

Comportement au feu de réservoirs composites de stockage d'hydrogène sous pression

Fabien Fouillen, Damien Halm, Eric Laine, Mickael Gueguen, Denis Bertheau,
Tom van Eekelen

► To cite this version:

Fabien Fouillen, Damien Halm, Eric Laine, Mickael Gueguen, Denis Bertheau, et al.. Comportement au feu de réservoirs composites de stockage d'hydrogène sous pression. Rapport Scientifique INERIS, 2018, 2017-2018, pp.10-11. ineris-02044813

HAL Id: ineris-02044813

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-02044813>

Submitted on 21 Feb 2019

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 composites de stockage d'hydrogène sous pression

Contributeur

Fabien
FOUILLEN

/

Collaborateurs

Damien HALM,
Eric LAINÉ,
Mikael
GUEGUEN
et Denis
BERTHEAU
(Institut Pprime,
CNRS, ENSMA,
université
de Poitiers),

Tom VAN
EEKELEN
(Samtech SA –
a Siemens
company)

L'utilisation de l'hydrogène à grande échelle, et notamment pour les véhicules, nécessite de maîtriser la fiabilité de stockage de ce gaz à très haute pression. Les réservoirs de type IV constitués d'une coque composite enroulée sur un revêtement en polymère, sont aujourd'hui considérés comme une technologie mature. Afin de mieux caractériser les conditions à éviter pour observer une défaillance de ce type de stockage dans des conditions accidentelles, en particulier un incendie, le projet FireComp (projet de recherche pré-normatif de trois ans) vise à caractériser le comportement thermomécanique de ce type de stockage.

Objectifs et méthode

L'un des objectifs du projet FireComp était de générer des données expérimentales permettant de comprendre le comportement des bouteilles composites sous pression lorsqu'elles sont

soumises à un incendie et de valider des modèles thermomécaniques développés. À cette fin, l'Ineris a conduit une campagne expérimentale à grande échelle en deux étapes, sur des bouteilles sous pression.

La première étape a consisté à déterminer les conditions d'incendie à retenir pour réaliser les tests. Ces conditions doivent être représentatives des situations accidentelles et correspondre aux scénarios les plus défavorables en regard de la vulnérabilité présumée au feu des bouteilles. Ces essais préliminaires ont été réalisés avec un cylindre en acier de mêmes dimensions qu'une bouteille d'H₂, instrumenté afin de déterminer le flux de chaleur incident et d'enregistrer des données expérimentales utiles à comparer aux résultats de la modélisation. La configuration qui assure une répartition homogène de l'énergie autour de la bouteille a été retenue: utilisation de quatre injecteurs (débit d'hydrogène de 1,5 g/s et débit d'oxygène de 0,5 g/s par injecteur) et utilisation d'un confinement en béton. Cette configuration permet d'étudier le comportement de l'échantillon en accord avec les résultats obtenus lors d'essais réalisés précédemment par l'Ineris, avec un feu conventionnel d'heptane.

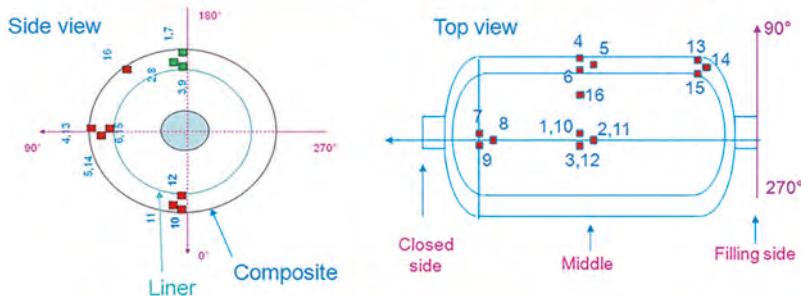
La seconde partie de l'étude a été réalisée sur des bouteilles composites réelles, en utilisant l'agression thermique déterminée précédemment. Une instrumentation complète des réservoirs a été mise en place pour suivre le comportement de son enveloppe pendant et après l'incendie avec des thermocouples situés au cœur de la paroi composite et la mesure de la pression interne (Figure 1).

Les essais ont été effectués sur des cylindres composites de 36 litres de volume à pression nominale de service puis à des pressions inférieures. Le temps de rupture et la température de la paroi composite ont été enregistrés. Une transition entre un régime de rupture et un régime de fuite a ainsi pu être mise en évidence (Figure 2).

Résultats

Ces tests ont permis de définir une stratégie de dépressurisation, qui permet de maintenir la bouteille à une pression interne ne conduisant pas à l'éclatement. Pour les tests avec une pression

Figure 1 / Montage expérimental, confinement et position des thermocouples.



■ 2,8 → Means that thermocouples 2 and 8 are superposed in this view

initiale de 700 et 525 bars, l'éclatement se produit après 238 s et 311 s respectivement. En revanche, aucun éclatement n'est observé pour les essais à pression initiale inférieure (250 et 100 bars), mais une diminution progressive de la pression est mise en évidence (après 400 s et 490 s respectivement) (Figure 3).

En parallèle des essais, un modèle a été développé en s'appuyant sur des données d'entrée simples (géométrie axisymétrique, flux homogène, rupture à la première fibre, critère de fuite basé sur la température à l'interface liner/composite...). Ce modèle permet de prédire de manière satisfaisante en regard des résultats expérimentaux, aussi bien le délai avant explosion à différentes pressions internes, que le délai avant fuite pour des pressions inférieures. La simulation axisymétrique fournit très rapidement des résultats fiables pour des incendies enveloppants.

Ce modèle étant capable de prédire l'éclatement ou la fuite d'une bouteille, il permet de limiter les essais et de concevoir des dispositifs de décompression capables d'équiper les réservoirs d'hydrogène pour s'assurer que la pression se situe toujours dans la zone de sécurité.

Les simulations devront également être étendues aux cas réels 3D afin de traiter des configurations de feu particulières (impact localisé, flux appliqué non homogène, cylindres partiellement protégés...). En ce qui concerne la modélisation du comportement des matériaux, le critère de rupture doit être amélioré: l'utilisation d'un modèle d'endommagement capable de simuler la dégradation progressive du composite et la nature probabiliste de la rupture des fibres permettrait de mieux simuler la pression d'éclatement.

Référence

Halm Damien; Fouillen Fabien; Laine Éric; Gueguen Mikael; Bertheau Denis; Van Eekelen Tom. Composite pressure vessels for hydrogen storage in fire conditions: Fire tests and burst simulation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, 42 (31) : p. 20056-20070

ABSTRACT /

A type IV composite pressure vessel subjected to fire may burst because of the degradation of the outer layers, but when the inner pressure is less than a critical value, leak is observed instead of burst. This phenomenon is due to the heat transfer through the composite shell which leads to liner melting. In order to characterize this failure mechanisms, engulfing fire tests have been performed in the framework of the FireComp project whose objective is to understand and simulate the fire performance of hydrogen storage. An experimental set-up has been implemented to expose the cylinders to fire by the means of gas injectors. A complete instrumentation of the tank was implemented to follow the behavior of its envelope during and after the fire using thermocouples located inside its composite wall, and pressure measurement inside the vessel. A simple Finite Element model has been developed to simulate the coupled effects of mechanical damage and temperature. This approach accurately predicts the time leading to burst of the composite tank, as well as the transition between burst and leak.

Figure 2 / Évolution de la pression interne - Influence de la pression initiale.

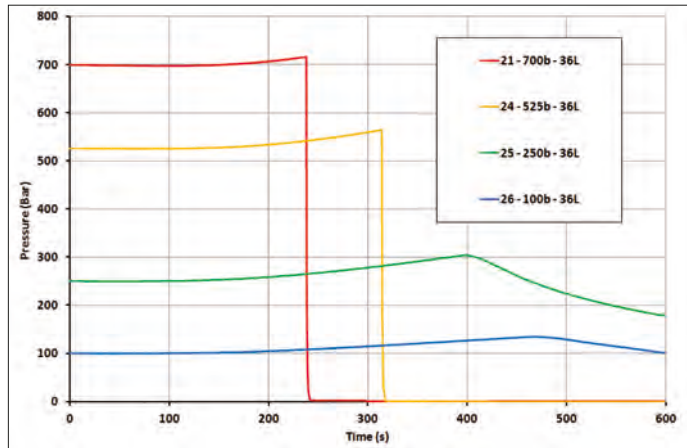


Figure 3 / Courbe d'éclatement pour un flux de 100 kW/m².

