

## **Comportements mécanique et réactif d'un explosif comprimé soumis à un impact**

Didier PICART, Maxime BIESSY, Eric BOUTON, Hervé TRUMEL

*CEA, Le Ripault F-37260 MONTS*

**Mots clés** : matériau énergétique, allumage, modélisation, simulations aux éléments finis

### **Résumé**

Le matériau que nous étudions est un composite hétérogène fortement chargé en cristaux de HMX (octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine). Quelques pourcents d'un liant plastique lui confèrent, après compaction isostatique, une excellente tenue. Si le seuil de transition choc-détonation (TCD) est bien connu pour cette composition, la prédiction de la violence des réactions pour des sollicitations inférieures au seuil de TCD reste difficile. Alors que baisser l'énergie cinétique fait généralement baisser la violence de la réaction, des régimes extrêmement violents (combustion vive, déflagration) et inattendus sont observés même pour une faible vitesse du projectile. La simulation de ces agressions nécessite donc la mise au point d'un outil numérique prenant en compte le comportement mécanique de l'explosif à l'échelle globale, une méthode de changement d'échelle permettant de connaître l'amplitude des champs mécaniques à l'échelle de la microstructure et un mécanisme de formation de point chaud avec traitement des transferts de chaleur à cette échelle.

Aux plus faibles vitesses de déformation et pour des pressions de confinement modérées (inférieures à 20 MPa), les essais de compression simple, de traction simple ou les trajets de compression sous confinement permettent d'explorer le comportement [Le07, Benelfellah13]. Ils montrent une forte dépendance du matériau à la direction du chargement (traction ou compression) et à la pression de confinement. Ces essais mettent en évidence un mécanisme d'endommagement par microfissuration. Toute la déformation n'est pas recouverte.

La réalisation d'expérience mécanique devient plus complexe dans le domaine des fortes pressions de confinement. Nous disposons toutefois des résultats obtenus entre 20 et 800 MPa de confinement. Ces essais montrent que le comportement initialement fragile, exhibant une déformation à rupture de l'ordre du pourcent, devient plus ductile au-delà de 30 MPa. Pour les pressions de confinement excédant 200 MPa et compte tenu des moyens métrologiques utilisés dans ces expériences (jauges de déformation), on ne distingue plus de pic de contrainte.

Peu de données mécaniques sont disponibles pour les conditions de chargement couplant la pression de confinement et les hautes vitesses de déformation. Dans ces régimes et pour ces matériaux très fortement chargés, on peut s'attendre à ce que la mobilisation des contacts intergranulaires par frottements prenne petit à petit le pas sur les déformations pilotées par le liant visqueux. Si le comportement visqueux n'est probablement pas totalement inhibé, il

pourrait avoir une importance bien moindre que la consolidation due au confinement. Cette hypothèse a été confirmée récemment par la réalisation d'essais de compression rapide dans un système de barres d'Hopkinson. L'échantillon cylindrique était confiné latéralement dans une bague métallique instrumentée de jauge de déformation. Des premiers essais confirment cette affirmation [Vial13].

Plusieurs mécanismes dissipatifs ont été proposés par le passé en fonction de la violence de l'impact. Dans le domaine des chocs, la compression rapide des porosités est le mécanisme qui a recueilli le plus d'intérêt ces dernières décennies. Les mécanismes de dissipation par frottement des lèvres des microfissures ou par échauffement dans des bandes de plasticité cristallines sont les deux mécanismes actuellement les plus probables pour les sollicitations qui nous concernent ici. Nous adoptons un modèle permettant facilement de travailler avec l'un ou l'autre des mécanismes en fonction des développements futurs.

D'autre part, l'échelle à laquelle se situent les points chauds (le micromètre) est différente de l'échelle caractéristique à laquelle les calculs d'impact sont réalisés (typiquement de l'ordre du millimètre). Pour cela, il conviendrait d'invoquer une méthode de changement d'échelle. La transition d'échelle que nous effectuerons sera délibérément empirique puisque nous relierons proportionnellement les champs mécaniques identiques des différentes échelles.

Finalement, la loi que nous utilisons ne comporte que quatre paramètres identifiés sur des essais quasi-statiques triaxiaux. Deux autres sont ajoutés pour modéliser à la fois la transition d'échelle et le calcul thermique simplifié que nous effectuons.

Plusieurs expériences ont été simulées avec ce modèle telle que des essais de chute au mouton vertical, des essais dynamiques aux barres d'Hopkinson, des essais de friabilité (essai de Taylor), des essais Susan-test, des essais de poinçonnement, des essais Steven-test et des essais d'impact dans la tranche. Plusieurs résultats seront présentés.

## **Références**

[Le07] Le VD, Modélisation et identification du comportement plastique visco-élastique endommageable d'un matériau agrégataire. thèse, université de Tours 2007.

[Benelfellah13] Benelfellah A, Modélisation de l'anisotropie induite par endommagement pour des matériaux agrégataires énergétiques. thèse, université de Tours 2013.

[Vial13] Vial J, Picart D, Bailly P, Delvare F, Numerical and experimental study of the plasticity of HMX during a reverse edge-on impact test, Modelling Simul. Mat.Sci. Eng. 2013.