

Longueur et grandeurs dimensionnelles

Length and dimensional quantities

1. Introduction

Au cours de l'année 2008, le Laboratoire commun de métrologie (LCM) a été institué entre le Laboratoire national de métrologie et d'essais et le Conservatoire national des arts et métiers. Les références et l'ensemble des activités en longueur et métrologie dimensionnelle relevant de la métrologie française sont maintenant regroupées au sein du pôle « métrologie mécanique » du LCM.

2. Mesures absolues de grandes distances dans l'air

Les études qui suivent s'inscrivent dans le cadre d'un projet européen pour la mesure de grandes distances faisant intervenir neuf laboratoires nationaux de métrologie et coordonné par le LCM. L'une des difficultés des mesures de grandes distances par interférométrie est la connaissance de l'indice de réfraction de l'air. Les systèmes de mesure actuels sont basés sur des stations météorologiques qui fournissent les grandeurs d'entrées pour calculer l'indice de l'air au moyen des formules d'Edlen. Ces mesures sont ponctuelles et il n'existe pas de méthode pour mesurer l'indice de l'air sur de grandes distances en particulier en extérieur où les gradients d'indices peuvent être importants. D'autre part, l'interférométrie classique n'est pas adaptée aux mesures de grandes distances en raison de sa trop grande sensibilité aux perturbations atmosphériques et mécaniques.

Dans le cadre de ce projet, plusieurs techniques sont développées pour mesurer l'indice de l'air sur de grandes distances notamment par des méthodes spectroscopiques. Le réfractomètre absolu basé sur l'hélium développé par le LCM est un instrument permettant une mesure ponctuelle de haute exactitude qui servira à la validation des instruments développés par les partenaires européens. Concernant la mesure de grandes distances, le laboratoire développe un interféromètre superhétérodyne exploitant la notion de longueur d'onde synthétique qui permet d'avoir des longueurs d'onde de l'ordre du centimètre qui sont moins sensibles aux perturbations et rendent plus simple la détermination de l'ordre d'interférence.

2.1. Réfractométrie absolue basée sur l'hélium

L'objectif de cette étude est de mesurer l'indice de réfraction de l'air de manière ponctuelle (intégrée en fait sur une distance de 10 cm) avec une incertitude meilleure

que 10^{-8} . Les réfractomètres traditionnels sont basés sur un résonateur optique. L'indice de réfraction du gaz est déduit en mesurant la fréquence du décalage d'un laser asservi sur un pic du résonateur, lorsque le résonateur, initialement sous vide est rempli avec le gaz dont on veut mesurer l'indice. L'exactitude d'un tel instrument est essentiellement limitée par la connaissance des caractéristiques mécaniques du résonateur en Zerodur. En effet, la longueur mécanique du résonateur varie avec la pression. Cela implique qu'une correction doit être appliquée au résultat final, nécessitant une modélisation mécanique de la cavité faite à partir de la connaissance des propriétés mécaniques du matériau. Typiquement, l'incertitude de la valeur du module d'Young conduit à une incertitude sur l'indice de l'air de quelques 10^{-8} . Le but de l'étude est de réduire d'un facteur 10 cette composante d'incertitude.

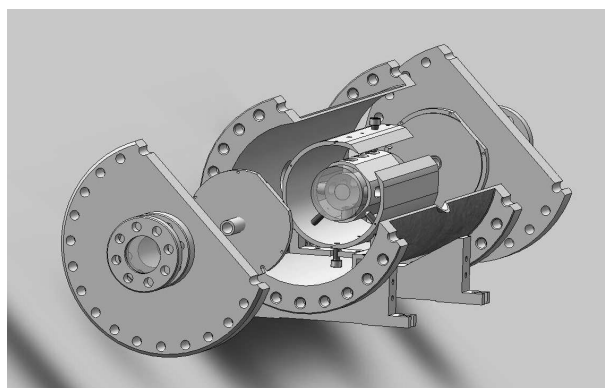


Fig. 1. – Vue CAO du résonateur dans son enceinte prévue pour être mise sous vide ou remplie d'air ou d'hélium.

Le principe consiste dans une première étape à mesurer l'indice de réfraction de l'hélium à l'aide d'une cavité sous vide puis remplie d'hélium (fig. 1). Par ailleurs, l'indice de réfraction de l'hélium est calculé *ab initio* connaissant la pression et la température de l'hélium dans la cavité. Une incertitude de 10 Pa sur la mesure de pression et une incertitude inférieure à 10 mK sur la mesure de la température induisent une incertitude de $3 \cdot 10^{-9}$ sur le calcul de l'indice. A partir de l'écart entre les valeurs calculée et mesurée de cet indice, il est possible de déduire l'effet de la déformation de la cavité. Connaissant le biais qu'induit la déformation de la cavité pour une pression donnée, la mesure de l'indice de l'air peut ensuite être effectuée avec une incertitude relative meilleure que 10^{-8} .

Le dispositif expérimental en cours de développement utilise deux sources laser à 532 nm. L'une sert de référence et l'autre est asservie successivement sur le pic du résonateur sous vide et rempli de gaz. L'enceinte à vide qui doit accueillir le résonateur Fabry-Perot, clef de voûte de la mesure réfractométrique, a été installée (fig. 2). Le mécanisme de régulation de la température du cylindre en Dural contenant le résonateur dans l'enceinte a été monté, puis testé. Il permet une régulation avec une stabilité de 1,5 mK, ce qui est en accord avec le cahier des charges.

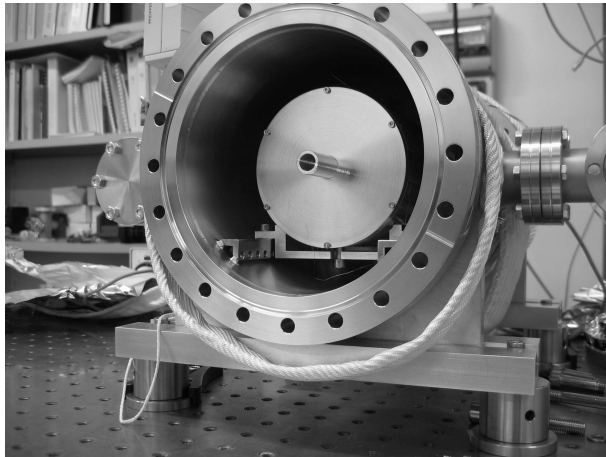


Fig. 2. – Vue de l'enceinte recevant le résonateur en cours de montage.

2.2. Mesures de grandes distances par interférométrie superhétérodyne

L'objectif est de réaliser un système de mesure de distance absolue permettant une mesure en extérieur sur 1 km. La mesure de l'indice de l'air sera réalisée en utilisant des capteurs spectroscopiques développés par d'autres partenaires du projet. Dans un premier temps, la mesure sera effectuée en environnement contrôlé, sur une centaine de mètres.

La génération de longueurs d'onde synthétiques nécessite deux ondes optiques à des fréquences différentes. L'intérêt de la longueur d'onde synthétique est qu'elle peut prendre de grandes valeurs (celle-ci étant inversement proportionnelle à la différence de fréquence des deux ondes). Comme la phase synthétique dépend de la relation de phase entre les deux ondes, il est nécessaire de maintenir une relation de phase stable entre ces deux ondes. Deux lasers Nd:YAG doublés en fréquence émettant aux alentours de 532 nm sont utilisés. Dans les mesures interférométriques, le nombre entier de franges sera déterminé en faisant varier la longueur d'onde synthétique. La phase synthétique sera déterminée par la technique du superhétérodynage. Il s'agit de mesurer le déphasage de la modulation appliquée à la longueur d'onde synthétique du fait de sa propagation dans l'air. L'expérience a été mise en place. La détection du déphasage de la modulation de la longueur d'onde synthétique par une technique superhétérodyne a pu être effectuée après passage dans un interféromètre de Michelson de 2 m de différence de marche. Ces résultats sont encourageants et des premières mesures sont prévues en fin d'année 2009 sur le banc de déplacement de 100 m de l'INRIM fonctionnant en atmosphère contrôlée.

3. Remise à niveau du banc interférométrique de 3 m

Le système de commande du déplacement du chariot de l'interféromètre a été remplacé. Le nouveau montage utilise un moteur *brushless* piloté par un variateur muni d'une télécommande à ondes radiofréquences. La télécommande simplifie les câblages et permet de réduire le bruit électronique. Les premiers essais de stabilité de la vitesse ont permis de valider la solution retenue. Les travaux de modernisation du banc interférométrique de 3 m seront poursuivis en 2009 par le passage à la détection de trait par caméra CCD.