



HAL
open science

Comportement au feu de réservoirs entièrement composites destinés au stockage de gaz à très haute pression

Christophe Proust

► **To cite this version:**

Christophe Proust. Comportement au feu de réservoirs entièrement composites destinés au stockage de gaz à très haute pression. Rapport Scientifique INERIS, 2013, 2012-2013, pp.16-17. ineris-01869451

HAL Id: ineris-01869451

<https://ineris.hal.science/ineris-01869451>

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.



Comportement au feu de réservoirs entièrement composites destinés au stockage de gaz à très haute pression

CONTRIBUTEURS



Christophe Proust

NOTES

(1) *Thermally activated Pressure Relief Device.*

(2) Agence nationale de la recherche.

L'usage de l'hydrogène en tant que vecteur d'énergie est envisagé comme complément ou alternative à l'électricité, notamment pour les applications où une grande autonomie est requise, tel le transport automobile [A]. Parmi différentes options possibles, le stockage sous forme gazeuse à très haute pression paraît techniquement le plus favorable [B]. Dans le cas spécifique de l'hydrogène, des réservoirs entièrement composites, dits de type IV, ont été conçus : l'hydrogène est contenu dans une enceinte fine (quelques millimètres) de plastique qui assure l'étanchéité, enveloppée par l'extérieur par un bobinage serré de fibres de verre (de quelques dizaines de millimètres) noyées dans une résine époxy qui assure la résistance mécanique. Cette stratégie est techniquement supérieure aux traditionnelles « bouteilles » en métal, non seulement pour des raisons de poids mais aussi eu égard à la fatigue et au vieillissement sous hydrogène.

Cependant, ces réservoirs en matière plastique sont plus sensibles aux effets des incendies et éclatent assez rapidement (en quelques minutes dans un feu généralisé) avec des effets catastrophiques [C]. C'est pourquoi il est prévu de les équiper d'orifices de décharge (TPRD⁽¹⁾) qui s'ouvrent sous l'effet de la chaleur et vident le contenu du réservoir de façon à éviter l'éclatement. Néanmoins, le retour d'expérience indique que cette

technologie n'est pas efficace, par exemple, si le feu est localisé ou si l'orifice de décharge est trop petit. Par ailleurs, nul ne s'inquiète des effets de jet de flamme qui peuvent être considérables lorsque le débit est important [D].

L'objectif de ces travaux est de fournir des éléments de compréhension du comportement des réservoirs composites lorsqu'ils sont soumis à un feu et d'en déduire les caractéristiques que devraient avoir les systèmes de protection comme les TPRD. Ces travaux ont été réalisés en partenariat étroit avec Air Liquide et avec le soutien financier de l'ANR⁽²⁾.

L'installation d'essai

Les expériences ont été réalisées dans une galerie du site de l'INERIS à Montlaville **Figure 1**, avec pour objectif de contenir les effets de l'éclatement des réservoirs. Un bac de 0,7 m² contenant de l'heptane, liquide de référence en matière d'incendie, est utilisé comme matière inflammable. Il est alimenté en permanence. Le taux de régression du feu est de 50 g/m²/s, tandis que sa puissance nominale est de 1,5 MW. En utilisant une maquette métallique du réservoir comme calorimètre, on a pu déterminer que le flux thermique net reçu par le réservoir est de 110 kW/m², ce qui est une valeur « haute » et témoigne d'une « agression » violente.

L'instrumentation se compose pour l'essentiel de six thermocouples K sur la périphérie du réservoir et d'un capteur piézorésistif pour suivre l'évolution de la pression interne **Tableau 1**. L'hydrogène a été remplacé par de l'hélium afin d'éviter une pressurisation excessive de la galerie sous l'effet de la combustion de l'hydrogène après l'éclatement. Les conditions d'essai figurent dans le **Tableau 1**. Un seul modèle de réservoir a été testé.

Résultats

Deux exemples de comportement au feu de réservoirs dépourvus de TPRD sont présentés sur la **Figure 2**.

Des températures relativement stables de 800 °C sont atteintes alors que la pression interne ne semble guère varier pendant 300 secondes, signifiant que le front de chaleur n'est pas parvenu aux couches internes du composite. À la pression nominale, la rupture se produit au bout de 6 minutes environ, mais ce délai varie inversement proportionnellement à la pression

Références

[A] McKinsey & Company. *A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis – The role of battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles*, 2010, info@zeroemissionvehicles.eu

[B] Sarkar A., Banerjee R. *Net energy analysis of hydrogen – storage options*. International Journal of Hydrogen Energy, 2005, 30(8), pp. 867–77.

[C] Weyandt N. *Vehicle bonfire to induce catastrophic failure of a 5,000-PSIG Hydrogen Cylinder Installed on a Typical SUV – Final report – SwRI Project N° 01.06939.01.005 – 2006*, 28 pages.

[D] Proust C., Jamois D. Studer E., *High pressure hydrogen fires*, International Journal of Hydrogen Energy, 2011, vol. 36, pp. 2367-2373.

Perrette L., Wiedemann H.K. *CNG bus fire safety: Learning from recent accidents in France and Germany*. SAE International, 2007. Zalosh R. *CNG and Hydrogen Vehicle Fuel Tank Failure Incidents, Testing, and Preventive Measures*, 2008.

initiale **Tableau 1**. Lorsque la pression initiale n'est plus que de 178 bar, le réservoir n'éclate plus mais se met à fuir, si bien que le contenu est évacué de manière « naturelle ». L'expertise du réservoir a montré que l'enveloppe interne s'est désagrégée, ainsi que la résine, permettant au gaz de s'échapper de manière diffuse à travers les fibres.

Ce résultat important a été mis à profit, pour définir un TPRD « optimisé ». Pour le type de réservoir testé, l'état de l'art suggérerait un orifice de décharge de 3 à 6 mm qui s'activerait en typiquement 90 secondes, alors que la pression dans le réservoir est de 700 bar. Une flamme longue de 11 m apparaîtrait... D'après nos résultats d'essais, pour ce même délai d'activation, on pourrait prévenir l'éclatement à condition que la pression passe en dessous de 350 bar et de 200 bar, respectivement en moins de 9 minutes et 11 minutes. Comme le confirme l'expérience (*dernière ligne du tableau 1*), un orifice de 0,5 mm suffit pour produire une flamme très réduite: 0,5 m de longueur. Cela paraît plus acceptable.

Perspectives

La technologie du stockage d'hydrogène sous très forte pression pourrait être envisagée grâce à la mise au point de réservoirs composites de type IV (sans conteneur métallique). L'un des enjeux est la résistance de ces capacités à l'incendie. Ces travaux sont une contribution à cet effort grâce à la conduite d'essais à l'échelle réelle. L'une des avancées majeures est de constater que le réservoir peut fuir de manière diffuse sans éclater, même dans des feux très intenses. Cette expérimentation a servi à mettre au point un système automatique de dépressurisation de dimensions suffisamment réduites pour que le risque résiduel (le feu torche d'hydrogène) paraisse tolérable. Ces développements s'inscrivent dans une démarche plus globale de définition de stratégie de prévention de ce type de réservoir.

Figure 1

Vues de l'entrée de la galerie et de l'installation d'essai.



Figure 2

Évolution des températures et de la pression interne pendant l'incendie (pression initiale de 700 bar à gauche et 178 bar à droite).

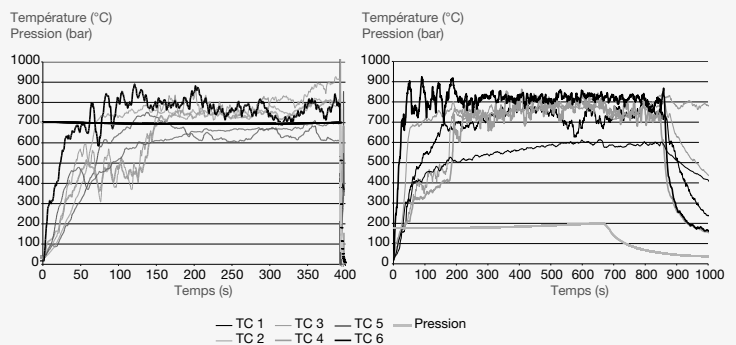


Tableau 1

Conditions d'essai.

| Réservoir | Pression initiale | Temps à l'éclatement | Taille TPRD | Position des thermocouples |
|------------------|-------------------|---|-------------|----------------------------|
| type IV, 36 L | 700 bar | 6 min 32 s | sans | |
| | 700 bar | 5 min 20 s | | |
| | 350 bar | 9 min 49 s | | |
| | 178 bar | Pas d'éclatement - fuites à 11 min 4 s | | |
| | 700 bar | non | 0,5 mm | |

ABSTRACT

High-pressure full composite cylinders are a practical solution aiming at containing high pressure gases (up to 700 bar or even more) at an affordable cost and weight. Since they are not expected to resist in a large fire and may burst, they may be equipped with a TPRD (Thermally activated Pressure Relief Device). These devices are designed

to release the internal content of the reservoir once a preset temperature is surpassed. When the gas is flammable, like hydrogen for which this full composite reservoir+TPRD technology is more specifically designed, the activated release may produce a very hazardous jet flame [D] to protect them from fire. In the event of a fire, the TPRD prevents the cylinder from bursting by detecting high temperatures and releasing the pressurized gas. The current safety performance of both the vessel and the TPRD is demonstrated by an engulfing bonfire test. However, experience shows that

totally unacceptable jet flames may result (up to 11 m long for a 40 l reservoir...). The objectives of this research were to investigate the behaviour of isolated full composite reservoirs (without TPRD) engulfed in a fire (figure 1) and to select the appropriate TPRD size as to obtain an efficient but yet safe release. A major finding is that those reservoirs may leak in a diffuse manner without bursting if the internal pressure is not too high (table 1). Following a much smaller TPRD could be used for which the jet flame length becomes tolerable.