

DURCISSEMENT DES DIAGNOSTICS DU LMJ EN ENVIRONNEMENT SÉVÈRE

J.-L. BOURGADE*, R. MARMORET*, J.-Y. BOUTIN*, J. BAGGIO**, J.-C. GOMME**, H.-P. JACQUET*,
J.-P. JADAUD*, J.-L. LERAY***, J. RAIMBOURG*, D. AUBERT*

*CEA – DAM – ÎLE-DE-FRANCE, ** CEA – CESTA, ***CEA – CABINET DU HAUT COMMISSAIRE

Dès la phase de conception du LMJ en 1993, la prise en compte de la vulnérabilité des diagnostics plasma qui seront fortement irradiés lors des expériences de fusion a été au cœur de notre démarche de conception. Des salles blindées, réalisées dans le bâtiment LMJ à proximité du plasma et n'ayant pas d'équivalent sur l'installation NIF (National Ignition Facility, USA), ainsi que des études de déport et de protections spécifiques, permettront d'effectuer des mesures directes sur les premiers plasmas thermonucléaires.

Introduction des menaces

Le Laser Mégajoule (LMJ) [1] est une installation laser du CEA-DAM prévue pour démontrer la possibilité d'obtenir, en laboratoire, un gain thermonucléaire en brûlant un mélange de deutérium et de tritium à l'aide du principe de fusion par confinement inertiel. La fusion devrait produire jusqu'à 6.10^{18} neutrons de 14 MeV en 100 ps, qu'un premier blindage (50 cm de béton boré à la surface de la chambre d'expérience) permettra d'absorber en partie (72 %). Un mélange de neutrons diffusés

et de rayons γ se répandra rapidement (~ 300 ns) dans tout le hall d'expérience (HE) du LMJ, comme cela a été démontré par une modélisation de type Monte-Carlo de leur parcours. Les diagnostics plasma, placés au plus proche de la source pour des besoins de résolutions, doivent néanmoins pouvoir continuer à être opérationnels sous ces forts débits de dose de radiations nucléaires. En l'absence de prise en compte de ces perturbations, tous les détecteurs actuels seraient rendus inaptes à la mesure [2]. Même pour des tirs où la production neutronique serait plus faible, les émissions de rayons X "mous" (< 3 keV)

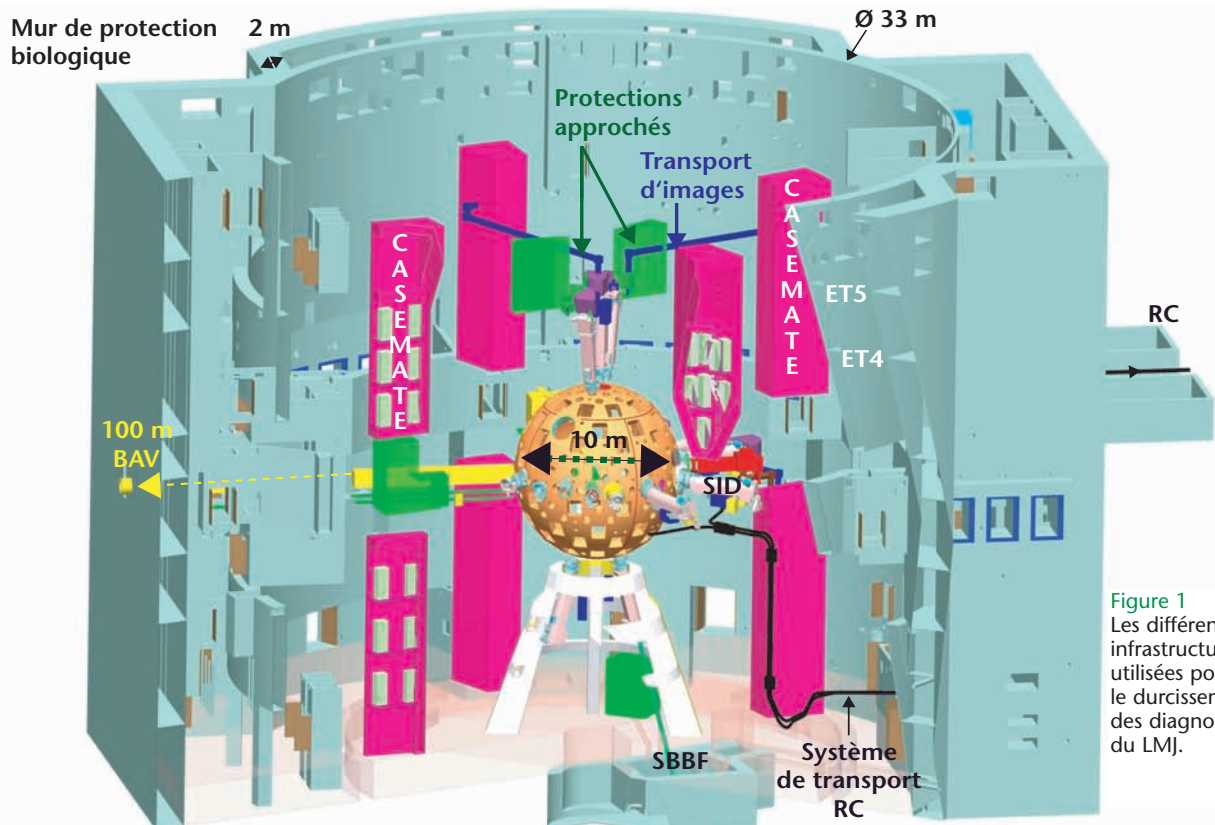


Figure 1
Les différentes infrastructures utilisées pour le durcissement des diagnostics du LMJ.

gèneront des chocs violents sur tous les matériaux trop proches ($< 50\text{ cm}$) du plasma, et ceux plus "durs" ($> 30\text{ keV}$) induiront un bruit de fond sur tous les détecteurs placés dans un système d'insertion de diagnostics (SID) interne à la chambre. À ces rayonnements se superposera, partout dans le HE, une forte impulsion électromagnétique (IEM) créant des courants transitoires qui, transmis par les câbles, sont susceptibles d'endommager les électroniques. Enfin, les édifices des cibles du LMJ produiront des éclats, pouvant détériorer gravement les parties les plus vulnérables des diagnostics.

Le durcissement

La diversité et l'étendue des menaces potentielles nécessitent une défense multiple et étagée [3]. Des structures de blindage, uniques pour certaines, ont été intégrées au bâtiment du LMJ et à ses infrastructures (figure 1) :

- 8 casemates (comportant 3 à 4 étages de 15 m^2) ont été construites à seulement une dizaine de mètres des diagnostics plasma principaux. Adossées en première zone du HE (dont le diamètre est de 33 m), leurs murs sont suffisamment épais (50 cm de béton) pour limiter les radiations à l'intérieur, jusqu'à une émission de 5.10^{16} neutrons ;
- Pour les tirs à gain, d'autres salles (voir ET4 et ET5 sur la figure 1), comme celle dédiée aux mesures de radiochimie (RC) et situées au-delà du mur de protection biologique de 2 m d'épaisseur, offrent des centaines de mètres carrés pour une distance accrue de 30 à 50 m . Les bases de vol dites "allongées" (BVA) et la salle "à bas bruit de fond" (SBBF) sont dédiées principalement aux mesures neutroniques ;
- Les infrastructures entourant la chambre d'expérience ont été conçues pour supporter des blindages additionnels (jusqu'à 28 tonnes) afin de protéger les électroniques non durcies qui doivent être conservées à proximité des détecteurs.

Par ailleurs, les analyseurs optiques (AO) transforment les rayons X en images visibles, permettant leur transport optique sur de plus grandes distances, à condition toutefois d'effectuer ce transfert avant que l'intense bouffée de rayonnement γ émise 100 ns après l'instant

de combustion thermonucléaire (lorsque les neutrons produits sont absorbés dans la protection neutronique) ne les atteigne. En 2008, en collaboration avec l'institut d'optique d'Orsay, nous avons démontré théoriquement la faisabilité d'un système de transport optique d'images de type périscopique (schéma représenté sur la figure 2) sur quelques dizaines de mètres, entre l'écran de sortie d'un AO et un détecteur d'image placé dans une casemate. Ce système est capable de conserver les résolutions spatiales recherchées (10 pl/mm) et d'être suffisamment ouvert ($F/4$) pour s'adapter au faible niveau lumineux disponible. Nous avons aussi calculé les niveaux d'agression des électroniques des AO embarqués dans un SID, et étudié la possibilité de les protéger des rayons X les plus pénétrants par un blindage de quelques mm d'épaisseur en matériaux lourds. Notre choix exclusif d'utilisation d'optiques X rasantes offre la possibilité de compléter cette protection, en plaçant un blindage épais sur la vue directe du détecteur, tout en laissant libre le chemin optique. Enfin, pour limiter les effets des éclats générés lors d'un tir, les 4 premiers diagnostics du LMJ intégreront un ensemble de filtres de protection amovibles, permettant d'effectuer une campagne expérimentale d'environ 15 tirs successifs sans une maintenance lourde en boîte à gants.

Prise en compte dès le début du projet, la problématique de la vulnérabilité est donc aujourd'hui totalement intégrée à la conception actuelle des futurs diagnostics du LMJ.

Références

[1] N. FLEUROT, C. CAVAILLER, J.L. BOURGADE, "The Laser Mégajoule project dedicated to inertial confinement fusion : Development and construction status", *Fusion Eng. Des.*, **74**, p. 147-154 (2005).
 [2] J.-L. BOURGADE *et al.*, "New constraints for plasma diagnostics development due to the harsh environment of MJ class lasers", *Rev. Sci. Instrum.*, **75**, p. 4204-4212 (2004).
 [3] J.-L. BOURGADE, R. MARMORET *et al.*, "Diagnostics hardening for harsh environment in Laser Mégajoule", *Rev. Sci. Instrum.*, **79**, 10F301 (2008)

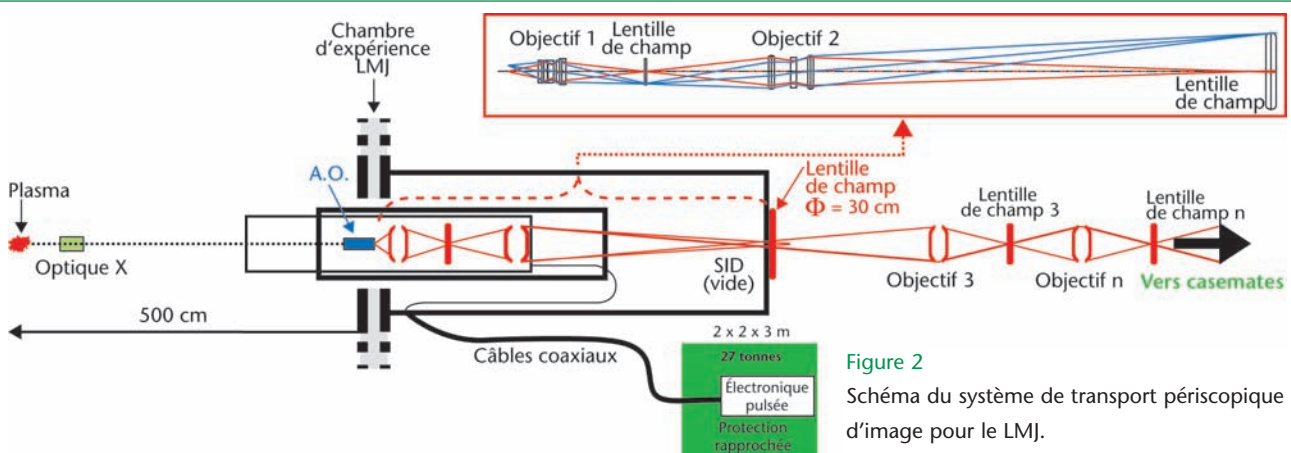


Figure 2
Schéma du système de transport périscopique d'image pour le LMJ.