



**HAL**  
open science

## Vulnérabilité des réservoirs aux explosions et aux impacts

Gaëtan Prod'homme, Mathieu Reimeringer

► **To cite this version:**

Gaëtan Prod'homme, Mathieu Reimeringer. Vulnérabilité des réservoirs aux explosions et aux impacts. Rapport Scientifique INERIS, 2012, 2011-2012, pp.44-45. ineris-01869421

**HAL Id: ineris-01869421**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869421>**

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.

## Contributeurs



Gaëtan Prod'homme



Mathieu Reimeringer

# VULNÉRABILITÉ DES RÉSERVOIRS AUX EXPLOSIONS ET AUX IMPACTS

L'effet domino est inhérent à la sécurité et à la sûreté des sites industriels à risque. L'une des définitions peut être: « Action d'un phénomène dangereux affectant une ou plusieurs installations d'un établissement, qui pourrait déclencher un autre phénomène sur une installation ou un établissement voisin, conduisant à une aggravation générale des effets du premier phénomène. » - Arrêté du 29 septembre 2005.

Historiquement, les plus grandes catastrophes industrielles ont été initiées par un événement primaire de faible ampleur qui s'est amplifié par réaction en chaîne, dite effet domino, jusqu'à atteindre des conséquences dramatiques pour l'homme d'une part, puis pour l'environnement naturel et industriel d'autre part. On recense de nombreux accidents dans le monde, dont les conséquences dévastatrices sont dues aux effets dominos faisant suite à une explosion initiale (Feyzin, La Mède, Buncefield, Texas City, Skikda, etc.).

Ces accidents majeurs, associés à de nombreux autres événements tels que l'explosion de l'usine AZF, en 2001, ont conduit les législateurs européens et français à réviser le cadre réglementaire. En France, la loi du 30 juillet 2003, transposée sous la forme de l'arrêté du 29 septembre 2005, impose aux industries, soumises à autorisation, une évaluation quantifiée des risques en termes de probabilité, de cinétique, d'intensité et de gravité. Ainsi, un risque peut être évalué, maîtrisé et enfin accepté. L'analyse de risque doit prendre en compte, pour chaque équipement sensible, les agressions externes pouvant entraîner sa rupture et notamment l'onde de surpression



Figure 1

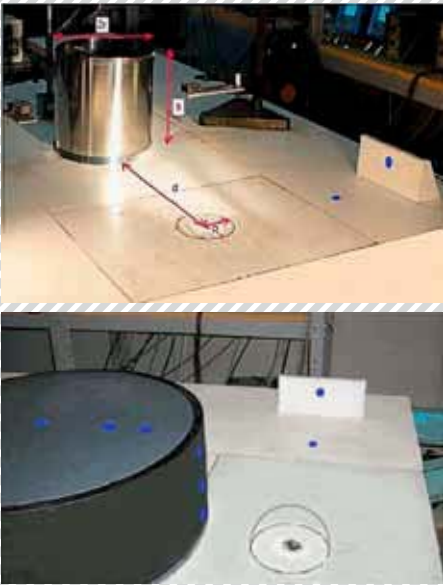
Schéma d'une explosion sur un site industriel.

Figure 2 (ci-contre)

Photographies de la table d'explosion des essais en laboratoire (PRISME - Bourges).

externe. Ainsi, l'objectif du projet VULCAIN est de développer des outils simples et fiables pour l'analyse de la vulnérabilité des réservoirs aux explosions externes. L'étude comprend deux volets majeurs, une partie de modélisation théorique et une partie expérimentale à échelle réduite.

En se basant sur l'observation post-accidentelle d'événements majeurs sur des sites à risque, on remarque que les dégâts de surpression affectant les réservoirs « sensibles », c'est-à-dire de contenance importante, sont majoritairement attribués au flambage circonférentiel de coque mince. Devant la complexité du problème mécanique, la prise en compte des effets de l'explosion sur les réservoirs atmosphériques est souvent limitée à un seuil de surpression admissible indépendant de tout paramètre physique. Des travaux plus récents distinguent plusieurs degrés d'endommagement mécanique et plusieurs cinétiques de perte de confinement. Cette discrétisation des dégâts observés permet de déterminer des valeurs seuils de surpressions maximales admissibles en lien avec une conséquence déterminée. Ces valeurs ont été confortées par des travaux statistiques débouchant sur une quantification des probabilités d'effet domino. Ces méthodologies, issues du retour d'expérience post-accidentel, ont l'avantage d'être applicables de façon systématique pour une analyse de risque sur un site industriel possédant de nombreuses sources potentielles d'explosion directe comme indirecte. Toutefois, le domaine de fiabilité de ces méthodes statistiques est lié au nombre limité d'accidents étudiés et de structures impactées. Il semble complexe de couvrir l'ensemble des scénarios potentiels d'effet domino sans intégrer à la méthodologie les paramètres physiques du réservoir. Afin d'intégrer l'aspect dynamique du comportement des réservoirs à la surpression dans un outil simple, certains auteurs se sont orientés sur des diagrammes pression-impulsion d'endommagement, basés sur une série de simulations éléments finis non-linéaires transitoires. Cette approche poussée possède plusieurs inconvénients limitant sa généralisation, notamment celui d'être très coûteux en temps de calcul. Afin d'insérer le comportement physique des réservoirs aux ondes de surpression dans un outil simple d'analyse, il est proposé un modèle de comportement des coques minces en flambage circonfé-



rentiel, dû à une pression dynamique externe. En se basant sur la théorie des coques de Kirchhoff-Love, modifiée par Donnell, une résolution modale des équations de mouvement du flambage élastique circonférentiel dynamique d'une coque mince imparfaite est proposée. La résolution numérique des équations de mouvement permet d'obtenir le déplacement latéral de la coque en fonction des imperfections initiales de la géométrie. La détermination de l'endommagement est fondée sur une amplification critique des défauts géométriques initiaux associée à la limite d'élasticité du matériau considéré. Ce modèle permet de construire des diagrammes d'endommagement en fonction de la pression maximale et de l'impulsion caractérisant une onde de pression. Cette méthodologie, basée sur un modèle physique, est par la suite comparée à des résultats d'essais de résistance de maquettes de réservoirs à l'onde de pression issue d'une détonation à l'échelle du laboratoire. L'objectif des essais à échelle réduite réalisés est double. Dans un premier temps, il s'agit de mesurer l'évolution spatio-temporelle des pressions incidentes et réfléchies sur un cylindre rigide, afin d'obtenir une répartition temporelle et géométrique des efforts appliqués au réservoir subissant une onde de choc issue de la détonation d'un mélange gazeux. Dans un second temps, il s'agit d'étudier la réponse mécanique des réservoirs métalliques sous cette action en termes

de déformée et de contraintes. Trois réservoirs types, présentant un élanement différent, ont été choisis comme représentatifs des bacs atmosphériques et des gazomètres rencontrés sur les sites industriels pétrochimiques.

Le passage de l'échelle réelle à l'échelle réduite repose, pour l'onde de souffle, sur la similitude de Hopkinson. Pour la structure, on montre que la réalisation d'une maquette dans le même matériau, présentant un rapport  $k$  d'homothétie avec la structure réelle, sollicitée par un chargement de même intensité que le chargement réel mais de durée à l'échelle  $k$ , permettra d'assurer la similitude des périodes de vibration du cylindre, des charges critiques de flambage et des contraintes à l'encastrement. L'exploitation des résultats des essais en laboratoire a aussi aidé à développer un modèle de répartition des surpressions dues à une explosion d'origine gazeuse sur un cylindre. Par ailleurs, les essais sur les maquettes déformables permettent de valider un modèle de comportement des réservoirs en flambement élastique. Ce modèle favorise une identification correcte des modes de déformation et du comportement du réservoir jusqu'à plastification.

Les outils employés et la méthodologie développée dans le projet VULCAIN viennent s'ajouter aux outils existants de modélisation et de gestion du risque. En validant des modèles physiques par le biais de l'expérimentation à l'échelle d'un laboratoire, les travaux ont finalement permis de développer des outils fiables d'évaluation de la vulnérabilité des réservoirs aux accidents majeurs. Ces outils, intégrant les paramètres physiques des réservoirs, doivent permettre une évaluation plus fine des effets dominos lors de la quantification des risques pour la réalisation d'études de dangers. Par ailleurs, ils participent au développement de l'expertise sur les accidents majeurs, expertise nécessaire à la gestion responsable des risques industriels. ●

## Références

Noret E., Prod'homme G., Yalamas T., Reimeringer M., Hanus J.-L., Duong D.-H. *Safety of atmospheric storage tanks during accidental explosions*. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2012 16, 9, pp. 998-1022.

Duong D.H., Hanus J.-L., Bouazaoui L., Pennetier O., Moriceau J., Prod'homme G., Reimeringer M. *Response of a tank under blast loading - part I: experimental characterisation of blast loading arising from a gas explosion*. European Journal

of Environmental and Civil Engineering, 2012 (a), 16, 9, pp. 1023-1041.

Duong D.H., Hanus J.-L., Bouazaoui L., Régat X., Prod'homme G., Noret E., Yalamas T., Reimeringer M., Bailly P., Pennetier O. *Response of a tank under blast loading - part II: experimental structural response and simplified analytical approach*. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2012 (b) 16, 9, pp. 1042-1057.

## Abstract

The occurrence of a chain reaction from blast on atmospheric storage tanks in oil and chemical facilities is difficult to predict. Current French practice for Seveso facilities assumes domino effects occur when the computed overpressure exceeds 200 mbar: a value determined from

accident data. This could lead to conservative or dangerous assessments. To assess the validity of simple analytical models as design tools and to check the conformity of numerical simulations, small scale experimental studies were carried out to establish a benchmark. The first study presents blast test results performed on rigid instrumented

cylinders to quantify the pressure space time loading distribution. A second study was performed on flexible cylinders at a reduced scale to quantify the structural response. Based on experience of the most recent accidents in France a simplified semi-analytical model based on Donnell's equations and critical imperfection amplification thresholds was used to provide

damage predictions. Numerical results show good agreement with the experimental data. Finally, reliable tools to predict atmospheric oil tank blast resistance have been developed. Some damage diagrams in the form of pressure impulse curves and safety recommendations for stakeholders are proposed to reduce domino effect risk.