

Thèse soutenue le 25 septembre 2006

Etude numérique de la rupture d'éléments de structures constituant des réservoirs sous chargement dynamique

Benjamin DAUDONNET

Directeur de thèse : K. WOZNICA, ENSI Bourges, Laboratoire Energétique, Explosions, Structures

Correspondant INERIS : F. MERCIER, Direction des Risques Accidentels

La rupture de réservoirs métalliques sous pression est un phénomène complexe, dont la compréhension fine fait appel à une approche multidisciplinaire. En effet, lors de la rupture, une compétition s'établit entre l'ouverture des fissures de la paroi et la sortie du fluide dont la pression sert de moteur à cette ouverture.

La présente étude s'est principalement focalisée sur les aspects mécaniques du problème, pour lesquels un certain nombre d'hypothèses théoriques et numériques ont été faites, et comparées avec des expériences (plaques et réservoirs soumis à explosion) afin de trouver un accord avec le phénomène étudié. Ainsi, le travail a notamment porté sur :

- la recherche d'une loi de comportement adaptée à la réponse dynamique de la structure. A partir de résultats d'essais de traction quasi-statique et de chargement cyclique, plusieurs lois de comportement ont été analysées. La loi de Chaboche prenant en compte le comportement élastoviscoplastique du matériau s'est avérée la mieux adaptée à représenter le comportement dynamique du matériau ;
- la définition du chargement auquel est soumis le système et sa possible interaction avec la structure. Pour l'étude de ce dernier aspect, le recours à des chargements issus des expériences a été envisagé ;
- le choix de critères de rupture, reposant sur des variables simples ou complexes (déformation, endommagement) ;
- les choix numériques retenus pour la modélisation du système et du processus de rupture.

Plusieurs modèles permettant de représenter la déformation et la rupture dynamique de plaques soumises à l'explosion ont ainsi été réalisés, et leur validité a été analysée par comparaison avec des résultats expérimentaux.

Les données ainsi rassemblées ont permis d'entamer une réflexion sur le cas réel d'un réservoir et les limites d'une méthode déterministe.

Mots clefs : modèle, éléments finis, maillage, sollicitation dynamique, lois de comportement, endommagement, critères de rupture, méthode numérique, fissuration, plaques métalliques.

The rupture of metallic pressurised vessels is a complex phenomenon, that involves a multi-disciplinary approach. Indeed, when the tank fails, a competition takes place between the breach opening and the fluid discharge, of which pressure the rupture evolution originates.

The mechanical aspects of the phenomenon have been mainly investigated in this dissertation. Various theoretical and numerical hypothesis have been done and compared to experiments (metallic plates and bottles subjected to explosion), in order to check their conformity with the phenomenon.

Thus, the research has consisted in:

- finding the most appropriate law describing the material dynamic behaviour. Several material laws have been analysed, on the base of the results of quasi-static and cycling tensile tests. The Chaboche law which describes the material behaviour as elasto-viscoplastic, appeared to be the most adapted;
- defining the loading that is applied on a plate during an explosion, and the way it couples with the structure response. To study this last point, loading recorded during the experiments have been used;
- investigating the most suitable rupture criterion for the study among many criteria, some of them based on simple parameters (strain or stress) and other on more complicated ones (damage)
- proposing numerical choices for the modelling and the rupture process.

Several models describing the swelling and the dynamic rupture of plates subjected to an explosion have been achieved. They have proved to be in accordance with experimental results.

The models have been extended to the case of a real cylindrical vessel.

Keywords : modelling, Finite Elements, dynamic loading, behaviour law, damage, rupture criteria, numerical method, cracking, metallic plates, meshing.