

## ***2<sup>nd</sup> Workshop RESIF – Aléa sismique & Shakemaps***

***29, 30 ,31 Janvier 2018 – Montpellier***

### ***Synthèse & Propositions d'Actions***

Le second colloque RESIF « Aléa sismique & Shakemaps », organisé dans le cadre de l'Action Transverse Sismicité, a réuni du 29 au 31 janvier à Montpellier une cinquantaine de participants autour de deux thèmes principaux :

- Processus et taux de déformation à l'origine de la sismicité en France métropolitaine, modélisation et confrontation aux données géophysiques et géologiques ;
- Shakemaps nationales de référence : objectifs, données, méthodes et outils dans le contexte national et international.

Les présentations et débats ont été suivis par des chercheurs, ingénieurs et techniciens, étudiants, et praticiens impliqués dans l'étude de la sismicité, le calcul de l'aléa sismique, et le calcul de Shakemaps au sein de laboratoires de recherche, observatoires et entreprises français (cf. programme en annexe). Un tiers des participants représentait le monde de l'industrie ayant un intérêt fort en termes de mise à jour des connaissances et de suivi de l'orientation des futurs chantiers de recherche. Enfin, la participation de collègues de l'Observatoire Royal de Belgique, de l'ICGC Catalogne, et de l'ETH Zurich a apporté un complément international très utile et apprécié.

### ***Thématique « Processus et taux de déformation à l'origine de la sismicité en France métropolitaine »***

La première journée était centrée sur le thème des catalogues de sismicité et de paléosismicité en France métropolitaine et dans les pays limitrophes. Les échanges ont permis de cerner les difficultés de caractérisation des sources sismogènes (zones et failles) à partir de ces catalogues d'une part, et les limites des données et compilations disponibles actuellement d'autre part. Concernant les catalogues nationaux de sismicité, les difficultés rencontrées sont principalement associées à la traçabilité des choix des paramètres attachés à chaque événement dans la construction des catalogues, la faible extension géographique au-delà des frontières pour les calculs d'aléa sismique, les incertitudes inhérentes aux modèles de détermination magnitude / profondeur, la non prise en compte des variations spatiales d'atténuation, et le manque de consensus sur la caractérisation des séismes de calibration pour l'établissement des magnitudes / profondeurs des séismes historiques. Plusieurs travaux de recherche récents (e.g. projet SI-Hex) et en cours adressent ces éléments, entre autre au sein des Axes 1 et 2 de l'Action Transverse Sismicité de RESIF. De même, la fin du déploiement des stations sismologiques de RESIF permettra à moyen terme d'affiner la caractérisation des propriétés physiques de la croûte et en particulier la zonation de l'atténuation en France.

Les présentations de synthèses et d'éclairages régionaux sur le Fossé Rhéno-Meuse, la Vendée, et le système Durance / Alpilles / Luberon ont permis d'illustrer les avancées récentes et les points limitant des études de géomorphologie et de paléosismologie. Deux points principaux ont émergé des discussions :

- Le besoin de nouvelles données issues des technologies d'imagerie haute résolution, telle que Le LIDAR, pour dépasser les contraintes de terrain, liées par exemple à l'anthropisation.
- Le besoin de définir de nouvelles stratégies de recherche communes pour caractériser l'activité des failles, en particulier au vu des nouvelles hypothèses concernant les processus à l'origine de la sismicité en France. Ces stratégies pourraient se focaliser sur l'analyse de marqueurs indirects de la sismicité, s'éloigner des objets classiquement étudiés en cherchant de nouvelles cibles, ou encore mettre en place des analyses complémentaires des observations anciennes d'indices néotectoniques.

La seconde journée du colloque a principalement porté sur la quantification de la déformation active et la caractérisation des processus générant la déformation et la sismicité en France métropolitaine. Les présentations et discussions concernant les données géodésiques ont clairement mis en avant les avancées significatives obtenues récemment en termes de traitement et d'interprétation des données géodésiques GNSS (GPS), combinées dans le cas des Alpes aux données de nivellement. Ces nouveaux résultats permettent pour la première fois de proposer des quantifications des styles et taux de déformation horizontaux dans les régions des Alpes, Pyrénées, et Fossé Rhéno-Meuse, où les signaux sortent du niveau de bruit moyen. Ces résultats illustrent l'importance de poursuivre les mesures géodésiques (GNSS permanent et de campagne), ainsi que de combiner les nouvelles données avec une réévaluation des anciennes données de nivellement disponibles au niveau national. Il apparaît ainsi clairement que la prise en compte des mesures géodésiques de déformation horizontale et verticale constitue un élément majeur pour la détermination des processus moteurs de la déformation et de la sismicité.

Les discussions ont également permis de mettre en avant l'importance des modèles numériques pour l'étude combinée des différents processus de forçage, contraints par les mesures de déformation, pour mieux comprendre les causes de la sismicité en France métropolitaine. En particulier, il ressort des travaux récents que le cadre classique décrivant la sismicité observée comme une réponse à un forçage tectonique long-terme (e.g., convergence Afrique – Eurasie) ne s'applique pas, ou pas uniquement, en France. Plusieurs processus transitoires et statiques contribuant à la déformation actuelle et à la sismicité ont été présentés, tels que le rebond isostatique dû à l'érosion ou à la déglaciation post-Würm, la dynamique de flux mantelliques en base de croûte, ou encore les variations latérales d'énergie potentielle liée à la topographie et aux contrastes de densité lithosphériques. En parallèle, des travaux récents couplant données géologiques et modélisation numérique ont illustré l'importance de l'héritage structural tectonique dans la localisation et l'amplification locale de la déformation et de la sismicité en France. Ces nouveaux types de modèles numériques, couplés aux nouvelles données géodésiques et sismologiques, sont envisagés comme une base pour la construction de futurs modèles sismotectoniques intégrables dans les calculs de l'aléa sismique.

Ces différentes thématiques abordées ont donné lieu à une discussion générale en fin d'après-midi du deuxième jour afin d'identifier des actions spécifiques à mener pour adresser les différents

points de blocage et de développement mis en lumière lors des présentations et discussions associées. Les éléments majeurs ressortant des discussions sont synthétisés ci-dessous :

- Le zonage sismotectonique servant de base au zonage sismique de la France (zonage EPAS) résulte d'un état des connaissances scientifiques des années 1990. Les nouvelles observations et cadres conceptuels présentés lors de ce colloque (ainsi qu'au cours du 1<sup>er</sup> colloque de 2016) sont aujourd'hui suffisamment nombreux et robustes pour mettre en place une confrontation avec le zonage sismique actuel de la France ;
- Les travaux d'intégration des nouvelles données et concepts dans un modèle sismotectonique national doivent se faire dans un cadre structuré de la communauté. RESIF semble être la structure d'accueil la plus adéquate, de part sa nature fédératrice multi-organismes ;
- Les nouveaux travaux identifiés (sismologie, géodésie, modélisation) peuvent se faire dans ce cadre fédéré national, mais certaines actions seraient plus efficaces dans le cadre de coordinations régionales (e.g. études paléosismologique spécifiques en régions).

### **Actions Proposées**

A la suite des présentations et discussions, deux propositions d'actions spécifiques sont retenues :

1. Action à court terme : Programmer d'ici un an un atelier de 2 ou 3 jours ayant pour thématique le modèle sismotectonique de la France métropolitaine. Les objectifs sont :
  - a. Permettre à la communauté académique de se familiariser avec la problématique du zonage sismotectonique en aléa sismique au travers d'une demi-journée de formation dispensée par les praticiens de l'aléa ;
  - b. Réaliser un exercice de zonation sismotectonique de premier ordre en réfléchissant à l'intégration des nouvelles données et nouveaux modèles de forçage, héritage tectonique, etc ;
  - c. Etablir un état des lieux des données et modèles disponibles pour contribuer à cet exercice de zonation sismotectonique, permettant ainsi d'identifier les éléments clés manquant actuellement.

Une telle action permettra de débiter la mise en place d'une base de données commune et d'un zonage sismotectonique de référence produit par l'Action Transverse Sismicité RESIF dans un délai de 1 ou 2 ans.

2. Action à moyen terme : Mettre en place un modèle communautaire de quantification de la déformation récente et de la sismicité en France sur la base de modélisation numérique mécanique contrainte par les observations et données (sismicité, paléosismicité, géodésie, etc.) recueillies dans le cadre de RESIF et des projets de recherche nationaux et internationaux. Toutes proportions gardées, cette action pourrait fonctionner sur un modèle tel que celui du SCEC (Southern California Earthquake Center) et du produit UCERF (Uniform California Earthquake Rupture Forecast) alimentant les modèles d'aléas sismiques futurs.

Afin de lancer ces actions, l'équipe de direction de l'Axe « Aléa » propose de mettre en place dès le mois de mars une consultation de l'ensemble de la communauté française pour identifier les intérêts et volontés de collaboration.

## ***Thématique « Shakemaps nationales de référence »***

La troisième journée a débuté par le thème commun Aléa et Shakemap « Propriétés de la croûte (structure et atténuation) ». Les discussions qui ont porté sur les propriétés de la croûte montrent qu'elles ont un impact important sur la propagation des ondes, mais aussi, point souvent négligé, sur les estimations des sources sismiques en terme d'incertitude de localisation et de magnitude, et donc sur l'estimation du mouvement du sol (aléa sismique et Shakemap). L'hétérogénéité des vitesses et de l'atténuation en France a été confirmée ou mise en évidence lors de séismes récents et de travaux basés sur les données macrosismiques et instrumentales, notamment pour l'ouest de la France. Il est apparu indispensable de l'intégrer aussi bien dans l'analyse de la sismicité, les catalogues (historiques et instrumentaux), les Shakemaps et les calculs d'aléa. La densification spatiale des mesures instrumentales via RESIF contribuera à combler ces lacunes.

La journée s'est poursuivie avec la session dédiée au calcul de Shakemaps en France. Elle correspond au premier workshop sur cette thématique dans le cadre de l'Axe 4 de l'Action Transverse Sismicité. L'objectif est d'étudier ou de proposer des méthodes permettant le calcul de Shakemaps pour des séismes affectant le territoire français, utilisant des données instrumentales et macrosismiques, dans le but de proposer une carte de référence nationale. D'un point de vue technique, la communauté nationale et européenne s'appuie exclusivement sur l'approche USGS (Version 3.5). Actuellement, la combinaison des données macrosismiques avec les données instrumentales est encore peu utilisée. La mise à disposition des données macrosismiques via des webservices du BCSF-RENASS devrait améliorer leur utilisation.

### Applications régionales et régionalisation des Shakemaps nationales.

D'une part, les présentations ont montré la diversité possible des productions régionales :

- à l'échelle de tout un massif sur l'ensemble des Pyrénées utilisant les données macrosismiques et accélérométriques ;
- à l'échelle d'une agglomération urbaine pour Nice où la cartographie des effets de site est plus précise ;
- en Belgique, pas d'utilisation de Shakemap pour les cartes rapides de mouvement fort mais une utilisation intéressante de capteurs accélérométriques moins sensibles mais à bas coût pouvant densifier les données de mouvement forts.

D'autre part les modèles d'atténuation utilisés et les effets de site impactent significativement les cartes de Shakemaps d'où la nécessité de régionaliser les modèles ou les paramètres utilisés. En plus du choix des lois, les limites régionales et les stratégies à adopter aux limites sont des verrous qui n'ont pas encore été analysés mais qui seront rendu possible dans la Version V4.0 du programme. Le contexte antillais présente des spécificités régionales supplémentaires, avec la prise en compte de séismes profonds de subduction, et l'adaptation des critères d'ajustements, habituellement faits au niveau des zones épacentrales, ce qui n'est pas possible pour des séismes localisés la plupart du temps en mer.

L'intégration de ces développements régionaux dans la procédure nationale (paramétrisation préférentielle) doit être organisée par soucis de cohérence et de choix « de la meilleure qualité ».

L'outil USGS v3.5 a des défauts et des limites améliorables d'une part avec la version 4.0 à venir mais aussi avec des alternatives méthodologiques à explorer. En terme de données d'observation nouvelles pour mesurer le mouvement du sol, les variations de pression détectées pour certains séismes par les stations infrason montrent des corrélations intéressantes avec les PGA dans les zones de mouvement fort. Pour l'estimation du mouvement du sol hors points de mesure, l'inférence bayésienne apparaît être une alternative prometteuse pour la génération de Shakemap. D'autre part, les Shakemaps ont un intérêt pour la comparaison avec des calculs directs de propagation d'ondes sismiques de la faille au site. Enfin, les Shakemaps peuvent être considérées comme des outils de recherche scientifique qui sont fréquemment utilisés en entrée de calculs, en association à d'autres données (vulnérabilité, pertes), pour l'estimation des dommages.

Les améliorations doivent porter sur les trois piliers du calcul des Shakemaps. Les données disponibles de l'événement et leur qualité (localisation, profondeur, magnitude, taille de la faille activée, directivité, chute de contraintes) et si besoin les méthodes pour les corriger au vu des observations (instrumentales, macrosismiques), la régionalisation indispensable des paramètres utilisés avec leur domaine de validité (atténuation, effet de site) et le calcul des valeurs hors points d'observation (interpolation, modélisation). Enfin, la différence de comportement entre petits et grands séismes est à intégrer.

Ce colloque était l'opportunité de faire connaître les développements en cours du groupe de travail de l'axe 4 « Shakemap » et d'ouvrir les contributions à la communauté scientifique dans son ensemble.

#### Outils mis ou à mettre en place pour faciliter les échanges au sein du groupe de travail :

- Partage d'une version commune du programme Shakemap (Machine virtuelle)
- Mise en place d'une plateforme d'échange des données, résultats, programmes ...
- Mise à disposition d'un jeu de données permettant de tester diverses Shakemaps sur une série de séismes

Des actions ont été identifiées au cours du colloque et par le groupe travail dont les priorités court et moyen terme sont à préciser. Les principales sont :

- Améliorations des procédures et modèles pour une Shakemap de référence nationale
- Veille des évolutions techniques (V4.0, alternatives méthodologiques)
- Applications possibles (étude des séismes anciens, estimations de dommages)
- Sensibiliser et impliquer les étudiants sur cette thématique

## ***Messages spécifiques en relation avec les tutelles***

Deux messages en relation avec les tutelles ont été communiqués lors du 2<sup>nd</sup> workshop aléa RESIF:

- Un compte rendu de la réunion du 22 janvier 2018 au ministère de la Transition écologique et solidaire concernant l'évolution de l'état des connaissances scientifiques en lien avec le zonage sismique des Antilles Françaises a été présenté en séance. Le ministère a émis le souhait d'être tenu au courant des actions transverses de RESIF pour la France métropolitaine et outremer. Inversement il a été communiqué au ministère le souhait de l'action transverse sismicité de RESIF d'être un interlocuteur privilégié pour les actions à venir concernant l'évolution des zonages sismiques.
- Andréa Walpersdorf, directrice de RESIF, s'est exprimée sur la nécessité pour RESIF de soutenir la production de produits tels que ceux proposés dans le cadre de l'Action Transverse Sismicité, une fois la mise en place du réseau effective. Le soutien aux actions transverses visant la production de tels produits pourra être un élément de base pour la réponse à de futurs appels d'offre.

---

## Annexe – Programme du colloque et titres des présentations

---

### Lundi 29/01

14h00 – 14h30 - Bienvenue & Introduction au workshop

- L. Danciu : Presentation of the european SERA seismic hazard and seismo-tectonic zonation project

**Aléa (1a) Quantification de la déformation et sismicité : Observations et défis** (Chair : O. Scotti – M. Ferry)

14h30 – 15h30 - Catalogues de sismicité

- C. Beauval : Exploitation des catalogues de sismicité pour la définition de l'activité des sources en vue du calcul d'aléa sismique
- K. Manchuel : Le catalogue sismique français FCAT-17
- S. Lambotte : Retour sur le questionnaire catalogue de sismicité
- L. Provost : Prérequis pour l'élaboration d'un catalogue de sismicité historique

16h00 – 18h00 - Paléo-sismicité et géomorphologie

- M. Ferry : Introduction, contexte, et problématique
- T. Camelbeeck : Activité sismique long-terme dans le nord-ouest de l'Europe
- M. Meghraoui : Paléo-sismologie du graben du Rhin
- K. Manchuel : Vers une base de données "failles actives possibles" dans le SE de la France
- C. Kaub : Etude de cas sur la région vendéenne
- F. Thomas : Approche multi-disciplinaire dans l'étude des déformations sismogéniques quaternaire en milieu de tectonique lente - Cas de la Provence
- O. Bellier : Interaction canyon messinien et faille de Nîmes dans le secteur du bassin de Pujaut : apport quant à l'estimation de l'aléa local et régional

### Mardi 30/01

**Aléa (1b) Quantification de la déformation et sismicité : Observations et défis**

(Chair : O. Scotti – M. Ferry)

9h00 – 10h30 - Géodésie

- P. Vernant : Introduction, contexte, et problématique
- J.M. Noquet : Apports et limites du nivellement en France
- K. Chanard : Prise en compte du forçage environnemental dans les données GNSS
- M. Matthey : 20 ans de mesures GPS dans le Briançonnais et développement de techniques InSAR pour la déformation lente
- A. Walpersdorf : Les Alpes occidentales: est-ce que des mesures GPS long terme confirment la déformation montrée par les mécanismes sismiques ?

**Aléa (2) Modélisation des processus et de la déformation**

(Chair H. Jomard – S. Mazzotti)

11h00 - 12h30 - Processus, Forçages & Modèles numériques

- S. Mazzotti : Introduction, contexte, et problématique
- T. Camelbeeck : Apport de l'étude du géoïde
- J.R. Grasso : Quelle susceptibilité sismique aux forçages anthropiques en France métropolitaine ?
- J. Chéry : Comment modéliser la déformation en France ?
- A. Tarayoun : Modélisation de l'héritage structural

14h00 – 15h00 - Relations déformation / sismicité

- C. Sue : Introduction, mise en contexte, et problématique
- F. Masson : GPS et sismicité du graben du Rhin
- F. Gueydan : Relations héritage tectonique - localisation de la déformation actuelle
- A. Vallage : Paramétrisation de modèles sismo-tectoniques du Sud-Est de la France et confrontation aux catalogues de sismicité

**Aléa (3) Zonage sismo-tectonique : Quels moyens pour répondre aux défis ?** (Chair H. Jomard – S. Mazzotti)

15h00 – 16h00 - Zonage sismo-tectonique

- Introduction : H. Jomard – S. Mazzotti
- C. Larroque : Zonage sismo-tectonique de la jonction Alpes du Sud – Bassin Ligure
- C. Gélis : Groupe de travail « Kappa » du RAP

16h30 – 18h00 - Evolution court et moyen terme du zonage sismo-tectonique français

- A court terme : Mise à jour pour SERA 2019 (suite au projet SHARE)
- A moyen terme : Projets et moyens pour la communauté (autour de l'Action Sismicité RESIF ?)

**Mercredi 31/01**

**Aléa (4) & Shakemap (1) : Propriétés de la croûte (structure et atténuation)**

9h00 – 10h00 - Caractéristiques de la croûte métropolitaine

- Schlupp : Introduction, mise en contexte, et problématique
- E. Beucler, I. Gaudot et A. Mocquet : Quelques apports sur les hétérogénéités de vitesse et d'atténuation en France métropolitaine

**Aléa (5) Synthèse & Shakemap (2) – Introduction**

10h30 – 11h00 - Synthèse des journées aléa

- S. Mazzotti, H. Jomard

11h00 – 12h00 - Les « ShakeMap » en France : Introduction et bilan actuel

- A. Schlupp : Les « ShakeMap » calculées en France et contexte européen
- D. Bertil : Shakemap 3.5 : analyses techniques sur des exemples dans les Pyrénées

- Discussion

## Shakemap (2)

13h30 – 14h40 - Régionalisation de la ShakeMap. Justification et verrous à lever

- Intro & Chair : D. Bertil et IPGP/OVSG/OVSM : Introduction, mise en contexte, et problématique. Focus sur les Antilles
- J.A. Jara et S. Figueras : « ShakeMaps » transfrontalières dans les Pyrénées
- D. Ambrois : Mise en place des Shakemaps dans le Sud-Est de la France
- T. Lecocq et T. Camelbeek : Monitoring networks in Belgium: real time ground motion & impact mapping
- Discussion

14h40 – 15h50 - Alternatives méthodologiques

- Intro & Chair - P. Gueguen : Les ShakeMaps comme outils de recherche scientifique
- P. Gehl : Utilisation de l'inférence Bayésienne pour la génération de ShakeMaps
- Zentner et F. de Martin : Comparaison des cartes Shakemap à la simulation « physics-based »
- B. Hernandez, A. Le Pichon, J. Verzog et P. Herry : Imagerie des ondes infrasonores générées par les mouvements forts du séisme d'Amatrice, 24 août 2016 (MW 6.2)
- Discussion

16h20 – 17h00 - Evolution et amélioration de la ShakeMap nationale actuelle: Sur quoi et pourquoi ? Bilan et discussions

- Chair T. Lecocq.
- Schlupp : Réflexions issues du Groupe de Travail dans le cadre de l'axe transverse sismicité et point sur les évolutions apportées par la V4.0.
- Bilan et discussion