



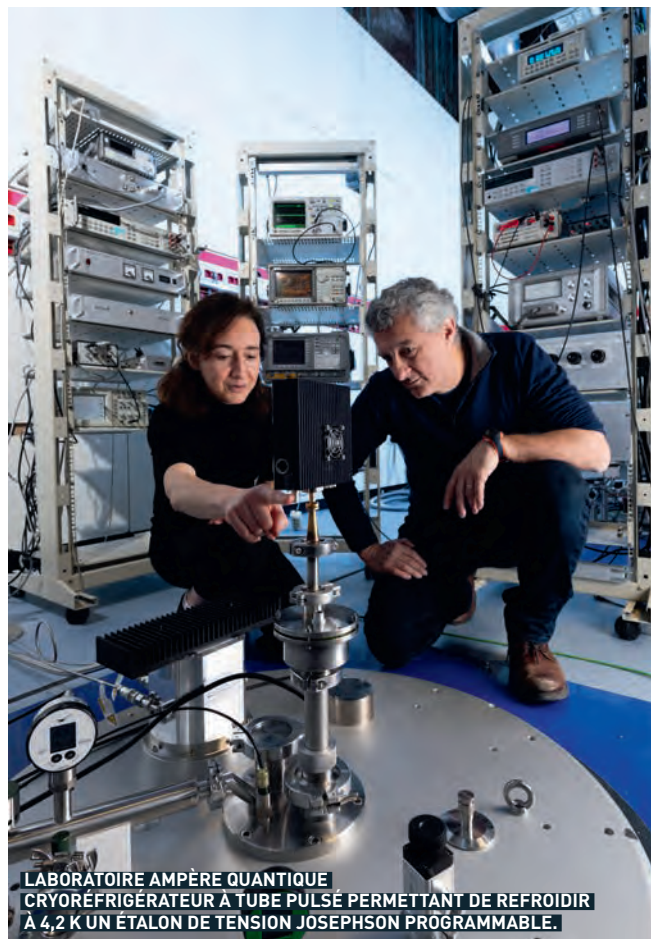
L'AMPÈRE QUANTIQUE A DÉSORMAIS SON LABORATOIRE

En 2016, le LNE a fait la démonstration d'un étalon de courant électrique réalisant la définition de l'ampère de 2018, à partir des étalons quantiques de tension et de résistance. Depuis lors, le LNE améliore son système de mesure et crée un laboratoire visant à faire de cet étalon une référence compacte, robuste et pérenne, comme en témoignent les travaux réalisés l'année passée.

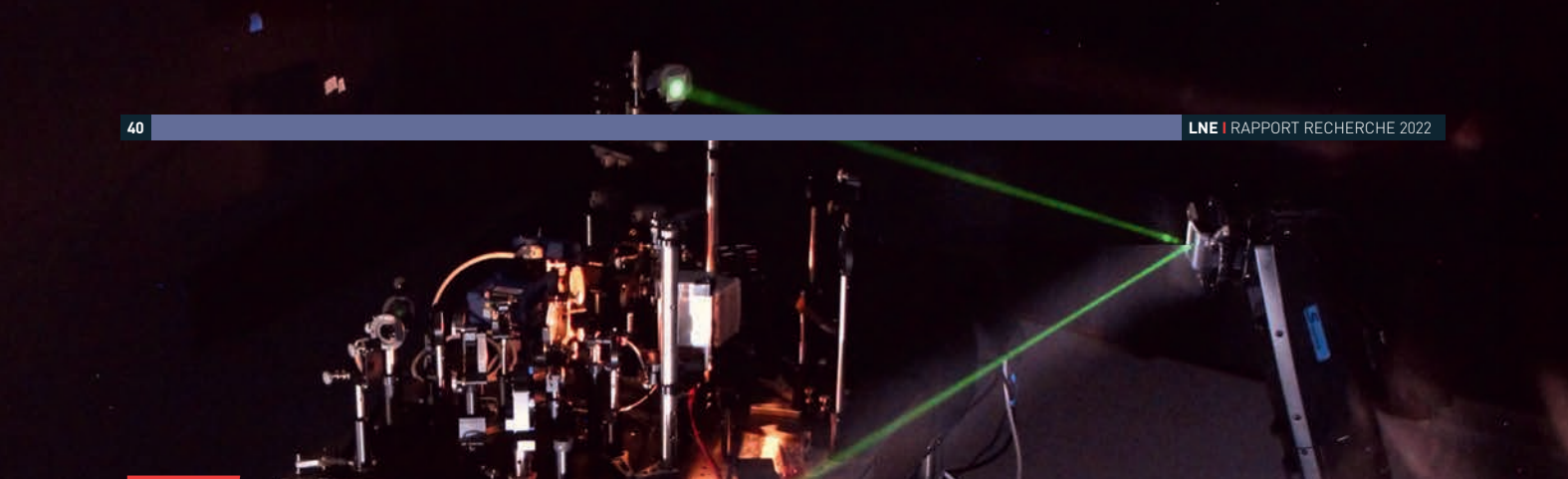
En 2022, les chercheurs en électricité quantique ont ainsi intégré les réseaux de jonctions Josephson, réalisant l'étalon quantique de tension, dans un cryoréfrigérateur à tube pulsé. À cette occasion, ils ont pu tester les performances des réseaux fournis par leurs partenaires allemands de la PTB.

Par ailleurs, un nouveau dispositif a été développé pour amplifier le courant quantifié, après sommation des courants issus des connexions entre les deux étalons de tension et de résistance, avec un gain exact à 10^{-10} près. «*Nous pourrions ainsi ajouter une troisième connexion entre les deux étalons, afin de s'affranchir totalement des résistances parasites à l'origine des erreurs sur le courant quantique de référence*», complète Sophie Djordjevic, coresponsable, avec Wilfrid Poirier, de ce projet de métrologie.

À terme, cet amplificateur sera installé lui aussi dans le même cryostat que les réseaux Josephson, simplifiant encore un peu plus l'ensemble du dispositif. Et l'étalon de résistance à effet Hall quantique sera lui aussi placé dans un cryoréfrigérateur à tube pulsé, afin de réduire la consommation d'hélium liquide actuellement nécessaire pour le maintenir à la température de 4,2 K. L'installation permet l'étalonnage d'ampèremètres et permettra dans un avenir proche d'étalonner des sources de courant, et à moyen terme des résistances, aux meilleures incertitudes de mesure.



**LABORATOIRE AMPÈRE QUANTIQUE
CRYORÉFRIGÉRATEUR À TUBE PULSÉ PERMETTANT DE REFRROIDIR
À 4,2 K UN ÉTALON DE TENSION JOSEPHSON PROGRAMMABLE.**



LA MÉTROLOGIE DE L'APPARENCE PRÊTE POUR DES MESURES DANS LE SI

LE GONIOSPECTROPHOTOMÈTRE

du LNE-CNAM est un instrument multifonction permettant de mesurer diverses propriétés optiques directionnelles de surfaces, en réflexion (BRDF) et en transmission (BTDF). Il a la meilleure résolution angulaire jamais atteinte à ce jour ($0,017^\circ$) et permet désormais de caractériser des surfaces à l'échelle submillimétrique (μ BRDF) et des surfaces translucides (BSSRDF).



GONIOSPECTROPHOTOMÈTRE DU LNE-CNAM.

Répondant à une demande économique forte, la métrologie de l'apparence des objets est en plein essor. Leader dans le domaine, le LNE-CNAM a coordonné le projet européen BxDiff, finalisé l'année passée. Il visait à faire progresser la métrologie primaire dans le domaine de la spectrophotométrie de la surface des matériaux.

C'est sur cette technique que se fondent les mesures d'apparence d'une surface. Elle permet en particulier de mesurer la fonction de répartition du facteur de réflexion bidirectionnel (BRDF), pour décrire la couleur ou le brillant d'un objet. Sur cette grandeur, le laboratoire de radiométrie-photométrie du LNE-CNAM a participé à une comparaison internationale avec cinq autres laboratoires nationaux partenaires du projet, démontrant sa capacité à mesurer la BRDF, de manière absolue, avec une incertitude comprise entre 0,8 et 1,2 %.

Par ailleurs, les métrologues ont mené des travaux sur les effets de cohérence optique (speckle) qui se manifestent à très haute résolution angulaire. «*Nous en avons finalement proposé un modèle qui, à terme, permettra de raffiner encore les mesures de BRDF*», détaille Gaël Obein, coordinateur de BxDiff.

En parallèle, les métrologues ont développé une instrumentation pour la mesure de la μ BRDF, c'est-à-dire la BRDF d'une surface de quelques dizaines de micromètres de diamètre. Ils ont également eu un rôle moteur pour la définition et la mesure de nouveaux mesurands pour caractériser l'aspect visuel d'objets translucides (BSSRDF pour la lumière diffusée par réflexion sur la surface et BTDF pour la lumière transmise par la surface). D'ailleurs, le laboratoire a participé à des comparaisons interlaboratoires de mesures de la BTDF. C'est un premier pas vers l'établissement de la traçabilité au SI de la mesure de cette nouvelle grandeur relative à la transparence d'un objet.

MATHMET, UN RÉSEAU EUROPÉEN À LA CROISÉE DES MATHÉMATIQUES ET DE LA MÉTROLOGIE



Les réseaux européens de métrologie (EMN – *European Metrology Network*) créés au sein d'EURAMET visent à mettre en place des stratégies coordonnées entre les laboratoires nationaux de métrologie et à renforcer la pertinence et l'impact de leurs actions. Parmi eux, l'EMN MATHMET fédère depuis 2019 la communauté des mathématiciens et spécialistes des méthodes statistiques pour la métrologie. En 2022, le réseau a témoigné de son caractère central, à l'interface entre la communauté des mathématiciens, de la métrologie et de ses utilisateurs.

Du 2 au 4 novembre dernier, le LNE, en collaboration avec l'ENSAM, a ainsi organisé à Paris la 5e édition de la conférence internationale MATHMET. Rassemblant près de 80 participants, elle visait à promouvoir de nouvelles approches analytiques et calculatoires en métrologie.

De ce point de vue, l'EMN a publié l'année passée son plan de recherche stratégique. «*Il met en avant l'importance de déve-*

lopper des méthodes d'évaluation de l'incertitude de mesure adaptées aux nouvelles problématiques telles que le calcul intensif ou les mesures multi-capteurs», détaille Nicolas Fischer, membre correspondant du réseau au LNE. «*L'IA, l'apprentissage machine et la métrologie «virtuelle» pour les jumeaux numériques sont également considérés comme des domaines prioritaires.*»

Enfin, MATHMET poursuit sa vocation de diffusion des bonnes pratiques. Un atelier de travail a été organisé en ligne pour les métrologues des Balkans. Un *Quality Assessment Tool* (QAT) a également été mis en ligne pour aider les utilisateurs à mettre en place leurs propres outils de management de la qualité, pour valider des logiciels, des bases de données ou des guides en métrologie. Enfin, le site internet du réseau a vu le jour qui rassemble de nombreux contenus, complémentaires aux productions propres du Réseau.