



**HAL**  
open science

# Fuites d'hydrogène sous pression enflammées et non enflammées : concentration, mesure de turbulence et effets de surpression

Jérôme Daubech

► **To cite this version:**

Jérôme Daubech. Fuites d'hydrogène sous pression enflammées et non enflammées : concentration, mesure de turbulence et effets de surpression. Rapport Scientifique INERIS, 2015, 2014-2015, pp.12-13. ineris-01869522

**HAL Id: ineris-01869522**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869522>**

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.



# FUITES D'HYDROGÈNE SOUS PRESSION ENFLAMMÉES ET NON ENFLAMMÉES: concentration, mesure de turbulence et effets de surpression

Les études de sécurité relatives aux sites de production d'hydrogène ou au système pile à combustible hydrogène montrent que dans la plupart des cas l'explosion et plus particulièrement l'explosion à la suite de l'inflammation retardée d'une fuite gazeuse sous pression donne les distances d'effet maximales. L'évaluation des conséquences de ce type d'explosion nécessite des modèles précis et validés. De nombreux travaux [1; 2; 3; 4] se sont intéressés à l'explosion d'un jet gazeux turbulent à la suite d'une inflammation retardée. Ils se focalisent principalement sur les mesures de concentration et la dépendance des effets de pression à la position du point d'inflammation. Cependant, aucun d'entre eux n'apporte de données expérimentales précises quant à la mesure de turbulence dans le nuage inflammable. En effet, l'intensité de turbulence et la

taille des structures tourbillonnaires déterminent la vitesse de flamme et par conséquent les surpressions d'explosion. Pour combler ce manque, l'INERIS et deux industriels se sont associés dans le cadre d'un projet de recherche partenariale pour étudier expérimentalement les fuites d'hydrogène sous pression non enflammées et enflammées.

## Méthode

Le dispositif expérimental à moyenne échelle se compose d'une cuve de stockage de 5 m<sup>3</sup> sous une pression initiale de 40 bars reliée par un flexible de 35 mm de diamètre à un orifice circulaire de 12 mm. L'orifice de rejet est situé à 1,5 m du sol et le temps de rejet est de l'ordre de 20 secondes (Figure 1). Afin de caractériser correctement l'ensemble des paramètres physiques, la campagne expérimentale se décompose en

2 phases: étude de la dispersion de l'hydrogène et inflammation retardée de ce rejet.

La mesure des concentrations d'hydrogène au sein de l'enveloppe inflammable a été réalisée au moyen d'analyseurs paramagnétique d'oxygène. Les champs de vitesse et de turbulence de l'écoulement gazeux ont été mesurés au moyen de sondes de Pitot bidirectionnelles couplées à un capteur de pression différentielle. Les deux types de capteurs sont installés sur un mât instrumenté. Ce mât est déplacé dans le rejet pour permettre la mesure des différents paramètres.

Les mesures de surpression d'explosion sont réalisées au moyen de capteurs de pression piézo-resistifs 0-2 bar. Ces capteurs sont enchâssés dans les supports lenticulaires permettant d'éviter le phénomène de réflexion d'onde de pression sur le capteur. Trois capteurs

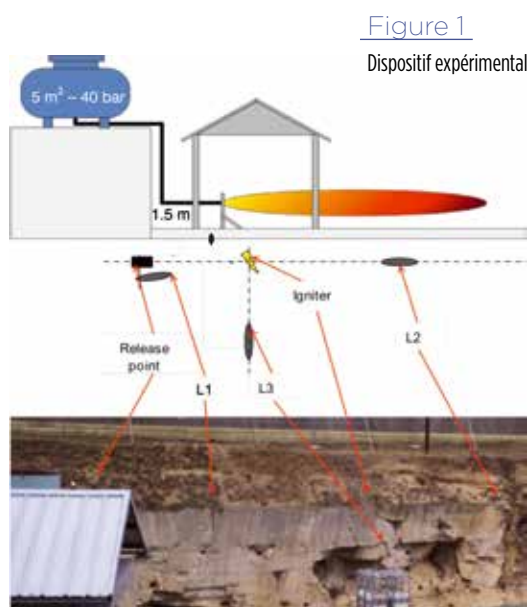


Figure 1  
Dispositif expérimental

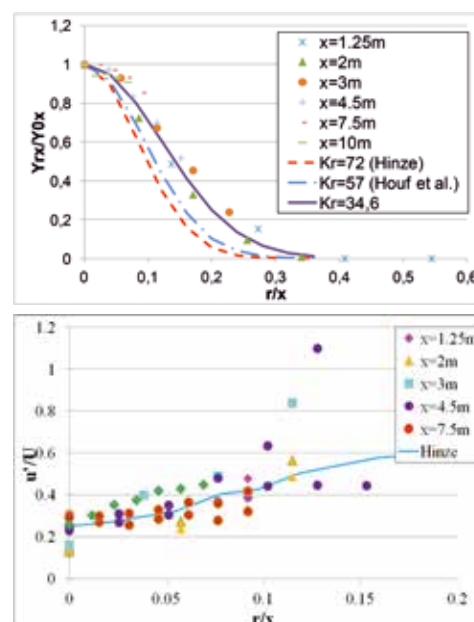


Figure 2  
Fraction massique perpendiculairement à l'axe du rejet et intensité turbulente



sont utilisés et disposés dans l'axe du rejet et perpendiculairement à ce dernier (Figure 1). Un système de vidéo rapide placé à 10 m de la source d'inflammation perpendiculairement à l'axe du rejet a été utilisé pour enregistrer la dynamique du développement de la flamme.

Un traitement d'image spécifique a été nécessaire pour révéler le contour de la flamme. La source d'inflammation est un tube métallique de 5,5 cm de diamètre et de 50 cm de hauteur rempli d'un mélange hydrogène-oxygène stœchiométrique enflammé au moyen d'une perle pyrotechnique. Une flamme d'une quarantaine de centimètres est éjectée du tube et enflamme le jet gazeux d'hydrogène. Pour une inflammation à 30 % d'hydrogène dans le jet, l'inflammeur est placé à 1,8 m de point de rejet.

## Résultats

Des modèles analytiques [5] ont été comparés aux profils axiaux et radiaux de concentration mesurés (Figure 2) et donnent des résultats satisfaisants. Les mesures de turbulence (Figure 2) sont cohérentes

avec les données théoriques [6]. L'intensité de turbulence est de l'ordre de 30 % sur l'axe du rejet et augmente exponentiellement à mesure qu'on s'en éloigne. La taille des structures tourbillonnaires est quant à elle directement proportionnelle à la distance depuis le point de rejet. La surpression maximale d'explosion mesurée à 2 m en aval de l'inflammeur est de l'ordre de 80 mbar avec une montée en pression de l'ordre de 3 ms. La vitesse de flamme maximale déduite du traitement vidéo (Figure 3) montre que la vitesse maximale de flamme est de l'ordre de 280 m/s.



**Safety studies for production and use of hydrogen reveal the importance of accurate prediction of the overpressure effects generated by delayed explosions of accidental high pressure hydrogen releases. Analysis of previous experimental work demonstrates the lack of measurements of turbulent intensities and lengthscales in the flammable envelope as well as the scarceness of accurate experimental data for explosion overpressures and flame speeds. Industry and INERIS join in a collaborative project to study un-ignited and ignited high pressure releases of hydrogen.**

**The purpose of this work is to map hydrogen flammable envelopes in terms of concentration, velocity and turbulence, and to characterize the flame behaviour and the associated overpressure.**

## Références

[1] Chaineaux, J. (1995). Merge Project: INERIS report

[2] Takeno, K. Okabayashi, K. Kouchi, A. Nonaka, T. Hashiguchi, K. & Chitose, K. (2007). Dispersion and explosion field tests for 40 MPa pressurized hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 32, Issue 13, Pages 2144-2153

[3] Royle, M. Willoughby, D.B. (2011). Consequences of catastrophic releases of ignited and unignited hydrogen jet releases. International Journal of Hydrogen Energy, 2688-269

[4] Grune, J. Sempert, K. Kuznetsov, M. Breitung, W. (2011). Experimental study of ignited unsteady hydrogen jets into air. International Journal of Hydrogen Energy, 36, 2497 - 2504

[5] Schefer, R., Houf, W. & Williams, T. (2008). Investigation of small-scale unin-tended releases of hydrogen: momentum-dominated regime. International Journal. of Hydrogen Energy, 33, 6373-6384

[6] Hinze. (1975). Turbulence: 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw\_Hill

Figure 3

Surpression mesurée et vitesse de propagation de flamme

