

## UNE CAVITÉ EN FORME DE BALLON DE RUGBY POUR LE LMJ

M. VANDENBOOMGAERDE, J. BASTIAN, A. CASNER, D. GALMICHE, J.-P. JADAUD, S. LAFITTE, S. LIBERATORE, G. MALINIE, F. PHILIPPE  
CEA - DAM - ÎLE-DE-FRANCE

**L**ors de la montée en puissance du Laser MegaJoule (LMJ), l'activation des 160 premiers faisceaux laser permettra de réaliser des expériences d'ignition. Ces expériences seront contraintes par une puissance laser et une symétrie d'irradiation du microballon fusible réduites par rapport au schéma à 240 faisceaux.

Depuis 2002, nous utilisons une nouvelle géométrie de cavité en forme de ballon de rugby sur l'installation laser Omega (États-Unis). Des codes de simulation et des modèles montrent, qu'à l'échelle du LMJ, cette cavité présente des avantages par rapport à une cavité classique : elle permet de maintenir une bonne irradiation et réduit l'énergie laser à investir.



L'approche classique de fusion par confinement inertiel (FCI) en attaque indirecte consiste à placer un microballon de deutérium-tritium (DT) au centre d'une cavité cylindrique dont les parois convertissent l'énergie laser en rayonnement X. Ce dernier ablate le microballon qui, en réaction, se comprime. Si cette compression est sphérique et importante, la densité et la température au cœur du DT sont telles que des réactions de fusion se déclenchent.

### Énergie et symétrie d'éclairement

Dans sa configuration de référence, le LMJ comptera 240 faisceaux regroupés en 2x3 cônes créant 3 anneaux d'irradiation par demi-cavité. L'intensité du rayonnement X

et l'uniformité d'éclairement du microballon via les 3 anneaux permettront une implosion menant à la fusion. Lors de l'étape de construction du LMJ à 160 faisceaux, 1/3 de l'énergie laser manquera et le contrôle de l'éclairement ne sera plus réalisé que par deux anneaux, ce qui rendra plus difficile l'atteinte de l'ignition.

En s'appuyant sur des simulations numériques réalisées avec le code FCI2, un bilan énergétique de cavité a été établi : il relie les variations d'énergie laser  $E_L$  et de géométrie de la cavité (caractérisée par la surface des parois,  $A_w$  son volume,  $V$ , et la surface des trous d'entrée laser – TEL –  $A_{tel}$ ) à l'énergie cinétique du microballon,  $E_c$  :

$$\frac{1}{8} \frac{\Delta E_c}{E_c} = \frac{\Delta E_L}{E_L} - \frac{1}{2} \frac{\Delta A_w}{A_w} - \frac{1}{8} \frac{\Delta V}{V} - \frac{1}{4} \frac{\Delta A_{tel}}{A_{tel}} \quad (1)$$

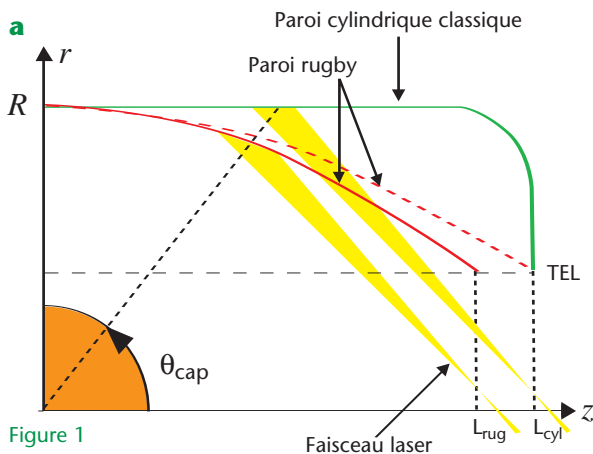
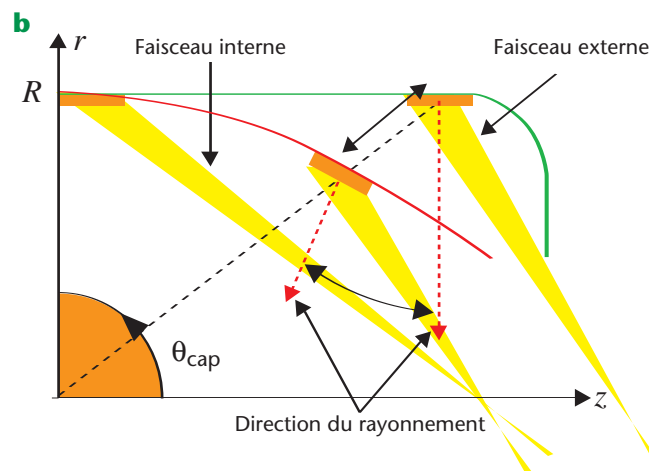


Figure 1

Coupe d'un quart de cavité :

**a** Cavités cylindrique et rugby de longueurs respectives  $L_{cyl}$  et  $L_{rug}$ .



**b** Zones d'émission selon la cavité.

À dimensions comparables, le passage d'une cavité cylindrique à une cavité rugby (*figure 1a*) permet une réduction de la surface des parois et du volume [1]. De plus, pour un même angle  $\theta_{cap}$  sous lequel le microballon voit l'anneau des taches laser, la longueur  $L$  de la cavité peut encore être réduite. Enfin, le passage de seulement deux cônes laser autorise des TEL plus petits, d'où une diminution de  $A_{tel}$ . La cavité rugby minimise donc les pertes ce qui, à énergie laser réduite, aide à maintenir l'énergie cinétique du microballon (Eq. (1)).

Pour que l'implosion soit sphérique, le rayonnement X issu de la cavité doit éclairer uniformément le microballon. Or, les TEL constituent des zones "froides", non irradiantes, au sein de la cavité. Une configuration à 3 cônes rétablit l'uniformité en plaçant deux anneaux d'irradiation près du TEL. Avec seulement 2 cônes, la symétrie d'irradiation est dégradée. La courbure de la cavité rugby a, cependant, deux effets : pour un même angle  $\theta_{cap}$ , elle rapproche l'anneau proche du TEL et tourne son émission X vers le microballon (*figure 1b*). Ces deux effets augmentent l'importance de l'anneau externe, ce qui rétablit la symétrie d'éclairage. Le code de facteurs de forme FACTRI a vérifié ce résultat [1].

### Cavité rugby : présent et futur

Des cavités rugby sont déjà utilisées avec succès sur l'installation Omega pour réaliser des expériences d'implosion et d'instabilités hydrodynamiques [1], [2], [3], [4]. Comme le montre l'équation (1), l'avantage énergétique des cavités rugby est d'autant plus important que leurs dimensions sont grandes. Des simulations LMJ impliquant 160 faisceaux, 2 cônes et une cavité rugby ont été effectuées (*figure 2a*) en variant l'énergie laser via la puissance maximale de l'impulsion,  $P_{max}$ . Les résultats ont été comparés à une configuration à 240 faisceaux, 3 cônes et utilisant une cavité cylindrique [5]. Le microballon est le même dans les deux cas.

Bien qu'il n'y ait que 2 cônes laser, le microballon implose correctement et, au-delà d'un seuil de  $P_{max}$ , donne l'énergie de fusion de 30 MJ obtenue à l'aide de 240 faisceaux. Pour retrouver la même énergie cinétique  $E_c$ , une puissance  $P_{max}$  de 315 TW est nécessaire ; ceci correspond à une énergie laser de 1,04 MJ contre 1,4 MJ pour le LMJ nominal avec une cavité cylindrique. Le gain sur l'énergie laser totale est donc de 24 %.

En conclusion, le concept de cavité "rugby", aidé d'une optimisation du microballon et de nouveaux matériaux de paroi, constitue un atout majeur pour l'ignition avec 160 faisceaux.

### Références

[1] M. VANDENBOOMGAERDE, J. BASTIAN, A. CASNER, D. GALMICHE, J.-P. JADAUD, S. LAFFITE, S. LIBERATORE, G. MALINIÉ, F. PHILIPPE, "Prolate spheroid ("rugby-shaped") hohlraum for inertial confinement fusion", *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 065004 (2007).  
 [2] A. CASNER, G. HUSER, J.-P. JADAUD, S. LIBERATORE, D. GALMICHE, M. VANDENBOOMGAERDE, "Planar Rayleigh-Taylor and feedthrough experiments with CH(Ge) on Omega", *J. Phys IV France*, **133**, p. 163-166 (2006).  
 [3] M. VANDENBOOMGAERDE, S. LIBERATORE, D. GALMICHE, A. CASNER, G. HUSER, J.-P. JADAUD, B. VILLETTE, "Planar hydrodynamics instability computations and experiments with rugby-shaped hohlraums at the Omega Laser", *J. Phys. Conf. Series*, **112**, 022019 (2008).  
 [4] A. CASNER, D. GALMICHE, G. HUSER, J.-P. JADAUD, S. LIBERATORE, M. VANDENBOOMGAERDE, "Indirect drive ablative Rayleigh-Taylor experiments with rugby hohlraum on Omega", soumis à publication dans *Physics of Plasmas* (2009).  
 [5] S. LAFFITE *et al.*, "Numerical study for the LMJ target 2D design", Proc. 2d Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA), édité par K. A. Tanaka *et al.* (Kyoto, Japan), p. 227-230 (2001).

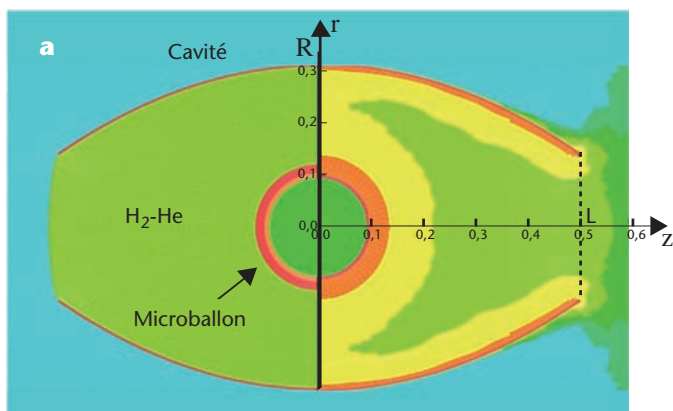
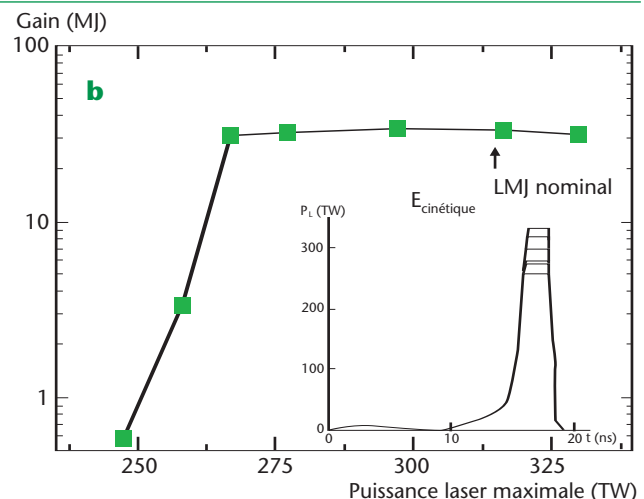


Figure 2  
**a** Cavité rugby LMJ avant (*partie gauche*) et pendant le calcul (*partie droite*).



**b** Énergie dégagée en fonction de  $P_{max}$  et forme de l'impulsion laser pour les différentes simulations.