

Rayonnements optiques

Optical radiation

1. Introduction

Dans ce domaine de métrologie, les missions sont réparties entre deux laboratoires nationaux de métrologie : le LNE-INM au CNAM et le LNE (au CMSI). Elles recouvrent la réalisation des références et leur transfert en photométrie et en radiométrie (ultraviolet, visible et infrarouge) suivant une approche « détecteurs, sources ou matériaux », tant en espace libre qu'en optique guidée.

2. LNE-INM

2.1. Réalisation de la candela.

Une nouvelle réalisation de la candela, unité d'intensité lumineuse, a été achevée au cours de l'année. Cette réalisation est basée sur des photomètres étalons construits à partir de détecteurs pièges au silicium associés à des filtres $V(\lambda)$ contrôlés en température et à des diaphragmes de surface précisément mesurée.

Ces photomètres sont traçables au radiomètre cryogénique, référence primaire du laboratoire pour les mesures radiométriques. Ils sont utilisés pour mesurer l'intensité lumineuse émise par des lampes étalons à incandescence. L'incertitude type qu'il est possible d'obtenir sur la valeur d'étalonnage d'une lampe est estimée à $2,5 \cdot 10^{-3}$ en valeur relative.

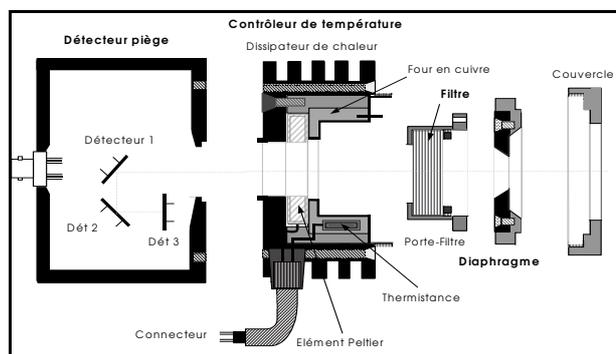


Fig. 1. – Schéma de principe d'un photomètre.

L'étalonnage de deux groupes de cinq lampes étalons d'intensité lumineuse a été effectué par rapport à cinq photomètres étalons. Les résultats de ces mesures ont permis d'établir que la nouvelle réalisation de la candela

diffère de la valeur actuellement maintenue de $+7,5 \cdot 10^{-3}$ en valeur relative.

Le LNE-INM ayant participé à la dernière comparaison clé organisée en 1999 par le BIPM, l'écart entre la valeur de la candela maintenue par le LNE-INM et la valeur de référence de la comparaison clé est connue. Il est donc possible d'en déduire l'écart de la valeur de la nouvelle réalisation de la candela par rapport à la valeur de référence de la comparaison clé. Cet écart de $+1,4 \cdot 10^{-3}$ en valeur relative.

L'incertitude type sur la réalisation actuelle de la candela est estimée à $2,2 \cdot 10^{-3}$. Quelques mesures complémentaires effectuées en fin d'année sur la caractérisation des photomètres permettent d'espérer un renforcement de la validation des résultats et éventuellement une légère diminution de l'incertitude.

2.2. Banc photométrique pour l'Instituto Português da Qualidade.

Dans le cadre d'un contrat de licence entre le CNAM et la Société Bouhnik et des collaborations internationales, un banc photométrique comparable à celui du LNE-INM a été installé au laboratoire de photométrie de l'Instituto Português da Qualidade (IPQ), laboratoire national portugais. Ce banc photométrique est destiné essentiellement à l'étalonnage des luxmètres et des luminancemètres ainsi qu'à la fourniture de lampes étalons d'intensité lumineuse.

Cette installation a été accompagnée par deux sessions de formation du personnel de l'IPQ, l'une dans les locaux du CNAM pour la présentation des principes physiques et des aspects théoriques des mesures et du traitement des incertitudes, et l'autre, dans les locaux de l'IPQ pour l'utilisation pratique du banc photométrique et de ses accessoires.

Dans le cadre de cette action, le LNE-INM a également assuré le raccordement des références de l'IPQ pour les grandeurs photométriques.

2.3. Détecteurs étalons de transfert.

Au cours de l'année 2005, les travaux relatifs au maintien et à l'amélioration du transfert des références de rayonnements optiques ont été poursuivis. L'étalonnage électrique du radiomètre cryogénique a été effectué à plusieurs reprises. Les « étalons secondaires » du

laboratoire, dont le nombre a été augmenté par l'adjonction de détecteurs pièges utilisant de nouvelles photodiodes, ont été étalonnés directement par rapport au radiomètre cryogénique. Ces détecteurs sont des détecteurs pièges composés de photodiodes au silicium de petite surface qui ne sont étalonnés qu'aux longueurs d'onde laser et qui sont utilisés uniquement dans des conditions identiques à celles de leur étalonnage. Ils ont été utilisés pour étalonner un certain nombre de détecteurs de transfert, aussi bien pour des usages internes que pour raccorder des laboratoires nationaux de métrologie étrangers. La méthode et le banc utilisés pour effectuer ces étalonnages ont également été améliorés.

La traçabilité des mesures radiométriques au radiomètre cryogénique est assurée par l'utilisation de détecteurs étalons de transfert. Dans le but d'améliorer cette traçabilité, sur un domaine spectral allant de 200 nm à 1 800 nm, de nouveaux détecteurs ont été caractérisés.

Pour les domaines visible et proche ultraviolet, les détecteurs développés sont des détecteurs pièges de grande surface construits à partir de nouvelles photodiodes au silicium. Ils ont été étalonnés en sensibilité spectrale absolue à 7 longueurs d'onde lasers visibles. Ces points de mesure absolue ont été interpolés et extrapolés sur tout leur domaine spectral d'utilisation par comparaison au détecteur thermique de forme cavité, en utilisant un faisceau en sortie de monochromateur. Les résultats sont tout à fait conformes à ceux attendus dans le domaine 400 nm – 1 000 nm car la courbe de sensibilité spectrale des détecteurs est très proche de celle d'un détecteur piège idéal et est donc facile à modéliser.

Pour le domaine ultraviolet (200 nm – 400 nm), les détecteurs pièges construits à partir de photodiodes silicium optimisées pour ce domaine spectral présentent une stabilité tout à fait satisfaisante, ce qui n'était pas le cas avec les photodiodes GaAsP.

Pour le proche infrarouge (1 000 nm – 1 800 nm), un détecteur composé d'une sphère intégratrice et de 4 petites photodiodes InGaAs a été étudié. La détermination de sa courbe de sensibilité spectrale absolue a été réalisée en optimisant la méthode qui permet un raccordement indirect au radiomètre cryogénique.



Fig. 2. – Détecteur constitué d'une sphère intégratrice et de quatre petites photodiodes InGaAs.

Ces détecteurs sont maintenant utilisés, en tant que détecteurs étalons de transfert, sur le montage de mesure de la sensibilité spectrale des détecteurs basé sur un

monochromateur double. Ils remplacent le détecteur non sélectif de forme cavité utilisé jusqu'à présent, et permettent de couvrir le domaine spectral allant de 200 nm à 1 800 nm.

3. LNE/CMSI

3.1. Radiométrie laser

Le laser argon (488 nm et 514 nm) a été remplacé suite à la défaillance de l'ancien laser.

La comparaison Euromet 156 des radiomètres pour les lasers de puissance a débuté en 2005 pour les puissances entre 1 W et 10 W. Le LNE a étalonné deux radiomètres en sensibilité spectrale à 3 longueurs d'onde différentes et pour des puissances de 1 W, 5 W et 10 W.

3.2. Fibronique

Le dispositif d'interférométrie en lumière incohérente (OLCR) a été optimisé et ses performances évaluées.

Les longueurs de tronçons mesurables sont de 120 cm avec une résolution spatiale de 14,85 μm et une incertitude type de 0,27 μm .

Des mesures ont été effectuées sur divers types de fibres : fibre classique, fibre avec réseau de Bragg (uniforme, à pas variable ou superstructuré), fibre à mode d'ordre supérieur, fibre microstructurée, fibre dopée à l'erbium.

Une comparaison de caractéristiques (dispersion de vitesse de groupe) de fibres microstructurées a été réalisée avec le GET Telecom de Paris (action d'incitation 2004). Les mesures ont été effectuées sur 9 tronçons issus d'une fibre de 500 m fournie par Alcatel. Les résultats sont cohérents entre les deux laboratoires (fig. 3) et ils montrent également l'homogénéité de la fibre, c'est-à-dire la qualité de réalisation de la fibre.

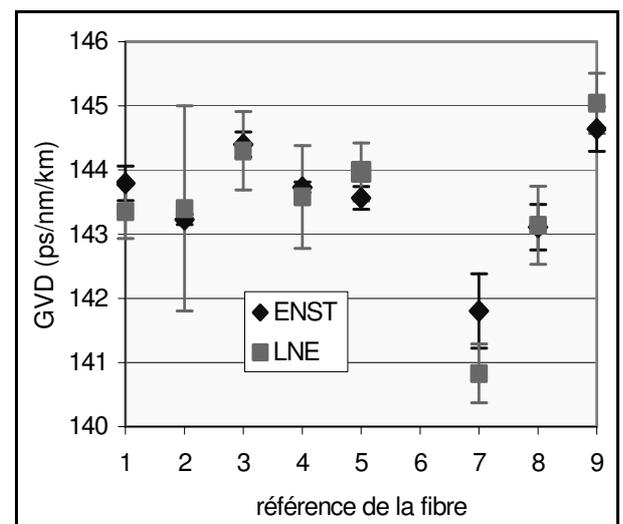


Fig. 3. – Mesures de dispersion de vitesse de groupe (GVD) sur 9 tronçons de fibre, par le LNE et l'ENST (GET Telecom).

Une comparaison a été réalisée avec le METAS (collaboration internationale) sur la mesure de réflectance par un OLCR. Elle a été effectuée sur des extrémités de connecteurs à fibres et sur des réseaux de Bragg à pas variable.

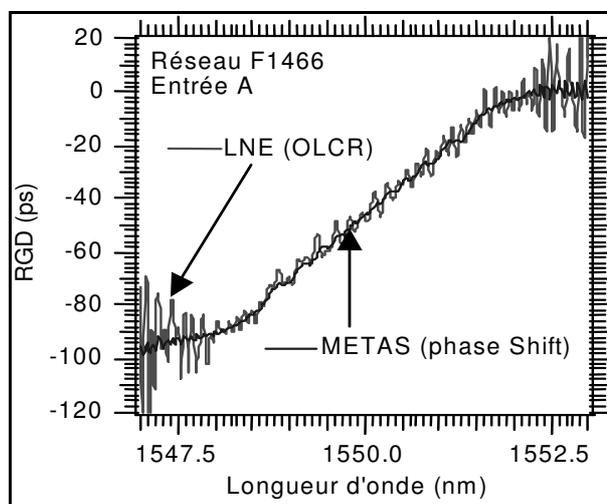


Fig. 4. – Retards de groupe relatif (RGD) mesurés sur un réseau de Bragg par le LNE et le METAS.

Une autre comparaison, réalisée avec le METAS, sur la dispersion chromatique d'un réseau de Bragg à pas variable. Le LNE a utilisé l'OLCR qui permet de mesurer la phase de la réflexion et donc d'accéder directement au retard de groupe relatif. Le METAS a utilisé une technique de décalage de phase à l'aide d'un laser accordable modulé en puissance par un modulateur de Mach-Zehnder. L'incrément en longueur d'onde était de 20 pm. Les deux techniques permettent d'obtenir des résultats en accord (fig. 4) et la technique de mesure de dispersion chromatique du LNE permet d'obtenir une résolution meilleure que les 20 pm de résolution du METAS.

3.3. Spectrophotométrie des matériaux

Pour l'étalonnage en transmission régulière spectrale des filtres, un nouveau spectrophotomètre (PerkinElmer Lambda 850) a été réceptionné. Il fonctionne entre 175 nm et 900 nm avec un seul dispositif de détection à photomultiplicateur. Les performances sont proches de celles des autres spectrophotomètres du laboratoire.

Le LNE a participé à une comparaison bilatérale avec le BelGIM (Laboratoire national biélorusse) sur la mesure du facteur de réflexion d'étalons diffusants. Les supports de comparaison étaient 3 étalons neutres en PTFE et 4 étalons colorés en céramique et les mesures ont été réalisées en configuration 0°/t. Les résultats obtenus par les deux laboratoires sont en bon accord avec un degré d'équivalence (E) inférieur à 0,5 pour les étalons neutres et de couleurs rouge et rose, pour toutes les longueurs d'onde, un E inférieur ou voisin de 1 pour l'étalon bleu et un E de 1,5 pour l'étalon jaune pour les longueurs d'onde

supérieures à 500 nm. Les écarts pour le jaune ne sont pas expliqués et nécessitent des mesures complémentaires.

L'installation de mesure du facteur de réflexion hémisphérique directionnel spectral par une méthode absolue a été mise en fonctionnement (fig. 5) et les premières mesures de qualification ont été réalisées. Les caractéristiques étudiées ont été : stabilité de la source, variation de la luminance incidente en fonction de la direction de mesure, justesse de mesure de la réflexion. Les premiers résultats sont encourageants mais le luminancemètre utilisé pour ces mesures est trop sensible aux rayonnements parasites (effet de taille de source) pour atteindre le niveau d'incertitude souhaité. Il faut donc construire un luminancemètre spécifique de meilleure qualité.

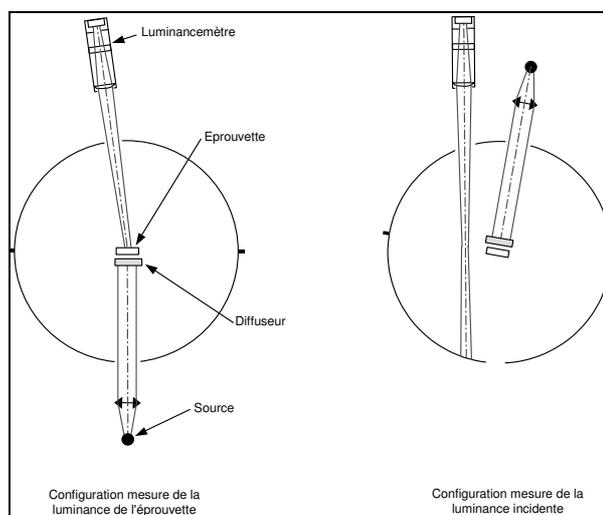


Fig. 5. – Configurations de mesure des luminances incidente et réfléchie.

3.4. Radiométrie IR : Bancs de référence des fluxmètres et moyens de transferts

Pour l'étalonnage de fluxmètres le LNE dispose d'un banc de référence fonctionnant à très basse pression, limitant ainsi les échanges convectifs, et d'un banc d'étalonnage par comparaison. Ces deux bancs sont constitués de corps noirs respectivement cylindrique (VBBC) et sphérique (SBBC).

Note : Les capteurs dénommés fluxmètres réalisent des mesures d'éclairement et sont beaucoup utilisés dans le domaine des essais au feu.

Une mise à niveau du banc de référence du corps noir sous vide (VBBC) a été réalisée. Les principales améliorations portent sur l'ajout d'un élément chauffant pour permettre une meilleure uniformité de la température au voisinage du fluxmètre à étalonner, la mise en œuvre de deux cannes multipoints étalonnées pour la mesure de la température le long de la cavité corps noir, et l'utilisation d'un voltmètre faible bruit.

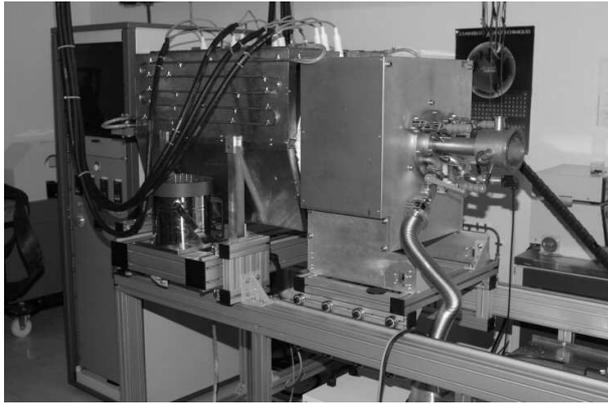


Fig. 6. – Banc de référence VBBC pour l'étalonnage des fluxmètres

Dans l'objectif d'étudier plus précisément certaines composantes de l'incertitude de mesure, l'influence du

débit et de la température de l'eau de refroidissement des fluxmètres en cours d'étalonnage a été mesurée pour deux valeurs d'éclairement. Il s'est avéré que la tension délivrée par le fluxmètre ne variait pas avec le débit. La composante d'incertitude sur la sensibilité du fluxmètre liée au débit et à la température de l'eau de refroidissement a donc été déterminée de manière expérimentale.

Par ailleurs, le LNE a étudié la faisabilité de l'étalonnage de plaques calorimétriques utilisées pour les essais de feu. Ces plaques doivent être étalonnées en dynamique, c'est-à-dire que le niveau de densité de flux est déterminé à partir de la pente de la variation de la tension délivrée par la plaque en fonction du temps. Des essais ont été réalisés sur un banc d'étalonnage spécifique par comparaison à un fluxmètre de référence.