

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

**PASSERELLE: A LINK BETWEEN RESEARCH AND
RISK MANAGEMENT IN THE ALPES MARITIMES**

**Programme RDT
Rapport de fin de contrat**

Responsables scientifiques du projet :

Françoise Courboulex pour l'UMR Géosciences Azur
250 av Einstein, 06560 Valbonne, France
courboulex@geoazur.unice.fr, tel: 04 92 94 26 12

Anne-Marie Duval pour le CETE Méditerranée
ERA risque sismique, 56 bd Stalingrad, 06300 Nice, France
anne-marie.duval@equipement.gouv.fr, tel: 04 92 00 81 67

Date : 10/12/2006

N° de contrat : CV040000-72

Date du contrat : Juillet 2004/Décembre 2006

**SYNTHESE SUR LE LIEN RECHERCHE/GESTION DU RISQUE
SISMIQUE ET GRAVITAIRE CREE DURANT LE PROJET PASSERELLE
DANS LE DEPARTEMENT DES ALPES MARITIMES**

PROJET PASSERELLE

PROGRAMME RDT

Nom des responsables scientifique du projet :

Françoise Courboux, Géosciences Azur, Valbonne, France.
Anne-Marie Duval, CETE Méditerranée, Nice, France.

Noms des autres partenaires scientifiques bénéficiaires :

| Nom | grade | Organisme |
|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| | | |
| Didier Brunel | Ingénieur d'étude CNRS | Géosciences Azur (GA) |
| Françoise Courboux | Chargée de recherche CNRS | GA |
| Bertrand Delouis | Maître de conférence UNSA | GA |
| Anne Deschamps | Chargée de recherche CNRS | GA |
| Stéphane Gaffet | Chargé de recherche CNRS | GA |
| Christophe Larroque | Maître de conférence Univ. Reims | GA |
| Thomas Lebourg | Maître de conférence UNSA | GA |
| Tony Monfret | Chargé de recherche IRD | GA |
| Marc Regnier | Chargé de recherche IRD | GA |
| Jean-François Stéphan | Professeur UNSA | GA |
| Jean Virieux | Professeur UNSA | GA |
| Anne-Marie Duval | Chargée de recherche de l'équipement | CETE Méditerranée |
| Etienne Bertrand | Chargée de recherche de l'équipement | CETE |
| Sylvain Vidal | Technicien supérieur de l'équipement | CETE |
| Jean-François Vassilliades | Technicien supérieur de l'équipement | CETE |
| Jean-François Semblat | Ingénieur TPE divisionnaire | LCPC, Paris |
| Olivier Bellier | Professeur | GEREGE |
| Michel Dubar | Chargé de recherche CNRS | CEPAM |
| G. Sénéchal | Maître de conférence | IPRA, Pau |

Préambule

Dans cette partie du rapport, nous avons choisi de ne présenter que les aspects du projet qui concernent le lien entre la recherche et la gestion opérationnelle des risques. La partie purement scientifique du projet est présentée dans le « rapport scientifique » qui suit. Elle est également présentée en langage simple et accessible à tous dans les trois « cahiers de suivi du projet » annexés à ce document.

CONTEXTE GENERAL

Quelle situation, quels enjeux motivent ce projet ?

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. Le projet PASSERELLE est le reflet de la volonté que nous avons d'interagir pour rendre la recherche plus facilement applicable, et pour aider les opérationnels dans les prises de décision, avant, pendant et après une crise.

L'échange entre scientifiques et gestionnaires du risque doit ainsi aider les services instructeurs à jouer pleinement leur rôle de maître d'oeuvre de la prévention. La prise en compte de l'état de l'art en matière d'aléa sismique doit dans notre contexte local optimiser l'application de la réglementation et des obligations en matière de risque que détiennent les collectivités. Ainsi les services de la DDE, de la préfecture et du conseil général, connaissant mieux l'aléa d'une part et les méthodes de définition d'autre part, pourraient de manière plus pertinente construire leur politique de gestion du risque. La collaboration pourra dans l'avenir se traduire par des actions concrètes de recherche délivrant des produits applicables dans un contexte de prévention.

PASSERELLE

D'un autre côté, les équipes scientifiques travaillant sur l'aléa risque naturel n'ont pas une vision globale de la démarche de l'état ou des collectivités territoriales en matière de gestion et de prévention du risque sismique. Il apparaît donc qu'un lien doit être établi afin que les compétences et les projets des scientifiques puissent, lorsque cela devient réalisable, être mis au service de la collectivité en intégrant leurs résultats dans la gestion opérationnelle du risque.

OBJECTIFS GENERAUX DU PROJET

Le projet PASSREELLE a pour but de créer un lien entre chercheurs et opérationnels dans le domaine du risque sismique et gravitaire dans le département des Alpes Maritimes. Comme son nom l'indique, ce projet doit créer une première PASSERELLE entre ces deux mondes qui interagissent très peu.

Les objectifs sont :

- de présenter aux services opérationnels le déroulement d'actions de recherche concernant directement le territoire des Alpes Maritimes afin de donner aux gestionnaires une vision de l'état actuel des connaissances en matière d'aléa sismique et mouvements de terrain.
- de permettre des échanges afin, lorsque le choix est possible, d'aider les scientifiques à comprendre les besoins en matière de gestion opérationnelle du risque.
- A l'inverse, d'aider les gestionnaires "non scientifiques" à mieux repérer les éléments de recherche qui pourraient répondre à certaines de leurs attentes.
- D'établir des contacts solides et des liens privilégiés entre chercheurs et opérationnels afin d'optimiser la communication en cas de séisme important dans la région.

QUELQUES ELEMENTS DE METHODOLOGIE (ET EVENTUELLES DIFFICULTES RENCONTREES)

A. Constitution d'un groupe d'échange

Nous avons, comme cela était prévu, constitué un groupe rassemblant:

- des praticiens des services de l'Etat ou des collectivités territoriales
- les équipes de recherche dans les domaines concernés

Le premier travail a donc consisté à expliquer à chacun la démarche et à convaincre du bien-fondé de l'émergence d'une passerelle entre les deux communautés. La plupart des services sollicités ont répondu favorablement à notre sollicitation de participation:

- la DDE06 (cellule Risques Naturels)
- le Centre Opérationnel Départemental Préfecture des Alpes Maritimes
- la Mairie de Nice (service Risques Urbains)
- La communauté de communes des Coteaux d'Azur
- l'UMR Géosciences Azur,
- le CETE Méditerranée
- Le service Environnement de la CANCA (Communauté d'Agglomération Nice Côte d'Azur)
- La DIREN et la région PACA, bien que fort intéressés par le projet n'ont pu participer activement.

B. Réunion de lancement des actions scientifiques

Le 2 Novembre 2004 a eu lieu la "Première réunion d'échange PASSERELLE" avec l'ensemble des partenaires scientifiques. Son but était de définir précisément les objectifs et les moyens mis en œuvre pour chaque axe et de lancer les études scientifiques. L'objectif premier du projet a été rappelé aux équipes afin qu'elles placent leur action dans la perspective de l'efficacité de l'échange avec les services publics en charge du risque. Les types des présentations pour les réunions d'échanges ont été définis ainsi que les supports d'échange.

Une zone d'action a été choisie sur un territoire restreint du département pour montrer la variété des problèmes abordés par les scientifiques sur la thématique « mouvement du sol ». L'articulation du programme d'action a été prévue en 5 axes.

C. Cahiers de suivi

Nous avons également défini le principe **des cahiers de suivi**: ces documents étaient destinés à expliquer les objectifs de chaque axe et à transcrire leur évolution technique. Ils ont été remis à jour régulièrement par chacun des responsables des 5 actions de recherche et transmis aux partenaires responsables de la gestion des risques afin de leur permettre de suivre chacune des actions lancées.

La première version devait expliquer les objectifs scientifiques et les replacer dans le contexte de la gestion du risque. Les enjeux scientifiques devaient être clairement évoqués ainsi que les résultats attendus. A chacune des étapes du projet (avant chacune des 3 réunions du groupe PASSERELLE), les cahiers de suivi ont ainsi été mis à jour en indiquant les progrès effectués dans la mise en œuvre des actions, les difficultés rencontrées et les résultats intermédiaires. Ces cahiers ont formés un support efficace pour répondre aux questions techniques soulevées par les non-spécialistes (scientifiques ou non).

D. Réunion d'échanges entre chercheurs et opérationnels

D.1 Réunion d'échange 1

Une première réunion d'échanges PASSERELLE avec l'ensemble des partenaires a eu lieu le 4 Mars 2004 dans les locaux du laboratoire Géosciences Azur (voir le tableau 1 pour la liste des participants). Lors de cette réunion, chacun des groupes scientifiques a présenté son projet de recherche: objectifs, conception et démarrage des actions de recherche. Le responsable de la cellule "risques" de la DDE06 a décrit son service en détail.

L'objectif de la réunion pour les équipes de recherche était 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...

Le déroulement de la réunion a été le suivant:

- Accueil et présentation du projet (F. Courboulex et AM Duval)
- Tour de table : présentation des missions des différents services
- Introduction au risque sismique et gravitaire (AM Duval et J.-L. Perez)

PASSERELLE

- Pourquoi et comment échanger entre nous ? (AM Duval)
- Présentation des différents volets du projet scientifique:
 - Détection et imagerie des failles actives (C. Larroque, B. Delouis)
 - Enregistrement de la sismicité actuelle (A. Deschamps)
 - Les effets de site (T. Monfret)
 - La simulation de séismes (F. Courboux)
 - Les glissements de terrain (T. Lebourg)
- *Exposé d'un service public impliqué dans la gestion du risque:* (DDE06 V. Legrain)

| | |
|-----------------------|--|
| Bellier Olivier | CEREGE |
| Delouis Bertrand | UMR Géosciences Azur |
| Duval Anne-Marie | CETE Méditerranée |
| Deschamps Anne | UMR Géosciences Azur |
| Lebourg Thomas | UMR Géosciences Azur |
| Vettori Giancarlo | CANCA (communauté d'agglomération) |
| Perez Jean-Louis | CETE Méditerranée |
| Martin William | Préfecture AM DIDPC |
| Lindeperg Guy | Conseil Général 06 |
| Courboux Françoise | UMR Géosciences Azur |
| Ragazzi Monique | Conseil Général 06 /DEDD |
| Legrain Vincent | DDE06 / SAE |
| Ferrand Yannick | Ville de Nice Direction Prévention des Risques |
| Virieux Jean | UMR Géosciences Azur |
| Monfret Tony | UMR Géosciences Azur |
| Tugend Vincent | DIREN PACA |
| Larroque Christophe | UMR Géosciences Azur |
| Kohrs-Sansorny Carine | UMR Géosciences Azur |
| Vallée Martin | UMR Géosciences Azur |

Tableau 1: Liste des participants à la réunion PASSERELLE du 4 mars 2005

Principaux points à retenir de cette réunion d'échanges 1 PASSERELLE:

Les différents partenaires ont pu librement échanger au cours de cette réunion sur la base de constats faits dans les Alpes Maritimes sur la maîtrise du risque « mouvement du sol ». Les principaux intervenants pour la recherche sur ce sujet localement sont: l'UMR Géosciences Azur et le CETE Méditerranée. Ces organismes présentent des compétences et des places complémentaires, des liens différents avec les opérationnels:

- plus proche de la maîtrise d'œuvre pour le CETE (DDE, CG ...)
- divers financements du conseil Général et du conseil Régional pour des projets scientifiques et les réseaux de surveillance.

Il est ressorti des discussions de l'après midi que :

- L'expérience GEM-GEP (scénario sismique à Nice) montre un fort besoin d'interaction entre opérationnels et équipes scientifiques.
- Les services instructeurs locaux ne sont pas systématiquement tenus au courant des projets scientifiques en cours sur le territoire qu'ils ont à gérer: suivre une démarche scientifique peut aider à détecter les sources d'informations utiles à leurs missions.

PASSERELLE

- Les équipes de recherche méconnaissent souvent les enjeux de la gestion concrète du risque: objectifs, nature et mise en œuvre des dispositions prises par la puissance publique pour connaître, faire connaître et maîtriser les risques. Dans ce contexte, les projets de recherche peuvent passer à côté d'une valorisation opérationnelle même à long terme.

D.2 Réunion d'échanges 2

Une seconde réunion d'échanges PASSERELLE avec l'ensemble des partenaires a eu lieu le 13 octobre 2005 (voir le tableau 2 pour la liste des participants). L'ensemble des partenaires du projet PASSERELLE a été accueilli pour cette deuxième réunion d'échange dans le Centre Opérationnel Départemental situé dans le bâtiment de la Préfecture des Alpes Maritimes (CADAM).

Lors de cette réunion, chacun des groupes scientifiques a présenté l'évolution de son projet de recherche: mise en œuvre, résultats intermédiaire, pistes nouvelles. Les scientifiques ont pu répondre ainsi aux questions soulevées par la lecture des cahiers de suivi envoyés avant la réunion. Le Directeur du COD a présenté les missions et moyens de son service. Puis un débat a permis de situer le rôle de chaque organisme dans la prévention et la gestion de crise.

Principaux points à retenir de cette réunion d'échanges 2 PASSERELLE:

- Après un bref rappel de l'appel d'offre RDT du ministère de l'écologie et du développement durable et des objectifs propres du projet passerelle, la matinée a permis à chacun de suivre l'évolution du projet scientifique. Un document papier : « le cahier de suivi » permettait aux participants de suivre les exposés :
- C. Larroque (UMR Géosciences Azur, Univ Reims) a fait une présentation détaillée de la partie « détection et imagerie des failles » en insistant sur la difficulté de ce travail dans nos régions à faible déformation en comparaison avec des zones plus actives du globe comme la Californie par exemple. Les travaux présentés concernent principalement deux zones de la vallée du Var.
- A. Deschamps (UMR Géosciences Azur) a décrit ensuite le déroulement de la campagne d'enregistrement de petits séismes qui a eu lieu en 2004-2005 et a duré 8 mois. La sismicité locale ayant été très faible durant cette période, cette campagne n'a pas permis de détecter d'activité sismique due à une faille dans la vallée du Var. Les données mondiales par contre seront exploitées pour mieux connaître la composition de la croûte.
- E. Bertrand (CETE Méditerranée) a présenté les différentes expériences en cours de réalisation sur une zone restreinte de la vallée du Var : enregistrement des séismes, du bruit de fond ainsi que du bruit de fond en réseau (nappe de capteurs). Les premiers résultats ont été commentés.
- F. Courboux (UMR Géosciences Azur) a exposé les résultats de la simulation des mouvements du sol générés par un hypothétique séisme de magnitude 5.5 à terre et 6.3 en mer à partir de l'enregistrement de petits séismes.

L'ensemble de ces présentations, ainsi que le bilan d'étape du projet ont été mis à disposition de tous sur le site Web du projet passerelle. <http://www.rdtrisque.org/projets/passerelle>

Exposé d'un service public impliqué dans la gestion du risque:

- W. Martin a présenté en début d'après midi le Centre Opérationnel Départemental (06) qu'il dirige. Ce centre intervient à la demande du Préfet à l'occasion d'évènements d'une gravité particulière et dépassant les limites ou les capacités d'une commune. La préfecture prend alors le pilotage de la gestion de crise et assure la direction des opérations de secours (DOS).

Un ensemble de documents a été distribué et commenté:

- note concernant la constitution et les missions du COD ainsi que son organigramme,
- note concernant le rôle du Préfet en matière de sécurité civile,
- principales références juridiques relatives à l'organisation administrative en matière de défense et de sécurité civiles.

Les responsabilités des maires et des préfets en matières de gestions des risques naturels ont notamment été rappelées.

Puis les outils de gestion par le COD des informations de crise ont été présentés:

- « Synergie » (remontée des informations aux niveaux zonal et national),
- « Gala » (diffusion rapide des informations à un grand nombre de destinataires),
- logiciel interne de gestion de crise permettant l'accès et la diffusion en temps réel au profit de tous les membres du COD.

La démonstration a permis aux participants d'apprécier l'étendue et l'importance des informations à gérer.

- A.-M. Duval (CETE Méditerranée) a présenté quelques points de la mission du CETE Méditerranée en Guadeloupe suite au séisme de novembre 2004 sur demande des Directions Centrales du Ministère de l'Équipement. Cette mission a permis de relever certains points intéressants dans le contexte français en terme de gestion de crise. Les aspects de communication entre responsables locaux et scientifiques durant la période très sensible ont également été relevés. L'intérêt était d'autant plus marqué que la magnitude et la distance aux côtes de ce séisme sont équivalents à ceux du séisme choisi pour le scénario GEM-GEP à Nice (magnitude 6.3 à 30 km des côtes). Les principaux points à retenir dans le contexte de PASSERELLE sont:

- la nécessité de préparer le cadre de mission d'experts en bâtiment chargés de porter un avis sur les bâtiments endommagés (lien avec AFPS, contenu mission, procédure, portée légale des avis ...).
- l'influence évidente de la qualité du bâti dans sa capacité de résistance aux séismes et la question du contrôle de l'application des règles parasismique
- l'importance de la communication entre les partenaires de la gestion de crise (notamment les mairies et le COS)

- Les questions et échanges se sont poursuivis autour de la spécificité des crises sismiques. Plusieurs points sont évoqués par les partenaires notamment:

- la validité du plan ORSEC "Séisme" dans les Alpes-Maritimes,
- l'organisation de la remontée d'informations sur les dégâts,
- la prévision de disponibilités des infrastructures de liaison (importance des simulations ou scénario de crise)
- la nature et l'urgence des informations importantes pour la gestion de crise: localisation et magnitude du séisme, mais surtout estimation des zones endommagées.
- les moyens de communications spécifiques à la gestion de crise sismique (saturation des lignes téléphonique / réseau internet défectueux)."

PASSERELLE

Les partenaires PASSERELLE ont ensuite été invités à évoquer le rôle de leur service en cas de crise sismique sur leur territoire, étant entendu que le pilotage de la gestion de crise serait assuré par la Préfecture:

- Rôle des équipes de recherche en cas de crise sismique:

Mme Courboux rappelle que le laboratoire Géosciences Azur n'est pas contractuellement en charge de la surveillance et de l'alerte sismique. Elle explique le cadre actuellement en vigueur pour cette surveillance. La surveillance en temps réel de l'activité sismique en France est assurée 24h/24 par le Réseau national du Laboratoire de Détection Géophysique (LDG) du CEA situé dans la région parisienne et par le Réseau National de Surveillance Sismique (RéNaSS) installé à Strasbourg. Ces deux réseaux se complètent pour assurer une bonne surveillance du territoire et la meilleure localisation possible des épicentres. Ils fournissent au Bureau central sismologique français (BCSF) dans un délai inférieur à une heure, les principaux paramètres des séismes importants survenant en France ou dans les régions frontalières : heure origine, coordonnées, magnitude. Ces informations sont transmises à la Sécurité civile (fax à la Préfecture), au Ministère de l'Environnement, aux divers laboratoires de sismologie français et étrangers et le cas échéant, aux agences de presse. En cas de séisme important, les sismologues locaux peuvent décider de lancer une campagne spécifique permettant de mieux comprendre les phénomènes. Dans ce cas, ils récupèrent d'abord les données non prises en compte par le réseau National (RAP et TGRS pour Nice) afin d'obtenir des précisions sur le séisme. Des stations d'enregistreurs sismiques portables (Géosciences Azur et CETE Méditerranée) peuvent également être installées autour de l'épicentre afin d'enregistrer les répliques de l'événement. Une assistance à cette installation par les collectivités territoriales pourrait être planifiée.

- M. Guerin (Conseil Général 06) a rappelé que le CG n'a pas de compétences légales en matière de gestion de crise. Par contre, le CG06 favorise par différentes actions l'information, la recherche et finalement la prise en compte du risque sismique. Il évoque par ailleurs le potentiel des forestiers sapeurs (force 06) en tant que source d'information diverses en cas de crise sismique par leur positionnement géographique et leur moyen de communication autonome.

- M. Lafaurie et M. Vettori (CANCA) précisent la volonté de la CANCA de favoriser l'émergence d'une culture du risque sismique. Suite au projet GEM-GEP, la CANCA met en place une charte visant à une meilleure prise en compte des risques sismiques par l'ensemble des partenaires impliqués.

- M. Baylet (Mairie de Nice) rappelle la démarche engagée par son service de la Prévention des Risques Urbains devant déboucher sur la mise au point du Plan de Sauvegarde Communal. Les DICRIM sont également évoqués.

- Mme Benguettat (DDE06) rappelle le rôle de la cellule Risques Naturels de la DDE dans le cadre de la prescription de Plan de Prévention des Risques.

- Plusieurs partenaires soulignent leurs actions en faveur de la sensibilisation des enfants au risque sismique.

- L'action de l'Etat ainsi que des collectivités en matière de mise aux normes du bâti existant est évoquée. (notamment à travers la circulaire interministérielle du 26 avril 2002¹)

PASSERELLE

Conclusion de la réunion d'échanges 2:

- Plusieurs documents en cours d'élaboration ou de révision peuvent répondre au souci de préparation à la gestion de crise dans les Alpes Maritimes (PPR, PCS Nice, plan ORSEC Séisme). Ces démarches doivent évidemment être mises en œuvre sur l'ensemble du département avec un suivi efficace. Les partenaires notent l'importance de la coordination des moyens dans ses différents plans.
- Le projet PASSERELLE permet aux instructeurs de ce type de dossiers de repérer les interlocuteurs scientifiques potentiels pour les questions relatives à l'aléa.
- Les participants font état de leur intérêt à être informé des études conduites dans la région sur le risque sismique. Les responsables du projet PASSERELLE ont invité tous les participants à suivre plus précisément l'une ou l'autre des actions de recherche en gardant le contact avec le chercheur référant. Parallèlement, les chercheurs ont été invités à garder le contact avec les services publics pour continuer à mieux comprendre leurs missions en posant de nouvelles questions si nécessaire.

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Mathias Baslé | CC Coteaux d'Azur |
| René Georges Baylet | Ville de Nice, Risques Urbains |
| Laure Benguettat | DDE cellule risques naturels |
| Yannick Dorgigné | CANCA Environnement |
| Jean-Marc Guerin | Conseil Général 06 |
| Marc Lafaurie | Ville de Nice/ CANCA |
| William Martin | Préfecture DIDPC |
| Josiane Noel | Ville de Nice, Risques Urbains |
| Giancarlo Vettori | CANCA Environnement |
| Olivier Bellier | |
| Etienne Bertrand | CEREGE, Univ. Aix-Marseille |
| Philippe Charvis | CETE Méditerranée, LCPC |
| Françoise Courboulex | Géosciences Azur, IRD |
| Anne Deschamps | Géosciences Azur, CNRS |
| Jean-Philippe Devic | Géosciences Azur, CNRS |
| Anne-Marie Duval | CETE Méditerranée, Nice |
| André Laurenti | CETE Méditerranée, LCPC |
| Christophe Larroque | indépendant |
| Tony Monfret | Géosciences Azur, Univ Reims |
| Marc Regnier | Géosciences Azur, IRD |
| Martin Vallée | Géosciences Azur, IRD |
| Jean-François Vassiliades | Géosciences Azur, IRD |
| Jean Virieux | CETE Méditerranée, Nice |
| | Géosciences Azur, Univ. Nice |

Tableau 2: Liste des participants à la réunion PASSERELLE du 13 octobre 2005

D.3 Réunion d'échanges 3

La dernière réunion d'échanges PASSERELLE avec l'ensemble des partenaires a eu lieu le 13 octobre 2006 dans les locaux de la CANCA (Communauté d'Agglomération Nice Côte d'Azur). (voir le tableau 3 pour la liste des participants). Les objectifs de cette réunion étaient de :

- Présenter l'état des actions de recherche en fin de projet en répondant aux questions soulevées par la lecture des cahiers de suivi mis à jour

PASSERELLE

- Répondre aux questions diverses permettant d'établir un lien pérenne (une PASSERELLE) entre les équipes
- Comprendre les missions du service Environnement de la CANCA dans le cadre du projet COSRIS
- Approfondir nos connaissances des actions en cours dans le cadre du Plan Communal de Sauvegarde "séisme" en cours d'élaboration par la mairie de Nice.
- Faire un bilan prospectif de la PASSERELLE établie entre nos deux univers (recherche / services publics) en partie basé sur les réponses à un questionnaire diffusé et exploité avant la réunion.

Le déroulement de la réunion a été le suivant:

- Accueil des participants (A.-M. Duval et F. Courboulex)
Suivi des actions de recherche entreprises pour susciter les échanges:
- Détection et imagerie des failles (B. Delouis et C. Larroque)
- Mesure des effets de site sismologiques (E. Bertrand)
- Simulation de mouvements forts (C. Sansorny)
- Glissements de terrain (T. Lebourg)
- Bilan des actions scientifiques réalisées (F. Courboulex)
Exposés de services publics impliqués dans la gestion du risque:
- Présentation du projet COSRIS en cours de montage par la CANCA (M. Morretti)
- Présentation des objectifs et résultats déjà atteints pour l'élaboration du Plan Communal de Sauvegarde "séisme" par la mairie de Nice (M. Ferrand)
- Présentation des réponses aux questionnaires de fin de projet (A.M. Duval) et débat ouvert sur la pérennité du lien établi par le projet PASSERELLE.

Principaux points à retenir de cette réunion d'échanges 3 à l'issue du projet PASSERELLE:

- Les résultats scientifiques des différents axes sont présentés dans la partie « rapport scientifique » de ce document.
- L'ensemble des participants a confirmé l'intérêt du suivi de tels projets à l'échelle locale et des commentaires apportés par les scientifiques.
- Les réponses aux trois questions adressées à l'ensemble des participants ont permis de dégager plusieurs points importants qui forment la conclusion de l'axe A du projet.

PASSERELLE

| | |
|--|---|
| M. Angelvi | Communauté de communes de la vallée de l'Estéron |
| M. Morretti | Communauté d'Agglomération Nice-Côte d'Azur Service Environnement |
| M. Ferrand | Ville de Nice Pôle Prévention - Etudes Direction de la Prévention des Risques Urbains |
| M. Martin | Préfecture des Alpes-Maritimes Directeur DIDPC 06 |
| M. Legrain | Direction Départementale de l'Équipement 06 Responsable service SAUI/RINE DDE 06 |
| M. Bertrand Mme Duval M. Devic | CETE Méditerranée Laboratoire de Nice |
| M. Lebourg M. Gaffet Mme Deschamps M. Delouis M. Virieux M. Monfret Mme Courboulex M. Larroque Mme Kohrs-Sansorny M. Vallee M. Regnier | UMR Géosciences Azur 250 av Einstein, 06560 Valbonne |
| M. Bremer | CEPAM (Centre d'Etude Préhistorique, Antiquité, Moyen âge) Valbonne |
| Mme Scotti | IRSN Institut de Recherche et de Sécurité Nucléaire DPRE/SERG/BERSIN Fontenay aux Roses |

Tableau 3: Liste des participants à la réunion PASSERELLE du 13 octobre 2006

E. Questionnaire de fin de projet

Un questionnaire a été envoyé à l'ensemble des participants au projet un mois avant la dernière réunion d'échanges. Les réponses à ce questionnaire ont été récoltées et analysées au CETE Méditerranée.

Trois questions simples ont été posées :

- Que vous a apporté le projet PASSERELLE ?
- Qu'auriez vous aimé y trouver en plus ?
- Comment envisagez vous la suite du projet PASSERELLE ?

Certaines de ces réponses ont été commentées en réunion. Elles sont reportées ci dessous de manière synthétique en respectant au mieux la formulation originale, d'abord pour celles venant du groupe des chercheurs puis celles venant du groupe des responsables de gestion du risque.

Réponses des chercheurs:

A- Que vous a apporté le projet passerelle ?

- Un sujet scientifique intéressant et son financement
- La motivation pour présenter des objectifs et résultats de recherche
- L'occasion de travailler sur la région sur le long terme
- Rencontre avec le monde de la gestion du risque (mode de fonctionnement, missions, liens)
- Vision des conséquences de l'objet d'étude sur la société

PASSERELLE

- Prise de contact avec de nouveaux services (décentralisation, nouvelles collectivités)
- Collaboration entre équipes d'organismes différents
- Des débuts de réponses scientifiques concernant l'aléa sismique local.

B- Qu'auriez vous aimé y trouver en plus ?

- Une véritable étude de scénario en cas de crise incluant les aspects « gestion de crise »
- Des échanges plus nombreux et spontanés notamment après les séismes de septembre 2006 (information, presse)
- Que les réunions plénières suscitent de la part des "opérationnels" des rencontres «bilatérales » sur des points précis
- Une perspective pour faire inter-agir recherche et service public dans le long terme
- Implication plus ferme de la DIREN et de la région PACA

C- Comment envisagez vous la suite du projet PASSERELLE ?

Différentes propositions pour garder le contact:

- Journée de formation (remise à niveau de connaissance sur aléa et sur fonctionnement des services publics)
- Participation des chercheurs au réunion de préparation de crise
- Structure d'interface recherche / gestion des risque (Agence)
- Réunion d'un groupe de travail permanent (tous les 6 mois ? 1 an ?)
- des développements plus concrets de la part des décideurs avec une implication financière
- faciliter le travail scientifiques (autorisation, échanges de données)
- Echanges d'information par web
- Avis systématique personnalisé des services partenaires en cas d'étude sur leur territoire.

Autres points mentionnés par les chercheurs dans les réponses au questionnaire et durant la réunion du 13 octobre 2006:

- Les administrations publiques apparaissent nombreuses, avec des objectifs qui se recoupent sans être forcément coordonnées, un turn-over important des responsables (les chercheurs estiment rester plus longtemps en poste que leur collègues des services opérationnels),
- difficultés pour établir un lien durable pour cause d'agendas chargés de part et d'autre
- difficulté pour les chercheurs de définir leur mission, ce qui accroît leur difficulté de positionnement par rapport à la gestion concrète du risque.
- «Mauvaise reconnaissance de ce type d'action de communication (projet PASSERELLE) pour les chercheurs en tous cas». Cette remarque est partagé par de nombreux chercheurs. Elle doit être mise en relation avec l'évaluation professionnelle des chercheurs qui s'opère principalement par le biais du nombre de communication dans des revues scientifiques de haut rang)
- Les chercheurs en général manquent d'une vision globale des compétences et des missions en matière de gestion des risques qui forme un univers très éloigné des préoccupations de la recherche.
- « Nous ne sommes pas mutuellement persuadés que nous pouvons apporter quelque chose sur le problème de l'aléa sismique »
- En cas de séisme majeur, les chercheurs voudront analyser l'événement pour améliorer leur connaissance pour le futur. Il faudrait prévoir des protocoles leur permettant d'agir (circuler et installer des stations sismiques) sans surcharger des

PASSERELLE

services publics en charge de la gestion de la crise. Sur ce dernier point, les scientifiques sont invités à effectuer une demande auprès des services de secours.

Réponses des responsables des services publics en charge de la gestion du risque:

A- Que vous a apporté le projet PASSERELLE?

Globalement, les services publics estiment que PASSERELLE leur a permis une meilleure maîtrise :

- des questions scientifiques abordées
- des verrous important notamment dans la région
- du vocabulaire (sémantique) utilisés par les chercheurs

Le projet leur a également fourni des informations sur les études en cours dans la région.

Enfin, PASSERELLE leur a permis d'identifier des experts auxquels faire appel dans des actions concrètes

B- Qu'auriez vous aimé y trouver en plus ?

- Davantage de retours d'expérience sur:
 - L'état des connaissances concernant la vulnérabilité du bâti et l'évaluation des dommages au bâti (qui ne sont pas des domaines scientifiques développés par l'UMR Géosciences Azur)
 - La gestion des crises
 - Les aspects post-crise
- Une liaison régulière avec les acteurs nationaux (Plan National Séisme)

C- Comment envisagez vous la suite ... ?

- Plusieurs responsables ont demandé un suivi des actions de recherche entreprises ou d'autres actions marquantes sur le plan local par le biais de rapports synthétiques transmis par courriel ou par affichage sur WEB
- Selon les services, les responsables confirment l'intérêt de la PASSERELLE qui leur a permis d'identifier les experts pouvant être interpellés au cours des actions qu'ils entreprennent pour une meilleure maîtrise du risque :
 - COSRIS (Comité d'Orientation et de Suivi du Risque Sismique): association de multiples acteurs à des travaux communs
 - Mise en place d'outils de gestion de crise: PCS

RESULTATS OBTENUS

Les résultats scientifiques obtenus dans ce projet sont explicités en détail dans le rapport scientifique et ne seront donc pas présentés ici.

Les résultats obtenus qui concernent la création d'un lien entre le monde de la recherche et celui de la gestion du risque opérationnelle dans le domaine du risque sismique et gravitaire se basent sur les actions d'échange développées dans le projet (Une synthèse de ces actions est présentée dans le tableau 4).

PASSERELLE

| Objet | Lieu | Date: | Objectifs |
|---|---|----------------------|--|
| Réunion de lancement des actions scientifiques | UMR Géosciences Azur Sophia-Antipolis | Nov. 2004 | <ul style="list-style-type: none"> - Définir précisément les objectifs et moyens mis en œuvre pour chaque axe scientifique. - Replacer l'ensemble dans la perspective de l'efficacité de l'échange avec les services publics en charge du risque - Définir le type des présentations pour les réunions d'échanges ainsi que les supports d'échange |
| Mise en place des cahiers de suivi scientifique | CETE Méditerranée Laboratoire de Nice | Déc 2004 – mars 2005 | <ul style="list-style-type: none"> - Définir le formalisme et le contenu pour chaque axe. - Préparer les équipes scientifiques aux modes d'échange envisagé (réunions + questions directes). |
| Cahiers de suivi | courriel | Février 2005 | <ul style="list-style-type: none"> - Sollicitation des équipes scientifiques, mise au point et synthèse - Envoi à tous les participants. - Collecte des premières questions - Premiers adressage vers les spécialistes pour échanges. |
| Réunion 1 du groupe d'échange | UMR Géosciences Azur Sophia-Antipolis | 4 mars 2005 | <ul style="list-style-type: none"> - Présentation de la démarche et des participants. - Echanges sur les missions et moyens de chacun - Définition des objectifs et moyens scientifiques par action de recherche. - Présentation d'un service opérationnel (cellule RINE - DDE06) - Echanges par thèmes sur la base des cahiers scientifiques |
| Cahiers de suivi | Courriel | Juillet 2005 | <ul style="list-style-type: none"> - Sollicitation des équipes scientifiques, mise au point et synthèse - Envoi à tous les participants. - Collecte des questions - Adressage vers les spécialistes pour échanges. |
| Réunion 2 du groupe d'échange | Centre Opérationnel Départemental/Préfecture des Alpes Maritimes (CADAM). | Octobre 2005 | <ul style="list-style-type: none"> - Présentation de nouveaux partenaires - Présentation d'un service opérationnel (COD 06) - Echanges sur les missions et moyens de chacun - Suivi de l'évolution des projets scientifiques - Echanges par thèmes sur la base des cahiers scientifiques |
| Cahiers de suivi | Courriel | Juillet 2006 | <ul style="list-style-type: none"> - Sollicitation des équipes scientifiques, mise au point et synthèse - Envoi à tous les participants. - Collecte des questions - Adressage vers les spécialistes pour échanges. |
| Questionnaire d'enquête | CETE Méditerranée Laboratoire de Nice | août 2006 | <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place du questionnaire et envoi par courrier à tous les participants - Collecte et synthèse des réponses écrites et orales |

PASSERELLE

| | | | |
|--|---|-------------|---|
| Réunion 3 du groupe d'échange (réunion finale) | Service Environnement de la Communauté d'Agglomération Nice Côte d'Azur | 13 oct 2006 | - Suivi des actions scientifiques - Synthèse des résultats - Echanges par thème sur la base des cahiers scientifiques - Echanges sur les missions et moyens de chacun - Présentation d'actions de services opérationnels (CANCA et Mairie Nice) et de deux projets (PCS et COSRIS) - Bilan des échanges et du projet PASSERELLE. |
|--|---|-------------|---|

Tableau 4: Bilan des actions conduites dans le cadre de l'axe A du projet PASSERELLE (échange chercheurs/opérationnels) à partir de décembre 2004, pour mettre en place les conditions d'un échange effectif entre les participants.

Les échanges réalisés tout au long du projet, l'exploitation du questionnaire de fin de projet et la réunion finale permettent finalement de conclure que le projet PASSERELLE a permis de créer des liens entre le milieu de la recherche et celui de la gestion des risques sismiques et gravitaires à l'échelle locale. Les participants ont bénéficié d'un cadre leur permettant de se connaître personnellement, de comprendre leurs missions et leurs moyens, de traduire librement leur vocabulaire, et leurs interrogations. Les participants au projet partagent en fin de projet la volonté d'améliorer la prise en compte des recherches dans la gestion du risque sur un territoire exposé à des aléas et avec des enjeux à venir non négligeables. Cette volonté commune peut maintenant se traduire pour chaque service et chaque participant par la perpétuation du lien mis en place grâce au projet PASSERELLE.

PARTENARIATS MIS EN PLACE, PROJETS, ENVISAGES

Plusieurs pistes ont été évoquées au cours de la réunion finale du projet et des réponses au questionnaire pour assurer la pérennité des liens entre chercheurs et opérationnels.

Différentes propositions ont été faites pour garder le contact (ces propositions sont détaillées dans les réponses au questionnaire):

- Mettre en place un groupe de travail permanent qui se réunirait par exemple une fois par an pour se former, échanger sur les actions en cours
- Inclure les chercheurs dans les réunions de préparation de crise
- Mettre en place un site WEB sur le suivi des actions de recherche ou de gestion du risque
- Utiliser une structure d'interface recherche / gestion des risques : Agence des risques environnementaux, COSRIS (Comité d'Orientation et de Suivi du Risque Sismique) ...

POUR EN SAVOIR PLUS (QUELQUES REFERENCES)

- Cahier de suivi numéro 1, mars 2004, 18p, disponible sous <http://www.rdtrisques.org/projets/passarelle>.
- Cahier de suivi numéro 2, septembre 2005, 17p, disponible sous <http://www.rdtrisques.org/projets/passarelle>.
- Cahier de suivi numéro 3, octobre 2006, 11p, disponible sous <http://www.rdtrisques.org/projets/passarelle>.

LISTE DES OPERATIONS DE VALORISATION ISSUES DU CONTRAT (ARTICLES DE VALORISATION, PARTICIPATIONS A DES COLLOQUES, ENSEIGNEMENT ET FORMATION, COMMUNICATION, EXPERTISES...)

| PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES | |
|--|---|
| Publications Scientifiques parues | Kohrs-Sansorny C., F. Courboulex, M. Bour and A. Deschamps, 2005: A two-stage method for ground-motion simulation using stochastic summation of small earthquakes, Bul. Seismol. Soc. Am. , 95, 1387-1400. |
| Publications Scientifiques à paraître | F. Courboulex, C. Larroque, A. Deschamps, C. Kohrs-Sansorny, C. Gélis, J.L. Got, J. Charreau, J.F. Stéphan, N. Béthoux, J. Virieux, D. Brunel, C. Maron, A.M. Duval, S. Vidal, and P. Mondielli , Seismic hazard on the French Riviera: observations , interpretations and simulations, Geophys. J. Int, accepté. |
| Publications scientifiques prévues | <p>PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES PRÉVUES</p> <p>Ground motion simulation in the city of Nice using empirical Green’s function summation, by Kohrs-Sansorny C., Courboulex F. and E. Bertrand.</p> <p>Multi parametric study of the “Vence” landslide, at different time and spatial scales (Alpes-Maritimes, France) by Lebourg T. and El Bedoui S.</p> <p>Simulation des mouvements du sol par une méthode de différences finies 3D et une méthode de sommation de fonctions de Green empiriques : comparaisons et tests de sensibilité by Kohrs-Sansorny C., Courboulex F., Cruz-Atienza V., and Virieux J.</p> |
| COLLOQUES | |
| Participations passées à des colloques | <p>Bertrand E., Manchuel K. and Duval A.M., SEISMOLOGICAL MEASUREMENTS FOR SITE EFFECT INVESTIGATION IN THE VAR VALLEY, NICE, FRANCE. Congrès IASPEI, Santiago du Chili, Octobre 2005.</p> <p>Bertrand E., A.-M. Duval and S. Vidal, Seismological measurements for site effect investigation in the Var valley, Nice, France, ESG2006, Grenoble, France</p> <p>Courboulex F., Kohrs-Sansorny, C., Simulation de séismes de magnitude modérée dans la ville de Nice, journées scientifiques et Techniques du RAP, Les Houches, Mai 2006.</p> <p>Cruz-Atienza, V. M.; Virieux, J.; Aochi, H.. 3D nonplanar dynamic rupture in a heterogeneous medium: the pre-stress effect, European Geosciences Union, Vienne, Autriche, Avril 2006.</p> |

Deschamps A., Maron C., The futur of the french broad band seismological network, Earthquake Monitoring and Earthquake Risk in the Western Mediterranean, San Fernando, Mai 2006.

Kohrs-Sansorny, C., F. Courboulex and E. Bertrand. Simulation de séismes de magnitude modérée dans le sud-est de la France à partir d'une méthode de sommation stochastique de petits séismes, RST, Dijon, 4-8 Dec 2006.

Kohrs-Sansorny, C., F. Courboulex, E. Bertrand and A. Deschamps. Small earthquakes summation for a better estimation of the seismic hazard in the south-east of France. European Geosciences Union, Vienne, Autriche, Avril 2006.

Kohrs-Sansorny, C., F. Courboulex, M. Bour, A. Deschamps and E. Bertrand. Sommation de petits séismes pour la simulation des mouvements du sol : application à des données RAP dans la ville de Nice. Journées RAP, Carry le Rouet, Juin 2004.

Kohrs-Sansorny, C., F. Courboulex, M. Bour, A. Deschamps and E. Bertrand. Simulation of moderate sized earthquakes. 1st General Assembly of the European Geosciences Union, Nice, Avril 2004.

Larroque C., Courboulex F., Delouis B., Deverchère J., Migeon S. : Aléa sismique à la jonction Alpes-Bassin Ligure, Où sera le prochain séisme de 1887 ? Colloque sur les sciences et technologies marines du Futur, 18-18 Mai 2005, Marseille.

Lebourg T. and El Bedoui S.. Etude multi paramétrique d'un glissement de terrain: suivi géophysique temporel du glissement observatoire de Vence (Alpes Maritimes, France). Réunion des Sciences de la Terre, RST, Dijon, 4-8 Dec 2006.

Lebourg T. and El Bedoui S., 2006. Multi parametric study of the "Vence" landslide, at different time and spatial scales (Alpes-Maritimes, France). European Geosciences Union, Vienne, Autriche, Avril 2006.

Maron C., New developments in the SE France seismological network for real time transmission, MEREDIAN regional meeting, Prague, Czech Republic, April 6-8, 2006.

Participations futures à des colloques

Kohrs-Sansorny C., Courboulex F. , Cruz-Atienza V., and Virieux J., Simulation des mouvements du sol par une méthode de différences finies 3D et une méthode de sommation de fonctions de Green empiriques : comparaisons et tests de sensibilité, colloque de l'AFPS, Paris, Juillet 2007.

THESES

Thèses passées

Kohrs-Sansorny C. : Modélisation de la source sismique et sommation de petits séismes pour l'évaluation des mouvements forts : application à une meilleure estimation de l'aléa sismique dans le sud-est de la France. Thèse de l'Université de Nice-Sophia Antipolis soutenue le 31 Janvier 2005, 168p.

Cruz-Atienza, V, Rupture Dynamique des Failles Non-Planaires en Différences Finies, Thèse de l'Université de Nice-Sophia Antipolis soutenue le 5 Mai 2006, 145p.

Thèses en cours

ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION

Articles de valorisation parus

- Cahier de suivi numéro 1, mars 2004, 18p, disponible sous <http://www.rdtrisques.org/projets/passerelle>.
- Cahier de suivi numéro 2, septembre 2005, 17p, disponible sous <http://www.rdtrisques.org/projets/passerelle>.
- Cahier de suivi numéro 3, octobre 2006, 11p, disponible sous <http://www.rdtrisques.org/projets/passerelle>.

AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS

ENSEIGNEMENT - FORMATION

Enseignements/formations dispensés

Dubar M. - Les terrasses quaternaires de la basse vallée du Var: eustatisme et néotectonique en bordure de l'arc de Nice. Conférence à l'IUFM, 10 avril 2004 à Nice

Courboulex F. , Risque sismique et tsunamigénique dans les Alpes Maritimes, conférence au SLUPT (Université pour tous), Avril 2006.

Virieux J. La cote d'Azur, une région touristique de contrastes géographiques et de risques naturels, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Port la nouvelle, 18 Mars 2005

Enseignements/formations prévus

EXPERTISES

METHODOLOGIES (GUIDES...)

AUTRES

RESUME

Le projet a permis de bâtir une PASSERELLE entre les chercheurs (géologues et géophysiciens) et les responsables de la gestion opérationnelle du risque sismique et gravitaire dans le département des Alpes Maritimes. Un groupe a été créé rassemblant une trentaine de personnes qui a suivi pendant deux ans le déroulement d'un projet scientifique centré sur le département des Alpes Maritimes. Ce projet était constitué de cinq axes de recherche couvrant une partie importante des thématiques liées au risque sismique et gravitaire dans le département.

Durant ce projet :

Des données nouvelles ont été acquises lors de campagnes spécifiques :

- Des campagnes de terrain pour identifier les structures potentielles.
- Une campagne d'imagerie d'une faille par tomographie électrique.
- Une campagne d'enregistrement de la sismicité naturelle (PISIS) autour de la vallée du Var durant 6 mois grâce au déploiement de 12 capteurs sismologiques.
- Une campagne d'étude d'effets de site durant laquelle les séismes et le bruit de fond ont été enregistrés (13 stations sismologiques en réseau pendant 1 an).
- Une campagne de bruit de fond en réseau (15 stations).
- Une campagne de suivi par tomographie électrique d'un glissement de terrain pour mettre en évidence la présence d'eau dans le massif.

Des méthodes ont été développées, adaptées ou appliquées aux données :

- Détection des hétérogénéités verticales par tomographie électrique pour imager une faille en profondeur.
- Méthodes : H/V bruit de fond, H/V séisme, site sur référence, et bruit de fond en réseau pour la détermination de l'effet de site local et des caractéristiques du sous sol.
- Méthodes de sommation de fonctions de Green empirique, méthode semi empirique, et méthode de différences finies 3D pour la simulation des mouvements du sol.
- Traitement statistique des données récoltées par tomographie électrique continue pour la détermination des variations d'eau dans un massif instable.

Des résultats intéressants ont été obtenus :

- La mise en évidence d'une faille active (la faille de Donaréo) dans la vallée du Var.
- L'absence de microsismicité permanente détectable dans la basse vallée du Var.
- La détermination des fréquences de résonance fondamentales au travers de la Vallée du Var (entre 1,6 et 8 Hz) à partir de la méthode H/V et la comparaison avec une coupe interprétative.
- La construction de profils de vitesse dans les alluvions déduit des enregistrements en réseau dans la vallée de l'Estéron (V_s moyen de 590 m/s ; profondeur du substratum rocheux : 47 m).
- L'estimation des mouvements du sol qui seraient générés par 3 séismes dans le département : un séisme de magnitude 5.7 sur la faille de Blausasc, un séisme de magnitude 6.3 à 25 km au large de Nice et un séisme de magnitude 6.4 sur la faille de Saorge-Taggia proche de la frontière.
- La mise en évidence des variations de teneur en eau d'un massif instable en fonction du temps.

MOTS CLES : ALEA SISMIQUE, ALEA GRAVITAIRE, GEOPHYSIQUE, GESTION DES RISQUES

ABSTRACT

During this project a link has been created between researchers (geologists and geophysicists) and the persons in charge of risk management in the Alpes-Maritimes, France area. We gathered a group of about 30 persons who followed during two years a scientific project centred on the Alpes Maritimes. This project was divided in five workpackages, related with seismic and gravitational risks in the department.

During this project:

New data have been collected during specific campaigns:

- Field investigations in order to identify potential active structures.
- A campaign based on electrical resistivity contrasts in order to obtain an image of a deep fault.
- A seismological campaign which aim was to record natural microearthquakes around the Var valley during 6 month (12 stations have been installed).
- A site effect study campaign: earthquakes and ambient vibration have been recorded by 13 stations in a small area (total duration of the campaign: 1 year).
- A campaign of array microtremor measurements (15 stations).
- A tomographic campaign on a landslide in order to evidence water variations.

Several methods have been developed, adapted or simply applied:

- Detection of vertical heterogeneities using electric tomography to obtain an image on a deep fault.
- H/V on ambient noise, H/V on earthquakes, spectral ration between stations and microtremors array measurements for site effects and velocity profile determinations.
- Empirical Green's functions summation, semi empirical method, 3D finite differences scheme for the simulation of ground motions generated by a given earthquake.
- Statistic treatment of data obtained par continuous electric tomography in order to evidence water variations versus time in a landscape.

Some results have been obtained:

- An active fault is probably present in the Var Valley (Donaréo Fault)
- There is no permanent detectable microseismicity under the Var Valley
- The fundamental resonance frequencies are between 1,6 and 8Hz along the Var Valley.
- Velocity profiles built from array measurements reveals a mean value $V_s = 590$ m/s and a depth for the bedrock of 47 m in the centre of the Var Valley.
- The simulation of ground motions that would be generated by 3 large events in the Alpes Maritimes department: a magnitude 5.7 earthquake on the Blausasc fault, a magnitude 6.3 earthquake offshore at 25 km of Nice city, and a magnitude 6.4 event on the Saorge Taggia fault close to the Italian boundary.
- The temporal variations of water have been evidenced on the Vence landscape.

KEY WORDS : SEISMIC HAZARD, GRAVITATIONAL HAZARD, GEOPHYSICS, RISK MANAGEMENT.

PASSERELLE

RAPPORT SCIENTIFIQUE

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

PROGRAMME RDT

Responsables scientifiques du projet :

Françoise Courboux pour l'UMR Géosciences Azur
250 av Einstein, 06560 Valbonne, France
courboux@geoazur.unice.fr, tel: 04 92 94 26 12

Anne-Marie Duval pour le CETE Méditerranée
ERA risque sismique, 56 bd Stalingrad, 06300 Nice, France
anne-marie.duval@equipement.gouv.fr, tel: 04 92 00 81 67

INTRODUCTION

Le projet PASSERELLE a été bâti pour créer un lien entre les chercheurs et les gestionnaires opérationnels des risques dans le département des Alpes Maritimes grâce au suivi d'un projet scientifique composé de cinq axes majeurs : la détermination de failles actives susceptibles de générer un séisme, l'enregistrement des microséismes actuels, la détermination des effets de site, la simulation des mouvements du sol et l'étude de l'aléa gravitaire. Les principales actions entreprises durant ce projet ainsi que les résultats obtenus sont présentés pour chacun des axes.

B.1 Détection et imagerie des zones actives

(Coordination : Bertrand Delouis et Christophe Larroque)

L'objectif scientifique majeur fixé dans le cadre de cette partie du projet était de déterminer si un séisme notable peut se produire dans la basse vallée du Var. Initialement trois sites d'investigation avaient été retenus (1) les vallons de Saint Sauveur-Donaréo (A, Figure 1), (2) les terrasses quaternaires et (3) le vallon du Magnan (B, figure 1). Pour des raisons techniques, seul le site des vallons de Saint Sauveur et Donéréo a été analysé en détail.

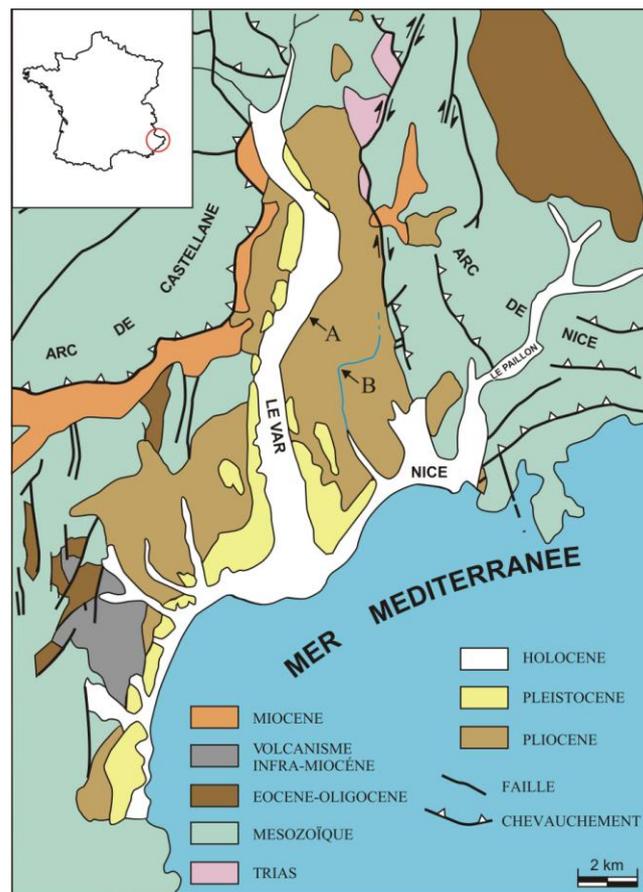


Figure 1 : Carte géologique simplifiée de la basse vallée du Var montrant les grandes structures limitant la vallée et la position des affleurements de pliocène et de quaternaire (d'après Dubar et Perez, 1989).

Les travaux réalisés durant la première phase ont consisté essentiellement en investigations de terrains sur la rive gauche du Var, appuyées par l'analyse de photos aériennes de la région. L'objectif de ces investigations était la recherche d'indices de

PASSERELLE

déformation et de fracturation dans les terrains conglomératiques relativement récents (Pliocène, c'est-à-dire âgés de quelques millions d'années). C'est au niveau de ces terrains que des anomalies de forme de relief ont été repérées, anomalies suspectées être associées à la présence de failles ayant bougé à une époque relativement récente (Figure 2).

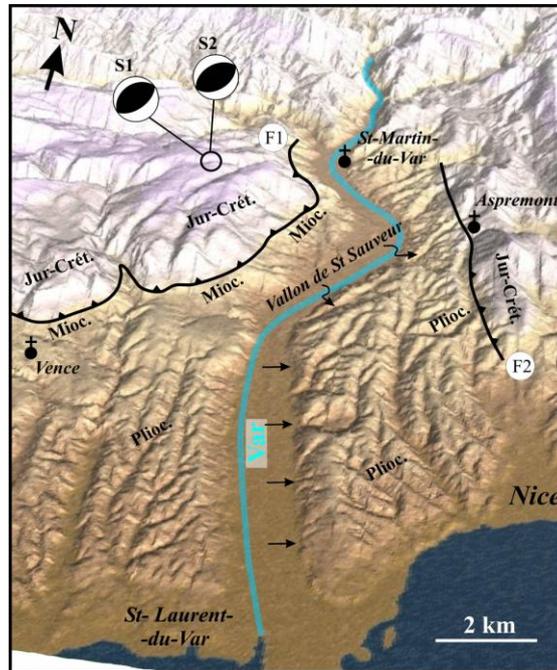


Figure 2 : Représentation topographique en vue oblique de la basse vallée du Var, à partir des données du MNT de l'IGN. Le chevauchement frontal le plus méridien de l'arc de Castellane est représenté par F1. Son jeu anté-pliocène est bien établi. La faille marquant la bordure Ouest de l'arc de Nice (faille Saint Blaise – Aspremont) est indiquée par F2. Lui sont associés des indices de jeu syn- à post-pliocène. L'anomalie morphologique des Vallons de St Sauveur-Donaréo 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 épicer.

Nous n'avons trouvé que très peu d'indices de fracturation dans les terrains conglomératiques, en dehors d'une zone assez remarquable dans le vallon de Donaréo (Figure 3).

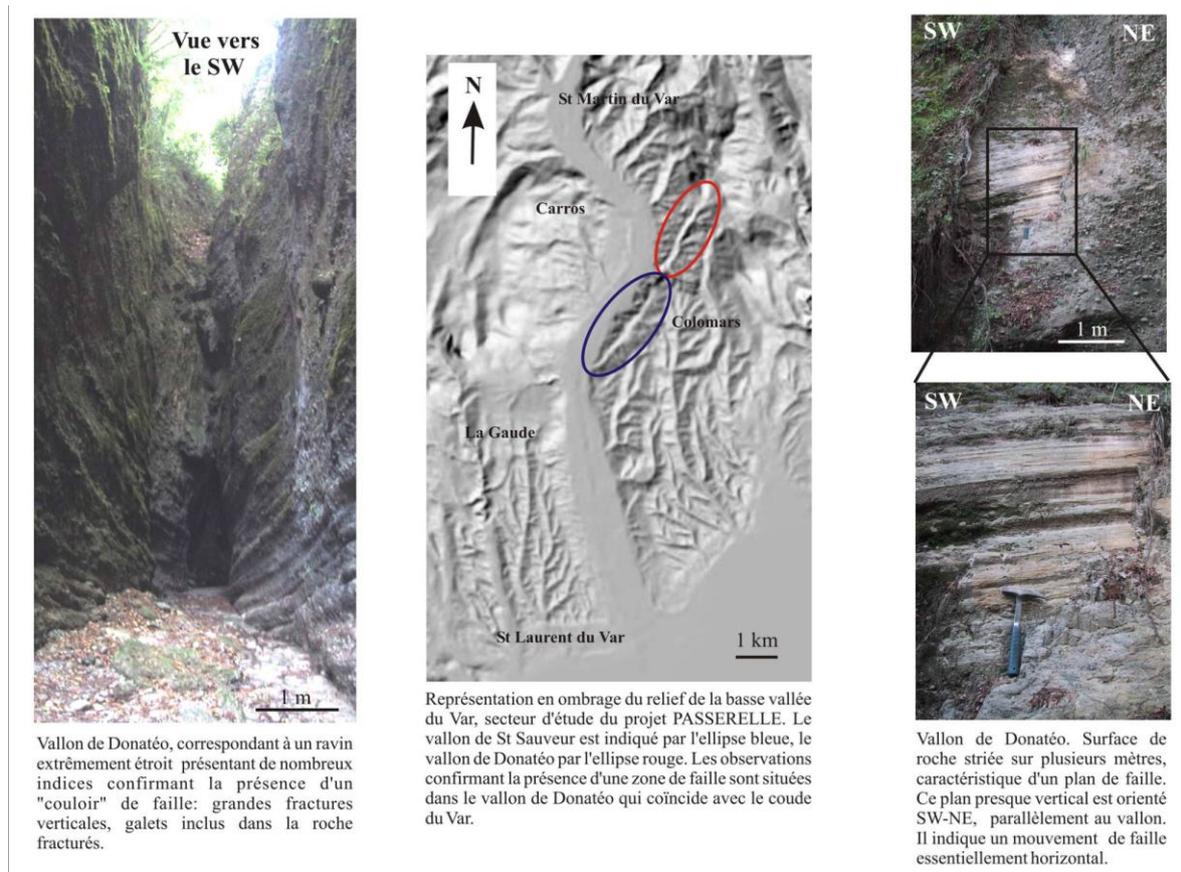


Figure 3 : Photographie des plans striés mis en évidence dans le vallon de Donaréo. Ces plans attestent de la présence d'une faille dont le fonctionnement est postérieur au dépôt des conglomérats pliocènes.

Ce vallon, le plus étroit de la zone d'étude, présente des parois sub-verticales. On peut y observer de nombreuses fractures à peu près parallèles aux parois, ainsi qu'une assez forte proportion de galets fracturés. Des plans striés, témoignant d'un cisaillement de la roche, sont observables en plusieurs endroits au niveau de ces fractures. Le plus grand de ces plans striés est de taille pluri métrique (Figure 3). Les mouvements de cisaillement sont majoritairement horizontaux, mais le sens de cisaillement (dextre ou senestre) n'est pas déterminé (manque de critères fiables observables). Ces éléments viennent confirmer l'hypothèse de l'existence d'une faille, ou zone de faille, d'orientation NE-SW, localisée le long du vallon de Donaréo. Cette faille pourrait avoir joué un rôle dans le changement de direction du cours du Var qui présente à cet endroit un coude très marqué (Figure 2).

La faille déterminant cette anomalie morphologique se poursuit certainement dans le vallon de Saint Sauveur au Sud-Est. Cette faille est probablement segmentée et sa longueur totale atteindrait au moins 8-10 km (Figure 4).

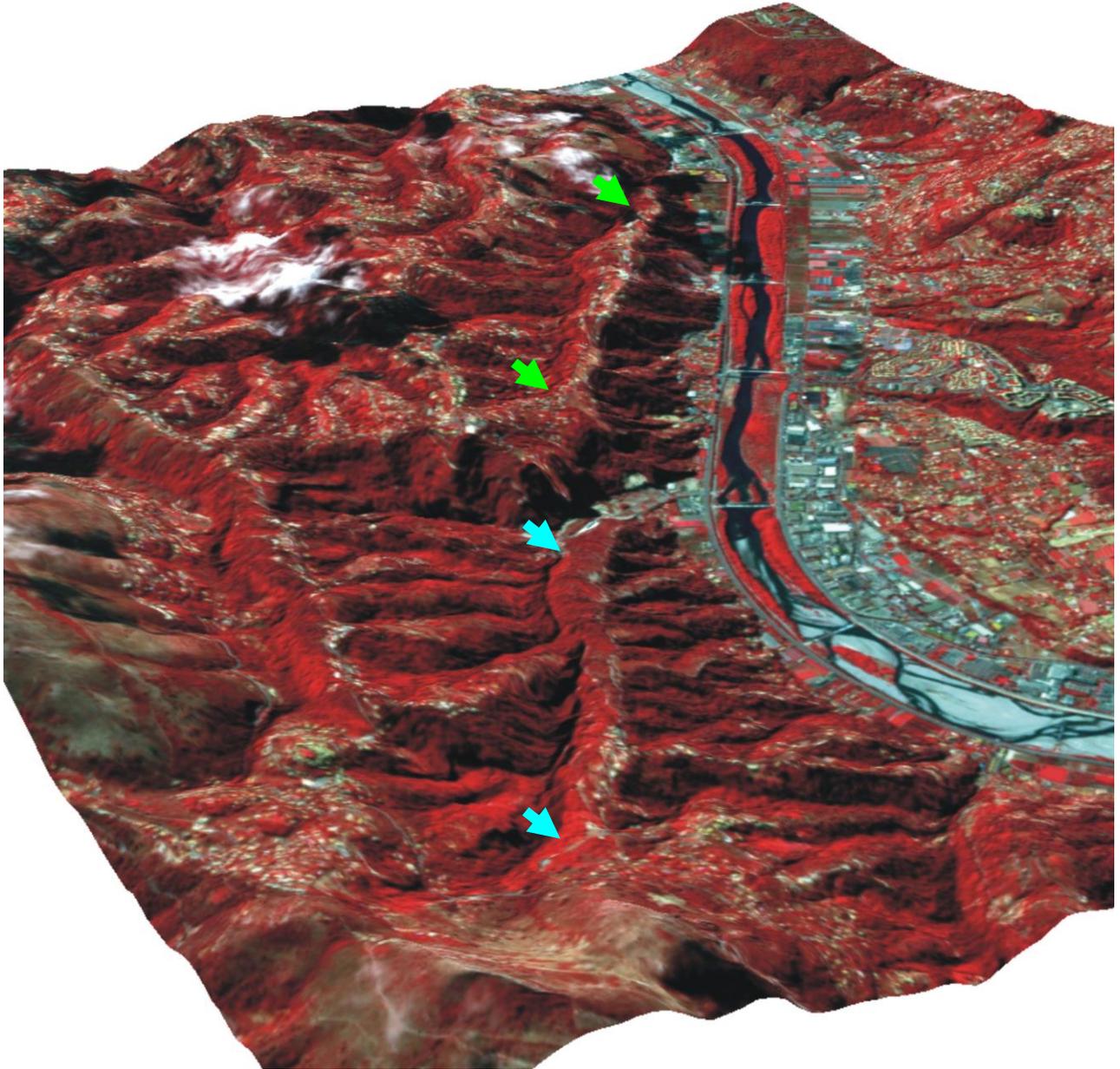


Figure 4 : Vue vers le Sud-Ouest des Vallons de Donaréo et de Saint Sauveur. Les extrémités des 2 segments de failles sont indiquées par les flèches bleues (Donaréo) et par les flèches vertes (Saint Sauveur), la longueur totale est d'environ 10 km.

Ces différentes données :

- anomalie morphologique associée à une faille,
 - fonctionnement récent de cette faille,
 - longueur de faille activable lors d'un séisme compatible avec une magnitude potentielle de l'ordre de 6,
- ont été présentées et discutées lors des différentes réunions avec les opérationnels.

Nous nous sommes efforcés de bien mettre en évidence les méthodes de recherche sur le terrain sans cacher les difficultés de ce travail de détection dans un contexte tectonique où les déformations sont significatives. Des séismes sont régulièrement enregistrés dans la région, mais restent faibles pour que les sources soient caractérisées à partir des informations de

PASSERELLE

surface en regard de contextes où les déformations sont plus fortes comme au Japon ou en Grèce par exemple.

Suite à la première partie de ce travail, nous avons mis en place une expérience de tomographie électrique. La topographie complexe de la zone pose un problème pour la mise en place d'une expérience de géophysique. Nous avons implanté les capteurs dans le seul endroit possible : dans la plaine au niveau du vallon de Roguez, entre les 2 segments de faille.

L'objectif que nous nous sommes fixés dans la dernière phase du projet PASSERELLE est d'obtenir une image en profondeur de cette faille afin de déterminer sa géométrie qui est un des paramètres majeurs de l'aléa sismique. Pour cela quatre profils électriques successifs ont été réalisés et permettent d'avoir une image de 960 m de long (Figure 5).

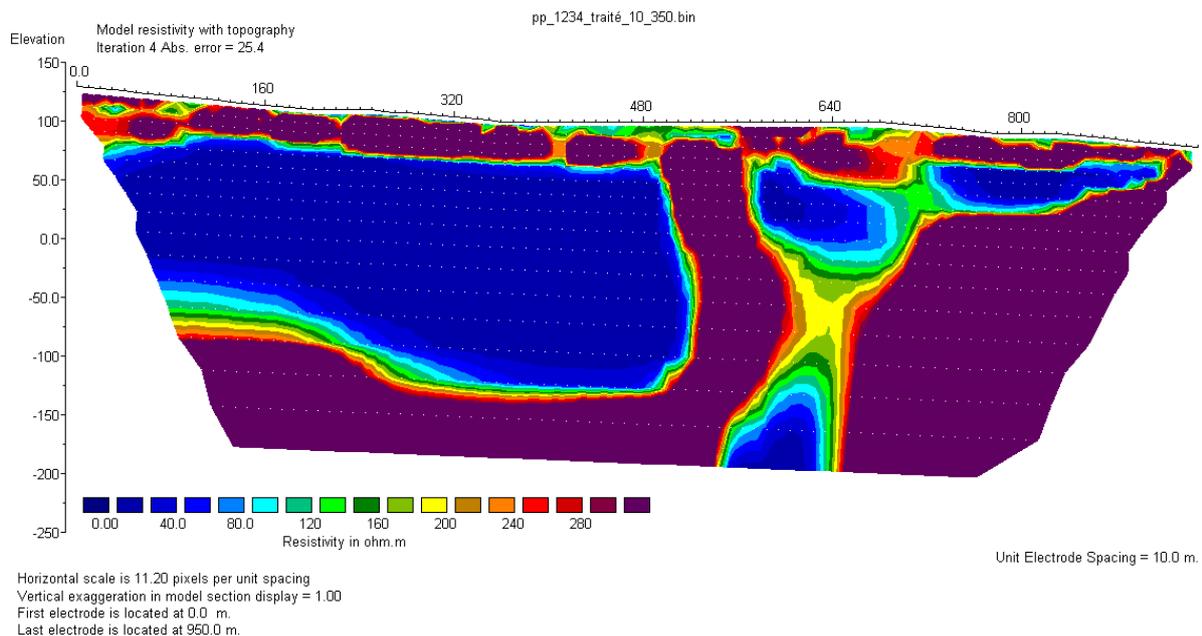


Figure 5 : Résultats préliminaires de l'expérience de tomographie électrique recoupant la faille de Saint Sauveur-Donaréo. La coupe fait 960 m d'extension horizontale et 200 m d'extension en profondeur. Les couleurs sont fonction de la conductivité électrique des couches géologiques (du bleu : forte conductivité au violet : faible conductivité). Au point 640, on observe une structure verticale à forte conductivité qui est certainement la trace de la faille à l'origine de l'anomalie morphologique.

Les résultats de cette expérience sont encore préliminaires mais ils font apparaître l'existence d'une structure verticale suivant la direction de l'anomalie repérée. Cette structure qui est très probablement la faille recherchée est visible jusqu'à 200 m de profondeur qui est la limite de pénétration du dispositif employé. En tenant compte de la géologie, il semble possible de différencier certaines formations au moins la formation de marnes pliocène présentant la résistivité la moins forte et les calcaires jurassiques présentant les résistivités les plus élevées. Les poudingues semblent avoir une résistivité beaucoup plus forte que les marnes et que les alluvions.

PASSERELLE

Le résultat de ce travail (qui devra être finalisé et confirmé dans les mois qui viennent) fait apparaître la présence d'une faille active récemment (moins de 2 millions d'année) située à quelques kilomètres au nord ouest de Nice. Il est maintenant indispensable de caractériser le potentiel sismogène de cette structure : peut elle être la source de tremblements de terre dans le futur et si la réponse est oui, quelle pourrait être la magnitude de ces séismes potentiels ?

L'ensemble de ce travail scientifique a été exposé lors de la dernière réunion avec les opérationnels et toutes les phases d'acquisition et d'analyse des données ont été discutées. Nous avons montré à nos collègues l'importance du travail en amont sur l'estimation de l'aléa sismique d'une région. De ce point de vue le résultat du projet est particulièrement significatif et démonstratif puisqu'il a conduit à mettre en évidence une source sismogène potentielle qui était inconnue avant et qui se trouve très proche de l'agglomération niçoise.

La durée limitée du projet PASSERELLE ne permet pas de terminer le travail scientifique de caractérisation du potentiel sismogène de cette faille qui sera poursuivi avec le soutien d'autres projets. En particulier une expérience de sismique haute résolution est prévue au printemps afin de déterminer plus précisément la géométrie de la faille mise en évidence et son histoire géologique récente.

B.2 Observation et enregistrement des séismes actuels (Coordination : Anne Deschamps)

Cet axe concerne l'enregistrement des séismes actuels. Cette observation est en effet primordiale si l'on veut détecter des zones sismiquement actives dans le département. Forts de notre expérience de 2000-2001 sur une petite faille dans la région de Blausasc où nous avons pu imager finement une structure active grâce à l'alignement de séismes (Courboux et al, 2003), nous avons fait le pari d'installer un réseau permanent autour de la vallée du Var. Notre but était savoir si une microsismicité permanente existait dans cette zone sans pouvoir être détectée par les réseaux permanents.

Ce pari était relativement risqué car nous le savions que la zone de la basse vallée du Var n'a jamais eu d'activité sismique clairement identifiée, de plus sa forte anthropisation en fait une zone où l'écoute fine de microséismes n'est pas facilitée.

Malgré la lourdeur que représente l'installation d'une campagne de sismologie temporaire tant sur le terrain, qu'ensuite pour le traitement des données, nous nous sommes lancés dans l'aventure.

Nous n'avons malheureusement pas eu la chance d'avoir une crise sismique durant les 6 mois de la campagne et la microsismicité permanente s'est avérée inexistante, ou en tout cas, en dessous du seuil de détection autorisé par cette campagne.

CAMPAGNE PASIS

Dans le cadre du programme PASSERELLE nous avons réalisé une campagne (PASIS) d'observation densifiée de la sismicité de la basse vallée du Var de septembre 2004 à mai 2005 : il s'agissait de comprendre si dans cette région, le gap de sismicité observé sur les cartes établies à partir des réseaux nationaux était dû à un manque de résolution de ces réseaux (on estime que tout événement de magnitude supérieur à 2 est détecté sur le département des Alpes Maritimes) et donc de mettre en place un dispositif d'observation qui permettait de réduire notablement le seuil de détectabilité en fonction de la magnitude dans cette région. Pendant la durée de cette campagne, 13 stations sismologiques ont été installées

PASSERELLE

en complément des stations des réseaux permanents portant la distance inter station à moins de 8 km et le seuil estimé de magnitude détectable à 1 (Figure 6). Ces stations comportent 1 capteur sismologique large bande 3 composantes, une acquisition sur disque dur, un GPS pour la datation des enregistrements. Le système est alimenté soit par le secteur soit par des panneaux solaires et protégé des intempéries dans des boîtes étanches.

Les stations sismologiques temporaires installées appartiennent en partie au parc national de l'INSUE (Institut National des Sciences de l'Univers et de l'Environnement) et en partie à Géosciences Azur. Ces stations ont été installées en général chez des particuliers pour des raisons de sécurité du matériel. Les contacts que nous avons pris à cette occasion et la matérialisation par une dalle de béton de l'installation du capteur sismologique, sont importants car ils nous permettront de réinstaller le matériel rapidement en cas de crise sismique qui nécessiterait un déploiement rapide pour son étude. L'analyse de la qualité des signaux et des difficultés de maintenance, nous a permis *a posteriori* de valider la majorité des sites ; malgré tout 2 sites se sont avérés relativement bruités et devons être évités.

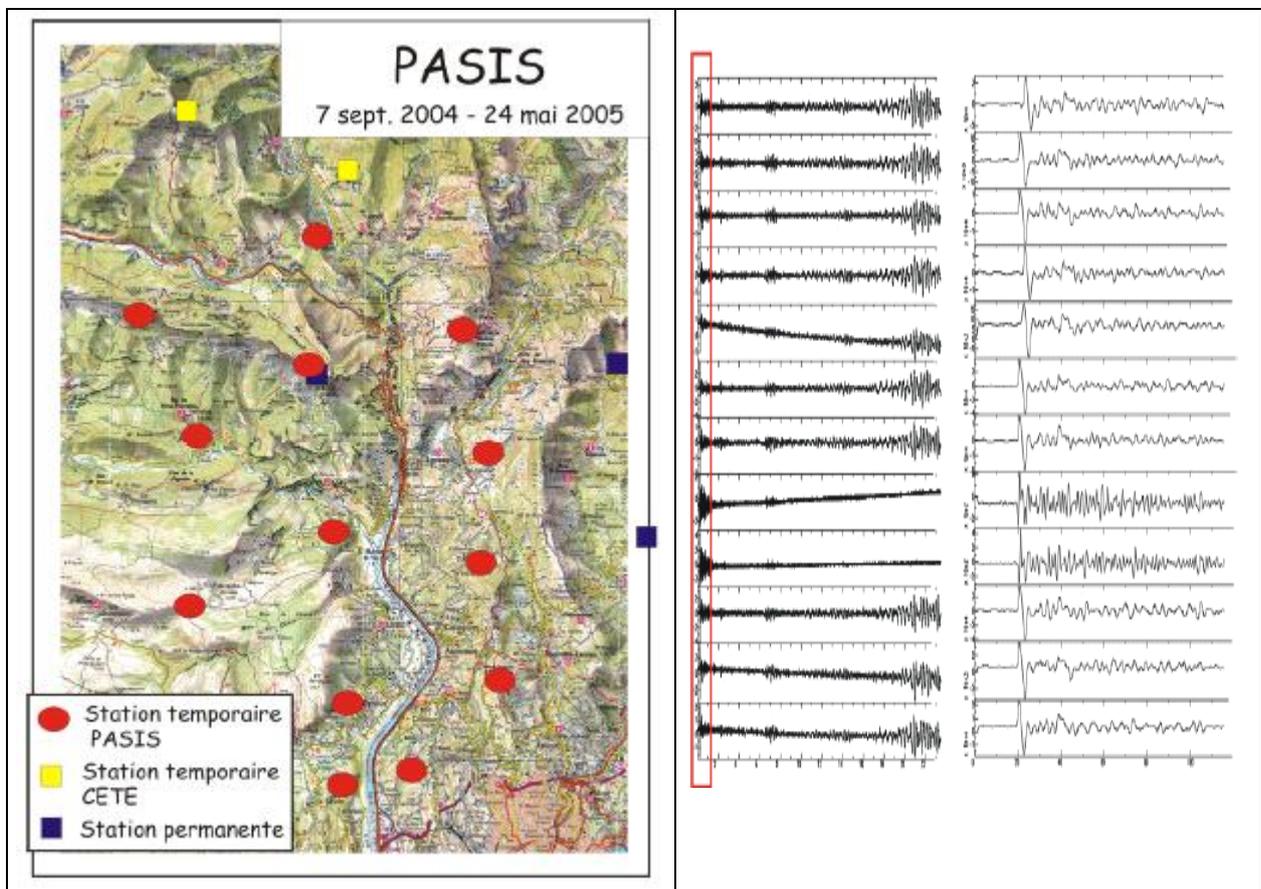


Figure 6 : Réseau de stations sismologiques installé durant la campagne PASIS pendant 6 mois (gauche). Exemple d'un séisme du Japon enregistré sur le réseau (droite).

La maintenance des stations a été assurée par le personnel de Géosciences Azur avec une visite par station tous les mois pour à la fois s'assurer du bon fonctionnement et relevé les enregistrements. Nous avons noté un fort taux de panne dû à la longue période de grand froid du mois de Février 2005. Les données de cette période sont soit de moins bonne qualité, soit pour une partie des stations inexistantes.

Le mouvement du sol a été enregistré **en continu** à 125 points/seconde sur trois composantes sur les 13 stations temporaires. Nous avons ajouté à ces données les enregistrements continus

PASSERELLE

des réseaux permanents, données dont on ne conserve en routine que les segments correspondant à des séismes. La campagne PASIS a produit 130 Gigas Octets de données sauvegardées sur des supports informatiques au laboratoire Géosciences Azur et analysées.

Après réglage des paramètres correspondant au type de stations et à la géométrie du réseau, un algorithme de détection d'événements a été adapté et appliqué à l'ensemble des signaux collectés, de façon à extraire les signaux correspondant potentiellement à des séismes. Nous avons utilisé un seuil de détection le plus bas possible qui a défini 556 plages temporelles durant lesquelles un signal pouvait être associé à un événement étant arrivé sur plus de 4 stations du réseau. La pertinence de cet outil a été vérifiée en analysant manuellement (à l'œil) une dizaine de jour de signal sur l'ensemble des stations.

Les dates de ces fenêtres horaires ont été comparées aux catalogues de sismicité régionale et mondiale, ce qui nous a permis d'associer :

- 275 fenêtres aux signaux produits par 71 séismes de forte magnitude à des distances de plus de 1000km du réseau (téléseismes). Le mouvement du sol produit par de tels événements peut durer jusqu'à une heure avec des amplitudes qui varient dans le temps et donc avoir produit plusieurs déclenchements.
- 34 fenêtres associées à des séismes régionaux, en général dans les Alpes Italiennes, au nord-est de la région étudiée. Ces séismes sont répertoriés dans le catalogue du ReNaSS (Réseau National de Surveillance Sismique) ou de son équivalent italien.
- 32 tirs de carrière donc les signaux sont très typés, même s'ils ressemblent à ceux de séismes superficiels ; on les reconnaît aussi du fait qu'ils sont en général à date fixe et dans des tranches horaires très spécifiques. Il y a plusieurs carrières en activité dans les environs proche de notre réseau ce qui explique cette forte activité.
- 4 événements sismiques locaux, localisés dans la partie nord du réseau, sous le Brec d'Utelle. Ces événements sont aussi répertoriés dans le catalogue du ReNaSS.
- 2 événements donc les signaux ne correspondent pas à ceux d'un séisme et qui pourraient être dus à une perturbation aérienne.

Les autres fenêtres (209) que nous avons sélectionnées ne correspondent à aucun séisme.

La campagne PASIS durant laquelle nous avons maintenu en fonctionnement 13 stations temporaires dans la basse vallée du Var pendant 8 mois, a montré que pendant cette période il n'y a pas eu de microsismicité détectable en augmentant la densité des points d'observation sismologiques et donc le seuil de magnitude observable. Le taux de sismicité régional pendant la période d'observation a été globalement faible. Nous ne pouvons pas conclure sur la présence d'une faille potentiellement active sous la région étudiée par la caractérisation de son activité sismique. La durée courte d'observation ne permet bien sûr pas de statuer sur la non-existence d'une faille, ni sur l'activité potentielle de l'accident relevé dans le vallon de Saint Sauveur par les approches de cartographie.

Les 4 séismes locaux ont été mieux localisés avec l'ensemble des données disponibles, mais cette information n'est pas suffisante pour mieux corréliser leur position à des accidents en surface. Ces données sont bien entendu conservées pour alimenter la base de données des séismes locaux.

Les enregistrements des séismes mondiaux doivent être interprétés dans le cadre d'un travail plus général sur les structures crustales et lithosphériques de la région qui s'appuiera aussi sur l'ensemble des données sismologiques collectées depuis 10 ans avec des stations modernes large bande (réseaux régionaux, campagne SALAM, GeoFrance3D). Ce travail débutera au mois de février avec un stagiaire de Master.

RESEAU PASIS- RESEAUX PERMANENTS

Nous avons d'autre part utilisé les données de la station installée sur le Mont Vial pour vérifier la calibration du capteur de la station du réseau permanent : en effet celui-ci a été installé entre 1977 et 1980, et il était important pour valider l'estimation des magnitudes dans le catalogue du ReNaSS que l'on vérifie qu'il n'y a pas eu de variation sensible des caractéristiques des instruments. Le capteur du Mont Vial a été pris comme exemple. Les estimations sur plusieurs données, montrent une cohérence supérieure à 10% avec les amplitudes d'une station plus moderne. Ce résultat est tout à fait satisfaisant.

Depuis la campagne PASIS, par l'intermédiaire de notre implication dans un programme de collaboration pour le développement des réseaux sismologiques en Europe, nous avons repris contact avec nos collègues italiens de Gênes de façon à mieux mutualiser les données qui sont collectées par les 2 instituts pour l'établissement des catalogues dans les zones frontalières. Cet accord n'apportera pas de modifications dans la résolution de la microsismicité de la basse vallée du Var, mais pourra être très intéressant essentiellement pour l'étude de la microsismicité de la région de Saorge et de la vallée de la Roya.

Lien avec les gestionnaires opérationnels des risques concernant cet axe :

La présentation de la campagne sismologique puis de ses résultats a suscité de nombreuses questions. Les opérationnels sont intéressés par ce type de campagne et pour la plupart souhaitent être informés de ce type d'action et des résultats que nous pouvons en tirer. Cet axe du projet a également permis de discuter sur l'enregistrement des séismes en général. Il nous a permis de préciser le rôle de chacun des partenaires scientifiques en cas de séisme important et de l'intérêt de communiquer en cas de crise.

B.3 Effets de site

(Coordination : Etienne Bertrand)

Cette partie du projet concerne en particulier les effets de site dans la basse Vallée du Var.

La variation du mouvement du sol observée en surface après un séisme est en partie liée à la nature géologique du sous-sol. On remarque ainsi généralement une amplification des secousses sur les terrains sédimentaires pouvant aggraver les dégâts aux bâtiments. Cette amplification est maximale à certaines fréquences selon l'épaisseur des dépôts sédimentaires, leurs propriétés mécaniques et la géométrie de l'interface sédiments-rocher. Pour un remplissage tabulaire, la fréquence fondamentale, F_0 , peut être estimée par la formule :

$$F_0 = \frac{V_s}{4H} \quad (\text{Équation 1})$$

avec V_s , la vitesse de propagation des ondes de cisaillement dans les sédiments.

La vallée du Var est constituée de dépôts fluviaux quaternaires d'épaisseur variable alternant des sables, des argiles, des galets et des graviers. Ce remplissage sédimentaire peut entraîner une amplification non négligeable des mouvements sismiques. D'autre part, le relief encadrant cette vallée peut également être localement le lieu d'amplifications importantes.

Pour caractériser ces amplifications et analyser les variations pouvant exister notamment au travers de la vallée, plusieurs expérimentations ont été réalisées durant les deux années du projet PASSERELLE. D'une part une campagne sismologique a été mise en place pour permettre, notamment, l'application de la méthode site/référence. D'autre part, le bruit de fond sismique a été enregistré selon un profil au travers de la vallée, à la hauteur de

PASSERELLE

l'embouchure de l'Estéron. Ces mesures nous ont permis de calculer des rapports spectraux H/V en une dizaine de points. Finalement nous avons également déployé une antenne sismologique formée d'une quinzaine de capteurs pour enregistrer le bruit de fond simultanément sur ces capteurs et appliquer des analyses en réseau pour retrouver le profil de vitesse de propagation des ondes dans les sédiments de la vallée. Les méthodes mises en oeuvre présentent l'avantage d'être simples et peu onéreuses. Leur application conjointe dans la vallée permet de vérifier leur complémentarité ainsi que leurs limites éventuelles.

ENREGISTREMENT DE BRUIT DE FOND : METHODE H/V

Les bases de la méthode « H/V bruit de fond » ont été établies dès les années 1950 au Japon (voir Aki, 1957 et Aki, 1993). Cette méthode est aujourd'hui de plus en plus utilisée pour identifier les sites présentant des risques d'amplification sismique afin de déterminer les fréquences de résonance. Son succès est dû à son faible coût d'utilisation ainsi qu'à sa simplicité de mise en oeuvre. La validité de la méthode a tout d'abord été démontrée expérimentalement. Ce n'est que très récemment que ses fondements théoriques ont été établis (c.f. projet européen SESAME par exemple). Sur le plan de l'expérimentation, la méthode consiste à poser un capteur de vibration tri-directionnel sur le sol à étudier. Le bruit ambiant est alors enregistré par une station d'acquisition sismologique durant quelques minutes (Figure 7).



Figure 7 : Capteur et station d'enregistrement utilisés.

Le traitement des trois traces sismiques (vertical, nord-sud et est-ouest) obtenues par enregistrement est le suivant :

- 1- Pour chaque enregistrement on recherche d'abord des fenêtres de signal dans lesquelles le signal est le plus stable (stationnaire) possible (Figure 8). Un traitement spectral est alors appliqué sur ces fenêtres;
- 2- **H** représente l'amplitude spectrale lissée des composantes horizontales du bruit de fond sismique, obtenue par combinaison de l'amplitude spectrale des deux voies nord-sud et est-ouest;
- 3- **V** représente l'amplitude spectrale lissée de la voie verticale du même enregistrement;

- 4- Le rapport entre ces deux amplitudes spectrales est effectué sur plusieurs fenêtres de temps et le rapport moyen est donné en résultat (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

16 points de mesures ont été effectués. Nous avons suivi les recommandations détaillées dans les rendus du projet européen SESAME pour effectuer le calcul des rapports spectraux H/V à l'aide du logiciel SESARRAY (Wathelet, 2005). Un exemple de traitement est montré sur la figure suivante. Nous considérons des fenêtres de calcul de 30 secondes, ce qui nous autorise à effectuer le calcul des spectres jusqu'à des fréquences de 0.3 Hz. Pour éviter des instabilités numériques liées à la division spectrale, les spectres sont lissés par la méthode conseillée par SESAME et décrite par Konno et Ohmachi (1998).

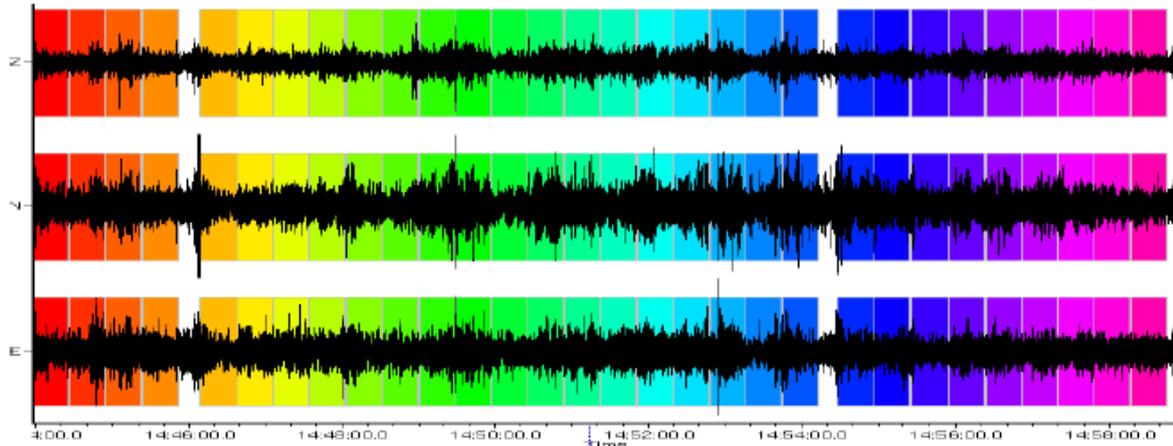


Figure 8 : Sélection des fenêtres stationnaires au point n°9.

S'il existe un effet de site au point de mesure, la courbe résultante du traitement présente un pic à une fréquence correspondant à la fréquence de résonance (Figure 9). Ces courbes sont généralement plates sur des sites à rocher affleurant.

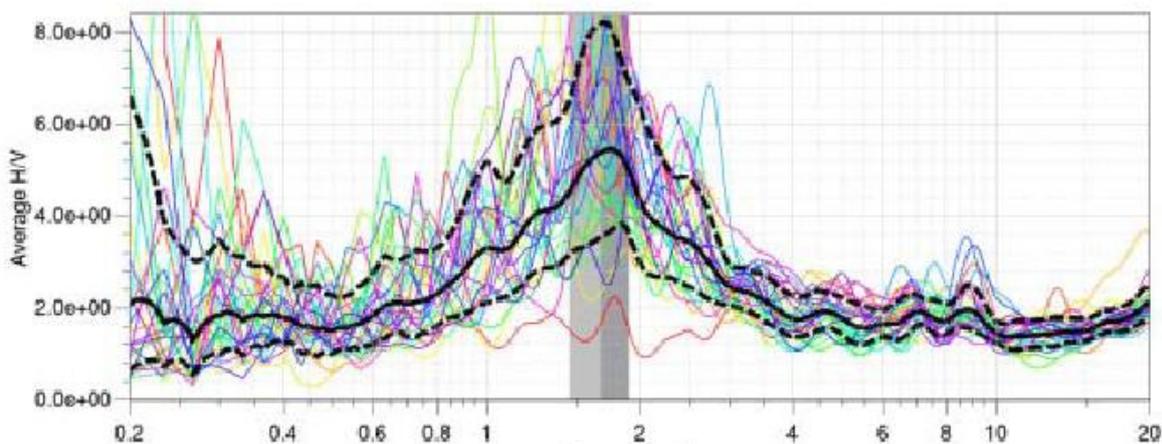


Figure 9 : Moyenne sur toutes les fenêtres des rapports H/V (Point n°9).

Aux points de mesure 13 à 16, les rapports spectraux H/V ne montrent aucun pic. Par contre, un pic très net est observé pour tous les autres sites. Les fréquences de résonance relevées se répartissent entre 8 et 1,6 Hz (Tableau 1). On remarque également que les résultats montrent une nette diminution de la fréquence entre les bords et le centre des deux vallées de l'Estéron

PASSERELLE

et du Var. Cette baisse est en bon accord avec un épaissement des alluvions vers le centre des vallées (Figure 10, Figure 11).

| Points Nb | f_0 |
|--------------|--------|
| 1 | 8 Hz |
| 3-4-5-6 | 1,6 Hz |
| 9 | 1,7 Hz |
| 7 | 3,5 Hz |
| 8 | 3,5 Hz |
| 10-11 and 12 | 5,5 Hz |
| 13-14-15-16 | No |

Tableau 1 : Fréquences de résonance fondamentales déduites des mesures de bruit de fond.

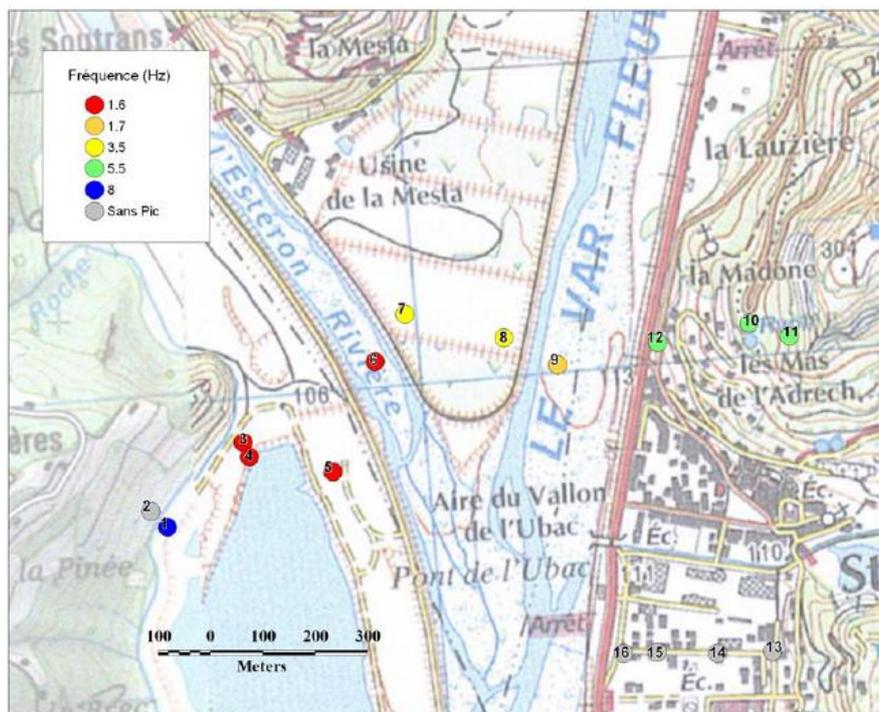


Figure 10 : Résultats des points de mesure de bruit de fond.

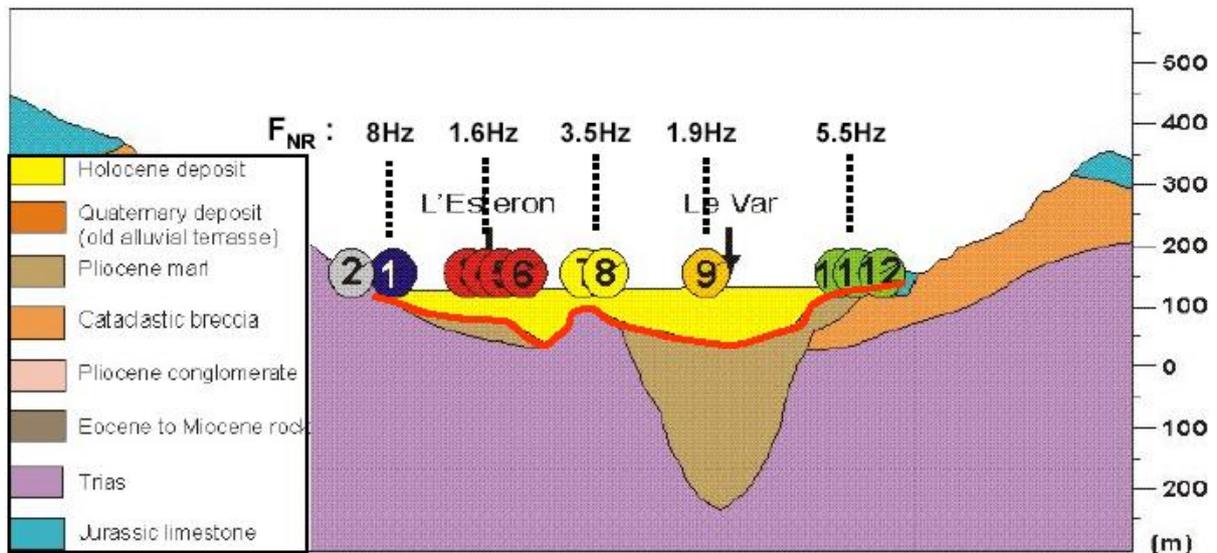


Figure 11 : Comparaison des fréquences observées avec les épaisseurs des sédiments (coupe selon Guglielmi, 1993).

ENREGISTREMENT DE BRUIT DE FOND : METHODE EN RESEAU

Les méthodes en réseau reposent sur une analyse des enregistrements de bruit de fond effectués simultanément en plusieurs points. Différentes techniques, reposant sur l'hypothèse que le bruit de fond est composé d'ondes de surface, ont été développées ces dernières années. Nous utilisons ici la reconstruction de la courbe de dispersion des ondes de Rayleigh par une décomposition du signal dans l'espace fréquence-nombre d'onde. La méthode permet de retrouver cette courbe de dispersion fréquence par fréquence selon la méthode CVFK développée par Kvaerna et Ringdahl (1986). Elle est basée sur un calcul de semblance et permet de retrouver, pour chaque fréquence, la vitesse de propagation des ondes au travers du réseau. Les sources de bruit présentant une certaine variabilité temporelle et spatiale, le calcul est appliqué sur plusieurs fenêtres de temps et pour différent azimut d'arrivée. Une moyenne est ensuite réalisée sur l'ensemble de fenêtres de temps et l'ensemble des azimuts.

Le calcul de la courbe de dispersion ainsi que son inversion pour retrouver les profils de vitesse de propagation des ondes dans le sol ont été réalisés via le logiciel SESARRAY (<http://www.geopsy.org/index.html>) développé par Wathelet durant sa thèse (Wathelet, 2005). L'inversion des courbes de dispersion utilise l'algorithme de recherche aléatoire dans un espace de paramètre autour d'un modèle de départ (Sambridge, 1999). Comme toute inversion non-linéaire, la solution n'est pas unique. Une infinité de modèles expliquent en effet la même courbe de dispersion. C'est pourquoi, la sélection de la solution finale doit se baser sur des données indépendantes. Les calculs de rapports spectraux H/V peuvent alors contraindre la solution.

La technique en réseau appliquée aux enregistrements de bruit de fond a déjà été validée au cours du projet SESAME (Ohrnberger *et al.*, 2004). Les conditions d'utilisation de la méthode ont également fait l'objet de publications récentes. Le déploiement du réseau nécessitant un large espace plan, nous avons installé notre réseau sur un large terrain remblayé sur la rive droite de l'Estéron, à proximité de son embouchure (Figure 12). Le réseau a été centré à l'emplacement d'un sondage géotechnique.

PASSERELLE



Figure 12 : Position de la zone de mesure en réseau. Les étoiles marquent les points de calcul des rapports spectraux H/V de la section précédente.

Nous avons utilisé deux dispositifs différents. Si le diamètre des deux réseaux est le même (100 mètres), la disposition des capteurs est différente. Ainsi, dans la première géométrie, 15 stations ont été déployées symétriquement selon 3 cercles concentriques. Le premier cercle de 5 m de rayon comporte 3 stations, 5 stations ont été placées selon un deuxième cercle de 25 m de rayon, 6 stations occupent le dernier cercle de 50 m de rayon et une station est placée au centre. La deuxième géométrie offre une symétrie différente. Elle se distingue du premier réseau principalement par deux triangles entrecroisés dont les sommets ont été doublés. Elle nécessite 16 stations (Figure 13).

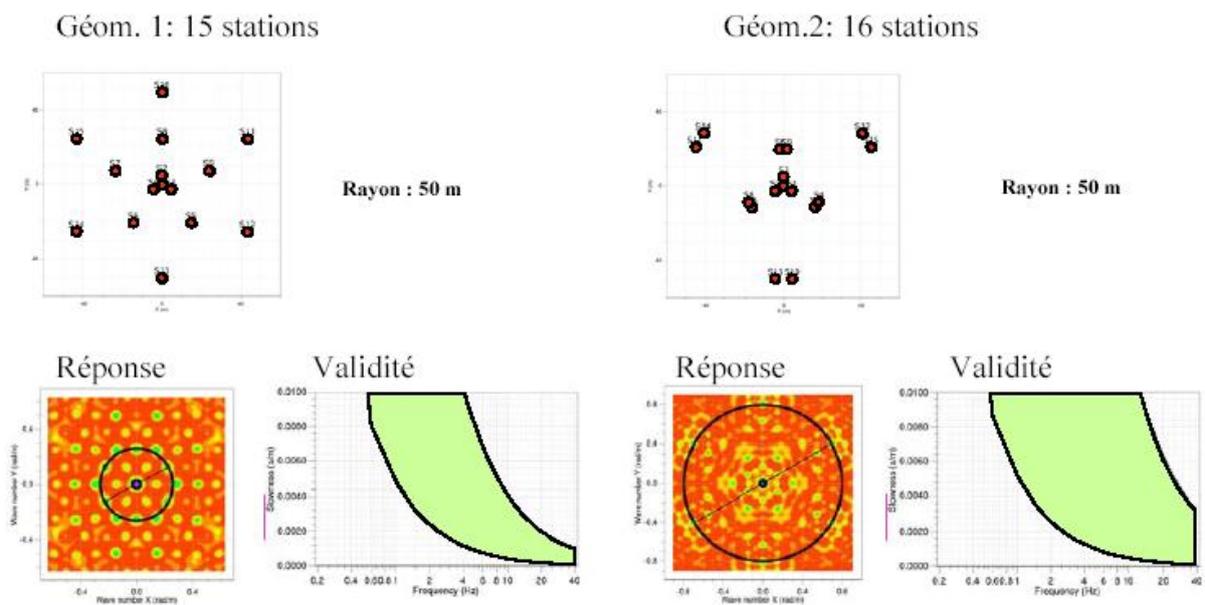


Figure 13: Géométries déployées sur le site d'expérimentation.

La réponse d'une antenne sismologique dépend de la répartition spatiale des capteurs qui la composent. Cette réponse va définir quelles sont les ondes qui vont être détectées par l'antenne. Les domaines de validité de nos deux antennes vont donc être différentes (Figure 13). Ainsi, dans le plan (fréquence-vitesse), le domaine de validité théorique de la 2^{ème} géométrie est plus étendu que celui de la première géométrie. On peut alors s'attendre à pouvoir reconstruire la courbe de dispersion sur un intervalle de fréquences plus grand avec le deuxième réseau qu'avec le premier.

Nous avons enregistré 45 minutes de bruit de fond à l'aide des deux réseaux. Les signaux ont été échantillonnés avec une fréquence de 150 Hz. A partir des enregistrements ainsi obtenus il a été possible d'estimer la courbe de dispersion des ondes de Rayleigh (Figure 14). Les courbes obtenues à partir des deux réseaux sont très semblables. Avec le réseau à 16 capteurs il a été possible de retrouver cette courbe jusqu'à 20Hz, soit une dizaine de Hertz supplémentaires par rapport à l'autre réseau.

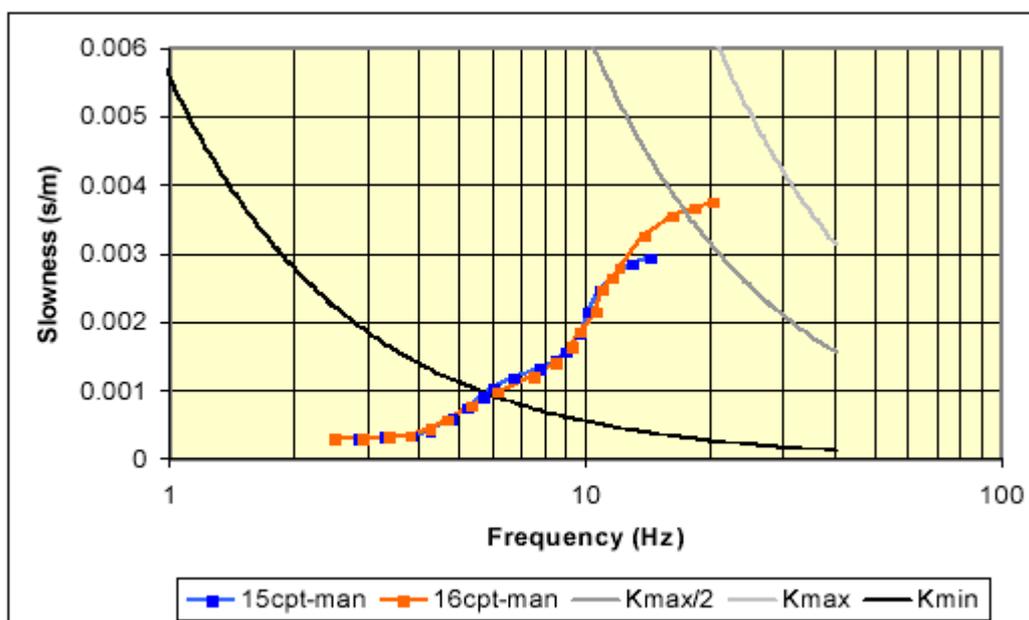


Figure 14: Courbes de dispersion obtenues à partir des deux réseaux déployés dans la vallée du Var.

Les mesures ont été menées au droit d'un sondage carotté. Ce sondage a rencontré le substratum rocheux, composé de marnes pliocènes et de roches triasiques, à 47,5 mètres de profondeur. Ce sondage montre également que les sédiments contiennent des dépôts sableux, graveleux et argileux disposés selon trois couches distinctes. Au même endroit, le calcul de rapports spectraux H/V sur le bruit de fond permet d'estimer une fréquence fondamentale de résonance proche de 3,1 Hz. En appliquant la formule 1 reliant l'épaisseur des sédiments déduit du sondage à cette fréquence, nous obtenons une vitesse de propagation des ondes de cisaillement de l'ordre de 590 m/s dans les dépôts quaternaires (Figure 15).

A partir de ces données nous avons inversé la courbe de dispersion obtenue plus haut. Négligeant la fine couche d'argile, le modèle de départ de l'inversion est constitué de 2 couches sédimentaires reposant sur un substratum rocheux homogène. Les paramètres à retrouver sont alors les vitesses de propagation des ondes de cisaillement et de compression dans les couches ainsi que l'épaisseur des deux couches sédimentaires. Par contre, l'épaisseur totale des sédiments est gardée volontairement proche de 50 m, pour tenir compte du sondage et des résultats H/V (Tableau 2).

| | Prof. (m) | Vp (m/s) | Vs(m/s) | Densité (kg/m ³) |
|--|-----------|----------|---------|------------------------------|
|--|-----------|----------|---------|------------------------------|

| | | | | |
|-------------------|---------|------------|----------|------|
| Couche 1 | [1;20] | [100;200] | [0;1400] | 1800 |
| Couche 2 | [45;50] | [200;3000] | [0;2100] | 1800 |
| Substratum | | [800;6000] | [0;4300] | 2000 |

Tableau 2 : Espace des paramètres utilisés pour l'inversion non-linéaire de la courbe de dispersion.

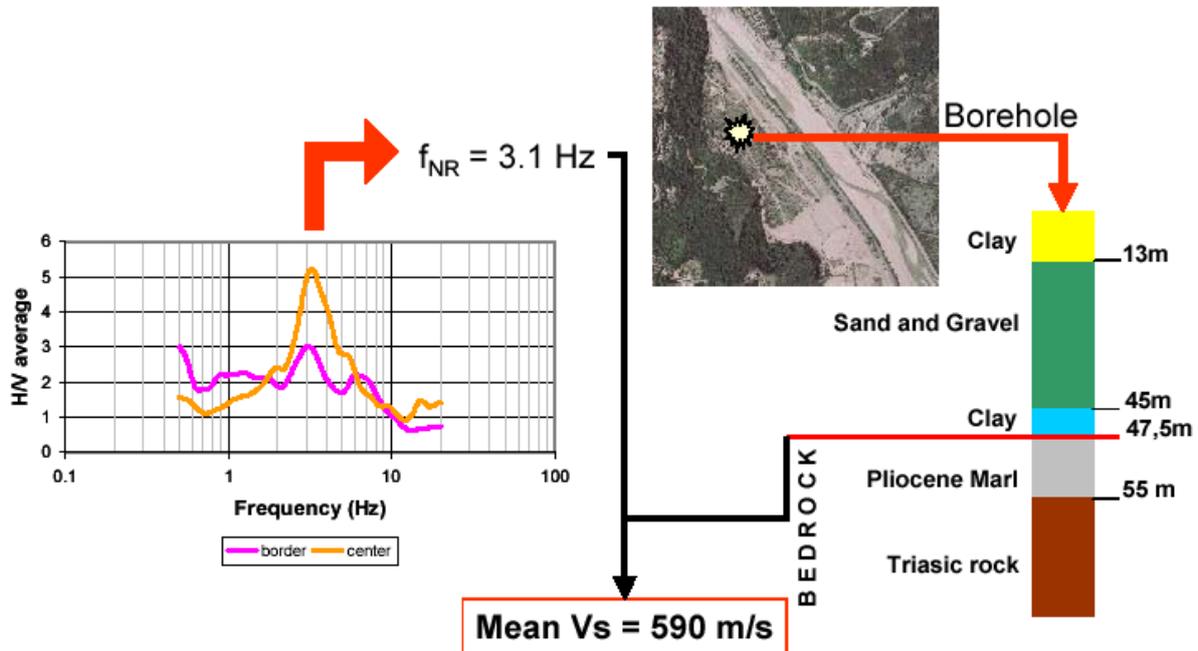


Figure 15: Rapports spectraux H/V et sondage carotté sur le site d'étude (f_{NR} = fréquence du pic principal)

Les résultats de l'inversion sont montrés sur la Figure 16. Les solutions s'approchant le plus de la courbe de dispersion calculée sont de couleur rouge. La meilleure des solutions indique une vitesse de propagation assez élevée dans les sables ($V_s=870$ m/s) mais elle reste cohérente avec les données de sondage, notamment pour les épaisseurs des 2 couches quaternaires. La fréquence fondamentale de résonance est légèrement supérieure à celle déduite du calcul H/V. La vitesse moyenne V_s dans la colonne sédimentaire est proche de 590 m/s.

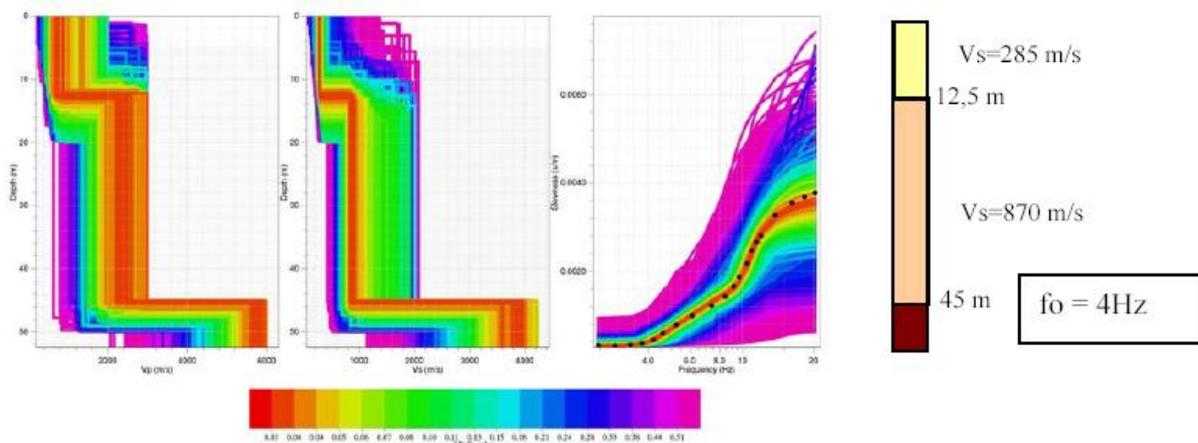


Figure 16: Résultat de l'inversion de la courbe de dispersion. De gauche à droite : profil de vitesse V_p , profil de vitesse V_s , courbes de dispersion associées et courbe de dispersion inversée (points). La couleur des courbes reflète l'écart entre le modèle et la donnée initiale. Le rouge pointe les modèles les plus proches de la courbe de

PASSERELLE

dispersion inversée. A l'extrême droite se trouve une illustration schématique de la colonne de sol donnant la meilleure solution.

ENREGISTREMENTS DE SEISME

Une campagne d'enregistrement sismologique a été lancée début 2005. Un réseau temporaire dense (Figure 17), formé de 9 stations vélocimétriques et 5 stations accélérométriques, a été déployé autour de Saint Martin du Var. Durant près d'un an, le réseau a enregistré la sismicité régionale et mondiale.

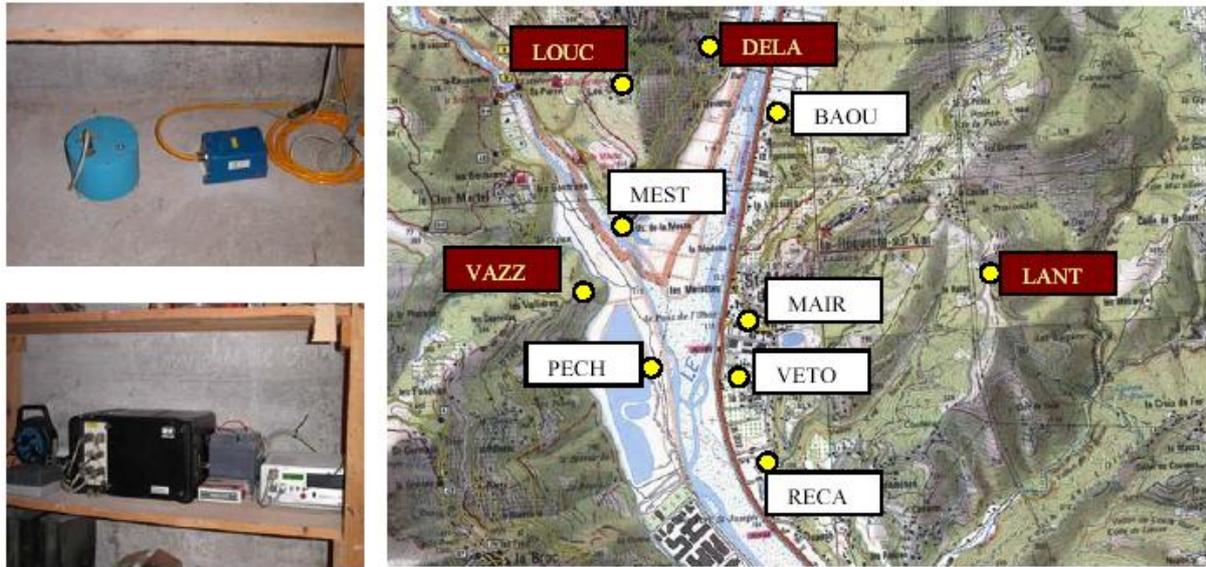


Figure 17 : Campagne d'enregistrement sismologique

L'intérêt de ce réseau est de pouvoir comparer les signaux obtenus d'une station à l'autre et analyser les amplifications éventuelles liées à la topographie ou à la rhéologie des sols.

La méthode mise en application ici a été décrite pour la première fois par Borchardt et Gibbs en 1970. Elle consiste à comparer les enregistrements obtenus à une station située sur un endroit où un effet de site est suspecté à ceux d'une station de référence placée directement sur le rocher horizontal affleurant. Les signaux acquis sont dans un premier temps traités numériquement par transformés de Fourier pour obtenir leur spectre en fréquence. Ensuite les rapports entre les spectres de la station de référence et les spectres au site étudié sont calculés. Ces rapports spectraux varient, pour un même site, d'un séisme à l'autre en fonction notamment de la source du séisme (mécanisme au foyer, azimuth, distance épacentrale, magnitude). Pour s'affranchir de ces effets et estimer **la fonction de transfert** du site, il est donc indispensable d'effectuer une moyenne des rapports spectraux obtenus à partir de plusieurs séismes de magnitude différente et distribués tout autour de la zone étudiée à différentes distances (Field et Jacob, 1995).

La principale difficulté de cette méthode réside dans le choix de la station de référence. En effet, la principale hypothèse consiste à considérer que le signal enregistré en surface à la station de référence est équivalent à celui que nous pourrions enregistrer à la base de la colonne sédimentaire, au toit du substratum rocheux. Or, cette approximation n'est valable que dans le cas où le rocher affleurant à la surface sous la station de référence est identique (nature, propriétés mécaniques, degrés de fracturation, géométrie, ...) à celui sous le bassin sédimentaire. De plus, la topographie de la station de référence doit être la plus plane possible pour éviter tout effet de site particulier qui pourrait entraîner une sous estimation du mouvement sismique modélisé à la surface du bassin sédimentaire (Steidl *et al.*, 1996). Ces conditions sont rarement atteintes. Le choix de la station de référence doit alors se baser sur

une analyse fine de la réponse sismique du site visé pour privilégier les sites pour lesquels l'amplification du signal lié aux couches superficielles est minimale.

Le temps d'expérimentation est un autre frein à la méthode. En effet, la méthode ne peut être validée que si un nombre représentatif de séismes est enregistré par les stations déployées sur le terrain. C'est pourquoi, les stations sismologiques doivent être déployées sur une période de temps suffisamment grande pour permettre l'enregistrement d'un nombre adéquat de séismes. Dans les régions de sismicité modérée, comme la France, le succès de la mission nécessite d'autant plus de temps.

Sur les 12 sites instrumentés autour du village de Saint Martin du Var, 4 sont situés au rocher affleurant. Il s'agit des stations LANT, VAZZ, LOUC et DELA, encadrées en brun sur la Figure 17. Les 8 autres sites sont localisés sur les sédiments de la vallée du Var. Certains des sites rocheux présentent une amplification probablement liée à la topographie. Ainsi, nous avons observé des signaux amplifiés à DELA par rapport aux enregistrements obtenus à VAZZ ou LANT.

Nous avons pu enregistrer une vingtaine de séismes locaux durant la campagne. Le séisme le plus violent, de magnitude 3,7, est survenu le 20 décembre 2005 à une trentaine de kilomètres de la zone d'étude. La figure ci-dessous montre les rapports spectraux obtenus à partir des enregistrements horizontaux de ce séisme aux stations MEST, PECH et RECA en considérant la station LANT comme station de référence.

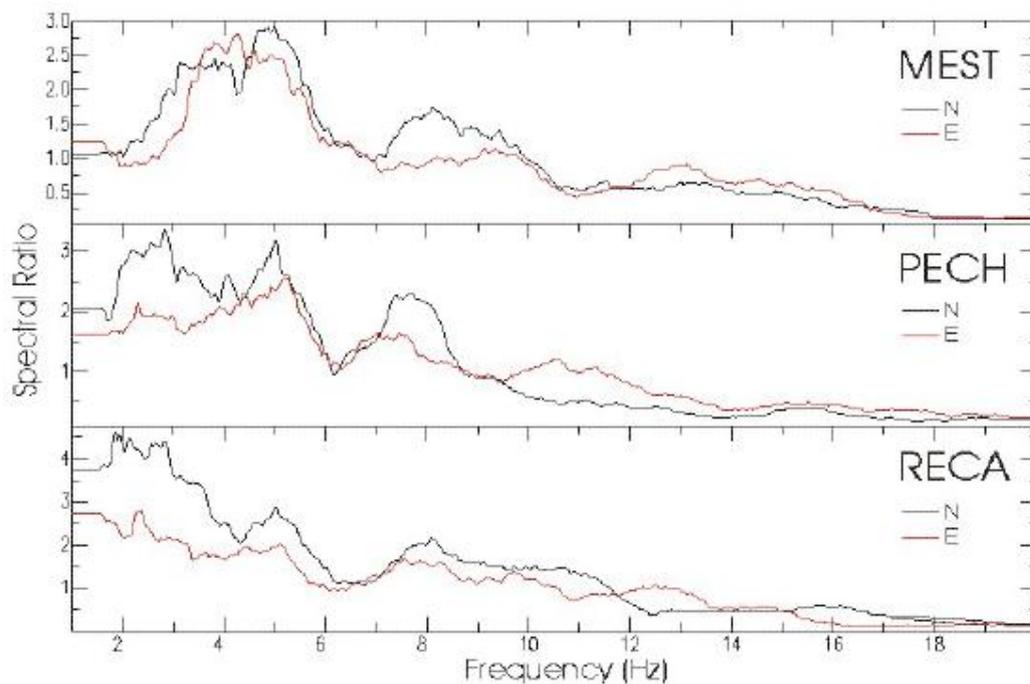


Figure 18: Exemple de rapports spectraux site/référence. Enregistrements du séisme du 20/12/2005, MI=3,7. Composantes horizontales.

Comparé à l'enregistrement à la station LANT, les signaux de la station MEST sont amplifiés de 2,5 fois entre 3 Hz et 5 Hz. Ces fréquences d'amplification sont en bon accord avec les résultats obtenus dans la vallée avec les mesures de bruit de fond. En effet, le calcul des rapports spectraux H/V sur le bruit enregistré non loin de cette station donne une fréquence de résonance fondamentale proche de 3,5 Hz. Aux stations PECH et RECA l'amplification se fait pour des fréquences plus basses. En effet, à partir de 2 Hz, l'accélération du sol est plus importante à ces stations qu'à LANT. Une fréquence proche a également été retrouvée à partir des mesures de bruit de fond effectuées au centre de la vallée. Il faut noter que pour les trois

PASSERELLE

stations, l'amplification du signal reste relativement faible. Le maximum d'amplification se situe entre 3 et 5.

CONCLUSION

Vibrations ambiantes :

Les méthodes mises en œuvre ici supposent un milieu à géométrie 1D, c'est à dire que les paramètres géomécaniques caractérisant le sol ne varient qu'avec la profondeur et que les couches sédimentaires sont planes et horizontales. Cette hypothèse de départ est assez éloignée de la réalité de la vallée du Var mais en première approximation elle reste cependant valable.

Dans un premier temps, le calcul des rapports spectraux H/V selon un profil d'enregistrement au travers de la vallée a montré que :

- **Les fréquences d'amplification varient au travers de la vallée. Cette variation est bien corrélée avec la variation de l'épaisseur des sédiments.**
- **Ces fréquences sont relativement hautes (entre 1,6 Hz et 8 Hz).**

L'enregistrement de bruit de fond en réseau a nécessité un traitement un peu plus complexe. A partir de l'enregistrement simultané des vibrations ambiantes sur plusieurs capteurs répartis régulièrement, il est possible de retrouver les paramètres mécaniques du sol (profil de vitesse de propagation des ondes de cisaillement) en inversant la courbe de dispersion qui caractérise la propagation des ondes de surface au travers du réseau. En effet, pour un profil de vitesse donné, ces ondes se propagent avec une vitesse différente selon leur fréquence. Généralement, plus la fréquence est élevée et plus les ondes de surface se propagent lentement. L'expérience menée dans la vallée du var a permis de :

- **Préciser le protocole d'application de la méthode. Elle a notamment montré l'utilité de données à priori.**
- **Montrer que la vitesse de propagation des ondes S dans les sédiments grossiers du Var et de l'Estéron est assez élevée (590 m/s en moyenne).**
- **Estimer que l'épaisseur de sédiments au centre de la vallée est de l'ordre de la centaine de mètres.**

Enregistrements de séismes :

La méthode consiste à enregistrer des séismes en divers points de la zone d'étude et de comparer les enregistrements entre une station dite de référence et les stations situées sur des zones susceptibles d'amplifier le signal sismique. Cette méthode à l'avantage d'être directe mais demande un certain temps de mis en œuvre car nécessite un grand nombre d'évènements. Ce qui est d'autant plus le cas dans les Alpes Maritimes du fait de la faible sismicité. Durant les deux ans du projet, nous avons enregistré en continu les séismes de la région mais aussi les télé-séismes provenant des quatre coins du monde. Ceux-ci pourront également être exploités dans d'autres projets à venir. La constitution de la base de donnée a été effectuée à la fin de la deuxième année du projet et son exploitation ne fait que débiter. Cependant les premières observations indiquent de très nettes différences entre les enregistrements aux stations installées sur le rocher et les stations situées dans la vallée du Var. Comme on s'y attend, les signaux sont amplifiés dans la vallée par rapport à ceux obtenus sur le rocher affleurant.

Nous avons proposé dans PASSERELLE une première approche pour évaluer les effets de site liés au remplissage sédimentaire de la vallée du Var. Les études menées durant ces deux

années ont montré que de tels effets existaient bien dans la vallée. Pour aller plus loin il faut désormais analyser plus finement l'influence de la géométrie 3D du bassin. L'exploitation complète des enregistrements de séisme pourrait aider à cela. Une analyse plus détaillée des enregistrements de bruit de fond, tel que la fréquence d'amplification selon la direction de propagation des ondes de surface, pourrait également apporter des informations supplémentaires. Finalement des modélisations numériques permettraient de confirmer nos observations et d'extrapoler ces effets à un séisme plus important.

B.4 Simulation des mouvements du sol (Coordination : Françoise Courboux)

La simulation des mouvements du sol dus à un séisme important est une étape fondamentale dans la détermination de l'aléa sismique. En effet, il est primordial de pouvoir estimer quelles seront les vibrations du sol dues à un séisme donné en un lieu donné avant que ce séisme n'ait lieu. Les équipes de recherche qui s'intéressent au département des Alpes maritimes et plus généralement à la zone entre le bassin Ligure et les Alpes font actuellement des efforts importants pour chercher à simuler au mieux ces mouvements. En effet, dans cette zone, les séismes importants qui ont eu lieu sont trop anciens pour avoir été enregistrés par des capteurs sismologiques. Nous ne disposons pas de signaux de mouvements forts dans la région, il est donc important de les simuler au mieux.

Plusieurs approches sont proposées par les chercheurs pour ces simulations : une approche empirique où les enregistrements des petits séismes récents sont utilisés pour simuler un séisme plus fort, et une approche purement numérique où l'on utilise des codes de simulation et des équations de propagation pour simuler un signal en surface. Les deux approches sont actuellement utilisées.

Il est important de noter que le projet PASSERELLE a donné une impulsion importante dans ce domaine mais que deux autres projets ont permis également de faire avancer les travaux dans ce domaine par des cofinancements importants : le GIS Curare et le projet ANR QSHA en cours (recrutement de post-doc, financement d'un gros ordinateur ...).

APPROCHE EMPIRIQUE

L'approche empirique consiste à utiliser au maximum l'information réelle contenue dans les enregistrements actuels de petits séismes ayant lieu dans la région niçoise pour simuler les enregistrements d'un séisme futur de magnitude supérieure. Cette approche, communément appelée « simulation par fonctions de Green empiriques » a été proposée pour la première fois par Hartzell en 1978, puis ensuite modifiée et améliorée par de nombreux auteurs. Cette approche suppose que l'enregistrement d'un petit séisme est représentatif des effets de propagation entre la source et la station. Les mouvements du sol susceptibles d'être produits par un futur séisme sont alors obtenus par la sommation d'une multitude de petits séismes décalés dans le temps de manière à reproduire notamment le processus de rupture (Figure 19). Le principal avantage de cette méthode est de tenir compte non seulement de la propagation des ondes entre la source et la station, mais aussi des effets de site et des effets d'atténuation.

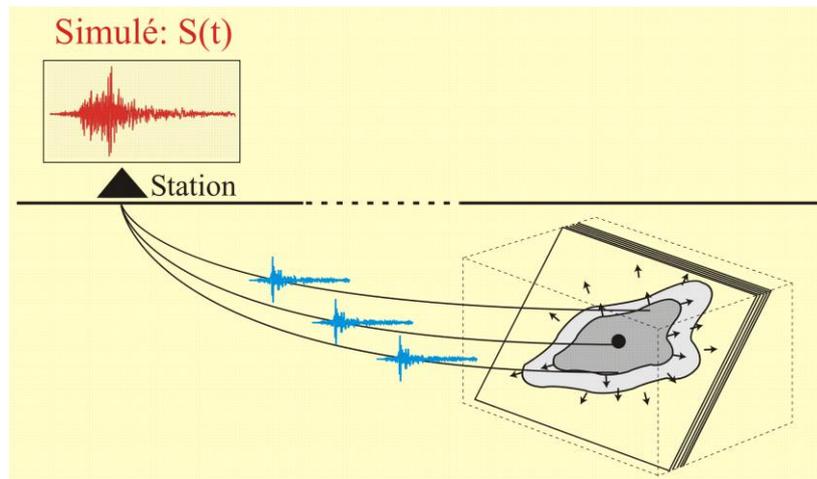


Figure 19: La méthode des fonctions de Green empiriques : simulation des mouvements du sol produits par un séisme important par sommation des enregistrements d'un petit séisme ayant eu lieu sur la même faille.

Un développement récent de cette méthode a été proposé par Carine Kohrs-Sansorny au cours de sa thèse à l'UMR Géosciences Azur (soutenue en 2005, et financée par la région PACA et le BRGM) et de son post-doc (financé par le groupement d'intérêt scientifique CURARE) et publié dans un article au BSSA (Bulletin of Seismological Society of America) en 2005. La sommation s'effectue suivant un schéma précis en deux étapes (Figure 20) qui permet de reproduire une grande variété de processus de rupture différents tout en suivant les lois d'échelle sur les séismes et le modèle de Brune (1970) de la source. Notons que deux codes de simulation ont été développés au cours de cette thèse mais que seul le code dit « stochastique » a été pour le moment appliqué à la région niçoise.

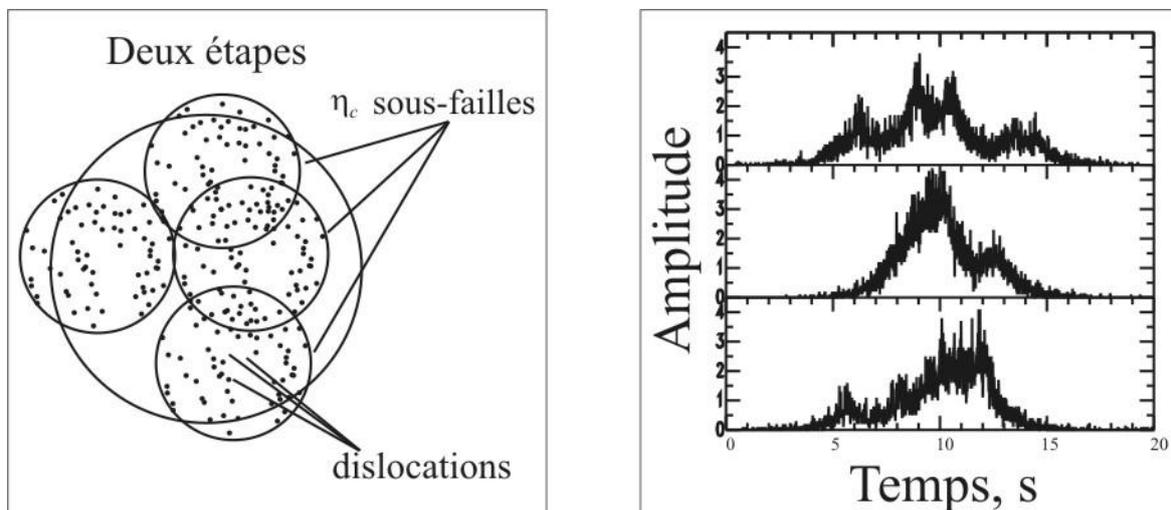


Figure 20 : Schéma en deux étapes de sommation des enregistrements de petits séismes comme fonctions de Green empiriques et exemple de fonctions source générées par la méthode (Kohrs-Sansorny et al, 2005).

Le code développé est particulièrement intéressant à mettre en œuvre puisque qu'il nécessite la spécification d'un nombre de paramètre d'entrée réduit : la magnitude et la chute de contrainte du séisme à simuler. Le choix du premier paramètre est réalisé en fonction du séisme maximum que l'on pense possible dans la zone. Le choix du second paramètre, la chute de contrainte est par contre beaucoup plus délicat, puisque le sujet du rapport de chute de contrainte entre séismes de magnitude différente n'est actuellement pas résolu (Beeler et al., 2003; Kanamori et Rivera, 2004), ce paramètre est généralement pris entre 1 et 5.

APPLICATIONS A LA REGION NICOISE

Les trois séismes que nous avons choisi d'utiliser pour nos simulations correspondent à trois zones actuellement sismiquement actives : la faille de Blausasc (Courboulex et al, 2003) située à une quinzaine de kilomètres à peine de la ville de Nice, la faille de Saorge-Taggia qui reste la faille la plus sismiquement active de la zone (le tracé de la faille est représenté en noir sur la Figure 21), et la faille supposée active en pied de marge à environ 25 km de la cote niçoise. Cette faille n'a jamais été clairement identifiée mais elle correspond à une zone de sismicité importante (tracé pointillé sur la Figure 21).

Ces trois séismes sont tout a fait représentatifs de la sismicité historique. En effet, dans le passé au moins deux séismes ont causé des dégâts importants dans le département : le séisme Ligure de 1887 qui a eu lieu en Mer au large d'Imperia et le séisme dit « Nissart » de 1564 qui a eu lieu dans l'arrière pays niçois et dont la localisation reste mal déterminée.

Les trois séismes que nous avons simulés sont les suivants :

- Un séisme de magnitude 5.7 à terre à 15 km au nord de la ville de Nice, simulé en utilisant le séisme du 19 décembre 2000 (Mw 3.4) comme Fonction de Green Empirique (FGE).
- Un séisme de magnitude 6.3 en mer à 30 km de la ville de Nice, simulé en utilisant le séisme du 25 février 2001 (Mw=4.6) comme FGE.
- Un séisme de magnitude 6.2 à terre à 40 km de la ville de Nice (Italie), simulé en utilisant le séisme du 2 septembre 2006 (Mw=4.2) comme FGE.

Les données utilisées pour ces simulations viennent en grande partie des réseaux permanents installés dans les Alpes Maritimes (réseau RAP, TGRS) mais aussi de stations temporaires installées lors de campagnes temporaires.

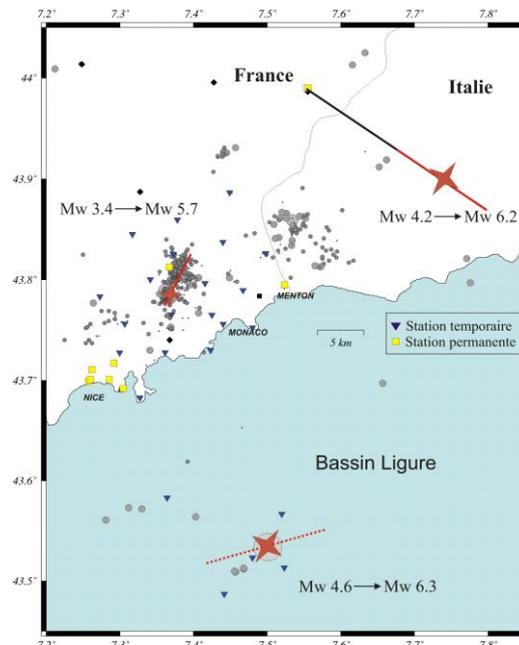


Figure 21 : Localisation des trois séismes de référence. Les points gris correspondent à la sismicité enregistrée durant les six mois de la campagne SALAM (Courboulex et al, 2007). Les traits rouges correspondent à la longueur de faille activée dans nos simulations.

Chaque simulation permet d'obtenir une multitude d'accélérogrammes correspondant à un séisme susceptible de générer des dégâts dans le département. A partir de ces données complètes, il est facile d'obtenir des cartes de PGA (accélération maximale du sol) ou de PGV (vitesse maximale du sol) en différents points du département. Notons que nous avons fait le choix de considérer que la chute de contrainte du petit et du gros séisme sont identiques ce qui nous conduit à des estimations minimales du mouvement du sol attendu. Dans le cas d'un séisme réel, les valeurs pourraient être plus élevées.

Pour le séisme de Nice (Figure 22), on constate que les accélérations maximales sont attendues dans le centre ville de Nice avec des PGA atteignant respectivement 0.13 g et 0.1 g pour les stations installées dans les jardins d'Alsace Lorraine (NALS) et sur le port (NPOR). Pour le séisme de Blausasc (Figure 23), les valeurs maximales d'accélération sont aussi obtenues dans la ville de Nice avec des PGA atteignant les 0.15 g, mais nous notons aussi d'importantes accélérations (de l'ordre de 0.1 g) sur les deux stations situées à Menton (MENA et MENT), ainsi que dans l'arrière pays niçois plus près de la faille (TOUR). Pour le séisme de San Remo, les accélérations maximales sont attendues dans la ville de Menton et à Saorge avec des PGA atteignant respectivement les 0.14 g (MENA) et 0.1 g (SAOF).

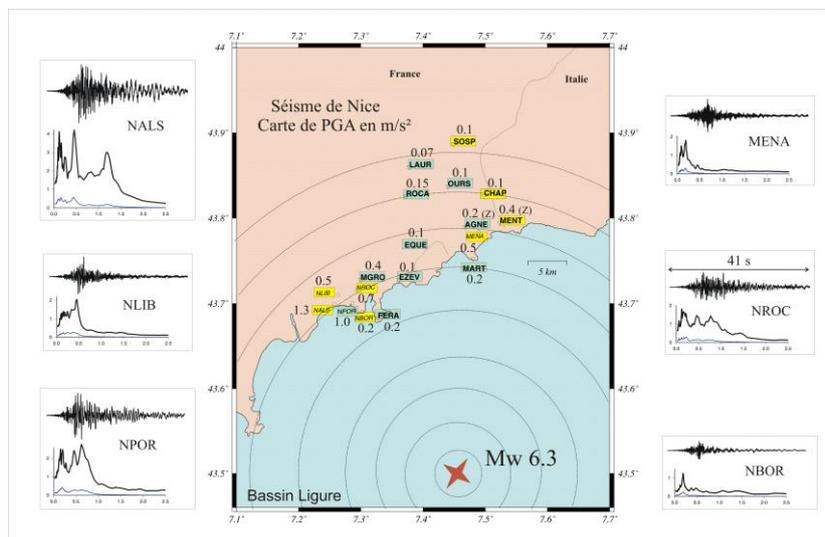


Figure 22 : Simulation des mouvements forts du sol produits par le séisme de Nice sous l'hypothèse d'une chute de contrainte identique pour le séisme de référence et son EGF. Pour chaque station du réseau RAP à Nice et à Menton (en jaune) sont représentés un accélérogramme correspondant à une réalisation « moyenne » et le spectre de réponse accélération-période moyen. Les spectres de réponse du petit séisme utilisé comme EGF sont représentés en bleu.

La Figure 24 montre la répartition des PGA sur les différents points du département correspondant à un séisme de magnitude 6.2 qui aurait lieu sur la faille de Saorge-Taggia bien connue, proche de nos frontières. Dans ce cas de figure, les zones les plus proches de l'Italie seraient bien sûr les plus touchées. Les effets de site que nous avons étudiés avec d'autres scénarii sont toujours présents dans la ville de Nice et également dans la vieille ville de Cagnes sur Mer (château) où l'on soupçonne un effet de site dû à la topographie.

Si l'on se concentre sur la ville de Nice, on observe d'importants effets d'amplifications entre les stations situées sur sols mous (notamment NALS et NROC) et celle située au rocher (NBOR). Ces amplifications sont non seulement visibles au niveau du PGA, mais aussi sur toute la gamme de fréquence. Pour le séisme de Nice (Figure 22), on observe sur la station NALS, des amplifications d'un facteur 5 au niveau des PGA, d'un facteur 4 entre [0,0.5 s] et

d'un facteur 7 entre [0.5,1.5 s]. Les niveaux d'amplifications observés dans cette étude sont comparables à ceux observés lors de précédents séismes dans la région, ainsi qu'avec les études d'effets de sites menées par le CETE Méditerranée et le LCPC (Duval, 1994 ; Duval et al., 1999 ; Semblat et al, 2000).

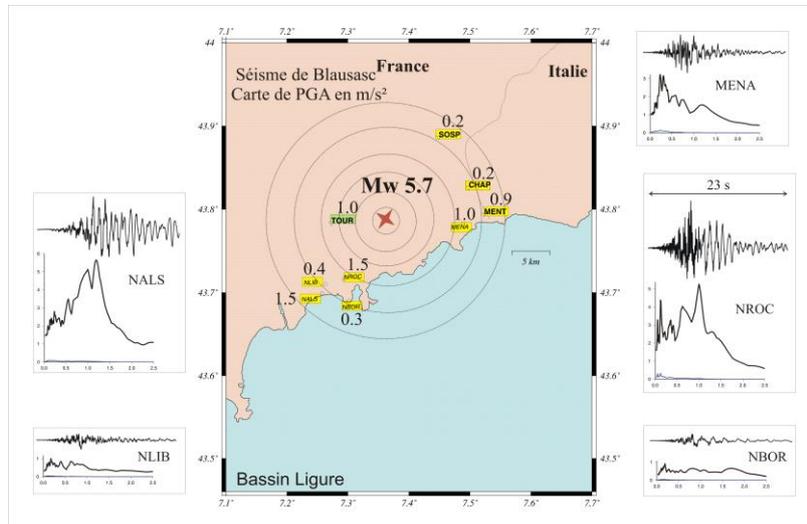


Figure 23 : Simulation des mouvements forts du sol produits par le séisme de Blausasc sous l'hypothèse d'une chute de contrainte identique pour le séisme de référence et son EGF. Pour chaque station du réseau RAP à Nice et à Menton (en jaune) sont représentés un accélérogramme correspondant à une réalisation « moyenne » et le spectre de réponse accélération-période moyen. Les spectres de réponse du petit séisme utilisé comme EGF sont représentés en bleu.

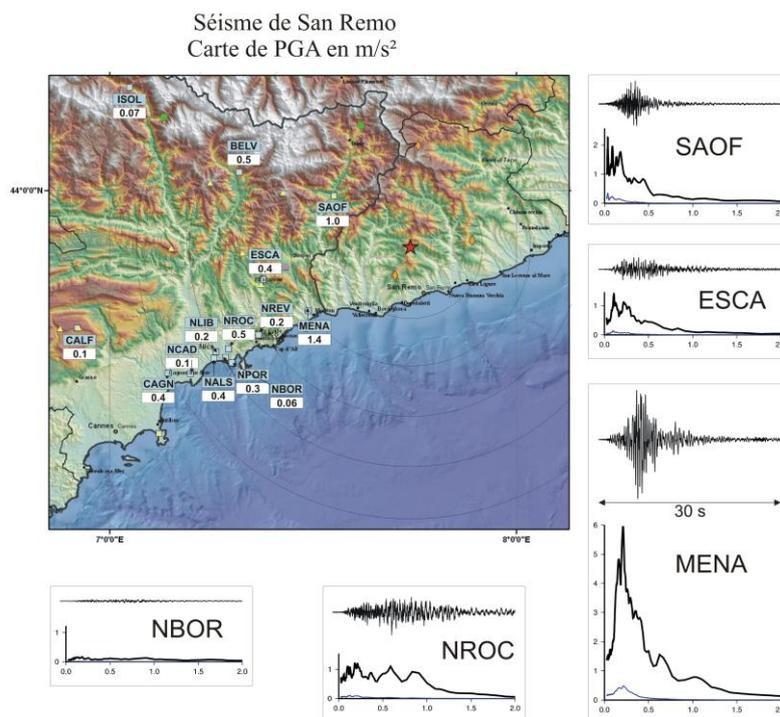


Figure 24: Simulation des mouvements forts du sol produits par le séisme de San Remo sous l'hypothèse d'une chute de contrainte identique pour le séisme de référence et son EGF. Pour chaque station du réseau RAP à Nice et à Menton sont représentés un accélérogramme correspondant à une réalisation « moyenne » et le spectre de réponse accélération-période moyen. Les spectres de réponse du petit séisme utilisé comme fonction de Green empirique sont représentés en bleu.

Cette étude à partir de trois scénarii permet de quantifier les accélérations attendues sur certains sites dans la région niçoise. La ville de Nice est un site particulièrement vulnérable, compte tenu des forts effets d'amplification de certains sites et de sa forte densité de population. Pour le séisme de Nice, comme pour celui de Blausasc, les accélérations maximales sont en effet obtenues pour des stations localisées dans son centre. Cependant, cette étude montre aussi que l'on ne doit pas sous estimer l'aléa sismique associé aux villages de l'arrière pays localisés près des failles actives. Pour le séisme de Blausasc, comme pour celui de San Remo, des forts niveaux d'accélération sont attendus dans ces zones. Enfin, un résultat intéressant de cette étude est de montrer que sur de nombreux sites les accélérations attendues pour le séisme de Blausasc de magnitude 5.7 sont supérieures à celles attendues pour le séisme de Nice et de San Remo (magnitude 6.3 et 6.2). Ces résultats montrent l'importance de prendre en compte différents types de scénarii sismiques.

APPROCHE NUMERIQUE-EMPIRIQUE 1D-3D

Cette approche consiste à :

- Prendre les simulations par fonction de Green empiriques d'un séisme important sur un site au rocher
- combiner ces simulations avec l'effet de site dû à la colonne de sol sous une station située sur un site sédimentaire.

Cette approche a l'ambition d'extrapoler les simulations obtenues par fonctions de Green empiriques à des sites non instrumentés en rajoutant l'effet de site à une dimension (1D).

Nous avons testé la validité de cette approche dans le contexte de la ville de Nice en utilisant les données du réseau RAP. La démarche suivante a été appliquée à deux séismes (séisme à Terre de Blausasc $M=3.8$, séisme en mer de Nice $M=4.6$) :

- Prendre le signal enregistré sur la station NBOR située au rocher
- Le combiner avec un effet de site 1D calculé (logiciel Cyberquake) à partir du modèle de sous-sol de la ville de Nice (CETE Méditerranée) pour obtenir un signal sur chaque station du réseau.
- Comparer sur chaque station les signaux obtenus avec les données du séisme réel enregistré.

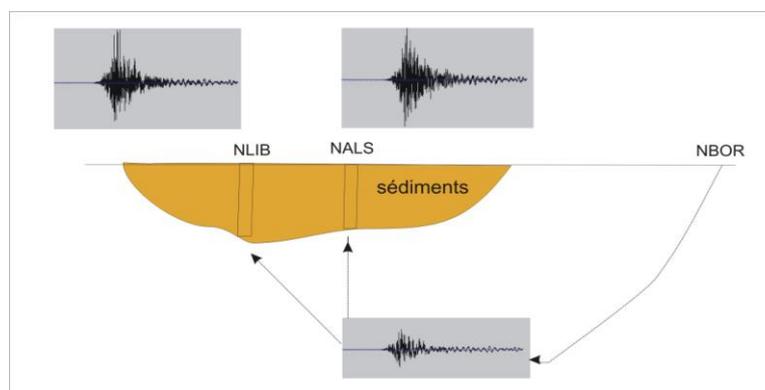


Figure 25: Principe de la modélisation utilisée. Le signal simulé à la station NBOR par la méthode de sommation des fonctions de Green empiriques est injecté à la base d'une colonne de sédiments représentant le sous-sol sous chaque station. L'effet de site 1D est calculé par une méthode linéaire simple.

Le but de ce travail était de tester la validité d'une extrapolation de nos simulations vers des points du département non dotés de capteurs sismologiques. Les résultats sont assez clairs : ils montrent que dans le cas de sites simples et bien connus, une modélisation à une dimension permet de rendre compte de la plupart des effets d'amplification observés, mais dans la majorité des cas (sites plus complexes et sous-sol mal connus), ces simulations sous-estiment fortement l'effet de site.

Cette étude montre que si l'on souhaite obtenir des informations plus denses sur les mouvements du sol attendus il est nécessaire de déployer une instrumentation plus importante sur le terrain. Un projet de recherche en cours (ANR QSHA) a pour but de comparer également nos résultats à des simulations de la propagation des ondes en 3 dimensions.

L'APPROCHE PUREMENT NUMERIQUE 3D

Les travaux présentés ici ont été motivés par la dynamique du projet PASSERELLE mais ils ont été financés en grande partie par le GIS Curare et l'ANR QSHA à travers le financement d'un post-doc (Victor Cruz, sous la direction de Jean Virieux).

La technique de modélisation de la propagation des ondes développée et utilisée est basée sur un schéma de différences finies en 3 dimensions (Cruz-Atienza et al, 2006). Le code permet d'obtenir des résultats stables et précis pour des milieux à topographie complexe, en incluant l'influence des milieux fluides (La mer dans le cas de Nice qui nous intéresse). Le milieu est supposé élastique.

Les simulations effectués à 1.5 Hz au maximum prennent en compte un milieu très simple avec une topographie et une bathymétrie complexes, ceci afin d'étudier l'influence de la couche d'eau et de la topographie sur la propagation des ondes.

Nous obtenons d'importantes amplifications des ondes (de 1 à 5) dues à la combinaison des effets du relief et des fréquences des ondes émises. Quand les fréquences augmentent, la couche d'eau influence notablement les effets d'amplification. On obtient une réduction de l'amplitude maximum des accélérations de à 0.8 dans les sites sous marins (Figure 26)

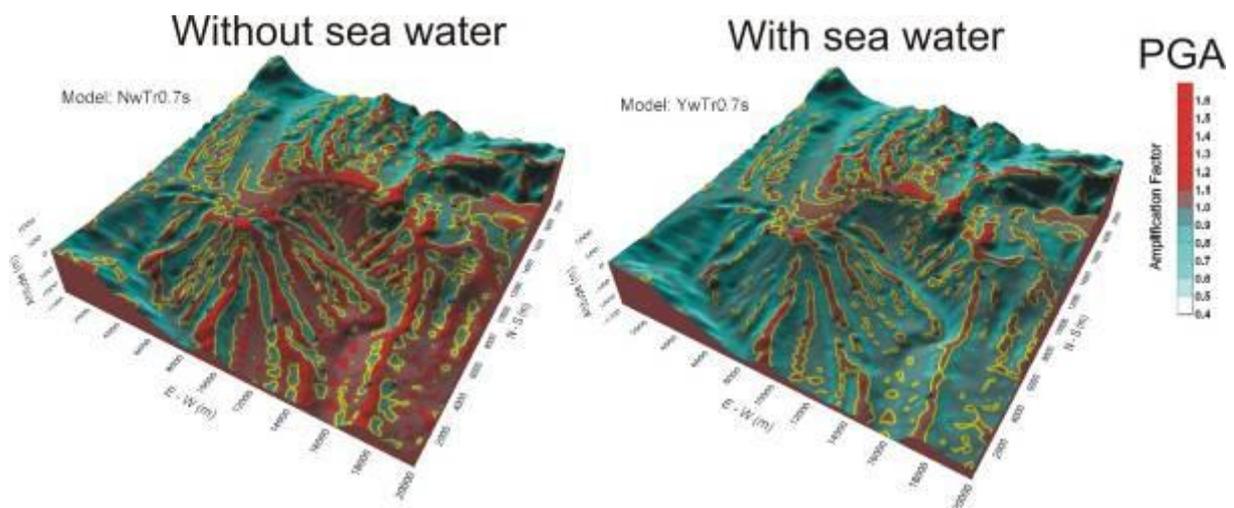


Figure 26: carte d'amplification du PGA pour un séisme de magnitude 4.5 à 4 km au sud du cap Ferrat à 6.5 km de profondeur.

PASSERELLE

Afin d'obtenir des modélisations plus réalistes, il est indispensable de prendre en compte des milieux plus complexes et des processus de rupture varies. Ces approches seront développées dans le programme QSHA supporté par l'ANR.

CONCLUSION

Les différentes méthodes mises en œuvre permettent de mieux estimer les mouvements du sol dans les Alpes maritimes. L'effort à faire est néanmoins encore important pour obtenir des valeurs réalistes dans une large bande de fréquence. En particulier, il sera nécessaire de prendre en compte les effets non linéaires dans les futures simulations.

Une comparaison précise des différentes méthodes est en cours. Elle fera l'objet d'une présentation au prochain congrès de l'AFPS en Juillet (Association Française du Génie parasismique).

B.5 Phénomènes induits : les glissements de terrains

(Coordinateur : Thomas Lebourg)

Le but de ce travail de recherche a été d'observer l'évolution d'un glissement de terrain par le couplage de mesures de tomographie électrique, piézométrie et pluviométrie. Le glissement de terrain considéré est celui du lieu-dit Pra de Julian dans la commune de Vence (Figure 27, Figure 28).

Afin de pouvoir analyser les variations de résistivité du sol (associés aux fluides) (Hack, 2000, Gourry et al., 2003, Garambois and al., 2002, Lebourg et Frappa, 2001), il nous a fallu acquérir puis traiter les différentes données afin de pouvoir corrélérer temporellement les variables physiques et géoélectriques en 2D.

Dans un premier temps nous avons réalisé une étude globale du glissement, avec la définition des signes d'instabilités, des limites du glissement et des causes hydrologiques et rhéologiques rupturales. Ce travail nous a amené à mettre en place un système d'auscultation du glissement de terrain par mesure des variations de résistivité, que nous savons dépendre du degré de saturation et d'infiltration de l'eau dans le massif. L'eau étant reconnue dans ce cas comme étant le vecteur déclenchant du glissement, nous avons voulu connaître l'évolution de ce dernier au cours des différentes phases de crues et d'étiages du massif.

Dans un deuxième temps, nous avons travaillé sur l'inversion des données géophysiques et leur représentativité statistique. Ces dernières permettent d'obtenir une représentation des valeurs de résistivité en fonction de la profondeur en deux dimensions à un instant t et $t + n$ (n étant fixé à 24h).



Figure 27: Glissement de terrain de Vence



Niches d'arrachement du
front du glissement

Figure 28 : Glissement de terrain de Vence (niches d'arrachement du front du glissement).

Etude temporelle des variations de résistivité électriques et couplage avec des données hydrogéologiques.

Une partie de ce travail consiste à étudier l'influence des eaux de pluie sur l'évolution des valeurs de résistivité électrique du sous-sol. Le site de Vence bénéficie d'une surveillance pluviométrique et piézométriques et les données nous sont envoyées par Internet depuis le mois de septembre 2006. Les relevés sont réguliers et permettent un suivi de la pluviométrie et du niveau de la nappe d'eau sous-jacente. Les piézomètres les plus proches du glissement de terrain sont ceux notés D3 et C6i sur le plan de la Figure 29.

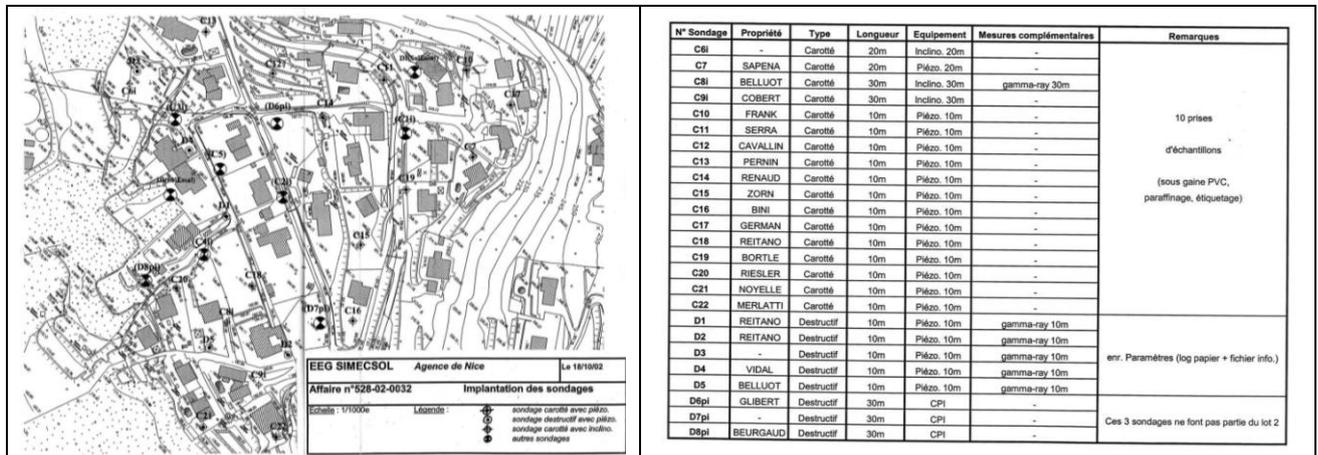


Figure 29 : carte de localisation des forages et liste des puits et piézomètres.

Les méthodes de tomographie électrique que nous avons employées pour imager les structures géologiques et les limites du glissement de Vence ont été réemployées afin de rechercher les éventuelles variations d'eau dans le massif instable. Nous nous sommes concentré sur la variabilité journalière des niveaux d'eau dans le sous sol, car c'est l'eau présente dans la masse géologique qui déclenche, accélère et favorise le mouvement du glissement de Vence (Lebourg et al., 2007, Jomard et al., 2006a). La tomographie électrique mesure la résistivité en différents points du sous-sol, or les formations géologiques se distinguent par leur résistivité en fonction de leur nature (lithologie, porosité, compaction...) la composition et la teneur en eau qu'elles contiennent. La teneur en eau est le seul facteur qui peut entraîner des variations de résistivité observables à l'échelle journalière, et même horaire, dans les formations perméables ou dans les zones où l'eau peut circuler (fractures ou surface de rupture). Les questions auxquelles nous avons voulu répondre sont les suivantes : Peut-on établir un couplage entre un modèle de variation temporelle de résistivité du sous-sol et sa teneur en eau ? Et surtout peut on associer au mouvement de terrain, une variable précurseur qui donne un signal « d'alarme » prérupturel : un niveau d'eau théorique d'instabilité vs un signal électrique ? (Jomard et al., 2006b)

La solution envisagée pour répondre à la question dégagee par cette problématique a nécessité les moyens suivants :

- la mise en place d'une flûte électrique permanente de 24 électrodes et sur 120m de long,
- Des données hydrogéologiques : précipitations, variations des niveaux piézométriques.

Nous avons au cours de cette année obtenu de très nombreuses données de tomographie électrique et nous sommes encore dans une phase de post traitement des données (Loke et Barker, 1996). Actuellement nous avons élaboré une chaîne de traitement automatique afin de pouvoir à distance traiter, interpréter et discuter les résultats au jour le jour. Nous vous présentons ici le type de résultat obtenu qui nécessite encore des validations en terme de

PASSERELLE

couplage hydrogéologique et pseudosection de résistivité (Lapenna et al., 2003, Lebourg et al., 2005).

5.1.3. Crises du 19 au 21 et du 23 octobre 2006

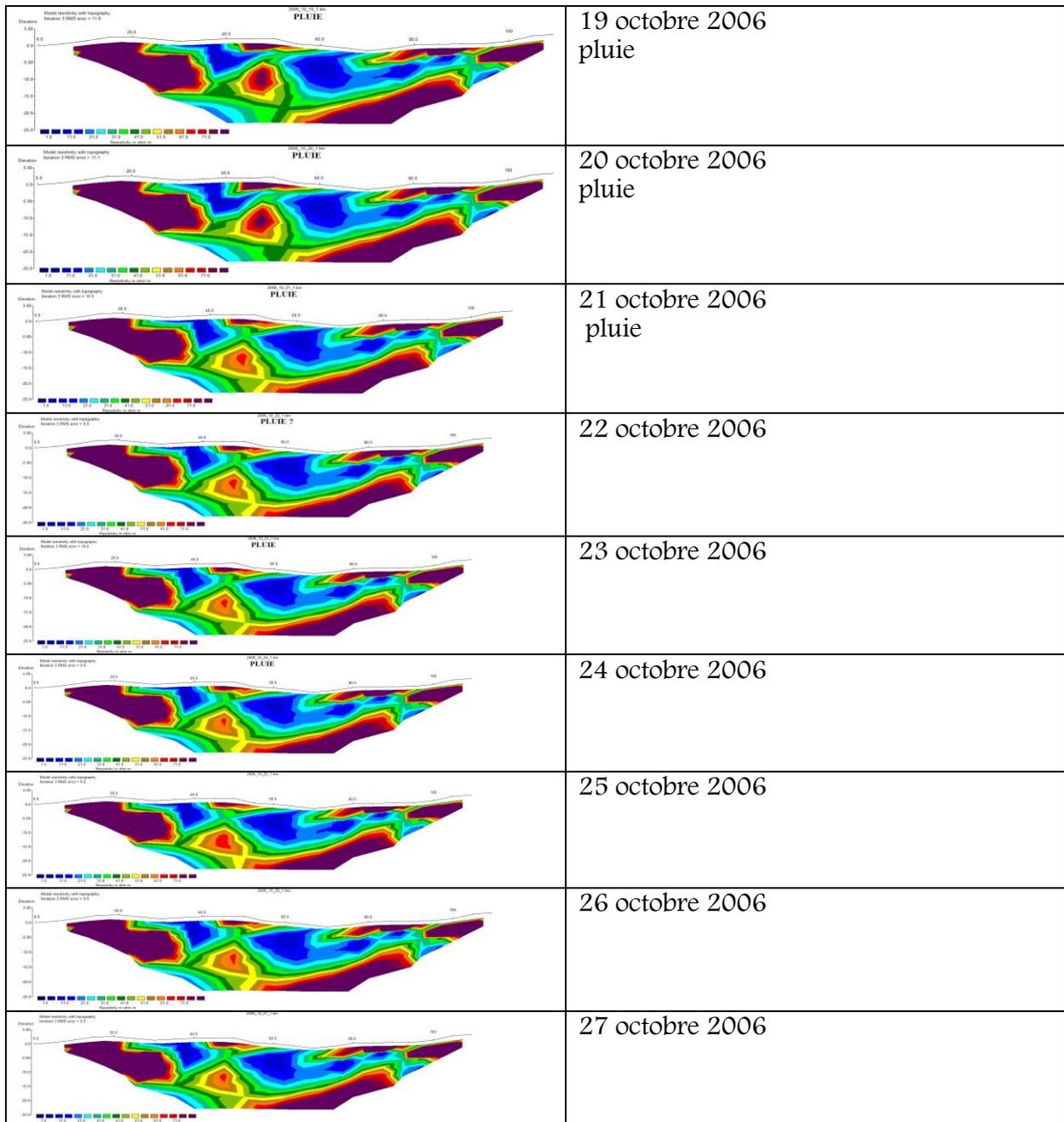


Figure 30 : Profils successifs de tomographie électriques entre le 19 octobre et le 27 octobre.

Neuf profils de tomographie électriques sont présentés (Figure 30) entre le 19 octobre et le 27 octobre. Les profils montrent une légère variation de résistivité qui est très difficilement quantifiable à l'œil nu.

Il est donc nécessaire de travailler sur les soustractions de matrices de données et sur le filtrage du bruit électrique. Nous avons donc envisagé de réaliser un traitement beaucoup rigoureux (quantitatif) en « jouant » sur les variables statistiques caractérisant chaque instant de mesure (600 points mesures par jours).

PASSERELLE

Les premiers résultats nous permettent de mettre en évidence de fortes corrélations entre le signal de résistivité et la variation du niveau piézométrique induit par la pluviométrie (Figure 31, Figure 32).

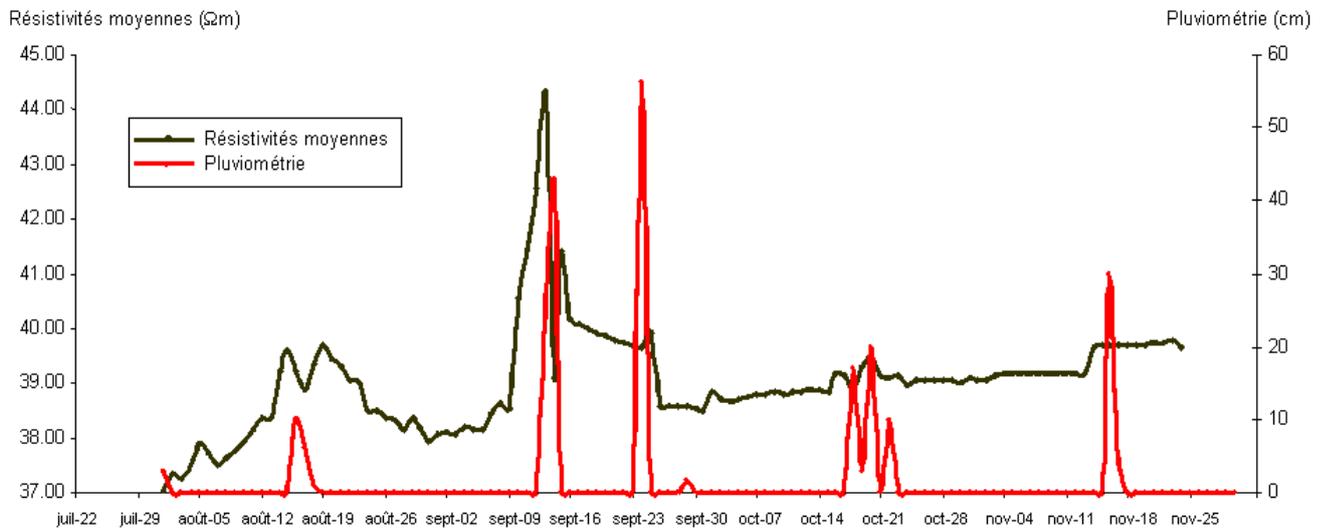


Figure 31: Relation entre la pluviométrie et la variation de résistivités moyenne entre une date de référence et le jour considéré.

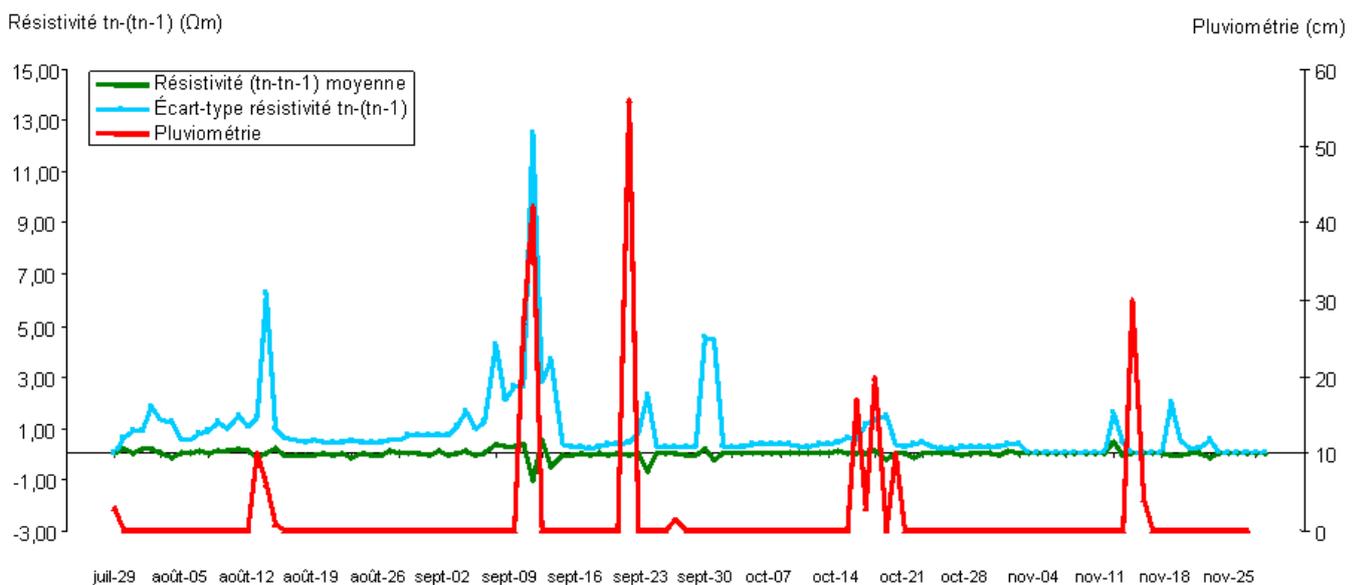


Figure 32: Relation entre la pluviométrie et la variation de résistivités moyenne entre deux jours consécutifs.

Les résultats sont très prometteurs tant sur le plan de la compréhension des systèmes de chenalisation journaliers de l'eau dans la masse géologique, que du point de vue auscultation et du système d'alerte. Nous allons dans les semaines à venir mettre en place en complément à cette surveillance une mesure de déplacement tachéométrique hebdomadaire (Lebourg T. et El Bedoui S., 2006 et 2007). Les objectifs sont maintenant de rechercher le signal résistivité/eau max et/ou limite versus l'initiation du déplacement.

CONCLUSION

PASSERELLE

Cette partie du projet PASSERELLE a eu lieu en étroite collaboration avec la mairie de Vence. Les résultats de cette collaboration ont été présentés et discutés lors de la dernière réunion d'échange avec les gestionnaires des risques.

Un suivi temporel de tomographie électrique de la base du glissement de terrain sur la période de juin 2006 à mai 2007 a été proposé à la mairie.

Cette étude a pour objectif de suivre le niveau piézométrique qui est le reflet de la quantité d'eau qui transite dans la masse géologique. Cette information est capitale, car dans le cadre de ce mouvement de terrain, c'est l'eau qui est considérée comme le principal facteur d'instabilité. Grâce à cette méthode nous pourrions suivre quotidiennement le niveau d'eau via des mesures de résistivité calibrées sur l'évolution du niveau piézométrique. La réalisation d'un modèle de stabilité avec des critères de niveau d'eau critique permettra d'anticiper les mouvements potentiels, mais ceci ne sera réalisable qu'après une période de calibration annuelle qui mettra en évidence les flux saisonniers et leurs réponses résistives.

Nous avons déjà réalisé l'installation du site avec la mise en place d'une flûte électrique (24 connecteurs à 5 m d'espacement) permanente et un local (cabane en bois) dans lequel nous avons installé un résistivimètre syscal Switch R1plus, un système de batterie, PC, boîtés de commande et de pilotage programmés). » »

La collaboration avec la Mairie de Vence est maintenant formelle, des réunions ont lieu tous les 6 mois, et nous allons fin janvier mettre en place une auscultation tachéométrique.

CONCLUSION GENERALE

Ce projet original devait remplir deux objectifs très différents en même temps :

- créer un lien et une synergie entre des acteurs du risque naturel appartenant à des mondes très différents : les chercheurs appartenant à des organismes scientifiques (CNRS, IRD, Université, CETE, LCPC) et les gestionnaires opérationnels des risques appartenant à des organismes variés mais ayant déjà l'habitude de se côtoyer dans des réunions (Préfecture, DDE, Conseil général, conseil régional, communautés d'agglomération, mairies ...).
- réaliser un projet scientifique de qualité qui traite des aspects de l'aléa sismique et gravitaire qui ont un intérêt pour les opérationnels.

Durant ce projet, nous avons réalisé des travaux de recherche pointus sur la détection de faille, la microsismicité, les effets de site, la simulation des mouvements du sol dus à un séisme et le suivi temporel d'un glissement de terrain. Les principaux résultats obtenus sont :

- la mise en évidence d'un segment de faille supposé actif dans la basse vallée du Var fortement urbanisée ;
- l'absence de microsismicité permanente détectable sur ce segment de faille (ce qui ne veut pas dire que ce segment soit sismiquement inactif) ;
- la mesure d'effets de site notables dans la vallée du Var ;
- l'estimation des accélérations du sol qui seraient produites par 3 séismes notables dans le département ;
- la mise en évidence des variations temporelles de teneur en eau sur un glissement de terrain important du département.

Le projet a été suivi du début à la fin par un groupe d'une trentaine de personnes constitué de chercheurs et de gestionnaires des risques. Ce groupe a pu comprendre les objectifs, discuter de l'intérêt des actions, comprendre les besoins de chercheurs pour leurs études, comprendre les attentes des opérationnels.

Grâce à ce projet, ces deux mondes se sont rapprochés. Les liens sont maintenant créés même si leur pérennisation n'est pas tout à fait assurée.

Bibliographie citée dans le texte

- Beeler, N. M., Wong, T. F., & Hickman, S. H. , 2003. On the expected relationships between apparent stress, static stress drop, effective shear fracture energy and seismic efficiency. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93: 1381-1389.
- Borcherdt R.-D. and J.-F. Gibbs (1970). Effects of local geological conditions in the San Francisco Bay region on ground motions and the intensities of the 906 earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, 467-500.
- Capon, J. (1969). High-resolution frequency - wave number spectrum analysis. *Proc. IEEE*, 57, 1408-1418.
- Courboulex F., Larroque C., Deschamps A., Gélis C., Charreau J. & Stéphan J.F., 2003. An unknown active fault revealed by microseismicity in the south-east of France. *Geophys. Res. Lett.*, 30(15), 1782, doi:10.1029/2003GL017171.
- Duval A.-M., 1994. Détermination de la réponse d'un site aux séismes à l'aide du bruit de fond, PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France.
- Duval A.-M., Méneroud J.-P. & Vidal S., 1999. La méthode « H/V bruit de fond » et ses applications aux études d'effet de site , Monographies d'Etudes et Recherches du réseau des LPC 96-97, pp 22-25 (document n°502 897), LCPC Publisher, Paris, France.
- Garambois, S., Sénéchal, P., Perroud, H., On the use of combined geophysical methods to assess water content and water conductivity of near-surface formations, *Journal of hydrology*, 259, 32-48, 2002.
- Gourry, J.-C., F. Vermeersch, M. Garcin, and D. Giot, Contribution of geophysics to the study of alluvial deposits: a case study in the Val d'Avaray area of the River Loire, France, *Journal of Applied Geophysics*, 54, 35-49, 2003.
- Griffiths and R.D Barker., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226
- Guglielmi, Y. (1993). Hydrogéologie des aquifères plio-quaternaires de la basse vallée du Var. Contrôle néotectonique des écoulements souterrains l'outil, chimique et isotopique, pour l'étude du fonctionnement et de la vulnérabilité des aquifères. Thèse de l'université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.
- Hack, R., *Geophysics for slope stability, Surveys in geophysics*, 21, 423-448, 2000.
- Jomard H., Lebourg T., Binet S., Tric E. and Hernandez M., 2006b. Characterisation of an internal slope movement structure by hydro geophysical surveying. *Terra Nova*, in press.
- Jomard H., Lebourg T., et Tric E., 2006a. Identification of the gravitational discontinuity in weathered gneiss by geophysical survey: La Clapiere landslide (France). *Applied Geophysics*, in press.
- Kanamori, H., & Rivera, L., 2004. Static and Dynamic Scaling Relations for Earthquakes and their implications for Rupture Speed and Stress Drop: *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 94: 314-319.
- Konno K. and T. Ohmachi (1998). Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors. *Bull. seism. Soc. Am.*, 88-1, 228-241.
- Kvaerna T. and F. Ringdahl (1986). Stability of various f-k estimation techniques, *Semiannual technical summary*, 1 October 2005 - 31 March 1986.
- Lapenna, V., Lorenzo, P., Perrone, A., Piscitelli, S., High resolution geoelectrical tomographies in the study of Giarrossa Landslide (Southern Italy), *Bull. Eng. Geol. Env.*, 62, 259-268, 2003.

PASSERELLE

- Lebourg et M. Frappa, (2001). Mesures géophysiques pour l'analyse des glissements de terrain. Revue Française de Géotechnique. Numéro spécial consacré aux "mouvements de versant", Vol 96, pp. 33-40.
- Lebourg T., Binet S., Tric E., Jomard H., and El Bedoui S. (2005). Geophysical survey to estimate the 3D sliding surface and the 4D evolution of the water pressure on part of a Deep Seated Landslide. Terra Nova, vol 17, issue 5, pp 339-347.
- Lebourg T., Jomard H., Guglielmi Y. and Tric E., 2007 Electrical imaging of the sliding geometry and fluids associated to a large rockslide. Accepted after revision for Applied Geophysics.
- Lebourg T. and El Bedoui S., 2006. Etude multi paramétrique d'un glissement de terrain: suivi géophysique temporel du glissement observatoire de Vence (Alpes Maritimes, France). Réunion des Sciences de la Terre, Dijon.
- Lebourg T. and El Bedoui S., 2006. Multi parametric study of the "Vence" landslide, at different time and spatial scales (Alpes-Maritimes, France).EUG, Vienne.
- NORSAR Scientific Report, 1-86/87, Kjeller, Norway, 29-40.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Quarterly Report, Vol. 30 (1), RTRI, Japan.
- Nogoshi, M and T. Igarashi. (1971). On the amplitude characteristics of microtremor, Jour. Seism. Soc. Japan, 23,264-280.
- Ohrnberger, M., Schissele, E., Cornou, C., Wathelet, M., Savvaidis, A., Sherbaum, F., Jongmans, D. and F. Kind. (2004). Microtremor array measurements for site effect investigations: comparison of analysis methods for field data crosschecked by simulated wavefields, Prc 13 WCEE, Vancouver, Canada, paper n° 0940.
- Ohrnberger, M., Schissele, E., Cornou, C., Bonnefoy-Claudet, S., Wathelet, M., Savvaidis, A., Sherbaum, F., and D. Jongmans. (2004). Frequency-wavenumber and spatial autocorrelation methods for dispersion curve determination from ambient vibration recordings, Prc 13 WCEE, Vancouver, Canada, paper n° 0946.
- Semblat J-F., Duval A-M & Dangla P., 2000. Numerical analysis of seismic wave amplification in Nice (France) and comparisons with experiments, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 19, 347-362.
- Sambridge, M. (1999). Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm I. Searching a parameter space. J. Geophys. Res.,103, 4839-4878.
- SESAME European project n° EVG1-CT-2000-00026 (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Report n°D23.12, <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>.
- Steidl, J.-H., Tumarkin A.-G. and R.-J. Archuleta (1996). What is a reference site ?. Bull. Seism. Soc. Am., 86 (6), 1733-1748.
- Wathelet, M. (2005). Array recordings of ambient vibrations: surface wave inversion. Ph.D. Thésis, Liège University, May 12, 2005.

VALORISATION DES TRAVAUX

Articles dans des revues internationales

- Kohrs-Sansorny C., F. Courboux, M. Bour and A. Deschamps, 2005: A two-stage method for ground-motion simulation using stochastic summation of small earthquakes, [Bul. Seismol. Soc. Am.](#), 95, 1387-1400.
- F. Courboux, C. Larroque, A. Deschamps, C. Kohrs-Sansorny, C. Gélis, J.L. Got, J. Charreau, J.F. Stéphan, N. Béthoux, J. Virieux, D. Brunel, C. Maron, A.M. Duval, S. Vidal, and P. Mondielli , Seismic hazard on the French Riviera: observations , interpretations and simulations, Geophys. J. Int, accepté.

Thèse et rapports de stage

Cruz-Atienza, V, Rupture Dynamique des Failles Non-Planaires en Différences Finies, Thèse de l'Université de Nice-Sophia Antipolis soutenue le 5 Mai 2006, 145p.

Kohrs-Sansorny C. : Modélisation de la source sismique et sommation de petits séismes pour l'évaluation des mouvements forts : application à une meilleure estimation de l'aléa sismique dans le sud-est de la France. Thèse de l'Université de Nice-Sophia Antipolis soutenue le 31 Janvier 2005, 168p.

Manchuel K., Rapport de stage de Master 1 : Évaluation des effets de sites lithologiques dans la basse vallée du Var par l'analyse du bruit de fond sismique et corrélations géotechniques. Juin 2005.

Noel E., rapport de stage de Licence 3ème année, Université de Nice/Sophia Antipolis : simulation d'accélérogrammes en différents points de la ville de Nice, Mai 2006.

Langlaude P, Mise en place d'outils de traitement sismologique et traitement des séismes enregistrés dans la vallée du Var, 2006.

Autres rapports

E. Bertrand, K. Manchuel, S. Vidal, A.-M. Duval, Evaluation des effets de sites lithologiques dans la basse vallée du Var par l'analyse du bruit de fond sismique, rapport LCPC, 2005

Cahier de suivi du projet PASSERELLE numéro 1, Mars 2004, 18p,

Cahier de suivi du projet PASSERELLE numéro 2, septembre 2005, 17p

Cahier de suivi du projet PASSERELLE numéro 3, octobre 2006, 11p.,

Congrès et workshops

Bertrand E., Manchuel K. and Duval A.M., SEISMOLOGICAL MEASUREMENTS FOR SITE EFFECT INVESTIGATION IN THE VAR VALLEY, NICE, FRANCE. Congrès IASPEI, Santiago du Chili, Octobre 2005.

Bertrand E., A.-M. Duval and S. Vidal, Seismological measurements for site effect investigation in the Var valley, Nice, France, ESG2006, Grenoble, France

Courboux F., Kohrs-Sansorny, C., Simulation de séismes de magnitude modérée dans la ville de Nice, journées scientifiques et Techniques du RAP, Les Houches, Mai 2006.

Cruz-Atienza, V. M.; Virieux, J.; Aochi, H.. 3D nonplanar dynamic rupture in a heterogeneous medium: the pre-stress effect, European Geosciences Union, Vienne, Autriche, Avril 2006.

PASSERELLE

- Deschamps A., Maron C., The futur of the french broad band seismological network, Earthquake Monitoring and Earthquake Risk in the Western Mediterranean, San Fernando, Mai 2006.
- Kohrs-Sansorny C., Courboux F. , Cruz-Atienza V., and Virieux J., Simulation des mouvements du sol par une méthode de différences finies 3D et une méthode de sommation de fonctions de Green empiriques : comparaisons et tests de sensibilité, colloque de l'AFPS, Paris, Juillet 2007.
- Kohrs-Sansorny, C., F. Courboux and E. Bertrand. Simulation de séismes de magnitude modérée dans le sud-est de la France à partir d'une méthode de sommation stochastique de petits séismes, RST, Dijon, 4-8 Dec 2006.
- Kohrs-Sansorny, C., F. Courboux, E. Bertrand and A. Deschamps. Small earthquakes summation for a better estimation of the seismic hazard in the south-east of France. European Geosciences Union, Vienne, Autriche, Avril 2006.
- Kohrs-Sansorny, C., F. Courboux, M. Bour, A. Deschamps and E. Bertrand. Sommation de petits séismes pour la simulation des mouvements du sol : application à des données RAP dans la ville de Nice. Journées RAP, Carry le Rouet, Juin 2004.
- Kohrs-Sansorny, C., F. Courboux, M. Bour, A. Deschamps and E. Bertrand. Simulation of moderate sized earthquakes. 1st General Assembly of the European Geosciences Union, Nice, Avril 2004.
- Larroque C., Courboux F., Delouis B., Deverchère J., Migeon S. : Aléa sismique à la jonction Alpes-Bassin Ligure, Où sera le prochain séisme de 1887 ? Colloque sur les sciences et technologies marines du Futur, 18-18 Mai 2005, Marseille.
- Lebourg T. and El Bedoui S.. Etude multi paramétrique d'un glissement de terrain: suivi géophysique temporel du glissement observatoire de Vence (Alpes Maritimes, France). Réunion des Sciences de la Terre, RST, Dijon, 4-8 Dec 2006.
- Lebourg T. and El Bedoui S., 2006. Multi parametric study of the "Vence" landslide, at different time and spatial scales (Alpes-Maritimes, France). European Geosciences Union, Vienne, Autriche, Avril 2006.
- Maron C., New developments in the SE France seismological network for real time transmission, MEREDIAN regional meeting, Prague, Czech Republic, April 6-8, 2006.

Actions de valorisation

- Dubar M. - Les terrasses quaternaires de la basse vallée du Var: eustatisme et néotectonique en bordure de l'arc de Nice. Conférence à l'IUFM, 10 avril 2004 à Nice
- Courboux F. , Risque sismique et tsunamigénique dans les Alpes Maritimes, conférence au SLUPT (Université pour tous), Avril 2006.

PASSERELLE

Virieux J. : le risque sismique en Méditerranée, l'instrumentation sismique, workshop « Méditerranée, le partage du savoir », Casablanca, 7 septembre 2005.

Virieux J. La cote d'Azur, une région touristique de contrastes géographiques et de risques naturels, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Port la nouvelle, 18 Mars 2005.

Virieux Jean: présentation des prospectives en matière de calcul dans le domaine des sciences de la terre, CEA (Cadarache 16.02.06).

Virieux J., Bruxelles 31.05.06 : les risques géologiques dans le cadre des travaux préparatoires du 7^e PCRD pour les activités de recherche, de développement technologique et de démonstration.

Dans le cadre des réunions d'échange PASSERELLE, des présentations orales ont été construites par les chercheurs dans une forme la plus abordable possible par l'ensemble des participants au projet. **Treize présentations orales ont été réalisées** sur les thèmes suivants :

- Détection et imagerie des failles par B. Delouis et C. Larroque (2004, 2005, 2006)
- Enregistrements des séismes actuels par Anne Deschamps (2004, 2005)
- Mesure des effets de site sismologiques par E. Bertrand (2004, 2005, 2006)
- Simulation de mouvements forts par F. Courboux et C. Kohrs-Sansorny (2004, 2005, 2006)
- Glissements de terrain par T. Lebourg (2004, 2006)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES PRÉVUES

Ground motion simulation in the city of Nice using empirical Green's function summation, by Kohrs-Sansorny C., Courboux F. and E. Bertrand.

Multi parametric study of the "Vence" landslide, at different time and spatial scales (Alpes-Maritimes, France) by Lebourg T. and El Bedoui S.

Simulation des mouvements du sol par une méthode de différences finies 3D et une méthode de sommation de fonctions de Green empiriques : comparaisons et tests de sensibilité by Kohrs-Sansorny C., Courboux F., Cruz-Atienza V., and Virieux J.