



**AFHY PAC**

---

Association française  
pour l'hydrogène et  
les piles à combustible

**L'hydrogène vecteur de la transition énergétique**

**Mythe ou réalité ?**

**Où en est-on réellement ?**

**Pascal MAUBERGER**

**CREM Martigny 25 Juin 2015**

# L'ÉTAT DES LIEUX

## Une métamorphose nécessaire du marché de l'énergie

Population en forte croissance

- 8,4 Md en 2030 vs 6,9 Md en 2010(\*)

Augmentation de la consommation d'énergie

- Nécessaire pour maintenir un même niveau de confort

Changement climatique

- Hausse des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- Hausse des températures

Nécessité de réduire les émissions de  $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$

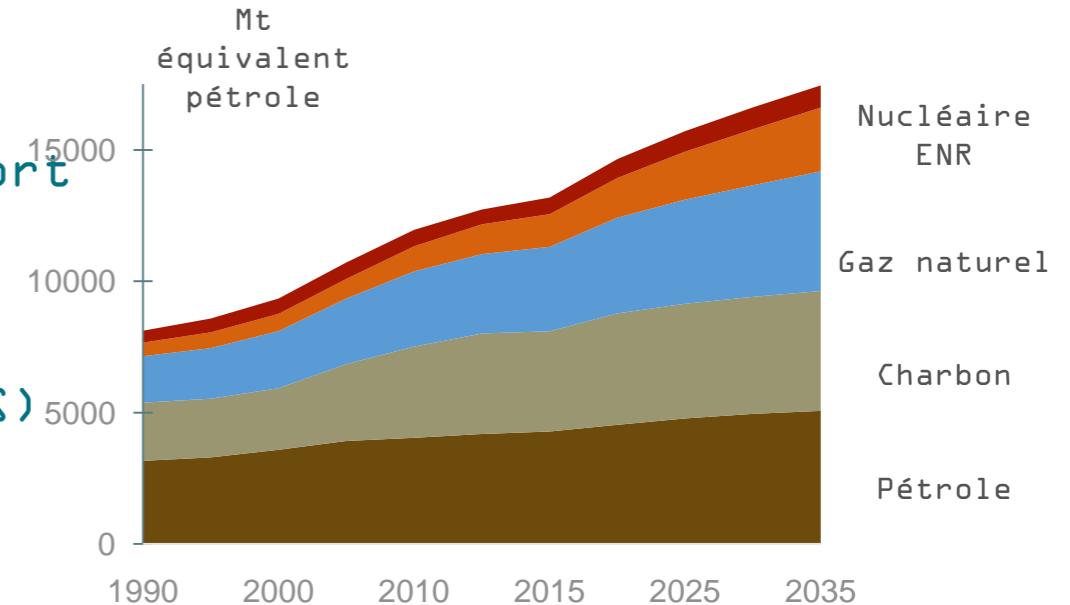
- Réduction des émissions de GES des industries polluantes ▶ On-Site industriel

- Réduction des émissions de GES du transport routier ▶ Mobilité hydrogène

- Augmentation du recours aux ENR ▶ Hydrogène énergie - Power-to-Gas

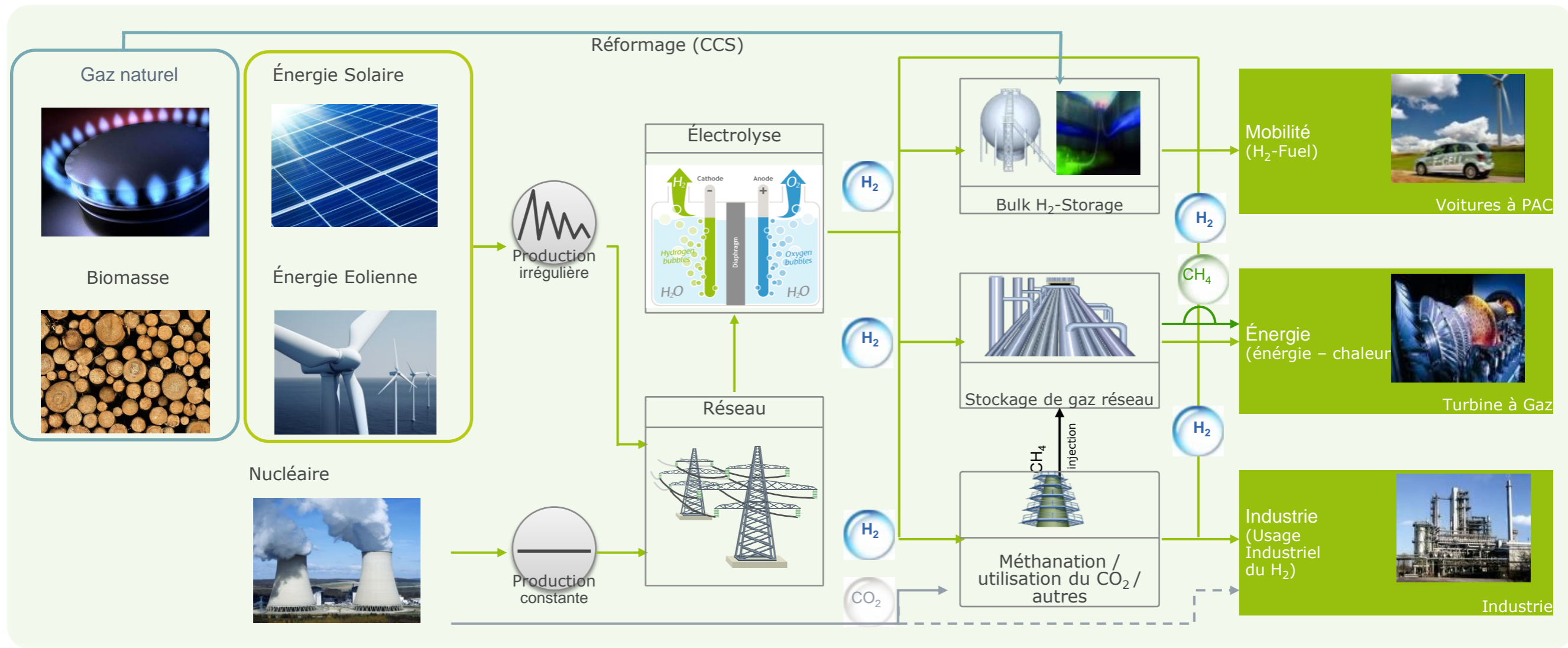
### ➡ Consommation mondiale d'énergie

(BP Outlook 2035, février 2015)



(\*) Source : ONU, World population prospect (the 2012 revision)

# UN CHANGEMENT DE PARADIGME DANS LE MODÈLE ÉNERGÉTIQUE



# L'HYDROGÈNE : ESSENTIEL AUJOURD'HUI INDISPENSABLE DEMAIN



Utilisé massivement comme matière 1<sup>ère</sup> pour l'industrie

- > Produit / transporté / utilisé depuis plus d'un siècle
- > 60 M tonnes par an, soit  $\approx 29$  Md€\*



Une ressource illimitée : l'élément le plus abondant sur terre

- > Dans les hydrocarbures, notamment dans le méthane ( $\text{CH}_4$ ) :  
95 % de la production
- > Et surtout dans l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ )



Une forte capacité énergétique

- > Utilisé comme combustible pour les moteurs spatiaux
- >  $1\text{kg H}_2 = 33,3\text{ kWh}$  (3 fois plus que les combustibles conventionnels)
- >  $1\text{kg H}_2 = 100\text{ km}$  de conduite automobile



Une production traditionnelle très polluante  
Un gaz extrêmement léger particulièrement difficile à stocker





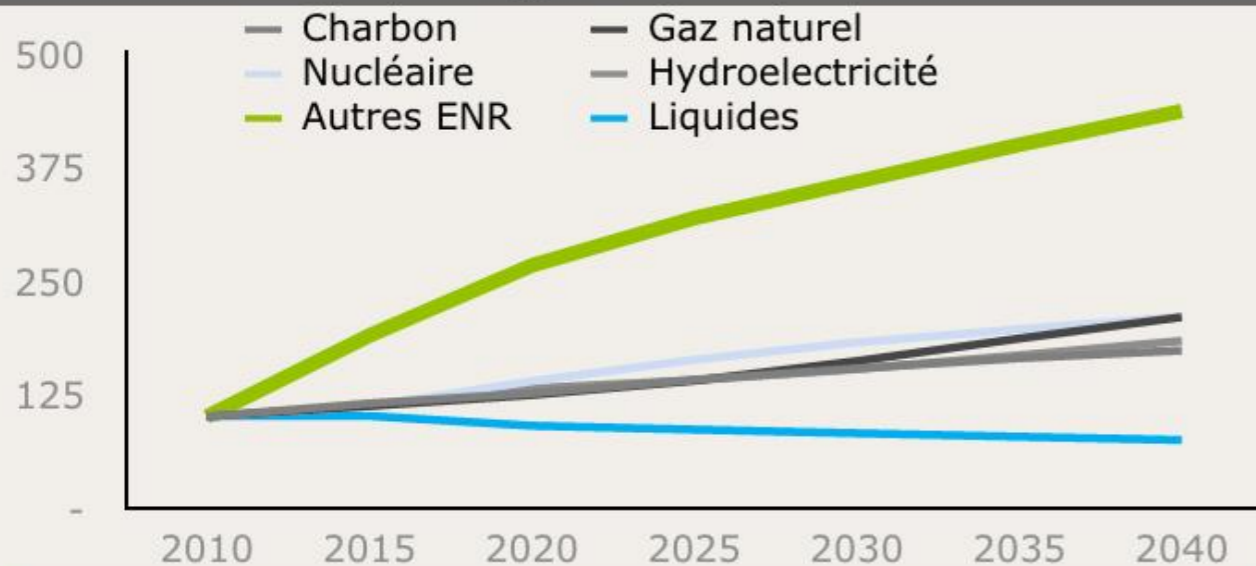
Association française  
pour l'hydrogène et  
les piles à combustible

# L'HYDROGENE VECTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

# VALORISER LES ÉNERGIES RENOUVELABLES EXCÉDENTAIRES

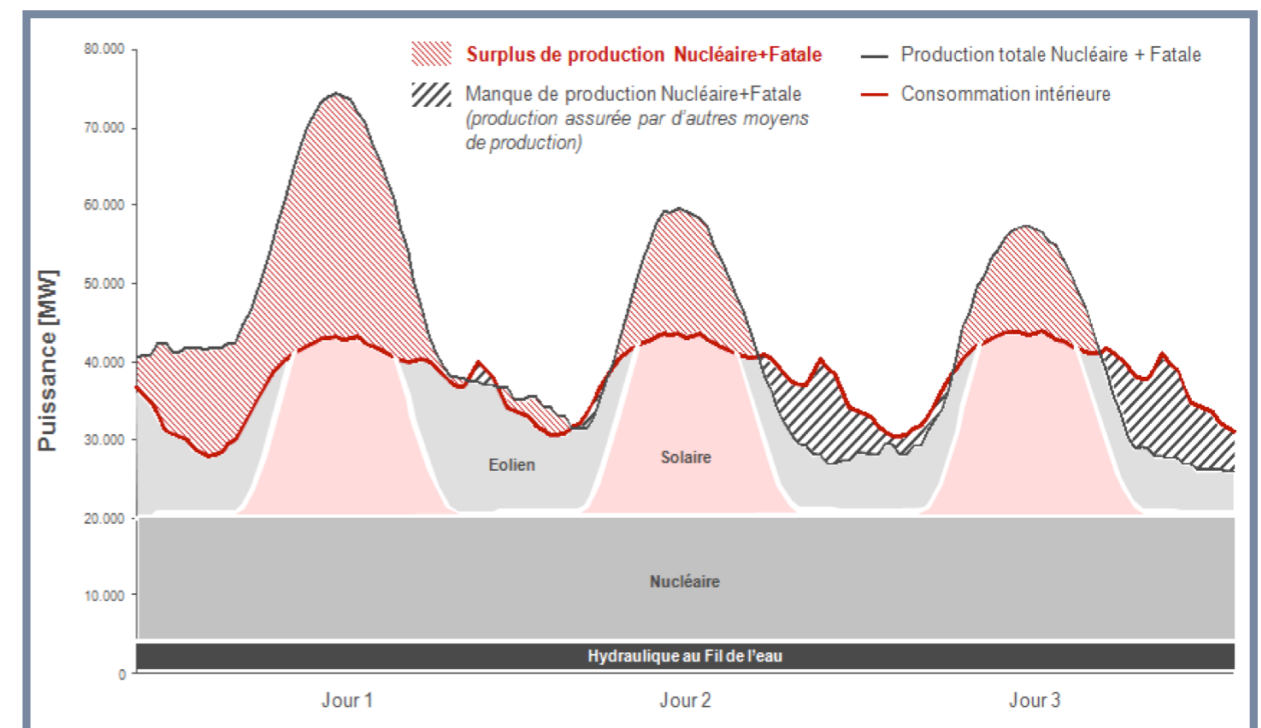
## Croissance de la production électrique mondiale

Source : U.S. Energy Information Administration 2013



Limites des technologies actuelles

- > Production irrégulière
- > Saturation des réseaux
- > Non prédictibles



### The Economist

## How to lose half a trillion euros

Europe's electricity providers face an existential threat

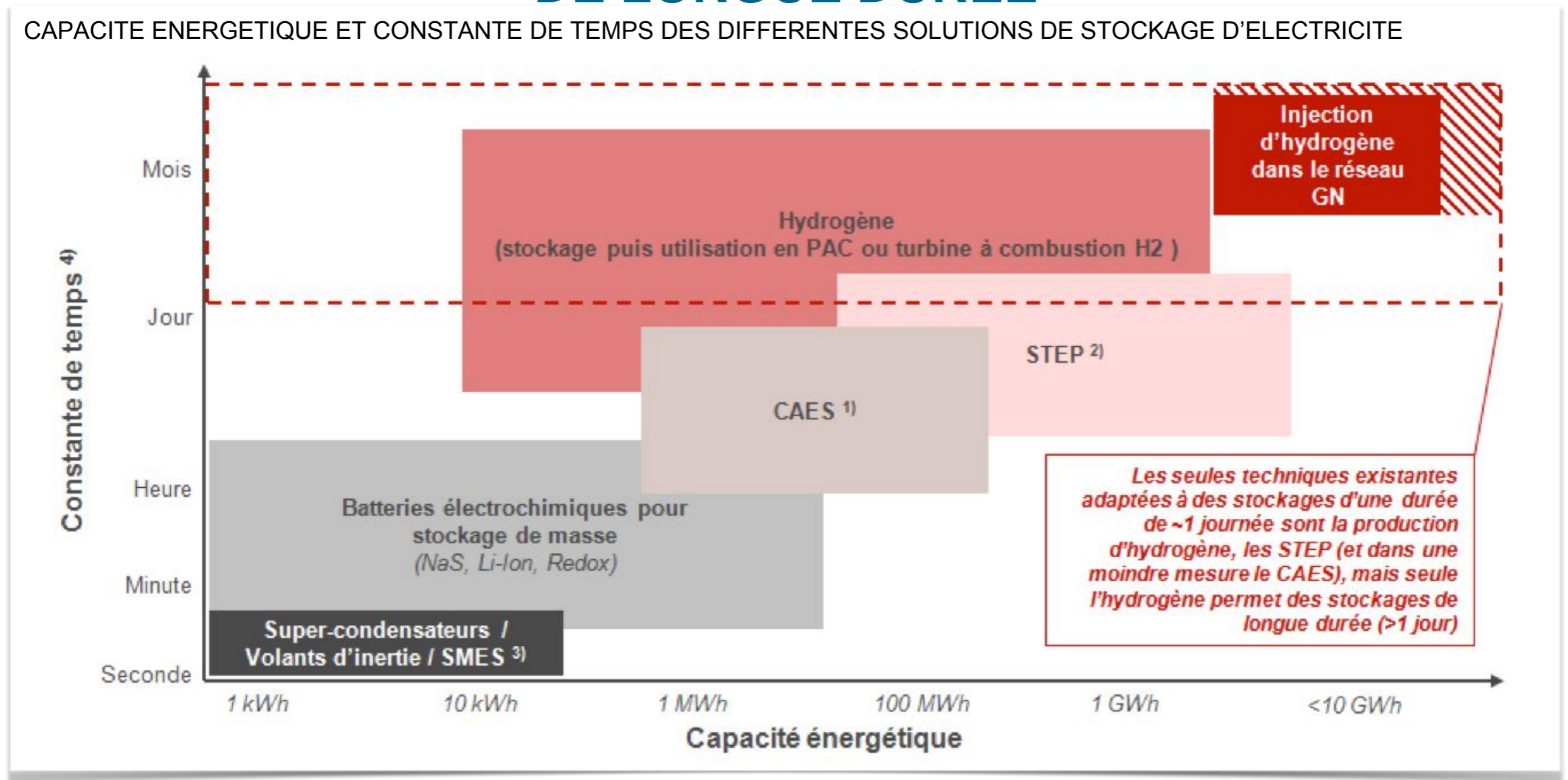
Oct 12th 2013 | From the print edition

ON JUNE 16th something very peculiar happened in Germany's electricity market. The wholesale price of electricity fell to minus €100 per megawatt hour (MWh). That is, generating companies were having to pay the managers of the grid to take their electricity. It was a bright, breezy Sunday. Demand was low. Between 2pm and 3pm, solar and wind generators produced 28.9 gigawatts (GW) of power, more than half the total. The grid at that time could not cope with more than 45GW without becoming unstable. At the peak, total generation was over 51GW; so prices went negative to encourage cutbacks and protect the grid from overloading.

La progression des ENR dans le mix énergétique nécessite de valoriser ces surplus et dépend donc du lissage et du stockage de la production

# L'HYDROGÈNE EST AUJOURD'HUI LA TECHNOLOGIE LA PLUS ADAPTÉE POUR LE STOCKAGE MASSIF DE LONGUE DURÉE

CAPACITE ENERGETIQUE ET CONSTANCE DE TEMPS DES DIFFERENTES SOLUTIONS DE STOCKAGE D'ELECTRICITE



1) « Compressed Air Energy Storage » : Stockage d'Énergie par Air Comprimé

Station de transfert d'énergie par pompage - De l'eau est pompée dans un réservoir haut, puis turbinée pour régénérer l'électricité, sur le même principe qu'un barrage hydroélectrique

2) « Superconduction magnetic energy storage » = Stockage d'énergie par supraconducteurs - A très basse température, les matériaux supraconducteurs permettent de stocker de l'électricité dans des boucles, le courant pouvant y tourner indéfiniment puisque soumis à aucune perte.

3) La constante de temps d'un stockage est égale au ratio « Capacité énergétique / Puissance maximale » du stockage. Elle caractérise le temps mis par un stockage pour se vider (ou se charger) entièrement lors d'un fonctionnement à puissance maximale. Son unité est une unité de temps (le plus souvent, l'heure)

4) En particulier avec injection réseau

# H<sub>2</sub> POUR L'ÉNERGIE : VALORISER LES SURPLUS D'ÉNERGIE PAR LES RÉSEAUX DE GAZ

**Le Power to Gas permet de valoriser intelligemment les surplus d'énergie électrique**

- > L'énergie stockée n'est pas restreinte au site de production
- > L'interconnexion des deux réseaux d'énergie électrique et gaz accroît la flexibilité
- > L'efficacité globale est accrue
- > Les infrastructures existantes peuvent accueillir jusqu'à 6% de H<sub>2</sub> dans le réseau CH<sub>4</sub>  
= **un potentiel d'environ 200 milliards m<sup>3</sup> /an\***  
(environ 600 TWh)

\* Consommation mondiale 2010 de CH<sub>4</sub> estimée à 3 200 milliards m<sup>3</sup>  
Source : EIA, juillet 2013







Association française  
pour l'hydrogène et  
les piles à combustible

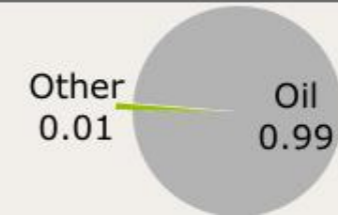
**LA MOBILITÉ DÉCARBONÉE  
CONTRIBUE  
AU DÉVELOPPEMENT DES ENR**

# HYDROGÈNE ET BATTERIES : DES TECHNOLOGIES COMPLÉMENTAIRES POUR UNE ELECTROMOBILITÉ DECARBONÉE



Transport routier européen  $\approx$  17 % des émissions  $\text{CO}_2$

Réduction nécessaire de 95%



Les véhicules hydrogène sont sans carbone et présentent les mêmes avantages que les véhicules traditionnels



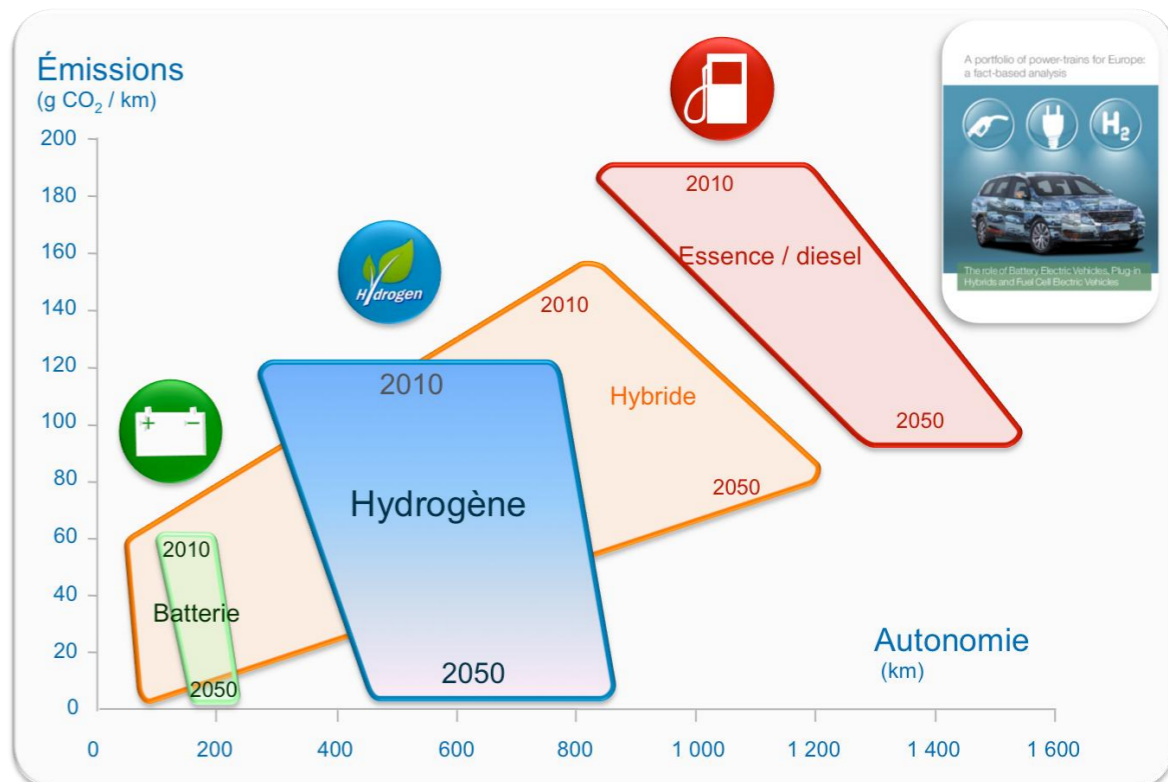
## Batteries

- > 150-250 km
- > Recharge : 2 à 8 heures
- > Véhicules à usage urbains



## Hydrogène

- > 500 km
- > Plein : <50 €, 3 à 5 min.
- > Toutes gammes de véhicules



# LA MOBILITÉ HYDROGÈNE PREND SON ESSOR AU NIVEAU MONDIAL

Les autos FCEV  
sont déjà là...

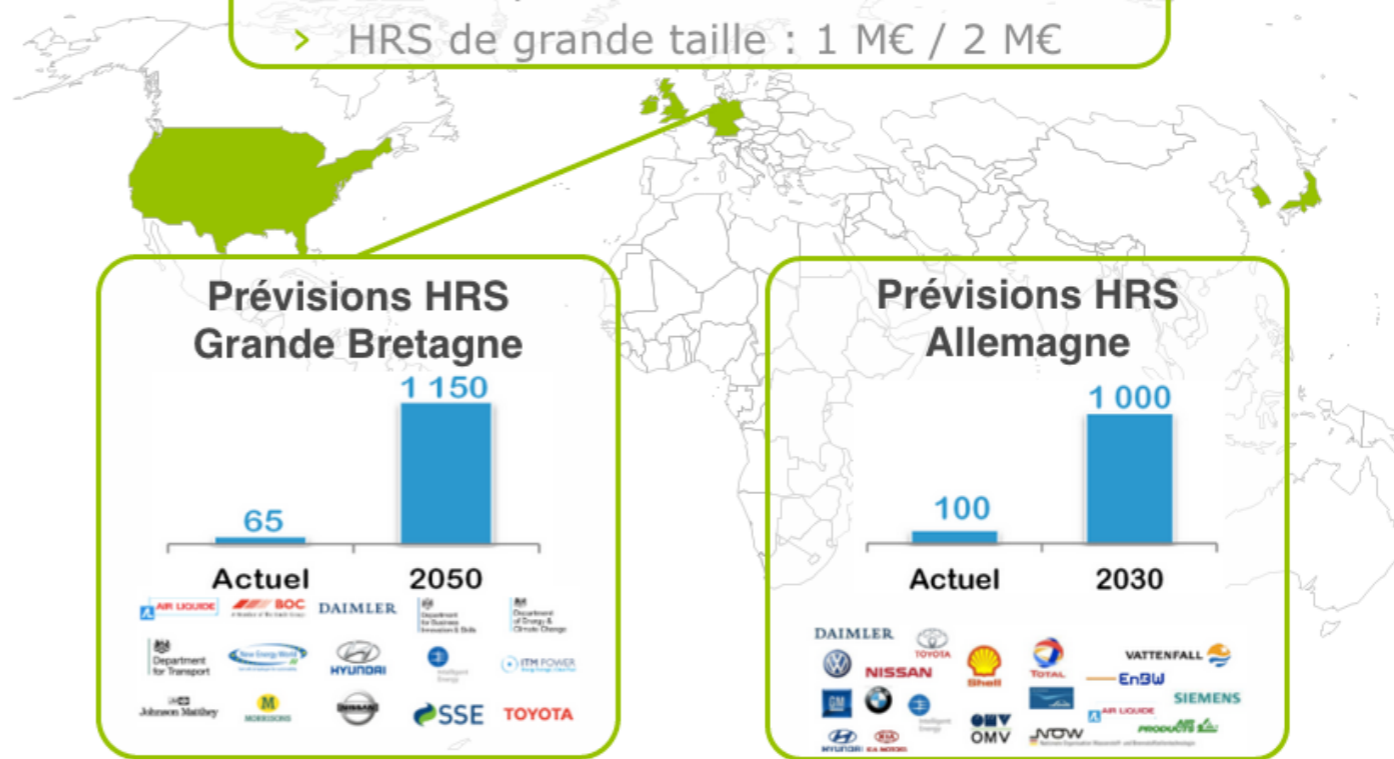


## Réseau HRS mondial

- > 330 \*\* vs. >230 000 stations essence  
(Europe, États-Unis, Japon, Corée du Sud)

## Investissement unitaire HRS

- > HRS de petite taille : 200 K€ / 300 K€
- > HRS de grande taille : 1 M€ / 2 M€



Pionniers : Allemagne, GB, Californie, Japon, Corée du Sud

\* HRS : Hydrogen Refueling Station

\*\* source : H2mobility.org

# LA PLAN FRANÇAIS



- **Plan de Déploiement National**
- ✓ pour le déploiement de l'infrastructure
- **Elaboré par Mobilité Hydrogène France**
- ✓ un consortium puissant et complet
- **Cohérent avec un plan de déploiement européen**
- ✓ TEN-T Corridors/HIT et FCH-JU

Gouvernement	
Entreprises de l'énergie	
Producteurs d'hydrogène et stations	
Véhicules et systèmes pile à combustible	
Electrolyseurs	
Centres de Recherche	
Associations régionales-et-pôles	
Associations européennes et françaises	

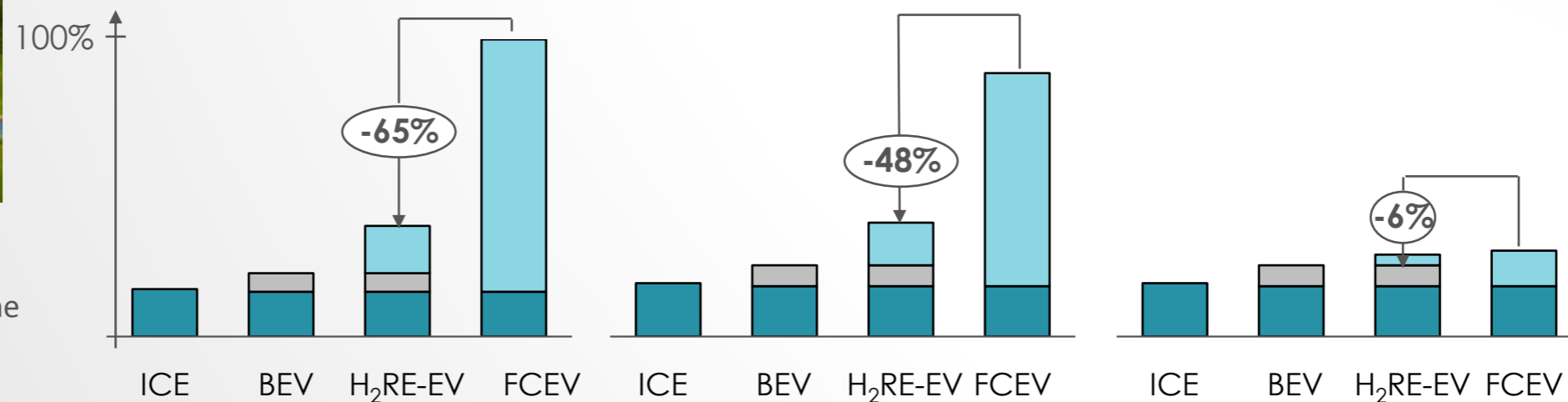
# DÉMARRER AVEC DES PROLONGATEURS D'AUTONOMIE H<sub>2</sub>: DIMINUTION DE 65% SUR LES COÛTS DES VÉHICULES

## Comparaison effectuée sur un utilitaire type Kangoo

100 à 500 unités/an  
(2015-2020)

1000 à 5 000 unités/an  
(2020-2025)

10 000 à 50 000 unités/an  
(2025-2030)



- Surcout de la chaîne de traction hydrogène
- Coût de la batterie (leasing ou achat)
- Coût du châssis

**BEV:** Véhicule Electrique à Batterie, **H<sub>2</sub>RE-EV:** Véhicule Electrique à Range Extended H<sub>2</sub>, **FCEV:** Véhicule à Pile à Hydrogène

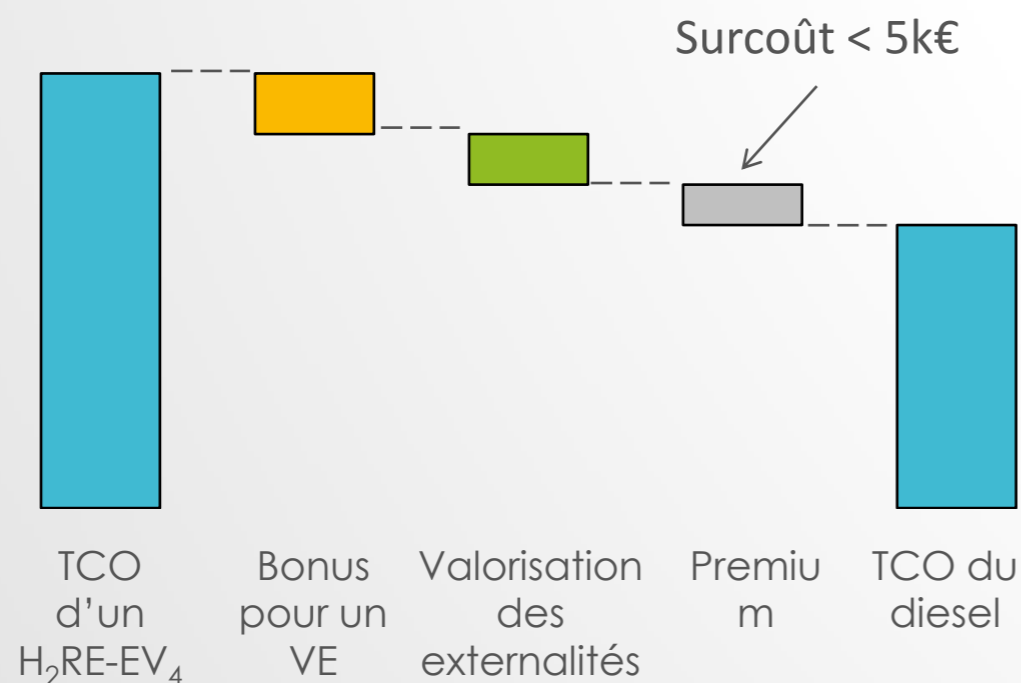
- Les véhicules électriques à Prolongateurs d'Autonomie H<sub>2</sub> sont 65% moins chers que l'équivalent hydrogène à bas volume de production
- A haut volume de production, le surcout d'un véhicule hydrogène se réduit à 6 000€

\* Le système de bonus/malus actuel réduit le surcout des véhicules électriques de 6 300€ par rapport à un diesel. D'ici 2020, les coûts des batteries devraient permettre de se passer de ce bonus.

Source :



# LES VÉHICULES À PROLONGATEUR D'AUTONOMIE H<sub>2</sub> ONT UN TCO<sub>1</sub> TRÈS PROCHE DES VÉHICULES DIESEL : SURCÔUT < 5K€

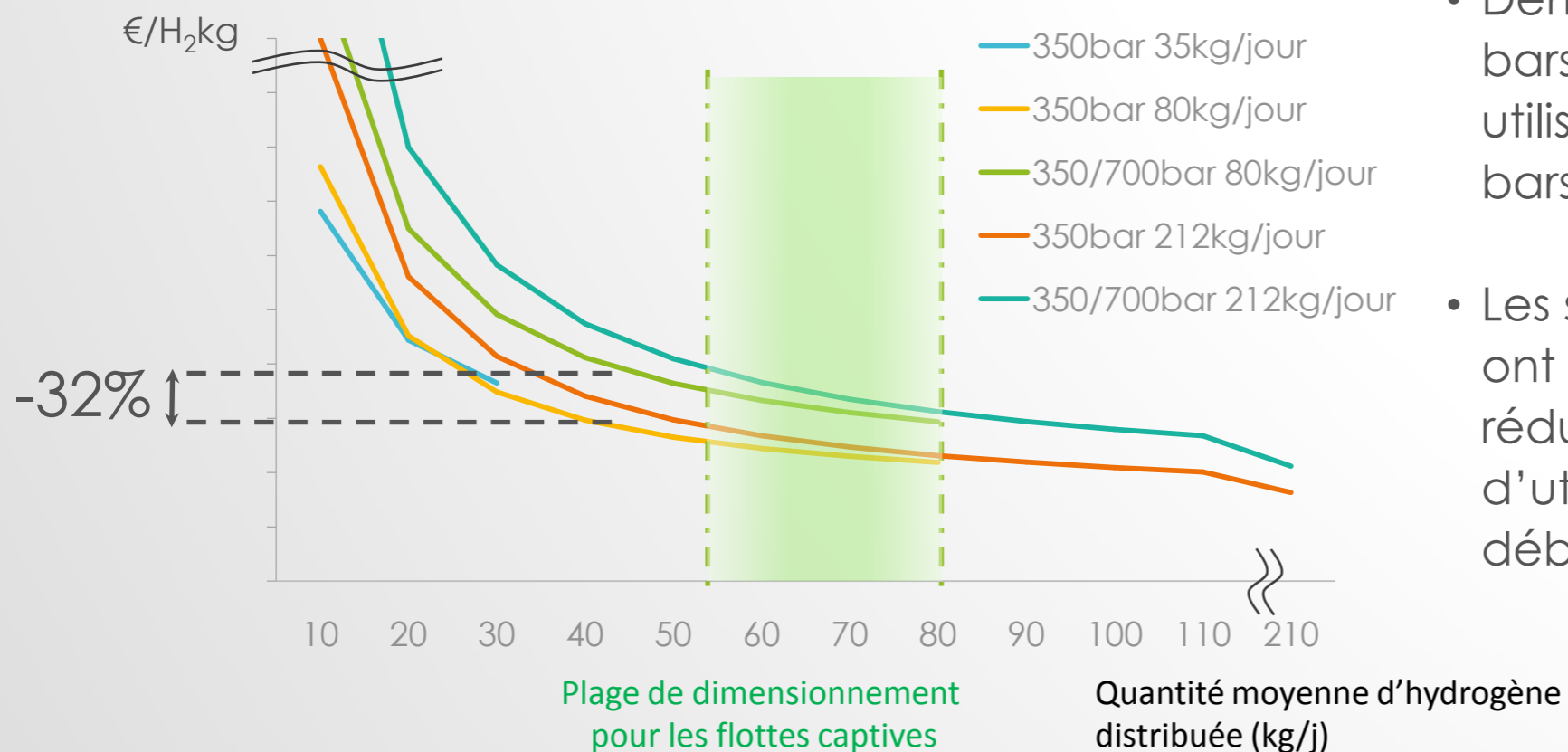


- Des « externalités » significatives identifiées
  - Usage plus important du véhicule donc meilleur amortissement comparé au VE<sub>3</sub>
  - Moins d'accidents comparé au diesel
  - Meilleure disponibilité du véhicule grâce à la recharge rapide en hydrogène
- Améliore l'accessibilité aux centres urbains
  - Demande appuyée de véhicules utilitaires propres
- En prenant en compte du bonus VE de 6 300 €

(1) TCO: Total Cost of Ownership, Coût Total de Possession  
(2) Identifié lors d'une session de travail effectuée avec 10 opérateurs français en fev. 2014  
(3) VE : Véhicule Electrique  
(4) H<sub>2</sub>RE-EV: Véhicule Electrique à Prologateur d'Autonomie H<sub>2</sub>

# DÉMARRER AVEC DES STATIONS H<sub>2</sub> ADAPTÉES PERMET DE RÉDUIRE DE 32% LES COÛTS D'HYDROGÈNE À LA POMPE

## Coût de l'hydrogène à la pompe pour des stations dimensionnées pour les flottes captives



- Démarrer avec des stations à 350 bars réduit les coûts et reste utilisable par des véhicules 700 bars
- Les stations pour flottes captives ont un dimensionnement plus réduit et un meilleur taux d'utilisation de la station dès le début

# L'APPROCHE FLOTTE CAPTIVE : UNE MANIÈRE DE DÉMARRER LE MARCHÉ, AVANT UN DÉPLOIEMENT NATIONAL COMPLET

Déployer les premiers Clusters

Relier les Clusters

Couverture nationale

## Clusters

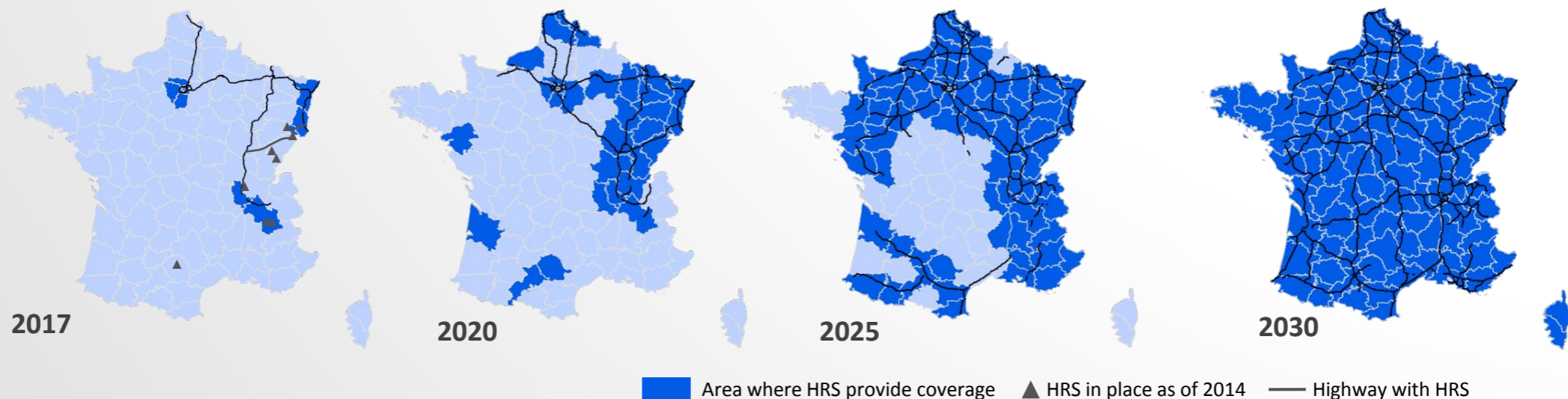
- Des investissements raisonnables
- Des stations H<sub>2</sub> chargées

## Déclencheurs du plan national

Disponibilité réelle des véhicules à des prix de marché  
Une réglementation adaptée  
Un soutien politique clair  
Des intentions marquées des clients

## Déploiement national

- Déploiement d'une infrastructure qui donne une bonne qualité de service aux clients

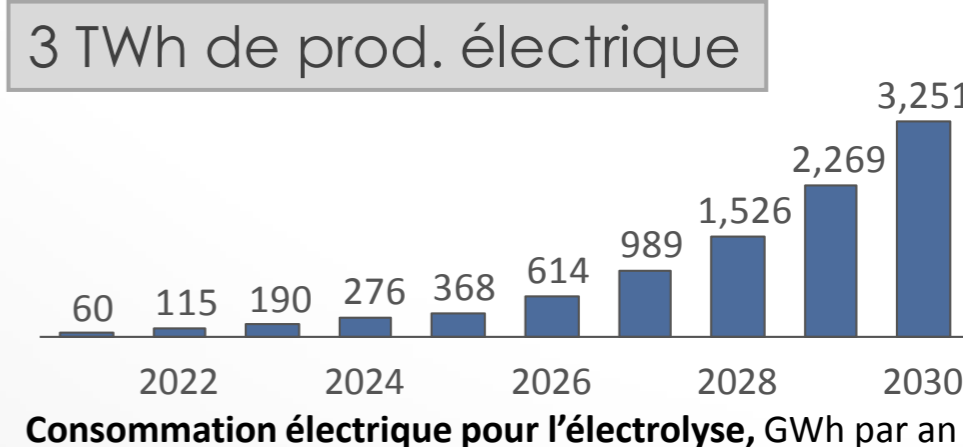
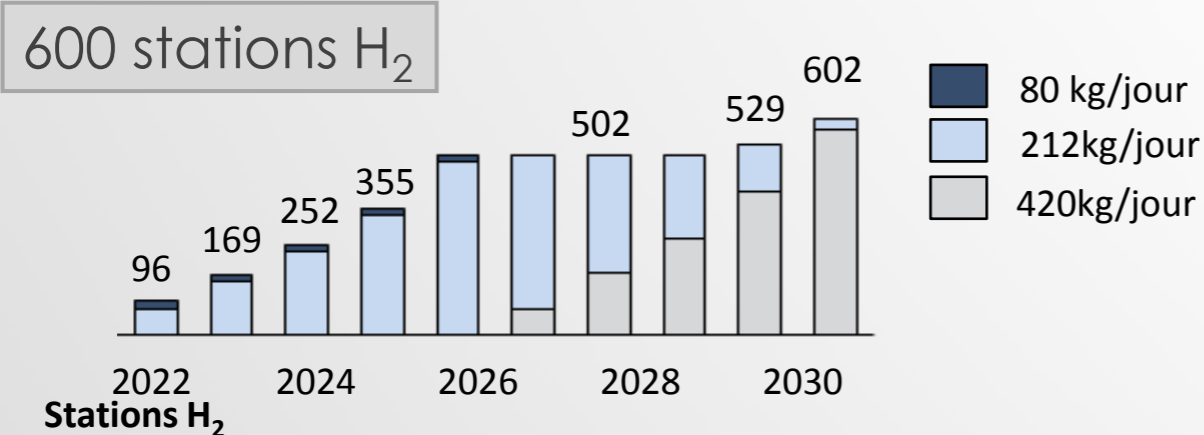
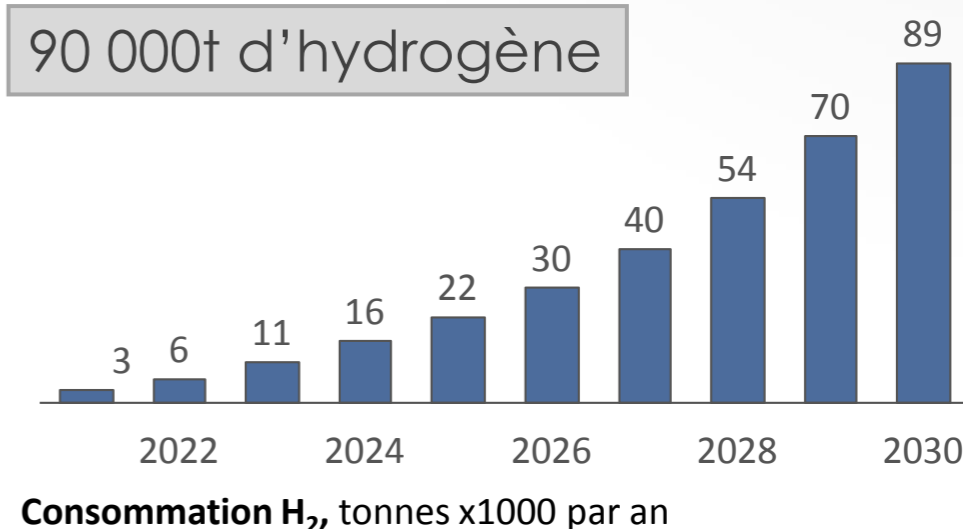
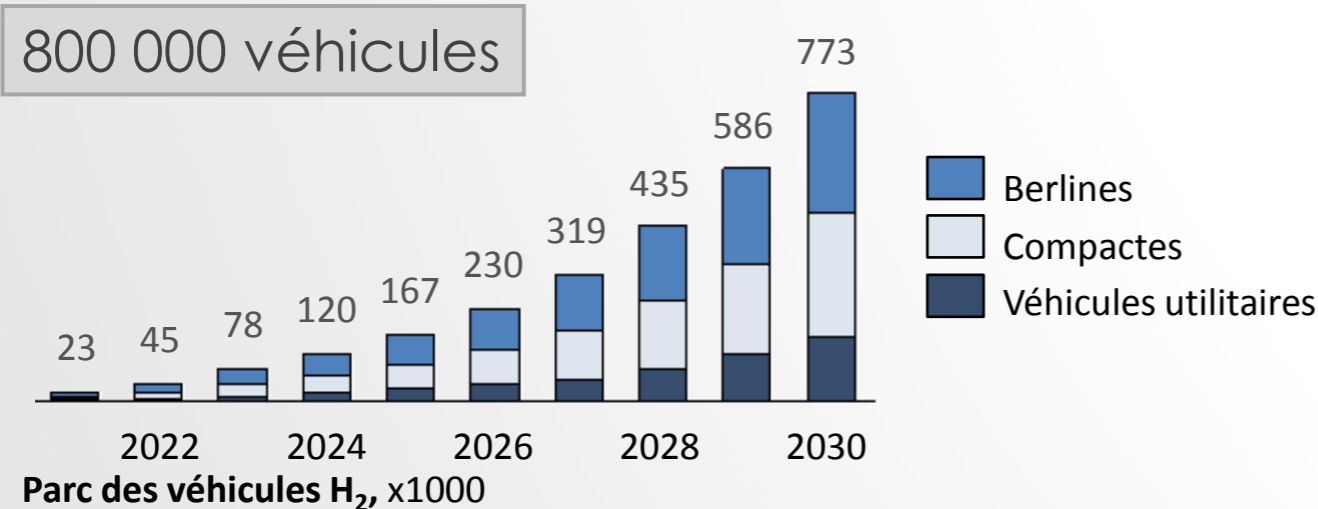


Source :

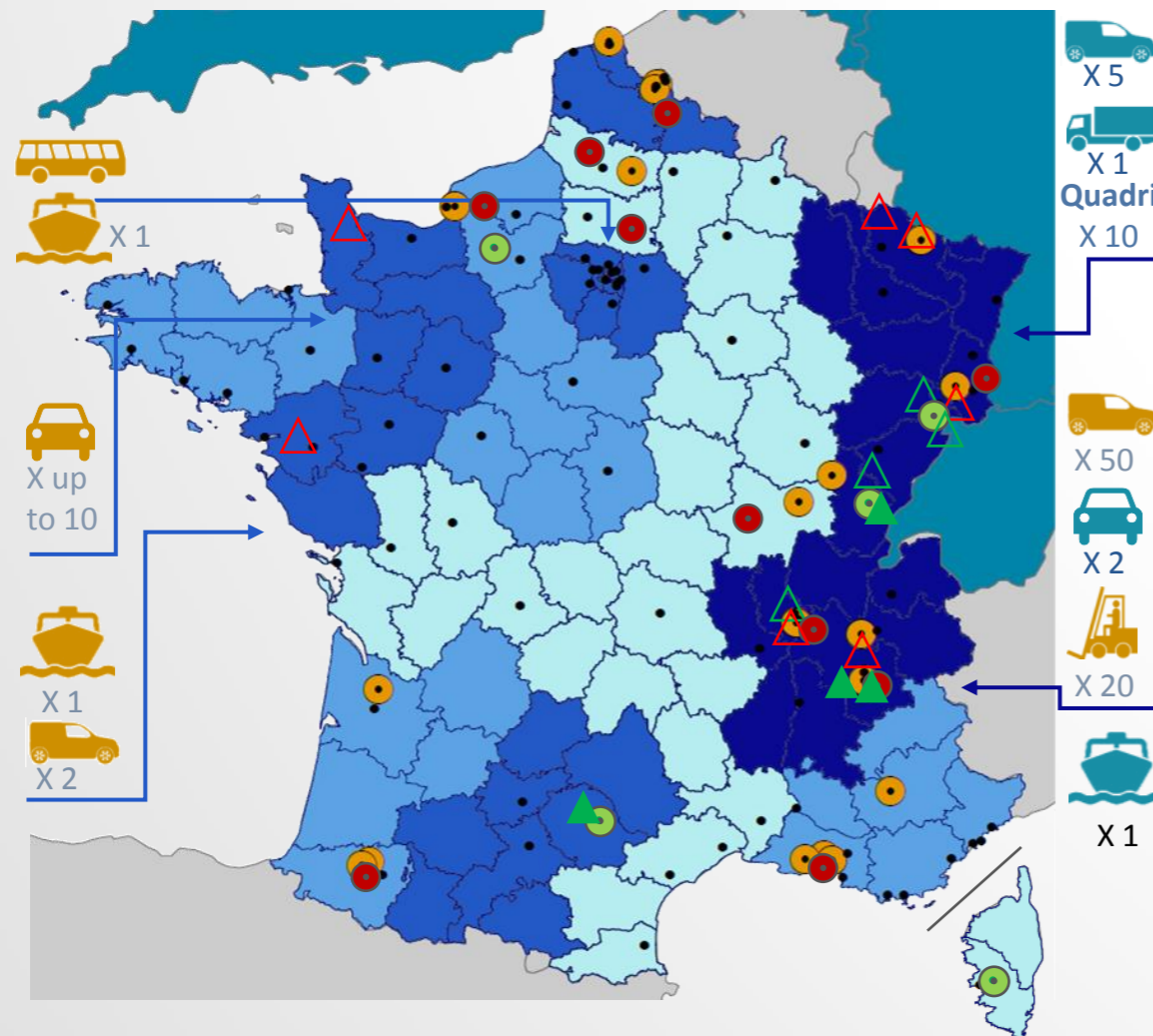




# LE MARCHÉ DES VÉHICULES HYDROGÈNE POURRAIT REPRÉSENTER EN 2030 :



# NOUS POUVONS NOUS APPUYER SUR DES RÉGIONS VOLONTAIRES



## Véhicule Hydrogène

- En usage
- Commandés/planifiés

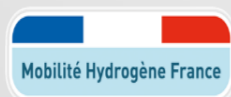
## Stations Hydrogène

- Démon (4)
- Planifié 2014
- Planifié

## Sources d'hydrogène

- Issu de SMR (Steam Methane Reforming)
- Hydrogène Fatal
- H<sub>2</sub> vert: photovoltaïque, éolien, ou biogaz

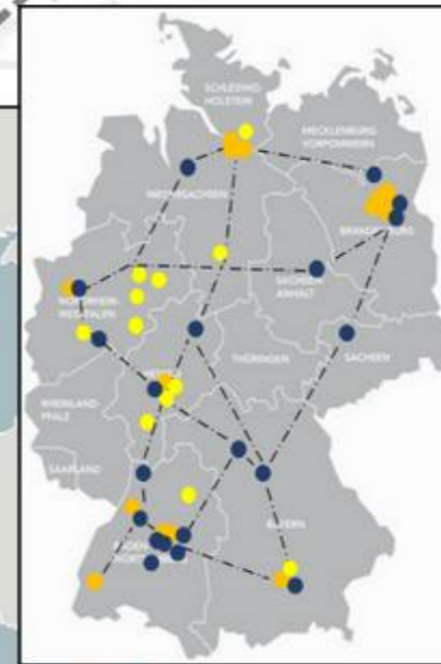
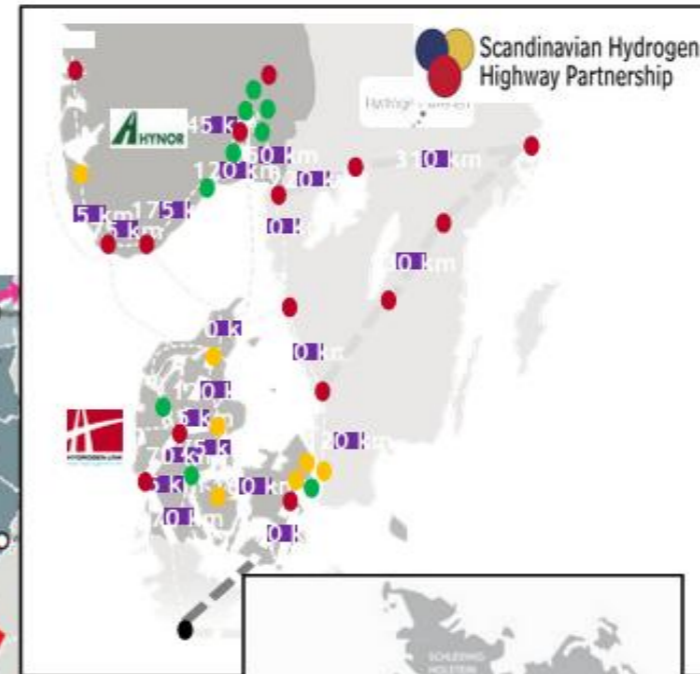
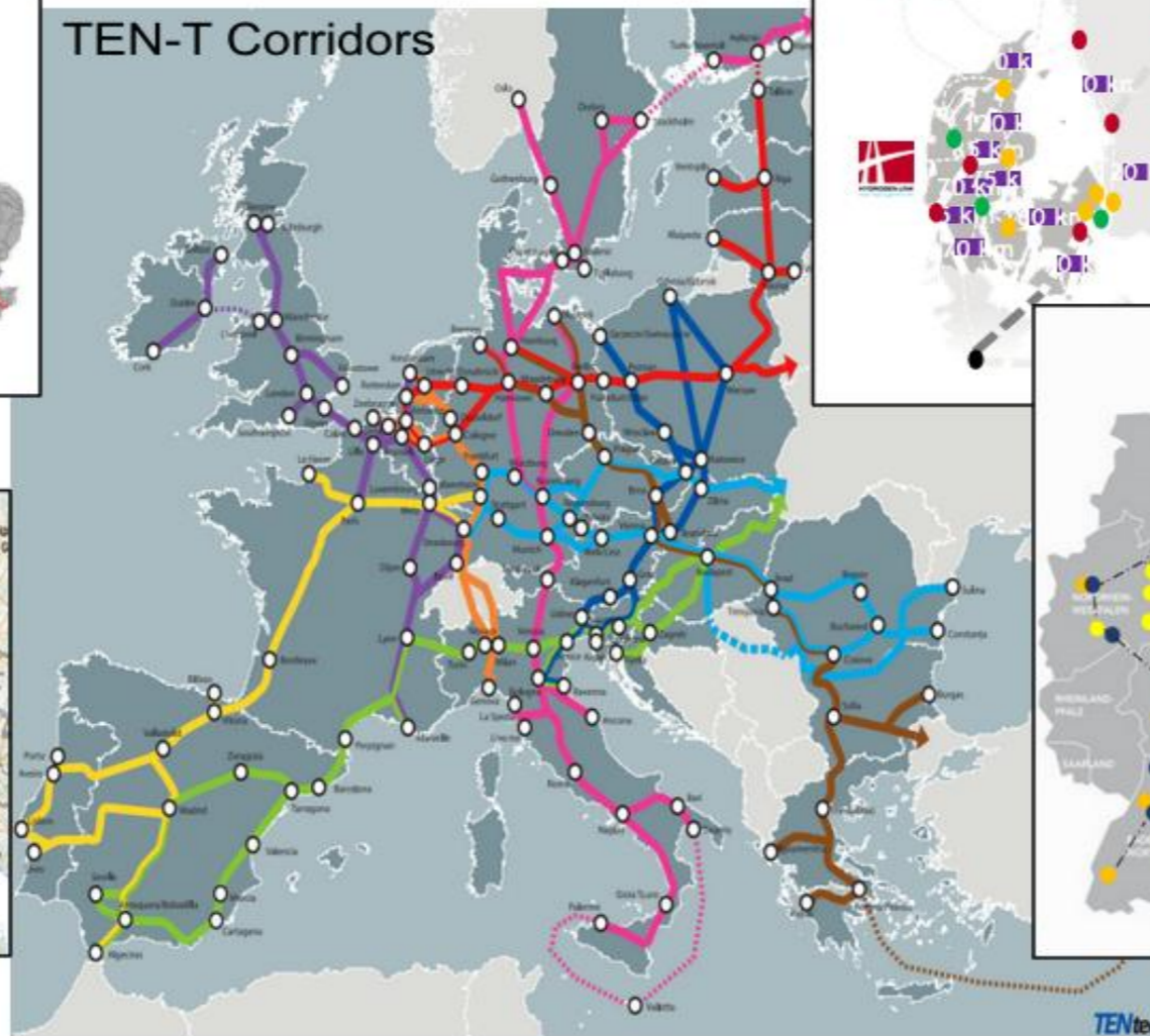
Source :



# EN RASSEMBLANT LES INITIATIVES EXISTANTES, ON AMORCE LE DÉPLOIEMENT D'UN RÉSEAU HYDROGENE EUROPÉEN



TEN-T Corridors



TENtec

# Hydrogen mobility markets



## Germany

Installed: 25  
By 2020: ~400

## UK

Installed: 13  
By 2020: ~65

## France

Installed: 3  
By 2020: ~80

## Denmark

Installed: 3  
By 2020: ?

## Japan

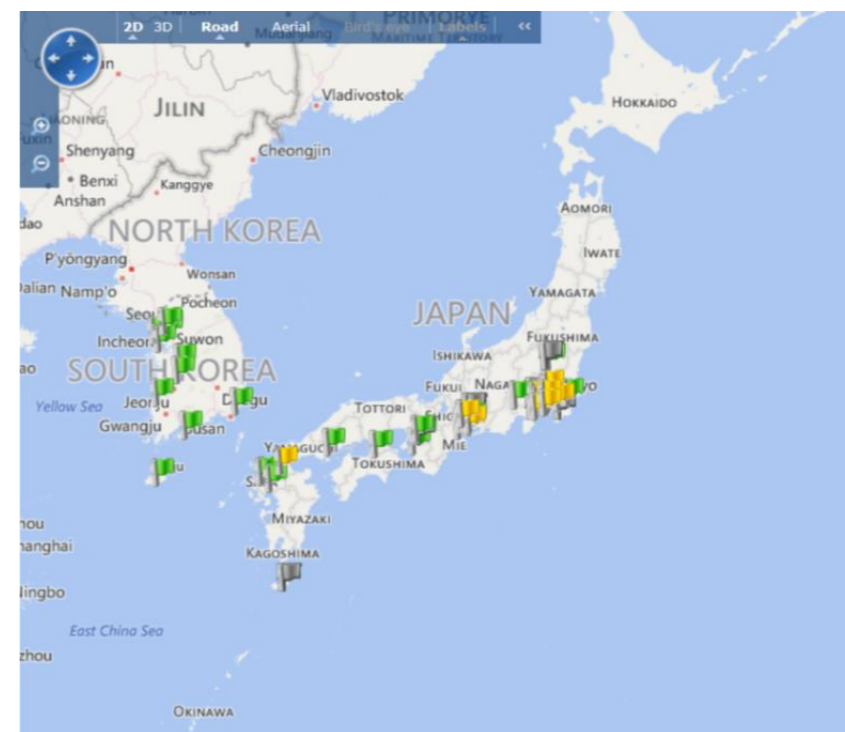
Installed: 21  
By 2020: ~500

## South Korea

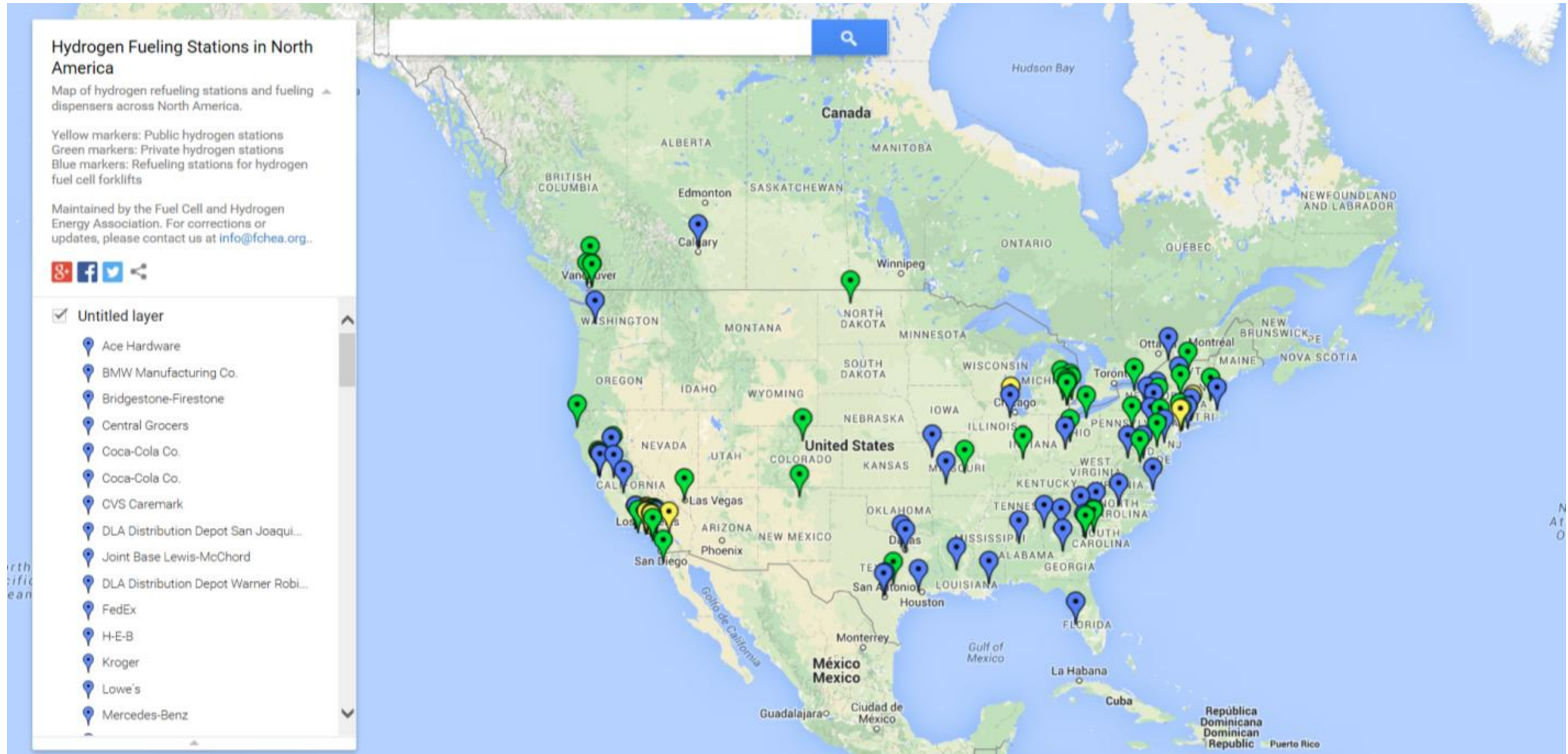
Installed: 8  
By 2020: ?

For more details on Europe go to:  
<http://www.netinform.net/H2/H2Stations/H2Stations.aspx?Continent=EU&StationID=-1>

For more details on Japan go to:  
<http://www.netinform.net/H2/H2Stations/H2Stations.aspx?Continent=AS&StationID=-1>



# REFUELING STATIONS FOR HYDROGEN FUEL CELL FORKLIFTS



For more details (location, owner, number of installed forklifts, FC provider...) go to: [https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=z2V7q1oi2b\\_Q.kHW1nFqIRWIO](https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=z2V7q1oi2b_Q.kHW1nFqIRWIO)



---

Association française  
pour l'hydrogène et  
les piles à combustible

**DES BRIQUES TECHNOLOGIQUES  
MATURES ASSEMBLEES DANS DES  
PROJETS DE DEMONSTRATION**

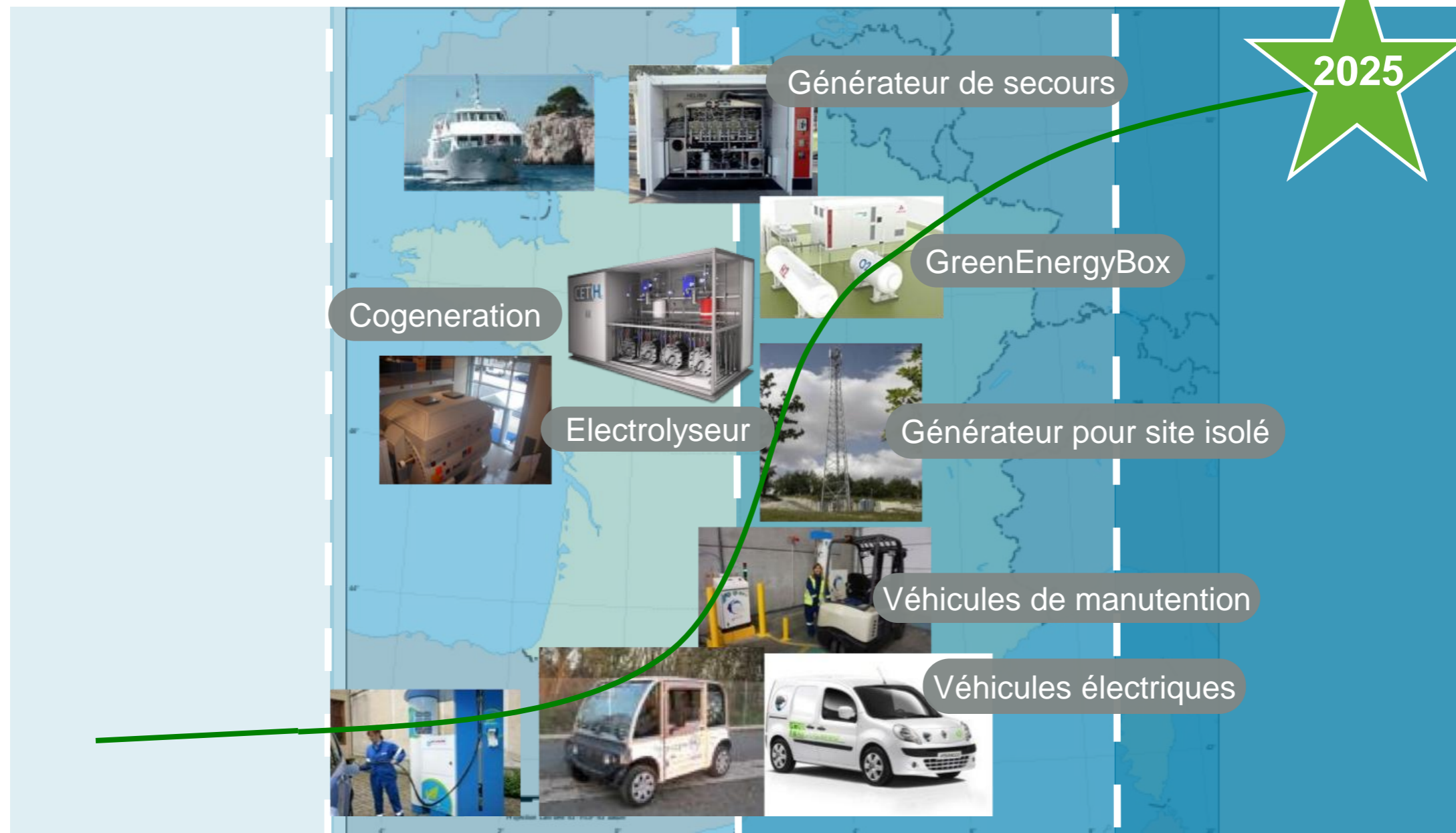
# LA SITUATION EN FRANCE

Recherche

Prototypes

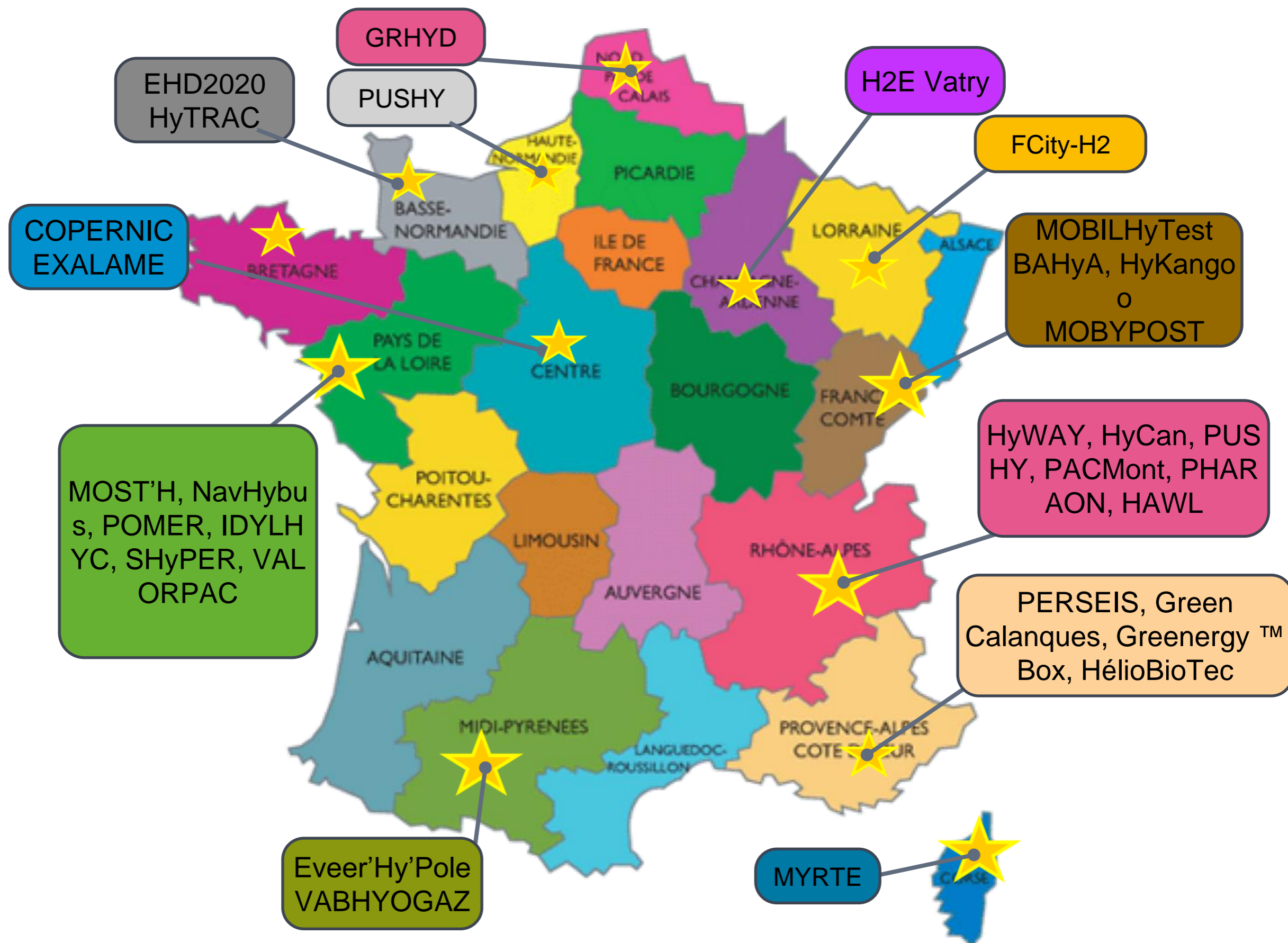
Marchés  
précurseurs

Marchés  
matures



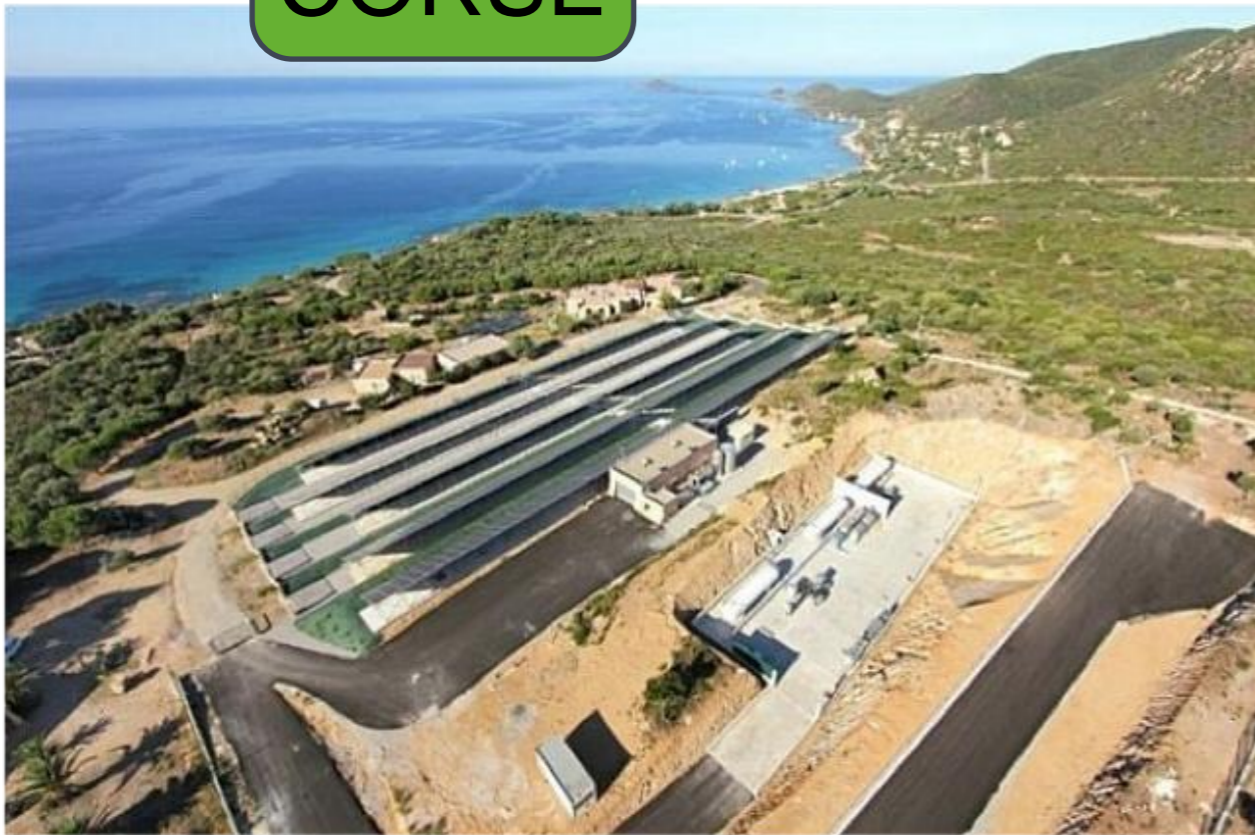


# DES PROJETS ANCRÉS DANS LES TERRITOIRES



# MYRTE

CORSE



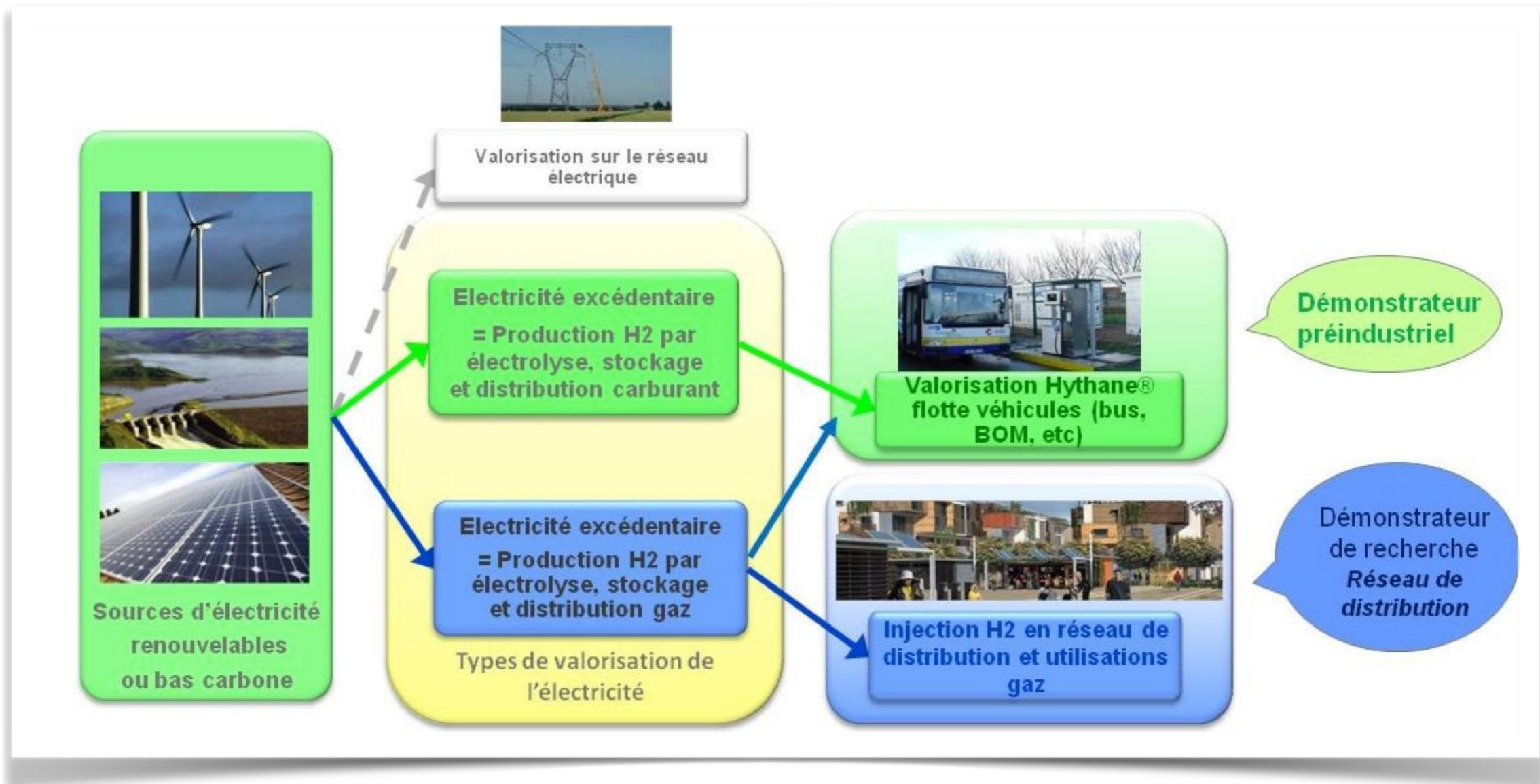
La plateforme MYRTE est issue de l'engagement de trois partenaires, l'Université de Corse Pasquale Paoli, AREVA H2GEN et le Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives.

Elle met en oeuvre le couplage de l'énergie solaire avec une chaîne hydrogène comme vecteur énergétique pour le stockage des énergies renouvelables.

Elle vise à étudier le déploiement d'un stockage de l'énergie photovoltaïque via l'hydrogène afin de garantir la puissance des énergies renouvelables.

# GRHYD, 2 DÉMONSTRATIONS POUR EXPLORER LES BÉNÉFICES DE LA FILIÈRE GN+H2 POUR LA VILLE DURABLE

Le projet GRHYD\* à Dunkerque propose de transformer cette surproduction électrique en H2 pour :  
L'injecter dans le réseau de gaz naturel d'un éco-quartier neuf  
Le valoriser en Hythane® carburant dans une flotte de 50 bus



Une évaluation complète : technique, économique, environnementale, sociétale  
La préparation du déploiement et la construction de modèles économiques globalisés

\* Une douzaine de partenaires industriels participent avec GDF SUEZ au projet GRHYD parmi eux :  
GrDF, GNVERT, AREVA SE, le CEA, MCPHY, l'INERIS, CETH2, le CETIAT

The logo for AFHY PAC is a circular emblem. It features a central teal circle with a white border. The text 'AFHY PAC' is written in white, bold, sans-serif capital letters across the center of the teal circle. The background of the slide consists of overlapping light blue and teal circular shapes.

**AFHY PAC**

---

Association française  
pour l'hydrogène et  
les piles à combustible

**PRESENTATION**

# L'AFHYPAC FÉDÈRE LES ACTEURS DE LA FILIÈRE H2 ET PAC EN FRANCE

- L'AFHYPAC est née en 2011 du regroupement de l'HYPAC et de l'AFH2.
- L'AFHYPAC, à l'initiative de l'ADEME et de l'industrie, a abouti à la feuille de route Hydrogène.

# SES MISSIONS

**COMMUNIQUER**  
sur les enjeux de la filière,  
sur les bénéfices et  
les caractéristiques  
des technologies



**CONTRIBUER**  
à lever les verrous qui  
freinent les projets de  
démonstration et de  
déploiement en France

**FACILITER**  
la concertation  
sociétale autour des  
objectifs nationaux et  
des initiatives locales

**INFLUER**  
sur le cadre réglementaire



# LES MEMBRES

JUIN 2015

## Grands groupes industriels, institutions financières et ETI (11)

- Air Liquide
- AREVA Stockage d'Énergie
- Caisse des Dépôts
- Compagnie Nationale du Rhône
- EDF-EIFER
- E.ON France Power S.A.S.
- ENGIE
- GRTgaz
- MICHELIN
- SIEMENS
- TIGF

## PME-PMI (25)

- AD-VENTA
- Alca Torda Applications
- HERA Fce / ALBHYON
- ATAWAY
- AREVA H2Gen
- ENEA Consulting
- Enercat
- Green Access
- Green GT
- HASKEL France
- HINICIO
- Hydrogène de France
- Hydrogenics

## PME-PMI

- ITM Power
- McPhy Energy
- NEXEYA
- PaxiTech
- Powidian
- Pragma Industries
- PV Puech Long
- Seiya Consulting
- Sertronic (NEL)
- SymbioFCcell
- Tronico-Alcen
- WH2

## Industriels utilisateurs et clients finaux

- Dassault Aviation



# LES MEMBRES

JUIN 2015

## Organismes de Recherche, universités, écoles et Centres techniques (7)

- CEA
- CNRS
- INERIS
- FCLAB
- Institut Carnot Mines
- CNRS GdR HysPAC
- CNRS GdR ACTHYF

## Associations, collectivités territoriales, pôles, de compétitivité, ... (10)

- Communauté d'Agglomération du Grand Dole
- Conseil Départemental de la Manche
- Métropole Rouen Normandie
- ERH2-Bretagne
- INEVA
- Mission Hydrogène
- PHyRENEES
- TENERRDIS
- Alphéa Hydrogène
- Pôle Energie 2020

**Personnes Physiques :**  
40 adhérents



The logo for AFHY PAC is a circular emblem. It features a central teal circle with a white ring around it. The text 'AFHY PAC' is written in white, bold, sans-serif capital letters across the center of the teal circle.

**AFHY PAC**

---

Association française  
pour l'hydrogène et  
les piles à combustible

**MERCI pour votre attention**