

Comportement sous choc des matériaux énergétiques - Spectroscopie Raman et imagerie rapide

P. HÉBERT - M. DOUCET - C. SAINT-AMANS / CEA – Le Ripault

T. DE RESSÉGUIER / Institut Pprime, Unité propre de recherche 3346 CNRS – École nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique (ENSMA) – Université de Poitiers

Prévoir de façon fiable le comportement des explosifs lorsqu'ils sont soumis à des chocs de nature variée est un challenge important pour la garantie de la sécurité pyrotechnique, ainsi que pour la conception de systèmes d'amorçage. Cela nécessite de développer des modèles physiques pertinents et de réduire leur part d'empirisme grâce à l'acquisition de données expérimentales permettant de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu à l'échelle microscopique. Un dispositif expérimental a été mis au point, qui permet de sonder en temps réel l'évolution du matériau au passage du choc par spectroscopie Raman et par imagerie rapide. L'analyse des données fournit des informations sur les processus mis en jeu lors des phases d'initiation et de décomposition de l'explosif. Dans cet article, les résultats obtenus pour un explosif à base de TATB (triaminotrinitrobenzène) sont présentés.

L'amélioration de la qualité des simulations décrivant le devenir d'un explosif soumis à une agression par choc nécessite de décrire le plus précisément possible le processus dit de transition choc-détonation (TCD) qui régit la vie de l'explosif dans les quelques microsecondes qui séparent le choc de la formation éventuelle d'une onde de détonation. Pour cela, il est nécessaire de réduire la part d'empirisme des modèles utilisés pour décrire la TCD, et d'acquérir des données expérimentales permettant de mieux comprendre les mécanismes d'initiation et de décomposition des explosifs, à l'échelle microscopique, voire moléculaire. C'est pour répondre à cet objectif qu'a été mise au point une expérience de spectroscopie Raman [1], qui permet de sonder la matière choquée à l'échelle moléculaire avec la résolution temporelle imposée par les vitesses de propagation des ondes de choc. L'analyse des spectres obtenus renseigne sur l'évolution de l'organisation moléculaire au sein du matériau et donne des informations sur les mécanismes conduisant à sa décomposition. L'observation simultanée de l'échantillon choqué à l'aide de caméras rapides permet de faire le lien entre les échelles moléculaires et macroscopiques.

Génération des chocs

Pour concevoir un dispositif expérimental permettant d'étudier le comportement sous choc d'un explosif solide tel que le TATB, jusqu'à des pressions de l'ordre de 30 GPa, un certain nombre de critères doivent être satisfaits. Le principe général retenu

consiste à générer les chocs par impact d'un projectile sur l'explosif, et à synchroniser avec le débouché de l'onde de choc en face arrière de celui-ci une impulsion laser pour générer un spectre Raman et des dispositifs de visualisation. Le choc doit être généré durant un temps suffisamment long pour que celui-ci puisse traverser l'échantillon sans être atténué. De l'épaisseur de l'échantillon dépend donc l'épaisseur du projectile. Or, d'un point de vue pratique, l'épaisseur minimum des cibles en TATB accessible par usinage est de 400 μm . Dans ces conditions, produire un choc suffisamment soutenu pour obtenir les pressions souhaitées nécessite de propulser des projectiles

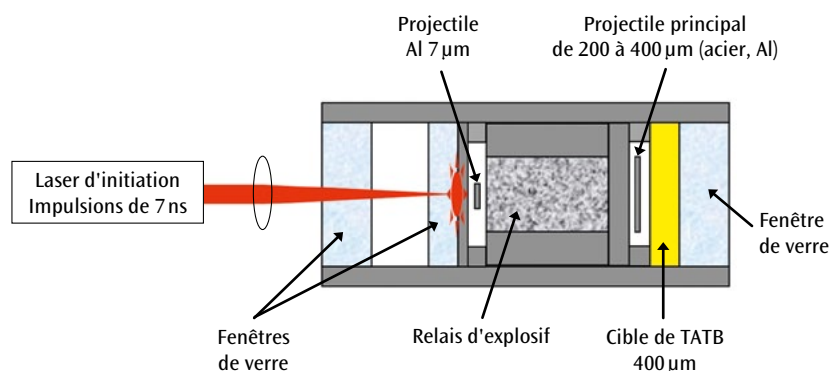


Figure 1.

Schéma de principe du dispositif de génération de chocs par vol de projectiles. Pour choquer le TATB (triaminotrinitrobenzène), on utilise un projectile métallique de quelques centaines de microns, généré par la détonation d'un relais d'explosif. Ce relais est amorcé par un clinquant d'aluminium découpé par laser.

métalliques de plusieurs centaines de microns d'épaisseur à des vitesses de plusieurs kilomètres par seconde.

Pour atteindre ces performances, le générateur de chocs mis au point comprend un relais d'explosif que l'on fait détoner à l'aide d'un projectile mince généré par laser, ce qui permet de découper un second projectile (aluminium ou acier) de plusieurs centaines de microns d'épaisseur, qui vient à son tour impacter la cible à étudier (figure 1). Les pressions des chocs ainsi générés en face arrière des échantillons de TATB peuvent atteindre 35 GPa. Un confinement par une fenêtre de verre assure un maintien de la pression pendant plusieurs dizaines de nanosecondes.

Spectroscopie Raman et visualisation sous choc

L'évolution du comportement de la matière choquée est étudiée en enregistrant un spectre Raman obtenu en synchronisant une impulsion laser de quelques nanosecondes avec le débouché du choc en face arrière de la cible. La pression de choc dans la zone sondée est déduite d'une mesure de vitesse d'interface obtenue par vélocimétrie hétérodyne. Une image de l'échantillon choqué est enregistrée en 20 ns avec une caméra à image intégrale.

L'évolution des spectres Raman en fonction de la pression de choc montre le comportement singulier de la raie associée au mode de vibration de flexion δNO_2 qui se déplace vers les nombres d'onde plus faibles (figure 2). Ce comportement, également observé sous pression statique, est dû à la présence d'un réseau de liaisons hydrogène au sein du TATB. Quelques différences imputables à l'effet de la température sont toutefois notables sous choc. Elles indiquent un affaiblissement du réseau de liaisons hydrogène. Les résultats font également appa-

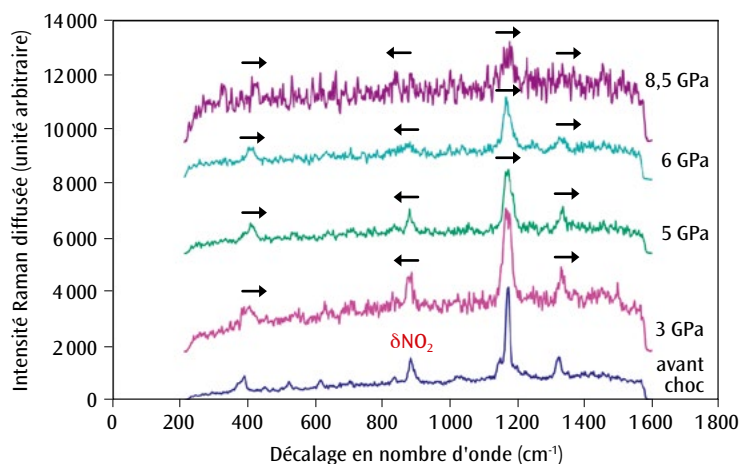


Figure 2. Intensité Raman diffusée en fonction du décalage en nombre d'onde ($1/\lambda_0 - 1/\lambda_{\text{Raman}}$) du TATB. Le spectre en bleu foncé a été obtenu avant choc et les autres à des pressions de choc comprises entre 3 et 8,5 GPa. Les flèches indiquent le sens de déplacement des modes de vibration sous choc. Le déplacement singulier du mode de flexion δNO_2 indique la présence d'un réseau de liaisons hydrogène. L'atténuation progressive du signal Raman est également observée.

raître une atténuation progressive de l'intensité des spectres Raman avec l'augmentation de la pression de choc, accompagnée d'un assombrissement progressif du TATB, qui devient totalement opaque à 9 GPa (figure 3). Des expériences complémentaires ont permis de montrer que ces deux phénomènes fortement corrélés sont dus à un élargissement de la bande d'absorption du TATB sous choc [2].

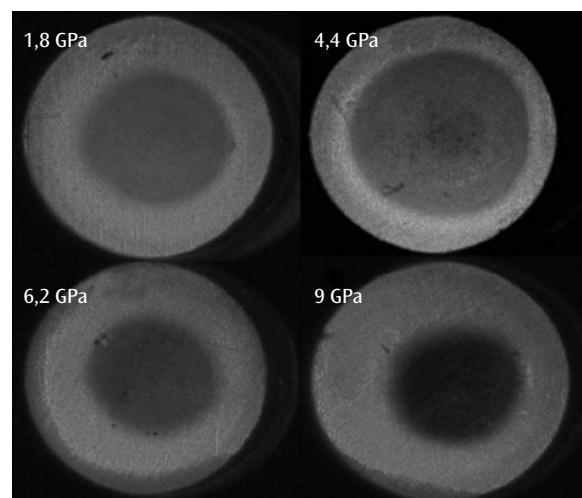


Figure 3. Visualisation de la surface du TATB choqué à différentes pressions. Les images ont été obtenues à l'aide d'une caméra rapide avec un temps de pose de 20 ns. L'opacification progressive de l'échantillon est à mettre en parallèle avec l'atténuation du signal Raman observé sur la figure 2.

Conclusion

Un dispositif expérimental qui permet, par spectroscopie Raman et par imagerie rapide, de sonder en temps réel l'évolution d'un explosif soumis à un choc a été développé. Les résultats obtenus sur le TATB permettent de mieux comprendre les mécanismes moléculaires qui peuvent conduire à l'initiation de cet explosif et contribueront à l'amélioration des modèles utilisés dans les simulations.

Références

- [1] P. HÉBERT, V. BOUYER, J. RIDEAU, M. DOUCET, L. P. TERZULLI, "Raman spectroscopy study of laser-shocked TATB-based explosives", *Proc. of the Conference of the APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter (APS SCCM 2011)*, Chicago, États-Unis, 26 juin-1^{er} juillet 2011, M. L. Elert, W. T. Buttler, J. P. Borg, J. L. Jordan, T. J. Vogler (Eds), p. 1585-1588 (2012).
- [2] C. SAINT-AMANS, P. HÉBERT, M. DOUCET, T. DE RESSÉGUIER, "In-situ Raman spectroscopy and high-speed photography of a shocked triaminotrinitrobenzene based explosive", *Journal of Applied Physics*, **117**, 023102 (2015).