



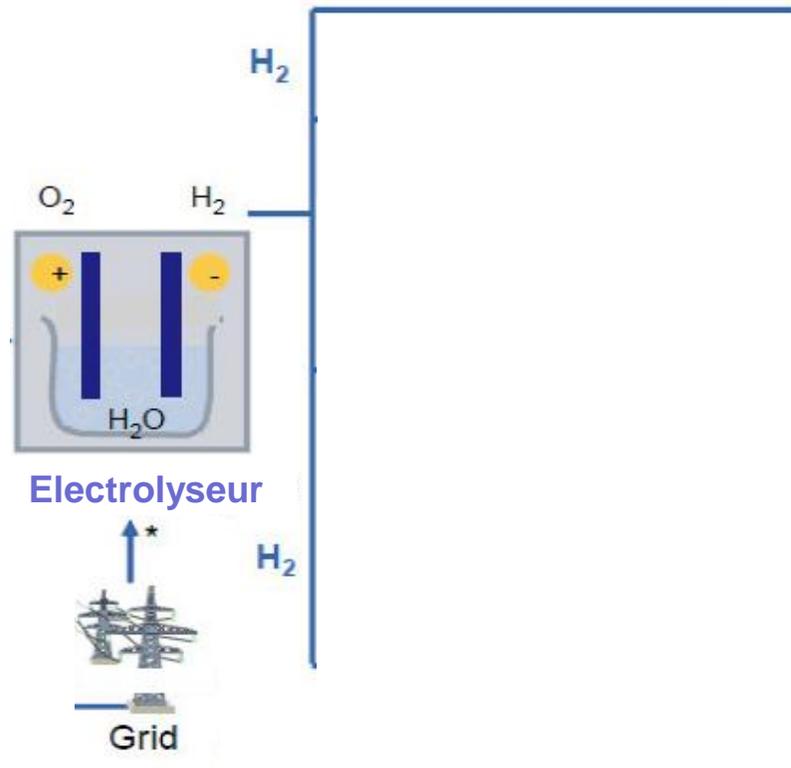
Eau et Transition Energétique

L' HYDROGENE



- **Le potentiel de développement de l'électrolyse**
- **Les technologies concernées**
- **Les métiers et les compétences**

L'hydrogène ? A quoi ça sert ?



Source: Siemens

- **multiples utilisations, anciennes et nouvelles**
- **Bon rendement et aucune pollution en pile à combustible : redonne H₂O**
- **Multiples sources : sécurité approvisionnement, développement local**
- **Possibilité de stockage : appui au réseau électrique et aux EnR**

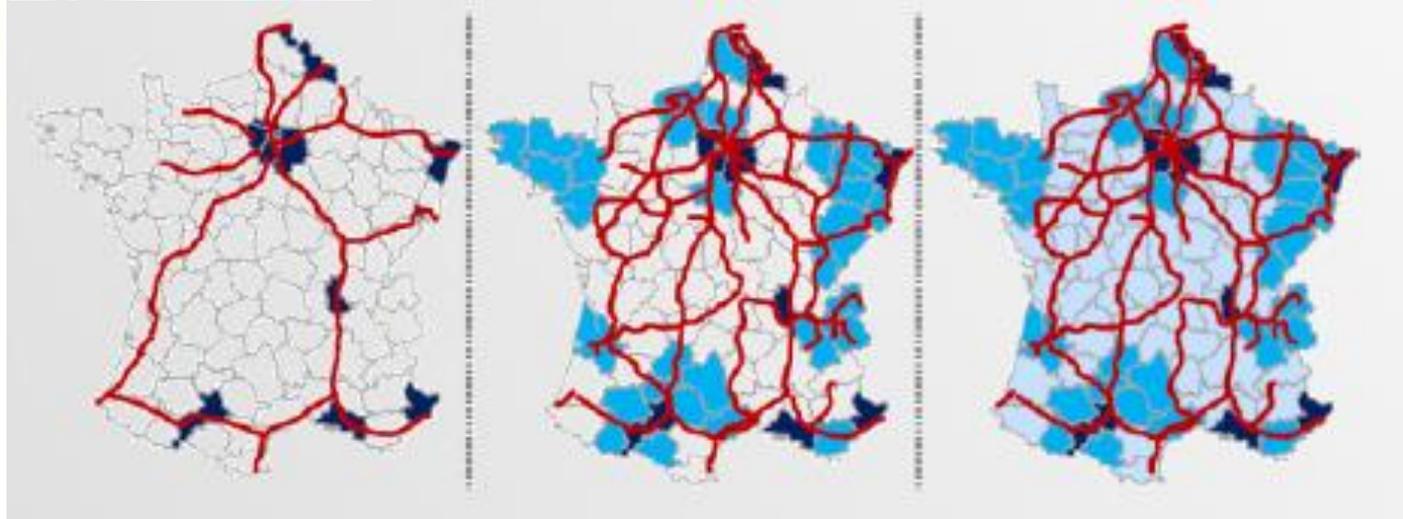
L'hydrogène: une filière à développer



- Premiers déploiements là où des utilisateurs demandent de véhicules à H2 et de stations services H2 : **création de flottes captives**
- Déploiements progressif en suivant les autoroutes et zones à fortes densité urbaine



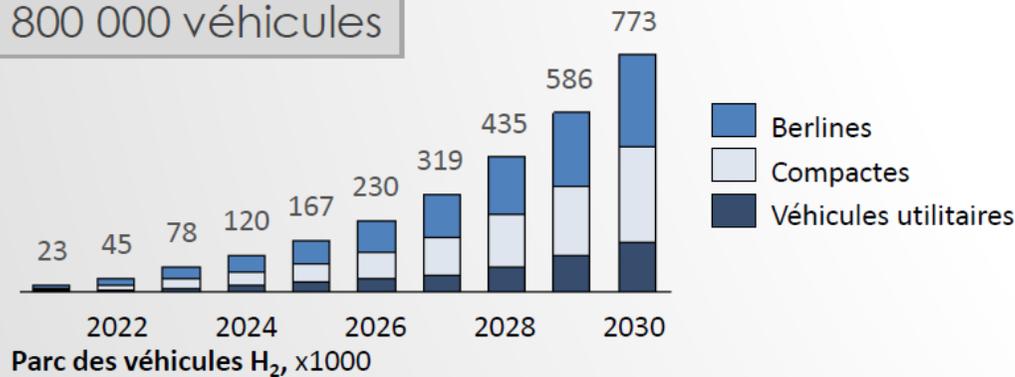
Station-service Hydrogène (15 kg/12h) installée le 21/01/2014 sur le complexe aérodrome-autodrome d'Albi-Le Séquestre. Première station-service hydrogène française financée à 100% par des collectivités ; gérée et exploitée par la SEM EVEER'HY'PÔLE



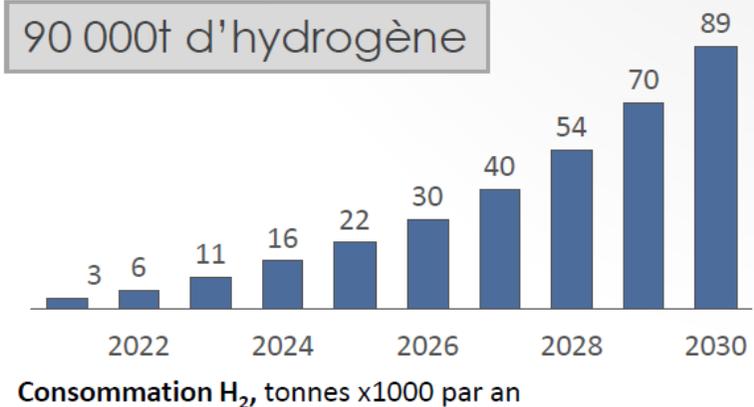
L'hydrogène: une filière à développer

LE MARCHÉ DES VÉHICULES HYDROGÈNE POURRAIT REPRÉSENTER EN 2030 :

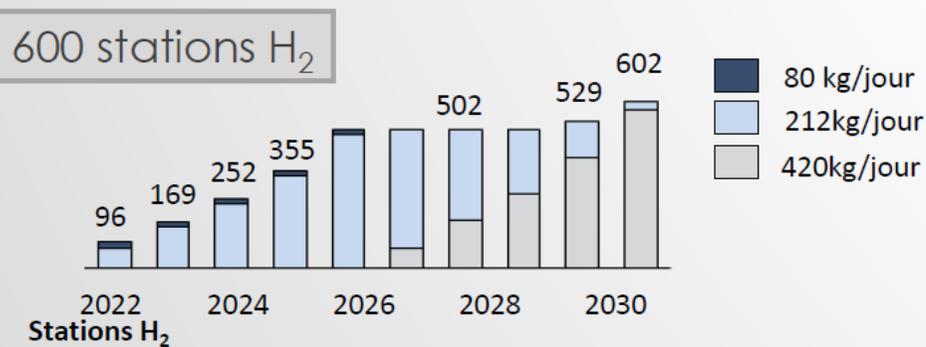
800 000 véhicules



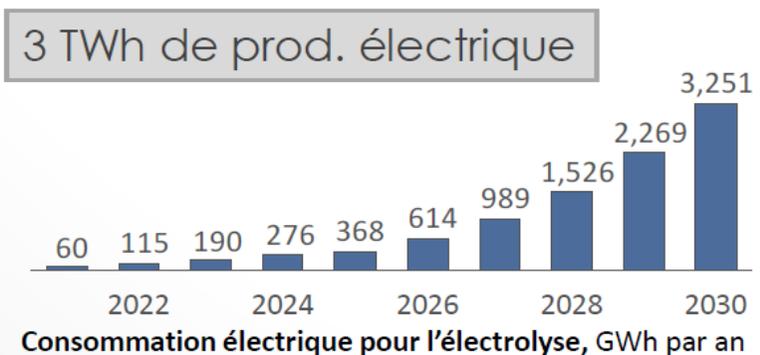
90 000t d'hydrogène



600 stations H₂



3 TWh de prod. électrique



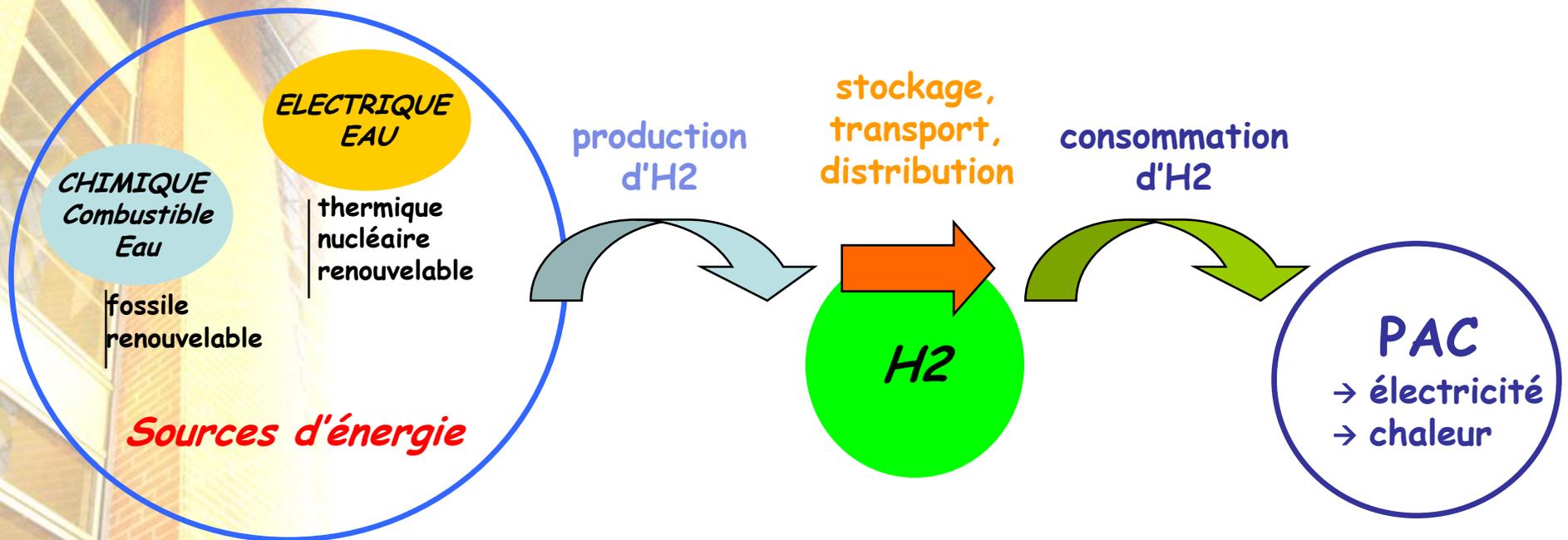
Source : Mobilité Hydrogène France

D'ici 2030 : création de 700 M€ de valeur par le marché des véhicules à H₂ = plusieurs milliers d'emplois (7000 ?)



L'Hydrogène, vecteur énergétique

H₂ n'existe pas à l'état naturel: il faut le produire à partir de sources d'énergie : H₂ n'est qu'un vecteur d'énergie

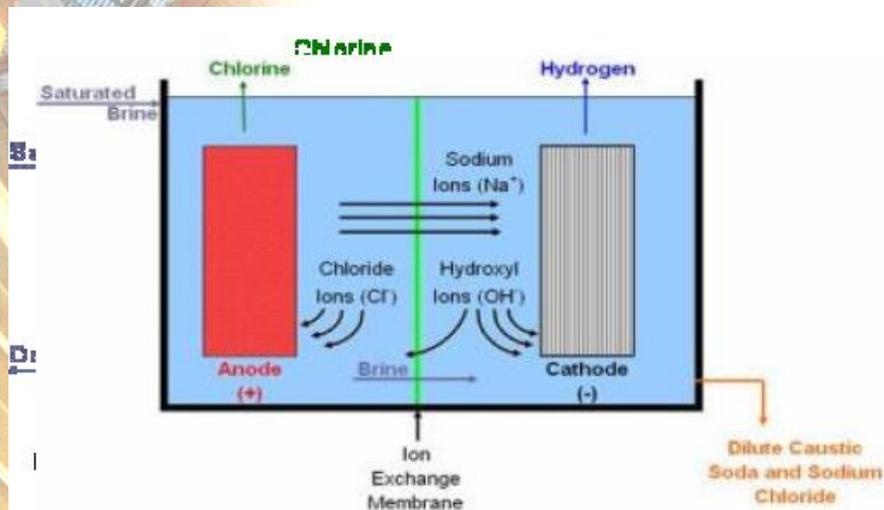


Objectifs dans la production de l'Hydrogène énergie :

- Rendement de production d'hydrogène élevé
- Emissions de polluants et gaz à effet de serre faibles

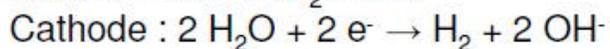
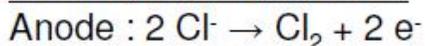
Production H2 par Electrolyse

Electrolyse aqueuse en milieu salé : production de chlore



Chlor-alkali cell room – Uhde GmbH

Réactions aux interfaces



Marchés

- Acide Chlorhydrique
- Produit pharmaceutiques
- Détergents
- Déodorants
- Désinfectants
- Herbicides
- Pesticides
- Plastics
- ...

L'Hydrogène est un produit secondaire de l'industrie chlore-soude = « H2 fatal »

Technologie industrielle mature

Fonctionnement continu basse pression

Histoire

- 1789 : invention de l'électrolyse par Dutch men P. van Troostwijk
- 1820 : Principe de l'électrolyse clarifié par Faraday
- 1834 : Première utilisation du mot électrolyse par Faraday

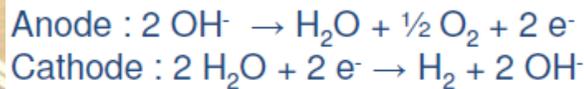
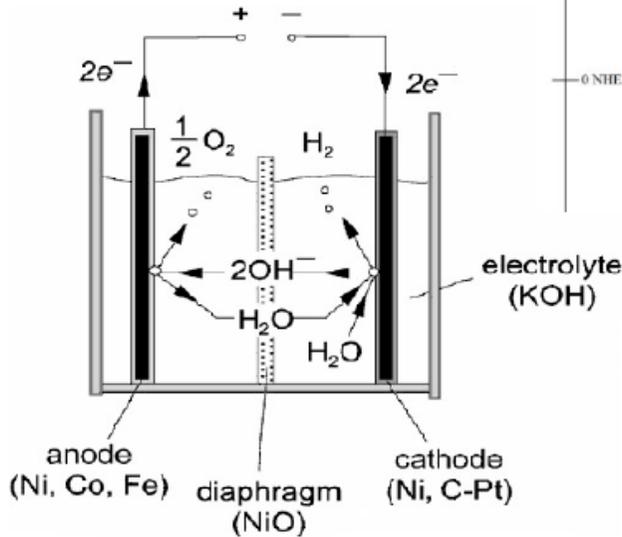
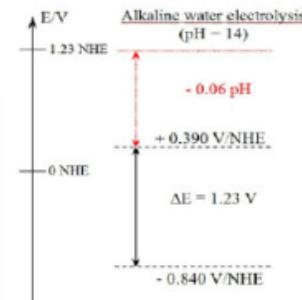


Production H2 par Electrolyse

Electrolyse d'eau en milieu alcalin

Histoire

- 1900 : premier électrolyseur industriel bipolaire
- 1939 : Premier électrolyseur de 10 000 Nm³/h
- 1951 : Lurgi présente le premier électrolyseur haute pression (30 bar)



Electrolyte : 30% KOH
Température de fonctionnement : 70-80°C
Pression de fonctionnement : < 30 bar

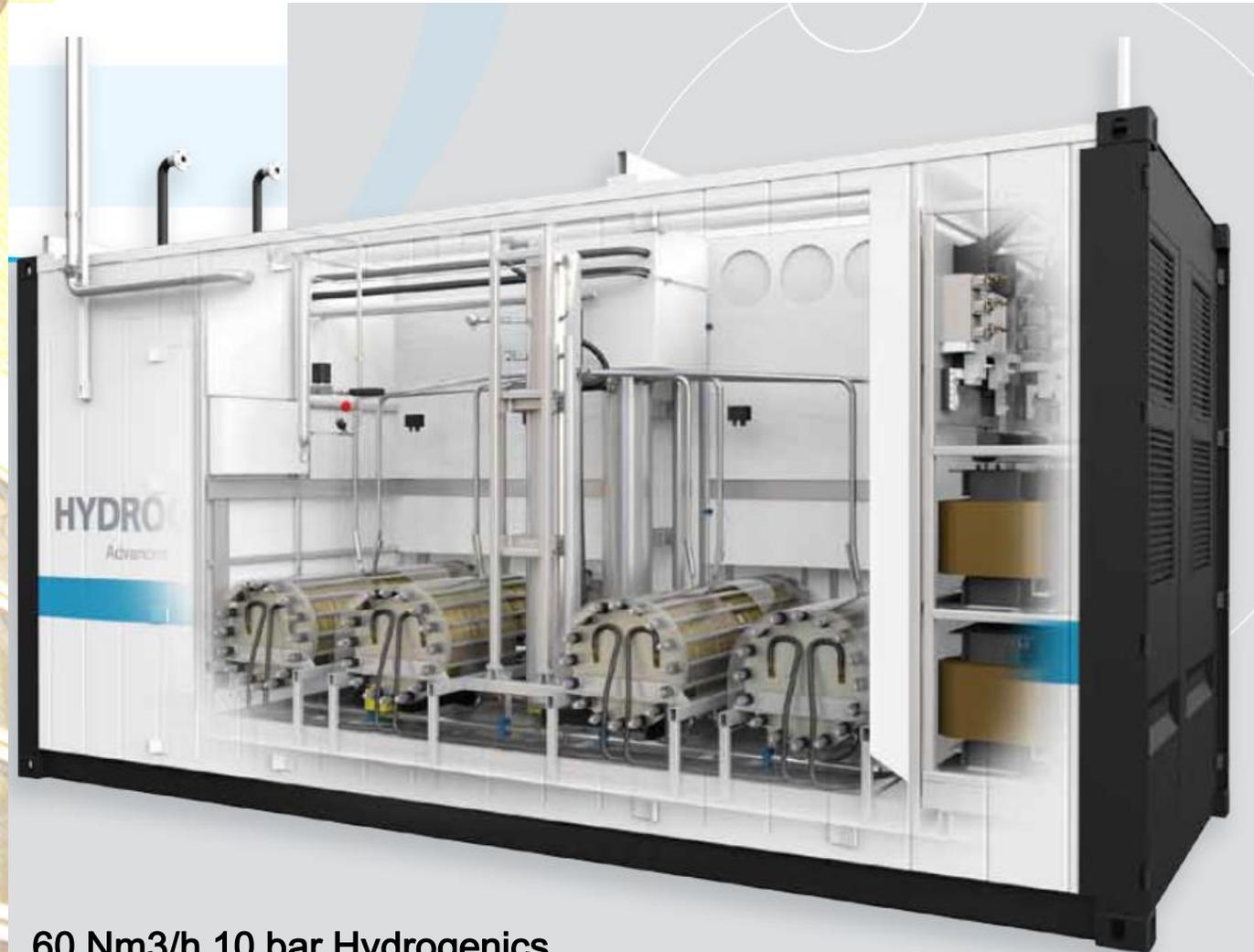
- ❖ pH élevé réduit la surtension anodique (O₂)
- ❖ Catalyseurs à base de Nickel
- ❖ Structure d'électrode poreuses
- ❖ Technologie mature adaptée à un fonctionnement continu

- ❖ Plage de fonctionnement réduite (20-100%)
- ❖ Electrolyte liquide corrosif KOH
- ❖ Des chutes ohmiques dans le diaphragme
- ❖ Faible densité de courant 0,1 – 0,4 A/cm²
- ❖ Limitation de la pression de fonctionnement
- ❖ Faible tolérance aux variations de puissance
- ❖ Risques environnementaux (fuite de KOH)

Production H2 par Electrolyse

- Electrolyse d'eau en milieu alcalin

Offre commerciale alcaline



60 Nm3/h 10 bar Hydrogenics



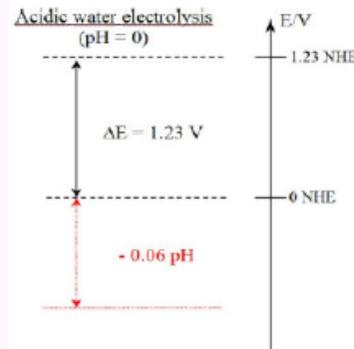
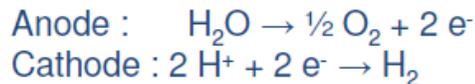
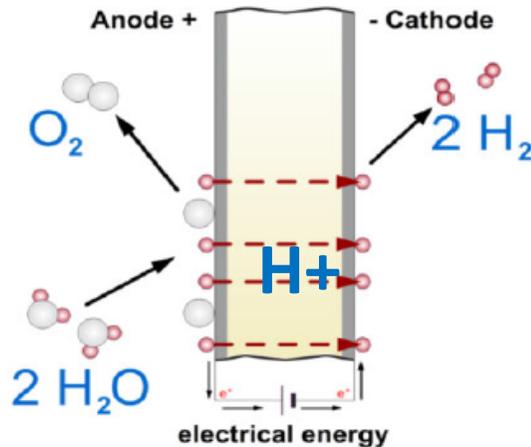
15 Nm3/h 10 bar Hydrogenics



IHT
(100-760 Nm3/h)

Production H2 par Electolyse

Electolyse d'eau PEM (échange de protons)



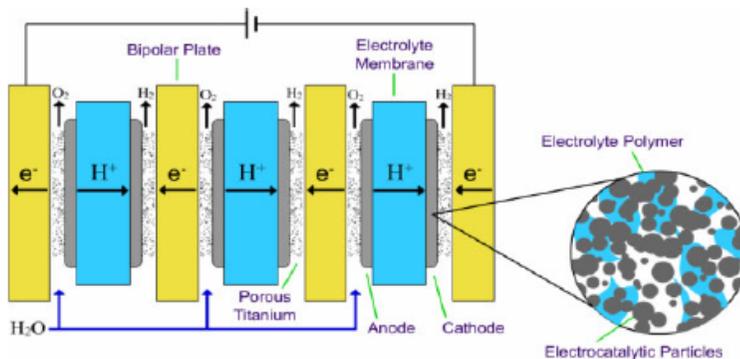
Histoire

- 1962-66 : Programme Gemini-Apollo et première cellule polymère
- 1966 : Premier électrolyseur SPE par GE
- 1987 : Premier électrolyseur 100 kW par BBC (ABB)



- ❖ Membrane solide échangeuse de proton (PFSA)
- ❖ Gaz de haute pureté
- ❖ Densité de courant élevée ($1\text{-}2 \text{ A/cm}^2 \rightarrow 5 \text{ A/cm}^2$)
- ❖ Fonctionnement sous pression
- ❖ Faible temps de réponse
- ❖ Large plage de fonctionnement (5 – 130%)
- ❖ Pas de risques environnementaux
- ❖ Fort potentiel d'évolution

- ❖ Catalyseur à base de métaux nobles (Pt, Ir)
- ❖ Membrane acide
- ❖ Faible tolérance aux impuretés dans l'eau (métaux nobles)
- ❖ Technologie « jeune »

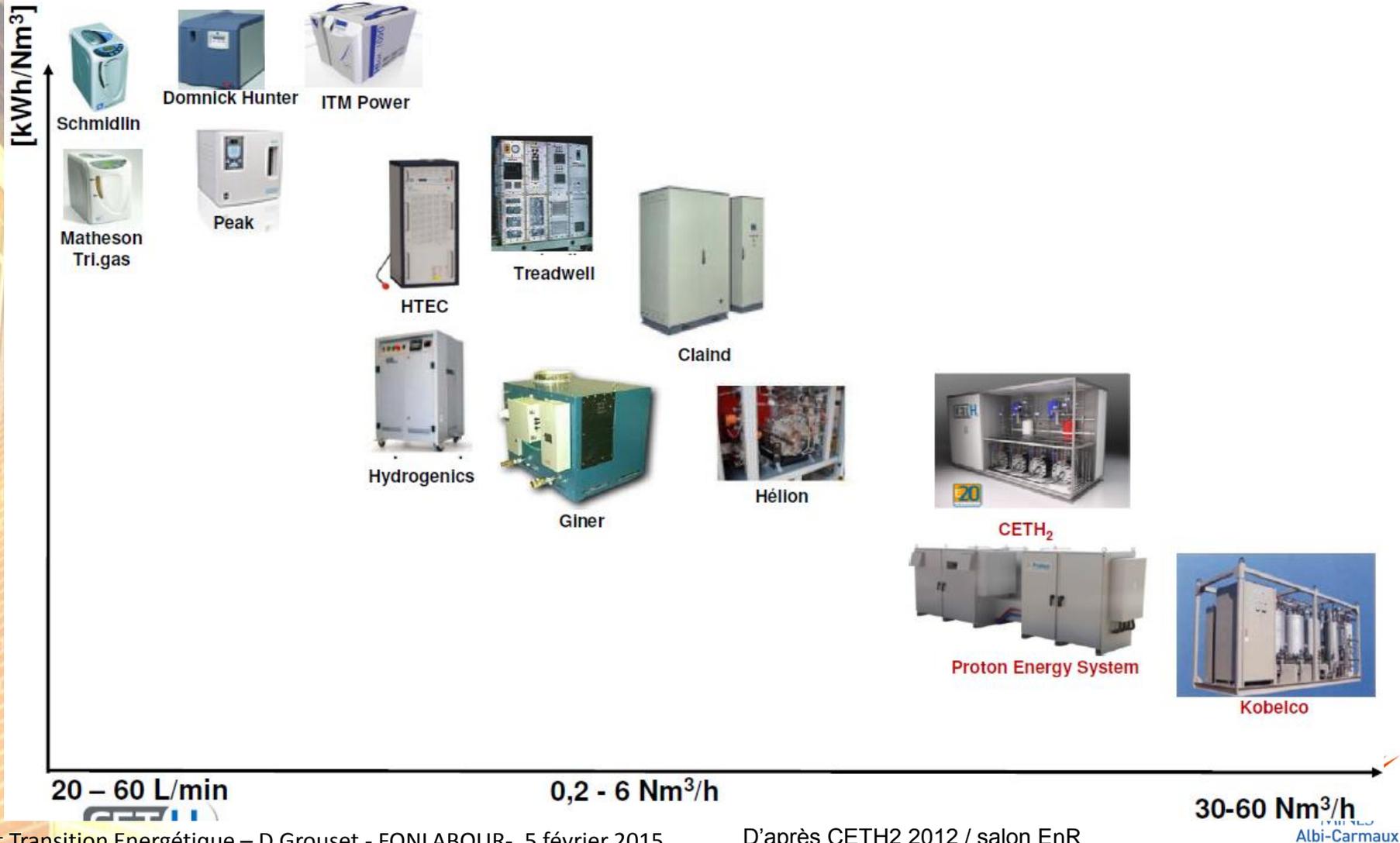


D'après CETH2 2012 / salon EnR

Production H2 par Electrolyse

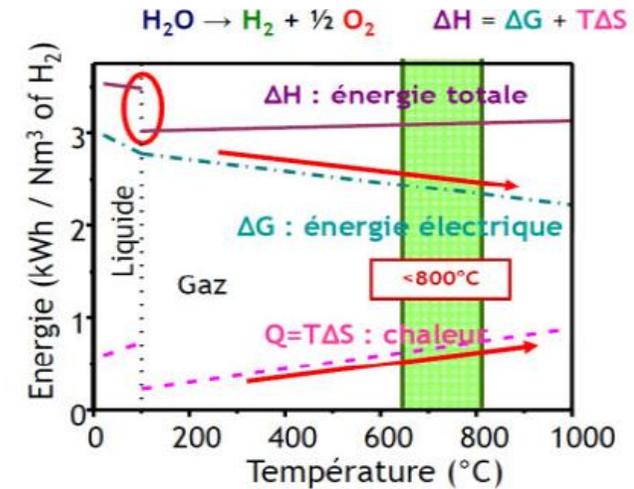
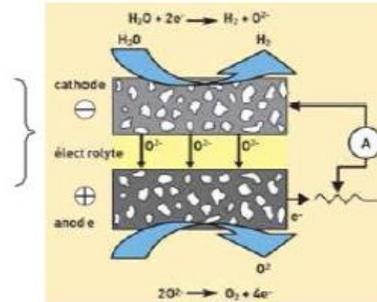
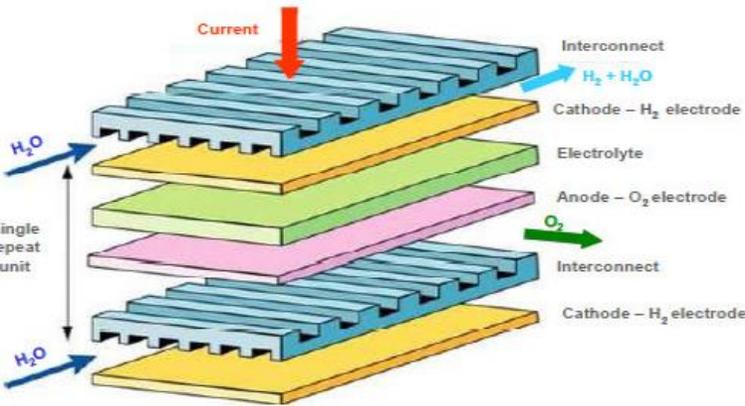
Electrolyse d'eau PEM (échange de protons)

Offre commerciale PEM existante



Production H2 par Electrolyse

Electrolyse de vapeur d'eau à H^{te}T^{ure} : SOE



Source: Chase NIST-JANAF Thermochemical Tables (1998) Monograph 9, 1325

D'après CETH2 2012 / salon EnR



$$T \Delta S + \Delta G = \Delta H$$

Chaleur isotherme échangée avec l'extérieur + Energie convertible en travail / électricité = Chaleur de la réaction réversible

$$E_0^\circ + E_{\text{ref}}^\circ = \Delta H$$

L'énergie à fournir est supérieure à la chaleur de réaction ΔH , ΔS varie peu avec T

$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$ diminue quand la température augmente

Donc E_0° diminue avec T : il est possible de fournir une fraction grandissante de l'énergie sous forme de chaleur

En cours de développement :

EDF, valorisation de la chaleur des réacteurs nucléaires

L'hydrogène : métiers et compétences

□ Le cycle de vie du produit :

- Recherche
- Développement, démonstration
- Industrialisation
- Fabrication
- Commercialisation, distribution
- Exploitation, maintenance
- Démantèlement, recyclage

L'hydrogène : métiers et compétences

Qq Savoir Faire :

- o Dimensionnement
- o Prototypage
- o Essais, mesures
- o Études sécurité
- o Gestion de projet
- o Contrôle-commande
- o Montage-câblage
- o Analyses diagnostics
- o Certification
- o Logistique
- o Communication
- o Conviction
- o Pédagogie
- o Management
- o ...et autres

Métiers :

- o R&D
- o Bureau d'étude
- o Gestion de production
- o Qualité, Sécurité, Environnement
- o Commercial
- o Formateur
- o Gestion de parc, exploitant
- o Manager, Entrepreneur (cr. entr.)
- o Maintenance

Le cycle de vie du produit :

- o Recherche
- o Développement, démonstration
- o Industrialisation
- o Fabrication
- o Commercialisation, distribution
- o Exploitation, maintenance
- o Démantèlement, recyclage



PHyRENEES

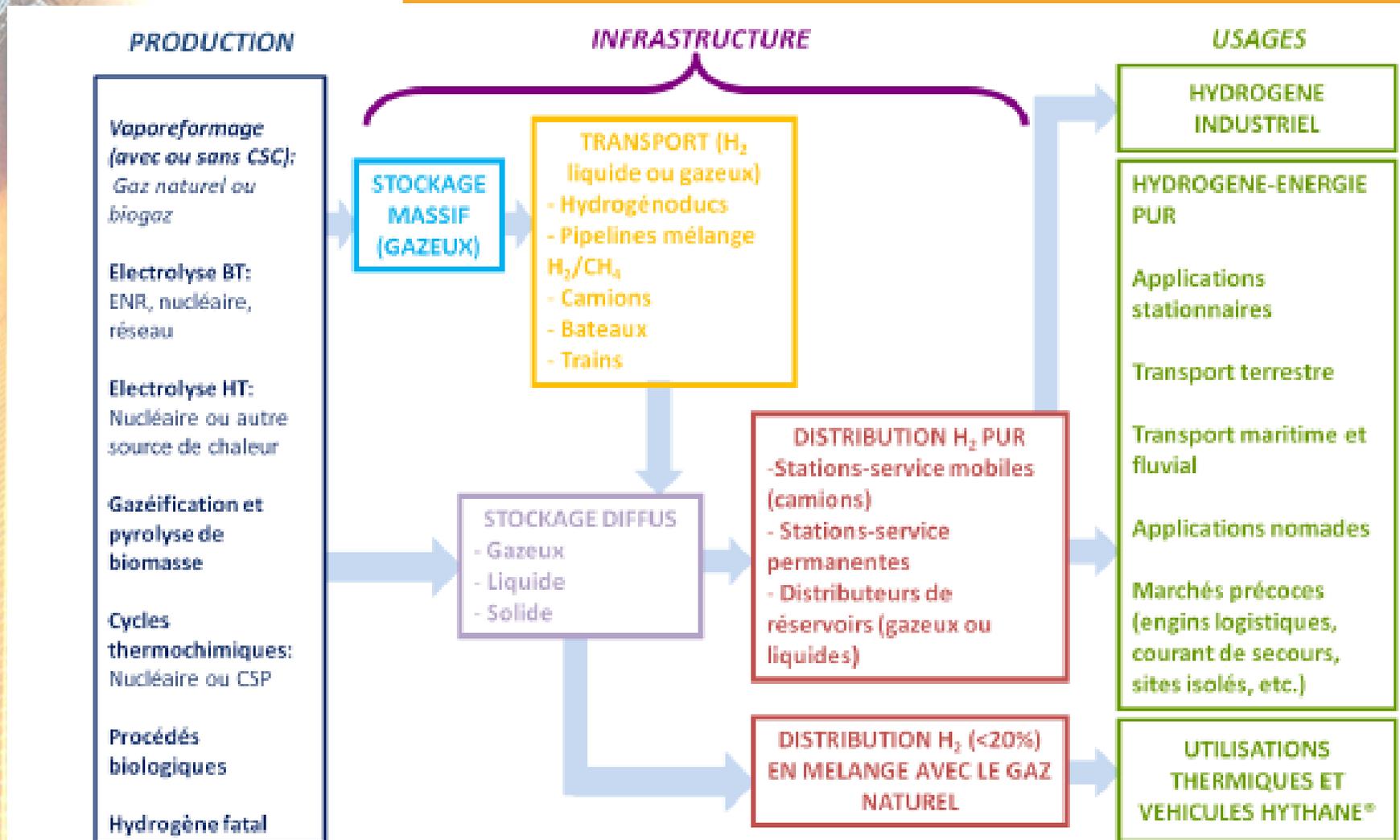
Association Hydrogène

**La filière Hydrogène
Une alternative dans le mix énergétique national**

Une opportunité pour de nouveaux métiers

Source d'information: Etude PHyRENEES des potentialités PME-PMI et ETI

Une opportunité pour de nouveaux métiers



Une opportunité pour de nouveaux métiers

BATTERIES LITHIUM-ION



- Energie : de 42 kWh à 85 kWh
- Tension : de 520 V à 630 V
- Battery management system (BMS) intégré

INTERFACE CONDUCTEUR



Informations sur l'énergie et la traction électrique sur le tableau de bord

GROUPE MOTO-PROPULSEUR



- **MOTEUR ÉLECTRIQUE DE TRACTION**
 - Moteur électrique asynchrone : 400V AC
 - Puissance nominale à 2 600 tr/min : 47 kW
 - Couple nominal : 173 Nm
 - Liquide de refroidissement

- **BOÎTE DE VITESSE**
 - Boîte de vitesse robotisée (sans embrayage) : ZF 6AS400
 - Nombre de vitesses : 6
 - Arbre de sortie : XS122

UNITÉ DE CONTRÔLE ET DE COMMANDE ÉLECTRONIQUE



- Contrôle vectoriel de flux du moteur de traction (incluant la récupération d'énergie au freinage)
- Onduleur pour les moteurs auxiliaires
- Chargeur intégré au véhicule
- Interfaces électronique homme/tableau de bord (communication CAN)

- Contrôle et gestion de la boîte de vitesse
- Fourniture d'énergie basse tension (600V DC / 12V DC)
- Système de gestion de l'énergie des batteries de traction
- Circuit de refroidissement des éléments de puissance
- VECU (Véhicule Electronic Control Unit)

PRISE DE CHARGE



- Puissance du chargeur : 15 kW
- Prise tri-phasée de 16 à 32 A

SYSTÈME DE REFOUILLISSEMENT



Système intégré de refroidissement pour le moteur de traction et l'unité de commande électronique

FREIN



- Pompe à vide
- Moteur électrique : 400 V AC – 0,5 kw
- Pression max. : 150 mbar (2,8 PSI)
- Débit d'air : 61 L/mn

ASSISTANCE DE DIRECTION



- Assistance hydraulique
- Moteur électrique : 400 V AC 0,75 kw
- Pompe hydraulique : engrenage intérieur
- Pression : 65 bar (945 PSI)
- Débit : 6,8 L / mn

Une opportunité pour de nouveaux métiers

NEXTER Electronique	<ul style="list-style-type: none"> - Conception et / ou intégration de systèmes de production d'énergie à pile à combustible pour applications militaires - Coopération avec PRAGMA
PHyRENEES	<ul style="list-style-type: none"> - Animation et mobilisation des acteurs de la filière H2 en Midi-Pyrénées
PRAGMA Industries	<ul style="list-style-type: none"> - Développement d'applications pile à combustible : Kit pédagogiques, Vélos et outillages - Développement et industrialisation d'une technologie de pile à combustible à "enroulement"
SAFRA	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration d'un système pile à combustible dans le bus tri-hybride "BUSINOVA" - Implication dans le développement d'une filière H2 en Midi-Pyrénées
TRYFIL	<ul style="list-style-type: none"> - Production d'hydrogène à partir de biogaz (projet VABHYOGAZ)
ZODIAC AEROSPACE	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration de pile à combustible pour applications « embarquées » - secteur aéronautique
VESO CONCEPT	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration de systèmes pile à combustible dans des applications mobiles (petits véhicules utilitaires, véhicules utilitaires....)

Tableau récapitulatif des acteurs de Midi-Pyrénées impliqués dans la filière H2 de leurs principaux positionnements

Production
Pile à combustible
Composants et sous-systèmes
Stockage H2
Services - Ingénierie

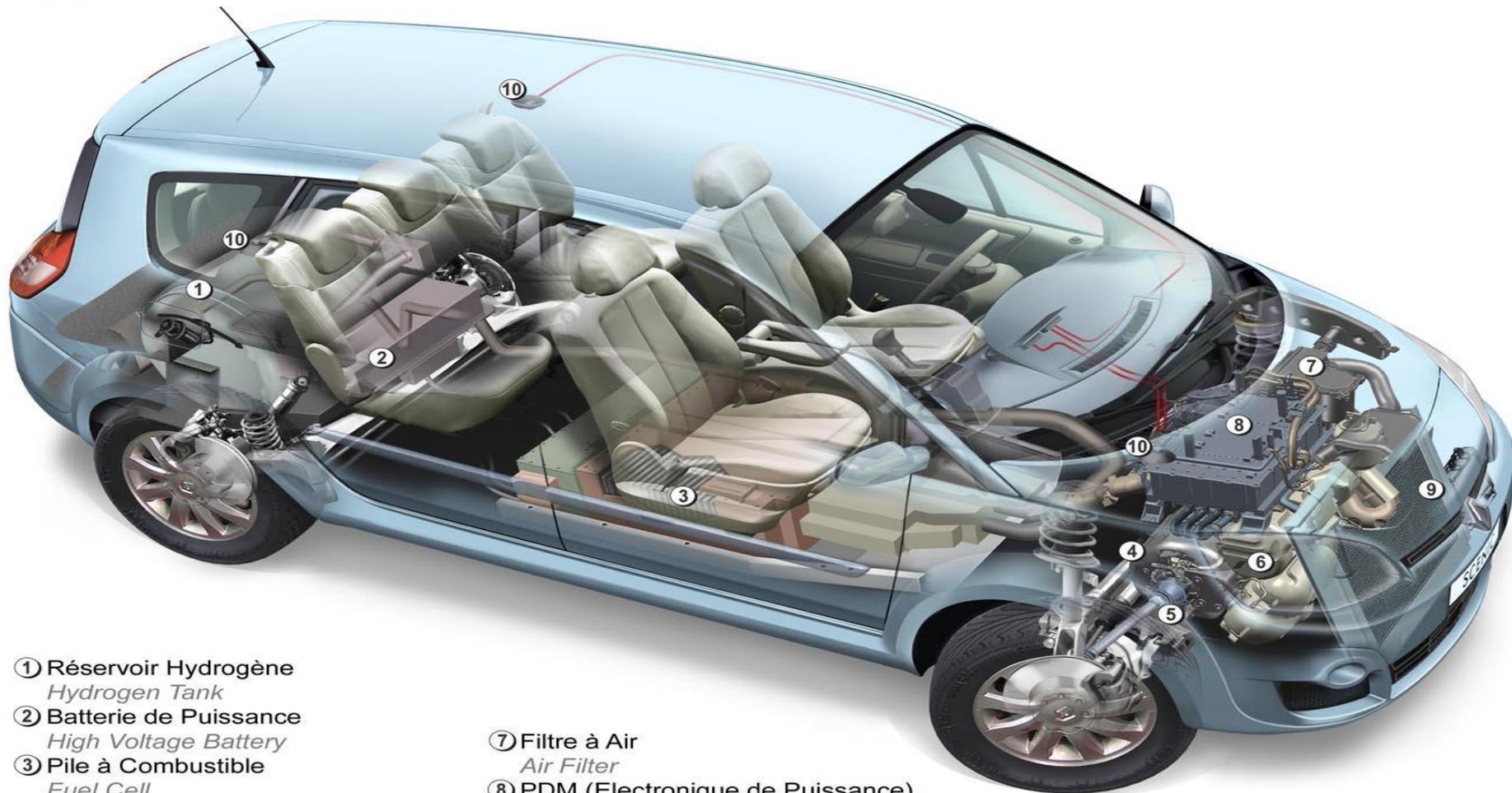
Une opportunité pour de nouveaux métiers

Société / Organisme	Activités principales	Positionnement potentiel dans la filière H2
ABOARD Engineering	Plateforme de prototypage numérique pour pilotage de système de motorisations thermiques ou hybrides	- prototypage de systèmes piles à combustible
AIROD	Ingénierie de conception de machines de production industrielle	- Conception et fabrication de machines spéciales pour les sous-traitants - Fabricant de composants de la filière H2 (machines-outils, bancs de test....) pour petites séries?
AUTOMOTECH	Animation de la filière "automobile" de Midi-Pyrénées"	- Promotion des applications mobiles de l'H2 - Mise en réseau, détection d'opportunités - Initiation de projets d'application et / ou collaboratifs
BENNES JPM	Fabrication de bennes et plateaux aciers et aluminium pour véhicules utilitaires	- Fourniture de bennes et plateaux pour véhicules utilitaires électriques
COMAU France	Conception et fabrication de machines-outils pour le secteur automobile	- Fourniture de machines-outils pour production en série de composants
CIRTEM	Fabrication de convertisseurs (5 à 500 kW), onduleurs et variateurs de vitesse	- Conception, développement et fabrication de Convertisseurs pour véhicules électriques à pile à combustible
DEFI 12	Etudes et ingénierie pour outillages et machines spéciales	- Conception d'outils et machines spéciales pour fabrication en série de composants et pièces

Une opportunité pour de nouveaux métiers

Société / Organisme	Activités principales	Positionnement potentiel dans la filière H2
ONDULIA	Construction & exploitation de parcs d'ENR	- Production d'H2 à partir d'ENR
PRIMES Innovation	Plateforme de R&D	- Essais et tests de systèmes pile à combustible en conditions de température, pression, hygrométrie variable
RATIER FIGEAC (Groupe UTC – UTC Aerospace Systems)	Développement, conception et fabrication d'hélices pour turbopropulseurs de forte puissance	- Développement et conception de matériaux composites pour applications mobiles (réservoirs de stockage d'H2 haute pression ?).
SIMER	Conception, la fabrication, la maintenance de systèmes électriques et électroniques	- Conception, développement et fabrication d'un "bus" à pile à combustible
SIREA Industrie	Alimentation Electriques autonomes et hybrides (3 à 9 kW) - PV, groupes électrogènes, batteries.... / Automatismes industriels	- Alimentation autonomes / secours électrique
STS (Société Tehnic' Services)	Sous-traitance pour l'industrie aéronautique et automobile	- sous-traitance pour la fourniture de composants ou pièces
WHYLOT	Conception et fabrication de moteurs électriques synchrones	- conception et fabrication de moteurs électriques et d'actionneurs électriques pour véhicules - enroulement filamenteux pour renforcement de réservoirs H2

Une opportunité pour de nouveaux métiers



- ① Réservoir Hydrogène
Hydrogen Tank
- ② Batterie de Puissance
High Voltage Battery
- ③ Pile à Combustible
Fuel Cell
- ④ Moteur Electrique et Boîte
Traction Motor and Gear box
- ⑤ Transmission
Drive Shaft
- ⑥ Compresseur d'Air
Air Compressor

- ⑦ Filtre à Air
Air Filter
- ⑧ PDM (Electronique de Puissance)
*Power Delivery Module
(High Voltage Electronics)*
- ⑨ Radiateur de Refroidissement
Cooling Radiator
- ⑩ Capteurs d'Hydrogène
H₂ Sensors

Véhicule Pile à Combustible Hydrogène
Hydrogen Fuel Cell Vehicle