





Ordre du jour



Présentation PVF

-  Remplacer l'H₂ dans le système énergétique
-  Production, stockage et ré-électrification
-  Les applications autour de l'hydrogène (mobilité et autres)
-  La chaîne de valeur et briques technologiques





Territoire & Réseau



2 régions à fort potentiel industriel

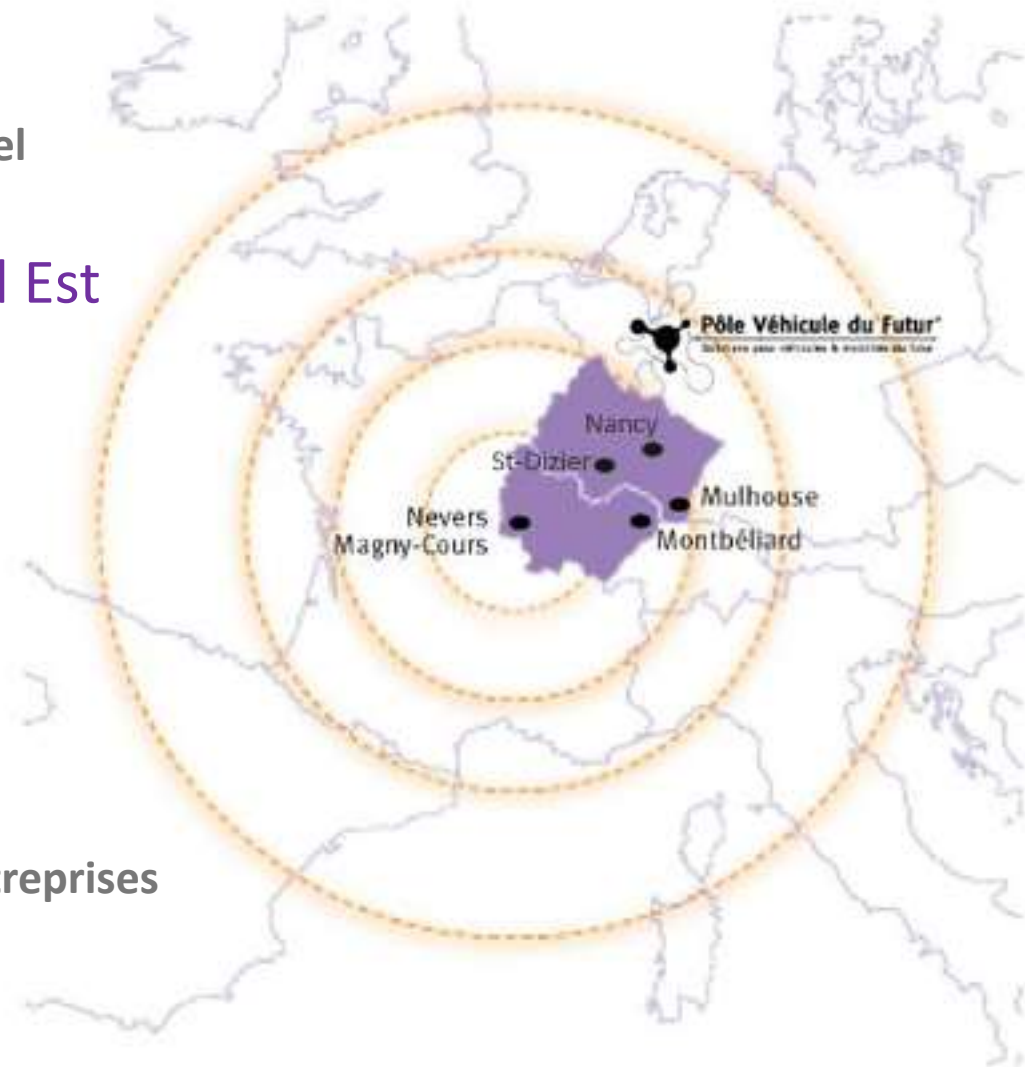
Bourgogne-
Franche-Comté & Grand Est

44%

de la production auto & mobilités française

500 adhérents dont **445** entreprises

Objectif 2022 : **600** adhérents





Missions



Stimuler **l'innovation**
par des projets collaboratifs de
R&D et les accompagner vers
les marchés

Améliorer la **performance**
des entreprises de la filière auto



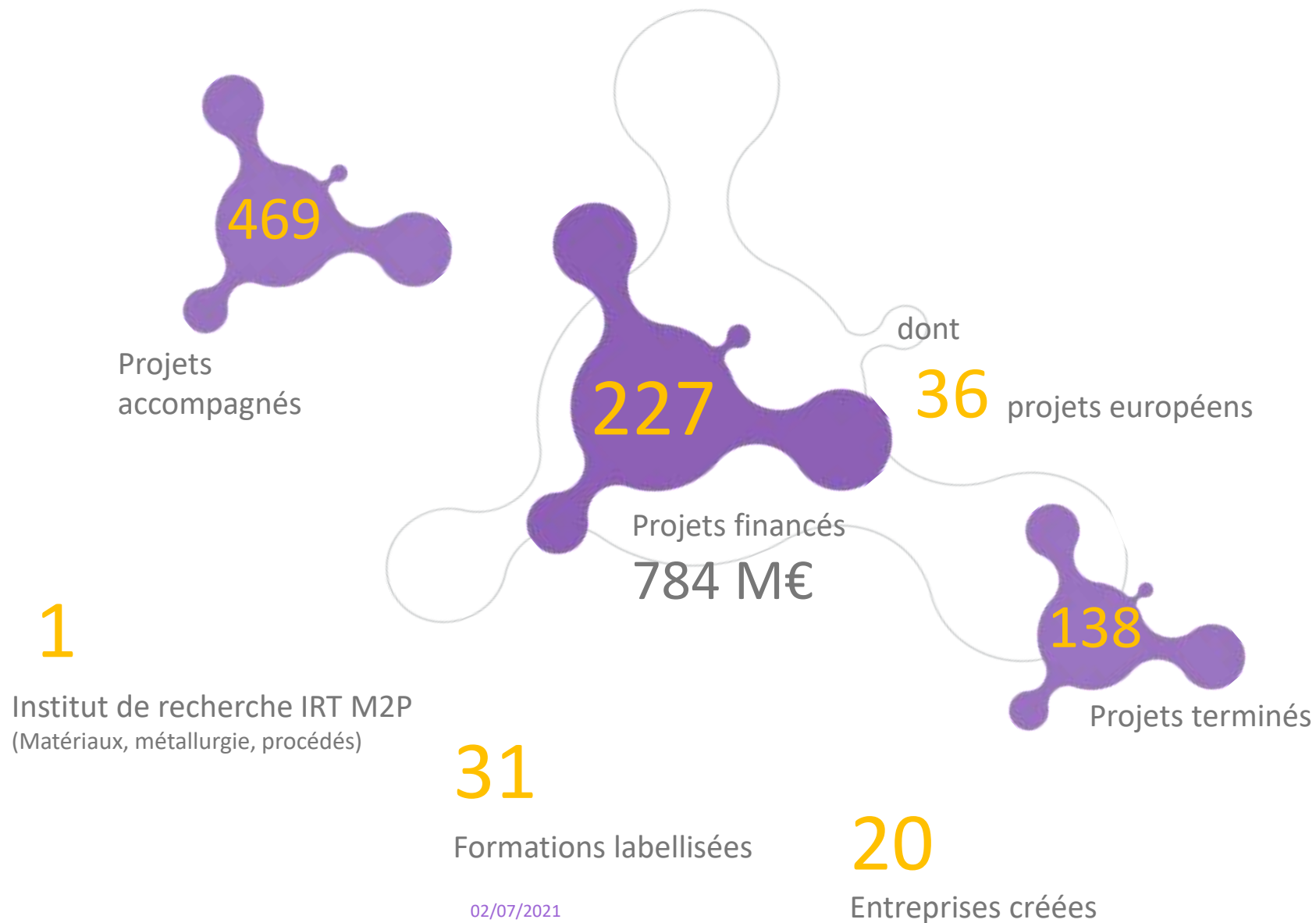
Accompagner la **croissance**
des entreprises

20,5 personnes à votre service
Association créée en 2005





L'innovation en chiffres





Changement de paradigme

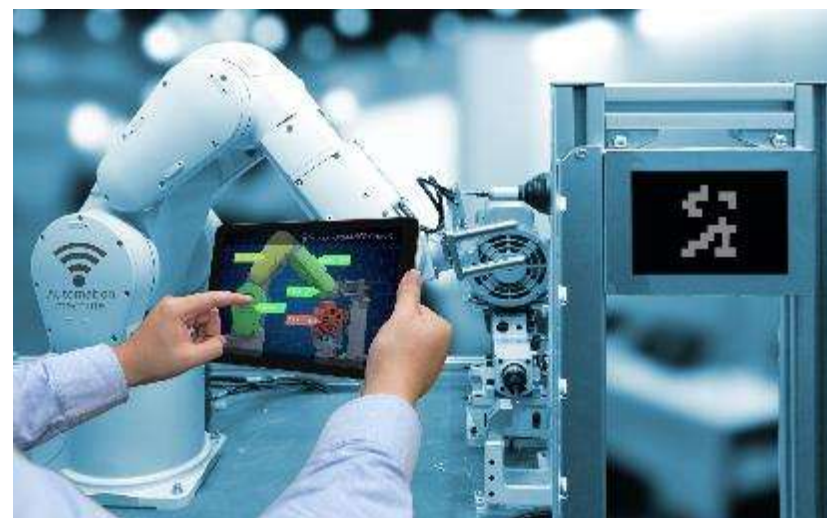


Concevoir & produire les véhicules de la mobilité du futur



Digitalisation
des processus

Industrie
du futur





Enjeux des Transports & Mobilités



Electrification du véhicule
Hydrogène



Véhicule
connecté



Mobilité
servicielle

Véhicule
autonome





H2 by PVF – l'infographie mensuelle



Pôle Véhicule du Futur
Solutions pour véhicules & mobilités du futur

avril_2021



16

ans d'animation
de la filière H₂



320

millions€ pour
les projets accompagnés



BZ-102-BZ

F-City H2 : 1^{ère} voiture H2
homologuée en France



Les programmes hydrogène régionaux

Développement d'une f*l*ière i*Ndustrielle et son A*n*iMation : Hydrogène et sa S*tr*ucturation E*n* Grand Est*

Développer une filière industrielle en Grand Est

-  CA industriels locaux.
-  Création d'emplois.

Mettre en œuvre l'hydrogène dans le cadre de la transition énergétique

-  Hydrogène décarboné.
-  Mobilisation d'aides pour investissements.

Développement d'une F*l*ière Hydrogène en Bourgogne-Franche-Comté

Développer la filière hydrogène en BFC

-  Favoriser les projets d'innovation d'industriels
-  Activités d'animation collective du PVF & du Club H2 BFC

Les objectifs

-  Contribuer à la stratégie régionale, sa connexion avec les initiatives nationales
-  Favoriser l'émergence de projets (R&D, déploiements)
-  Accompagnement des acteurs
-  Animation de l'écosystème



Les clubs hydrogènes régionaux

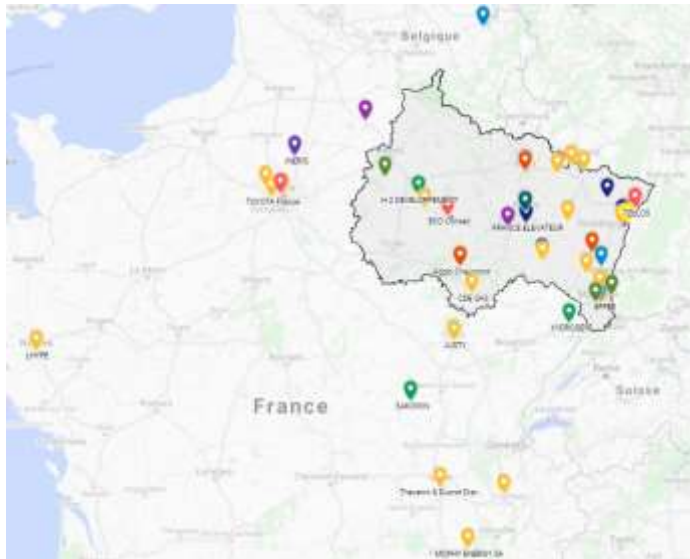


Financé dans le cadre de l'appel à projets

« Be Est Filières d'Avenir » du Grand Plan d'Investissement



Les clubs hydrogènes régionaux

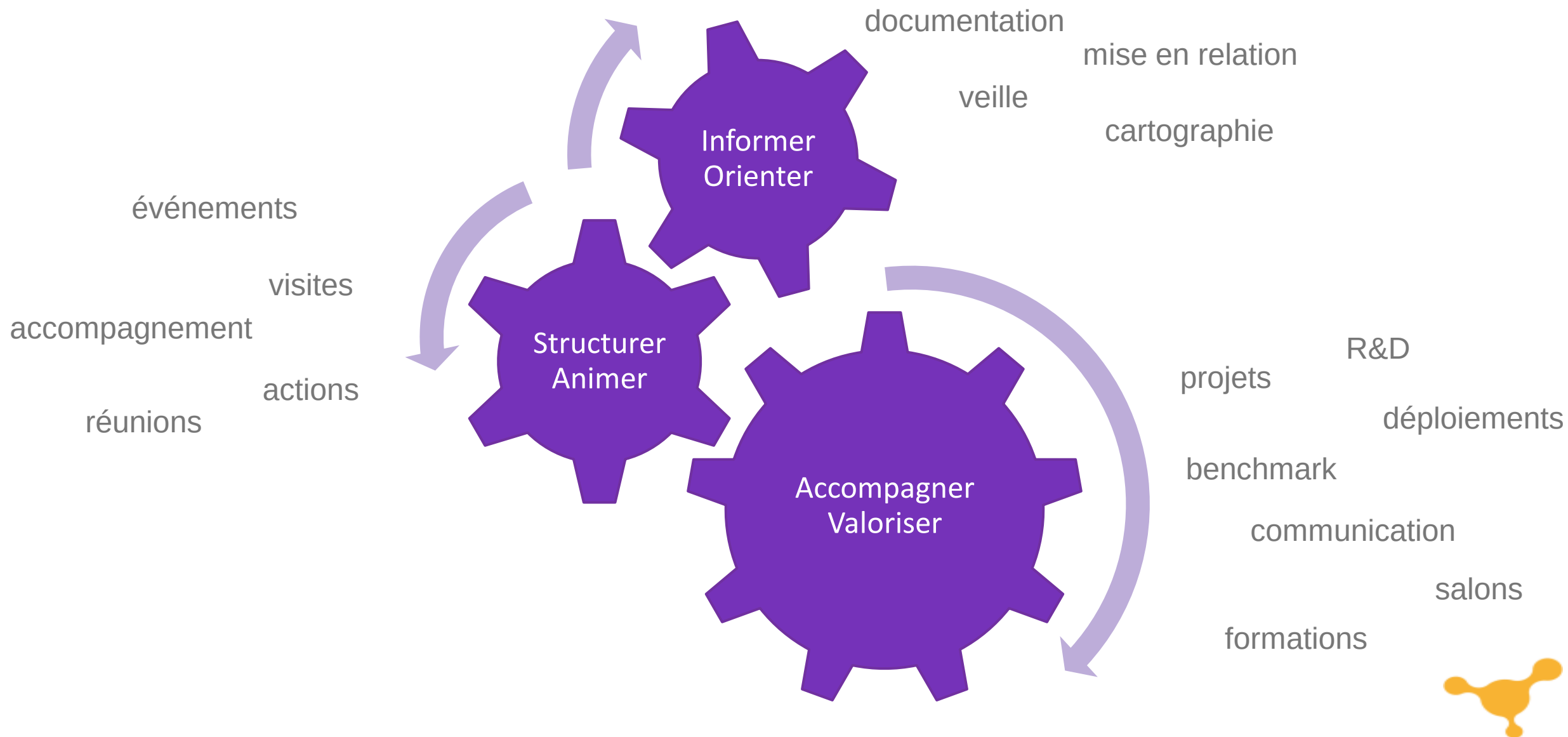


Des adhérents qui couvrent l'ensemble de la chaîne de valeur H2





Clubs H2– Missions



Ressources du projet



Jacques HAENN
Animateur du projet
Arrivée : mars 2019

Missions :

- Animer l'écosystème hydrogène régional
- Mobiliser des groupes de travail
- Diffuser l'information et favoriser les échanges



Nicolas QUEROMES
Ingénieur d'étude
Arrivée : novembre 2019

Missions :

- Répondre à vos questions et préoccupations concernant l'hydrogène
- Vous accompagner dans le développement de vos projets
- Communication et sensibilisation



Emeline CONVERSET
Animateur du projet
Arrivée : mars 2019



Pierre SAENGER
Ingénieur d'étude
Arrivée : mars 2021

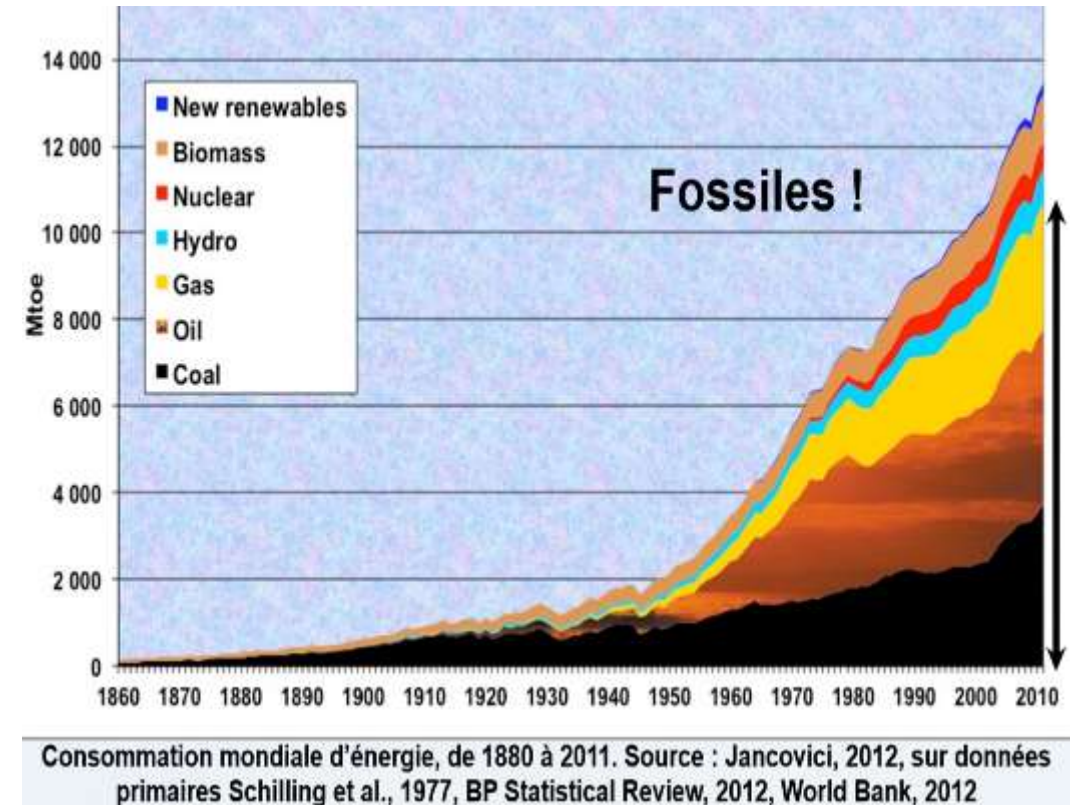
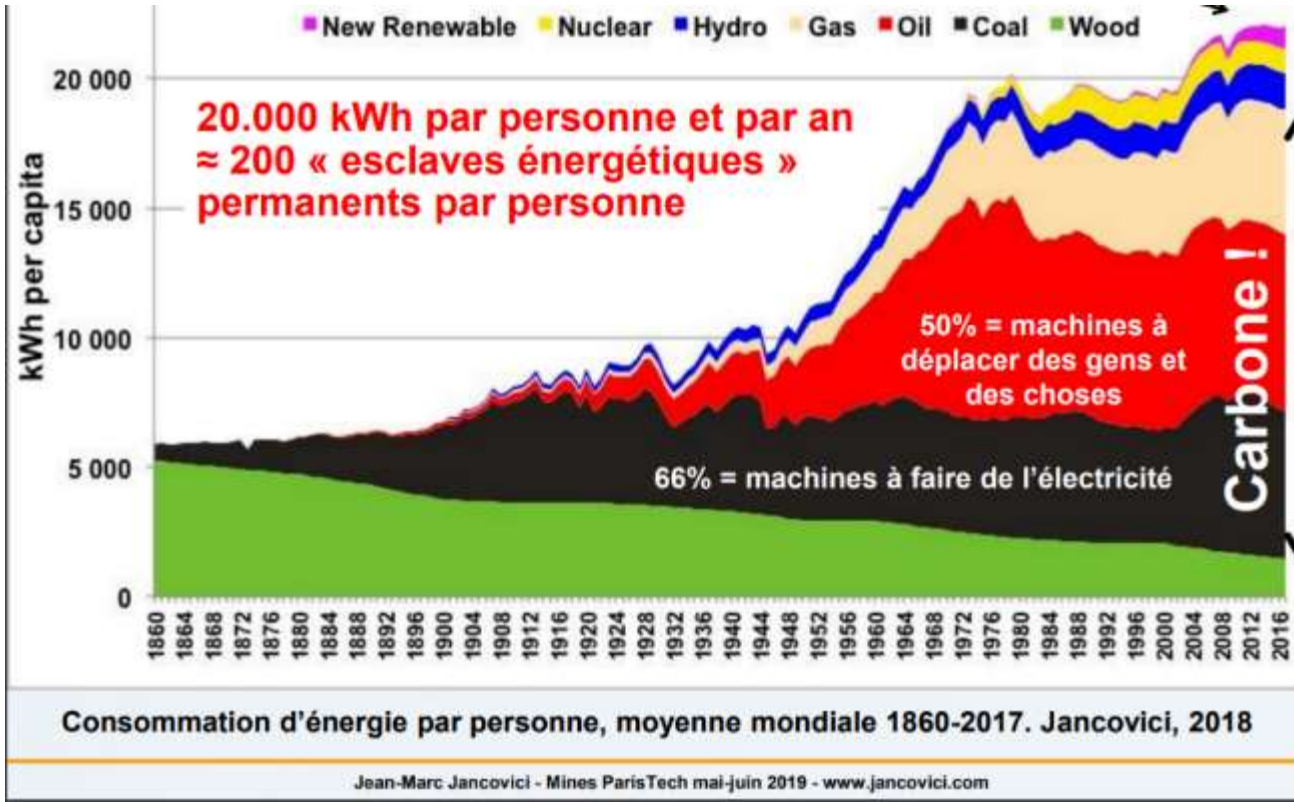
A purple, three-dimensional oval shape with a gradient and a shadow.

Ordre du jour

- 🔗 Présentation PVF
- 🔗 Replacer l' H_2 dans le système énergétique
- 🔗 Production, stockage et ré-électrification
- 🔗 Les applications autour de l'hydrogène (mobilité et autres)
- 🔗 La chaîne de valeur et briques technologiques



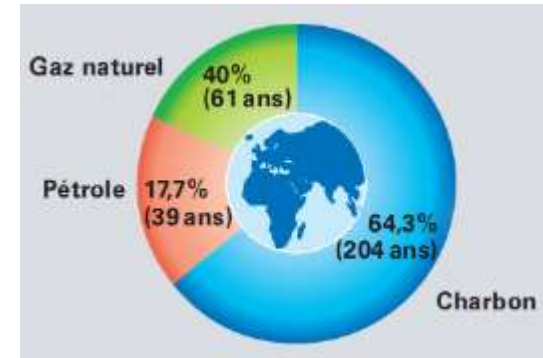
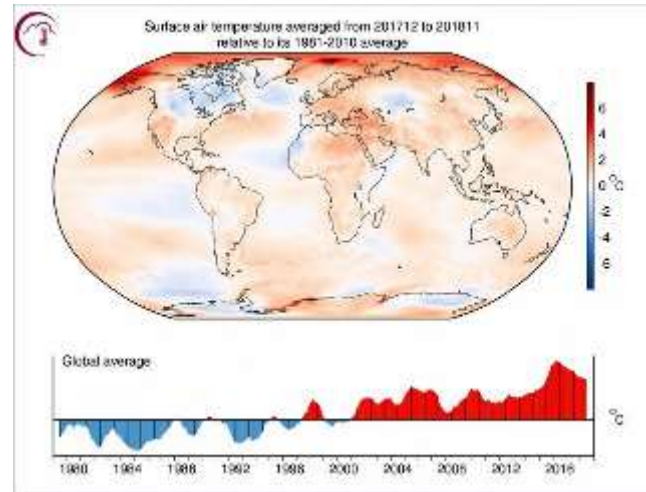
L'énergie dans le monde



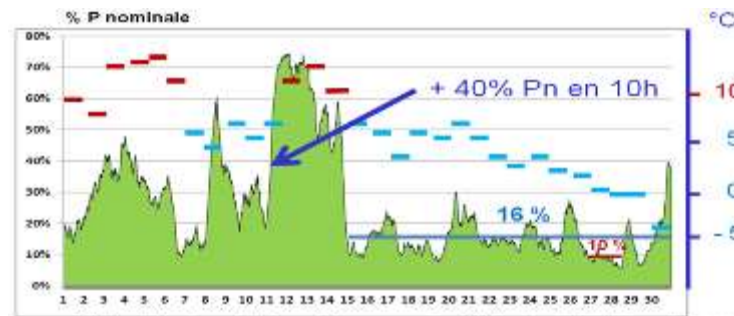
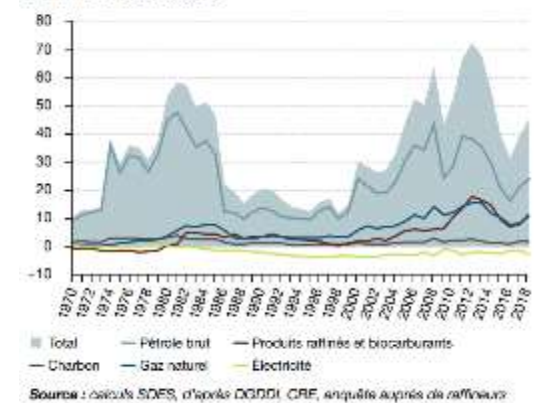
x 4 consommation kWh par personne en 150 ans
 x 30 consommation globale en kWh

Problématiques mondiales liées à l'énergie

- Pollution de l'air
- Réchauffement climatique
- Etat des réserves de fossiles
- Géopolitique des ressources (et prix)
- Problématique de l'intermittence des EnRs



Graphique 2 : facture énergétique de la France
En milliards d'euros 2018



- Evolution de la puissance éolienne en France en novembre 2010 (courbe et échelle de gauche) et de la température moyenne (échelle de droite, en traits rouges journées chaudes et en traits bleu les journées froides)



Ordre du jour

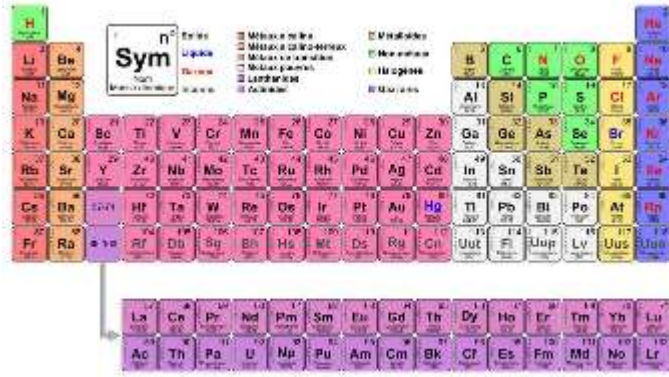


- ✚ Présentation PVF
- ✚ Replacer l'H₂ dans le système énergétique
- ✚ Production, stockage et ré-électrification
- ✚ Les applications autour de l'hydrogène (mobilité et autres)
- ✚ La chaîne de valeur et briques technologiques

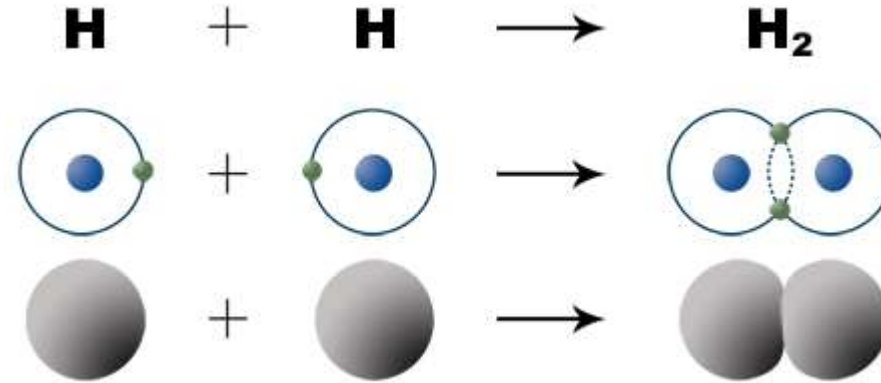




L'hydrogène: la physique

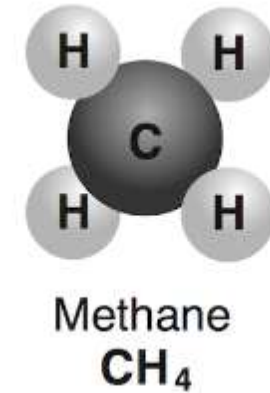
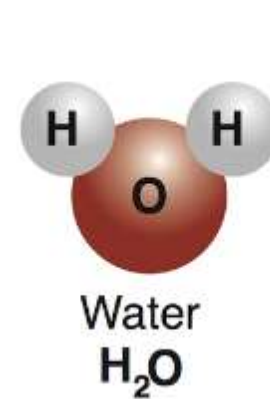


Le plus petit élément



92% des atomes de l'univers

75% de la masse connue



Sur terre le dihydrogène n'est presque pas disponible à l'état naturel. Il est produit par la séparation d'éléments chimiques dont l'atome H est un composant, ce qui coûte de l'énergie



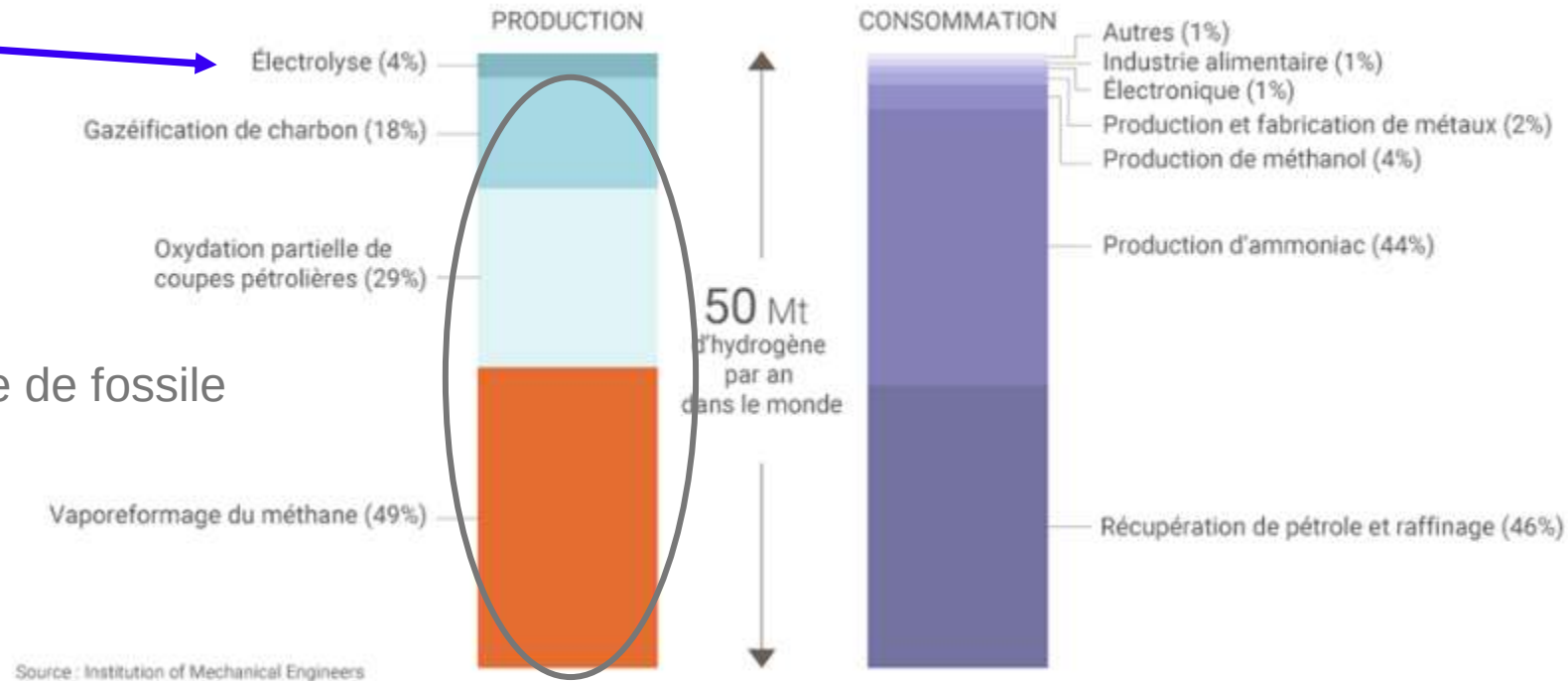
Production et consommation d'hydrogène aujourd'hui

60 millions de tonnes produites en 2019

Hydrogène Production et consommation dans le monde

12% en Europe

Production à base de fossile



Usage ancien dans l'industrie, méthode de production ancienne
9 million de tonnes en Europe dont 10 % en France

Production d'hydrogène à partir de combustible fossile



Bergen-op-Zoom

- H₂/CO production plant (1999)
- With a Steam Methane Reformer
- Capacity of 32,000 m³/h of H₂ and 8,000 m³/h of CO



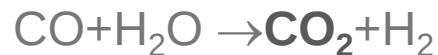
Oxidation partielle

Reaction avec l'oxygene



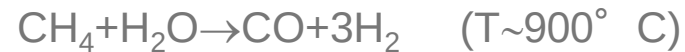
$\Delta H < 0$: exothermique

Water gas shift



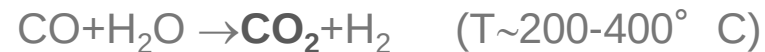
Reformage du methane à la vapeur d'eau

1. Réaction avec la vapeur d'eau



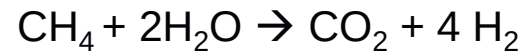
$\Delta H = 203 \text{ kJ/mol}$: endothermic

2. Water gas shift



$\Delta H = -41 \text{ kJ/mol}$: exothermique

Bilan Vaporeformage

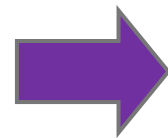


10 kg de CO₂ par kilo d'H₂



gaz d'éclairage

Gazéification du charbon



Plus de **CO₂** par H₂ qu'avec le vaporéformage mais marche mieux avec le pétrole et le charbon



Pourquoi envisager l'hydrogène comme vecteur énergétique propre ?



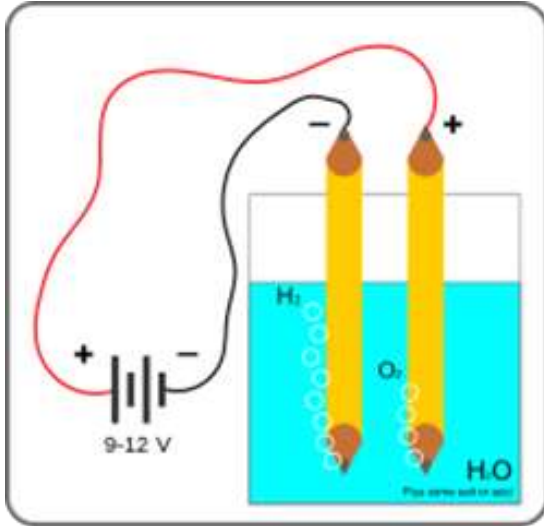
Alors que 96 % de l'hydrogène provient de ressources fossiles

- On peut produire l'hydrogène de manière renouvelable
- Via l'électrolyse de l'eau
 - A partir de la biomasse
 - Par d'autres techniques



Modes de production décarbonés

Electrolyse de l'eau



L'atome d'hydrogène provient de l'eau

$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$ avec une enthalpie de dissociation de l'eau : $\Delta H = 285 \text{ kJ/mole}$.

On apporte l'énergie nécessaire à la dissociation sous forme d'électricité (Courant continu).

--> **renouvelable si l'électricité est renouvelable**

Nécessite un milieu conducteur ionique appelé électrolyte

Suivant les électrolytes 3 types d'électrolyses différentes: 2 basse températures (50-90°C):

- l'électrolyse alcaline, la plus ancienne (industrialisée en 1950) électrolyte est une solution de potasse circulante
- l'électrolyse PEM, où l'électrolyte est une membrane polymère acide échangeuse de protons

L'électrolyse haute température (600-1000°C) électrolyse de la vapeur d'eau grâce à des céramiques conductrices des ions oxygènes (O_2^-)



Différentes techniques d'électrolyse de l'eau



Alcalin

Electrolyte: solution de potasse liquide (KOH)

Avantages

Technologie ancienne et très mature

Longue durée de vie des stacks 80 000 h

Grande capacité de production

Catalyseur moins noble

Inconvénients

Faible densité de courant (0,2- 0,4 A/cm²)

Faible flexibilité et réactivité

Electrolyte liquide

Fonctionnement sous pression moins aisé

PEM

Electrolyte: Membrane polymère échangeuse de proton (PEM)

Avantages

Densité de courant élevée (2 A/cm²)

Flexibilité et réactivité élevée

Fonctionnement sous pression aisé

Electrolyte solide

Inconvénients

Moins bonne durée de vie des stack (40 000 h)

Catalyseur métaux noble (Pt, Ir)

Electrolyse de l'eau

SOEC

Electrolyte: Céramique conductrice des ions O²⁻

Avantages

Rendement élevé (électrolyse vapeur)

Catalyseur non noble

Possibilité de réversibilité (Pile /électrolyseur)

Procédé HT (600-1000° C)
Nécessite chaleur fatale

Electrolyse de la vapeur

Inconvénients

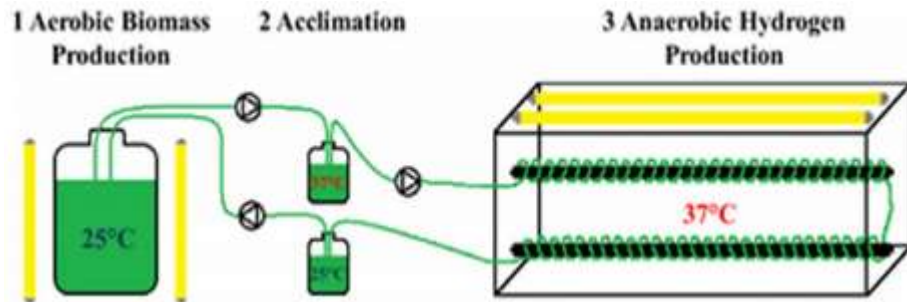
Faible REX et durée de vie

Très peu flexible

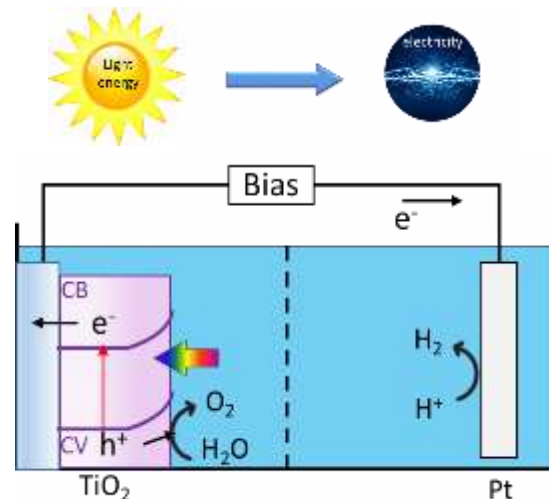
Problème arrêt démarrage

L'hydrogène - production

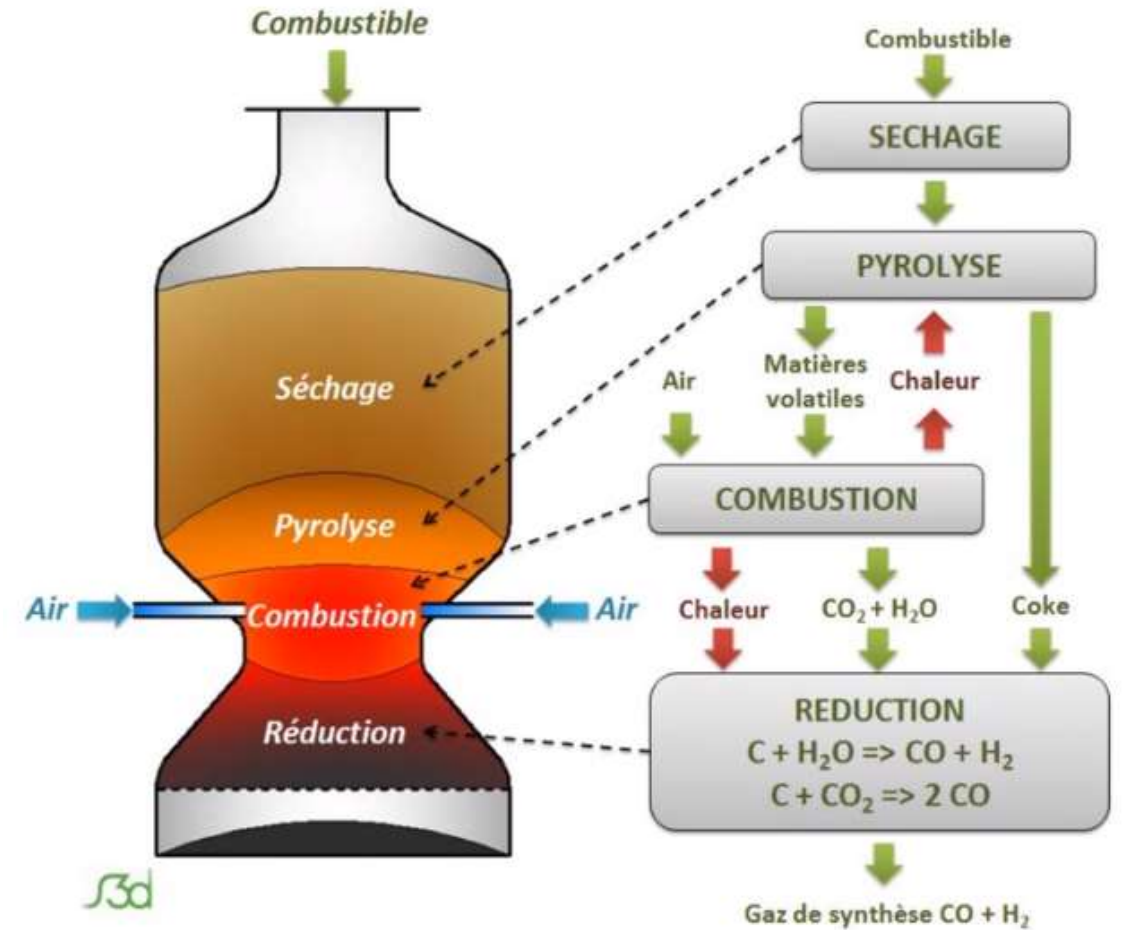
Production biologique d'hydrogène



Production par photocatalyse

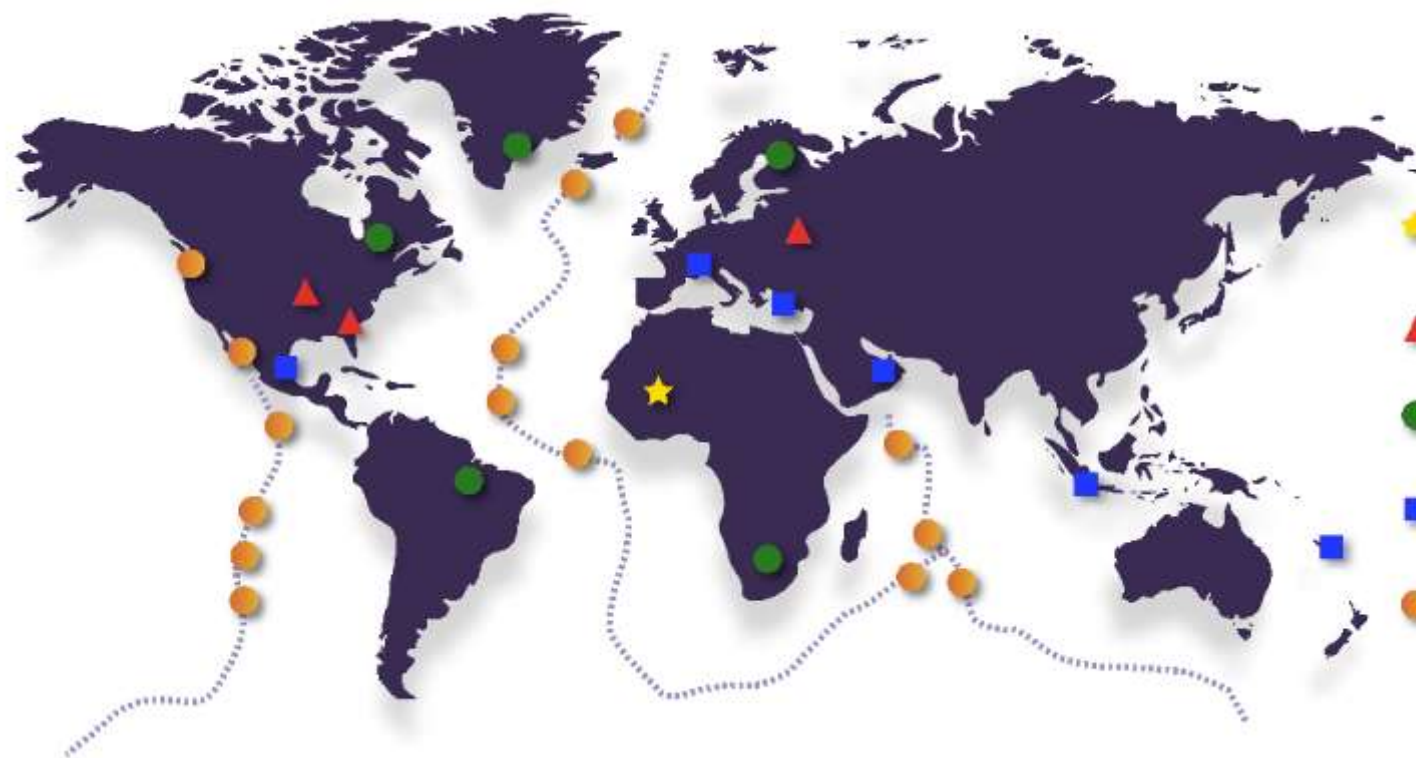


Pyrogazéification

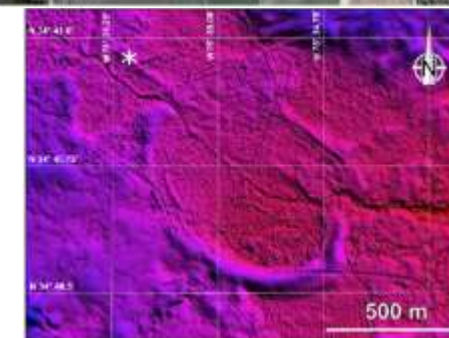
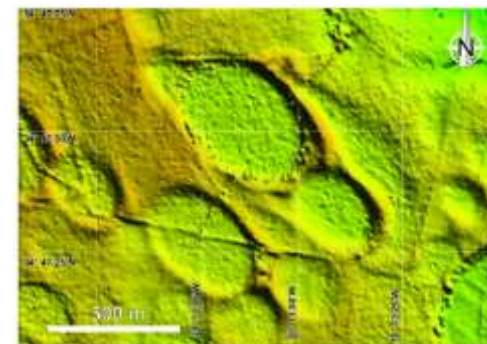




L'hydrogène - natif



- ★ Puits producteur (Mali)
98% H_2 - Altération de minéraux ferreux ?
- ▲ Fuite en surface - Cercles de fées - Carolina Bays, région de Moscou (origine inconnue)
- Granites - Ilimaussaq, Strange Lake, Kola Peninsula (inclusions fluides)
- Ophiolites - Oman, Philippines, Chypre, Nouvelle Calédonie
- Dorsales médio-océaniques (Rainbow, Loky Castel, Lost City)





Stockage de l'hydrogène



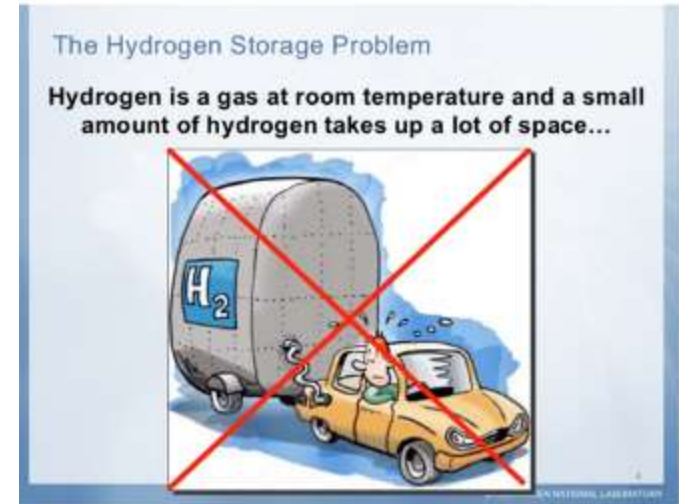


Stockage de l'hydrogène

L'hydrogène a une densité très faible à Température et pression ambiante (89 g/m³)

Avec une voiture à hydrogène on considère une consommation de 1 kg/100 km
Pour faire 500 km, il faudrait 56 000 litres

→ Pas de sens de le stocker à T et P ambiante, il faut réduire le volume occupé



Stockage de l'hydrogène

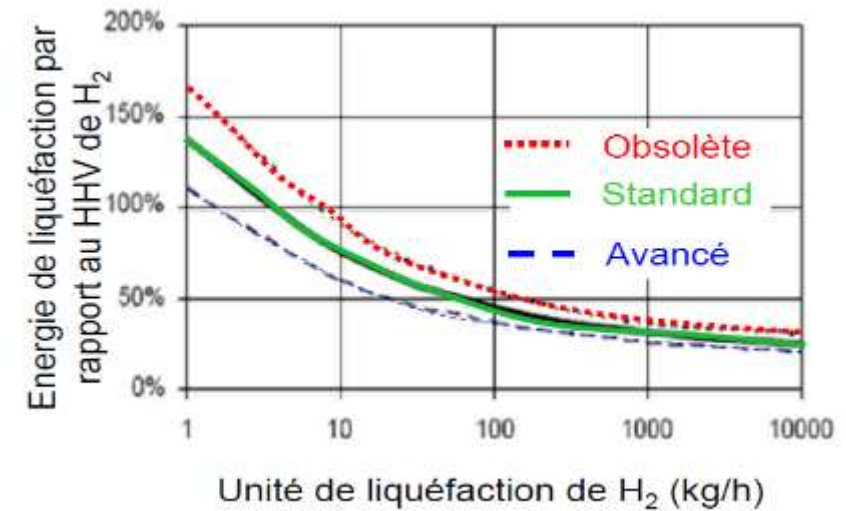


Air Liquide B50 200 bar
10 Nm³ (= 0.9 kg H₂)



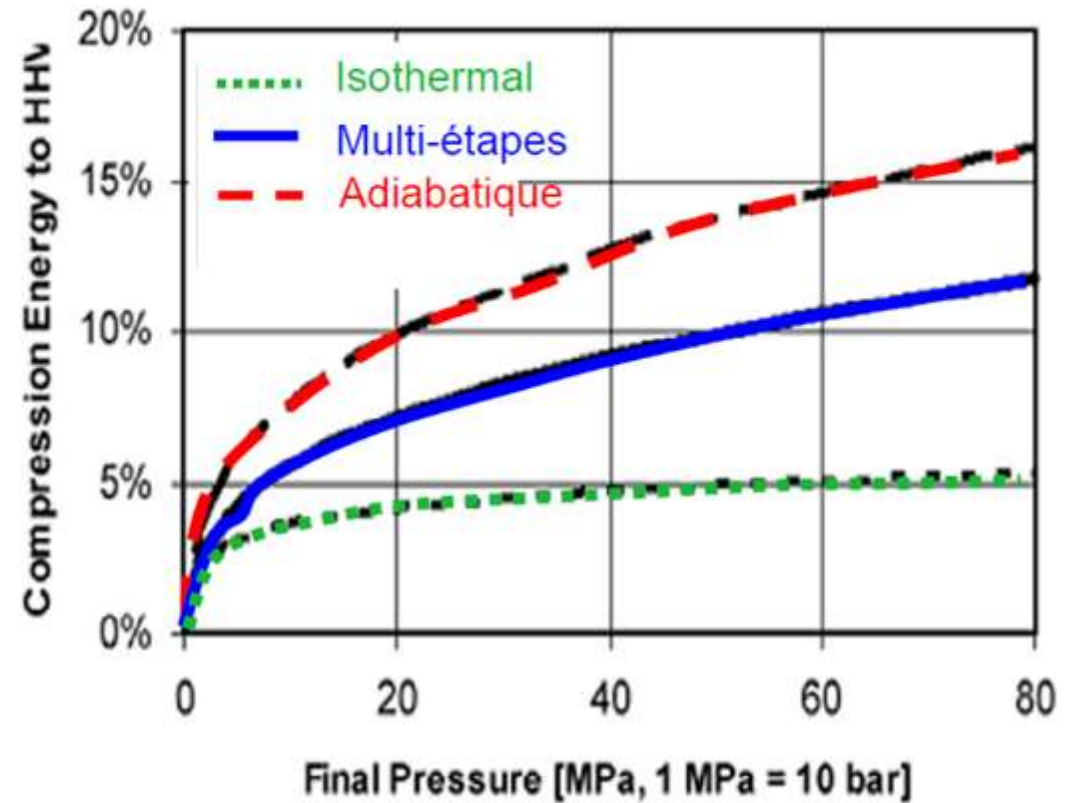
Mc Phy 150kg H₂ par container

T=20.3K
70kg/m³



Stockage de l'hydrogène: la compression

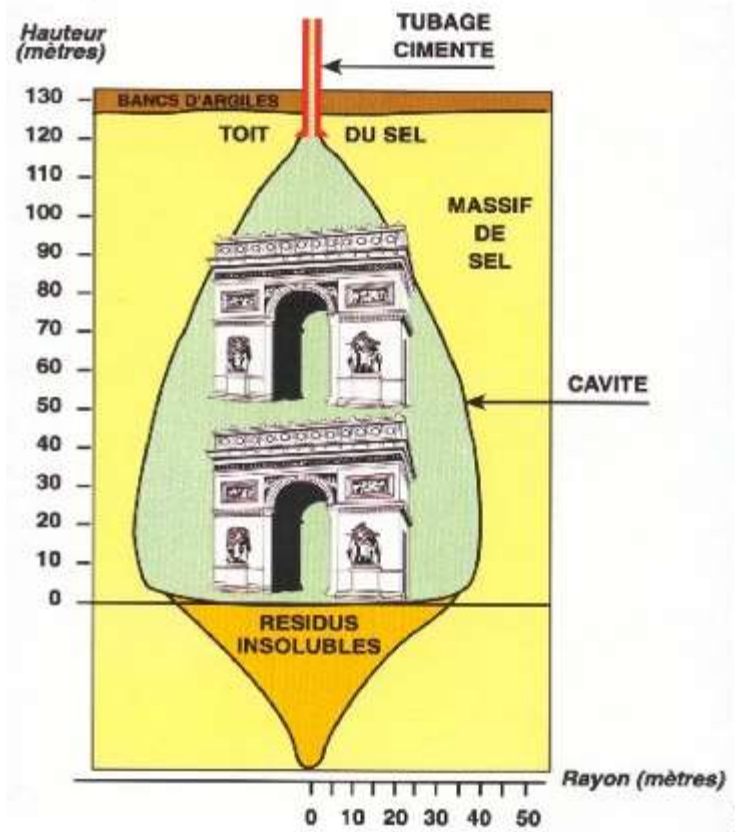
Hydrogen compressor: high Capex - high Opex

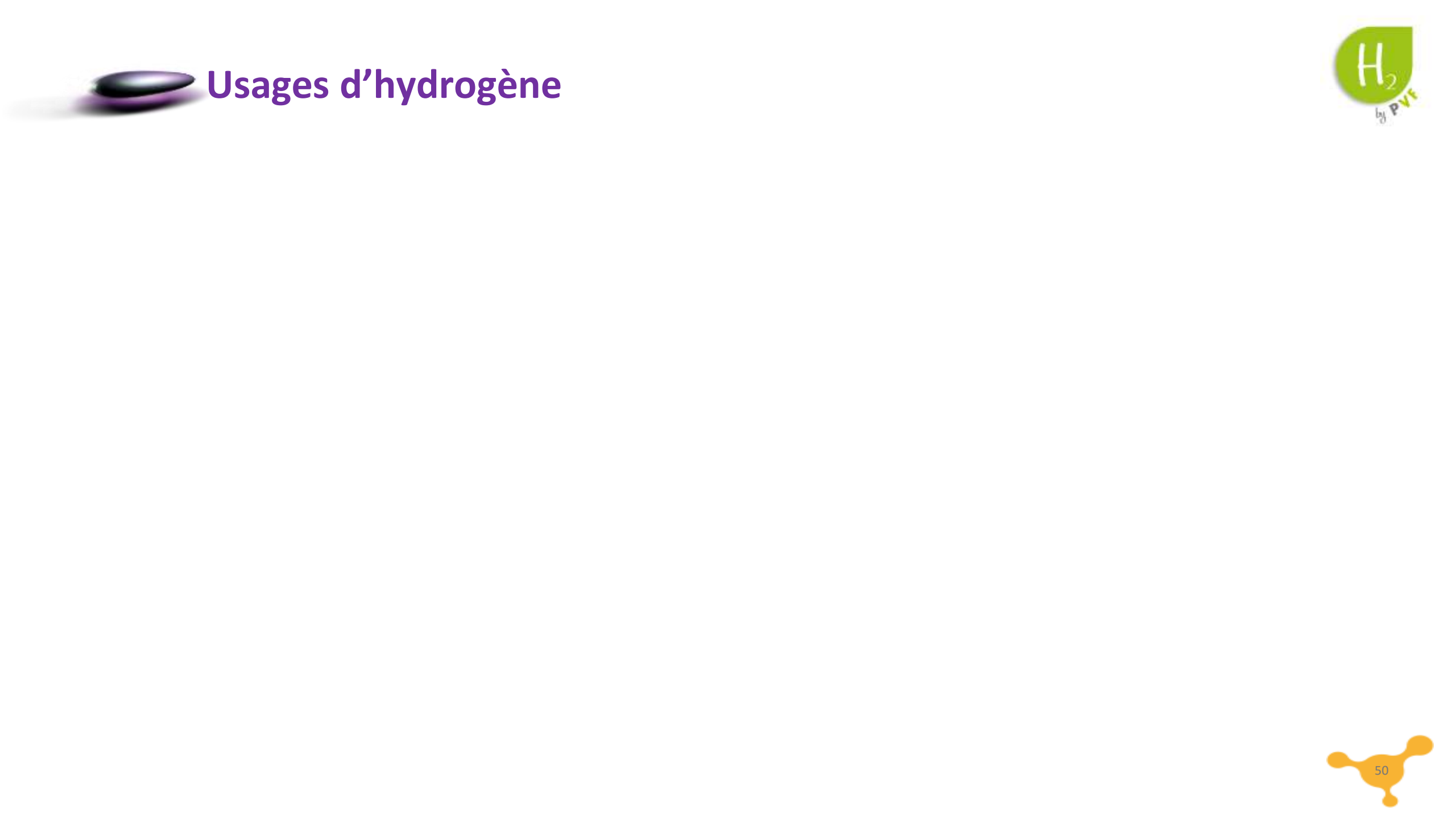


Stockage de l'hydrogène: Les cavités salines

$P > 100$ bar

4 fois moins d'énergie stockée qu'avec CH_4 !





Usages d'hydrogène





La réélectrification: La pile à combustible

Une pile à combustible est un dispositif chimique (empilement de cellule) dans laquelle la génération d'une tension électrique se fait grâce à l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (par exemple l'hydrogène, méthanol, gaz naturel) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un oxydant, tel que l'oxygène ou l'air.

L'effet pile à combustible est découvert par l'Allemand Christian Schönbein en 1839.

Premier prototype de 1 kW en 1953, puis de 5 kW en 1959
-> missions spatiales Apollo.



Pile Symbio

La réélectrification: Les piles à combustible



Different types of fuel cells

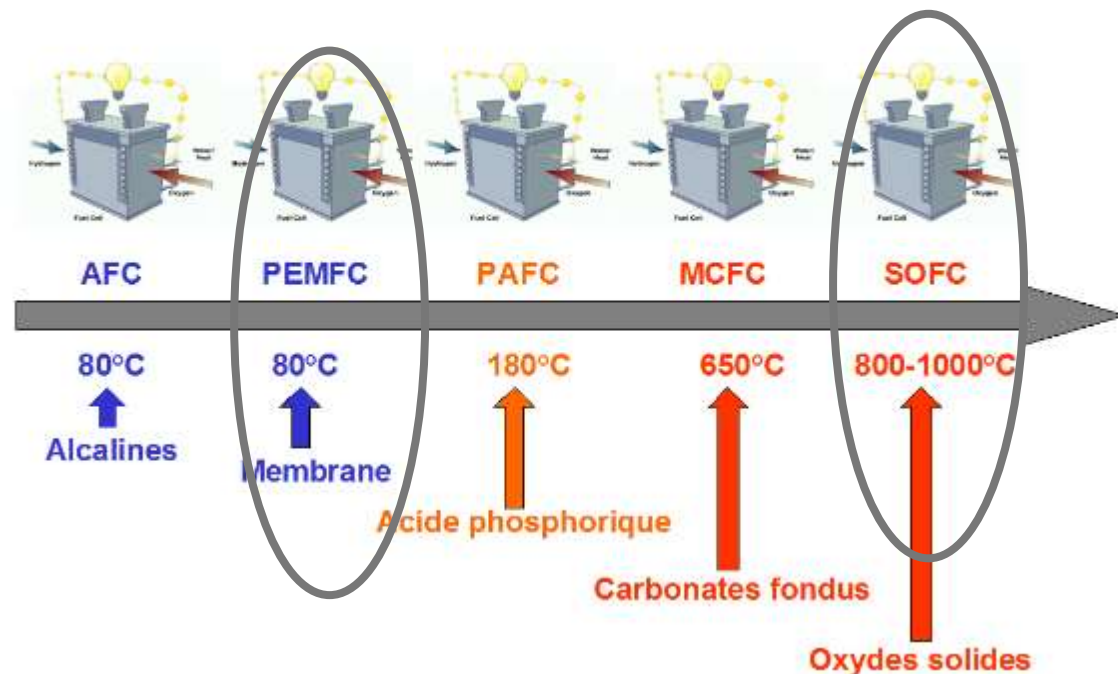
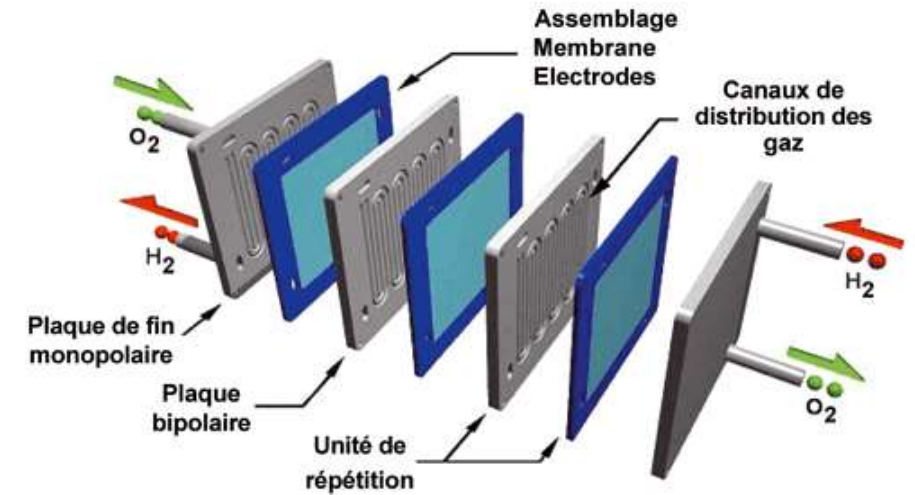
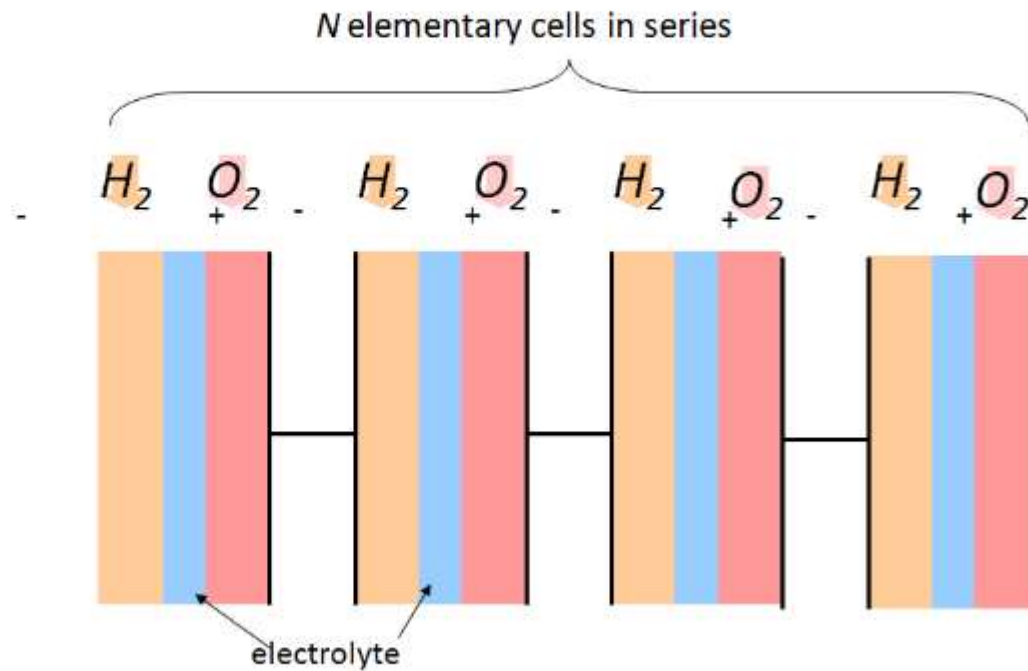


Figure 7 - Evolution des ventes en terme de puissance par type de pile

Type ³	Electrolyte	Espèce ionique	Catalyseur anode	Catalyseur cathode	T (°C)	Domaine d'utilisation
AFC	potasse (liquide)	OH ⁻	Pt	Pt-Ag	80	Espace, transports, stationnaire Gamme : 1 - 100 kW
PEMFC et DMFC	polymère (solide)	H ⁺	Pt (DMFC:Pt/Ru)	Pt	25 - 90	Portable, transports, stationnaire Gamme : 10 mW – 1 MW
PAFC	acide phosphorique (liquide)	H ⁺	Pt	Pt	180-200	Stationnaire, transports Gamme : 100 kW - 10 MW
MCFC	sels fondus (liquide)	CO ₃ ²⁻	Ni	Ni - LiO	650	Stationnaire Gamme : 100 kW - 10 MW
PCFC	céramique (solide)	H ⁺	Perovskite	Pr ₂ NiO ₄ +	400 à 600	Stationnaire, transports Gamme : 100 W - 10 kW
SOFC	céramique (solide)	O ²⁻	Ni-YSZ	La _x Sr _{1-x} MnO ₃	600 à 1000	Stationnaire, transports Gamme : 100 W - 10 MW

La réélectrification: La pile à combustible PEM

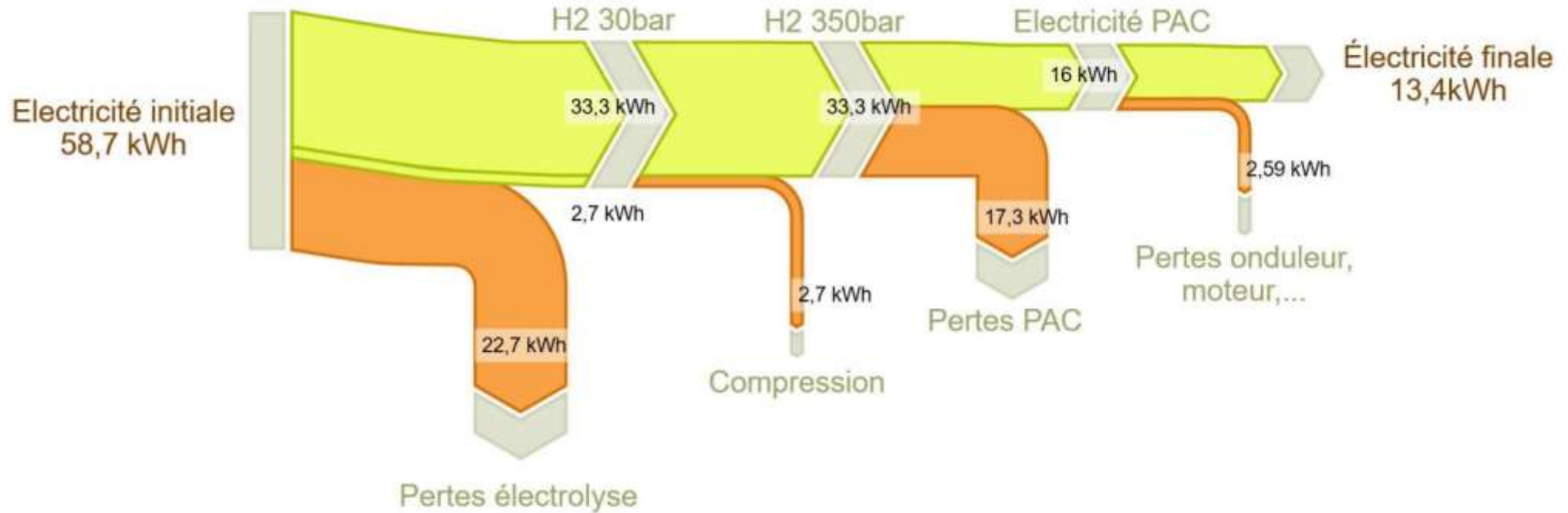
A Stack is obtained



$$\text{Stack voltage} = N \times \text{cell voltage} \quad \text{Stack current} = \text{cell current}$$

Rendement de la chaîne hydrogène

Rendement Electrolyse: 60%, compression:95%, Pile à combustible: 50%, Onduleur

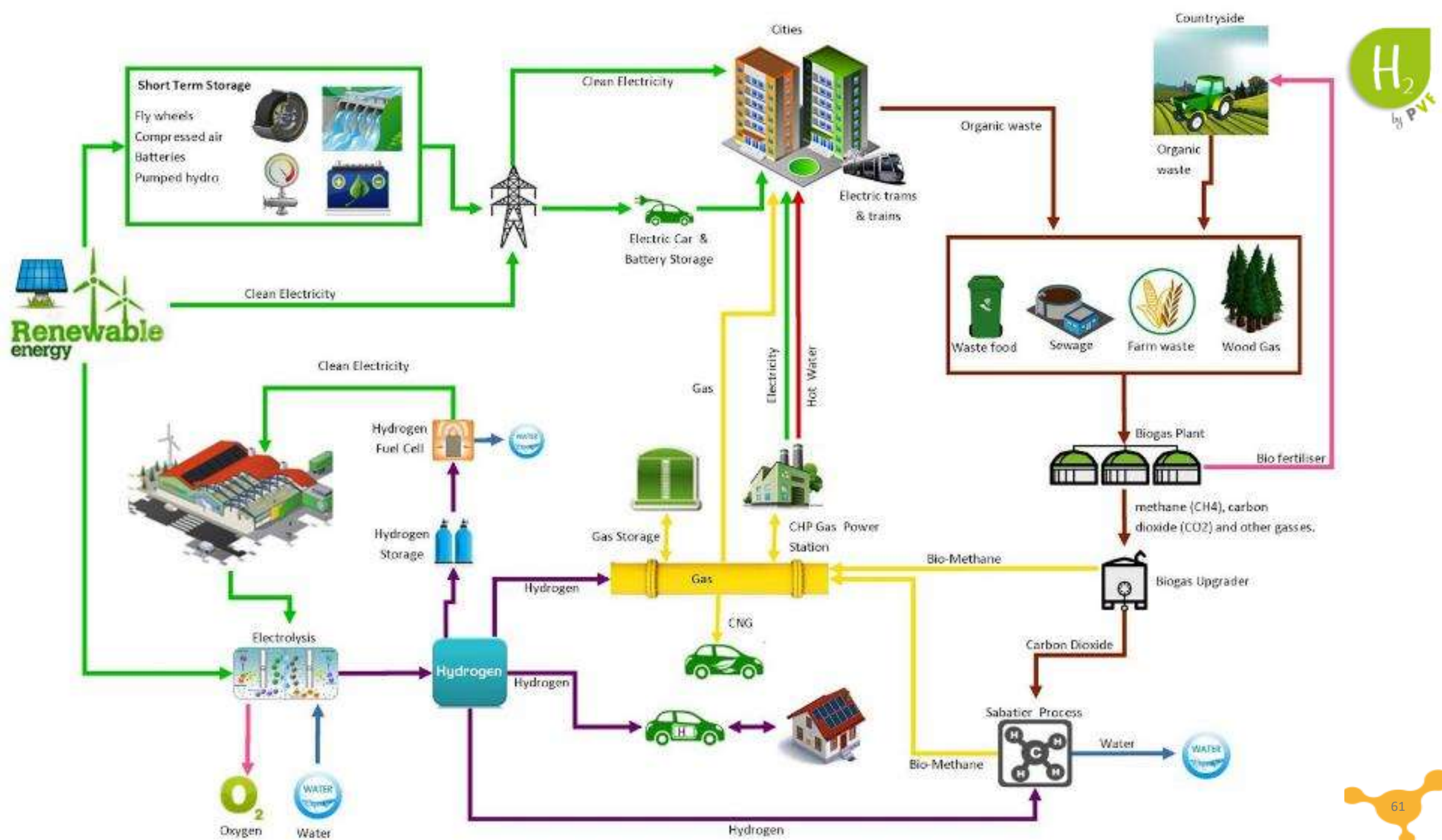


Rendement global de la chaîne Hydrogène: entre 22 et 25%

Chaîne batterie : 70%, moteur thermique seul: 20-25%



« Comment l'hydrogène fait le lien entre électricité et gaz ! »





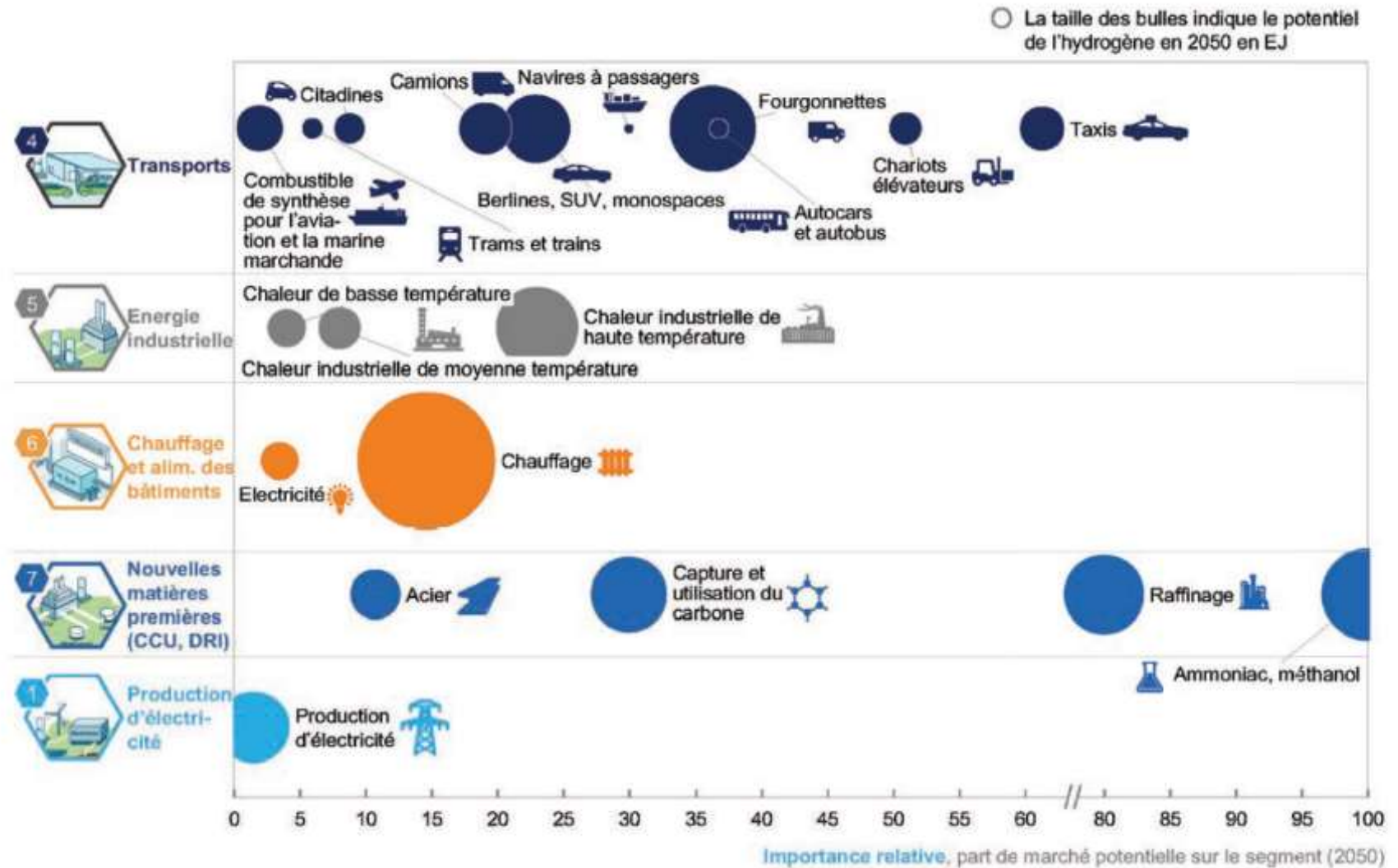
Ordre du jour



- ✚ Présentation PVF
- ✚ Remplacer l'H₂ dans le système énergétique
- ✚ Production, stockage et ré-électrification
- ✚ Les applications autour de l'hydrogène (mobilité et autres)
- ✚ La chaîne de valeur et briques technologiques



Décarboner l'industrie et les transports



Source: McKinsey- AFHYPAC

Solution dans le bâtiment – chauffage - autonomie



VIESSMANN



Chaudière à micro-cogénération avec chaudière d'appoint et ballon d'eau chaude sanitaire

- Pile PEM (Panasonic)
- Développement de la techno SOC
- Alimentation du système méthane
- Reformeur : $\text{CH}_4 \rightarrow \text{H}_2$
- 0,75 kWel, de 0,9 à 30,8 kWth

Bâtiment DELTA GREEN à Nantes (autonome grâce à sa conception économe et du stockage d'hydrogène)



Une famille britannique construit la première maison autonome à hydrogène d'Europe dans le Devon



Groupe électrogène hydrogène



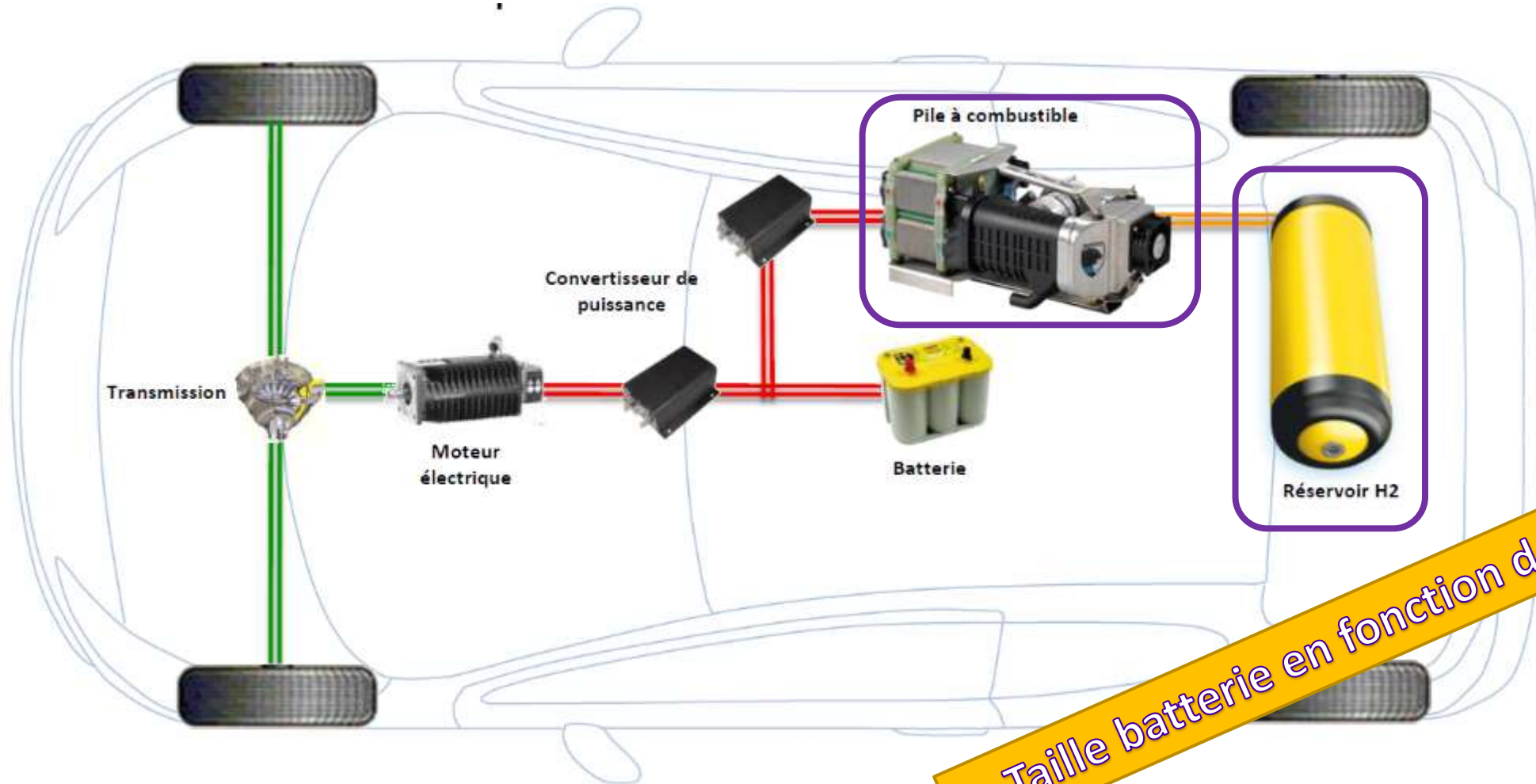
Groupe électro-hydrogène - <https://www.h2sys.fr/wp-content/uploads/2021/06/FTV01.1062021.pdf>



Groupe électrogène «www.sonoba.fr»



Structure d'un véhicule à pile à combustible



Taille batterie en fonction de l'usage



Solution mobilité



Toyota Mirai – Remplissage 3 à 5min – env. 500km



Busnova Safra – Remplissage 7 à 10min – env. 400km



Pragma – Remplissage <2min – 150km



Navibus (hydrogène et batterie)



Nikola (2023) – Remplissage 15-20min - env. 500 à 1200km



Toyota – Remplissage 3 min - 1 plein/poste





La vision de GAUSSIN



Une plateforme modulaire





RETROFIT

POUR DES VEHICULES A DUREE D'UTILISATION LONGUE ET/OU EVOLUTIVE



l'Innovation de procédé sur une technologie disruptive

Kit de conversion



NEO
CONCEPTION PE



NEO
Production



Prototypage



Garage partenaire



Ligne de Production





Poids Lourds



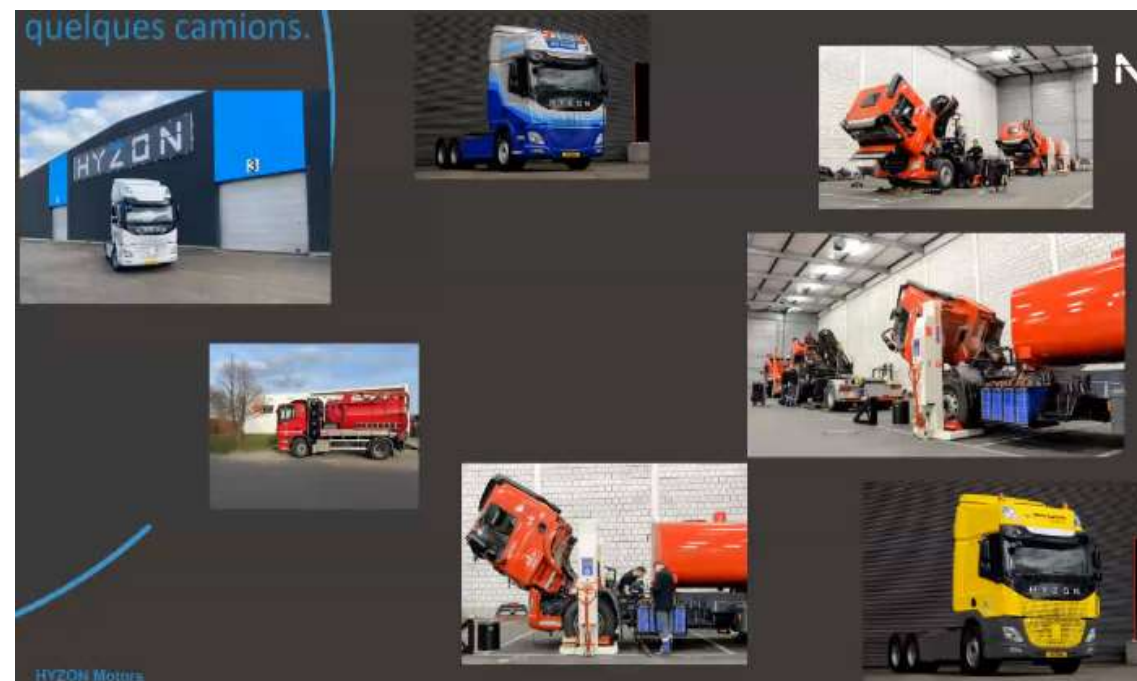
IVECO avec NICOLA une version en 2024

	 NIKOLA TRE 650 ch.	Electrique	Tracteurs 4x2	21/36	16t maxi	400 à 450 km	S2-2022
		Hydrogène	Porteurs 6x2 Tracteurs 6x2	28 / 47* 28 / 47*	26,5t maxi*	600 à 800 km -100% NO ₂ & PT	S1-2024

Volvo : une gamme électrique et des version H2 en 2024-25

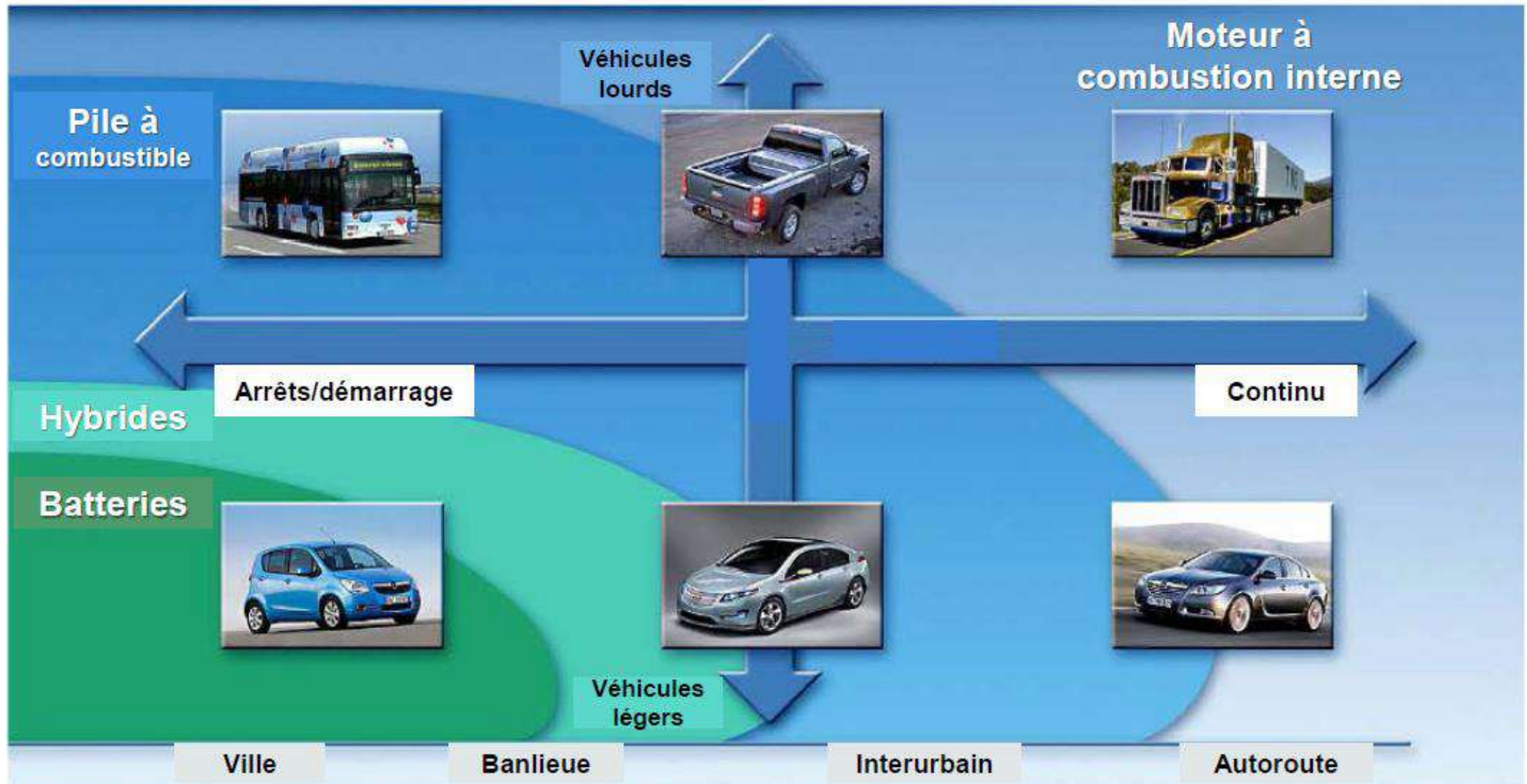


HYZON sur base DAF : véhicules déjà livré. Commandes ouvertes aujourd'hui avec 8 mois de délais



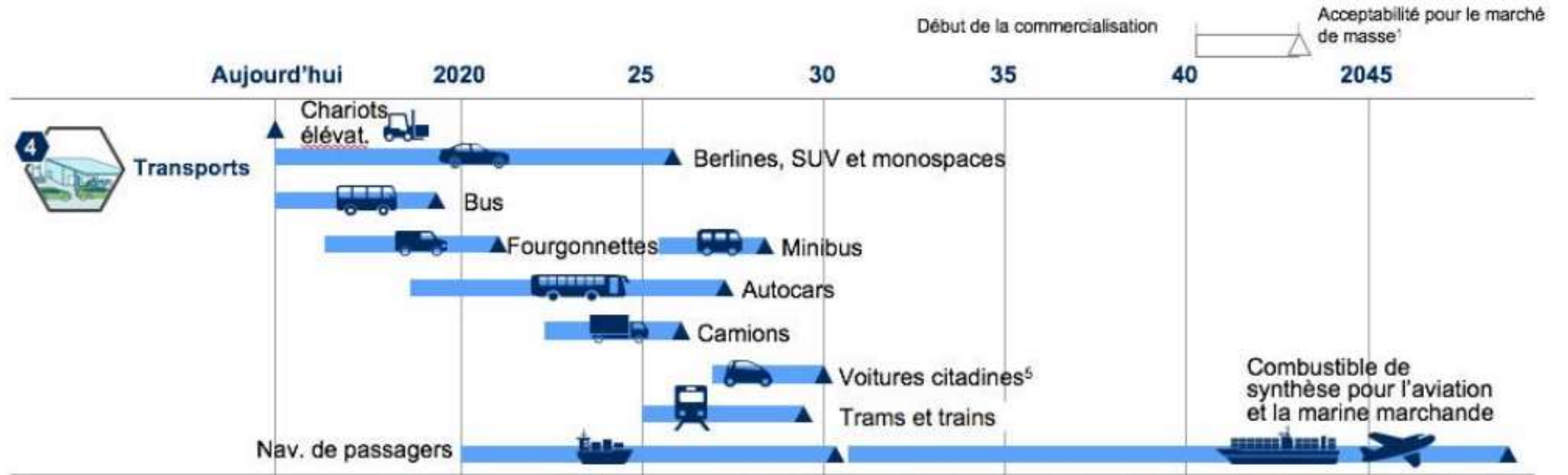


Un choix en fonction de l'usage





Déploiement des technologies hydrogène selon l'AFHYPAC



Source: McKinsey- AFHYPAC



Projets en Europe et dans le Monde



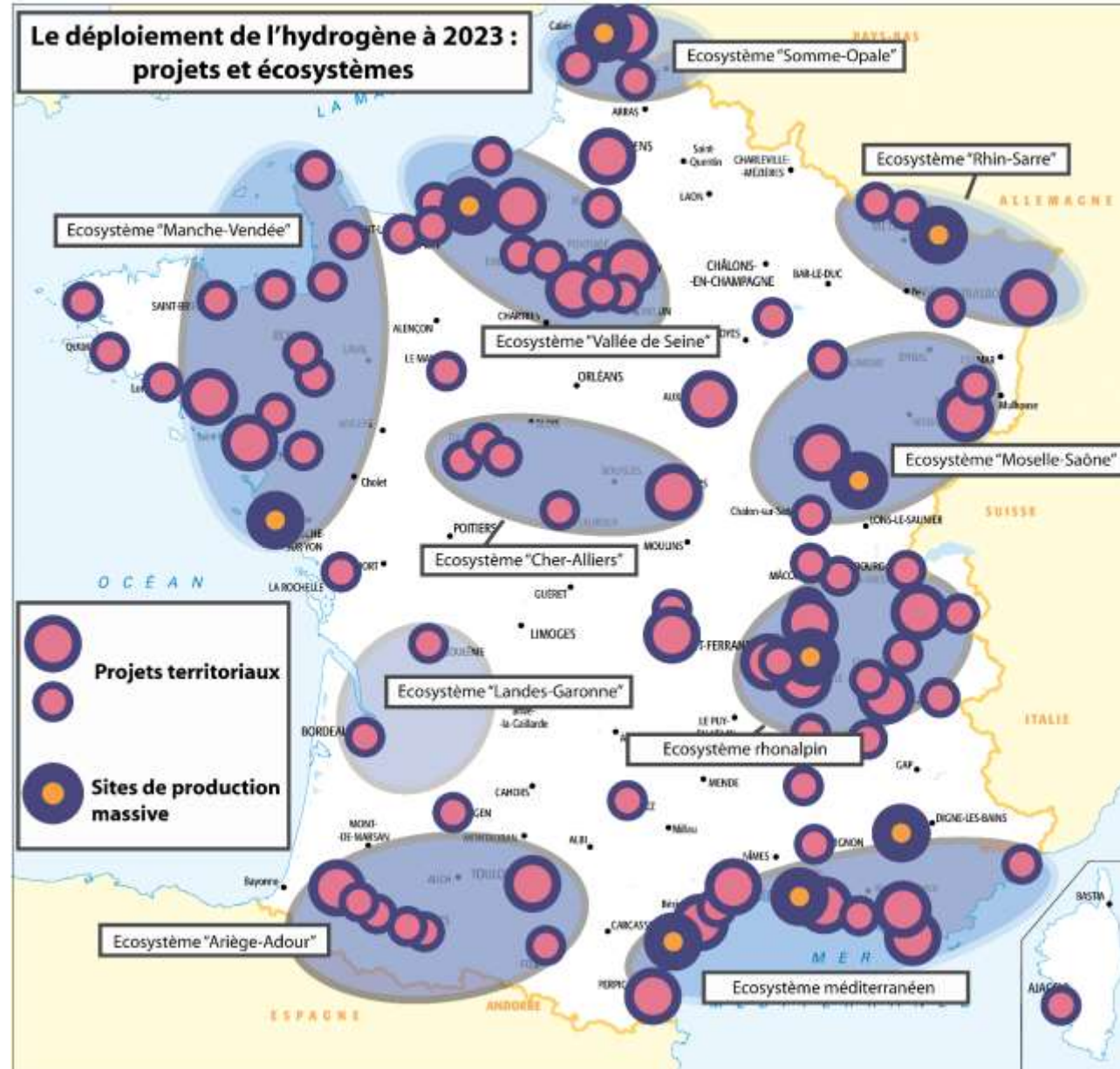
- Monde :
 - Japon
 - Corée
 - Chine
 - Californie

- Europe, tous les pays avec une avance pour :
 - Allemagne
 - Pays Bas
 - France
 - Royaume Unis
 - Espagne



Exemple : les stations dans le monde

Les projets identifiés en France



Source AFHYPAC

Etat des lieux des projets de déploiement de bus hydrogène annoncés en France :



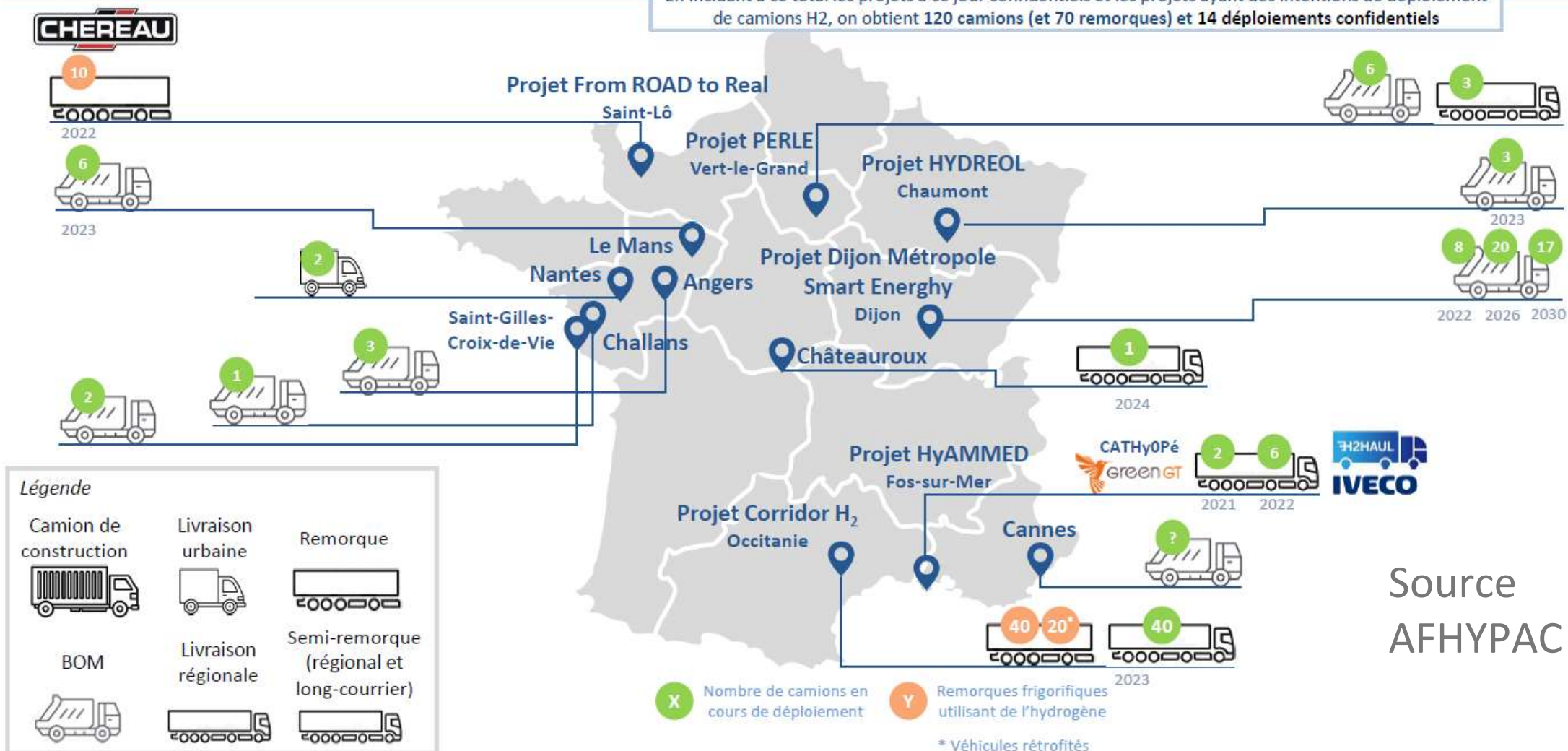
Le déploiement des camions



Etat des lieux des projets de déploiement de camions hydrogène annoncés en France :

Total : 204 = 120 + 70 + 14

En incluant à ce total les projets à ce jour confidentiels et les projets ayant des intentions de déploiement de camions H2, on obtient 120 camions (et 70 remorques) et 14 déploiements confidentiels





Le plan Hydrogène de l'état

Une stratégie de 7,2 milliards d'euros sur 10 ans avec 3 priorités:

- **Première priorité : décarboner l'industrie en faisant émerger une filière française de l'électrolyse**
 - (La France se fixe ainsi un objectif de 6,5 GW d'électrolyseurs installés en 2030)
 - Décarboner l'industrie en remplaçant l'hydrogène carboné
- **Deuxième priorité : développer une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné**
 - Développer une offre de mobilité lourde à l'hydrogène
 - Développer des projets territoriaux d'envergure en incitant à mutualiser les usages
- **Troisième priorité : soutenir la recherche, l'innovation et le développement de compétences afin de favoriser les usages de demain**
 - Soutenir la recherche et l'innovation
 - Développer les compétences

Le plan Hydrogène de l'Etat – quelques chiffres

Créations d'emplois dans la filière hydrogène



Développement de la production d'hydrogène pour l'industrie et les nouveaux usages



* hydrogène issu de sources fossiles

Mobilité

En circulation en 2020



Objectifs de la filière en 2030, 342 000 T d'H₂ décarboné pour :



1 - production cumulée sur la décennie

2 - parc de bus, bennes à ordures ménagères, poids-lourds et semi-remorques frigorifiques

Objectifs à 2028 de la Programmation Pluriannuelle de l'Energie

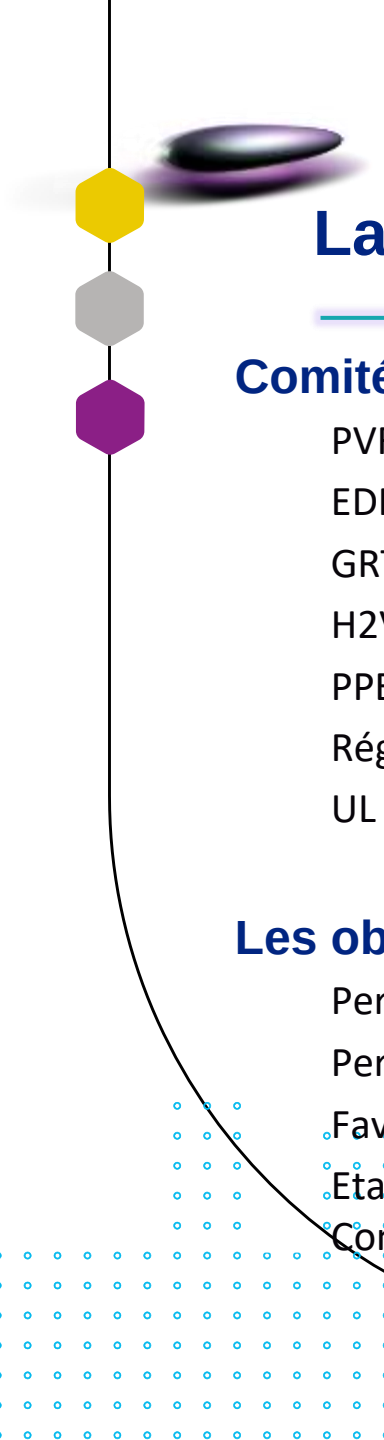
• 20 000 à 50 000 véhicules utilitaires légers

• 800 à 2000 véhicules lourds

Stations de recharge H₂



Rappel des objectifs de la PPE 2028 : 400 à 1000 stations



La délégation Régionale Grand Est

Comité exécutif

PVF : Jacques Haenn = DR

EDF : Jean-Michel DEVEZA

GRTgaz : Sylvie ANTONINI

H2V Industry : Benoit VANTOUROUT

PPE : Mathieu MONVILLE

Région : Marion BEAUDOUIN

UL : Heathcliff DEMAIE

Les objectifs

Permettre l'émergence d'écosystèmes

Permettre la connexion de FH vers les institutions étrangères voisines

Favoriser le développement des compétences, la formation et la levée des verrous technologiques

Etablir une synergie forte sur les actions régionales déjà engagées (Task Force Région en constitution, DINAMHySE,

Contrat de filière biocarburant, Délégation Régionale GE FH)



En chiffre

26 structures

45 personnes

La délégation Régionale Grand Est

Comité exécutif

PVF : Jacques Haenn = DR

EDF : Jean-Michel DEVEZA

GRTgaz : Sylvie ANTONINI

H2V Industry : Benoît VANTOUROUT

PPE : Mathieu MONVILLE

Région : Marion BEAUDOUIN

UL : Heathcliff DEMAIE

Les objectifs

• Favoriser les synergies et les systèmes

• Accroître l'adhésion de FH vers les institutions étrangères voisines

• Promouvoir le développement des compétences, la formation et la levée des verrous technologiques

• Établir une synergie forte sur les actions régionales déjà engagées (Task Force Région en constitution, DINAMHySE,

Contrat de filière biocarburant, Délégation Régionale GE FH)



26 structures
45 personnes

Récapitulatif des AAP (Appels à Projets)



Type	Guichet/Nom	Clôture	Statut
Européen	Horizon Europe – Cluster 5 Climat / Energie / Mobilité	06/09/2022	ouvert
National	France Relance : Calendrier prévisionnel des opportunités	12/2022	NC
National	BDT : Développer des stations et flottes de véhicules à hydrogène pour une mobilité zéro émission - Investissement pour la mobilité hydrogène		Ouvert
National	France Relance : i-Démo - soutien aux projets structurants de R&D	3 mai 2022	Ouvert
National	Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène	31/12/2022	Ouvert
National	Ecosystèmes territoriaux hydrogène	14/09/2021	Ouvert
National	ANR / Labcom	21/09/2021	Ouvert
AMI	AMI CORAM – Filière automobile et mobilité routière	31/08/2021	Ouvert
AMI	AMI – Démonstrateurs de la ville durable	S1 2022	Ouvert
Aides	Déduction exceptionnelle ("suramortissement") pour les véhicules lourds utilisant des énergies propres	31/12/2021	Ouvert
Aides	France Relance : Bonus pour les bus et camions à hydrogène	NC	
Aides	Déduction pour investissements en navires de transports utilisant les énergies «renouvelables»	31/12/2021	Ouvert
Aides	Bonus écologique et prime à la conversion	31/12/2021	Ouvert
Aides	Plateforme pour aider à dépasser les blocages réglementaires	NC	Ouvert
Autres	Novares startup program	NC	Ouvert
Autres AAP	Financement de projets d'innovation franco-coréens	31/08/2021	Ouvert

A purple oval with a gradient and a shadow.

Ordre du jour

- 🔗 Présentation PVF
- 🔗 Remplacer l'H₂ dans le système énergétique
- 🔗 Production, stockage et ré-électrification
- 🔗 Les applications autour de l'hydrogène (mobilité et autres)
- 🔗 La chaîne de valeur et briques technologiques



Electrolyseur 30 Nm3/h



Arrière: purification d'eau et
compartiment process
(pompes + refroidissement
gaz)
Refroidissement process
extérieur

← Purification hydrogène

Armoire électrique +
automatisation PLC

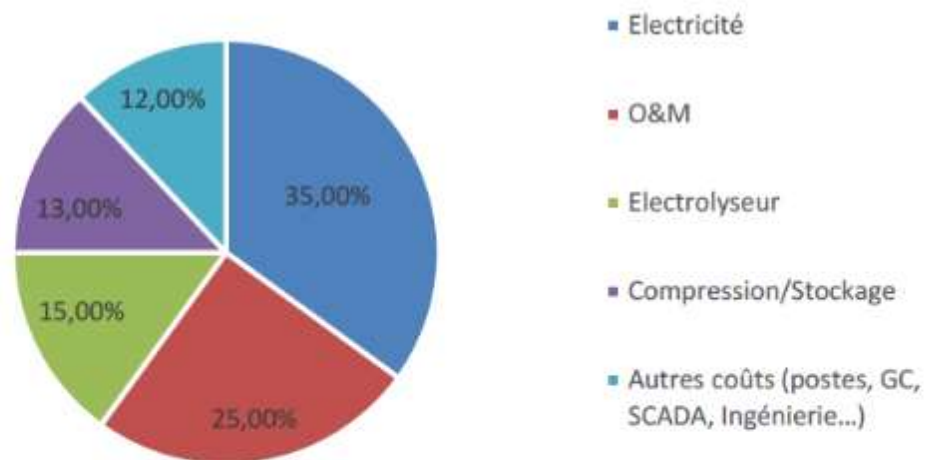
Alimentation électrique
2 Redresseurs 100 kW
400 V AC → 300A, 350 V DC

Compartiment production
- stack d'électrolyse
- réservoir séparateur
- Panneau traitement gaz

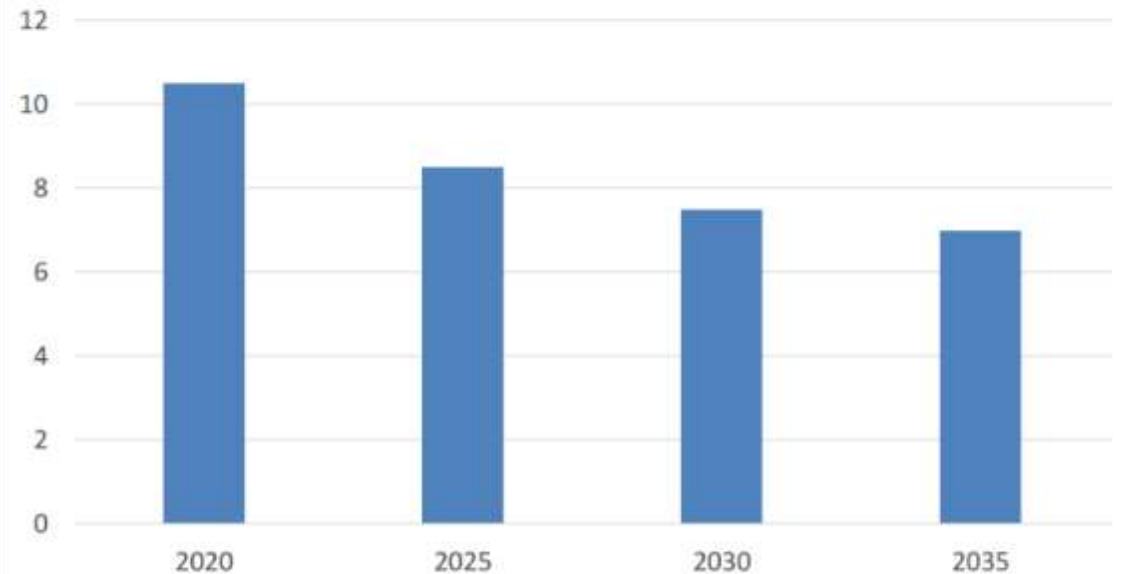
Coût de l'hydrogène à la pompe

- Aujourd'hui, l'électricité représente 30 à 40% du prix de l'hydrogène électrolytique
- Les CAPEX, en les amortissant sur 20 ans, représentent 40% de ce prix

Répartition 2020 des coûts fixes et variables dans le prix de l'hydrogène à la pompe (amortissement sur 20 ans)



Evolution du prix de l'hydrogène (€/kg)



- Plus de 30% de diminution du prix de l'hydrogène électrolytique dans les 15 ans qui viennent
- Soit une diminution O&M et CAPEX de l'ordre de 50% si le prix de l'électricité reste stable.





Système hydrogène pour l'automobile



Toyota Mirai

Une voiture à PAC est une voiture électrique qui utilise l'hydrogène gazeux pour stocker l'électricité.

Avantage principaux par rapport à voiture électrique:
Le temps de recharge (5 min et l'autonomie 600-700 km)

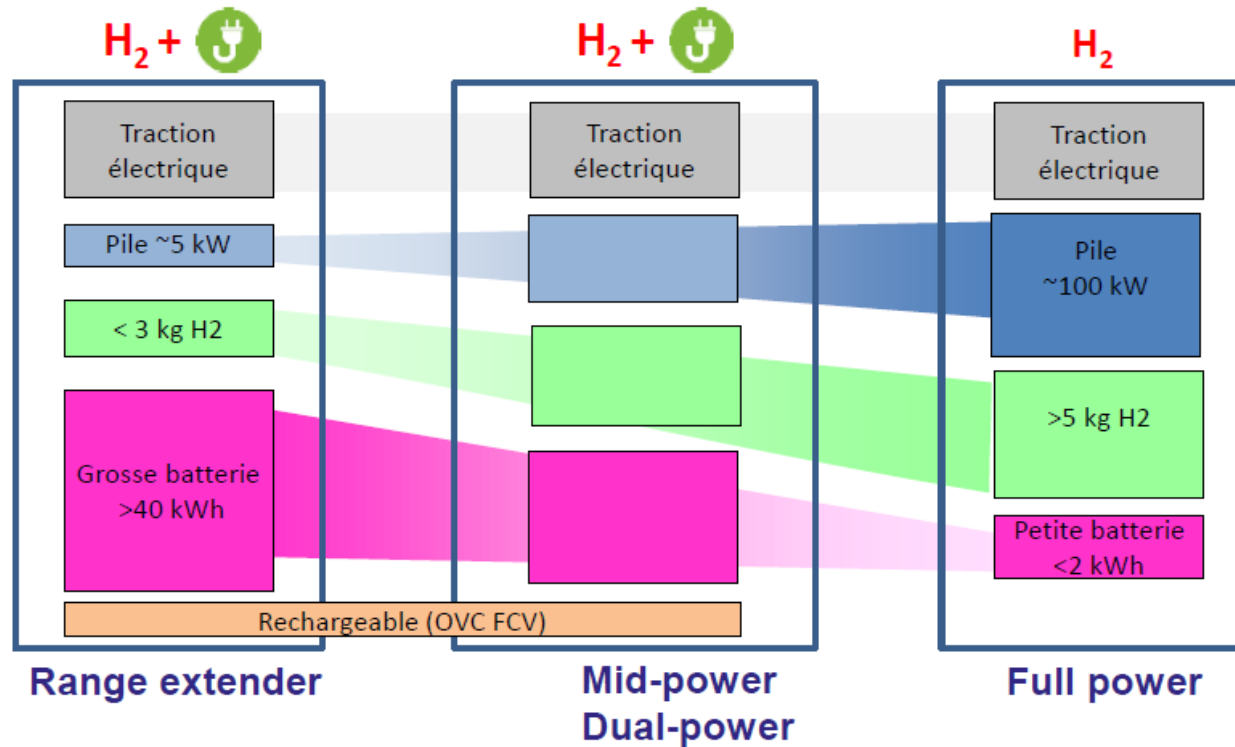
Inconvénients: rendement énergétique (30 % vs 75%)

Prix du voiture à pile à combustible: entre 70 et 80 k€

Les différentes architectures possibles



Autonomie ~200 km → Autonomie ~600 km



Exemples



VP	Energie batterie (kWh)	Puissance pile (kW)	H2 embarqué (kg)	HSS	Ex véhicule
Range extender	50	5	2	1 tank 700 bar	Kangoo Symbio
Mid power	20	40	4	2 tanks 700 bar	GLC
Full power	2	100	6	3 tanks 700 bar	Nexo

VI	Energie batterie (kWh)	Puissance pile (kW)	H2 embarqué (kg)	HSS	Exemples de véhicule
Range Extender	85 - 250	20 - 60	5 - 10	350 bar	Safrabus (Bus) Dongfeng/Refire (VUL) Fed Ex Workhouse (VUL) Minibus e.Go
Mid to full power	85 - 320	100 - 240	20 - 100	7 - 10 réservoirs 350 bar ou 750 bar	Solaris Urbino 12 (Bus) Evobus Citaro FC (Bus) Toyota Sora (Bus) Nikola Tre (Camion)

Propriété PF.

Différentes architectures: exemple

Architecture Full hydrogène : la Toyota Mirai



La batterie, de petite taille (1.8 kWh) sert à la récupération d'énergie au freinage et au démarrage de la pile à combustible (puissance 114 kW). elle est rechargé lors de l'utilisation comme sur un véhicule thermique. Le stockage est de 5 kilos d'hydrogène pour une autonomie de 550 km.

Prolongateur d'autonomie : Kangoo H2 Symbio

Intérieur d'un Kangoo Hydrogène



Il s'agit d'un kangoo électrique auquel on a rajouté un module hydrogène (pile+accessoire+réservoir) pour augmenter son autonomie. La batterie, de 33 kWh assure une autonomie de 230 km. La pile à combustible de 5 kW associée à un réservoir de 1.8 kg permet d'ajouter 140 km, portant l'autonomie à 370 km.

Système hydrogène pour l'automobile: stockage



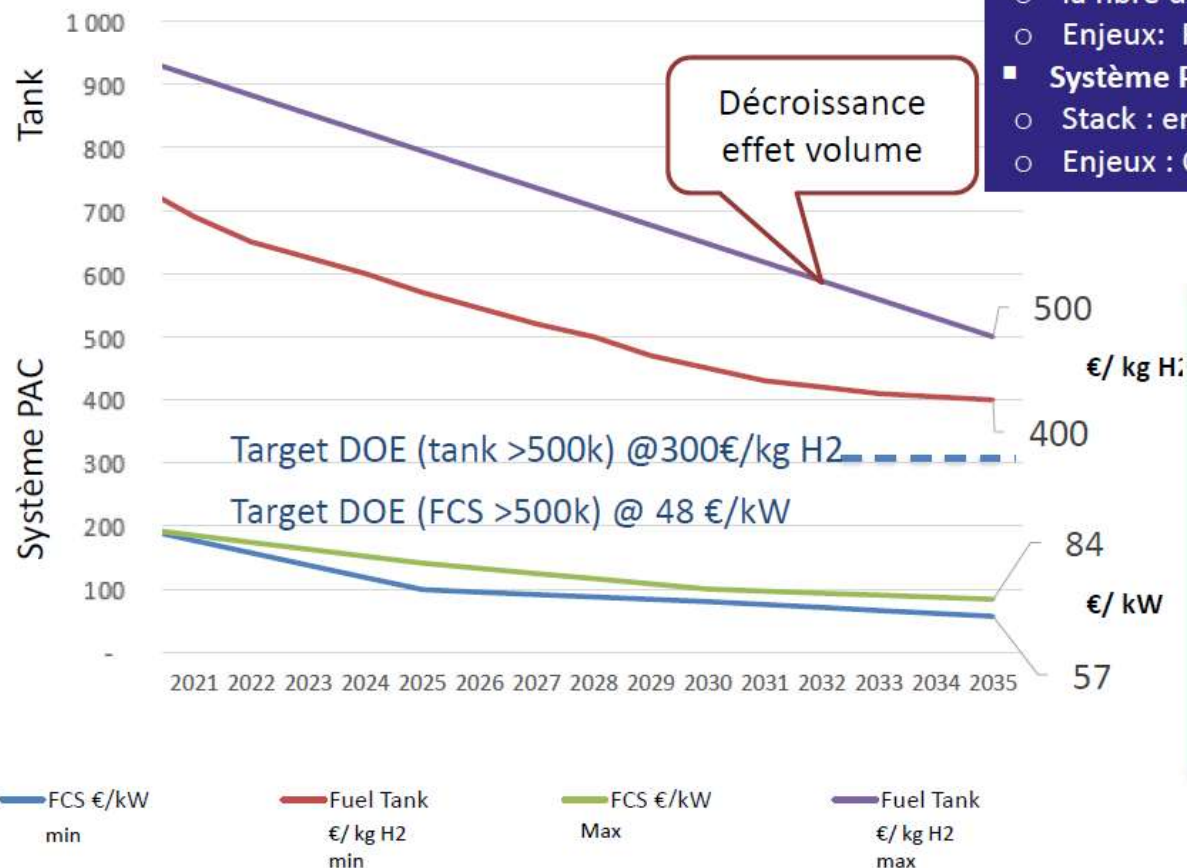
Coût actuel à 700 bar: 700 €/kg (4 à 5 kilo dans une voiture)

Coût du système pile à combustible

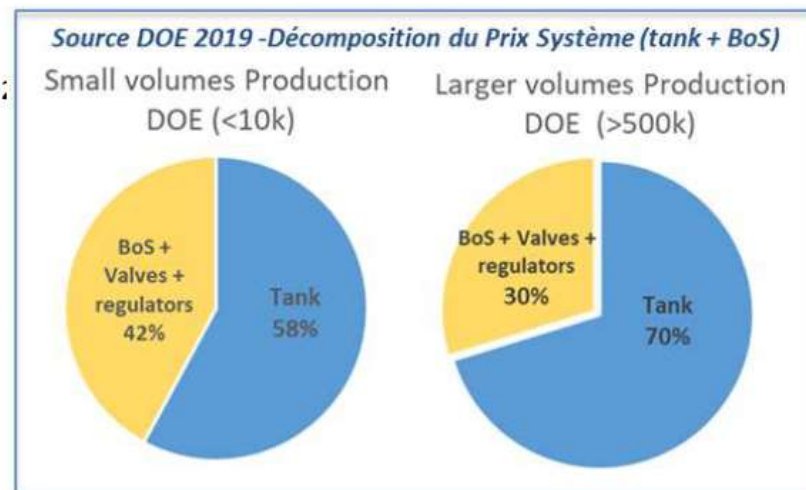


CHALLENGE ÉCONOMIQUE

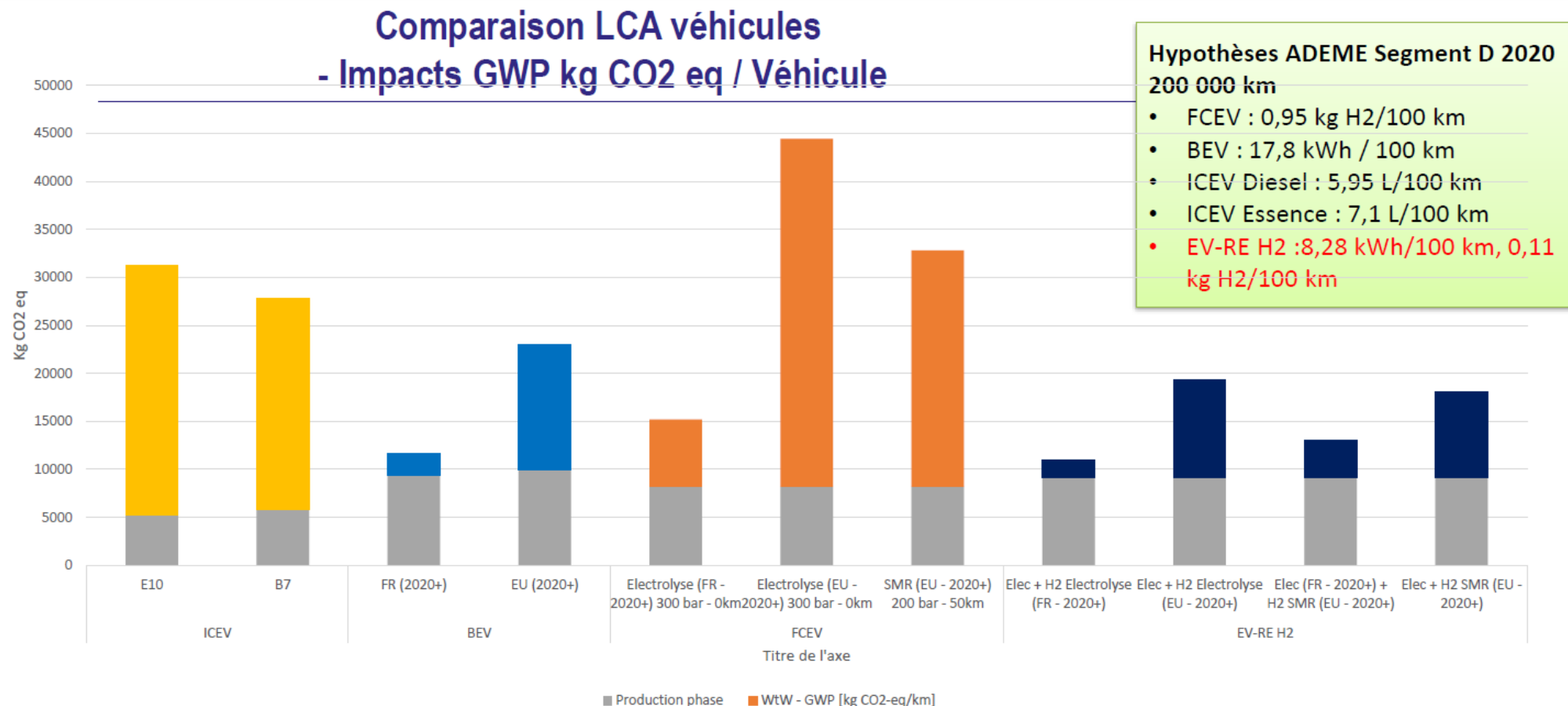
Synthèse interne PFA (utilisée pour les inputs WAPO/BIPE)



- Effet volume important
- Système Réservoir (tank + BoS)
 - la fibre de carbone représente > 50% du prix système (>500k)
 - Enjeux: Prix et quantité de fibre de carbone
- Système Pile à Combustible
 - Stack : enjeux Platine, process
 - Enjeux : Compresseur, DCDC



Impact carbone des véhicules hydrogène



Résultats LCA similaires aux résultats WtW :

- Fuel cell full power : très en retrait par rapport au BEV sur périmètres Fr/Eu et sur techno SMR (x1,5) et Electrolyse (Eu x2)
- Fuel cell REX : proche du BEV
- Avantage France via mix électrique décarboné et au niveau européen via intégration d'énergies renouvelables



Challenges technique d'après la PFA

Challenges techniques sur les composants et process de fabrication d'un système pile à combustible hydrogène.



	Maturité	Intégration	Coût	Verrous
Stack				
Assemblage membrane electrode				Coût, Humidification intégrée, Catalyseur ⁵ , température de fonctionnement
Plaque bipolaire				
Intégration des cellules – Stackage		↗		Capacitaire industriel, Robotisation du Process
Humidification externe				
Durabilité		n.a.		>7000h pour applications automobiles
Système pile à combustible				
Compresseur	↘	↘	↘	Compromis coût / perfo / encombrement
Tuyauterie hydrogène				
Recirculation hydrogène				Pompe, éjecteur, injecteur
Gestion thermique (échangeur / ventilateur)				Dimensionnement et intégration critiques sur « full power »
Pompes				
Filtration d'air				Capacité d'absorption vs pics de pollutions + fréquents
Contrôle / commande				
Capteurs	↗	↗	↗	
DCDC				

Challenges technique d'après la PFA

Challenges techniques sur les composants et process de fabrication d'un système pile à combustible hydrogène.

	Maturité	Intégration	Coût	Verrous
 Maitrise				
 Progrès nécessaires				
 Points durs				
Système de stockage de l'hydrogène				
Réservoir	↗		→	Coût, process, masse, facteur de forme
Tête de bouteille	↗	↗	→	Coût, Compacité, Intégration de fonctions
Ligne de remplissage – Safety	↗	↗	→	Disponibilité raccord 700 bars
Adaptation du système				
Intégration géométrique du système	↗	↗	↗	
Gestion thermique	↗	↗	↗	

↗ → ↘ = évolution par rapport à 2017

Les développements futurs de la technologie devront en priorité porter sur :

- Une forte réduction des coûts (concerne l'ensemble des briques technologiques, en particulier : AME⁶, réservoir, compresseur, DCDC, management thermique)
- L'intégration du système pile à combustible et du réservoir dans les véhicules, sans concession sur la sécurité, l'habitabilité
- La gestion thermique, en particulier pour les architectures « full power », sans concession sur la durabilité du système, l'aérodynamisme ou l'attractivité du style extérieur (un axe d'amélioration étant l'augmentation de la température de fonctionnement)
- L'amélioration du rendement et de la durabilité des systèmes

Référentiel des compétences-métiers

17 métiers déjà identifiés « en tension »



Points de vigilance :

- Plus de la moitié de ces métiers font appel à des **compétences en génie électrique et en QSE**
- Des compétences déjà très demandées par d'autres filières
- Les filières industrielles souffrent d'un manque d'attractivité



Merci de votre attention

