

# Démonstration expérimentale des performances de cavités rugby sur OMEGA

F. PHILIPPE - V. TASSIN - P. GAUTHIER - P.-E. MASSON-LABORDE - M.-C. MONTEIL / CEA – DAM Île-de-France  
S. ROSS - H.-S. PARK - B. LASINSKI - P. AMENDT / Lawrence Livermore National Laboratory, États-Unis

La conversion du rayonnement laser en un bain thermique de rayons X s'obtient par chauffage d'une cavité, habituellement un cylindre d'or. Une comparaison expérimentale directe des performances d'une telle cavité classique avec la cavité en forme de ballon de rugby conçue par le CEA – DAM Île-de-France a démontré l'efficacité de cette dernière. Les mesures obtenues sur l'installation laser OMEGA indiquent que cette nouvelle géométrie permet d'atteindre des températures plus élevées tout en préservant de bonnes conditions d'interaction laser-matière. Ceci conduit à des implosions plus rapides, permettant de produire près de dix fois plus de neutrons que la géométrie cylindrique classique.

L'effort actuellement mené pour atteindre l'ignition thermonucléaire par confinement inertiel nécessite la conversion efficace de l'énergie laser en rayons X par thermalisation dans une cavité. Cette étape, caractéristique de l'approche dite d'« attaque indirecte », produit le bain de rayonnement isotrope qui comprime ensuite la capsule de combustible par réaction, en chauffant et éjectant ses couches externes. Pour atteindre et maintenir les pressions les plus élevées possibles avec une installation laser donnée, il est crucial de minimiser les pertes d'énergie lors de cette étape intermédiaire. La majeure partie de ces pertes ayant lieu par diffusion thermique dans la paroi de la cavité, une voie possible consiste à réduire la surface de cette paroi. La tâche n'est pas triviale, de nombreuses contraintes pesant sur la forme de cavité. Cette idée de base a donné naissance à toute une famille de concepts de cibles, rassemblés sous le nom de « cavités rugby » en raison de leur

forme générale [1]. La cavité que nous avons testée sur le laser OMEGA est un exemple, simple mais représentatif, de la phénoménologie de ce concept de cibles. Nous avons comparé directement les performances d'une cavité « rugby » (profil en arc de cercle) à une cavité de forme cylindrique classique, pour le même éclairage laser et la même capsule (figure 1). Ces cavités sont remplies de gaz qui limite la détente des parois, étendant ainsi à des conditions plus réalistes les résultats que nous avons obtenus auparavant en cavité vide [2].

Compte tenu du volume plus réduit de la cavité rugby, le plasma y évolue plus rapidement vers des densités élevées, ce qui aurait pu constituer un obstacle à une bonne propagation des faisceaux laser. Les mesures calorimétriques et spectroscopiques de la lumière rétrodiffusées ont cependant montré que les instabilités laser-plasma (Raman et Brillouin) demeuraient faibles, dégradant peu le bilan énergétique de la cavité. La modélisation numérique du spectre de la lumière rétrodif-

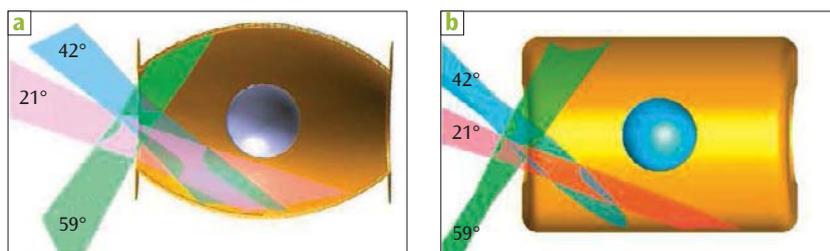


Figure 1. Cavités de forme cylindrique classique (b) et de forme « ballon de rugby » (a). Un seul faisceau est représenté pour chaque angle d'incidence, sur un total de 20 de chaque côté. Les cavités ont le même diamètre et la même taille de trous d'entrée laser.

fusée nous a également permis d'identifier les mécanismes à l'origine de la rétrodiffusion dans ces cibles. Celle-ci coïncide avec le passage des faisceaux dans une zone de gaz comprimé par la détente des parois et des couches externes de la capsule. Nous validons ainsi des outils d'évaluation des risques qui sont la clé d'une optimisation globale des performances de la cavité, intégrant la problématique de l'interaction laser-plasma. Le rayonnement X émis par la cavité est mesuré par deux réseaux de diodes ayant fait l'objet d'un étalonnage absolu préalable. Ces deux instruments, DANTE (Lawrence Livermore National Laboratory) et DMX (CEA - DAM) donnent des résultats cohérents et montrent que le flux radiatif issu de la cavité rugby est près de 50 % plus élevé que celui issu de la cavité classique (figure 2). Nous nous sommes assurés, au moyen d'une imagerie des trous d'entrée laser, que ceci ne résultait pas d'un effet lié à la taille de source.

Il fallait cependant s'assurer que la puissance effectivement délivrée à la capsule, au centre de la cavité, était également améliorée avec la nouvelle géométrie. Pour cela nous avons étudié les performances neutroniques lors de l'implosion avec un scintillateur placé au voisinage de la cible. Les mesures (figure 3) montrent sans ambiguïté

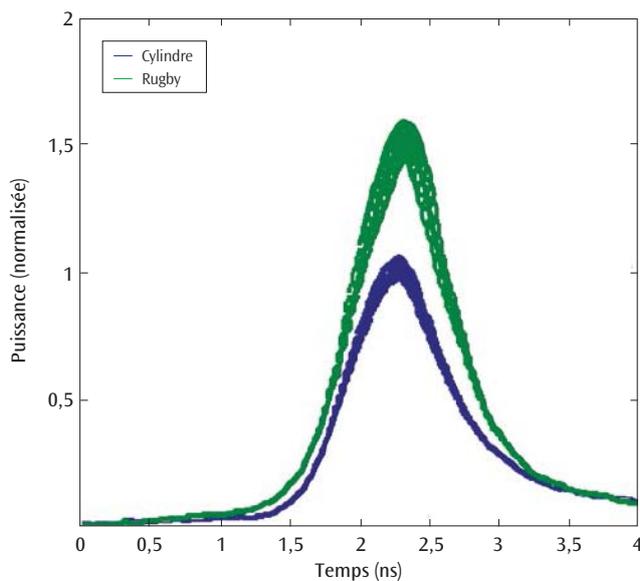


Figure 2. Rayonnement X émis par la cavité, près de 50 % plus intense avec une cavité rugby (en vert) par rapport à la cavité de conversion cylindrique classique (en bleu).

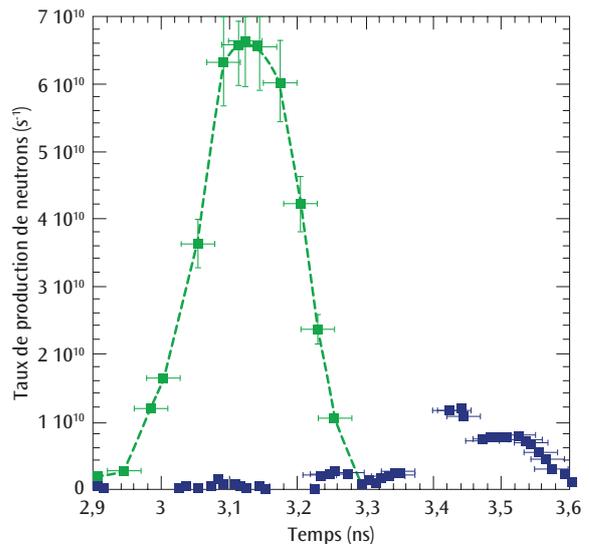


Figure 3. Production neutronique au cours du temps, plus précoce et plus intense pour la cavité « rugby » (en vert) que pour la cavité classique (en bleu).

un fonctionnement plus précoce et une plus forte production de neutrons, caractéristiques d'une implosion plus efficace.

Enfin, nous avons vérifié que même en alimentant la cavité rugby avec une énergie laser réduite de 10 %, les performances de celle-ci restent significativement supérieures à celle de la cavité cylindrique. Dans ce cas, les images de l'émission X de la capsule montrent de plus une excellente symétrie de l'implosion.

Ces résultats [3] démontrent l'efficacité de notre approche d'optimisation de la forme de cavité. Il est ainsi possible d'atteindre des performances équivalentes à énergie laser réduite, ou des performances supérieures à énergie donnée. On peut également choisir d'exploiter le gain d'efficacité pour augmenter le diamètre de la cavité. Cette dernière voie, intéressante pour favoriser une bonne propagation des faisceaux laser, est actuellement testée sur la NIF (National Ignition Facility), avec des résultats prometteurs.

## Références

- [1] M. VANDENBOOMGAERDE *et al.*, "Prolate-spheroid ("rugby-shaped") Hohlraum for inertial confined fusion", *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 065004 (2008).
- [2] F. PHILIPPE *et al.*, "Experimental demonstration of X-ray drive enhancement with rugby-shaped Hohlraums", *Phys. Rev. Lett.*, **104**, 035004 (2010).
- [3] F. PHILIPPE *et al.*, "Demonstrated high performance of gas-filled rugby-shaped Hohlraums on Omega", *Phys. Plasmas*, **21**, 074504 (2014).