



Autobus à hydrogène de Solaris. Une alternative pour le transport public zéro émission.

Mateusz Figaszewski E-mobility Directeur du
développement et de l'intelligence du
marché

Fribourg/29.03.2022





Société

Des millions de passagers
dans 32 pays



22 000 véhicules
ont déjà quitté notre usine
vers **différentes parties du monde**



750 villes



Large gamme d'entraînements



TROLLEYBUS

zéro émission



HYBRIDE

faible émission



ÉLECTRIQUE

zéro émission



HYDROGÈNE

zéro émission



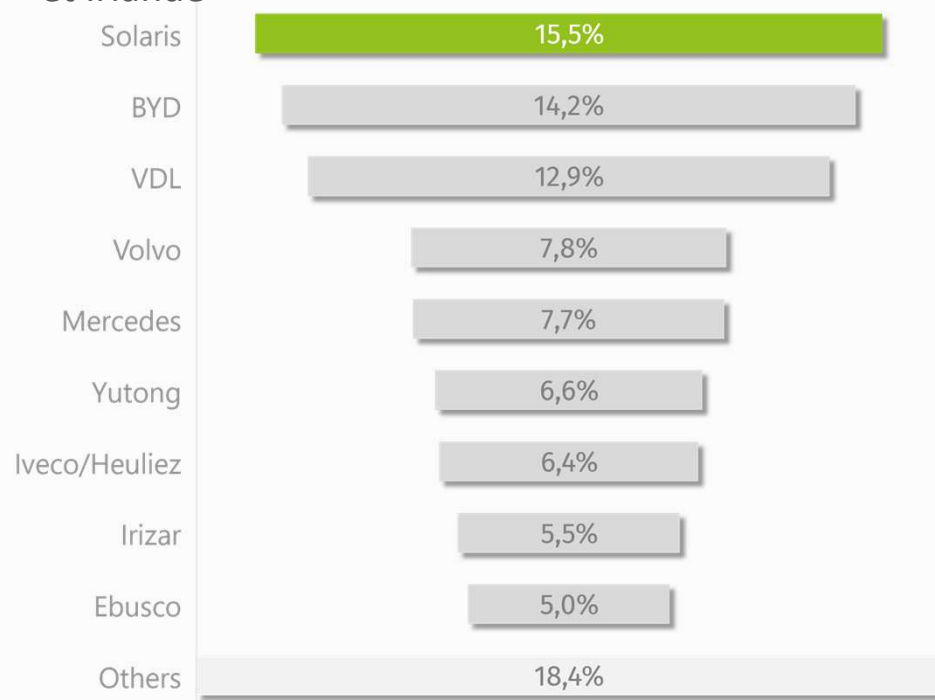
GNV



EURO 6

Solaris est le leader sur le marché des bus urbains zéro émission dans les années 2012-2021

Part de marché des bus électriques et à hydrogène en Europe dans les années 2012-2021 hors Royaume Uni et Irlande

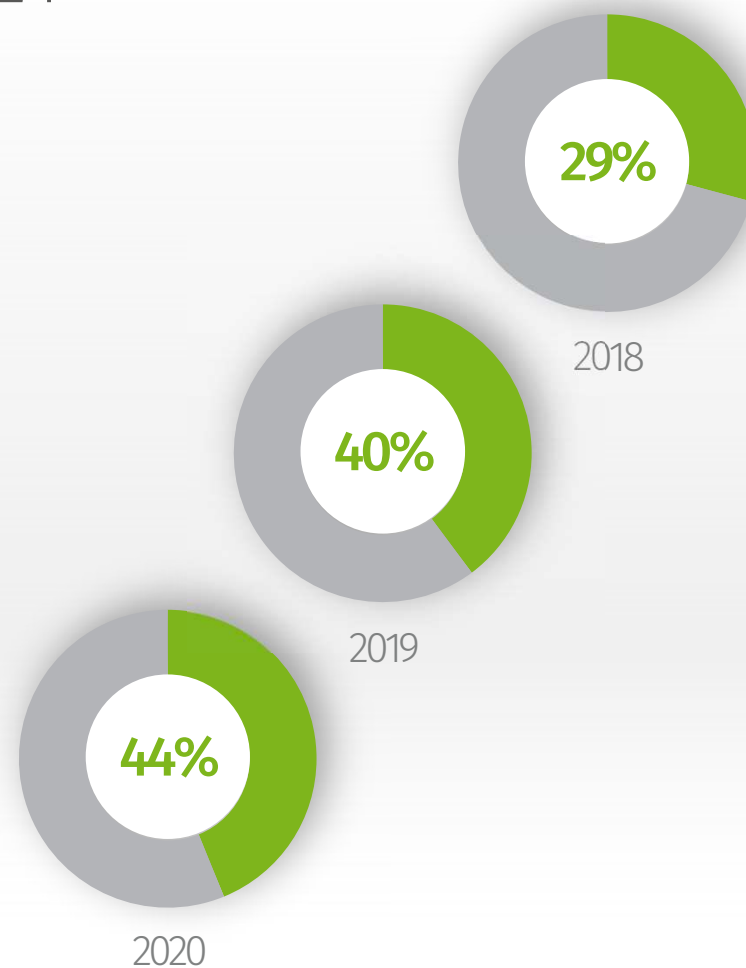
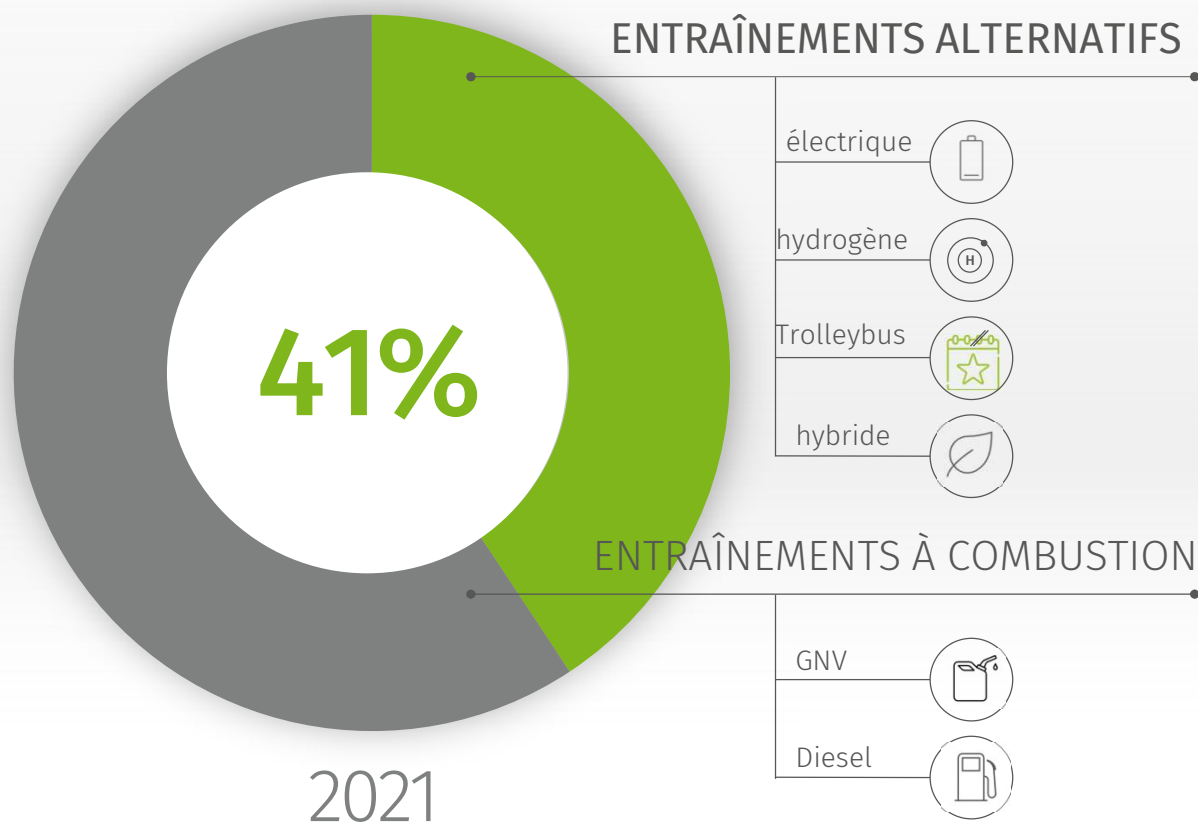


Source: CME Solutions, Chatrou



 croissance
continue
rentable
depuis 2012

Part des motorisations alternatives dans les autobus Solaris en 2018-2021



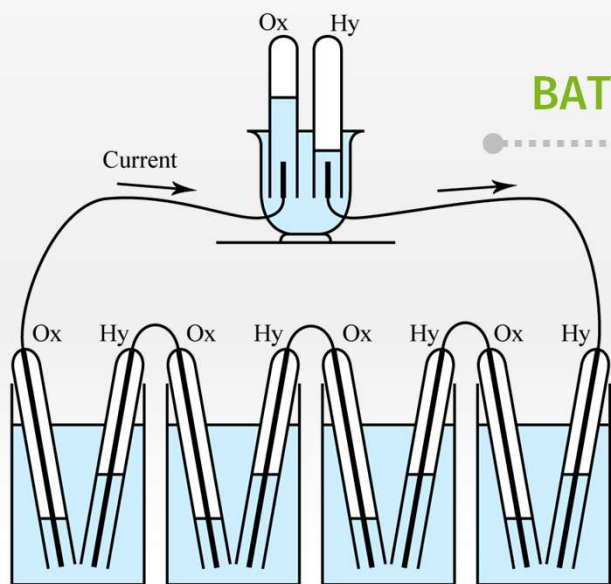
Source : Solaris



Technologie de l'hydrogène dans les autobus urbains

Pile à combustible à hydrogène

Les origines



BATTERIE VOLTAÏQUE À GAZ

présentée par
William Robert Grove

**MINIATURISATION DE LA PILE À
COMBUSTIBLE** elle-même et des
réservoirs d'hydrogène



XIX^e
siècle

1990s

Hydrogène

Le carburant
de demain

DIESEL

44 MJ/kg

1 kg de densité énergétique

120 MJ/kg

12,2 kWh/kg

kWh par kg

33,3 kWh/kg

3,3 km

par un autobus
diesel de 12 mètres

Kilomètres parcourus avec 1 kg de carburant

13,9 km

par un autobus
à hydrogène de
12 mètres

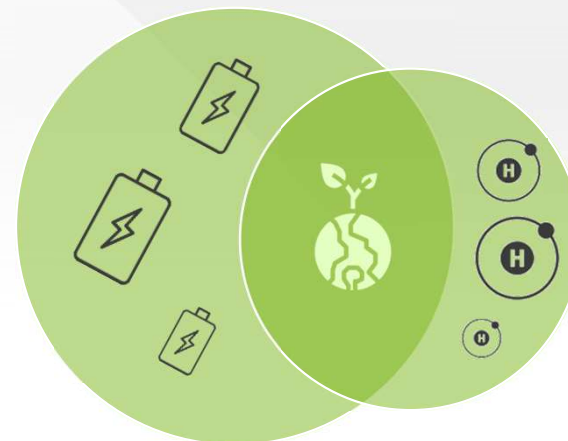
HYDROGÈNE



La technologie de l'hydrogène **complète** les propulsions à batterie et n'est pas compétitive pour celles-ci.

E-mobilité c'est l'avenir

La synergie du développement de toutes les branches d'électromobilité est indispensable pour assurer **une décarbonisation efficace du transport.**



Quand utiliser l'hydrogène ?

Les véhicules à hydrogène sont les mieux adaptés **aux utilisations et exigences suivantes**:



Exigence d'une grande autonomie



Charges plus lourdes



Trajets nécessitant un **ravitaillement rapide**

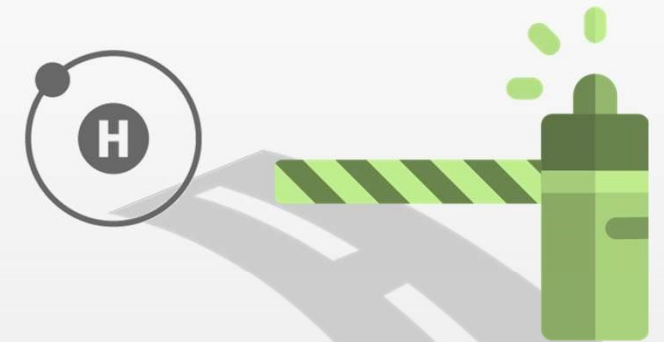


Grand besoin **de flexibilité**





Barrières dans la mise en œuvre

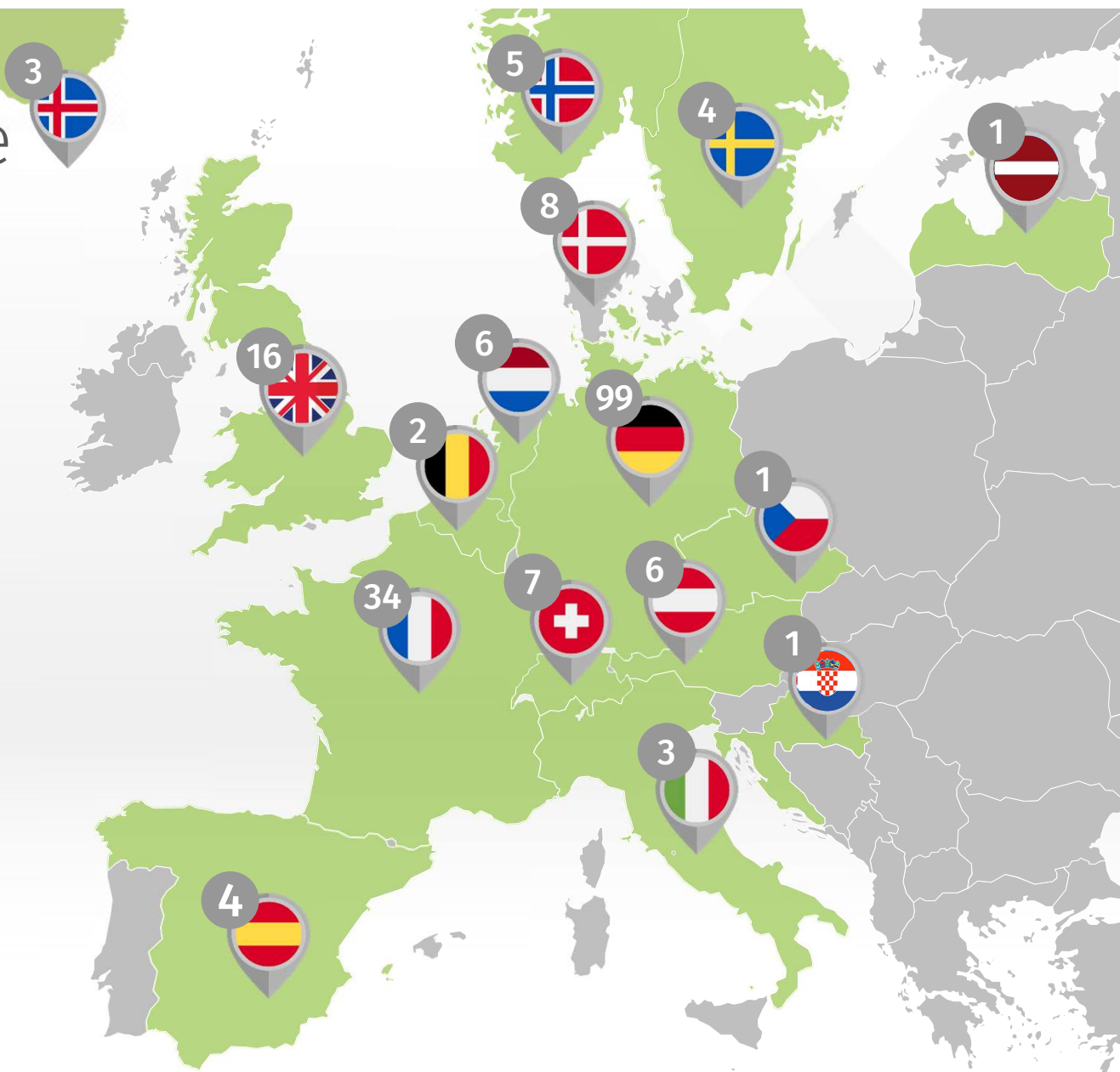


- Coûts de démarrage élevés (par rapport aux ICEV et BEV)
- Ressources en hydrogène limitées
- Barrières technologiques

Stations d'hydrogène en Europe

- **200** stations opérationnelles
(indiquées sur la carte)

- **107** stations en cours



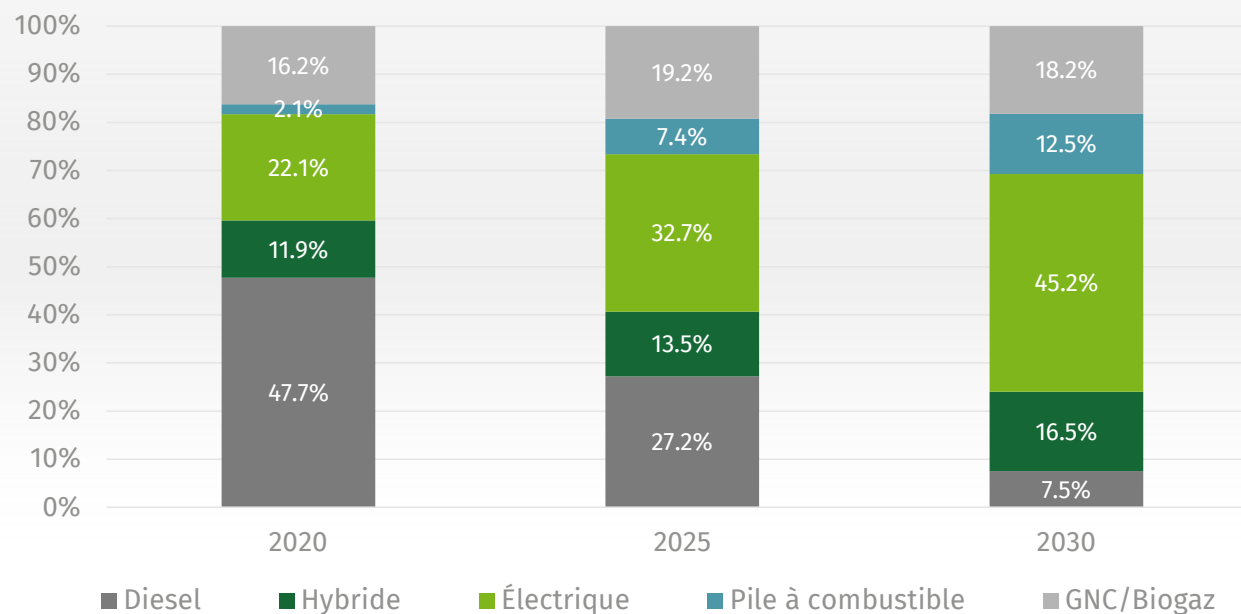
* source : <https://www.h2stations.org/> ; date de consultation : 03/02/2021



Entraînements électriques

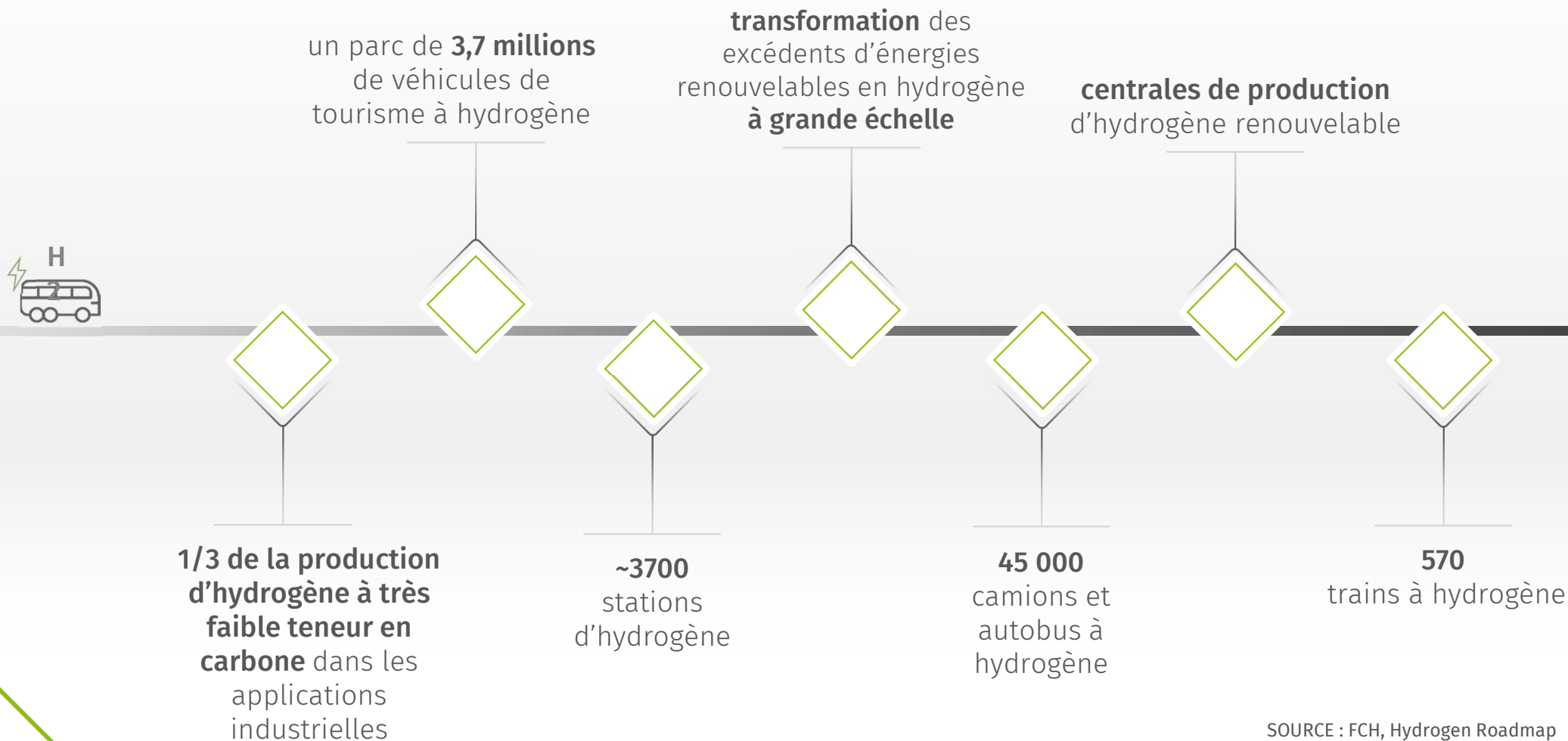
– tendance croissante d'une façon dynamique

Autobus nouvellement immatriculés
à entraînement alternatif
en Europe en 2020-2030



Source: ZeEUS/UITP(VEI) – 2017

Carte routière Hydrogen Roadmap en Europe d'ici 2030



SOURCE : FCH, Hydrogen Roadmap Europe

Notre expérience avec la propulsion hydrogène



HAMBURG

- 2 x Solaris Urbino electric 18.75 avec **prolongateurs d'autonomie à hydrogène**

- Hochbahn Hamburg
Ligne innovante 109

- L'autobus parcourt jusqu'à **300 km par jour**



Prolongateur d'autonomie
de pile à combustible
Ballard 85 kW

Batteries 120 kWh
Solaris haute puissance

Chargeur de dépôt
type plug-in (20 kW)

Moteur central TSA

Entraînement Vossloh



Notre expérience avec la propulsion hydrogène



RIGA

- **10 x Trollino 18.75** avec prolongateur d'autonomie à hydrogène pour Riga
- Les trolleybus parcourent sans pantographe **jusqu'à 100 km**
- **Une solution exceptionnelle** au niveau européen



Pile à combustible
Ballard 85 kW

1 x Solaris haute
puissance

Moteur de traction
Medcom

Réservoirs
d'hydrogène (~20 kg)

Climatisation



Solaris Urbino

12 hydrogen

Urbino 12 hydrogen

- **Batterie**

- 1 x Solaris haute puissance

- **Pile à combustible à hydrogène**

- Ballard 70 kW

- **Réservoirs d'hydrogène**

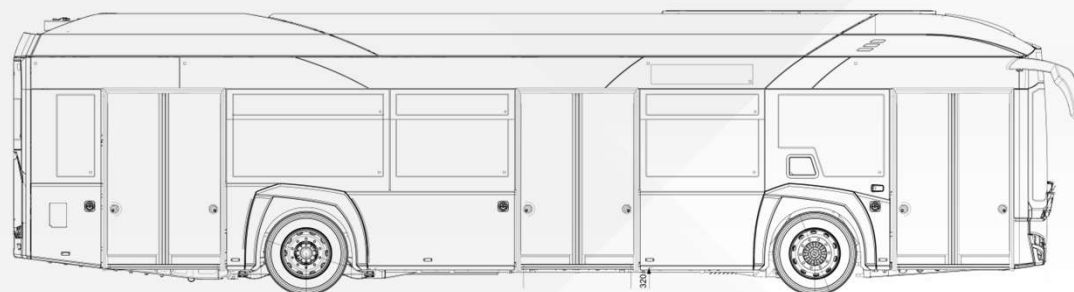
- Type 4, 37,5 kg

- **Essieu électrique**

- ZF AxTrax (2 x 125 kW)

- **Climatisation CO₂**

- avec fonction de chauffage par pompe à chaleur



3 300 mm
hauteur

12 000 mm plancher bas

Solaris Urbino

12 hydrogen



33 places assises
version trois portes

37 places assises
version deux portes



89 passagers



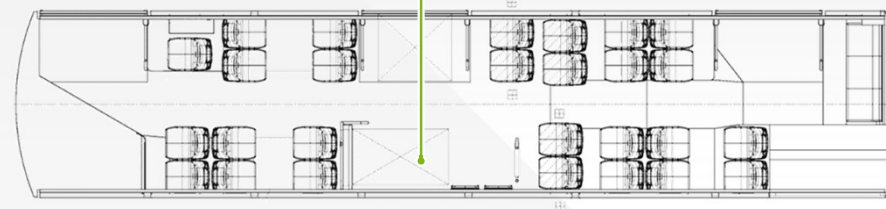
~10 passager de plus
+10-15%

autobus électriques avec
autonomie ~200 km disponibles
sur le marché

Solaris Urbino 12 hydrogen
avec PTAC 19,2 t

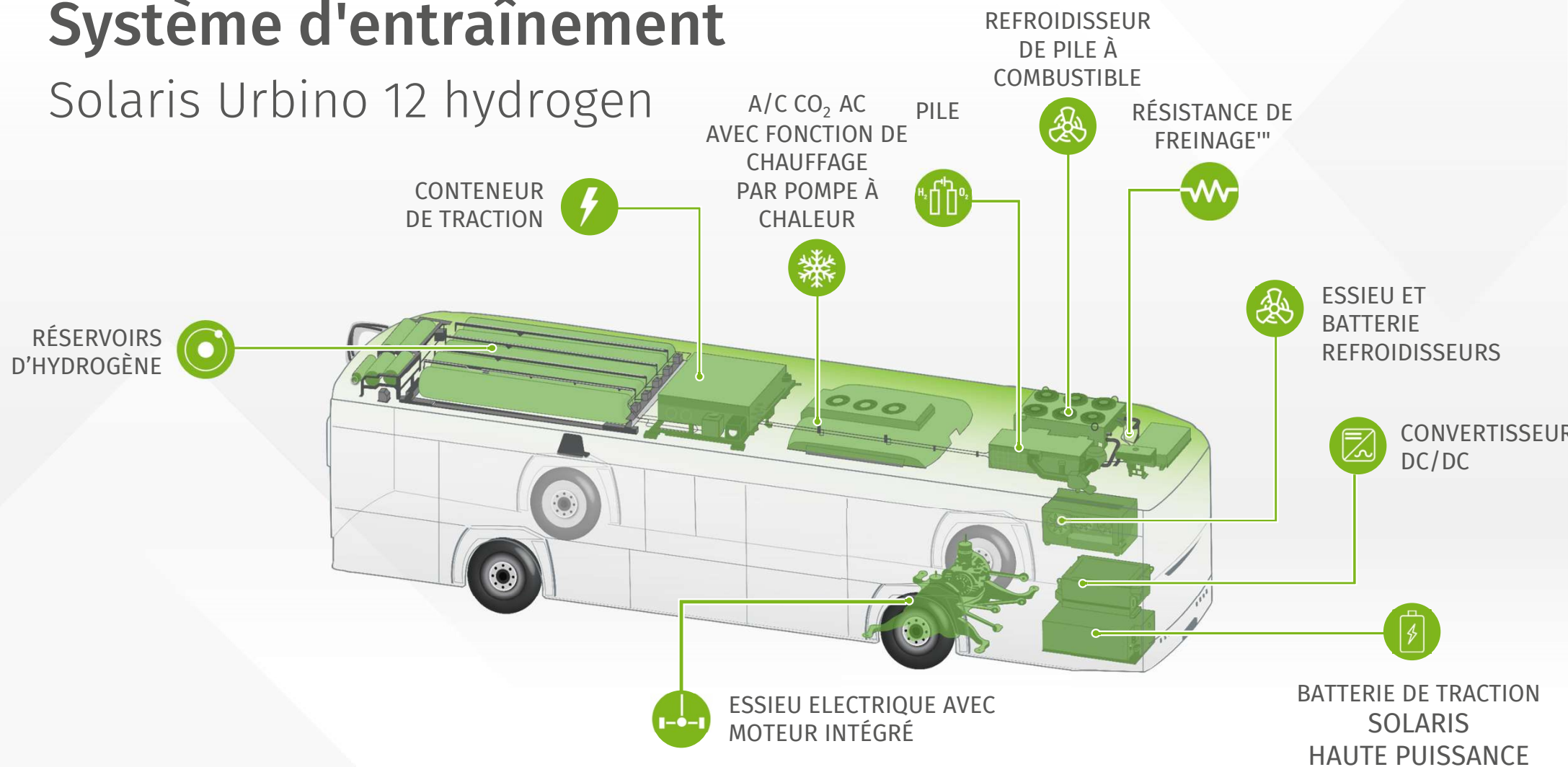


2 000 mm de place
pour fauteuil roulant



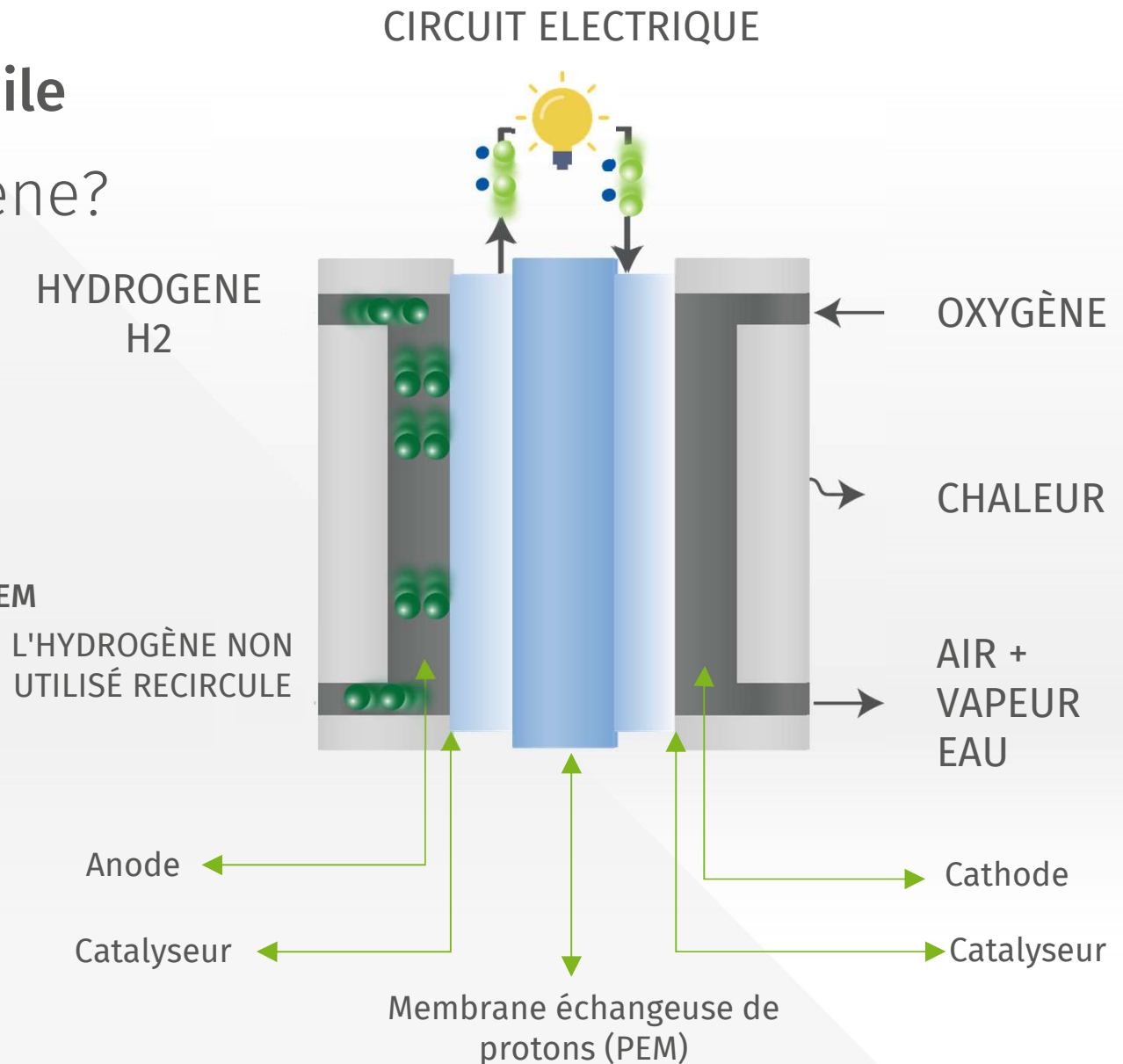
Système d'entraînement

Solaris Urbino 12 hydrogen



Comment fonctionne **une pile à combustible** à hydrogène?

1. L'hydrogène atteint le catalyseur
2. L'**hydrogène se divise** en protons et électrons
$$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$$
3. Seuls **les protons pénètrent par la membrane PEM** et passent dans la cathode
4. Les électrons atteignent le circuit électrique externe.
L'énergie électrique obtenue est utilisée par le système d'entraînement.
5. Les protons, les électrons de retour et l'oxygène produisent **de l'eau et de la chaleur**



Nouvelle génération

Pile à combustible FCmove-HD

- Puissance nominale
70 kW
- Rendement maximal
57%
- Durée de vie estimée
>30 000 heures de fonctionnement
- Stockage dans des températures allant jusqu'à **-40°C**
- Démarrage à partir de
la température -25°C (ni le préconditionnement ni l'alimentation externe ne sont pas nécessaires pendant la nuit)
- Fonctionnement dans les températures
de 60 à 80°C
- Pas besoin d'une source d'alimentation externe



70 kW



57%



60-80°C



Réservoirs d'hydrogène

Type 4

- 5 bouteilles
Type 4
- Volume d'eau:
1,560 l (5 * 312)
- Quantité totale d'hydrogène stocké:
37,5 kg
- Quantité utile d'hydrogène:
34,2 kg
- Pression de travail (à 150C):
350 bars



RÉSERVOIRS
D'HYDROGÈNE



Réservoirs d'hydrogène Type 4



20% de poids en moins
par rapport à la génération
précédente de réservoirs

Réservoirs fabriqués entièrement
en matériaux composites

Imprégnés de résine époxy

Réservoirs fabriqués par enroulement
filamentaire avec **revêtement intérieur non
métallique**

RÉSERVOIRS
D'HYDROGÈNE
Type 4



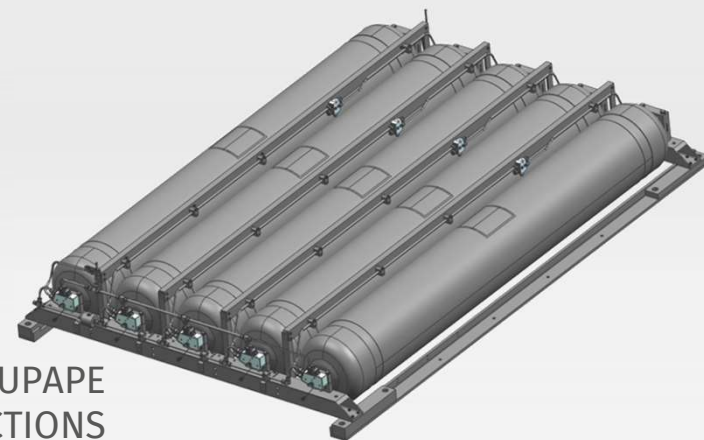
REVÊTEMENT
INTERNE NON MÉTALLIQUE

Sécurité

- **Soupape d'excès de débit**
 - elle coupe le débit de gaz en cas de fuite du système
- **4 capteurs de détection d'hydrogène**
 - ils contrôlent l'étanchéité
 - situés à proximité des principaux éléments du circuit hydrogène et dans le compartiment passagers
- Chaque réservoir d'hydrogène contient **une soupape multifonctions**
 1. **Soupape** électromagnétique
 2. **Capteur** de température
 3. **3 x soupapes TPRD sur chaque réservoir**
 - évacuation sûre de l'hydrogène de l'installation en cas de températures élevées pour la protection contre une augmentation dangereuse de pression
- **Le connecteur de ravitaillement** dispose d'une protection supplémentaire



SOUPAPE
MULTIFONCTIONS



Mesures de sécurité au-delà des obligations légales

§

Débit de perméation conformément au
Règlement (CE) n° 79 :

<6,0 ml /h/litre de H₂



Perte de H₂ :

**0,167 g/h = 1 464 g/an
par cylindre**



Pour les 5 réservoirs de 312 l
selon les réglementations:

7322 g par an



Débit de perméation des réservoirs d'Urbino 12
hydrogen

2 ml/h/litre de H₂



Perte de H₂ :

**0,056 g/h = 488 g/an
par cylindre**



Pour les 5 réservoirs de 312 l
utilisés dans Urbino 12 hydrogen:

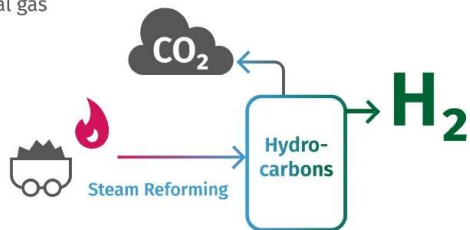
2441 g par an

Presque
3 fois moins
que
les règles de l'UE

Différentes couleurs de l'hydrogène

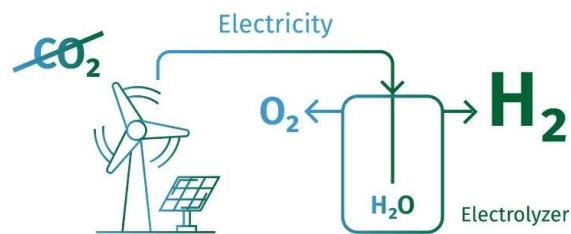
Grey hydrogen

Steam methane reforming (SMR) of natural gas



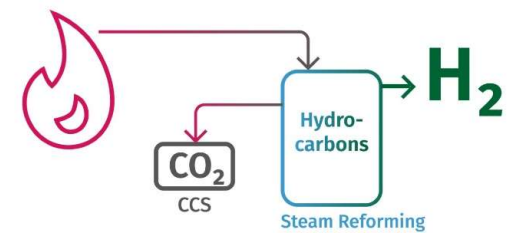
Green hydrogen

Water electrolysis (AEM/PEM)



Blue hydrogen

SMR with carbon capture and storage (CCS)



Qualité de **l'hydrogène** : normes et standards



—• 14687-2



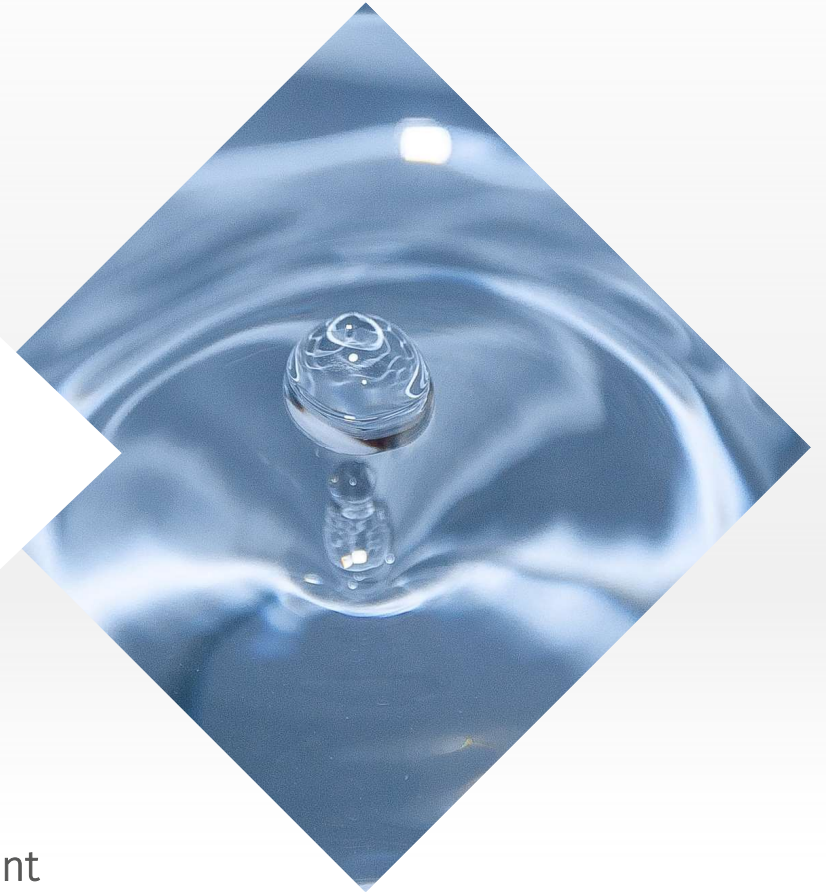
—• J2719
—• J2799



—• EN 17124

99,97%

Qualité du carburant
hydrogène



Notre expérience avec la propulsion hydrogène



COLOGNE

- **15 x Urbino 12 hydrogen**

- Les véhicules seront livrés au client d'ici fin 2021.

- Rheinisch-Bergisches Kreis: 5 unités

- District Rhein-Sieg: 5 sztuk

- Hürth: 5 unités



Pile à combustible
Ballard 70 kW

Batterie Solaris
haute puissance

350 km d'autonomie
sur un seul ravitaillement

Réservoirs d'hydrogène
(37 kg)

Climatisation



Notre expérience avec la propulsion hydrogène



BOLZANO

- **12 x Urbino 12 hydrogen**
- Les véhicules seront livrés au client d'ici fin juin 2021



Pile à combustible
Ballard 70 kW

Batterie Solaris
haute puissance

350 km d'autonomie
sur un seul ravitaillement

Réservoirs d'hydrogène

Air conditionné



Contrats pour les bus à hydrogène

à déployer en 2022-2024

1 x
Urbino 12 hydrogen
Tres Cantos, Espagne



1 x
Urbino 12 hydrogen
Lyon, France



5 x
Urbino 12
hydrogen
**Villach,
Autriche**



13 x
Urbino 12 hydrogen
Francfort, Allemagne



3 x
Urbino 12 hydrogen
**Vienne
Autriche**

1 x
Urbino 12 hydrogen
Konin, Pologne



**jusqu'à
20 x**
Urbino 12 hydrogen
**Usti nad Labem,
République tchèque.**



Solaris Urbino 18 hydrogen

- **Solaris Urbino 18 hydrogen** sera prêt à être présenté aux appels d'offres **à partir de mi-2022***

- Livraisons possibles **au deuxième trimestre 2023**

* initialement avec une documentation technique limitée.



PTAC: 29 t

Roues: 275/70 R22,5

Portes:

1-2-2-0
2-2-2-0
1-2-2-2
2-2-2-2

*version sans la dernière porte et avec moins de place pour fauteuil roulant (2 x 1,300mm)





**Merci
de votre
attention!**

