

Premiers imageurs X pour le Laser Mégajoule

R. ROSCH - C. TROSSEILLE - T. CAILLAUD - J.-L. BOURGADE - J.-P. LE BRETON - R. WROBEL / CEA – DAM Île-de-France
P. BEAUVAIS - S. HUBERT - M. PALLET - V. PRÉVOT / CEA – Cesta

Les premiers diagnostics mis en œuvre sur le Laser Mégajoule (LMJ) sont deux imageurs X, l'imageur GXI-1 installé en 2014 et l'imageur GXI-2 livré en mai 2015 [1]. Ces imageurs X permettent de visualiser, dans l'espace et dans le temps, le plasma formé par l'interaction laser-cible et de réaliser des radiographies de la cible. Ils ont la capacité de résoudre des détails de l'ordre de $30\ \mu\text{m}$ à l'intérieur d'un champ d'observation de quelques millimètres et de pouvoir prendre plusieurs photographies de l'évolution de la cible dans le domaine des rayons X avec des temps de pose d'environ 100 ps. Ces instruments prennent en compte, par conception, les contraintes imposées par l'environnement du LMJ – rayonnements parasites, éclats émis par la cible, maintenance en ambiance nucléaire – et s'intègrent dans le système complexe de pilotage du LMJ. Ils ont été qualifiés au cours de deux campagnes dédiées et sont utilisés en routine dans les campagnes d'expériences du LMJ.

L'imageur X (**figure 1**) est un instrument formé de deux ensembles de haute précision : le bloc optique, qui constitue le système d'imagerie, et le détecteur (ou analyseur optique), qui a pour rôle d'enregistrer des images instantanées de l'émission de la cible. Ces deux ensembles sont intégrés de part et d'autre d'une structure mécanique télescopique qui détermine le grandissement du diagnostic et assure la compatibilité avec les contraintes du système d'insertion de diagnostic. L'instrument est protégé des produits de l'irradiation de la cible par une cassette (sous-ensemble Protection avant sur la **figure 1**) constituée de trois films minces renouvelés après chaque expérience. Un système de filtres, intégrés dans une seconde cassette (sous-ensemble Filtres mesure sur la **figure 1**), permet d'adapter la dynamique d'enregistrement et de sélectionner sur le détecteur le spectre du rayonnement incident émis par la cible. Les équipements sont pilotés par

un commande-contrôle basé sur l'architecture libre Tango, avec des pilotes d'équipements développés en langage Python, permettant de garantir l'évolution et la pérennité des systèmes pendant la durée de vie de l'installation du LMJ.

Le bloc optique intègre un microscope avec des miroirs de forme torique, dont la qualité de polissage doit être exceptionnelle, avec des aspérités de surface inférieures à quelques angströms. Un dépôt métallique en couche mince vient recouvrir les miroirs, afin d'améliorer leur pouvoir réflecteur. L'imageur GXI-1 réalise 12 images de la cible, dont 8 sont formées par des miroirs et 4 sont formées par des sténopés. Sur l'imageur GXI-2, les sténopés sont remplacés par des lentilles réfractives X, constituées de microbulles formées dans un capillaire en époxy [2]. L'alignement du diagnostic sur la cible s'effectue grâce à un dispositif appelé référence commune et est assuré par des crayons laser

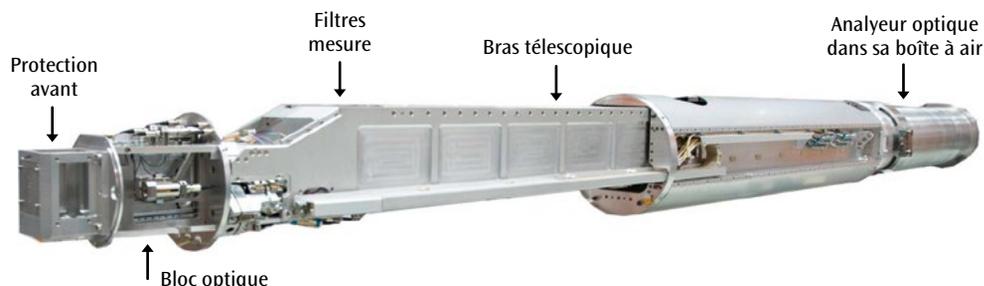


Figure 1. Architecture opto-mécanique des premiers imageurs X, GXI-1 et GXI-2, mis en œuvre sur le Laser Mégajoule (LMJ), montrant le bras télescopique du diagnostic, le bloc optique, l'analyseur optique, ainsi que les sous-ensembles Protection avant et Filtres mesure.

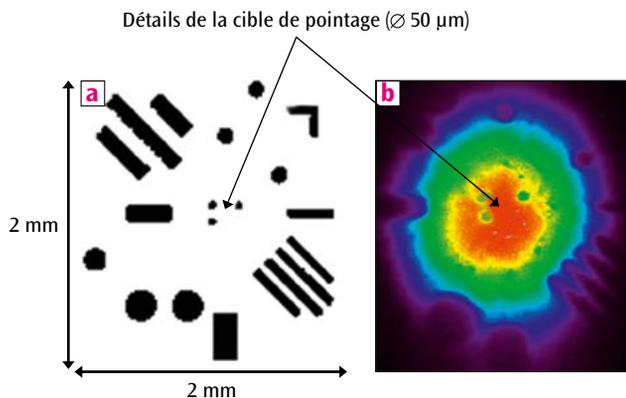


Figure 2. (a) Design des cibles de pointage utilisées sur l'installation LMJ; (b) Image obtenue grâce au diagnostic GXI-1. Les cibles sont des plaques en or comportant de nombreux motifs allant jusqu'à des diamètres de 50 µm. Ces motifs permettent d'évaluer les performances d'alignement et de pointage de l'installation. Les résultats observés montrent une excellente qualité de pointage des faisceaux laser au centre de la cible ainsi qu'une très bonne précision d'alignement du diagnostic sur la cible.

d'alignement assemblés et référencés sur le bloc optique.

L'analyseur optique permet l'enregistrement d'images instantanées de la cible avec un temps de pose de l'ordre de 100 ps. Il utilise une galette de microcanaux à 4 pistes conductrices, fonctionnant sur le principe d'une structure électronique d'impédance adaptée [3]. L'enregistrement est effectué grâce à une caméra CCD refroidie. Des capteurs intégrés contrôlent *in situ* les paramètres environnementaux de l'analyseur optique (température, hygrométrie, débit d'eau), dont l'enveloppe est une « boîte à air » maintenue à la pression atmosphérique et refroidie par une circulation d'eau pour assurer un refroidissement des composants électroniques. La formation par les miroirs du microscope de trois images sur chaque piste permet ainsi d'obtenir douze images de la cible à des instants différents.

Avant l'installation sur le LMJ, les diagnostics ont été intégrés sur la plateforme Equinox de la DIF pour une recette et pour une validation fonctionnelle. Cette plateforme constitue le point de rencontre des sous-ensembles développés par les différents industriels: bloc optique assemblé (société Comat) avec son microscope réglé (L'Optique commerciale), bras télescopique (Thales TED/Sominex), commande contrôle (Thales TED/Nexeya) et analyseur optique (Bertin/Comat). Ils ont ensuite été installés sur le LMJ pour y subir de nouveaux tests fonctionnels réalisés par les équipes de CEA – Cesta et du CEA – DAM Île-de-France.

Ces tests ont été finalisés par la vérification de l'alignement sur cible et la synchronisation avec les chaînes laser lors d'un tir. Les cibles mises en œuvre

au centre de la chambre d'expériences étaient des feuilles d'or présentant des motifs caractéristiques d'épaisseurs différentes. Les résultats observés sur le diagnostic GXI-1 sont présentés sur la **figure 2**. Ils montrent une excellente qualité de pointage des faisceaux laser au centre de la cible ainsi qu'une très bonne précision d'alignement du diagnostic sur la cible. Les performances des diagnostics GXI-1 et GXI-2 ont ensuite été validées sur le LMJ au cours de campagnes de qualification mettant en jeu des cibles équipées de mires de résolution spatiale (**figure 3**). La résolution spatiale obtenue est de 35 µm pour une spécification à 30 µm. Depuis mai 2015, les deux diagnostics, intégrés dans leur inserteur respectif, sont utilisés en routine dans les campagnes d'expériences.

D'autres diagnostics d'imagerie sont en cours de développement et de réalisation pour instrumenter les expériences qui iront en se complexifiant au fur et à mesure de la montée en puissance de l'installation LMJ. La prochaine livraison, un spectro-imageur X, est prévue à l'automne 2017.

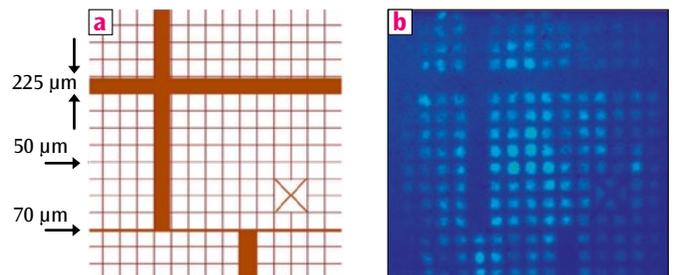


Figure 3. (a) Design des cibles utilisées dans la campagne de qualification du diagnostic GXI-1; (b) Image obtenue grâce au diagnostic. Les cibles sont des feuilles d'or devant lesquelles est placée une mire asymétrique constituée de fils d'or fin de différents diamètres. Le diagnostic observe cette grille éclairée en transmission par la source X issue de l'irradiation du laser sur la cible d'or. La résolution spatiale du diagnostic mesurée à partir de cette image de grille est d'environ 35 µm à mi-hauteur et est en très bon accord avec la prévision.

Références

- [1] R. ROSCH *et al.*, "First set of gated x-ray imaging diagnostics for the LMJ facility", *Rev. Sci. Instrum.*, **87**, 033706 (2016).
- [2] YU. I. DUDCHIK, N. N. KOLCHEVSKY, "A microcapillary lens for X-rays", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, **421**, p.361-364 (1998).
- [3] C. TROSSEILLE *et al.*, "Overview of the ARGOS X-ray framing camera for Laser MegaJoule", in *Proc. 20th Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics (HTPD)*, Atlanta, Géorgie, juin 2014, *Rev. Scient. Instrum.*, **85**, 11D620 (2014).