

Pour célébrer les 150 ans de l'École Centrale de Lyon



Cycle : Énergie : quelles nouvelles techniques ?

Hydrogène et piles à combustible : L'hydrogène, vecteur énergétique, tiendra-t-il toutes ses promesses ?

par François Le Naour et Pierre Serre-Combe, Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)

www.efferve-sciences.ec-lyon.fr





L'hydrogène, vecteur énergétique, tiendra t'il toutes ses promesses ?

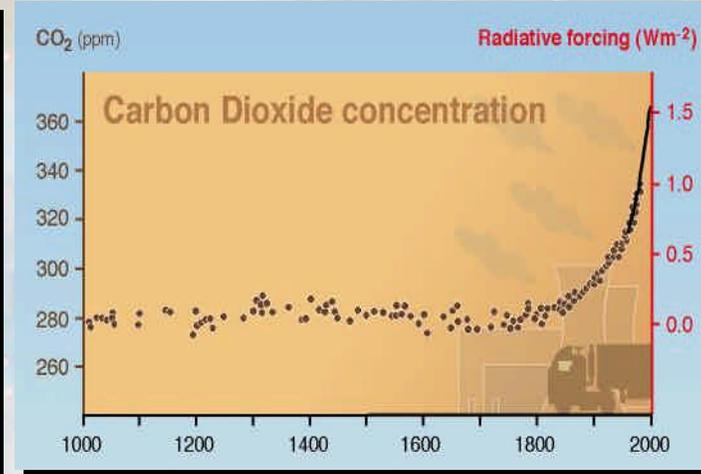
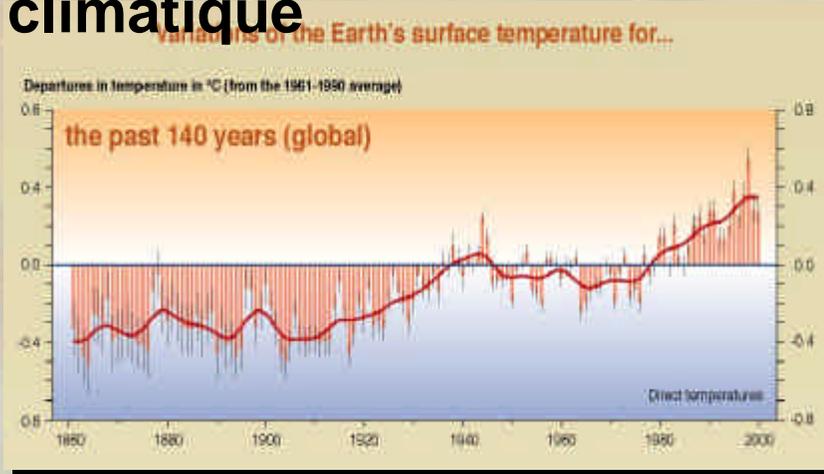
Pierre SERRE COMBE
Responsable du Programme
Technologies de l'hydrogène
CEA

François LE NAOUR
Responsable du programme
Production d'hydrogène
CEA

La problématique énergie



● Augmentation des gaz à effet de serre et réchauffement climatique



Source : GIEC

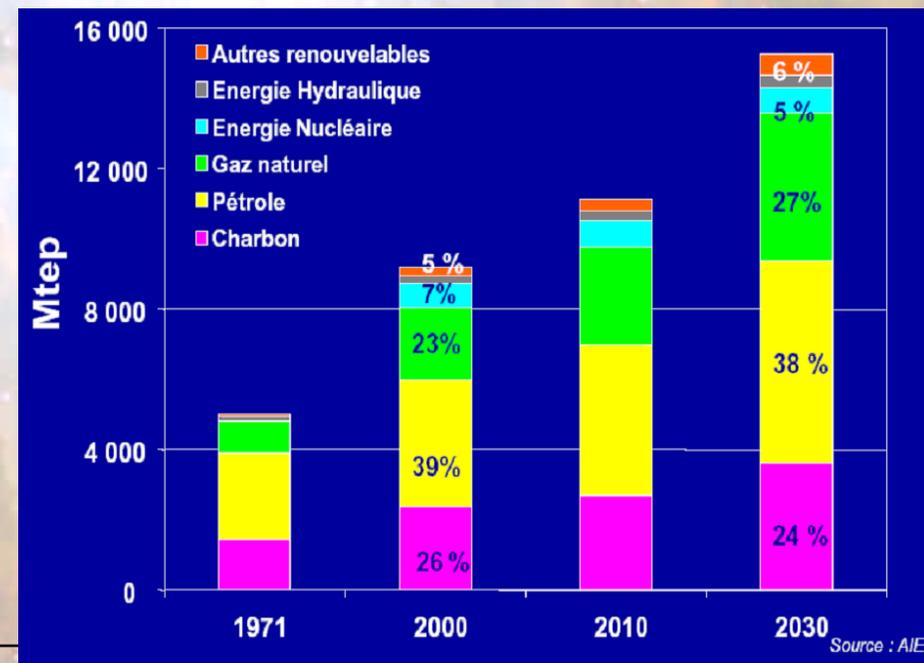
● Raréfaction des ressources en énergie fossile



Source : CEA
© www.cea.fr - 2003

DES RÉSERVES D'ÉNERGIES POUR COMBIEN DE TEMPS ?

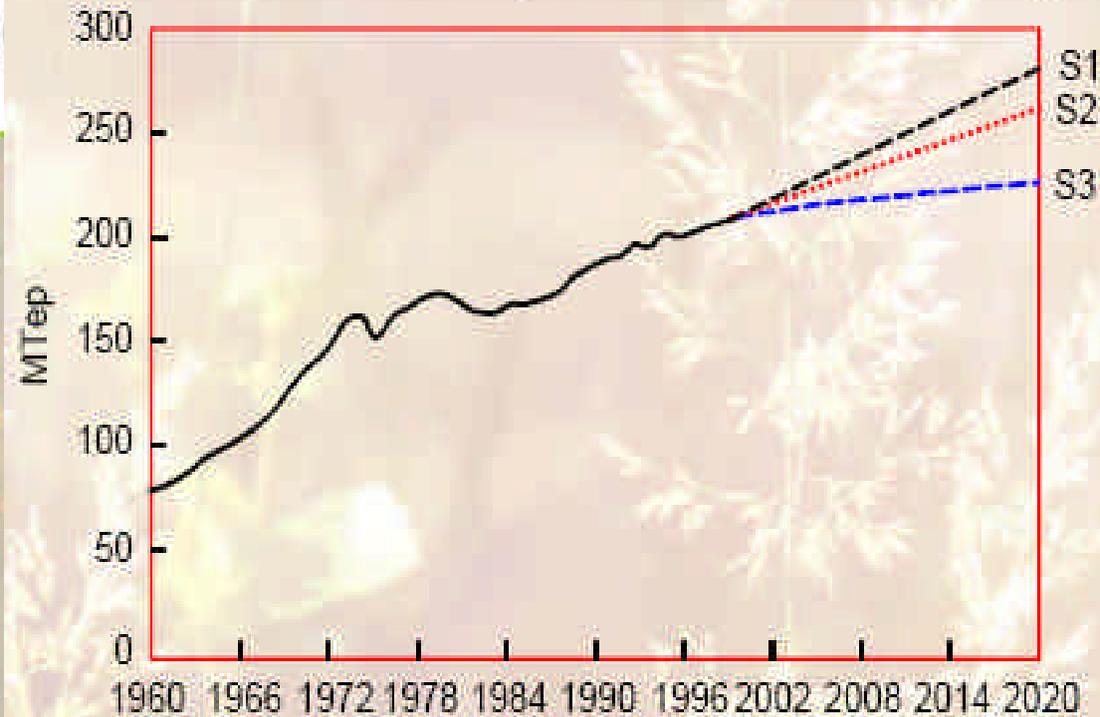
● Demande mondiale en énergie en croissance



Source : AIE

Les Scénarios énergétiques en France

Consommation d'énergie finale en France (MTep)



Commissariat du Plan "Énergie 2010-2020"

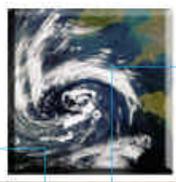
- Consommation a triplé entre 1960 et 2000 (40 ans !)
- Consommation totale d'énergie de la France en 2020 : de +9 % (S3) à +37 % (S1) par rapport à 1997
- Le **secteur des transports** connaît dans tous les cas

- une augmentation importante (jusqu'à + 57 % dans S1),
- alors que la croissance des consommations du secteur industriel reste modérée.

MTep	1997	2020-S1	2020-S2	2020-S3
Industrie + Agr.	61,1	76,2	73,4	65,1
Résid. Tertiaire	93,2	124,6	112,7	97,8
Transports	50,2	78,6	71,6	59,3
TOTAL	204,5	279,4	257,7	222,2

+43%

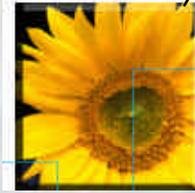
+20%



Exploiter des sources - Produire des vecteurs



Sources d'énergie



Pétrole

Gaz naturel

Charbon

Biomasse

Éolien

Hydraulique

Solaire

Nucléaire

+ géothermie, marée, ..

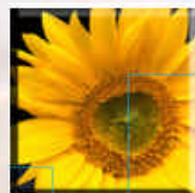
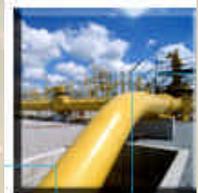
Carburants fossiles

Gaz naturel

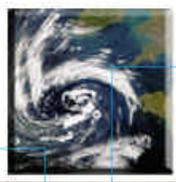
Charbon

Biocarburants

Électricité



Vecteurs d'énergie



Exploiter des sources - Produire des vecteurs



Sources d'énergie



Pétrole

Gaz naturel

Charbon

Biomasse

Éolien

Hydraulique

Solaire

Nucléaire

+ géothermie, marée, ..

Carburants fossiles

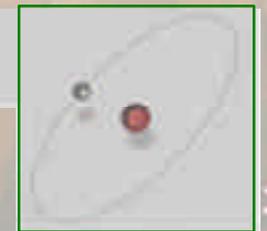
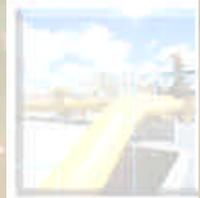
Gaz naturel

Charbon

Biocarburants

Électricité

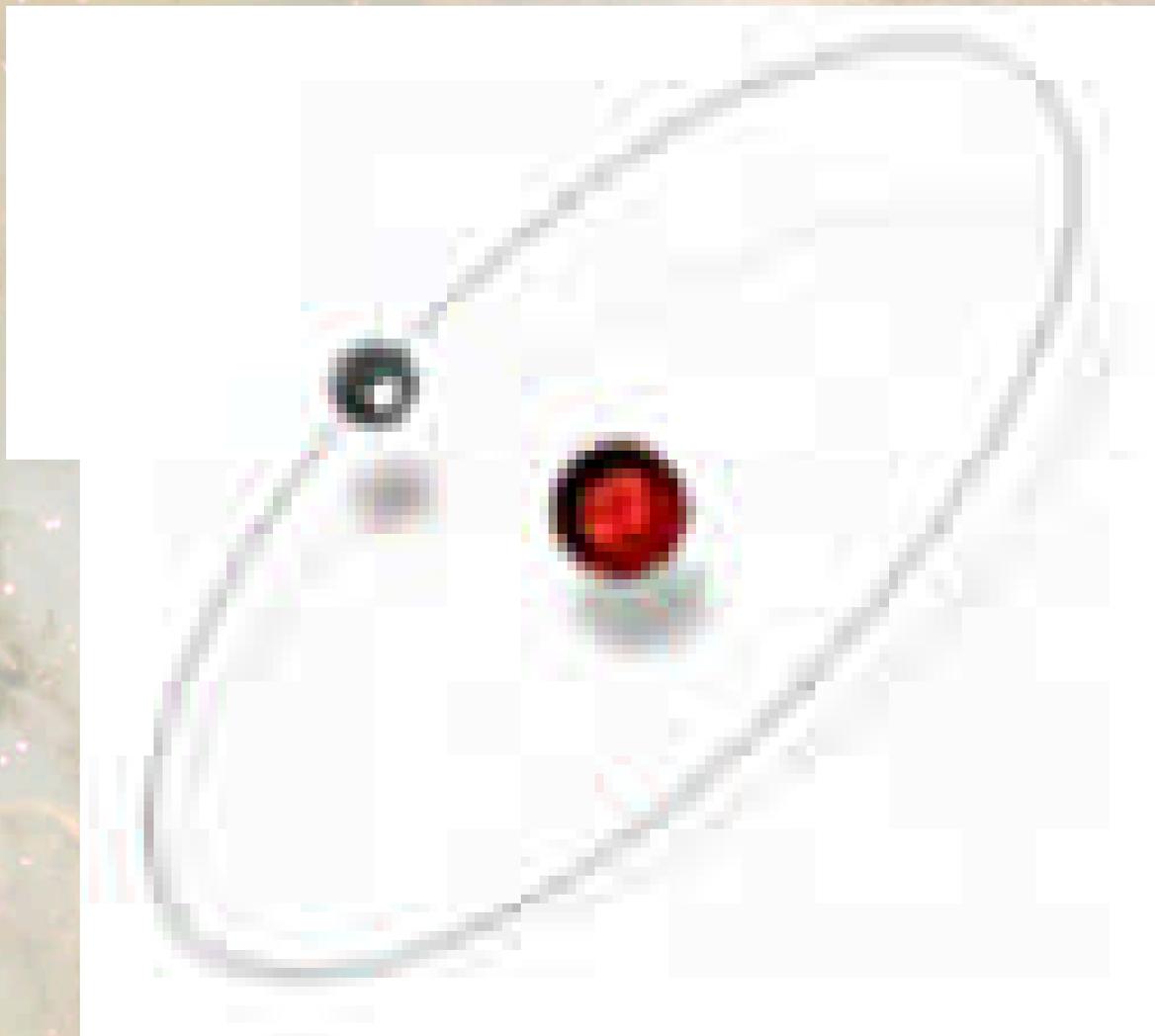
Hydrogène



Vecteurs d'énergie



Qu'est ce que l'hydrogène « énergie » ?



1 kg d'hydrogène, c'est :



25 litres à 700 bars



**20 kW.h électriques
en sortie de pile**



**2 jours d'autonomie
pour une maison tout
confort (hors
chauffage)**



**80 km pour un véhicule
de classe moyenne à
100 km/h**

Les motivations pour évaluer l'hydrogène



- Humaniste
 - Garantir la sécurité d'approvisionnement
 - Mieux préserver l'environnement
- Economique
 - Garantir un prix compétitif de l'Énergie
- Géopolitique
 - Garantir l'indépendance énergétique

21^{ème} s.
La planète
en danger ?

70's
(chocs pétroliers)

La filière hydrogène



centralisée

sur sites
par les EnR



Production



Les réseaux de
transport H₂



Stations
services H₂



Réseau de
distribution

Transport

distribution



stockage H₂
embarqué

Stockage



BMW hydrogen 7



La pile à
combustible

Conversion

Le paradoxe de l'hydrogène

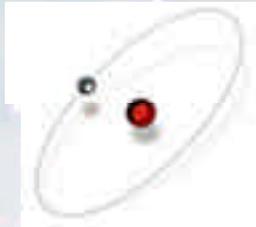
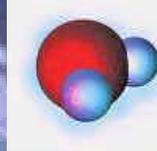
*L'hydrogène est l'élément le plus abondant de la planète ...
... pourtant il n'existe pratiquement pas à l'état pur dans la nature*



l'hydrogène est d'ailleurs l'ancêtre de tous les autres éléments.

PRÉSENT PARTOUT... MAIS DISPONIBLE NULLE PART

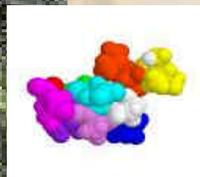
L'hydrogène est extrêmement abondant sur notre planète.. Mais bien qu'il soit l'élément le plus abondant de la planète, **l'hydrogène n'existe pratiquement pas dans la nature à l'état pur.**



Chaque molécule d'**eau** (H₂O) est le fruit de la combinaison entre un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogène. Or, l'eau couvre 70 % du globe terrestre.



On trouve également de l'hydrogène dans les **hydrocarbures** qui, comme leur nom l'indique, sont issus de la combinaison d'atomes de carbone et d'hydrogène

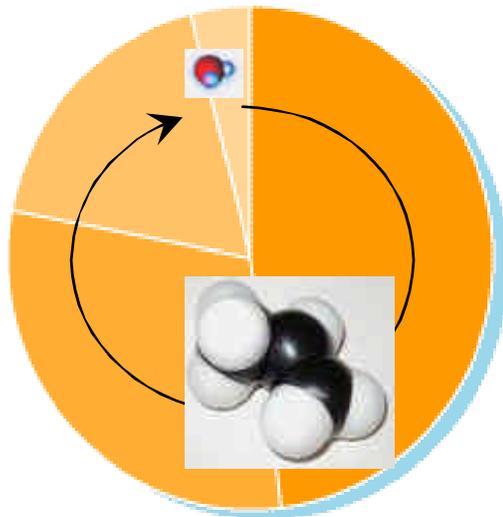


Enfin, tout organisme vivant, animal ou végétal, est composé d'hydrogène : la **biomasse** est donc une autre source potentielle d'hydrogène.

Production et utilisations de l'hydrogène aujourd'hui



■ Principales origines de l'hydrogène produit aujourd'hui dans le monde



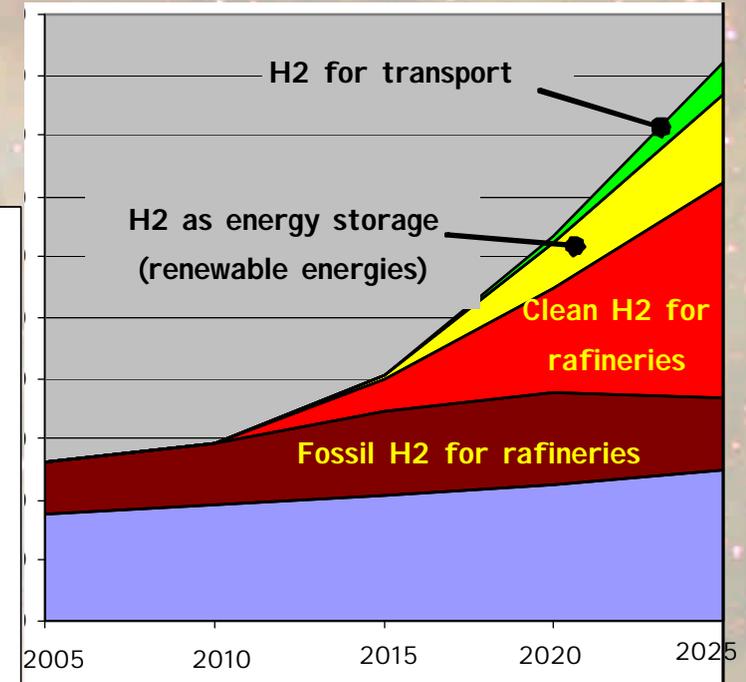
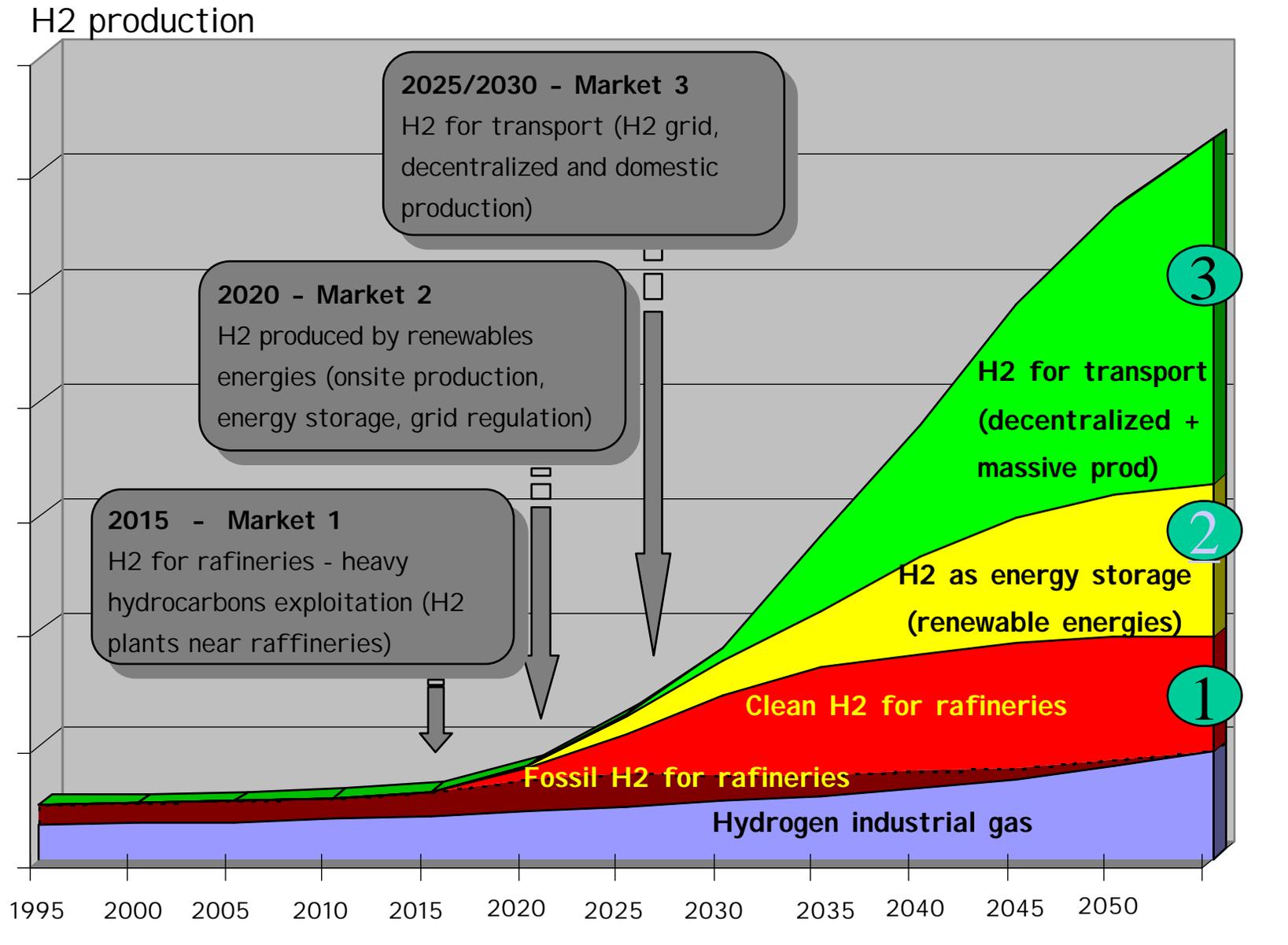
■	Gaz naturel : 48%
■	Hydrocarbures liquides : 30%
■	Charbon : 18%
■	Electrolyse : 4%

95% de la production est d'origine fossile

- Industrie chimique
 - ◆ production d'ammoniac NH_3
- Industrie pétrochimique
- Autres applications
 - ◆ Agroalimentaire
 - ◆ Verrerie
 - ◆ Construction mécanique/métallique
 - ◆ Semi-conducteurs
 - ◆ Sidérurgie

95% de la production est captive (dédiée à des applications industrielles)

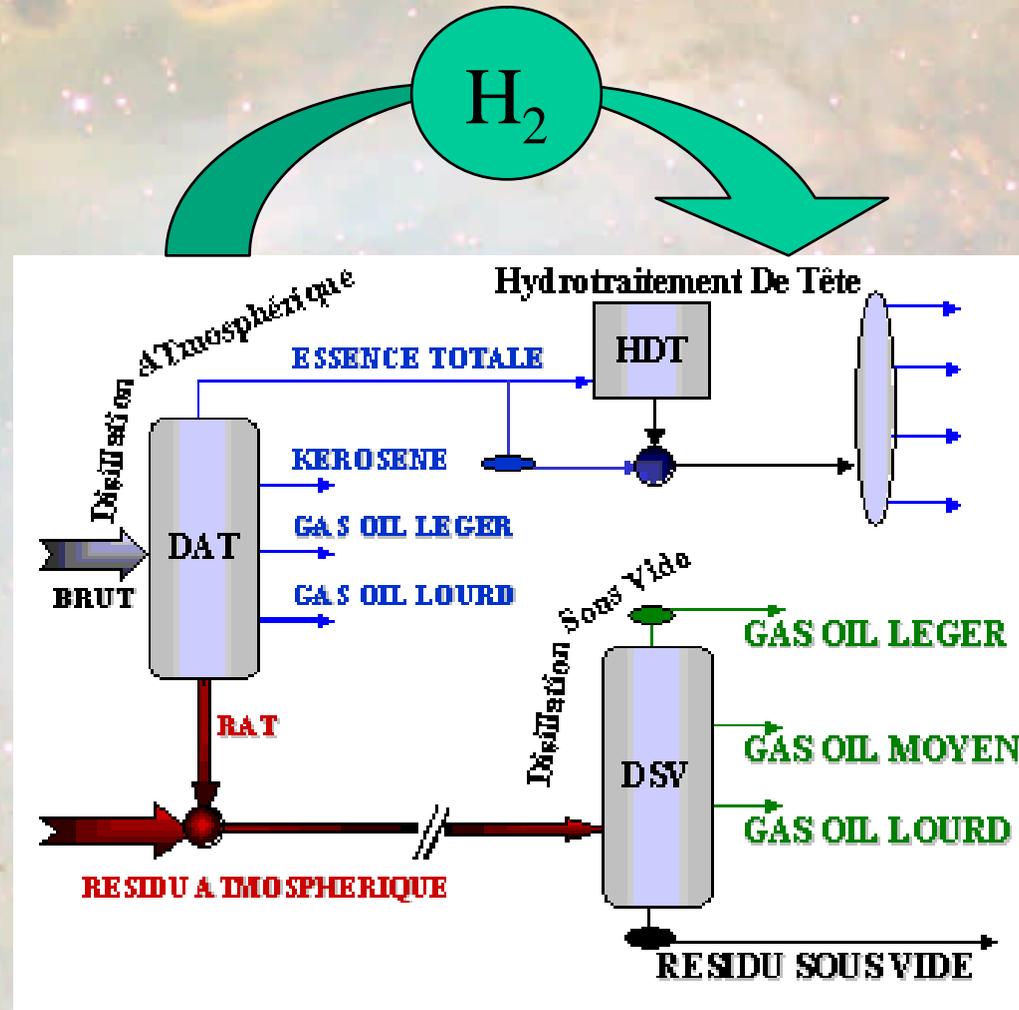
Évolution du marché de l'hydrogène



1

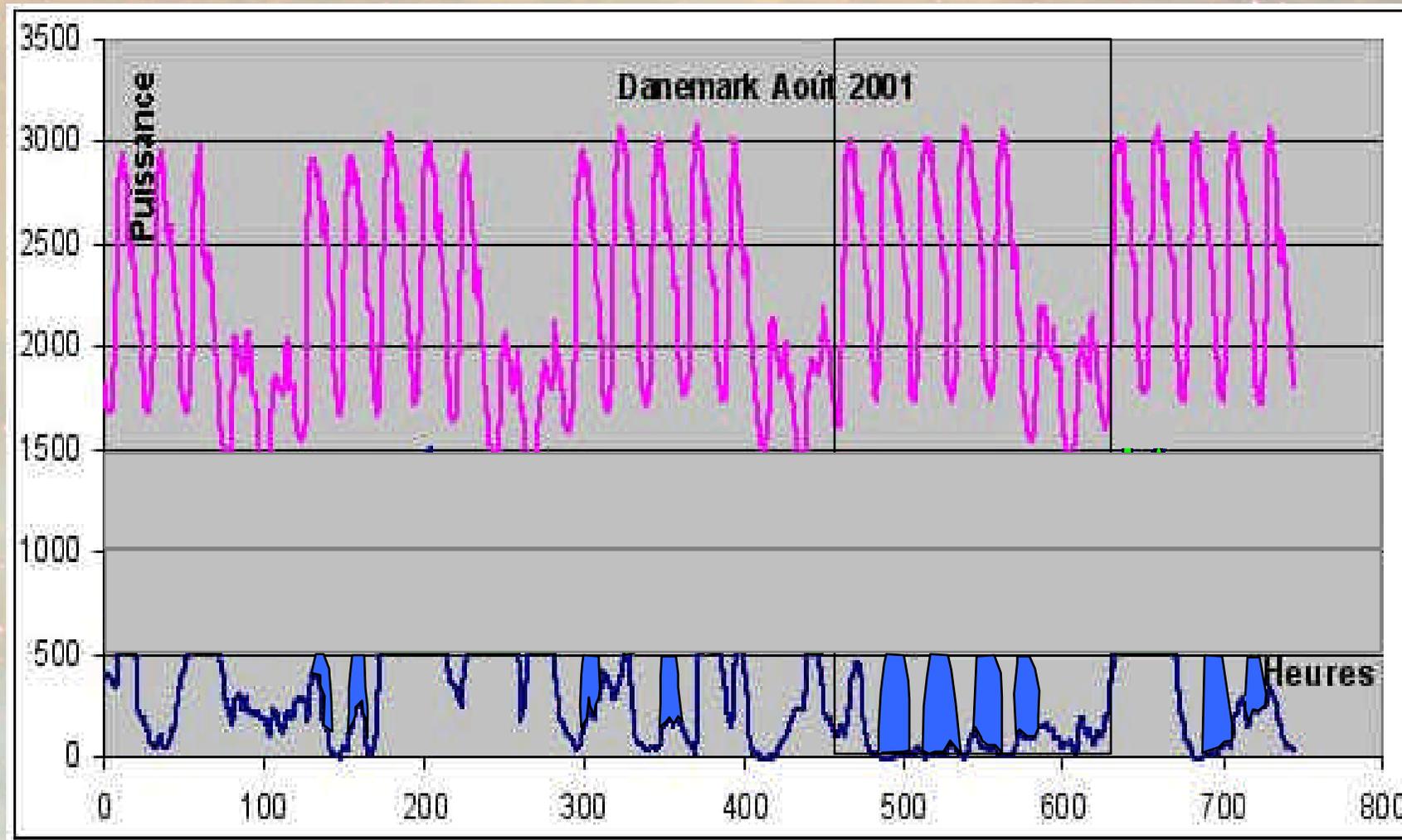
Hydrogène pour industries lourdes (raffineries, sidérurgie) Horizon 2015 - 2020

cea



- Hydrogène "propre" : besoins exponentiels dans les années à venir pour exploiter les hydrocarbures lourds (résidus 5%; schistes bitumineux, coal to liquid) et la désulfuration dans les procédés lourds

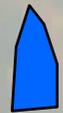
La régulation par le stockage - intégration des ENR



Semaine de grève éolienne sans préavis !



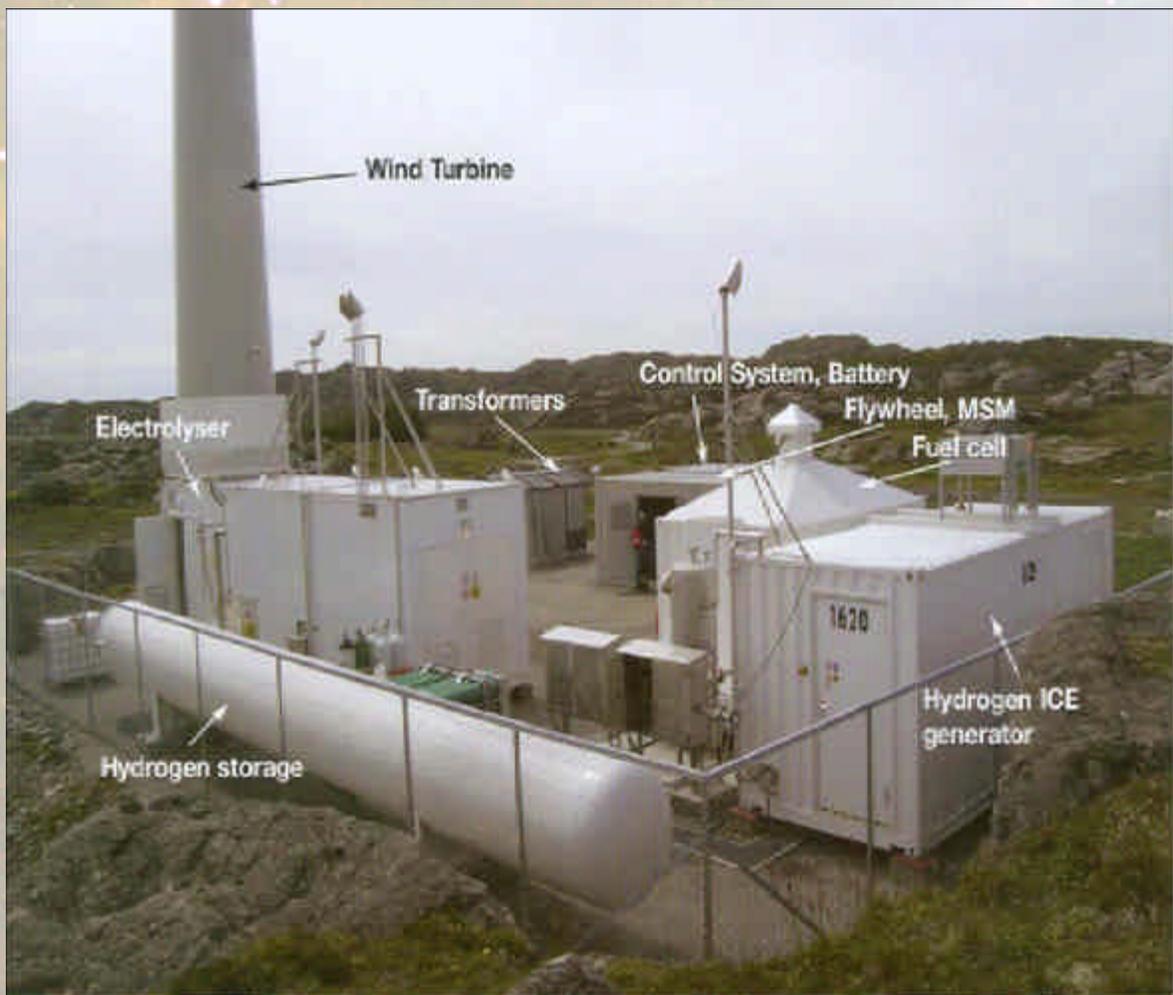
Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau lors des périodes à haut rendement



Restitution d'électricité « éolienne » par pile à combustible lors des périodes à faible rendement

Électrolyse Couplage avec les ENR

Projet UTSIRA (Norvège)



- 2 éoliennes (600 kW chacune)
- Électrolyseur d'une capacité de 10 Nm³/h
- Compresseur de 5,5 kW
- Un moteur à hydrogène (55 kW)
- Pile à combustible de 10 kW
- Un volant d'inertie de 5,5 kWh
- Batteries de 50 kWh
- Une machine synchrone de 100 kW

Dispositif du projet UTSIRA [source: HYDRO] synchrone de 100 kW

L'hydrogène pour le transport horizon 2025-2040



Michelin-PSI HyLight



Ford FCV



Peugeot 205 Pompier



Honda FCX



Peugeot
t 207
Epure

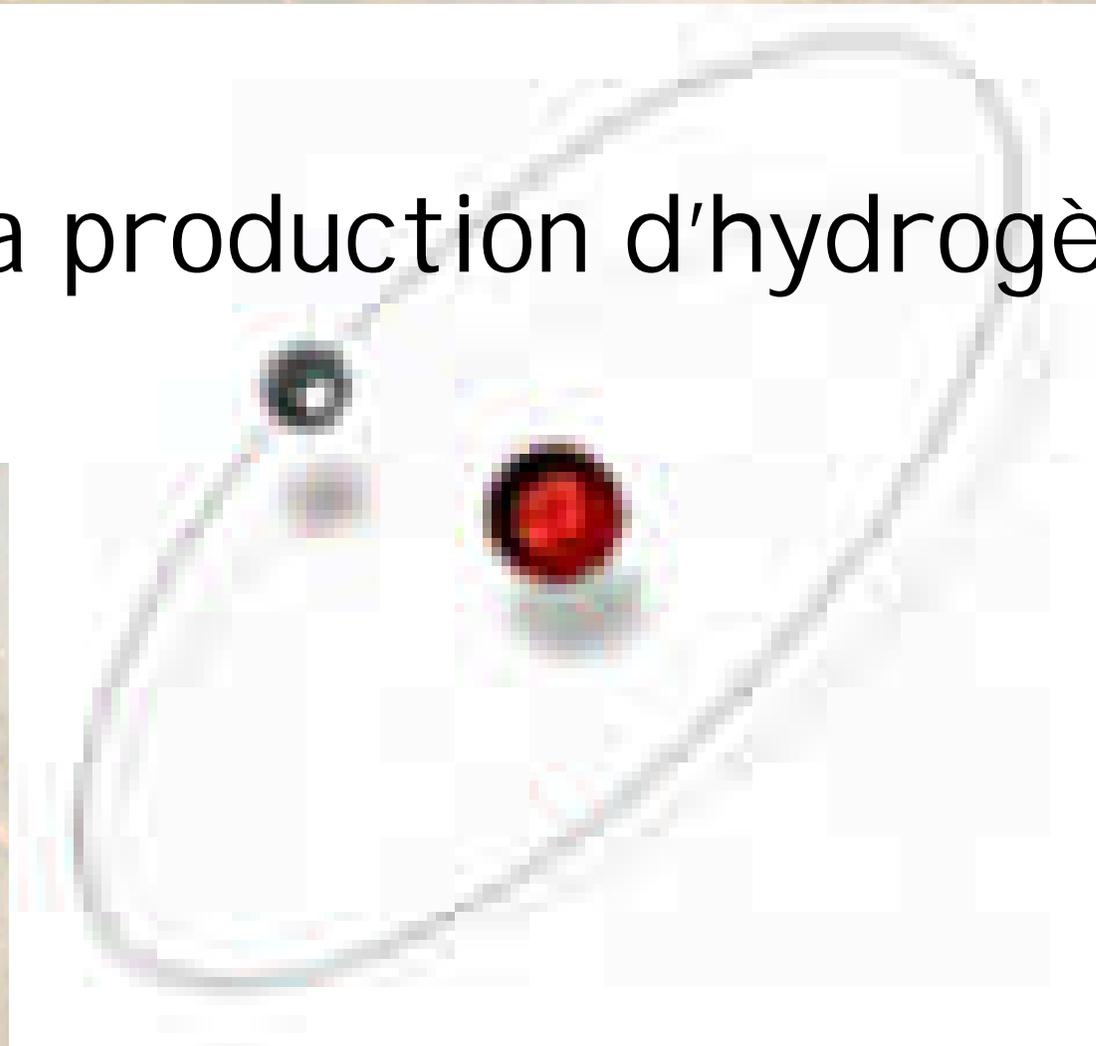


Toyota-Fine X

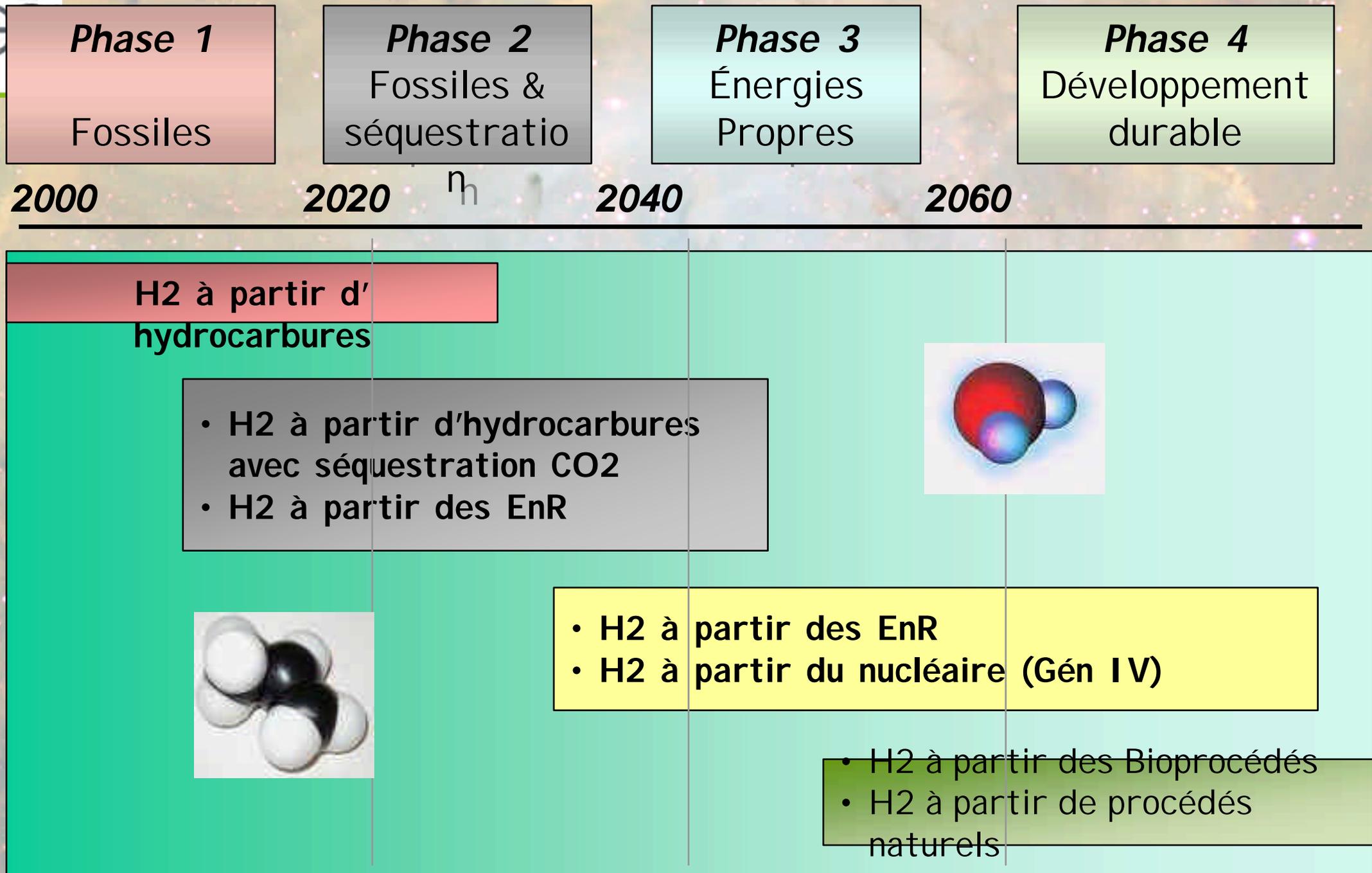




La production d'hydrogène



L'hydrogène : de la production par voie fossile au développement durable



Les modes de production d'hydrogène

Production



Massive et centralisée
(usines de production)

Décentralisée avec les EnR

Applications

Dédiées industries lourdes
Transport avec réseau H₂

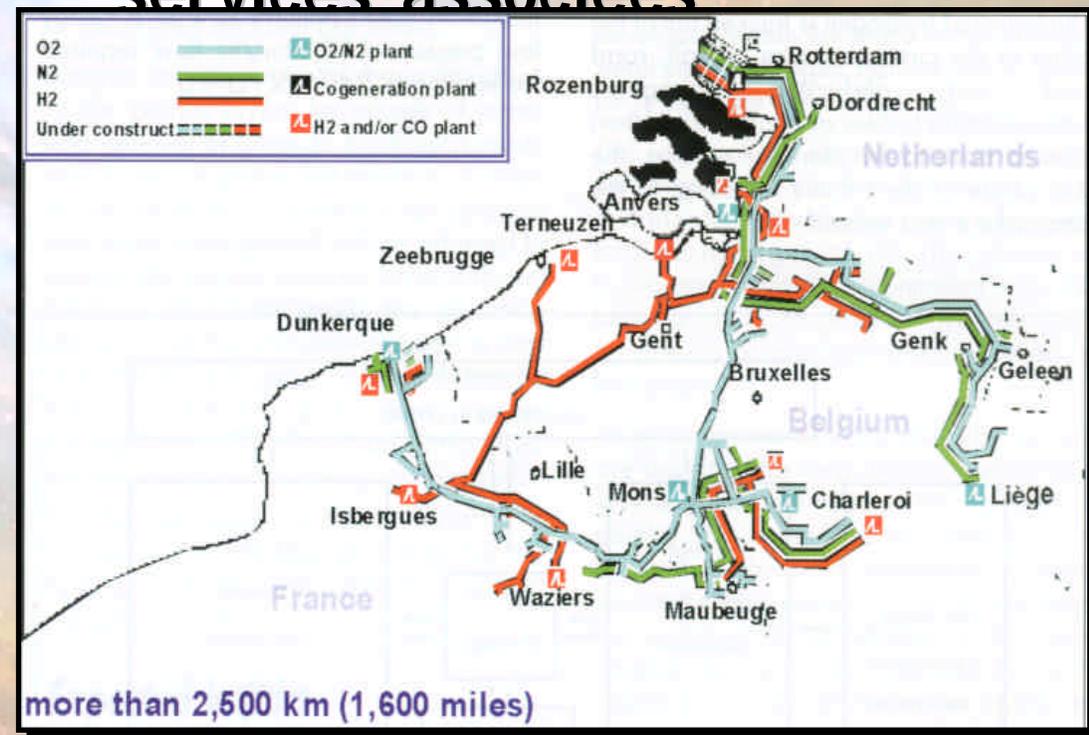
Stockage tampon de l'électricité

Transport avec stations services associées



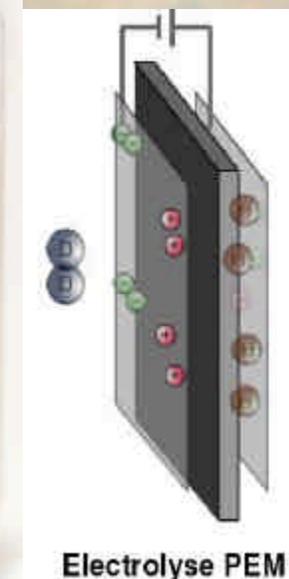
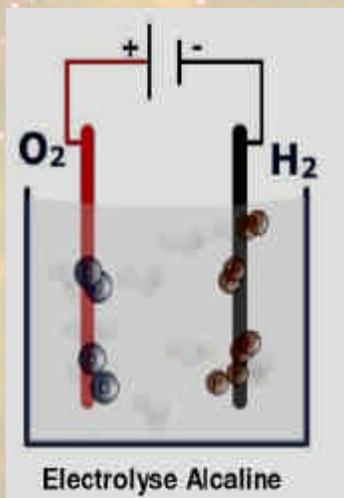
Washington, D.C. :
Station service hydrogène

Air Liquide :
Réseau de distribution H₂ (Nord de la France + Benelux)



Électrolyse de l'eau

Décomposition chimique de certaines substances sous l'effet d'un courant électrique.



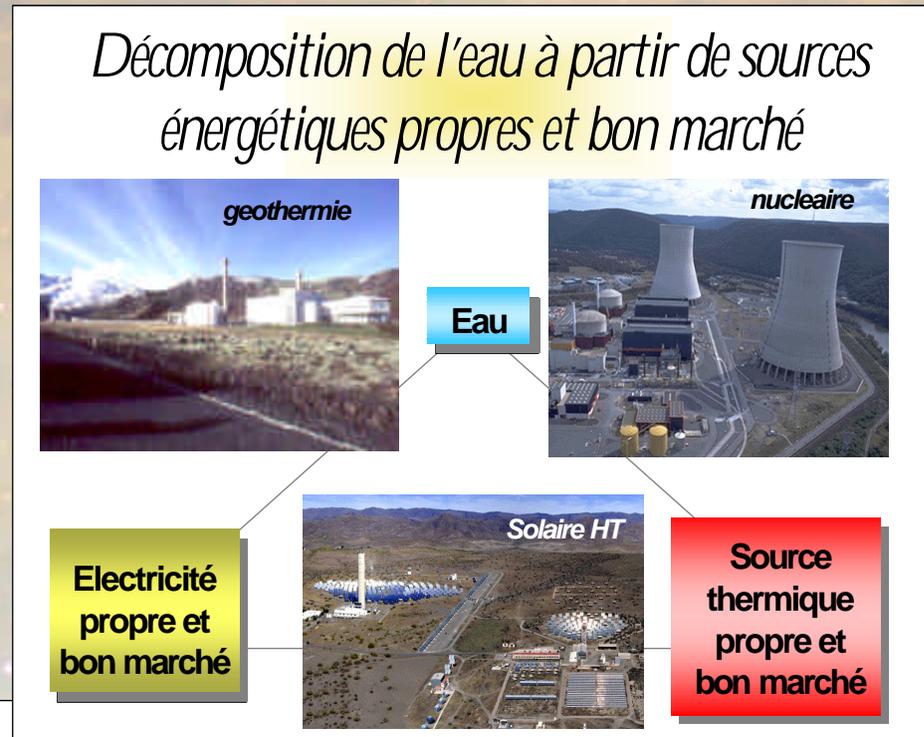
ELECTROLYSEUR ALCALIN ATMOSPHERIQUE

Capacité : 50 – 485 Nm³/hr

Pureté : 99.9 ± 0.1%

ELECTROLYSEUR PEM

Vers une production massive et propre



Électrolyse à Haute Température (EHT)

Principe

Electrolyser l'eau en remplaçant une partie de l'énergie électrique par de l'énergie thermique disponible et meilleur marché.

Avantages

- ✓ On attend un gain de 10 à 17% d'efficacité par rapport à l'électrolyse alcaline
- ✓ C'est un procédé utilisable à différentes échelles et couplable à différentes sources

Verrous

- ✓ Technologie à haute température (plus chère)
- ✓ Durabilité des composants à démontrer

Cycles Thermochimiques

Principe

Dissocier la molécule d'eau à haute température en utilisant des cycles chimiques (Iode-Soufre étant le plus étudié).

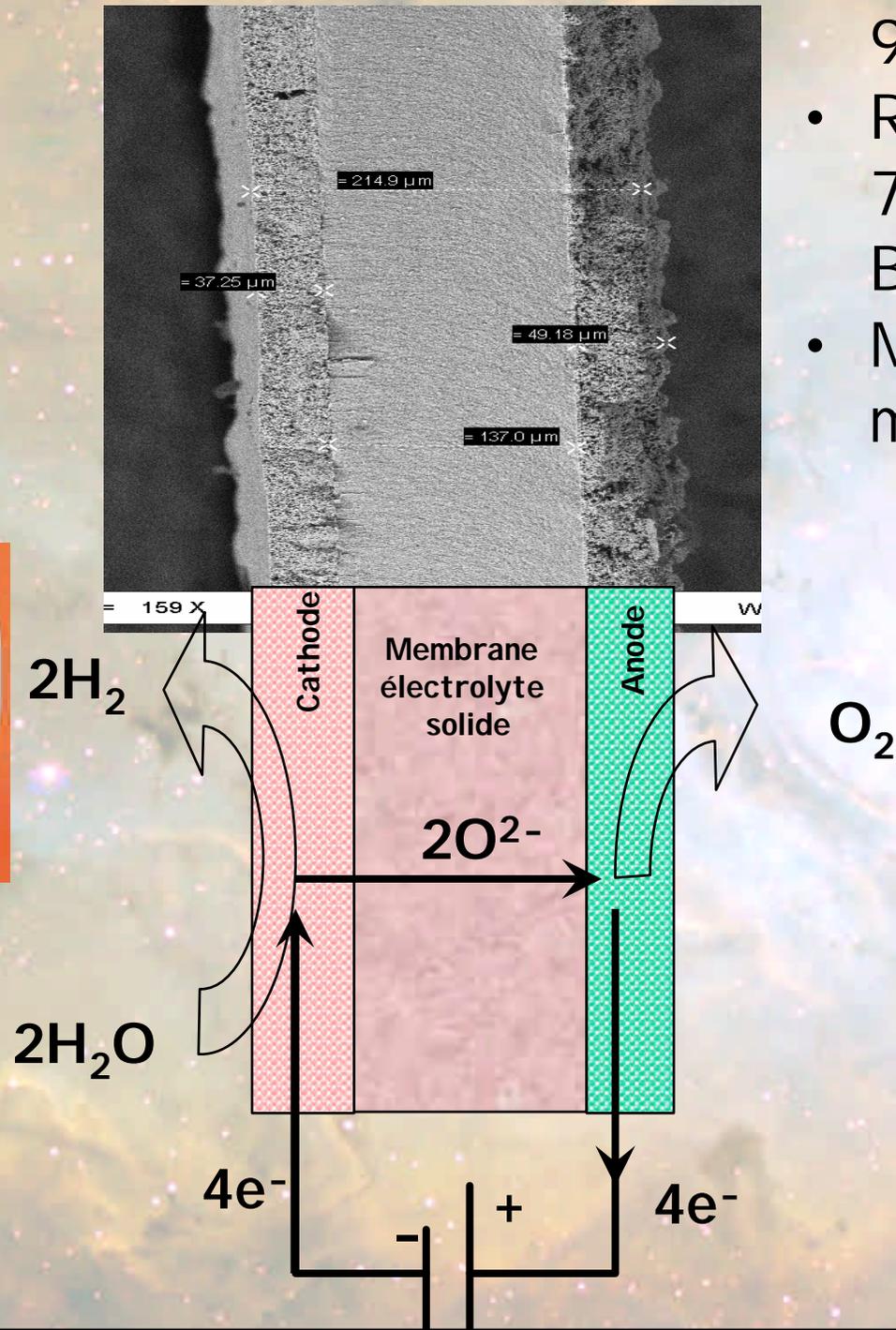
Avantages

- ✓ Procédés à très haut rendement (potentiellement 50%)
- ✓ Couplé à un réacteur nucléaire assure des productions massives (200T/jour)

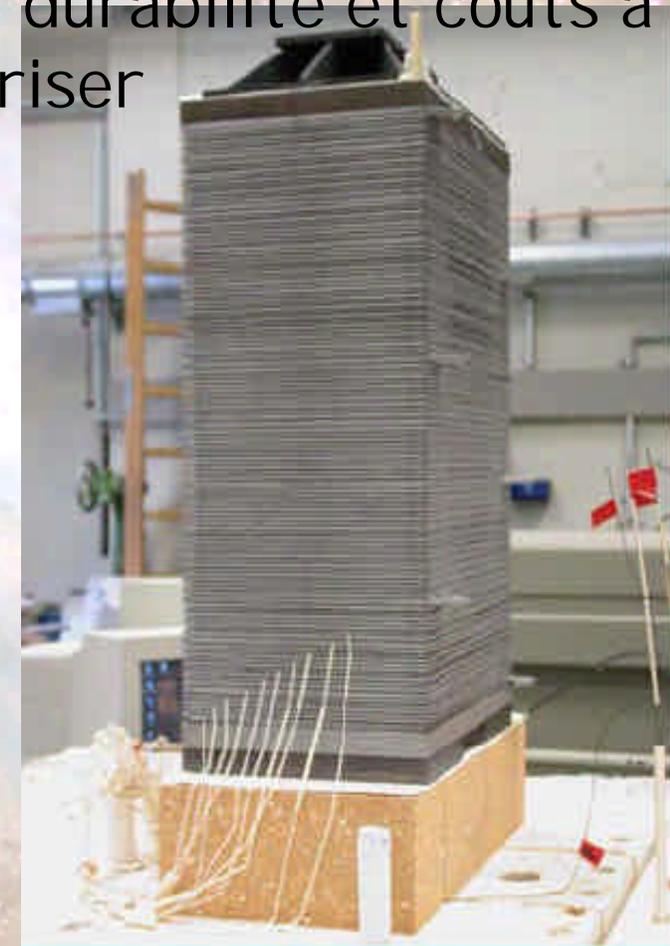
Verrous

- ✓ Usines chimiques de capacité rarement atteinte (démonstration de la faisabilité)
- ✓ Technologies en environnement difficile

L'électrolyse à haute température



- Fonctionne entre 500°C et 900°C
- Rendement attendu supérieur de 7 à 15% supérieur à l'électrolyse BT
- Mais durabilité et coûts à maîtriser

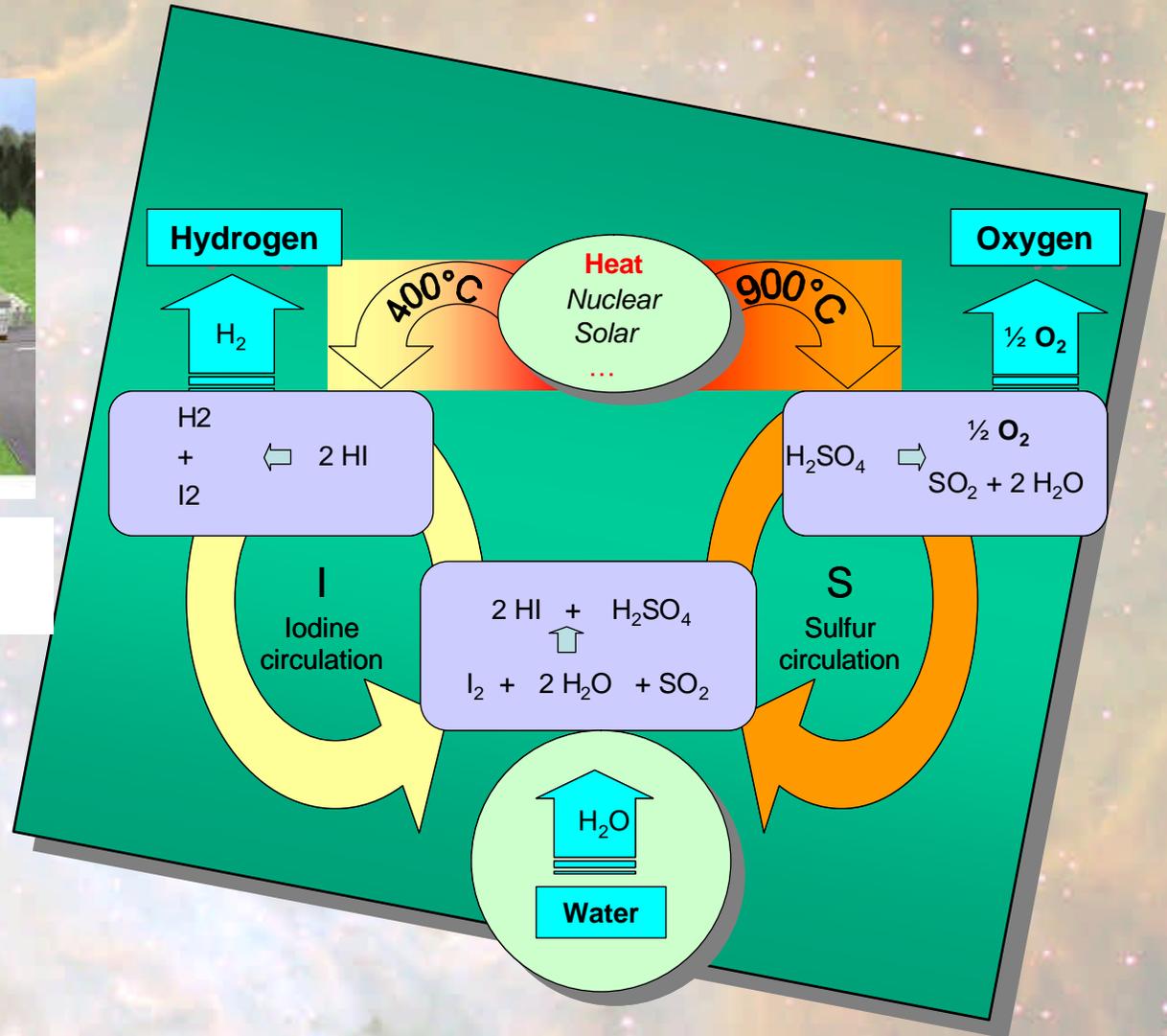


Les cycles thermo-chimiques - le cycle Iode-Soufre

Cycles Thermo-chimiques



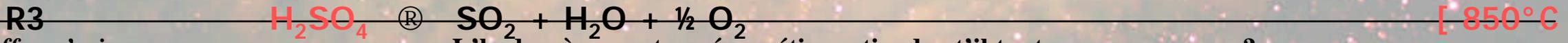
Réacteurs du futur (HTR/VHTR)



Électrolyse Haute Température

Biomasse

Procédés alternatifs



Les usines du futur



H₂

Emissions de CO2 – comparatif électricité / hydrogène



Emission de CO2 des différents procédés de production d'hydrogène						
Modes de production	Procédés HT solaire/ nucléaire	Electrolyse mix France	Vaporeformage du gaz naturel	Oxydation partiel pétrole	Gazeification du charbon	Electrolyse mix Europe
Emissions de CO2 par kg H2 (en gramme)	100	5000	10000	12000-15000	16000-19000	180000
Emissions de CO2 par kWh H2 (en gramme)	3	152	303	363 à 454	484 à 575	545

Emission de CO2 des différentes filières de production d'électricité								
Modes de production	Hydraulique	Nucléaire	Eolien	Photovoltaïque	Cycle combiné	Gaz naturel (TAC pointe)	Fuel	Charbon
Emissions de CO2 par kWh (en gramme)	4	6	3 à 22	60 à 150	427	883	891	978



Le transport et la distribution de l'hydrogène

700 bar c'est gonflé !



La molécules la plus énergétique

•1kgH2 # 2.75kg d'essence

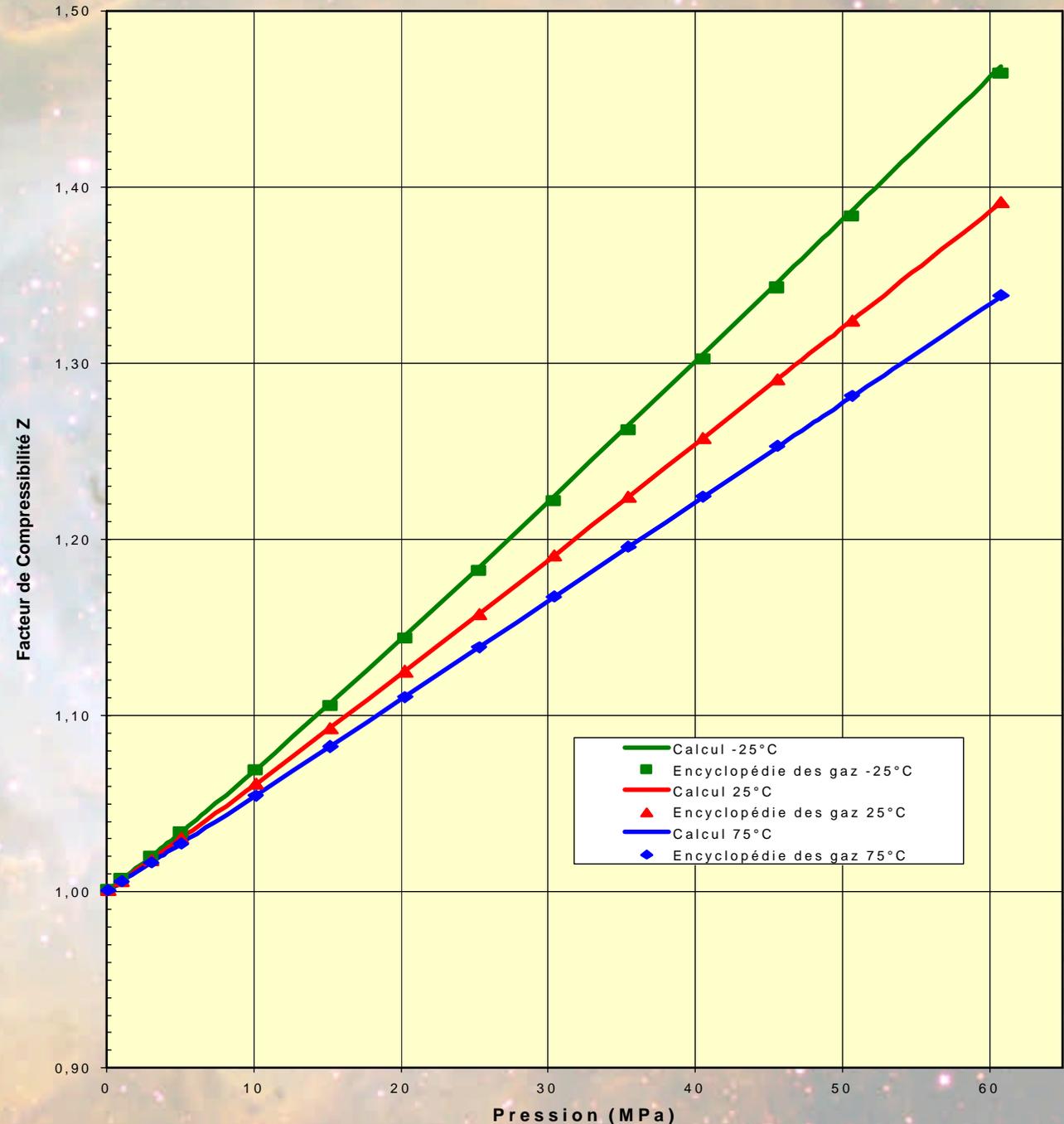
Mais c'est un gaz

•1Nm3 H2 # 0.34 L d'essence

Et il est pas parfait

•Pression x2 =>70% d'H2 en plus

Comparaison avec l'Encyclopédie des Gaz
(avec facteur correctif)





(Cooperative Automotive Research)

ROADMAP

- 2010 : Production H2 compétitive à celle du pétrole
- 2015 : FCV compétitifs aux ICEV
- 2020 : Début de la production de masse des FCV
- 2040 : Suppression possible de l'importation de pétrole

CALIFORNIE (exemple)

En 2005 :

- + 40 véhicules, 2 bus et 2 bateaux en démonstration
- + 320 000 km parcourus en FCV
- ~ 20 stations H₂ opérationnelles

En 2010 :

- ~ 200 FCV
- + 200 stations H₂

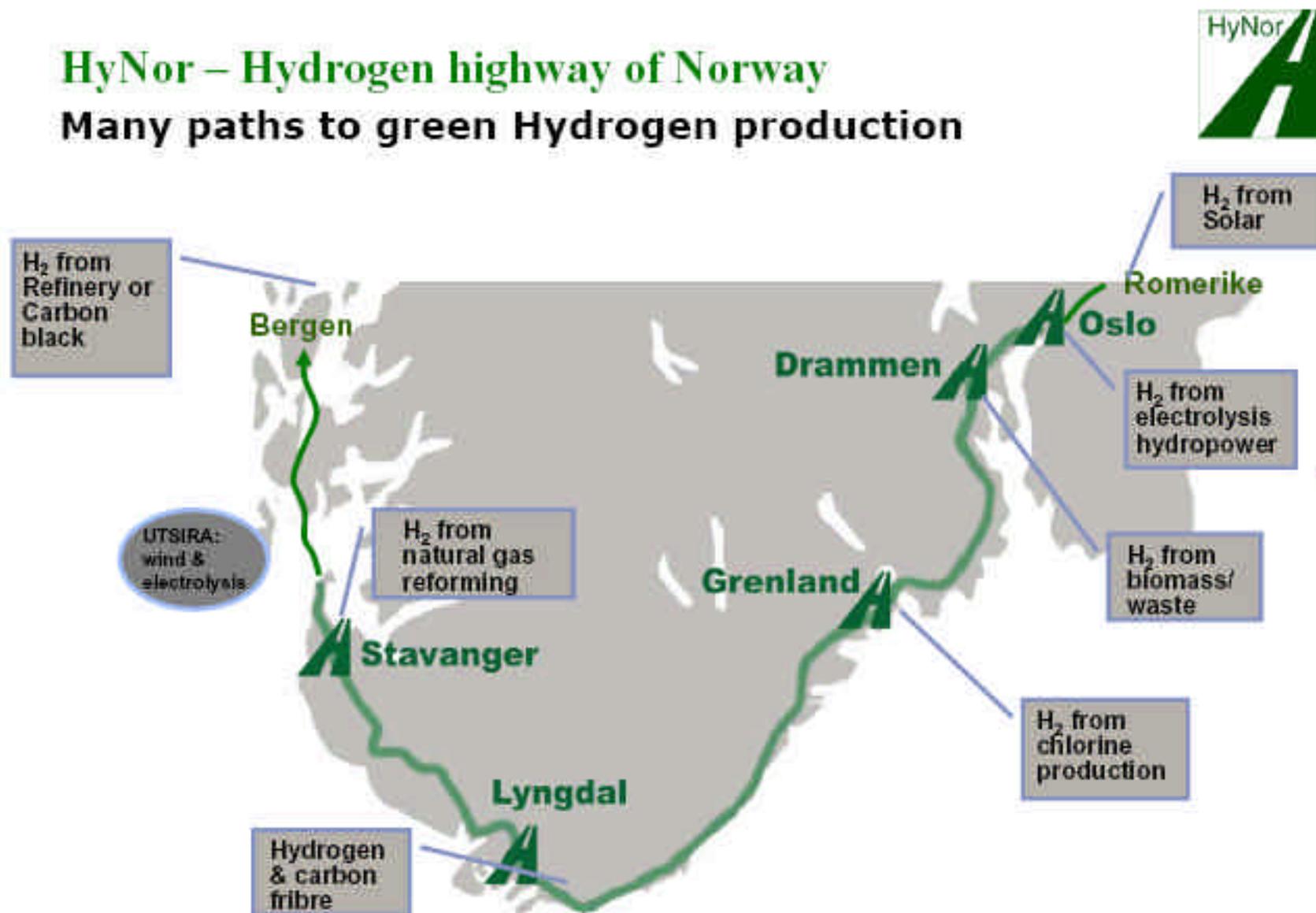
Programmes comparables aux US :

- Côte Est (Boston-New York-Washington)
- Grands Lacs (Chicago-Detroit-Cleveland)



HyNor – Hydrogen highway of Norway

Many paths to green Hydrogen production



HyNor is part of...



**SCANDINAVIAN HYDROGEN
HIGHWAY PARTNERSHIP**
WWW.SCANDINAVIANHYDROGEN.ORG



HyNor
www.hynor.no



HyFuture
www.hyfuture.se



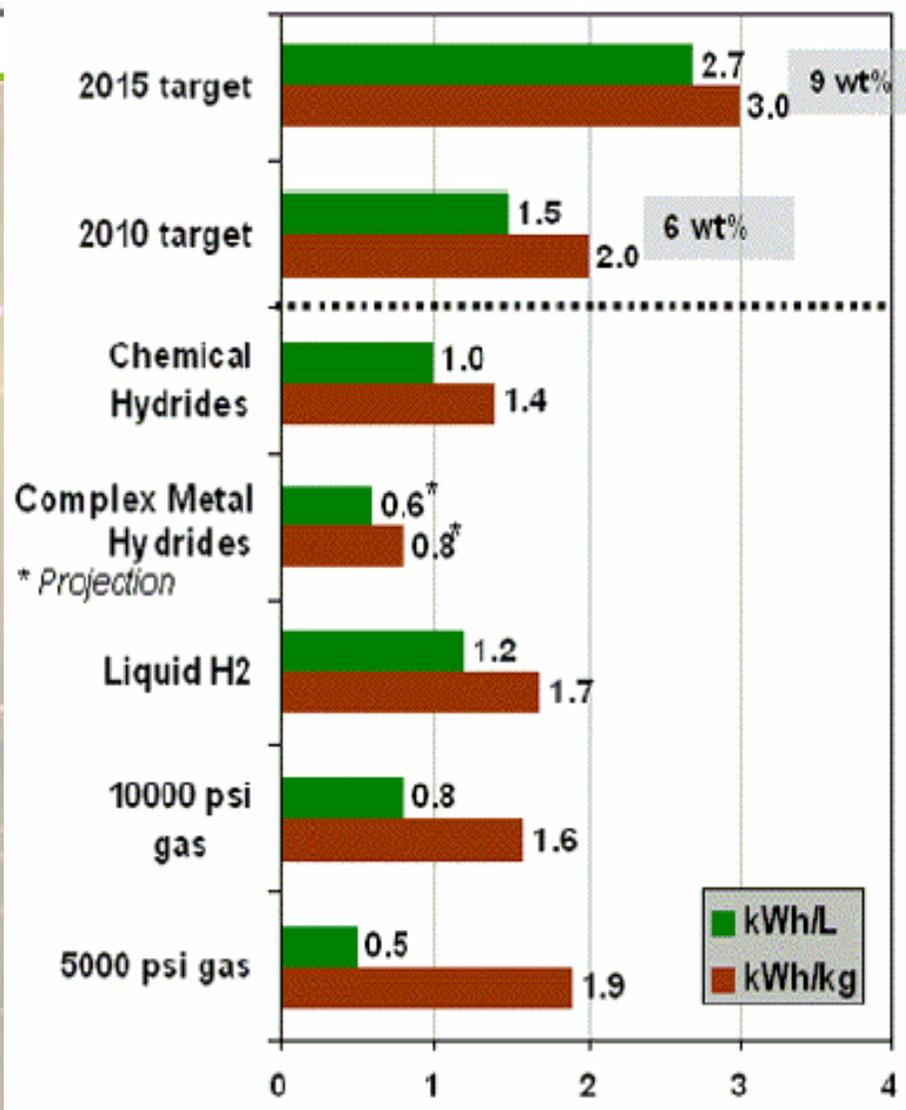
Hydrogen Link
www.hydrogenlink.net





Le stockage de l'hydrogène

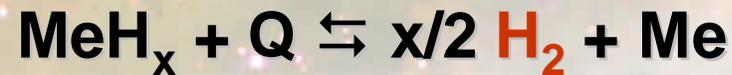
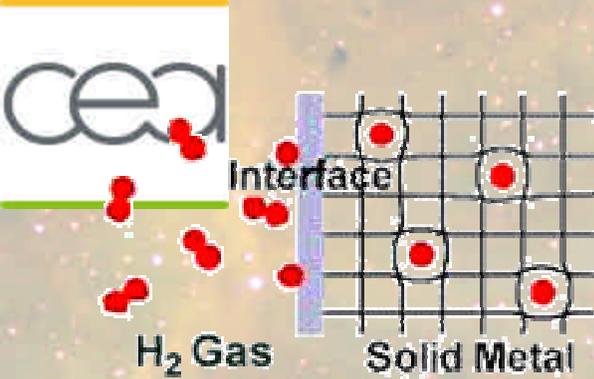
Différents modes de stockage de l'Hydrogène



Type de stockage	Avantages	Progrès indispensables
<p>Solide</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sécurité (basse pression) - Capacité volumique - Géométrie flexible - Pas de pertes 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût - Capacité massique - Cinétique
<p>Liquide</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Commercial - Capacité volumique - Infrastructure existante - Cinétique 	<ul style="list-style-type: none"> Sécurité - Pertes - Liquéfaction
<p>Gazeux</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Commercial à moyenne pression (200b) - Cinétiques - Coût 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité volumique (350 puis 700b) - Sécurité

Le stockage du combustible

Les hydrures métalliques



Exemples :

- Métaux : Mg, Zr, Pd ...
- Composés intermétalliques : MgNi, FeTi, LaNi₅ ...



Composés hydrures



GFE :
réservoirs d'hydrures métalliques

● Caractéristiques

- ◆ Capacité massique d'absorption
- ◆ Température d'équilibre (1 bar)
- ◆ Sensibilité aux impuretés dans H₂
- ◆ Cinétique absorption/désorption

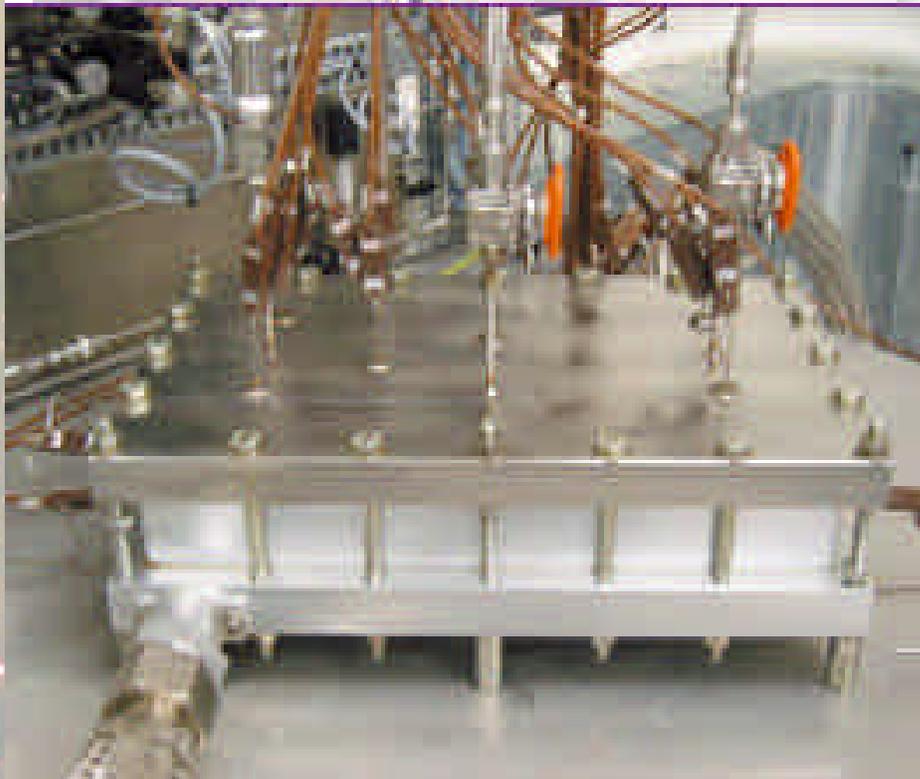
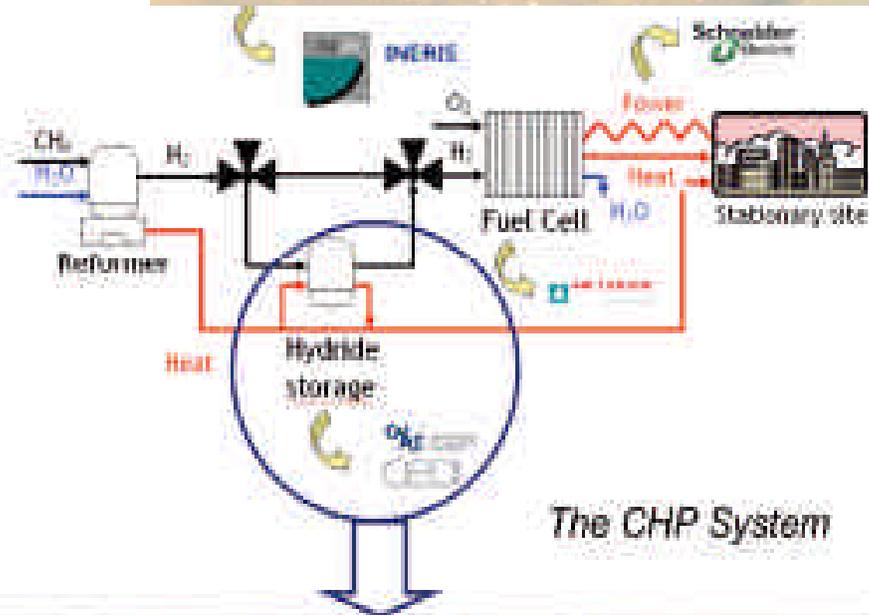
hydrure de Mg

7,6 %
279 °C
O₂, H₂O
très lente

hydrure de LaNi₅

1,5 %
15 °C
O₂, H₂O, CO
très rapide

Les hydrures réussissent le passage du Labo au pilote pré-industriel !



Premiers essais à l'échelle semi industrielle d'un système de stockage réversible d'hydrogène sous forme d'hydrures métalliques (mis en œuvre de 10 kg de matériaux actifs)

Travaux menés en partenariat avec le laboratoire CNRS de Thiais visent à valider l'utilisation de tels réservoirs pour alimenter un système stationnaire de pile à combustible

Les caractéristiques du système sont quasi identiques à celles mesurées sur qq mg de matériaux !

Le stockage du combustible

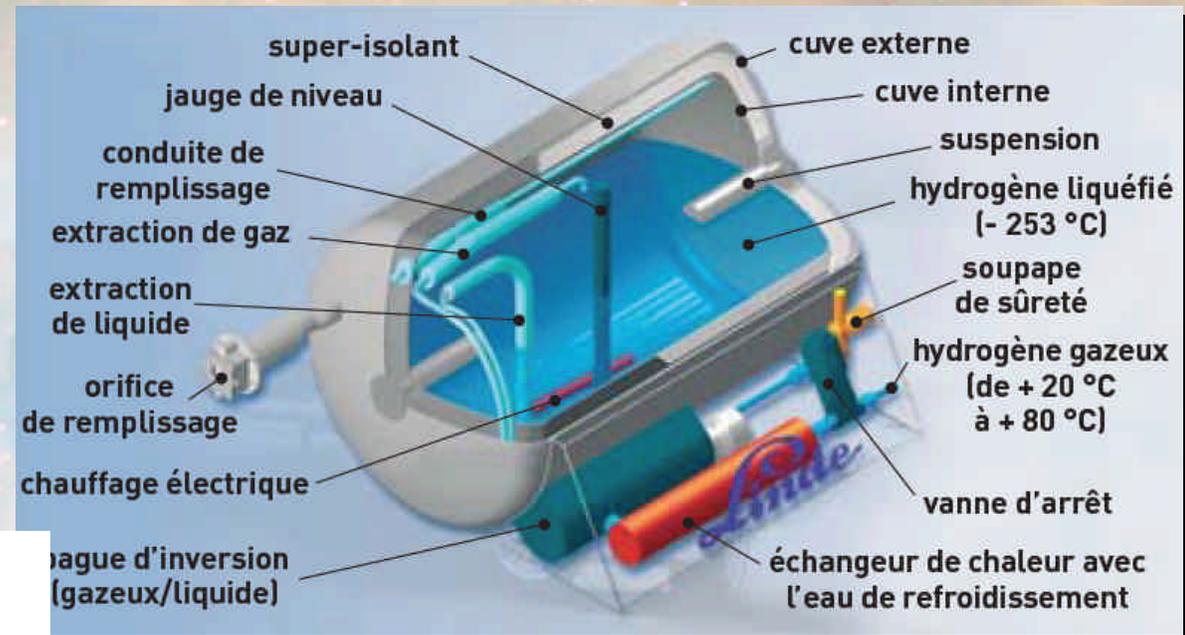
Réservoirs cryogéniques

But :

Concevoir et qualifier un réservoir hydrogène liquide.

Caractéristiques :

- ◆ P = 5 bars,
- ◆ T = - 250 °C.



Linde



Linde :

Réservoir d'hydrogène Liquide pour application automobile

air H₂ liquide

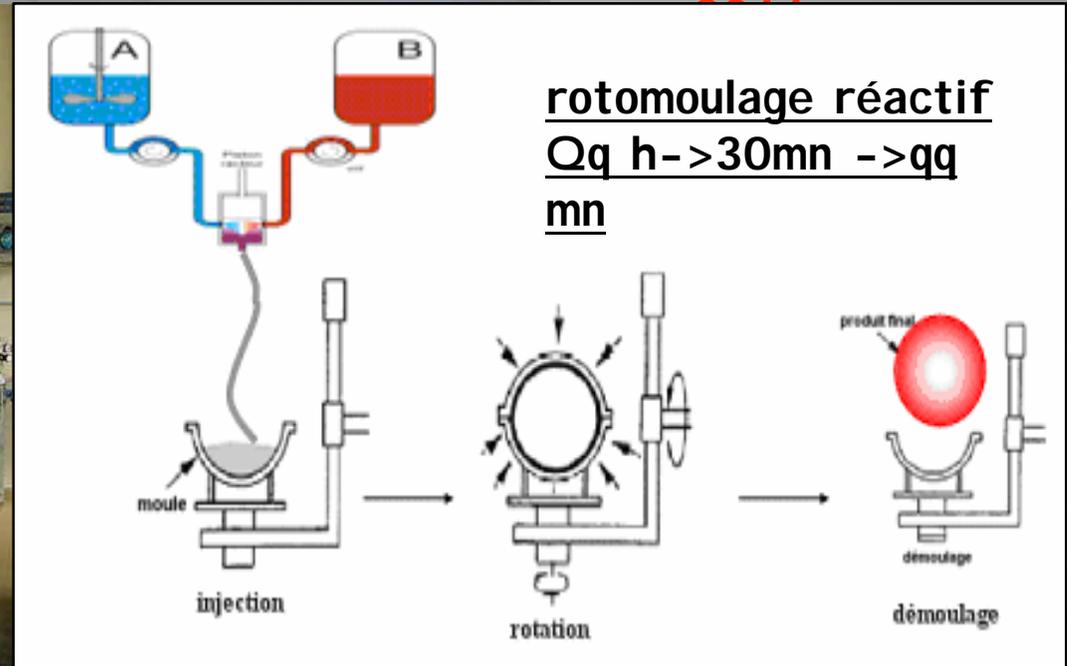
Le réservoir devient léger et intelligent !



2002



3L / 350 bar



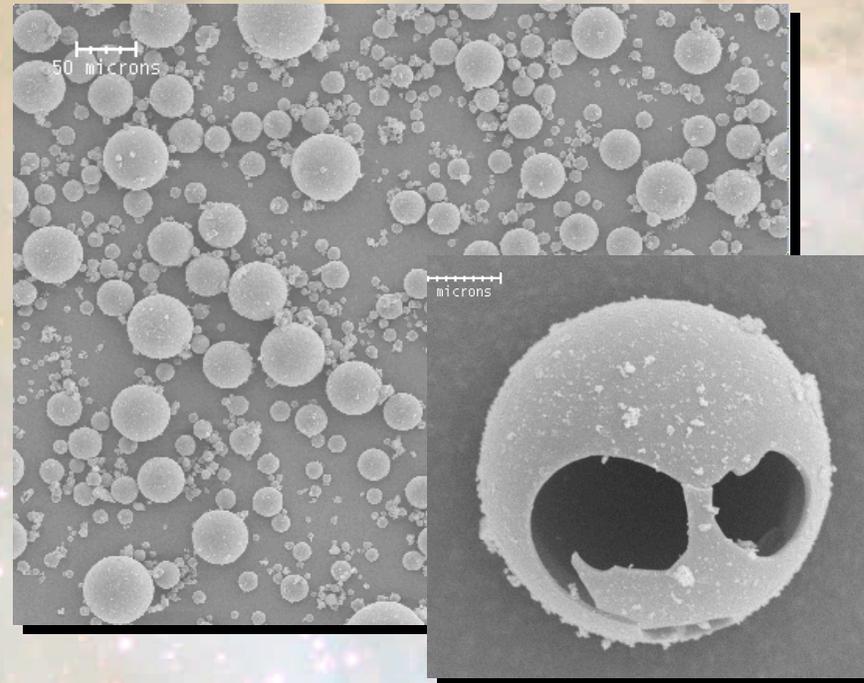
← Composite
Fibre carbone + résine



D'autres voies à explorer : Microbilles de verre



3M : Microbilles de verre



● Caractéristiques

- ◆ $\bar{A}_{\text{moyen}} = 30 \mu\text{m}$
- ◆ 20 g H₂/ litre de microbilles
- ◆ 55 g H₂/ kg de microbilles

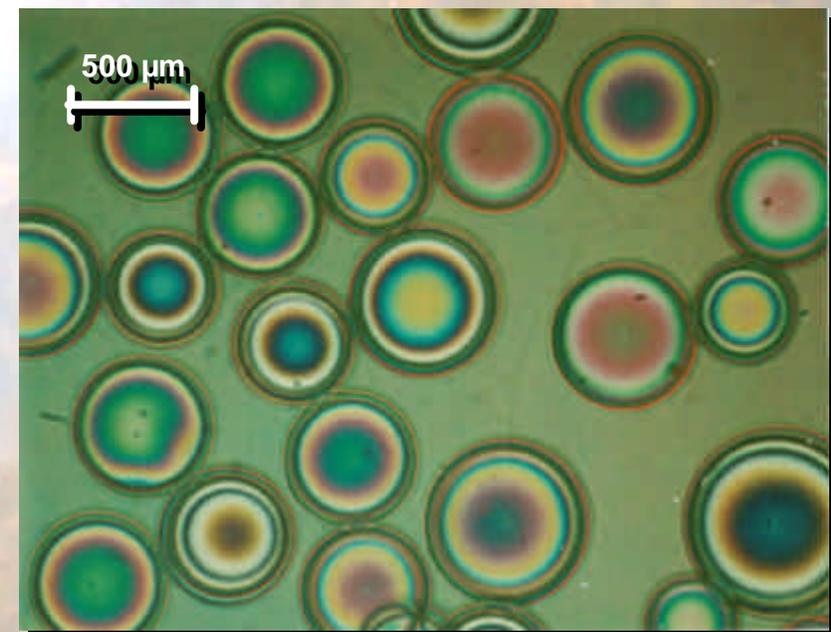
● Chargement

- ◆ 1000-1500 bar
- ◆ 300-400 °C
- ◆ 1-2 h

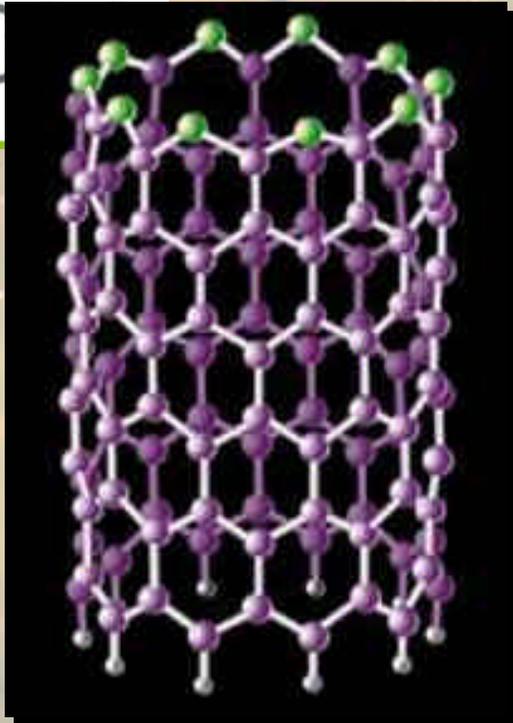
CEA : Microballons de verre

● Caractéristiques

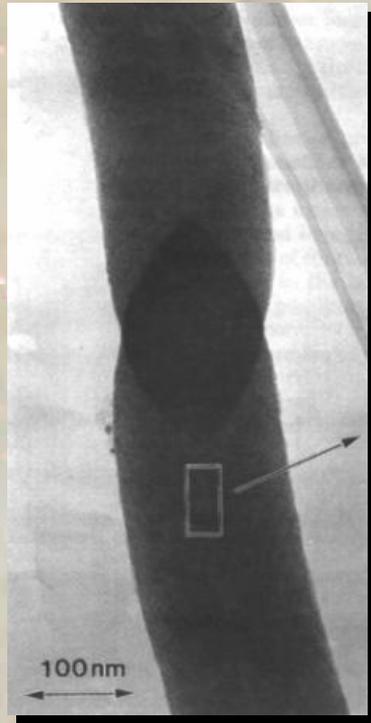
- ◆ $\bar{A}_{\text{moyen}} = 50 \mu\text{m}$
- ◆ 2 g H₂/ litre de microbilles



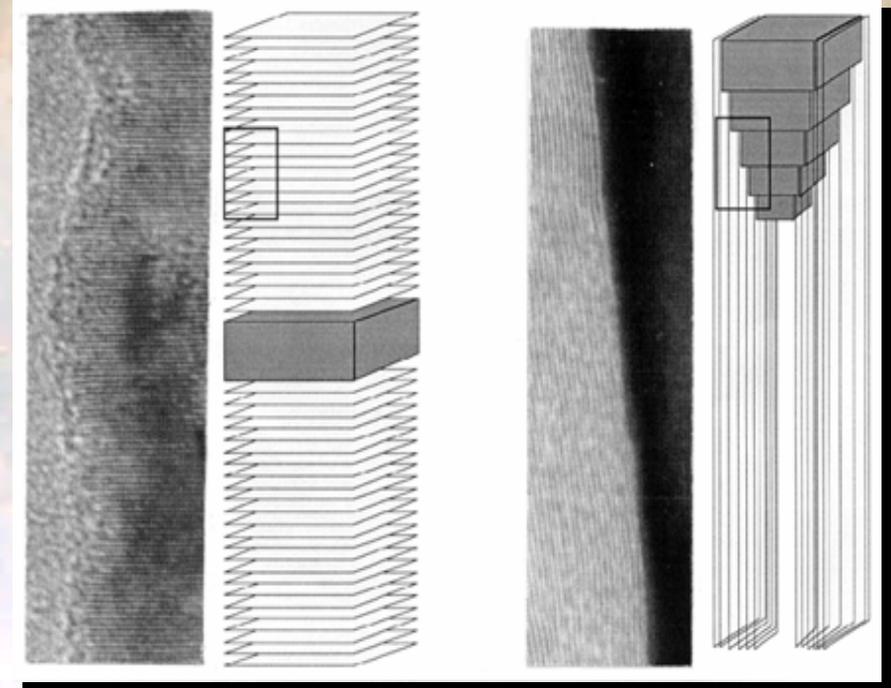
D'autres voies à explorer : Nanotubes de carbone



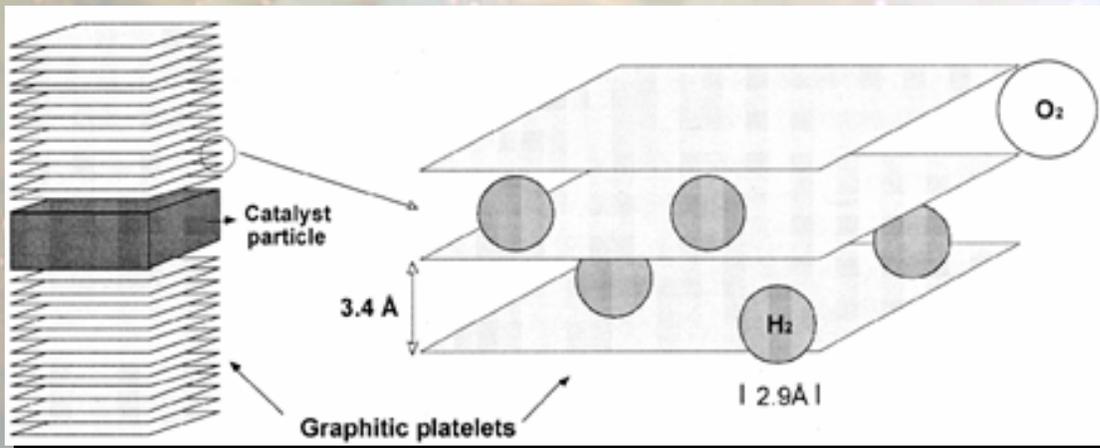
Structure d'un nanotube



Couches
parallèles

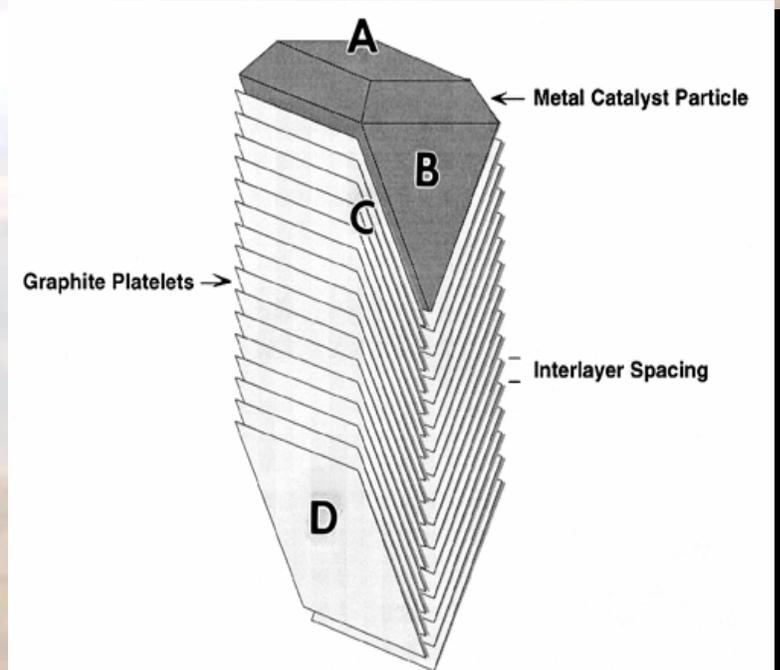


2 types de texture:
(selon conditions
d'élaboration)



Adsorption de l'hydrogène

« Arêtes de
poisson »





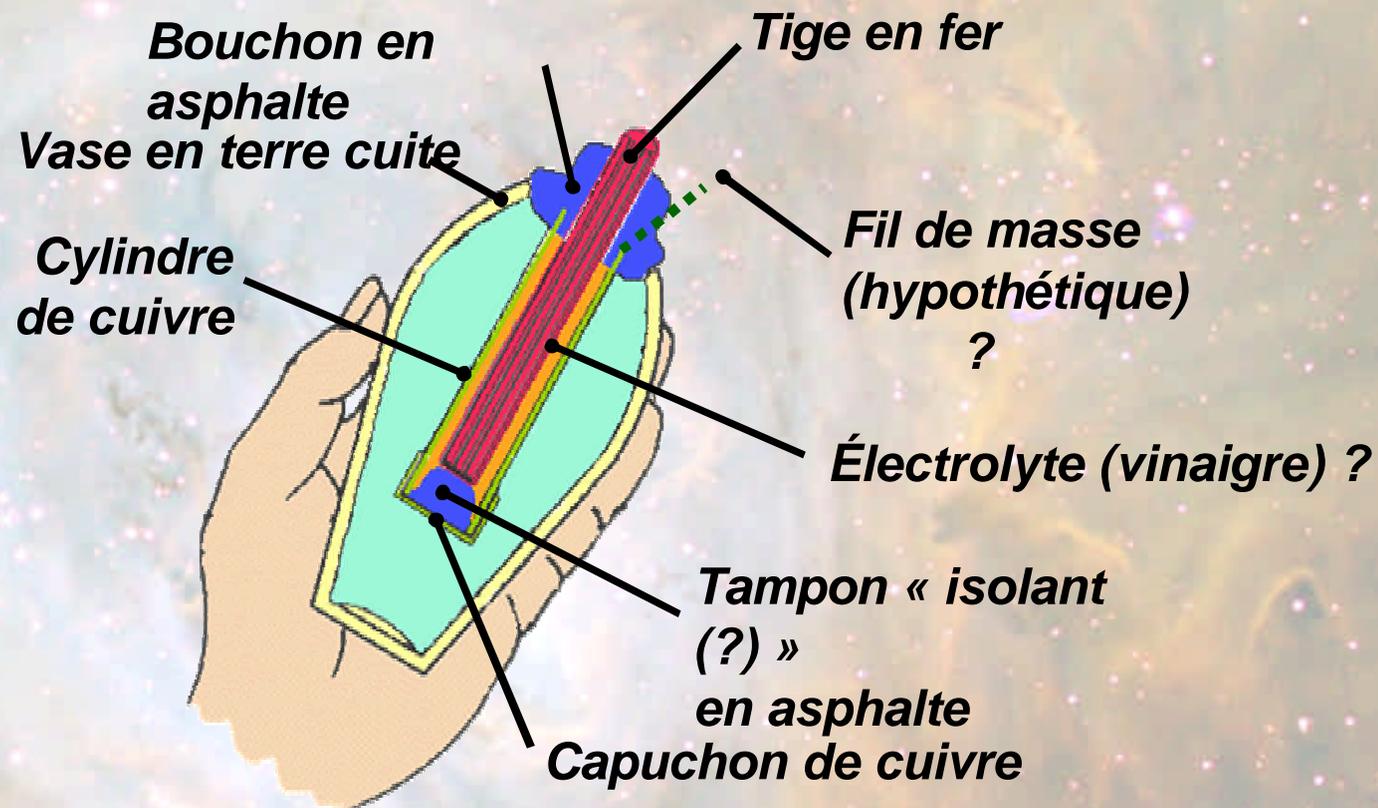
La Pile à Combustible

Une pile dès l'Antiquité ?

➔ 250 av. J. C. – 230 ap. J. C. : Les Parthes utilisent une « pile »



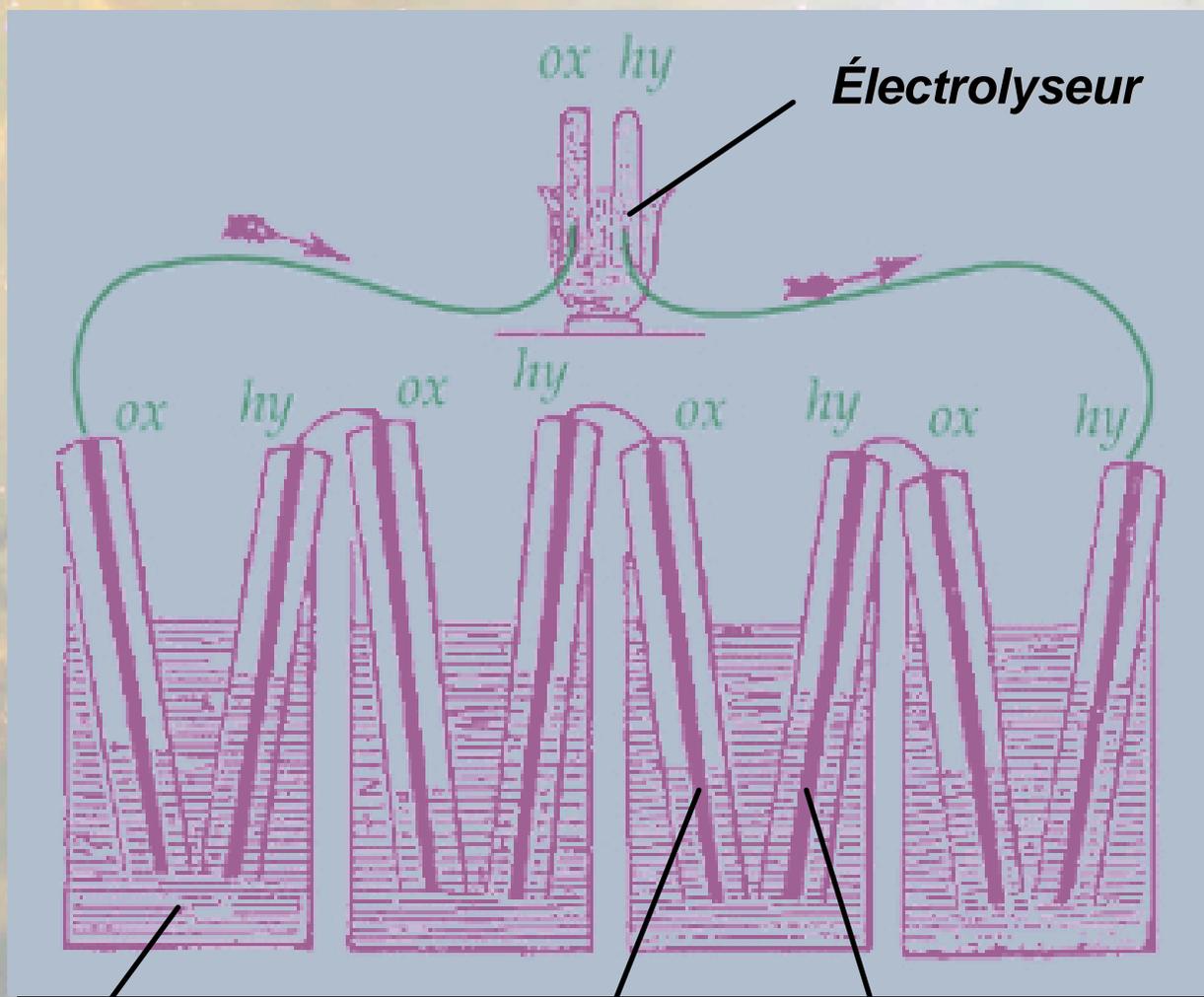
La « pile » de Bagdad découverte en 1938



- $V = 0,5 - 1,5 V$
- Usage :
 - ◆ Dépôt galvanique d'argent ?
 - ◆ Thérapie ?

L' « invention » de la Pile à Combustible

1839 : Sir William GROVE « invente » la Pile à Combustible



La Pile de Grove (4 cellules en série)



Sir William Grove (1811-1896)

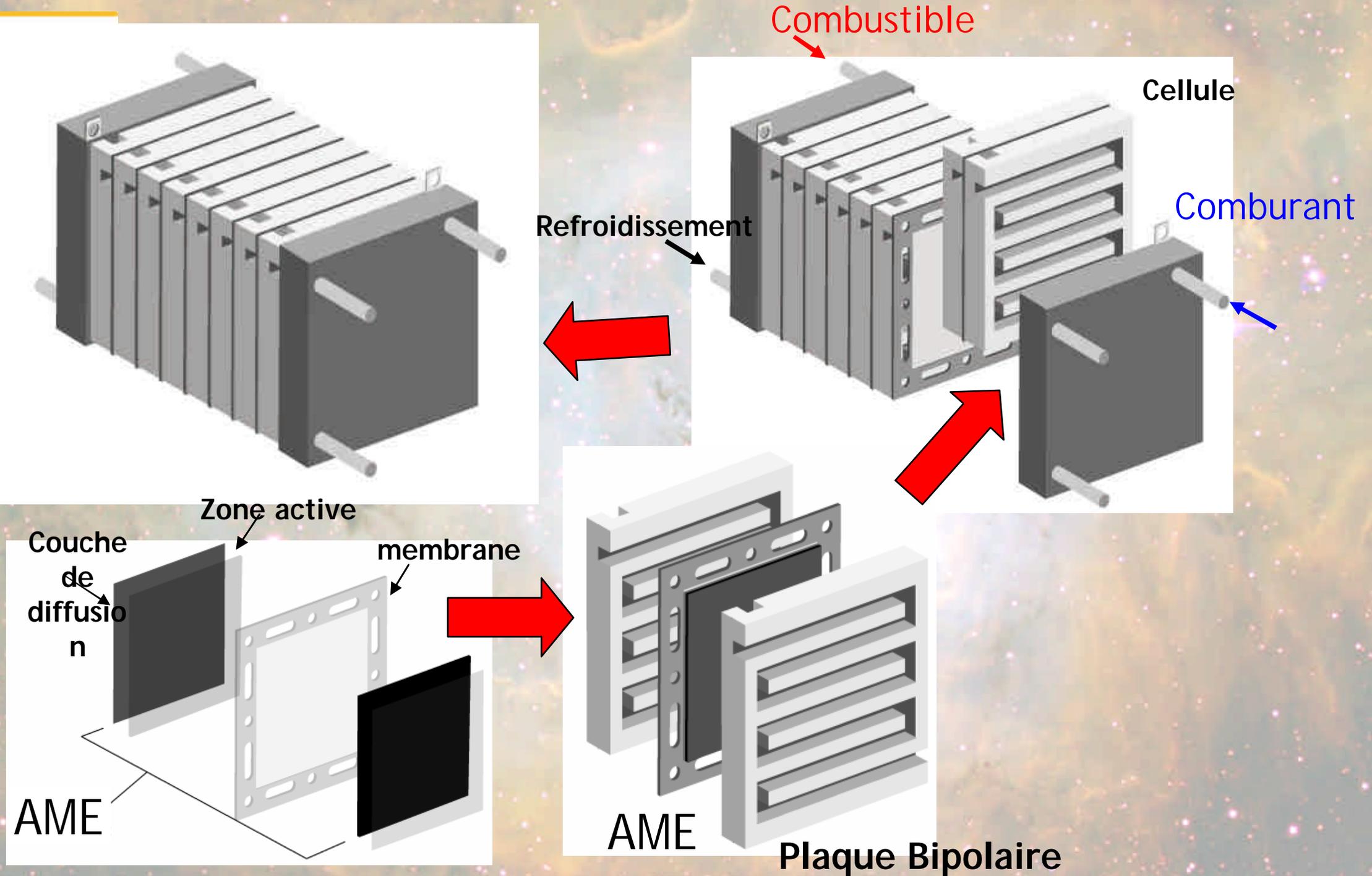
Acide sulfurique dilué

Feuillards de platine

Les différentes piles à combustible

Type de pile	Anode (Catalyseur)	Electrolyte	Cathode (Catalyseur)	Température	Applications
Membrane échangeuse de protons (PEMFC)	$\text{H}_2 \textcircled{R} 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ (Pt)	Polymère perfluoré (SO_3H^+) $\text{H}^+ \rightarrow$	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ $\textcircled{R} \text{H}_2\text{O}$ (Pt)	60-90 °C	Portable Transport Stationnaire
Méthanol direct (DMFC)	$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ $\textcircled{R} \text{CO}_2 + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^-$ (Pt)	Polymère perfluoré (SO_3H^+) $\text{H}^+ \rightarrow$	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ $\textcircled{R} \text{H}_2\text{O}$ (Pt)	60-90 °C	Portable Transport
Acide phosphorique (PAFC)	$\text{H}_2 \textcircled{R} 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ (Pt)	PO_4H_3 (85-100 %) $\text{H}^+ \rightarrow$	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$ $\textcircled{R} \text{H}_2\text{O}$ (Pt)	160-220 °C	Transport Stationnaire
Alcaline (AFC)	$\text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ $\textcircled{R} 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^-$ (Pt, Ni)	KOH (8-12 N) $\leftarrow \text{OH}^-$	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^-$ $\textcircled{R} 2 \text{OH}^-$ (Pt-Au, Ag)	50-250 °C	Spatial Transport
Carbonate fondu (MCFC)	$\text{H}_2 + \text{CO}_3^{2-}$ $\textcircled{R} \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + 2 \text{e}^-$ (Ni + 10 % Cr)	$\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{K}_2\text{CO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$ $\leftarrow \text{CO}_3^{2-}$	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{CO}_2 + 2 \text{e}^-$ $\textcircled{R} \text{CO}_3^{2-}$ ($\text{NiO}_x + \text{Li}$)	650 °C	Stationnaire
Oxyde solide (SOFC)	$\text{H}_2 + \text{O}^{2-}$ $\textcircled{R} \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^-$ (Cermet Ni-ZrO ₂)	$\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ $\leftarrow \text{O}^{2-}$	$\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{e}^- \textcircled{R} \text{O}^{2-}$ (Perovskites $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{MnO}_3$)	750-1050 °C	Stationnaire

Le CEA poursuit l'optimisation des composants pour un moindre cout et une meilleure durabilité du système Pile à Combustible !

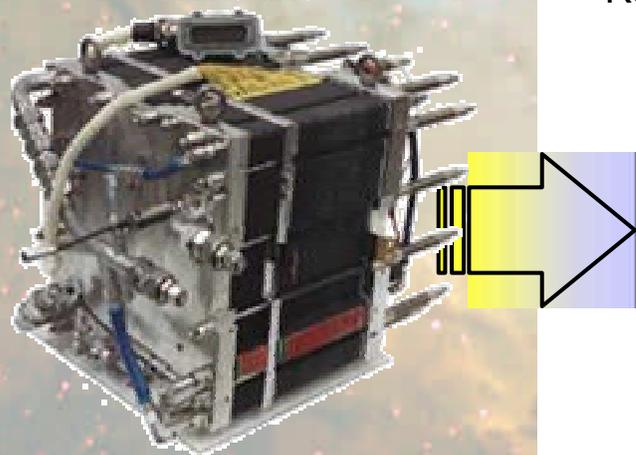
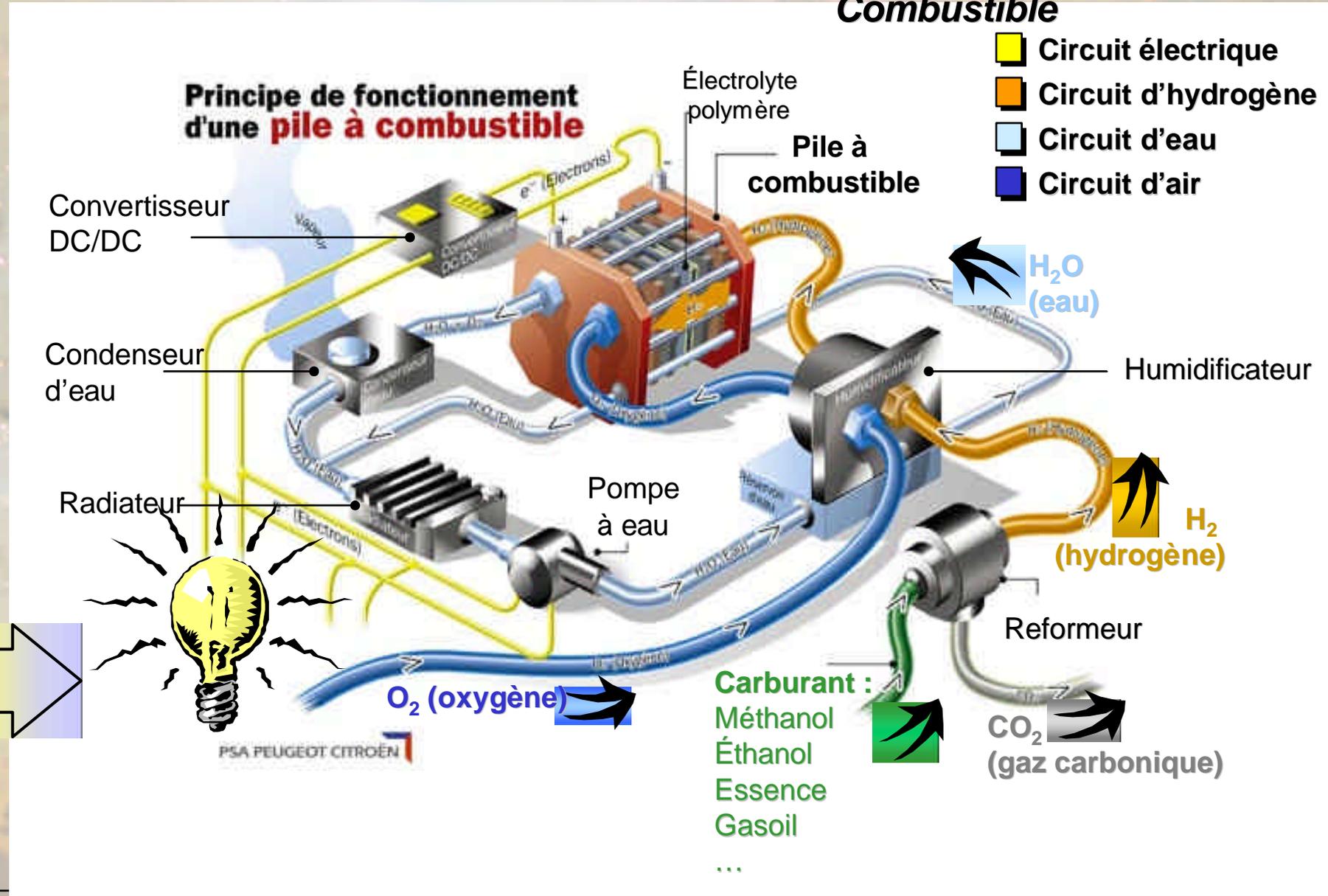


L'architecture d'une pile : du module au système

Exemple de la Pile à Membrane échangeuse de protons



Fabrication module

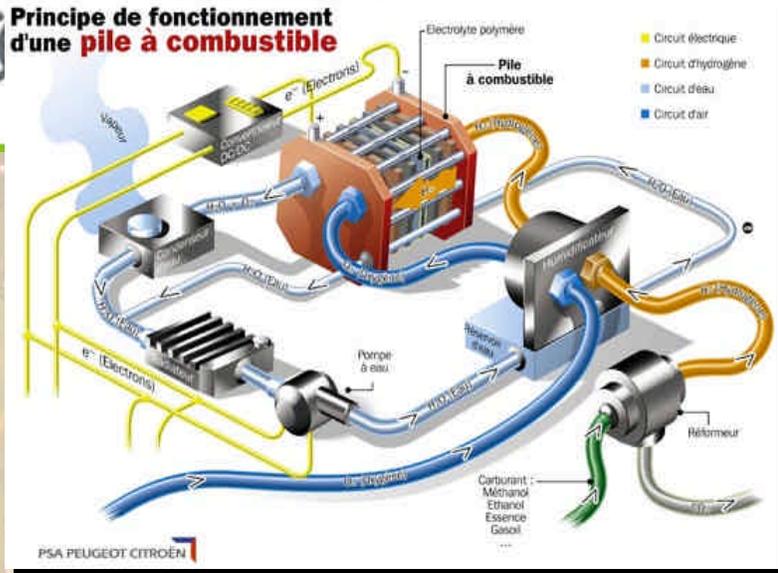


Intégration

L'architecture d'une pile : l'intégration système

Exemple de la Pile à Membrane échangeuse de protons

Principe de fonctionnement d'une pile à combustible



Réservoir de méthanol

Purification des gaz

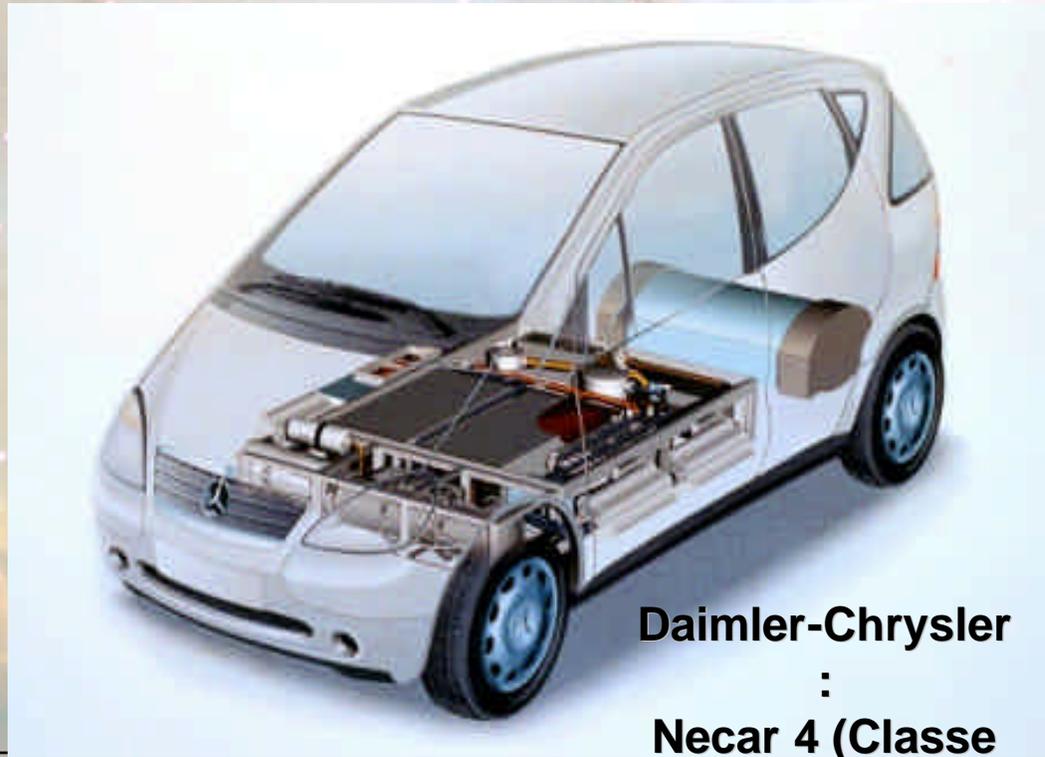
Compresseur

Reformeur

Réservoir d'eau

Piles à combustible

Intégration système



Daimler-Chrysler
:
N-car 4 (Classe

*Intégration
véhicule*

Les applications de l'hydrogène

La pile à combustible



MCFC



PAFC

Stationnaire

SOFC

AFC



Transport

Spatial



PEMFC



Portable

**Mini
PAC**



10 W

100W

1 kW

10 kW

100kW

1 MW

La pile à combustible, les défis



Les 4 principaux verrous (1)

➤ Réduire le coût des composants critiques et du système intégré

➤ Coût actuel d'une PEMFC : **3 000 à 4 500 €/kW**

- Membrane : 150 à 300 €/kW
- Electrodes : 650 €/kW
- **Catalyseur platine : 20 €/kW**
- Plaque bipolaire : 2 500 €/kW

➤ Les prix du marché : **< 3 000 €/kW**

- Véhicules utilitaires : 3 000 €/kW
- Stationnaire : 750 à 1 500 €/kW
- Transport urbain : 150 à 300 €/kW
- **Automobile : 30 à 50 €/kW**



La pile à combustible, les défis



Les 4 principaux verrous (2)

● Augmenter les performances

- ◆ Assurer la robustesse, la fiabilité et la durée de vie
- ◆ PEMFC « haute température » (» 200 °C)
- ◆ SOFC « basse température » (» 400 °C)
- ◆ « Miniaturisation » de la PEMFC pour applications portable

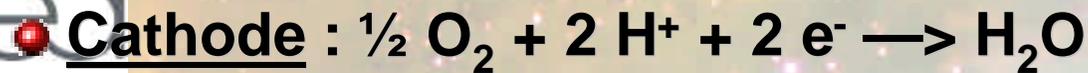
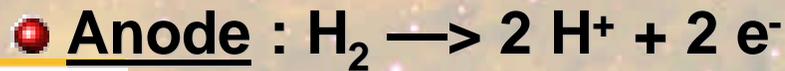
● Assurer la sûreté

- ◆ Stockage du combustible

● Contrôler l'impact sur l'environnement

- ◆ Choix de la filière de production du combustible
- ◆ Démonter la recyclabilité des composants

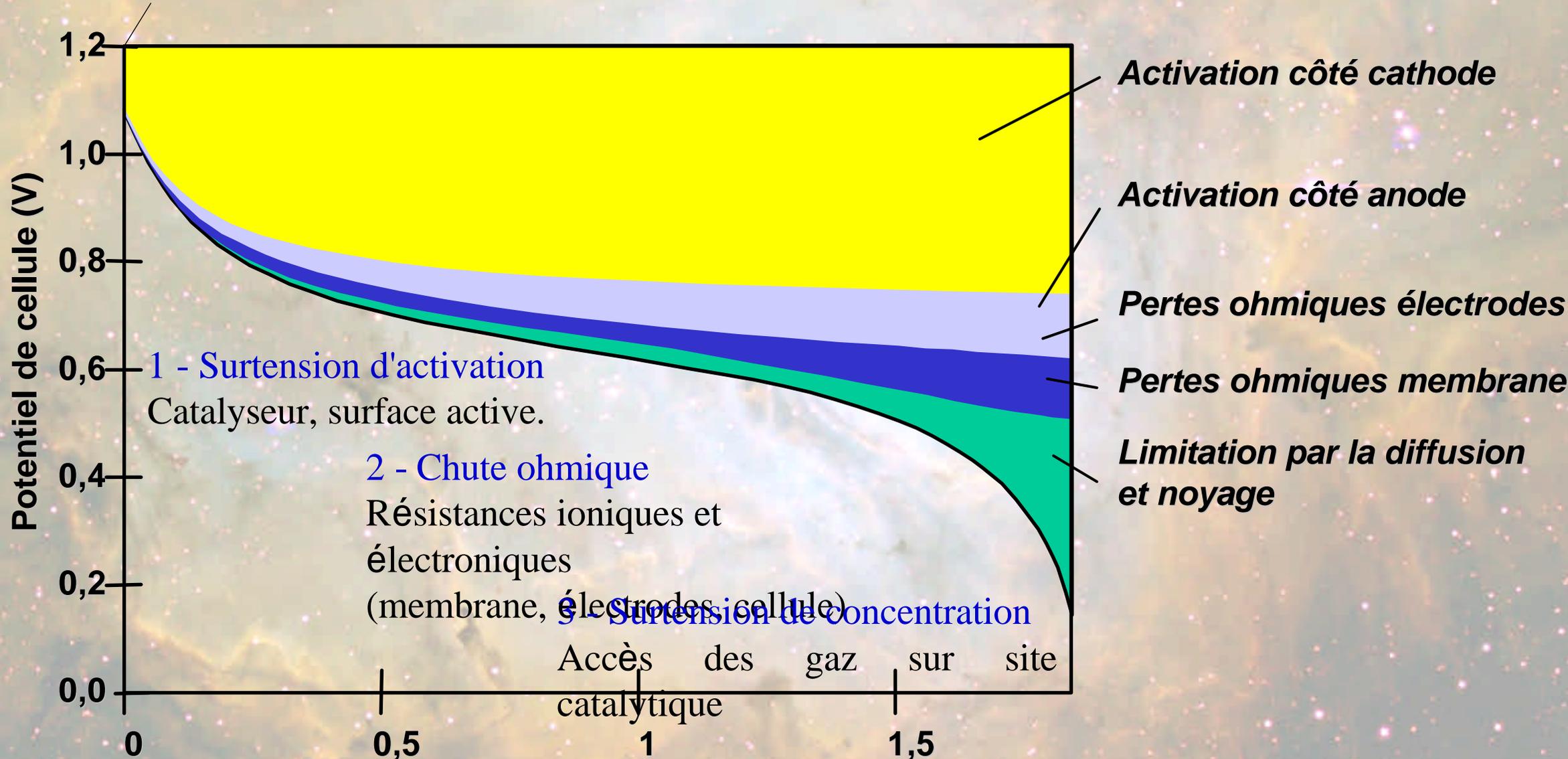
Un peu d'électrochimie



$$V_0 = E_0(\text{O}_2) - E_0(\text{H}_2) = 1,23 \text{ V (H}_2\text{O)}$$

$$\text{Rendement de cellule : } h = V/V_0$$

Potentiel en circuit ouvert



Des Progrès continus

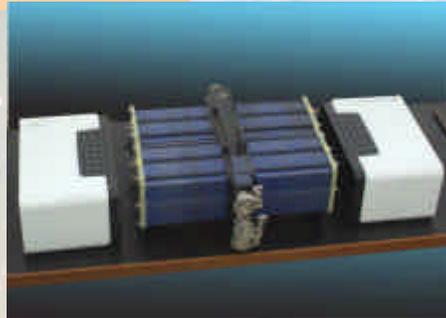


Puissance estimée > 80 kWe (record d'Europe !)

Densités parmi les 5 meilleures au monde

1.5 kW/l ; 1.1 kW/kg

PSA PEUGEOT CITROËN



Augmentation de la durabilité d'un facteur 3 (perf. Stables au-delà de 1400 h)

Réduire les cout par la diminution de Pt

Valorisation de la techno sur des marchés d'amorçage

2006

2007

2007

2007

UUV-PAC
300 W_e
Pile Graphite



1998

Avec le soutien de





L'hydrogène tient-il ses promesses ?

Pertinence du « vecteur hydrogène » ?



Avantages

Contribution à la réduction des émissions de GES : **vecteur propre (fonction du mode de production)**

Réduction de la dépendance aux importations de pétrole: **production possible à partir d'autres sources primaires (Nucléaire, EnR)**

Croissance des besoins : meilleure gestion de certaines sources d'énergie (ex: **stockage tampon vis-à-vis par exemple des énergies intermittentes**)

Inconvénients

Infrastructure H2 quasi-inexistante et coût associé très élevé

Absence sur le marché de matériels compétitifs permettant de produire, stocker et convertir l'hydrogène

Pas encore de normalisation internationale

Facteurs d'incertitude

Rythme des évolutions technologiques dans le domaine H2/ technologies concurrentes

Disponibilité d'énergie fossile à bon marché (coût du CO2)

Consommateur (acceptabilité)

L'hydrogène - le gaz à tous les étages

Une volonté institutionnelle



IPHE	I nternational P artnership for H ydrogen E conomy	Plateforme Internationale sur l'Hydrogène regroupant 18 partenaires (USA, Canada, Europe, France, Allemagne, Italie, Angleterre, Australie, Chine, Inde,...).	
IAE	I nternational A gency for E nergy	Agence Internationale pour l'Energie.	
HFP	H ydrogen and F uel Cell Technology P latform	Plateforme Européenne pour l'Economie Hydrogène issu du High Level Group.	
PAN-H	P rogr A mm E N ational H ydrogène	Programme Français sur la production, le transport de l'hydrogène et les Piles à Combustible.	

Le soutien public à la R&D sur l'hydrogène et les piles à combustible



Canada
Dépenses de R&D 2003 : 207 M€



États-unis
Soutien du gouvernement dans le développement des PAC, en lien avec les applications de défense et l'aérospatial :

- ◆ Freedom Car Programme (150 M€/an)
- ◆ Solid State Energy Conversion Alliance (SECA) Programme (25-30 M€)

Subventions 2005 : 264 M€
1,3 G€ (2004-2008)

Europe



- ◆ FP2 : 8 M€
- ◆ FP6 : 315 M€
- ◆ JTI : 940 M€ (2008-2013)



Chine
Budget de 72 M€ attribué au développement de véhicules PAC



Japon
Soutien de la R&D sur l'hydrogène et les PAC avec un programme sur 28 ans (1993-2020) de budget total de 2,4 G€

Financement public 2005 : 393 M€

France



- ◆ Subvention publique 2005 : 52,5 M€
- ◆ ANR (Programme Pan-H) : 70 M€ (2005-2008)
- ◆ A2I : 67,6 M€ (projet H2E, 7 ans)
- ◆ ADEME : ~2,5 M€ (2007)

Allemagne



- ◆ Budget fédéral : ~25 M€
 - ◆ Budget des lands : ~25 M€
- 500 M€ (2006-2015)



R&D mondiale

- ◆ Publique : 850 M€/an
- ◆ Privée : 3,5 G€/an

Entre temps les marchés précoces



axane



AXANE : Comm Pac™

Base

***Système de 0,5 à 10 kW
composé de 1 à 2
modules pour applications***



**Engins
professionnels**



**Alimentation
site isolé
(couplage EnR)**



**Alimentation
relais télécom
(couplage EnR)**



**Groupe de
secours**

HELION
FUEL CELL MAKER



**HELION
Module de 20 kW
pour applications
anaérobie et
stationnaire**



Merci de votre attention