

MESURES INFRASONORES : LEUR TRACABILITÉ AU SI ASSURÉE JUSQU'À 10 mHz

L'ACOUSTIQUE INFRASONORE, TOUT COMME LA SISMOLOGIE À BASSE FRÉQUENCE, SONT DES TECHNIQUES UTILISÉES POUR DÉTECTER LA SURVENUE D'EXPLOSIONS NUCLÉAIRES. LES MESURES DE SURVEILLANCE RÉALISÉES DANS LE MONDE ENTIER, DANS L'AIR, SOUS TERRE ET EN MER, SONT DÉSORMAIS TRACABLES AU SI, RENFORÇANT AINSI LEUR FIABILITÉ.

Le respect du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICE ou CTBT, Nations Unies, 1996) est contrôlé par le Réseau mondial de surveillance mis en place pour détecter toute éventuelle explosion quelque part dans le monde. Ce sont des stations sismiques pour déceler des explosions souterraines, des hydrophones pour les explosions sous-marines et des microbaromètres pour enregistrer les variations de la pression atmosphérique. Pour ces trois types de détection, les fréquences des phénomènes concernés sont inférieures à 4 Hz. Or jusqu'à récemment, il n'existait aucun moyen d'assurer la traçabilité au SI de ces mesures aux fréquences inférieures à 2 Hz. Y parvenir, et ainsi conférer à ces mesures une valeur légale incontestable, était l'enjeu du projet européen Infra-AUV, finalisé en 2023 et auquel le LNE a pris une large part. Comme le résume Dominique Rodrigues, au LNE, «*le fil directeur de l'ensemble du projet était d'apporter de la traçabilité au SI aux mesures réalisées sur site par le développement d'une chaîne complète de traçabilité métrologique.*»

Les métrologues français ont eu pour tâche principale le pilotage et une forte implication dans le lot du projet dont la finalité était d'établir des étalons primaires et des méthodes d'étalonnage, différents selon les laboratoires nationaux de métrologie impliqués. Les experts du LNE se sont concentrés sur les mesures acoustiques infrasonores. Ils ont développé un banc d'étalonnage mettant en œuvre un pistonphone laser. Composé d'une cavité close munie d'un piston, il permet de produire une pression acoustique de fréquence inférieure à 20 Hz. Elle est évaluée à partir du débit volumique du piston mesuré par interférométrie laser et de l'impédance acoustique de la cavité déterminée par modélisation.

Si le développement de la nouvelle installation avait commencé avant ce projet, celui-ci a permis d'en améliorer les performances. Une série d'étalonnages d'un microphone de référence et d'un capteur de pression statique réalisés avec le nouveau banc et avec d'autres moyens ont montré que le pistonphone de référence du LNE permet d'étalonner des microphones aux fréquences situées entre 10 mHz et 20 Hz, avec une incertitude de 0,03 dB en amplitude et 0,2° en phase, entre 1 Hz à 20 Hz, qui augmente respectivement à 0,1 dB et 1° aux fréquences les plus basses.

À la suite, le LNE a piloté une comparaison interlaboratoire impliquant quatre laboratoires nationaux, qui a démontré notamment la robustesse de l'approche française. Également impliqués dans le projet européen, les chercheurs de l'équipe «Longueur» du LNE-Cnam ont quant à eux montré qu'il est possible de mesurer



🗨 Trois questions à...

DOMINIQUE RODRIGUES,

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT ACOUSTIQUE ET VIBRATION

Avec ce nouveau pistonphone, le LNE dispose d'une référence primaire unique au monde pour l'étalonnage infrasonore.

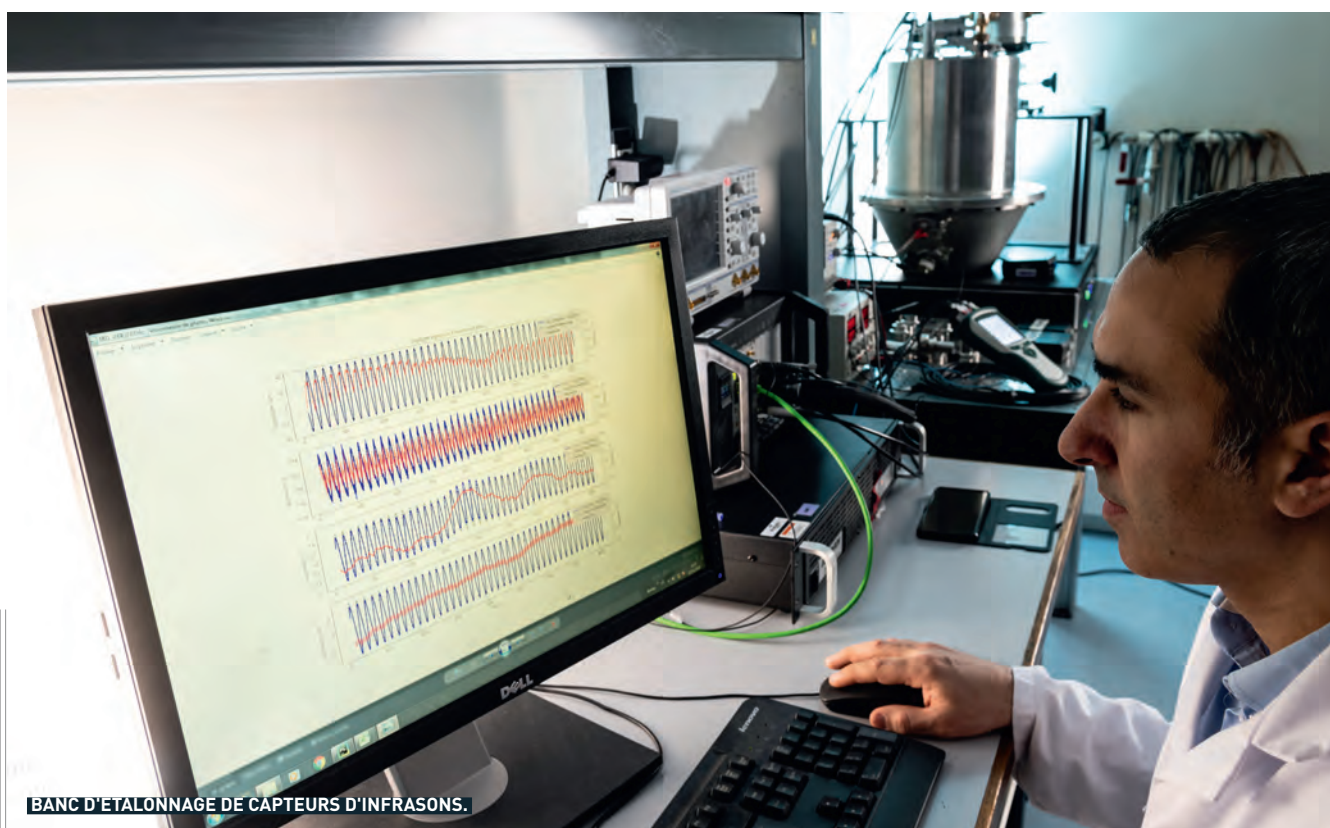
Dominique Rodrigues : En effet, notre pistonphone réalise le «Pascal acoustique» avec lequel il est possible d'étalonner des capteurs dans une gamme de fréquence que nous sommes les seuls à couvrir. Il permet d'atteindre 10 mHz quand nos partenaires danois, dont l'installation de référence a également démontré des performances intéressantes, n'est qualifiée que jusqu'à 25 mHz. Nous avons ainsi déjà étalonné des capteurs y compris pour des clients des États-Unis.

Le projet auquel vous avez participé était motivé par les activités relatives au Traité TICE. Ses retombées vont-elles au-delà ?

D.R. : Oui, car les stations de mesure sismique et acoustique, infrasonore et sous-marine utilisées pour la surveillance du respect du Traité sont également utilisées par les géophysiciens pour la surveillance de l'activité terrestre (séismes, tsunamis, activités volcaniques...), pour la prévision météorologique et l'étude des impacts du changement climatique. Toutes ces disciplines vont donc en tirer profit.

Quelles seront les retombées du projet pour le LNE ?

D.R. : La nouvelle installation de référence offre la possibilité de nouvelles prestations d'étalonnage. Afin de les faire connaître, nous avons fait une demande d'accréditation COFRAC et allons également déposer une demande d'inscription d'une nouvelle aptitude de mesure (CMC) dans la base de données du BIPM. J'ajoute que nous terminons une proposition pour la rédaction d'une norme sur l'étalonnage de capteurs acoustiques infrasonores qui sera bientôt soumise à la CEI.



BANC D'ÉTALONNAGE DE CAPTEURS D'INFRASONS.

une pression acoustique à basse fréquence à partir de la mesure de l'indice de réfraction de l'air. Par ailleurs, pour le volet sismologique du projet, le LNE a participé à la caractérisation d'un banc primaire sismique développé par une équipe du CEA-DAM. «À l'aide de notre référence primaire d'accélérométrie, étendue jusqu'à 0,1 Hz dans le cadre de ce projet, nous avons étalonné des accéléromètres du banc de mesure sismique du CEA», précise Dominique Rodrigues.

La deuxième partie du projet a consisté à développer des moyens de dissémination de ces références primaires, en commençant par la sélection et l'étalonnage d'étalons de transfert. Sur ce segment, les métrologues du LNE ont étalonné un microphone infrasonore utilisé comme référence par le CEA pour l'étalonnage des microbaromètres des stations de mesure. Également dans la boucle, l'équipe de Mathématiques et Statistiques du LNE a *in fine* établi le bilan d'incertitude de mesure au niveau d'une station de surveillance. Se fondant sur une modélisation par méthode de Monte-Carlo qui intègre toute l'architecture de mesure – les microbaromètres et les réseaux de filtrage – les

théoriciens ont évalué, qu'à 1 Hz, l'incertitude de mesure est 0,3 dB. «Alors qu'il n'y avait aucune traçabilité métrologique des mesures infrasonores, grâce à ce projet, nous avons renforcé la confiance dans la détermination de l'énergie et de la localisation d'une éventuelle explosion», indique le scientifique. Des informations essentielles pour garantir la crédibilité des mesures sur lesquelles reposent des enjeux géopolitiques essentiels.

CHIFFRES CLÉS

Le pistonphone du LNE permet d'étalonner des capteurs acoustiques infrasonores avec une incertitude de 0,03 dB en amplitude et 0,2° en phase, entre 1 Hz et 20 Hz, et respectivement jusqu'à 0,1 dB et 1° aux fréquences inférieures. Le projet Infra-AUV a permis d'atteindre une incertitude de 0,3 dB à 1 Hz pour les mesures réalisées sur site.

