

Réponse à AOI ECCOREV 2011

METECTAS : Marqueurs de la crise MESSinienne, TECTonique active et Aléa Sismique local et régional

Porteur : O. Bellier – CEREGE

Collaboration : CEREGE, CEA Cadarache, IRSN (BERSSIN)

Résumé : Nous souhaitons dans ce projet améliorer notre connaissance des canyons messiniens (de la Durance et du Rhône) afin d'améliorer l'aléa sismique régional (comportement sismogénique des failles) ainsi que l'aléa sismique local (effets de site liés à la géométrie et au remplissage des canyons messiniens) du SE de la France.

Mots clefs : crise de salinité messinienne, canyon messinien, tectonique active, aléa sismique local, aléa sismique régional, risque sismique SE France.

Présentation générale

Même si à l'échelle mondiale, la région PACA et plus généralement le SE de la France est caractérisé par un aléa sismique modéré, elle n'en demeure pas moins, à l'échelle nationale, l'une des régions les plus concernées par le risque sismique. Comme en témoigne son histoire, sa sismicité historique y est une des plus importantes du territoire métropolitain, avec depuis le XV^{ème} siècle plusieurs séismes d'intensité égale ou supérieure à VIII (Lambesc en 1909, région de Manosque en 1509 et 1708, etc.), impliquant l'existence de failles actives ayant un potentiel sismogénique élevé (jusqu'à des magnitudes de 6,5). La densité de population y est localement très importante (métropoles aixoise, niçoise et marseillaise). Si l'intensité des séismes historiques est relativement élevée dans le SE de la France (intensité maximale de VII à IX et périodicité séculaire), ce domaine ne subit qu'une faible microsismicité. L'origine et les caractéristiques de cette sismicité et la prise en compte de ce risque étaient, jusqu'à peu, mal connues : Pourquoi et comment des séismes d'intensités importantes se produisent-ils dans cette zone alors que la déformation aux limites est très faible ? Comment appréhender le risque sismique dans des régions à aléa modéré ? Les études engagées ces dernières années par différents organismes de recherche ont contribué à répondre à certaines de ces questions – au moins partiellement – par une meilleure compréhension du comportement sismogénique des failles notamment en Provence (souvent par l'utilisation de démarches consistant à croiser les approches géologiques et géophysiques). Toutefois, même si nous avons beaucoup progressé en ce qui concerne la prise en compte de l'aléa régional (connaissance « des Failles » (localisation, vitesse) et de leurs séismes potentiels (magnitude et récurrence), il nous reste des efforts considérables à faire en ce qui concerne l'aléa local, c'est à dire la prise en compte de conditions locales qui augmentent l'accélération du sol au moment de la propagation des ondes sismiques, ainsi que la durée de propagation (effets de site liés à la lithologie (nature du substrat) et à la topographie). Ces conditions de site s'avèrent souvent très pénalisante en terme de risque sismique en domaine à sismicité modéré. Ce fut le cas lors du séisme de Lambesc en 1909, où les destructions majeures se sont produites dans des villages localisés sur des reliefs (Rogne, Vernègues). Plus récemment le séisme de l'Aquila, nous a encore démontré l'importance des effets de site.

Nous souhaitons dans ce projet travailler essentiellement sur les marqueurs de la crise messinienne (canyons messiniens et remplissage des canyons) et leur interaction avec l'aléa sismique. En effet, des études récentes ont montré que la connaissance de ces canyons peut améliorer notre appréhension de l'aléa sismique. Ils peuvent d'une part améliorer notre connaissance sur l'aléa régional (connaissance du comportement sismogénique des failles : localisation de failles et calcul des vitesses de faille à partir des marqueurs de la crise messinienne), mais aussi sur l'aléa local, les canyons et leur remplissage constituant des conditions de site pénalisantes lors d'un séisme. La problématique de ce projet est tout à fait d'actualité, tant sur la maîtrise du risque « normal » (mise à jour de la réglementation parasismique, pression immobilière, etc.) que du risque « spécial », essentiellement lié aux activités industrielles (pétrochimie, grands ouvrages hydrauliques, nucléaire, ITER...).

Projet de recherche

Relation canyons messiniens et aléa sismique :

- les marqueurs de la crise messinienne comme objet de quantification de la déformation active;
- les canyons messiniens et leur remplissage, lieux particuliers d'effets de site pénalisants en terme d'aléa.

Failles et aléa sismique - Les structures tectoniques observées en surface dans la région Sud-est résultent d'une histoire tectonique complexe (tectoniques superposées d'âge pyrénéen, oligocène, et alpin) qui a interféré au

Cénozoïque avec une histoire érosive caractérisée par des phases alternées d'aplanissement, de remblaiement, et de dissection. Ces structures ne sont pas nécessairement toutes réactivées actuellement. Le Panneau de Couverture méso-cénozoïque Nord-Provençal (PCNP, Chardon et Bellier, 2003) est un des domaines emblématiques de la Provence. Il correspond à un quadrilatère, qui s'étend d'Est en Ouest sur 100 km de large, délimité par la faille de Nîmes d'orientation NE-SW à l'Ouest, le chevauchement à vergence nord et de direction E-W du Ventoux-Lure au Nord, et la faille NNE-SSW de la Moyenne Durance à l'Est (Fig.1). La déformation interne post-miocène de ce panneau est principalement accommodée par des failles inverses à vergence sud, chacun de ces accidents étant associé à un chaînon anticlinal. Ce sont, du Nord au Sud, les chaînons du Lubéron, des Alpilles, des Costes, de la Trevasse et de La Fare. Le PCNP est affecté par la faille de Salon-Cavaillon, accident majeur orienté N-S qui le traverse sur toute sa longueur et qui affecte la bordure Est de la plaine de la Crau. Dans ce contexte trois accidents sismogènes majeurs, pouvant générer des séismes importants et conséquents pour le SE de la France ressortent, ce sont les failles de Nîme, à l'Ouest, la Faille de Salon-Cavaillon (cf. Molliex et al., 2011), au centre, et la Faille de la Moyenne Durance à l'Est. Nous avons une relativement bonne connaissance de ce dernier accident mais souhaitons continuer à travailler sur cet objet tout en focalisant l'essentiel de notre activité sur les autres accidents mentionnés.

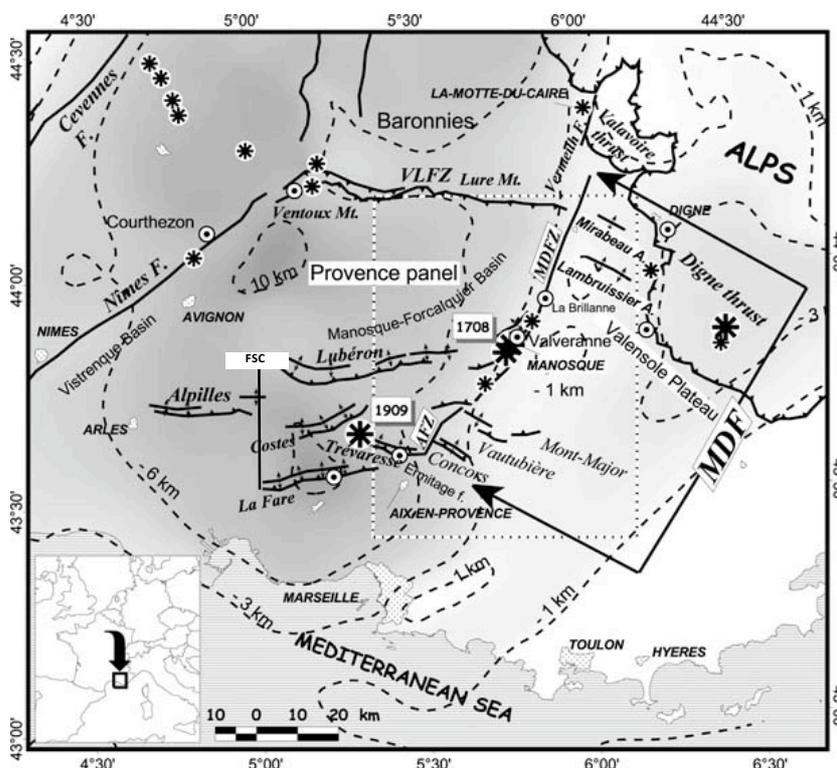


Figure 1: Carte sismotectonique du SE de la France (Cushing et al., 2008). FSC = Faille de Salon-Cavaillon (cf. Molliex et al., 2011), MDF = Faille de la Moyenne Durance. Les petits astérisques correspondent aux séismes historiques ayant une intensité comprise entre VII–VIII, alors que les astérisques plus larges indiquent les séismes historiques avec une intensité > VIII.

Canyons messiniens - La crise de salinité messinienne peut constituer le fil conducteur des investigations pratiquées en géomorphologie et tectonique active (cf. thèse Molliex, 2009 ; Clauzon et al., 2011). Cette crise brève – encadrée par des ruptures environnementales brutales (successivement, vidange à –1500 mètres puis remise en eau de la méditerranée néogène)- a généré des niveaux repères à la fois calibrés dans le temps (stratigraphie événementielle), et dans l'espace (référentiels des niveaux eustatiques successifs) grâce auxquels il devient possible (i) d'accéder aux paléotopographies pré-évaporitiques (élévation des hauts reliefs alpins ou pyrénéens), (ii) d'appréhender les déformations synchrones de la crise, ou du remblaiement pliocène, (iii) de mettre en évidence les surrections syn- ou post-pliocènes (Clauzon et al., 2011). Ces événements stratigraphiques sont donc à l'origine de la création de marqueurs surfaciques (surfaces d'érosion, surface d'abandon) et linéaires (axes de drainages messiniens à pliocènes = rias pliocènes) datés. Les vallées de la Durance et du Rhône étaient déjà, au Messinien (-5 ma) des axes de drainage principaux évacuant les déblais d'érosion des Alpes en surrection, l'événement messinien ayant entraîné le creusement marqué des canyons (e.g., Clauzon, 1979 ; Mocochain et al., 2008)(exemple de canyon, Fig. 2). **Les tracés supposés des Failles de la Durance, de Salon-Cavaillon et de Nîmes recoupent ces « marqueurs sédimentaires » (l'axe de drainage), associés à la Durance d'une part et au Rhône, d'autre part.**

Réalisation du projet

1- synthèse bibliographique

Dans un premier temps nous souhaitons réaliser une synthèse bibliographique des connaissances des marqueurs liés à la crise messinienne dans le SE de la France, c.à.d., lié au paléo-vallées du Rhône et de la Durance. Nous souhaitons en déduire une cartographie, et une modélisation 3D de la géométrie des canyons messiniens de la Durance et du Rhône (SIG régional des marqueurs de la crise messinienne).

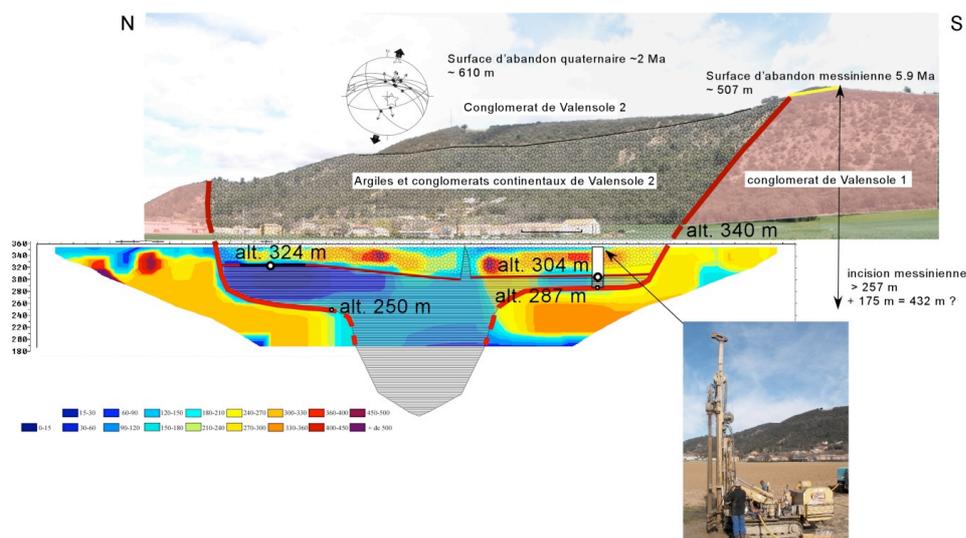


Figure 2 : Profil de résistivité électrique réalisé à l'aplomb de l'affleurement du canyon d'Oraison et son interprétation. D'après Hippolyte J.C. (communication personnelle) et Molliex, (2009).

2- imagerie géophysique des canyons messiniens - Méthodologie : Géophysique et géomorphologie (détail méthodologique, cf. thèse de S. Molliex, 2009 ; Rapport stage M2R V. Tamisier, 2010).

L'objectif de ce projet, grâce à l'imagerie géophysique (tomographie électrique et méthode sismique de Nakamura (ou H/V)), est double (exemple d'application en Fig.2 et 3, Molliex, 2009):

- imager la trace des failles sous les alluvions dans le lit majeur de la Vallée de la Basse Durance et du Rhône;
- imager le canyon messinien potentiellement déplacé par les failles et/ou lieu d'effet de site potentiel.

Afin d'imager la géométrie et le remplissage liés à la crise messinienne, nous développons un protocole de *tomographie électrique* qui permet de restituer une image 3D de l'architecture des structures actives mais aussi des objets sédimentaires associés voire décalés (canyons messiniens, terrasses quaternaires, etc.) afin de déterminer la segmentation dans cette zone de faille clef mais aussi afin de déterminer la quantité de déplacement long terme et les vitesses de déplacement associées. *L'investigation sismique*, c'est à dire l'estimation des fréquences de résonance des couches superficielles sera menée en parallèle en utilisant la technique de « Nakamura » (mesure du rapport spectral des composantes verticales et horizontales du bruit de fond sismique. Cette technique, dans de bonnes conditions, permet d'estimer la profondeur du substratum rocheux sous le remplissage alluvial, et pourrait donc permettre de restituer la géométrie profonde du canyon.

Quantification long-terme de la vitesse des failles de Salon-Cavaillon, et de Nîmes

Les vitesses des failles actives sont importantes en terme d'aléa sismique puisqu'elles conditionnent la « période de retour » des événements sismiques majeurs. Une étude récente de tectonique réalisée au CEREGE a permis de préciser la cartographie de la segmentation de la terminaison sud de la Faille de la Moyenne Durance et de caractériser ses relations avec la Faille d'Aix. Le segment de la faille d'Aix est connecté, au Sud, à la faille inverse de la Trévaresse réactivée lors du séisme Provençal du 11 juin 1909 (Guignard et al., 2003 ; Chardon et Bellier, 2003), permettant ainsi une propagation de la déformation alpine frontale vers le Sud du panneau de couverture ouest-provençal. Toutefois, probablement à cause des taux de déformation très faibles et des taux d'érosion-sédimentation élevés, aucun indice géomorphologique, ou tectonique, n'a pu être observé en surface, pouvant témoigner de la trace de la faille à travers la vallée de la Basse Durance. Compte tenu des vitesses, même faibles, estimées infra-millimétriques (<1 mm/an) sur ce système de failles, le décalage de ce marqueur élaboré il y a 5 millions d'années pourrait atteindre quelques centaines de mètres. La mise en œuvre de méthodes d'investigations géophysiques permettant de caractériser un tel décalage a été réalisée dans le secteur de Peyrolle – Meyrargue en terminaison nord de la faille d'Aix (Fig. 3), et a permis l'estimation de la vitesse « long terme » de la FMD en

quantifiant le décalage de la « ria » pliocène. Ces vitesses sont très faibles de l'ordre de 0.1 mm/an (Molliex, 2009). Nous souhaitons appliquer la même approche sur les failles de Salon-Cavaillon et de Nîmes, qui recoupent les paléo-canyons de la crise messinienne de la Durance et du Rhône.

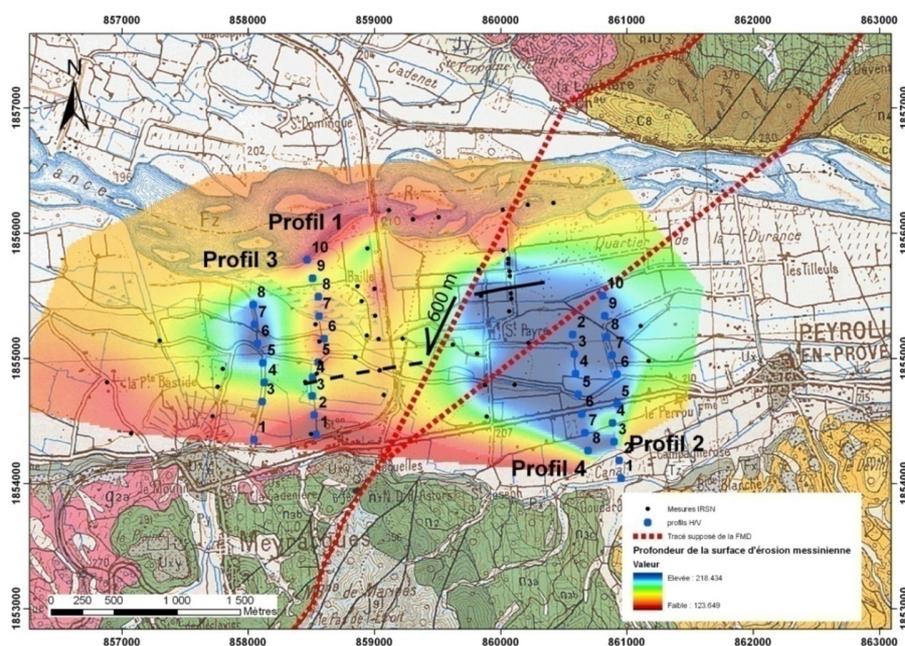


Figure 3 : Interpolation de la profondeur de la surface d'érosion messinienne à partir des données H/V et interprétation possible du décalage horizontal. Le trait noir plein représente la trace du talweg du canyon déduite des données de résistivité électrique, le train noir pointillé représente l'interpolation du talweg du canyon vers l'Ouest à partir des données du profil 1, en considérant une orientation identique de part et d'autre de la faille

Canyon messinien et effet de site

Lors d'un séisme, les vibrations du sol (augmentation ou atténuation de la fréquence et de la durée de la vibration) peuvent varier localement en raison de la topographie ou de la constitution du sous-sol. On parle, respectivement, d'effets de site topographiques et lithologiques, qui constituent des phénomènes très pénalisant en terme d'aléa local. Les reliefs (buttes topographiques, rebords de falaise) et les alluvions accumulées sur des grandes épaisseurs (plaines alluviales) enregistrent généralement des désordres supérieurs par effet d'amplification de la vibration sismique. En fait dans ces conditions, c'est l'accélération du sol au passage de l'onde qui va jouer un rôle crucial. Elle peut varier localement d'un facteur un à cent pour une même propagation d'onde en fonction des conditions locales du site. Or, c'est l'accélération qui agit sur les fondations d'un bâtiment et donc qui peut produire sa destruction. Les conditions environnementales peuvent également entraîner une augmentation de la durée de propagation de l'onde. C'est un autre effet de site important car plus une onde mettra du temps à ce propager plus elle « fatiguera » le bâtiment jusqu'à sa destruction éventuelle. A noter que l'aléa local peut-être localement plus pénalisants que l'aléa régional, dans les domaines d'aléa sismique modéré comme en France métropolitaine (i.e. où les séismes potentiels sont de magnitude modéré : 6-6.5, cf. séisme de l'Aquila).

Des travaux récents conduits par le CEA (projet Cashima) ont permis de montrer que les canyons messiniens, de part leur géométrie et leur remplissage, sont d'éventuels lieux d'effets de site non négligeables. Bien imager et bien comprendre la géométrie ainsi que la rhéologie des couches qui forment le remplissage, constitue l'étape préliminaire mais cruciale pour la compréhension de ces effets de site.

Prospective

A moyen terme, il est envisagé de proposer un projet de recherche finalisée du Conseil Régional PACA. Nous avons également prévu de répondre à l'appel à projet « Termex » de l'Insu (2012), quand nous aurons mieux appréhendé la faisabilité au niveau régional. D'autre part, les partenaires de ce projet sont susceptibles d'être impliqués dans un projet international de recherche porté et financé essentiellement par EDF, mais impliquant un consortium plus large. Ce travail préliminaire devrait permettre d'estimer la faisabilité et de convaincre les porteurs de projets sur l'intérêt de focaliser une partie des études sur les marqueurs de la crise messinienne comme « objet majeurs » dans la prise en compte de l'aléa sismique en Europe pré-méditerranéenne.

Références (sont soulignés les participants au projet)

Chardon, D., Bellier O. (2003) Geological boundary conditions of the 1909 Lambesc (Provence, France) earthquake : structure and evolution of the Trévaresse ridge anticline, *Bulletin de la Société Géologique Française*, **174**(5), 497-510.

- Clauzon G., Fleury J., Bellier O., Molliex S., Mocochain L., 2011. Tectonics and morphogenesis of northern Provence during the Miocene: a morphostructural study of the Luberon (Vaucluse). *Bull. Soc. Géol. France*, 182, n°2, 93-108.
- Cushing E.M., Bellier O. (2003) La Faille de la Moyenne Durance : précision concernant le tracé en surface de la faille entre Pertuis et Château Arnoux, *Note technique n°03-21*, 16 p, 1 Annexe, 1 carte au 1/100.000.
- Cushing E.M., Bellier O., Nechtschein S., Sébrier M., Lomax A., Volant P., Dervin P., Guignard P., Bove L. (2008) A multidisciplinary study of a slow-dipping fault for seismic hazard assessment. The exemple of the Middle Durance Fault (SE France), *Geophysical Journal International*, **172**, 1163-1178.
- Guignard P., Bellier O., Chardon D. (2005) Géométrie et cinématique post-oligocène des failles d'Aix et de la moyenne Durance (Provence, France), *Comptes Rendus Géosciences*, **337**, 375-384.
- Mocochain L., Jy. Bigot, G. Clauzon, O. Bellier, P. Audra, O. Parize, Ph. Monteil, 2009. The Messinian Salinity Crisis manifestations on landscape geodynamic (karst surface, river piracy, and cave levels): example of the Lower Ardèche River (Rhône Mid-valley). *Geomorphology*, 106, 46-61.
- Molliex S., 2009. Caractérisation de la déformation sismogénique de la Provence. Thèse Univ. Paul Cézanne Aix-Marseille, Soutenue le 26 Novembre 2009.
- Molliex S., O. Bellier, M. Terrier, J. Lamarche, G. Martelet, N. Espurt, 2011. Tectonic and sedimentary inheritance on the structural framework of Provence (SE France): Importance of the Salon-Cavaillon fault. In press to *Tectonophysics*.
- Suc, JP., Bellier O., Rubino JL., 2011. Introduction to the publication of the Special Session of the Geological Society of France dedicated to Georges Clauzon "Miocene – Pliocene geodynamics and paleogeography in the Mediterranean region: eustasy – tectonics interference". *Bull. Soc. Géol. France*, 182, n°2, 69-72.
- Tamisier V., 2010. Imagerie géophysique de canyon messinien en Provence : intérêts et limites des outils pour la caractérisation de la tectonique active. Mémoire de master 2. Cerege, 2010.

Estimation budgétaire – coût total : 8000 Euros

Personnel :

Participation à rémunération de V. Tamisier (synthèse bibliographique) : 5500 Euros

Fonctionnement (mission):

Acquisition géophysique et traitement des données, réunion de travail : 2500 Euros

Description du consortium

Participants	Statut	Implication
O. Bellier- CEREGE	PR1 – UPCAM	15%
JC. Hippolyte- CEREGE	CR1 – CNRS	15 %
V. Tamisier- CEREGE	CDD	100 %
J. Fleury- CEREGE	IR – UPCAM	15 %
Ph. Dussouillez - CEREGE	IR – CNRS	10 %
D. Hermitte - CEREGE	IR – CNRS	10 %
JC. Parrisot - CEREGE	CR - IRD	10 %
M. Cushing- Berssin - IRSN	Ingénieur-chercheur	15 %
F. Hollender- CEA Cadarache	Ingénieur-chercheur	15 %

CV des coordinateurs / équipe participante

Olivier BELLIER – CEREGE / UPCAM

Parcours

- Chargé de Recherche à l'Institut Géographique National (IGN, 1991-1992) : participation aux programmes de Géodésie de l'institut.

- Chargé de Recherche au CNRS Affecté à l'équipe CNRS d'Orsay, Univ. Paris Sud (1992-2000).

- Depuis Sept. 2000, Professeur des Universités (Univ. Paul Cézanne Aix-Marseille).

Compétences

Étude des failles actives et évaluation de l'aléa sismique, dans plusieurs secteurs soumis à des déformations crustales importantes ou modérées (en Indonésie, Amériques du Sud et du Nord, Turquie, Iran...).

Aléa et risque sismiques en Provence (Faille de la Moyenne Durance, séisme provençal de 1909, etc.).

Principales Responsabilités Collectives

-Directeur du Département Environnement de l'Université Paul Cézanne Aix-Marseille.

-Membre élu du Conseil d'UFR « Faculté des Sciences et Techniques » de l'Université, et du directoire de la FST.

-Depuis Janvier 2011 – assesseur à la recherche (vis - doyen « Recherche » de l'UFR de Sc. De l'UPCAM).

-Expert auprès de l'INSU – Comités Scientifiques du CT3 (Risque Naturels) et Termex.

-Expert au Comité de Pilotage du projet de Service Public NEOPAL MEEDDAT (Ministère de l'Environnement...), sur l'évaluation des failles sismiques en France.

Quatre références récentes (les publications en relation avec la thématique sont dans les réf. Du projet)

Authemayou C, O. Bellier, D. Chardon, L. Benedetti, Z. Malekzade, Ch. Claude, B. Angeletti, E. Shabaniyan, M.R. Abbassi, 2009. Quaternary rates of strike-slip partitioning in the Zagros fold-and-thrust belt. *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04191.x, 178, 524–540.

Regard, V., C. Faccenna, O. Bellier, J. Martinod, 2008. Laboratory experiments of slab Break-off: Insight into the Alpine Oligocene reorganization. *Terra Nova*, doi: 10.1111/j.1365-3121.2008.0081.x5, 20, 267–273.

Shabaniyan E., Bellier O., Siame L., Arnaud N., Abbassi M.R., Cochemé Jj., 2009. New tectonic configuration in NE Iran: active strike-slip faulting between the Kopeh Dag and Binalud mountains. *Tectonics*, 28, TC5002, doi:10.1029/2008TC002444, 1-29.

Shabaniyan E., O. Bellier, M.R. Abbassi, L. Siame, Y. Farbod. 2010. Plio-Quaternary states of stress in NE Iran: Kopeh Dag and Allah Dag – Binalud mountain range. *Tectonophysics*, 480, 280-304.

Fabrice HOLLENDER – CEA Cadarache

Formation

Géophysicien, diplômé de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg et de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

Parcours

Dans le cadre des recherches sur le stockage et l'entreposage de déchets, il rejoint le CEA en 1996 pour travailler sur des problématiques en lien avec les sciences de la terre.

Compétences et responsabilité

- Depuis 2004, il travaille au sein du service d'assistance en sûreté nucléaire du Centre de Cadarache, plus spécifiquement sur la détermination de l'aléa sismique des installations.
- Il a également en charge la coordination d'actions de recherche sur l'aléa sismique (programme « Cashima »), impliquant entre autres plusieurs laboratoires universitaires (LGIT, CEREGE, IPGP, etc.).

Quatre références récentes

Hollender F. et al., 2009, Ambient vibration h/v technique on sites characterized by an high daily-variation of noise level: the example of the Cadarache. Intern. Conf. Provence' 2009. Aix-en-provence 6 – 8 July 2009.

Hollender F., 2009, Deep geometry of the Middle Durance Faults System (SE of France): reprocessing and new interpretation of reflection seismic sections. Intern. Conf. Provence' 2009. Aix-en-provence 6 – 8 July 2009.

Hollender F. et al., 2010. Evaluation Of G Round Motion Numerical Simulation Relevance: Main Results Of The Euroseistest Verification And Validation Project, European Seismological Commission 32nd Général Assembly, September 6-10, Montpellier, France

Hollender F. et al., 2010. Euroseistest Verification And Validation Project: An International Effort To Evaluate Ground Motion Numerical Simulation Relevance, Seismological Society of America, 2010 Annual Meeting, 21-23 April, Oregon, USA.

Marc CUSHING – IRSN - Berssin

Formation

Thèse de doctorat en géologie structurale, service nationale en tant que scientifique du contingent au CEA

Parcours

- Géologue consultant indépendant (1986-89); prestations de conseil et de R&D (suivi de forages, hydrogéologie, cartographie, tectonique) ; clients : CEA, IPSN, ELF

- Ingénieur-Chercheur (1990-2000); recherche, développement, gestion de projets R&D ; avis techniques concernant l'aléa sismique relatif aux Installations nucléaires de base et sûreté des stockages de déchets à haute activité et vie longue.

- 2000-2011 : Adjoint au chef d'une unité de 10 personnes chargée des recherches et expertises sur la sûreté d'installations nucléaires (BERSSIN), chef d'une unité de 10 personnes chargée des recherches et expertises sur la détermination des impacts de la radioactivité naturelle sur l'homme et l'environnement. Actuellement Adjoint du chef du BERSSIN.

Quatre références récentes

Baize S., Cushing E. M., Lemeille F., Granier T., Grellet B., Carbon D., Combes P. & Hibsche C. Inventaire des indices de rupture affectant le Quaternaire en relation avec les grandes structures connues, en France métropolitaine et dans les régions limitrophes. Mémoire H. S., n° 175, 142 pages, 1 pl. H. T.

Aochi H., M. Cushing, O. Scotti And C. Berge-Thierry. (2006) Estimating rupture scenario likelihood based on dynamic rupture simulations: the example of the segmented Middle Durance fault, southeastern France. *Geophys. J. Int.* (2006) 165, 436–446

Cushing E. M., O. Bellier, S. Nechtschein, M. Sébrier, A. Lomax, Ph. Volant, P. Dervin, P. Guignard, L. Bove (2008) A multidisciplinary study of a slow-slipping fault for seismic hazard assessment: the example of the Middle Durance Fault (SE France). *Geophysical Journal International* 172 (3), 1163–1178.

Cushing M., S. Baize, S. Nechtschein, O. Bellier, O. Scotti, D Baumont (à paraître -2011) : Livre : Le tremblement de terre de 1708 à Manosque : apport d'une étude historique et archéologique à l'évaluation du risque sismique en Moyenne Durance. Ouvrage collectif sous l'égide de l'APS. Rédaction du chapitre dédié au contexte sismotectonique régional.