



**HAL**  
open science

# Prédiction des effets dominos dans le cadre d'éclatements de capacités métalliques : résultats des essais et enseignements pour la maîtrise des risques

Frédéric Mercier

► **To cite this version:**

Frédéric Mercier. Prédiction des effets dominos dans le cadre d'éclatements de capacités métalliques : résultats des essais et enseignements pour la maîtrise des risques. Rapport Scientifique INERIS, 2005, 2004-2005, pp.51-53. ineris-01868980

**HAL Id: ineris-01868980**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01868980>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Prédiction des effets dominos dans le cadre d'éclatements de capacités métalliques

## Résultats des essais et enseignements pour la maîtrise des risques

FRÉDÉRIC MERCIER

**L** INERIS a conduit une recherche portant sur la prédiction des effets dominos liés à l'éclatement de capacités métalliques. Ce travail est mené au travers du programme de recherche FRACA (Étude de l'influence du couplage fluide/structure sur la fragmentation de capacités métalliques sous pression).

Le projet FRACA a débuté en 2002, avec pour objectif de disposer d'une méthode permettant de décrire la rupture d'une capacité, ainsi que les effets associés à cet éclatement sur son environnement, quelles que soient la nature du fluide contenu, et celle du métal de l'enceinte.

La complexité du sujet réside dans la compétition qui s'établit entre la fuite du fluide et la propagation de fissures dans la paroi de l'enceinte, la pression constituant le moteur de la fissuration.

Dans un premier temps, le choix a été fait de simplifier le problème en le cantonnant à l'étude de la réponse de plaques à des sollicitations dynamiques.

À cette fin, un dispositif expérimental (Fig. 1) a été monté en vue de tester la réponse d'échantillons à ductilité décroissante (Al 5754 -AlMg3-, acier DC01 -EN 10.130-98-, Al 2017 A -AlCu4MgSi-), soumis à des sollicitations à vitesses croissantes (pneumatique, déflagration, détonation). L'échantillon à étudier, une plaque circulaire, est placé entre les deux tubes. Un mélange gazeux hydrogène/oxygène est introduit dans le tube 1 et l'explosion est réalisée.

La reproductibilité des chargements dynamiques est tout d'abord vérifiée dans tous les cas, ainsi que leur planéité vis-à-vis de l'échantillon. Puis, la dynamique de la réponse des plaques est étudiée au moyen de jauges de déformation placées en leur centre. Il en ressort pour l'acier une réponse dynamique intermédiaire (vitesse de déformation de  $\sim 10^2 \text{ s}^{-1}$ ), plus faible que celle des aluminiums ( $\sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ ), à dynamique rapide. Par la suite, afin de faciliter le suivi de la fissure au cours de l'expérience, les plaques à étudier sont pré-entaillées et leur comportement à l'explosion étudié. La fissuration des plaques est observée au cours de l'expérience au moyen de jauges de rupture et par caméra à très grande vitesse (10 000 images/seconde).

☉ ☉ ☉ suite page 52

FIGURE 1.

### Dispositif expérimental

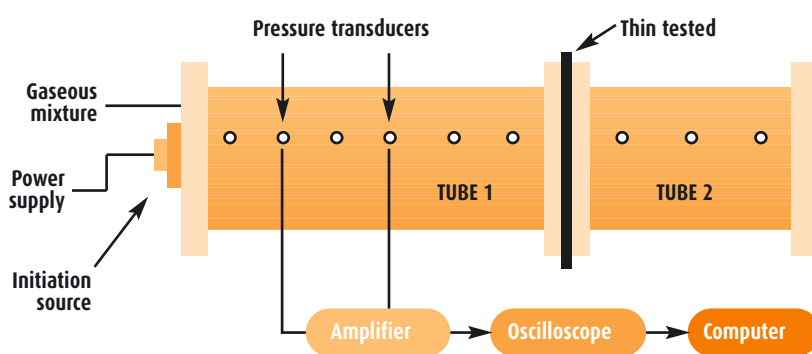
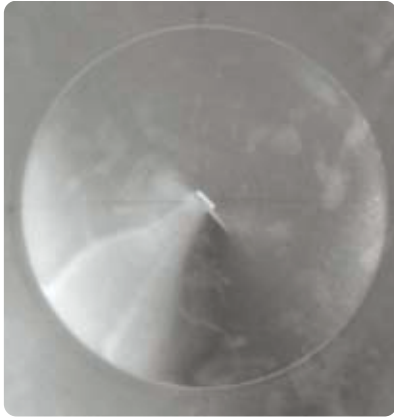


FIGURE 2.



1 mm, Al 2017 après déflagration (0,8 bar).

FIGURE 3.



1 mm, Al 2017 après détonation (0,6 bar).



Les résultats obtenus dépendent de l'épaisseur des échantillons ainsi que du chargement :

- ⊕ soumises à une déflagration, des plaques de 2 mm d'épaisseur, d'Al 5754 et d'acier DC01 présentent un faciès ductile, alors que l'Al 2017, plus fragile, montre une rupture fragile ;

- ⊕ soumises à une déflagration et une détonation, les plaques de 1 mm d'Al 5754 et d'acier DC01 se comportent de façon similaire à celles de 2 mm, alors que la réponse de l'Al 2017 est distincte suivant que la sollicitation est une déflagration ou une détonation : dans le premier cas, une fissure fine apparaît, alors que, dans le second cas, la plaque est coupée ;

- ⊕ enfin, pour les plaques de 0,5 mm, à l'inverse de l'acier DC01, l'influence du chargement devient prépondérante pour l'Al 5754 : comme pour l'Al 2017, alors que la fissure est faible en déflagration, elle est beaucoup plus importante en détonation. Le mode de développement d'une fissure dans l'échantillon est illustré en figure 4 pour une plaque de 1 mm d'Al 2017. La figure présente de haut en bas une

succession de neuf photos séparées chacune de la précédente par un intervalle de  $10^{-4}$  secondes. La première photo montre l'initiation de la fissure. Elle a une longueur de 34,2 mm, avec une vitesse d'ouverture de  $342,3 \text{ m.s}^{-1}$ . Puis, elle se propage : 83,7 mm de long (Fig. 4, photo 2) pour  $495 \text{ m.s}^{-1}$ . La photo 3 (Fig. 4) montre que la plaque commence à se découper sur le contour du tube. La taille de la fissure augmente : 106,5 mm (photo 3, Fig. 4), 114,1 mm (photo 4, Fig. 4). La vitesse associée décroît ( $228$  et  $76 \text{ m.s}^{-1}$ ). Finalement, la fissure sur le contour du tube augmente jusqu'à la découpe complète de l'échantillon (Fig. 4, photo 9). La vitesse de découpe autour du contour est de presque  $500 \text{ m.s}^{-1}$ .

FIGURE 4.

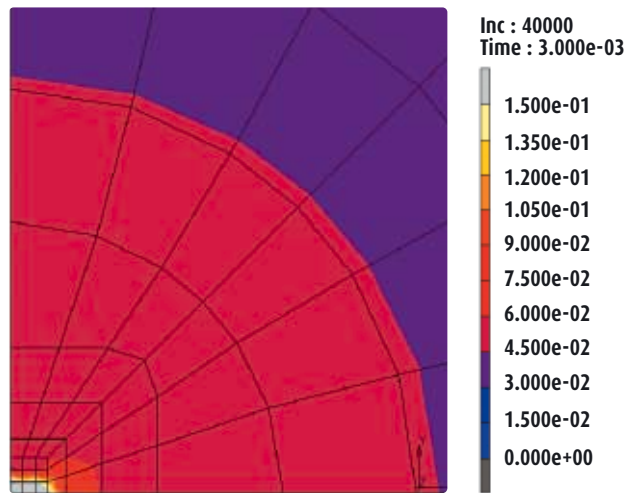


Développement d'une fissure sur une plaque (intervalle d'acquisition de  $10^{-4}$  secondes).

À son terme, ce travail devrait permettre de disposer d'abaques exprimant la réponse d'un matériau à une sollicitation dynamique, prenant comme paramètres les caractéristiques mécaniques et géométriques de l'échantillon, ainsi que les caractéristiques de l'explosion.

En parallèle, un travail de modélisation à l'aide du logiciel MSC.Marc a été entrepris en vue de comprendre les mécanismes présidant au développement des fissures dans ces échantillons. Le comportement du matériau est modélisé à l'aide d'une loi élasto-visco-plastique, la loi de Chaboche. L'endommagement est pris en compte à l'aide des lois de Gurson et de Chaboche et Lemaitre. Les simulations réalisées visent à représenter les expériences décrites ci-dessus. À titre d'exemple, la simulation de la **figure 5** représente le développement d'une fissure dans une plaque entaillée. Les simulations confrontées aux expériences montrent la sensibilité du modèle aux paramètres de la loi de Chaboche du matériau, qu'il faut identifier finement pour avoir une bonne représentation du comportement du matériau.

**FIGURE 5.**



**Modélisation du développement d'une fissure dans une plaque.**

Le couplage entre la modélisation et l'expérimental devrait permettre de réaliser un calage des modèles habituellement employés et donc de prédire avec davantage de précision les effets à attendre de scénarios accidentels. ●

## Références

■ M. Mosnier, B. Daudonnet, F. Mercier, J. Renard, G. Mavrothalassitis  
Metallic Pressure Vessel Failures, 25<sup>th</sup> ESREDA, 17-18 novembre 2003 à Paris.

■ B. Daudonnet, M. Mosnier, K. Woznica, F. Mercier  
Étude numérique de la rupture dynamique de structures métalliques, 7<sup>e</sup> colloque en calcul des structures, 17-20 mai 2005, à Giens.

■ B. Daudonnet, M. Mosnier, F. Mercier, K. Woznica, J. Renard  
Numerical and experimental studies of dynamic ruptures in metallic systems, McMat 2005, Mechanics and Material Conference, 1-3 juin 2005, à BatonRouge (US).

■ B. Daudonnet, K. Woznica, F. Mercier  
Numerical modeling of metallic systems submitted to dynamic solicitation, ASME Pressure Vessel and Piping Division Conference, 17-21 juillet 2005, à Denver (US).

■ M. Mosnier, F. Mercier, J. Renard, P. Bailly  
An experimental investigation on metallic plates dynamic cracking, ASME Pressure Vessel and Piping, Division Conference, 17-21 juillet 2005, à Denver (US).

■ B. Daudonnet, M. Mosnier, K. Woznica et J. Renard, F. Mercier  
Numerical modeling of dynamic rupture in metallic systems, 6<sup>e</sup> conférence européenne en dynamique des structures Eurodyn du 4 au 7 septembre 2005, Paris.

■ B. Daudonnet, K. Woznica, F. Mercier  
Modélisation numérique de la rupture de structures métalliques sous sollicitation dynamique, Congrès Français de Mécanique, du 29 août au 2 septembre 2005, Troyes.

■ M. Mosnier, O. Pennetier, F. Mercier, J. Renard, P. Bailly  
Une étude expérimentale de la fissuration de plaques métalliques, Congrès Français de Mécanique, du 29 août au 2 septembre 2005, Troyes.

■ B. Daudonnet, K. Woznica, F. Mercier, P. Klosowski  
Modeling of damage in a circular plate and cylindrical shell submitted to dynamic excitation, VIII<sup>th</sup> Conference « Shell Structures: Theory and Applications », 12-14<sup>th</sup> October, 2005, Gdansk-Jurata.