



# La France lance un Plan National Hydrogène

*par François LE NAOUR*

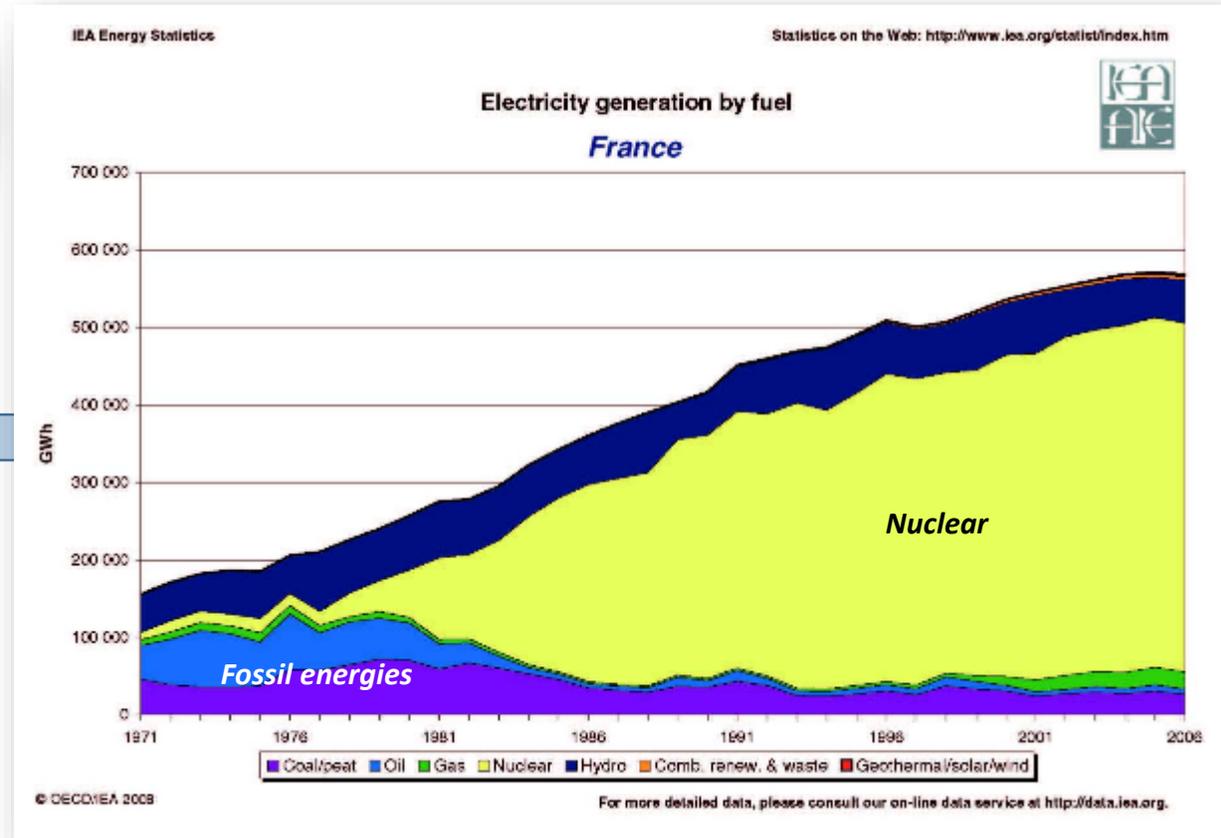
*(Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives)*

# La France, un pays historiquement tourné vers les énergies décarbonées



Charles De Gaulle – Président français 1959 - 1969

1960's

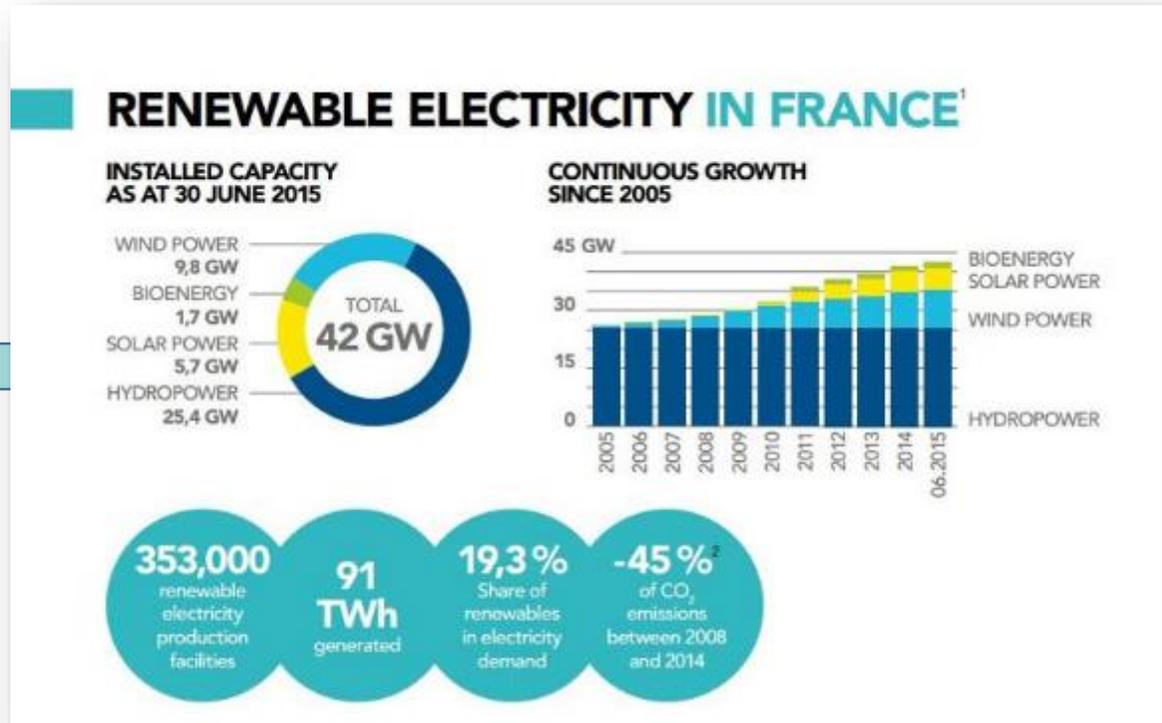


# La France, un pays historiquement tourné vers les énergies décarbonées



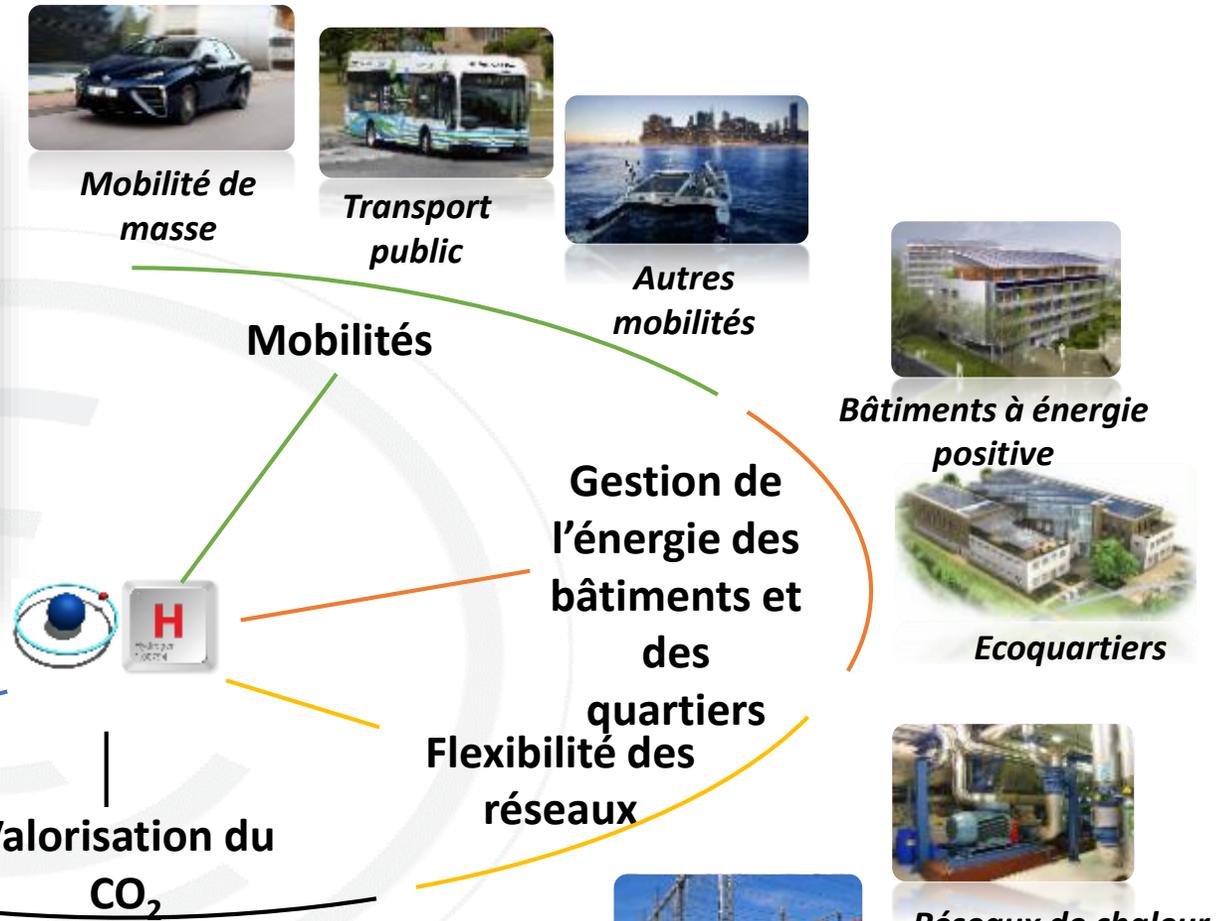
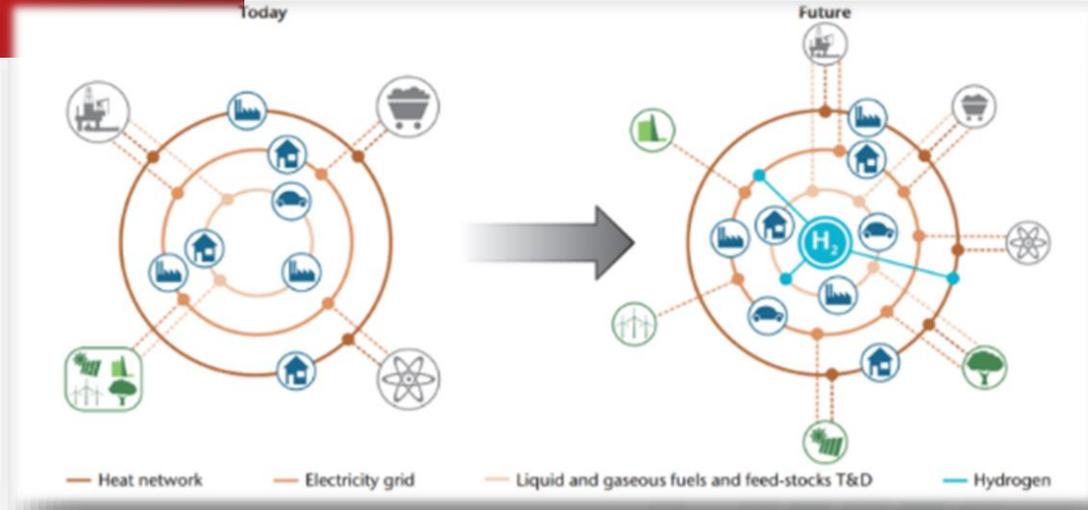
François Hollande – Président français 2012 – 2017  
 Laurent Fabius – President de la COP 21

2015





# L'hydrogène est un vecteur clé pour l'ENERGY 4.0



Gestion des énergies renouvelables



Gestion électricité nucléaire



E-carburants émetteurs CO<sub>2</sub> Power-to-Gas



Réseaux électriques



Réseaux de chaleur



Bâtiments à énergie positive



Ecoquartiers



**Mobilités**

**Gestion de l'énergie des bâtiments et des quartiers**

**Flexibilité des réseaux**

**Valorisation du CO<sub>2</sub>**

**Stockage des énergies décarbonées**



# Comment déployer ces usages dans le contexte français ?

2040



Fiche 1.e - Production massive d'hydrogène vert et décarboné et marchés à l'import/export

2028



Fiche 1.c - Quartiers, métropoles et EnR en zones rurales



Fiche 1.d - Stockage et services aux réseaux (électricité, gaz)

2023

2021



Fiche 1.a Usages industriels de l'hydrogène



Fiche 1.b - Systèmes et réseaux insulaires



Installations - démonstrateurs

Thématique 1 - Production et usages stationnaires de l'hydrogène



Fiche 2.b - Mobilité terrestre de masse



Fiche 2.e - Aéronautique



Fiche 2.d - Maritime et fluvial



Fiche 2.a - Mobilité terrestre sur le modèle de flottes



Fiche 2.c - ferroviaire

H<sub>2</sub>

2017

Thématique 2 - Mobilités



# Trajectoire d'un plan national H2 au service de la transition écologique

- Favoriser l'émergence de l'hydrogène vert en développant l'électrolyse utilisant les énergies renouvelables

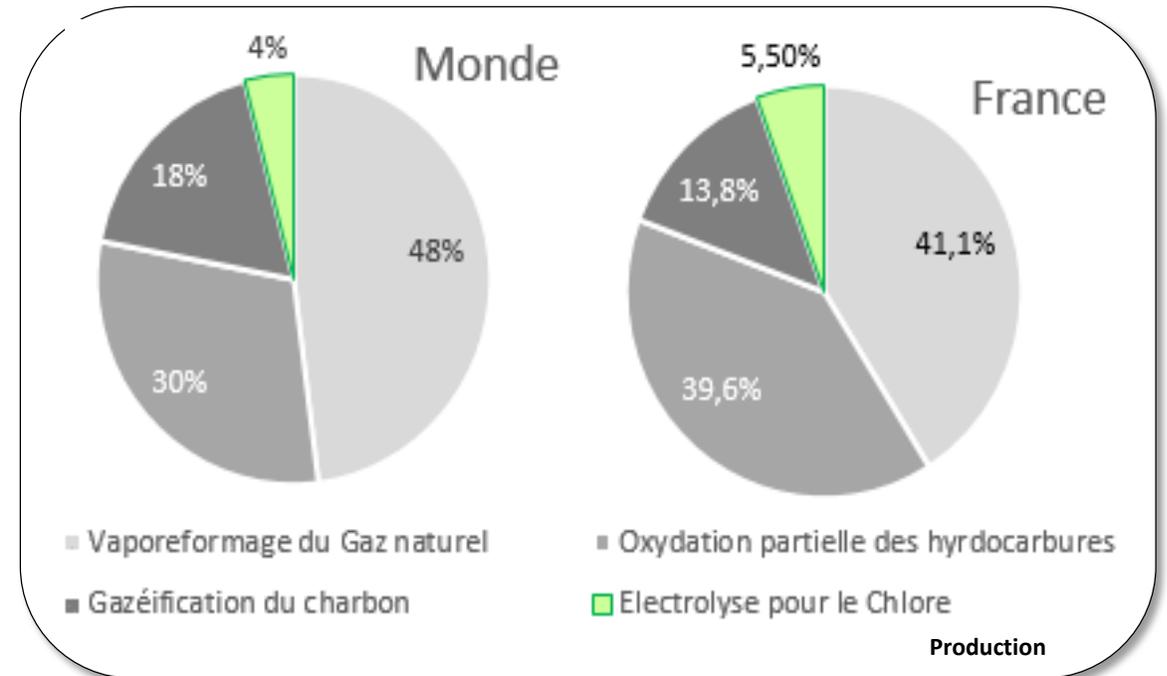
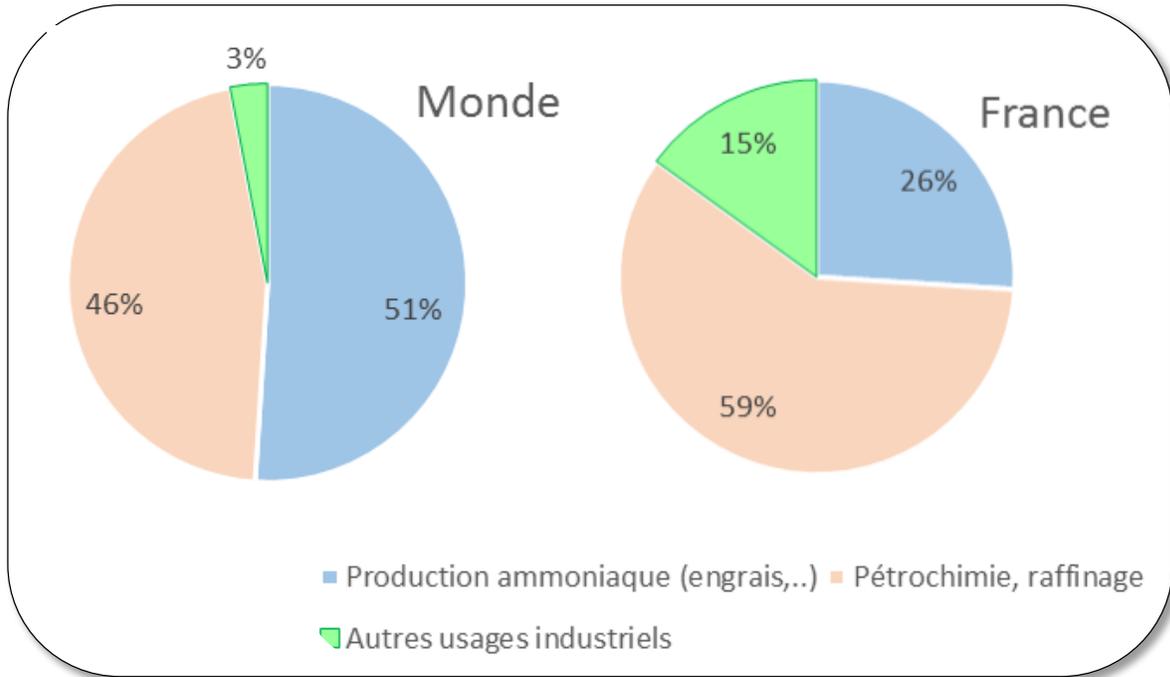


- Développer les marchés intérieurs pour cet hydrogène vert

- ✓ L'hydrogène industriel : un marché directement accessible et offrant des volumes intéressants
- ✓ Le stockage des énergies renouvelables du résidentiel aux réseaux (ZNI, TEPCV, Power-to-Gas)
- ✓ La mobilité sous toute ses formes, avec une stratégie progressive sur la mobilité terrestre s'appuyant en amorce sur le modèle de flottes

# Premier enjeu – Décarboner la production d'hydrogène

Le marché mondial de l'H2 est aujourd'hui essentiellement industriel (Monde 61 Mt, France 900kT)



## ■ Usages principaux

- Production d'ammoniacale
- Raffinage des carburants
- Chimie

## ■ avec un H2 d'origine fossile

- Reformage du méthane (10 kg<sub>CO2</sub>/kg<sub>H2</sub>)
- Oxydation partielle des hydrocarbures (15 kg<sub>CO2</sub>/kg<sub>H2</sub>)
- Gazéification du charbon (20 kg<sub>CO2</sub>/kg<sub>H2</sub>)

# Promouvoir l'électrolyse - La pénétration des énergies renouvelables réduit le coût de l'électricité

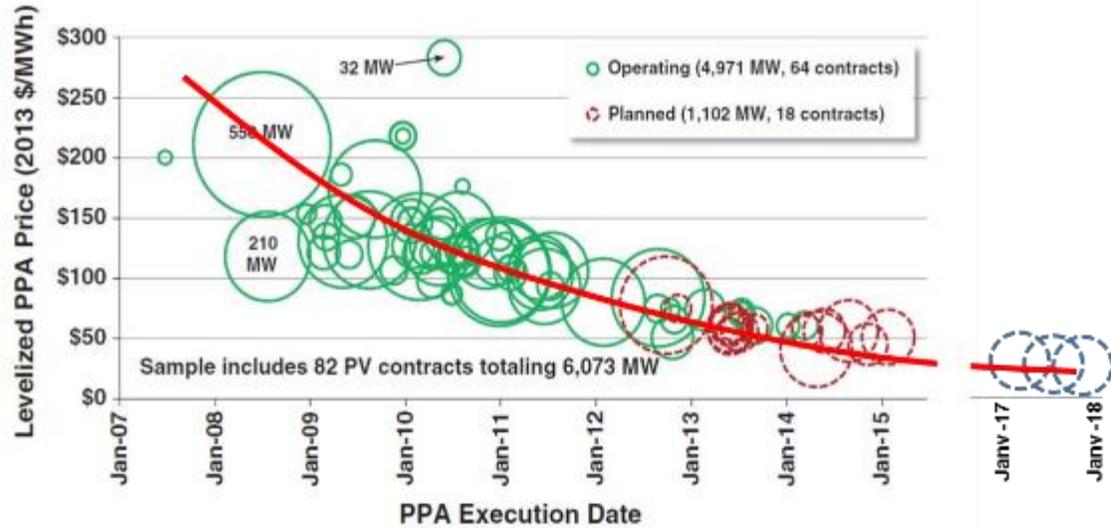
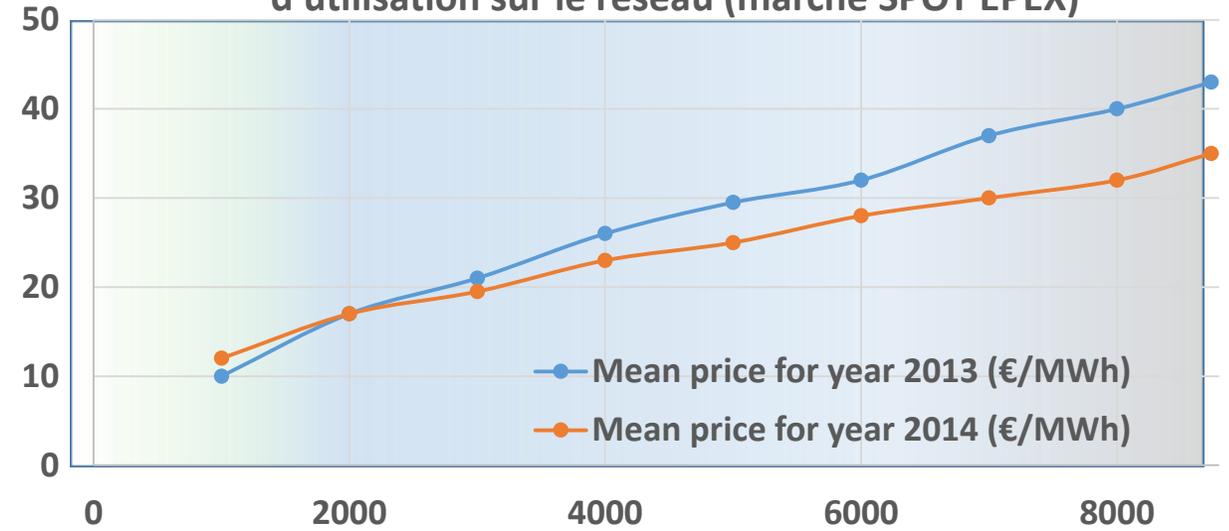


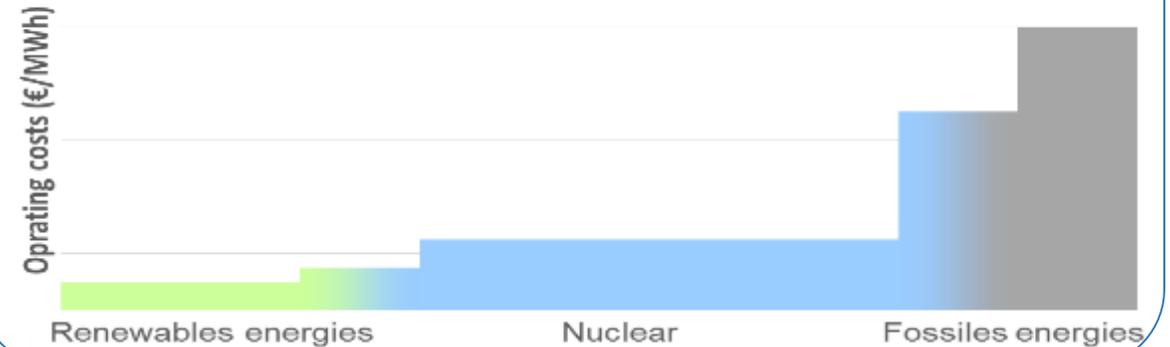
Figure 1. Levelized US utility-scale photovoltaic power purchase agreement (PPA) prices by operational status and PPA execution date.

Prix de l'électricité en fonction de la durée de la durée d'utilisation sur le réseau (marché SPOT EPEX)



début 2017	Emirats Arabes Unis	\$ 24,20 / MWh	20,33 €/MWh
Eté 2017	Chilie	\$ 21,48 / MWh	18,04 €/MWh
Prévision 2018	Arabie Saoudite	\$ 17,90 / MWh	15,04 €/MWh

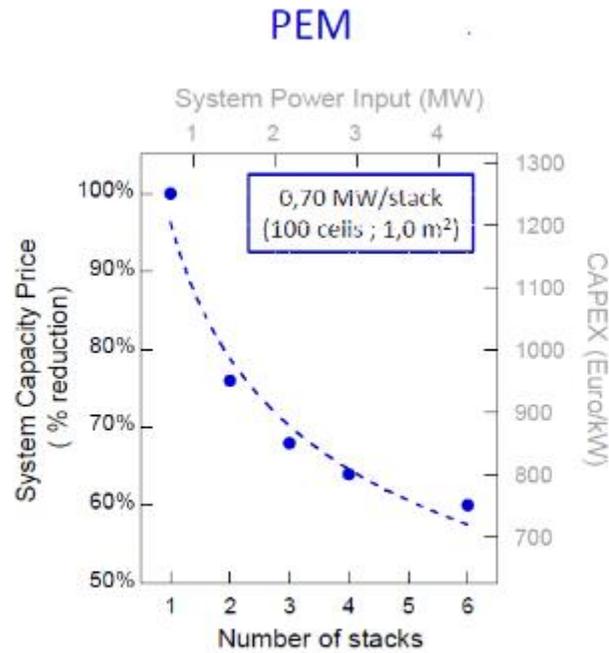
Merit of order of electricity prices



# Promouvoir l'électrolyse - Réduction des coûts pour les électrolyseurs alcalins et PEM

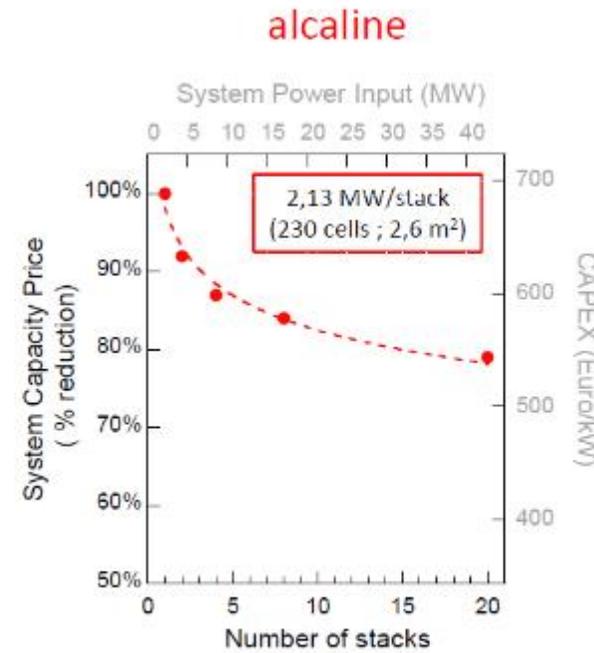
## Perspectives for further reduction in Euro/kW

### ITM Electrolyzer



Data from ITM Power

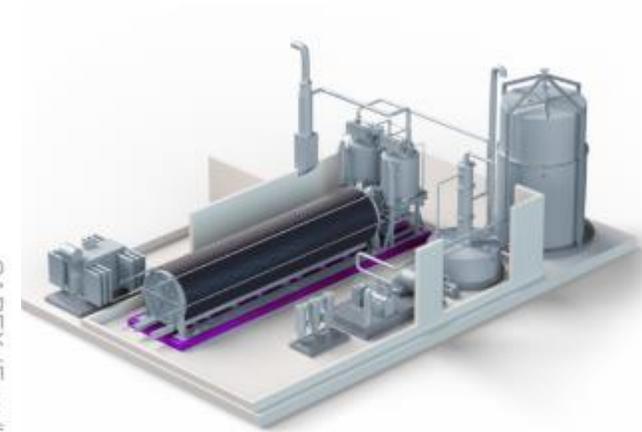
**Coût cible < 700 €/kW**



Data from NEL

**Coût cible < 500 €/kW**

### NEL Electrolyzer



- Consommation du stack inférieure à 4 kW/Nm<sup>3</sup>
- Plus de 2.2 MW par stack
- 1000 kgs/j.

- De 60 kW à 1030 kW
- De 25 to 460 kgs/j.
- Pression : 20 à 80 bars

# Des marchés sont déjà disponibles pour l'hydrogène industriel

Alcalin

		Durée de fonctionnement annuelle électrolyseur				
		8200 h	5000h	3000h		
		Prix de l'électricité (€/Mwh <sub>el</sub> )				
Massification de production d'électrolyseurs (MW/an/usine)	CAPEX système électrolyseur (€/kW)	80	60	40	40	30
		1	1000	5,60	4,99	4,06
20	750	5,15	4,39	3,46	4,36	3,85
200	500	4,46	3,53	2,66	3,10	2,62
20000	350	3,95	2,89	2,09	2,19	1,75

**coût de production d'hydrogène actuel entre 2 et 4,5 € / kg**



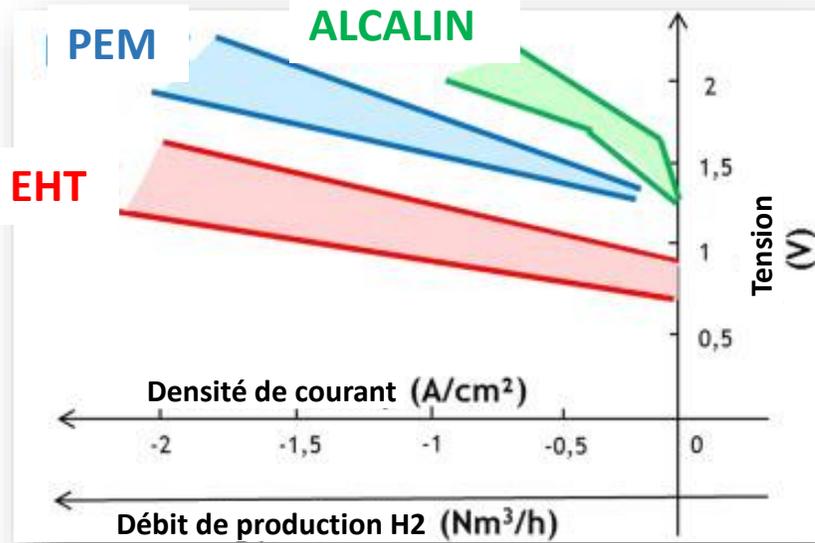
- **Décarbonation de l'hydrogène marchand: consommateur moyen (300 à 3000 t / an)**

Remplacer une production de carbone centralisée avec distribution par camion par une production sur site par électrolyse.

- **Décarbonation des industries fortement émettrices de CO2 (récupération du CO2 pour le méthane, les e-carburants molécule d'intérêt)**

Installer des électrolyseurs sur le site des cimenteries, des aciéries, .. afin de combiner H2 et CO2 (modèle cimenterie intégrée aux territoires)

# L'Électrolyse avancée à haute température (EHT) pour réduire davantage le coût de la production d'hydrogène



Electrolyseur EHT (CEA)

EHT

Puissance électrique nominale – 6 kW  
 Variation de charge – 0% - 100%  
 Rendement électrique (HHV) – 85%  
 Puissance électrique spécifique – 3,5 kWh/Nm3  
 Débit de Production H2 – 2 Nm3/h  
 Pression – 3 bar

coût de production d'hydrogène en 2030  
 entre 1 et 1,5 € / kg

Durée de fonctionnement annuelle électrolyseur		
8200 h	5000h	3000h

Prix de l'électricité (€/Mwh <sub>el</sub> )				
80	60	40	40	30

Massification de production d'électrolyseurs (MW/an/usine)      CAPEX système électrolyseur (€/kW)

1	4000
20	1500
200	1000
1000	400

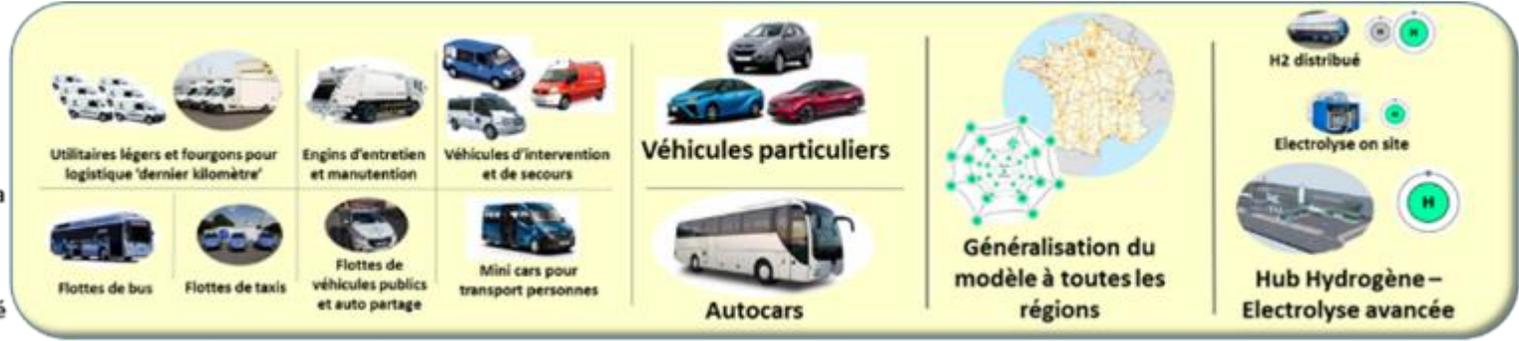
10,03	13,66	13,01	15,47	15,08
4,59	4,89	4,27	4,82	4,45
3,91	3,73	3,14	3,23	2,87
3,06	2,19	1,60	1,32	0,97

# Deuxième enjeu - Décarboner la mobilité



**2028**

Généralisation de l'infrastructure  
Verdissement de la production H2  
Marché du véhicules particuliers amorcé



50.000 véhicules  
1000 stations



**2023**

Qualité de l'air dans les métropoles  
Mobilité à usage intense en zone urbaine et péri-urbaine  
6+i Hy régions pilotes



6.000 véhicules  
250 stations

**2017**

Modèle flottes captives



300 véhicules  
20 stations



# Deuxième enjeu - Décarboniser la mobilité

## Proposer une nouvelle offre de véhicules de flotte



SAFRA

Un constructeur français de bus à hydrogène



### Un véhicule polyvalent de type fourgon

- Véhicule de livraison du dernier kilomètre dans les sites urbains et périurbains
- Véhicules d'intervention techniques pour les opérateurs de réseaux (énergie, eau, télécommunications, ..)
- Véhicules d'intervention d'urgence (santé, pompiers, ..)
- Véhicules de transport de passagers (9 à 17 sièges) autorisés à circuler sur les routes et les autoroutes (contrairement aux bus).



Symbio - Une benne à ordures à hydrogène française

# Deuxième enjeu - Décarboniser la mobilité

## La station de ravitaillement à l'hydrogène vert et compétitif



2018

€/kg <sub>H2</sub>	H2 distribué (réseaux, bouteilles, trailers)		Production sur site (électrolyse)	
	Min	Max	Min	Max
	Production H2 (reformage, électrolyse,..)	2,00	6,00	4,00
Transport (réseaux, bouteilles, trailers)	1,00	3,00		
Distribution (compression, stockage, distributeur,..)	3,00	6,00	4,00	8,00
<b>Coût total à la pompe</b>	<b>6,00</b>	<b>15,00</b>	<b>8,00</b>	<b>14,00</b>

2030

€/kg <sub>H2</sub>	H2 distribué (réseaux, bouteilles, trailers)		Production sur site (électrolyse)	
	Min	Max	Min	Max
	(reformage, électrolyse,..)	1,00	2,00	1,50
Transport (réseaux, bouteilles, trailers)	0,50	2,00		
Distribution (compression, stockage, distributeur,..)	1,50	2,50	1,50	2,50
<b>Coût total à la pompe</b>	<b>3,00</b>	<b>6,50</b>	<b>3,00</b>	<b>4,50</b>



# Autres mobilités - Secteurs industriels stratégiques

2040

2030

2024

2021

2017

Navire de croisière

Bateau de pêche

Navette fluviale

Laboratoire naval  
Energy Observer

APU embarqué en vol aviation commerciale

APU embarqué en vol aviation d'affaire

APU au sol

APU embarqué au sol aviation commerciale (alimentation et roulage)

Dirigeable stratosphérique (surveillance, télécommunication)

APU Sous-marin

# Troisième enjeu - Stocker les énergies renouvelables

## Hydrogène pour stocker les énergies renouvelables sur les territoires insulaires

La Nouvelle - site isolé de la Réunion  
Centrale Powidian en partenariat avec EDF SEI



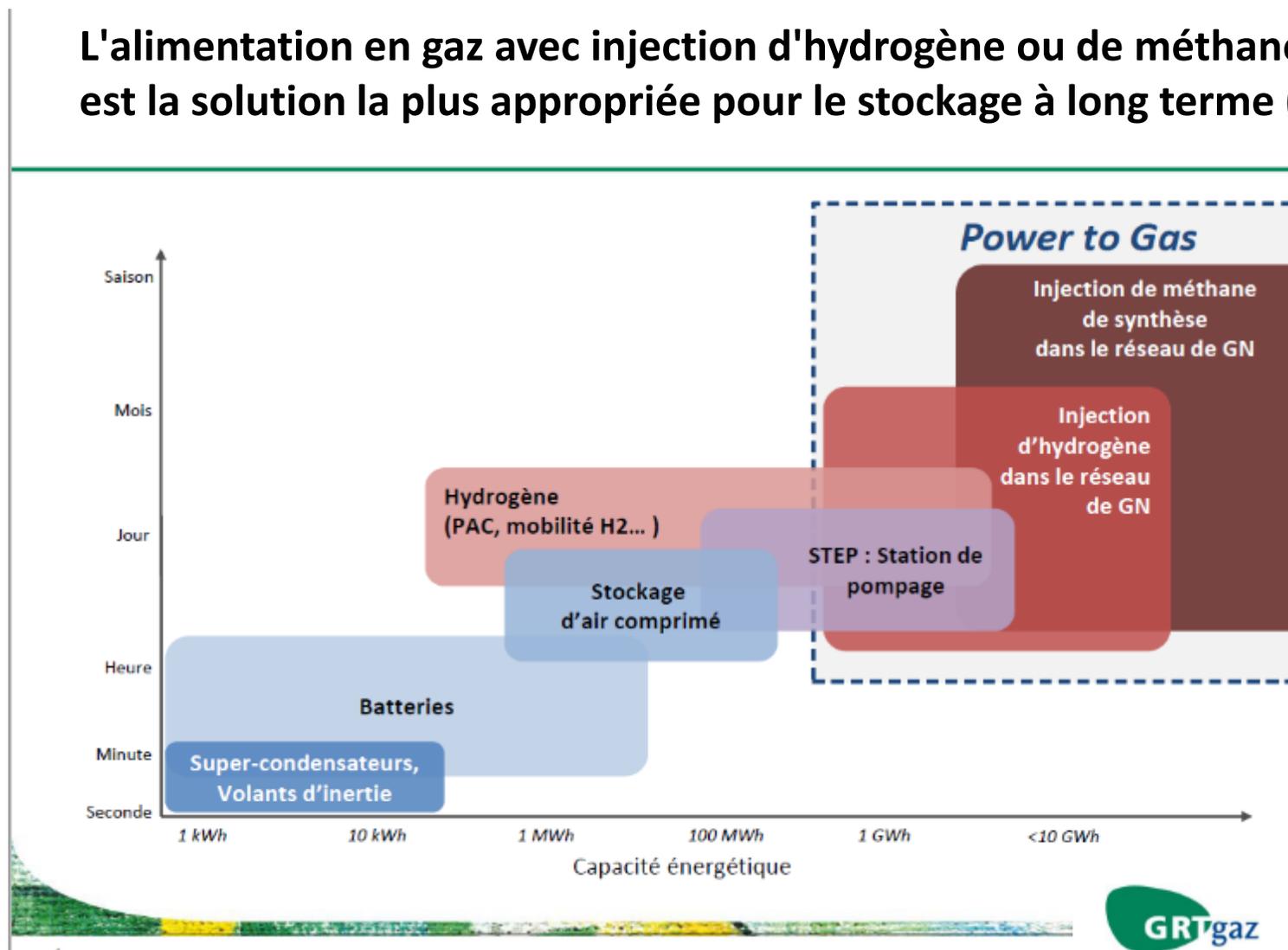
La France est un pays à forte insularité  
(3 millions d'habitants dans les îles sur 67 millions d'habitants)

L'énergie a une teneur en carbone élevée et un coût de production 4 à 5 fois supérieur à celui de la métropole.  
Le déploiement des énergies renouvelables nécessite diverses solutions de stockage parmi lesquelles l'hydrogène

# Troisième enjeu - Stocker les énergies renouvelables

## Power-to-Gas – une solution au stockage massif d'énergie

L'alimentation en gaz avec injection d'hydrogène ou de méthane synthétique est la solution la plus appropriée pour le stockage à long terme (> 1 jour)





# Energy Observer - Ambassadeur français de l'intégration des technologies propres pour une autonomie énergétique totale



Un laboratoire naval intégrant toutes les énergies propres (solaire, éolien, batteries, hydrogène) pour une autonomie globale.

Une odyssee de 6 ans pour visiter 50 pays en 101 étapes pour un tour du monde technologique et évangélisteur

2017 – France

2020 – Les Amériques

2018 – Mer méditerranée

2021 – Océanie et Asie

2019 - Europe du Nord

2022 – Asie et Afrique



Québec (Canada)  
06-07/02/2019  
Plan National Hydrogène (France)

Politique énergétique	Feuille de route H2	Décarboner la production H2	Mobilité H2	Stockage énergie	Conclusion
□ □ □	□ □ □	□ □ □ □ □	□ □ □ □	□ □	□ □

L'avenir n'est pas ce qui va arriver mais ce que nous allons faire.  
*Henri Bergson*

The future is not what will happen but what we are going to do.  
*Henri Bergson*

