HAL
open science

Expertise - Projet DRIVE : étude expérimentale et numérique pour l'évaluation des risques liés à l'hydrogène

Olivier Gentilhomme

▶ To cite this version:

Olivier Gentilhomme. Expertise - Projet DRIVE : étude expérimentale et numérique pour l'évaluation des risques liés à l'hydrogène. Rapport Scientifique INERIS, 2008, 2007-2008, pp.88-92. ineris-01869206

HAL Id: ineris-01869206
https://ineris.hal.science/ineris-01869206

Submitted on 6 Sep 2018

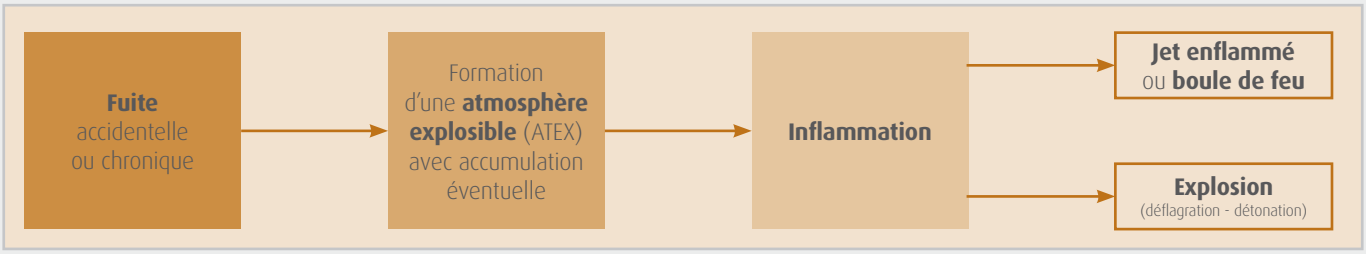
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

Projet DRIVE : étude expérimentale et numérique pour l'évaluation des risques liés à l'hydrogène

Dans le cadre du Projet DRIVE(2) dont il assure la coordination, l'INERIS étudie, en collaboration avec le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique), l'IRPHE (Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Équilibre) et PSA Peugeot Citroën, les situations de fuites propres à l'usage de l'hydrogène dans le secteur automobile.
L'objectif principal du Projet DRIVE est de produire des données expérimentales nécessaires à l'évaluation des risques des systèmes qui mettent en œuvre de l'hydrogène. Sur la base de ces données, des référentiels techniques d'aide à la quantification des risques seront établis. Ces référentiels aideront les concepteurs et les évaluateurs des risques de systèmes à hydrogène à garantir un niveau de sécurité en adéquation avec un usage par le grand public.
Les recherches portent sur l'ensemble de la chaîne accidentelle, à savoir :

- les fuites, qu'elles soient chroniques ou accidentelles,
- la formation de l'ATEX (dispersion + accumulation de l'hydrogène),
- l'inflammation (étincelle électrique, surface chaude…),
- la combustion et les effets associés (feu torche et explosion).



Les fuites d'hydrogène

On a l'habitude de distinguer trois types de fuite :

- Les fuites accidentelles : celles-ci ont pour origine une dérive du système ou la rupture d'un des organes du véhicule. Elles se traduisent souvent par des fuites massives (pouvant aller au-delà de 10^1 – 10^2 cm^3/s) mais sont associées à une probabilité d'occurrence faible. Des modèles de calcul existent pour ce type de fuite (notamment dans le rapport Ω19 de l'INERIS).

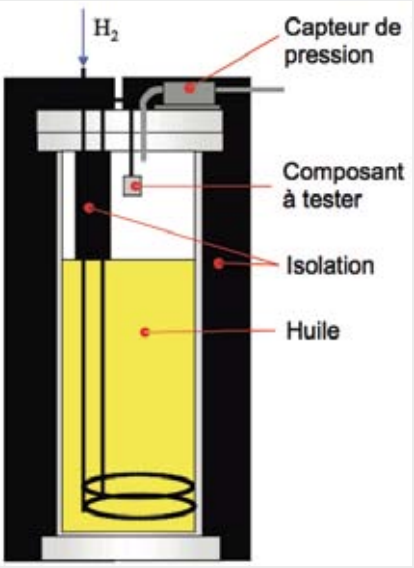
(2) Acronyme pour Données expérimentales pour l'évaluation des RIsques hydrogène, la Validation d'outils numériques et l'Édition de référentiels techniques.

- Les fuites par perméation : celles-ci sont inhérentes au système et dépendent du matériau à travers lequel l'hydrogène diffuse. Le taux de fuite est habituellement trop faible (de l'ordre de 10^{-2} – 10^{-3} cm³/s) pour conduire à la formation d'une ATEX. Il est aussi possible de déterminer analytiquement ces fuites.
- Les fuites intermédiaires (ou chroniques) sont beaucoup plus problématiques. Elles se caractérisent par une probabilité d'occurrence relativement importante et un taux de fuite suffisamment élevé pour générer une ATEX en milieu confiné. Il est en revanche beaucoup plus difficile de quantifier ces fuites.

Par conséquent, l'une des tâches du projet a consisté à mesurer expérimentalement les fuites chroniques issues de plusieurs composants du véhicule à l'hydrogène après que ceux-ci aient été soumis à différents traitements mécaniques (couple de serrage insuffisant, normal ou trop important, succession de montages et démontages) et/ou thermique pour simuler leur usage prolongé.

Le composant était d'abord placé dans une enceinte étanche et calorifugée, de volume total 50 l, puis ensuite pressurisé à l'aide d'hydrogène pour reproduire ses conditions d'opération. Grâce à ce dispositif, toute élévation de pression à l'intérieur de l'enceinte était directement associée à une fuite du composant dont le débit était aisément calculable. L'huile présente dans le fond de l'enceinte permettait de faire varier le volume libre autour du composant et ainsi de s'assurer que la mesure de pression était suffisamment précise et ce, quelle que soit la fuite obtenue (figure 1).

Le tableau suivant donne un aperçu des résultats obtenus au cours de cette tâche.



> Schéma du dispositif expérimental de mesure des taux de fuite.

#1

> **Débits de fuite mesurés pour quelques composants**

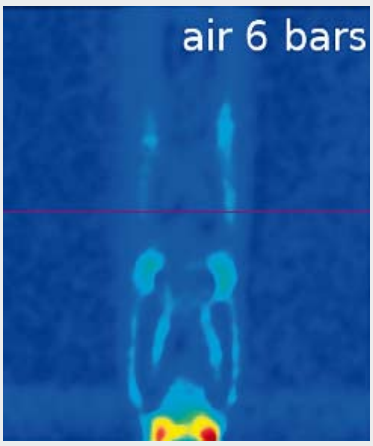
	COMPOSANT	PRESSION (BAR)	CONDITIONS DE TEST
	Obturateur 1/2	20	**- serrage normal :** pas de fuite détectée (<3.10⁻⁴ cm³/s) **- serrage manuel :** fuite de 800 cm³/s **- après 20 serrages/desserrages :** pas de fuite détectée (< 3.10⁻⁴ cm³/s)
	Bouchon 1/2	20	**- serrage normal :** pas de fuite détectée (<3.10⁻⁴ cm³/s) **- serrage manuel :** fuite de 100 cm³/s **- après 20 serrages/desserrages :** pas de fuite détectée (< 3.10⁻⁴ cm³/s)
	Raccord 1/4	20	**- serrage normal :** pas de fuite détectée (<3.10⁻⁴ cm³/s) **- serrage forcé (+ 1/2) + serrages/desserrages :** pas de fuite détectée (< 3.10⁻⁴ cm³/s)
	Séparateur de phase	3	**- serrage normal :** pas de fuite détectée (<3.10⁻⁴ cm³/s) **- après 10 serrages/desserrages :** pas de fuite détectée (< 3.10⁻⁴ cm³/s)
	Pompe H2	3	**- serrage normal :** pas de fuite détectée (<3.10⁻⁴ cm³/s)

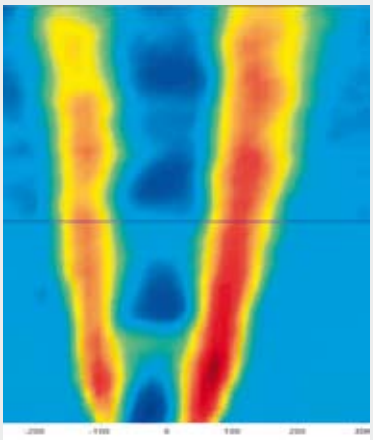
Précisons que de tels résultats sont des données importantes pour les simulations de dispersion d'hydrogène qui, si l'on se réfère à la littérature actuelle, s'appuient bien souvent sur des valeurs disparates et sans lien direct avec la réalité.

La formation d'ATEX

Outre la quantification des taux de fuites, il est important d'être en mesure d'estimer les dimensions de l'ATEX qui en résulte. Dans ce domaine, le Projet DRIVE mène actuellement deux tâches expérimentales de grande ampleur. Dans le but de simplifier la gestion de la sécurité des moyens d'essais, ceux-ci utilisent l'hélium plutôt que l'hydrogène. Cela est rendu possible du fait de la similitude de comportement entre ces deux gaz.

L'une de ces tâches fait l'objet d'une thèse à l'IRPHE. Elle vise à caractériser les





> Visualisation par la technique du BOS d'un jet d'air issu d'un réservoir de 6 bars.

#2

#3

> Image de l'installation garage du CEA.

champs de concentration et de vitesse générés par une fuite supersonique d'air ou d'hélium. Les premières mesures réalisées à l'aide de la technique du BOS(3) ont permis d'apporter des informations intéressantes sur la structure d'un jet libre issu d'un réservoir de 8 bars au maximum (photos 2). Un banc est en cours de montage à l'IRPHE permettant d'étudier des jets sous des pressions bien plus élevées : 100 voire 200 bars. Ces tests seront d'abord menés en champ libre puis avec des obstacles, dont la distance par rapport à la source pourra être variée. Il faut savoir que les données disponibles indiquent que ces jets impactants peuvent générer des nuages explosifs beaucoup plus importants que les jets libres (un rapport 10 est parfois avancé), d'où l'intérêt de ce programme expérimental. Tout au long de cette tâche, il est d'ailleurs prévu d'améliorer l'outil de calcul EXPLOJET.

La seconde tâche expérimentale est en cours d'achèvement au CEA. Elle a consisté à étudier expérimentalement la formation d'une atmosphère explosible et ses caractéristiques (volume, turbulence…) lors d'une fuite sur un véhicule PAC(4) réel en stationnement dans un garage (photo 3). Ce garage est typique de ce que l'on peut trouver dans le secteur résidentiel puisqu'il est de forme parallélépipédique avec une longueur de 5,76 m, une largeur de 2,96 m et une hauteur de 2,42 m. Il est équipé d'une entrée pivotante à l'avant et d'une porte d'accès à l'arrière. Les rejets ont été menés aussi bien à l'échelle du véhicule (zone de stockage, sous caisse, sous capot moteur, habitacle) qu'à celui du garage. Différents paramètres ont été testés : la localisation de ce rejet, le débit de fuite (de quelques NL/min à 570 NL/min) et le type de fuite (diffus ou en jet).

Tous ces essais sont évidemment complétés par des simulations numériques à l'aide de plusieurs codes CFD(5) (CAST3M, FLUENT et PHOENICS). Ces modélisations visent non seulement à tester l'aptitude de ces codes à prédire correctement le comportement de l'hydrogène dans des situations accidentelles mais aussi à orienter les essais. À la fin de ce projet, il est d'ailleurs prévu qu'un référentiel soit rédigé, récapitulant toutes les règles de bonne pratique pour une utilisation sûre de cet outil numérique.

L'inflammation d'hydrogène

Compte tenu de la faible énergie d'inflammation de l'hydrogène en condition stœchiométrique, le Projet DRIVE s'est aussi attaché à évaluer les risques d'inflammation d'une atmosphère explosible lors du fonctionnement de plusieurs composants du véhicule. Ceux-ci ont été choisis pour leur aptitude à devenir des sources potentielles d'inflammation en fonctionnement ou en dysfonctionnement prévisible ou bien parce que leur risque d'inflammation était difficilement prévisible. La liste finale incluait des ventilateurs, des pompes (air et eau), un capteur d'hydrogène, une électrovanne, etc.

(3) BOS : technique de mesure optique s'appuyant sur la différence de masse volumique entre le gaz rejeté et le milieu ambiant (Background Oriented Schlieren).
(4) PAC : Pile À Combustible.
(5) CFD = Computational Fluid Dynamics.

Les composants ont été placés dans une cuve d'essai contenant deux atmosphères inflammables (d'air et d'hydrogène) différentes :

- 28 % vol. en hydrogène : cela correspond à la concentration stoechiométrique pour laquelle l'énergie d'inflammation est minimale. C'est une situation d'exposition très sévère mais peu probable.
- 10 % vol. en hydrogène : contrairement à la précédente, cette situation est beaucoup plus probable en cas de fuite d'hydrogène.

À chaque fois, les composants ont été exposés à cette atmosphère explosible pendant 10 minutes, temps jugé raisonnable pour détecter et interrompre la fuite en situation réelle. Différentes conditions ont été envisagées au cours de ces tests : une légère surtension du composant (+ 10 par rapport à la tension nominale), un cyclage de la tension (succession de mise en route et d'arrêt du composant) et une inversion des polarités (erreur de montage).

L'explosion de l'hydrogène

Au cours de cette année 2008, l'INERIS est aussi engagé dans un vaste programme visant à acquérir des données expérimentales de longueur de flamme et d'explosion pour des situations fidèles à l'application automobile. Ce programme a été scindé en 3 parties.

- La première partie s'intéresse aux effets d'un feu torche. Le protocole expérimental consiste donc à relâcher de l'hydrogène à partir d'un réservoir de type III pour une pression maximale de 900 bars et à enflammer très rapidement ce jet libre. Ces essais permettront d'obtenir une cartographie complète de la longueur de flamme et du flux rayonné pour différents diamètres d'orifice et pressions de rejet. Le principal intérêt de ces essais ne réside pas tant dans leur nature (après tout, d'autres organisations comme le HSL au Royaume-Uni ou le laboratoire Sandia aux États-Unis réalisent actuellement le même genre d'expérimentation dans le cadre du projet européen HYPER) mais plutôt dans le niveau de pression recherché (bien au-delà des 200 bars habituellement considérés). À noter que ces essais viennent juste de se terminer à l'INERIS (photo 4).
- La deuxième partie va quantifier les effets de surpressions susceptibles d'être rencontrés à bord d'un véhicule. Pour cela, une maquette transparente suffisamment représentative de la géométrie sous le capot moteur d'un véhicule à hydrogène a été réalisée à partir de plexiglas, permettant ainsi de visualiser la propagation des flammes autour des obstacles. En effet, lors d'une explosion, les effets de surpression sont directement liés à l'accélération de la flamme dans la géométrie considérée et il est donc primordial de bien comprendre son interaction avec d'autres paramètres tels que la taille et la localisation des obstacles (blocage volumique), la position de la fuite, le délai d'inflammation…

#4

> Essais de feu torche, réalisés à l'INERIS.

- La phase finale du volet expérimental permettra de procéder à des essais d'explosion, non plus dans la maquette transparente mais dans le véhicule lui-même, ayant servi aux essais du garage CEA.

Des activités de modélisation seront aussi effectuées en complément de ces essais pour mettre à l'épreuve les codes de calcul sur cet aspect explosion et valider les résultats expérimentaux.

Conclusion

Avant d'envisager un usage généralisé de l'hydrogène comme carburant pour les véhicules, il est essentiel que l'ensemble des risques associés à un tel gaz soit parfaitement maîtrisé. Comme toute technologie émergente, les données se font rares en la matière. Les évaluations des risques présentés par les véhicules à hydrogène conduisent donc à surdimensionner les systèmes de sécurité afin de garantir un fonctionnement sûr.

Le Projet DRIVE constitue une première réponse à ce besoin de quantification des risques et d'optimisation des systèmes de sécurité en apportant des données expérimentales et numériques sur l'ensemble de la chaîne accidentelle impliquant l'utilisation de l'hydrogène sur un véhicule à hydrogène.

[RÉFÉRENCES

Perrette L., Paillère H. et Joncquet G., 2006. *Presentation of the French national project DRIVE: Experimental Data for the Evaluation of hydrogen Risks onboard vehicles, the validation of numerical tools and the Edition of guidelines.* World Hydrogen Energy Conference (WHEC), Lyon 2006.

Perrette L., Paillère H. et Joncquet G., 2007. *Presentation of the French national project DRIVE: Experimental Data for the Evaluation of hydrogen Risks onboard vehicles, the validation of numerical tools and the Edition of guideline.* Society of Automotive Engineer (SAE), Detroit 2007.

Gentilhomme O., Tkatschenko I., Joncquet G. et Anselmet F., 2008. *First results of the French national project DRIVE: Experimental Data for the Evaluation of hydrogen Risks onboard vehicles, the validation of numerical tools and the Edition of guidelines.* World Hydrogen Energy Conference (WHEC), Brisbane 2008.

Dubois J., Amielh M., Anselmet F. et Gentilhomme O., 2008. *Comparative Investigation of axisymmetric underexpanded air and helium jets by BOS.* International Symposium on Flow Visualisation (ISFV), Nice 2008.

Bonnet P., Couillet J.C., *Détermination des grandeurs caractéristiques du terme source nécessaire à l'utilisation d'un modèle de dispersion atmosphérique des rejets accidentels.* Rapport Omega 19, disponible sur [www.ineris.fr].

SUMMARY

The ever-increasing use of hydrogen in the transport sector requires very high safety standards. However, due to the lack of information regarding the safety level of hydrogen systems, risk assessments tend to be over cautious in determining the consequences of accidental releases and could impose restrictive technical regulations.

This drove the National Institute of Industrial Environment and Risks (INERIS) along with the French Atomic Energy Commission (CEA), the French automotive manufacturer PSA PEUGEOT CITROËN and the Research Institute on Unstable Phenomena (IRPHE) to submit with success a project called DRIVE (Experimental Data for the Evaluation of Hydrogen Risks, for the validation of numerical tools and for the Edition of guidelines) to the National Research Agency in June 2005.

This project aims at providing quantitative experimental data for automotive applications to strengthen the risk assessments. The work program of DRIVE covers all aspects of the accidental chain: hydrogen releases, formation of an explosive atmosphere (ATEX), ignition of the ATEX, flame propagation and its consequences. State-of-the-art risk assessment and mitigation techniques are also considered within this project.