

La Lettre du RAP

Premier semestre 2020 – Numéro 30

- S'inscrire à la newsletter
- Ne plus recevoir la newsletter

Quelle année ! Les plus attentifs d'entre vous n'auront pas manqué de remarquer que ce 30^{ème} numéro de la Lettre du RAP sort avec un certain retard. Il aura fallu pas moins d'un séisme destructeur, d'une manipe (très) éprouvante et d'une pandémie mondiale pour nous mettre dans ce retard. C'est donc avec soulagement et fierté que nous vous livrons ce nouveau numéro malgré l'adversité. La toute première Lettre du RAP est sortie en janvier 2005 ([vous pouvez la retrouver ici](#)) : elle était aussi dense que celle-ci et illustre déjà le dynamisme de notre communauté. L'année 2004 avait été riche en séismes importants sur le territoire français. Le RAP comptait alors 104 stations (163 aujourd'hui). On y parlait déjà d'instrumenter les bâtiments, de caractériser les sites du réseau et de mieux prédire le mouvement sismique. Quinze ans plus tard : nos connaissances ont considérablement progressé et nous avons beaucoup avancé sur ces questions ; elles restent tout de même encore au cœur des préoccupations du RAP. Le séisme du Teil en novembre 2019 nous a tous mobilisés. Nous comprenons mieux maintenant la physique impliquée dans l'occurrence des dégâts, depuis l'hétérogénéité de la radiation de l'énergie sismique sur la faille, la complexité de la propagation des ondes dans un milieu particulier, jusqu'à la vulnérabilité du bâti ancien. Mais il nous reste encore du travail pour être capable de prévenir une commune contre la soudaineté d'un tel événement et la gravité de ses effets.

La communauté du RAP aurait dû se réunir en cette fin d'année 2020 pour la 10^{ème} édition de sa Biennale. Nous avons été contraints de repousser l'événement à avril 2021 pour des raisons logistiques ; on espère que ça sera pour le mieux. Vous trouverez les informations les plus fraîches sur l'événement en dernière page. Je remercie vivement toutes les personnes qui ont contribué à la rédaction de ce 30^{ème} numéro. Si vous le souhaitez, vous pouvez dès à présent proposer du contenu pour le prochain numéro ([contact](#)). Nous vous souhaitons une bonne lecture, ainsi qu'un agréable été.

Emeline Maufroy, directrice du RAP

Une année mouvementée pour le RAP

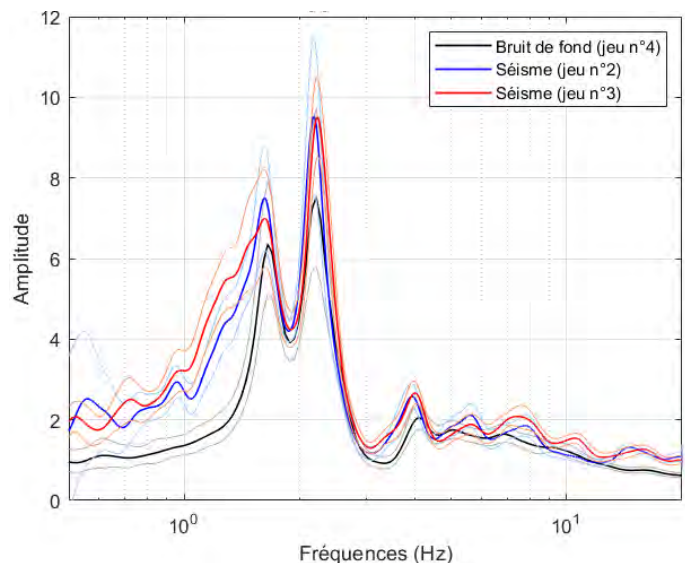
- 11 novembre 2019 : Séisme du Teil, Mw 4.9, [à voir ici](#) tel qu'enregistré à la station accélérométrique OGLP, station permanente la plus proche de l'épicentre (27 km) et opérée par le BRGM. L'accélération maximale y est de 6 mg, mais l'importance du mouvement à l'épicentre reste méconnue. Outre par ses enregistrements, le RAP a également contribué aux interventions post-événement : prêt de matériel pour la manipe post-sismique et soutien à la [mission du Groupe d'Intervention Macrosismique](#).
- 12 novembre 2019 : Présentation du RAP aux journées RESIF, intitulée « 20 ans d'enregistrement des mouvements sismiques causés par les séismes de France métropolitaine : apports pour la connaissance de l'aléa et du risque sismique » ([à voir ici](#)).
- Du 6 mars au 17 mars 2020 : Campagne de caractérisation des conditions de sites du réseau RAP en Martinique et en Guadeloupe. Une bonne nouvelle : tous les participants ont pu rentrer pour passer le confinement chez eux. [Présentation de la manipe à découvrir sur le site de l'IPGP](#). Mais on vous en reparlera prochainement !
- Mars à mai 2020 : Les personnels du RAP sont confinés, mais les stations continuent de tourner. Le calme règne, et même le niveau de bruit des accéléromètres diminue (un peu !). [Un exemple en Auvergne à découvrir sur le site de l'OPGC](#).

Des effets de site observés à Mayotte

Nous travaillons actuellement sur la caractérisation des effets de site sur les stations sismologiques de Mayotte à partir des nombreuses données enregistrées lors de la crise sismo-volcanique initiée en mai 2018. Ces stations sont majoritairement situées sur des formations volcaniques fortement altérées, ce qui les rend particulièrement intéressantes pour comprendre la réponse de ces formations géologiques sous sollicitation sismique. Les résultats issus du stage de Master 2 de Marie BAILLET, effectué au BRGM entre février et juillet 2020, ont montré la présence de forts effets de site sur les stations MILA (RESIF-RAP, Fig. 1), MTSB (RESIF-SISMOB 1T) et KNKL (réseau REVOSIMA QM) avec une combinaison probable d'effets de site lithologiques et topographiques sur deux d'entre elles (MILA et MTSB). À contrario, les travaux ont confirmé l'absence d'effet de site sur la station YTMZ (RESIF-RAP), considérée comme la station de référence à Mayotte. Les travaux se poursuivent !

► Contact : [Agathe Roullé](#)

► **Figure 1.** Rapports H/V calculés sur des données de bruit de fond sismique (en noir) et sur séismes (en bleu et rouge) pour la station accélérométrique MILA. Ces rapports H/V montrent une forte résonance aux fréquences de 1,6 et 2,2 Hz.



FOCUS

La zone de l'aéroport Nice Côte d'Azur est-elle dangereuse ?

Le glissement de terrain et le tsunami qui ont eu lieu en 1979 et causé la mort de 10 personnes peuvent-ils se reproduire ? Quel serait l'effet d'un séisme sur cet édifice ?

Afin d'aborder ces questions, plusieurs études et projets sont menés sur cette zone à base d'instrumentation pour obtenir des données nouvelles (sismique marine, carottages, piézomètres, interférométrie radar, fibre optique et capteur large-bande) et de modélisations (ANR MODAL piloté par l'Ifremer, projet européen EMSO, ANR SEAFOOD piloté par Géoazur, RITMICA de l'UCA).

En octobre 2016, un capteur large bande (station PRIMA) a été installé à une profondeur d'eau de 18 m sur le plateau devant l'aéroport (Fig. 2) dans le but de répondre aux questions suivantes :

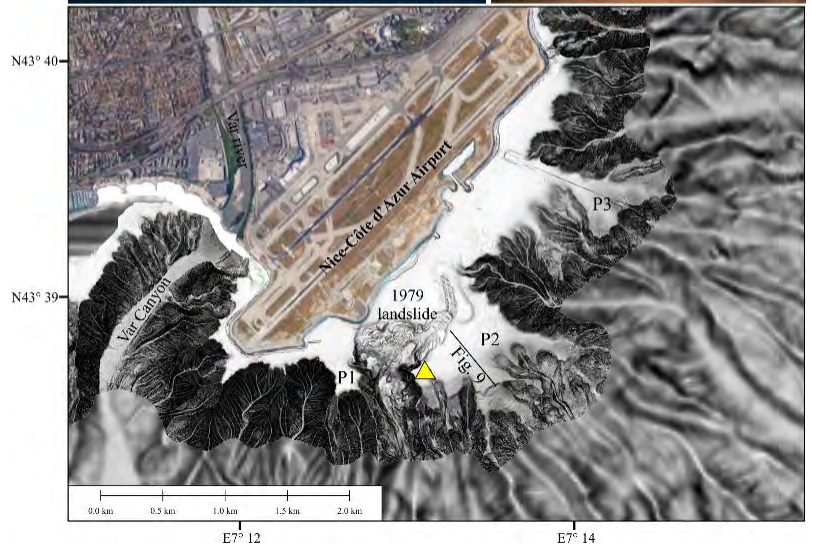
Quel est le mouvement sismique que l'on doit prendre en compte dans cette zone si l'on veut simuler le déclenchement d'un glissement de terrain par un séisme ? Quelle est l'influence de ce milieu pentu et gorgé d'eau sur les ondes sismiques ?

► Figure 2. Haut-gauche : vue aérienne des pistes de l'aéroport Nice Côte d'Azur. Droite : capteur PRIMA posé sur le fond marin (ensuite recouvert d'une cloche). Bas : bathymétrie en grisé. Triangle jaune : station PRIMA. La cicatrice du glissement de terrain de 1979 est indiquée.



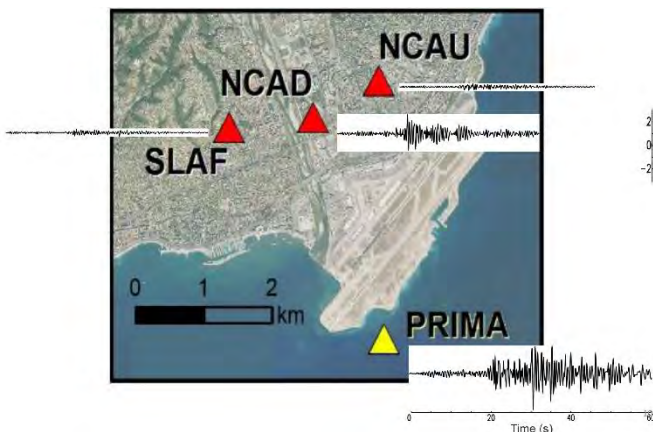
Les données de la station PRIMA sont disponibles sur le portail RESIF. La station a été arrachée probablement par des bateaux de pêcheurs et endommagée. Elle est actuellement en réparation et sera bientôt réinstallée.

La comparaison des enregistrements de séismes locaux entre 3 stations du RAP (NCAD, NCAU, SLAF) dans la vallée du Var à Nice et la station sous-marine PRIMA (Fig. 3) a permis de mettre en évidence de forts effets d'amplification des ondes sismiques dans une large bande de fréquence.



Le pic le plus fort se situe autour de 0.9 Hz (également très clair sur les rapports H/V de vibrations ambiantes). Il révèle une amplification d'un facteur 12 à cette fréquence sur la station PRIMA par rapport à la station NCAD située en bordure de la vallée du Var. Grâce aux données géophysiques sous-marines (profil Sparker), aux travaux réalisés dans la vallée du Var par le groupe du CEREMA, et à des modélisations numériques 2D (code SPECFEM), il a été possible de comprendre qu'une partie de l'amplification est due à la structure de la vallée du Var mais qu'une partie est spécifique à la zone de l'aéroport.

◄ Figure 3. Séisme de magnitude 3.1 à 31 km (Monaco) enregistré sur la composante horizontale (NS) du capteur sous-marin PRIMA, et de 3 stations du RAP (signal filtré passe bas à 2 Hz et dérivé en accélération pour la station PRIMA).



Une thèse a été proposée pour mieux comprendre et modéliser l'effet d'amplification 3D et l'impact sur le déclenchement d'un glissement de terrain.

Cet effet de site sur la zone de l'aéroport, lié notamment à la présence de sédiments, augmente donc la probabilité d'avoir un glissement sous-marin déclenché par un séisme dans cette zone.

Étude réalisée par des chercheurs et ingénieurs de Géoazur du CNRS, CEREMA, IRD, UCA, OCA et de Sorbonne Université.

Référence

● Courboux F., Mercerat E. D., Deschamps A., Migeon S., Baques M., Larroque C., Rivet D., and Hello Y. (2020). Strong site effect revealed by a new broadband seismometer on the continental shelf offshore Nice airport (Southeastern France). Pure and Applied Geophysics, 1-20. doi: [10.1007/s00024-019-02408-9](https://doi.org/10.1007/s00024-019-02408-9) (OPEN ACCESS)

FOCUS

Les monuments historiques comme sismomètres « en pierre »

Les monuments historiques sont des témoins des catastrophes naturelles dont les traces sont visibles sous forme de désordres structuraux et de réparations. Interroger ces témoins afin de remonter aux caractéristiques des séismes historiques est l'ambition de la thèse d'Arnaud MONTABERT (ENS-IRSN), un projet qui couvre plusieurs domaines allant de l'archéologie au génie civil.

Le chantier de cette thèse est une église du moyen-âge située en Italie, dans le village de Sant'Agata del Mugello au nord de la ville de Florence. Cette structure a connu au fil de son histoire plusieurs séismes, parmi lesquels les séismes de 1542 ($M_w \sim 6$) et de 1919 ($M_w \sim 6.3$) qui ont induit différents niveaux d'endommagement (et de réparation).

Une étape fondamentale du travail d'Arnaud est la construction d'un modèle numérique de l'église utilisé pour simuler le comportement de la structure sous sollicitation sismique, et ainsi étudier les relations entre le mouvement sismique et l'endommagement. Il est donc nécessaire que ce modèle reflète les caractéristiques géométriques et mécaniques de la structure. À cette fin, plusieurs campagnes de caractérisation ont été conduites, parmi lesquelles une campagne d'auscultation des vibrations de la structure sous bruit ambiant afin de déterminer les caractéristiques modales (fréquence naturelle, déplacement modal et amortissement modal) de l'église via l'utilisation de techniques d'analyse modale opérationnelle (OMA).

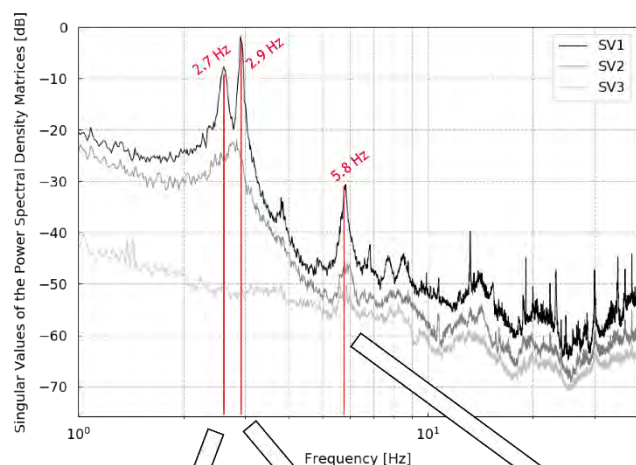


Afin de bien organiser et conduire la campagne d'instrumentation et d'analyse du signal, Arnaud a fait appel aux membres du GT RAP MoVIng, notamment l'équipe de recherche MouVGS du CEREMA, qui s'est engagée activement dans cette collaboration. Deux campagnes d'instrumentation ont été conduites afin d'instrumenter le clocher et la nef de l'église ; en l'absence de voûtes et d'accès en grande hauteur, les instruments ont été posés directement sur les poutres de la charpente en bois au plus près des murs latéraux à l'aide d'une nacelle élévatrice (girafe, Fig. 4).

« » **Figure 4.** Gauche : installation des instruments dans l'église Sant'Agata del Mugello. Droite : l'équipe et la girafe !



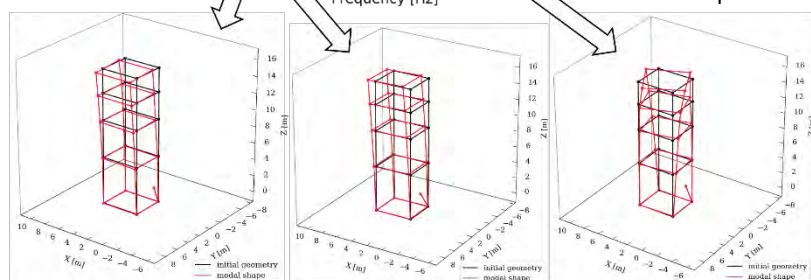
Le résultat a été la réalisation d'un maillage de points de mesure très dense : 14 déploiements pour un total de 96 points de mesure en hauteur (charpente, colonnes), mi-hauteur (fenêtres) et au sol. Une telle densité de points n'est pas commune, elle a permis de relever le comportement très hétérogène de la maçonnerie en soulevant des défis pour l'analyse de la donnée, l'interprétation des résultats et le calage du modèle numérique.



L'analyse des données a permis de remonter aux modes de flexion, torsion du clocher et de la nef (Fig. 5) ; elle a ainsi permis de confirmer certaines hypothèses issues de l'analyse stratigraphique selon laquelle le clocher vient s'appuyer sur la nef.

« » **Figure 5.** Valeurs propres de la matrice de densité spectrale de puissance croisées, obtenues par OMA sur l'église Sant'Agata del Mugello. Les pics correspondent aux fréquences des modes du bâtiment.

L'expérience acquise au sein du GT MoVIng grâce à ce chantier exceptionnel pourra un jour être appliquée à des chantiers sur le territoire français, dans la continuité des travaux récemment entamés par Claire LIMOGE et par le groupe APS (Association pour l'identification et l'étude des pathologies d'origine sismique dans le bâti ancien) depuis les années 90.



Référence

- Montabert A. *et al.* (2020). Tracing the seismic history of Sant'Agata del Mugello (Italy, Tuscany) through a cross-disciplinary approach. Accepted for publication dans Journal of Archaeological Science: Reports.

Premiers résultats du projet DEVMOD

Partenariat ISTERre, EOST, IRAP, EdF-DIPNN, CEA Cadarache, Université Tlemcen – Ce projet bénéficie d'une subvention dans le cadre de l'APS 2019 du RAP-RESIF, avec le soutien du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire.

Le set de données RESIF RAP et RLBP du mouvement du sol (1996-2016, [à découvrir ici](#)) est utilisé pour une étude de sensibilité des modèles de prédiction du mouvement du sol (MPMS) aux paramètres explicatifs considérés pour la France métropolitaine.

Ce jeu de données est composé de différentes mesures de l'intensité du mouvement du sol, qui ont été dérivées des enregistrements de séismes par les réseaux accélérométriques et large-bande français, et qui sont associées à des métadonnées de source et de site. Les mesures considérées dans le projet DEVMOD sont l'accélération maximale du sol PGA, la vitesse maximale du sol PGV et l'accélération pseudo-spectrale PSA(T), tandis que les métadonnées sont les suivantes : distance épacentrale, profondeur focale, magnitude de moment M_w , magnitude locale M_L [RéNaSS](#), et vitesse moyenne des ondes S sur les 30 premiers mètres du sous-sol (V_{S30}).

Le premier objectif du projet est d'évaluer la performance réelle de ces métadonnées à travers une analyse de la variabilité aléatoire obtenue pour différents ensembles de variables explicatives. Les MPMS sont obtenus par une approche en réseau neuronal artificiel, appliquée à trois sous-ensembles d'enregistrements : 1) ceux avec une V_{S30} mesurée, 2) ceux avec une V_{S30} mesurée ou "estimée" à partir de diverses corrélations, et 3) ceux avec une V_{S30} "estimée". L'analyse des résidus inter- et intra-événements permet d'évaluer la pertinence voire la qualité des différentes variables explicatives pour différentes périodes spectrales, et conduisent aux conclusions suivantes :

- La prise en compte conjointe de M_w et M_L permet une amélioration notable des prédictions aux fréquences intermédiaires et hautes ;
- La décroissance du mouvement du sol avec la distance est mieux reproduite en considérant des termes d'expansion géométrique et d'atténuation anélastique ;
- La prise en compte de la profondeur focale n'apporte que des améliorations marginales à très haute fréquence ;
- La qualité des métadonnées de site a un impact non seulement sur la variabilité intra-événement, mais aussi sur la variabilité inter-événement et les prédictions médianes, prouvant une fois de plus l'intérêt de caractérisations spécifiques pour TOUS les sites d'enregistrement (accélérométriques ET large-bande).

L'analyse n'est pas encore terminée, mais un des enseignements préliminaires est l'intérêt majeur de maintenir des réseaux sismologiques « classiques » à haute densité pour avoir des bulletins sismiques précis dans les pays à sismicité faible à modérée comme la France. Les variabilités aléatoires obtenues sur les données de France métropolitaine s'avèrent en effet sensiblement supérieures à celles obtenues avec des séismes plus forts et mieux localisés.

Les étapes suivantes consisteront d'une part à analyser l'impact des incertitudes en localisation et en magnitude des séismes sur la qualité des MPMS, et d'autre part à dériver de nouveaux modèles utilisables dans les études PSHA en France, en considérant simultanément les bases de données [RESIF RAP et RLBP](#), [RESORCE](#) et/ou [ESM](#).

► Contact : [Boumédiène Derras](#)

Brèves

Info 1 – Élection du représentant IT au Conseil du RAP – Les ingénieurs et techniciens qui contribuent au RAP sont invités tous les 3 ans à élire leur représentant qui siègera au Conseil du RAP. Cette année, 18 votants ont donné leur voix à l'une des deux candidates : Hélène JUND de l'EOST (représentante sortante) et Hélène PAUCHET de l'OMP. L'élection fut serrée : 10 voix pour Hélène J. et 8 voix pour Hélène P. **Hélène Jund** continue donc sa participation au Conseil jusqu'en fin 2023. Nous les remercions sincèrement toutes deux pour leur engagement.

Info 2 – Accès aux données – Retrouvez les liens utiles pour l'accès aux données du RAP et les mentions à faire apparaître lors de leur utilisation dans vos publications [SUR CETTE PAGE](#).

Info 3 – Les données du RAP intégrées à plusieurs « flatfiles » – Les données paramétriques de mouvement du sol, récoltées par le RAP pour les séismes enregistrés sur le territoire métropolitain, sont désormais valorisées dans ces flatfiles : notre premier flatfile français [à découvrir ici](#) (qui intègre aussi les données du RLBP), également disponible sur la plateforme [RESORCE](#), et le flatfile émis par le [service ESM](#) d'ORFEUS.

Info 4 – Dernières publications scientifiques – Vous pouvez retrouver la liste des publications 1998-2020 utilisant des données du RAP [SUR CETTE PAGE](#).

Agenda

- La 10^{ème} BIENNALE DU RAP aura lieu du 6 au 8 avril 2021 à Vogüé en Ardèche. L'événement est hébergé à 30 km de Le Teil, et le séisme du 11 novembre 2019 sera le fil conducteur de ces journées techniques et scientifiques. Le comité organisateur se met en place, n'hésitez pas à [nous contacter](#) pour proposer votre aide ou des événements latéraux.
- 5^{èmes} Rencontres Scientifiques et Techniques RESIF, Alsace, 2-5 novembre 2021.

Rédacteurs de ce numéro 30 : BARD Pierre-Yves (ISTERre), CHALJUB Emmanuel (ISTERre), COURBOULEX Françoise (Géoazur), LANCIERI Maria (IRSN), MAUFROY Emeline (ISTERre), ROULLÉ Agathe (BRGM), SAUREL Jean-Marie (IPGP).