



INVITATION

Jeudi 11 Octobre 2018
9 h 30 – 17h00
CNAM – Amphi J.B Say
292 rue St-Martin, 75003 Paris

Séance technique commune AFPS/CFGI

« RISQUE SISMIQUE, ENTRE GEOLOGIE ET GENIE PARASISMIQUE »

*Séance technique coordonnée par Guilhem Deveze pour le CFGI
et Jean-François Semblat pour l'AFPS*

Le Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement et l'Association Française de Génie Parasismique co-organisent le 11 octobre une journée technique sur le thème du risque sismique, depuis la délicate prédiction de l'activité sismique d'une faille sur les grandes périodes de retour jusqu'aux très instructives missions de terrain à la suite des gros séismes mondiaux. L'intérêt de cette journée technique est en effet la mise en relation des professionnels œuvrant dans le génie géologique et des professionnels du génie parasismique. La journée sera rythmée par de nombreuses interventions sur des exemples concrets illustrant les méthodes de cartographie de l'aléa local, l'établissement des plans de prévention et les mouvements de terrains déclenchés par les séismes.

Risque sismique, entre géologie et génie parasismique

9h30-9h40 : Introduction	Guilhem Devèze, Jean-François Semblat
9h40 -10h15 : Méthodologie de caractérisation des failles autour des installations à risques spéciaux	Kevin Manchuel, EDF
10h15- 10h50 : Tectonique active à Taiwan	Benoit Deffontaines, UPEM
10h50 -11h25 : Projet Sismogel, sur le sujet des indices périglaciaires	Marianne Font, Université de Caen-Normandie
11h25 - 12h00 : Evaluation multirisque des phénomènes naturels mise en œuvre en Haïti dans le cadre de 2 zonages communaux	Monique Terrier, BRGM
12h-14h Déjeuner libre	

14h-14h35 : Aléa sismique dans la zone d'Oulan-Bator, capitale de la Mongolie, zone de déformation modérée. Une décennie de collecte et d'analyse de données	Antoine Schlupp, IPGS
14h35- 15h10 : Réactivation de mouvements de terrain sous séisme en Turquie : projet Marsite	Céline Bourdeau, IFSTTAR
15h10-15h45 : Présentation autour de l'intérêt des missions Post sismiques, illustrées par l'utilisation des données enregistrées et des post traitements	Paola Traversa, EDF
15h45 - 16h20 : Présentation valorisant AFPS 2020, par exemple sur la liquéfaction avec ouverture vers le PN Isolate	Emmanuel Javelaud, EDF
16h20 – 16h30 : Conclusion	

Méthodologie de caractérisation des failles autour des installations à risques spéciaux

Kevin Manchuel Electricité de France DIPNN/DI/TEGG/ Pôle aléa sismique

Dans les études d'aléa sismique, qu'elles soient menées dans un cadre déterministe ou probabiliste, les informations relatives aux failles constituent une des données d'entrée majeures. Elles entrent en effet en jeu dans la constitution des zonages sismotectonique et, pour les études PSHA, permettent de réaliser des calculs à partir de modèles par faille. La France se situe dans un contexte tectonique intraplaque, où les vitesses de déformation géologique sont très faibles (globalement inférieur à 0.5 mm/an), ce qui rend difficile l'identification et la caractérisation des failles, pour lesquelles les marqueurs sont effacé par les processus de surface. L'étude des failles nécessite, dans de tels contextes, la mise en œuvre d'approches pluridisciplinaires combinant notamment les données de géologie, géophysique, tectonique et sismologie, pour lesquelles les processus de traitement et d'analyse sont encore au cœur de problématiques de R&D. Un élément clé est l'identification et la connaissance des failles actives, même s'il n'existe pas aujourd'hui de consensus sur la définition de ces structures en domaine de déformation lente..."

Tectonique active à Taiwan

*Benoît Deffontaines (Pr) Université Paris-Est - LASTIG-LAREG IGN-UPEM - LIA CNRS-MOST N°536
France-Taiwan, (benoit.deffontaines@univ-mlv.fr)*

Plusieurs nouvelles méthodes permettent maintenant de localiser, caractériser et quantifier précisément les failles actives sur le terrain (Deffontaines et al., 2016 et 2018).

Les drones (sUAS) permettent réellement d'améliorer la localisation des failles affectant la surface topographique et d'obtenir la géométrie détaillée du champ de fracture. En effet, à partir de techniques de photogrammétrie ou d'acquisition Lidar, il est maintenant possible de construire des MNT à résolution planimétrique centimétrique avec un ΔZ décimétrique. Une interprétation morpho-structurale classique de ce MNT haute résolution est ensuite combinée par géo-référencement aux données interférométriques radar spatial (PSInSAR) et des stations fixes GPS révélant les failles actives. Cela permet non seulement de préciser la localisation du champ de fracture actif mais aussi de le caractériser et de quantifier les déformations (inter-sismique si absence de séisme) durant la période d'observation satellitale radar.

Par ailleurs, les comparaisons de nivellement (mesure des déformations à plus long terme - 60 ans pour Taiwan) permettent même, par interpolation des déformations inter-sismique (GPS), de déterminer les déformations co-sismiques des séismes majeurs tenus pendant la période d'enregistrement des nivellements.

Ainsi, on constate que la zone de suture de la Vallée Longitudinale (E Taiwan) présente des déformations co-sismiques et inter-sismiques localement bien différentes tant en magnitude qu'en direction.

Cette approche pose la question des magnitudes et des directions des déformations actives pendant le cycle sismique (continuité ?, homogénéité ?, simplicité apparente de la déformation livrée par les données GPS actuelle ?...). Cela permet aussi d'expliquer une partie du différentiel entre les déformations à court et long terme (celles déduites des séries géologiques) et peut être aussi de remettre en cause certains principes établis.

Références bibliographiques:

1. **Benoît Deffontaines**, Kuo-Jen Chang, Johann Champenois, Bénédicte Fruneau, Erwan Pathier, Jyr-Ching Hu, Shih-Ting Lu & Yen-Chiu Liu (2016): Active interseismic shallow deformation of the Pingting terraces (Longitudinal Valley – Eastern Taiwan) from UAV high-resolution topographic data combined with InSAR time series, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2016.1181678>.
2. **Benoît Deffontaines**, Kuo-Jen Chang, Johann Champenois, Kuan-Chuan Lin, Chyi-Tyi Lee, Rou-Fei Chen, Jyr-Ching Hu, and Samuel Magalhaes, (2018). Active tectonics of the onshore Hengchun Fault using UAS DSM combined with ALOS PS-InSAR time series (Southern Taiwan) (discussion paper, doi:10.5194/nhess-2017-55) - *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 829–845, 2018, <https://doi.org/10.5194/nhess-18-829-2018>.

Projet Sismogel- déformation des sols d'origine périglaciaire et sismique : une approche expérimentale

Marianne Font¹, Pascal Bertran^{2,3}, Arnaud Giret¹, Deborah Sicilia⁴ et Kevin Manche⁴

¹Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, M2C, 14000 Caen, France

²Inrap, 140 avenue du Maréchal Leclerc, 33130 Bègles, France

³PACEA, bâtiment B18, allée Geoffroy-Saint-Hilaire, 33415 Pessac, France

⁴EDF, TEGG/Service Géologique Géotechnique, 905 Avenue du Camp de Menthe, 13097 Aix-en-Provence (marianne.font@unicaen.fr)

Les observations néotectoniques et paléosismiques en France métropolitaines se multiplient et apportent potentiellement une double information dans la détermination de l'aléa sismique : d'une part elles donnent un éclairage sur les déformations récentes et actuelles (néotectonique), d'autre part elles permettent d'allonger vers le passé la fenêtre temporelle des catalogues de sismicité (paléoséismes).

Pour une assez grande partie du territoire français, les observations de terrains déformés peuvent être confondues avec des déformations dues à d'autres phénomènes, notamment ceux liés aux périodes glaciaires. Il s'agit soit des déformations liées à la poussée des glaciers dans les zones concernées, soit des phénomènes induits par les alternances de gel et dégel dans les zones froides non recouvertes par les glaces. En France, il existe de nombreuses figures d'origine indubitablement périglaciaire d'âge Pléistocène, comme des pseudomorphoses de coins de glace et des coins à remplissage sableux éolien.

Des déformations de sédiments non consolidés provoquées par la liquéfaction et/ou la fracturation hydraulique associée à la fluidisation ont été décrites dans de nombreux contextes et sont largement

utilisées en paléosismologie pour identifier l'épicentre d'anciens séismes et pour définir leur magnitude à partir de l'enregistrement géologique. Des figures de liquéfaction et de fluidisation ont également été rapportées par de nombreux auteurs dans des contextes périglaciaires. Différentes hypothèses ont été proposées pour expliquer la genèse de ces figures, en particulier la fonte rapide d'un pergélisol riche en glace (*periglacial load casting*) ou le regel d'une poche de sédiment comprise entre des couches gelées ou imperméables.

Il apparaît, au vu du contexte tectonique français actuel (taux de déformation faible de l'ordre de 0,5 mm/an hors Alpes et Pyrénées) et de l'histoire glaciaire du territoire, que la discrimination entre les déformations d'origine périglaciaire et celles d'origine tectonique est une problématique importante dans l'optique de diminuer les incertitudes dans les estimations d'aléa sismique.

La vérification expérimentale de l'hypothèse périglaciaire apparaît donc cruciale pour déterminer si les structures de déformation de sédiments non consolidés peuvent être utilisées comme un critère fiable pour l'identification des paléoséismes dans les régions affectées par des climats froids au cours du Pléistocène ou si, à l'inverse, elles peuvent témoigner de processus propres aux milieux périglaciaires. Pour documenter en détail le processus de liquéfaction et de fluidisation de couches sableuses et limoneuses associé à la formation de buttes de glace d'injection, des expériences ont été réalisées dans la plate-forme CryoEx de l'université de Caen dans le cadre du projet SISMOGEL associant EDF, l'Inrap et les universités de Bordeaux et de Caen.

Les expériences ont été conduites en chambre froide sur de grands modèles de sol pour documenter la genèse des structures liées à la fluidisation dans des sédiments granulaires sans cohésion en contexte périglaciaire. Les conditions expérimentales reproduisent la formation de buttes de glace (*frost blisters*) associée à l'augmentation de la pression d'eau interstitielle qui accompagne le regel d'une couche active sur pergélisol. Les principales structures obtenues consistent en dykes et sills sableux qui se sont formés quand l'augmentation de la pression d'eau interstitielle a dépassé un seuil critique et en des déformations ductiles créées par l'affaissement des sédiments au cours de la fonte de la glace d'injection. La combinaison des deux processus a donné localement naissance à des structures ressemblant à un diapir. En revanche, la fracturation hydraulique des sédiments le long des lits les moins perméables et la croissance de gros corps de glace tabulaires ne laisse que peu de traces après le dégel des sédiments. De même, la dilatation du sable pendant la phase d'augmentation de la pression d'eau interstitielle puis sa re-sédimentation lorsque la pression décroît ne crée aucune déformation visible.

Les dykes et les sills sableux générés par l'expérience sont similaires à ceux décrits dans certains sites pléistocènes d'Aquitaine. Les déformations en diapirs de hauteur pluri-décimétrique qui recouvrent typiquement la couche à dykes et sills sableux dans les formations pléistocènes n'ont en revanche pas pu être reproduites dans l'expérience. Les déformations obtenues dans le cadre de l'expérience sont en effet d'ampleur limitée (quelques centimètres de hauteur), probablement à la fois parce que la durée de la phase d'injection était courte (1h 50mn) et parce que l'épaisseur des couches surmontant la glace d'injection était faible (5-7 cm).

Références bibliographiques :

1. Bertran P., Andrieux E., Antoine P., Deschodt L., Font M., Sicilia D., 2017. Pleistocene involutions and patterned ground in France: examples and analysis using a GIS database. *Permafrost and Periglacial Processes*, doi: 10.1002/ppp.1957
2. Bertran P., Andrieux E., Bateman M., Font M., Manchuel K., Sicilia D., 2018. Features caused by ground ice growth and decay in Late Pleistocene fluvial deposits, Paris Basin, France. *Geomorphology*

310, 84-101

3. Bertran P., M., Font, Giret A., M., Manchuel K., Sicilia D., 2018. Experimental soft-sediment deformation caused by fluidization and intrusive ice melt in sand, *Sedimentology*, doi: 10.1111/sed.12537

Evaluation multirisque des phénomènes naturels mise en œuvre en Haïti dans le cadre de 2 zonages communaux

Monique Terrier- BRGM (m.terrier@brgm.fr)

En raison de sa situation géographique et géodynamique, le territoire d'Haïti est exposé à des événements naturels exceptionnels, de nature géologique (séismes, mouvements de terrain), hydrologique (tsunamis, submersion marine, inondations par débordement de cours d'eau), et météorologique (cyclones, sécheresse). Pour rappel, la capitale du pays, Port-au-Prince, a subi, le 12 janvier 2010, un séisme de Magnitude 7 causant la mort de plus de 200 000 personnes. Les cyclones qui ont touché l'île en 2014 ont, quant à eux, causé la mort de près de 5 000 personnes. Les pluies torrentielles qui s'abattent sur les villes impactent les moyens de subsistance et entraînent des crises sanitaires. L'extension urbaine dans des zones de très forte vulnérabilité (pentes raides, lits mineurs des rivières, pieds de falaise...) aggrave l'ampleur des catastrophes. C'est dans ce contexte que, soutenu par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), une étude d'évaluation des risques naturels – sismique, mouvements de terrain, inondations et submersion marine - a été conduite sur les communes de Cap-Haïtien et de Ouanaminthe, dans le nord du pays. Les résultats ont été traduits sous la forme de Plans de Réduction des Risques Urbains (PRRU) sur chacune des deux communes, incluant des recommandations pour réduire le niveau de risque.

Ce travail a été réalisé en collaboration avec Signalert, bureau d'études français, co-traitant sur la composante inondation/submersion, et trois sous-traitants haïtiens : le Bureau des Mines et de l'Energie (BME), le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) et le Centre National d'Informations Géospatiales (CNIGS). Le projet a suivi une approche participative avec l'animation d'un groupe de travail sur chacune des deux communes, composé d'acteurs locaux en charge de l'aménagement du territoire et/ou de la prévention des risques naturels. La durée du projet était fixée à 12 mois, sachant qu'initialement les deux communes disposées d'une microzonage sismique des zones urbaines.

L'étude a été organisée en plusieurs phases successives :

- 1) cartographie événementielle des phénomènes naturels (historiques et actuels),
- 2) caractérisation des sources sismiques et évaluation de l'aléa sismique régional,
- 3) cartographie des aléas sismique, mouvements de terrain, inondations, submersion marine, à l'échelle 1/10 000,
- 4) cartographie des enjeux (répartition de la population, infrastructures linéaires, bâtiments sensibles ou stratégiques, évolution de l'occupation du sol),
- 5) prise en compte des différents aléas et des enjeux, traduction sous la forme d'un zonage multirisque à 1/10 000,
- 6) pour chaque zone, formulation de recommandations pour réduire le niveau de risque.

Une des difficultés du projet concernait l'évaluation multirisque des phénomènes naturels. A cette fin, chaque type de phénomène naturel a été traité de façon indépendante, avec un zonage en 4 niveaux de risque dépendant de l'aléa, des enjeux et du niveau de parade nécessaire (inconstructibilité/parade collective/parade individuelle/neutre). Puis le zonage multirisque a été établi par croisement des différentes cartes de risque et indication des niveaux de risque les plus élevés. La carte de zonage qui en résulte est associée à un cahier de recommandations organisé sous forme de fiches. Chaque point du territoire de la commune renvoie à une fiche donnant les risques les plus élevés auquel le site est exposé accompagné de recommandations de bon usage des sols, pour la construction et l'aménagement et pour la mise en place de mesures de prévention ou d'alerte.

Les dossiers PRRU sont destinés aux autorités nationales, départementales et locales comme base de réflexion et de concertation pour une mise en application réglementaire en matière d'occupation des sols, de pratique constructive et de secours. A titre d'exemple, ils servent à définir des zones interdites à la construction pour cause de trop forte vulnérabilité aux aléas naturels, ou encore à déterminer les conditions dans lesquelles certaines zones peuvent être urbanisées.

Références : Terrier M., Bertil D., Guillande R. (2018) – PRRU Cap-Haïtien (Ouanaminthe) : Rapport technique, Note de présentation, Cahier de Recommandations. Rapport final. BRGM/RC-67012-FR (BRGM/RC-67011-FR).

Aléa sismique dans la zone d'Oulan-Bator, capitale de la Mongolie, zone de déformation modérée.
Une décennie de collecte et d'analyse de données

Antoine Schlupp, IPGS

La Mongolie, vaste pays de trois fois la France, a été affectée au cours du 20ème siècle par 4 séismes de magnitude 8+ dans sa partie occidentale. Plus à l'Est, sa capitale Oulan Bator avec 1.3M d'habitants concentre près de la moitié de la population et constitue un des enjeux majeurs. Jusqu'en 2005, elle était considérée comme soumise à un aléa modéré, basé sur la sismicité et une seule faille active proche connues. Mais en 2005, une activité sismique anormale est observée à 3 km au nord de l'aéroport international. Depuis, après une décennie d'étude, de collecte et d'analyse de données (imagerie spatiale, géomorphologie, paléosismologie, imagerie géophysique de surface, réseau sismologique densifié) nous avons pu identifier et caractériser 3 nouvelles failles actives, caractériser les effets de site sous la capitale, et préciser la localisation de la sismicité en 3D. L'estimation de l'aléa s'en trouve modifiée et la prise en compte du risque sismique devient une des préoccupations majeures des autorités.

Réactivation de mouvements de terrain sous séisme en Turquie : projet Européen Marsite

Céline Bourdeau, IFSTTAR / GERS – SRO (celine.bourdeau@ifsttar.fr)

Longtemps considérés comme un effet secondaire des séismes, les mouvements de terrain déclenchés par les séismes peuvent être responsables d'une part significative des dégâts associés aux séismes. Lors du séisme du 12 Mai 2008 en Chine, 15 000 mouvements de terrain ont ainsi été déclenchés et ils ont à eux-seuls coûté la vie à près de 20 000 personnes soit près d'un tiers des victimes associées à ce séisme. La prise en compte de ce type d'aléa dans la gestion du risque sismique suppose d'une part de pouvoir prévoir où et quand se produiront les prochains mouvements de terrain et d'autre part de pouvoir quantifier « l'intensité » des phénomènes attendus (i.e. volume des instabilités, surface que pourraient recouvrir les dépôts de cette instabilité, vitesse de propagation de la masse instable et distance de propagation). Il s'agit

là de paramètres difficiles à évaluer tant les mouvements de terrain déclenchés par les séismes sont des phénomènes complexes, variables d'un séisme à l'autre, qui résultent de toute l'histoire des « chargements » (séismes, fortes précipitations) subis par le versant au cours des jours, des semaines voire des années qui ont précédé le séisme. Ces chargements répétés peuvent fragiliser le versant le rendant plus susceptible de subir des instabilités lors d'événements futurs.

Dans le cadre du projet européen MARSite (Marmara Supersite: new directions in seismic hazard assessment through focused Earth observation in the Marmara Supersite), nous avons pour objectif de créer un observatoire pluridisciplinaire permettant d'évaluer les conditions de réactivation d'un glissement de terrain situé dans une zone fortement urbanisée en Turquie, à une quinzaine de kilomètres au nord de la faille nord Anatolienne, sur les rives de la mer de Marmara. Une analyse simplifiée de l'ensemble des mouvements de terrain répertoriés dans cette zone a permis d'identifier le glissement de terrain de Büyükçekmece comme étant l'instabilité la plus dangereuse de la zone. A partir d'une étude approfondie du site (reconnaissance géologique et mesures géophysiques in-situ, essais géotechniques en laboratoire, déploiement de capteurs sur site – piézomètres, GPS, sismomètres -) permettant la construction d'un modèle géologique-géotechnique détaillé du glissement de terrain, nous avons étudié sa réponse sismique locale (effets de site) ainsi que les conditions de réactivation du glissement de terrain, au moyen de modélisations numériques 2D avec le code de calcul par différences finies FLAC. Les résultats de cette étude montrent que la réponse de ce glissement de terrain est fortement conditionnée par sa structure géologique complexe.

Présentation autour de l'intérêt des missions Post sismiques, illustrées par l'utilisation des données enregistrées et des post traitements

Paola Traversa, Electricité de France DIPNN/DI/TEGG/ Pôle aléa sismique

Afin d'améliorer les connaissances et la compréhension des phénomènes liés à l'occurrence d'un séisme et donc d'améliorer la prise en compte du risque sismique dans le territoire, il est fondamental d'observer et analyser les effets induits sur le terrain dans les zones directement affectées par l'occurrence d'événements sismiques majeurs.

De manière générale, faire partie d'une équipe d'experts dans différents domaines allant de la géologie à la gestion de crise en passant par la sismologie, la géotechnique et l'ingénierie des structures représente une opportunité extraordinaire de formation sur les différents aspects du risque sismique.

D'un point de vue sismologique/sismotectonique, se rendre dans les zones affectées par l'occurrence d'un fort séisme dans un intervalle de temps court après son occurrence, permet d'observer les traces de la rupture co-sismique (lorsque celle-ci atteint la surface), ainsi que du mouvement sismique produit avant qu'elles ne soient effacées par d'autres phénomènes naturels.

L'utilisation d'une instrumentation sismologique adaptée permet d'enregistrer les répliques de la secousse principale (ou simplement des vibrations ambiantes) pendant la durée de la mission. Par des traitements du signal il est possible de déduire les modifications (amplifications ou déamplifications) induites par les caractéristiques locales (lithologies ou morphologies particulières) sur le mouvement sismique.

Lorsqu'un réseau suffisamment dense de stations permanentes et/ou temporaires existe sur place, les variations locales du mouvement peuvent être mise en évidence et exploitées afin d'analyser de manière consciente et objective les dégâts induits sur les structures par les vibrations.

**Présentation valorisant AFPS 2020, par exemple sur la liquéfaction avec ouverture vers le PN
Isolate**

Emmanuel Javelaud, Electricité de France DIPNN/DI/TEGG/ Pôle géotechnique

L'Association Française de Génie Parasismique (AFPS) vient de lancer le projet « Recommandations 2020 », un projet d'envergure qui mobilise des dizaines de membres et vise à proposer l'état de l'art des recommandations techniques couvrant tous les domaines d'ingénierie allant de la faille à la structure puis à ses équipements. Il s'inscrit dans la lignée des « Recommandations 92 » publiées par l'AFPS il y a près de 30 ans. L'exemple de la liquéfaction des sols lors de séismes permettra de présenter les apports de ce projet à l'amélioration des pratiques d'ingénierie et le lien avec le projet national de recherche ISOLATE sur cette thématique.

Sylvine Guédon
Secrétaire Générale