

## Formation de micro-jets depuis des défauts de surface

Thibaut DE RESSEGUIER

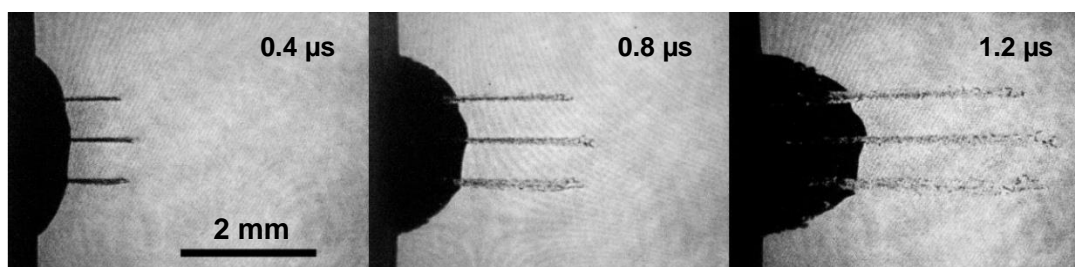
Contact : [resseguier@ensma.fr](mailto:resseguier@ensma.fr)

Partenariats : CEA (Arpajon), LULI (Ecole Polytechnique), IPR (Université de Rennes)

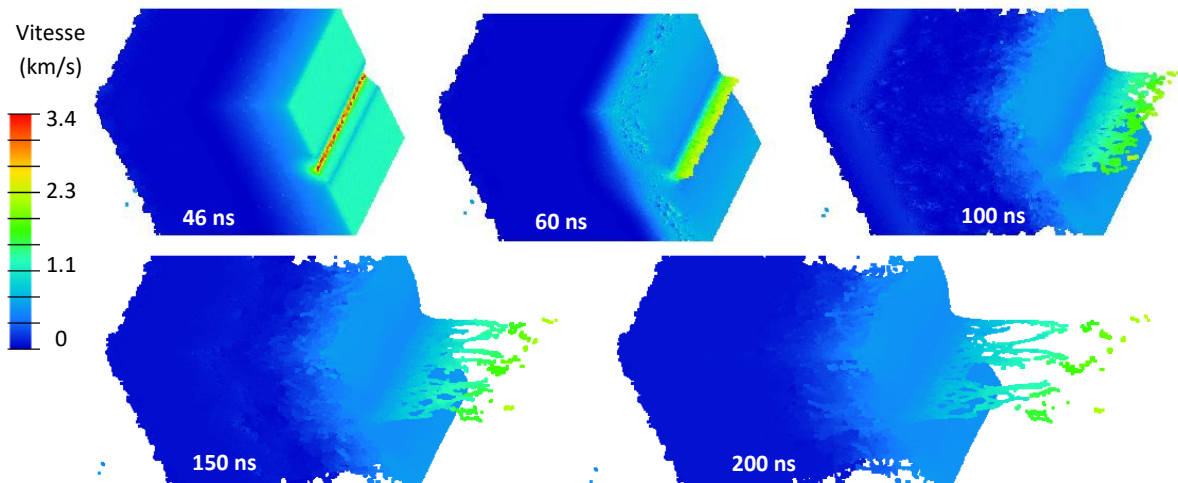
Lorsqu'un matériau solide est soumis à un chargement dynamique (détonation d'un explosif, impact d'un projectile ou d'un débris...), il est parcouru par une onde de choc qui se propage depuis la surface chargée et qui débouche généralement sur une surface libre. Les défauts géométriques de cette surface libre (rugosité, rayures, cavités...) peuvent alors conduire à l'éjection, sous forme de jets de matière, de débris dont la taille caractéristique est typiquement de l'ordre du  $\mu\text{m}$  et dont la vitesse est de l'ordre de quelques km/s. La maîtrise de ce processus (en anglais **micro-jetting**) est essentielle pour de multiples applications (pyrotechnie, sécurité industrielle, conception de blindages, fusion par confinement inertiel...).

Nous étudions le micro-jetting dans les conditions de chargement spécifiques des chocs laser : impulsions de pression de très courte durée, vitesses de déformation extrêmement élevées, récupération partielle des échantillons et des éjectas. Plusieurs campagnes expérimentales menées sur les grandes installations laser du LULI nous ont permis d'acquérir des résultats variés et inédits, dans différents métaux (aluminium, cuivre, étain, plomb), d'abord sur des rainures isolées, de forme, d'ouverture et de profondeur contrôlées, puis sur des rainures sinusoïdales périodiques calibrées. Ces résultats comprennent :

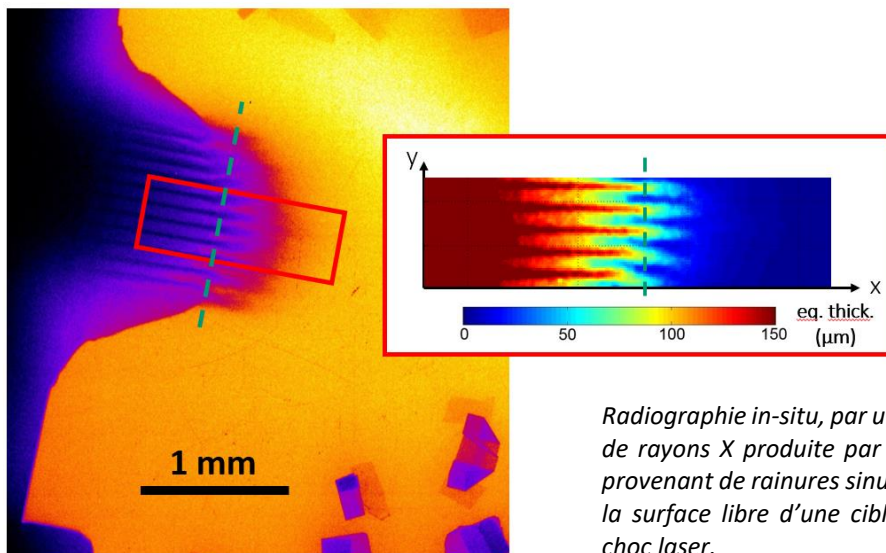
- des mesures de vitesses d'éjection, par Vélocimétrie Hétérodyne et par visualisation transverse ultra-rapide, sur une large gamme de variation des paramètres, avec des comparaisons à des prédictions fondées sur l'hydrodynamique des chocs obliques ;
- une étude des effets de la fusion sous choc sur le micro-jetting, dans l'étain et le plomb ;
- la récupération des éjectas dans des gels de basse densité pour évaluer leur distribution de tailles donc de masses ;
- une mise en évidence de l'influence des conditions de bords sur les vitesses d'éjection depuis des rainures périodiques ;
- la visualisation de la fragmentation de "nappes" d'éjectas en débris ;
- la simulation du micro-jetting en formulation lagrangienne, au moyen d'éléments finis ou d'une description particulière SPH, pour *Smooth Particles Hydrodynamics* ;
- la mise au point d'une technique de **radiographie X ultra-rapide** produite par laser pour sonder les gradients de densité dans les jets de matière ;
- l'utilisation de cette technique pour évaluer les masses éjectées ;
- la confrontation des mesures avec des prédictions théoriques fondées sur les **instabilités de Richtmyer-Meshkov**, bien adaptées au cas de rainures sinusoïdales périodiques avec fusion du matériau.



Visualisation transverse ultra-rapide (temps de pose de 5 ns) de la formation de trois "micro-jets" depuis trois rainures triangulaires sur la surface libre d'un échantillon de cuivre soumis à un choc laser.



Simulation particulaire (Smooth Particles Hydrodynamics) de la formation, puis de la fragmentation d'un micro-jet (de fait une "micro-nappe") pendant son expansion depuis une rainure triangulaire dans une cible d'étain.



Radiographie in-situ, par une impulsion ultra-brève de rayons X produite par laser, de jets parallèles provenant de rainures sinusoïdales périodiques sur la surface libre d'une cible d'étain soumise à un choc laser.

#### Thèse soutenue :

- 2017 Caroline ROLAND : Formation de micro-jets depuis des défauts de surface dans des échantillons métalliques soumis à des chocs laser

#### Quelques publications :

- *Microjetting from grooved surfaces in metallic samples subjected to laser driven shocks*, T. de Rességuier, E. Lescoute, A. Sollier, G. Prudhomme, P. Mercier, J. Appl. Phys. **115** (4), 043525, 2014
- *Hydrodynamic simulations of microjetting from shock-loaded grooves*, C. Roland, T. de Rességuier, A. Sollier, E. Lescoute, L. Soulard, D. Loison, Proceeding of the 19<sup>th</sup> APS Conference, Tampa, 2015
- *Influence of edge conditions on material ejection from periodic grooves in laser shock-loaded tin*, T. de Rességuier, C. Roland, G. Prudhomme, D. Loison et al., J. Appl. Phys. **119** (18), 185108, 2016
- *Ejection of micron-scale fragments from triangular grooves in laser shock-loaded copper samples*, C. Roland, T. de Rességuier, A. Sollier, E. Lescoute et al., J. Dynamic Behavior of Materials **3** (2), 156-163, 2017
- *Picosecond x-ray radiography of microjets expanding from laser shock-loaded grooves*, T. de Rességuier, G. Prudhomme, C. Roland, E. Brambrink et al., J. Appl. Phys. **124** (6), 065106, 2018
- *Velocity and mass density of the ejecta produced from sinusoidal grooves in laser shock-loaded tin*, G. Prudhomme, T. de Rességuier, C. Roland, A. Sollier et al., J. Appl. Phys. **128** (15), 155903, 2020