# Etude de la réponse de structure de type capacité et bâtimentaire à l'effondrement et à l'explosion

**Duy Hung DUONG** – duy-hung.duong@ensi-bougres.fr

Directeur / co-directeur de thèse : Patrice **BAILLY** – Institut PRISME – BOURGES, Laurent **DAUDEVILLE** – L3S-R – GRENOBLE, Jean-Luc **HANUS** – Institut PRISME - BOURGES

Thèse suivie à l'INERIS par Mathieu **REIMERINGER** – Direction des Risques Accidentels – Résistance des structures

## Contexte

Cette thèse s'inscrit dans le cadre des activités de recherche de l'INERIS en matière de sécurité des structures soumises à des événements d'origine accidentelle. Cette préoccupation rejoint celle des équipes « Risques Explosions et Structures » de l'Institut PRISME d'Orléans et « Risques et Vulnérabilité » du L3S-R de Grenoble qui s'intéressent également toutes deux à la vulnérabilité des structures aux actions accidentelles.

Cette recherche est notamment conduite par les trois partenaires dans le cadre d'un projet ANR-07-PGCU intitulé VULCAIN. Celui-ci a pour but d'améliorer l'évaluation de la vulnérabilité d'une structure face à des sollicitations dynamiques sévères (explosions, chutes de blocs, accident grave d'avion, agression malveillante). L'enjeu est de produire des outils permettant de modéliser le chargement induit et la réponse de la structure (métallique ou en béton armé/précontraint) afin d'évaluer son risque de défaillance (dysfonctionnement, ruine, effets dominos,…).

## Objectifs

L'objectif de la thèse est d'apporter une base solide de résultats expérimentaux précis pour valider les modèles prédictifs simplifiés ou pour alimenter des modélisations numériques plus fines. Ces outils pourraient, à terme, constituer des aides précieuses pour l'évaluation de la vulnérabilité de structures en milieu urbain dans le cadre de la mise en place des PPRTs (plan de prévention des risques technologiques).

## Avancement des travaux

### Effondrement de structures bâtimentaires

Mes premiers travaux ont porté sur la réponse de structures en béton armé. J'ai travaillé sur l'implémentation au niveau local du modèle (poutre) de comportement membrane-flexion (modèle GLRC de Koechlin) qui permet d'améliorer les lois de comportements du béton armé présentes dans le code d'effondrement (MECSICA). Les calculs GLRC obtenus ont été comparés à des résultats de référence obtenus en utilisant une modélisation de poutre multifibres (PMF) du logiciel aux éléments finis CASTEM. Dans l'approche multifibre, le comportement non linéaire des matériaux est pris en compte par une loi de comportement élastoplastique à écrouissage cinématique pour les aciers et par une loi de comportement avec endommagement pour le béton (loi de La Borderie). La comparaison des différents calculs se fait sur le comportement moment-courbure de la section centrale d'une poutre sollicitée en flexion simple alternée. Les résultats obtenus pour un grand cycle de chargement sont très satisfaisants. Les deux courbes sont cohérentes.

### Réponse à l'explosion de réservoirs métalliques

Les 4 types de réservoirs pour nos études ont été choisis. Ces réservoirs sont sous une pression proche de la pression atmosphérique. Ce sont les réservoirs les plus souvent rencontrés dans les études de danger. Leurs caractéristiques précises sont proposées et utilisées en étude expérimentale. Il s'agit de 3 bacs atmosphériques et 1 gazomètre, ayant des caractéristiques géométriques différentes (hauteur, élancement) afin d'obtenir des réservoirs les plus représentatifs possibles.

Des lois de similitude énergétique (Hopkinson) et mécanique ont été mises en œuvre pour dimensionner les essais à l'échelle réduite. Les essais à l'échelle réduite nous permettent de réduire la durée et les coûts des études expérimentales en permettant toutefois d'obtenir des résultats transposables à l'échelle réelle. En prenant un facteur d'échelle k pour les dimensions des réservoirs et les distances source d'explosion-réservoir, nous obtenons les mêmes caractéristiques

mécaniques concernant : le niveau de chargement, la période propre de réservoir assimilé à une poutre ou à une coque, la contrainte à l'encastrement, le flambage, le comportement, les coefficients d'aspect. D'un point de vue énergétique, la durée de surpression et l'impulsion sont multipliées par le coefficient k. La similitude de renversement de réservoirs n'est pas garantie dans nos études. Le coefficient k est le rapport à la puissance tiers entre l'énergie réduite et celle réelle. Le facteur d'échelle retenu a une valeur comprise entre 1/90 et 1/140. Ces valeurs ont été choisies compte-tenu des conditions d'essai (table d'explosion) et de dimension (diamètres des réservoirs compris entre 12m et 70m), et compte-tenu de contraintes de disponibilité de tôles fines sur le marché. Les tôles retenues sont du type acier AISI 304 avec une unique épaisseur de 0,1mm. Le dimensionnement des raidisseurs et des toits coniques sans charpente ou sphériques avec charpente ont été calculés selon la norme Eurocode.

Un nouveau modèle de chargements consécutifs à la détonation d'un mélange gazeux sur un cylindre a été tiré en comparant des résultats d'essais de S.trélat avec une loi de Lindberg modifiée. Ce modèle est identifié à partir de la surpression réfléchie de la génératrice en face de l'explosion et de la surpression de contournement pour l'angle d'incidence égal à 90°. Le modèle proposé dépend de cosinus à la puissance trois de l'angle d'incidence.

Les courbes critiques de flambages pression-impulsion pour nos trois enceintes métalliques ont été déterminées. Ces courbes nous permettent de savoir à quel niveau de surpression incidente, le flambage apparait. Ces courbes critiques dépendent de l'énergie de l'explosion. C'est-à-dire qu'il dépend du rayon d'une bulle de savon. Lorsqu'il est égal à 8 cm, il faut une surpression incidente supérieure à 500 mbar afin de faire apparaitre le flambage des réservoirs.

## Perspectives

Le montage complet des matériels est en cours, nous élargissons en parallèle le domaine d'application de ce modèle de chargement en champs plus lointain. Les simulations numériques par Autodyn sont envisagées afin de comparer avec les résultats expérimentaux. L'implantation du modèle de Koechlin dans le code d'effondrement existant est envisagée.