

Expériences d'instabilité Rayleigh-Taylor ablative en régime fortement non linéaire sur le National Ignition Facility

A. CASNER - L. MASSE - S. LIBERATORE - B. DELORME - L. JACQUET - P. LOISEAU / CEA-DAM Île-de-France
 V. A. SMALYUK - D. MARTINEZ - B. A. REMINGTON / Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, Californie, USA

La maîtrise du développement des instabilités hydrodynamiques de type Rayleigh-Taylor est cruciale pour la réalisation d'implosions performantes sur le Laser Mégajoule (LMJ). En présence d'un front d'ablation, la complexité de ces instabilités nécessite une validation expérimentale des modèles théoriques et des simulations numériques associées. Une proposition d'expériences à visée académique a été acceptée fin 2010 afin d'étudier sur le National Ignition Facility (NIF) le régime fortement non linéaire de l'instabilité de Rayleigh-Taylor (IRT) ablative. Elle devrait permettre d'atteindre pour la première fois en attaque indirecte un régime de compétition entre bulles. Le premier tir de cette proposition vient d'avoir lieu.

Les récentes expériences de la campagne d'ignition sur le NIF [1] ont démontré que le contrôle du développement de défauts lors de l'implosion d'une capsule de combustible est primordial pour obtenir des performances neutroniques élevées et l'ignition dans les expériences de fusion par confinement inertiel (FCI). Dans le cadre du premier appel à projet pour des expériences académiques sur le NIF, une proposition d'expériences issue du CEA/DAM, a été retenue en 2010 par un comité de sélection d'universitaires américains. L'originalité de la proposition découle de la volonté d'étudier le stade fortement non linéaire de l'instabilité de Rayleigh-Taylor (celle-ci

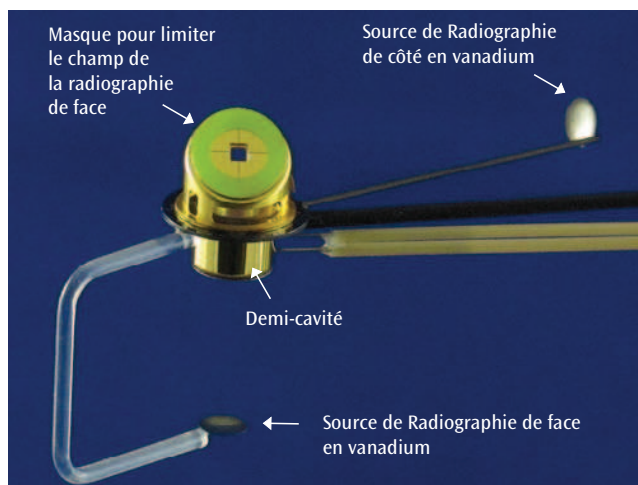


Figure 2. Photographie de la première cible assemblée et tirée le 21 mars 2013.

apparaît à l'interface entre deux fluides de densités différentes quand ils sont sujets à une accélération inertielle dirigée du matériau le plus léger vers le plus lourd) ablative en attaque indirecte, tout comme en attaque directe [2]. En effet, même si la caractérisation expérimentale de l'IRT ablative a été un sujet d'études depuis 15 ans, la durée limitée de la phase d'accélération accessible sur les lasers tels que Nova et Omega (au maximum 5 ns) ne permet pas d'atteindre un régime fortement non linéaire. En disposant d'une source laser tel que le NIF, nous pouvons accéder pour la première fois en attaque indirecte à un régime de

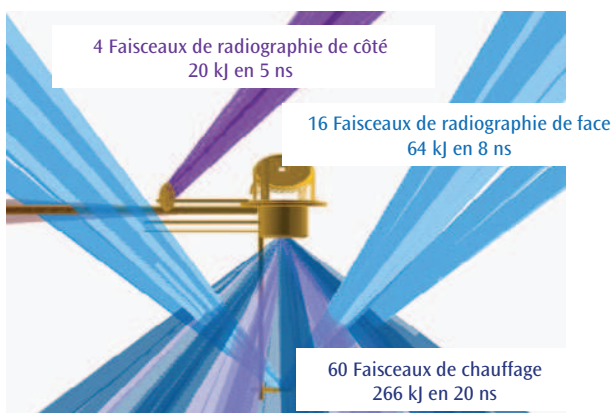


Figure 1. Schéma de principe de l'expérience: la demi-cavité est chauffée par 60 faisceaux à 44,5° et 50° du bas de la chambre NIF, et radiographiée de face vers un diagnostic situé au pôle nord de la chambre. Une radiographie de côté permet de mesurer la trajectoire de l'échantillon accéléré.

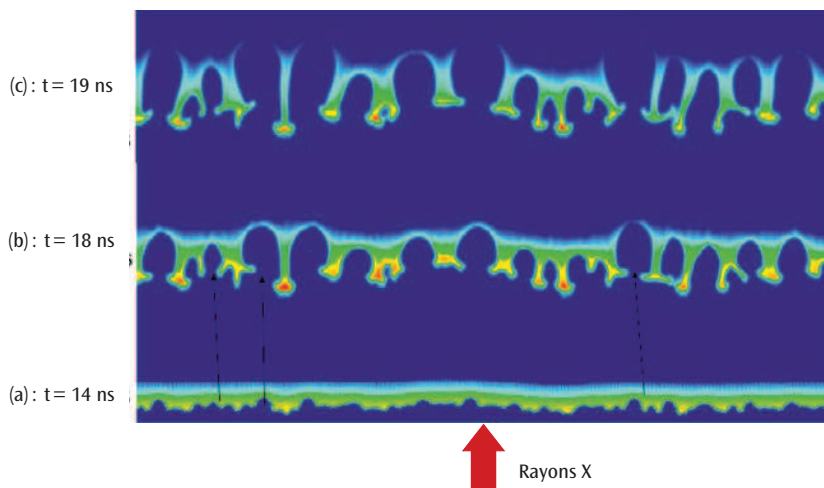


Figure 3. Simulations avec le code FCI2 montrant un régime de compétition entre bulles en attaque indirecte, entre 14 et 18 ns après le début de l'irradiation. L'amplitude quadratique moyenne initiale des perturbations 2D multimodes est de $1 \mu\text{m}$.

compétition entre bulles dans lequel la taille des bulles de l'IRT évolue de façon auto-semblable [3]. Nous détaillons ci-après la configuration expérimentale de l'étude (figure 1) et les résultats escomptés.

Géométrie expérimentale

Nous travaillons avec une demi-cavité remplie de néopentane à température ambiante. Cette géométrie s'inscrit dans la continuité de nos expériences précédentes sur le laser Omega [4]. Elle est plus propice à l'interprétation avec un code 2D axisymétrique car la mesure du flux X à travers le trou d'entrée laser (TEL) est représentative du flux X incident sur l'échantillon. L'échantillon accéléré est collé sur le trou de sortie opposé au TEL. La demi-cavité est chauffée par 60 faisceaux laser provenant du bas de la chambre NIF, soit une énergie totale de l'ordre de 260 kJ. Les mesures principales reposent sur 2 radiographies simultanées. Une radiographie de face vers l'inserteur de diagnostic polaire est utilisée pour mesurer la croissance des modulations de l'IRT. Pour ce faire, une source de radiographie annexe en vanadium est maintenue au moyen d'un capillaire en verre en forme de U devant le TEL de la demi-cavité (figure 2). Cette source de radiographie est irradiée par 16 faisceaux (4 quadruplets) provenant de l'hémisphère supérieur de la chambre. Une seconde source de radiographie, également en vanadium, est positionnée latéralement à la cavité au moyen d'un capillaire en fibre de carbone et est irradiée par un quadruplet.

Évolution d'une perturbation multi-modes

L'impulsion laser des faisceaux de chauffage dure 20 ns et est mise en forme de façon à produire un plateau de température radiative et une phase d'accélération durant 10 ns. Pour un échantillon accéléré présentant un spectre large bande de modulations (longueurs d'onde distribuées uniformément entre $20 \mu\text{m}$ et 1mm , pour une amplitude quadratique des perturbations de $1 \mu\text{m}$), les simulations réalisées avec le code d'hydrodynamique radiative FCI2 montrent

que, conformément aux prévisions théoriques [3], un régime de compétition entre bulles est atteint entre 14 et 18 ns. On observe en effet sur la simulation FCI2 de la figure 3 la coalescence entre petites bulles, pour créer des structures plus grosses. Ce phénomène est tout à fait observable avec la résolution temporelle et spatiale des diagnostics employés [5].

Perspectives

Le premier tir de la proposition a eu lieu le 21 mars 2013. Le but de ce tir était de qualifier la cavité d'un point de vue radiatif et de s'assurer du rapport signal/bruit et du contraste des radiographies qui seront ensuite utilisées pour mesurer la croissance et la mise en vitesse de l'échantillon modulé accéléré par le flux radiatif de la cavité. L'analyse des données obtenues va nous permettre d'affiner les réglages des diagnostics principaux pour le premier tir de mesure de croissance d'instabilités programmé en septembre 2013.

Références

- [1] S. GLENZER *et al.*, "Cryogenic thermonuclear fuel implosion on the National Ignition Facility", *Phys. Plasmas*, **19**, 056318 (2012).
- [2] A. CASNER *et al.*, "Designs for highly nonlinear Ablative Rayleigh-Taylor experiments on the National Ignition Facility", *Phys. Plasmas*, **19**, 082708 (2012).
- [3] D. ORON *et al.*, "Scaling laws of the Rayleigh-Taylor ablation front mixing zone evolution in inertial confinement fusion", *Phys. Plasmas*, **5**, p. 1467-1476 (1998).
- [4] G. HUSER *et al.*, "Reduced ablative Rayleigh-Taylor growth measurements in Indirectly Driven laminated foils", *Phys. Plasmas*, **18**, 012706 (2011).
- [5] A. CASNER *et al.*, "Design and implementation plan for indirect-drive highly nonlinear Ablative Rayleigh-Taylor experiments on the National Ignition Facility", *High Energy Density Phys.*, **9**, p.32-37 (2013).