

Atelier « Piles A Combustible, Hydrogène »

Gérald POURCELLY

Directeur de l'Institut Européen des Membranes UMR 5635 CNRS
Responsable du Groupe d'Action Thématique PAC-H₂ du PIE 2
Président du comité de pilotage de l'ANR H-PAC

Le groupe de travail: Pierre Beuzit (Alphea); Gérald Pourcelly; Deborah Jones; Jean-Claude Grenier; Michel Latroche (CNRS-Universités); Loïc Antoine (ADEME); François Ropital (IFP); Ludmila Gauthier (EDF); Florence Lefebvre-Joud (CEA); Philippe Mulard (Total); Yvan Faure-Miller (PIE 2)



PACTE

GdR « Piles A Combustible
Tout Electrolyte »



GdR « Acteurs de la
communauté H₂ en France »



Les 7 Groupes d'Analyse Thématique du PIE-2

- **Filière PAC-H₂** (*cet atelier*)
- Bâtiment
- Chaîne du carbone (*capture et stockage de CO₂*)
- Efficacité énergétique
- Production d'électricité propre (*Solaire photovoltaïque et concentré*)
- Nucléaire du futur
- Socio-économie de l'énergie (*4^{ème} atelier*)

Le cahier des charges fixé aux groupes de travail du Colloque



- Analyse de l'état de l'art
- Identification des acteurs : académiques et industriels
- Analyse de la structure de recherche : forces et faiblesses
- Défis scientifiques à relever en les hiérarchisant
- Partenariats à privilégier

Décliné en 3 sous-thèmes pour le GAT PAC-H2:

- Piles A Combustible Basses Températures
- Piles A Combustible Moyenne et Haute Températures
- Hydrogène: Production, stockage, transport

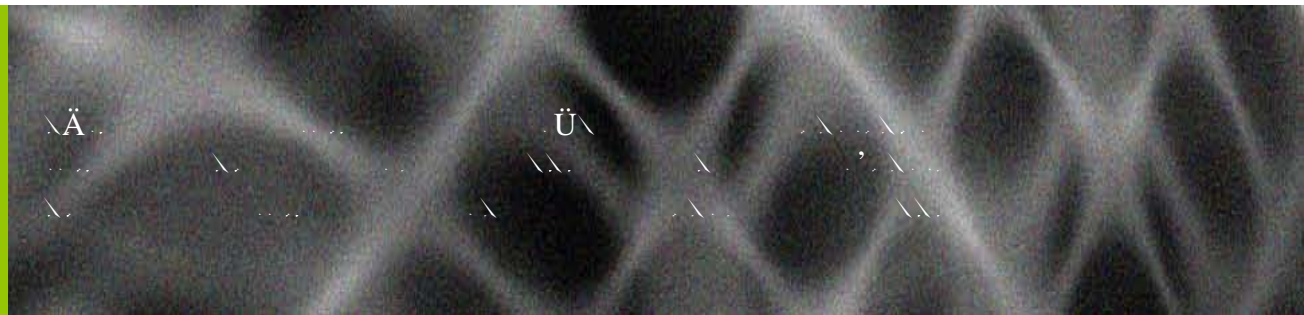
Document de synthèse pour illustrer cet atelier distribué aux participants



En Introduction sur la thématique H₂ et Piles à combustible



EIFER



Contribution de Ludmila Gautier, EIFER





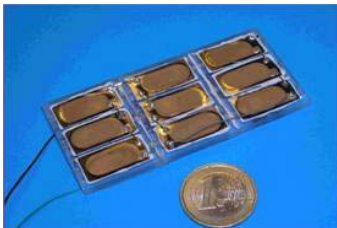
Contexte

- **Les objectifs européens pour 2020**
 - 20% réduction des émissions de CO₂
 - 20% de réduction de la consommation d'énergie finale
 - 20% d'ENR dans la demande énergétique finale
- **Déclinés de manière différente dans les Etats membres**
- **Comment se positionnent les technologies PAC et Hydrogène dans ce contexte: quels bénéfices pour quelles applications ? Bilan EEE par rapport aux solutions alternatives :**
 - Bilan Energétique sur toute la chaîne de valeur
 - Bilan Environnemental
 - Bilan Economique
- **H₂ et Piles à combustible: sont-ils vraiment liés ?**
 - Application transport: nécessité d'infrastructure H₂ pour véhicules à PAC (Avis mitigé de Mr TERRIEN, EDF)
 - Application stationnaire: comme solution tampon, production d'énergie en site isolé
 - Stockage de l'énergie intermittente: découpler le stockage d'H₂ de son utilisation
 - Application mobile: cartouche d'H₂ pour téléphone/ordinateur portables

- Application transport
 - Automobiles: 100% traction (70 kW)
 - Transport routier: traction ou APU (Auxiliaires de puissance)

- Application stationnaire
 - Fonction secours (//groupe électrogène), fonction UPS (qqes kW)
 - (Micro)-cogénération (chaleur + électricité): entre 1 et 250 kW
 - Production décentralisée d'électricité (et/ou chaleur) > 1 MW

- Application mobile
 - Micro-piles
 - Générateurs d'électricité pour téléphones portables (3-5 W), ordinateurs
 - Application loisir (camping-car), militaire (soldat autonome)



micropile à combustible © Artechnique/CEA





Bilan EEE PAC sur toute la chaîne (Energétique, Environnemental, Economique)



Multi-combustible:

- Hydrogène
- Gaz naturel
- Combustibles liquides (diesel, méthanol...)
- Biogaz

Multi-technologies

- PEMFC
- SOFC
- PCFC
- AFC

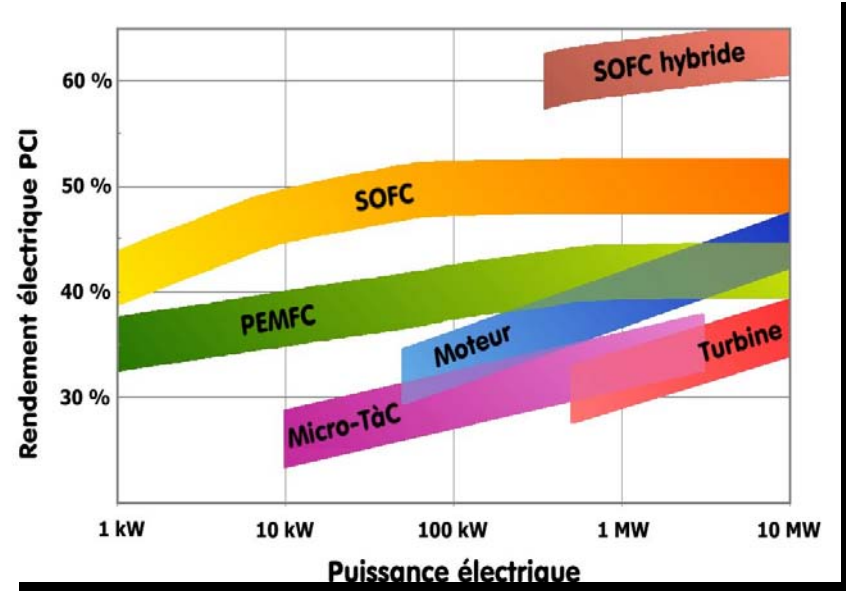
Haut rendement électrique

Production décentralisée

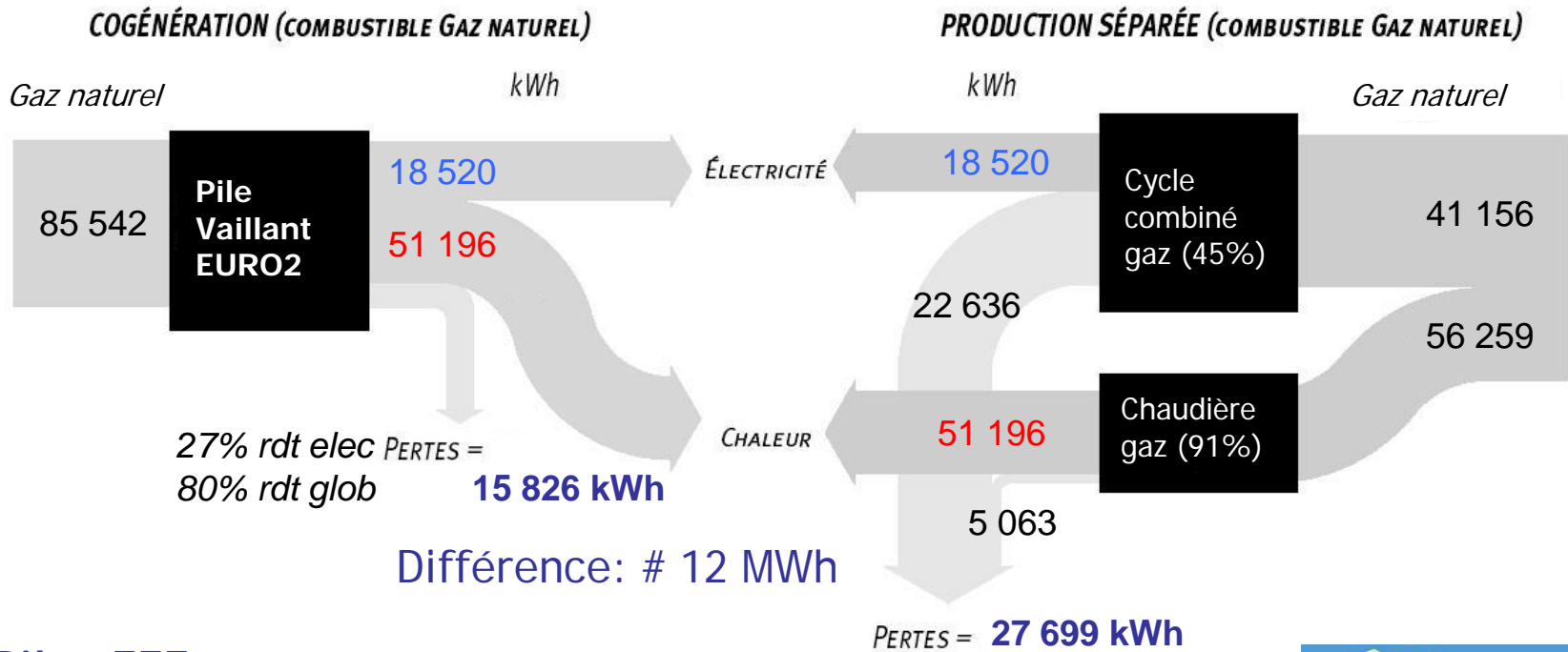
Technologie modulaire

- 1 MWe (ind)
- 250 kWe (tertiaire)
- 100 kWe (res. coll.)
- 1-5 kWe (res. Ind.)
- Qqs We (mobile)

Pas de stockage d'électricité
Si production adaptée aux besoins

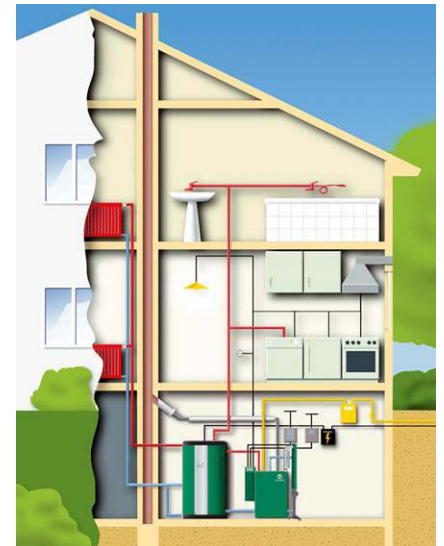


Un exemple: micro-cogénération



Bilan EEE:

- 12% d'économie d'Énergie Primaire
- 12% réduction émissions CO₂
- 10-20% réduction de la facture énergétique par auto-consommation de l'électricité produite (si simultanéité des besoins chaleur/élec) et/ou revente sur le réseau (tarif de rachat < tarif achat)

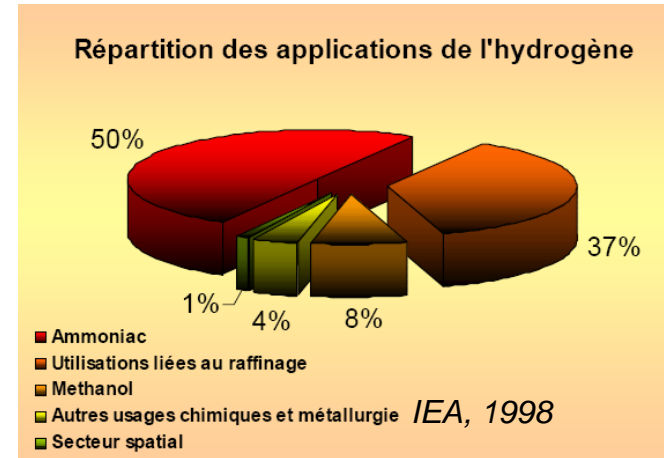


- **Consommation d'H₂ aujourd'hui:**

- 57 MT/an au niveau mondial
- 8 MT/an en Europe
- 0,26 MT/an en France

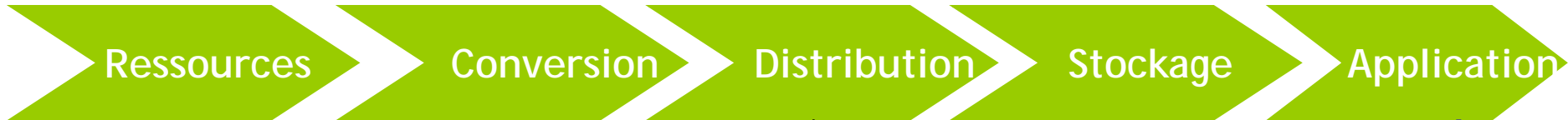
- **Perspectives de développement des usages de l'H₂:**

- **Application automobile:**
 - Stations-service d'H₂ pour piles à combustible
- **Comme intermédiaire de synthèse:**
 - pour le procédé Biomass to Liquid (biocarburant 2^{ème} Gén): 20% des carburants liquides en 2030
 - procédé Coal to Liquid (estimat. USA: 200 Mt/an),
 - pour la sidérurgie
- **Application stationnaire:**
 - Production d'électricité ? Bilan EEE défavorable
 - Stockage d'énergie intermittente ? si solutions de stockage adaptées à l'usage de l'H₂



Cute Project (Stockholm)

Bilan EEE H₂ sur toute la chaîne de valeur



Flexibilité des sources d'énergie primaire:

- Gaz naturel
- Charbon
- Biomasse
- Energie renouvelable

Flexibilité des technologies:

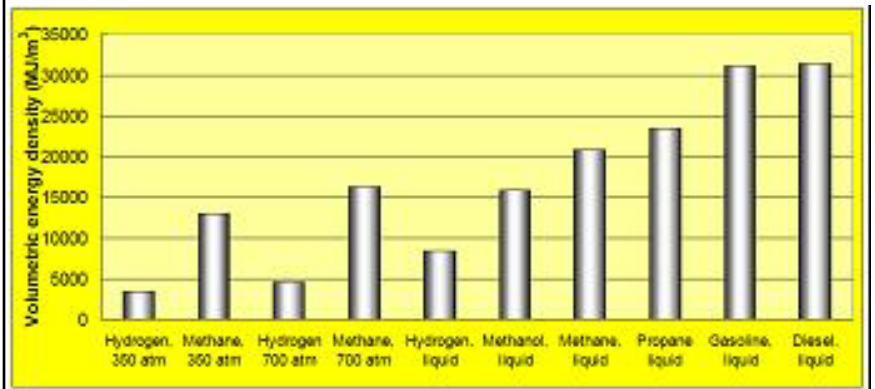
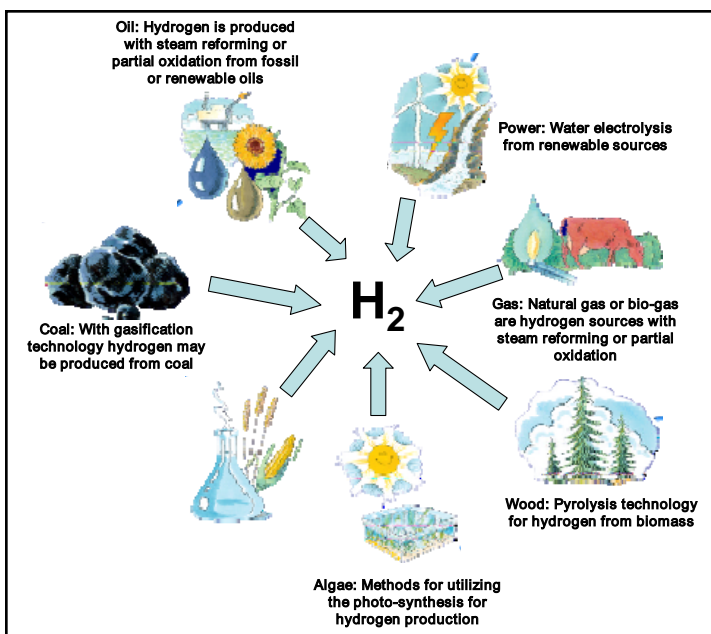
- Reformage
- Gazéification
- Electrolyse
- Bioprocédés

Coût énergétique important pour distance > 1000 km
 → Favoriser la production sur le lieu d'utilisation

Point faible:
 Coût énergétique pour compression à 100 bars = 10% contenu énergétique H₂

Gamme variée d'applications:

- Utilisation directe pour application automobile
- Produit chimique intermédiaire de synthèse



PCI volumique de l'hydrogène

Contribution de Deborah Jones, ICGM-AIME, Montpellier
GDR PACTE, JTI-N-ERGHY



État de l'art

Catalyseurs

- ❑ Catalyseurs platine-alliage, diminution de la charge en platine et des coûts; ($\times 10 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$, équipe de Pascal Brault, GREMI)

Membranes

- ❑ Diminution de la masse équivalente de polymères PFSA [membranes 3M (DoE) et *Aquivion* (programme européen *Autobrane*)], augmentation des masses molaires et réticulation des polymères (stabilité mécanique); Fonctions protogènes autres que le groupe sulfonique: conductivité moins fortement fonction de l'humidité relative, y compris $> 100 \text{ }^\circ\text{C}$;

Électrodes et AMEs

- ❑ Augmentation de la stabilité des assemblages *in situ* lors du fonctionnement. 7000 h de fonctionnement (cyclage) prog. DoE;

Stacks

- ❑ Développement de stacks fonctionnant à $110 \text{ }^\circ\text{C}$, avec diminution de la teneur en eau

Automobile

- ❑ Autonomie 830 km (Toyota, H_2 70 MPa), stacks 90-100 kW

Défis scientifiques - application transport (1/2)

Matériaux, procédés

- ❑ Réduction des coûts des matériaux; Développement de procédés de production adaptés

Catalyseurs

- ❑ Catalyseurs: stabilité électrochimique et activité élevées; diminution de la charge en platine, catalyseurs alternatifs à base de métaux non-nobles pour réduire les coûts.

Membranes

- ❑ Membranes électrolytes mécaniquement stables, durables, nécessitant peu ou pas d'humidification et présentant des conductivités protoniques à > 100 °C pour permettre une simplification des architectures système.

Electrodes et cellules

- ❑ Nouvelles structures d'électrodes, optimisation des couches de diffusion des gaz
- ❑ Plaques bipolaires résistantes à la corrosion, de faibles masse, volume et coût; Optimisation des joints; Nouveaux concepts pour l'alimentation en air, optimisation de la re-circulation de l'hydrogène à l'anode et des humidificateurs

Défis scientifiques - application transport (2/2)

Durabilité

- ❑ Méthodologies et outils pour la prédiction de la durée de vie; Impact de la qualité de l'hydrogène (tolérance aux impuretés) sur la performance et la durabilité d'une pile à combustible
- ❑ Surmonter les insuffisances technologiques associées au démarrage à des températures négatives
- ❑ Amélioration de la compréhension des processus fondamentaux dans la pile à combustible
- ❑ Recherches sur les APU dans le secteur du transport alimentées en combustibles hydrocarbonés :

Défis scientifiques - applications stationnaire et CHP (1/1)

Matériaux

- ❑ Diminution charge en catalyseur (développement de nanostructures etc)
- ❑ Développement de matériaux augmentant T de fonctionnement : assemblages, plaques bipolaires, joints
- ❑ Développement de matériaux améliorant la performance (durée de vie plus élevée et dégradation plus faible avec augmentation des stabilités mécanique, électrochimique et thermique de monocellules et de stacks.)

Durabilité

- ❑ Identification des paramètres critiques et de conditions opératoires pour toutes gammes de puissance. Développement de contre-mesures aux effets de dégradation. Compréhension de mécanismes de dégradation des matériaux et aux interfaces dans les conditions de fonctionnement de l'application stationnaire.
- ❑ Nouveaux outils de diagnostic (pour la gestion de l'eau, le contrôle simplifié de la tension de cellule...)
- ❑ Nouvelles architectures de monocellule et de stacks pour améliorer la performance, la durabilité, la robustesse, et pour diminuer les coûts
- ❑ Augmentation de la densité de puissance et de l'efficacité
- ❑ Recherche et développement améliorant la performance de tous les composants individuels du système : pile, reformeur, échangeurs de chaleur, gestion du combustible

Défis scientifiques - application portable (1/1)

- ❑ Durabilité de micro piles à combustible dans des conditions typiques de fonctionnement compatible avec une utilisation prolongée et à des densités de puissance requises
- ❑ Procédés de production reproductibles et de qualité

Contextes National et International

☐ Contexte National :

- ANR, programmes PAN-H, H-PAC. Financements 84 M€ 2005-2008 (H2, PEMFC, SOFC)
- ADEME, Plateforme HyPAC
- GDR PACTE - activités PEMFC et SOFC "coeur de pile"
- PIE Energie 2 CNRS et GAT PAC H2
- Structure FC-Lab (Belfort): durabilité des systèmes PAC

☐ Contexte International:

- Europe : Programmes PCRD depuis 1986. Actuellement FCH-JU 470 M€ de financement CE et 470 M€ du secteur privé 2008-2013
- US : programme Hydrogen Fuel Initiative, environ 200 M\$/an
- Allemagne : programme national 500 M\$ jusqu'en 2015, H2 mobility
- Japon: agences NEDO, structuration par le JARI, JHFC
- Grande Bretagne, Pays Bas, Danemark, Canada, Chine, Corée...

Acteurs académiques et industriels (1/2)

❑ France :

- Laboratoires CNRS et CEA - GDR PACTE-PACEM, PACS
- *Industriels: PME*s : CETH, Paxitech, N-GHY, Auer...
- *Industriels: EDF, EIFER, AXANE, HELION, Air Liquide, PCA...*

❑ Allemagne* :

- Laboratoires : ZSW, FZJülich, MPI-Solid State Research, MPI-Polymer Research, Tech. Univ. Munich, DLR, GKSS, Univ. Stuttgart, Univ. Ulm, Univ. Berlin
- *Industriels : Umicore, Solvicore, BASF Fuel Cell, Polymaterials, FuMA-Tech, Daimler, VW, Opel, Vaillant, Viessmann*

❑ Danemark :

- Laboratoires : Tech. Univ. Danemark
- *Industriels : IRD, Serenergy*

❑ Italie :

- Laboratoires : CNR-ITAE Messina, Univ. Perugia, Univ. Rome
- *Industriels: Solvay-Solexis, CR Fiat, Edison*

❑ Pays Bas :

- Laboratoires : ECN, JRC

- *Industriels : HyGear*

Acteurs académiques et industriels (2/2)

❑ Grande Bretagne :

- Laboratoires : Univ. Surrey, Univ. Newcastle, Imperial College (Univ. Londres), Univ. Manchester
- Industriels : *Johnson Matthey Fuel Cells, Intelligent Energy, Whitefox Technologies, CMR Ltd*

❑ Etats-Unis* :

- Laboratoires : Case Western State Univ., Univ. Tennessee, Univ. Connecticut, Univ. Southern Carolina, Vanderbilt Univ., Los Alamos & Argonne Nat'l Labs
- Industriels : *General Motors, UTC Fuel Cells, Polyfuel, 3M, WL Gore, DuPont, PlugPower, MTI Microfuel Cells, Nuvera FC*

❑ Japon* :

- Laboratoires : Univ. Yamanashi, Univ. Waseda, Univ. Tokyo, FC Cubic
- Industriels : *Toyota, Nissan, Honda, Osaka Gas, Tokyo Gas, Nippon Oil, Toshiba FC Power Systems...*

❑ Canada :

- Laboratoires : Univ. Toronto, Simon Fraser Univ., NRC Inst. Fuel Cell Innov., Univ. Sherbrooke
- Industriels: *AFCC, Ballard, BC Hydro, Enbridge, Hydrogenics*



Forces et faiblesses (1/2)

- ❑ Structuration par les GDR depuis 8 ans
- ❑ Pluridisciplinarité amont / aval : recherches dans les laboratoires CNRS à la fois sur les matériaux, sur les systèmes et l'intégration
 - Importance de maintenir ces deux aspects et de ne pas se limiter qu'aux recherches en amont
- ❑ Masse critique de chercheurs
 - Mais peu de "vrais centres" visibles à l'international
- ❑ Programme national ANR PAN'H et H-PAC
 - Permet le financement des recherches finalisées, mais aussi des sujets importants sont abordés comme la dégradation, la durée de vie, des assemblages, nouveaux matériaux...
- ❑ Complémentarité avec les laboratoires CEA
 - mais ne pas limiter le CNRS au secteur amont

Forces et **faiblesses** (2/2)



- ❑ Faible financement des recherches à long terme
 - Manque un programme sur le long terme, budget PIE H2-PAC trop faible
 - Recherches dans le cadre de l'ANR « trop pilotées par l'aval » ... programmes exploratoires ???
- ❑ Faible implication dans les programmes européens
 - Projets PAN'H, H-PAC plus accessibles qu'un projet PCRD
 - Vision tournée vers le national - affaiblissant la culture et l'information au niveau européen et international
- ❑ Mise en concurrence (au niveau du financement) entre technologies par les agences de moyens
- ❑ Absence de continuité dans le tissu industriel en France pour développer une filière complète (faiblesse de l'industrie chimique, en particulier pour les matériaux)
- ❑ Peu de concrétisations : les PEMFC apparaissent en France toujours comme une « technologie en devenir »
- ❑ Certaines collaborations difficiles à établir avec le secteur aval
- ❑ Recherche de la "rupture technologique" aux dépens de la recherche incrémentale et de la recherche à long terme



Partenariats à privilégier

- ❑ CEA
 - La synergie CNRS - CEA doit continuer

- ❑ PME
 - Participent dans les projets ANR, FUI (Fond Unique d'Industrialisation)

- ❑ Grands groupes français
 - Partenariats directs et au travers de projets collaboratifs de type ANR, PCRD

- ❑ Coordination et pilotage de l'ensemble de la recherche amont et aval
 - pour une recherche finalisée visant l'application, stack et au-delà...
 - et pour promouvoir des sujets porteurs et en émergence (SMAFC, DAFC...)

La filière Piles A Combustible Haute Température

Contribution de Jean Claude GRENIER
GDR PACTE et ICMCB UPR 9048 Bordeaux

PACTE

GdR « Piles A Combustible
Tout Electrolyte »



et:

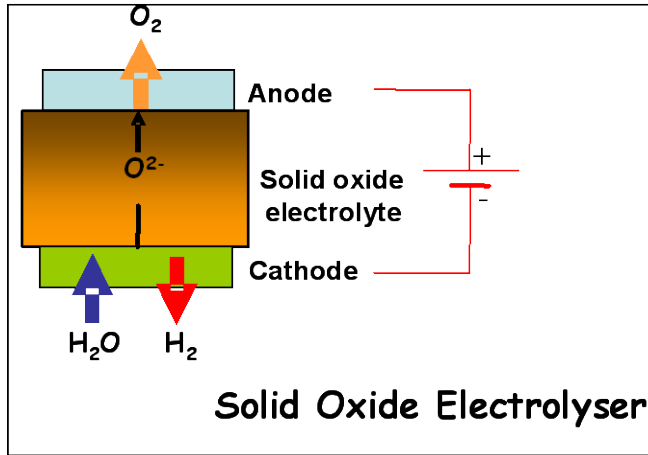
FILOSOFIE (Evaluation de la filière SOFC en France): Etude financée
par l'ADEME en liaison avec Alpheia Hydrogène

ADEME



SOEC + SOFC = Solide Oxide Cells:

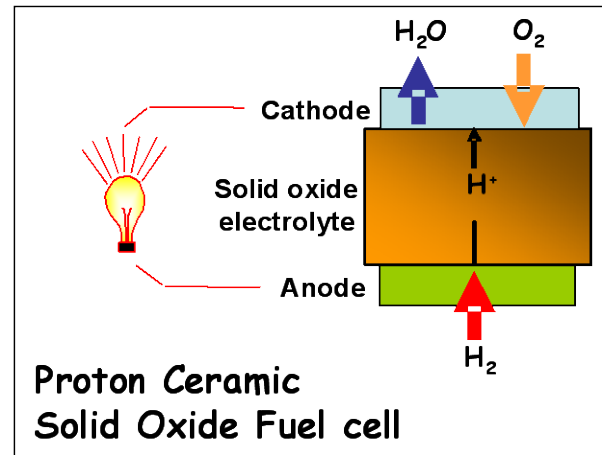
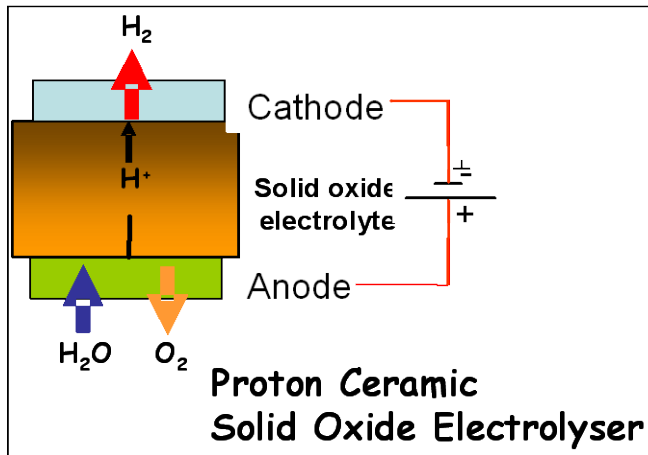
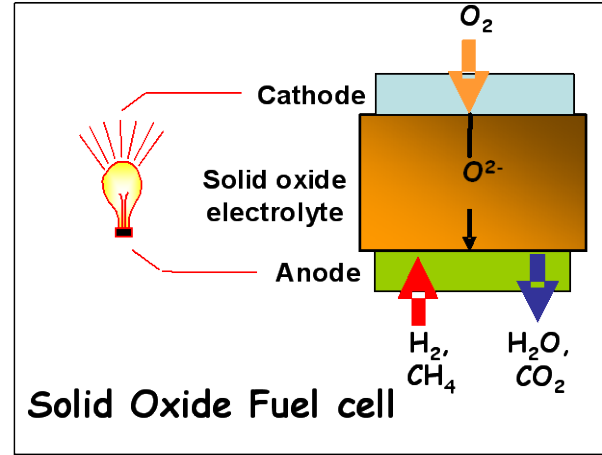
des matériaux similaires...



600-800°C

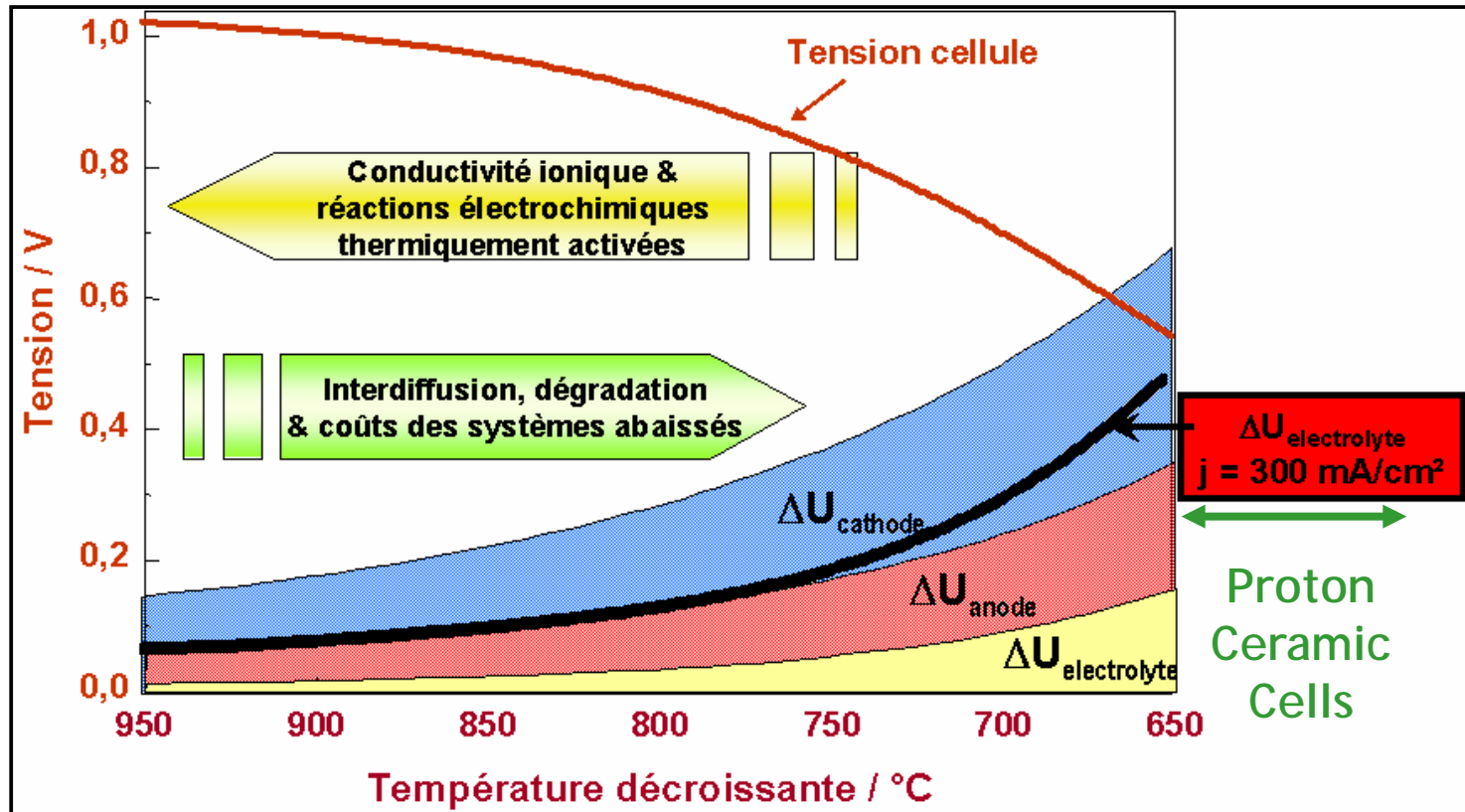


400-600°C



...des fonctionnalités différentes

Objectif majeur: diminution de T_{fonct} sur 500 - 700°C



Tension de cellule d'une SOFC en fonction de la température



Etat de l'art de la technologie SOFC

❑ Pourquoi les SOFC ?

PAC avec Rdt électrique élevé (> 50 %)

Utilisant des combustibles naturels (gaz naturel, bio-gaz)

❑ Marchés visés

Micro-cogénération (1 - 5 kW élect)

Co-génération

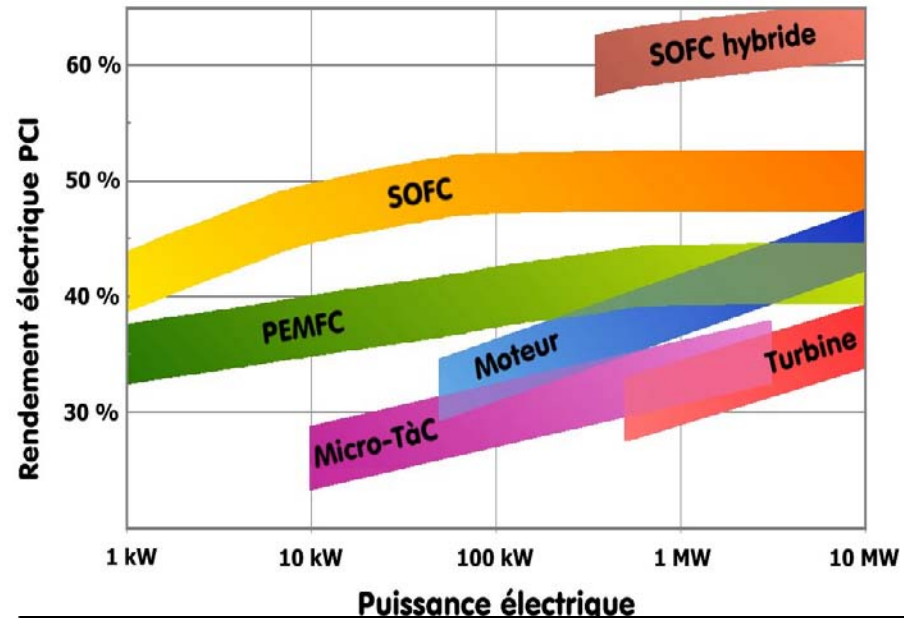
Applications APU: transport fluvial, aéronautique

❑ Existence de programmes de démo et de tests, systèmes disponibles

Allemagne, Japon, USA, France ...

❑ Points durs

Durée de vie, souplesse d'utilisation, coût ...



- ❑ **Les électrodes** : nvx matériaux (cathodes et anodes) permettant de fonctionner à 550 -700°C, d'abaisser les surtensions c.a.d. activer l'oxydation électrochimique du combustible: (hydrogène du réformage, hydrocarbures avec réformage interne, gaz naturel) et la réduction de l'oxygène: nvx catalyseurs à base d'oxydes à conduction mixte
- ❑ **Les électrolytes**: épaisseur de 10 - 100 μm délicats à fabriquer (coût), meilleure connaissance de YSZ (Zircone yttrée) et des céramiques de terres rares (cérine); recherche de nvx électrolytes solides (SOFC- O^{2-} et H^+)
- ❑ **Mise en forme des cellules**: développement de techniques à bas coût
- ❑ **Vieillessement et dégradation**: causes de la baisse de performances en fonct. du temps; amélioration de la durabilité des systèmes actuels.



- ❑ **Les technologies de montage** : conductibilité électrique à assurer, architecture d'assemblage, corrosion en milieu oxydant ou réducteur à HT des matériaux d'interconnexion, fragilisation mécanique, mise en forme des composants
- ❑ **Développement de nouveaux systèmes**: systèmes à conduction protonique (gamme visée: 500 - 600°C), électrolyse de la vapeur d'eau à HT
- ❑ **Les matériaux**: coût, disponibilité, durée de vie, recyclabilité.



Quelques réflexions... Forces (F), faiblesses (f)



- F: Les Unités associés au CNRS se situent à un très bon niveau dans le contexte international pour la recherche de base sur les composants de cœur de pile.
Excellamment positionné en électrolyse de vapeur d'eau à HT
- F: Grâce à l'action du GdR la communauté est très bien identifiée
- F: Collaborations bien établies avec le CEA et industriels (St Gobain, GDF, EDF)
- F: Les soutiens financiers de l'ANR et de l'ADEME ont permis à des équipes d'atteindre la dimension internationale



- f: forte dissémination des groupes dans de nombreux centres (une vingtaine)
- f: financements publics faibles comparés à l'international
- f: Démonstrateurs en nombre insuffisant pour exploiter des retours d'expérience



Quelques recommandations...

- ❑ **A partir de la pertinence du développement d'une filière SOFC en France**
 - Etat de l'art technique de très bon niveau, analyse socio-économique positive
- ❑ **Comment soutenir ce développement ?**
 - Structurer la filière SOFC française (Recherche, R&D, industries) autour d'opérations de **démonstration**
 - Fédérer la recherche sur les matériaux pour la maintenir à son niveau d'excellence
 - Engager ces actions dans la **dynamique d'une feuille de route** de développement de la filière SOFC en France.
- ❑ **Quels démonstrateurs ?**: systèmes complets appliqués à des domaines stratégiques: micro-cogénération et cogénération, valorisation de la biomasse: permettant un retour d'expérience sur le fonctionnement des composants en laboratoire et sur site (performances, durée de vie, intégration). **Une orientation des actions de R&D sur des verrous bien identifiés.**
- ❑ **Comment fédérer la recherche sur les matériaux ?** Création d'un Centre d'Excellence regroupant les acteurs de la recherche



La production d'hydrogène (hors électrolyse), son stockage et son transport



Contribution de Michel Latroche

GDR ACTHYF 3270 et ICMPE UMR 7182 THIAIS



**GdR « Acteurs de la
communauté H₂ en France »**



Enjeux

Les **besoins en énergie** et la **réduction de leurs impacts** sur le climat et l'environnement sont les **enjeux majeurs** du XXI^{ème} siècle

Le **secteur des transports** représente 25% des émissions nationales de CO₂ (130 Mt en 2003)

Les solutions sont à trouver dans une perspective de **développement durable** avec des **vecteurs d'énergie sans émission de gaz à effet de serre**

L'utilisation d'**énergies alternatives** (via l'**hydrogène**) permettra de **réduire** considérablement ces émissions de gaz à effet de serre

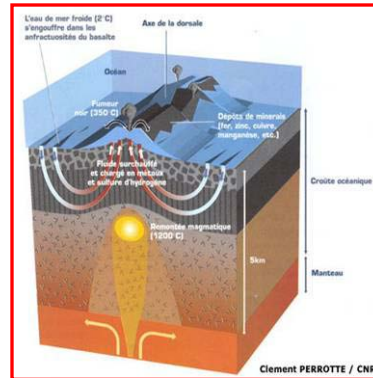
Le développement de moyens de **production**, de **purification** et de **stockage performants** est la clé du développement des **applications de l'hydrogène** comme **vecteur énergétique**



1 - Analyse de l'état de l'art

Production d'H₂ économe en CO₂ (hors électrolyse)

Hydrogène géologique
(serpentinisation)
(avec l'INSU)



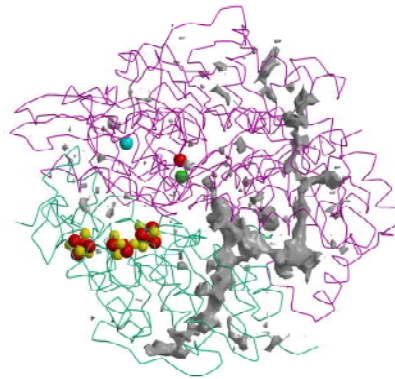
Hélio Hydrogène
(Base de données
de 300 cycles)



1 - Analyse de l'état de l'art

Production d'H₂ économe en CO₂ (hors électrolyse)

Bio hydrogène



Systèmes biologiques de production d'H₂
Hydrogenase [NiFe] *Desulfovibrio*

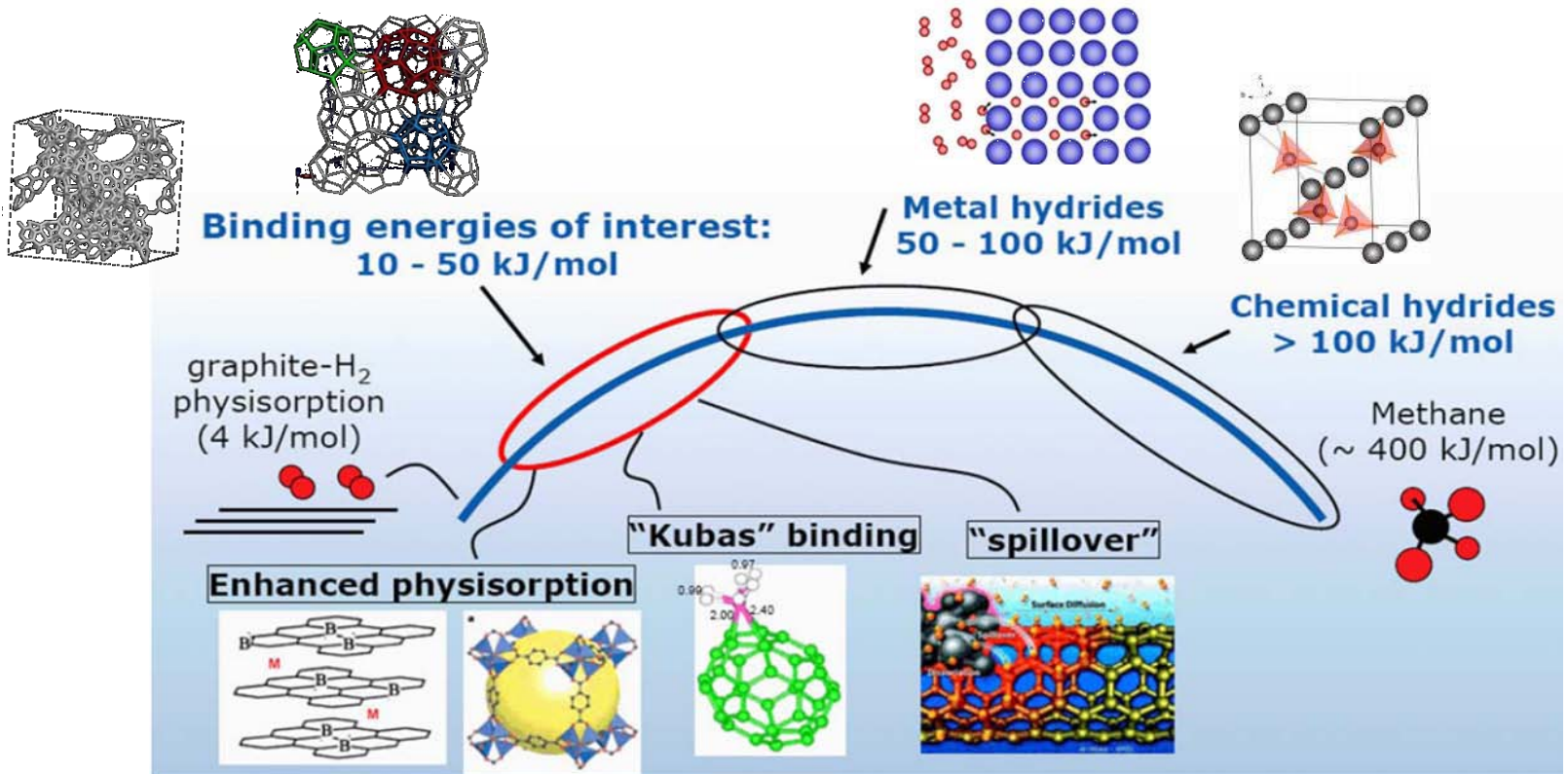
Hydrogène photo-
électrolytique

Photo-électrodes à base de semi-
conducteurs de type n ou p



1 - Analyse de l'état de l'art

Stockage solide d'H₂ : objectifs 5.5wt.%;40 g/L (système)



Physisorption

Modélisation

Chimisorption



1 - Analyse de l'état de l'art

Stockage solide d'H₂

| Hydrures métalliques | P (bar) | T (K) | Cm % | Cv g/dm ³ |
|----------------------|---------|-------|------|----------------------|
| LaNi ₅ | 1.7 | 298 | 1.4 | 134 |
| ZrV ₂ | 1E-8 | 323 | 3.0 | 124 |
| TiFe | 5 | 303 | 1.9 | 126 |
| Mg ₂ Ni | 1 | 555 | 3.6 | 128 |
| bcc | 10 | 313 | 2.6 | 170 |

| Matériaux poreux | P (bar) | T (K) | Cm % | Cv g/dm ³ |
|--------------------------------|---------|-------|------|----------------------|
| Activated Carbons Norit 990293 | 1 | 298 | 0.5 | 10 |
| | 1 | 77 | 2.5 | 40-50 |
| MIL-53 | 15 | 77 | 3.8 | 38 |
| MIL-101 | 40 | 77 | 6.1 | 60 |
| | 85 | 298 | 0.3 | 3 |
| MOF-5 | 48 | 77 | 5.2 | 52 |
| | 60 | 298 | 0.45 | 4.5 |
| MOF-177 | 70 | 77 | 7.5 | 75 |

Capacité des matériaux, pas du système total...!

| Hydrures complexes | P (bar) | T (K) | Cm % | Cv g/dm ³ |
|----------------------------|---------|-------|------|----------------------|
| LiAlH ₄ | | | 7.9 | 72 |
| NaAlH ₄ | 1 | 383 | 5.6 | 70 |
| NaBH ₄ (thermo) | 1 | 693 | 10.6 | 115 |
| NaBH ₄ (hydro) | 1 | 298 | 6.6 | 70 |
| LiNH ₂ /LiH | 1 | 553 | 6.5 | 77 |



1 - Analyse de l'état de l'art

Développement des réservoirs : contraintes mécaniques, échanges thermiques et cinétiques

Réservoirs composites
HP 700 bars



Réservoirs à hydrures
métalliques

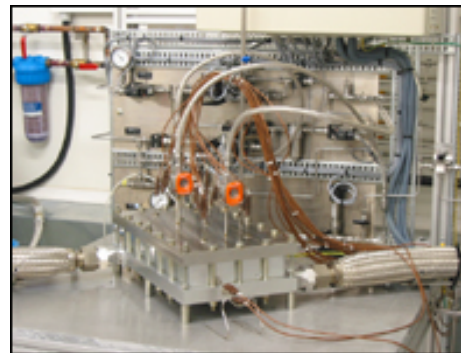


Figure 3 : Banc de tests DESHY et prototype PLUSPAC en cours de tests.

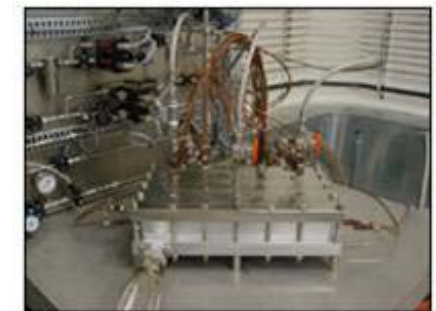


Figure 2: Prototype PLUSPAC
(10 kg de LaNi5)



1 - Analyse de l'état de l'art

Développement des réservoirs : contraintes mécaniques, échanges thermiques et cinétiques

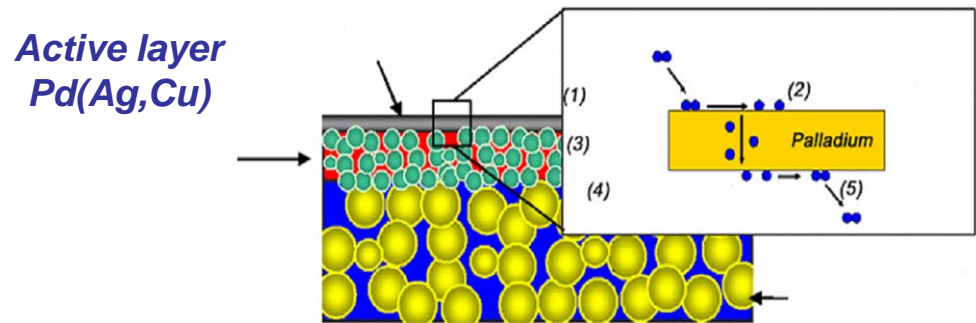
| | P (bar) | T (K) | Cm % | Cv g/dm ³ |
|----------------------------------|------------|------------|---------------|-------------------------|
| Gaz comprimé Moyenne pression | 220 | 298 | 1.25 | 15 |
| Gaz comprimé Haute pression | 350 700 | 298 298 | 7.5~8.5 10 | - 40 |
| Gaz liquéfié | 1.013 | 21 | 6.5 | 70 |



Purification, membranes et catalyse

Membranes et procédés membranaires

Membranes polymères, hybrides et composites organique/inorganique
Membranes purement inorganiques



Catalyse

Nouveaux types de catalyseurs inspirés du monde vivant (hydrogénases)
Catalyseurs pour la désorption des hydrures métalliques ou complexes



2 - Identification des acteurs académiques et industriels (1/4)



Acteurs académiques:

5 Instituts CNRS :

INC, INST2I, INSU, INP, INSB

30 laboratoires CNRS, >100 chercheurs

4 EPICs : CEA, IFP, INERIS,
ADEME



2 - Identification des acteurs académiques et industriels (2/4)



Production d'H₂ économe en CO₂ (hors électrolyse)

Hydrogène géologique



Nancy-Université

Hélio-hydrogène



Bio-hydrogène GDR BioH₂ 23 laboratoires, 90 chercheurs...



Hydrogène photo-électrolytique

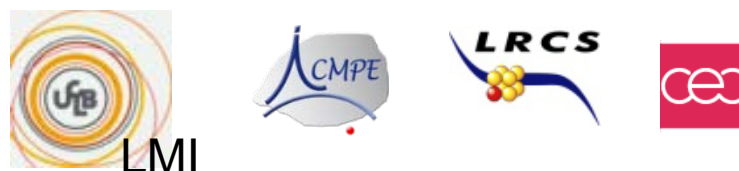


Stockage solide d'H₂

Hydrures métalliques



Hydrures complexes (ir)réversibles



Modélisation des matériaux



Matériaux poreux



2 - Identification des acteurs académiques et industriels (4/4)



Développement des réservoirs : contraintes mécaniques, échanges thermiques et cinétiques



Purification, membranes et catalyse



3 Analyse de la structure de recherche (forces et faiblesses)



- De nombreuses compétences dans tous les domaines scientifiques (production, stockage, modélisation, transport)
- Une structuration en réseau bien mise en place (GDRs BioH2, Acthyf, Pacte)
- Une bonne participation auprès des agences de moyens nationales (ANR, PIE2)



- Une participation auprès des instances européennes (FP7, JTI H2) et internationales (IEA-HIA, IPHE) à renforcer
- Un transfert technologique entre recherches fondamentale et appliquée à améliorer
- Un espace pour la recherche purement fondamentale à ménager pour les équipes innovantes et les sujets à risques





4- Défis scientifiques à relever en les hiérarchisant



Production H₂:

- Rendements des systèmes de production bio (algues vertes, bioH₂), des électrolyseurs (électrolyse photo-assistée), de l'hélio-hydrogène (cycles thermo-chimiques)
- Faisabilité du captage de l'hydrogène géologique, reproductibilité de la production naturelle abiotique de l'hydrogène

Stockage H₂:

- HP: Sécurité du stockage, capacité volumique limitée, conformation des réservoirs
- Chimisorption: Capacité massique limitée (objectif 5% système), gestion des effets thermiques, sécurité des hydrures complexes, catalyse des hydrures complexes, durée de vie en cyclage
- Physisorption: Température de fonctionnement trop basse, capacité volumique insuffisante

Purification:

- Durée de vie, résistance mécanique des membranes, température et pression de fonctionnement trop élevées



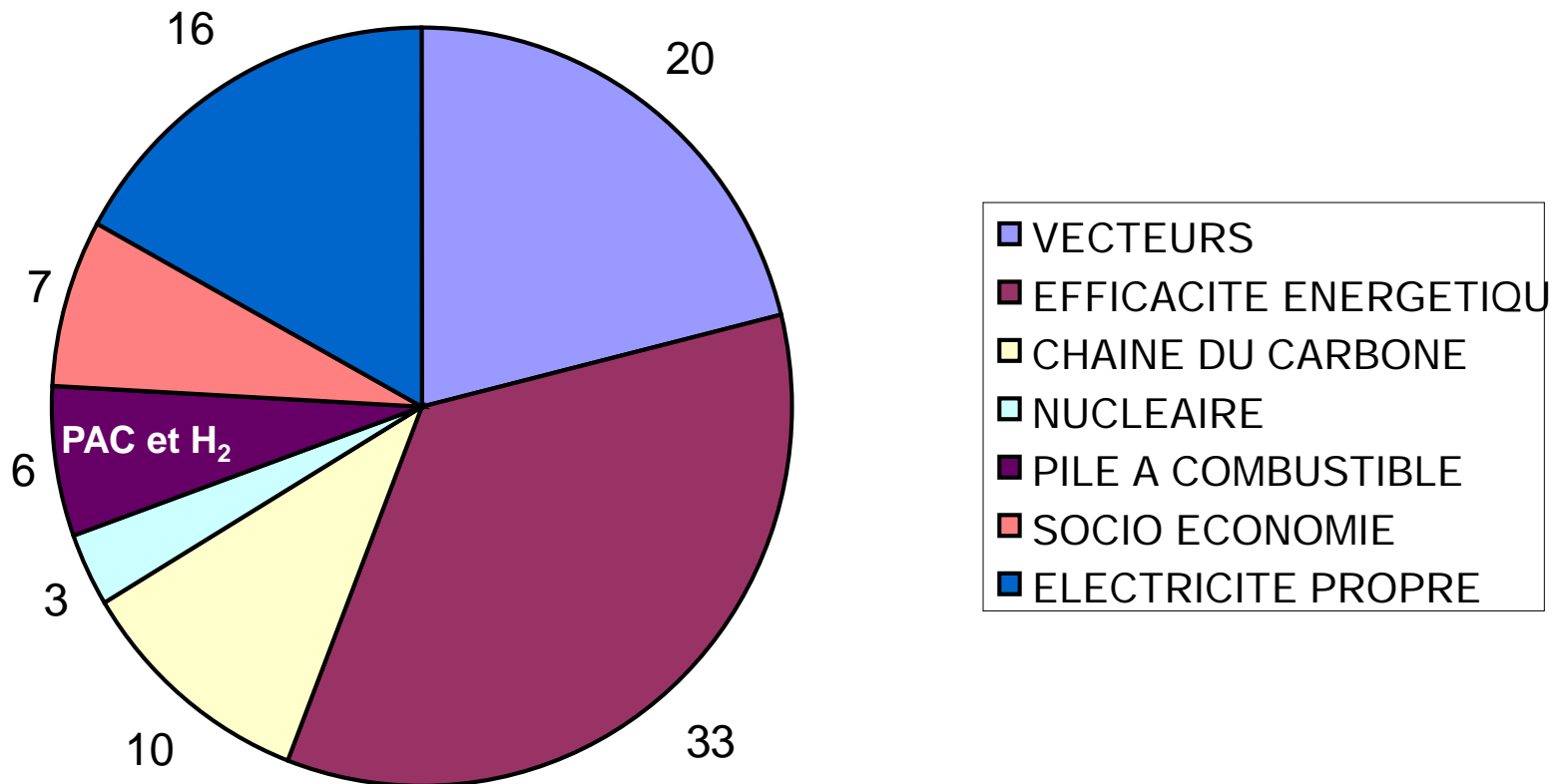
5- Partenariats à privilégier

- Renforcer les structures transversales : PIE, GDR
- Collaborer avec les EPICs acteurs du domaine : CEA, ADEME, IFP
- Participer « plus fortement » aux instances décisionnelles de l'ANR
- Participer aux alliances : ANCRE
- Participer aux plateformes H₂ nationales et UE : HyPac, JTI N.ERGHY
- Être représenté dans les instances internationales : IEA-HIA

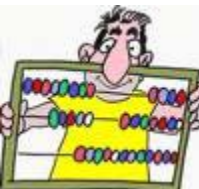
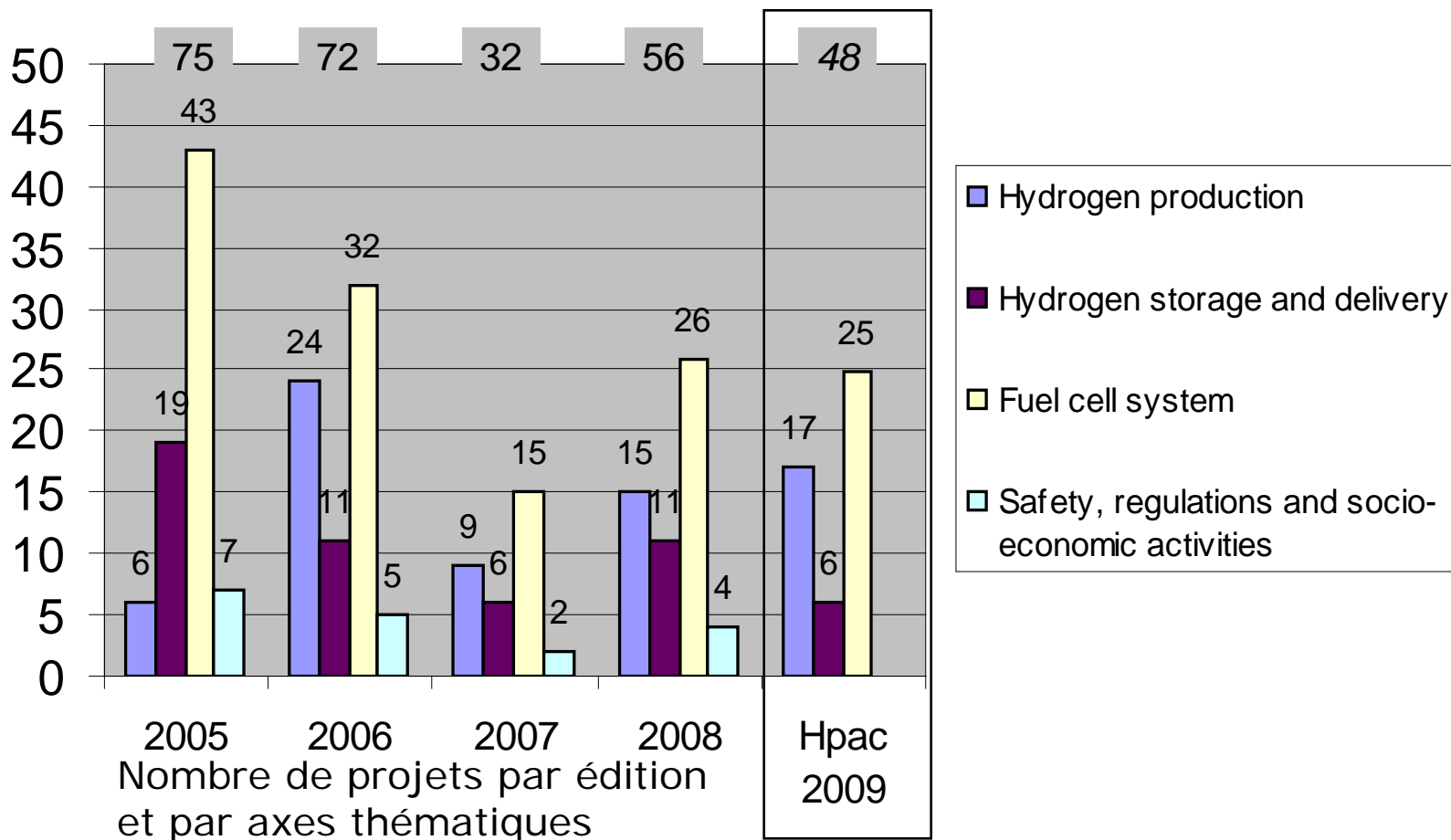




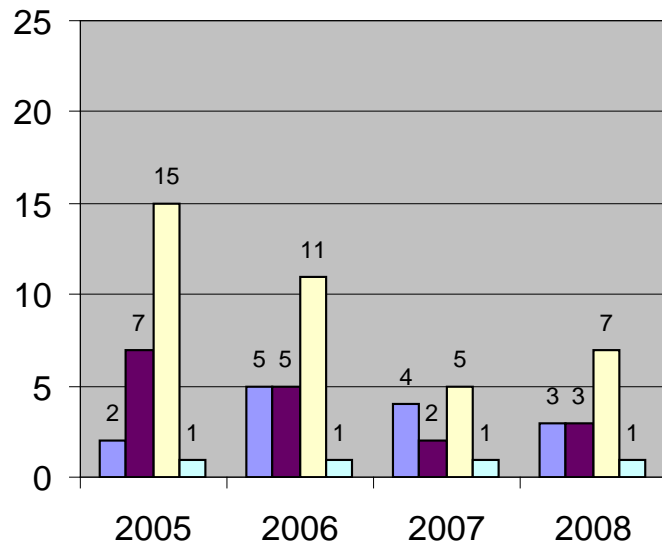
PROJETS PIE-2 2007-2008 et 2009 PAR THEMATIQUE



- 235 projets reçus aux 4 appels à projets PAN-H.

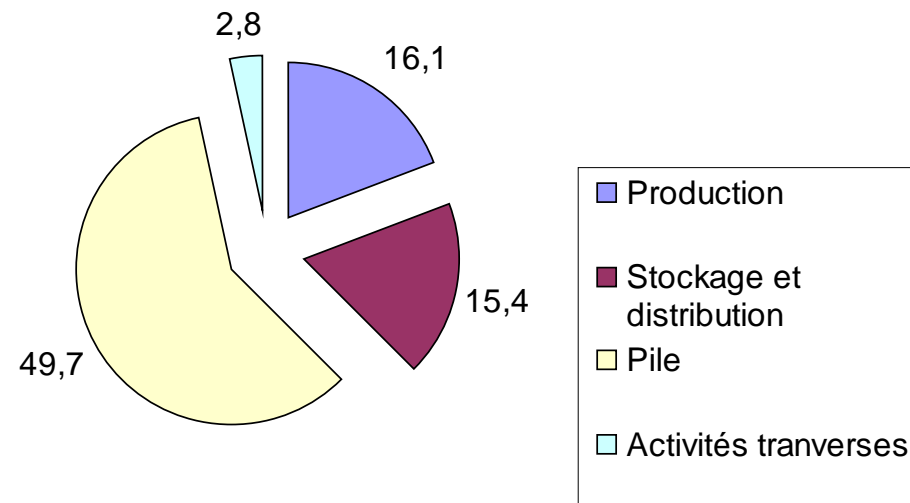


- **73** projets financés suite aux 4 appels à projets.



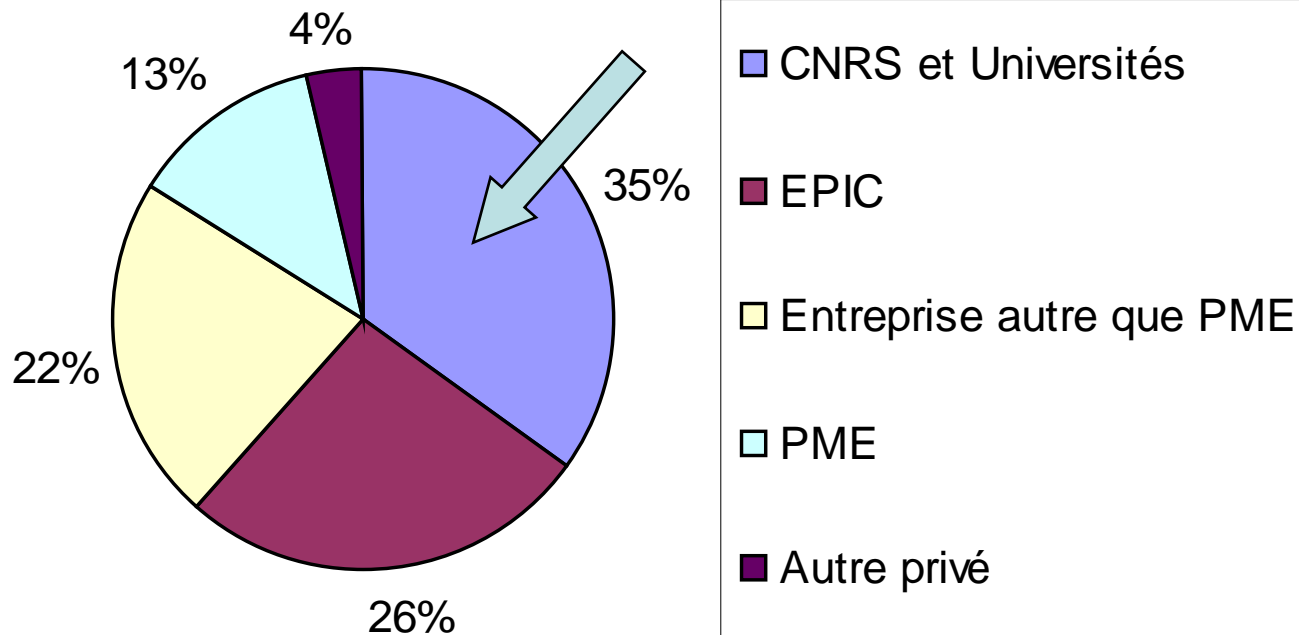
Nombre de projets par édition et par axes thématiques

- 84 M€ : aide de l'ANR.
- 154 M€ : coût complet des projets.



Aide en M€ par axes thématiques

Pan-H 2005 à 2008





Atelier « Piles A Combustible, Hydrogène »

Si tant est que l'on puisse conclure, tout au moins introduire la discussion...

- Excellent niveau des équipes de recherche nationale (PAC et H₂)
- Structuration des équipes réalisée au travers de structures légères (GdR PACTE...PACS et ACTHYF) et très peu coûteuses ...
- Effet de levier très significatif en terme de projets labellisés (ANR, Europe)
- Une grande partie des progrès encore attendus relèvent de compétences en chimie, en matériaux, en caractérisation et en systèmes (modélisation, diagnostic, hybridation)
- L'inventaire de nos forces nationales en ces domaines est encore incomplet
- Des pays sont en avance sur nous car ils envisagent à court et moyen termes des applications industrielles de grande envergure, ce n'est pas encore notre cas...
- Ce retard tient en partie à la faible implication des industriels... à une absence d'une politique nationale claire... d'une méconnaissance de nos très bons résultats de recherche... d'une dissémination trop grande des groupes de recherche...
- Création de centres d'excellence ? de tests ? de valorisation ?... en étroite liaison avec le CEA...Il existe déjà FC-Lab, cela ne suffit pas...