

Caractérisation des microballons par holographie

Les cibles cryogéniques destinées au Laser MégaJoule (LMJ) sont composées d'une cavité de conversion cylindrique en or de quelques dizaines de micromètres d'épaisseur, pourvue de 2 ouvertures à ses extrémités pour le passage des faisceaux laser. Le mélange fusible de deutérium-tritium est contenu dans un microballon de polymère amorphe hydrocarboné (ou deutéré) d'environ 2 mm de diamètre et 0,2 mm d'épaisseur. Pour éviter le développement d'instabilités qui perturberaient la mise en condition du mélange fusible et l'amorçage de la réaction de fusion, il est indispensable de maîtriser avec une très grande précision certaines caractéristiques géométriques comme les épaisseurs du microballon et de la couche cryogénique ainsi que leur rugosité. En particulier, il est nécessaire de connaître avec précision le nombre et la taille des défauts présents à la surface externe du microballon (dôme, trou, rayure).

C. Hermerel • A. Choux • P. Mérimot • L. Jeannot CEA – Valduc

E. Busvelle • J.-B. Vioix Laboratoire électronique, informatique et image (LE2I), Université de Bourgogne

Les simulations numériques effectuées par les équipes de physiciens du CEA – DAM Île-de-France ainsi que les premiers tirs effectués aux États-Unis sur le NIF (*National Ignition Facility*) montrent l'impact que peuvent avoir les défauts présents à la surface d'un microballon lors d'une expérience sur un laser de puissance [1]. Il est donc indispensable de connaître précisément leur nombre, ainsi que leurs dimensions (diamètre à mi-hauteur et hauteur – pour les dômes – ou profondeur – pour les trous).

Une technique optique très innovante permet d'acquérir rapidement les données de toute la surface du microballon. Il s'agit d'un microscope holographique digital (DHM pour *Digital Holography Microscope*). Son architecture est dérivée de celle d'un interféromètre de type Mac Zehnder modifié (figure 1).

L'intérêt de cet instrument par rapport à un système interférométrique classique (à glissement de franges), est d'être extrêmement plus rapide et d'avoir la capacité d'acquérir plusieurs images 3D en une seconde.

L'utilisation du DHM pour la caractérisation des microballons a nécessité le développement par les équipes du CEA d'un montage mécanique spécifique et d'un logiciel de contrôle commande afin de réaliser une cartographie complète de la surface.

Acquisition et traitement des données

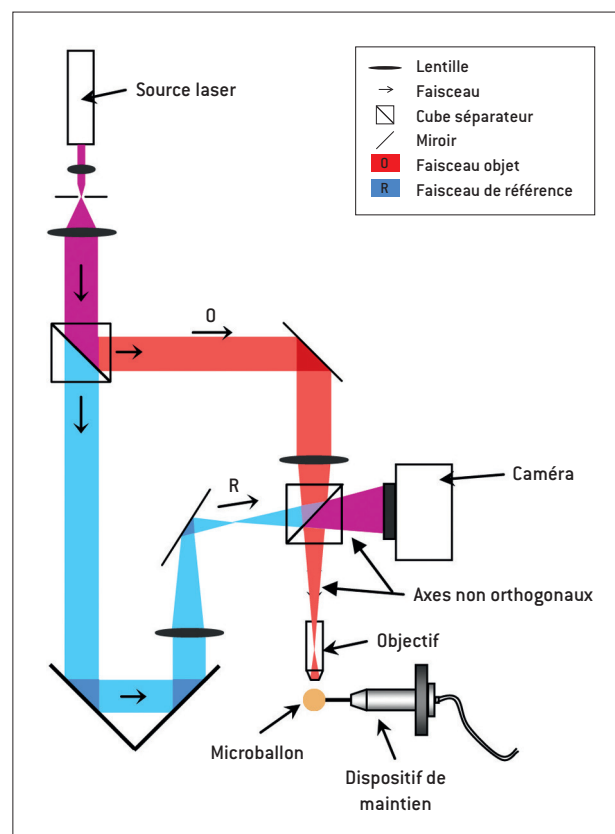
Le microballon est placé sous l'objectif du DHM (figure 1), maintenu par un dispositif d'aspiration fixé sur une table de rotation. Le grandissement de l'objectif et la caméra utilisée permettent de réaliser des images de 250 µm x 250 µm de la surface du microballon.

La configuration de ce dispositif permet l'acquisition d'images holographiques le long des méridiens grâce à la mise en mouvement du microballon (15 bandes méridiennes

sont nécessaires pour couvrir 100 % de la surface : bandes blanches sur la figure 2).

Une méthode spécifique de traitement des données a été développée en collaboration avec le laboratoire LE2I de l'Université de Bourgogne afin d'exploiter les nombreuses

Figure 1. Principe du DHM.



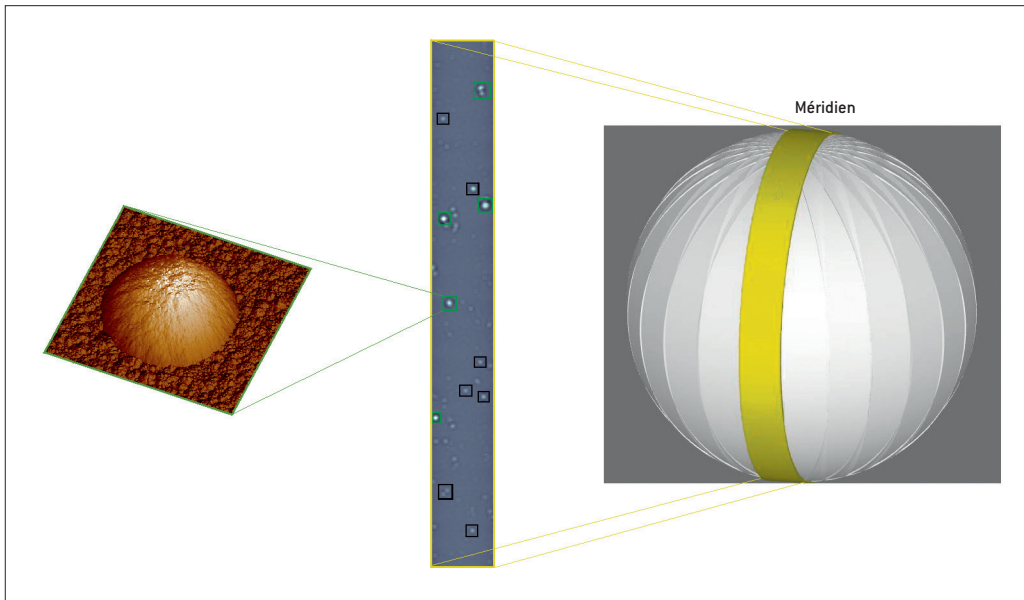
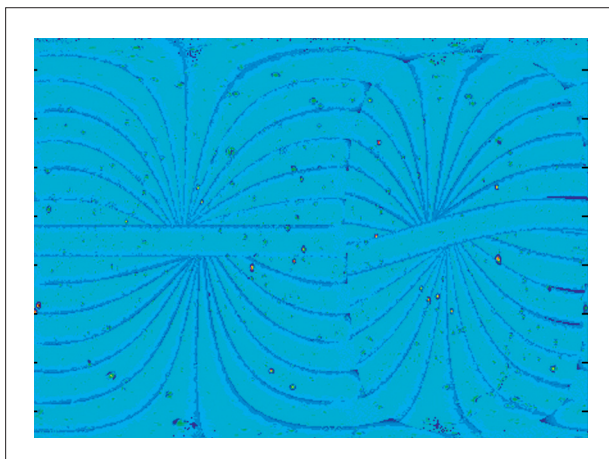


Figure 2.
Principe d'acquisition des données sur un microballon pour le LMJ.

images acquises [2]. Les images obtenues sur chaque méridien sont redressées (retrait du rayon de courbure) puis recollées afin de constituer des bandes (figure 2 : rectangle jaune). Les zones de recouvrement des bandes voisines sont ensuite supprimées par reconnaissance de motifs identiques sur deux bandes adjacentes afin de reconstruire la surface du microballon en 3D et de ne mesurer les défauts qu'une seule fois. Chaque défaut (figure 2 : losange vert) est ensuite caractérisé par sa position dans un repère lié au centre du microballon, par sa hauteur et son diamètre à mi-hauteur (pour les dômes) ou mi-profondeur (pour les trous), par son allongement et par sa concavité (pour les rayures).

La caractérisation d'un microballon dans cette configuration nécessite de le manipuler entre chaque méridien (4 heures sont nécessaires pour acquérir les données). La mise en place d'une nouvelle configuration mécanique permettra d'acquérir les données d'un hémisphère sans intervention humaine (gain en productivité). L'adaptation du logiciel de traitement des données à ce nouveau mode d'acquisition permettra de recoller les deux hémisphères pour reconstituer la surface du microballon (figure 3).

Figure 3. Premier essai de reconstruction 2D de deux hémisphères.



Raccordement métrologique - Incertitudes

Il n'existe pas de microballon avec des défauts étalonnés. Le raccordement métrologique du microscope a été effectué sur le même dôme à mieux que 20 nm (<3%) avec un microscope AFM, qui est lui-même calibré annuellement à l'aide d'un étalon. Sa capacité à mesurer des défauts de la taille des dômes a été démontrée à l'aide d'une mire de calibration pour AFM et d'une marche étalon certifiée COFRAC ; il est capable de mesurer des défauts de 100 nm avec une erreur inférieure à 3 nm.

Les incertitudes de mesures liées à l'utilisation du logiciel de comptage des défauts restent encore à être estimées en simulant des données expérimentales connues (dômes et trous) de la totalité de la surface d'un microballon virtuel.

Conclusion

L'utilisation d'un microscope holographique permet de caractériser finement la surface d'un microballon en y dénombrant les défauts ainsi que leurs caractéristiques : la largeur à mi-hauteur et la hauteur pour les dômes, la largeur à mi-profondeur et la profondeur pour les trous et la concavité, l'allongement et le rapport périmètre-surface pour les rayures. Ces différentes mesures permettent de dire si le microballon répond aux spécifications fixées par les physiciens pour l'ignition sur le LMJ.

L'optimisation du nombre de clichés à acquérir pour couvrir un hémisphère est en cours d'étude (acquisition d'images le long d'une hélice) ; ceci permettra, à terme, de réduire encore le temps d'acquisition des données, principal contributeur à la durée de caractérisation.

RÉFÉRENCES

- [1] S.W HAAN *et al.*, « NIF ignition target requirements, margins, and uncertainties: status February 2010 », *Fusion Science and Technology*, **59**, p.1-7 [2011].
- [2] C. HERMEREL, A. CHOIX, L. JEANNOT, E. BUSVELLE, P. MERILLOT, O. LEGAIE, « Characterization of the microshell surface using holography », *Fusion and Science Technology*, p. 110-115 [2011].