

# Dynamique et stabilité des structures à double front d'ablation

Dans les ablateurs de  $Z$  modéré, les effets radiatifs sont en concurrence avec la conduction électronique. La zone d'ablation présente alors une structure à deux fronts. Un nouveau modèle théorique prenant en compte deux mécanismes de transport de l'énergie est développé et permet de définir les paramètres importants de cette structure. Ces paramètres sont évalués pour différents matériaux d'après une description physique réaliste. Une analyse de stabilité en régime linéaire est ensuite réalisée au moyen de simulations numériques.

M. Olazabal-Loumé CEA - CESTA • Centre Lasers Intenses et Applications (CELIA)

V. Drean • V.-T. Tikhonchuk CELIA, UMR 5107 Université Bordeaux 1 - CNRS - CEA

J. Sanz ETSI Aeronauticos, Université Polytechnique de Madrid, Espagne

Dans les cibles de fusion par confinement inertiel (FCI) en attaque directe, l'énergie laser est absorbée au voisinage de la densité critique et transportée principalement par conduction thermique électronique dans la partie dense de la cible, jusqu'au front d'ablation. En ce lieu, au cours de l'implosion, pendant la phase d'accélération, de petites déformations peuvent être amplifiées par des mécanismes d'instabilités hydrodynamiques et compromettre le bon fonctionnement de la cible. Selon des expériences récentes [1], l'emploi d'ablateurs dopés, de  $Z$  modéré et présentant une structure à «double front d'ablation» (DFA), pourrait améliorer la stabilité de la cible.

## Dynamique 1D des structures DFA

Un ensemble de simulations numériques 1D réalisées avec le code de FCI du CELIA, CHIC [2], pour différents matériaux ( $CHBr$ ,  $SiO_2$  et  $Al$ ) et différentes intensités laser ont permis d'étudier la formation et l'évolution de la structure DFA. Des effets radiatifs ont été mis en évidence dans les profils hydrodynamiques : les photons énergétiques émis dans la région de la couronne (hautes températures, faibles densités) sont absorbés dans les régions plus opaques au pied de l'onde thermique, et créent un front d'ablation additionnel. La figure 1 présente les profils de température et de densité typiques d'un DFA. La région séparant les deux fronts, le plateau, est caractérisée par l'égalité des températures radiative et électronique. Elle est bien définie durant la phase d'accélération. Différents profils de densité sont présentés en figure 2a. Un nouveau modèle théorique quasi-isobare [3,4] a été

développé et permet de comprendre les principaux mécanismes qui régissent l'écoulement 1D des structures. Contrairement à des modèles d'ablation plus anciens, deux mécanismes de transport de l'énergie sont pris en compte : la conduction électronique décrite par le modèle de Spitzer-Härm et la conduction radiative décrite par l'approximation de la diffusion. Dans ce dernier cas, un modèle gris est considéré pour les opacités moyennes de Planck et de Rosseland. Les opacités sont alors décrites par des expressions analytiques dans deux domaines de température séparés par une température de transition liée à un changement de niveau d'ionisation dans la zone d'ablation. Ces expressions analytiques ont été obtenues à partir de simulations numériques CHIC pour différents matériaux [3,4]. La résolution des équations dans la région d'ablation permet alors de caractériser les profils d'écoulement à

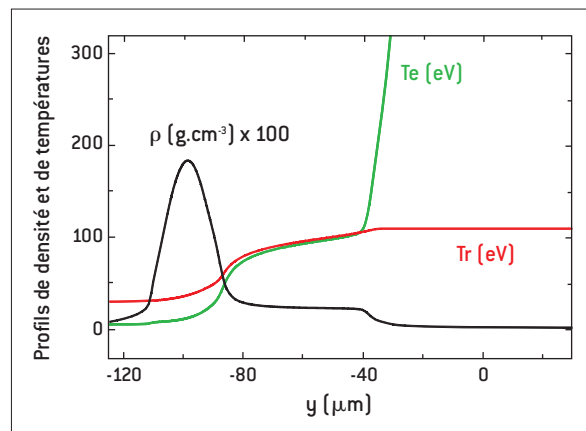


Figure 1. Profils de densité et de températures électronique et radiative typiques d'une structure DFA pour une cible d'aluminium pendant la phase d'accélération.

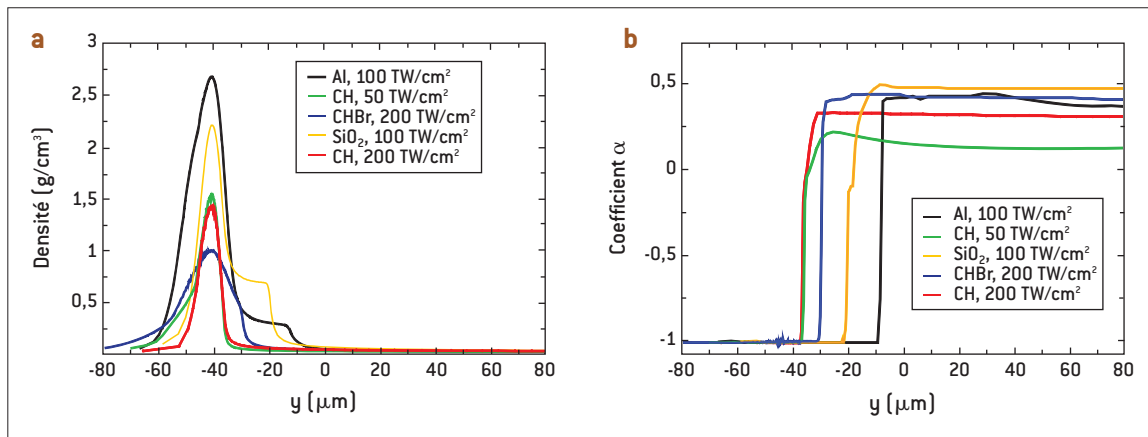


Figure 2. (a) Profils de densité pour différents matériaux. (b) Paramètre  $\alpha$  du modèle théorique.

l'aide principalement de deux paramètres. Le premier,  $\beta_t$ , permet d'estimer si les deux fronts d'ablation de la structure DFA sont bien définis et distincts. Ce paramètre est d'autant plus grand que les effets radiatifs sont importants. Typiquement, nous trouvons,  $\beta_t = 1 ; 6,4$  et  $19,4$  respectivement pour du CH, CHBr et SiO<sub>2</sub>. Le deuxième paramètre  $\alpha$  est le rapport entre le flux radiatif et le flux total (figure 2b). Il met en évidence le rôle dominant du flux radiatif dans l'existence du double front et l'égalisation des flux électronique et radiatif derrière le deuxième front, ce qui constitue une interprétation nouvelle de la structure par rapport aux études précédentes [1].

### Stabilité linéaire des structures DFA

La figure 3 présente les taux de croissance de l'instabilité de Rayleigh-Taylor ablative (IRTA) au premier front en fonction du nombre d'onde  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  étant la longueur d'onde de la perturbation. Ces résultats ont été obtenus avec les codes CHIC 2D et PERLE dans le cas de l'irradiation d'une plaque de plastique dopée au brome par un laser de 100 TW/cm<sup>2</sup>. Le code PERLE est dédié à l'étude de l'évolution temporelle et spatiale de perturbations linéaires d'un écoulement instationnaire [5]. Incluant la même description du transport radiatif que le modèle analytique [3,4], il permet de valider

le modèle physique retenu pour l'étude théorique. Il offre une approche complémentaire également aux simulations 2D de CHIC.

La diminution globale du taux de croissance (CHBr) est expliquée par la diminution des sauts de densité dans la zone d'ablation et l'augmentation de la vitesse d'ablation due au transport radiatif. La courbe de dispersion obtenue comporte une bande de nombres d'onde plus stables, pour des longueurs d'onde de l'ordre de la taille du plateau. Cette zone pourrait correspondre à un couplage des perturbations aux deux fronts.

### Conclusion

L'étude théorique et numérique de la dynamique de matériaux de Z modéré a mis en évidence la contribution du flux radiatif dans la formation et l'évolution d'une zone d'ablation à deux fronts. Des simulations numériques confirment la réduction significative des taux de croissance dans le cas du plastique dopé et exhibent une zone de modes plus stables liée au DFA. Le prolongement de cette étude consiste d'une part à développer un modèle analytique de l'IRTA pour cette structure, d'autre part à définir des cibles utilisant ces ablateurs.

### RÉFÉRENCES

[1] S. FUJIOKA *et al.*, "Suppression of Rayleigh-Taylor instability due to radiative ablation in brominated plastic targets", *Phys. Plasmas*, **11**, p. 2814-2822 (2004).  
 [2] P.-H. MAIRE *et al.*, "A cell-centered arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) method", *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, **56**, p.1161-1166 (2008).  
 [3] J. SANZ *et al.*, "radiation hydrodynamic theory of double ablation fronts in direct drive inertial fusion", *Phys. Plasmas*, **16**, 082704 (2009).  
 [4] V. DREAN, "Dynamique et stabilité des structures à double fronts d'ablation en fusion par confinement inertiel en attaque directe", Thèse de l'université Bordeaux 1 (2009).  
 [5] M. OLAZABAL-LOUMÉ, L. HALLO, "Stability study of planar targets using standard and adiabatic shaping pulses", *Phys. Plasmas*, **14**, 102705 (2007).

Figure 3. Courbes de dispersion obtenues pour une plaque de plastique (CH) et de plastique dopé au brome (CHBr) pour une intensité laser de 100 TW/cm<sup>2</sup> (simulations numériques CHIC et PERLE; pour le plastique, résultat du modèle classique).

