

RDV H2 : Décarbonation avancée de la mobilité à l'hydrogène



Ensemble notre impact est plus fort !





Étude prospective à l'horizon 2035, disponible sur le site web du Réseau H2

téléchargez l'étude



Quel potentiel pour l'hydrogène bas-carbone en Suisse romande ?

Analyse prospective du marché et des opportunités de décarbonation offertes par le développement de l'hydrogène



SOMMAIRE

01

Documentaire ARTE
Le fret en voie de l'écologie

02

Sécurité de l'H2 dans la mobilité
Philippe Couty, HEIA-FR

03

Table ronde
« Décarbonation avancée de la
mobilité à l'H2 : quelles opportunités
et quels acteurs s'y positionnent ? »

Jérôme Wüthrich, AVIA Distribution
Nicolas Crettenand, Hydrospider
Laura Amaudruz, Transports Publics
Fribourgeois, TPF
Paul Van de Sompel, Chrono-énergie

04

**Moteurs à combustion H2 &
collaboration avec les TPF**
Nils Monney, HEIA-FR

05

**Camions H2 FCEV Hyliko et
solution de ravitaillement**
Alexandre Filoni, Hylico

06

Cocktail réseautage

Documentaire ARTE

Le fret en voie de l'écologie





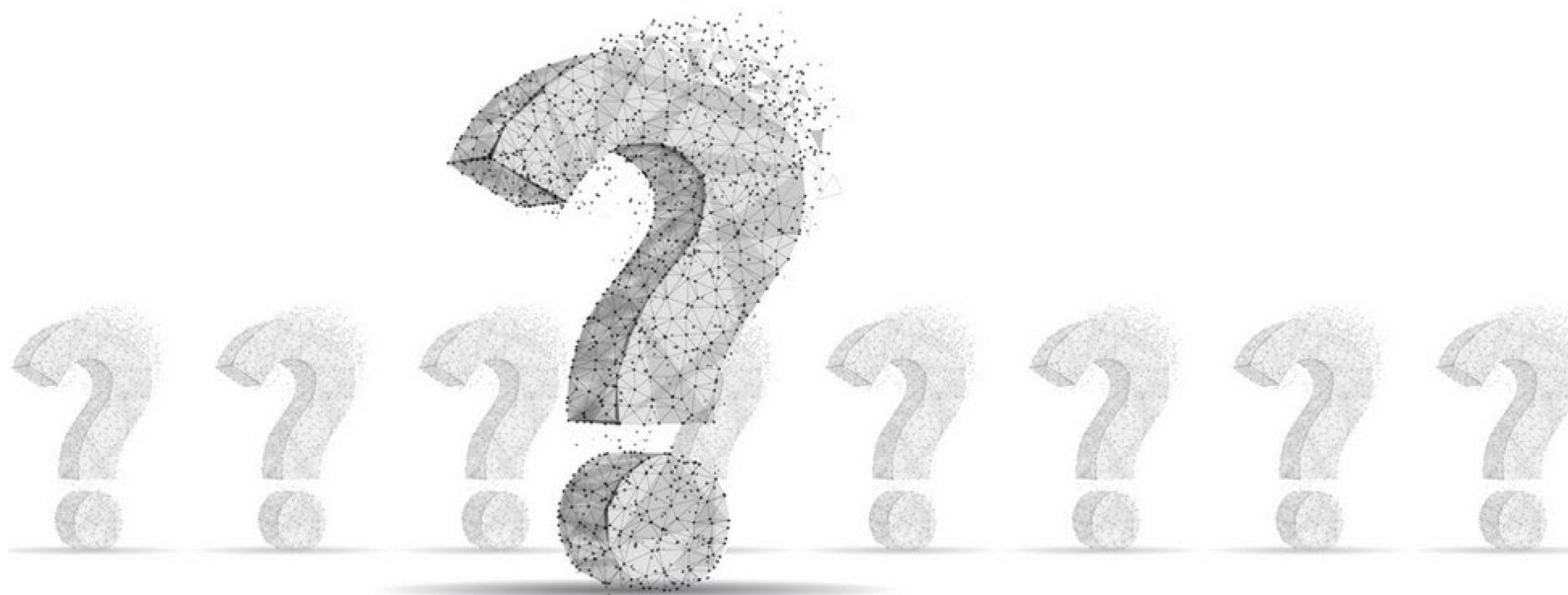
Sécurité de l'H₂ dans la mobilité

Présenté par
Dr. Philippe Couty

Incendie de 7 bus à Belfort 2 janvier 2025



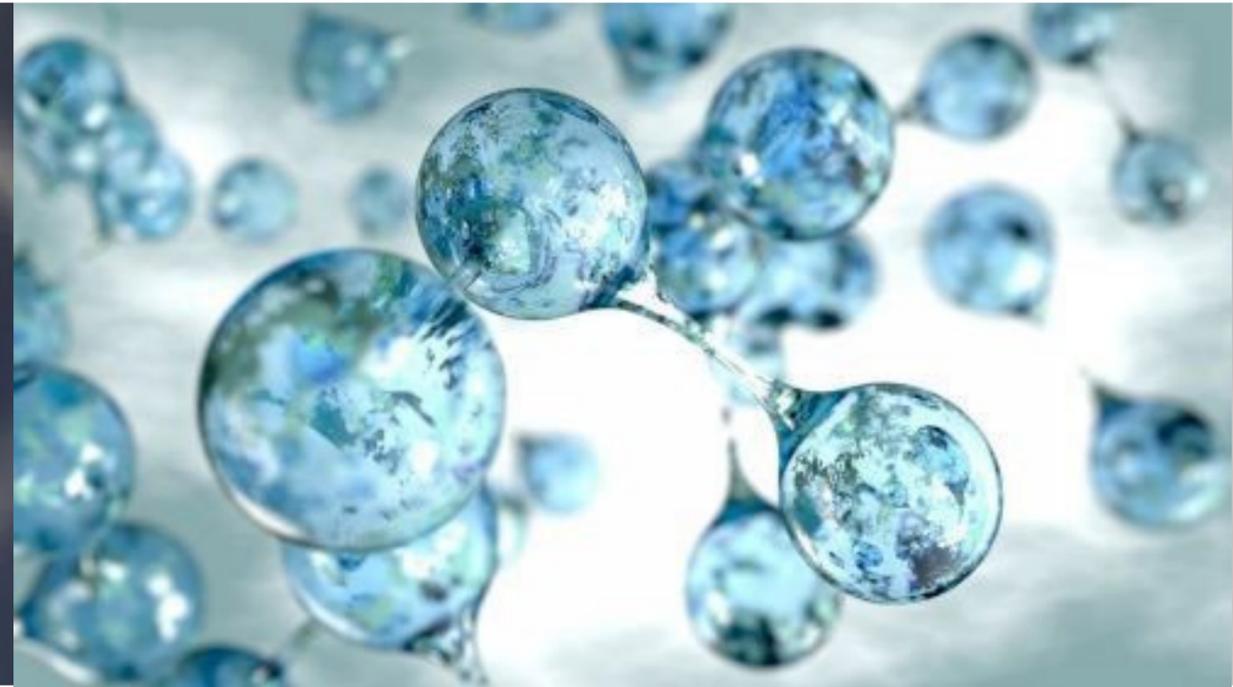
C'est à cause de l'Hydrogène ?



« Les réservoirs n'ont pas éclaté et les dispositifs de sécurité ont parfaitement fonctionné. Les détonations perçues par les riverains peuvent avoir plusieurs origines. Il y a déjà l'éclatement des pneus, et éventuellement les réserves d'air dans les véhicules. Une tuyauterie est chargée de purger le système. L'allumage des torchères chargées de brûler l'hydrogène contenu dans les réservoirs peut aussi provoquer de petites détonations, toutefois pas plus fortes qu'un ballon de baudruche. En tout cas, pas de quoi faire trembler les murs des habitations ». Marc Mouthon- Pompier

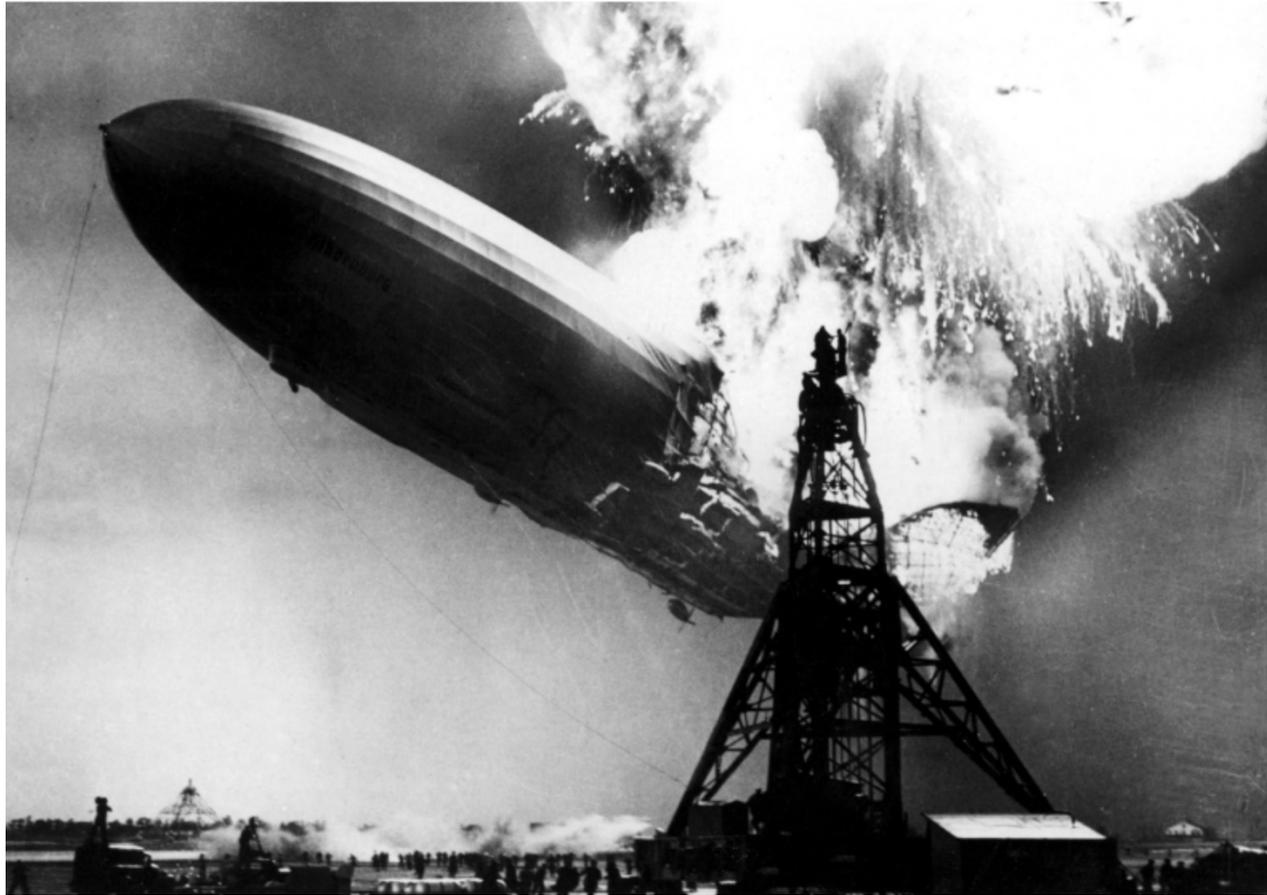
[Sources : france3; h2-mobile](#)

Comprendre et
prévenir les risques
liés au H2



Comprendre les risques liés au H2

La molécule la plus légère, la plus petite, avec beaucoup d'énergie par kg



Hindenburg 1937, 200'000 m³ de H₂

Densité relative la plus faible: 0,084 kg/m³ (à 15°C, 1 bar)
→ **14 fois plus léger que l'air et petite**

Température d'ébullition : -253 °C / -423.0 °F / 20°K sous pression atmosphérique

Densité d'énergie 3 fois plus élevée que l'essence !

| Propriété : Pouvoir calorifique inférieur | H ₂ | CH ₄ | Essence |
|-------------------------------------------|----------------|-----------------|---------|
| [MJ/kg] | 120 | 50,0 | 43'4 |
| [kWh/kg] | 33.3 | 13.9 | 12.1 |

- **L'Hydrogène est un vecteur énergétique (3 x)**
- **mais le stockage prend plus de place que le diesel (14 x plus @300 bar)**

Comprendre les risques liés au H2

Mais nous sommes bientôt plus de 100 ans plus tard ...



Projet Clip-Air, avec du H2 liquide, 2050 ?



Thales Alenia Space, Stratobus 2022

Comprendre les risques liés au H2

Mais du point de vue de la sécurité, quelques sont les autres propriétés du H2 ?

Très faible énergie et large plage d'inflammation (4-75% dans l'air)

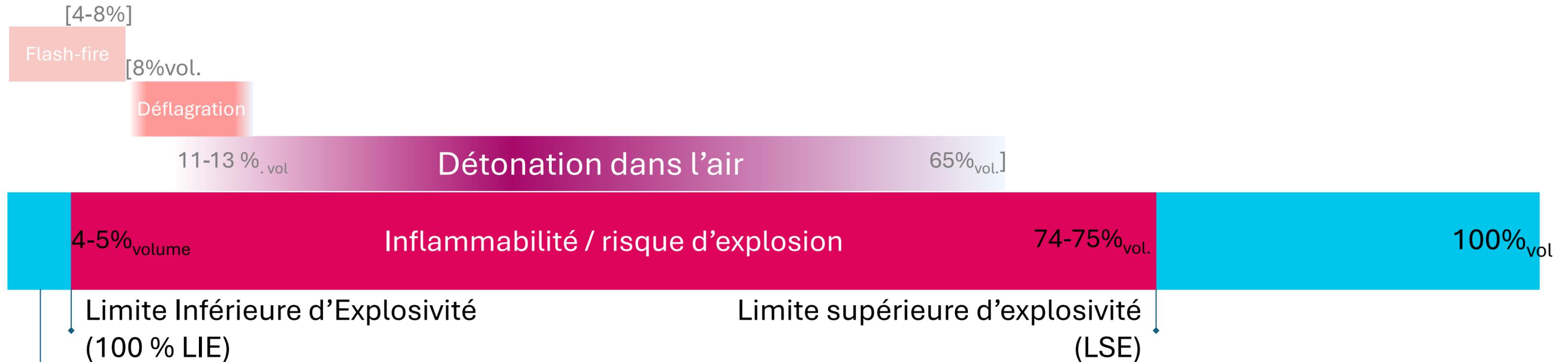
Explosivité

Sous pression

Flamme invisible et combustion rapide

Diffuse rapidement verticalement dans l'air

Gaz incolore et inodore, **non toxique, asphyxiant simple**

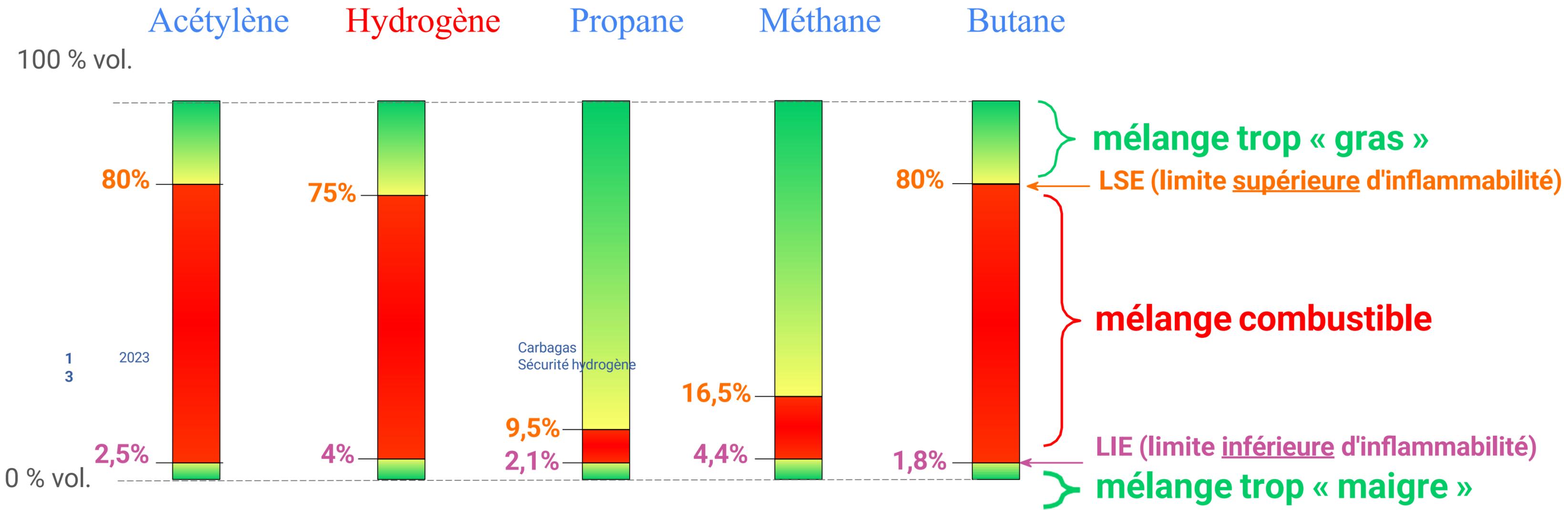


Christophe Proust. Fire and Explosion Safety in Hydrogen Containing Processes. 2019
<https://ineris.hal.science/ineris-03319916/document>

France Hydrogène. Inflammabilité et explosivité de l'hydrogène. Mémento de l'hydrogène Fiche 7.1. 2022
https://s3.production.france-hydrogene.org/uploads/sites/4/2020/05/Fiche-7.1-Inflammabilite-et-explosivite-de-lhydrogene_Octobre-2022.pdf

Comprendre les risques liés au H2

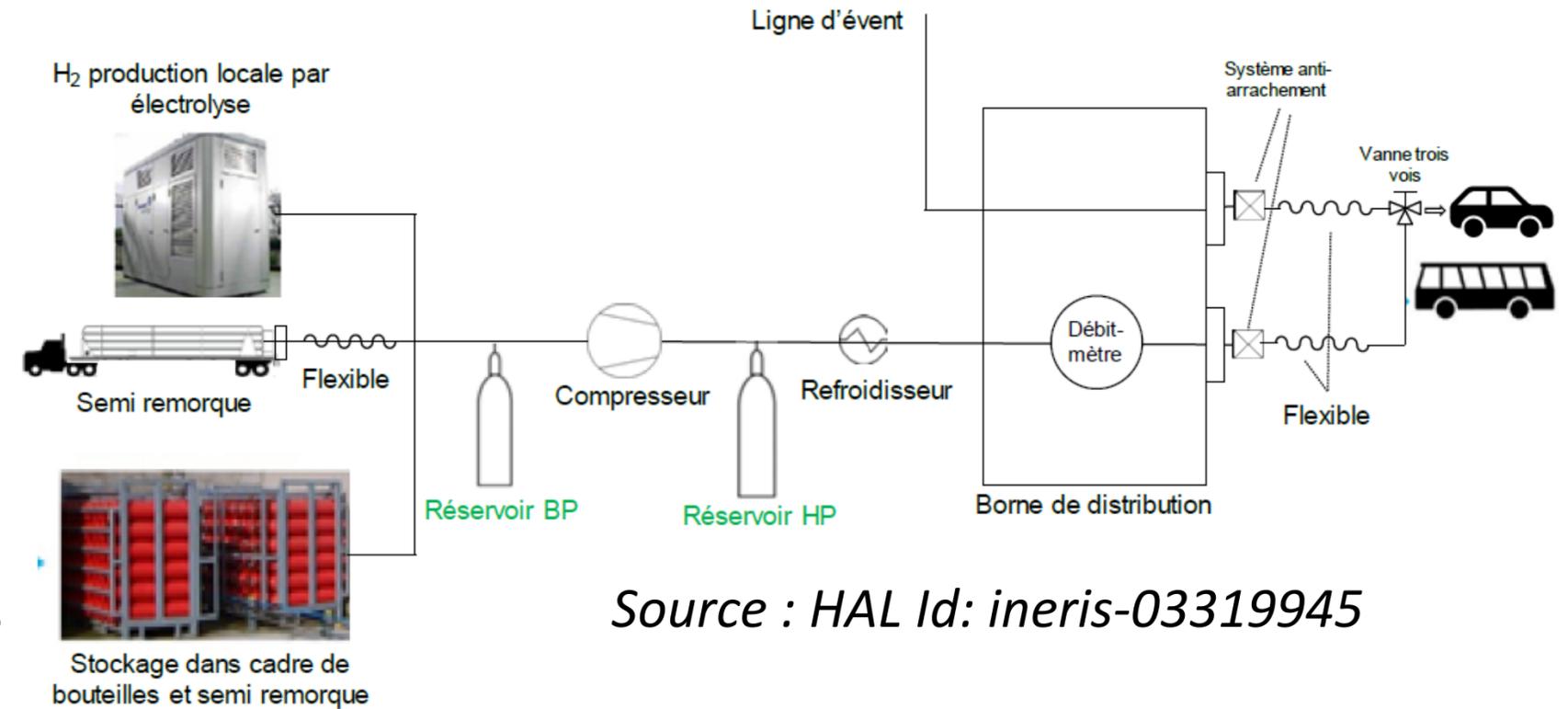
Limites d'explosivité de l'hydrogène lorsqu'il est mélangé à l'air : champ d'inflammation



Prévenir les risques liés au H2

Infrastructure - stockage

- ✓ Eviter tout confinement : ventilation naturelle ou forcée en haut des pièces, purge et évacuation vers l'extérieur
- ✓ Définir et protéger les zones explosives ATEX – éliminer les causes d'inflammation : étincelle électrique ...
- ✓ Mise en place de capteurs H2 avec un seuil 25% LIE
- ✓ Mise en place de détecteurs de flamme
- ✓ Stockage et transport : conteneur robuste et sécurisés supportant la haute pression
- ✓ Explosion : éviter la possibilité de réaction en chaîne pour le stockage et l'usage
- ✓ Eviter les flux grande vitesse (auto-inflammation)
- ✓ Risque d'incendie : présence de vanne TPRD (110°C)
 - Extincteur poudre

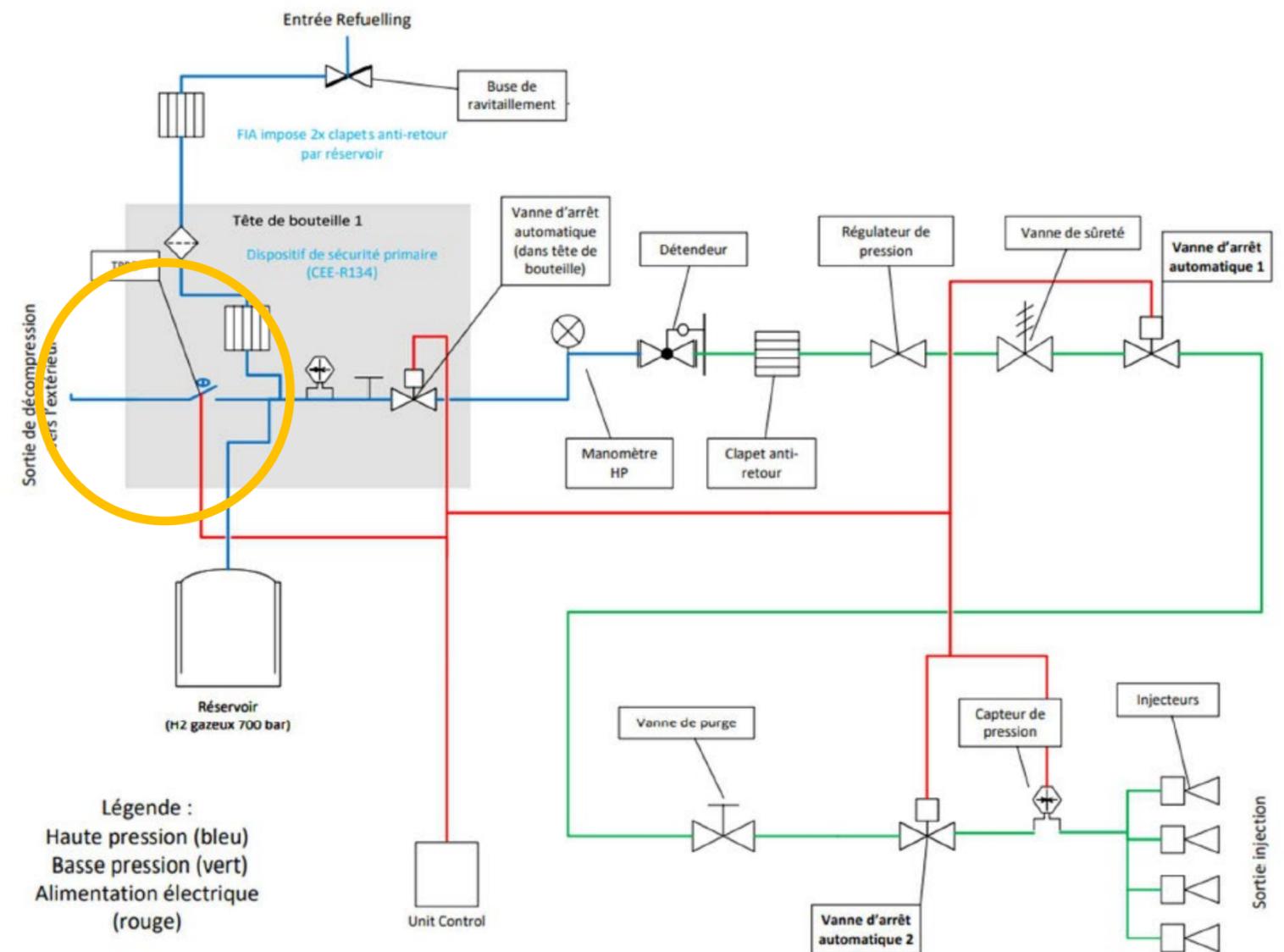


Prévenir les risques liés au H2

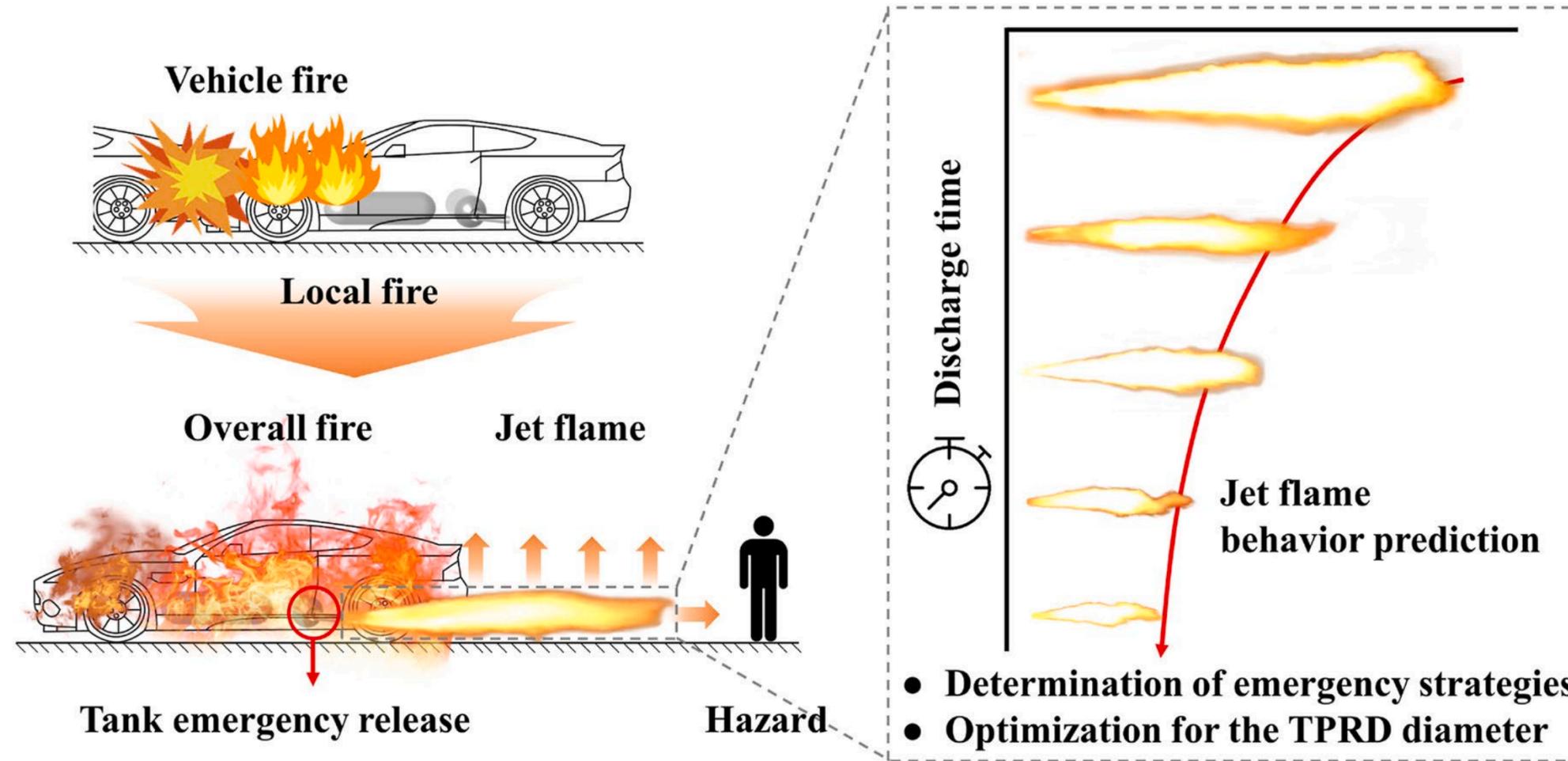
Systemes voire avec petit stockage- mobilité

- ✓ Qualité et concept de l'installation dans les règles de l'art selon les standards
- ✓ Ex : Vanne d'isolement, orifices calibrés limitant le débit (ex 0.5 kg/min),
- ✓ Stopper le flux automatiquement en cas d'incident,
- ✓ Détection de chute de pression, H2, température, flamme
- ✓ Evacuer les excès de pression PRD ou **TPRD (110°C)**
- ✓ Inerter, purger (pas de comburant O2),
- ✓ Test en pression, maintenance régulière !

...



Hydrogen versus Gasolin leak and ignition test- which is safer



Hydrogen versus Gasolin leak and ignition test- which is safer



Tank safety_Hydrogen Tank Gunshot

Photron

30000 fps
Manual 11895
Date : 2011/9/15

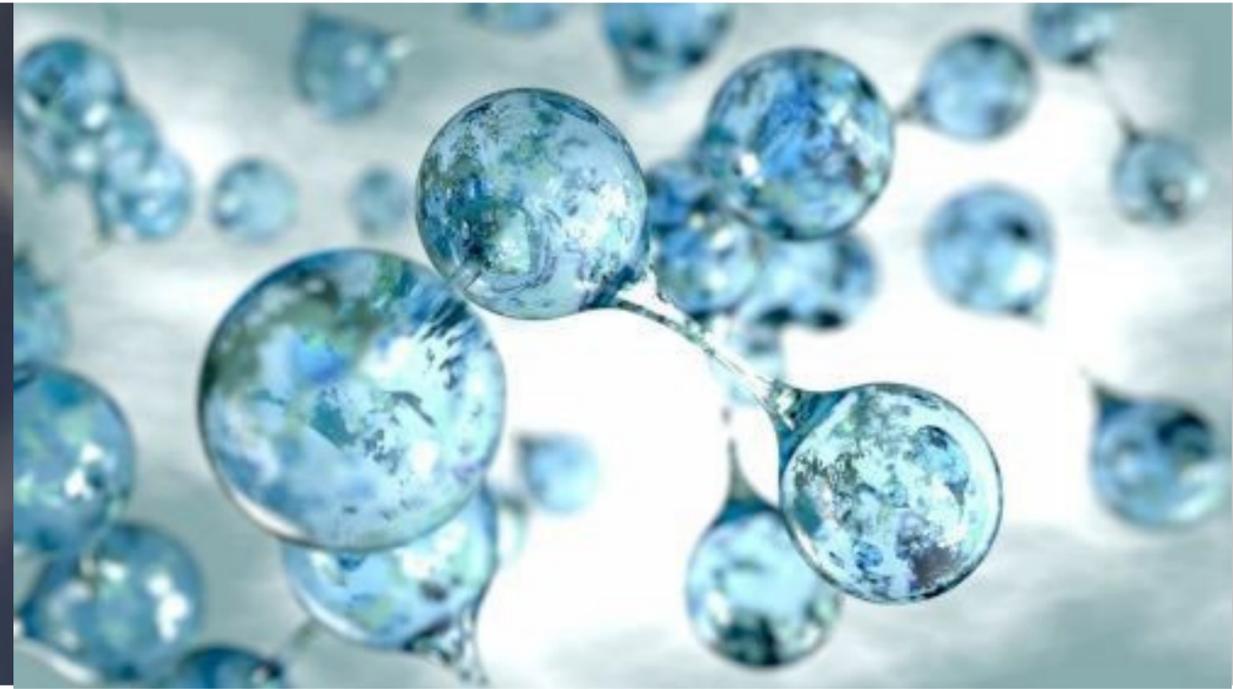
FASTCAM SA5 model ...

1/30000 sec
frame : -5636
Time : 16:08

640 x 376
-00:00:00.187867
CAW 21



Sécurité 'safety'

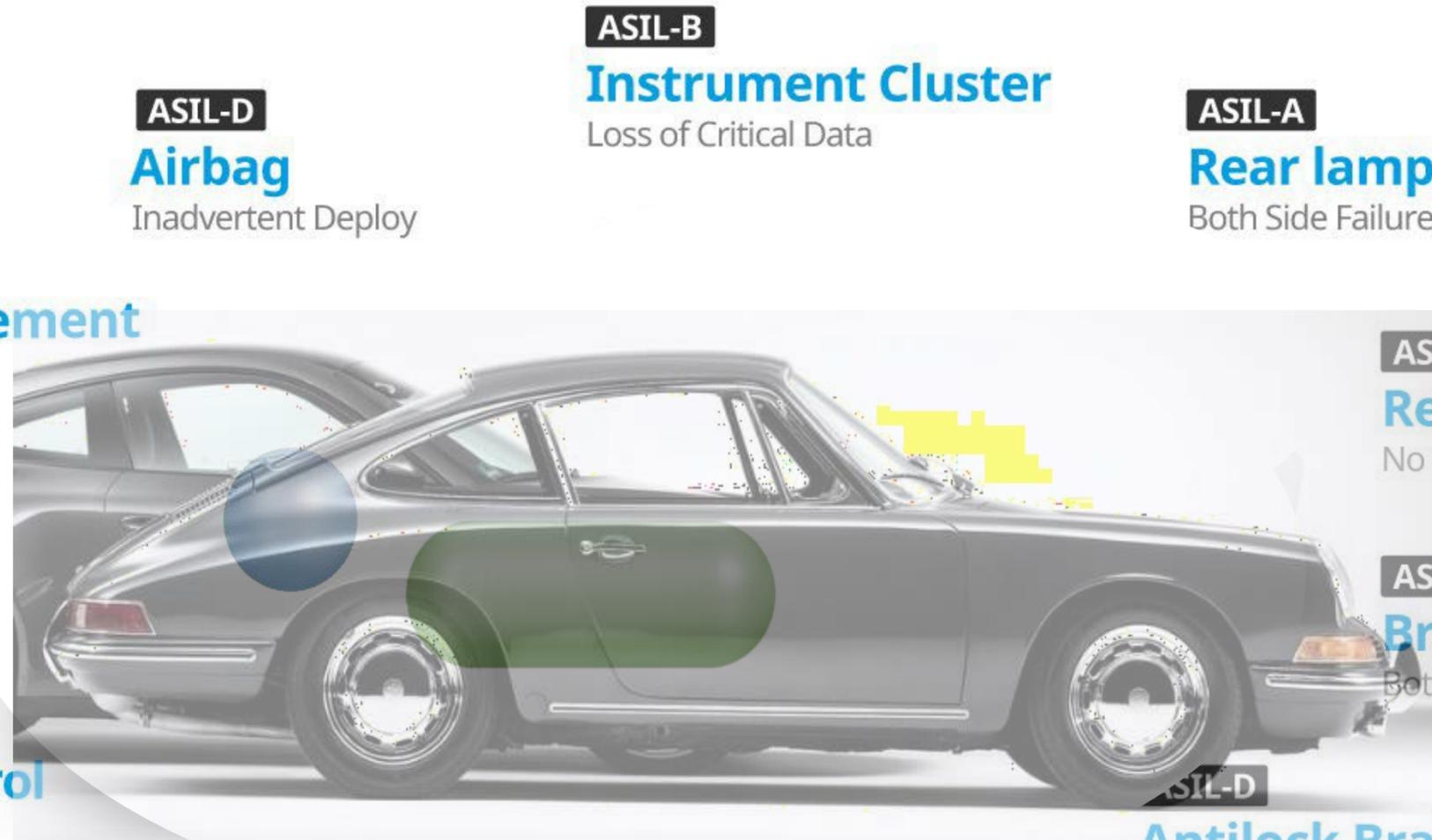




ISO 26262: Functional Safety for Road Vehicles

- **ISO 26262** is critical for ensuring the functional safety of automotive systems using hydrogen.
- It covers the entire lifecycle of a vehicle, from development to decommissioning.
- **Risk assessment under this standard uses the ASIL (Automotive Safety Integrity Level) framework to categorize hazards.**

Automotive safety level



ASIL-C to D

Engine Management

Unwanted Acceleration

ASIL-D

Airbag

Inadvertent Deploy

ASIL-B

Instrument Cluster

Loss of Critical Data

ASIL-A

Rear lamps

Both Side Failure

ASIL-B

Headlamps

Both Side Failure

ASIL-C to D

Adaptive Cruise Control

Inadvertent Braking

ASIL-B

Vision ADAS

Incorrect Sensor Feedback

ASIL-D

Electric Power Steering

Self-steering

ASIL-B to C

Active Suspension

Suspension Oscillates

ASIL-B

Rear View Camera

No Valid Sensor Data

ASIL-B

Brake lamps

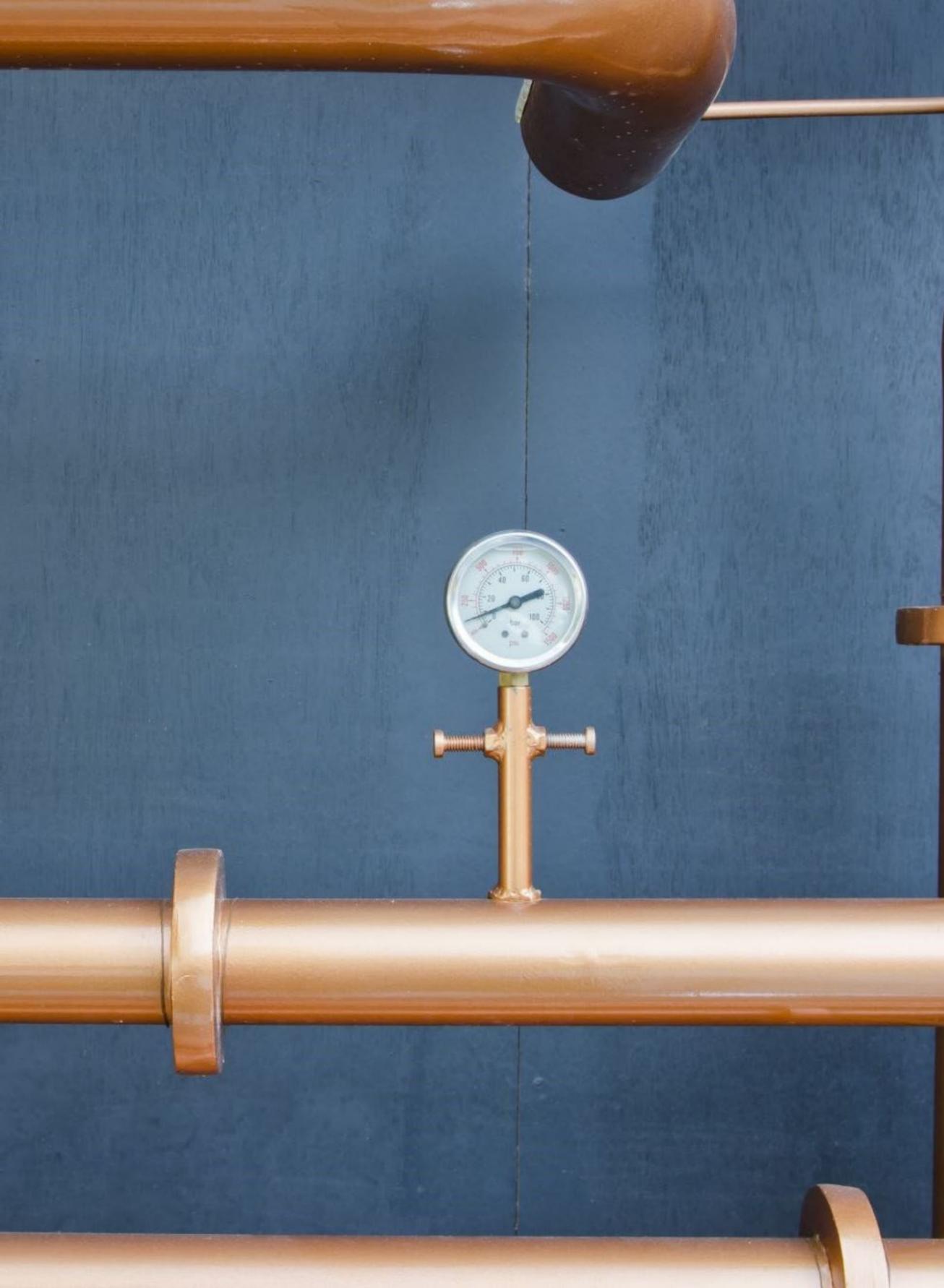
Both Side Failure

ASIL-D

Antilock Braking

Unintended Full Power Braking

Functional Safety in Hydrogen Systems



- Hydrogen systems must be **designed to avoid catastrophic** failures like explosions or leaks.
- Focus on fault-tolerant designs, system redundancies, and safety-critical controls.
- Key safety measures **include leak detection sensors, emergency shut-off valves, and pressure management systems.**

Overview of International Standards for Hydrogen



Hydrogen technologies are governed by various standards, focusing on safety, efficiency, and reliability.



Common standards include **ISO 14687 (Hydrogen fuel quality)**, **ISO 19880-1 (Refueling stations)**, and **ISO 26262 (Functional safety in automotive)**.



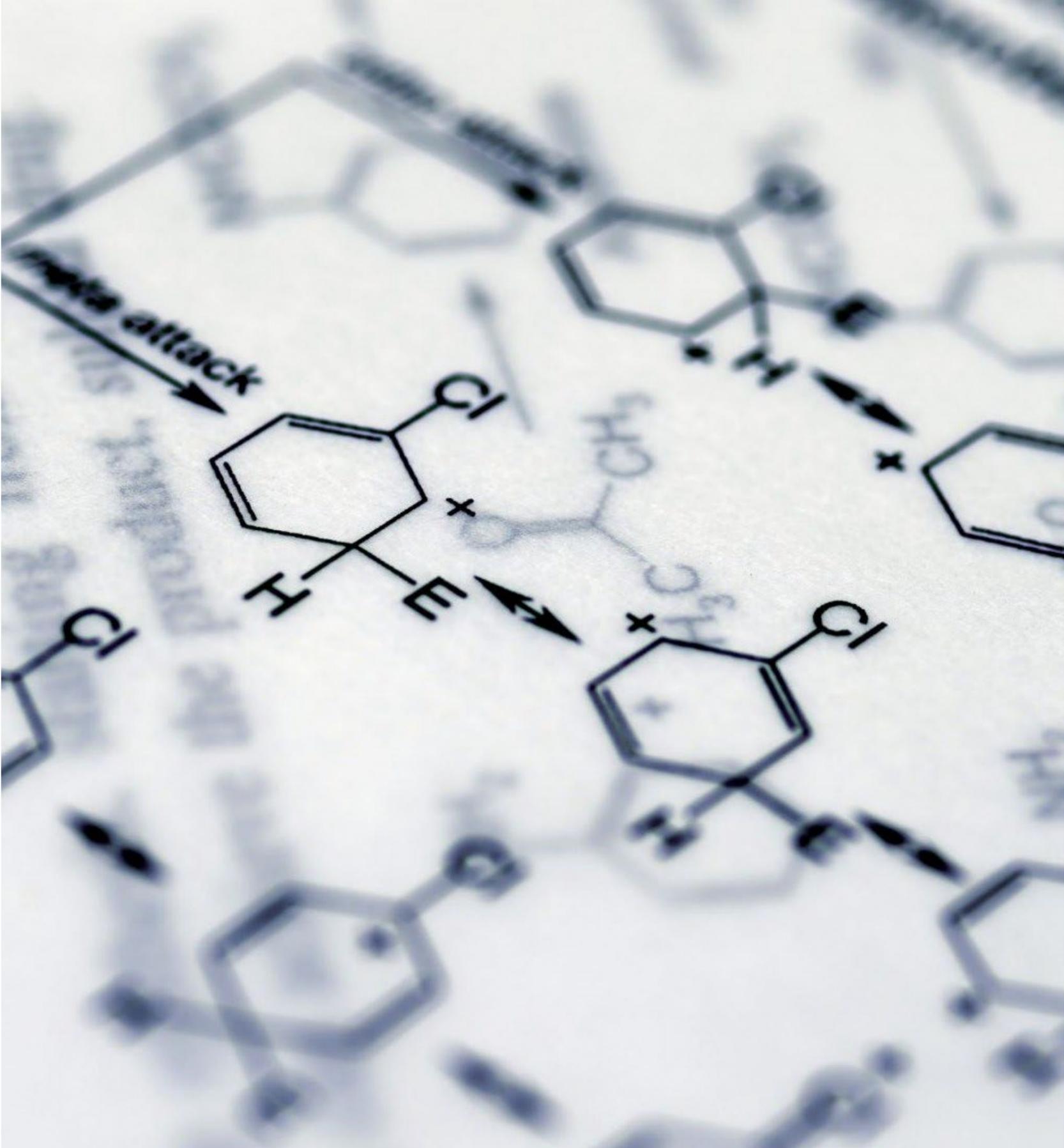
Ensures safe operation of hydrogen production, storage, and utilization in vehicles and machinery.



Compliance with these standards is essential to ensure legal conformity and prevent accidents.

ATEX Directive: Explosive Atmospheres

- ATEX Directive applies in environments where explosive atmospheres, such as hydrogen, may exist.
- Ensures equipment is safe to use in areas where hydrogen might mix with air to form explosive mixtures.
- Example: Hydrogen storage facilities must comply with ATEX to avoid risks of explosion.
- **Safety measures include explosion-proof equipment, proper ventilation, and monitoring systems.**



Risk Assessment: Hydrogen Hazards

- Key risks with hydrogen: High pressure, leaks, explosions, and fire hazards.
- Risk assessment involves identifying hazards, estimating risk, and implementing controls.
- **Techniques like HAZOP and FMEA are used to evaluate potential failure modes and prevent accidents.**
- Example: A hydrogen storage system would be assessed for leaks, overpressure risks, and fire control mechanisms.

Alors ? Dangerosité du H2 – Mythe ou réalité ?

- L'hydrogène fuit trop !
- L'hydrogène est toujours dangereux !
- La sécurité H2 non compatible avec nos infrastructures !
- L'hydrogène trop difficile à stocker et distribuer !

... pas plus que le gaz nat. dans les faits
... non toxique, plus léger que l'essence ,
le propane il s'échappe vers le haut
...c'est encore discutabile et il existe des
solutions techniques.

OUI c'est toujours un petit défi et un
changement d'habitude. Mais le savoir
faire et les normes existent depuis
longtemps (spacial, industrie etc)

Lors d'un incendie, un bus à gaz - GNV ou hydrogène - est moins dangereux qu'une bouteille domestique de butane ou propane. Et pourtant il y en a plus de 60 millions en France. Elles ne sont pas toutes en composite, ne sont toujours pas sécurisées, et ne le seront probablement jamais.

Marc Mouthon

-> Importance de la formation

[Source Plugpower](#)



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Green SKHy

Green Skills and Knowledge for Hydrogen



Hes·so

UNI
FR

UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Automotive NL Netherlands Show the partner website |  | Climate Partner South Baden e.V. Germany Show the partner website |
|  | Deutsche WindGuard Germany Show the partner website |  | HAN University of Applied Sciences Netherlands Show the partner website |
|  | Kolping Bildung Germany Germany Show the partner website |  | Ministry of Education, Children and Youth Luxembourg Show the partner website |
|  | PLANET Engineering GbR Germany Show the partner website |  | Pôle Véhicule du Futur France Show the partner website |
|  | School of Engineering and Architecture of Fribourg Switzerland Show the partner website |  | Technifutur® Belgium Show the partner website |
|  | TWEED Cluster Belgium Show the partner website |  | University of Groningen Netherlands Show the partner website |
|  | University of Liège Belgium Show the partner website |  | University of Lorraine France Show the partner website |
|  | University of Luxembourg Luxembourg Show the partner website |  | University of Marie & Louis Pasteur France |

CAS HES-SO en Hydrogène

– Vecteur d'énergie

Merci de votre
attention

Philippe Couty

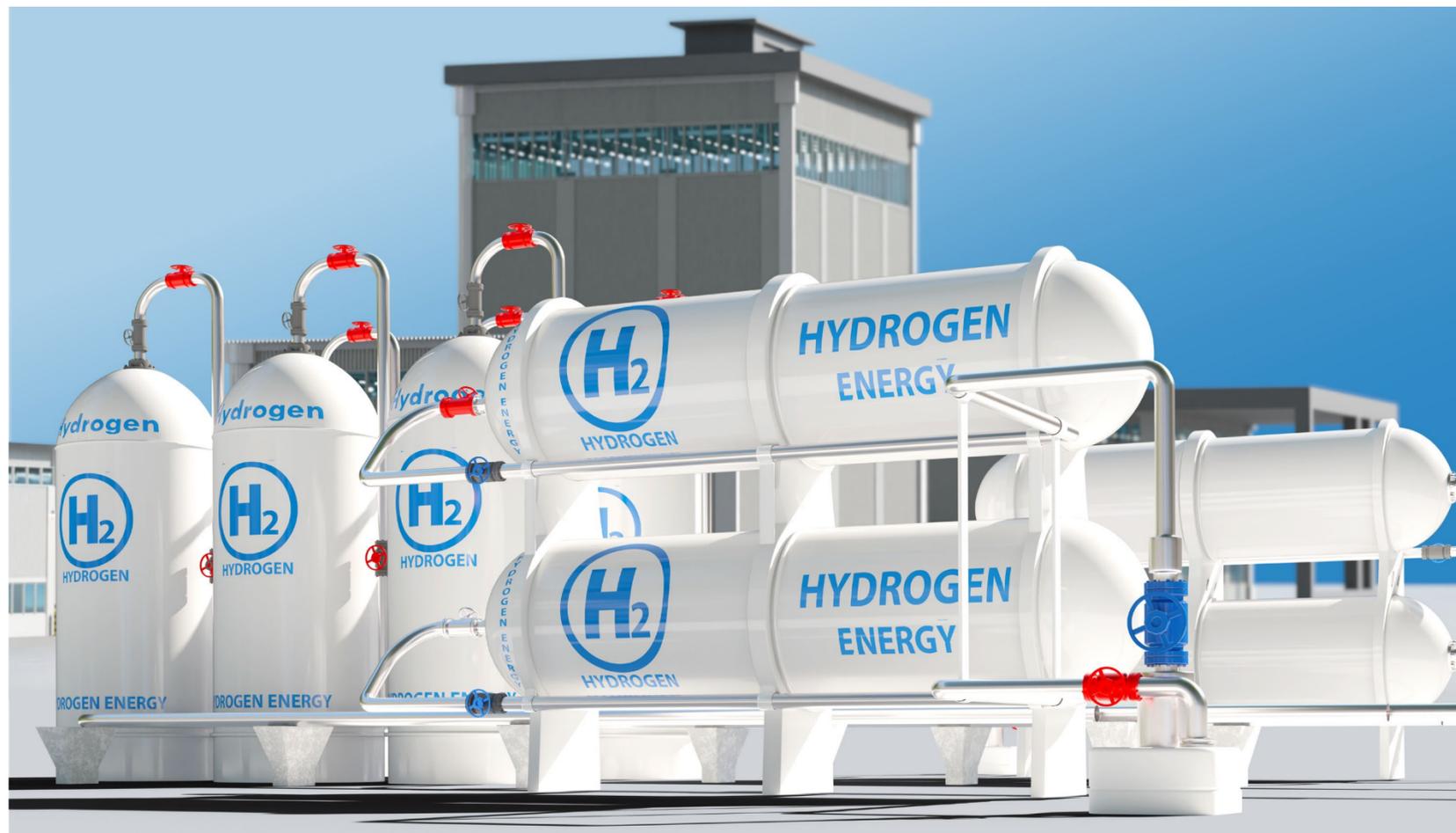
philippe.couty@hefr.ch
philippe.couty@tecphy.ch

+4178 719 09 07



Table ronde

Décarbonation avancée de la mobilité à l'H₂ : quelles opportunités et quels acteurs s'y positionnent ?



Jérôme Wüthrich, AVIA Distribution

Nicolas Crettenand, Hydrospider

Laura Amaudruz, Transports Publics Fribourgeois, TPF

Paul Van de Sompel, Chrono-énergie

L'écosystème H2 Mobilité Suisse

RDV H2
1^{er} avril 2025
Lausanne

Nous produisons le carburant de demain



Écosystème: modèle de coopération par couplage sectoriel



Hyundai H2 Energy

Flotte de camions H2

- Autonomie de 400 km
- Poids total 34 t
- Modèle "pay-per-use" (paiement à l'utilisation)

www.hyundai-hm.ch

Exploitants de stations-service - Association de promotion de la mobilité H2 Suisse

www.h2mobilitaet.ch



H2 Energy Alpiq Linde

Production de H2 à partir d'énergie renouvelable

Commerce de H2

Logistique H2
Livraison dans des conteneurs interchangeables aux stations-service

www.hydrospider.ch

L'hydrogène vert de Gösgen



Production d'électricité au fil de l'eau

Hydrospider

Centrale Niedergösgen d'Alpiq,
51 MW



Production d'hydrogène par électrolyse

33

1^{ère} installation en Suisse 2 MW
Mise en service 2020



Stockage dans des conteneurs spécialement conçus
Production annuelle jusqu'à 300 tonnes de H2 vert



L'hydrogène est livré en fonction des besoins
Pour 40-50 camions H2 ou 1'700 voitures H2

HRS et production H2

● Stations service H2 ouvertes

| | |
|-------------------|----------------|
| Bern | Coop |
| Chur | Coop |
| Dietikon | Coop |
| Frenkendorf | Coop |
| Geuensee | AVIA |
| Grauholz | Socar |
| Hunzenschwil | Coop |
| Lausanne/Crissier | Coop |
| Müntschemier | Schwab-Guillod |
| Pratteln | AVIA |
| Puidoux | AVIA |
| Rothenburg | Agrola |
| Rümlang | AVIA |
| Schötz | Agrola |
| St. Gallen | AVIA |
| St. Gallen/Gossau | AVIA (350) |
| Uetendorf * | Oeltrans AG |
| Zofingen | Agrola |

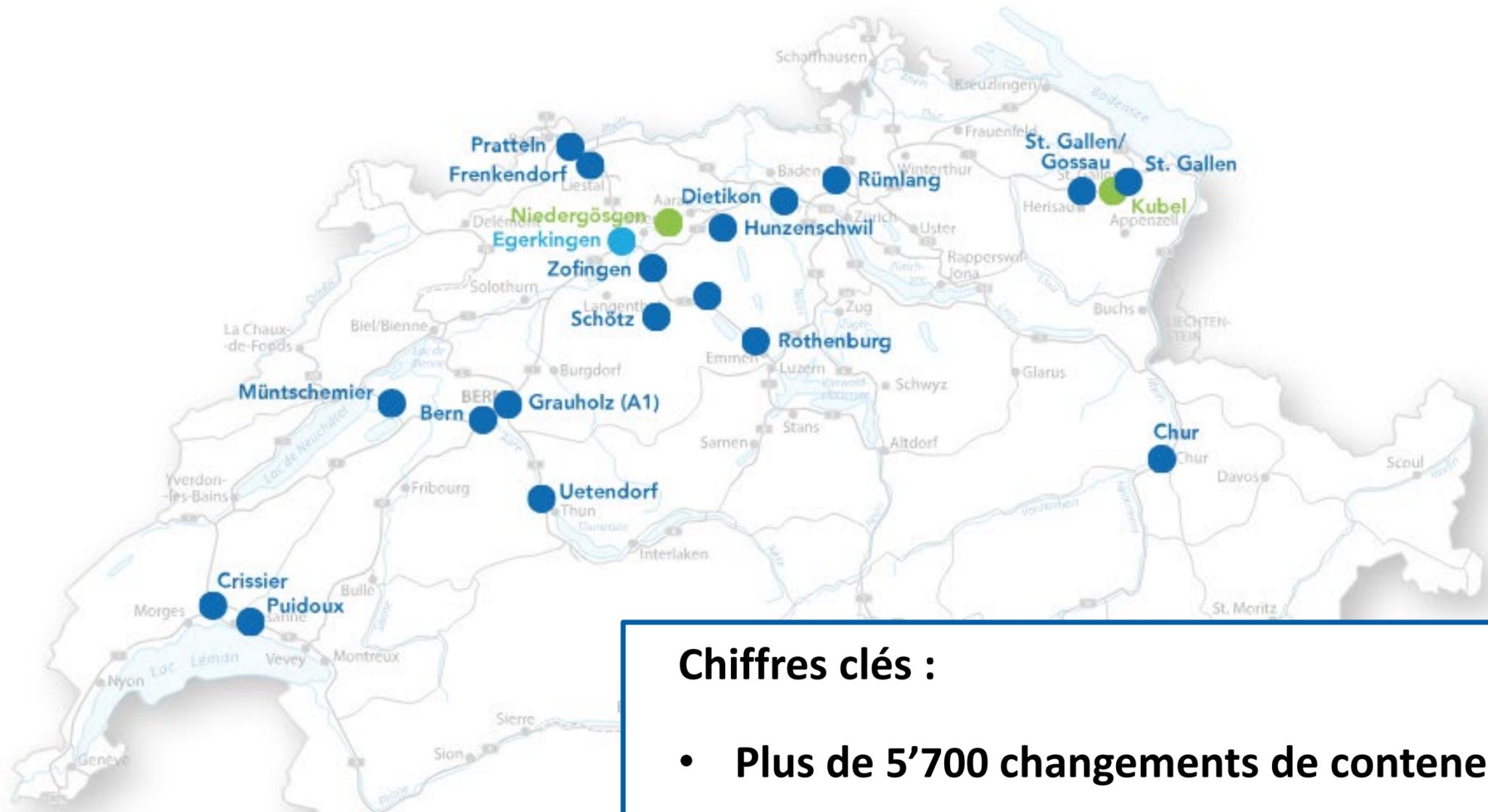
● Stations service H2 en réalisation

| | |
|------------|-------------------|
| Egerkingen | Coop (in Planung) |
|------------|-------------------|

● Production de H2

| | |
|------------------|--------------------------------------------------------------|
| Kubel St. Gallen | en service (Wasserstoff-Produktion Ostschweiz AG, avec AVIA) |
| Niedergösgen | en service (Wasserstoff-Produktion Ostschweiz AG, avec AVIA) |

* pas encore approuvée et autorisée par HHM



Chiffres clés :

- Plus de 5'700 changements de conteneurs
- Plus de 12 millions de km parcourus (camions HHM)
- Plus de 9'000 t de CO2 économisés (camions HHM)



Merci

Dr. Nicolas Crettenand

CEO

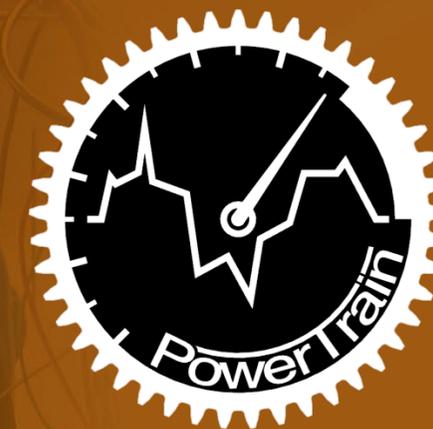
Hydrospider AG
Werkstrasse 63
5013 Niedergösgen

Adresse postale:
Bahnhofquai 12
4601 Olten

T +41 58 513 98 90
info@hydrospider.ch

www.hydrospider.ch

Nous produisons le carburant de demain

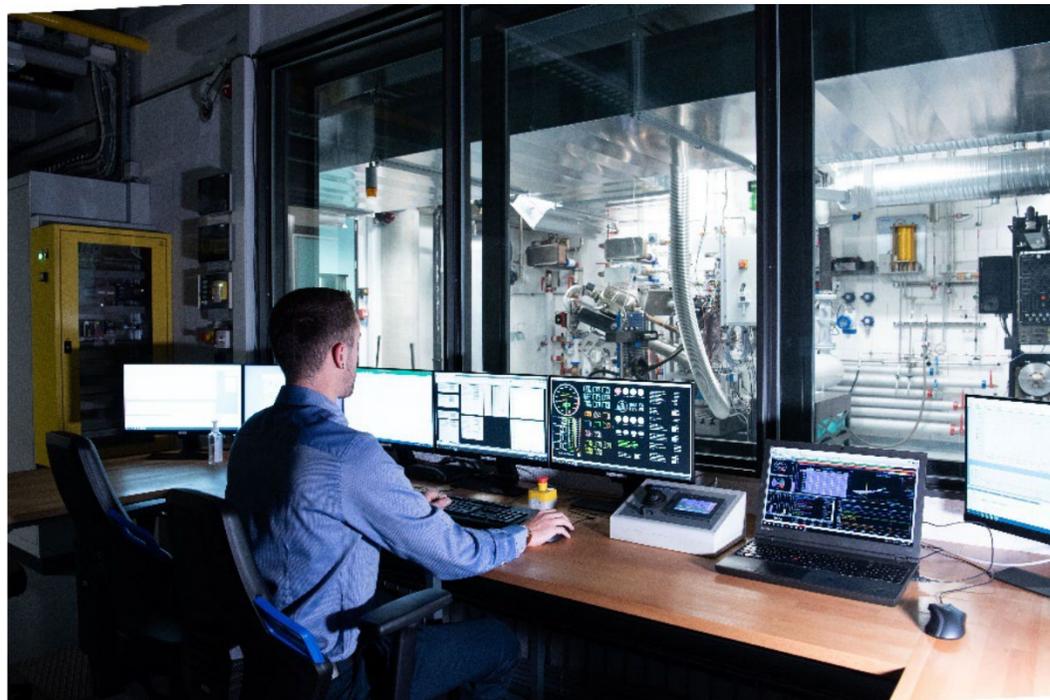


Moteurs à combustion H₂ et collaboration avec les TPF

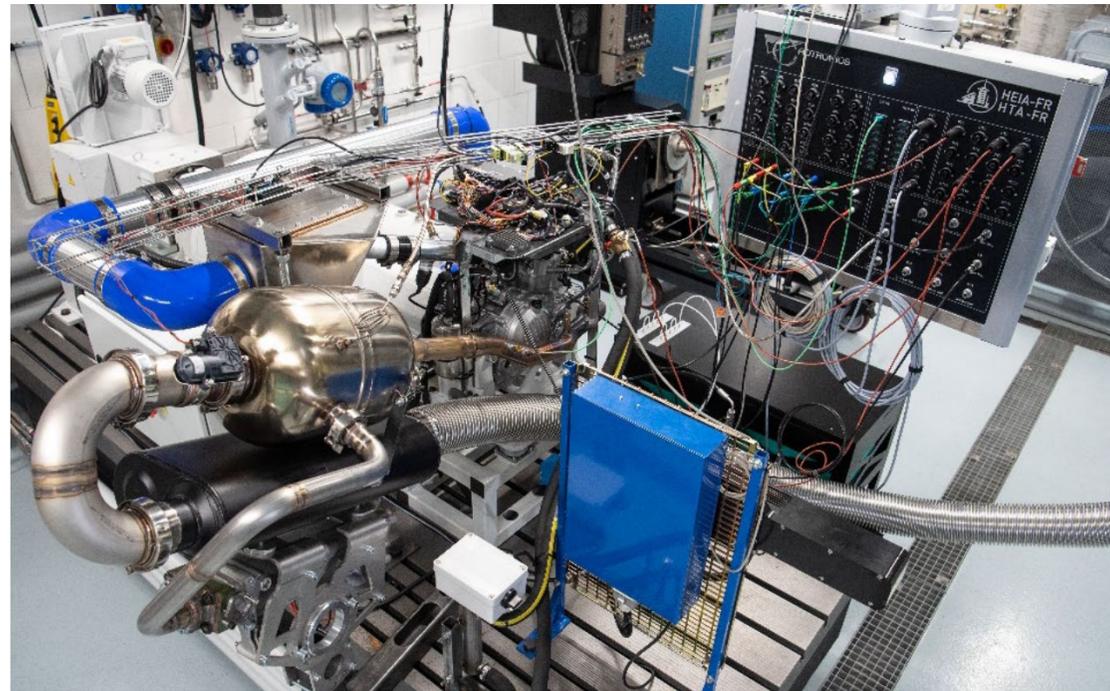
Nils Monney
Adjoint scientifique, groupe Powertrain

Bancs d'essais HEIA-FR : infrastructure

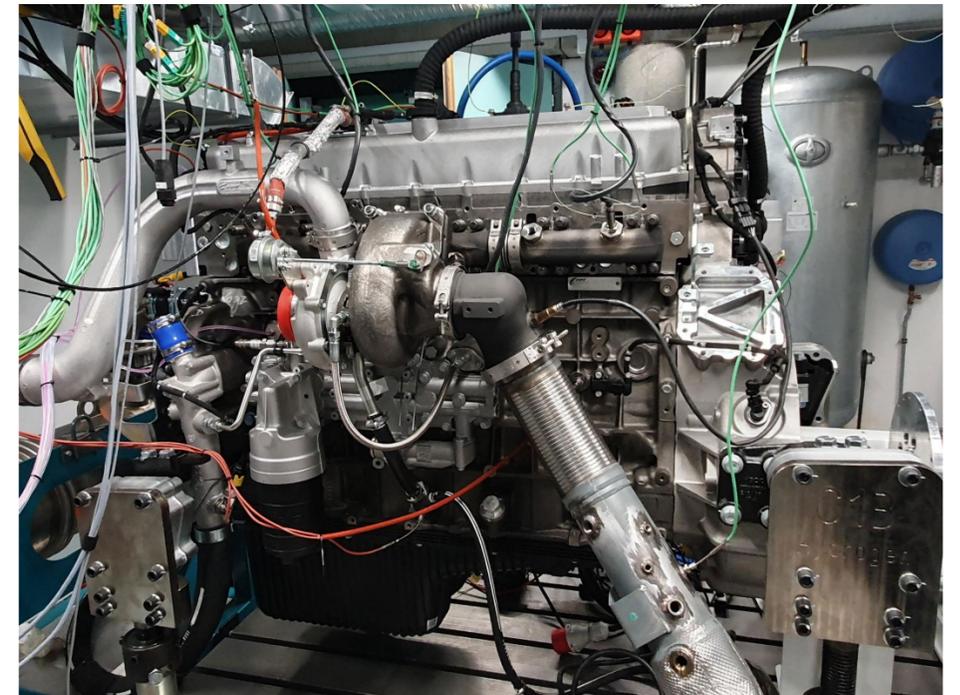
- 3 bancs Ra&D : 75 / 265 - 475 / 720 kW
- Peuvent fonctionner avec tout carburant gazeux et ~liquide
- Systèmes d'acquisition haute et basse fréquences
- Baie d'analyse des gaz d'échappement



Monitoring haute performance



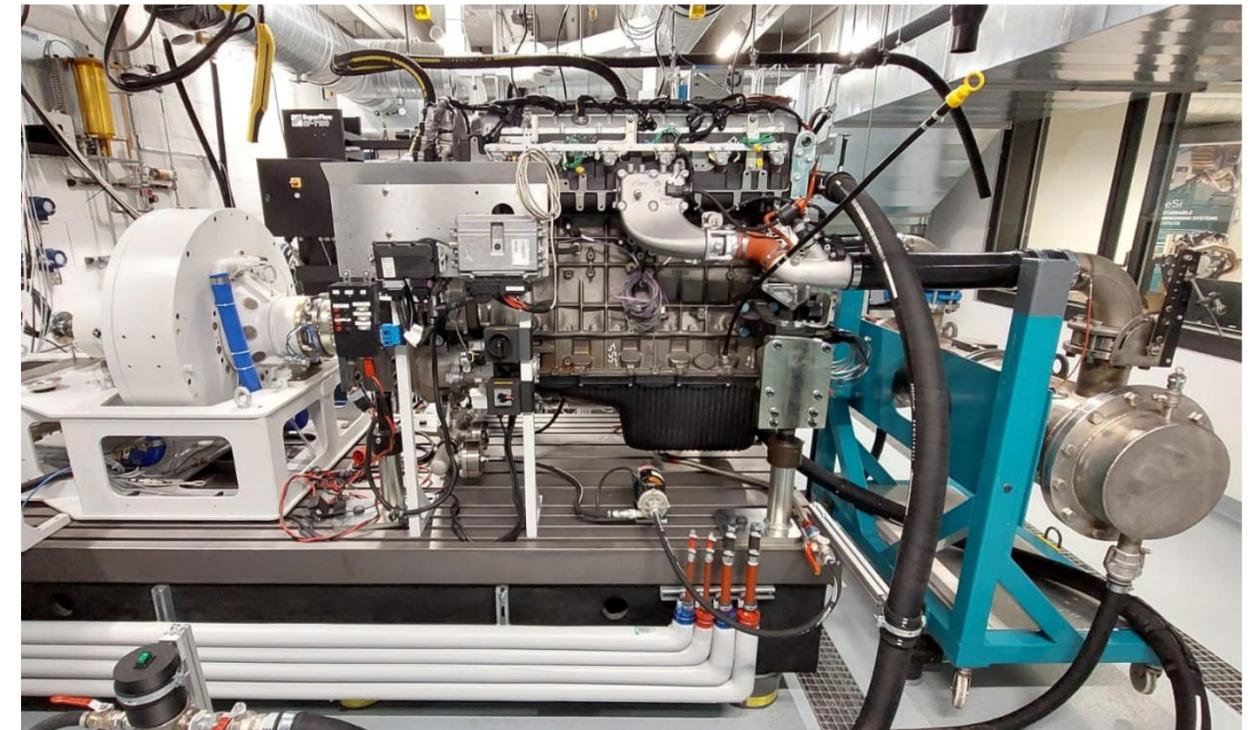
Moteur monocylindre R&D H2



Moteur H2 6 cylindres 13 litres

Carburants

- Focus actuel : hydrogène, une source énergétique pouvant être produite localement.
- Quelques projets gaz naturel (cogénération et range extender)
- Le développement des moteurs pour les carburants alternatifs est une thématique que nous pouvons également proposer :
 - E-fuels
 - Bio-fuels
 - méthanol, éthanol, OME, HVO
 - Biogaz, syngas

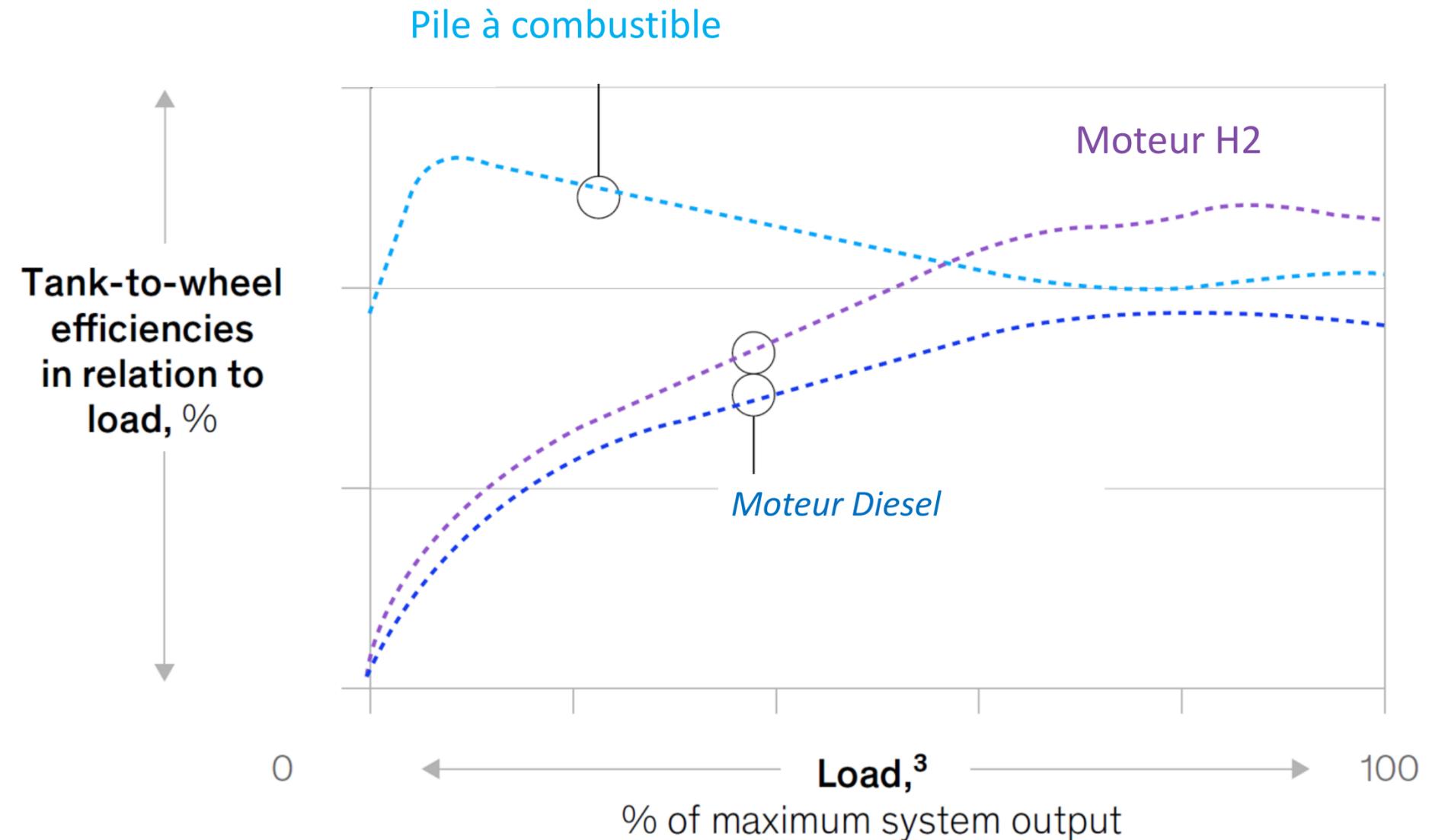


Rendement moteur à hydrogène vs. pile à combustible

→ Le moteur H2 est compétitif à **forte charge**

→ Les moteurs existants peuvent être **convertis facilement**

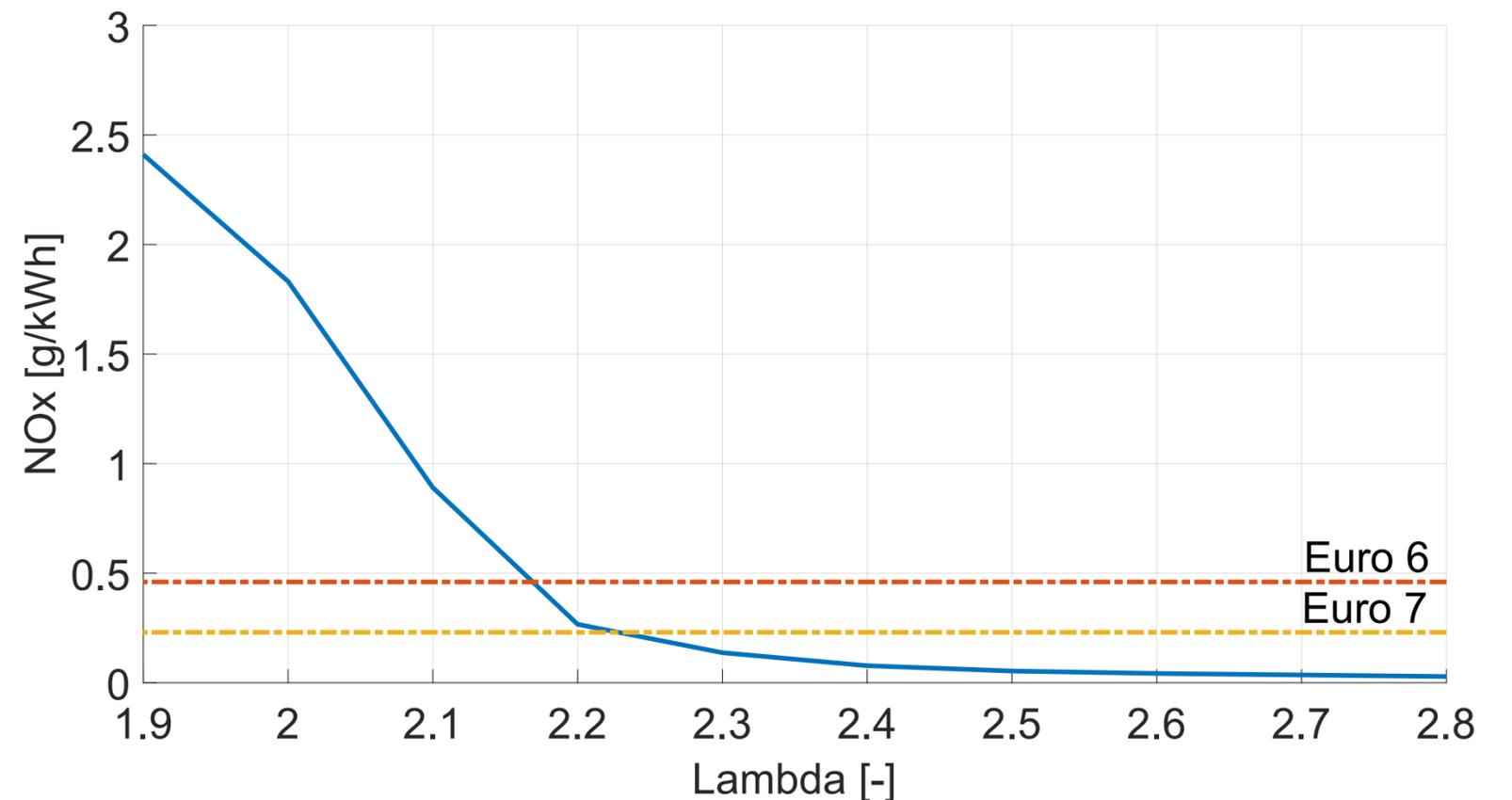
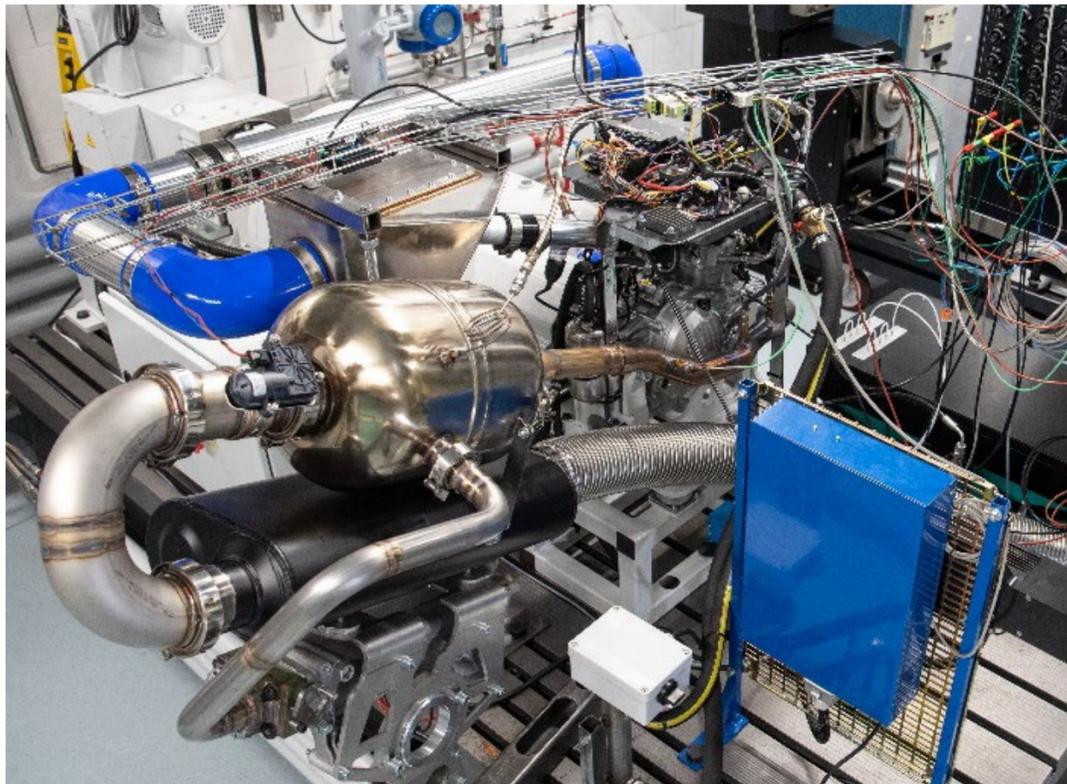
ex.: Autocars
Camions
Off-road
Rail
Marine



Source: Mc Kinsley / Lohse-Busch et al., Toyota Mirai case study (1st generation), July 2019.

Ra&D sur moteur monocylindre

- Moteur converti
- Développement de différentes stratégies de combustion
- Résultats : haut rendement et émissions proches de NOx



Etude de faisabilité pour bus

- Bus 18m avec motorisation H2, 350km/jour
- Faisabilité technique, y-compris sécurité et homologation
- Coût H2 et infrastructure
- Coût véhicule et TCO
- Comparaison avec technologies neutres en CO2
- Recommandation d'utilisation



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral des transports OFT

Programme Stratégie Energétique 2050 Transports Publics SETP 2050



SeSi
Sustainable Engineering
Systems Institute

ROSAS

tpf
● ● ●

FPT
POWERTRAIN TECHNOLOGIES

HESS

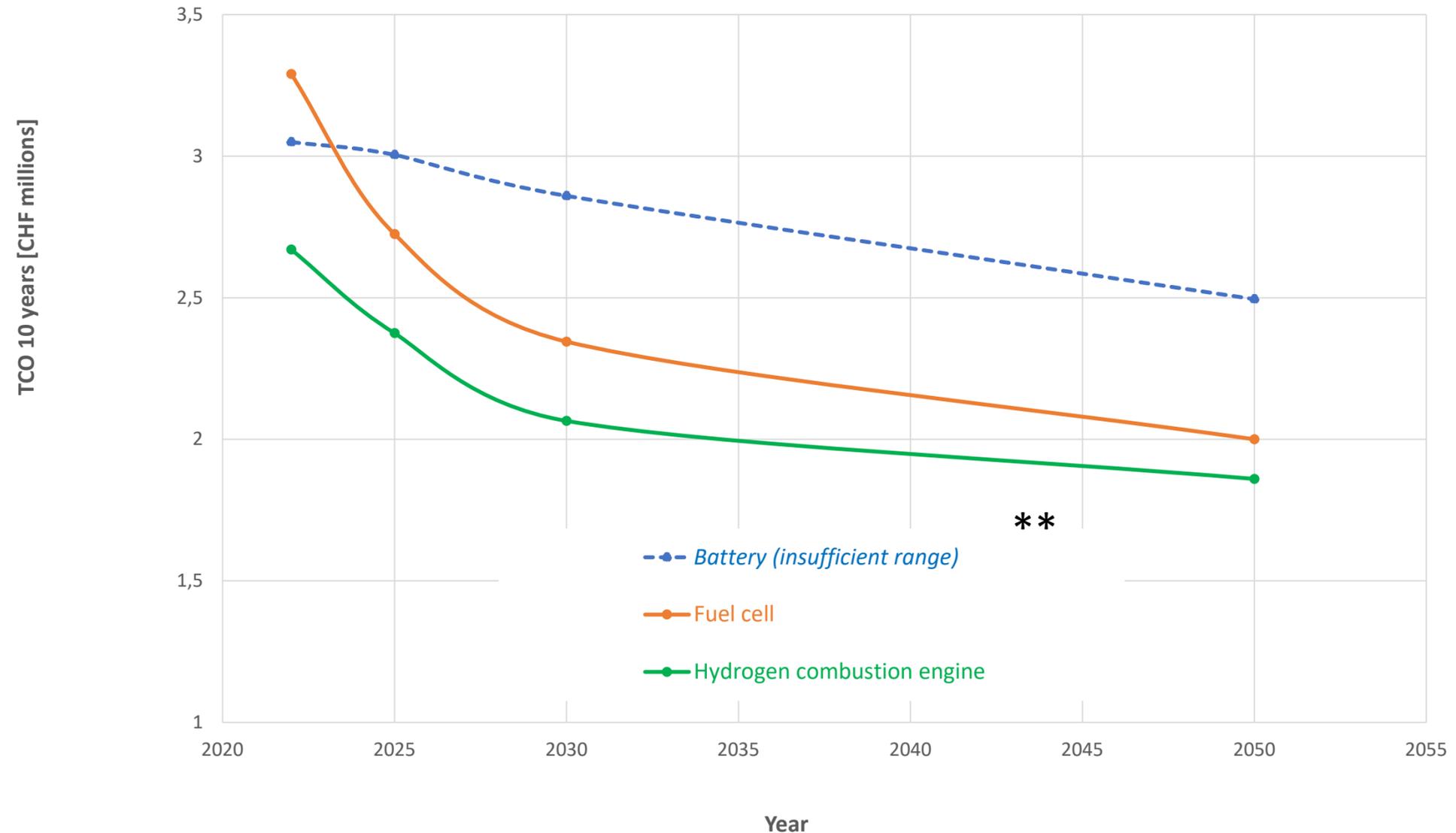
H₂TECPHY

Etude de faisabilité pour bus

Comparaison coût véhicule / TCO (10 ans) extra-urbain

| Bus | Purchase price (CHF) |
|------------------|----------------------|
| Diesel * | 500 000 |
| Battery * | 935 000 |
| H2 Fuel cell * | 1 300 000 |
| H2 engine | 700 000 |

*Source : M. Lebküchner et al



** Autonomie bus à batterie en hiver : 180 – 200km (besoin = 350km)

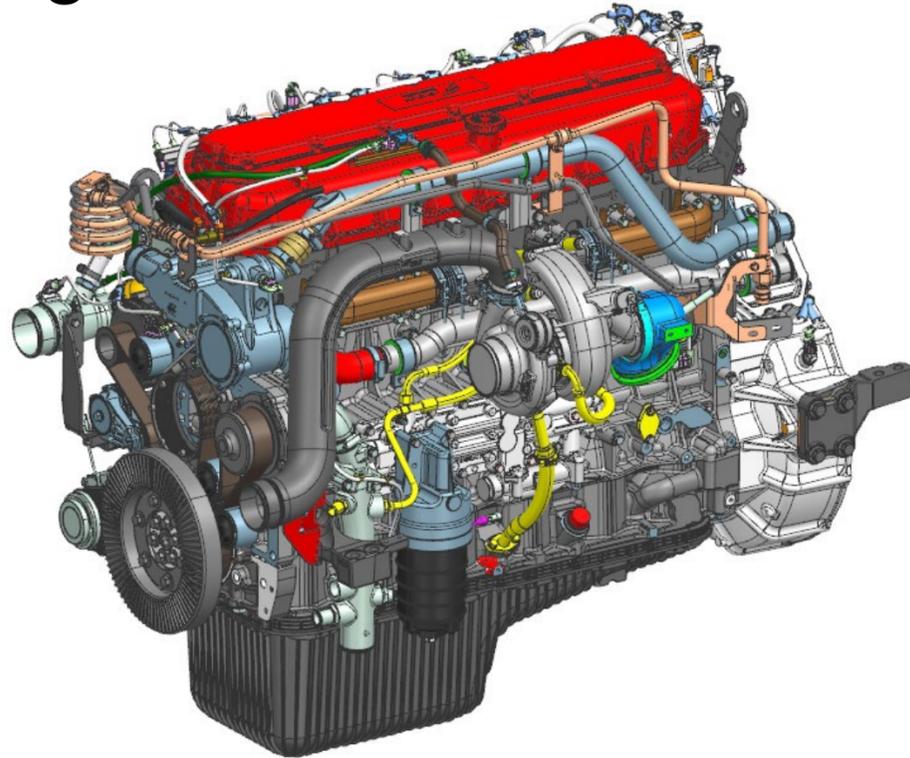
Etude de faisabilité et d'optimisation pour bus

Retrofit

- Le retrofit de véhicules existants (neufs ou d'occasion) présente des avantages coût, délai et homologation → voie privilégiée pour la suite du projet
- Moteur de base :
FPT 6 cylindres 13 litres
gaz naturel



Bus Iveco à gaz naturel

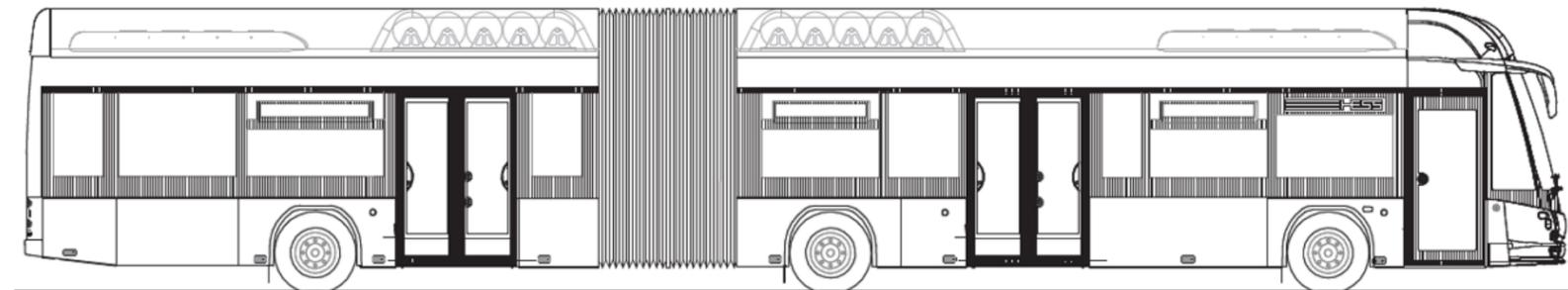
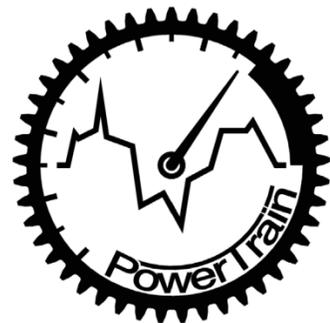
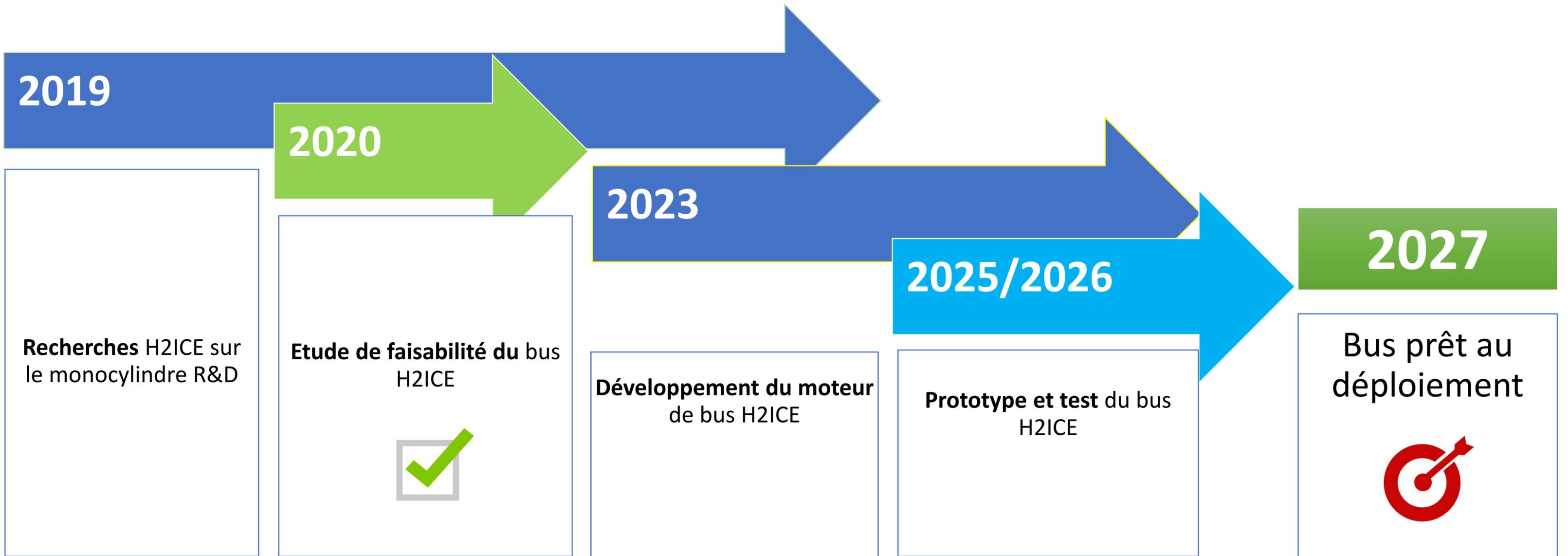


SeSi

Sustainable Engineering
Systems Institute



Vue d'ensemble des projets moteurs à hydrogène et leur intégration





Hyliko

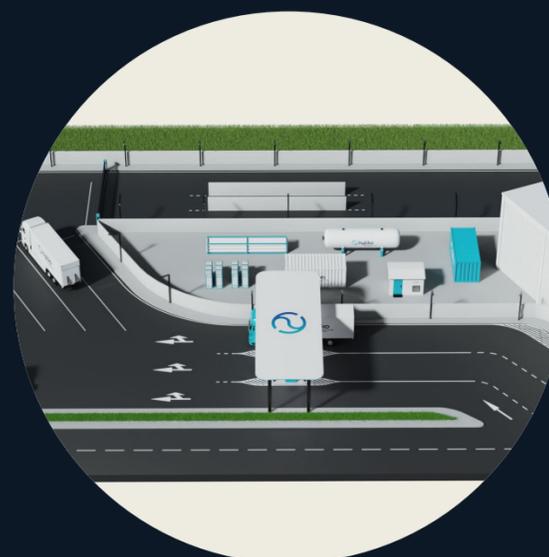
Plateforme de services dédiée à la mobilité H2 pour poids lourds



Hyliko, 1^{er} plateforme dédiée pour la mobilité lourde H²



Camions
*Véhicules &
Financement*



Energie H²
*Au sein des stations
Hyliko & Extended
(partenaires)*



Services
*Gestion de flotte &
décarbonation*

Solution intégrée – paiement à l'usage

HYLIKO

Décarboner le transport routier de marchandises

- Société basée à Paris active depuis fin 2021



- 1^{ers} PL H₂ en exploitation commerciale depuis l'été 2024
 - premières livraisons client et chiffres d'affaires en 2024
 - soutien européen et régional : aide financières Vallées Hydrogène (UE) et AMI (Région Île-de-France)

Concurrence et développement offre produit : Et après ?



2025



2026



IVECO



DAF



Après 2026

Solutions des constructeurs



Choisir son camion hydrogène ?

RÉTROFIT



En quelques mots...

Conversion d'un véhicule thermique à mi-vie en véhicule hydrogène en remplaçant les composants polluants par d'autres, adaptés à l'H2 zéro émission.

Les avantages

- Promouvoir l'économie circulaire et réduire son impact CO₂ en ACV en repartant du châssis
- Obtenir rapidement un véhicule hydrogène à l'architecture et aux configurations encore non disponibles en neuf

NEUF



En quelques mots...

Développement de l'H2 chez les constructeurs de poids lourds historiques.

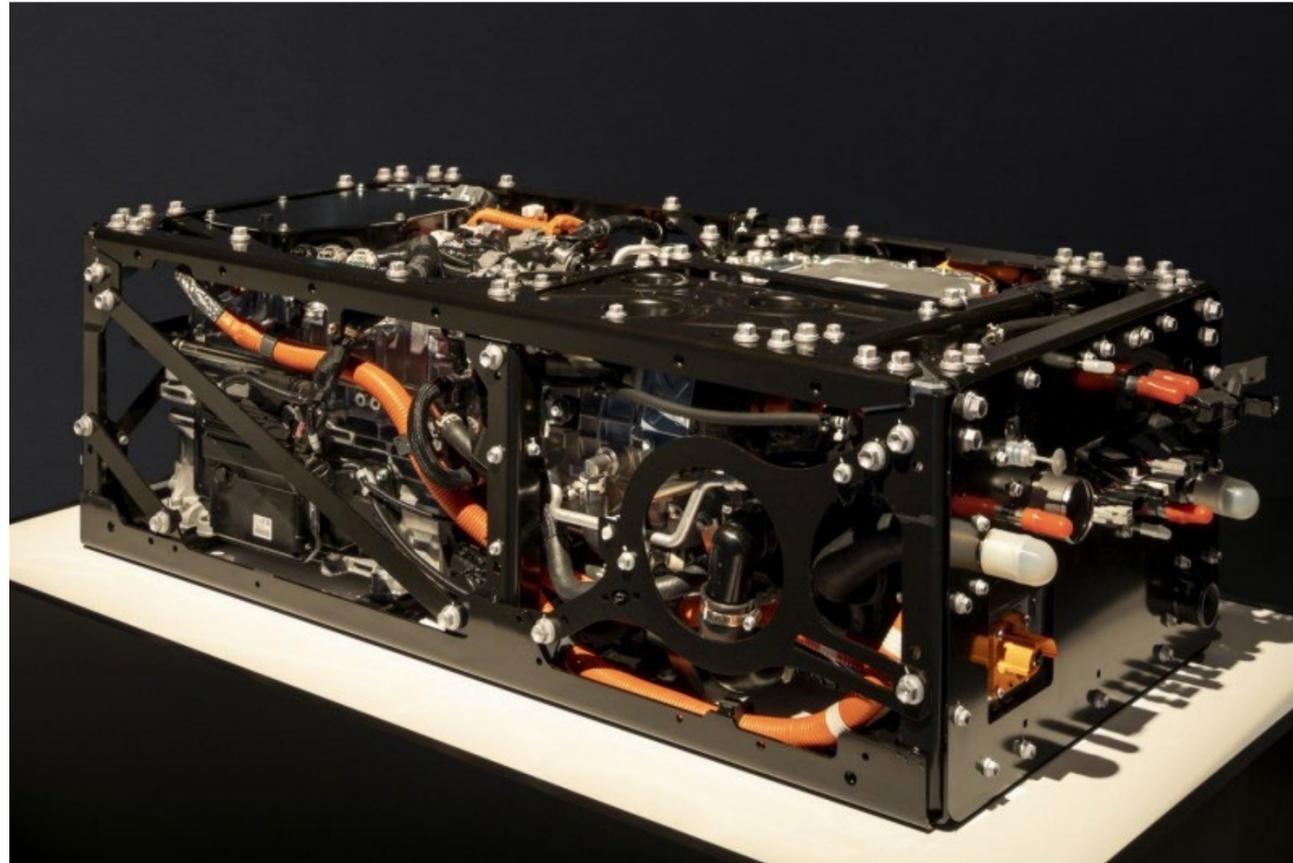
Les avantages

- Convertir une grande part de votre flotte au zéro émission grâce à la production en série des véhicules hydrogène dont les configurations standards sont disponibles rapidement
- Bénéficier d'options additionnelles sur mesure à la commande

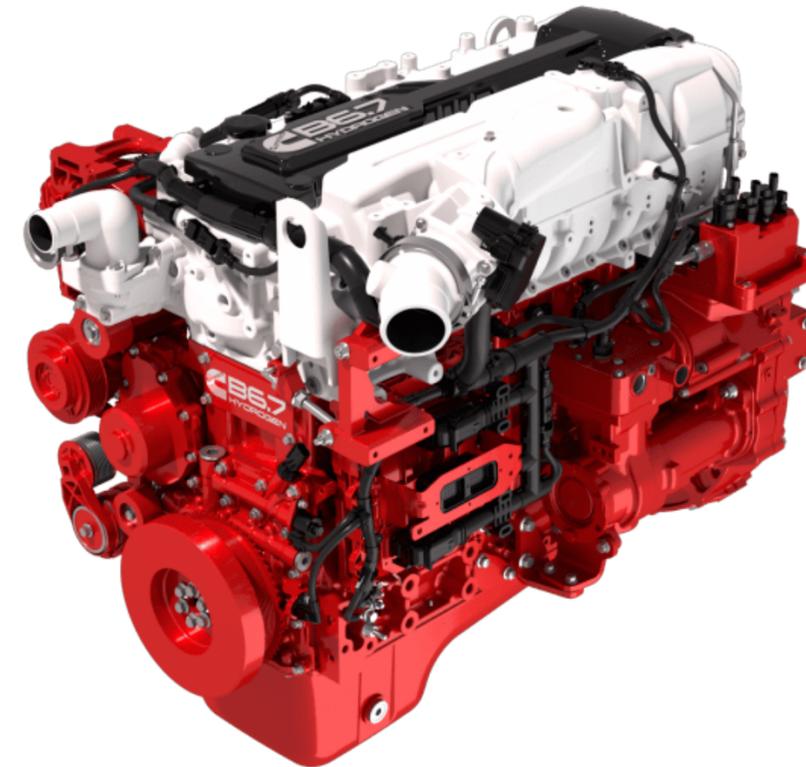
HYLIKO

Fonctionnement des camions hydrogène

Technologie pile à combustible



Technologie ICE H2



Cummins H2-ICE

ENERGIE

Hyliko Paris-Sud : Un pôle d'excellence H₂ dédié aux poids lourds en France



Projet soutenu par :  Région
Île-de-France



SERVICES

Notre offre de service



Gestionnaire de parc dédié



Maintenance:

- préventive
- curative
- réglementaire



Suivi de la trajectoire de décarbonation



Service d'assistance 24/24 & 7/7



www.hyliko.com



Pourquoi le Réseau H2 Suisse romande :

Etant indépendant, le réseau n'est pas considéré comme une faitière de la branche, mais comme une plateforme d'échanges impartiale et objective.

Notre approche est d'agir par ces 3 axes sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène :



1

**PARTAGE DES CONNAISSANCES
& DES BONNES PRATIQUES**

Le Réseau H2 organise des séances régulières avec experts et membres pour favoriser le partage de savoirs, suivre les avancées techno/réglementaires, et renforcer les synergies. Un annuaire des membres sera disponible sur sa plateforme, mettant en avant les projets romands. L'initiative vise à s'ouvrir à d'autres réseaux suisses, européens, et à étendre son action au-delà de la région valdo-genevoise.

2

**STIMULER & ACCÉLÉRER DES
PROJETS COLLABORATIFS**

Le Réseau H2 encourage la création de projets collaboratifs sur toute la chaîne de valeur. Cinq projets pilotes de production et consommation d'hydrogène bas-carbone sont déjà en cours en Suisse romande. Objectif : démontrer leur viabilité, soutenir l'industrialisation de technologies innovantes, faciliter la création de consortiums et leur financement.

3

**FOURNIR DES DONNÉES
PROSPECTIVES POUR LA RÉGION**

Pour guider les investissements et le développement des infrastructures, le Réseau H2 publiera en 2024 un rapport prospectif basé sur des scénarios élaborés avec des experts. Il comprendra des indicateurs clés sur les besoins, capacités de production, prix et main d'œuvre pour le marché de l'hydrogène romand.



Save the date !

Les prochains RDVs du Réseau H2 Suisse romande :

17.06.2025 - Stockage H2, Power-to-X

14.10.2025 - Aviation à l'H2

20-21.9.2025 – Mobilité lacustre



Créons ensemble un avenir propre et innovant !

Découvrez tout ce que le Réseau H2 peut vous offrir !



Scannez le QR code et rejoignez-nous dès maintenant pour rejoindre une communauté dynamique et innovante !

