

## La Lettre du RAP

### Second semestre 2020 – Numéro 31

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

Depuis le numéro 28, la Lettre du RAP vous propose des courts articles rédigés par des membres du réseau, sur l'aléa et le risque sismique, en France ou ailleurs, sur l'instrumentation sismologique associée à cette thématique. C'est vous-mêmes, lecteurs de cette lettre, qui en déterminez le contenu. Vous trouverez à la suite des articles proposés par quelques-uns d'entre vous, que je remercie chaleureusement pour leur enthousiasme et leur initiative. Si vous le souhaitez, vous pouvez dès à présent proposer du contenu pour le prochain numéro ([contact](#)) qui sortira avant l'été 2021. Vous souhaitez retrouver des informations particulières dans cette lettre ? N'hésitez pas non plus à nous faire part de ce qui vous sera utile.

À l'heure où j'écris ces mots, nous préparons la prochaine Biennale du RAP que nous espérons tenir en avril 2021 (infos en dernière page). Vous êtes nombreux à souhaiter un événement en présentiel, aussi une visioconférence n'est pas envisagée. Mais la situation sanitaire nous contraindra peut-être à modifier les dates ou à réduire la dimension de l'événement. Les infos de dernière minute seront transmises sur la liste de diffusion du RAP et [sur son site web](#). 2021, année de la résilience ?

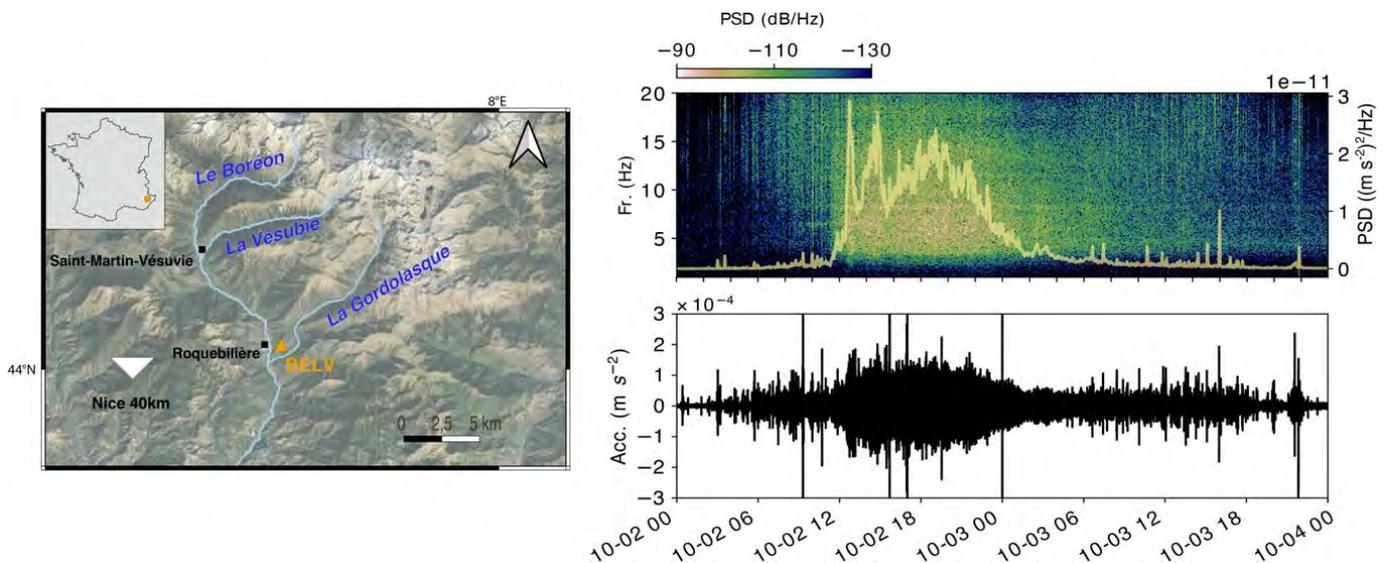
À tous, mes vœux les plus sincères pour la nouvelle année. *Emeline Maufroy, directrice du RAP*

### Impact de la Tempête Alex dans le haut pays Niçois mesuré par les stations sismologiques Résif

Déclenché par la tempête Alex, un épisode méditerranéen a durement frappé les reliefs de l'arrière-pays niçois entre le 2 et 3 octobre dernier. Cet épisode constitue un événement exceptionnel de par son intensité et les crues rapides et importantes qu'il a générées. Les stations sismologiques des réseaux nationaux RLPB et RAP ont enregistré une augmentation significative du bruit sismique pendant les heures qui ont suivi les fortes précipitations. Ces signaux sismiques permettent de mieux comprendre la dynamique de la crue et son déroulement ([Tsai et al. 2012](#), [Bakker et al. 2020](#), [Chmiel et al. 2020](#)).

Sur la station accélérométrique [BELV](#) située sur les hauteurs de la Vésubie, on note une augmentation significative du niveau de bruit (Fig. 1). La signature spectrale de ce bruit est caractéristique de l'augmentation du charriage sédimentaire par la rivière. Avec le réchauffement climatique et l'augmentation de la fréquence de ces événements méditerranéens extrêmes, les réseaux d'observation robustes et fonctionnels peuvent apporter des mesures environnementales et fournir des compléments d'information pour une meilleure compréhension de la dynamique d'écoulement et de l'érosion des rivières. L'effort de maintenance des stations sismologiques nationales dépasse donc le seul intérêt de l'aléa sismique, et comme on le voit ici, contribue à la caractérisation d'autres aléas environnementaux.

▶ Contacts : [Malgorzata Chmiel](#), [David Ambrois](#), [Diane Rivet](#), Observatoire sismologique Géoazur/OCA



▶ **Figure 1.** Gauche : carte de la vallée de la Vésubie et emplacement de la station RAP BELV donnée par le triangle orange. Trois principaux cours d'eau sont indiqués en bleu : le Boréon, la Vésubie et la Gordolasque qui ont été impactés par l'épisode méditerranéen et dont la dynamique pourrait générer les vibrations du sol enregistrées à la station BELV. Droite : série temporelle et spectrogramme entre le 2 octobre 2020 et le 4 octobre 2020 de l'accélération verticale (composante Z) enregistrée à la station BELV. Une forte augmentation de l'énergie sismique enregistrée s'est produite pendant l'épisode méditerranéen. Les signaux peuvent être générés par des écoulements de sédiments et des événements de transport de particules (par exemple, blocs rocheux, troncs d'arbres) dans les rivières indiquées.

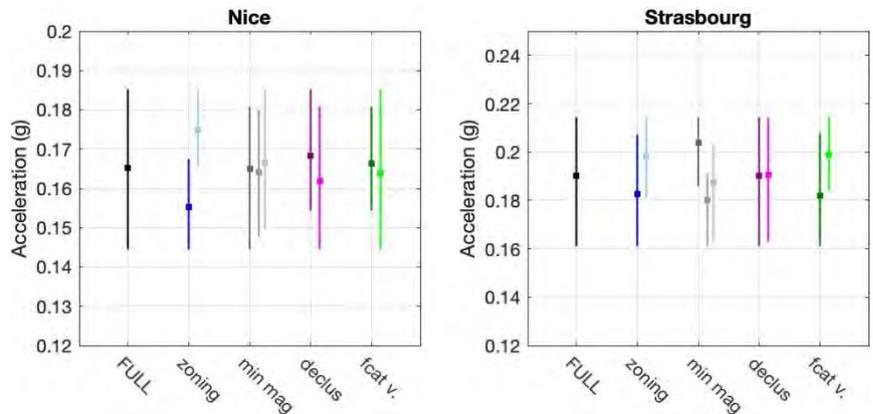
**FOCUS**

## L'influence des choix de modèles de source et de mouvement du sol sur les niveaux probabilistes d'aléa sismique pour 6 sites en France

Dans une étude probabiliste de l'aléa sismique, il faut construire pour la région d'intérêt un modèle de sources qui reflète son potentiel sismique et le combiner à un modèle de prédiction du mouvement du sol. L'objectif est de déterminer, sur des périodes de temps futures, les probabilités de dépasser des niveaux du mouvement du sol d'intérêt pour le génie parasismique. L'identification et la quantification des incertitudes à chaque étape sont nécessaires pour comprendre la variabilité des résultats, compte tenu de l'état actuel des connaissances, et pour déterminer les paramètres qui contrôlent l'aléa et méritent une plus grande attention à l'avenir.

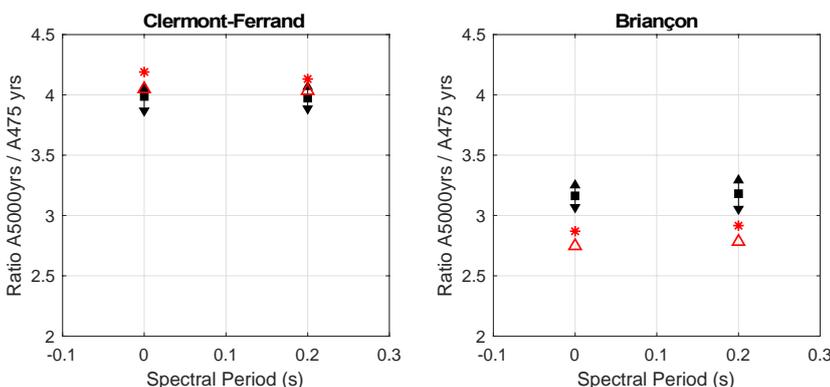
La présente étude (Beauval et al. 2020) a été réalisée dans le projet européen SERA pour mieux connaître les incertitudes associées aux estimations d'aléa sismique en France. Nous explorons les incertitudes liées aux choix effectués pour construire le modèle de source et nous quantifions leur impact sur les estimations probabilistes de l'aléa. Les modèles de récurrence des séismes sont construits à partir du catalogue FCAT (Manchuel et al. 2018). L'arbre logique inclut deux modèles de zones sources aires (European Seismic Hazard Model - ESHM13, Woessner et al. 2015, et Baize et al. 2013), deux versions du catalogue FCAT (avec ou sans les événements de magnitude très incertaine, basée sur des observations de ressenti), deux algorithmes alternatifs de declustering, et trois magnitudes minimales pour modéliser les récurrences de séismes. L'aléa est estimé à Nantes, Lourdes, Clermont-Ferrand, Briançon, Nice et Strasbourg. Ces villes se trouvent dans des zones où il existe un minimum de données. Les résultats sont présentés au PGA et à la période spectrale 0.2 s, pour des périodes de retour de 475 (Fig. 2) et 5000 ans.

► Figure 2. Résultats de l'exploration de l'arbre logique à la période spectrale 0.2 s et pour une période de retour de 475 ans. Moyenne, valeurs minimales et maximales. Exploration de l'arbre logique complet en noir. Modèle en zones sources aires : Baize et al. 2013 (bleu foncé) ou ESHM13 (bleu clair). Magnitude minimale pour modéliser la récurrence des séismes (3.2, 3.5, ou 3.8), en gris. Algorithme de declustering: Reasenber (violet) ou Gardner et Knopoff (rose). Catalogue FCAT, avec (vert foncé) ou sans (vert clair) les événements à  $M_w$  très incertaine. Calculs avec le modèle de mouvement du sol Boore et al. 2014.



L'exploration de l'arbre logique montre que les paramètres ayant le plus d'impact sur les résultats sont la magnitude minimale utilisée pour modéliser la récurrence des séismes (jusqu'à 31% d'impact sur l'accélération) et la sélection du modèle de source (jusqu'à 30%). Dans un second temps, le catalogue européen SHEEC (modèle ESHM13) est également utilisé pour construire les modèles de récurrence. Les niveaux d'aléa obtenus sont comparés aux niveaux issus de l'arbre logique basé sur FCAT. Les comparaisons sont limitées par le faible nombre d'événements dans certaines zones ; toutefois, selon le site considéré, les résultats montrent que le choix du catalogue de séismes peut fortement impacter les estimations d'aléa (jusqu'à 50% pour la ville de Nantes).

L'arbre logique basé sur le catalogue FCAT est alors combiné à 4 modèles de mouvement du sol (Bindi et al. 2014, Boore et al. 2014, Cauzzi et al. 2015, et Drouet and Cotton 2015) pour tenir compte de l'incertitude épistémique sur la prédiction du mouvement du sol. L'exploration de l'arbre logique montre que les incertitudes sur la prédiction du mouvement du sol peuvent engendrer une variabilité de l'aléa plus grande, équivalente, ou plus basse que celle liée aux incertitudes sur le modèle de source. Cela dépend du site, de la période spectrale et de la période de retour considérée. Enfin, l'exploration de l'arbre logique fournit la distribution des rapports entre les niveaux d'aléa à 5000 et à 475 ans de périodes de retour (Fig. 3). Ces rapports ne dépendent que légèrement des incertitudes sur le modèle de source, ils varient fortement d'un site à l'autre, prenant des valeurs entre 3 et 5, valeurs plus élevées que ce que l'on suppose en général dans le milieu de l'ingénierie.



◄ Figure 3. Rapports entre l'accélération à 5000 ans et l'accélération à 475 ans, au PGA (0 s) et pour la période spectrale 0.2 s. Noir: arbre logique basé sur le catalogue FCAT (moyenne, 16<sup>e</sup> et 84<sup>e</sup> percentiles). Rouge: deux estimations basées sur le catalogue SHEEC combiné au modèle de source ESHM13 (triangle) ou Baize et al. 2013 (étoile). Calculs avec le modèle de mouvement du sol Boore et al. 2014.

**Référence principale**  
 • Beauval C., Bard P.-Y., and Danciu L. (2020). The influence of source- and ground-motion model choices on probabilistic seismic hazard levels at 6 sites in France. Bulletin of Earthquake Engineering, 18, 4551–4580. doi: [10.1007/s10518-020-00879-z](https://doi.org/10.1007/s10518-020-00879-z)

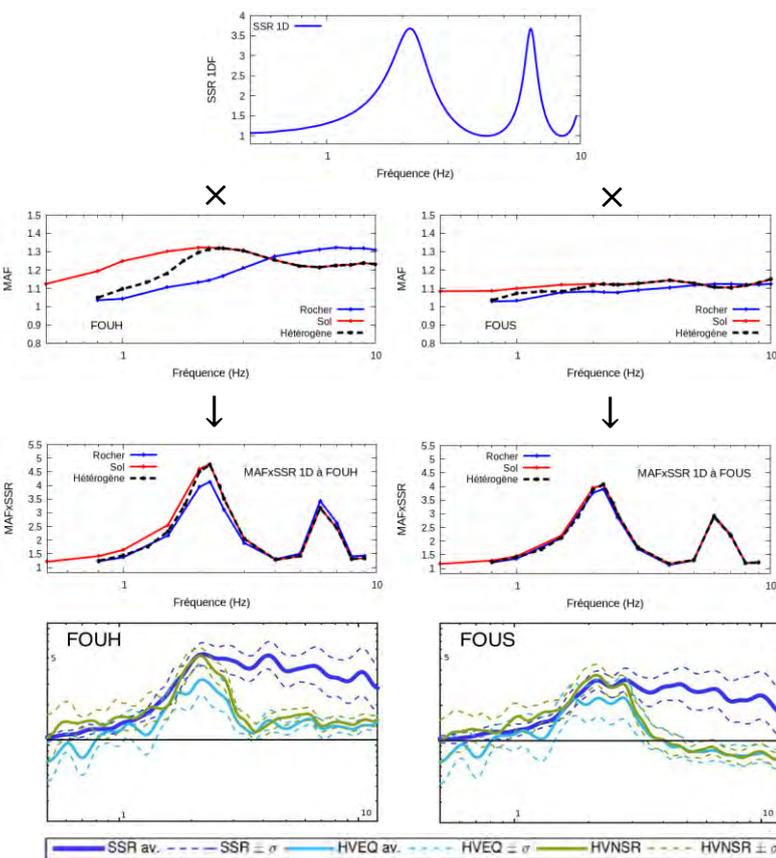
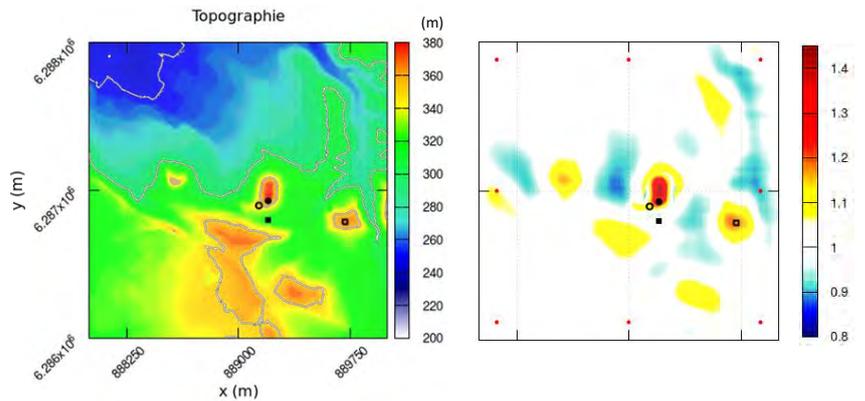
## FOCUS

### Projet RAP EFFTOP : une analyse sur la colline de Rognes, Provence

L'amplification des ondes sismiques par la topographie pouvant causer des dégâts considérables en cas de séisme, il existe un besoin en techniques d'estimation simplifiée du mouvement en surface, allant au-delà des coefficients issus des Eurocode8 qui sous-estiment cette amplification dans de nombreuses situations (De Martin 2012) et qui n'intègrent pas de dépendance en fréquence. Le site de Rognes, fortement impacté lors du séisme de Provence de 1909, a été choisi pour tester une nouvelle méthodologie.

La méthode FSC (Maufroy et al. 2015) nécessite peu de données d'entrée (un MNT et la vitesse moyenne des ondes de cisaillement dans le milieu). Elle estime la probabilité d'amplification topographique à partir de la courbure du relief et de la longueur d'onde. Un lissage approprié de la carte de courbure introduit la dépendance en fréquence. La FSC a été établie à partir de simulations numériques dans un modèle 3D homogène (site de Rustrel). Récemment, Wang et al. 2018 ont proposé une extension de la méthode incluant une couche de sol, également via une base de données de simulations (site de Hong Kong).

►► **Figure 4.** Gauche : topographie du site de Rognes (2x2 km<sup>2</sup>) et certaines stations de la campagne de mesures, FOUH (cercle plein), FOUS (point évidé), EGLI (carré plein) et MOUL (carré évidé). Droite : carte des coefficients MAF à 2.2 Hz.



Le projet RAP EFFTOP (RAP-Résif 2019, Cerema Méditerranée, ISTERre et Brgm) vise à continuer les développements sur la méthode FSC, notamment la prise en compte des hétérogénéités du sol dans le calcul de l'amplification topographique. Le projet a financé les 3 mois de stage de Léna Pellorce, étudiante de master 1 à l'UGA.

Le site de Rognes, où des données d'enregistrement et des simulations 2D ont confirmé un effet de site sur la colline (Glinsky et al. 2019), est étudié. La combinaison entre les effets géométriques de la topographie et ceux du milieu en sous-sol expliquerait les fortes amplifications. La Fig. 4 présente la topographie haute résolution du site (grille de 2000x2000 valeurs, pas de 1 m) et la carte correspondante des facteurs d'amplification topographique médiane (MAF) à 2.2 Hz estimés par notre méthodologie dans le cas hétérogène (hétérogène sur la colline de Rognes et homogène ailleurs).

« **Figure 5.** Amplification combinée aux stations FOUH et FOUS : multiplication de la courbe SSR 1D (ligne 1) par les courbes de facteur MAF (ligne 2) à FOUH (gauche) et FOUS (droite) pour proposer une amplification combinée (ligne 3). Données d'enregistrement (ligne 4, Glinsky et al. 2019).

La méthode FSC combinée à une correction du paramètre de lissage adaptée aux caractéristiques du sous-sol a permis de retrouver sur la colline une amplification maximale à 2-2.2 Hz, fréquence comparable aux mesures (Fig. 5). La comparaison avec les mesures de terrain a été proposée aux deux

stations situées sur la colline de Rognes (FOUH et FOUS). La combinaison de l'effet lithologique (courbe SSR 1D numérique au sommet de la colline) et de l'effet topographique (MAF en hétérogène, courbes noires sur la Fig. 5) reproduit la première fréquence amplifiée et la différence de niveau d'amplification mesurées en ces deux stations. Les effets lithologiques et topographiques correspondent tous deux à une fréquence-pic extrêmement proche. Les perspectives à ce travail sont d'appliquer la méthode FSC avec son extension hétérogène à d'autres sites pour tester son applicabilité à des fins de microzonage, et d'étendre les simulations à divers cas 3D homogènes et hétérogènes pour progresser sur la compréhension des effets de sites combinés.

► Contacts : [Nathalie Glinsky](#), [Etienne Bertrand](#), Cerema

## Installation d'un capteur accélérométrique à la station Résif MVIF (Mont-Vial, Alpes Maritimes)

Le 1<sup>er</sup> et le 7 octobre 2020, l'Observatoire sismologique de Géoazur a procédé aux travaux préparatoires puis à l'installation d'un capteur accélérométrique sur le site de la station Résif **MVIF** située au sommet du Mont-Vial (06). Cette opération fait partie d'une stratégie scientifique plus large de densification des points de mesures accélérométriques en concertation avec le réseau national RAP. Les deux autres sites concernés par cette stratégie sont les stations PIAF (Tende) et SPIF (Venanson). L'objectif est de mieux prendre en compte l'occurrence de séismes forts d'origine transfrontalière ou également en champ proche.

Le 1<sup>er</sup> octobre (Fig. 6), les batteries ont été déplacées dans un coffret étanche déporté, le repérage précis du Nord géographique a été réalisé avec un Gyrocompas prêté par Résif, la bride d'ancrage et le capot de protection thermique ont été pré-positionnés. L'installation du capteur proprement dite a été réalisée le 7 octobre (Fig. 7).



▲ **Figure 6.** Gauche : coffret équipé pour le moment de 2 batteries. Milieu : Gyrocompas aligné au Nord avec une règle métallique servant au traçage de la direction. Droite : capteur Episensor FBA-EST Kinematics installé sous sa bride d'ancrage, après traçage et matérialisation de l'encombrement du futur capot isolant.

◀ **Figure 7.** Vue globale de l'installation de l'accéléromètre à MVIF avec le capot bleu protégeant le capteur et avec la signalétique d'information.

Compte-tenu de l'encombrement des batteries et afin de laisser la possibilité d'en ajouter d'autres, un nouveau coffret en polyester a été fixé sur le mur latéral de l'armoire sismologique. Ce coffret peut accueillir 4 batteries de 78 Ah pour un poids pouvant atteindre 110 kg. Le capot isolant du capteur est réalisé en polystyrène extrudé de 80 mm d'épaisseur (la plaque supérieure a quant à elle une épaisseur de 120 mm). Exactement comme pour le câble provenant du vélocimètre, celui de l'accéléromètre a été fixé "en chicanes" contre le mur avant son entrée dans l'armoire d'instrumentation afin d'éviter des enroulements de câbles pouvant poser des problèmes en cas de surtension de type foudre.

► Contact : [Didier Brunel](#), Observatoire sismologique Géoazur/OCA



### Brèves

**Info 1 – 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 2 – Les données paramétriques de mouvement du sol**, récoltées pour les séismes du territoire métropolitain depuis 1996, sont diffusées dans ces flatfiles : le flatfile français (données RAP et RLBP) disponible dans l'[entrepôt des produits Résif](#) ou sur la plateforme [RESORCE](#), le flatfile européen émis par le [service ESM](#) d'ORFEUS (données RAP uniquement).

**Info 3 – Dernières publications scientifiques** – Vous pouvez retrouver la liste des publications 1998-2020 utilisant des données du RAP [SUR CETTE PAGE](#).

**Info 4 – Organigramme 2021 du RAP** [SUR CETTE PAGE](#).

### Agenda

● **Journée bilan de l'Action transverse sismicité** de Résif, 20 janvier 2021, [info](#).

● La **10<sup>ème</sup> BIENNALE DU RAP** est organisée 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. Retrouvez les dernières informations et le calendrier [sur cette page](#).

● **5<sup>èmes</sup> Rencontres Scientifiques et Techniques Résif**, Alsace, 2-5 novembre 2021.

Rédacteurs de ce numéro 31 : BARD Pierre-Yves (ISterre), BEAUVAL Céline (ISterre), BERTRAND Etienne (Cerema), BRUNEL Didier (Géoazur), CHALJUB Emmanuel (ISterre), CORNOU Cécile (ISterre), GLINSKY Nathalie (Cerema), MAUFROY Emeline (ISterre), RIVET Diane (Géoazur).