



Le premier workshop RESIF-Aléa, organisé dans le cadre de l'axe transverse sismicité (axe 5), a réuni à Strasbourg une cinquantaine de chercheurs francophones autour du thème de la mise à jour des bases de données existantes et de leur exploitation pour le calcul de l'aléa sismique en France. Étaient à cet effet réunis des acteurs de la communauté RESIF en sismologie et géodésie, mais également des géologues/tectoniciens, des praticiens du calcul de l'aléa sismique (cf. Programme en annexes).

A l'issue des échanges tenus lors des deux journées du workshop, deux thèmes principaux se sont dégagés concernant (1) la mise à disposition de documents et bases de données à l'échelle du territoire sur un portail de type RESIF ; (2) la traduction en terme de récurrence et d'origine de la sismicité de la France métropolitaine au regard d'hypothèses nouvelles concernant les processus à l'origine de la sismicité et de ses caractéristiques (magnitude, fréquence, localisation, ...).

Bases de Données et portail RESIF

L'action 5 "Aléa" de l'axe transverse « Sismicité » a pour ambition de mettre en place un moyen de communiquer les données et résultats scientifiques à la communauté appliqué de manière dynamique. Un objectif de cette rencontre était alors d'évaluer dans quelle mesure la communauté scientifique était intéressée à participer à cet effort, puis d'identifier les moyens nécessaires pour mettre à jour un ensemble de données de base à l'échelle du territoire (sismologiques ; géodésiques ; géologiques), exploitables pour le calcul de l'aléa sismique, et diffusables au travers de RESIF.

Un premier constat est qu'il apparaît nettement que RESIF est un lieu adapté pour héberger un tel portail de connaissance, au-delà des données recueillies par le réseau. Ceci est d'autant plus vrai qu'une des missions de RESIF dans le futur sera de produire des produits qui valorisent les données sismologiques et géodésiques collectées.

Parmi les points soulevés en séance, certaines étapes cruciales ont été identifiées, nécessitant d'inscrire l'action RESIF-Axe transverse sur le long terme :

- RESIF fournit de la donnée brute (niveau 0) et contrôlée (niveau 1). L'énergie nécessaire à la réalisation de produits et de synthèses formalisées sous forme de bases de données validées (niveaux 2) et interprétées (niveau 3) est à ce jour tributaire de volontés individuelles. La définition d'une stratégie commune, tout autant qu'un soutien sur le long terme sont nécessaires pour aller plus avant dans cette voie,
- Les synthèses ciblées sur le territoire (caractérisation des failles, catalogues....) sont peu valorisables et porteuses de publications. Une reconnaissance de ce type d'actions de fond dans la carrière des chercheurs permettrait d'envisager un regain d'intérêt pour la production de base de données,
- La mise en place d'une structure web pérenne, qui nécessite la gestion informatique d'un espace de collecte et d'affichage des données brutes (en partie existant mais dispersé concernant les données instrumentales sismologiques, géodésiques et gravimétriques) et valorisées (telles que le catalogue de sismicité Si-Hex). Du côté des praticiens de l'aléa, le

besoin de pouvoir se référer à des bases de données pérennes et versionnées a en particulier été identifié.

Une première étape proposée et atteignable à court terme consisterait à ce que RESIF centralise et référence la littérature en rapport avec la sismotectonique à l'échelle du territoire Français, disséminée dans les laboratoires et publications internationales. En parallèle, l'action macrosismicité, menée également dans le cadre de l'axe transverse sismicité, et visant entre autre à « faciliter l'échange et la mise à disposition de données à des niveaux d'informations différents, adaptés aux utilisateurs et vers une communauté d'utilisateurs élargie » devrait être riche d'enseignements.

A terme, la communauté propose de réfléchir à la reconnaissance de cette base de données en tant que référence de la communauté scientifique pour toute étude d'aléa sismique sur le territoire.

Sismicité et processus sismogènes en zones continentales stables

Une thématique est clairement ressortie des deux jours d'échanges concernant la caractérisation du contexte sismotectonique de la France métropolitaine et au travers de la question : La France (ou du moins une partie significative de son territoire) est-elle une zone continentale stable ?

Cette thématique a été mise en avant pour sa nature scientifique transverse, compatible avec l'objectif de RESIF de faire primer les chantiers communs sur les chantiers individuels, et considérant l'impact potentiel important des éléments de réponses qui pourraient en ressortir pour le calcul de l'aléa sismique en termes de zonage, M_{max} , GMPE, taux d'activités. Un tel axe de recherche suppose en effet de :

- Définir ce qu'est une zone continentale stable et établir les critères permettant de la caractériser (paramètres de la croûte continentale et profondeur du Moho, persistance d'une activité sismique, rôle des héritages géologiques...) au regard de zones plus actives ou de transition,
- Caractériser les moteurs permettant d'expliquer la sismicité observée dans ces zones stables et transitionnelles,
- Caractériser au mieux la déformation et l'activité sismique actuelle et sur le long terme (problématique des marqueurs plio-quatérnaires).

Il a donc été proposé d'orienter les prochaines rencontres vers cette thématique, en commençant par un workshop en 2017 destiné à évaluer ce que pourrait être l'apport de la modélisation et des observations pluridisciplinaires (géologie, géophysique, géodésie,...) pour la caractérisation des zones continentales stables. Il a été estimé qu'une telle rencontre gagnerait à être ouverte à des collègues étrangers, considérant le besoin de comparaison à d'autres zones de même nature. La localisation et les dates de ce second workshop ne sont pas encore arrêtées (Juin et Novembre ont été identifiées comme périodes les plus propices), mais Strasbourg, Montpellier ou Nantes sont des solutions envisageables.

Annexes – Programme du 1^{er} workshop et résumés

Introduction et Aléa côté praticiens - 45mn (Animation : S. Mazzotti)

14h00 – 14h30 Introduction du workshop – Pratique de l'aléa sismique en France métropolitaine : données exploitées et évolutions futures

14h30 – 14h45 Les études d'aléa sismique dans le domaine de l'industrie: principes, limites et perspectives - *K. Manchuel, C. Durouchoux, P. Traversa, D. Sicilia, G. Senfaute, E. Nayman, V. Sellier*

Données de base à l'échelle de la France - 1h (Animation : M. Belvaux & F. Masson)

16h00 – 16h15 Aléa sismique en France: limites actuelles de la connaissance des sources potentielles et des incertitudes sur les séismes passés - *Antoine Schlupp*

16h15 – 16h25 La magnitude SI-Hex - *Michel Cara, Olivier Sèbe, Marylin Denieul, Antoine Schlupp*

16h25 – 16h35 Catalogue de sismicité à partir des données d'intensité macrosismique: propagation des incertitudes - *Ludmila Provost et Oona Scotti*

16h35 – 16h45 Variations du champ de contraintes de l'Ouest de la France - Confrontation des mécanismes au foyer aux structures tectoniques - *D. Do Paco, L. Bollinger, A. Guilhem, P. Roudil, M. Grunberg*

16h45 – 16h55 Un modèle tridimensionnel des vitesses sismiques crustales sous l'Ouest de la France et les régions avoisinantes – *I. Gaudot, É. Beucler, A. Mocquet, M. Drilleau, M. Bonnin, M. Haugmard*

Paramétrisation des sources sismogéniques - 1h (Animation : M. Ferry & H. Jomard)

09h00 – 09h15 Les défis posés par l'évaluation de l'aléa sismique dans les régions continentales stables - *T. Camelbeck, K. Vanneste, B. Vlemminckx et S. Stein*

09h15 – 09h25 Potentiel sismogénique lié à l'inversion de la marge nord-Ligure (Méditerranée occidentale) - *C. Larroque, O. Scotti, M. Ioualalen, F. Courboulex*

09h25 – 09h35 Constraining seismogenic potential in an intraplate domain. Examples of methods and limitations from the Jasneuf Fault (Western Alps, France) and the Touloud Fault (Massif Central, France) - *J. Billant, O. Bellier, F. Thomas, V. Godard, J.C. Hippolyte, P. Dussouillez, F. Hollender, K. Manchuel*

09h35 – 09h45 Caractérisation des déformations sismogéniques en Provence : apport de l'imagerie haute résolution et de la paléosismologie - *F. Thomas, M. Rizza, O. Bellier, V. Godard, J. Billant, P. Dussouillez, J. Fleury, F. Hollender*

09h45 – 09h55 Failles et activité sismique du Fossé Rhénan Supérieur: Des évidences tectoniques, structurales et sismologiques - *M. Meghraoui*

09h55 – 10h05 Utilisation de distributions Fréquence-Magnitude sur les failles actives à partir de la méthode d'Anderson et Luco (1983) pour les PSHA : tests sur l'île d'Hispaniola aux Antilles - *D. Bertil*

Quelles données/idées pour le futur ? – 1h (Animation : C. Sue & O. Scotti)

11h00 – 11h10 Apport de la modélisation numérique à l'étude de la sismicité et de l'aléa sismique en France - *S. Mazzotti*

11H10 – 11H20 Present-day uplift of the western Alps - *C. Sue, J.-M. Nocquet, A. Walpersdorf, T. Tran, N. Lenôtre, P. Vernant, M. Cushing, F. Jouanne, F. Masson, S. Baize, J. Chéry, P. A. van der Beek*

11H20 – 11H30 Doit-on craindre un gros séisme dans la vallée de l'Ubaye ? - *F. Courboulex, C. Larroque, H. Jomard, L. De Barros, A. Helmstetter, E. Bertrand et les participants au projet BACRI.*

11H30 – 11H40 Stress permutations and moderate earthquakes occurrence in Charente (central western France) - *Y. Mazabraud, B. Delouis, N. Béthoux*

11H40 – 11H50 Récurrence des séismes majeurs en France : caractérisation et quantification du risque sismique en Vendée par une approche pluridisciplinaire - *Kaub C., Geoffroy L., Perrot J., Authemayou C., Bollinger L., Hebert H., Leroy P., Graindorge D.*

**11h50 – 12h00 A New Paradigm for Large Earthquakes in Stable Continental Plate Interiors
*Eric Calais, T. Camelbeeck, S. Stein, M. Liu, T.J. Craig***

Posters

Le séisme de Chamonix de 1905 et tectonique active dans les massifs du Mont-Blanc et des aiguilles Rouges - *M. Cara, J. van der Woerd, P.J. Alasset, J. Benjumea*

RPA 2003 et l'aléa sismique en Nord-Est, Algérie - *M. Hamidatou*

Acquis et Leçons du projet SIGMA - *K. Manchuel, C. Durouchoux, P. Traversa, D. Sicilia, G. Senfaute, E. Nayman, V. Sellier*

Utilisation de distributions Fréquence-Magnitude sur les failles actives à partir de la méthode d'Anderson et Luco (1983) pour les PSHA : tests sur l'île d'Hispaniola aux Antilles.

D. Bertil - BRGM : Direction Risques et Prévention / Unité Risques Sismique et Volcanique

Les calculs de PSHA cherchent de plus en plus à intégrer des sources sismiques de type faille. La représentation la plus classique de paramètres d'activité sismique liées à ces sources est d'avoir une distribution fréquence-magnitude de type Gutenberg-Richter (GR) tronquée représentée à partir des paramètres λ (taux annuel d'activité), β (ou b-value) et M_{max} (magnitude maximale possible sur la source), λ et β sont obtenus à partir des catalogues de sismicité et M_{max} à partir de relations empiriques liant M_{max} à la dimension maximale possible de la rupture.

Anderson & Luco (1983) ont proposé plusieurs relations différentes pour évaluer le taux annuel d'activité λ à partir de la vitesse de glissement sur la faille et non plus à partir de la sismicité observée. Bungum (2007) a mis en application une de ces relations et sa méthode a été utilisée pour une des branches d'arbre logique du PSHA du projet SHARE (Woessner et al, 2015).

En lien avec une étude d'aléa sismique en République Dominicaine sur l'île d'Hispaniola (Bertil et al., 2015), l'aléa sismique issue d'un modèle de sources de type faille avec GR basé sur Anderson et Luco (1983) a pu être comparé à celui calculé à partir d'un modèle simplifié de sources polygonales avec GR basé sur le catalogue de sismicité. Ces comparaisons sont effectuées sur le PGA à 475 ans et 2475 ans pour des points autour des systèmes de faille d'Enriquillo et Septentrionale avec l'utilisation du logiciel CRISIS.

Les résultats entre les 2 modèles restent cohérents. Des modèles de failles avec distribution GR issus des relations Anderson & Luco (1983) seraient donc une alternative intéressante pour les contextes tectoniques où la sismicité observée est mal connue.

Certains points de la méthodologie sont discutés :

- Le niveau d'incertitude introduit par la méthode reste – t-il acceptable ?
- Laquelle des relations d'Anderson & Luco (1983) est la plus pertinente ?
- Jusqu'à quelle magnitude minimale M_0 et jusqu'à quelle vitesse de glissement minimale peut-on descendre ?
- Quel choix de b-value ?

Références :

Anderson J.G., Luco J.E. (1983) Consequences of slip rate constants on earthquake occurrence relations. Bulletin of the Seismological Society of America, 73, 471–496.

Bertil D., Terrier M., Belvaux M. (2015) – Análisis de las fuentes sísmicas y evaluación de la amenaza sísmica regional del gran Santo Domingo. "Estudio de la amenaza sísmica y vulnerabilidad física del Gran Santo Domingo" - Actividad 1.1. BRGM/RP-65305-FR, 149 p.

Bungum, H. (2007). Numerical modelling of fault activities. Comput. Geosci. 33, 808–820.

Woessner, J., L. Danciu, D. Giardini, H. Crowley, F. Cotton, G. Grünthal, G. Valensise, R. Arvidsson, R. Basili, M. N. Demircioglu, S. Hiemer, C. Meletti, R. W. Musson, A. N. Rovida, K. Sesetyan, M. Stucchi, and the SHARE consortium (2015), The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results, Bull. Earthq. Eng., doi:10.1007/s10518-015-9795-1.

Constraining seismogenic potential in an intraplate domain. Examples of methods and limitations from the Jasneuf Fault (Western Alps, France) and the Touloud Fault (Massif Central, France)

Billant Jérémy (1), Bellier Olivier (1), Thomas Franck (1), Godard Vincent (1), Hippolyte Jean-Claude (1), Dussouillez Philippe (1), Hollender Fabrice (2), Manchuel Kevin (3)

(1) Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, CEREGE UM34, 13545 Aix-en-Provence, France

(2) CEA, DEN – Centre de recherche du Commissariat à l'Énergie Atomique - CEA Cadarache (Saint Paul-lez-Durance, France) – 13108 Saint Paul Lez Durance, France

(3) EDF – DIN – CEIDRE, TEGG/SGG, Aix-en-Provence.

In the scope of the Sigma project (<http://projet-sigma.com/index.html>), our study aims at better constraining the geometry, kinematic and seismogenic potential of the constitutive faults of the NE trending Belledonne fault system and its prolongation in the alpine foreland, by using a multidisciplinary approach that includes tectonics, geomorphology and geophysics.

The NE trending right-lateral Jasneuf fault is the south-western prolongation of the Belledonne Fault system in the Vercors massif. This fault does not show strong associated seismicity but displays morphological anomalies (right-lateral offset of Messinian cliffs and recent talwegs, post Günz scarps) related to recent faulting. In order to quantify the seismogenic potential of the Jasneuf fault, we constrain its slip using morphological anomalies.

A fault slip rate of 0.13 ± 0.03 mm/yr is proposed based on the different ranges of measured offsets. Extension of the fault is poorly constrained and we cannot ascertain the prolongation of the Jasneuf fault outside of the Vercors plateau nor in depth. Nevertheless, if this fault is limited to the sedimentary cover, does not extend outside of the Vercors plateau, using the Wells and Coppersmith's scale laws, we deduced that it could generate Mw 5.7 earthquakes each ~500 years if we do not consider potential aseismic (creep slip) component of the faulting.

The NE trending late hercynian Touloud Fault affects the basement and cross-cut the Messinian canyon of the Rhône. Fault kinematics analysis, a high-resolution Digital Surface Model (DSM) generated using photogrammetry, morphological analysis as well as geophysical exploration has enabled a thorough study of the possible post-Messinian tectonic deformations along the fault. The reconstructed topography of the canyon displays an offset indicating a probable post-Messinian tectonic offset.

A New Paradigm for Large Earthquakes in Stable Continental Plate Interiors

Eric Calais (1), Thierry Camelbeeck (2), Seth Stein (3), Mian Liu (4), Timothy J. Craig (1)

(1) Ecole Normal Supérieure, département des Géosciences, Paris, France

(2) Royal Observatory of Belgium, avenue Circulaire n°3, B-1180 Brussels

(3) Northwestern University, Evanston, U.S.A.

(4) University of Missouri, Columbia, U.S.A.

Large earthquakes within stable continental regions (SCR) are direct evidence that significant amounts of elastic strain can be released on geological structures far from plate boundary faults, where the vast majority of the Earth's seismic activity takes place. SCR earthquakes show spatial and temporal patterns that differ from those at plate boundaries and occur in regions where tectonic loading rates are negligible. However, in the absence of a more appropriate concept, they are traditionally viewed as analogous to their plate boundary counterparts, occurring when stress accrual localized at long-lived active faults reaches failure threshold. Here we argue that SCR earthquakes are better explained by transient perturbations of local stress or fault strength that draw elastic energy from a pre-stressed lithosphere where faults are at failure equilibrium. As a result, SCR earthquakes can occur in regions with no previous seismicity and no surface evidence for strain accumulation. They need not repeat, since the tectonic loading rate is close to zero. Therefore, the notion of recurrence time or fault slip rate vanish. As a consequence, seismic hazard in SCRs is likely more spatially distributed than indicated by paleoearthquakes, current seismicity, or geodetic strain rates.

Les défis posés par l'évaluation de l'aléa sismique dans les régions continentales stables

Thierry Camelbeeck (1), Kris Vanneste (1), Bart Vleminckx (1) & Seth Stein (2)

(1) Royal Observatory of Belgium, avenue Circulaire n°3, B-1180 Brussels

(2) Northwestern University, Evanston, U.S.A.

L'activité sismique et les grands tremblements de terre dans de nombreuses zones continentales stables présentent des distributions spatiale et temporelle qui diffèrent de ce qui est observé en limite de plaques et se produisent dans des régions où les taux de déformation tectonique restent négligeables. Malgré ou sans doute [par facilité] à cause des difficultés de prévoir si l'activité sismique passée et actuelle est un bon indicateur de l'activité future, les évaluations d'aléa sismique dans ces régions sont implicitement basées sur les concepts et méthodes développées pour être appliquées en limite de plaques. Dans cet exposé, nous discutons la problématique de l'évaluation de M_{max} , la magnitude du plus grand tremblement de terre présumé possible dans une zone source particulière en zone continentale stable, ainsi que celle liée aux dimensions des zones sources en relation avec M_{max} .

Nous montrons dans le cas spécifique du graben du Rhin Inférieur que la durée limitée des catalogues de tremblements de terre ne permet pas de considérer la magnitude maximale observée comme un bon estimateur de M_{max} dans de nombreuses zones sources définies pour les calculs d'aléa. Cela se vérifie également à l'échelle globale dans le cas de l'assemblage de plusieurs zones sources considérées comme appartenant au même contexte sismotectonique (Vanneste et al., 2016). Nous discutons la possibilité de considérer une valeur de M_{max} unique pour toutes les zones continentales stables de notre planète.

Dans la dernière partie de l'exposé, nous discutons dans quelle mesure les données paléosismologiques et géologiques, lorsqu'elles existent, peuvent être une source d'information pour évaluer M_{max} dans certaines zones sources.

La magnitude SI-Hex

Michel Cara (1), Olivier Sèbe (2), Marilyn Denieul (1), Antoine Schlupp (1)

(1) Université de Strasbourg, EOST-UMR7516, 5 rue R. Descartes, 67084 Strasbourg Cedex, France

(2) CEA, Bruyères Le Chatel, DAM/DIF/LDG, 91297 Arpajon, France

Le catalogue de sismicité SI-Hex 1962-2009 constitue la première version du catalogue de référence BCSF-LDG de la sismicité instrumentale du territoire métropolitain (Cara et al., 2015). Les magnitudes de moment des événements catalogués sont toutes inférieures à 6, ce qui fait que leur fréquence coin est suffisamment élevée pour pouvoir déterminer M_w à partir des enregistrements des réseaux sismologiques courte-période LDG, Sismalp, OMP, OCA etc. (Cara et al., 2016). Deux procédures sont utilisées suivant que la magnitude locale du LDG, ML-LDG, est supérieure ou inférieure à 4.

ML-LDG > 4 : la magnitude M_w est calculée à partir de l'amplitude de la coda des ondes sismiques après modélisation des propriétés régionales de cette coda (Denieul et al., 2015).

$3.1 \leq \text{ML-LDG} \leq 4$: la magnitude M_w est convertie à partir des valeurs de ML-LDG. La loi de conversion linéaire est calée sur la valeur de M_w mesurée à partir de la coda à la limite supérieure de l'intervalle. Cette loi présente une pente de 1 et un décalage de -0,6 uniforme sur toute le territoire. Aucune correction régionale d'atténuation n'est appliquée, ce qui conduit très probablement à biaiser vers le haut les magnitudes des régions faiblement atténuantes.

ML-LDG < 3.1 : la magnitude M_w est convertie de ML-LDG avec une loi de régression linéaire basée sur des mesures de moments sismiques réalisées avec plusieurs réseaux locaux temporaires. Cette loi de conversion, également choisie uniforme sur l'ensemble du territoire métropolitain, présente une pente différente de 1, ce qui conduit à réduire l'écart entre ML-LDG et M_w vers les plus petites magnitudes.

La magnitude de moment du catalogue SI-Hex présente un biais d'ensemble négligeable par rapport à celles déterminées par les agences des pays limitrophes. Il reste que des biais régionaux existent pour les petits événements dont les magnitudes sont converties à partir des magnitudes locales du LDG car il est établi que les lois d'atténuation varient à travers le territoire métropolitain ($M_{\text{LDG}} \leq 4$ ou $M_w \leq 3.4$).

Cara, M., Cansi, Y., Schlupp, A. et al., 2015. SI-Hex: a new catalogue of instrumental seismicity for metropolitan France. *Bull. Soc. géol. France*, 186, n° 1, pp. 3-19.

Denieul, M., Sèbe, O., Cara, M., and Y. Cansi, 2015. M_w from crustal coda waves recorded on analog seismograms, *Bull. seismol. Soc. Am.*, 105, 831–849, doi: 10.1785/0120140226.

Cara, M., Denieul, M., Sèbe, O., Delouis, B., Cansi, Y., Schlupp, A., 2016. Magnitude M_w in metropolitan France. *Soumis à J. Seismol.*

¹ Université de Strasbourg, EOST-UMR7516, 5 rue R. Descartes, 67084 Strasbourg Cedex, France

² CEA, Bruyères Le Chatel, DAM/DIF/LDG, 91297 Arpajon, France

Le séisme de Chamonix de 1905 et tectonique active dans les massifs du Mont-Blanc et des Aiguillers Rouges

Michel Cara (1), Jérôme van der Woerd (1), Pierre-Jean Alasset (2), Juan Benjumea (1)

(1) EOST-UMR7516, Strasbourg, France

(2) C-CORE, Ottawa, Canada

Compte tenu du faible taux de déformation du nord-ouest de l'Europe, associer un séisme de magnitude modérée à une source tectonique constitue un défi majeur pour y estimer l'aléa sismique. L'interprétation combinée d'informations macrosismiques, structurales, géomorphologiques, et sismologiques nous permet de proposer des hypothèses sur l'origine du séisme le plus important du nord des Alpes française depuis 1900 : le séisme de Chamonix du 29 avril 1905 (Cara et al., 2016). La magnitude de moment M_w de ce séisme est estimée à 5.3 ± 0.3 à partir d'enregistrements faits sur des pendules inversés de Wiechert à Göttingen en Allemagne et à Uppsala en Suède. Le séisme du 29 avril a été suivi de nombreuses répliques dont la plus forte a eu lieu le 13 août 1905. Plusieurs failles sont potentiellement candidates pour expliquer nos observations. Deux d'entre elles ont une expression de surface, d'une part celle qui est à l'origine du séisme de magnitude $M_w=4.4$ du 8 septembre 2005 dont l'épicentre est à proximité de Vallorcine et du lac d'Emosson, et, d'autre part, celle de la Remuaz située au pied des Aiguilles Rouges au-dessus du col des Montets (Alasset, 2005). La première est une faille dextre quasi-verticale compatible avec des mouvements dextres observés depuis la vallée du Rhône en Valais jusqu'à la chaîne de Belledune au sud. La seconde est une faille normale à composante sénestre marquant l'élévation des Aiguilles Rouges par rapport au fond de la vallée de Chamonix. L'analyse des données macrosismiques et la fraîcheur des stries non glaciaires observées au pied du mur de la faille de la Remuaz favorisent cette dernière comme origine probable des séismes de 1905. En faisant l'hypothèse que ces stries sont postérieures au retrait glaciaire que des datations par isotopes cosmogéniques nous permettent d'estimer à environ 15 ka à cet endroit, nous proposons un taux moyen de déplacement de 0.3 mm/an pour la faille de la Remuaz. Les causes du glissement de la faille, qu'elles soient tectonique, gravitaire, ou de réajustement isostatique local suite au retrait glaciaire ou à l'érosion différentielle des reliefs par rapport au fond des vallées, sont autant d'hypothèses à tester pour expliquer les séismes de 1905.

References :

Alasset, P.-J., 2005. Sismotectonique et identification des sources sismiques en domaine à déformation lente : cas des Pyrénées Occidentales et des Alpes du Nord (France). Le Tsunami créé par le séisme de Zemmouri (MW=6.9, Algérie) du 21 Mai 2003. Thèse de doctorat, Université de Strasbourg soutenue le 5 juillet 2005.

Cara, M., Van der Woerd, J., Alasset, P.J., Benjumea, J., 2016. The 1905 The 1905 Chamonix earthquakes : evidence of active tectonics in the Mont-Blanc and Aiguilles Rouges massifs. Soumis à Swiss J. Geosci.

Doit-on craindre un gros séisme dans la vallée de l'Ubaye ?

Françoise Courboux (1), Christophe Larroque (1), Hervé Jomard (2), Louis De Barros (1), Agnès Helmstetter (3), Etienne Bertrand (4) et les participants au projet BACRI.

(1) GéoAzur, CNRS, Observatoire de la côte d'Azur Bat 4, 250 av Einstein 06560 Valbonne

(2) IRSN, Route du Panorama, 92262 Fontenay aux Roses

(3) ISTERRE Université Grenoble Alpes BP 53 F-38041 Grenoble Cedex

(4) CEREMA, 56 Boulevard Stalingrad, 06300 Nice

L'activité sismique intense qui a affecté la vallée de l'Ubaye au sud-est de la ville de Barcelonnette en 2002-2003 (16 000 microséismes de magnitude inférieure à 3.2) a été attribuée en partie à des surpressions de fluides naturels, mais n'a pas spécialement inquiété les autorités. En 2012 cependant, un séisme de magnitude $M_l=4.5$ se déclenche au nord de la ville, puis en 2014 un séisme encore plus fort ($M_l 5.2$), qui causent des dégâts et sont ressentis jusqu'à Nice et Grenoble (situées à 100 km). Ces deux séismes sont suivis par des milliers de répliques dont l'activité actuelle (en aout 2016, c'est-à-dire plus de 4 ans après le début de cette crise) baisse très peu et est particulièrement inquiétante. Cette zone est donc caractérisée par une activité duale: un comportement d'essaim de microséismes, et un comportement plus classique de type choc principal/répliques.

Les questions suivantes se posent : Quelle est la cause de l'activité sismique duale de cette zone ? Y-a-t-il dans la zone des failles qui ont produit de forts séismes durant le Quaternaire et qui seraient capables d'en produire de nouveaux dans un avenir proche ? Quels seraient les effets d'un séisme de magnitude >6 ? Enfin, comment prendre en compte ce type d'activité duale dans un calcul d'aléa sismique ?

Nous présenterons l'état des connaissances dans la zone et les actions de recherche prévues ou en cours : (1) Analyse intégrée et détaillée des données existantes (sismologie, géologie, imagerie géophysique, nivellement, SAR) pour comprendre le fonctionnement long-terme et court-terme de l'essaim et la structure des failles ; (2) Acquisition de données nouvelles (c-GPS, nivellement, imagerie de sub-surface, réseaux de stations sismologiques denses) susceptibles de nous apporter des éléments de compréhension nouveaux sur les mécanismes physiques moteurs de la sismicité ainsi que les effets de site dans la zone ; (3) Simulations numériques (hydromécaniques et sismologiques) pour comprendre et anticiper les effets d'un séisme plus fort.

Variations du champ de contraintes de l'Ouest de la France - Confrontation des mécanismes au foyer aux structures tectoniques

D. Do Paco (1), L. Bollinger (1), A. Guilhem (1), P. Roudil (1), M. Grunberg (2)

(1) CEA, Bruyères Le Chatel, DAM/DIF/LDG, 91297 Arpajon 2-

(2) Université de Strasbourg, EOST, UMR 7516, 5 rue R. Descartes, 67084 Strasbourg cedex

Du fait de sa sismicité faible à modérée, le territoire français métropolitain est très mal couvert par les études globales de mécanismes au foyer. En effet, pour exemple, seuls les séismes de Rambervillers du 22 février 2003 et le séisme de l'Ubaye du 7 avril 2014 sont présents dans la base du Global CMT project qui fait référence dans le domaine.

Des études ponctuelles de mécanismes au foyer de petits séismes régionaux, des séismes de magnitude inférieure à la magnitude de complétude des catalogues de sismicité globale, ont donc été entrepris en France à plusieurs reprises.

Elles s'appuient souvent sur une détermination de mécanismes déduit de l'étude des polarités des premières arrivées (e.g. Nicolas et al., 1990 ; Sue et al., 1999 ; Mazabraud et al., 2005 ; Bethoux et al., 2007) mais aussi plus rarement d'inversions de forme d'onde à distance régionale ou télé-sismique (e.g. Sylvander et al., 2008 ; Chevrot et al., 2011 ; Delouis et al., 2014). En complément de ces études, plusieurs séismes récents ont été étudiés par des approches variées au LDG.

Toutes ces études ne font pas appel aux mêmes approches (polarités ou inversion de forme d'onde), aux mêmes enregistrements ; aux mêmes modèles de vitesses (régionaux et/ou nationaux).

Un travail de compilation de mécanismes au foyer a donc été entrepris dans un premier temps pour qualifier les données publiées, uniformiser les informations qui les caractérisent et estimer la variabilité des solutions. Il a été complété par une étude systématique des solutions focales des événements de l'Ouest de la France, de $M_L > 3.5$ sur la période 2002-2016. Trente-cinq nouveaux mécanismes au foyer ont été déterminés par étude de leurs polarités de première arrivée à une moyenne de 25 stations LDG et RENASS. Les plus significatifs ont été confrontés aux tenseurs des moments issus de l'inversion de forme d'onde.

Cette étude permet de bénéficier d'une base d'événements, qui, une fois confrontée à la petite sismicité relocalisée et aux structures tectoniques régionales, permettra de mieux évaluer les modèles sismotectoniques régionaux de génération de sismicité.

Un modèle tridimensionnel des vitesses sismiques crustales sous l'Ouest de la France et les régions avoisinantes

*Ianis Gaudot (1), Éric Beucler (1), Antoine Mocquet (1), Mélanie Drilleau (2), Mickaël Bonnin (1),
Méric Haugmard (1)*

(1) LPG Nantes 2, rue de la Houssinière-BP 92208 44322 Nantes

(2) IGGP, 1 Rue Jussieu, 75005 Paris

Le déploiement temporaire entre 2011 et 2013 d'un réseau de sismomètres à large-bande passante dans le Nord de l'Espagne, le Sud et l'Ouest de la France, ainsi que l'utilisation des stations permanentes européennes, offre une nouvelle opportunité de caractériser les structures sismiques sous l'Ouest de la France et les régions avoisinantes. Dans ce travail, nous présentons un modèle tridimensionnel des vitesses sismiques crustales sous cette région. Le modèle de vitesse est calculé par une méthode de tomographie en ondes de surface construites par intercorrélations des enregistrements sismiques continus entre chaque paire de stations. La méthode d'imagerie utilise un algorithme de type Monte-Carlo par chaînes de Markov. Pour chaque paire de capteurs, le diagramme de dispersion de l'onde de surface est inversé pour obtenir la densité de probabilité de la vitesse sismique cisailante en fonction de la profondeur. Une régionalisation anisotrope permet d'obtenir un modèle de vitesse tridimensionnel avec une résolution latérale d'environ 75 km. Depuis la surface jusqu'à 10 km de profondeur, les cartes de vitesse isotropes sont très bien corrélées avec la géologie : des anomalies négatives sont observées au niveau des principaux bassins sédimentaires Méso-cénozoïques français (bassins Aquitain et Parisien), tandis que des anomalies positives sont observées au niveau des socles cristallins affleurants, fragments de la chaîne hercynienne (Massif armoricain et Massif central). À 20 km de profondeur, la structure à l'aplomb du golfe de Gascogne se singularise par une anomalie de vitesse positive dont les limites peuvent être interprétées comme la transition entre les domaines océaniques et continentaux. La structure crustale sous le Massif armoricain apparaît également hétérogène à l'échelle sub-régionale. L'intégration de ce nouveau modèle de vitesse sismique dans les procédures de localisation des événements sismiques permettra une meilleure compréhension de la sismicité en France métropolitaine. Ce modèle de vitesse pourra aussi contribuer au zonage sismotectonique de la France métropolitaine utilisé dans l'évaluation de l'aléa sismique.

RPA 2003 et l'aléa sismique en Nord-Est, Algérie

HAMIDATOU Mouloud

CRAAG, BP 75 Ain Smara 25000 Constantine Algérie.

L'Algérie a été frappée au cours de son histoire par de nombreux séismes destructeurs. Parmi les plus récents ceux du 10 Octobre 1980 à El Asnam ($M_w=7.3$), du 25 Octobre 1985 à Constantine ($M_s=6.0$) et du 21 Mai 2003 de Boumerdes ($M_w=6.8$). Ces événements sismiques qui ont générés des effets désastreux ont montré la vulnérabilité de notre pays face au risque sismique en raison d'une grande concentration démographique et industrielle existante dans le nord de l'Algérie. L'objectif principal est de développer une méthodologie permettant d'élaborer des cartes d'accélération du sol dans cette zone urbaine. L'aléa sismique est la probabilité d'occurrence de mouvements forts du sol potentiellement dangereux, conséquences de tremblements de terre. L'aléa sismique est dès lors généralement exprimé en fonction de l'accélération maximale au sol. L'aléa sismique est intrinsèquement lié à un phénomène naturel et ne peut donc pas être réduit. Le risque sismique quantifie l'importance des dégâts ou des victimes qui pourraient être causés par des tremblements de terre. Il ne dépend pas seulement de l'aléa sismique mais aussi du degré d'exposition et de la vulnérabilité. L'endommagement et l'effondrement de bâtiments représentent le plus grand risque. Le risque sismique peut être diminué en construisant dans des zones moins dangereuses ou en appliquant des normes de construction adaptées. Des régions avec un aléa sismique élevé peuvent donc présenter un risque sismique faible, par exemple, parce qu'elles sont peu habitées, et, au contraire, des régions avec un aléa sismique modéré présenteront un risque sismique élevé si la densité de population est forte et les constructions de mauvaise qualité.

Mots clés : Risque, Séisme, Effet de Site, Vulnérabilité, Aléa, GIS.

Récurrence des séismes majeurs en France : caractérisation et quantification du risque sismique en Vendée par une approche pluridisciplinaire.

Kaub C. (1), Geoffroy L. (1), Perrot J. (1), Authemayou C. (1), Bollinger L. (2), Hebert H. (2), Leroy P. (1), Graindorge D.(1)

(1) Laboratoire Domaines Océaniques - CNRS UMR 6538rue Dumont d'Urville, 29280 PLOUZANÉ

(2) (1) CEA, Bruyères Le Chatel, DAM/DIF/LDG, 91297 Arpajon 2

Le département de la Vendée est classé en zone 3 pour le risque sismique, en raison d'une activité sismique continue, et d'une sismicité historique de forte intensité avec l'évènement marquant du 25 janvier 1799, qui a engendré d'important dégâts et a été largement ressenti dans l'Ouest de la France. L'enjeu de ma thèse est de caractériser la géométrie des failles actives et de comprendre le rôle de ces failles dans le contrôle syn-tectonique de la sédimentation néogène des zones littorales. Ces données serviront à mieux contraindre l'aléa sismique en Vendée. Notre approche sera pluridisciplinaire, puisque regroupant sismologie, géophysique marine, tectonique et géomorphologie quantitative.

Un réseau sismologique mobile constitué de 10 stations a pu être déployé autour de failles actives préalablement identifiées lors des phases préliminaires à cette étude, failles qui se prolongent en mer dans la Baie de Bourgneuf. Une campagne en mer dans la baie de Bourgneuf de 2 jours a eu lieu en avril 2016 afin de récolter des données de sismique en petit fond (Sparker et CHIRP) et de bathymétrie (SMF), qui permettent d'avoir un premier aperçu de la géométrie des failles. Une seconde campagne de trente jours est prévue au second semestre 2017 afin de compléter les données initiales et d'acquérir une bathymétrie haute résolution de l'ensemble de la zone. Cette étude pourra éventuellement être complétée par des tranchées de paléosismicité avec datations par géochimie isotopique sur la faille principale. L'ensemble de ces données (géométrie de failles, déplacements...) sera utilisé pour une modélisation des effets de site dans les marais littoraux, ainsi que pour une étude du potentiel tsunamogène des séismes littoraux du Sud-Bretagne.

Potentiel sismogénique lié à l'inversion de la marge nord-Ligure (Méditerranée occidentale)

C. Larroque (1), O. Scotti (2), M. Ioualalen (1), F. Courboulex (1)

(1) Géoazur, UMR UNS-CNRS-IRD-OCA, 250 Rue Einstein, 06560 Valbonne, France

(2) IRSN-BERSSIN, B.P. 17, 92262 Fontenay-aux-Roses cedex, France

La jonction entre les Alpes occidentales et le Bassin Ligure est soumise à une sismicité modérée et à un taux de déformation faible. Néanmoins des séismes forts se produisent sporadiquement. Le 23 février 1887, un séisme d'intensité IX MSK produisit de nombreux dégâts sur la Riviera Franco-Italienne. Ce séisme, le plus fort historiquement connu dans cette région, fut suivi d'un tsunami de faible ampleur enregistré par les marégraphes de Nice et de Gênes. Comme dans de nombreuses zones intraplaques, l'aléa lié à ce type de séisme est difficile à estimer, d'une part du fait de leur faible fréquence et d'autre part du fait que les failles responsables sont le plus souvent mal définies. La jonction entre la chaîne des Alpes et le bassin océanique Ligure est une marge continentale passive qui s'est formée entre 30 et 20 Ma. Les structures principales sont des blocs basculés limités par des failles normales de direction NE-SW à pendage vers le sud et des failles décrochantes de direction NW-SE, l'ensemble étant hérité de la période de rifting. Cette situation structurale et la dynamique actuelle de la région sont paradoxales car l'analyse de la sismicité met en évidence un régime tectonique compressif avec un axe de compression horizontal NW-SE et les données de GPS continu sur 15 ans témoignent d'une faible convergence entre le bloc Corso-Sarde et la Riviera Franco-Italienne (~0.5 mm/an). Récemment, les campagnes de géophysique marine ont permis de découvrir un système de failles déformant les dépôts quaternaires en pied de marge. Ces failles inverses, bien imagées dans la partie superficielle de la croûte, ont un pendage vers le NW et s'étendent sur environ 80 km de Nice jusqu'à Savona. L'analyse morphotectonique de la marge nord Ligure montre qu'elle se soulève depuis au moins le Messinien (5 Ma). L'ensemble de ces données géologiques, sismologiques et géodésiques témoigne de l'inversion active de la marge depuis 5 Ma et la surrection atteint au moins 1000 m dans la zone située au large d'Imperia. En parallèle l'analyse des données macrosismiques du séisme de 1887 associée à la modélisation du tsunami permet de proposer un scénario de source pour cet événement majeur. Le séisme du 23 février 1887 résulterait de l'activation d'un chevauchement de direction NE-SW à pendage 20° vers le nord avec une magnitude Mw 6,7-6,9 et une profondeur focale de 15 km. Ce scénario est cohérent avec la dynamique actuelle et avec la déformation long terme de la zone. Il implique que les failles inverses identifiées en pied de marge s'enracinent en profondeur dans la zone sismogène sur un chevauchement à faible pendage vers le nord formant un système structural en « plat et rampe ». Le potentiel sismogénique du chevauchement Ligure dépend de son extension et de sa segmentation qui ne sont pas encore précisées. Le séisme Ligure de 1887 résulte de l'activation d'une partie de ce chevauchement qui correspond à l'est du système de failles. A partir des caractéristiques de la source du séisme Ligure, différents scénarios de séismes futurs sont envisageables impliquant tout ou partie des 80 km du système de failles actives.

Les études d'aléa sismique dans le domaine de l'industrie: principes, limites et perspectives

K. Manchuel, C. Durouchoux, P. Traversa, D. Sicilia, G. Senfaute, E. Nayman, V. Sellier

EDF – DIN – CEIDRE, TEGG/SGG, Aix-en-Provence.

Dans le contexte tectonique intraplaque d'Europe de l'Ouest, caractérisé par de faibles vitesses de déformations et une sismicité faible à modérée, l'incertitude épistémique associée aux données d'entrée des études d'aléa sismique, qu'elles soient déterministes ou probabilistes, apparaît très souvent importante. L'approche déterministe propose une majoration forfaitaire de l'intensité du séisme de référence comme réponse à la prise en compte de l'incertitude associée aux données macrosismiques des séismes. Si l'approche probabiliste, de part l'utilisation d'arbres logiques, permet de prendre en compte une part de cette incertitude épistémique, certaines données, telles que les taux de glissement le long des failles, demeurent trop souvent mal contraintes pour réaliser des études robustes basées sur des modèles par failles. Au travers de quelques exemples, EDF illustrera, au cours de la présentation, les difficultés rencontrées dans les études d'aléa sismique déterministes (visites décennales de sûreté) et probabiliste (étude Noyau Dur). Celles-ci concernent à la fois les données relatives à la source sismique (failles, catalogues de sismicité), au mouvement du sol (atténuation), à la caractérisation des sites et à la prise en compte de la réponse de sites. D'importants travaux réalisés dans le cadre du programme de R&D SIGMA (EDF, CEA, AREVA, ENEL) ont permis d'identifier et de réduire ces incertitudes afin d'améliorer la robustesse des études d'aléa sismique. Ces avancées scientifiques concernent i) l'amélioration des données d'entrée pour les études d'aléa et ii) le développement de méthodes permettant une meilleure caractérisation et prise en compte des incertitudes associées. L'ensemble des apports du projet SIGMA et des avancées scientifiques acquises pour les études d'aléa sera présenté sur le poster dédié (« Acquis et Leçons du projet SIGMA »).

Stress permutations and moderate earthquakes occurrence in Charente (central western France).

Y. Mazabraud (1), B. Delouis (2), N. Béthoux (2)

(1) Université des Antilles, UMR5243 Géosciences Montpellier, France

(2) Géoazur, Observatoire de la Côte d'Azur, Université de Nice-Sophia Antipolis, CNRS, France

Contact author: yves.mazabraud@espe-guadeloupe.fr

The seismological study of recent seismic crises in Oleron Island and neighbouring Charente region confirms the coexistence of an extensional deformation and a transtensive regime in the Atlantic margin of France, which is different from the general western European stress field corresponding to a strike-slip regime. We argue that the switch of the principal stress axes s_1/s_2 in a NW–SE vertical plane is linked with the existence of crustal heterogeneities. Events of magnitude larger than 5 sometimes occur along the Atlantic margin of France, such as the April 28th 2016 (ML = 5.2) event near La Rochelle, the 7 September 1972 (ML = 5.2) earthquake near Oleron island and the 30 September 2002 (ML = 5.7) Hennebont event in Brittany. To test the mechanism of local strain localization, we model the deformation of the hypocentral area of the Hennebont earthquake using a 3D thermo-mechanical finite element code. We conclude that the occurrence of moderate earthquakes located in limited parts of the Hercynian shear zones (as the often reactivated swarms near Oleron) could be due to local reactivation of pre-existing faults. These sporadic seismic ruptures are favoured by stress concentration due to rheological heterogeneities.

Apport de la modélisation numérique à l'étude de la sismicité et de l'aléa sismique en France

Stéphane Mazzotti

Géosciences Montpellier, CNRS-Université Montpellier 2, Montpellier 34095

Une des composantes principales des modèles d'aléas sismiques est la caractérisation des sources (localisation, dimension, fréquence). Or, en France comme dans les autres systèmes principalement intraplaque, les données classiques permettant cette caractérisation (sismicité instrumentale et historique, paléo-sismicité, tectonique) ne sont pas suffisantes pour contraindre sans ambiguïté les sources sismiques potentielles. Lors de cette présentation, nous nous intéresserons aux modèles numériques prenant en compte le comportement mécanique de la croûte et de la lithosphère – et à leurs apports potentiels pour la définition des sources sismiques en France. Différents travaux récents couplant sismicité, géodésie, tectonique, forçage géodynamique, et analyse rhéologique mettent en avant comment la modélisation numérique permet de mieux contraindre certains paramètres sismiques, comme par exemple la magnitude maximum ou la période de retour attendu pour un système tectonique donné. A terme, des modèles plus complets pourraient être envisagés sur l'ensemble du territoire français (et ouest européen) fournissant un cadre physique pour la paramétrisation des sources dans les modèles d'aléa sismique.

Failles et activité sismique du Fossé Rhénan Supérieur: Des évidences tectoniques, structurales et sismologiques

M. Meghraoui (IPG Strasbourg)

IPGS - Institut de Physique du Globe de Strasbourg ; Université de Strasbourg/EOST, CNRS; 5, rue René Descartes - 67084 Strasbourg Cedex, France

Intraplate large and moderate earthquakes have occurred along the Upper Rhine Graben (URG) in the past but no coseismic surface faulting has been reported so far. We investigate the 25-km-long linear Riedseltz-Landau normal fault scarp affecting late Pleistocene and Holocene deposits of the western edge of the northern URG. The fault zone with cataclastic deformation textures is exposed in the Riedseltz quarry where it affects Pliocene and late Pleistocene (Wurm) units. Cataclasis is demonstrated by spalling and transgranular fractures in quartz grains concentrated in deformation bands with reduced grain size. The observed microstructures suggest multiple phases of deformation with cataclasis followed by emplacement of Fe-oxide matrix into deformation bands, and later emplacement of a clay-rich matrix into fractures. Previous studies along the fault show late Pleistocene (Wurm) loess deposits and early Holocene sand-silty deposits with 1.5 m and 0.7 m surface slip, respectively. New and previous results provide a minimum 0.15 mm/yr slip rate. A dislocation model suggests a minimum Mw 6.6 earthquake as a plausible scenario in the western edge of northern URG. Surface faulting in young sediments associated with cataclasis provides new evidence for assessing the occurrence of large earthquakes and seismic hazard assessment in the northern URG.

Catalogue de sismicité à partir des données d'intensité macrosismique: propagation des incertitudes

Ludmila Provost et Oona Scotti - IRSN, Route du Panorama, 92262 Fontenay aux Roses

L'IRSN développe depuis de nombreuses années des méthodologies pour estimer les caractéristiques des magnitudes et profondeurs des séismes historiques. Les méthodologies développées permettent de propager l'incertitude associée à cette estimation lors des différentes étapes du calcul. Ces méthodologies de propagation seront présentées, ainsi que les diverses incertitudes et choix rencontrés lors du calcul.

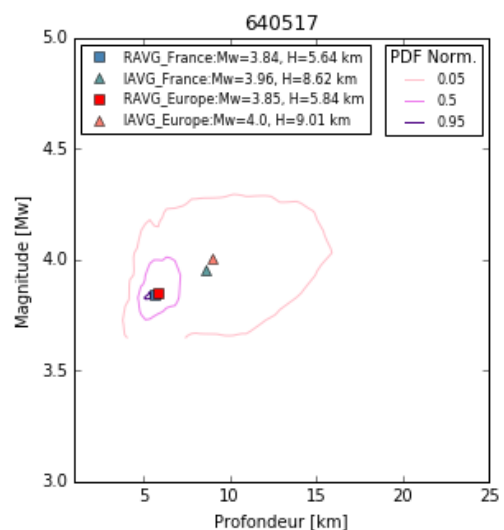
Les données d'intensité macrosismique sont obtenues par la recherche et l'analyse de témoignages sur les tremblements de terre, conservés dans le patrimoine littéraire de la région considérée. Ces témoignages sont traduits en intensité à l'aide d'échelles d'intensité. De nombreuses incertitudes sont liées à cette première étape : information parcellaire, témoignages indirects, différentes échelles d'intensité utilisées, etc.

Ces données ponctuelles d'intensité sont ensuite utilisées pour l'estimation de la magnitude, et parfois de la profondeur. Différents choix peuvent être faits quant à l'utilisation de ces données : utilisation de la distance épacentrale ou hypocentrale, regroupement des données par classes de distance ou d'intensité, choix de la forme de l'équation empirique d'atténuation de l'intensité macrosismique, etc.

La robustesse de ces équations empiriques d'atténuation de l'intensité dépend enfin du choix des séismes de calibration. Ceux-ci devraient dans l'idéal représenter une large gamme de magnitudes, décrits par des données d'intensité nombreuses et bien réparties dans l'espace, et dont la magnitude de Moment sismique et la profondeur instrumentale sont bien contraintes. En réalité, le champ macrosismique est souvent parcellaire, la gamme de magnitude des séismes de calibration réduite, les magnitudes instrumentales plus ou moins bien connues, des conversions vers la magnitude de Moment sismique effectuées et les profondeurs mal contraintes.

Cet état des lieux a conduit l'IRSN à développer différentes approches afin de quantifier l'incertitude des caractéristiques des séismes historiques. Quelques approches développées seront illustrées au travers de différents exemples. Le choix de la métrique (regroupement par classe d'intensité ou par classe de distance) sera notamment abordé.

Figure 1 : Magnitudes et Profondeurs pour un évènement de la base de donnée SISFRANCE, ayant eu lieu dans les Pyrénées le 19 décembre 1988, pour des lois calibrées sur la France ou sur l'Europe et pour deux métriques différentes : une par classe d'intensité (RAVG) et une par classe de distance (IAVG). L'incertitude liée au calcul est représentée par une densité de probabilité normalisée (PDF Norm.).



Aléa sismique en France: limites actuelles de la connaissance des sources potentielles et des incertitudes sur les séismes passés.

Antoine Schlupp

IPGS - Institut de Physique du Globe de Strasbourg ; Université de Strasbourg/EOST, CNRS; 5, rue René Descartes - 67084 Strasbourg Cedex, France (antoine.schlupp@unistra.fr),

Pour toute estimation d'aléa sismique, il faut identifier le modèle "générateur de séismes" et quantifier cette "production sismique" dans le temps. C'est le socle de l'estimation de l'aléa. Quel que soit ce modèle, il doit s'appuyer sur les événements passés et leurs caractéristiques. Mais à quel point considérons-nous les incertitudes sur ces données et les limites de nos connaissances en France? Magnitudes, profondeurs, identification et connaissance des structures sismogéniques, durée d'observation, séismes majeurs, cohérence entre taux de déformation sur les failles et observations sismologiques, etc. Ces aspects seront abordés notamment à partir d'exemples récents en France, mais aussi issus d'autres contextes de déformations lentes. Leur impact sur l'estimation de l'aléa sera discuté.

Present-day uplift of the western Alps

*C. Sue (1), J.-M. Nocquet (2), A. Walpersdorf (3), T. Tran (2), N. Lenôtre (4), P. Vernant (5),
M. Cushing (6), F. Jouanne (7), F. Masson (8), S. Baize (6), J. Chéry (5), P. A. van der Beek (3)*

(1) Chrono-Environnement, CNRS, Univ. de Bourgogne Franche-Comté 25030 Besançon

(2) GéoAzur, CNRS, Observatoire de la côte d'Azur Bat 4, 250 av Einstein 06560 Valbonne

(3) ISTERRE Université Grenoble Alpes BP 53 F-38041 Grenoble Cedex

(4) BRGM, 24 avenue Léonard de Vinci, 33600 Pessac

(5) Géosciences Montpellier, CNRS-Université Montpellier 2, Montpellier 34095

(6) IRSN, Route du Panorama, 92262 Fontenay aux Roses

(7) Université de Savoie Mont Blanc, ISTerre, 73376 Le Bourget-du-Lac

(8) Institut de Physique du Globe de Strasbourg, Université de Strasbourg/EOST, UMR7516, CNRS,

Collisional mountain belts grow as a consequence of continental plate convergence and eventually disappear under the combined effects of gravitational collapse and erosion. Using a decade of GPS data, we show that the western Alps are currently characterized by zero horizontal velocity boundary conditions, offering the opportunity to investigate orogen evolution at the time of cessation of plate convergence. We find no significant horizontal motion within the belt, but GPS and levelling measurements independently show a regional pattern of uplift reaching ~2.5 mm/yr in the northwestern Alps. Unless a low viscosity crustal root under the northwestern Alps locally enhances the vertical response to surface unloading, the summed effects of isostatic responses to erosion and glaciation, explain at most 60% of the observed uplift rates. Rock-uplift rates corrected from transient glacial isostatic adjustment contributions likely exceed erosion rates in the northwestern Alps. In the absence of active convergence, the observed surface uplift must result from deep-seated processes.

Caractérisation des déformations sismogéniques en Provence : apport de l'imagerie haute résolution et de la paléosismologie

F. Thomas (1), M. Rizza (1), O. Bellier (1), V. Godard (1), J. Billant (1), P. Dussouillez (1), J. Fleury (1), F. Hollender (2)

(1) Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, CEREGE UM34, 13545 Aix-en-Provence, France

(2) CEA, DEN – Centre de recherche du Commissariat à l'Énergie Atomique - CEA Cadarache (Saint Paul-lez-Durance, France) – 13108 Saint Paul Lez Durance, France

La Provence, située au Sud-Est de la France, subit actuellement une déformation tectonique très lente. La région a toutefois connu des séismes majeurs, comme le séisme de Lambesc de 1909, d'une magnitude estimée à 6 et qui a causé la mort de 46 personnes. Ces types d'événements ont des temps de récurrence longs et l'érosion rapide dans la région efface leurs traces en surface, rendant leur étude complexe. Pour tenter de pallier à cette contrainte, une approche pluri-disciplinaire a été mise en œuvre afin d'améliorer la compréhension des processus de déformation tectonique dans le contexte Provençal.

Trois zones en Provence ont été sélectionnées pour des campagnes LiDAR aéroporté, afin d'y générer des MNT haute résolution dans le but de cartographier les formations Quaternaires. Ces images permettent une observation détaillée de la morphologie actuelle, constituant ainsi un outil précieux pour déceler des indices de déformations tectoniques récentes. Une campagne de profils de résistivité électrique a été menée en parallèle dans le but d'ouvrir une tranchée de paléosismologie à Vinon-sur-Verdon, au niveau du contact anormal de Maragate visible sur le MNT LiDAR. Cette tranchée a permis de mettre en évidence un contact anormal par faille entre des séries Miocène et Pliocène, surmonté et scellé par de nombreux chenaux et sédiments Quaternaire récents.

Ce travail va permettre une meilleure compréhension des processus tectoniques dans une région caractérisée par des déformations tectoniques lentes et des temps de récurrence élevés.