

D'autres utilisations possibles de l'hydrogène

Hydrogène « chimique » : **Sidérurgie**

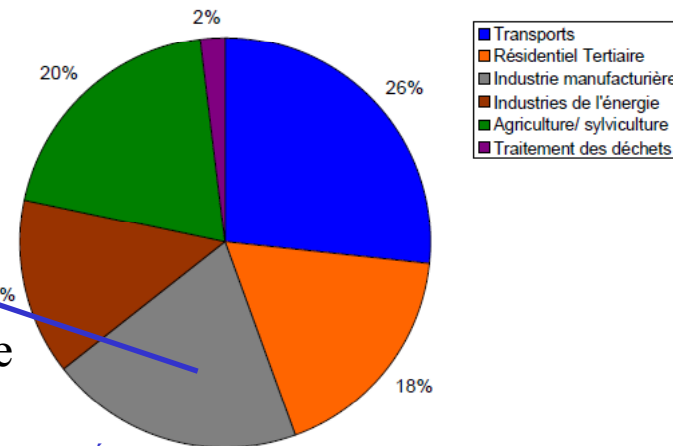
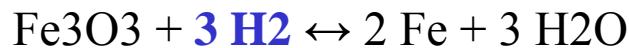
Production de carburants de synthèse pour moteurs à combustion : **procédés BtL, CtL, GtL**

Hydrogène « énergétique » : **stockage de l'énergie**

Le marché potentiel de la sidérurgie (France)

Sidérurgie Française : pour production acier, actuellement : **1,8 t CO₂ / t HRC** → 31 Mt CO₂ / an :
 ~ 6% émissions Françaises, 30% du secteur industriel (hors industries de l'énergie)

- Actuellement, c'est le procédé de réduction par coke qui est utilisé;
- Possibilité d'utiliser l'hydrogène pour une réduction directe du minerai de fer Fe₂O₃ ou Fe₃O₄ :



Émissions GES en France en 2007 (inventaire PNLCC CITEPA / déc. 2008)

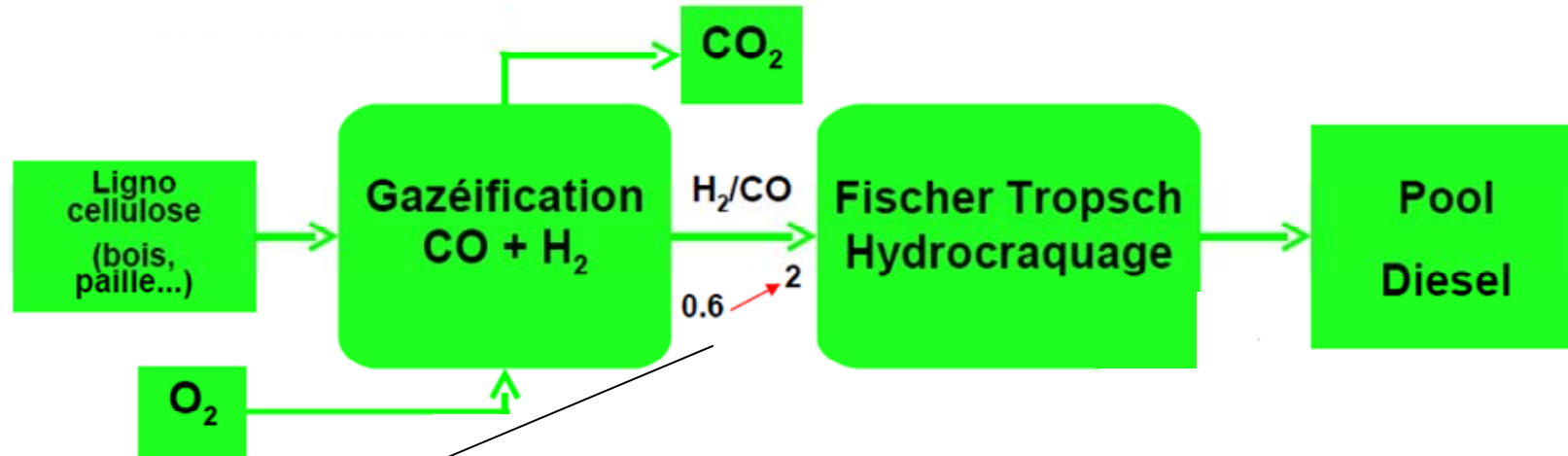
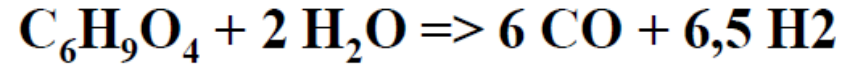
Masse d'H₂ nécessaire pour réduire une tonne d'acier : 60 kg

Quantité d'hydrogène nécessaire pour l'ensemble de la production française :

	Années					
	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Production d'acier (Mt/an)	19	17	18	19	20	21
Masse d'hydrogène (Mt/an)	1,14	1,02	1,08	1,14	1,20	1,26

> Quantité aujourd'hui volontairement produite

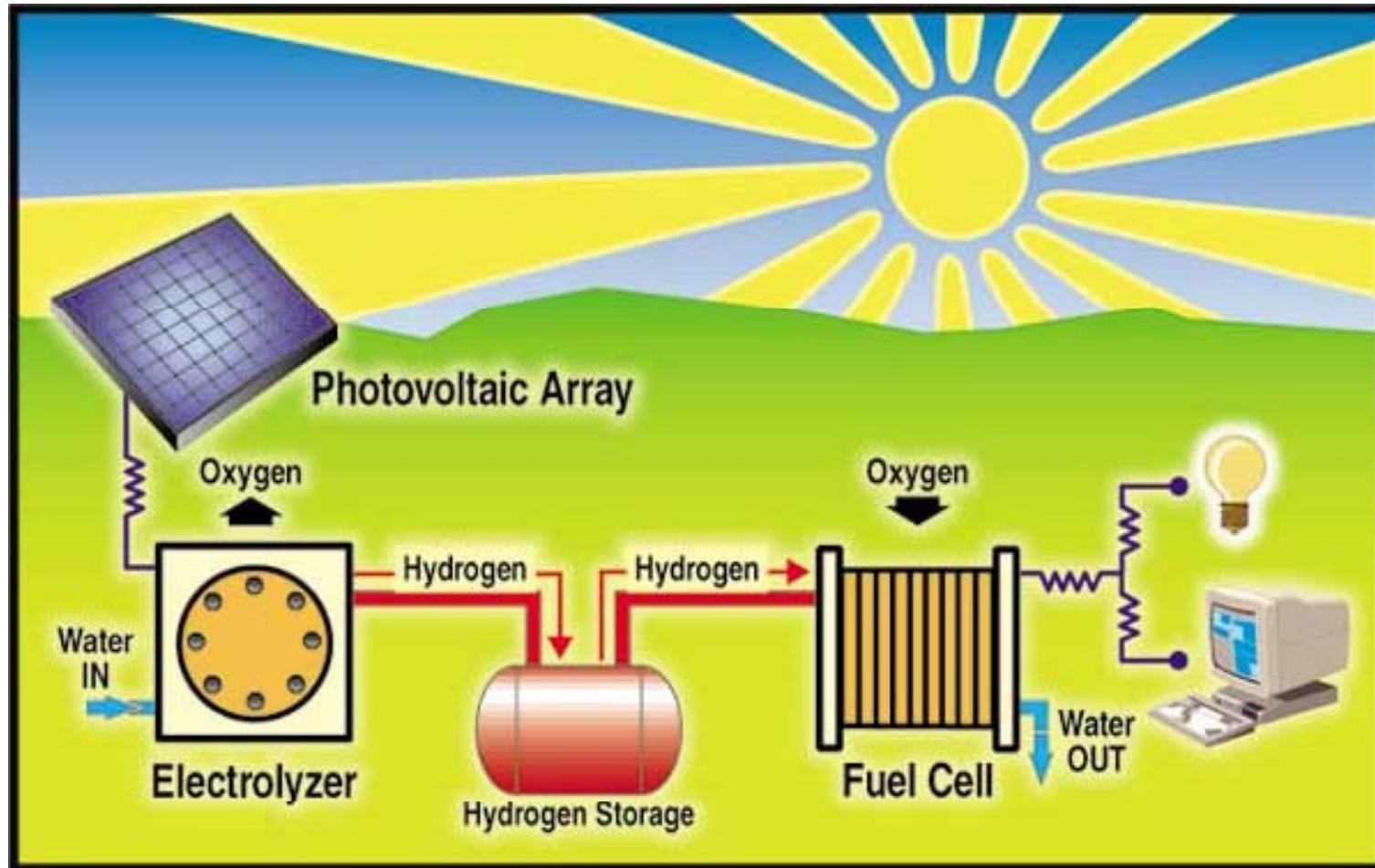
Par gazéification de la biomasse, on fabrique un gaz de synthèse



Mais : la synthèse de biocarburant nécessite $H_2 / CO = 2$

Si toute la matière et l'énergie, en particulier le complément H_2 , vient de la biomasse : rendement « masse » = env. 15%

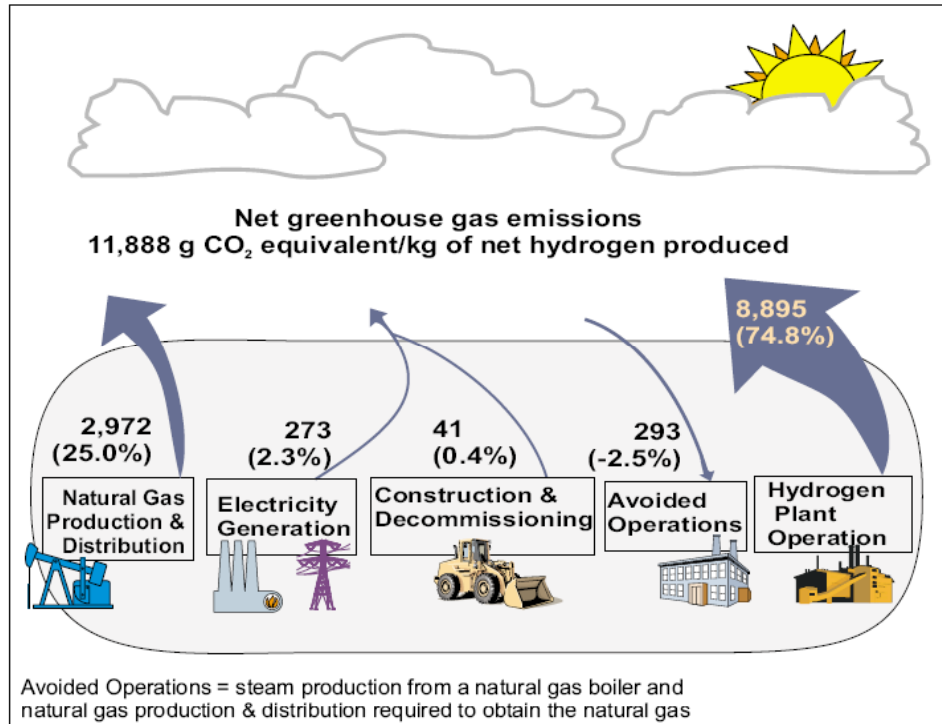
Si toute l'énergie et l' H_2 complémentaire viennent de l'extérieur : rendement « masse » = env. 45%



Énergie « verte » intermittente : solaire

Les émissions de GES

Reformage du méthane

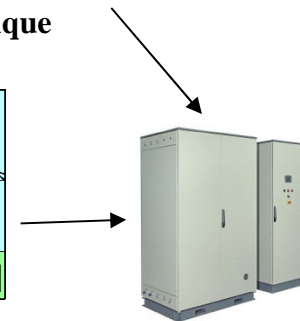
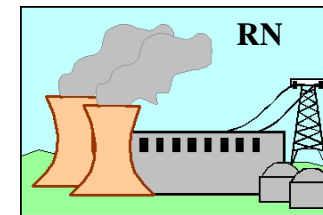


Analyse du Cycle de Vie du **SMR** en CO₂ équivalent (NREL)

Electrolyse alcaline



MIX électrique



ELECTROLYSE
~ 4,5 kWh / m³ H₂

Émissions de CO₂ (g/kWh) :

RN : 5

(Mémento sur l'Énergie, ed. 2008)

Mix France : 90

Mix EU 27 : 340



Les émissions de GES

Les émissions dues à la **production d'Hydrogène** aujourd'hui (2/2)

Émissions de GES du procédé de production « classique » par reformage du méthane : de 10 à 12 kg CO₂ / kg H₂ selon les sources

Émissions de GES du procédé de production par électrolyse : dépend essentiellement du mix électrique considéré : de quasiment rien à près de 20 kg CO₂ / kg H₂

Cas de la France : parts prises dans l'ensemble des émissions nationales (520 Mt / an en métropole – source : CITEPA) / Les **émissions actuelles** = **environ 1 %** des émissions totales françaises.

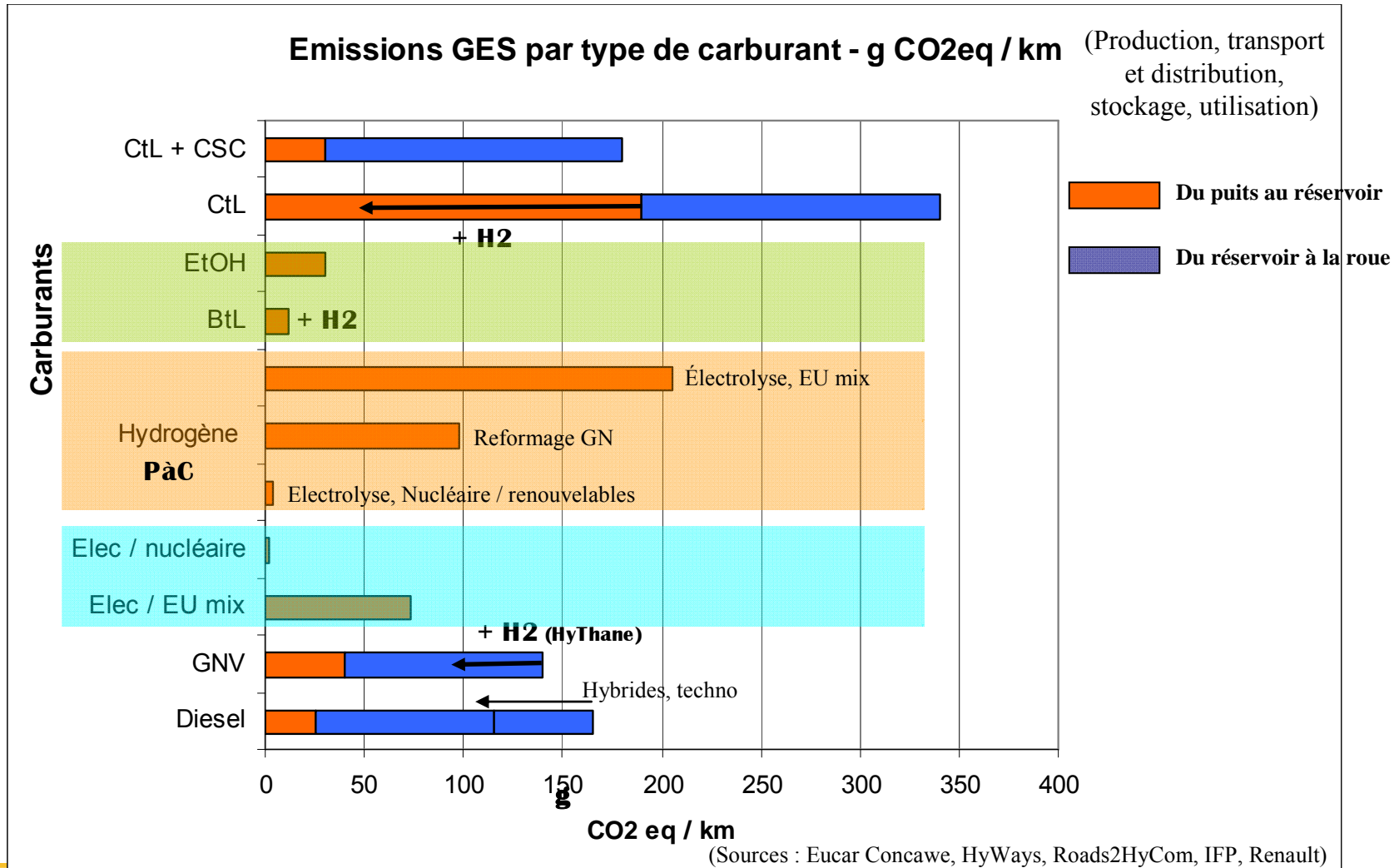
	Mix énergétique	
SMR		0,85%
Electrolyse Alcaline	Européen	1,50%
	Français	0,40%
	Nucléaire	0,02%

Production volontaire en France, environ 400 000 t/an d'H₂

Les émissions de CO₂ **diminueraient** avec une **production** par **électrolyse** avec un **mix énergétique français et nucléaire** (augmenteraient avec un mix européen)

Les émissions de GES

Les émissions du puits à la roue



La chaîne de l'Hydrogène, les coûts

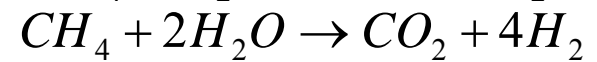
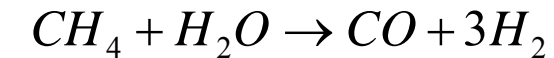
Reformage du méthane

Coût très sensible au prix du gaz (peut représenter jusqu'à 80% du coût final)

Avec un prix du gaz de

20 €/MWh (premier semestre 2007) : **1,2 €/kg**

40 €/MWh (début juillet 2008) : **2,0 €/kg**.



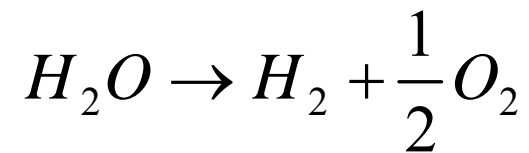
Améliorations attendues (vers un meilleur rendement, mais progrès possible très modeste), pas de bouleversement de l'économie du système

Electrolyse alcaline

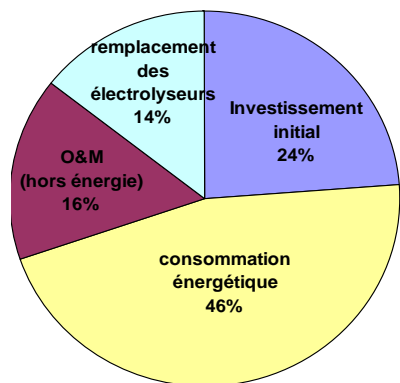
Coût de production très dépendant du prix de l'électricité (~70% du coût)

Si on a un coût de l'électricité de 40 €/MWh (EPR dédié ?) : **3,1 €/kg**

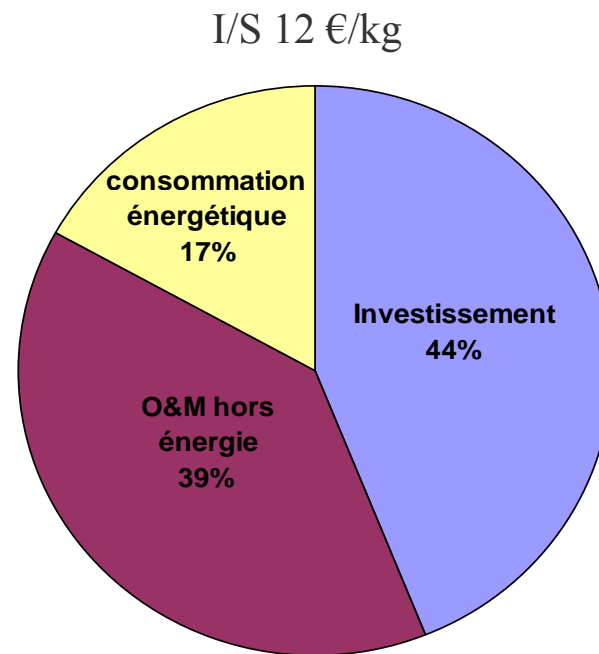
Des réductions de coût sont plutôt attendues par effet de série et une mise en commun des auxiliaires de l'installation (dispositifs de stockage, distribution des gaz...)



Source : NorskHydro



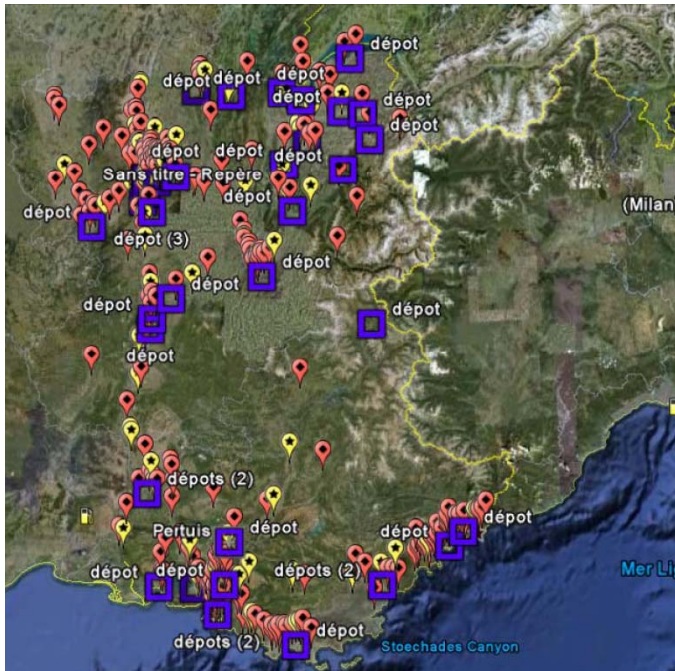
EHT 3,6 €/kg



I/S 12 €/kg

Le transport, le stockage massif

Résultat majeur du projet national HyFrance3 (2009 – 2011)



Le transport

2050 : 345 stations si taux pénétration 16% H2,
860 stations avec 40%

Environ 0,5 €/kg H2

Hydrogen filling stations distribution in 2050
for a penetration rate of 16% in Rhône-Alpes
and PACA regions

Le stockage « massif »

Des coûts complexes à évaluer : de quelques dixièmes d'euros à
quelques euros par kg

Dépend de la technique et du modèle économique choisi

Résultat majeur du projet Européen Roads2HyCom

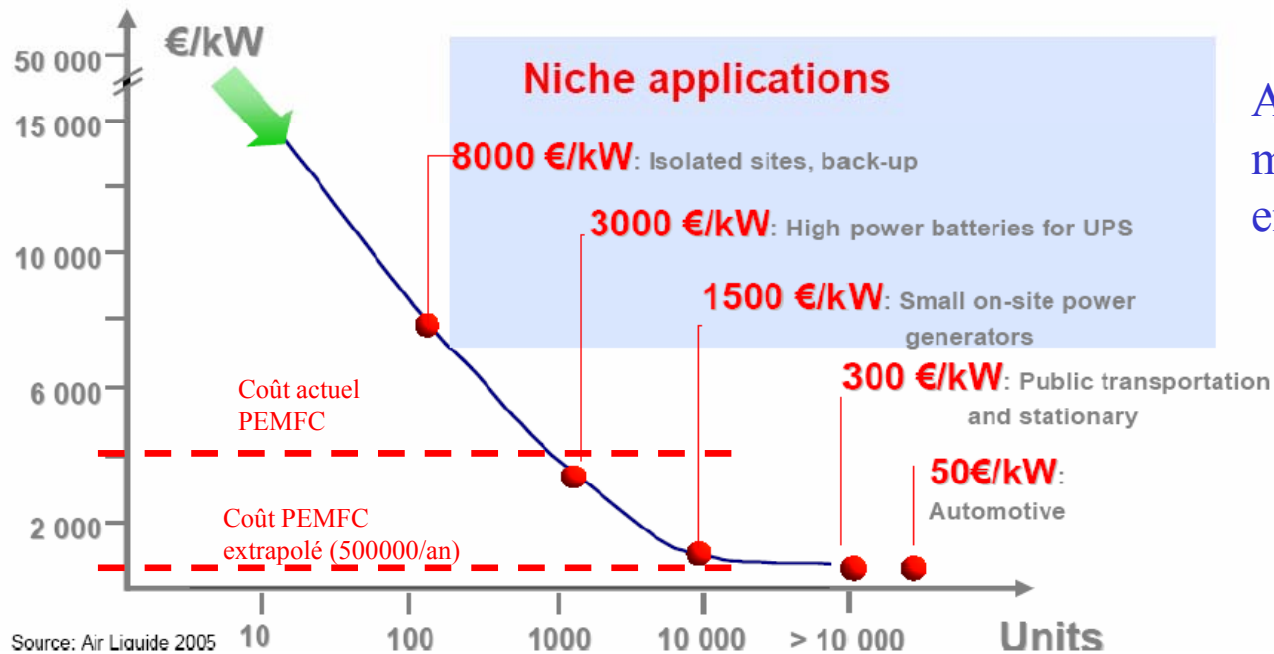
COÛT GLOBAL (2005 – 2009)

The global output of this study is a hydrogen cost for the final user ranging from 5.9 to 7.7 €₂₀₀₀/kg

	Pathway 1		Pathway 2	
	Description	Costs (€ ₂₀₀₀ /GJ)	Description	Costs (€ ₂₀₀₀ /GJ)
Production	Natural gas steam reforming	37,40	Electrolysis	52,52
Transport (50 km)	Tube trailer	6,72	Tube trailer	6,72
Storage	On-site gaseous storage	5,00	On-site gaseous storage	5,00
Cost for the final user		49 € ₂₀₀₀ /GJ		64 € ₂₀₀₀ /GJ
		5,9 € ₂₀₀₀ /kg		7,7 € ₂₀₀₀ /kg

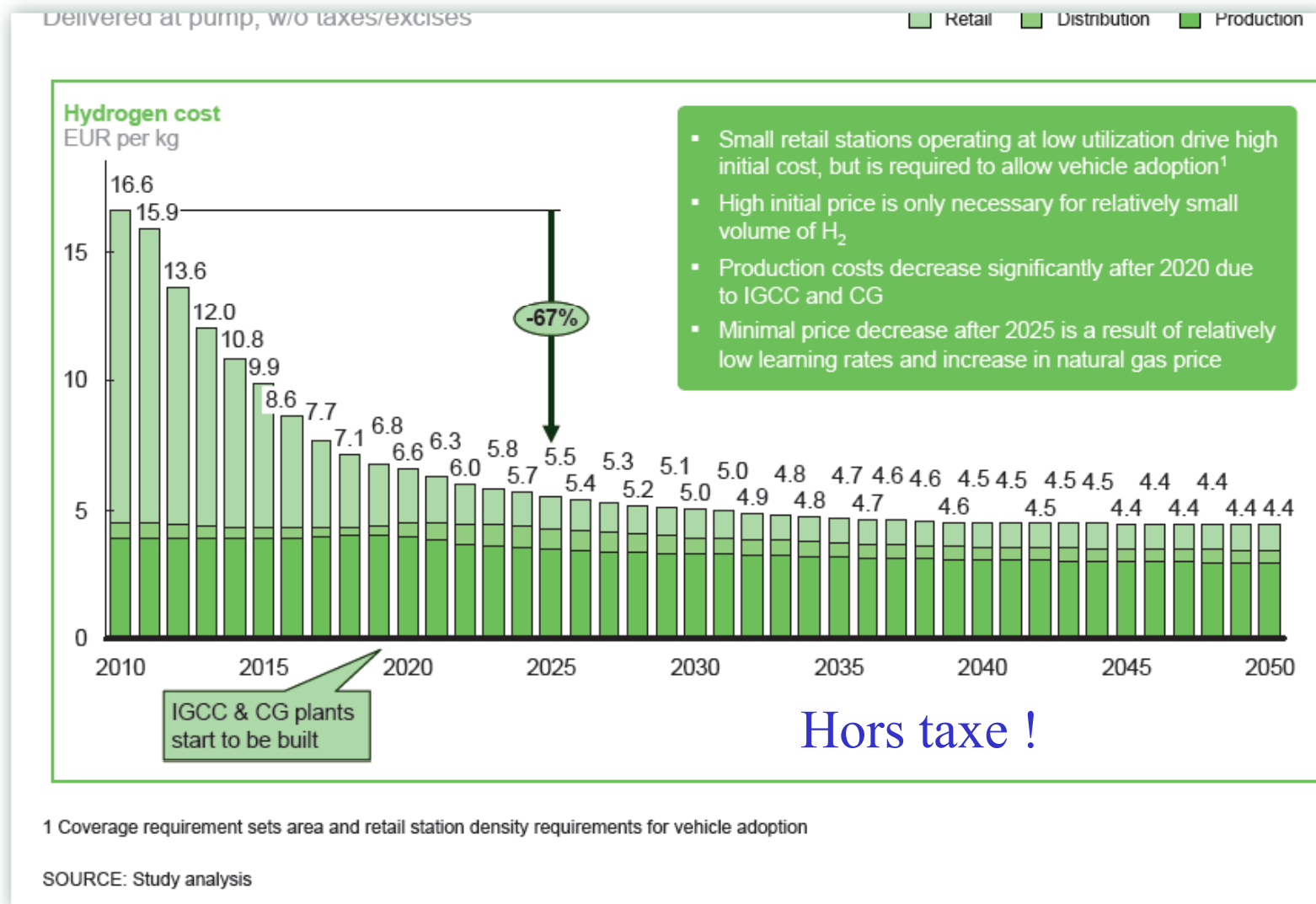
L'usage en véhicules

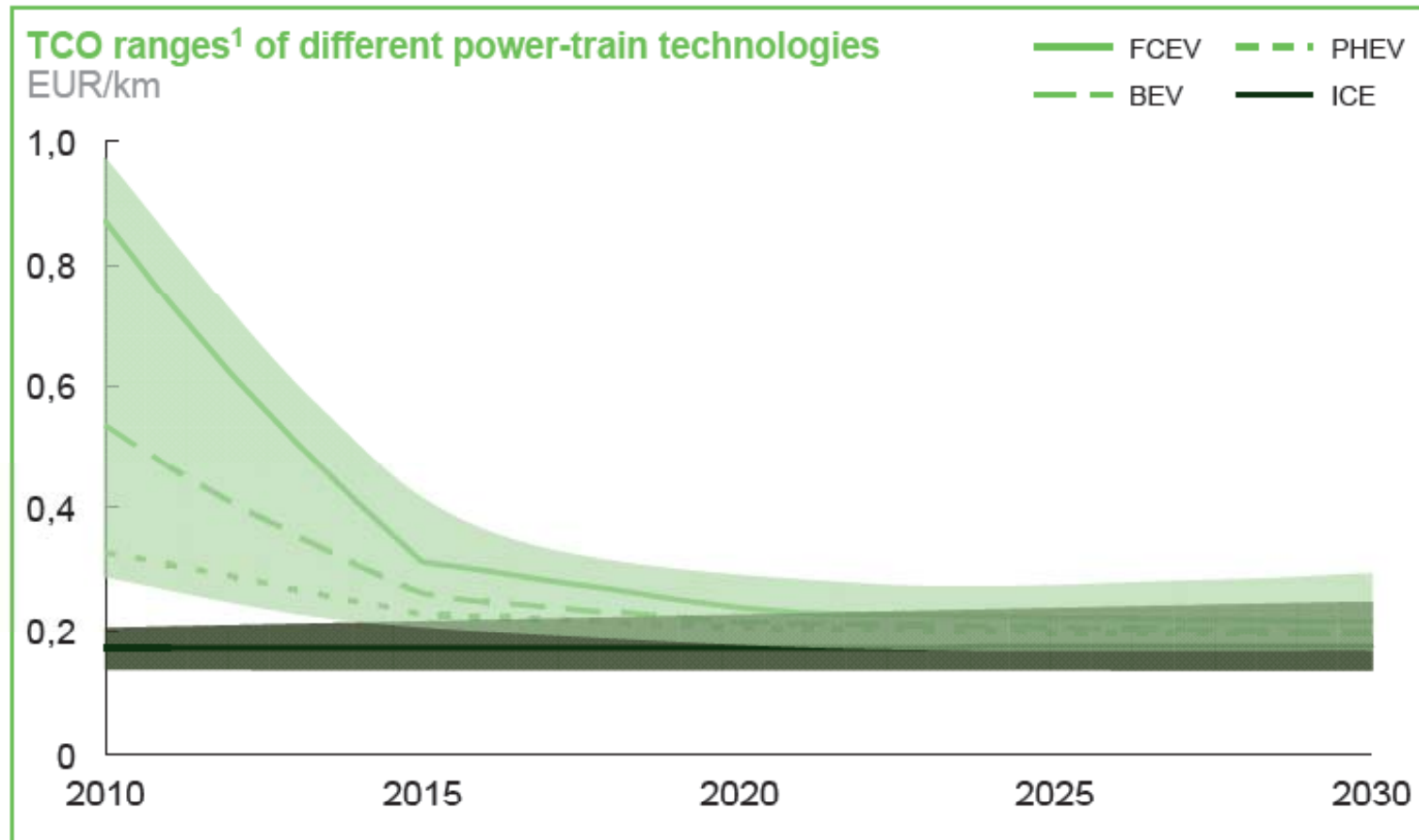
Les PàC : la nécessaire recherche d'une réduction drastique des coûts



Accent R&D porté sur la **réduction de la quantité de platine** (déjà réduction facteur 10 depuis 2001 / objectif : 0,1g/kW)

Mais également : **augmentation de la durabilité**; objectif : > **5000 h** pour les applications automobiles, **20 000 h** pour les applications stationnaires





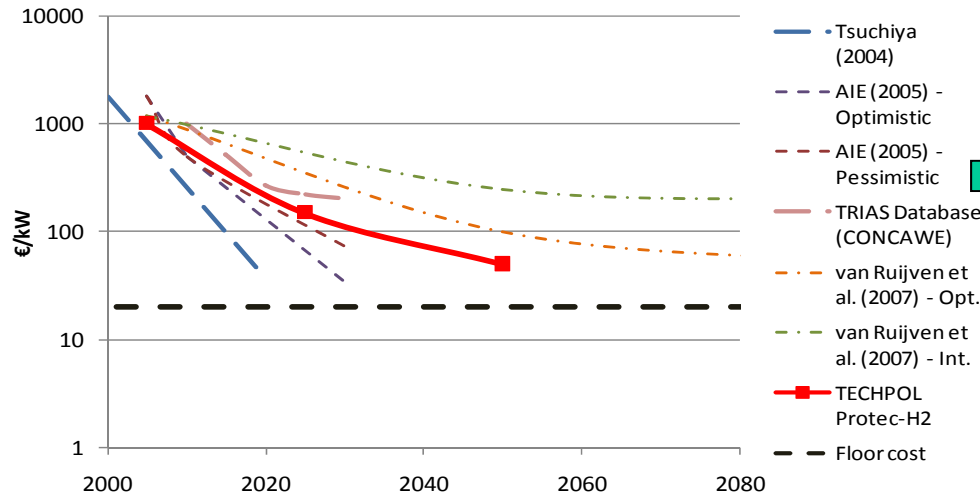
¹ Ranges based on data variance and sensitivities (fossil fuel prices varied by +/- 50%; learning rates varied by +/- 50%)

SOURCE: Study analysis

**Des scénarios de développement
des technologies de l'hydrogène**

Les scénarios de diffusion des technologies H2

Projet PROTEC H2 / code POLES



Évolutions des
coûts prévisionnels
des PàC

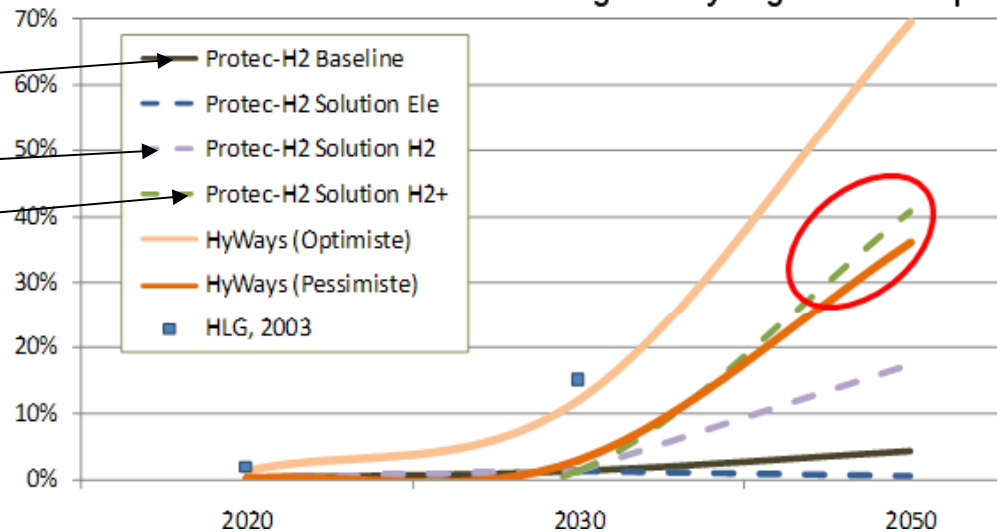
« BAU », raréfaction *naturelle* des ressources
pétrolières

Contrainte F4, rupture côté demande

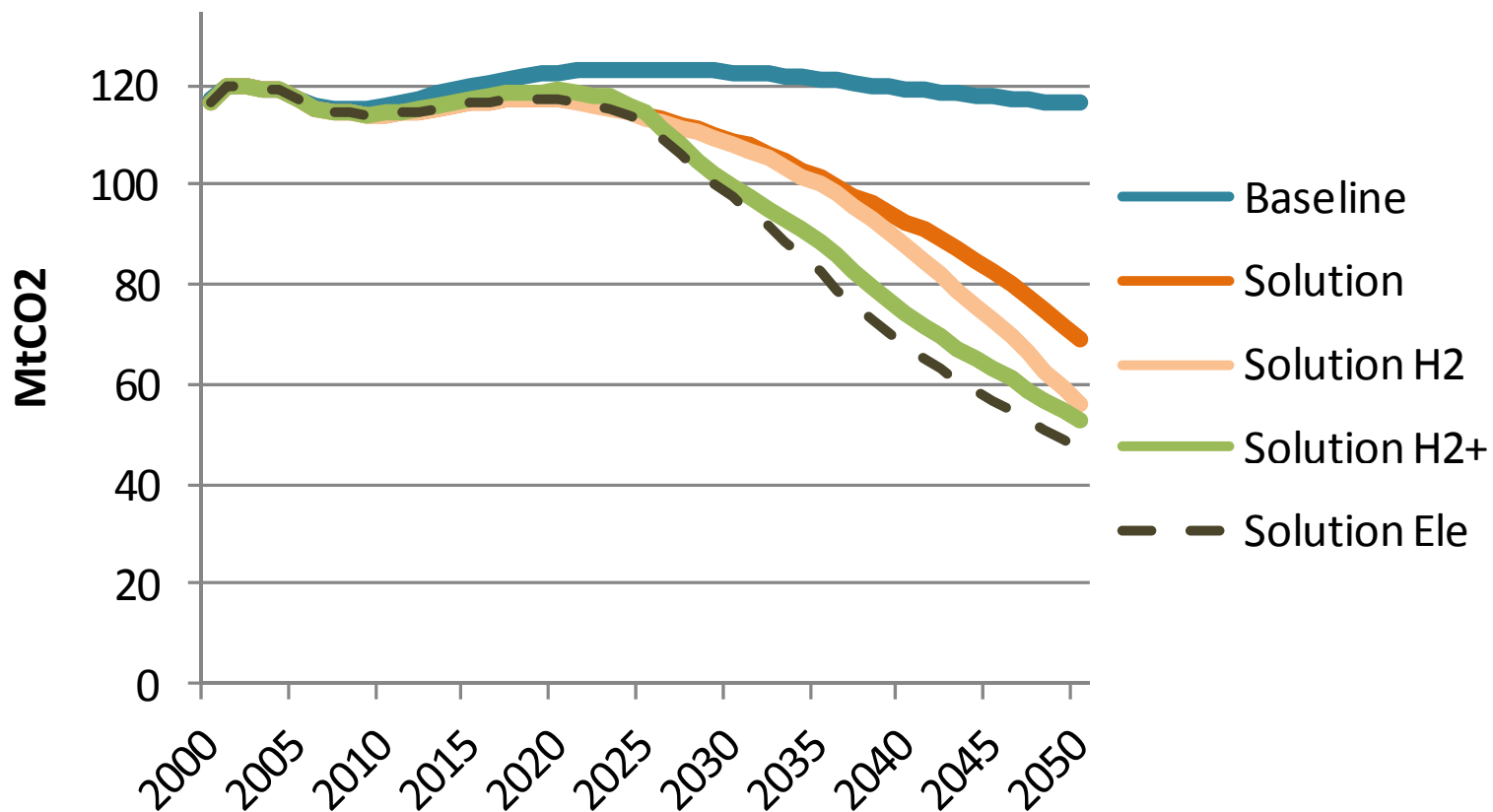
Idem, plus rupture côté offre et politique
incitative

« Solution ele » : idem H2 pour voitures
électriques

Part de marché des véhicules légers à hydrogène en Europe



Conséquences émissions CO2 PROTEC H2



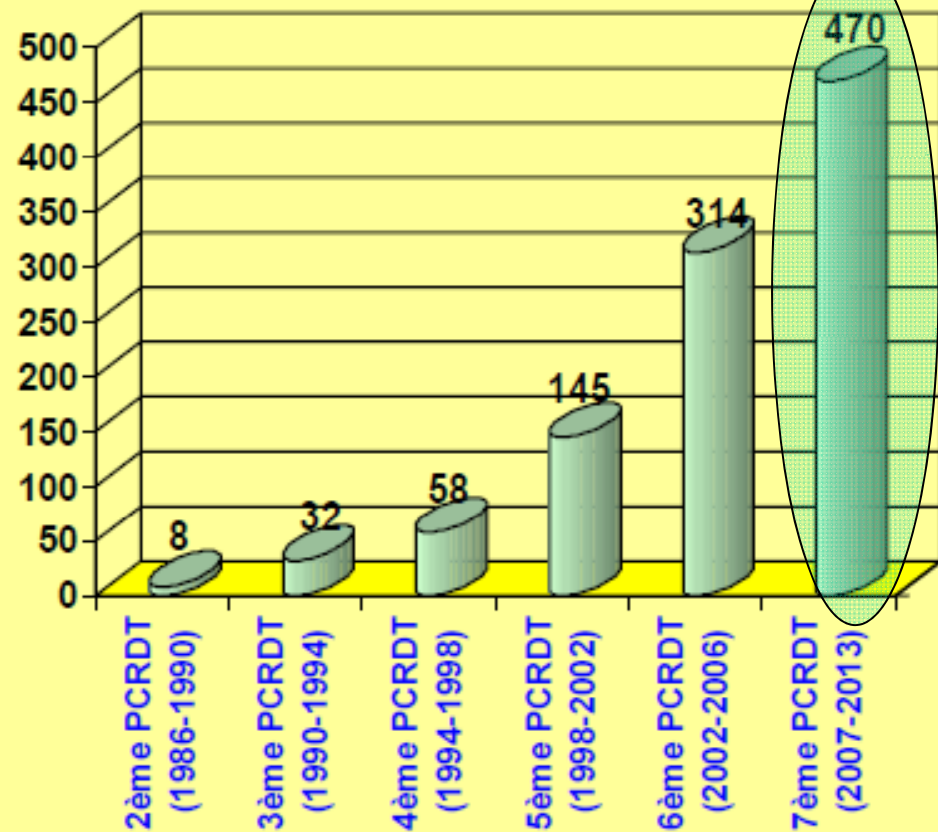
Emissions totales (inc. Indirectes) des transports routiers en France

Tour d'horizon des efforts nationaux, européens et internationaux

Janvier 2004 : Lancement de la plate-forme technologique européenne sur l'hydrogène et les piles à combustible

European H2 and Fuel Cells Technology Platform

Evolution des financements UE sur H2/PAC au travers des PCRDT (M€)



- **Recherche**
 - CEA recherche technologique : leader en Europe
 - 200 personnes, résultats prometteurs, excellence reconnue par les pairs
 - CNRS/Universités: recherche amont de premier plan sur les membranes, les matériaux, les procédés, la compréhension
- **Industrie:**
 - Des poids lourds: Air Liquide, Areva, St Gobain, Total, Snecma, GDF
 - PSA engagé mais a niveau inférieur aux autres constructeurs
 - Un tissu de PME mais insuffisamment mobilisés
- **Régions: manque de démonstrations mais motivation forte**
 - Des opérations de démonstrations naissantes
 - Sensibilisation/mobilisation des régions
- **National: peut beaucoup mieux faire**
 - ANR soutient des projets
 - Projet H2E soutenu par OSEO
 - Adme
 - H2 et Pac pas mis en priorité au sein du Grenelle

Plate forme Française HYPAC

Et tout récemment : création de l'AFHYPAC

En résumé

Une dernière décennie riche en évaluations prospectives de déploiements des technologies de l'hydrogène : institutions internationales (scénarios *AIE*, *WETO-H2*), *projets européens* (HyWays, Roads2HyCom) et nationaux (HyFrance, PROTEC-H2).

Taux de déploiements : de quelques pourcents jusqu'à 30 à 40 % du marché en 2050, 70 % dans les conditions les plus favorables des projets HyWays et HyFrance / compétitivité promise pour les transports

Décollage du marché : 2020 ou 2030 suivant les cas ; mais récentes initiatives européennes et mondiales plus volontaristes

Contribution à la réduction des émissions des gaz à effet de serre : facteur 2, tout du moins dans les transports, suivant les scénarios les plus optimistes.

Nécessité d'une augmentation considérable d'ici 2050 des moyens de production (3 fois la production totale actuelle dans le cas du scénario « bas » du projet HyFrance par exemple) ; création de réseaux de distribution : en tous cas si l'on envisage de forts taux de pénétrations

Le marché de l'hydrogène existe dès aujourd'hui, la production d'hydrogène est une réalité industrielle ; le marché de l'hydrogène énergie n'est pas le seul marché pour les années à venir (besoins pour le raffinage ; sidérurgie ?)

De nombreux défis restent à relever pour que l'hydrogène devienne le vecteur énergétique à venir : critères énergétiques, économiques, environnementaux

Les études « système » sont indispensables, tant en ce qui concerne les émissions de GES que pour l'évaluation globale des rendements et des coûts globaux, « du puits à la roue » :

- nécessité de production avec émissions les plus faibles possible de GES
- objectifs de coûts globaux très serrés, en regard des coûts de production actuels (notamment par électrolyse) et futurs ; impact possible fort du transport en fonction de la stratégie choisie
- importante variabilité des coûts en fonction des systèmes incluant le couplage à l'énergie primaire et les quantités à produire (projet HYTHEC, EHT), le besoin éventuel en stockage, et des évolutions de coûts des matières premières (gaz, électricité).

