

Bernard BOURGEOIS,
Economiste (chargé de recherche CNRS)
UPMF/ LEPII-EPE/ INERA

Du concept de « L'économie de l'hydrogène » aux usages commerciaux de l'hydrogène et des PAC

RHONALPENERGIE- Environnement- Colloque « La pile à combustible à partir d'hydrogène renouvelable » -Grenoble- ENSIEG/INPG- 30 Mars 2004-15H40-16H00

Le concept de l'économie de l'hydrogène

- Il repose sur deux anticipations :
 - Il est possible de produire de l'hydrogène énergie un peu partout dans le monde à des conditions économiques et environnementales acceptables
 - Le moyen le plus efficace pour transformer ce vecteur énergétique en énergie utile (électricité et chaleur) : les piles à combustible vont progressivement se substituer à tous les autres systèmes de conversion d'énergie.
- Mais cette révolution par rapport au système énergétique existant s'inscrit dans une transition de très long terme (D.Clément,2004).
Comment imaginer et construire cette transition?

H2 et PAC : des attentes élevées dans la région grenobloise

Des compétences dans l'agglomération...

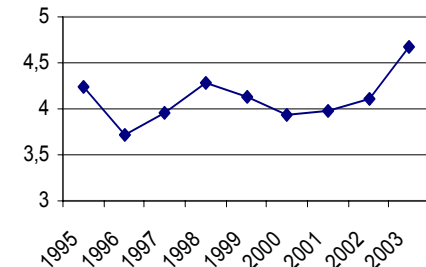


INITIATIVES
NOUVELLES
ENERGIES
RHÔNE-ALPES



...et des problèmes spécifiques de pollution atmosphérique dans l'agglomération...

Indice Atmo Agglo Grenobloise
Moyenne annuelle



Source : d'après Ascoparg



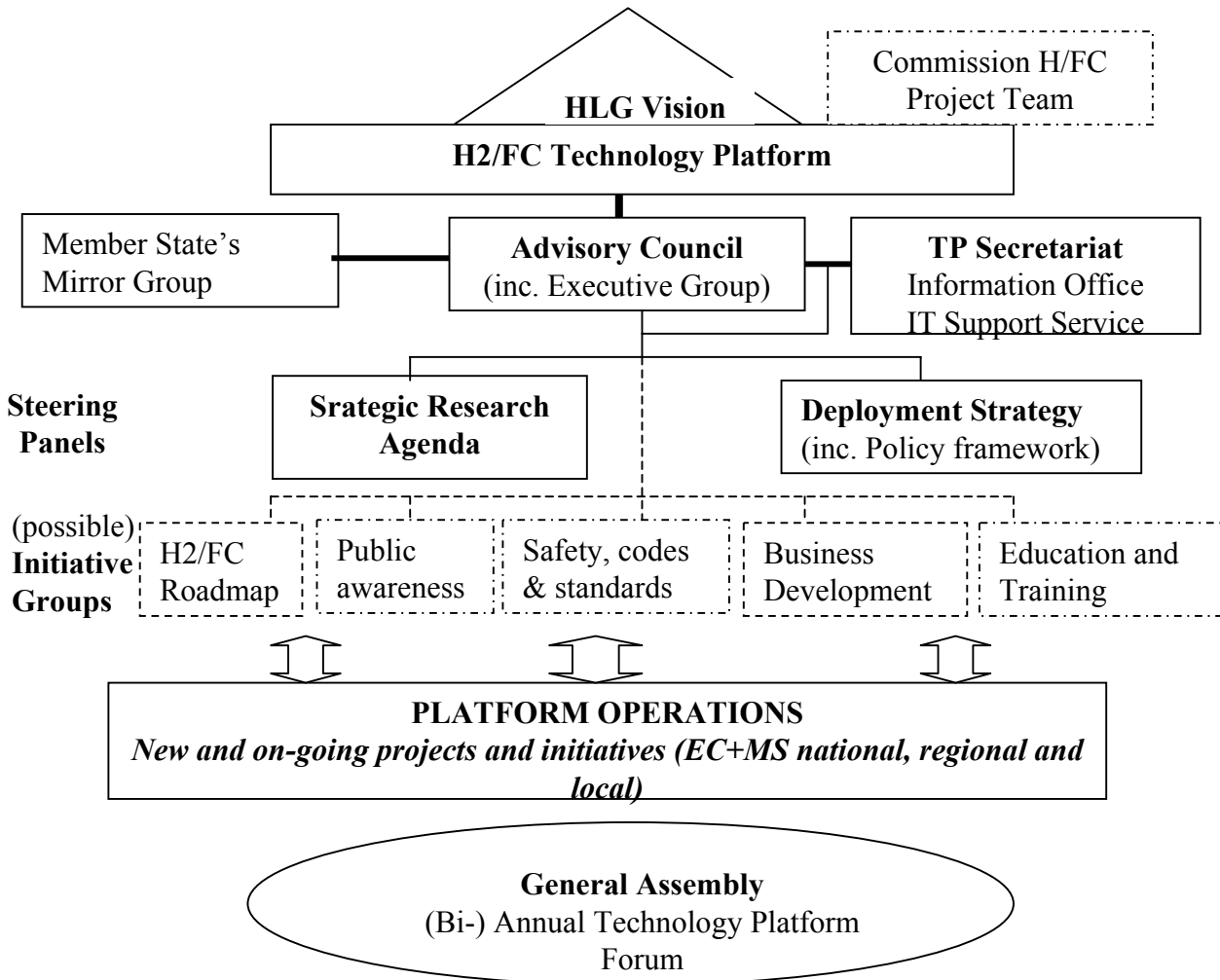
H2 et PAC : des attentes également très élevées à l'échelon international

- Des succès médiatiques importants :ex J.Rifkin
- En 2003, des conférences internationales nombreuses sur H2 et PAC : Bruxelles: H2 et PAC, 16/17 Juin, Grenoble, H2 énergie, 3/4 Septembre, Washington- IPHE, novembre 
- Des affichages américains et européens très ambitieux de programmes de R&D
- D'innombrables partenariats industriels internationaux







Structures et organisation de la Plateforme Technologique Européenne H2/FC- début 2004

« I see the Technology Platform as a focal point for building the momentum, trust and cooperative spirit that can lead to a fully integrated European Research Area » Busquin, 20 th January 2004



Mais les décideurs publics nationaux restent souvent hésitants pour accroître sensiblement la R&DD H2/PAC à cause des limites actuelles de ces technologies

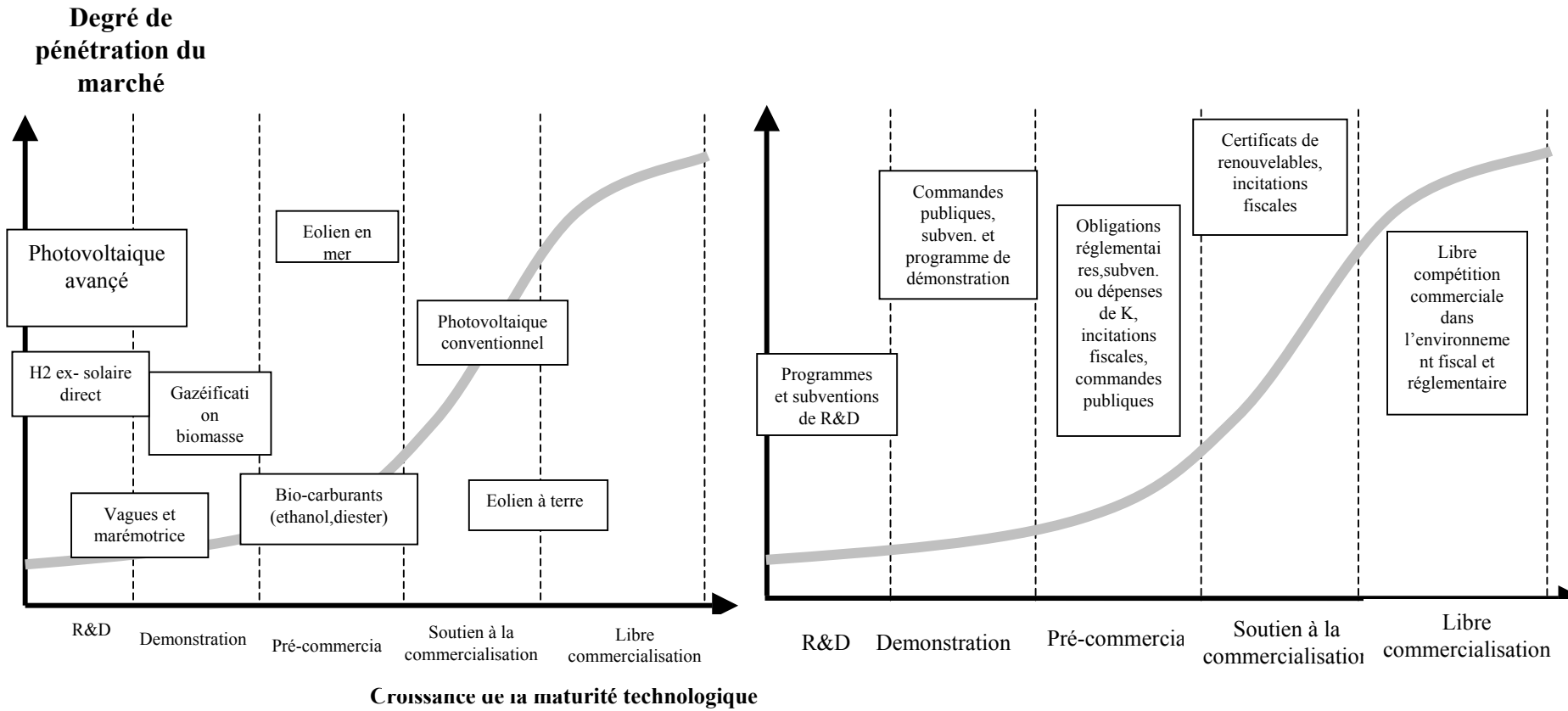
-le cas de l'hydrogène-

- **Production d'H2** : Dans les technologies actuelles le dilemme Coût/émissions de CO2 
- **Dilemme économique** : Infrastructure de transport/distribution/stockage d'H2/PAC /Réformeur+ PAC 
- **Stockage/déstockage** : les techniques actuelles encore peu performantes 
- **Sureté**, normes, acceptation sociale 

Production (1): L'inégale maturité des technologies d'énergie renouvelable, et les politiques technologiques adaptées

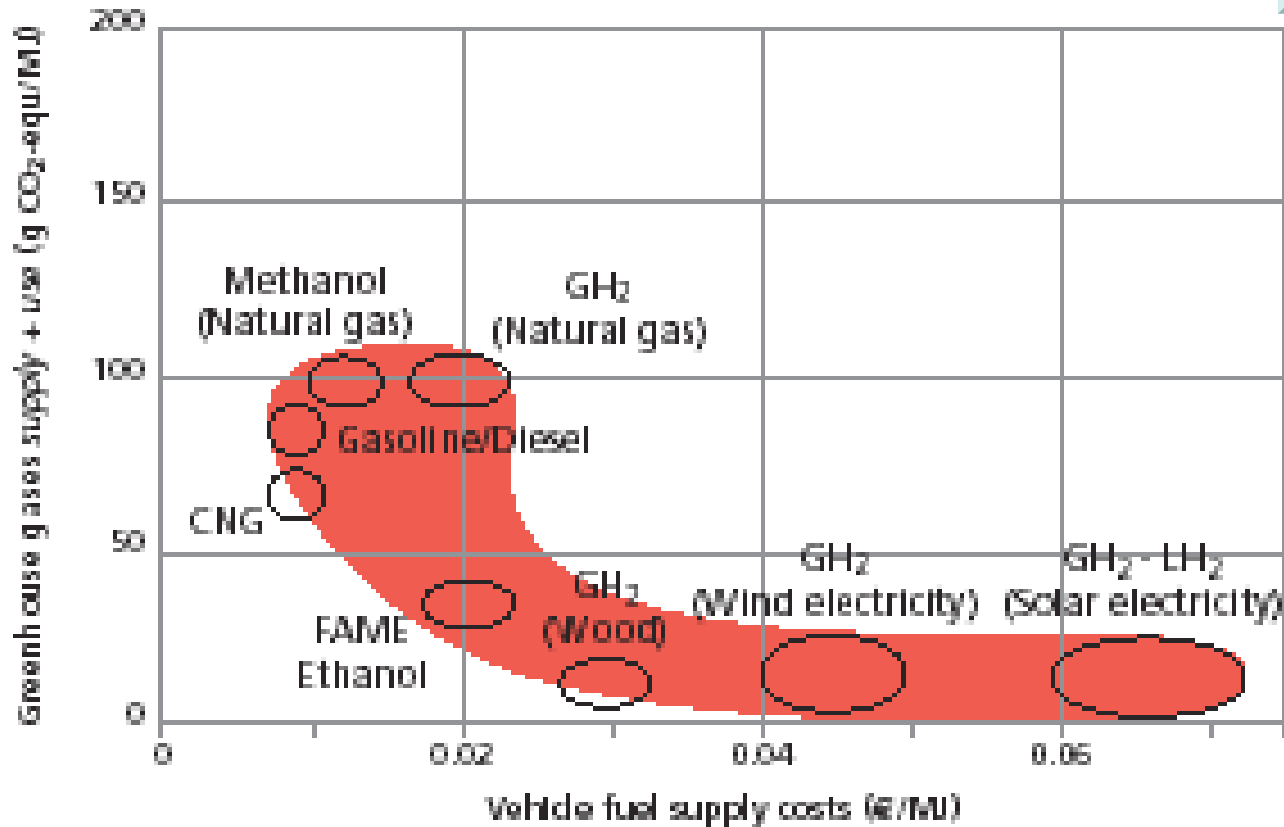
Positionnement des technologies des renouvelables dans le cycle de vie, à l'année t

Sélection des instruments de politique publique et étapes du cycle de vie des technologies



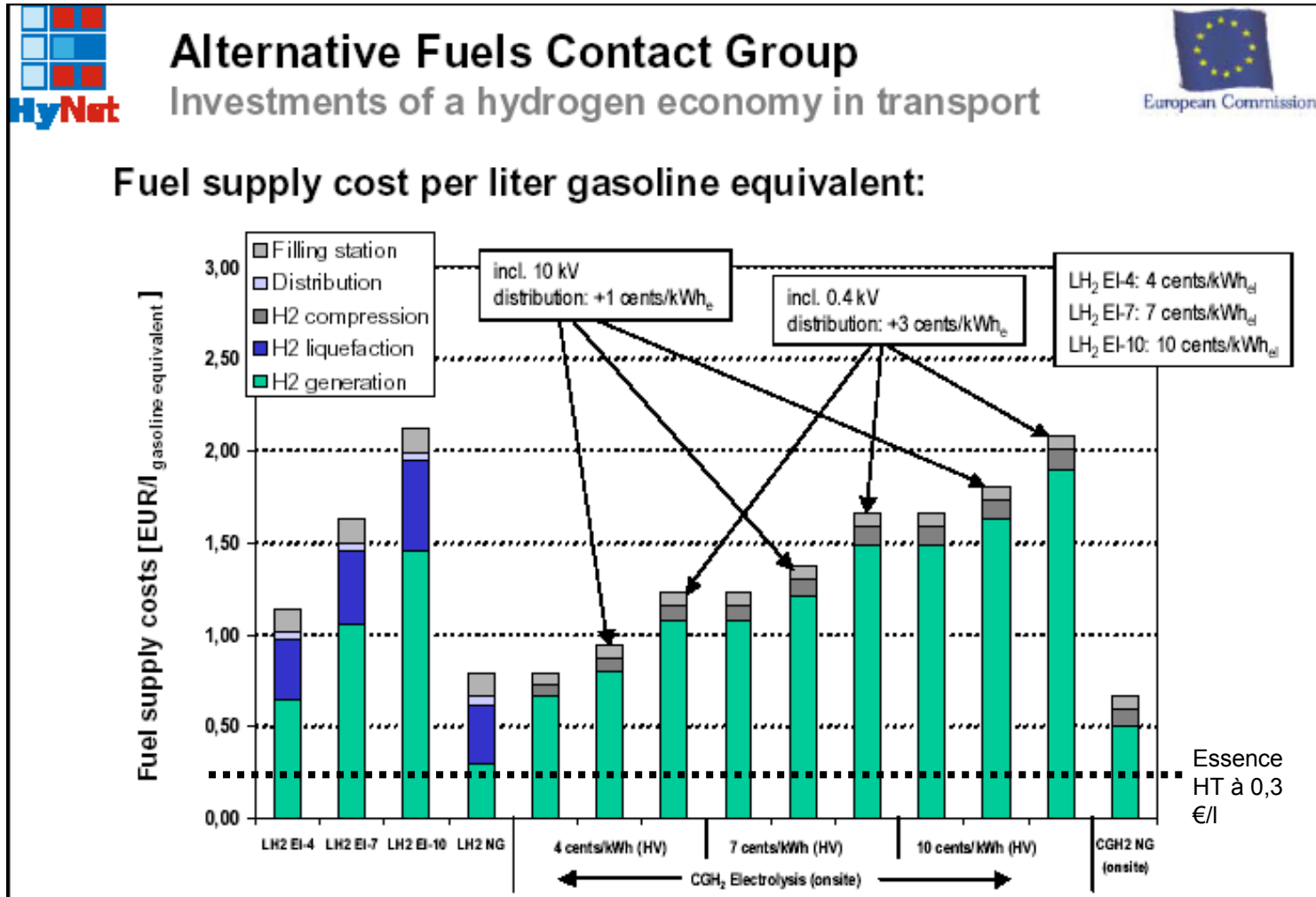
Production de H2 (2) : le dilemme actuel coût/émissions de CO2

Specific greenhouse gas emissions supply and use – as a function of vehicle fuel supply costs



Source :EC, HLG,2003, Hydrogen energy and fuel cells – A vision of our future, p.27

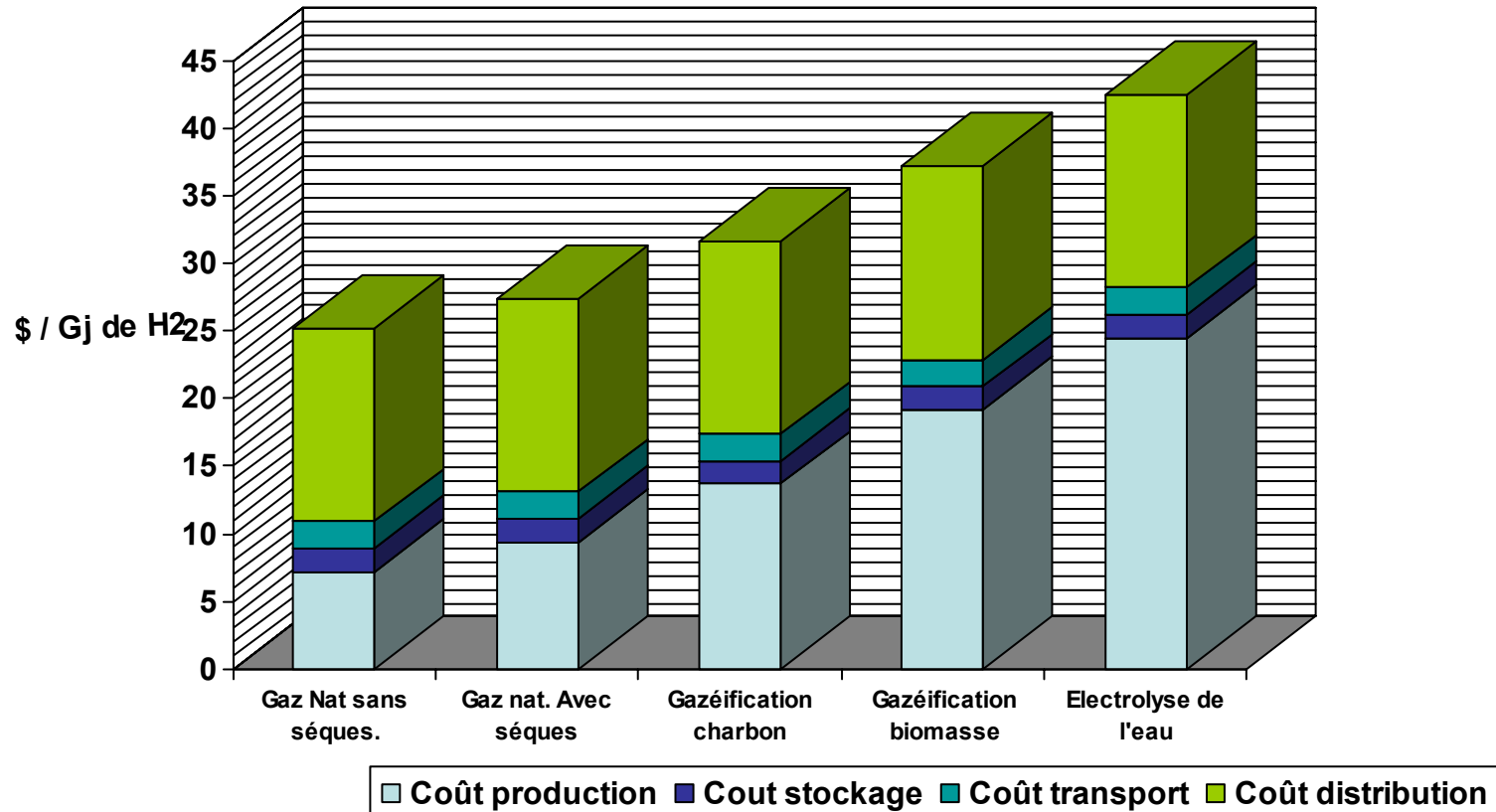
Production et distribution de H2 (3) : Coûts européens estimatifs de la fourniture de H2 ex-renouvelables (2)



Source : Contact Group, 2003, Market development of alternative fuels

Production, distribution de H2 (4) : Les prix de revient à la pompe estimés par IFP/Total/CEA/AFH2(2002)

Estimation du prix de revient de H2 à la pompe



Production et distribution de H2 (5) : Coûts américains estimatifs de la fourniture de H2 ex-renouvelables

(Rappel : 1 kg de H2: 100km pour voiture- 1kg de H2= 0,00286 tep= 0,12 GJ)



- **Midsize Station** (21,6 T/day of H2, with 90% of load factor, fleet of 40 000 cars or 288 Mwhe/d and 216 Mwht/d)
- Natural Gas : CT avec prix du gaz à 3\$/MMBtu: 1,2 \$/kg H2; si 6\$/MMBtu : 1,7\$/kg H2
- Petroleum Products: Technically feasible – Economically : ?
- Solar Thermal heat: Technically feasible – Economically : ? *
- Biomass : (MS-Bio-C MS-Bio-F):
coûts de 7,04 aujourd'hui à 3,6 \$/kg H2; avec des coûts futurs de 50\$/tonne de matière sèche

• Distributed Station

(assumed 432Kg/day of H2, fleet of 800 cars; or 5,8 Mwhe/d and 4,3 Mwht/d)

- Natural Gas : CT avec prix du gaz à 4,5 \$/MMBtu: 3,1 \$/kg H2; si 8,5 \$/MMBtu : 4 \$/kg H2
- Petroleum Products: Technically feasible – Economically : ?
- Solar Thermal heat: Technically feasible – Economically : ?
- Water electrolysis from Wind Electricity (30% du temps): de 10,7 (C-sans grid back-up) à 2,86 (F-sans grid back-up) \$/kg de H2
- Water electrolysis from Photovoltaics Electricity (20% du temps) : from 28,19 to 6,18 \$/kg de H2, with a cost of PV kw : from 3,3 \$/watt (32 cents /kwh) to 1,1\$/watt (10 cents kwh)

(Central station : 1080T/d of H2, 2 millions cars)

•+ éventuellement H2 ex alcool de maïs

Formation de l'infrastructure de transport/distribution : les solutions américaines et européennes au dilemme de la poule et de l'oeuf



•USA : (NRC/NAE, 2004) –

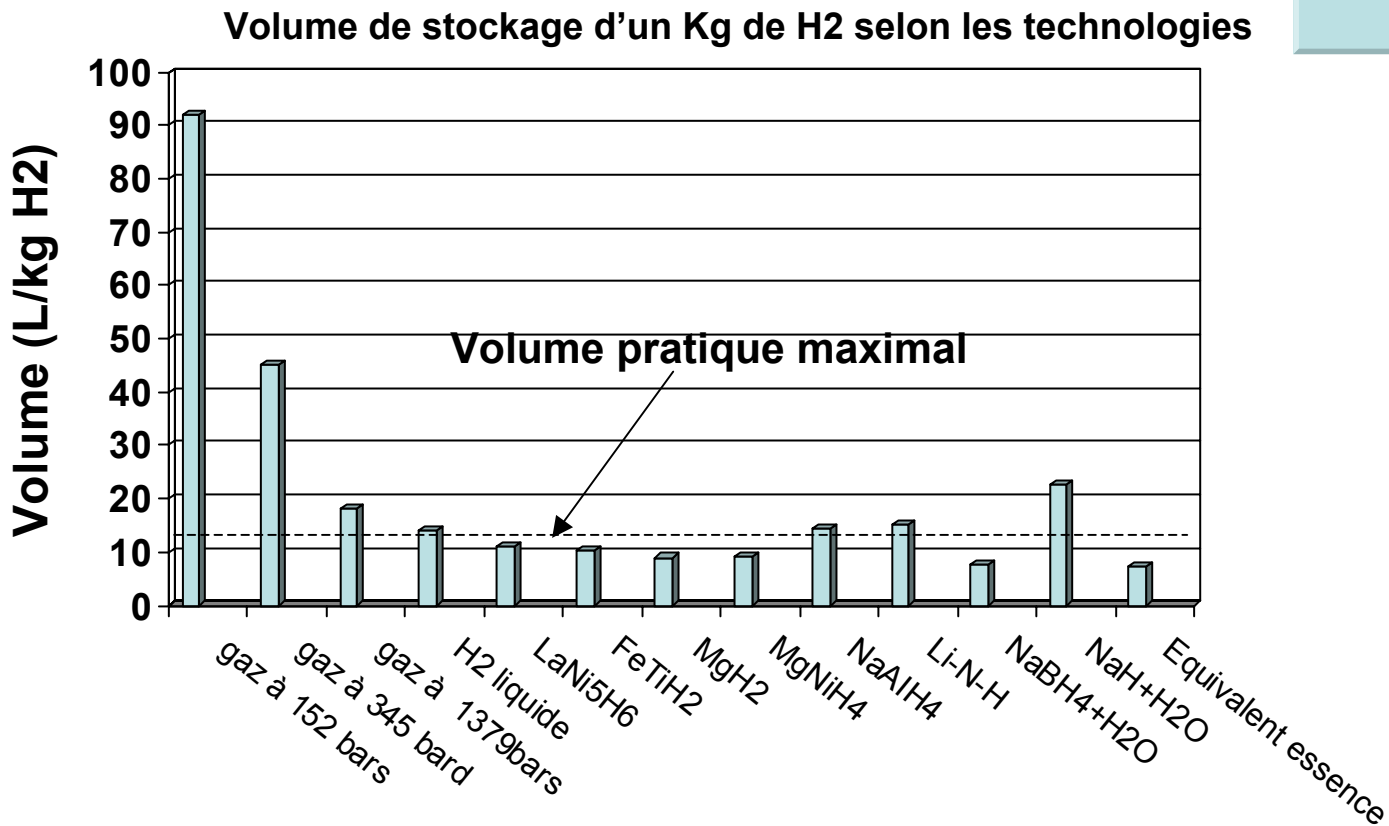
- Première installation de réseaux de production distribuée de H₂, permettant d'éviter les blocages probables de scénarios de production centralisée de H₂.
- Début avec de l'électrolyse de l'eau par de l'électricité ex-renouvelables dans des sites favorables.
- Le stade du réseau centralisé ne peut être aujourd'hui complètement identifié et défini.

Union Européenne : perspectives dépendant de la future roadmap(2006); mais des projets sont lancés (Ex: Projet « Virtual Power Plant » de 31 PEMFC -Valliant et Plug Power + gaziers);et comme aux USA on pense pallier à l'intermittence de la fourniture électrique des renouvelables par le stockage journalier/hebdomadaire (?) de l'hydrogène produit par électrolyse

Contraintes stockage

-cas des stockages embarqués dans des véhicules-

«Current storage systems are too heavy, too large, and too costly » -DOE Hydrogen Posture Plan, p.9



Source : d'après F.E.Pinkerton, Brian G.Wicke, Bottling the hydrogen genie

Contraintes sécurité/acceptation sociale

- **Propriétés physico chimiques de H₂** : avantages propreté et forte densité massique (140 MJ/kg contre 46 pour l'essence) ; mais inconvénients : faible densité volumique (90g/m³), et risque d'inflammabilité, explosibilité : gaz inodore, non odorisable .

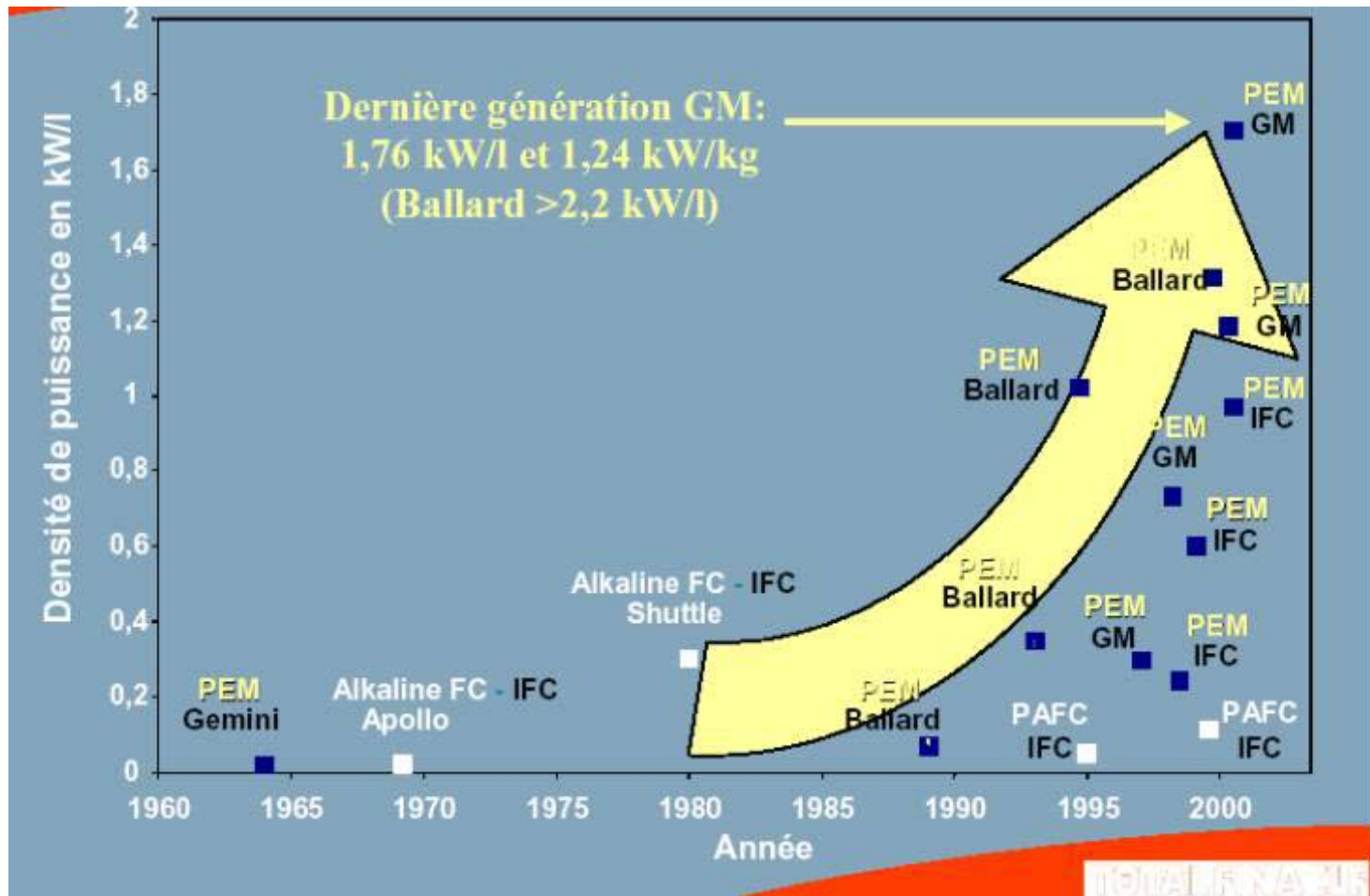
-« *Industrial experience has shown that 22% of hydrogen accidents are caused by undetected leaks, despite the standard operating procedures, protective clothing, and electronic flame and gas detectors provided to the limited number of specially trained hydrogen workers* » (Russel Moy, 2003) D'où le développement des « **Capteurs électroniques** »

-Aux USA, risques civils devant les tribunaux de : negligence (*result from abreach of a duty of care*), responsabilité de produits (*a dangerous defect of the product caused the injury*), activité anormalement dangereuse ; «**Consequently , an economic analysis of the potential liability costs of the hydrogen economy is relevant** » (Russel Moy, p.357). Risques de coûts supplémentaires du fait de primes d'assurance

Plus largement, la sociologie de l'innovation conduit à la représentation des innovations techniques réussies comme étant des **compromis socio-technique** (B.Latour) entre scientifiques, ingénieurs et adopteurs/clients, surtout dans le cas d'innovations majeures.

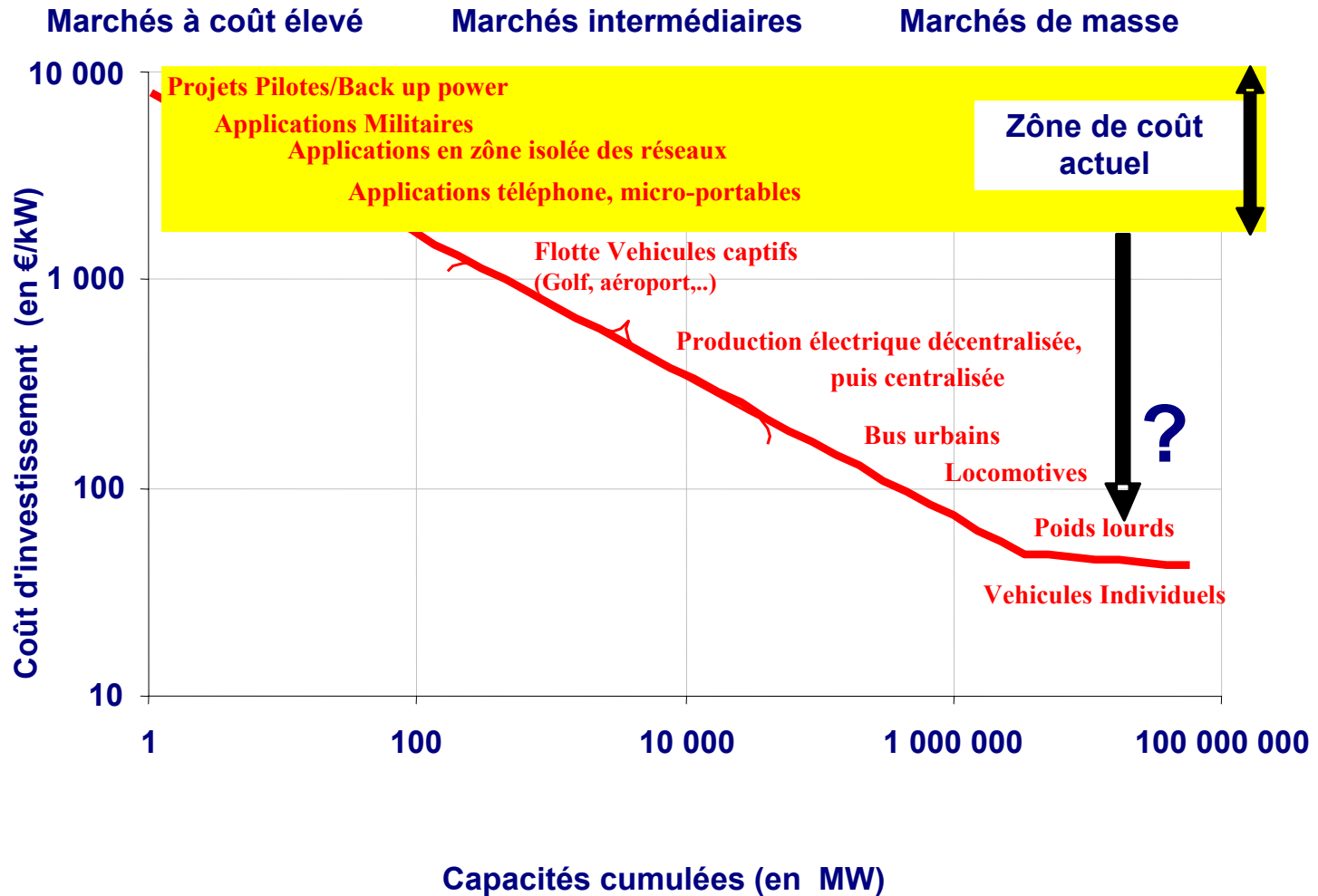


Les limites des PAC : Des progressions importantes des performances dans les PAC, mais exemple : la densité de puissance



Source : D. Le Breton, Mission Piles à Combustibles, Total Fina Elf, 13 Décembre 2001, Le choix d'un vecteur énergétique

Comment passer des niches initiales aux marchés de masse ?



Du concept technologique à la commercialisation des technologies H2/PAC : quelles options pour les pays ?

Quelles options sur les objectifs prioritaires de développement technologique ?

- PAC ou H2; PAC et H2
- Production d'hydrogène : électrolyse ou thermolyse, ex- énergies renouvelables, charbon , ou réacteur nucléaire HT

Quelles options sur les politiques nationales d'apprentissage ?

- Stratégie 1-L 'apprentissage « volontaire » par les grands programmes à moyen et long terme : ex programme Bush H2/coal
- Stratégie 2-L 'apprentissage progressif par la recherche exploratoire et l'hybridation des systèmes existants : ex des véhicules hybrides, turbines à gaz à hydrogène et turbomachines; options de court/moyen terme des technologies hybrides face aux options de long terme des piles à combustible

Quels choix pour la France ?

Une certitude : augmenter les investissements

publics dans l'étape actuelle de l'émergence des deux innovations radicales, à tous les échelons , européen, national, régional et local- Problème de coordination et de partage des coûts et risques entre institutions publiques dans la longue période de transition-

Un problème majeur : comment augmenter fortement la R&DD H2/PAC en France ?

(Niveau et structure du budget de RDD publique énergie)

Une solution possible : une coopération accrue à l'échelon européen ?

(1-to define a strategic research agenda , 2-to demonstrate and deploy the various components of the hydrogen option through very large scale "lighthouse" projects ,3-Finally, we will have to deal as of now with the regulation and standardisation aspectsto be incorporated in a "road map" – Busquin –June 2003)

Pour aller plus loin : références bibliographiques

Alleau T., 2003, A state-of-the-art of hydrogen and fuel cells technologies: diffusion perspectives and barriers, Chapter 1 in Avadikyan, et al, 2003

Association Française de l'Hydrogène , AFH2, Paris, <http://www.afh2.org/>

Avadikyan A., Cohendet P., Héraud J.A., (Eds.),2003, The Economic Dynamics of Fuel Cell Technologies, Springer, 237 p.

Ballay R., 2003, Impacts and experience learnt from public policy support to fuel cell technology development, The case of the French Fuel Cell Research and Innovation Network, Communication to EHEC 2003, Grenoble, September 4, 2003

Breakthrough Technologies Institute , 2003, Fuel Cells at the Crossroads, Attitudes Regarding The Investment Climate For the US Fuel Cell Industry and a Projection of Industry Job Creation Potential, A report for Argonne National Laboratory, Avril 2003, <http://www.fuelcells.org/economicstudy.pdf>

Clément D., 2003, Si les voitures roulaient à l'hydrogène ? Ou L'hydrogène : une énergie pour demain, Conférence, Mardi 7 Octobre 2003, 20H30, Cité des Sciences, Paris, http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/college/flash.htm

CNRS, Catherine Pagan, 2004, Sur la piste de l'hydrogène, Le journal du CNRS, 2 février 2004

European Commission, 2003, « The Hydrogen Economy, a bridge to sustainable development », Bruxelles 16 et 17 juin 2003, : <http://www.cordis.lu/sustdev/energy/h2.htm>

Haigneré C., 2003, Role of hydrogen in the French national energy strategy, [EN](#) (PDF - 30Kb) - [FR](#) (PDF - 36Kb), Minister for Research and New Technologies (PDF - 36Kb), Communication to the European Conference , « The Hydrogen Economy, a bridge to sustainable development », Bruxelles 16 et 17 juin 2003,

Hoffman P., 2001, Tomorrow's Energy : Hydrogen, Fuel Cells, and the Prospects for a Cleaner Planet, MIT Press, Cambridge, 2001,

Réseau PACo : www.reseaupaco.org

Rifkin J., 2002, L'économie hydrogène, Après la fin du pétrole, la nouvelle révolution économique, La Découverte, Paris, 334p.

Rifkin J., President of the Foundation on Economic Trends (FOET), USA, 2003 [The Dawn of the Hydrogen Economy](#), Communication to the European Conference , « The Hydrogen Economy, a bridge to sustainable development », Bruxelles 16 et 17 juin 2003,

Rubbia, C., 2003, Hydrogen at crossroads between science and politics, Communication to the European Conference , « The Hydrogen Economy, a bridge to sustainable development », Bruxelles 16 et 17 juin 2003

IFP, Total, CEA, AFH2, 2003, [Etude technico-économique prospective sur le coût de l'hydrogène](#), Rapport publié dans : AFH2, 2004, [Etude technico-économique prospective sur le coût de l'hydrogène](#), Memento de l'Hydrogène-Fiches Techniques, Chapitre 10 - http://www.afh2.org/archive/etude_eco_11_2003.pdf

Références bibliographiques (suite et fin)

Pablo Fernandez Ruiz, 2004, Commission View of the Technology Platform Structure and Organisation, European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform ,First General Assembly 20-21 January 2004

European Commission, 2004, THE EUROPEAN HYDROGEN AND FUEL CELL TECHNOLOGY PLATFORM-2nd MEETING OF THE ADVISORY COUNCIL, Brussels, 21 th January 2004,

<http://forum.europa.eu.int/Public/irc/rtd/eurhydrofuelcellplat/library>

EC, HLG,2003, Hydrogen energy and fuel cells – A vision of our future

Moy Russell, 2003, Tort laws considerations for the hydrogen economy, Energy Law Journal, 24(2), p.349- 363

Frederik E.Pinkerton, Brian G.Wicke, Bottling the hydrogen genie, The Industrial Physicist,

<http://aip.org/tip/INPHFA/vol-10/iss1/p20.html>

Contact Group (European Commission), 2003, Market development of Alternative Fuels, Report of the Alternative Fuels Contact Group, December 2003, http://europa.eu.int/comm/energy_transport/envir/2003_report_en.pdf

United States Department of Energy, 2004, Hydrogen Posture Plan- An Integrated Research , Development and Demonstration Plan, February 2004,

:http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/hydrogen_posture_plan.pdf

NRC/NAE, 2004, 380 p., « The hydrogen economy : opportunities, costs, barriers and R&D needs », The National Academy Press, <http://www.nap.edu/openbook/0309091632/html/R1.html>

P.Lucchese, 2004, Hydrogen Production Innovative Processes High Temperature Routes Paul Lucchese France fuel cell program manager Technology Platform First General Assembly January 2004 Brussels

Paulmier P., Marketing Sales Director Axane Fuel Cell Systems, 2004, Integration hydrogen production regional local communities Hydrogen Technology Platform First General Assembly January 2004 Brussels , 2003,

Imperial College London, Centre for Energy Policy & Technology (ICEPT) and E4tech Consulting, for the UK Department of Trade and Industry (DTI),2003, The UK Innovation Systems for New and Renewable Energy Technologies

French members of The Advisory Council of the **European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform -**

FLORETTE Marc , Gaz de France, VP Research

BEUZIT Pierre ,Renault, VP Research

BALLAY Roger , Independent Consultant (Nominated by ADEME)

BUGAT Alain, French Atomic Energy Commission (CEA)

FROIS Bernard ,Ministry of Research Director Energy Department Chairman of MS Mirror Group