

# MÉTROLOGIE DES GRANDS VOLUMES, LE LABORATOIRE LNE-CNAM DÉPLOIE SES AILES

**LE PROJET EUROPÉEN LaVA A DONNÉ L'OCCASION AU LABORATOIRE COMMUN LNE-CNAM D'ÉTOFFER SON OFFRE EN MATIÈRE DE MÉTROLOGIE DES GRANDS VOLUMES, RÉPONDANT ENTRE AUTRES À UN BESOIN DE L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE.**

L'industrie aéronautique a besoin de connaître avec exactitude la position d'éléments de grande taille ou de robots industriels, mais également de réaliser des mesures dimensionnelles sur des pièces à quelques centaines de micromètres près. Le projet européen LaVA, finalisé en 2022, visait à développer de nouveaux moyens pour ce type de mesures. Dans ce cadre, le laboratoire a proposé plusieurs méthodes et dispositifs originaux prêts à être adoptés dans l'industrie.

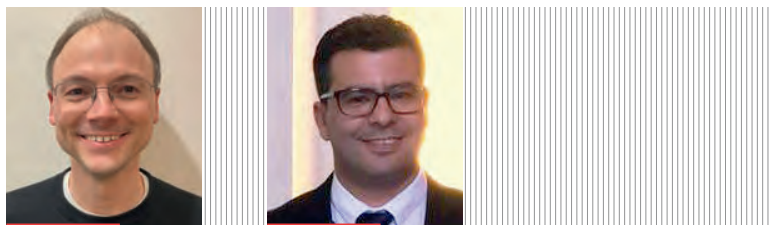
Ainsi, pour des mesures de position, les chercheurs ont développé une technique dite de multilatération qui permet de s'affranchir de mesures angulaires. Son principe : mesurer, de plusieurs endroits, la distance à une cible posée sur l'élément dont on souhaite connaître la position, afin d'en déduire les coordonnées. «Schématiquement, c'est le même principe que celui des systèmes de positionnement par satellites», explicite Joffray Guillory, ingénieur de recherche au Cnam.

Premier élément de ce dispositif : un télémètre laser dont la particularité est d'être fibré. Il peut ainsi facilement être connecté à plusieurs têtes de mesure – dans ce cas, quatre – sans être déplacé. «Traçable au mètre et caractérisé par interférométrie, il garantit des mesures jusqu'à 100 m avec une incertitude de 2  $\mu\text{m}$ », explique le scientifique.

En parallèle, les chercheurs ont réalisé deux types de cibles réfléchissantes. D'une part des réflecteurs disposés en coin de cube, d'autre part des sphères en verre de 14 mm de diamètre. «Les réflecteurs doivent pouvoir être orientés vers les différentes têtes de mesure et sont ainsi montés sur un cardan dont les axes ont été alignés de telle manière à garantir une incertitude de 5  $\mu\text{m}$  sur le positionnement, détaille Joffray Guillory. Quant aux sphères, du fait d'une importante perte de signal lors de la réflexion, elles ne sont efficaces que jusqu'à 20 m, mais n'ont pas besoin d'être orientées et sont adaptées à des situations nécessitant un dispositif léger.»

Enfin, afin de déterminer la vitesse de la lumière sur le trajet aller-retour entre les têtes et la cible, qui dépend crucialement de la température de l'air, les métrologues ont mis au point un thermomètre acoustique. Fondé sur la mesure de la vitesse du son sur le chemin parcouru par la lumière, il permet de déterminer la température moyenne de l'air sur ce même trajet de mesure.

Après prise en compte de toutes les sources d'erreur, l'incertitude de mesure avec ce nouveau dispositif a été évaluée entre



## 🗨 Trois questions à...

### JOFFRAY GUILLORY ET HICHEM NOUIRA

**Comment le LNE-CNAM se positionnait-il sur les différentes techniques mises en œuvre dans LaVA avant la réalisation du projet ?**

**J.G. et H.N. :** Le LNE-CNAM effectue des étalonnages primaires de sources lasers par battements de fréquences. Et nous sommes spécialistes des mesures de distance de plusieurs kilomètres et en réfractométrie. Nous avons également une maîtrise de la métrologie dimensionnelle. En revanche, nous n'avons pas de compétence particulière sur la mesure de position, ni en vision.

**LaVA a donc été l'occasion d'acquérir ces nouvelles compétences ?**

**J.G. et H.N. :** En effet. Pour les mesures de position, nous sommes fondés sur notre expertise en télémétrie laser, acquise lors de précédents projets à finalité de géodésie. En revanche, pour la vision, nous sommes partis de zéro et avons dû tout apprendre et tout développer.

**Quel intérêt ces compétences ont-elles au-delà de LaVA ?**

**J.G. et H.N. :** La technique de télémétrie laser utilisée dans LaVA a par exemple été utilisée dans le cadre du projet GeoMetre pour déterminer les coordonnées du centre de rotation du radiotélescope de l'Observatoire de Wettzell, et ainsi améliorer le raccordement entre les différentes techniques de géodésie spatiale mises en œuvre par cet observatoire. Quant au système de vision par stéréo, il intéresse potentiellement tous les industriels confrontés à la mesure de pièces de grand volume. LaVA a par ailleurs été l'occasion d'amorcer le développement d'une technique de «matching».



**CAPTEUR DE MESURE POSITIONNÉ SUR LE BRAS ROBOTISÉ ET COMPOSÉ D'UN PROJECTEUR DE MOTIF SUR LA SURFACE ET DE 2 CAMÉRAS ANALYSANT L'IMAGE DE LA PROJECTION.**

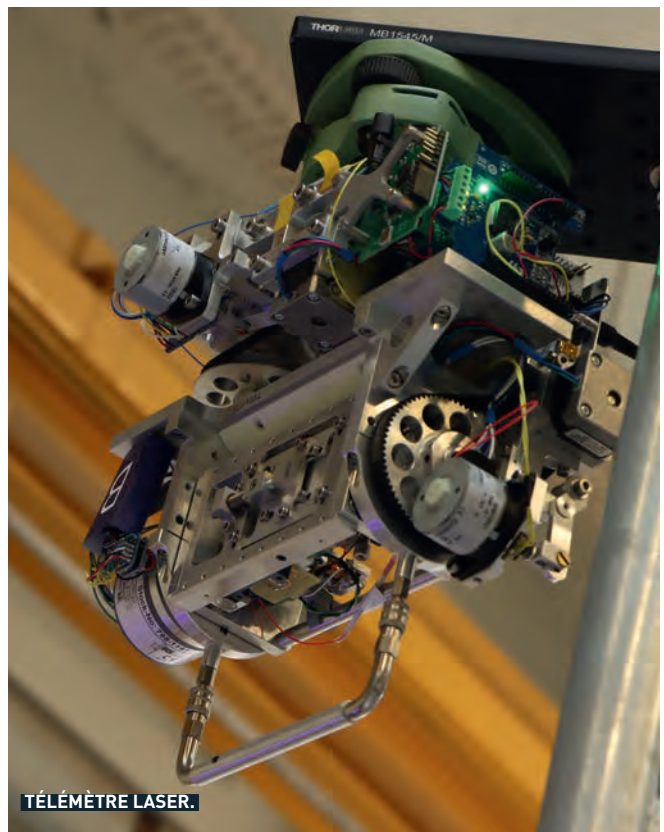
10 et 20  $\mu\text{m}$  pour une distance jusqu'à 10 m. «C'est deux fois mieux qu'avec le dispositif du commerce auquel notre système a été comparé dans le cadre du projet», précise le physicien.

Le second volet de la participation du LNE-CNAM au projet LaVA porte sur le développement d'un instrument de mesure traçable au SI fondé sur la stéréovision, pour caractériser les surfaces de pièces de grande taille. Son principe ? Un canevas numérique présentant différents motifs est projeté sur la pièce à mesurer, avant d'acquérir des images avec deux caméras, à partir desquelles un traitement d'images et une analyse des données permettent de déterminer les caractéristiques dimensionnelles de la surface de la pièce. Comme le mentionne Hichem Nouira, «notre objectif était de nous approprier cette technique afin d'en proposer une version caractérisée et traçable au SI.»

Pour ce faire, les métrologues ont réalisé un important travail d'étalonnage et d'optimisation des positions et des orientations des différents éléments du système de mesure à l'aide d'un algorithme d'intelligence artificielle. «Nous avons également effectué des mesures avec l'instrumentation développée par l'équipe de Joffray Guillory, le tout permettant d'affirmer que nos mesures sont cohérentes», explique Hichem Nouira. À cette fin, ils ont notamment utilisé un damier en céramique tracé, de quoi prendre en compte les distorsions et autres aberrations optiques à même de biaiser les enregistrements. Et pour que chaque pixel puisse être traduit en résultat de mesure dimensionnelle, les chercheurs ont traité l'ensemble de leurs données par un modèle approprié.

Enfin, les scientifiques ont utilisé leur nouvelle installation pour évaluer un étalon représentatif d'une pièce aéronautique caractérisée à l'aide d'une machine à mesurer en 3D.

LaVA terminé, les équipes vont désormais poursuivre le développement d'outils numériques d'acquisition et de traitement de données, notamment dans le cadre du nouveau projet européen DynaMITE, dont l'objectif est de mesurer la position de cibles en mouvement.



**TÉLÉMÈTRE LASER.**

## CHIFFRES CLÉS

LaVA a conduit à la publication de 4 articles dans des revues à comité de lecture. Et 3 autres articles sont en cours de soumission.