



HAL
open science

Le réseau accélérométrique permanent : 25 ans de mesure des séismes majeurs en France

Emeline Maufroy

► **To cite this version:**

Emeline Maufroy. Le réseau accélérométrique permanent : 25 ans de mesure des séismes majeurs en France. 2021, pp.3-6. hal-03662511

HAL Id: hal-03662511

<https://hal.science/hal-03662511>

Submitted on 12 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Le réseau accélérométrique permanent 25 ans de mesures des séismes majeurs en France

La carte de la sismicité de la France [1] fait apparaître des régions où l'aléa sismique est relativement important (Antilles, Alpes, Provence Côte d'Azur et Pyrénées) et des régions où les taux de sismicité sont modestes mais non négligeables (Fossé Rhénan, Ardennes, Massif Central, Massif Armoricaïn, Mayotte). Cette sismicité justifie la surveillance des mouvements forts du sol causés par les séismes qui affectent le territoire, et leurs effets sur les structures. C'est la mission qui a été confiée au Réseau Accélérométrique Permanent (RAP) en 1997 et qui a conduit à l'instrumentation de 160 stations accélérométriques en France hexagonale et outre-mer. Les accéléromètres ont en effet la sensibilité requise pour enregistrer de fortes amplitudes sans effet de saturation dans la gamme de fréquences intéressant le génie civil.

Partenaires du Rap

Le RAP est découpé en sous-réseaux régionaux qui correspondent aux localisations géographiques des partenaires :

- Osug (RAP-Alpes),
- IPGP (RAP-Antilles),
- Eost (RAP-Grand-Est),
- OCA (RAP-Azur),
- OMP (RAP-Pyrénées),
- OPGC (RAP-Auvergne),
- Osuna (RAP-Ouest),
- UBO (RAP-Bretagne),
- IRSN (RAP-Durance).

Le CEA et le BRGM opèrent aussi des stations RAP en métropole, ainsi qu'aux Antilles et à Mayotte pour le BRGM. L'UGE et le Cerema sont également des partenaires historiques du RAP.

Un réseau instrumental déployé dans les zones les plus sismiques de France

L'un des défis du RAP consiste à installer ses stations au plus proche des sources sismiques afin d'enregistrer les mouvements forts à courte distance, idéalement à moins de 20 km de l'épicentre du séisme. Le déploiement et l'évolution du réseau sont donc fortement dépendants de la connaissance croissante de la sismicité française et des failles potentiellement actives [2]. Le RAP installe également certaines de ses stations dans des zones sensibles au risque sismique : sites géologiques spécifiques où des phénomènes d'amplification des ondes sismiques sont attendus, et zones urbaines à forts enjeux humains, économiques ou environnementaux (par exemple à Nice

[3]). Le réseau est constitué en majorité de stations individuelles, mais il comprend également des antennes¹ de capteurs installées dans des bâtiments à Nice, Lourdes (photo 1), Grenoble et en Martinique [4].

1 Une antenne de capteurs est un ensemble de capteurs, éventuellement de différents types (par ex. sismomètres couplés avec une station météorologique), qui instrumentent un même objet d'étude (bâtiment, ouvrage d'art, forage ou site particulier) en différents points de cet objet.



1— La station PYTO du RAP, installée à Lourdes dans les Hautes-Pyrénées, est une antenne de 24 capteurs qui instrumentent depuis 2008 la Tour Ophite, tour d'habitation de 20 niveaux. La photographie montre deux des capteurs installés sur le toit. Ce dispositif est répété en deux autres points du toit, puis dans les différents étages de la tour jusqu'au sous-sol, ce qui permet de mesurer la déformation du bâtiment sur toute sa hauteur et d'étudier sa réponse aux sollicitations sismiques. Crédits : M. Langlais, ISTERre. hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/medihal-01992154

Le RAP est un service national d'observation du CNRS-Insu et intègre l'infrastructure de recherche Résif-Epos. La maintenance du réseau est assurée par l'ensemble des partenaires du RAP. Certaines stations sont opérées en commun avec le Réseau Large-Bande Permanent (RLBP), aux sites permettant de faire coïncider les objectifs scientifiques des deux réseaux. Le pilotage national du RAP est assuré par sa direction basée à l'ISTERre (Osug) de Grenoble. Le RAP national se charge de collecter les données accélérométriques acquises par toutes les stations du réseau, met à jour et maintient la base de données nationale qui en découle (nœud A RAP du système d'information Résif [5]), fournit un support technique aux réseaux régionaux et veille à maintenir les stations à la pointe de la technologie.

Pour garantir la permanence des sites instrumentés, la première vague de modernisation de la totalité des équipements du RAP a été lancée en 2013 afin de remplacer les numériseurs et capteurs obsolètes ou défectueux par du matériel neuf. Cette campagne, financée sur les crédits TGIR Résif et de l'Insu, se terminera bientôt (moins

de 30 stations sur 160 restent à moderniser). Par la suite, il s'agira d'assurer la jouvence des stations dans la durée, toujours avec le soutien de Résif.

Les données accélérométriques du RAP sont distribuées par le centre de données national Résif-Epos (nœud B du système d'information Résif), qui est lui-même connecté aux systèmes interoperables européens et internationaux Orfeus-Eida de Epos, et FDSN. En particulier, les données du RAP alimentent les services RRSM et ESM d'Orfeus [6], qui sont des services Epos à destination des acteurs de la prévention du risque sismique (scientifiques, services d'états, collectivités).

Un rôle fédérateur pour atteindre des objectifs scientifiques et sociétaux

L'objectif scientifique principal du RAP est d'améliorer notre compréhension des mécanismes physiques impliqués dans la génération de mouvements sismiques forts et

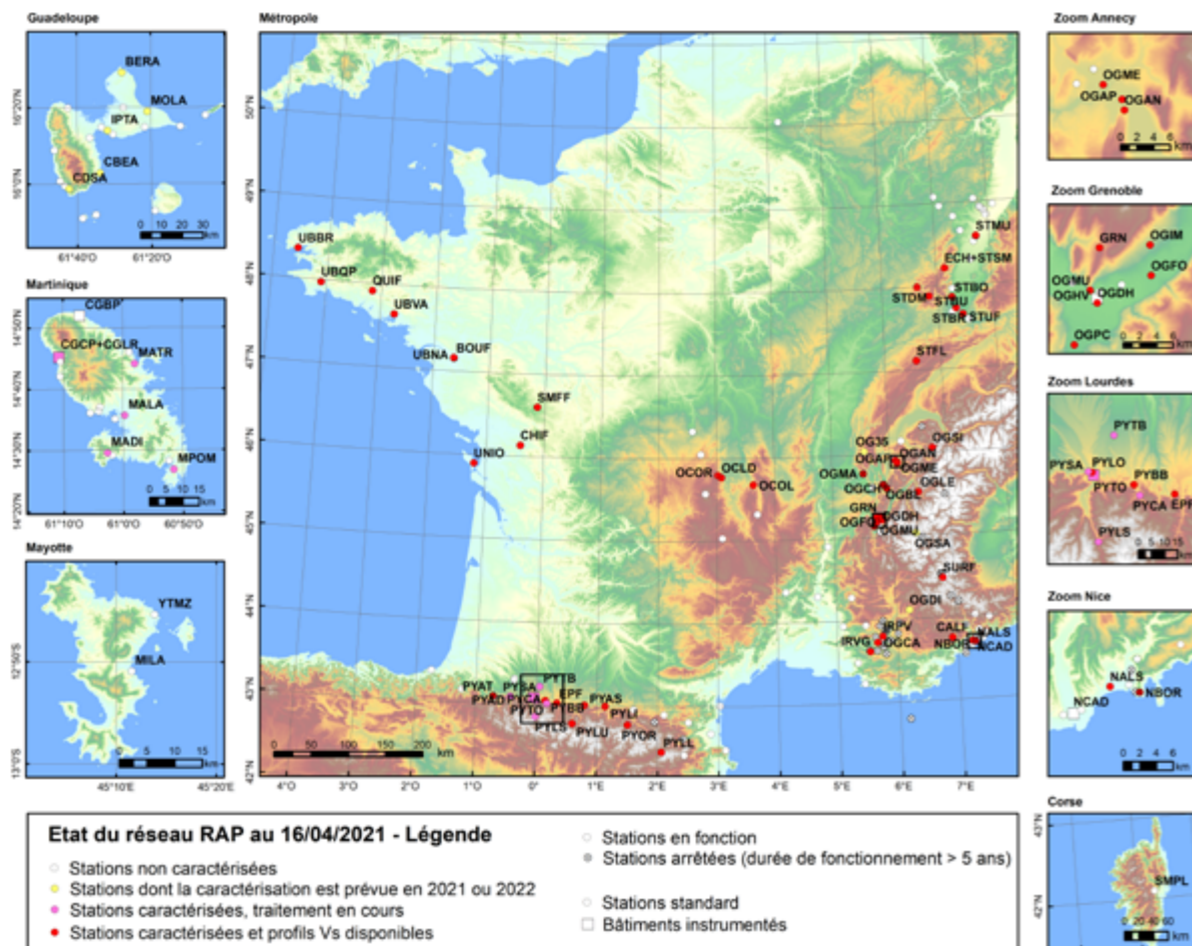
destructeurs sur le territoire. Les données du RAP sont aussi exploitées pour l'information post-séisme, comme par exemple pour le séisme du Teil (11 novembre 2019 [7,8,9]) ou la séquence sismique de Mayotte en 2018 [10,11].

Dès son origine, le RAP a favorisé les synergies entre les différents acteurs impliqués dans l'analyse de l'aléa et du risque sismique en France, qu'ils soient universitaires ou opérationnels. Ainsi, le RAP est aussi une communauté dont l'animation scientifique est soutenue par le Ministère de la Transition Écologique. Cette communauté publie une lettre d'information deux fois par an. Le réseau anime plusieurs groupes de travail afin de réfléchir à son évolution et à des actions de valorisation en lien avec la réglementation pour réduire le risque sismique sur le territoire français. Ces groupes contribuent aussi à enrichir les données du RAP. Une étape importante se déroule tous les deux ans, la Biennale du RAP, qui rassemble la communauté sur quelques jours lors d'un colloque

Recherches soutenues par le RAP

Les recherches soutenues par le RAP concernent les processus de rupture sur les failles (effets de source sismique [9]), la propagation et l'atténuation des ondes sismiques, la compréhension de l'amplification locale des ondes sismiques par la géologie superficielle (effets de site [3]), l'analyse et la prédiction du mouvement du sol dans les fréquences intéressant le génie civil, la mesure expérimentale de la réponse des bâtiments à la sollicitation sismique, la dynamique des structures et leur vulnérabilité aux séismes.

technique et scientifique. Dans l'année-intervalle, le RAP lance un appel à projets scientifiques, de recherche et de valorisation, pour soutenir des projets nouveaux qui favorisent les collaborations entre les partenaires.



Carte Résif-Rap - Crédits : F. Hollender ; hal.archives-ouvertes.fr/RESIF/hal-03201545



2- Manipe de caractérisation des conditions de sites aux stations RAP. Mise en place des petits réseaux circulaires AVA de rayons 5 et 15 m près de la station PYTB à Tarbes, dans les Pyrénées, le 16 septembre 2019 - Crédits : F. Hollender

Une démarche d'amélioration constante des données produites

Le RAP est désormais dans une dynamique d'amélioration de la connaissance et de la qualité de ses sites instrumentés. La caractérisation systématique des conditions de sites est un volet fondamental pour une meilleure utilisation des données dans les études d'aléa sismique et pour la prédiction du mouvement du sol. Il s'agit d'une recommandation

émise après le projet H2020 EU-SE-RA¹ et suivie par de nombreux pays instrumentés en Europe. Le protocole de mesures et de traitements [12] vise à déterminer les propriétés du sous-sol sous les stations, c'est-à-dire les profils de vitesse des ondes de cisaillement, desquels on déduit un certain nombre de proxys largement utilisés en aléa sismique (classe de sol EC8, V_s^{50} , H^{800} , etc.). Ce protocole² a été appliqué à une soixantaine de stations RAP de métropole et de Martinique.

Pour caractériser une seule station, le protocole requiert une équipe de 6 à 8 personnes et 300 kg de matériel sur le site pendant une journée (photos 2 et 3), puis 3 à 5 jours de traitement des données par un expert. La campagne de caractérisation va se poursuivre sur le RAP et s'étendre aux stations permanentes du RLBP.

Un autre volet concerne les conditions d'installation des capteurs accélérométriques [13], avec pour objectif à terme de déterminer, à chaque station du réseau, les fréquences où le mouvement enregistré peut être considéré comme représentatif du « vrai champ libre » (c'est-à-dire exactement à la surface du sol naturel, en minimisant les perturbations par la structure d'accueil du capteur et sans effet de profondeur).

1 www.sera-eu.org

2 Les acquisitions exploitent les propriétés de dispersion des ondes de surface dont on extrait le profil V_s par inversion, avec deux types de mises en œuvre : mesures sismologiques passives en réseau AVA (Ambient Vibration Array) pour atteindre les plus grandes profondeurs (jusqu'à plusieurs centaines de mètres), et mesures actives MASW (Multichannel Acquisition of Surface Wave) pour la caractérisation superficielle.



3- Manipes de caractérisation des conditions de sites aux stations RAP. Mesures MASW aux stations PYCA le 20 septembre 2019 (à gauche - crédits : F. Hollender) et CGLR (à droite - Crédits : E. Maufroy). L'acquisition en ligne est déployée à proximité immédiate de la station permanente.

Les mouvements générés par les séismes majeurs français décrits dans un produit unique en 2020

Le RAP et ses associés ont récemment produit le premier « flatfile » français, qui est une table paramétrique décrivant les mouvements enregistrés aux stations Résif pour chaque séisme majeur sur le territoire métropolitain entre 1996 et 2016 (468 événements nationaux de magnitude ML RéNaSS 2.4 à 5.6 enregistrés à 379 stations [14]).

Les études d'aléa sismique, outre la description des séismes eux-mêmes (localisation, magnitude, récurrence, processus de rupture), prennent en compte tous les mouvements du sol qui affectent la région épiscopale. Ces mouvements dans l'espace sont très variables du fait de la complexité des phénomènes de propagation des ondes sismiques dans la croûte terrestre superficielle et dans les sous-sols hétérogènes. Leur prédiction est une tâche difficile mais incontournable, qui repose sur un grand nombre d'observations. Le flatfile français associe aux amplitudes fréquentielles du mouvement du sol et aux paramètres de forme d'onde validés après analyse de résidus, les métadonnées de source et de site utilisées en aléa sismique, pour un total de près de 600 000 champs renseignés. Accessible par l'entrepôt produits de Résif, le flatfile a pour utilité principale l'amélioration des modèles de prédiction du mouvement sismique fort en France ; il peut aussi être utile à de nombreuses autres analyses. Sa mise à jour jusqu'à 2019 est en cours de finalisation, et il est prévu de constituer un premier flatfile pour les Antilles françaises en 2022.

Par ces produits sur la caractérisation des conditions de sites, la définition du champ libre, la description des antennes en bâtiment et les paramètres des mouvements forts, le RAP participe activement à l'effort européen de standardisation et d'enrichissement des données et des métadonnées associées à l'aléa sismique.

Dans une perspective à long terme, la communauté du RAP soutient le renforcement des moyens d'observation déployés au cœur des villes exposées à un aléa sismique naturel ou anthropique afin d'augmenter leurs capacités de résilience en cas de survenue d'un séisme destructeur. Par ailleurs, l'importante variabilité spatiale du mouvement du sol, que l'on observe de mieux en mieux dans les régions affectées par un séisme, imposera à l'avenir une augmentation de la résolution spatiale des observations. Ce défi de croissance reposera sur des instruments diversifiés et donc une fédération accrue de la communauté Résif sur ces enjeux avec des installations très longue durée couplées à des mesures denses temporaires, des déploiements de capteurs nouvelle génération adaptés au milieu urbain (fibre optique, rotation, instruments à bas coût). Ces efforts favoriseront l'implication et l'éducation des acteurs locaux, indispensables pour une prévention efficace du risque sismique.

E. Maufroy

En savoir plus

Site web du RAP : rap.resif.fr

Actualité Résif Le Teil : lc.cx/_1QInhwBg

Entrepôt produits Résif : lc.cx/RJc8UpHM1

Références

- [1] Carte de sismicité instrumentale de la France métropolitaine 1962-2020 ; BCSF-RénaSS 2021 - Masson, F., S. Auclair, D. Bertil et al. (2021). The Transversal Seismicity Action RESIF: A Tool to Improve the Distribution of the French Seismicity Products, *Seismol. Res. Lett.* XX ; 1-18 ; doi.org/10.1785/0220200353.
- [2] BDFa, 2020. Database of potentially active faults (BDFa) for Metropolitan France ; bdfa.irs.fr/ - Jomard, H., Cushing, E.M. et al. (2017). Transposing an active fault database into a seismic hazard fault model for nuclear facilities - Part 1: Building a database of potentially active faults (BDFa) for metropolitan France. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17, 1573-1584 ; doi.org/10.5194/nhess-17-1573-2017
- [3] Courboulex F., Mercerat E. D., Deschamps A. et al. (2020). Strong site effect revealed by a new broadband seismometer on the continental shelf offshore Nice airport (Southeastern France). *Pure and Applied Geophysics*, 177, 3205-3224 ; doi.org/10.1007/s00024-019-02408-9
- [4] Limongelli M.P., Dolce M., Spina D., et al. (2019). S²HM in some European countries, In: Limongelli M.P., Çelebi M. (eds), *Seismic structural health monitoring*, 303-343. Springer Tracts in Civil Engineering, Springer ; doi.org/10.1007/978-3-030-13976-6_13
- [5] Péquegnat C., Schaeffer J., Satriano C. et al. (2021). Résif-SI: a distributed information system for French seismological data. *Seismological Research Letters*, 1-22 ; doi.org/10.1785/0220200392
- [6] Lanzano G., Luzi L., Cauzzi C. et al. (2021). Accessing European strong motion data: an update on ORFEUS coordinated services. *Seismological Research Letters* ; doi.org/10.1785/0220200398
- [7] Cornou C., Ampuero J.-P., Aubert C. et al. (2021). Rapid response to the Mw 4.9 earthquake of November 11, 2019 in Le Teil, Lower Rhône Valley, France. *Comptes Rendus Geoscience* ; doi.org/10.5802/crgeos.30
- [8] Ritz J.-F., Baize S., Ferry M. et al. (2020). Surface rupture and shallow fault reactivation during the 2019 Mw 4.9 Le Teil earthquake, France. *Communications Earth & Environment*, 1, 10 ; doi.org/10.1038/s43247-020-0012-z
- [9] Causse M., Cornou C., Maufroy E. et al. (2021). Exceptional ground motion during the shallow Mw 4.9 2019 Le Teil earthquake, France. *Communications Earth & Environment*, 2, 14 ; doi.org/10.1038/s43247-020-00089-0
- [10] Lemoine A., Briole P., Bertil D. et al. (2020). The 2018-2019 seismo-volcanic crisis east of Mayotte, Comoros islands: seismicity and ground deformation markers of an exceptional submarine eruption. *Geophysical Journal International*, 223(1), 22-44 ; doi.org/10.1093/gji/ggaa273
- [11] Cesca S., Letort J., Razafindrakoto H. N. T. et al. (2020). Drainage of a deep magma reservoir near Mayotte inferred from seismicity and deformation. *Nature Geoscience*, 13, 87-93 ; doi.org/10.1038/s41561-019-0505-5
- [12] Hollender F., Cornou C., Dechamp A. et al. (2018). Characterization of site conditions (soil class, Vs30, velocity profiles) for 33 stations from the French permanent accelerometric network (RAP) using surface-wave methods. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(6), 2337-2365 ; doi.org/10.1007/s10518-017-0135-5
- [13] Hollender F., Roumelioti Z., Maufroy E. et al. (2020). Can we trust high-frequency content in strong-motion database signals? Impact of housing, coupling, and installation depth of seismic sensors. *Seismological Research Letters*, 91(4), 2192-2205 ; doi.org/10.1785/0220190163
- [14] Traversa P., Maufroy E., Hollender F. et al. (2020). RESIF RAP and RLBP dataset of earthquake ground motion in mainland France. *Seismological Research Letters*, 91(4), 2409-2424 ; doi.org/10.1785/0220190367