

Expériences d'instabilités Rayleigh-Taylor en attaque indirecte avec des cavités rugby

La maîtrise du développement des instabilités hydrodynamiques de type Rayleigh-Taylor est primordiale pour la réalisation d'implosions performantes sur le Laser Megajoule (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 plate-forme dédiée, utilisant des cavités de conversion en forme de ballon de rugby, nous a permis de quantifier en géométrie plane le développement de différents types de défauts sinusoïdaux (2D monomodes ou multimodes, 3D) pour un ablateur représentatif de celui du LMJ. Historiquement, ces expériences débutées en 2002 ont été les premières à promouvoir la cavité rugby, maintenant filière nominale des cibles d'ignition pour le LMJ, et alternative pour l'ignition sur le National Ignition Facility (NIF).

A. Casner • D. Galmiche • G. Huser • J.-P. Jadaud • A. Richard • S. Liberatore • M. Vandenboomgaerde
CEA - DAM Île-de-France

Le contrôle du développement de défauts lors de l'implosion d'une capsule de combustible est primordial pour obtenir l'ignition dans le programme de Fusion par confinement inertiel (FCI) sur le LMJ ou le NIF [1]. Lors de la phase d'accélération de la coquille, l'instabilité de Rayleigh-Taylor (RT) se développe au front d'ablation, dont les caractéristiques (vitesse d'ablation, longueur minimale de gradient) modifient les taux de croissance classiques de l'instabilité. Les expériences en attaque indirecte, réalisées sur l'installation laser Omega, nous ont permis de valider la modélisation et les simulations numériques de croissance de défauts pour différentes conditions initiales dans le cas d'un ablateur plastique dopé au Germanium (CH:Ge).

Géométrie expérimentale

La configuration expérimentale est présentée sur la **figure 1**. 40 faisceaux de chauffage distribués selon 3 cônes (à 21°, 42° et 59° de l'axe cavité) sont utilisés pour irradier une cavité de conversion en forme de ballon de rugby [2]. Les parois proches du Trou d'entrée laser (TEL) sont inclinées pour faciliter l'absorption des faisceaux du cône à 21°

(en bleu clair et gris) qui se propagent à travers toute la cavité. L'échantillon en plastique modulé est placé sur la paroi latérale de la cavité et mis en vitesse sous l'effet du flux X créé dans la cavité.

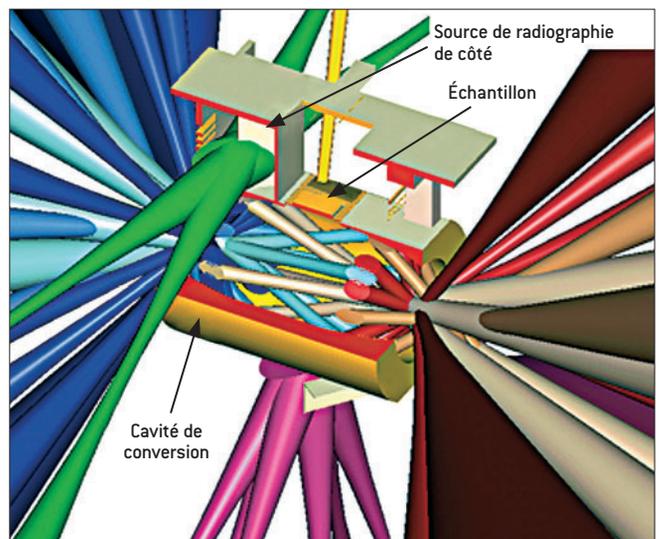


Figure 1. Schéma de la configuration expérimentale.

Deux radiographies simultanées sont réalisées pour caractériser l'accélération de la feuille (source de radiographie de côté en titane irradiée par 4 faisceaux, en vert sur la **figure 1**) et la croissance des défauts (source de face en scandium irradiée par 8 faisceaux, en violet). En plus des mesures de température radiative effectuées grâce à un spectromètre large bande, des mesures complémentaires de flux X et de débouché de chocs nous ont permis de préciser le flux X incident sur l'échantillon latéral [2].

Couplage de modes

Ce flux pris en compte, les croissances de défauts mesurées sont en accord avec les simulations réalisées avec le code d'hydrodynamique radiative FCI2. Au-delà de la caractérisation de défauts monomodes, nous nous sommes intéressés au couplage de modes. La **figure 2** présente les radiographies expérimentales obtenues à un même instant dans le cas de défauts initiaux bi-modes (de longueurs d'onde $\lambda = 35 \mu\text{m}$ et $70 \mu\text{m}$), en phase ou en opposition de phase. Conformément aux

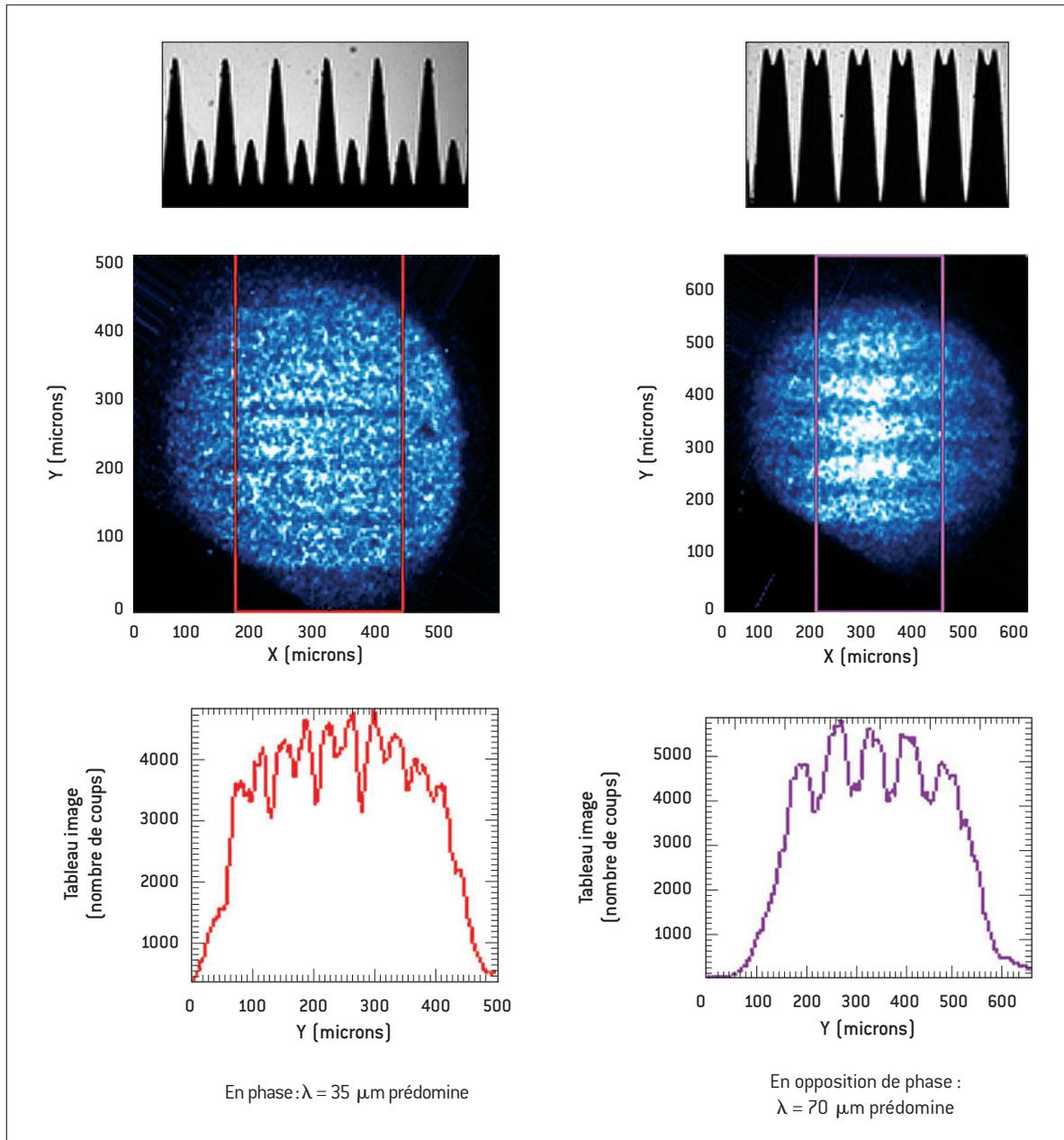


Figure 2. Illustration du phénomène de couplage de modes dépendant de la phase initiale entre les perturbations de longueurs d'onde $\lambda = 35 \mu\text{m}$ et $\lambda = 70 \mu\text{m}$.

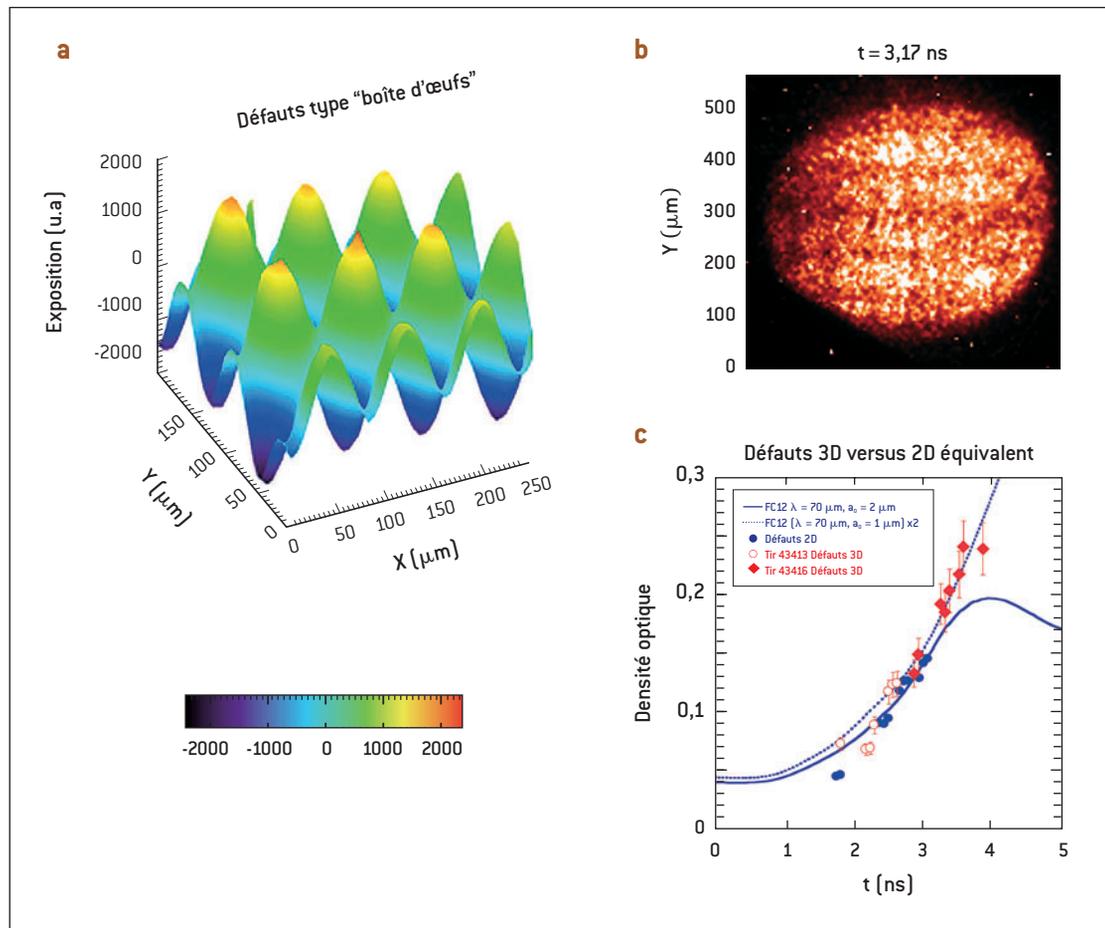


Figure 3. (a) Motif initial de défauts 3D, (b) radiographie de face à $t = 3,17$ ns et (c) comparaison de la croissance des perturbations 3D (en densité optique) et celle du monomode 2D équivalent.

prévisions analytiques et aux simulations, suivant la phase initiale, l'une des longueurs d'onde devient prédominante au cours du temps.

Développement de défauts 3D

La croissance de défauts 2D ou 3D est différente dans la phase non linéaire de l'instabilité RT. Nous nous sommes donc intéressés à la croissance de défauts initiaux de type boîte d'œufs (**figure 3**), et l'avons comparée à celle du monomode 2D équivalent. Nous constatons bien que le défaut 3D sature à une amplitude supérieure à celle du 2D, comme prévu par la théorie.

Perspectives

Ces expériences nous ont permis de valider la modélisation de croissance de défauts pour un ablateur de type LMJ sous diverses conditions initiales. Elles ont servi de point de départ aux études actuelles visant à caractériser l'effet de la structuration de l'ablateur (concept du gradient de

dopant ou de l'ablateur feuilleté [1]) sur la croissance de l'instabilité RT. L'avantage énergétique procuré par la géométrie rugby [3] sur une cavité cylindrique classique a, quant à lui, été démontré par les implosions en attaque indirecte les plus performantes à ce jour sur l'installation Omega [4].

RÉFÉRENCES

- [1] L. MASSE, "Stabilizing effect of anisotropic thermal diffusion on the Ablative Rayleigh-Taylor Instability", *Phys. Rev. Lett.*, **98**, 245001 [2007].
- [2] A. CASNER *et al.* "Indirect drive ablative Rayleigh-Taylor experiments with rugby hohlraums on Omega", *Phys. Plasmas*, **16**, 092701 [2009].
- [3] M. VANDENBOOMGAERDE *et al.*, "Prolate spheroid ("rugby-shaped") hohlraum for inertial confinement fusion", *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 065004 [2007].
- [4] F. PHILIPPE *et al.* "Experimental demonstration of X-Ray Drive Enhancement with Rugby-shaped hohlraums", *Phys. Rev. Lett.*, **104**, 035004 [2010].