

# Longueur et grandeurs dimensionnelles

## *Length and dimensional quantities*

### 1. Introduction

Les travaux menés en 2004 en longueur et métrologie dimensionnelle ont fait intervenir deux laboratoires nationaux de métrologie : le LNE-INM au CNAM dont l'activité est orientée avant tout sur les longueurs d'ondes et le LNE dont l'activité est orientée sur la métrologie dimensionnelle.

### 2. LNE-INM

#### 2.1. Laser Nd : YAG doublé en fréquence et asservi sur l'iode

Le laboratoire a travaillé sur la seconde source laser Nd : Yag doublée en fréquence et asservie sur l'iode au voisinage de 563 THz. Suite aux travaux préliminaires effectués en 2003, cette nouvelle source de référence pour la matérialisation du mètre bénéficie aujourd'hui de la méthode de doublage par cristal PPLN (niobate de lithium polarisé périodiquement) qui permet de supprimer la cavité de stockage utilisée dans le montage précédent. Près de 10 mW de rayonnement dans le vert ont pu être générés par simple passage à partir de 500 mW de puissance infrarouge incidente. Cette puissance (obtenue après doublage) est largement suffisante pour pouvoir observer un signal d'absorption saturé dans l'iode moléculaire avec un excellent rapport signal/bruit. Cette source étant accordable sur plus de 60 GHz, l'ensemble des raies d'absorption de l'iode contenu dans cette bande de fréquence peut être utilisé comme référence de fréquence optique, ce qui permettra, en particulier, de pouvoir étalonner n'importe quel laser commercial à 532 nm comme celui du LNE.

#### 2.2. Source laser solide aux alentours de 515 nm

La source laser à fibre, pompée par diode, doublée en fréquence par cristal PPLN et asservie sur l'iode au voisinage de 582 THz (515 nm) a fait l'objet d'études métrologiques (stabilisation à court et long terme, répétabilité, reproductibilité) et a été raccordée en fréquence par laser femto-seconde au BIPM. Les mesures montrent une stabilité relative du laser asservi sur une composante hyperfine meilleure que  $3 \cdot 10^{-13}$  pour un temps d'intégration de 1 s. La fréquence absolue peut être déterminée à quelques centaines de hertz près pour chaque mesure, mais la répétabilité en fréquence de la source elle-

même à plus long terme (plusieurs jours) se situe plutôt à l'échelle du kilohertz.

#### 2.3. Orientation du piège magnéto-optique de rubidium à la mesure du rapport $h/m$

L'étude concernant la détermination du rapport  $h/m$  effectuée au Laboratoire Kastler Brossel avec la participation du LNE-INM a bénéficié de nouvelles mesures suite à la modification du montage expérimental de façon à permettre l'étude des oscillations de Bloch en configuration verticale : les faisceaux laser contre-propageant qui génèrent le potentiel lumineux sont donc verticaux. La mesure de la période de ces oscillations a permis, dans un premier temps, de déterminer l'accélération locale de la pesanteur  $g$  avec une incertitude de  $10^{-6}$  en valeur relative. Puis, ces mesures nous ont permis de déduire le rapport  $h/m$  avec une incertitude de  $1,3 \cdot 10^{-7}$ .

### 3. LNE

#### 3.1. Source laser YAG doublée à 532 nm

Afin de remédier aux fortes variations constatées sur la longueur d'onde, un nouvel asservissement en fréquence sur une composante hyperfine de l'iode par absorption saturée a été mis en place sur la source laser YAG doublée à 532 nm du LNE. Le montage en absorption saturée et son électronique de commande ont été réalisés par la société Laserlabs en collaboration avec le LNE-INM. La caractérisation de cette source doit avoir lieu en 2005 au LNE-INM. Cette source sera utilisée soit comme une source de référence, soit comme source d'appoint pour l'étalonnage de cales par interférométrie directe.

#### 3.2. Plateau de référence angulaire

Le plateau de référence angulaire bénéficie d'une nouvelle implantation (fig. 1), améliorant la stabilité de la position relative des différents éléments intervenant lors d'une mesure angulaire. En particulier la lunette est posée sur un nouveau type de support, réglable en hauteur, et parfaitement rigide. Le système d'entraînement de câble a été revu afin de diminuer toute contrainte sur le plateau lors des rotations. Enfin, le plateau « décaleur » a été lancé en fabrication. Celui-ci permettra d'automatiser le multiretournement du polygone lors des opérations

d'étalonnage du plateau, améliorant de fait les conditions d'étalonnage et rendant plus rapide cette opération.



Fig. 1. - Nouvelle implantation du plateau de référence angulaire (LNE-Paris).

### 3.3. Nanométrie dimensionnelle

L'activité nanométrie dimensionnelle a été transférée dans les nouveaux locaux du bâtiment Maxwell à Trappes. La machine XY a été remontée en intégrant la table Aerotech 300 mm × 300 mm (fig. 2). Le déménagement a été l'occasion de mettre à jour la machine avec les dernières modifications (système d'animation des références, amélioration de la rigidité de la table Aerotech, modification de la pièce porte échantillon). S'agissant de la programmation, l'asservissement a été réalisé par une boucle PID fonctionnant actuellement à 100 Hz, les outils d'interfaçage de la machine sont en cours de réalisation. Des résultats préliminaires ont été obtenus concernant la stabilité de la chaîne de mesure  $z$  de la machine ainsi qu'une estimation des défauts de guidage lors d'un déplacement de 300 mm.

Les derniers éléments constituant la chaîne de mesure interférométrique XY ont été réceptionnés. D'autre part, des travaux sont en cours pour optimiser les trajets

optiques, intégrer mécaniquement les dispositifs et définir les procédures d'alignement. Des modifications sont en cours sur le banc de caractérisation des capteurs de mesure capacitifs afin de raccourcir la chaîne métrologique et de réduire les niveaux de bruit sur la chaîne d'acquisition. Le banc de mesure de planéité a également été modifié afin d'améliorer la résolution du niveau servant de référence pour la mesure. Les travaux concernant la mise en œuvre d'une protection thermique ont porté sur l'analyse de la structure de la machine et sur la validation de l'instrumentation pour les mesures des variations de température.

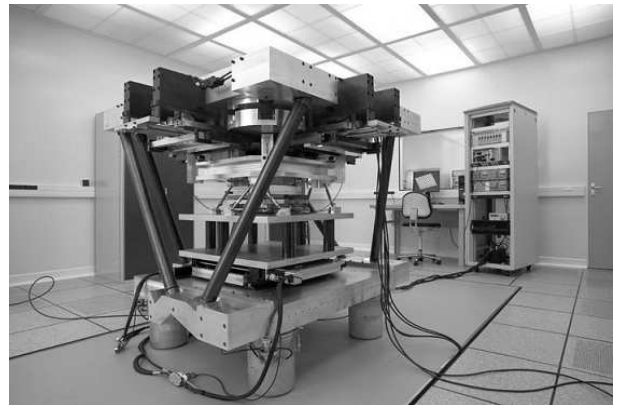


Fig. 2. - Machine montée dans les locaux du bâtiment Maxwell (LNE-Trappes).

La tête AFM PSIA a été réceptionnée. Son bon fonctionnement a été vérifié et des modifications sont en cours pour permettre l'intégration du capteur capacitif qui assurera le suivi métrologique de la mesure en  $z$  pour l'AFM. Les éléments mécaniques permettant le couplage de l'AFM avec la table XY ont été fabriqués. Une pré-étude de reconstruction de pointe a pu être engagée courant 2004 au travers d'un stage. Cette étude a permis de tester le logiciel SPIP acquis en 2003.