

## La mesure acoustique distribuée (DAS)

La fibre optique est un concept fascinant qui fait d'un fil de silice de la finesse d'un cheveu un guide de lumière sur de très grandes distances, propageant l'information à la vitesse de la lumière. Cette invention, qui remonte aux années 1960, a révolutionné nos façons de communiquer. Depuis quelques années maintenant, elle est en passe de révolutionner notre façon de faire de la sismologie grâce aux mesures acoustiques distribuées, ou Distributed Acoustic Sensing (DAS). Cette approche instrumentale issue de la photonique permet de convertir cette même fibre en un réseau très dense de capteurs de déformation.

### Fonctionnement

Cette application alternative des fibres optiques utilise les anomalies de densité aléatoires et inhérentes au processus de fabrication qui rétro-diffusent une faible partie de la lumière injectée. C'est l'analyse de la différence de phase du signal réfléchi par deux segments de fibre qui va quantifier l'élongation de la fibre entre ces segments. Les positions des segments le long de la fibre seront déduites du temps de propagation aller-retour de la lumière dans la silice.

Aujourd'hui, les progrès de la photonique permettent au système DAS de mesurer des élongations nanométriques de la fibre, tous les mètres, sur des distances de plusieurs dizaines de kilomètres et à des fréquences dépassant le kilo-hertz. Un câble de fibre optique devient

ainsi un réseau sismologique hyperdense, riche de plusieurs dizaines de milliers de capteurs, et cela grâce à un seul interrogateur en bout de fibre.

Le DAS s'est d'abord développé dans le monde pétrolier dans les années 2010, notamment pour l'imagerie sismique en forage. Son essor majeur ces dernières années <sup>1</sup> dans le monde académique peut être relié à la démocratisation des interrogateurs (typiquement 150 à 200 k€) et à l'usage des fibre Télécom standards, faiblement couplée au sol, qui fournissent des enregistrements de qualité pour des fréquences supérieures à 0.1 Hz (Lindsey et al., 2017).

Au delà de sa densité de mesure et de l'utilisation de réseaux de fibre existants, le DAS a d'autres qualités : la mesure est faite depuis une seule extrémité, le système d'acquisition <sup>2</sup> peut donc être déporté de plusieurs dizaines de kilomètres de la zone d'étude, ce qui facilite et sécurise la mesure. La fibre optique est un capteur passif supportant fortes pressions et fortes températures, adapté à l'étude des fonds marins ou des volcans, moins sujet aux défaillances que des capteurs électro-mécaniques traditionnels.

### Contraintes et limites

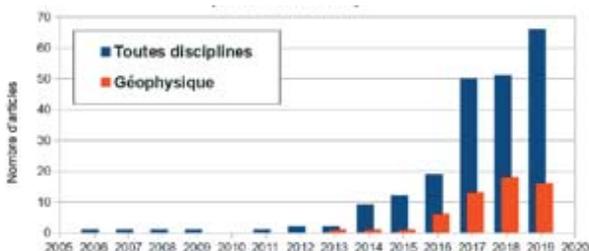
Ces avantages font du DAS une solution prometteuse pour étudier un grand nombre d'objets géologiques tels que glissements de terrain, glaciers, champs géothermiques, rides océaniques..., et adaptée à des enjeux opérationnels comme l'alerte rapide aux aléas naturels, la météo marine, le suivi du trafic routier ou maritime.

Cependant, le DAS n'est pas le pur équivalent d'un réseau dense de sismomètres et il présente des contraintes propres : la mesure est limitée à la déformation suivant l'axe longitudinal

de la fibre ; si la fibre n'est pas purement rectiligne, on accède au champ d'onde sur 2D, mais la mesure 3D n'est possible qu'avec des déploiements en forage ou des fibres hélicoïdales. De plus, le couplage de la fibre avec le milieu, qui conditionne la qualité du signal enregistré, est rarement homogène. Dans le cas des câbles télécom tirés dans des conduites souterraines, les variations peuvent être importantes (p. ex. <sup>3</sup>) et rendre certaines portions du câble inexploitable. Une phase de calibration sera alors nécessaire pour utiliser pleinement le signal. L'exploitation des mesures est également compliquée par le fait que l'on enregistre la déformation, dérivée spatiale du déplacement, ce qui rend le signal plus sensible aux hétérogénéités de proche surface. Cela affecte surtout les ondes de surfaces les plus lentes, les plus perturbées par les effets de diffraction (p.ex. Lior et al., 2020, van den Ende and Ampuero, 2020). Enfin, si la densité de données est une richesse, elle induit des volumes de données importants, typiquement 1To/jour/fibre, qui implique de recourir à des méthodes de traitement rapides et automatisées.

### Etat des lieux en France

En France, les premiers travaux sur le DAS se sont focalisés sur des fibres fond de mer en France (Meust NumerEnv) et en Grèce (HCMR et Nestor). Ces travaux menés dans le cadre du projet ANR Seafood (PI. A. Sladen, Géoazur) apportent un nouvel éclairage sur la génération du bruit microsismique (Sladen et al., 2019), la calibration des données (Lior et al., 2020), ou la réponse du câble aux signaux acoustiques (Rivet et al., en révision). Deux autres campagnes de mesure sur des câbles sous-marins ont été effectuées cette année au large de Mayotte (collaboration Orange-IPGP - Voir page 5), et



<sup>1</sup> - Evolution du nombre de publications sur le DAS dans la littérature scientifique en général, et en géophysique en particulier (source : Web of Science).

au large de la Sicile (ERC Focus, PI. M-A. Gutscher, UBO). L'instrumentation actuelle du fond des océans étant particulièrement limitée au regard des surfaces et des intérêts scientifiques, chacune de ces nouvelles campagnes devrait apporter des observations uniques. A terre, une fibre commerciale Covage a pu être utilisée en 2018 dans les Alpes pour enregistrer la sismicité locale (Coutant et al., 2019), des expériences avec des fibres dédiées ont eu lieu en 2020, sur le Stromboli (J-P. Metaxian, UGA) et sur un lac gelé (O. Coutant, UGA). A la suite du séisme M4.9 au Teil en novembre 2019, une intervention rapide a permis de suivre l'activité des répliques (Cornou et al., 2021). D'autres projets (Dasara, B. Tauzin, LGL-TPE) prévoient d'utiliser les fibres en ville comme réseau de capteurs.

A l'heure du déploiement massif de la fibre sur nos territoires, un enjeu pour notre communauté sera d'arriver à dialoguer et à développer les collaborations avec des opérateurs pour qui les enjeux financiers sont importants. Par ailleurs, déployer de la fibre optique, qui reste peu onéreuse, sur des objectifs purement scientifiques nécessite un savoir-faire qui reste à acquérir : enfouir la fibre et optimiser le couplage nécessitent d'inventer des outils adaptés (p.ex. développement d'une charrue fond de mer dans le cadre de Seafood). Enfin, les contraintes de déploiement nécessitent de nouvelles approches (autorisations, contraintes d'accès, sécurisation de l'installation, etc.) que notre communauté apprend à maîtriser grâce aux multiples initiatives et expériences actuelles dont la valorisation des résultats facilitera l'adoption du DAS par un plus grand nombre.

Au delà des différents projets mentionnés ci-dessus, l'ANR MoniDAS (PI : O.Coutant, UGA), démarrée en 2020, vise à fédérer plusieurs laboratoires français autour des différents champs d'application du DAS (volcan, marin, géothermie) en partenariat avec la PME française Febus Optics, fabricant de systèmes d'acquisition DAS. Une autre initiative fédératrice pourrait venir du projet d'EquipEx Marmor (voir page 3) soumis en 2020, qui vise à développer l'instrumentation fond de mer et

l'observatoire de Mayotte. Ce projet comprend l'acquisition de trois systèmes DAS pour la communauté, avec une partie dédiée au développement d'une solution pour la mise à disposition des données.

### Les (méga)données

A l'échelle internationale, des initiatives émergent pour fédérer les groupes de recherche comme le DAS Research Coordination Network (RCN) financé par la NSF. Ce projet comporte un volet sur la gestion des données, en collaboration avec IRIS. Les volumes pourraient rapidement dépasser de 2 à 3 ordres de grandeur ceux des réseaux sismologiques actuels et nous amener à repenser le concept de serveur de données. L'intégration de pré-traitement à ces nouveaux « serveurs » permettrait par exemple de minimiser les transferts. Enfin, le format des données et métadonnées doit également être repensé pour s'adapter aux spécificités des mesures DAS (géométrie et conditions d'installation de la fibre, paramètres d'acquisition optiques...), une étape qui devra se faire dans un cadre collaboratif large.

Cette projection de la communauté dans l'univers des mégadonnées incite aussi naturellement au développement de méthodes d'analyse automatique ou mettant en jeu l'intelligence artificielle (p. ex. Duval et al., 2020 ; van den Ende et al., 2020).

### Conclusion

En résumé, le DAS est une technologie qui a déjà démontré sa capacité à s'affranchir de plusieurs contraintes de l'instrumentation sismologique traditionnelle et devrait apporter un nouvel éclairage (sic) sur une multitude de processus. Un travail important est en cours au sein de la communauté internationale et nationale pour adapter les



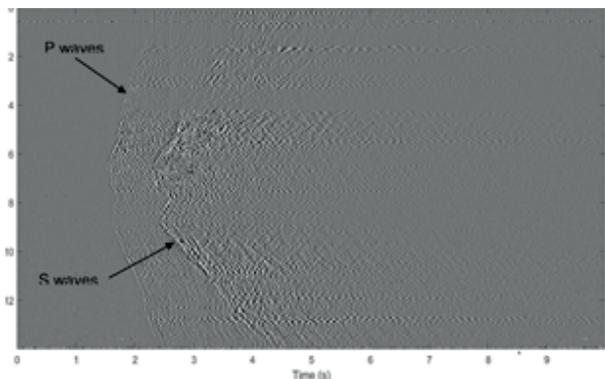
2 – Photo du système DAS de Febus Optics durant une mesure sur le câble fond de mer MEUST-NumerEnv au large de Toulon

méthodes d'analyse les plus répandues aux mesures de déformation, pour mieux contrôler les effets de couplage ou gérer les importants volumes de données. La nature des enregistrements est déjà remarquable mais on peut supposer que l'intérêt grandissant pour cette technologie ainsi que l'évolution permanente du marché des composants télécom, vont permettre d'améliorer sensiblement les performances et le coût de la technologie dans les années à venir.

A. Sladen, O. Coutant, D. Rivet, J-P. Ampuero

### Références

Coutant, O., Boué, P., Aubert, C., Calbris, G. et V. Lanticq (2019) Recordings of « La Chapelle » seismic swarm activity using a DAS and a commercial Telecommunication fiber. Conférence EGU, Vienne, 2019-16511



3 – Enregistrement DAS d'une réplique ML=2.0 le 23 novembre 2019, suite au séisme M4.9 du Teil, France. La campagne de mesure s'est faite sur une section de 14km de fibre optique située à proximité immédiate de la zone de rupture. Ces mesures n'auraient pas été possible sans la collaboration du réseau public Ardèche Drôme Numérique, l'opérateur ADTIM et le soutien de la société Febus Optics pour la partie acquisition

Cornou, C., Ampuero, J. P., Aubert, C., Audin, L., Baize, S., Billant, J. ... & de Michele, M. (2021). Rapid response to the M<sub>w</sub> 4.9 earthquake of November 11, 2019 in Le Teil, Lower Rhône Valley, France. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, accepté. Pre-print : [10.31219/osf.io/3afs5](https://doi.org/10.31219/osf.io/3afs5)

Duval, C., van den Ende, M., Sladen, A., Richard, C., Ferrari, A., Ampuero, J-P., Rivet, D. et D. Fontanes (2020) Unsupervised anomaly and object detection benchmark on Distributed Fiber-Optic Sensing technology. *Conférence Soph.IA Summit 2020, Sophia-Antipolis, France.*

Lindsey, N. J., Martin, E. R., Dreger, D. S., Freifeld, B., Cole, S., James, S. R., ... & Ajo Franklin, J. B. (2017). Fiber optic network observations of earthquake wavefields. *Geophysical Research Letters*, 44(23), 11-792.

Lior, I., A. Sladen, D. Rivet, J. P. Ampuero, Y. Hello, P. Lamare, C. Jestin, S. Tsagkli and C.

Markou (2020) On the Detection Capabilities of Underwater DAS. *Soumis à Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, publié sur ESSOAr <https://doi.org/10.1002/essoar.10504330.1>

Rivet, D., de Cacqueray, B., Sladen, A., Roques, A. et G. Calbris. Preliminary assessment of shipping noise monitoring using Distributed Acoustic Sensing on optical fiber Télécom cable, *Journal of the Acoustical Society of America en révision*

Sladen, A., Rivet, D., Ampuero, J. P., De Barros, L., Hello, Y., Calbris, G., & Lamare, P. (2019). Distributed sensing of earthquakes and ocean-solid Earth interactions on seafloor Telecom cables. *Nature communications*, 10(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13793-z>

van den Ende, Ampuero, J-P., C. Duval, A. Ferrari, D. Fontanes, I. Lior, C. Richard et A., Sladen (2020) A self-supervised approach for improving signal coherence in Distributed Acoustic Sensing. *Conférence Soph.IA Summit 2020, Sophia-Antipolis, France.*

Van den Ende, M., & Ampuero, J. P. (2020). Evaluating seismic beamforming capabilities of Distributed Acoustic Sensing arrays. *Solid Earth Discuss.* Preprint <https://doi.org/10.5194/se-2020-157>



## Géothermie profonde à Strasbourg

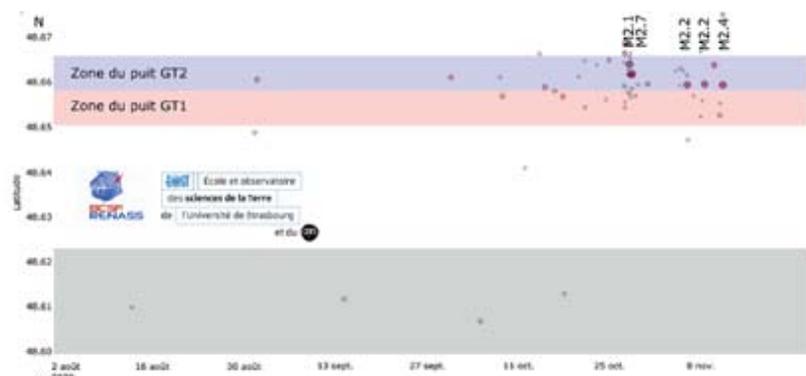
### Une reprise des essais mais aussi de la sismicité induite

**Le 12 Novembre 2019, un séisme de magnitude M13.0 était ressenti largement par la population de Strasbourg, sans pour autant induire de dégâts.**

Il s'est produit dans le secteur de la Robertsau (quartier situé au nord de Strasbourg) au sud des puits du site de géothermie profonde Geoven de la société Fonroche. Rapidement un controverse s'est imposée puisque la société Fonroche a considéré l'événement comme totalement indépendant de ses activités. Pourtant, sa localisation proche des puits, sa corrélation temporelle avec l'activité d'injection dans les puits, la similitude de la profondeur avec celle des puits, l'absence de sismicité locale dans les années précédant l'apparition de l'événement, les structures géologiques connues dont une faille importante reliant la zone de l'hypocentre au réservoir, ont été des arguments forts pour considérer cet événement comme induit malgré une distance relativement importante au site (4-5 km). Il est apparu ensuite que ce séisme faisait partie d'un essaim de sismicité qui avait été initié quelques jours auparavant et allait durer près de 4 mois, jusqu'au printemps de cette année avec plus d'une centaine d'événements enregistrés par le BCSF-Rénass. Suite à cette crise sismique, les activités de géothermie ont été réduites conformément à l'application par la Dreal de l'arrêté préfectoral, le seuil d'alerte ayant été dépassé. L'analyse menée dans les mois qui ont suivi par Fonroche et sa tierce-expertise par le BRGM et l'Ineris, ont permis à la préfecture d'autoriser un redémarrage de essais début octobre. Très rapidement, plusieurs événements sismiques induits ont été enregistrés au voisinage proche du puits nord de Geoven où se produisait l'injection. Le 27 octobre commençait une série de cinq événements ressentis dans l'Eurométropole dont la magnitude était comprise entre 2.1 et 2.7, suscitant une réaction médiatique importante. L'analyse fine du développement de la sismicité faite par l'Eost montrait alors un développement inquiétant de la sismicité sur des structures pre-existantes, potentiellement instables. Sous la pression politique, le 13 novembre, Fonroche décidait de revoir à la baisse ses paramètres d'injection pour un meilleur contrôle de la stabilité du réservoir et permettre ainsi la poursuite du projet

#### ■ En savoir plus

Communiqué de presse Eost : <https://lc.cx/QuLc3bo1d>



Détail du déroulé temporel des événements sismiques de Strasbourg identifiant trois zones : au nord, les zones des puits GT1 (rose) et GT2 (violet), et au sud, la zone de la Robertsau (gris). Ce détail montre l'apparition de ces événements, dont les séismes ressentis : M2.1 du 27/10, M2.7 du 28/10/20, M2.2 du 5/11/20, M2.2 du 8/11/20 et M2.4 du 11/11/20. Crédits : Eost

# Lettre d'information

n° 18  
Décembre 2020

**Rēsif** Réseau sismologique  
et géodésique français

