

DEVELOPPEMENT D'UN CAPTEUR ACCELEROMETRIQUE PORTABLE

Denis Hatzfeld, Observatoire de Grenoble.

Résumé:

L'Institut National des Sciences de l'Univers décidait en 1989 de se doter d'un réseau mobile d'accéléromètres. Les financements ont été multiples. La demande présentée à la région Rhône-Alpes avait pour objectif de développer un nouveau type de capteur en collaboration avec la société Métravib.

Par ailleurs, la Délégation aux Risques Majeurs du Ministère de l'Environnement décidait de lancer une opération pilote en ce qui concerne le Réseau Accélérométrique Permanent dont la France n'est pas dotée. Cette opération s'inscrit en continuité de celle du Réseau Mobile et vient de commencer.

Le Réseau Accélérométrique Mobile

Introduction:

En 1989, l'Institut National des Sciences de l'Univers décidait d'acquérir un réseau accélérométrique mobile. Les objectifs étant de 2 types: 1) de recherche fondamentale (étude de la source sismique, de la propagation d'ondes) 2) de recherche appliquée (effets de site et Risque Sismique). Parmi les recommandations de l'INSU figuraient la nécessité d'engager une action de caractère national en contactant d'autres organismes (LCPC, BRGM, CEA), de tenir compte des capacités d'industriels français à proposer du matériel adapté, de trouver des sources de financement externes.

Au cours des années 1989-1990 nous avons donc entrepris plusieurs actions dans ces différentes directions. Nous avons consolidé un budget (pour un montant total de 3 MF environ) en effectuant des demandes auprès de divers organismes, nous avons réuni à plusieurs reprises les organismes concernés, nous avons eu des contacts répétés avec de nombreux industriels français.

Le Réseau Accélérométrique Mobile est un réseau de 13 stations portables permettant d'enregistrer les mouvements du sol de la manière la plus précise qui soit. Il est équipé de plusieurs types de capteurs pour répondre aux différents besoins: capteurs "large bande" pour l'étude des mouvements faibles, capteurs vélocimétriques pour l'étude de la sismicité, capteurs accélérométriques permettant d'enregistrer les mouvements "forts". L'enregistrement de très grande capacité se fait de manière numérique. La synchronisation horaire est effectuée par réception satellitaire du temps. Le traitement des données se fait sur station de travail portable.

Ce réseau, qui appartient au CNRS, est à la disposition de la communauté scientifique française. Il a été complété par les laboratoires de Paris et de Grenoble de 10 stations identiques. Depuis sa mise en service il a été déployé à 19 reprises sur le terrain pour des objectifs de

recherche fondamentale et de recherche appliquée au Risque Sismique.

L'utilisation de ce réseau a permis d'aborder des problèmes expérimentaux nouveaux. Les travaux issus de ces expériences commencent à être publiés.

L'analyse du Risque Sismique:

L'évaluation du Risque Sismique, ou plus exactement de l'aléa sismique nécessite l'évaluation de plusieurs paramètres: la source sismique (sa localisation, sa magnitude, son temps origine), les effets de propagation (lois d'atténuation), les effets locaux ou effets de site.

1) La source sismique

Localiser les sources sismiques fait l'objet des études de sismotectonique. Il s'agit d'identifier les failles potentiellement actives. Elles peuvent être visibles ou cachées. Ce n'est souvent que par une étude d'un cadre géodynamique que l'on pourra avoir une idée assez générale des régions susceptibles de ressentir des séismes de forte magnitude.

Proposer des magnitudes maximales pour les séismes localisés sur ces failles devra aussi tenir compte d'un cadre tectonique plus général et d'une étude la plus complète possible de la sismicité historique. Les périodes de récurrence de certains séismes étant de plusieurs milliers d'années, l'incertitude sur la magnitude peut être grande.

Prévoir le moment où le séisme se déclenchera relève de technique plus complexe, dont aucune n'a encore pu justifier d'un taux de succès significatif. A l'heure actuelle, s'il est possible de proposer une prédiction à long terme (c'est à dire d'identifier les régions potentiellement dangereuses), il est exclu de prévoir quand ces séismes auront lieu.

2) L'atténuation

Tout séisme génère des ondes acoustiques qui se propagent. L'amplitude des ondes décroît avec la distance, mais aussi en fonction d'autres paramètres tels que la rhéologie du sol, les caractéristiques de la croûte etc. Il est possible d'étudier l'atténuation des ondes le long du trajet, en utilisant d'autres séismes.

3) Les effets locaux

Le mouvement du sol est très fortement conditionné par des conditions locales. Il peut y avoir des effets dus à des conditions géologiques locales (socle et sédiments), à des caractères géotechniques particuliers (saturation en eau, degré de compaction), à des effets topographiques, de focalisation d'ondes etc. Des méthodes numériques permettent de simuler de tels effets. Cependant la paramétrisation est relativement complexe et il est indispensable de vérifier par l'expérimentation.

Ce rapide rappel des objectifs à atteindre montre la complexité de l'évaluation de l'aléa sismique. Ces dernières années, des méthodes intégrant des approches diverses ont permis d'aborder ce problème avec une vue plus complète du mouvement du sol

4) L'évaluation des fonctions de Green empiriques

Le mouvement du sol est la convolution d'une fonction source complexe et d'une fonction de transfert intégrant effet de propagation et effet de site. Mais ni la fonction de transfert, ni la fonction source n'ont des comportements linéaires. Il s'agit donc d'approcher ces fonctions de transfert par une combinaison de méthodes numériques et d'observations.

On utilisera l'observation du mouvement du sol au voisinage de petits séismes, pour prédire celui qui serait observé lors de séismes de forte magnitude. c'est ce que l'on appelle l'évaluation de "Fonctions de Green Empiriques". Cependant la complexité de la paramétrisation nécessite avant tout de nombreuses données de bonne qualité.

L'un des objectifs du réseau accélérométrique portable est l'évaluation de la méthode des fonctions de Green empiriques. Pour cela il est indispensable d'enregistrer des séismes de magnitude très diverses, appartenant à une même faille. Mais la dynamique de tels mouvements est très grande (supérieure à 10^6). Il est donc indispensable de posséder, dans un même lieu, des enregistrements provenant d'un même endroit, de séismes de magnitude variant dans une large

gamme. Pour cela il faut une instrumentation de grande qualité permettant un grande dynamique. Cette instrumentation doit être mobile pour pouvoir être déplacée sur des sites différents.

L'utilisation des Crédits Etat-Région:

Le cahier des charges du Réseau Accélérométrique Mobile prévoyait un capteur pouvant enregistrer des mouvements dans une gamme allant de 1 micro-g à 1 g, et d'un enregistreur numérique de terrain.

Nous avons mentionné la recommandation de prospecter le marché industriel français faite par l'INSU. Cette recommandation nous a aussi été transmise par le MRT et par la DRM. Le marché du matériel sismologique est relativement restreint, il est avant tout constitué des laboratoires universitaires, du CEA et dans une moindre mesure du BRGM et du LCPC. Dans ces conditions le marché français est insuffisant pour décider un industriel à faire l'étude d'un matériel trop spécifique.

Il faut cependant mentionner quelques exceptions.

1) L'enregistreur

Des enregistreurs numériques, non transportables sont proposés par des sociétés françaises, cependant les modifications à apporter pour en faire un appareil mobile, autonome et de faible consommation ne pouvaient être réalisées en quelques années. La seule société pouvant proposer un matériel mobile était CEIS-Espace, avec laquelle nous avons eu de très nombreux contacts, mais qui n'a pu tenir les délais demandés.

2) Le capteur

En ce qui concerne les capteurs, le CEA commercialise des sismomètres courte période, mais ils ne convenaient pas à nos objectifs. D'autres capteurs accélérométriques sont proposés pour des applications diverses: militaires en balistique, et pour l'analyse modale de structures. Nous avons approché 2 fabricants français de capteurs à qui nous avons soumis notre cahier des charges, il s'agit des sociétés SEPTA et METRAVIB. La première propose un capteur de type asservi, la deuxième un capteur piézo-électrique. Nous avons donc eu de nombreux contacts avec ces 2 sociétés, pour étudier en commun la commercialisation d'un capteur français répondant à nos objectifs. En ce qui concerne le SEPTA, il s'agissait d'amélioration dans l'électronique. Par contre pour METRAVIB, il s'agissait de réaliser un appareil complètement nouveau, utilisant un principe de détection inédit.

Les crédits attribués par le Programme de Recherche sur les Risques Naturels avait pour objet la participation au développement du capteur METRAVIB.

Au mois de mai 1991, nous avons réuni la plus grande partie des crédits obtenus à cette date pour commander 13 stations accélérométriques mobiles comprenant capteur et enregistreur. Nous avons choisi les appareils, qui à cette date là, répondaient à nos objectifs et présentaient le meilleur rapport qualité/prix. Il s'agissait de l'enregistreur américain Reftek et du capteur anglais Guralp.

Conclusion:

Nous avons expliqué en quoi l'acquisition d'un réseau accélérométrique mobile pouvait aider à une approche plus fine de l'évaluation de l'aléa sismique. C'est en acquérant de nouvelles données, de séismes de magnitudes variées que l'on pourra tester les méthodes numériques destinées à prédire le mouvement du sol lors de séismes destructeurs.

Le projet est maintenant opérationnel. Le matériel a été utilisé aussi bien sur des objectifs de recherche fondamentale (source, atténuation, anisotropie...) que sur des objectifs appliqués (effets de site, effets topographiques, micro-zonage...) ou de génie-civil. Les données sont acquises et exploitées, et les résultats commencent à être publiés.

Le taux d'utilisation du matériel est supérieur à 70% et son planning est complet un an à l'avance. Le Réseau Accélérométrique Mobile est donc une opération réussie.

Le Réseau Accélérométrique Permanent

Introduction:

Le Réseau Accélérométrique Permanent a pour objectif de fournir à la communauté scientifique (chercheurs et ingénieurs) les données permettant de comprendre les phénomènes relatifs au mouvement du sol lors de séismes. Il doit aider à la détermination des spectres de référence permettant le dimensionnement de structures. Ce réseau se limite à l'étude en "champ libre". En particulier:

- 1) A la différence d'un réseau sismologique, il ne doit jamais saturer. Il doit donc être capable d'enregistrer des mouvements de 1g.
- 2) Il doit permettre l'étude de lois d'atténuation en fonction de la distance pour tout le spectre utile.
- 3) Il doit être capable de proposer des lois d'échelles Moment Sismique-Magnitude. Les comparer avec les intensités ressenties.
- 4) Il doit permettre l'étude du mouvement du sol dans tout le spectre utile en Génie Parasismique (environ 20 sec-50 Hz).
- 5) Le cas échéant, pour les séismes de forte magnitude, il doit permettre les études de source (rupture, directivité...).
- 6) Il doit étudier les effets de sites en milieu urbain.
- 7) Il doit permettre de tester et de caler les méthodes actuelles d'évaluation du mouvement du sol.

L'opération pilote est la première phase du RAP qui concernera à terme 100 stations. Elle doit montrer la faisabilité d'un tel projet.

L'Opération Pilote

Dans l'incertitude concernant la programmation ultérieure du RAP, la question est posée de savoir si l'opération pilote doit répartir géographiquement les moyens rassemblés sur l'ensemble du territoire ou concentrer ceux-ci sur une région. Le groupe de travail "Ad Hoc" mis en place par la DRM estime que le 'saupoudrage' n'aurait aucun sens, seule la concentration des moyens, mêmes limités, sur une région peut montrer la faisabilité du projet et permettre l'obtention de données utiles dans un temps raisonnable. Cette opération pilote doit permettre d'échantillonner divers problèmes tels que ceux relatifs à l'observation d'intensités anormales.

Le Choix de la région

- Le rapport BCSF avait proposé d'instrumenter les régions suivantes:
- Les Alpes Maritimes, Alpes du Nord, Alsace-Vosges, Provence, Pyrénées et les Antilles.
 - La Provence ne montre pas actuellement une activité sismique suffisante pour espérer obtenir des données dans un laps de temps réduit.
 - Les Pyrénées Occidentales présentent une activité sismique suffisante, il reste cependant à clarifier les responsabilités respectives de l'IPG-Paris et de l'Observatoire Midi-Pyrénées dans cette région.
 - Les Antilles sont trop éloignées de tout centre de recherche actif implanté localement et qui garantirait une interaction dynamique avec l'opération pilote. Le réseau accélérométrique actuel rencontre des problèmes de maintenance.
 - L'Alsace-Vosges n'est actuellement pas demandeur par manque de personnel.
 - Les Alpes, Nord et Maritimes, par le biais du L'Institut de Géodynamique et du CETE basés à Nice, et du LGIT basé à Grenoble, sont candidats pour montrer la faisabilité d'un tel projet avec les arguments suivants:
 - 1) Sismicité modérée permettant d'espérer une centaine d'événements de magnitude supérieure à 2 par an.

- 2) Présence d'un réseau sismologique de localisation avec SISMALP. Présence additionnelle de plusieurs réseaux locaux (réseau de Provence, réseau des Alpes-Maritimes, réseau de Cadarache).
- 3) Présence de plusieurs centres scientifiques concernés par l'étude des mouvements du sol (LGIT-Grenoble, Cete-Nice, IG-Nice, BRGM-Marseille). Possibilité de création du CRTT à Nice (ou à Grenoble?).
- 4) Existence du Pôle Grenoblois des Risques Naturels et du Programme "Risques Naturels" de la région Rhône-Alpes.
- 5) Volonté de prendre en charge, dans une étape de démarrage de 1 an, sur leurs forces propres, l'installation du réseau. Le LGIT s'engageant pour 12 mois-personne, l'IG pour 6 mois, le Cete pour 2-3 mois. Si l'opération pilote se fait dans cette région, l'IPG-Strasbourg propose un soutien de 3 mois, le CEA un soutien ponctuel ainsi que le BRGM.
- 6) Existence du projet TGRS de l'IG de Nice, du projet Interreg de Grenoble, de la station accélérométrique de Monaco et du réseau accélérométrique de Cadarache (Faille de la Durance).

Choix techniques

Un séisme de magnitude 2 produit un mouvement du sol de 1 milli-g à une distance de 20 km, il n'est pas décelable par un capteur accélérométrique performant à une distance supérieure à 40 km. Un séisme de magnitude 3 produit un mouvement du sol de 1 milli-g à une distance de 40 km, il n'est pas décelable à 60 km. La sismicité alpine est de niveau modérée (moins de 10 séismes de magnitude 3 par an), il faut cependant se donner la possibilité d'enregistrer plusieurs événements par an, tout au moins pour le réseau pilote, à des distances de plusieurs dizaines de km pour étudier les lois d'atténuation. La seule possibilité est de coupler les capteurs accélérométriques à des capteurs sismologiques de plus grande sensibilité. Il faut donc disposer d'enregistreur à 6 voies.

Une discussion approfondie fait apparaître que pour maximiser le nombre d'événements rapatriés au site central, limiter les coûts de transmission de données, il est suggéré de s'orienter vers une solution (comparable à celle préconisée pour le RéNaSS) d'enregistrement continu dans chaque site et rapatriement des données au site central après décision de celui-ci. Une telle solution, bâtie autour d'un micro-ordinateur PC dans chaque station, présente l'avantage d'être modulaire, évolutive, et cohérente avec le réseau sismologique national. Elle permet de bénéficier des logiciels développés par le RéNaSS. Un prototype de station du RéNaSS doit être disponible au mois de juin 93. Elle permet la possibilité d'ajouter ultérieurement des voies de mesure supplémentaires (par exemple pour les études de structure ou les effets de site).

Dans la mesure où cette solution pourrait être testée, et montrer sa fiabilité, dans un délai de quelques mois, nous pouvons l'envisager. Dans le cas contraire nous nous tournerons alors vers un matériel distribué commercialement.

Dans les sites régionaux, il faut prévoir des moyens généreux de traitement et d'archivage de l'information (PC, station de travail, disque de grande capacité).

Collaborations

D'ores et déjà le LGIT, l'IG et le Cete-Méditerranée décident de collaborer pour l'installation de la phase pilote. Ils ont le soutien du CEA et du BRGM ponctuellement.

L'opération pilote doit se faire en étroite concertation avec le RéNaSS, en ce qui concerne les réseaux locaux et la définition du matériel. Dans la région de Nice, elle bénéficiera de la dynamique du projet TGRS dont elle partage certains objectifs.

Il est aussi suggéré que cette opération pilote, qui verra l'installation d'une infrastructure (abri, téléphone, alimentation...) soit couplée avec d'autres opérations à caractère de recherche scientifique fondamentale (réseau régional large bande) dont le surcoût de financement est à trouver auprès des organismes de recherche.

Conclusions

Les propositions du groupe d'experts sont les suivantes:

- 1) Concentrer les moyens mis à la disposition de l'opération pilote sur les Alpes du Sud, de Grenoble à Nice (régions Rhône-Alpes et PACA).
- 2) Encourager la collaboration entre le LGIT, l'IG et le Cete pour l'installation du réseau.
- 3) Mettre en place une instrumentation de grande qualité en concertation avec le réseau national RéNaSS.
- 4) Garantir la souplesse et l'évolution du matériel.
- 5) Encourager le couplage avec d'autres opérations de collectes de données sismologiques dans les Alpes.
- 6) Donner la responsabilité de l'opération pilote à P-Y Bard et D. Hatzfeld.
- 7) Prendre conscience que les moyens nécessaires à la phase initiale sont les moyens propres des différents laboratoires, que ceux-ci ne seront plus disponible après un an. Il faut donc impérativement prévoir du personnel spécifique (1 poste par région), pour le fonctionnement du réseau et du centre.
- 8) Mettre en place dans un avenir proche le centre de traitement et d'archivage de données.