DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



Stabilité hydrodynamique de capsules implosées avec adiabat contrôlé sur le National Ignition Facility

M. Lafon, M. Bonnefille et M. Vandenboomgaerde *CEA/DAM, DIF, Arpajon, France*

> Forum Institut Lasers et Plasmas 11 au 15 Juin 2018

www.cea.fr



- L'adiabat du combustible peut être sensiblement réduit en le profilant (AS: Adiabat Shaping) pendant le trough et la montée en puissance radiative
- Des implosions à haute vitesse de coquilles minces sont dimensionnées pour atteindre l'amorcage du régime de chauffage par particules alpha
- L'analyse de la croissance linéaire des instabilités montre que les implosions sans picket avec adiabat contrôlé sont au moins aussi stables que les implosions conventionnelles de type High Foot (HF)
- Retirer le picket d'une implosion HF permet la propagation correcte des faisceaux internes pendant l'impulsion principale tout en limitant la détente des parois d'or
- La stabilité de ces designs peut être améliorée en introduisant un matériau de Z élevé dans la partie externe de l'ablateur

Deux filières d'implosion de capsules FCI ont été abondamment testées sur le NIF: Low et High Foot





T. Ma *et al*, APS DPP conference (2016) O. Hurricane *et al*, Nature <u>506</u>, 343 (2014) H. F. Robey *et al*, Phys. of Plasmas <u>20</u>, 052707 (2013)

Deux filières d'implosion de capsules FCI ont été abondamment testées sur le NIF: Low et High Foot



Deux filières d'implosion de capsules FCI ont été abondamment testées sur le NIF: Low et High Foot



Forum Institut Lasers et Plasmas – 11 au 15 Juin 2018

Les implosions AS (Adiabat Shaped) ont permis d'atteindre un compromis entre stabilité et compression



- Les implosions Low foot (LF) ont démontré une forte compression mais de faibles performances
- Les implosions High foot (HF) ont réduit la convergence afin de minimiser la croissance des instabilités hydrodynamiques
- Appliquer les techniques de contrôle de l'adiabat aux implosions LF a augmenté la production neutronique tout en améliorant la compression des implosions HF

H. F. Robey et al, Phys, of Plasmas 23, 056303 (2016)

Les implosions AS ont démontré une meilleure stabilité mais restent encore loin des conditions d'allumage



Legendre Mode Number

	LF	3-sh AS	HF
Shot	N120321	N150115	N130812
Peak power (TW)	357	328	355
Velocity (km/s)	321	-	333
Total yield (x10 ¹⁴)	5.3	37.7	27.9
DSR (%)	6.24	5.04	3.96



D. S. Clark *et al*, Phys, of Plasmas <u>21</u>, 112705 (2014)
J. L. Peterson *et al*, Phys, of Plasmas <u>21</u>, 092710 (2014)
V. A. Smalyuk *et al*, Phys, of Plasmas <u>23</u>, 102703 (2016)
D. T. Casey *et al*, Phys. Rev. Lett 115, 105001 (2015)

Des implosions de cibles minces à hautes vitesses sont dimensionnées pour réduire la masse totale



	Rev 5	Cible mince
V_{I} (km/s)	281	325
$lpha_{if}$	2.4	1.6
DSR (%)	4.3	5.5
Yield	5.1 x 10 ¹⁵	3.3 x 10 ¹⁷
M _{caps} (mg)	2.94	2.29
M _{rem} (%)	22	15

Cette capsule est caractérisée par un ablateur plus fin (- 45 μm) mais une couche de combustible plus épaisse (+30 μm):

- vitesse d'implosion plus élevée
- peu ou pas de preuve de mix dans le point chaud*
- prévient la formation de zones minces de faible densité surfacique dans la coquille
- possible préchauffage du à une masse réduite d'ablateur protégeant
 Ie DT cryo
 * T. Ma et al, Phys. Rev. Lett. 114, 145004 (2015)

Contrôler l'adiabat pendant le trough et la montée en puissance réduit fortement son niveau final



Mettre en forme la montée radiative minimise l'augmentation d'adiabat entre la coalescence des chocs en face interne et l'instant de vitesse maximale



• Des séries de simulations mono-modes de croissance linéaire permettent d'évaluer et de comparer la stabilité hydrodynamique du front d'ablation



Réduire le niveau du trough diminue l'adiabat et la croissance des bas modes mais introduit des lobes négatifs dans le spectre des facteurs de croissance pour les hauts modes 2 Les implosions AS sans picket avec un très fort foot prévoient une forte compression et une stabilité comparable aux HF



- Les lobes négatifs, identifiés comme délétères pour les designs d'ignition, sont supprimés en enlevant le picket
- Augmenter la température durant le trough minimise les dégradations de performances dues à la croissance des instabilités au front d'ablation

Enlever le picket du drive radiatif atténue la détente de la bulle d'or



- Le picket, caractéristique des implosions AS conventionnelles, induit une inversion du gradient de pressure à l'interface entre le gaz et la paroi d'or
- Un drive radiatif constant évite cette inversion et la détente ultérieure d'une couche d'or sur-dense



Une impulsion sans picket permet le dépôt correct de l'énergie laser des faisceaux internes à l'équateur

• Une fraction conséquente des faisceaux internes est interceptée dans la bulle d'or résiduelle due au picket et engendre une réduction du drive à l'équateur de la capsule



D. Callahan et al, Phys, of Plasmas 25, 056305 (2018)

Une impulsion sans picket permet le dépôt correct de l'énergie laser des faisceaux internes à l'équateur

• Une fraction conséquente des faisceaux internes est interceptée dans la bulle d'or résiduelle due au picket et engendre une réduction du drive à l'équateur de la capsule



• En l'absence d'une couche d'or sur-dense, les faisceaux externes déposent leur énergie dans le plasma d'or en détente plutôt qu' à la surface de la bulle d'or



Forum Institut Lasers et Plasmas – 11 au 15 Juin 2018

Introduire un dopant de Z élevé dans l'ablateur stabilise les perturbations au front d'ablation

• Les perturbations au front d'ablation sont stabilisées pendant la propagation des chocs par des oscillations générées par l'instabilité Richmyer-Meshkov ablative avec la fréquence $\omega = k \sqrt{V_a V_{bl}}$ et l'amplitude $n_0 c_s / \sqrt{V_a V_{bl}}$



 Les designs dopés bénéficient d'une amplitude d'oscillations plus faible due à des vitesses du son et d'ablation du plasma plus faibles que dans le cas de l'ablateur en plastique pur



 La couche de dopant de Z élevé doit rester assez mince pour cumuler à la fois les effets de stabilisation ablative pendant la phase RM et une efficacité hydrodynamique raisonnable



 Une forte concentration en dopant de Z élevé peut renverser les bénéfices de la stabilité de la phase RM en rallongeant la phase RT nécessaire à d'atteinte les conditions d'allumage



- L'adiabat du combustible peut être sensiblement réduit en le profilant pendant le trough et la montée en puissance radiative
- Des implosions à haute vitesse de coquilles minces sont dimensionnées pour atteindre l'amorcage du régime de chauffage par particules alpha
- L'analyse de la croissance linéaire des instabilités montre que les implosions sans picket avec adiabat contrôlé sont au moins aussi stables que les implosions conventionnelles de type High Foot (HF)
- Retirer le picket d'une implosion HF permet la propagation correcte des faisceaux internes pendant l'impulsion principale tout en limitant la détente des parois d'or
- La stabilité de ces designs peut être améliorée en introduisant un matériau de Z élevé dans la partie externe de l'ablateur

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTR





Back up

Increasing the laser drive during the first picket significantly reduces the instability growth



- A higher picket weakens the amplitude of the ablative RM perturbations
- The picket strength does not affect the Rayleigh-Taylor growth phase

The number of the mode corresponding to zero growth scales inversely with the strength of the first shock

A. G. MacPhee et al, Phys, of Plasmas 22, 080702 (2015)

The radiation drive can be tuned to reduce the fuel adiabat



The first picket and trough strengths set the mean fuel adiabat Tuning the rise to peak power sets the inner adiabat





Multiple-shock and Kidder-like radiation drives show acceptable growth factors



Il est possible de diminuer l'adiabat d'une implosion HF en faisant varier la loi de température radiative

The high-foot (α =2.3) design has FUEL-ABLATOR growth factors many times smaller than that of low-foot implosions

