

Réseau sismologique et géodésique français RESIF : observer et comprendre les séismes pour faciliter la prévision des aléas et la prévention des risques

Helle Pedersen¹ et Jérôme Vergne².

Les séismes récents au Japon (11/03/2011, M=9.1), à Haïti (12/01/2010, M=7) et en Nouvelle-Zélande (21/02/2011, M=6.1) nous rappellent les forces extraordinaires mises en jeu lors de la rupture de l'écorce terrestre ainsi que l'impact profond que de tels évènements peuvent avoir sur la société. Malgré le fait qu'ils se soient produits dans des régions où l'aléa sismique était considéré comme important, leur lieu d'occurrence, leur magnitude ou les dégâts qu'ils ont occasionnés ont surpris. Ils illustrent le fait que notre connaissance des failles actives et de leur potentiel à générer des séismes destructeurs est encore parcellaire.

L'aléa sismique en France est contrasté. Il est considéré comme fort dans les Antilles, où l'occurrence de séismes majeurs, dont certains tsunamigéniques, est avérée et régulière. À l'inverse, l'aléa sismique en métropole est qualifié de faible à modéré. L'activité sismique est régulière et distribuée sur une grande partie du territoire (Fig. 1) mais la magnitude de ces évènements est rarement supérieure à 5. Malgré tout, l'étude de la sismicité historique révèle que plusieurs séismes destructeurs, de magnitude parfois supérieure à 6, se sont produits durant le dernier millénaire. D'autre part, la vulnérabilité croissante du territoire, de par sa forte urbanisation et industrialisation, rend nécessaire une meilleure prise en compte du risque sismique dans de nombreux domaines. Le développement de la recherche et la mise au point de technologies visant à l'atténuation de ces risques induits constituent donc un enjeu scientifique et sociétal majeur.

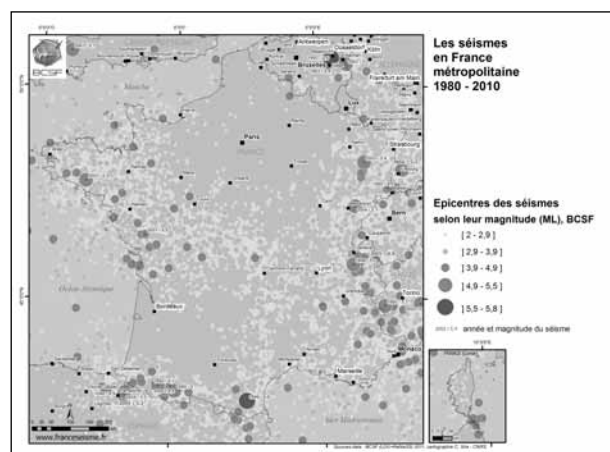


Figure 1. Les séismes en France métropolitaine - 1980-2010 (source BCSF³).

Le projet RESIF

Pour bâtir des scénarios sismiques fiables, il est nécessaire de comprendre et de maîtriser tout un enchaînement de phénomènes : reconnaissance des failles potentiellement actives, caractérisation du glissement sur la faille, propagation des ondes sismiques, amplification locale en fonction de la nature du sous sol, réponse des ouvrages...

RESIF entend proposer une infrastructure coordonnée permettant de mener des recherches de pointe sur les séismes et les ondes sismiques et plus généralement l'ensemble des déformations affectant la Terre. Au niveau métropolitain, RESIF ambitionne de bâtir une antenne d'observation permanente multi-échelles et multi-instruments constituée de capteurs sismologiques, géodésiques et gravimétriques. RESIF disposera également d'un parc d'équipements mobiles permettant notamment de densifier localement et temporairement l'infrastructure permanente. L'intégration dans RESIF des équipements situés à la Réunion et aux Antilles est en préparation, et l'extension vers les observations spatiales, les équipements situés ailleurs dans le monde, et ceux permettant des mesures en mer, est à l'étude. Grâce à RESIF, les nombreux réseaux d'observation géophysique fonctionnant jusqu'à présent de manière relativement séparée, feront partie, à terme, d'une même infrastructure de recherche.

RESIF bâtira également un système d'information permettant l'intégration de l'ensemble des données acquises et des produits dérivés. Ces données seront rendues disponibles librement, gratuitement et, pour certaines, sous un délai de l'ordre de quelques secondes à la minute, pour les chercheurs, le grand public, l'enseignement, et les décideurs. La structuration de RESIF rendra également plus aisé un partage de données avec les acteurs opérationnels d'alerte.

Administrativement, RESIF est un projet national porté par 9 organismes⁴ et des universités hébergeant des Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU), organisés au sein d'un consortium, actuellement en cours de signature. Le CNRS-INSU⁵, à l'initiative de ce projet, joue le rôle de coordinateur de RESIF pour le consortium. RESIF est labellisé SOERE⁶ et inscrit sur la feuille de route des

1. Déléguée scientifique CNRS-INSU, coordonnatrice du TGIR RESIF, UJF, Isterre, Grenoble.

2. Responsable du Réseau Large Bande Permanent (RLBP), EOST, Université de Strasbourg.

3. Bureau Central Sismologique Français.

4. Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), Centre National d'Études Spatiales (CNES), Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFFSTAR), Institut Géographique National (IGN), Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN).

5. Institut National des Sciences de l'Univers.

6. Systèmes d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement.

TGIR⁷ du Ministère de la Recherche. RESIF reçoit également un soutien du MEDDTL⁸. Enfin, RESIF se développe en lien étroit avec le projet européen EPOS⁹ qui fait partie des grandes infrastructures de recherche européennes, telles qu'elles apparaissent dans la stratégie ESFRI¹⁰. RESIF sera donc une contribution majeure aux systèmes d'observation des déformations de la Terre à l'échelle européenne et mondiale.

L'antenne sismologique permanente métropolitaine

Situation actuelle

L'installation d'un réseau national de stations sismologiques autonomes en métropole a débuté dans les années 1980 avec la création du Réseau National de Surveillance Sismique (RéNaSS). L'objectif de ce service est de mieux connaître l'activité microsismique du territoire et de fournir rapidement des informations sur les séismes potentiellement ressentis par la population. Ce service fonctionne sous la forme d'une fédération de réseaux régionaux pilotés par des OSU et l'essentiel des données sont centralisées et analysées au site central du RéNaSS situé à l'Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre à Strasbourg. Ce réseau comporte actuellement environ 80 stations principalement réparties dans les Vosges, les Alpes, les Pyrénées et le Massif central.

La construction relativement longue de ce réseau, ainsi que son mode de fonctionnement, ont engendré une forte hétérogénéité des équipements. En particulier, ces stations sont équipées de sismomètres à courte période et souvent mono composante, certes bien adaptés à la localisation de la microsismicité, mais qui ne correspondent plus aux standards internationaux et qui sont inadaptés à de nombreuses études sur les séismes, la propagation des ondes et l'imagerie de la Terre.

En parallèle, le Laboratoire de Détection Géophysique (LDG) du CEA a, dès le début des années 60, développé un réseau sismique permanent en métropole et opère actuellement un réseau de 38 stations courte période et 6 stations large-bande, dont la localisation est complémentaire de celle du RéNaSS. Ces stations sont utilisées, entre autres, pour alerter les pouvoirs publics en cas de séisme important.

Les données paramétriques du RéNaSS et du LDG sont mixées mensuellement dans le but de fournir un catalogue de référence de la sismicité française, publié par le Bureau Central de Sismologie Français (BCSF). Ce catalogue est une des entrées permettant la définition du zonage sismique national.

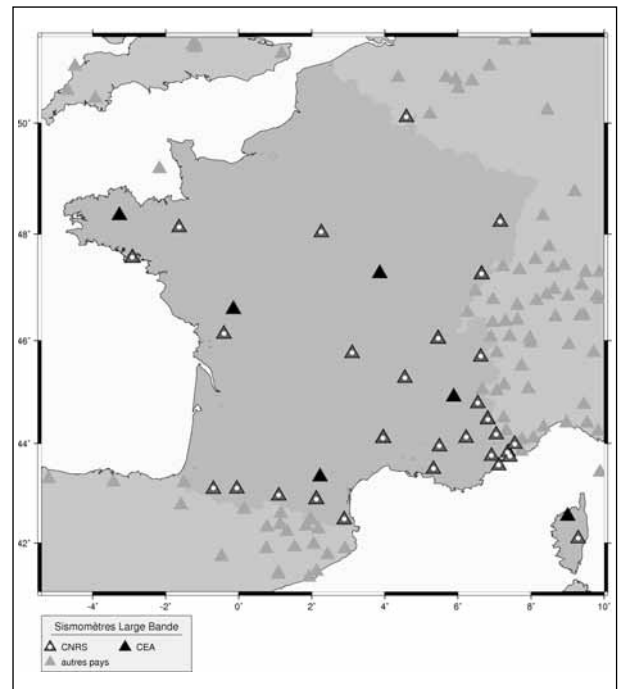


Figure 2. Localisation des stations large bande en France métropolitaine : situation actuelle (source RESIF).

La nécessité de disposer en métropole de stations modernes, permettant un enregistrement dans une large gamme de fréquences et d'amplitudes, a motivé la création du Réseau Large Bande Permanent (RLBP) en 2007. Associant plusieurs OSU et le LDG, ce réseau comporte actuellement 34 stations dites « large bande » (Fig. 2), dont les caractéristiques techniques correspondent aux standards européens et permettent des études des sources sismiques et de la structure profonde de la Terre. Cependant, le nombre relativement faible de sites et leur répartition encore trop hétérogène ne permet pas de tirer pleinement partie de cet équipement.

Enfin, un nombre important de capteurs accélérométriques a été déployé à partir de 1993 dans le cadre du Réseau Accélérométrique Permanent (RAP). Actuellement constitué de 144 stations (incluant celles installées dans les DOM-COM¹¹), ce réseau a vocation à enregistrer les mouvements forts du sol et à effectuer des études sur la réponse de bâtiments aux vibrations sismiques.

Le projet d'antenne vélocimétrique permanente

Cette relative complexité des réseaux sismologiques permanents en France métropolitaine et surtout leur grande hétérogénéité, à la fois en termes d'équipement et de répartition géographique, est pénalisante et empêche d'améliorer notre connaissance de la sismicité et de la structure interne du territoire.

7. Très Grandes Infrastructures de Recherche.

8. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement.

9. European Plate Observing System.

10. European Strategy Forum on Research Infrastructures. La 1ère Roadmap ESFRI remonte à 2006, avec 35 projets. Dans la version 2008, la Roadmap ESFRI comporte 44 projets. La dernière version a été publiée en décembre 2010.

11. Comme suite à la révision constitutionnelle du 28 mars 2003, la dénomination Territoires d'Outre-Mer (TOM) est devenue Collectivités d'Outre-Mer (COM).

RESIF va permettre de moderniser et de repenser l'observation sismologique permanente en bâtissant une infrastructure d'un niveau technique et scientifique semblable, voire supérieur, à celui des réseaux actuels ou planifiés dans plusieurs pays limitrophes (Suisse, Italie, Allemagne, Grande-Bretagne...). Le nouveau réseau vélocimétrique envisagé sera constitué de 200 stations large bande (Fig. 3). Il comportera une ossature d'environ 50 stations réparties de manière homogène et présentant un niveau de bruit sismique très bas. La répartition des 150 autres sites sera en partie modulée par l'activité sismique sur le territoire et les actuels sites courte période du RéNaSS seront réutilisés, dans la mesure du possible, pour assurer une continuité des points de mesure. L'essentiel des nouvelles stations accueillera également un accéléromètre permettant d'étendre la gamme des fréquences et des amplitudes pouvant être enregistrées. De plus, les équipements, les infrastructures d'accueil et les modes de communication seront homogénéisés pour augmenter la fiabilité et la durabilité de l'infrastructure. Surtout, ces caractéristiques techniques et la répartition des sites permettront, suivant la gamme de fréquence étudiée, d'utiliser ces stations comme une antenne sismologique, ouvrant la voie à des études détaillées de la structure et de la sismicité à l'échelle du territoire ainsi qu'à une échelle plus globale.

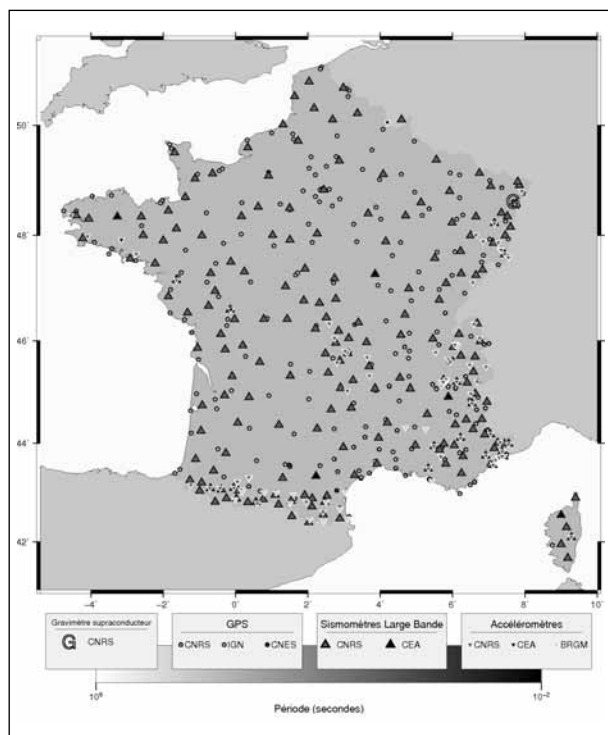
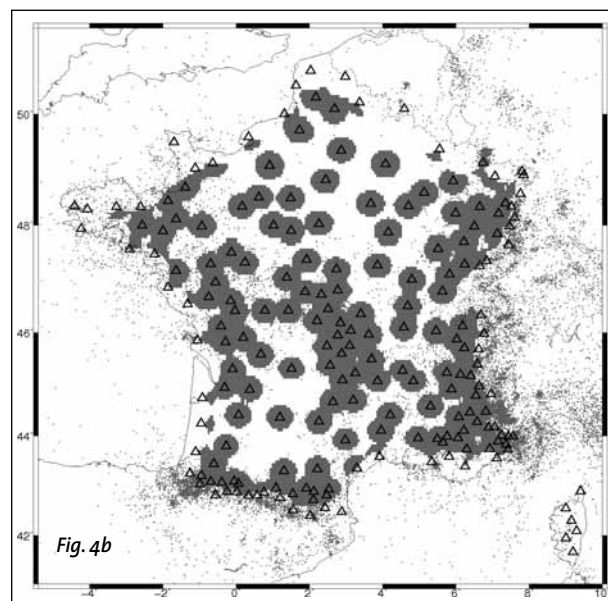
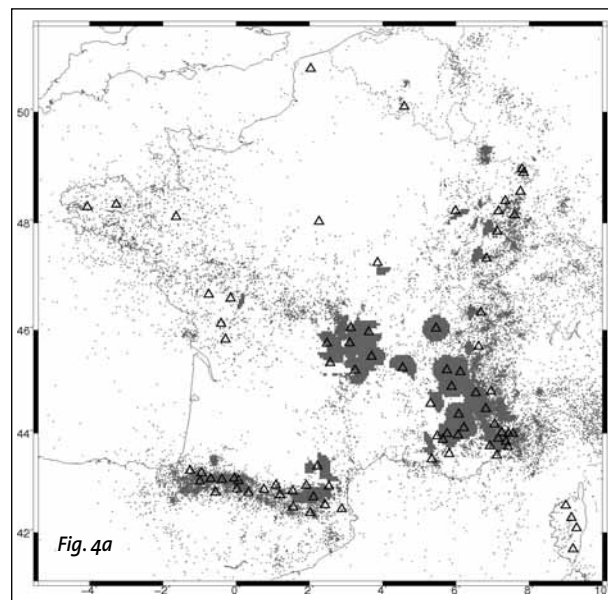


Figure 3. Localisation des stations large bande en France métropolitaine : géométrie envisagée dans le cadre de RESIF (source RESIF).

Ce nouveau réseau permettra notamment une connaissance nettement plus fine de la microsismicité (Fig. 4a et b) à la fois en terme de précision de la localisation (notamment en profondeur) et de magnitude de complétude. En effet, l'information portée par ces petits séismes est cruciale car ils permettent d'identifier les failles présentant un potentiel sismogène et d'estimer des temps de retour caractéristiques d'événements importants.

Ce réseau permettra également d'imager de manière continue les propriétés physiques de la



Figures 4a et b. Zones de bonne observation de séismes en France métropolitaine, selon des critères « Ground Truth » GT5 (Bondar et al., 2004¹²) : a) à partir des réseaux actuels ReNaSS et RLBP, b) à partir de la future antenne vélocimétrique permanente de RESIF (source RESIF).

12. Bondar, I., Myers S. C., Engdahl E. R., and Bergman E. A., 2004. Epicentre accuracy based on seismic network criteria, *Geophys. J. Int.* 156, 483–496.

lithosphère française, notamment en termes de vitesses des ondes sismiques et d'atténuation. La connaissance de cette structure interne est nécessaire pour simuler la propagation des ondes et estimer leur amplitude en un point donné; ce dernier paramètre étant déterminant pour le dimensionnement des bâtiments et des ouvrages de génie civil.

Interconnexion avec les autres éléments de RESIF

L'infrastructure RESIF est pensée pour tirer pleinement partie des données et informations apportées par les différents types de mesures géophysiques. Par exemple, le réseau géodésique permanent permet de mesurer les déformations (composante statique) de la croûte terrestre. Les faibles taux de déformations observés en France nécessitent des durées d'observation longues et un réseau dense pour estimer correctement les contraintes accumulées au niveau des principales structures tectoniques actives. D'autre part, ces observations à terre seront à terme couplées avec des observations satellitaires, permettant d'étudier la déformation sur des zones étendues.

Les équipements mobiles compléteront le dispositif permanent pour se focaliser sur des objets d'étude particuliers, géographiquement localisés. Par exemple, le projet PYROPE¹³, qui a débuté à l'automne 2010, a pour objectif de caractériser la structure et la dynamique des Pyrénées. Pour cela, 40 stations mobiles sont installées pour 2 ans sur une grille régulière dans le Sud-Ouest (distance inter-station de l'ordre de 50 km) et complètent les stations permanentes de la région, ainsi qu'un dispositif équivalent en Espagne. La prolongation de cette nappe mobile est d'ores et déjà envisagée ailleurs en France et pourra se poursuivre ailleurs en Europe dans le but de fournir une image continue et détaillée de la lithosphère européenne à l'instar du projet USArray aux États-Unis. La lithosphère européenne étant en partie immergée, ce type de projet devra également inclure l'installation de sismomètres de fond de mer, dont l'intégration dans RESIF est envisagée. Enfin, ces équipements mobiles ont également vocation à être déployés à l'étranger pour étudier d'autres contextes tectoniques et ainsi accroître notre connaissance des processus géodynamiques internes à l'origine des séismes.

L'interconnexion des instruments sera effective également par la mise en place d'un système d'information commun à tous les éléments de RESIF. De par la dispersion actuelle des équipements, seulement une partie des données sismologiques actuelles est validée et distribuée selon les standards et avec les outils interna-

tionaux. C'est pourquoi une nouvelle architecture de collecte, validation, distribution et archivage des données sera mise en place à partir de juin 2011 (Fig. 5). Cette nouvelle organisation remplacera progressivement le mode de fonctionnement actuel des différentes composantes qui sera maintenu durant la phase de transition. Une homogénéisation des procédures sera mise en place entre les quatre centres de données actuels, et un centre de distribution et d'archivage de données sera créé. Le système semi-distribué permettra de tirer partie de l'expérience actuellement présente dans les observatoires des sciences de l'univers, tout en optimisant l'accès efficace à des données de qualité pour les utilisateurs.

Conclusion

La recherche sur le risque sismique en France et dans le monde nécessite des équipements modernes d'observation et de recherche. Le projet RESIF entend répondre à ce besoin par la création d'un réseau sismologique et géodésique intégré, en mettant ensemble tous les acteurs du domaine en France.

Les objectifs scientifiques de RESIF vont bien au-delà de l'étude des séismes, car l'équipement permettra d'étudier la dynamique de la terre à toute échelle, depuis le noyau jusqu'à l'étude fine de la croûte – chaînes de montagnes, grands bassins sédimentaires, volcans du Massif central... – avec des impacts importants sur l'étude d'autres risques d'origine interne et sur l'exploration des ressources naturelles.

L'accès libre et gratuit aux données est un élément essentiel pour assurer un impact maximal de l'infrastructure. L'intégration de RESIF dans l'infrastructure européenne EPOS est également un atout majeur pour une large utilisation des données de RESIF par toute la communauté internationale de chercheurs en sciences de la Terre.

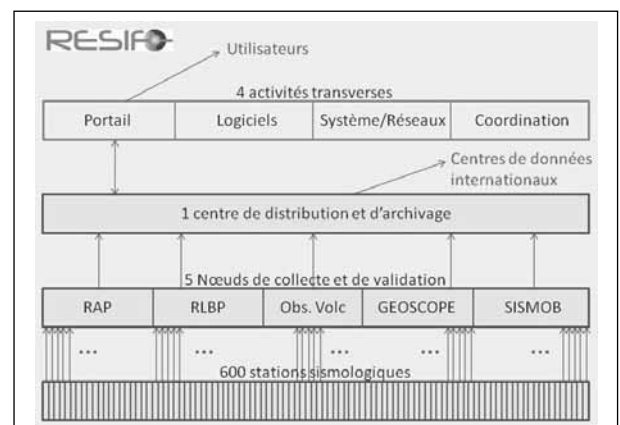


Figure 5. Nouvelle architecture de traitement et distribution des données sismologiques françaises (source RESIF).

13. PYRenean Observational Portable Experiment. Projet financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour la période 2010-2013.