



www.cnrs.fr

Stockage de l'hydrogène, Piles à combustible

Gérald POURCELLY

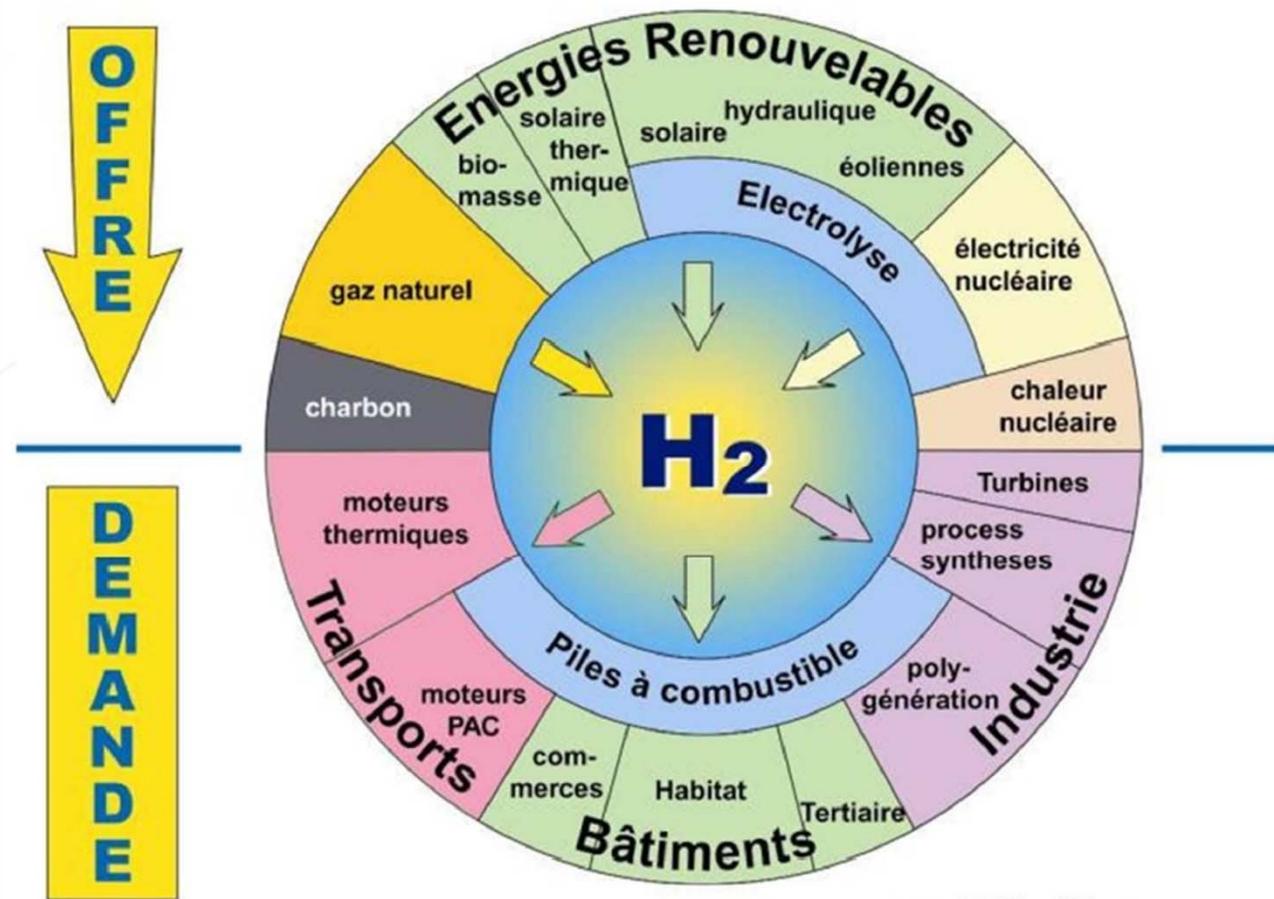
Institut européen des membranes, Institut de chimie du CNRS

Directeur du GDR Piles à combustible et systèmes (PACS)

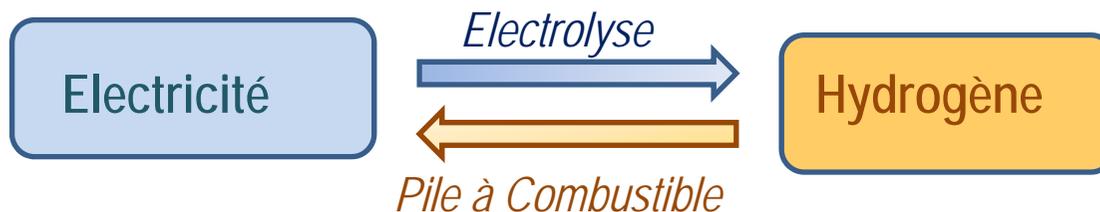
Mercredi 27 février 2013, CNRS Paris Michel Ange



L'hydrogène, au centre du concept de stockage



source : High Level Group



Le cycle vertueux !



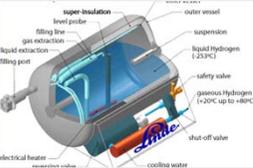
I Méthodes de stockage de l'hydrogène

Objectif : Stocker de l'hydrogène pour le rendre disponible à tout moment, en tout lieu

Difficultés : Très faible masse molaire, très bas point de liquéfaction (- 253°C), conditions de stockage délicates

Avantages : Forte densité massique d'énergie
(33 kWh/kg contre 12kWh/kg pour l'essence ou le diesel)

Objectifs US (Department of Energy) : 9% de masse H₂/ masse du système en 2015 (9kg dans un réservoir de 100 kg). Depuis 2010 : 6%

Etat	Pression bar	Température °C	Capacité kg/m ³ matériau	Capacité % masse H ₂ /système	Sécurité
Gaz comprimé 	350-700	25°C	45	6	Haute P
Liquide cryogénique 	1	-253 °C	70	6	Cryogénique Evaporation
Solide (hydrures métalliques) 	1-10	25°C	100	2	Basse P



Méthodes de stockage de l'hydrogène

1 | Stockage sous pression ou hyperbare

Application pour le transport (alimentation de pile à combustible)

2005



4.6%
masse H₂/système

32 L / 350 bar
Licence CEA/AL

2008



5%
32 L / 700 bar

2012



6%
32 L / 700 bar

Actuellement :

réservoir tout-composite avec coque rotomoulée

Inconvénients :

- remplissage « lent » pour assurer un plein complet (5-10 min)
- stockage à 350 ou 700 bars et utilisation à 2 bars



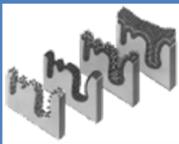
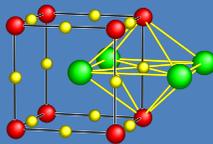
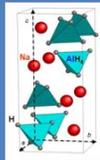
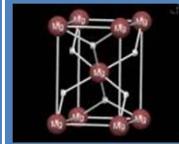
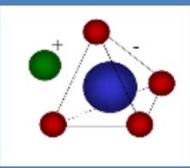
Crédit CEA Plateforme ALHYANCE Innovation



Méthodes de stockage de l'hydrogène

2 | Stockage solide

Applications : stockage stationnaire ou véhicules lourds, navires, sous-marins...

	<i>H₂ Liquide</i>	Cryo-adsorbants	Hydrures métalliques	<i>H₂ Comprimé</i>	Alanates	Hydrures ioniques	Borohydrures
							
Matériau de stockage		carbones, MOFs	LaNi ₅ , TiFe ₂ , (V,Ti)		NaAlH ₄	MgH ₂	LiBH ₄
% masse H ₂ /matériau	100	< 8	< 3	100	5	7.6	18.5
Energie d'extraction H ₂ (kJ/mol)		5	25-40		40-50	75	> 80
Température d'extraction	-253°C	-200°C	-40 à 50°C	25°C	150°C	300°C	> 400°C



Défi : atteindre de fortes capacités de stockage à température ambiante
Stratégies : nanostructuration, matériaux hybrides, nouveaux composés

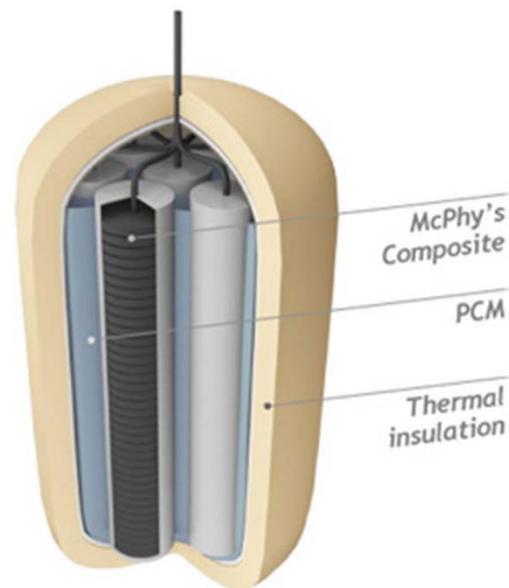


I Méthodes de stockage de l'hydrogène

2 | Stockage solide : exemple de collaboration industrie - recherche académique



Disque d'hydrure de magnésium



Collaboration entre la société McPhy Energy

L'Institut Néel du CNRS : matériaux, nanostructuration MgH_2

Le Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels :
gestion thermique stockage-restitution d' H_2



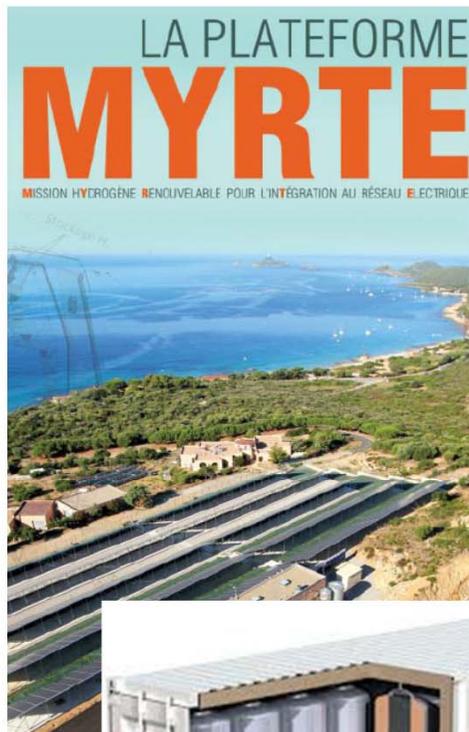
Année	2006	2011	2012	2013
Capacité de stockage (kg H_2)	0,11	4	100	300
Puissance restituée (MWh)			3,3	10



Méthodes de stockage de l'hydrogène

2 | Stockage solide : projets de démonstration en France

Projet Hy-Cube :
Régulation énergies intermittentes



MgH_2
 $T^\circ = 300^\circ C$
Stockage : 24 kg H_2
Couplage :
Pile à combustible
Partenariat :
CNRS-Institut Néel
Mc-Phy



Projet Bahia :
Tondeuse autoportée

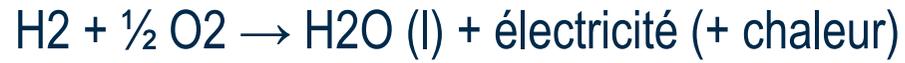


Hydruure métallique
 $T^\circ = 25^\circ C$
Autonomie : 3 h
Couplage :
Moteur thermique
Partenariat :
Univ. Franche-Comté
MaHyTec

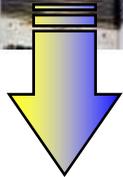




L'hydrogène : énergie de la pile à combustible

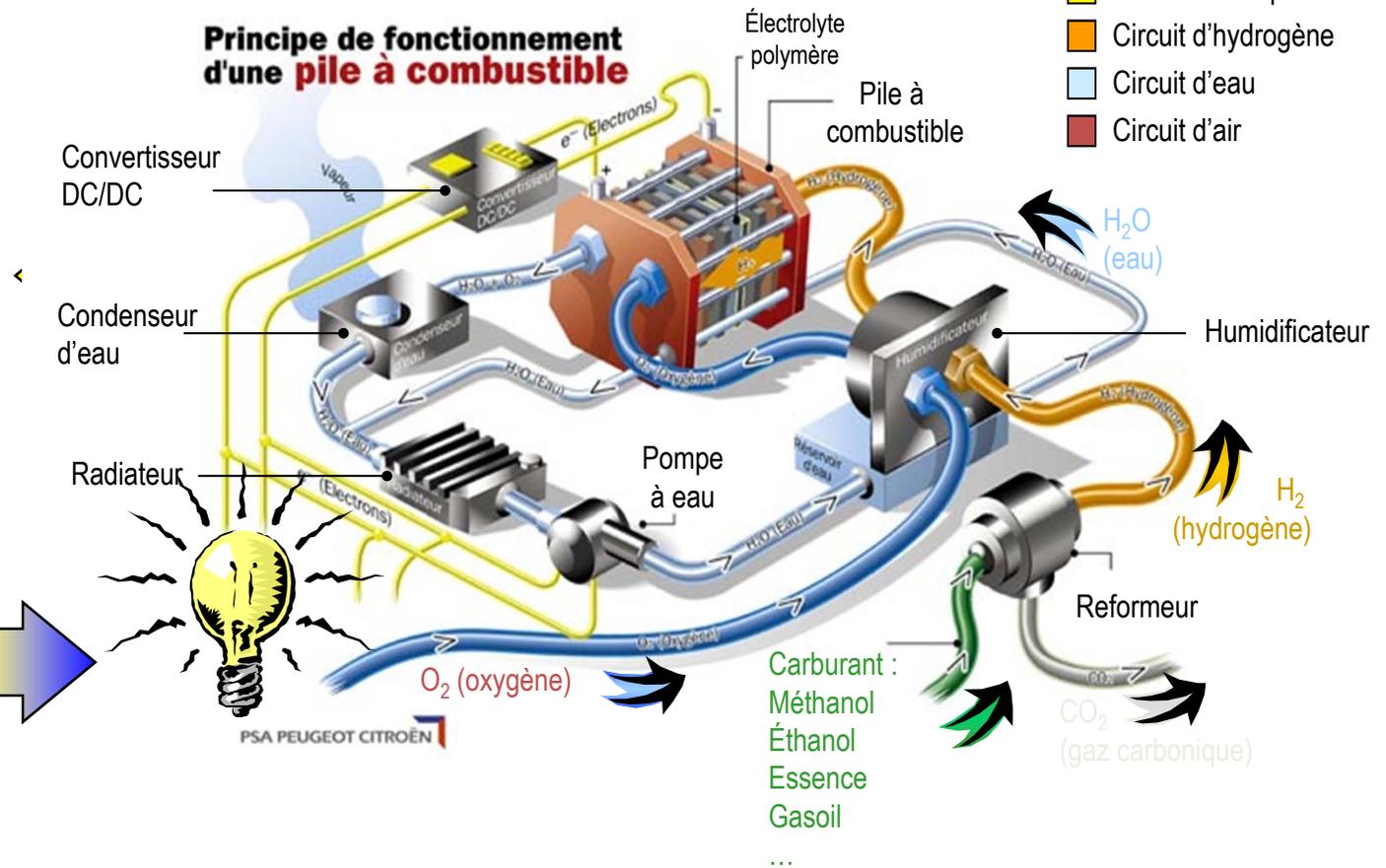


Fabrication module



Intégration module

Système pile à combustible



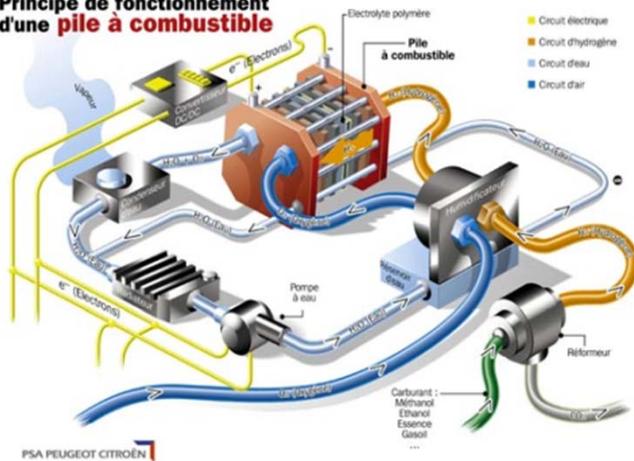
PACS



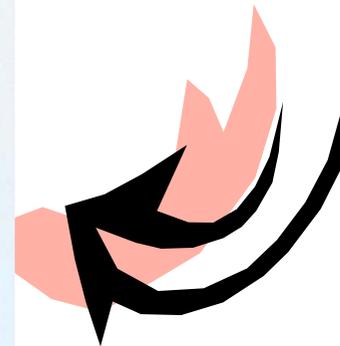
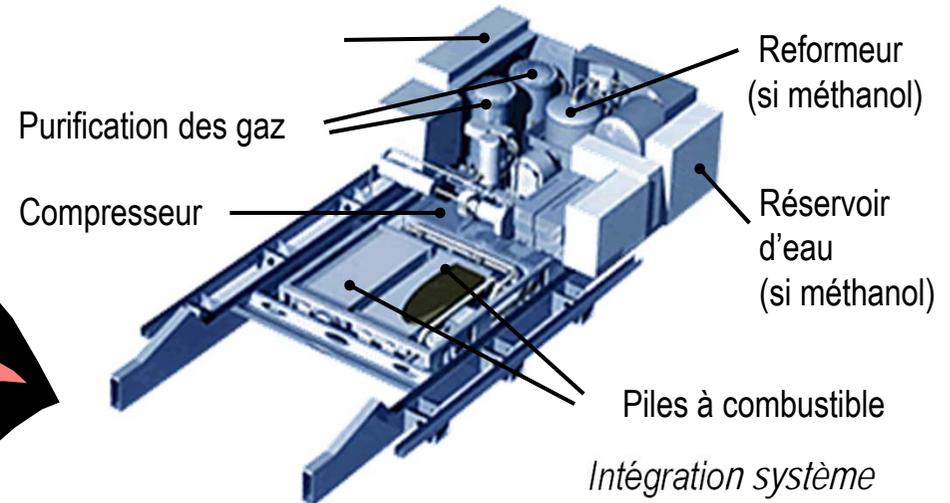
L'hydrogène : énergie de la pile à combustible

Intégration d'une pile à combustible dans un véhicule

Principe de fonctionnement d'une pile à combustible



Réservoir de méthanol (ou d'hydrogène)



*Intégration
véhicule*

PACS

| L'hydrogène : énergie de la pile à combustible

| Réalisations récentes



GM



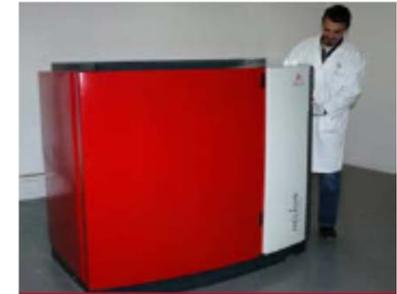
Toyota



Daimler



Hyundai



Groupe électrogène HELION 30kW
(siège du CEA)



Green-GT 340 kW, 24h du Mans 2013

2 réservoirs de 4 kg d'Hydrogène



Stations de remplissage d'hydrogène



Voilier Zéro-CO2



I La recherche publique élément de la R&D sur l'hydrogène et les piles à combustible (PAC)

Groupements de recherche CNRS (GDR)

PACS : Piles à combustible et systèmes

ACTHYF : Acteurs de la communauté hydrogène en France

PACS



En collaboration avec le CEA

En liaison avec l'alliance ANCRE (Alliance nationale pour la coordination de la recherche sur l'énergie)

En partenariat avec EDF, Air Liquide, St Gobain, Areva S.E., Axane...

Les défis pour la recherche

Stockage de l'hydrogène

- Sous pression : allègement des matériaux (liner en polymère et rotomoulage de fibres de carbone renforcées polyépoxyde – 8% masse/système réservoir)
- Solide : nanostructuration des hydrures métalliques (MgH_2 : cible 10 % masse/matériau au lieu des 7,6 actuels). Travaux sur les alanates $NaAlH_4$ pour abaissement de T° de désorption.

Piles à combustible

- PAC basse T° : augmentation de T° fonctionnement (de 80 à 120°C) : matériaux de cœur de pile, membranes et électrodes catalytiques (réduction de la quantité de métaux nobles...)
- PAC haute T° : abaissement de T° fonctionnement (de 800 à 600°C). Amélioration de la stabilité des matériaux ; matériaux d'électrodes à conductivité ionique et électronique ; co-génération (prod. Électricité-chaleur)