

# Masse et grandeurs apparentées

## *Mass and related quantities*

### 1. Introduction

Les travaux menés en 2004 en masse et grandeurs apparentées qui sont détaillés dans les lignes qui suivent ont fait intervenir deux laboratoires nationaux de métrologie (le LNE-INM et le LNE) ainsi que quatre laboratoires associés (le Laboratoire de métrologie dynamique de l'ENSAM-Paris, le Laboratoire d'étalonnage en accélérométrie du CEA-CESTA, le Laboratoire associé de débitmétrie gazeuse ainsi que les laboratoires de débitmétrie liquide et d'anémométrie du CETIAT).

### 2. LNE-INM

Cette année, les travaux ont porté sur le montage et la mise au point du protocole expérimental du nouveau dispositif de thermo-désorption : les premiers résultats de l'effet en terme de variation de masse ont été obtenus. De même, une synthèse des résultats obtenus par différentes techniques expérimentales sur le platine iridié a été effectuée. Ce matériau est destiné par la suite à servir de matériau de référence pour les différentes expériences engagées, en particulier d'aider à choisir le matériau de la masse de transfert dans le cadre de la balance du watt.

Le relevé simultané pour la même zone visée du spectre de fluorescence et de l'intensité diffusée a été rendu possible sur le rugosimètre X grâce à l'acquisition et la mise en œuvre de nouveau matériel, de même que des mesures hors du plan d'incidence.

Enfin, la connaissance de la masse volumique de l'air demeure un point important. A ce sujet, des résultats significatifs ont été obtenus sur le manque de discrétion des hygromètres à point de rosée couplés à des enceintes de faible volume. De même, les premières mesures de la fraction molaire de l'argon dans l'air atmosphérique ont donné des résultats encourageants (fig. 1), même si l'incertitude associée doit être réduite pour pouvoir apporter des conclusions significatives.

L'amélioration des techniques mises en œuvre ainsi que la confrontation des résultats avec des expériences utilisant un autre principe de mesure sera poursuivie. La synthèse des deux expériences précédentes, conduit à s'interroger sur la cause physique de la différence observée entre la mesure de la masse volumique de l'air en utilisant les artefacts et le calcul de cette masse

volumique à partir de la mesure des grandeurs d'ambiance en utilisant la formule du CIPM.

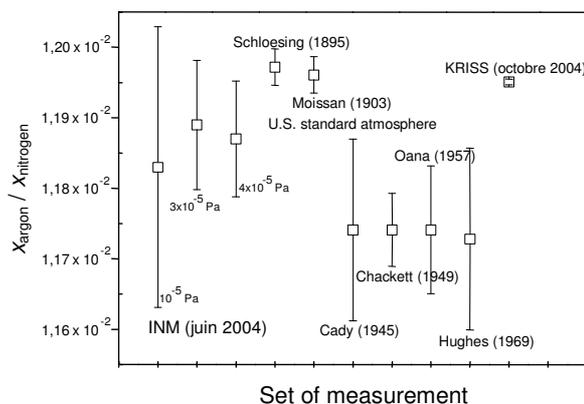


Fig. 1. - Premiers résultats et comparaison aux résultats obtenus dans les études précédentes.

### 3. LNE

#### 3.1. Masse

Afin de préparer les mesures de stabilité et le raccordement des futurs étalons de masse de la balance du watt, le comparateur LNE-One a été qualifié pour les comparaisons qui seront à réaliser dans l'air comme dans le vide. Son instrumentation a été réétalonnée et les connexions spécifiques nécessaires ont été mises en place. Les temps de passage du vide à l'air et vice versa ainsi que les réglages des débits ont été déterminés. De plus, les temps de stabilisations dans chaque situation ont été évalués. Les résultats obtenus démontrent que l'installation est opérationnelle.

Concernant l'étude pour la réalisation de nouveaux étalons de masse, quatre cylindres identiques d'environ 100 g ont été usinés. Ces échantillons ont été polis suivant un mode opératoire qui a été décidé après avoir effectué des mesures de rugosité sur différents échantillons avec les moyens de mesure de quatre laboratoires (Université de Bourgogne, CNAM, LNE-INM et LNE). Les étalons réalisés serviront à étudier la stabilité de la masse lors du transfert entre l'air et le vide et par rapport au platine iridié.

### 3.2. Volume et masse volumique

L'installation de densimétrie en salle propre destinée à la détermination par pesée hydrostatique du volume des masses de classe  $E_1$  de 10 g à 10 kg a été terminée. Elle comporte deux comparateurs, le premier pour les masses jusqu'à 500 g et le second jusqu'à 10 kg. La mise en service et la qualification de cette installation ont été menées à terme.

Une cuve thermostatique a été conçue et réalisée pour couvrir la gamme de température de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour les liquides de référence de masse volumique. Elle a été équipée d'une isolation thermique partiellement amovible de sorte à limiter l'incidence de l'environnement sur la température du bain. L'évaluation spatiale des gradients de température et de la stabilité de la cuve aux différentes valeurs de sa gamme d'utilisation a été effectuée.

### 3.3. Viscosité

Le montage expérimental du viscosimètre absolu à chute de bille a été effectué. Celui-ci comprend une caméra CCD linéaire fixée sur une platine de translation. L'ensemble a été instrumenté pour mesurer les erreurs de positionnement dues aux angles de tangage, roulis et lacet. Par ailleurs, un dispositif a été conçu pour assurer le maintien de la bille au centre du tube et la lâcher avec une vitesse nulle. L'ensemble des instruments ont été interfacés sous LabView.

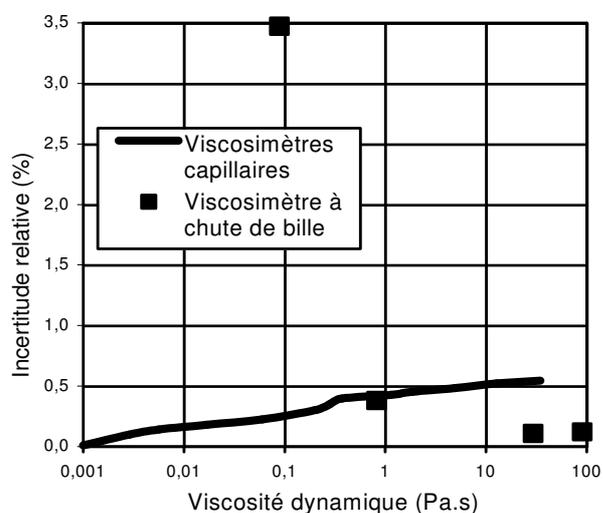


Fig. 2. - Comparaison méthode chute de bille / méthode capillaire.

Les premiers résultats obtenus montrent que le principe de mesure répond aux attentes. En effet, lors d'une même expérience, l'accélération de la bille ainsi que la zone où la bille atteint sa vitesse limite ont été mises en évidence. Les premières comparaisons entre les mesures effectuées avec le viscosimètre à chute de bille et les viscosimètres capillaires ont montré une bonne cohérence pour des viscosités dynamiques supérieures à 1 Pa.s et une réduction significative de l'incertitude relative pour les valeurs de viscosités élevées (fig. 2).

### 3.4. Force et couple

Dans le domaine des couples, le développement des références s'est poursuivi avec la finalisation du banc de référence de  $50\text{ N}\cdot\text{m}$ . Le bras de levier et le système d'accrochage des masses ont été étudiés et réalisés. Le banc a été monté sur le site de Trappes (fig. 3) et l'armoire de pilotage a été câblée. La mise au point est en cours.

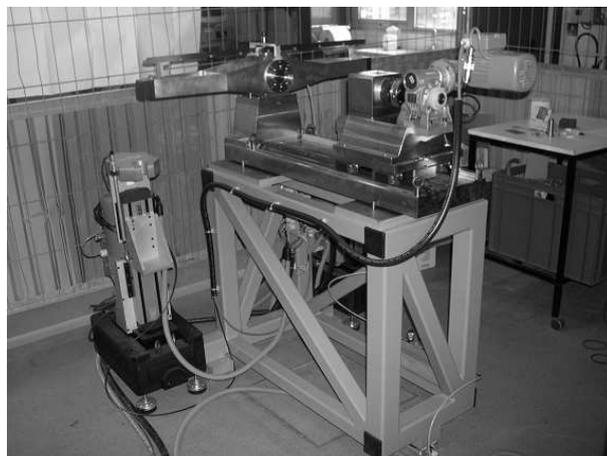


Fig. 3. - Premier montage du banc de  $50\text{ N}\cdot\text{m}$ .

L'approvisionnement d'une gamme de neuf couplemètres de référence allant de  $5\text{ N}\cdot\text{m}$  à  $2\text{ kN}\cdot\text{m}$  est finalisé. Afin d'améliorer la reproductibilité des mesures, des pièces mécaniques d'introduction des efforts ont été approvisionnées. Les protocoles de qualification métrologique ont été définis et sont en cours d'exécution. Ces nouveaux couplemètres permettront d'envisager des comparaisons interlaboratoire et notamment pour la qualification des nouveaux bancs de référence de couple.

### 3.5. Pression

Dans le domaine des basses pressions, le manomètre numérique à piston non rotatif FPG a été entièrement qualifié en pression absolue, ce qui a permis de réduire l'incertitude sur la connaissance de la section effective. Un nouveau capteur capacitif a été mis en place pour améliorer la mesure du vide résiduel et par conséquent le talon de l'incertitude en pression absolue.

Les ensembles piston-cylindre de section effective  $50\text{ mm}^2$  ont été comparés à la référence nationale  $0,2\text{ MPa}$  à  $10\text{ MPa}$ , après leur raccordement à la référence  $0,01\text{ MPa}$  à  $1\text{ MPa}$ . Ces travaux ont permis de définir l'incertitude de ces ensembles pour les rendre opérationnels dans le domaine de  $0,4\text{ MPa}$  à  $10\text{ MPa}$ , en gaz pur, dans une balance de type 5111.

Les trois ébauches d'ensembles piston-cylindre de section effective  $200\text{ mm}^2$  destinés à créer une nouvelle référence dans le domaine de  $1,5\text{ MPa}$  à  $50\text{ MPa}$  ont été instrumentés en vue de déterminer les caractéristiques mécaniques du carbure de tungstène les constituant (fig. 4). Le module d'Young et le coefficient de Poisson des six pièces ont été déterminés.



Fig. 4. - Eprouvette sollicitée en compression sous le banc de référence de 500 kN.

Les blocs de mesure destinés à recevoir ces ensembles piston-cylindre ont été réalisés. Ils permettront d'appliquer une contre-pression sur toute la longueur externe du cylindre.

La participation du LNE au projet Euromet n° 740 a permis de confronter les méthodes de calcul des sections effectives d'ensembles piston-cylindre de différentes géométries avec les travaux de cinq autres laboratoires européens.

L'étude des coefficients de déformation des ensembles piston-cylindre a été poursuivie, dans le cadre du projet Euromet n° 463, avec l'application des calculs à un ensemble du LNE.

Une étude a été menée sur les capteurs à membrane capacitive afin d'améliorer la formule de correction de transpiration thermique.

### 3.6. Acoustique

Le laboratoire a poursuivi la rénovation des moyens et l'amélioration des méthodes pour l'étalonnage en pression et en champ libre des microphones, ce qui s'est traduit cette année par les actions suivantes :

- mise en place une nouvelle méthode d'étalonnage de l'efficacité en pression des microphones de travail par comparaison simultanée ;
- amélioration de la méthode d'estimation les paramètres acoustiques des microphones (volume équivalent, fréquence de résonance et coefficient de qualité) ;

- réception du bras télescopique télécommandé (support de microphone) implanté en salle semi-anéchoïque et utilisé pour l'étalonnage en champ libre des microphones.

## 4. Laboratoires associés

### 4.1. LNE-LMD/ENSAM Paris

Cette année marque une étape importante dans la mise en œuvre des références de pression dynamique, puisqu'elle a été l'aboutissement des travaux de thèse portant sur la modélisation de l'estimation de l'incertitude associée à l'étalonnage dynamique d'un capteur de pression.

Ce travail de recherche se propose de montrer la méthodologie du calcul d'incertitude de mesure, en utilisant la norme NF ENV 13005 (ISO GUM) et la méthode de Monte-Carlo, pour l'étalonnage dynamique d'un capteur de pression de référence. La mise en œuvre de l'étalonnage dynamique nécessite différentes opérations qui visent à déterminer les informations nécessaires au calcul d'incertitude sur le capteur lui-même ainsi que sur la chaîne d'acquisition et de traitement. Les principales phases du processus sont : l'étalonnage quasi-statique du système d'acquisition et du capteur de pression, l'étalonnage dynamique du système d'acquisition et du capteur de pression de référence.

Les résultats de la thèse sont d'un niveau scientifique et technologique significatif et marquent une étape importante dans le domaine de l'étalonnage dynamique des capteurs de pression et plus généralement dans la mise en œuvre d'un calcul d'incertitude en métrologie dynamique. La méthode proposée couvre :

- l'évaluation de l'incertitude d'un capteur de pression de référence dans le domaine de fréquence 1 Hz à 10 kHz ;
- l'évaluation de l'incertitude dans le cas de l'utilisation du capteur de référence pour l'étalonnage dynamique par comparaison directe pour la même gamme de fréquence ;
- l'évaluation des performances des moyens d'étalonnage dynamique.

### 4.2. LNE-LADG

Les travaux portant sur l'harmonisation des références de débits européennes (avec la PTB et le NMi) ont été poursuivis. Les premiers résultats de comparaison ont permis de valider le lancement de l'accord d'harmonisation qui a été officiellement signé le 4 mai 2004 à Paris.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur les bancs du LADG afin d'améliorer le mode opératoire des installations d'étalonnage : modification du système de chauffage du banc primaire Piscine, installation d'un nouveau chromatographe rapide à la station gaz d'Alfortville, remplacement du capteur de masse volumique et de l'automate du banc secondaire

Plateforme. Enfin, les premiers travaux pour le remplacement du banc Coke par le banc Prof ont été entamés.

### **4.3. LNE-CETIAT**

#### ***4.3.1. Débitmétrie liquide***

La mise en œuvre du système de traitement du signal en temps réel pour le comptage des impulsions émises par le débitmètre en étalonnage et la mesure du temps de pesée de l'eau ayant transité par le débitmètre a été finalisée : le raccordement et les caractérisations nécessaires à l'estimation de l'incertitude ont été conduits en 2004 ; l'incertitude associée à la grandeur a été évaluée. La prochaine étape des travaux visant à réduire l'incertitude sur le débit, commencée en 2004, portera sur l'amélioration de la mesure de la masse volumique du fluide utilisé.

#### ***4.3.2. Anémométrie***

Le laboratoire a installé une seconde sonde laser afin de positionner à demeure une sonde sur chacune des deux souffleries. D'autre part la méthode de raccordement du processeur (anémomètre Doppler laser) a été modifiée par la mise en œuvre d'un dispositif de raccordement interne de manière à éviter de déplacer l'ensemble du dispositif qui était auparavant étalonné dans un laboratoire extérieur.

### **4.4. Laboratoire d'étalonnage en accélérométrie du CEA-CESTA**

Cette année, le CEA-CESTA a annoncé son intention d'arrêter son activité de laboratoire associé en accélérométrie. Des contacts ont été pris entre le LNE et le CEA-CESTA afin d'organiser un transfert des références d'accélérométrie au LNE. Celui-ci sera mis en œuvre à partir de 2005.