



# Infrastructures et véhicules : les enjeux de maîtrise des risques accidentels

**Benno Weinberger**

*R&D Manager*

*INERIS - Direction des Risques Accidentels*

*Unité **É**valuation et maîtrise des **R**isques d'incendie et d'explosion dans les **P**rocédés*

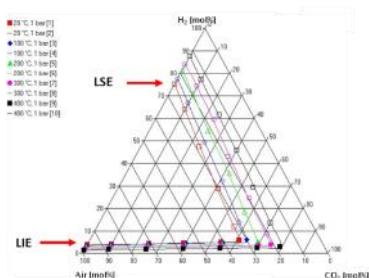
*e-mail : [benno.weinberger@ineris.fr](mailto:benno.weinberger@ineris.fr)*

**INERIS**

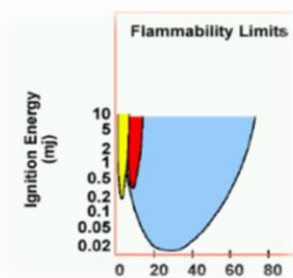
*maîtriser le risque |  
pour un développement durable*

# Contexte - Spécificités de l'hydrogène

|               | Plage d'explosivité | Energie minimale d'inflammation | Vitesse de combustion | Caractéristiques de la flamme | Fragilisation                                       |
|---------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---|
| Hydrogène     | 4 à 75 %            | 17 $\mu$ J                      | 3,3 m/s               | Flamme peu visible            | Fissuration ou cloquage avec aciers non compatibles |
| Hydrocarbures | 1 à 15 %            | 200 $\mu$ J                     | 0,5 m/s               | Flamme visible                | -   |



**Nuages explosifs plus grands / HC**



**Inflammation plus aisée**

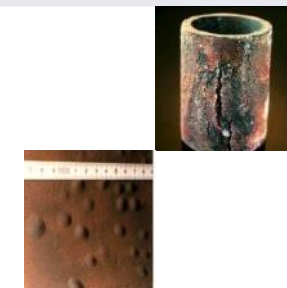


20 ms  
40 ms  
60 ms

**Explosions plus violentes**



**Matériel spécifique d'intervention**






**Aciers adaptés**

**INERIS**

maîtriser le risque  
pour un développement durable

# Types de Véhicules

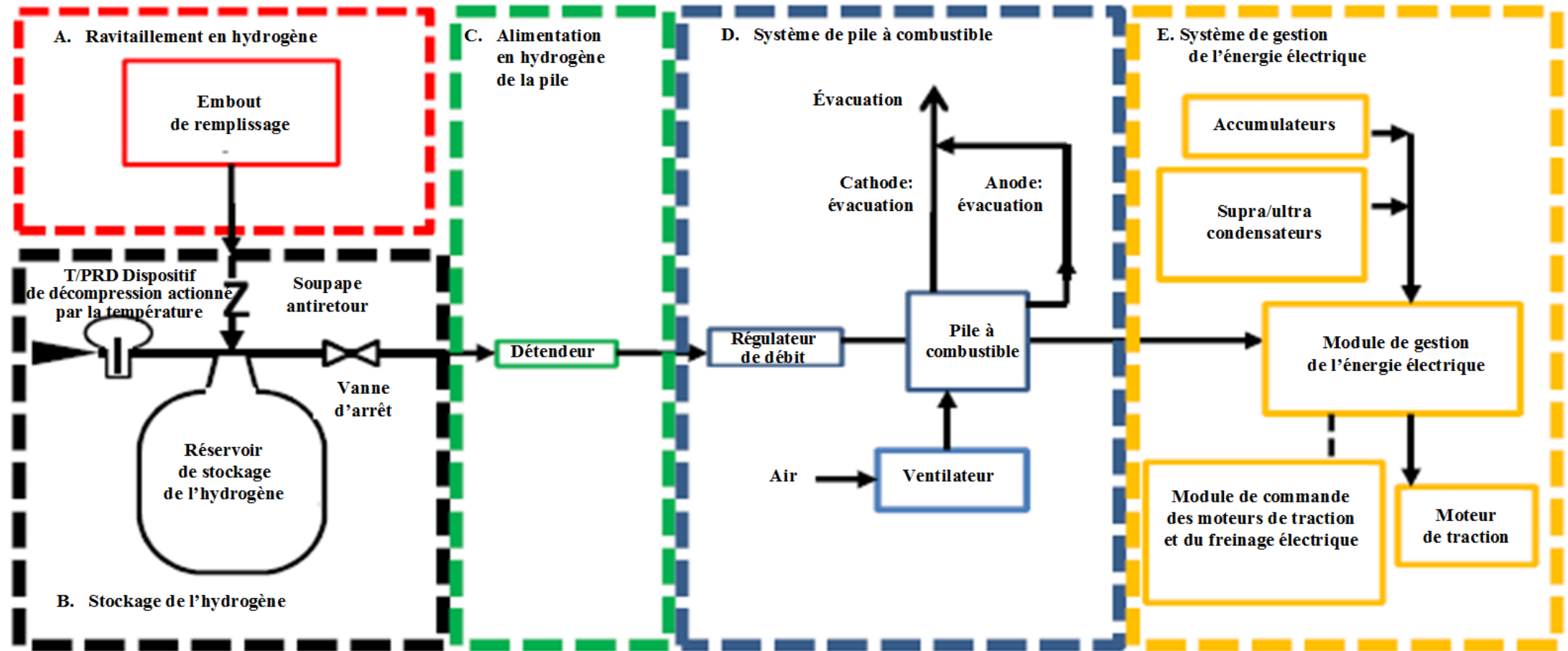
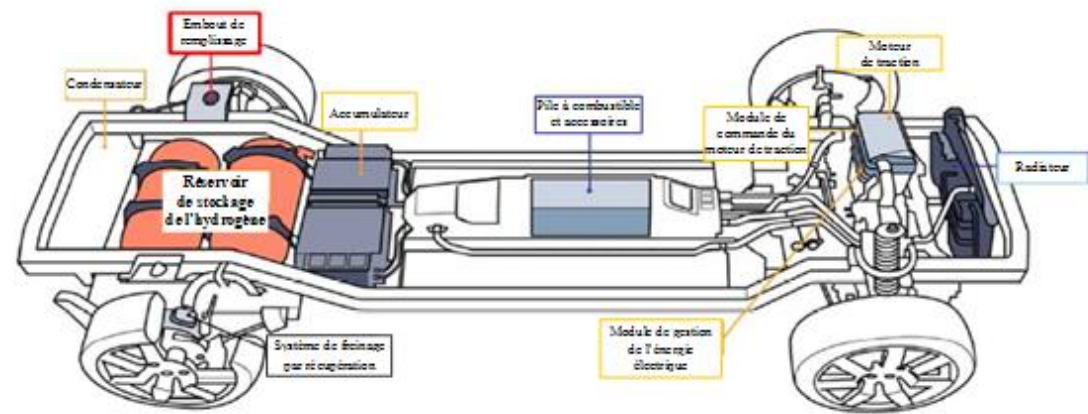
|                        | Véhicule avec prolongateur d'autonomie   | Véhicule  | Bus   |
|------------------------|--|---|---|
|                        |  |  |  |
| Pression service [bar] | 350  | 700   | 350   |
| H2 stocké [kg]         | 2  | 5 à 10  | 35 à 40   |

La consommation est de l'ordre de:

- 1 kg pour 100 km pour les véhicules
- 10 kg pour 100 km pour les bus



# Règlement technique mondial no 13





## Directives

- Règlement no 79/2009 – Réception par type des véhicules à moteur fonctionnant à l'hydrogène;
- Règlement no 406/2010 – portant application du Règlement no 79/2009;

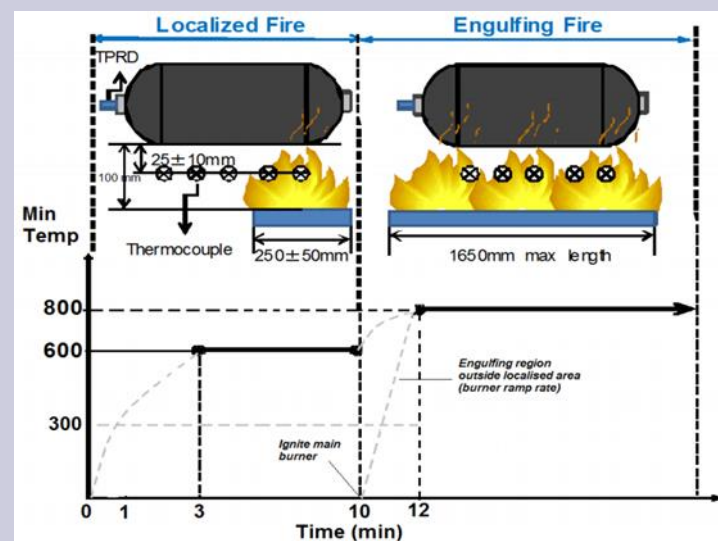
## Normes nationales et internationales

- ISO 17268 – Dispositifs de raccordement pour le ravitaillement des véhicules terrestres en hydrogène comprimé;
- ISO 23273-1 – Véhicules routiers alimentés par pile à combustible – Spécifications de sécurité – Partie 1: Sécurité fonctionnelle du véhicule;
- ISO 23273-2 – Véhicules routiers alimentés par pile à combustible – Spécifications de sécurité – Partie 2: Protection contre les dangers de l'hydrogène pour les véhicules utilisant de l'hydrogène comprimé;
- ISO 14687-2 – Carburant hydrogène – Spécification de produit – Partie 2: Toutes applications à l'exception des piles à combustible à membrane d'échange de protons (MEP) pour les véhicules routiers;
- SAE J2578 – General Fuel Cell Vehicle Safety;
- SAE J2600 – Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fuelling Connection Devices;
- SAE J2601 – Fuelling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles;
- SAE J2799 – Hydrogen Quality Guideline for Fuel Cell Vehicles.

# Réservoirs véhicules

|   | 350 bar (438 bar) VL  | 700 bar (875 bar) VL |
|---|---|----------------------|
| Quantité stockée (SAE J2601 )                     | 2,4 – 6 kg  | 2 – 10 kg            |
| Quelques exigences réglementaires (no 406/2010) : | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La plage de températures de service normale des matériaux utilisés dans les composants hydrogène doit être de <math>-40\text{ °C}</math> à <math>+85\text{ °C}</math></li> <li>• Un ou des dispositifs de décompression (thermofusible) doivent assurer la protection contre l'incendie d'un réservoir ou d'un assemblage de réservoirs, de manière à prévenir l'éclatement.</li> <li>• Le coefficient minimal de pression d'éclatement pour des réservoir type III&amp;IV (fibre de carbone) est de 2,25</li> </ul> |                      |

Essai d'exposition au feu – feu enveloppant (GTR 13):





# Infrastructure - des configurations très variées

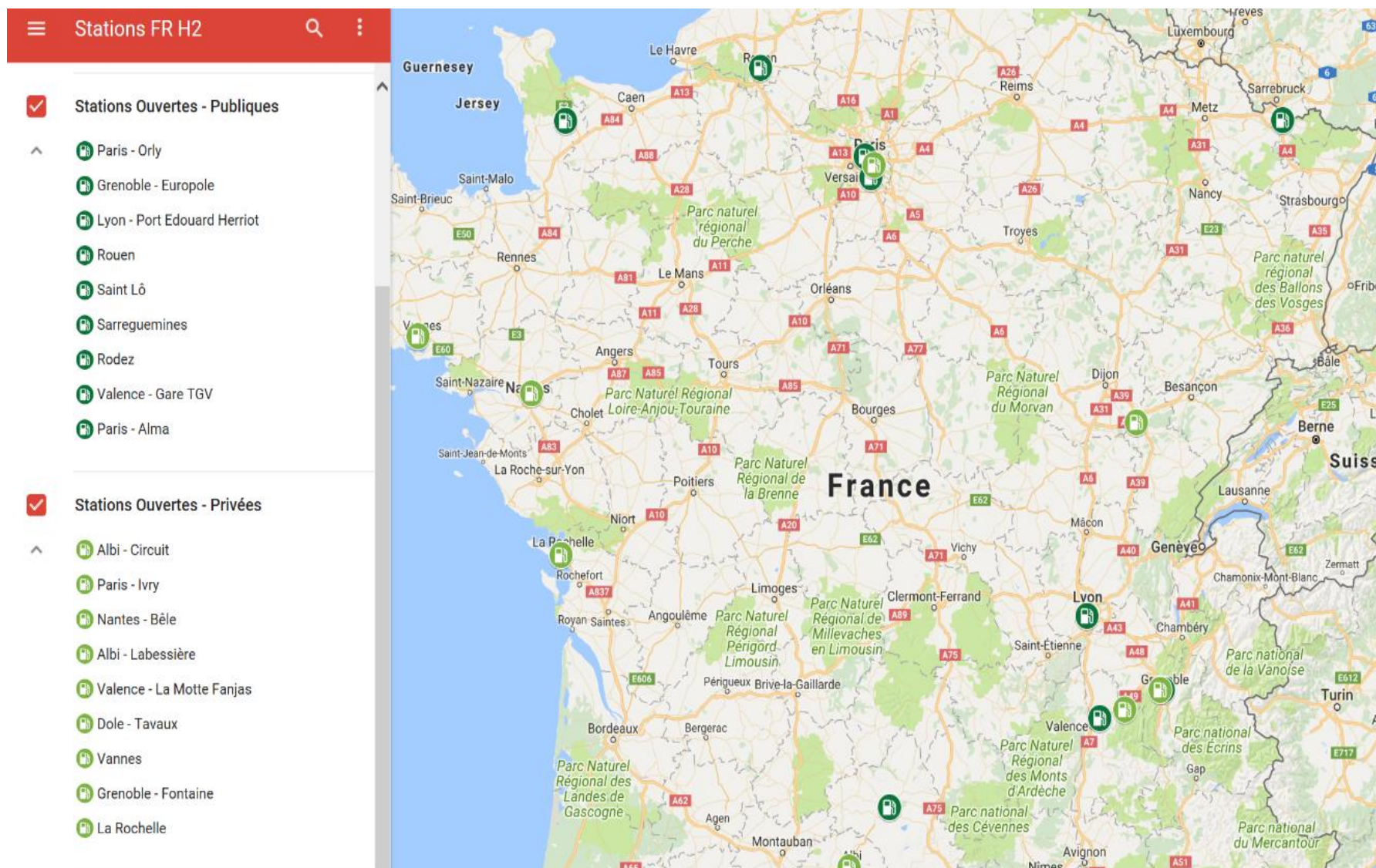


Grandes variations au niveau des:

- Quantités stockées
- Pressions maximales de service
- Distances entre bornes de distribution et stockage



# Cartographie des stations en France



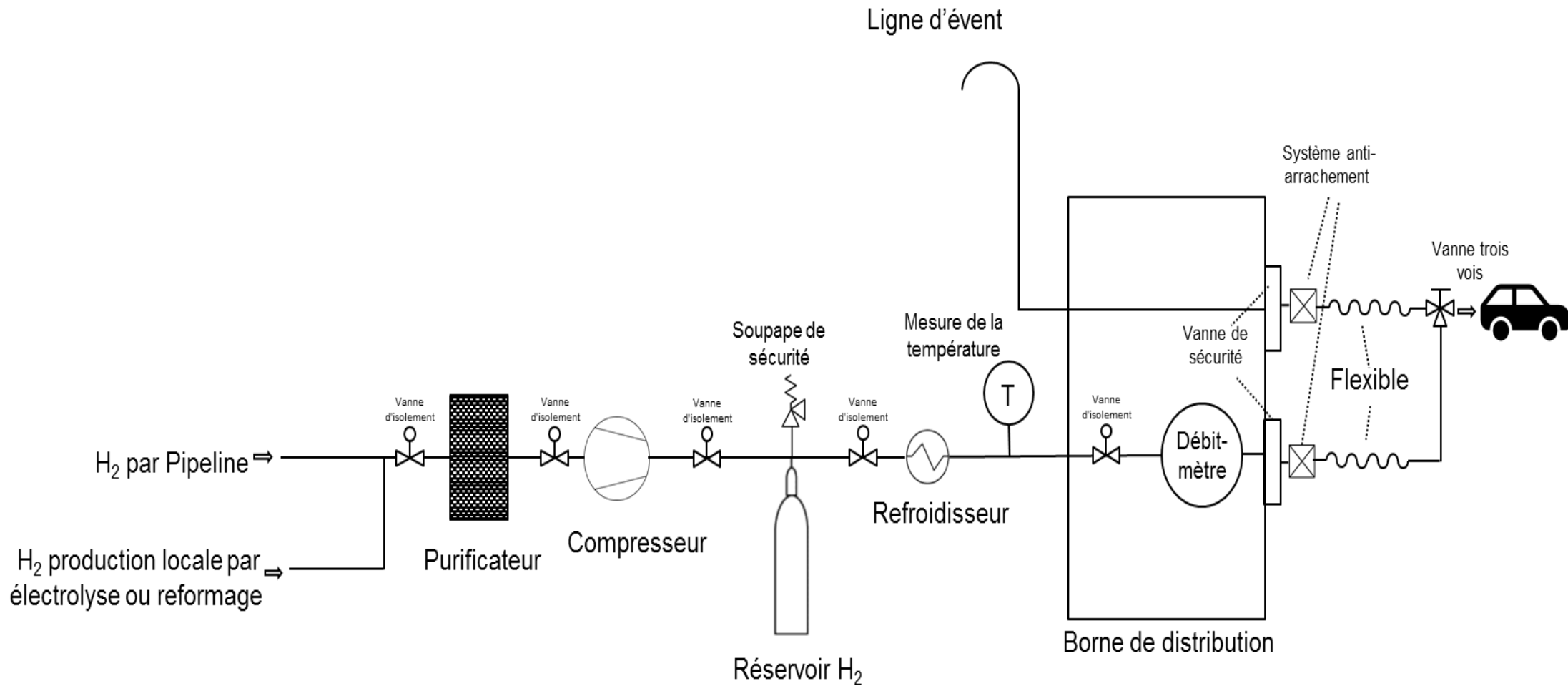
Source: <http://www.afhypac.org/mobilite-hydrogene-france/>



maîtriser le risque  
pour un développement durable

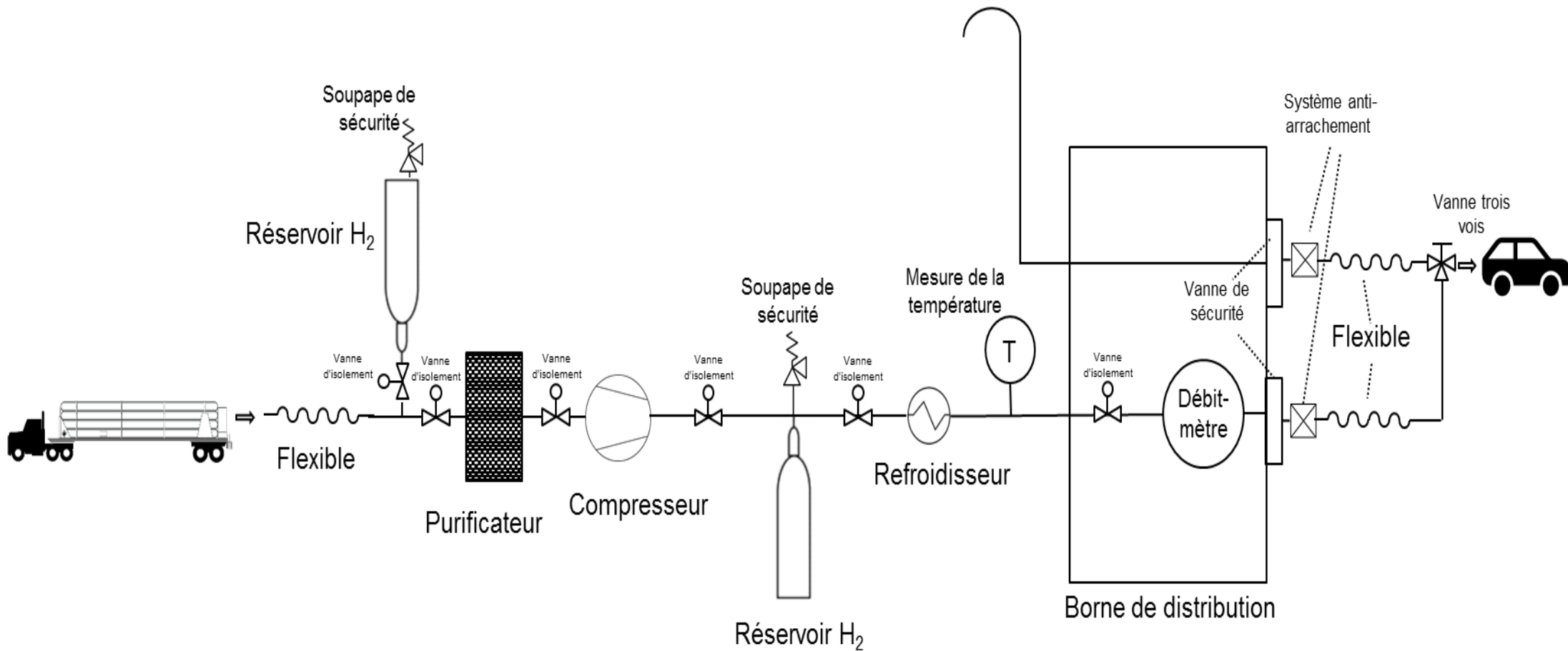


# Schéma d'une stations-service avec l'approvisionnement de l'hydrogène gazeux par canalisation ou par production locale



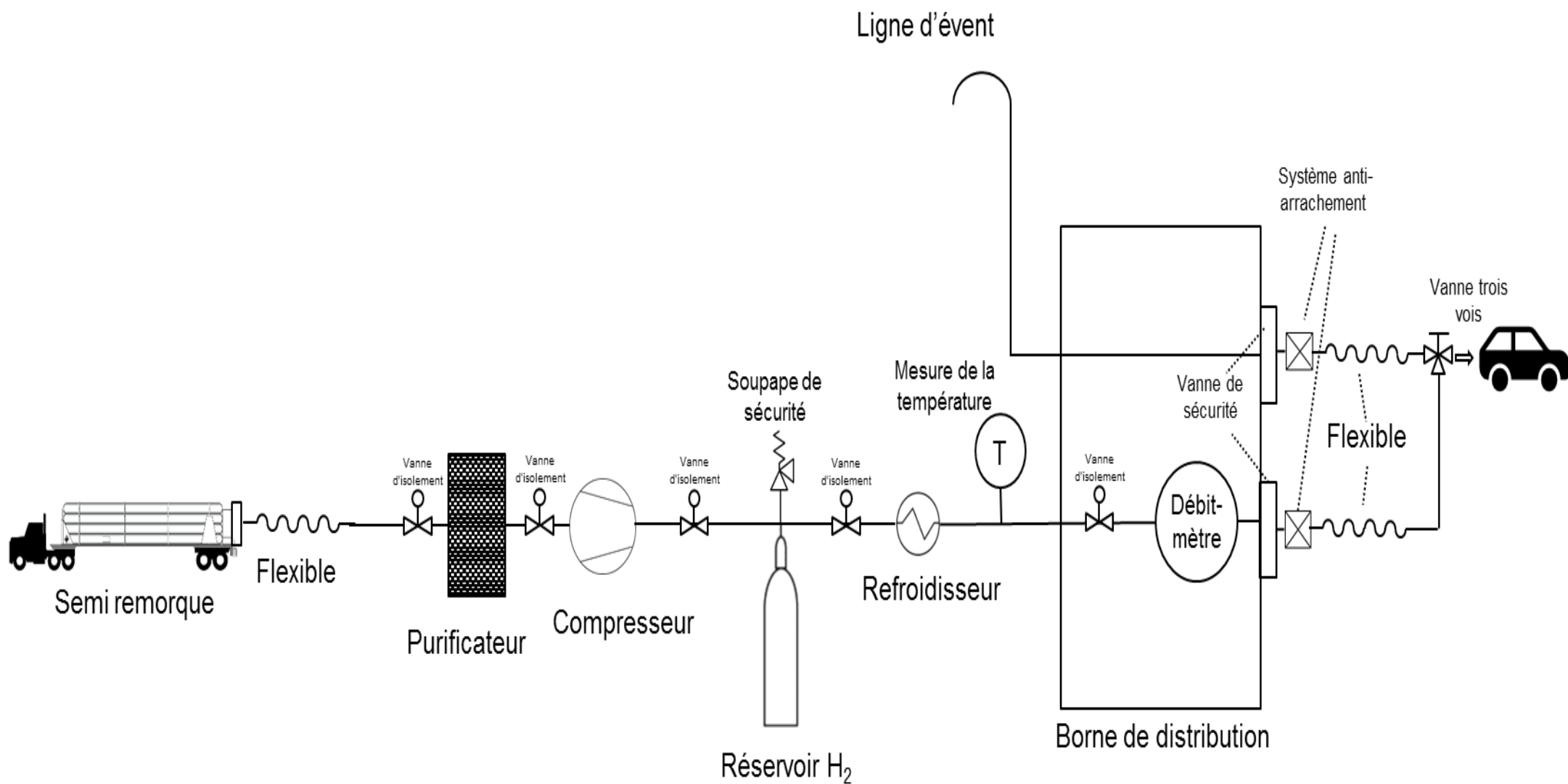
# Schéma d'une stations-service avec l'approvisionnement de l'hydrogène gazeux par semi remorque

Ligne d'évent

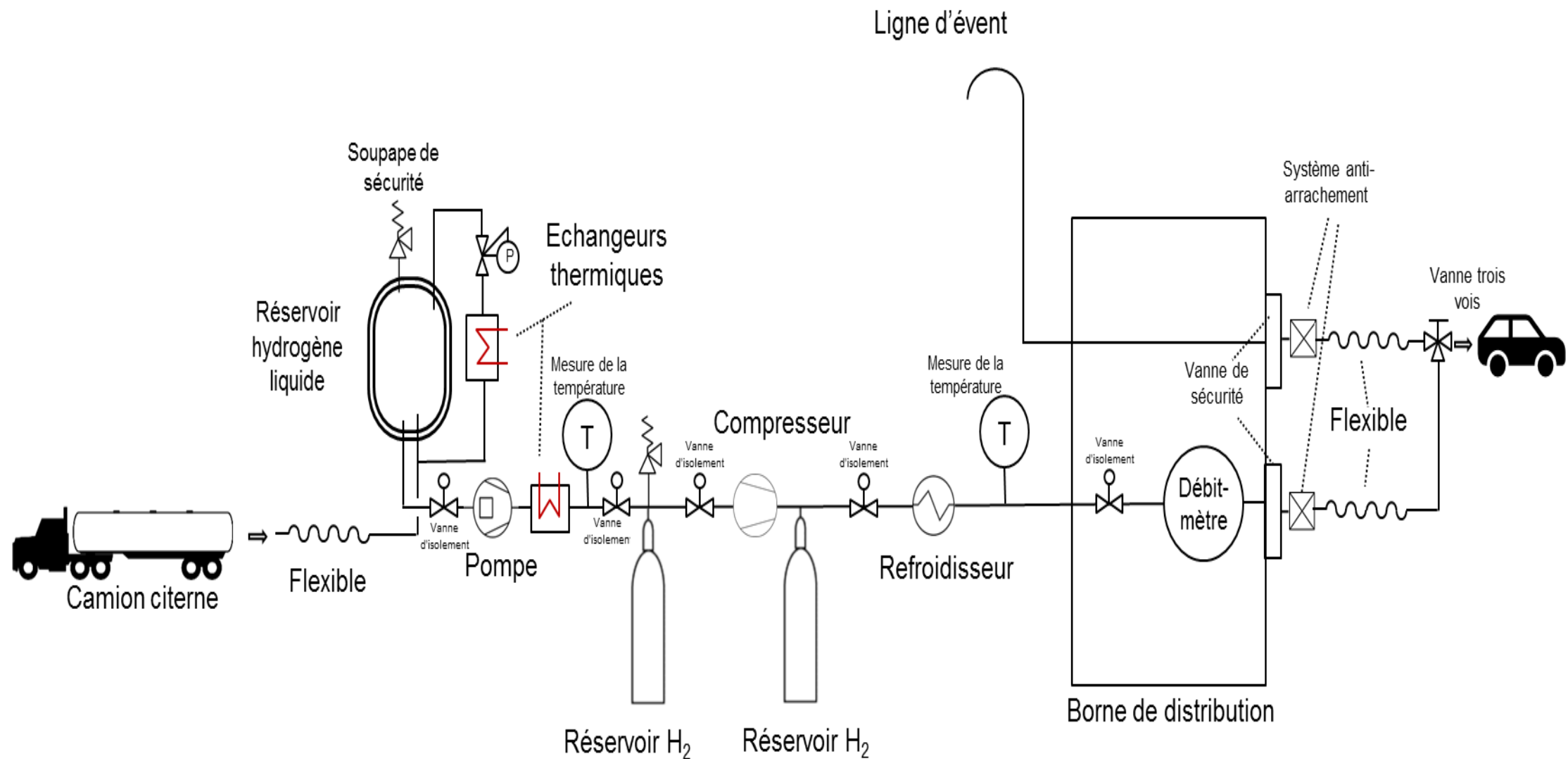




# Schéma d'une stations-service avec l'approvisionnement de l'hydrogène gazeux par semi remorque utilisé comme stockage



# Schéma d'une stations-service avec l'approvisionnement de l'hydrogène liquide par camion citerne







## Directives

- Règlement no 2014/94/UE - Déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs

## Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE)

- Rubriques 3420 (production d'hydrogène) & 4715 (hydrogène)

## Normes nationales et internationales

- ISO/TS 19880-1:2016 Carburant d'hydrogène gazeux -- Stations-service -- Partie 1: Exigences générales
- ISO 17268: 2012 Dispositifs de raccordement pour le ravitaillement des véhicules terrestres en hydrogène comprimé
- NF M58-003:2013 Installation des systèmes mettant en œuvre l'hydrogène
- NF ISO 16110-1:2009 Générateurs d'hydrogène utilisant les technologies de traitement du carburant - Partie 1 : sécurité
- ISO 22734-1:2008 Générateurs d'hydrogène utilisant le procédé d'électrolyse de l'eau - Partie 1: applications industrielles et commerciales
- SAE J2601: Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles
- SAE J2601-2: Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles
- SAE J2601-3: Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Trucks
- SAE J2799: 70 MPa Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fuelling Connection Device and Optional Vehicle to Station Communications

# REX Stations service H2\*

| Base de données                       | Pays              | Nombre de incidents/accidents | Gestionnaire   |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|--|
| High Pressure Gas Safety Act Database | Japon (2005-2014) | 21                            | High Pressure Gas Safety Institute of Japan                      |
| HIRD                                  | USA (2004-2012)   | 22                            | Pacific Northwest National Laboratory, USA                       |
| HIAD                                  | Europe            | 2                             | European Commission's Joint Research Center, Petten, Netherlands |

En 2013, il y avait 224 stations fonctionnant à l'hydrogène, réparties sur 28 pays. Environ 43% de ces stations étaient situées en Amérique du Nord et du Sud, 34% en Europe, 23% en Asie.

\* *Junji Sakamoto, Ryunosuke Sato, Jo Nakayama, Naoya Kasai, Tadahiro Shibutani, Atsumi Miyake, Leakage-type-based analysis of accidents involving hydrogen fueling stations in Japan and USA, IJHE, 2 1 5 6 4-2 1 5 7 0, ( 2 0 1 6 )*



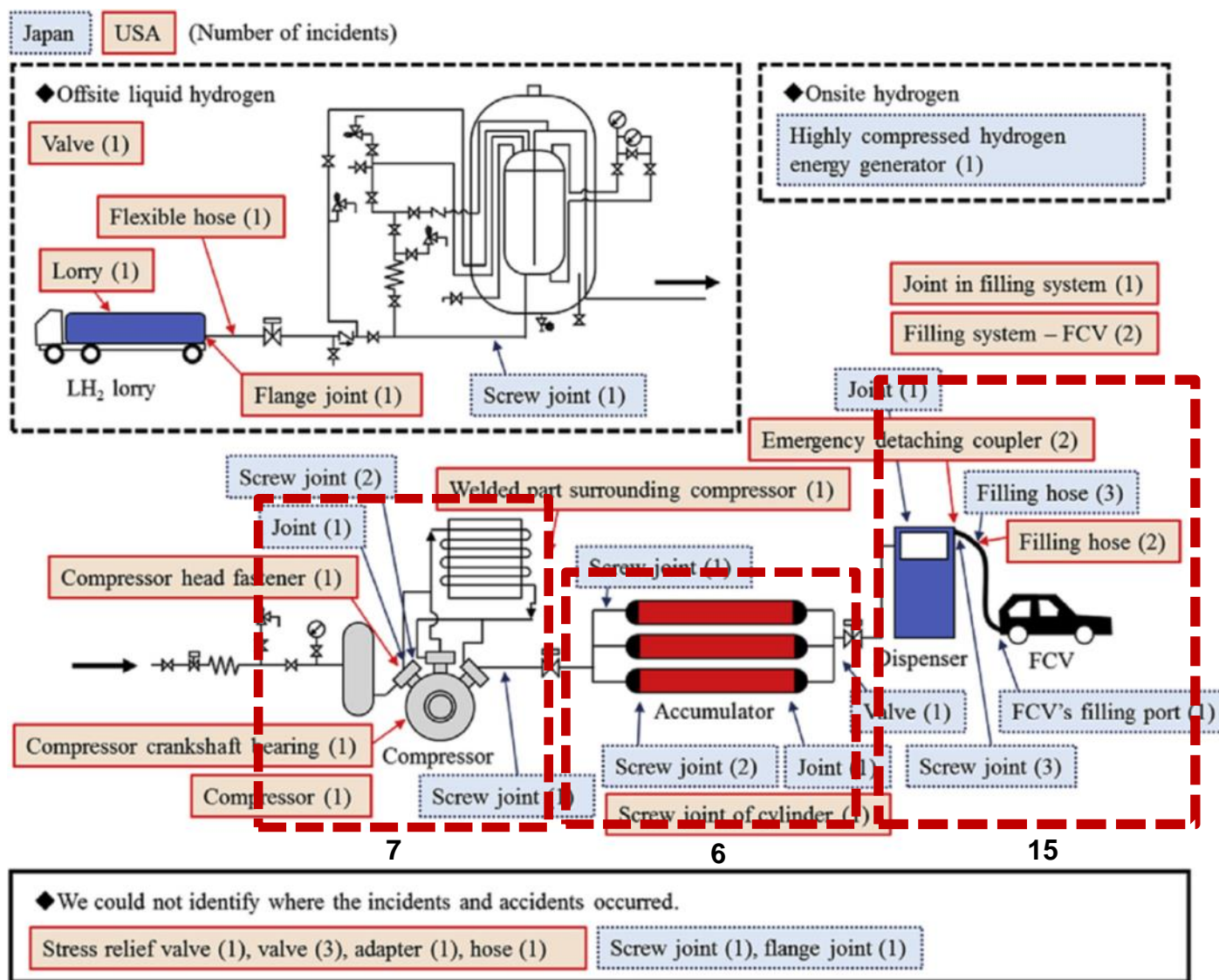
# Classification des incidents et accidents

Les incidents et les accidents sont classés en six catégories:

1. **Fuite I:** fuite sur le corps principal des appareils et des tuyauteries (y compris les pièces soudées). (3J+4US)
2. **Fuite II:** fuite des brides, des vannes et des joints (y compris les joints non métalliques détériorés). (14J+6US)
3. **Fuite III:** fuite due à d'autres facteurs, par exemple erreur humaine et impact externe. (2J+3US)
4. Explosion ou incendie. (1J)
5. Rupture (totale). (1J+5US)
6. Autres. (4US)

# REX Japon - USA

| Cause                          | Nombres |
|--------------------------------|---------|
| Joint inadéquat                | 10      |
| Couple de serrage inadéquat    | 9       |
| Erreur de conception (fatigue) | 9       |
| Erreur humaine                 | 8       |
| Erreur de fabrication          | 3       |
| Maintenance insuffisante       | 1       |
| Tremblement de terre           | 1       |
| Mauvais fonctionnement         | 1       |
| Impact externe                 | 1       |



- Les principaux événements accidentels concernent les fuites (32/43)
  - La principale cause de fuite de type I (7/43) au Japon et aux États-Unis est l'erreur de conception, c'est-à-dire une fatigue mécanique mal prise en compte.
  - Au Japon, les fuites de type II (14/21) sont principalement causées par des raccords filetés.
  - La cause principale des fuites de type III (5/43) au Japon et aux États-Unis est l'erreur humaine.
- La plupart des événements se trouve autour de la borne de distribution (15/43)

Les équipements affectés par la rupture totale sont:

- Le flexible de remplissage (1/43)
- Compresseur (2/43)
- Camion d'hydrogène liquide (1/43)
- Dispositif anti-arrachement (2/43)



# Exemple: Erreur de conception\*

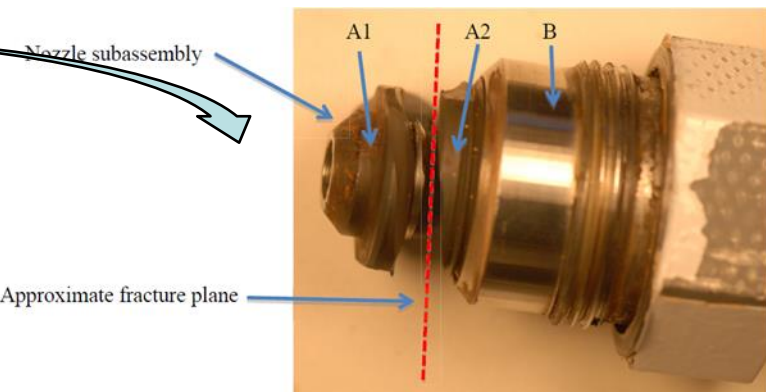
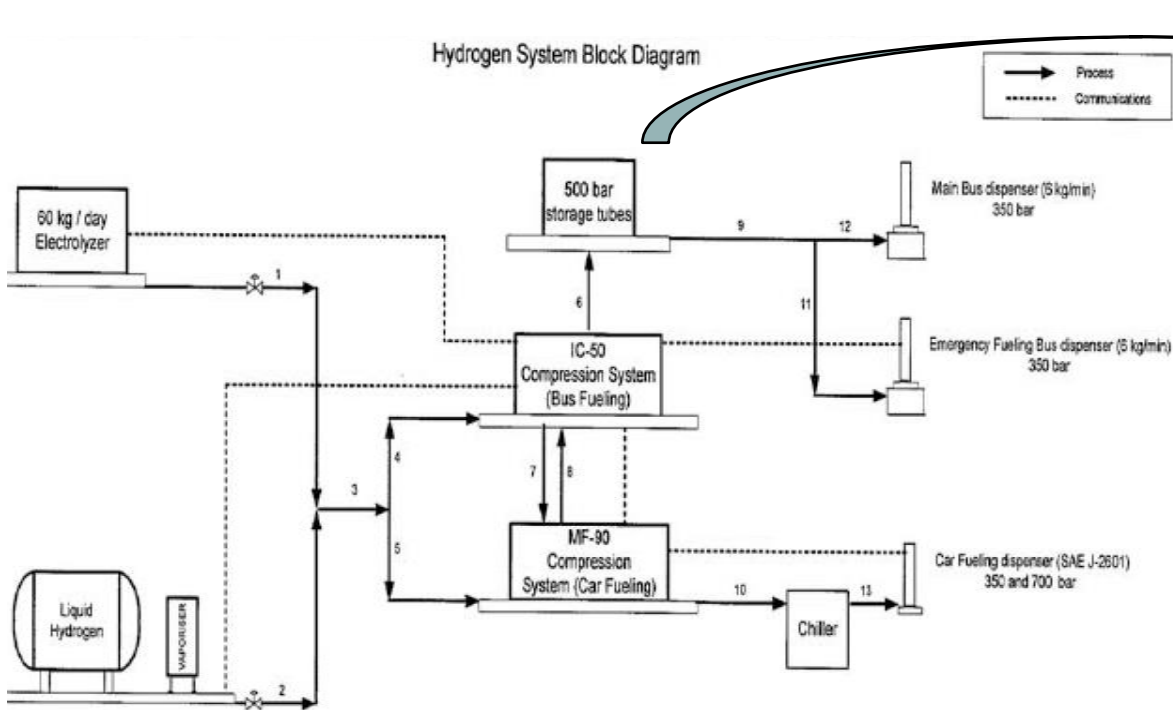


Figure A1. Failure of nozzle subassembly (A); nozzle subassembly is threaded into the inlet base (B).

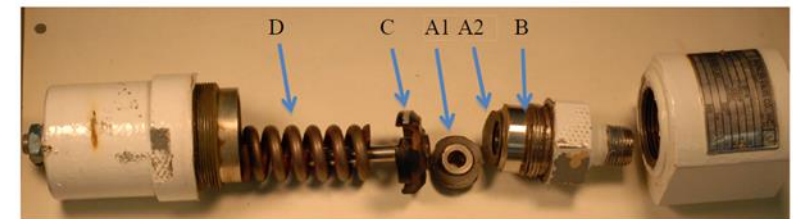


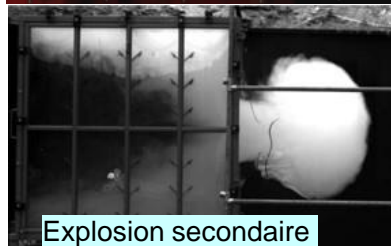
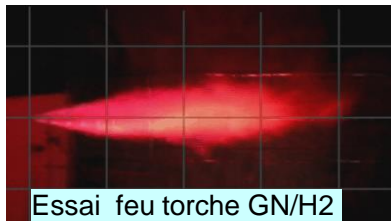
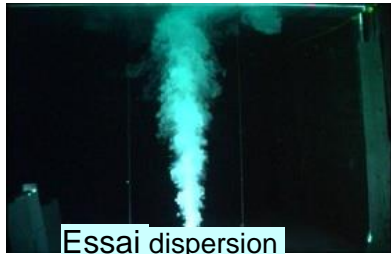
Figure A2. pressure relief valve components: failed nozzle subassembly (A1 and A2); inlet base (B); disk subassembly (C); set spring (D).

## Le défaut d'une soupape de sécurité par fragilisation a provoqué:

- La libération d'environ 300 kg d'hydrogène pendant environ 2,5 heures
- Une explosion (sans conséquence) suivie par un feu torche au niveau de la sortie de l'événement
- L'inflammation du canopée de la borne de distribution par le feu torche
- L'erreur d'interprétation des services de secours sur la cause (surpression du réservoir par le feu)

\*SANDIA REPORT SAND2012-8642, Printed October 2012 Investigation of the Hydrogen Release Incident at the ACTransit Emeryville Facility (Revised) Aaron P. Harris and Chris W. San Marchi

# Recherches prénormatives menées par l'INERIS



Étude de la dispersion d'hydrogène en cas de rejets en champ libre et en milieu confiné

Évaluation des effets de surpression associés à l'inflammation des atmosphères explosives

Évaluation des effets de surpression associés à l'éclatement de capacités sous pression

Effets de ces explosions sur le personnel et les structures

Quantification des fuites prévisibles

Réalisation d'essais de résistance sur réservoirs

Participation aux travaux de normalisation

# INERIS appui aux acteurs publics et privés

## Veille technologique et évaluation des risques des technologies nouvelles

- Systèmes de stockage
- Stations services – véhicules légers, bus
- Hydrogène embarqué
- Parcs de stationnement de véhicules
- Electrolyseurs
- Piles à combustible



## Accompagnement du ministère pour l'élaboration des réglementations

- Arrêtés définissant les rubriques de la nomenclature des installations classées
- Arrêtés ministériels de prescriptions générales
  - Distribution stations-services
  - Distribution pour charriots élévateurs en entrepôts





# Conclusions

Les problématiques de sécurité concernant l'hydrogène énergie sont couvertes :

- Par des textes existants et applicables mais non spécifiques à ces installations (normes, directives,...)
- Par les connaissances et le savoir-faire des acteurs de la filière
- Par une future réglementation (en cours d'élaboration)

Pour le futur de la filière hydrogène énergie il est important de:

- Faire le suivi et l'analyse de l'accidentologie
- Intégrer ces nouvelles connaissances dans un processus d'amélioration continue de la sécurité pour alimenter le cadre normatif et réglementaire