

Effets dominos: impacts thermiques des incendies sur les réservoirs et canalisations industriels

Le CNRI, Giat industries et l'Ineris viennent d'entreprendre une étude des impacts thermiques de différents types d'incendies sur des canalisations et réservoirs industriels. L'objectif de cette étude est de développer, de valider et de produire des outils de calcul permettant d'appréhender, de façon aussi réaliste que possible, l'impact thermique d'incendies sur des équipements tels que les canalisations et les réservoirs industriels tout en prenant en compte les spécificités à la fois des sources et des cibles.

Contexte. Les installations industrielles peuvent être endommagées en raison d'agressions thermiques accidentelles. De fait, elles peuvent devenir elles-mêmes le siège d'accidents majeurs (effets dominos). A l'origine de ces agressions, il convient principalement de citer les incendies "classiques" tels que les feux de flaque, de type chalumeau mais aussi des phénomènes plus rares mais donnant matière à des boules de feu au rayonnement intense comme le BLEVE ou encore le Boil-Over. Dès lors, dans le cadre des études de dangers et plus particulièrement de l'étude des effets dominos, de nombreuses questions apparaissent, par exemple, la pertinence de considérer un éclatement de tel ou tel réservoir consécutivement à un apport de chaleur provenant d'un incendie environnant ou encore sur les gains quantitatifs attendus par la mise en place de matériaux d'isolation thermique ou la mise en place de moyens de refroidissement. Or, s'agissant de structures, pourtant courantes dans des environnements industriels, comme des canalisations ou des réservoirs (cylindriques ou sphériques), il n'y a pas ou peu d'outils qui soient assez fins pour répondre de manière précise aux questions posées et en même temps, de mise en œuvre suffisamment rapide pour être compatibles avec les contraintes de délai des études courantes.

Exemple . La figure 1 montre typiquement les transferts de chaleur qui peuvent s'exercer sur une canalisation soumise à un feu torche.

Pour traiter ce type de problématique, il faut, en toute rigueur, savoir définir avec précision d'une part, le phénomène agresseur par analyse des modes de transferts thermiques et d'autre part, la réponse thermique de l'équi-

pement agressé en intégrant la présence d'un fluide qui peut modifier cette réponse thermique. A terme, ce programme devrait permettre de développer des outils de calcul adaptés aux études de dangers.

Caractérisation expérimentale du phénomène de type feu torche.

Dans cette perspective, un dispositif expérimental a été mis en place au sein de l'Ineris permettant de caractériser dans un premier temps le phénomène de type feu torche pour trois différents gaz que sont le gaz naturel, le propane et l'éthylène. La figure 2 présente ce dispositif qui est constitué en particulier d'une bouteille de gaz et d'un réchauffeur permettant au gaz d'être réchauffé pour maintenir le débitmètre en bon fonctionnement. Ce débitmètre est utilisé pour réguler la vitesse d'éjection du gaz (diamètre d'éjection restant inchangé durant tous les essais) afin d'obtenir un feu torche en régime stationnaire. Le jet gazeux est ainsi défini par un débit massique et une température.

Ensuite, afin de caractériser le feu torche en termes de géométrie (décolle-

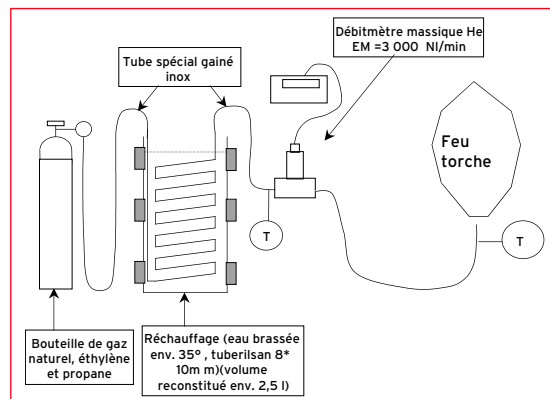


Figure 2: Dispositif. © Ineris

ment, longueur de flamme,...) mais également de puissance thermique dégagée, divers moyens de mesures viennent se greffer sur ce dispositif initial tels que :

- d es thermocouples placés dans l'axe du jet pour mesurer les températures de gaz chauds le long de la flamme,
- u ne sonde bi-directionnelle anémométrique se déplaçant le long de l'axe de la flamme pour mesurer la vitesse des gaz chauds,
- d es fluxmètres situés sur les côtés et au-dessus de la flamme,
- u n système de toise pour définir les dimensions de la flamme par visualisation à l'aide d'une caméra vidéo et infrarouge.

Les essais sont réalisés dans la galerie incendie de l'Ineris afin de faire abstraction de toutes perturbations météorologiques (vent intempestif). La figure 3 présente une première visualisation instantanée de la flamme d'éthylène pour des débits allant de 2,5 g/s à 6,3 g/s.

Pour ces essais, sur l'éthylène, le nombre de Reynolds était largement supérieur à 2 000 ce qui implique que le régime d'écoulement est pleinement turbulent. Dans ces conditions, le feu torche vertical a une forme de tronc de cône de bases circulaires. Lors de la campagne d'essais, les différents moyens de mesure mis en place per-

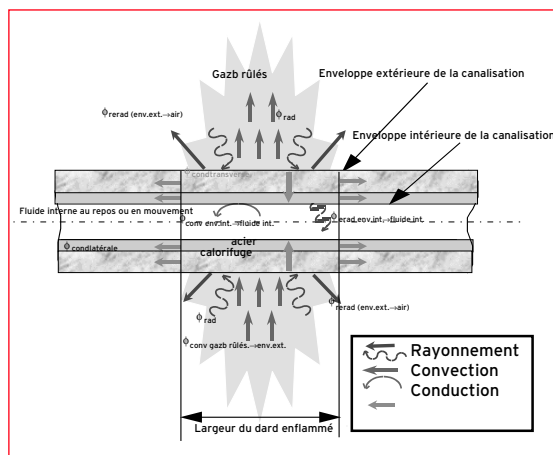


Figure 1: Transfert de chaleur. © Ineris

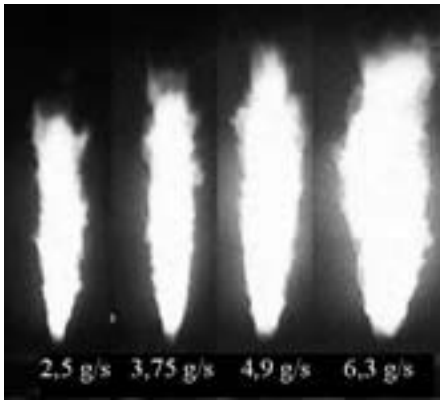


Figure 3: Flamme d'éthylène à différents débits. © Ineris

mettront de caractériser la hauteur de flamme, la dimension de ces bases circulaires ainsi que le pouvoir émissif du feu torche. Ces premières données expérimentales pourront d'ores et déjà être comparées aux modèles analytiques les plus couramment utilisés dans les études de dangers que sont les modèles de SHELL ou de l'API RP 521 avant de passer à la campagne d'essais sur les équipements.

Acquisition. Dans le cadre de ses recherches sur le fonctionnement des matériaux énergétiques, Giat Industries a pu acquérir des compétences dans les domaines de l'énergétique et de la combustion et s'appuie sur les travaux menés dans le cadre des programmes "Munitions à Risques Atténués" (MURAT) visant à protéger les cibles énergétiques explosives contre les agressions thermiques et mécaniques extérieures. Des munitions présentant des caractéristiques d'invulnérabilité importantes (insensibilité aux incendies, aux impacts de fragments rapides, de balles) sont d'ores et déjà industrialisées à Giat Industries. Des moyens de caractérisation des sources thermiques et de tests permettant de déterminer, notamment, le comportement de réservoirs-maquettes contenant des produits énergétiques face à un incendie de kérosène ont été mis au point (Fig. 4), validant par ailleurs des moyens de modélisation permettant d'évaluer les performances et les sensibilités des matériaux énergétiques.

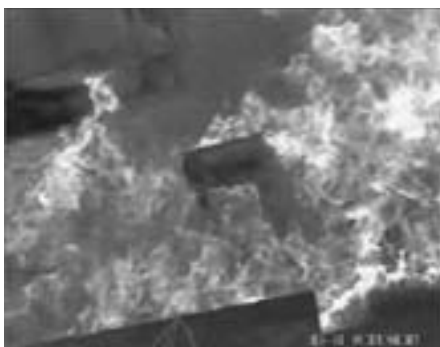


Figure 4: Moyens de caractérisation. © Giat Industries

Stratégies d'essais. Canalisations et réservoirs sont d'abord découplés pour la réalisation des essais. La grande variété de réservoirs utilisés dans l'industrie oblige à restreindre et définir une stratégie d'investigation. Il faut donc définir les caractéristiques des structures à étudier : géométrie (forme, dimensions, épaisseurs des parois, soupapes...), nature (matériau constitutif), contenu (liquide inflammable, liquide non inflammable, gaz...), localisation (à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment) et environnement (autres réservoirs à proximité, stockage de produits sensibles, bâtiments...).

Diverses configurations sont envisagées en faisant varier le positionnement du phénomène agresseur par rapport à la structure agressée. L'analyse des divers modes de transfert thermique (conduction, rayonnement, convection, changements de phase) se fait sur la base des informations extraites de chacune des scènes ainsi définies. Chacun des modes de transfert thermique est lié à un processus physique bien déterminé. Par exemple, l'énergie thermique d'un milieu matériel correspond à l'énergie cinétique de ses constituants fondamentaux. Cette énergie peut être perdue ou gagnée mais elle se conserve. Si l'échange a lieu par interaction directe avec les particules voisines (chocs par exemple), il s'agit du phénomène de conduction. Si cet échange se produit par absorption ou émission de radiations électromagnétiques, il s'agit du rayonnement thermique. Si l'échange a lieu à échelle macroscopique par mélange des diverses parties d'un fluide à des températures différentes, il s'agit du phénomène de convection. Dans la réalité physique, la plupart du temps, les trois modes de transfert thermique sont intimement liés. De plus, il peut arriver que se produise un changement de phase (changement d'état physique).

Différents cas de figure peuvent se rencontrer :

- soit l'un des modes est prépondérant et les autres peuvent être négligés,
- soit les différents modes ont une influence comparable et ils peuvent être découplés et traités séparément.

Il s'agit de savoir dans quel cas on se situe pour cette étude et donc comment se déclinent les modes de transfert en fonction des diverses configurations précitées.

Modélisation. Le recensement et l'examen des codes de calcul existants permettent d'en évaluer les capacités et les lacunes. Ils autorisent bien évidemment la prévision des effets d'un incendie sur différents types de structure. Cependant, ces codes limitent souvent

la scène étudiée et les caractéristiques spécifiques des cibles. Les résultats fondamentaux de cette étude pourront, dans un second temps, être intégrés à un projet plus global de modélisation des interactions complexes entre les événements catastrophiques.

En ce qui concerne les types d'approches, deux voies sont possibles : déterministe ou non déterministe. La plupart des codes disponibles sur le marché sont basés sur une approche déterministe. Des recalages par rapport aux essais permettront d'adapter ces codes aux problèmes étudiés. Cependant, face à des systèmes mêlant aussi bien les états (solides, liquides et gaz) que les phénomènes (conduction, convection et rayonnement), le recours aux outils des sciences de la complexité tels que les automates cellulaires peuvent s'avérer utiles. En effet, ces méthodes de simulation (probabiliste ou aléatoire) ont déjà montré leur efficacité, notamment pour l'évaluation de la propagation des feux de forêt (Fig. 5).

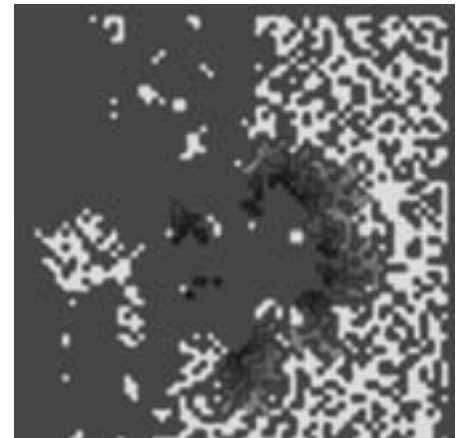


Figure 5: Evaluation de la propagation. © Albert Schueller, Whitman College

Prévention et protection. La connaissance des relations entre source et cible permettra par la suite d'évaluer la pertinence de différents moyens de prévention et de protection en termes d'efficacité et de coût. En effet, pour limiter les effets dominos, plusieurs stratégies actives et/ou passives sont envisageables.

Stéphanie Patej, Thierry Durussel

Ineris Verneuil-en-Halatte

Peggy Lamy, Frédéric Saulnier

Giat Industries Besançon

Membre du réseau CNRI

Erratum

Dans la lettre *Risques industriels* N° 13, le copyright correct des figures de l'article "Inde : développement et risque industriel" en page 3 est le suivant :
© Luc Brunet (CNRI)