

Influence de la pureté spectrale sur l'étalonnage des analyseurs optiques X du LMJ

■ S. HUBERT - V. PRÉVOT / CEA – CESTA

Le laser Mégajoule (LMJ) est un outil de physique fondamentale mis en oeuvre pour l'étude de l'interaction laser-matière. Cette interaction génère du rayonnement X, enregistré par des caméras étalonnées. Un monochromateur X a révélé l'importance que revêt une émission strictement monochromatique dans l'étalonnage de ces caméras.

Le laser Mégajoule vise à approfondir notre connaissance du comportement de la matière soumise à une forte densité de rayonnement laser. Le plasma résultant émet du rayonnement X enregistré par des caméras X dédiées. Au sein du LMJ ces caméras X, dénommées Analyseurs Optiques X (ou AO X), sont étalonnées. Généralement la métrologie de capteurs X est effectuée sur des sources synchrotron, qui bénéficient d'une forte brillance et d'un rayonnement monochromatique. Les générateurs X constituent une alternative attrayante de par leur taille modeste, leur meilleure accessibilité, qui leur permettent d'être implantés à proximité de l'installation sur laquelle sont déployés ces capteurs.

Dans le laboratoire de métrologie X du CEA – CESTA, un générateur X assure l'étalonnage des AO X. Ce type de source X est constitué d'un canon à électrons, accélérés vers une anode, cette dernière étant choisie pour ses raies d'émission X naturelles. En utilisant un barillet d'anodes différentes, on dispose d'une source X à « énergies X variables » sur une certaine gamme spectrale. Toutefois, l'inconvénient de ces sources est leur spectre naturellement polychromatique. Leur spectre d'émission X est constitué d'un continuum d'émission X sur lequel est superposée la raie X caractéristique de l'anode. Cette polychromaticité rend ces spectres inadaptés à la métrologie. Les physiciens « monochromatisent » alors ce type de spectres avec des filtres ultraminces ($< 100 \mu\text{m}$). Cet artifice réduit le continuum autour des raies X, sans toutefois l'éliminer complètement, conduisant à une source d'erreur systématique potentielle.

Pour s'affranchir de cette source d'erreur, la solution consiste à éliminer complètement le continuum d'émission parasite, en utilisant un système de monochromatisation dédié. Nous avons ainsi développé un monochromateur dont le principe repose sur la diffraction X des cristaux naturels, régie par la loi de Bragg. Cette loi exprime le fait que, pour observer une longueur d'onde du spectre polychromatique incident, il convient d'orienter le cristal selon un angle d'attaque précis.

Le monochromateur développé [1] comporte deux cristaux plans de germanium, maintenus rigoureusement parallèles et orientables entre 0° et 60° (figure 1) au sein d'une mécanique de type pantographe.

La première utilisation de cet appareil a été la mesure quantitative de l'efficacité quantique (EQ) d'une caméra CCD X (Charge Coupled Device). Déterminer l'EQ consiste à mesurer l'intensité absolue de la raie X, de mesurer le nombre de charges générées dans le capteur CCD par ces photons X, puis d'en faire le rapport. Les spectres monochromatiques obtenus ont confirmé le fonctionnement du monochromateur par l'obtention d'une pureté spectrale ayant significativement augmenté ($> 99\%$). Les mesures d'EQ obtenues ont été comparées avec des mesures présentées comme référentes, dans la littérature, malgré une monochromatisation par filtres. Nos mesures se sont avérées en accord avec ces mesures de référence [2], tout en étant légèrement plus élevées.

Nous avons cherché à comprendre l'origine de ces différences, en particulier si celles-ci étaient dues à la monochromatisation par filtre. La différence entre les mesures résidant dans la pureté

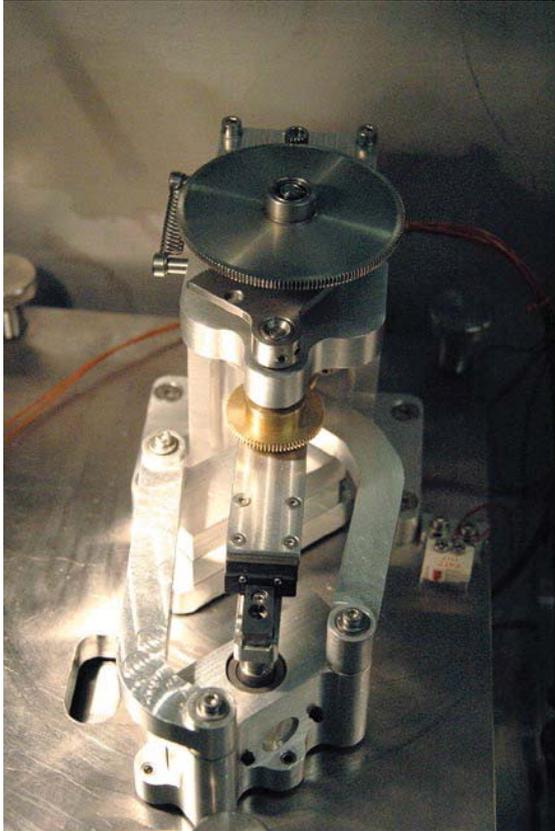


Figure 1.
Détail de la monture
pantographique du
monochromateur avec les
deux supports de cristaux
parallèles.

du spectre reçu par la caméra, il était important de statuer sur la pertinence de la monochromatisation par filtres par rapport à celle utilisant un monochromateur. La méthode par filtres a été éprouvée en modifiant la pureté spectrale de la source tout en mesurant l'EQ résultante. Pour cela, l'épaisseur du filtre utilisé et la tension d'accélération des électrons ont été progressivement modifiées. La variation de ces deux paramètres a conduit à des variations significatives de l'EQ (au maximum 25 %). Ce résultat montre que la monochromatisation par filtres, ne peut pas être retenue pour étalonner des détecteurs X. Un autre résultat obtenu appuie d'autant plus ce constat : une combinaison épaisseur du filtre-tension d'accélération a pu être trouvée permettant d'obtenir une valeur d'EQ, pour notre CCD, comparable à celle de référence (CCD différente de la nôtre), contredisant de ce fait les modèles théoriques et les étalonnages précédents, décrits dans la littérature.

Conclusion

Les caméras X du Laser MégaJoule sont étalonnées sur générateurs X, dans un laboratoire de métrologie dédié. Le développement d'un monochromateur X a permis l'étalonnage d'une caméra CCD X. Cet étalonnage est comparable à celui de référence décrit dans la littérature, mais présente néanmoins des efficacités quantiques plus élevées. Ces différences ont pu être attribuées à la méthode de monochromatisation utilisée lors de cette étude de référence. Nous avons ainsi montré que la monochromatisation par filtres minces ne peut être utilisée pour étalonner des détecteurs X de manière absolue. Cette technique génère en effet intrinsèquement un biais de mesure lié à une monochromatisation incomplète. À l'avenir, l'étalonnage des AO X du LMJ sera conduit au moyen de ce nouveau monochromateur.

Références

- [1] S. HUBERT, V. PRÉVOT, "A compact low cost master-slave double crystal monochromator for X-ray cameras calibration of the laser MégaJoule Facility", *Nucl. Instr. Meth. Phys.*, **768**, p. 186-191 (2014).
- [2] S. HUBERT, V. PRÉVOT, "Quantum efficiency measurements of an X-ray CCD in the 2-10 keV spectral region by means of double crystal monochromator coupled to an X-ray tube", *Appl. Opt.*, **53**, p. 8078-8085 (2014).