionales ou téléseismiques et le rapport entre l'énergie sismique et le moment sismique

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52

Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr

pour des modèles de source usuels, il a montré à partir de résultats obtenus sur le séisme d'Hector Mine que l'évaluation de l'énergie sismique pour des petits séismes ($M_w < 3$) était biaisée ou qu'il fallait revoir la relation empirique donnant le moment sismique en fonction de la fréquence ($M_0 \sim f_0^{-3}$).


6.3 Séismes récents : exemples de M_w avec les signaux du RAP – Stéphane NEISCHTEIN (IRSN – Paris)

A partir des derniers séismes importants enregistrés par le RAP, Stéphane Neischtshein a calculer la magnitude de moment M_w . Après un bref rappel de la façon de calculer la magnitude de moment à partir d'enregistrements, les magnitudes de moment calculées par l'IRSN avaient dans la plupart des cas la même valeur que celles calculées par l'ETHZ de Zürich. Les principales conclusions de Stéphane Neischtshein montrent qu'il est possible de calculer des magnitudes de moment même sans un grand nombre de couples distance-azimut et qu'il est primordial d'avoir des capteurs large bande. Cette conclusion va dans le sens de la généralisation des données du RAP pour évaluer la magnitude de moment.

6.4 Atténuation, moment sismique et effets de site à partir de mouvement modérés : application aux Pyrénées. – Stéphane DROUET (OMP – Toulouse)

Les journées du RAP ont été l'occasion pour Stéphane Drouet de présenter les travaux déjà réalisés dans le cadre de sa thèse. Cette dernière a été lancée à l'initiative du GIS-RAP, suite aux journées précédentes du RAP. Stéphane Drouet s'attache à analyser les enregistrements de séismes régionaux afin de caractériser l'atténuation des ondes dans le contexte pyrénéen, d'extraire des informations sur les paramètres de source et d'identifier des effets de site. 31 événements ont été analysés, avec une moyenne de 12 enregistrements par événement, avec une gamme de distance épacentrale comprise entre 15 et 200 km, pour des magnitudes entre 2.8 et 4.6. La méthode développée par Stéphane Drouet se base sur l'hypothèse que le spectre du déplacement en champ lointain est le produit de la source, de la propagation et des effets de site. Les spectres du déplacement des ondes S sont calculés par FFT, le modèle de source est un modèle de Brune et l'atténuation est décomposée en une atténuation anélastique et géométrique. La fréquence coin, l'atténuation anélastique et l'effet de site sont obtenus par inversion des données selon la méthode proposée par Scherbaum et Wyss (1990) qui dans une deuxième étape permet d'obtenir l'atténuation géométrique, le moment sismique et le terme non-dépendant de la fréquence de l'effet de site. Les résultats montrent que la propagation peut être modélisée avec un facteur d'atténuation indépendant de la fréquence pour des fréquences inférieure à 10Hz et une atténuation géométrique en $1/r'$. Les modèles de sources (chute de contrainte...) sont cohérents avec le contexte tectonique et les effets de sites estimés sont compatibles avec ceux obtenus par d'autres méthodes.

Synthèse : De cette session, plusieurs points peuvent être retenus :

- 
- les discussions sur les magnitudes sont et resteront un sujet de discussion auquel le RAP peut participer mais que le RAP ne pourra résoudre.
 - la qualité des données du RAP semble bien adaptée au calcul de la magnitude de moment et des études doivent se poursuivre pour tenter (?) de généraliser le calcul de cette magnitude pour les plus gros séismes.
 - l'utilisation des données du RAP permet des études de site, de source et d'atténuation, qui après la région pyrénéenne, seront étendues aux zones alpine et antillaise.

Jeudi 03 juin 2004

7. SESSION COMPORTEMENT NON-LINÉAIRE DES SOLS

animatrice : Catherine BERGE-THIERRY (IRSN)

7.1 Importance des données géotechniques pour l'évaluation du comportement non-linéaire des sols – Fabian BONILLA (IRSN – Paris)

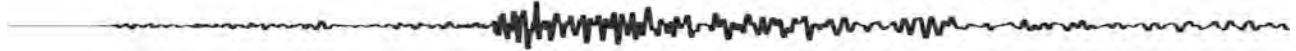
A l'aide d'illustrations provenant de différents sites français et à l'étranger, Fabian Bonilla a montré comment les effets de site et les effets non linéaires du comportement du sol se traduisent sur les enregistrements accélérométriques. Il a en particulier montré que la réponse du sol évoluait avec l'intensité du mouvement du sol produit par le passage des ondes sismiques. Ce phénomène traduit en réalité la dégradation du module de cisaillement et l'élévation de l'amortissement du sol avec l'augmentation de la déformation. Ce comportement s'obtient aisément avec des essais de laboratoire cycliques qui permettent de reproduire le comportement hystérésique du sol. Il faut donc pouvoir caractériser les sols à l'aide de paramètres géotechniques précis, en tenant compte de la pression de pore dans le cas où le matériau est saturé : ce paramètre contrôlera la capacité du sol à liquéfier. Fabian Bonilla conclut que des modèles de comportement plus élaborés et plus fiables que les modèles linéaire-équivalents doivent être développés et validés à l'aide de données accélérométriques.

7.2 – Les données géotechniques pour l'évaluation du comportement non-linéaire des sols – Pierre FORAY (UJF/INPG – Grenoble)

Pierre Foray a rappelé les essais géotechniques traditionnellement utilisés en France (CPT, Pressiomètre, Piézocône...). Basées sur des relations empiriques, plusieurs méthodes permettent d'évaluer le potentiel de comportement non-linéaire de certains sols. Il a rappelé entre autre que les informations géotechniques doivent permettre de calculer la dégradation des modules de cisaillement avec la déformation et d'évaluer l'élévation de l'amortissement. Il a néanmoins souligné que ces deux comportements ne sont pas les seuls à entrer dans le comportement non-linéaire. En particulier, la nature du milieu joue un rôle important puisque le caractère non linéaire des sols sera associé à la contrainte de cisaillement tandis que celui des argiles se basera sur leur

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52
Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr



minéralogie. Il a rappelé qu'à partir des essais géotechniques, des fuseaux permettent dans un premier temps de connaître le comportement non-linéaire possible des sols : ceci doit être une première étape pour décider de l'emplacement d'un site de liquéfaction.

7.3 Cadre réglementaire de l'aléa liquéfaction (et ses limites), exemples d'études effectuées en Métropole et aux Antilles – Jean-Luc NEDELLEC (BRGM – Orléans)

JL Nedellec a présenté le point de vue de l'expertise. Suite à la présentation des différentes réglementations et décrets en application en France, JL Nedellec a démontré la difficulté devant laquelle se situait l'expert pour proposer une bonne évaluation de la non-linéarité. Son propos a été illustré par l'exemple d'Annecy où un PPR sismique est cours de réalisation.

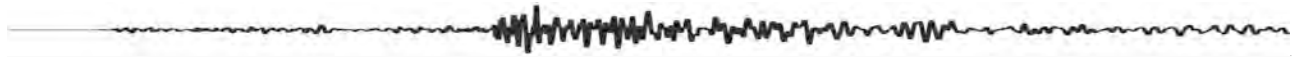
Synthèse : La nécessité d'études de liquéfaction apparaît clairement suite à ces présentations. Les idées principales qui ressortent de cette session sont :

- l'extrême nécessité de caractériser correctement les matériaux par des données géotechniques issues d'essais in-situ et de laboratoire ;
- le besoin de définir précisément et a priori un site pilote liquéfaction par des essais géotechniques ;
- le souci d'améliorer la connaissance des phénomènes non-linéaires de façon à mieux le prendre en compte dans les règles ;
- le besoin de modèles de comportement non-linéaire plus adaptés.

La poursuite de recherche de site liquéfaction aux Antilles est donc favorablement encouragée par le GIS-RAP.



RÉSEAU ACCÉLÉROMÉTRIQUE PERMANENT FRENCH ACCELEROMETRIC NETWORK



PARTICIPANTS

P. Dominique BRGM
B. Lebrun BRGM
B. Villa BRGM
D. Bertil BRGM
S. Depinois BRGM

AM Duval CETE
E Bertrand CETE
JF Vassiliades CETE
S Vidal CETE

B. Naigre CG Martinique

JM. Douchain Clermont
P. Labazuy Clermont

T. Piquet EOST
M. Granet EOST
M. Cara EOST

P. Tuchais IPGP
S. Bazin IPGP
JP. Viodé IPGP

C. Berge IRSN
F. Bonilla IRSN
P. Dervin IRSN
S. Nechstein IRSN
O. Scotti IRSN

B. Feignier LDG
M. Nicolas LDG
S. Carré LDG
M. Flouzat LDG
B. Hernandez LDG
A. Schlupp LDG
J. Guilbert LDG

F. Cotton LGIT
PY Bard LGIT
P. Guéguen LGIT
D. Hatzfeld LGIT
C. Péquégat LGIT
P. Lopes LGIT
P. Giroux LGIT
F. Doré LGIT
O. Sèbe LGIT

P. Sabourault MEDD

A. Souriau OGMP
JF Fels OGMP
S Drouet OGMP

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

Adresse postale : LGIT - BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9 - France / Tél : +33 (0)4 76 63 51 74- Fax : +33 (0)4 76 63 52 52

Web : <http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr> - Mail : Philippe.Gueguen@obs.ujf-grenoble.fr



RÉSEAU ACCÉLÉROMÉTRIQUE PERMANENT FRENCH ACCELEROMETRIC NETWORK



J. Perrot	UBO
B. Delouis	UNSA
M. Regnier	UNSA
F. Courboux	UNSA
A. Deschamps	UNSA
C. Maron	UNSA
C. Sansorny	UNSA
D. Fäh	ETH Zürich
P. Suhadolc	Trieste