

PASSERELLE :

UN LIEN ENTRE LA RECHERCHE ET LA GESTION DU RISQUE SISMIQUE ET GRAVITAIRE DANS LES ALPES MARITIMES

Projet inscrit dans le cadre du programme de recherche: Risque Décisions Territoire du Ministère de l'Ecologie et de l'Environnement Durable sous le numéro: CV04000072

RESUME :

PASSERELLE est un projet bâti pour améliorer la communication entre les équipes de recherche et les responsables de services liés à la gestion des risques dans les domaines de l'aléa sismique et gravitaire dans le département des Alpes Maritimes. Il doit permettre :

- de présenter aux services opérationnels les objectifs, la conception et le déroulement d'actions de recherche, afin de donner aux gestionnaires une vision de l'état actuel des connaissances et des outils en matière d'aléa sismique et mouvements de terrain ;
- aux équipes de recherche d'appréhender les problèmes concrets posés aux services responsables de la prise en compte des risques sur le territoire: établissement des niveaux d'aléa, réglementation, contentieux, information ...
- d'aider les responsables des services publics à mieux repérer les éléments d'études et de recherches qui pourraient répondre à certaines de leurs attentes.

Afin de concrétiser les échanges entre les mondes scientifique et opérationnel, plusieurs actions de recherche sont envisagées sur une zone géographique particulière (la vallée du Var): détection et imagerie des failles actives, observation et enregistrements des séismes actuels, quantification des effets de site, simulation des mouvements du sol et implications sur les glissements de terrains. Des rencontres régulières permettront de suivre sur 2 ans l'évolution de ces actions scientifiques et d'évoquer parallèlement les apports possibles en terme d'appréciation de l'aléa.

Responsables scientifiques :

Françoise Courboux, docteur en géophysique, chargée de recherche au CNRS, UMR Géosciences Azur, 250 av Einstein, 06560 Valbonne, tel : 04 92 94 26 12, fax : 04 92 94 26 10, e-mail : courboux@geoazur.unice.fr.

En l'absence de celle-ci merci de contacter :

Anne-Marie Duval et Etienne Bertrand, Chargés de recherche du Ministère de l'Equipement, Equipe de Recherche "Risques Sismiques", CETE méditerranée

Laboratoire de Nice 56 bd Stalingrad F-06359 Nice cedex 4 France

Tel : (33) 04 92 00 81 67 Fax : (33) 04 42 60 79 19

anne-marie.duval@equipement.gouv.fr www.cete-mediterranee.fr

Partenaires scientifiques:

1. UMR Géosciences Azur 6526, CNRS, UNSA, UPMC, IRD, 250 av Einstein 06560 Valbonne

2. CETE Méditerranée, Equipe de Recherche Associé au LCPC (Era) « Risque Sismique » - service « Risques Naturels et Géotechnique », 56 bd Stalingrad, 06300 Nice.

Les laboratoires suivants collaborent au projet et sont intégrés à la demande financière de Géosciences Azur :

- **CEREGE** (Centre Européen de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement), UMR 6635, Europôle Méditerranéen de l'Arbois, -BP 80 - 13545 Aix en Provence
- **IRSN** (Institut de Recherche et de Sécurité Nucléaire)/DPRE/SERG/BERSSIN BP 17 92262, Fontenay aux Roses
- **CEPAM** (Centre d'Etude Préhistorique, Antiquité, Moyen âge), UMR 6130, 250 av Einstein 06560 Valbonne
- **LGTS** (Laboratoire de Géophysique, Tectonique et Sédimentologie), UMR 5573, Université de Montpellier II, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier
- Département de Sciences de la Terre, Université Claude Bernard Lyon1, 69622 Villeurbanne
- **OrsayTerre**, FRE 2566, Université Paris Sud, Bat. 504, 91405 Orsay
- **IPRA**, Imagerie Géophysique, Université de Pau et des pays de l'Adour, 64013, Pau.
- **LPMG**, Institut de physique du globe de Paris, 4 place Jussieu, 75005, Paris.
- **LCPC**, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 58 bd Lefèbvre 75732 Paris

Equipes scientifiques			
Nom	grade	Organisme	Temps en mois sur le projet (2 ans)
		Géosciences Azur (GA)	
Nicole Béthoux	Maître de conférence Université de Nice/ Sophia Antipolis (UNSA)	GA	1
Didier Brunel	Ingénieur d'étude CNRS	GA	1
Françoise Courboux	Chargée de recherche CNRS	GA	7
Bertrand Delouis	Maître de conférence UNSA	GA	5
Anne Deschamps	Chargée de recherche CNRS	GA	4
Stéphane Gaffet	Chargé de recherche CNRS	GA	4
Christophe Larroque	Maître de conférence Univ. Reims	GA	7
Thomas Lebourg	Maître de conférence UNSA	GA	2
Tony Monfret	Chargé de recherche IRD	GA	1
Marc Regnier	Chargé de recherche IRD	GA	1
Jean-François Stéphan	Professeur UNSA	GA	1
Jean Virieux	Professeur UNSA	GA	1
Florence Bigot-Cormier	Maître de conférence UNSA	GA	Suivi du projet
		CETE Méditerranée	
Anne-Marie Duval	Chargée de recherche de l'équipement	CETE	1
Etienne Bertrand	Chargée de recherche de l'équipement	CETE	1
Sylvain Vidal	Technicien supérieur de l'équipement	CETE	0,5
Jean-François Vassiliades	Technicien supérieur de l'équipement	CETE	0,5
Patrice Maurin	Ingénieur TPE	CETE	Suivi du projet
Jean Louis Perez	Ingénieur géologue de l'équipement	CETE	Suivi du projet
Jean-Philippe Devic	Ingénieur TPED Dir. Labo	CETE	Suivi du projet
Alain Calvino	Ingénieur géologue de l'équipement	CETE	Suivi du projet
Jean-François Semblat	Ingénieur TPED	LCPC, Paris	0,5
		Autres Equipes	
Olivier Bellier	Professeur	GEREGE	1
Dominique Chardon	Chargé de recherche CNRS	GEREGE	1
Jean François Ritz	Chargé de recherche CNRS	LGTS, Montpellier	1
Christophe Delacourt	Maître de conférence Lyon	Lyon	1
Michel Dubar	Chargé de recherche CNRS	CEPAM	1
G. Sénéchal	Maître de conférence	IPRA, Pau	1
D. Rousset	Maître de conférence	IPRA, Pau	1
M Pessel	Maître de conférence	OrsayTerre	1
H Zeyen	Professeur, Université Paris sud	OrsayTerre	1
Donatienne Leparoux	Maître de conférence	LPMG , IPGP	1
Marc Cushing	Ingénieur de recherche	IRSN	Suivi du projet
Philippe Vollant	Ingénieur de recherche	IRSN	Suivi du projet
David Baumont	Ingénieur de recherche	IRSN	Suivi du projet
Catherine Berge	Ingénieur de recherche	IRSN	Suivi du projet

PASSERELLE :

UN LIEN ENTRE LA RECHERCHE ET LA GESTION DU RISQUE SISMIQUE ET GRAVITAIRE DANS LES ALPES MARITIMES

INTRODUCTION : Etat des questions sur le territoire, actions passées, cadre actuel de la demande

Le département des **Alpes Maritimes** est une zone où le risque naturel d'origine géologique est particulièrement important. Ceci s'explique par la situation du département : coincé entre les Alpes et le bassin ligure, les Alpes Maritimes se situent sur la zone de frontière entre les plaques tectoniques Afrique et Europe. On y trouve ainsi une sismicité importante (640 séismes enregistrés en 6 mois lors d'une campagne temporaire en 2000-2001) et une topographie très contrastée favorable aux glissements gravitaires à terre et en Mer. La zone côtière est de plus très densément peuplée, ce qui augmente fortement la valeur du risque. Il est important de se rappeler que cette zone a connu dans le passé des tremblements de terre qui ont fait des dégâts matériels très importants et surtout ont tué plusieurs centaines de personnes en Italie et en France (650 victimes le long de la côte ligure après le séisme Ligure de 1887). Le nombre d'habitants de la côte d'Azur ayant fortement augmenté depuis cette époque, il est facile de comprendre qu'un tel événement aurait des conséquences catastrophiques actuellement. Or, on sait que dans les régions où de forts séismes ont eu lieu dans le passé, de forts séismes auront lieu dans le futur. **La région des Alpes Maritimes est ainsi réellement menacée par l'occurrence d'un tremblement de Terre de magnitude importante (6 ou 6.5). Nul ne peut prévoir quand ... il est donc très important de s'y préparer au mieux.**

Dans la région PACA et en particulier **dans les Alpes Maritimes, aucune structure ne permet actuellement de mettre en contact facilement les organismes de recherche sur les risques naturels et les organismes chargés de prendre des décisions en ce qui concerne la prévention des risques et la gestion de la crise et de la post-crise.** Ce projet est le reflet de la volonté que nous avons d'interagir pour rendre la recherche plus facilement applicable.

Rappelons également que les différents partenaires scientifiques de ce projet sont tous impliqués dans des aspects directement liés à l'aléas ou au risque sismique dans les Alpes Maritimes: réseau de surveillance sismique (Geosciences Azur), réseau accélérométrique (Géosciences Azur et CETE Méditerranée), GEMGEP (CETE Méditerranée, LCPC), projet européen RISKUE (BRGM). Quelques acteurs de ce projet sont également des membres actifs de l'association Française du génie parasismique (AFPS) et participent aux groupes de travail permettant l'amélioration de la prise en compte du risque.

A. INTERACTIONS ENTRE LES CHERCHEURS ET LES OPERATIONNELS (Coordination : Anne-Marie Duval)

Le risque sismique dans les Alpes Maritimes est une préoccupation plus ou moins affichée et efficacement prise en compte par les services publics. L'évolution réglementaire nationale subit elle-même des poussées très largement liées à la médiatisation des séismes catastrophiques subis dans le monde au cours des 50 dernières années. Suite notamment aux mises en garde très médiatisées d'Haroun Tazieff dans les années 1980, la région niçoise se révèle très sensibilisée au problème. Plusieurs équipes de recherche travaillent sur des sujets ayant un lien avec l'aléa. De leur côté, les services de l'état ou des collectivités territoriales travaillent sur la mise en place de politiques de prévention et de gestion des risques sur la base d'une réglementation et de connaissances de plus en plus précises.

Le projet PASSERELLE a été bâti sur le constat dans les Alpes Maritimes, comme certainement ailleurs, d'une distance certaine entre ces deux univers: celui de la recherche sur l'aléa d'une part et celui de la gestion concrète du risque d'autre part.

Il semble qu'une meilleure connaissance mutuelle des missions, des objectifs et des moyens de chacun permettrait un rapprochement favorable à une gestion optimisée des risques dans notre région.

Les objectifs sont donc:

- 1) de constituer un groupe pérenne rassemblant:
 - des praticiens de l'Etat ou des collectivités territoriales
 - les équipes de recherche
- 2) de définir des projets de recherche sur un territoire restreint du département montrant la variété des problèmes abordés par les scientifiques sur la thématique "mouvement du sol"
- 3) de présenter au groupe les objectifs, la conception et le déroulement d'actions de recherche sur 18 mois, afin de donner aux services "gestionnaires" une vision de l'état actuel des connaissances et des outils en matière d'aléa sismique.
- 4) de favoriser les échanges pour améliorer les connaissances mutuelles des deux univers de travail.

Les moyens de ces échanges:

Nous avons fait le choix de restreindre les actions scientifiques de ce projet à des **actions ciblées sur l'aléa dans une zone géographique limitée**. Cette approche devrait permettre au groupe de suivre le déroulement des actions menées, depuis la définition de leur contexte scientifique et de leurs objectifs, puis leur conception, leur déroulement et leur analyse. Ces actions de recherche sont présentées dans la suite de ce document (B).

Dans la pratique, la réunion de lancement du projet (4 mars 2005) consistera à expliquer la démarche, présenter les partenaires, formaliser la constitution du groupe de suivi (chercheurs et opérationnels) et donner présenter les premiers éléments de chacune des actions scientifiques. Ainsi chacun des groupes scientifiques présentera son programme de travail et le type de résultats attendus. Deux autres réunions de suivi des projets sont programmées en octobre 2005 et juin 2006 afin que les services invités puissent suivre les projets, les commenter et éventuellement leur donner une continuité dans leur propre action.

Un "cahier de suivi" des actions sera mis à jour par les chercheurs et envoyé régulièrement à l'ensemble du groupe afin de suivre l'évolution des démarches scientifiques.

Pour favoriser les échanges, plusieurs autres moyens ont également été proposés: des visites de terrain, des visites de services, un glossaire technique à double entrée (scientifique et opérationnel) et un forum de discussion.

Enfin, à la fin du projet un bilan sera dressé quant à la pertinence de tels échanges et aux suites concrètes qu'ils ont provoquées dans l'enchaînement d'actions et de décisions menant à la prévention du risque.

B. AXES DE RECHERCHE SELECTIONNES

Il aurait été possible de limiter ce projet à la partie directement appliquée de nos actions de recherche. Nous avons choisi d'élargir ce point de vue afin de donner aux opérationnels une vision assez large de nos études. Il nous est apparu par exemple dommageable que les personnes directement concernées au niveau de la gestion du risque ne soient informées des résultats de nos études que par la presse locale ou nationale (avec les raccourcis et simplifications qu'implique ce genre de publications).

Dans ce projet, nous proposons des actions de recherche dans le domaine de l'aléa sismique et gravitaire. Chacun des volets présentés est une composante fondamentale de la connaissance de l'aléa sismique. Notons que nous avons restreint ce projet à l'aléa à terre bien que dans les Alpes Maritimes l'aspect marin soit très important dans la définition du risque.

La détermination de l'aléa sismique et gravitaire incluse de très nombreux champs d'investigation. Parmi ces champs nous avons choisi de développer des actions de recherche sur :

- La localisation des failles actives.
- La géométrie de ces failles et la nature du sous-sol.
- La propagation et l'atténuation des ondes dans le sol.
- Les amplifications du mouvement du sol dues aux ondes sismiques

Ce sont ces différents thèmes que nous développons dans la suite de ce document.

Afin de rendre les résultats de nos travaux plus visibles, nous avons choisi de concentrer une grande partie de nos actions sur une zone : **la vallée du Var** (il s'agira du cas empirique traité).

Cahier de suivi des actions de recherche:

Mise à jour du 28 février 2005

Notions à développer par sujet:

- problématique scientifique
- méthodes
- moyens
- délais
- résultats attendus
- partenaires

B.1 Détection des zones actives : D'où peut venir un séisme futur ?

(Coordination : Bertrand Delouis et Christophe Larroque)

Nous proposons un regroupement de compétences sur la thématique de la reconnaissance et l'identification des failles actives dans la région de Nice. Il s'agit d'un sujet qui interpelle fortement la communauté des géologues et sismologues car ces failles sont encore mal connues et l'attente de la société sur ce sujet est forte. Les services opérationnels sont particulièrement concernés par l'origine et les conséquences d'un événement sismique destructeur dans la zone Niçoise. Ceci est justifié par les séismes historiques, la forte densité de population sur la côte, les couplages possibles entre séismes et glissement de terrain, ainsi qu'un contexte présentant des similitudes avec celui du séisme récent d'Algérie (Mw 6.9).

La méthodologie préconisée consiste essentiellement en l'analyse géomorphologique fine sur la base d'image aériennes et satellitaires, de MNT régionaux (IGN à 50m) et locaux (MNT haute résolution produits à partir de photos aériennes, GPS cinématique, station totale tachéomètre), et d'observations de terrain. L'acquisition de ces données nouvelles sera complétée par la compilation des données sur la connaissance du sous-sol à proximité des failles (données de forage notamment). L'objectif est d'identifier et de déterminer les caractéristiques de failles potentiellement actives cachées sous la couverture quaternaire de la basse vallée du Var.

La jonction entre les Alpes de Sud et le bassin Ligure est une des plus sismiques de France (Grellet et al., 1993) mais les caractéristiques des séismes qui peuvent s'y produire restent mal définies, en particulier à cause du manque d'information sur les failles pouvant être activées lors des événements. A l'échelle de la région, un certain nombre de failles potentiellement actives ont pu être définies et étudiées (Larroque et al., 2001 ; Courboulex et al., 2003). La zone d'étude que nous avons sélectionnée dans le cadre de ce projet est la basse vallée du Var entre Saint Martin du Var et la côte (figure 1), soit une région de 15 * 20 km située immédiatement à l'ouest de Nice.

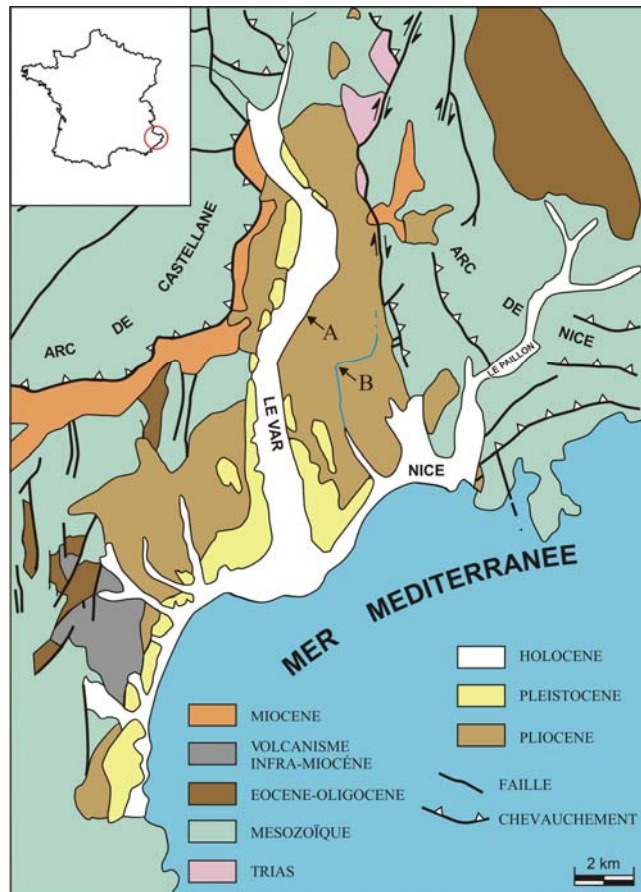


Figure 1. Carte géologique simplifiée de la basse vallée du Var montrant les grandes structures limitant la vallée et la position des affleurements de pliocène et de quaternaire (d'après Dubar et Perez, 1989).

La basse vallée du Var est remplie par des dépôts sédimentaires récents (pliocène à quaternaire). Divers indices de déformation d'origine tectonique ont déjà été relevés dans cette zone :

- (1) Dans les dépôts sédimentaires attribués au quaternaire, Dubar et Perez (1989) ont mis en évidence des fractures résultant d'un régime tectonique en compression de direction subméridienne. Cette fracturation témoignerait de la continuité des déformations depuis les importantes phases tectoniques qui ont abouti à la mise en place des arcs de Nice et de Castellane au Miocène supérieur (qui forment les reliefs majeurs de la région) et la sismicité actuelle.
- (2) Dubar et Perez (1989) ont aussi pu montrer l'existence de dénivellations (de plusieurs dizaines de mètres) dans les terrasses quaternaires de part et d'autre de l'embouchure du Var qui traduisent d'importants mouvements verticaux.
- (3) Lors de l'expérience sismologique SALAM (Sismicité et Aléas dans les Alpes Maritimes), 2 séismes de magnitude 2,5 ont été enregistrés au nord de la vallée du Var (figure 2). La profondeur du foyer est d'environ 8-10 km avec un mécanisme en faille inverse (Charreau, 2002). Ils montrent que des déformations sont actives sous les dépôts quaternaires.

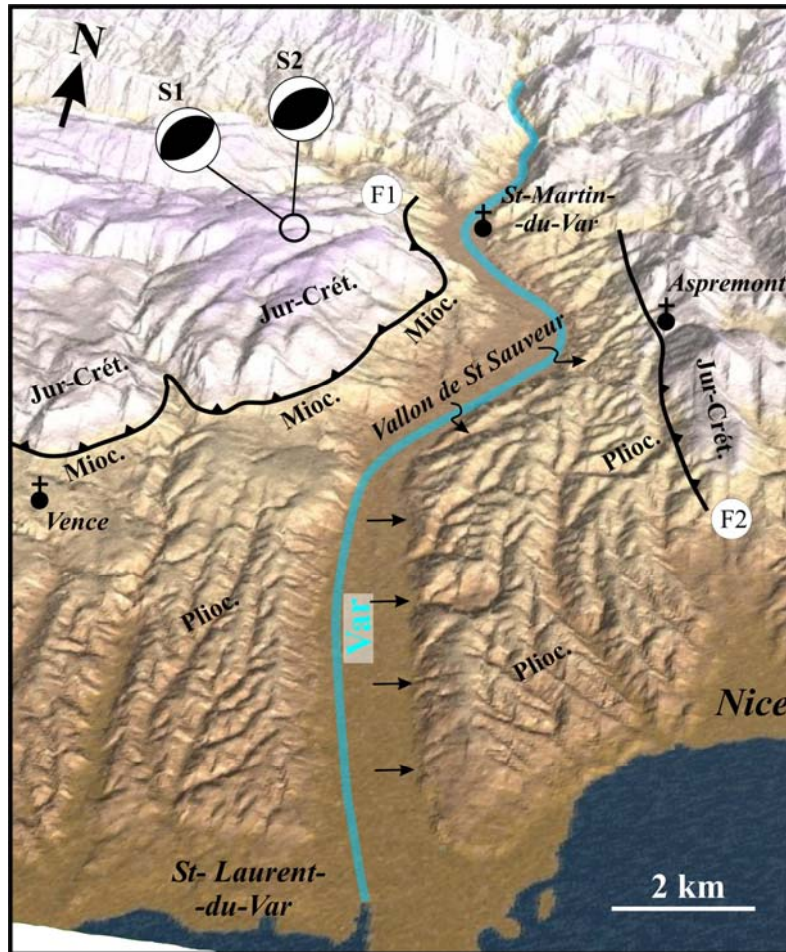


Figure 2. Représentation topographique en vue oblique de la basse vallée du Var, à partir des données du MNT de l'IGN. Le chevauchement frontal le plus méridien de l'arc de Castellane est représenté par F1. Son jeu anté-pliocène est bien établi. La faille marquant la bordure Ouest de l'arc de Nice (faille Saint Blaise – Aspremont) est indiquée par F2. Lui sont associés des indices de jeu syn- à post-pliocène. L'anomalie morphologique du Vallon de St Sauveur est indiquée. La bordure Est de la basse vallée du Var, de nature très linéaire et associée à des terrasses quaternaires surélevées est soulignée par les flèches. Jur-Crét. = Jurassique-Crétacé; Mioc. = Miocène; Plioc. = Pliocène. Les mécanismes au foyer des deux séismes de magnitude 2.5 de 2000 sont reportés (S1 et S2). Ils ont à peu près le même épicerentre.

Les grandes questions qui se posent sur la zone d'étude sont : le faisceau de failles Saint Blaise – Aspremont (qui limite la vallée du Var à l'Est, F2 sur la figure 2) a-t-il été actif au Quaternaire ? Y a-t-il d'autres failles non identifiées masquées par les dépôts quaternaires de la basse vallée ? Quelles seraient les caractéristiques d'un séisme généré sur ces failles ? Notre travail s'orientera vers l'étude des anomalies morphologiques repérées dans les dépôts quaternaires, par exemple : (1) celle du vallon de St Sauveur (long de 4 km, orienté NE-SW, parallèle au coude du Var, A sur la figure 1, et voir également figure 2) qui pourrait bien être déterminé par une faille dont le fonctionnement serait récent, (2) le détournement vers l'ouest du cours supérieur du ruisseau de Magnan qui pourrait être lié au soulèvement local et récent des dépôts pliocènes (B, figure 1).

La complémentarité de ce programme de recherche avec celui que notre équipe dépose aux Actions Concertées Incitatives (ACI) du ministère de la recherche, nous permettra de compléter cette étude par des analyses paléosismologiques dans le cas où des sites favorables à l'installation de tranchées seraient mis en évidence. De même, un des objectifs du projet ACI sera l'installation d'un réseau sismologique temporaire de 5 stations de façon à mieux imager la sismicité de cette zone.

Pour la réalisation des études présentées dans ce projet, nous disposons d'une partie des équipements nécessaires: chaîne de traitement des images satellitaires, tachéomètre et GPS cinématique (Labo. dynamique de la lithosphère, CNRS Montpellier, J-F. Ritz) pour l'acquisition de topographie de détail sur le terrain.

Résultats escomptés

- Etablir si les anomalies morphologiques observées au niveau de la basse vallée du Var témoignent effectivement de la présence de failles actives à prendre en compte pour l'évaluation de l'aléa sismique, notamment pour la ville de Nice toute proche.
- Procéder à cette première étape indispensable de reconnaissance des failles actives de façon à préparer les études portant sur la quantification de leur potentiel sismogénique (magnitude maximale attendue, temps de récurrence, date du dernier séisme,... qui fera l'objet d'un projet de recherche ACI/INSU complémentaire basé sur des études en tranchée).

Liste des participants : Christophe Larroque (Géosciences Azur), Bertrand Delouis (Géosciences Azur), Ollivier Bellier (CEREGE), Jean-François Stéphan (Géosciences Azur), Michel Dubar (CEPAM, CNRS), Jean François Ritz (CNRS/ Montpellier), Jean Louis Perez (CETE Méditerranée), Marc Cushing (IRSN), Dominique Chardon (CEREGE), Christophe Delacourt (Univ. Lyon), Philippe Vollant (IRSN).

B.2 Observation et enregistrement des séismes actuels : Quelles sont les zones les plus sismiquement actives ? Quelles sont les valeurs du mouvement du sol enregistrées ?

(Coordination : Anne Deschamps)

La plupart des avancées dans les domaines de la sismologie et du risque sismique en général se sont appuyées sur l'enregistrement réel des sismogrammes de par le monde. Les sismologues impliqués dans le projet que nous présentons travaillent tous sur des données de séismes modérés ou forts enregistrés par les réseaux de surveillance de différents pays ou bien par des campagnes d'observation temporaire (Grèce, Italie, Chili, Mexique, Etats-Unis, Algérie ...).

Pour répondre aux questions posées sur la région, nous proposons de nous appuyer sur les données des réseaux sismologiques dont Géosciences Azur assure en grande partie la gestion ; ces réseaux comprennent :

-Le réseau ReNaSS de surveillance sismique : 7 stations dans le département reliées par voie hertzienne au laboratoire Géosciences Azur à Sophia-Antipolis (centre régional) et satellitaire au site central de Strasbourg. Ce réseau a la charge de fournir la localisation et la magnitude du séisme le plus rapidement possible à la préfecture, mais en cas de séisme important les données collectées sont saturées et donc incomplètement exploitables.

-Le réseau TGRS : 5 stations large bande dans les Alpes Maritimes qui enregistrent en continu, une grande dynamique et sur 3 composantes les mouvements du sol de tous les séismes (proches et lointains) complète le réseau de surveillance en cas de séisme majeur ; les données d'une station sont transmises en temps quasi-réel à Sophia Antipolis ; ces données doivent intervenir principalement dans la détermination de la profondeur du foyer et la magnitude des événements les plus importants. Une station équivalente en Corse est importante en cas d'événement en mer Ligurie.

- Le réseau RAP (Géosciences Azur + CETE Méditerranée) : 16 stations accélérométriques qui enregistrent sans saturation les mouvements du sol lors de séismes relativement importants. Certaines de ces stations sont situées en zone urbaine et permettent d'avoir une estimation du mouvement du sol en différents points lors d'un séisme. Ces stations sont interrogées par téléphone, automatiquement 2 fois par semaine, manuellement en cas de séisme.

Il faut donc assurer la pérennité de la qualité des cette instrumentation.

Quelles sont les zones les plus sismiquement actives ? L'analyse des données des réseaux donnent quelques réponses (les événements de magnitude supérieure à 2 sont tous localisés et éventuellement on peut analyser leur mécanisme) et nous continuerons à en faire l'analyse régulièrement, en fonction de l'activité sismique. Les résultats, régulièrement présentés à la cellule sismique du Conseil Général, pourront être diffusés plus largement.

Mais la campagne SALAM (campagne de microsismicité en 2000-2001) a montré que le seuil de détection de ce réseau, établi pour la surveillance de l'arrière pays, n'était pas suffisant pour travailler dans le détail. Nous proposons, associé au projet de reconnaissance de failles dans la basse vallée du Var, d'installer pour une période de 6 mois 5-6 stations dans cette zone de manière à enregistrer la microsismicité (décroître le seuil de détection de la magnitude 2 à la magnitude 0,5) pour apporter une information supplémentaire sur l'activité potentielle et sa profondeur.

Quels sont les mouvements du sol provoqués par un séisme ? La réponse rapide à cette question peut être importante pour guider les opérations à mener en cas de séisme majeur et déployer les secours prioritairement sur une zone donnée sans avoir à attendre la collecte des informations venant de tous les centres de pompiers ou autres. Les réseaux TGRS et RAP, ainsi que les études encore très préliminaires sur les effets de site, permettent d'alimenter en données les modèles que nous chercherons à mettre en place pour évaluer le mouvement du sol produit par un séisme connu en tout point du département (cf. A).

Nous avons besoin de savoir si la mise au point d'un outil qui permette de faire cette évaluation à partir des premières caractéristiques communiquées en alerte par le ReNaSS en temps quasi réel est important pour les unités opérationnelles de la région.

Malheureusement la complexité de la modélisation est très importante et les données accessibles pour contraindre la modélisation sur notre région sont encore assez peu nombreuses. Le modèle que nous pouvons proposer aura une incertitude très forte sur les valeurs prédites. Il sera donc fondamental, si ces résultats doivent être utilisés pour une application immédiate, d'envisager une validation des premières estimations le plus rapidement possible avec les mesures collectées aux points où sont installés des capteurs sismologiques. Nous nous proposons de mettre en place un prototype pour une solution technique et des logiciels qui permettraient, en cas de crise, de corriger le premier modèle (B5) en tenant compte des observations collectées sur les points d'enregistrement du département et ce dans un délai de quelques heures après le séisme. Evidemment, dans l'immédiat cette solution fonctionnant sur téléphone public peut ne pas être opérationnelle en cas de crise sismique autour de Nice. Une densification du réseau existant serait évidemment proposée pour que le système soit fonctionnel. Mais surtout, la modélisation a priori pourrait être améliorée au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances sur les effets de site locaux (B4).

Nous proposons donc spécifiquement dans ce projet :

- de placer une demi douzaine de stations temporaires pendant 6 mois pour enregistrer la microsismicité de la vallée du Var, zone cible choisie dans ce projet.
- de travailler sur les données existantes pour caler le modèle de mouvement du sol proposé dans la partie B5 sur des données réelles.
- de discuter avec les opérationnels sur l'utilité d'avoir des mesures des mouvements du sol rapidement après un séisme ; il est important pour nous de connaître la marge d'incertitude et les délais de temps acceptables pour qu'un tel outil soit pertinent.

Résultats attendus

- carte de la microsismicité de la vallée du Var sur 6 mois ;
- outil d'aide à l'intégration en temps légèrement différé des données des différents réseaux sismologiques pour améliorer la carte des accélérations prédites.

Liste des participants : A. Deschamps (Géosciences Azur), D. Brunel (Géosciences Azur), F. Courboux (Géosciences Azur), A.M Duval (CETE Méditerranée), Etienne Bertrand (CETE Méditerranée), Sylvain Vidal (CETE Méditerranée), Jean-François Vassiliades (CETE Méditerranée), N. Béthoux (Géosciences Azur), B. Delouis (Géosciences Azur), C. Larroque (Géosciences Azur).

B.3 Effets de site : Quelle est l'amplification des ondes ?

(Coordination : Etienne Bertrand)

Problématique scientifique:

Au cours des 10 dernières années, les études d'effets de site se sont multipliées dans le monde. En effet chaque nouveau tremblement de terre destructeur apporte de nouvelles preuves de l'importance de ces phénomènes qui aggravent les dommages. Lors de sa propagation dans la terre, un séisme subit différentes modifications en fonction des milieux traversés. Lorsque les ondes sismiques atteignent les couches de surface, souvent moins denses que le rocher sous-jacent, elles peuvent être réfléchies ou diffractées, notamment dans les bassins sédimentaires. Des phénomènes d'amplification des ondes sismiques en surface peuvent également être dues à un relief très accidenté. Ces deux types d'effet de site peuvent être très gravement représentés dans la vallée du Var : un remplissage alluvial récent juxta des falaises calcaires au sommet desquelles reposent des villages. Dans le cadre de la prévention du risque, il est nécessaire de prévoir ces amplifications sismiques notamment pour adapter les dispositions constructives aux conditions locales. Dans le cadre de ce projet, les caractéristiques techniques des effets décrits permettront de préciser localement les accélérations sur les zones étudiées.

Méthodes:

Les méthodes qui peuvent être mises en œuvre connaissent différents stades de développement et de validation. La comparaison des résultats obtenus permettra d'illustrer très concrètement pour les gestionnaires du risque l'importance du développement méthodologique scientifique:

- Méthode H/V bruit de fond : la méthode développée au CETE Méditerranée sera mise en œuvre sur un territoire à définir en fonction de l'intérêt scientifique d'une part (effet de site intéressant) mais également des enjeux (à définir avec les opérateurs de gestion du risque). Cette méthode permet, sur la base d'un enregistrement des vibrations ambiantes d'une dizaine de minutes par point, de connaître les caractéristiques essentielles d'un éventuel effet de site.
- Méthode « site/référence » basé sur l'enregistrement de séismes en différents points dont une station de référence, cette méthode délivre une fonction de transfert pour chaque site étudié. Elle pourra sans doute être réalisée sur la base de données des réseaux existants ou de stations sismologique dédiées.
- Méthode Bruit de fond en réseau : cette méthode est basée sur l'enregistrement de bruit de fond en réseau grâce à une station d'acquisition spécifique disponible au CETE Méditerranée. Elle permet de caractériser les propriétés géophysiques des terrains dans les 100 mètres de couvertures. Ces données sont essentielles pour effectuer des simulations réalistes de la propagation des ondes. Elles pourront par ailleurs servir à compléter les informations sur le risque de liquéfaction des sols.

Une analyse des données géotechniques associées aux sondages existants dans la vallée (Banque de donnée du sous-sol, ...) permettra d'interpréter et de valider en partie les mesures géophysiques. De manière générale, la faible profondeur des sondages réalisés ne permettra pas une interprétation complète mais les mesures géotechniques réalisées classiquement (SPT, CPT, ...) nous renseigneront sur les caractéristiques mécaniques des premiers mètres du remplissage sédimentaire de la vallée.

Notons que les études de l'effet de site topographique et des effets de sites régionaux nécessitent le déploiement d'outils plus sophistiqués (antennes de capteurs pour les effets de site régionaux). Pour ce type d'étude, on se limitera dans ce projet au traitement de données déjà acquises lors de

campagnes précédentes. Des observations de terrain seront développées dans une phase ultérieure du projet, ou bien dans le cadre d'autres appels d'offre comme l'action concertée incitative (ACI) du Ministère de la recherche.

Moyens:

Stations d'acquisition

Résultats escomptés:

Résultats escomptés : le travail envisagé donnera des précisions localement sur la carte de la répartition géographique des fréquences de résonance. Cette carte est indispensable pour établir les accélérations du sol tenant compte des effets de site.

Partenaires:

Liste des participants : E. Bertrand (CETE Méditerranée), A-M. Duval (CETE Méditerranée), Sylvain Vidal (CETE Méditerranée), J-F. Vassiliades (CETE Méditerranée), JF Semblat (LCPC), F. Courboux (Géosciences Azur), T. Monfret (Géosciences Azur),

Etat d'avancement:

Une étude sommaire de la géologie sur la base de carte au 1/50000 et des coupes de terrain a permis de déterminer les zones d'implantation des stations pour les différentes méthodes.

B.5. Simulation : Quel serait le mouvement du sol lors d'un séisme ?

(Coordination : Françoise Courboux)

Problématique scientifique

L'estimation des mouvements du sol qui seraient générés par un séisme futur est un enjeu important, en particulier dans des zones à sismicité modérée comme les Alpes Maritimes où nous ne disposons pas d'enregistrements réels de forts séismes.

Cette estimation est bien entendu dépendante de différents paramètres : les paramètres de premier ordre sont la magnitude, la profondeur du séisme, et sa distance au point d'enregistrement (axe 1).

Les paramètres de deuxième ordre dépendent du milieu traversé par les ondes, en particulier sous le point d'enregistrement (voir « effets de site ») et de la façon dont la rupture se propage sur le plan de faille.

- Méthodes

Nous proposons de travailler sur trois types de méthodes d'estimation des mouvements du sol :

Etude des lois d'atténuation régionales

La manière la plus simple d'obtenir une estimation des mouvements du sol lors d'un séisme est de mettre en oeuvre une loi d'atténuation précise adaptée à la région. L'étude des séismes a permis d'aboutir dans plusieurs régions du globe à des lois permettant de faire une première estimation de certaines caractéristiques des vibrations ressenties à une distance donnée de l'hypocentre. Ces lois sont empiriques : elles sont basées sur de multiples enregistrements de séismes à différentes distances. Elles sont bien entendu fort utiles en terme de gestion du risque puisqu'elles permettent de donner des ordres de grandeur de l'accélération maximale du sol ou de l'évolution du contenu spectral avec la distance. Les modèles mathématiques sur lesquels reposent ces lois font l'objet de multiples études de synthèse. Cependant ces lois ne sont valables que pour les zones dans lesquelles elles ont été établies (Japon, Californie ou Italie pour les plus proches). L'application de ces lois sur le territoire des Alpes Maritimes ne peut être satisfaisante dans la mesure où le contexte tectonique est propre à chaque région. Le signal se propageant à différents niveaux de la croûte terrestre rencontre des conditions régionales qui modifient son contenu et sa trajectoire. Pour appréhender de la manière la plus simple et la plus vraisemblable la façon dont un séisme se propage dans notre région, il faut donc réaliser un travail de recueil, de synthèse et de traitement de d'enregistrement locaux. La combinaison des lois d'atténuation et des effets de site peut permettre d'obtenir une première carte des accélérations du sol.

Simulations numériques :

La propagation des ondes en sub-surface sera simulée grâce à des algorithmes très différents permettant de comparer les résultats obtenus à partir des mêmes données de départ. Ainsi nous proposons de simuler la propagation des ondes avec le logiciel CESAR-LCPC ainsi qu'avec le logiciel CYBERQUAKE-BRGM.

Sommation de petits séismes

Cette approche consiste à utiliser les enregistrements de petits séismes sur des stations des réseaux existantes pour simuler un séisme plus fort. En effet, sous certaines approximations, il est possible de simuler les vibrations émises lors d'un séisme relativement fort en sommant les contributions de petits séismes. Cette méthode, appelée méthode des fonctions de Green empiriques devrait permettre d'obtenir la simulation des vibrations émises par un séisme de magnitude 5 à 6 dans la région niçoise dans les zones équipées de capteurs. Cette approche est intéressante puisqu'elle permet d'obtenir des résultats réalistes sans avoir une bonne connaissance du sous-sol.

Moyens

Calculateurs, enregistrements réels de petits séismes

Résultats escomptés :

Simulation des mouvements du sol produits par un séisme de magnitude 5.7 à Terre et un séisme de magnitude 6.3 en Mer à partir :

- des lois d'atténuation
 - des logiciels de simulation numérique
 - de la sommation de petits séismes
- Comparaisons des résultats et conclusions

Etat d'avancement:

Les premières simulations d'un séisme de magnitude modérée à terre ont été réalisées en utilisant la méthode des fonctions de Green empiriques.

Liste des participants : T. Monfret (Géosciences Azur), F. Courboux (Géosciences Azur), A-M. Duval (CETE Méditerranée), B. Delouis (Géosciences Azur), C. Kohrs-Sansorny (Géosciences Azur), E. Bertrand (CETE Méditerranée), S. Gaffet (Géosciences Azur), J. Virieux (Géosciences Azur), A. Deschamps (Géosciences Azur), J.F. Semblat (LCPC), D. Baumont (IRSN), Catherine Berge (IRSN), Nicole Béthoux (Géosciences Azur).

B.5 Phénomènes induits : les glissements de terrains

(Coordinateur : Thomas Lebourg)

Lorsque survient un séisme il est reconnu que les ondes sismiques provoquent une sollicitation dynamique supplémentaire qui s'ajoute dans le bilan des forces d'un massif. Ce nouvel état pose un problème dynamique complexe, qui est représenté (dans le bilan) par une accélération. Cette accélération intervient dans le bilan d'équilibre et fonctionne comme une force déstabilisatrice. Cette déstabilisation peut se manifester immédiatement et peut provoquer des glissements de terrain, des coulées, des chutes de blocs... A plus long terme, si le phénomène se manifeste régulièrement, il peut y avoir modification de la résistance (fatigue du matériau) et rupture (passage pour le matériau de sa résistance de pic à sa résistance résiduelle).

A l'heure actuelle, le problème réside en la localisation et la reconnaissance des zones les plus sensibles aux sollicitations dynamiques. L'utilisation d'informations comme la carte d'accélération dynamique et la définition de zone dites "sensibles" aux séismes seraient un des éléments fondamentale aux décideurs dans le cadre de la gestion de crise. Pour cela il est nécessaire de définir un protocole de mesure rigoureux, une base de donnée structurée, des critères et des paramètres réellement utilisables par les gestionnaires de crises. L'intérêt d'une telle base de données (normée et structurée) est qu'elle serait aussi bien utilisable par les organismes gérant les phases de crises post-sismique et la communauté scientifique, utilisant cette dernière à des fins de recherche basée sur l'analyse statistique des données. Actuellement, nous ne disposons pas de telle base de données et les informations nécessaires ne sont capitalisées que par le biais de recherches bibliographique longues, fastidieuses et souvent redondantes.

Afin de satisfaire aux critères d'universalités de l'acquisition, la création d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) où toutes les informations seront géoréférencées constituerait un préalable à la communication entre décideurs, utilisateurs et scientifiques. Au regard du coût des MNT, une zone expérimentale sensible pourra être choisie, puis un inventaire, selon un protocole méthodologique adapté aux Alpes-Maritimes sera réalisé.

La mise en place d'outils de recensement, la classification des phénomènes, la mise en forme de la base de données SIG et les modalités de sa gestion, pourra être mise en place en deux ans, sur une zone expérimentale intéressant l'ensemble des parties.

Cette zone localisée dans le Var, après concertation avec les décideurs et après avoir défini les paramètres de mesure les plus pertinents, fera l'objet d'une étude de mesure et d'une légère instrumentation.

Acquisition et mise en forme des données (sous SIG) :

- Modèle Numérique de Terrain
- Cartographie de la lithologie et de l'état de fracturation
- Cartographie des signes d'instabilités

Etude quantitative des paramètres de déclenchement :

- paramètres sismotectoniques
- paramètres pluviométriques et hydrogéologiques
- paramètres rhéologiques
- mesure géoelectrique (tomographie)

Modélisation numérique simple.

