



# L'Hydrogène énergie: Potentialités- Applications- Futur

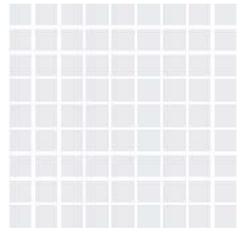
*FormaSciences « Les énergies du futur » ENS, Lyon 06/02/2014*

**Souleymane KOLOGO**  
*souleymane.kologo@alphea.com*



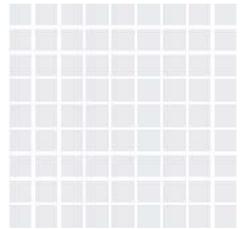
**Réseau Européen et  
Pôle de Compétence sur l'Hydrogène et ses Applications**

# PLAN



- ● ● **L'hydrogène**  
*Production*  
*Stockage*
- ● ● **Les piles à combustible**
- ● ● **Produits, projets, Marchés**

# Le Réseau ALPHEA Hydrogène



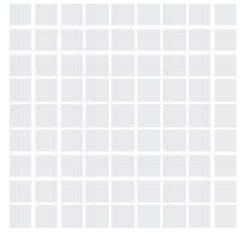
**Groupes et grandes entreprises**

**Collectivités territoriales**

**PME/PMI**

**Enseignement supérieur /Recherche**

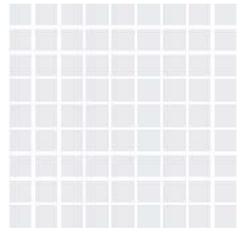
**Réseaux et Pôles de Compétitivité**



## Stratégie

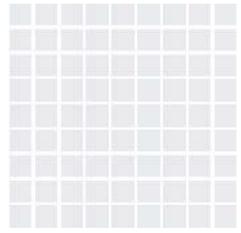
**L'expertise technique et économique d'ALPHEA est au service du développement industriel de la filière. Les principales actions :**

- **Présenter et faire connaître une technologie innovante et performante :**
  - Démontrer la faisabilité technique et économique de la technologie
  - Identifier des applications à perspectives de marché proche
  
- **Mobiliser les acteurs industriels, les collectivités et le monde de la recherche**
  - Connaître les acteurs, leurs stratégies et leurs besoins
  - Mobiliser le tissu industriel national et régional, les collectivités et le monde de la recherche
  
- **Rechercher des clients utilisateurs sur des marchés ciblés**



# L'hydrogène: production, stockage

# Quelques chiffres clés



**1 kg d'hydrogène = 11 Nm<sup>3</sup> (0°C, 1 atm)**

**→ 119,9 MJ PCI**

**→ 33,3 kWh PCI**

1 kg Methane

13,9 kWh

## 1 kg d'hydrogène

Gazeux à 0°C, 1 atm → 11 m<sup>3</sup>

Gazeux à 0°C, 200 bar → 65 litre

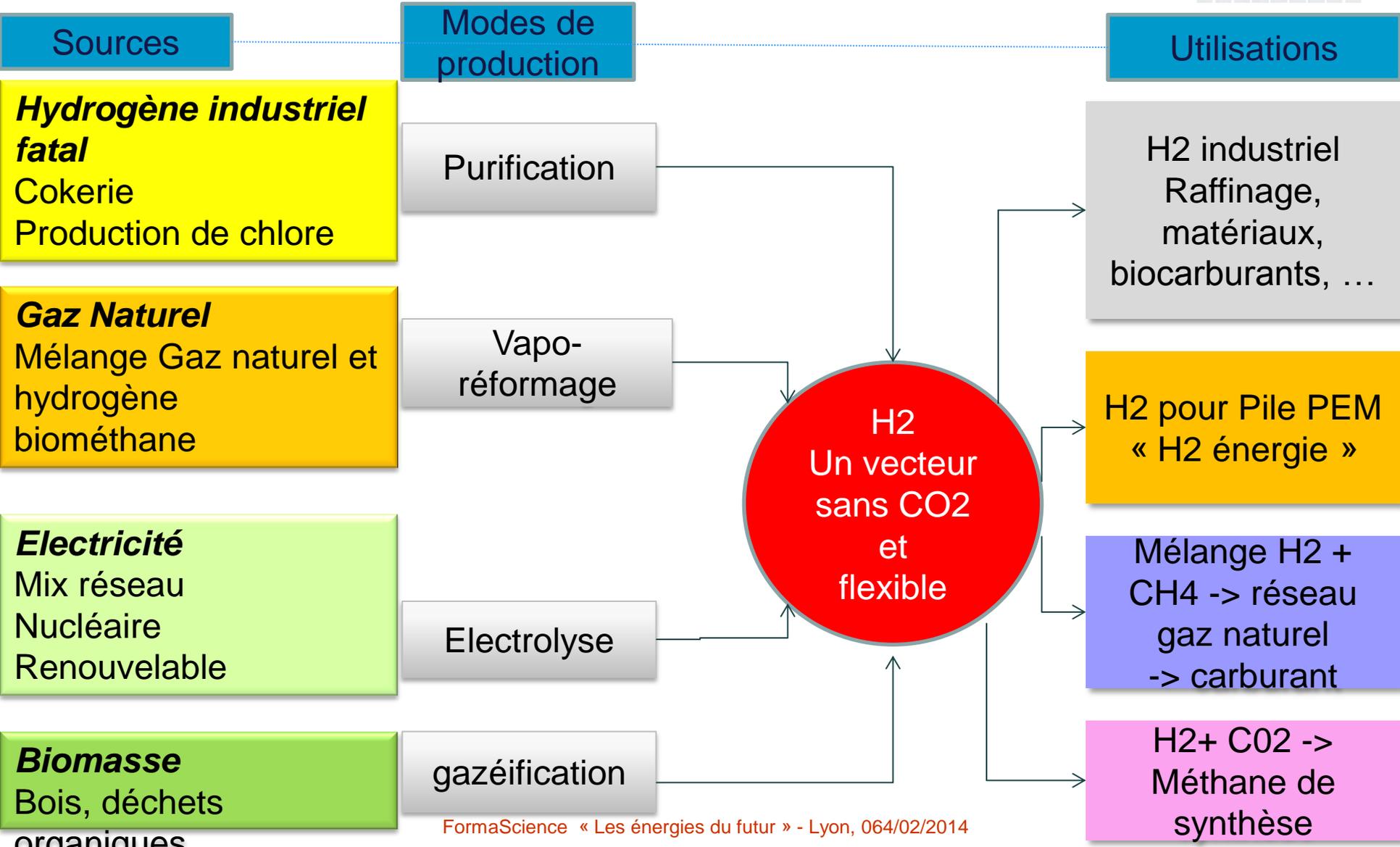
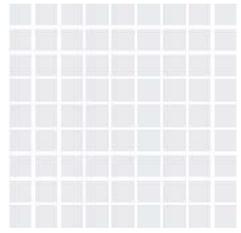
Gazeux à 0°C, 700 bar → 27 litre

Liquide -252°C, 1 bar → 14 litre

1 kg Methane

à 200 bar -> 6,54 litre

# Hydrogène



# La production et distribution d'hydrogène

*De très petit à très grand ~ 60 million de tonnes par an*

## Production



## Distribution



## Clients



De 0,1 à 30 000 kg/h

De 1 kg à 350 kg

de quelques g à ~ 500 tonnes/jour

# Stockage sous forme gazeuse

## Réservoir métallique jusqu'à ~ 300 bar

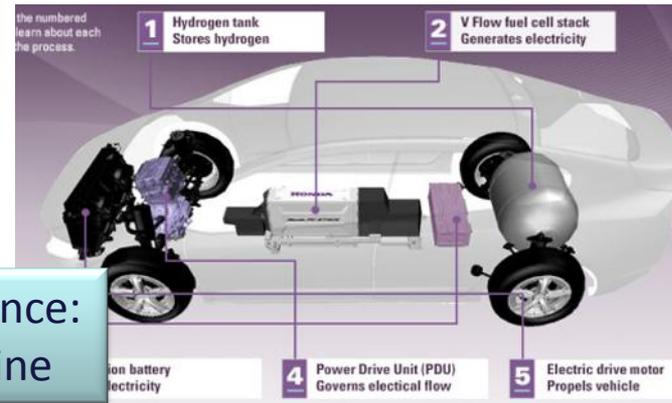
1kg d'H2 dans un réservoir transportable de 100 kg



6,5 kWh pour  
comprimer 1 kg d'H2  
de 20 à 700 bar

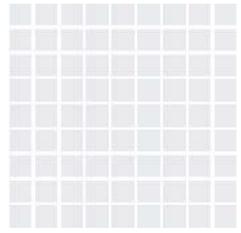
## Réservoir en fibre carbone au-dessus de 300 bar

5 kg d'H2 dans un réservoir de 100 kg (700 bar)



Un fabricant en France:  
Composites Aquitaine

# Stockage sous forme liquide



Utilisé pour le transport sur de longues distances

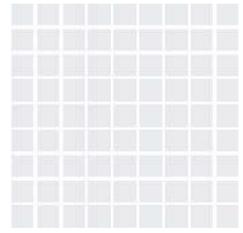
Énergie de liquéfaction  
11 kWh par kg d'H<sub>2</sub>



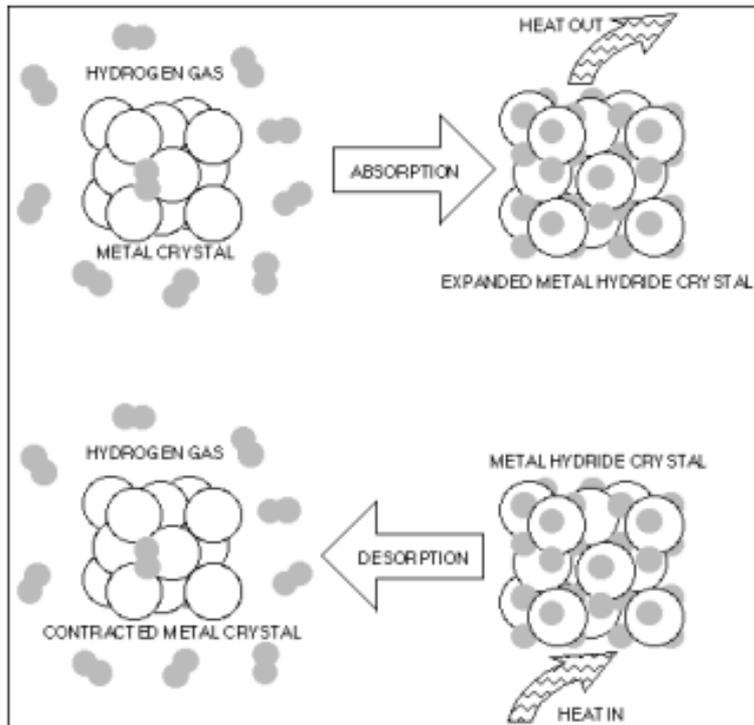
# Stockage sous forme solide

Absorption de l'hydrogène dans les hydrures

- Hydrures métalliques ( $MgH_2$ ,  $Mg_2NiH_4$ ...)
- Hydrures chimiques ( $NaAlH_4$ ,  $NaBH_4$ ,  $LiAlH_4$ ...)



De quelques grammes...



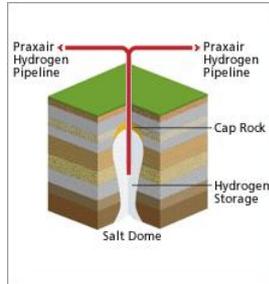
... A plusieurs dizaines de kg

De l'énergie thermique est générée au moment du stockage et doit être fournie pour déstocker

# Stockage hydrogène

## Des possibilités multiples à adapter à l'usage

Capacity (kWh)



Salt Cavern

2 Mio m<sup>3</sup>

...600 GWh



Pipeline

~WW 3000 km

~ 20 GWh

Ground storages

Compressed @ 50 bar /liquid

... 200 MWh



Tube trailer

300 kg to 6000 kg

11... 200 MWh



Hydrides

2,3 à 23 MWh



HP cylinders

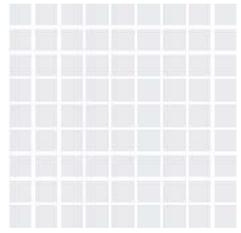
200 to 700 bars

25... 400 kWh

Stationary

FormaScience « Les énergies du futur » - Lyon, 06/02/2014

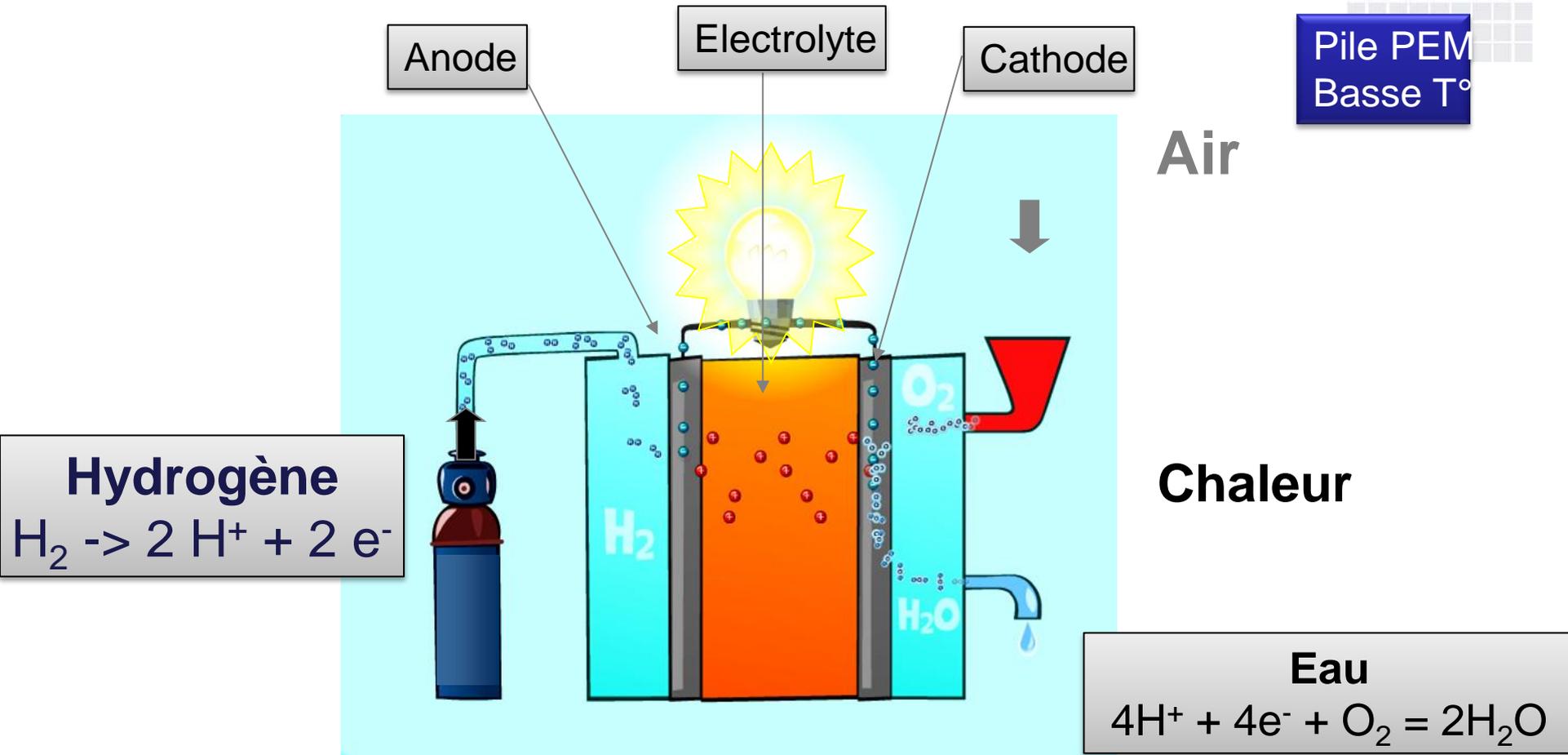
Transportable



# Les piles à combustible

# Un procédé électrochimique efficace et fiable

Pile PEM  
Basse T°

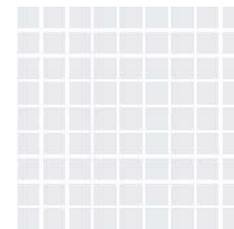


*Systeme complet en conditions réelles en 2013*

1 kg d'hydrogène → ~ 15 kWh courant continu 48 V

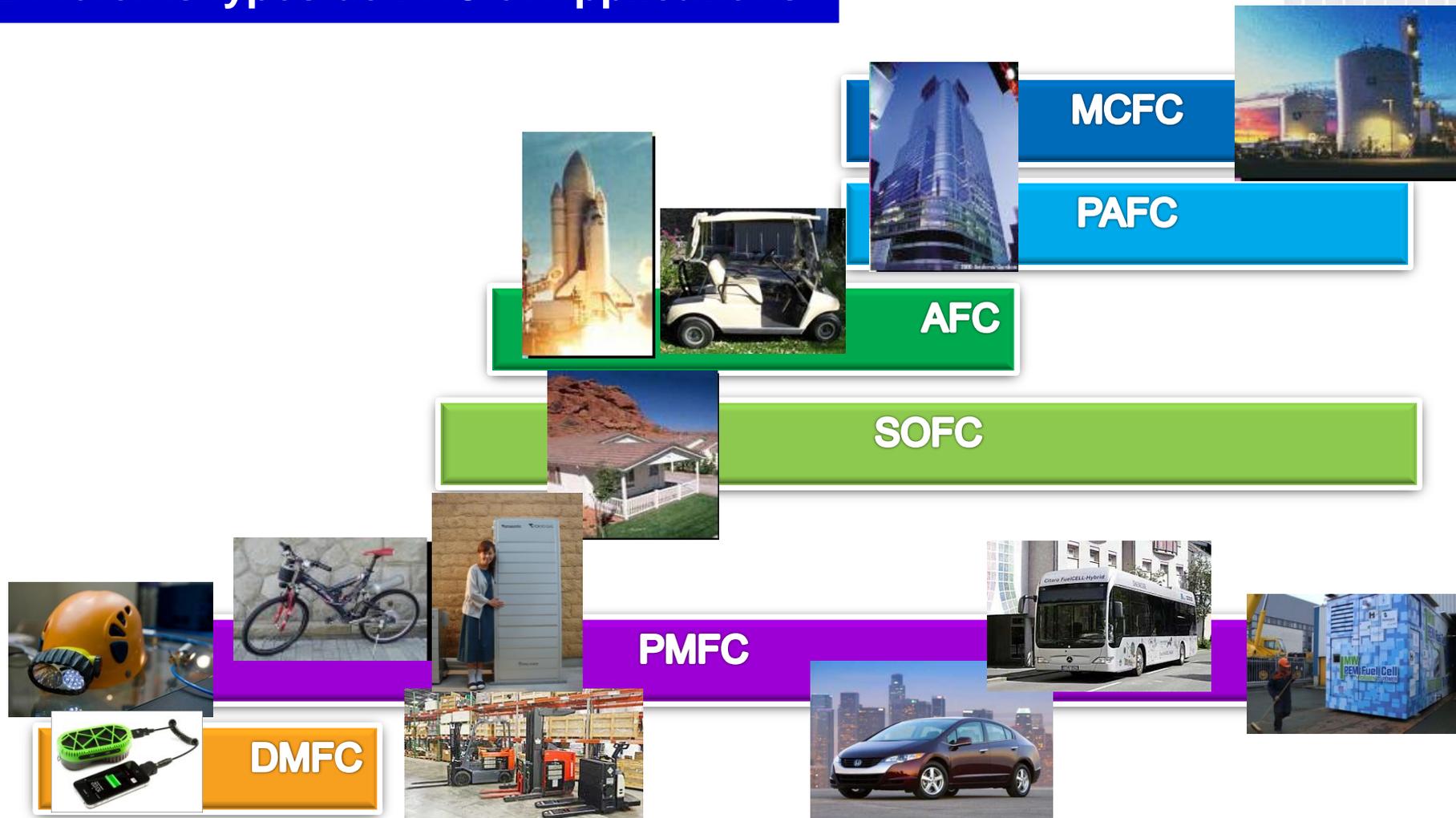
→ ~ 100 km véhicule particulier 5 places

# Différents types de piles à combustible

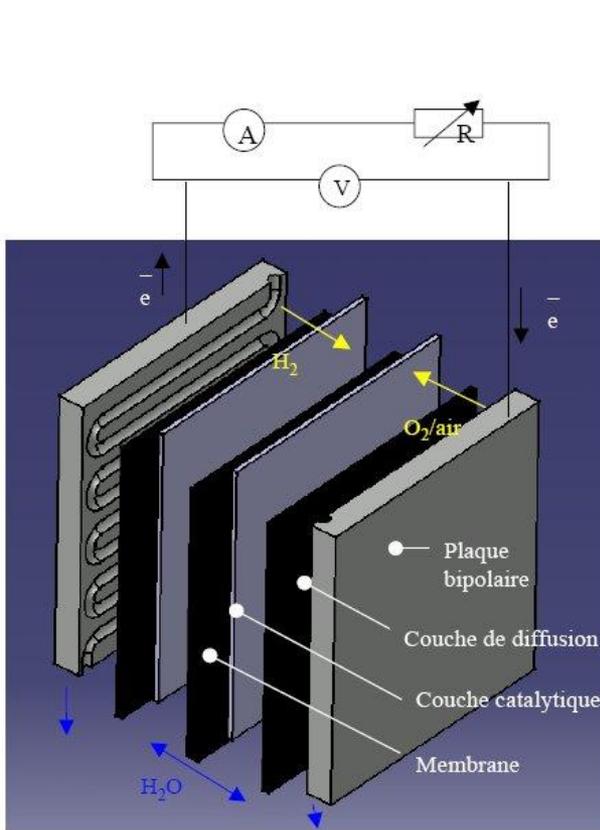


Type de pile Combustibles Température	Puissance (kW)	Rendement	Densité de puissance mW/cm <sup>2</sup>	Durée de vie (h)	Coût (\$/kW)	Applications
PAFC CH <sub>4</sub> ; CH <sub>3</sub> OH 200°C	200-10000	40-45	200-300	30 000- 40 000	200-3000	On-site integrated energy systems, Transportation, Load-leveling. Base-load and Intermediate load, Power Generation-Cogeneration
MCFC CH <sub>4</sub> ; Coal 650°C	100-5000	50-55	150-300	1000-10000	1250	
SOFC CH <sub>4</sub> , Coal 800 - 1000°C	25-5000	50-60	200-400	1000-5000	1500	Base-load and Intermediate Load, Power Generation-, Cogeneration Transportation, Stand, by Power Portable Power, Space Stations. Portable Power, Standby Power Transportation ,APU
PEMFC H <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> OH 25 - 180°C	0.01-250	40-50	500-1000	10000-100000	50-2000	
DMFC CH <sub>3</sub> OH 25-150°C	0.001-10	30-45	50-200	1000-10000	1000	
AFC H <sub>2</sub> 80°C	20-100	65	250-400	3000-10000	1000	Space Flights, Space Stations, Transportation, APU

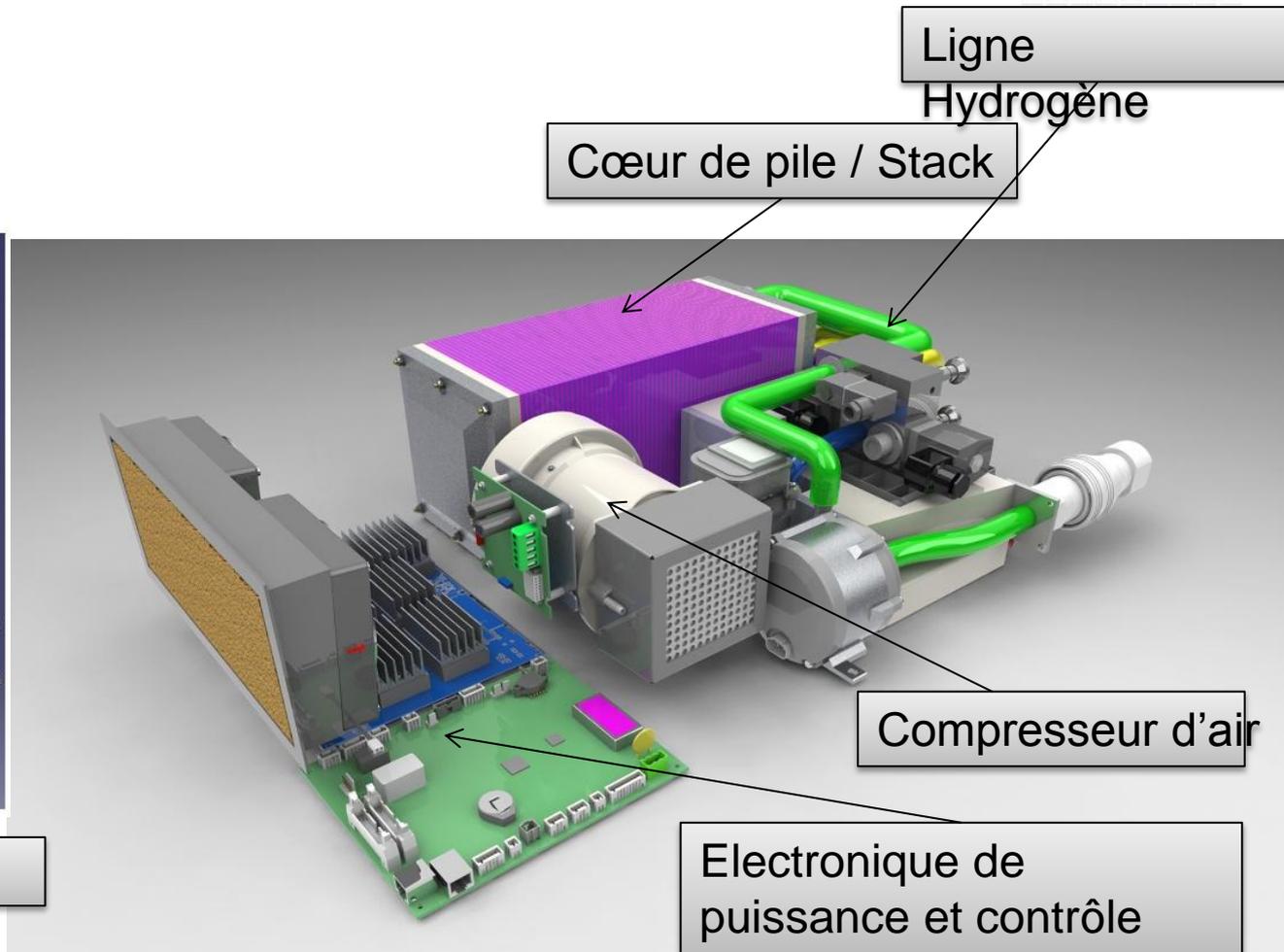
# Différents types de PAC et Applications



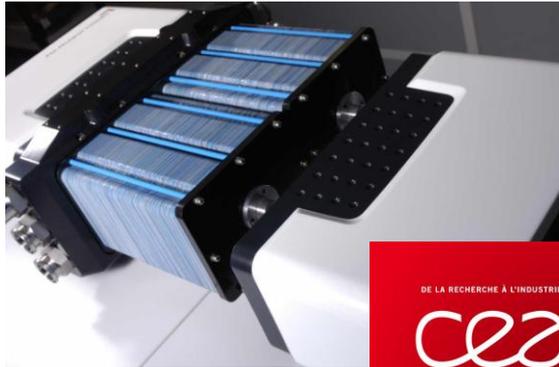
# Une technologie au point Un système à optimiser selon l'usage

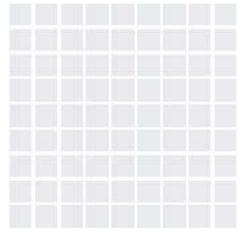


Assemblage Membrane  
Electrodes

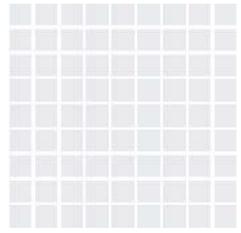


# Industrialisation et fabrication en série sont les défis actuels





# Les piles à combustible: applications, produits, marchés



## Véhicules particuliers légers



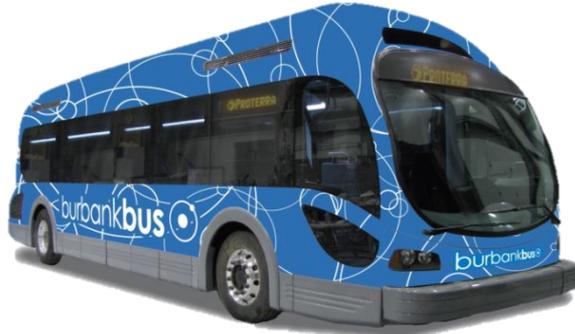
### Niveau de développement

- pré-commercialisation et déploiement à but démonstratif
- nouveaux concepts et modèles dévoilés depuis 4-5 ans
- **2015**: année de la commercialisation "grand public" des véhicules à PAC

### Principaux acteurs

- **constructeurs auto**: Daimler, BMW, Honda, Hyundai Kia, GM, Ford, Toyota, Renault-Nissan
- **énergéticiens/infrastructures**: Linde, Statoil, Total, Shell, Air Liquide, Air Products
- **constructeurs de piles et systèmes**: Ballard, Panasonic, Mitsubishi, Quantum...

## Véhicules de transport en commun (bus, tramway)



### Niveau de développement

- commercialisation – déploiement dans des flottes commerciales

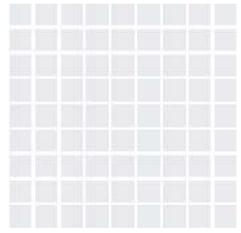
### Principaux acteurs

- **Daimler, Ballard**, Van Hool, Wrightbus, Toyota, BAE Systems, MAN, EvoBus, compagnies de transports urbains.

### Principaux projets de déploiement

- **Projet européen CHIC**: exploitation de bus à hydrogène dans des flottes de transport en commun dans 5 villes depuis 2011.

Aarau (5) – Bolzano (5) – Milan (3) – Londres (8) – Oslo (5)

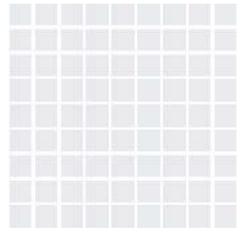


## Véhicules spéciaux



### Chariots élévateurs

- Commercialisation et exploitation
- Important marché pour la pile à combustible
- Acteurs: **Plug Power** (fabricant, leader mondial), Oorja Protonics, entreprises de logistique, hypermarchés en Amérique du Nord. En 2011, 2300 chariots équipés de PAC.
- **HyPulsion**: Co-entreprise créée par Air Liquide/Plug Power en 2011. Mise en service en janvier 2012 des premiers chariots à hydrogène sur la plate forme logistique de Vatry
- Le marché des chariots élévateurs fonctionnant à l'hydrogène ~**12 000 en 2015.**



## Véhicules spéciaux

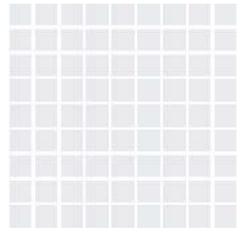


### Autres véhicules spéciaux

- **Deux-roues:** en démonstration - flottes d'entreprises et particulier  
Principaux développements en Asie (Taiwan, Japon, Corée du Sud)  
**Acteurs:** Suzuki, APFCT, Horizon Fuel Cell, Honda, Intelligent Energy

- **Tracteurs agricoles** (100kW, 8.2 kg H<sub>2</sub>@350 bar): démonstration prévue en 2012 dans une ferme en Italie. Acteur principal: New Holland (Groupe FIAT)

- **Projet Hychain** (2006-2011, Coord; Air Liquide, 24 partenaires): tests en situations réelle de petits véhicules urbains alimentés par une pile à combustible : véhicules utilitaires légers, minibus, tricycles, et fauteuils roulants.



## Transport maritime / Transport ferré



- Niveau de développement : R&D et démonstration
- PAC = source auxiliaire de puissance, alimentation électrique à bord

### Quelques exemples de projets:

- Projet PERSEIS (Projet d'Expérimentation et de Rapprochement de Solutions d'Énergies Innovantes). Helion/Croisières Marseille Calanques/Arts et Métiers ParisTech Aix en Provence /Transdev Cap Provence.
- Projet PLATHEE (SNCF+8 partenaires, 4M€): locomotive hybride incluant une PAC. Résultats positifs sur la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub>

### Sous-marins propulsés par des PAC: U31Klasse 214 - Fabriqués en Allemagne

## Aéronautique



### Niveau de développement

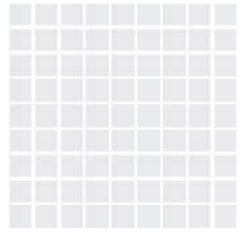
- R&D, démonstration
- PAC = groupe auxiliaire de puissance, alimentation électrique à bord, alimentation au sol
- PAC = système propulsif dans l'aviation légère

### Acteurs et projets

- Airbus, Boeing, DLR, Michelin, SAFRAN ...
- Test d'un APU à bord d'un Airbus A320 commercial, 2008, Allemagne
- Déplacement au sol d'un Airbus A320 assuré par une PAC, Juin 2011, Allemagne

**Les PAC: contribuer à atteindre les objectifs de l'ACARE: - 50% CO<sub>2</sub> / -80% NO<sub>x</sub> / -50% bruit**

# APPLICATIONS STATIONNAIRES



## Centrales électriques



### Niveau de développement:

●●● Commercialisation. Plusieurs centaines de systèmes installés et fonctionnels.

Systèmes de ~ 10kW à ~ MW

Combustible: **gaz naturel** ou **biogaz**, **combustible hydrocarboné.**

Clients: Immeubles collectifs – Etablissements scolaires-  
Hôpitaux- Supermarchés- Hôtels

### Acteurs majeurs et produits

●●● **Fuel Cell Energy (USA):** piles DFC (MCFC) de 300 kW à 2.8 MW, modulables jusqu'à 50 MW. 50 MW de puissance installée en Corée du Sud.

Construction (Corée) d'une usine de fabrication de modules de capacité 100 MW/an. Plus grande centrale électrique à PAC opérationnelle

●●● **ClearEdge Power (USA):** piles de 5 kW à 200 kW. Marché récent de 500 M\$ en Autriche (janvier 2012) pour 50 MW de piles.

●●● **Bloom Energy (USA):** piles SOFC de grande puissance

# APPLICATIONS STATIONNAIRES

## PAC résidentielles



**Niveau de développement:** Démonstration, Commercialisation

- Micro-cogénération de ~kW à 5 kW pour logement individuel, bâtiment de service
- Technologies mises en oeuvre: PEM, SOFC
- Plusieurs grands programmes d'installation de systèmes en Allemagne, en Corée du Sud, au Japon et en Europe

### Acteurs – produits- programmes et projets (Allemagne)

●●● Constructeurs en Europe: CFCL, Vaillant, Panasonic (Hexis, Viessmann), Baxi Innotech (Groupe BDR Thermea)

#### ●●● **Allemagne: Projet Callux (2008-2016, 86 M€)**

⇒ installation de 560 systèmes de cogénération domestiques d'ici 2015.

⇒ valider des nouveaux concepts d'intégration des systèmes de microcogénération et préparer leur introduction massive sur le marché.

# APPLICATIONS STATIONNAIRES

## PAC résidentielles



**Niveau de développement:** Démonstration, Commercialisation

- Micro-cogénération de ~kW à 5 kW pour logement individuel, bâtiment de service
- Technologies mises en oeuvre: PEM, SOFC
- Plusieurs grands programmes d'installation de systèmes en Allemagne, en Corée du Sud, au Japon et en Europe

### Acteurs – produits- programmes et projets (Union Européenne)

#### ●●● **Projet ENFIELD 2012-2016:**

Premier grand projet européen sur les systèmes de micro-cogénération

1000 systèmes à installer dans 12 pays européens (environ 80 en France).

# APPLICATIONS STATIONNAIRES

## PAC résidentielles



**Niveau de développement:** Démonstration, Commercialisation

- Micro-cogénération de ~kW à 5 kW pour logement individuel, bâtiment de service
- Technologies mises en oeuvre: PEM, SOFC
- Plusieurs grands programmes d'installation de systèmes en Allemagne, en Corée du Sud, au Japon et en Europe

### Acteurs – produits- programmes et projets (Japon)

- Japon: Programme Ene Farm

Projet de déploiement de piles à combustible PEM et SOFC pour la cogénération résidentielle. Lancé en 2009. Plus de 40000 systèmes écoulés .

- Accident Fukushima => hausse des achats/épuiement des prévisions 2011 avant terme.

**Objectif => 2.5 millions de systèmes installés en 2030**

# APPLICATIONS STATIONNAIRES

## Secours électrique/ Groupe auxiliaire de puissance



**Niveau de développement:** Commercialisation

- Marché important pour les PAC: les sites de télécommunication
- PAC PEM à hydrogène ou au méthanol / Puissance ~ 100 W à 100 kW

### Principaux drivers et potentiel de développement du marché

- Accroissement du nombre de sites de télécommunication (antennes relais) dans les pays en développement
- Absence de réseau électrique fiable, coupures répétées des alimentations électriques
- Multiplication des phénomènes naturels (tempêtes, ouragans...)
- Marché du secours télécom: 2 milliards d'euros/an. => 30 à 40 % pour les PAC

# APPLICATIONS STATIONNAIRES

## Secours électrique/ Groupe auxiliaire de puissance



### Principaux drivers et potentiel de développement du marché

●●● Marchés européens horizon 2015: systèmes de secours ~ 20 000 Secours antennes télécom ~2500 Systèmes de secours transportables ~ 2 000.

### Acteurs – Produits – Marchés

●●● De nombreux acteurs : Acumentrics, Axane, Ballard (Danthern Power), ElectroPS, Helion, Hydrogenics,, Relion,Rittal

●●● Marchés et déploiements récents:

Ballard: fourniture de 30 000 systèmes de secours entre 2010 et 2013 en Inde e Afrique du Sud

Axane en Europe : 125 systèmes en 2012

# APPLICATIONS STATIONNNAIRES

## Le stockage des EnR/ Le Power-to-Gas

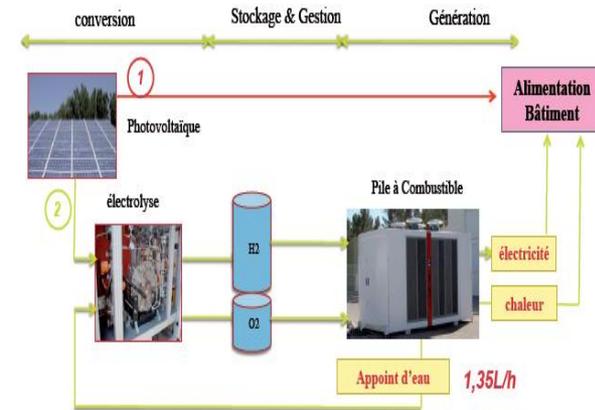
- **Niveau de développement:** R&D, projet de démonstration

- Augmentation de l'électricité de sources renouvelables et besoin de stockage. Possibilité de restitution via une PAC.

- Stockage EnR: peut être une solution pour l'autonomie énergétique de sites isolés ou de collectivités. Moyen d'écrêtage de pointes

- Acteur en vue: AREVA SE. Associé au projet MYRTE et au projet JANUS

- AREVA – Helion : concept de la Greenergy Box (électrolyseur + PAC) avec une gamme de puissance de 50 à 500 kW



- Projet GRHYD coordonné par GDF Suez: stockage d'énergie via l'hydrogène et injection d'hydrogène dans un réseau de distribution de gaz naturel

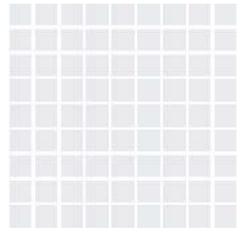
# APPLICATIONS PORTABLES

## Les produits grand public



- **Niveau de développement:** Pré-commercialisation – Commercialisation
- **Alimentation des systèmes portables:** marché important pour les PAC.  
+ longues autonomies possibles vs batteries au Li
- **Acteurs et produits:** BIC, SFC Energy....

# Les produits pour le marché militaire



## ●●● Applications militaires:

Besoins en autonomies importants (96 heures)

Allègement de charge du fantassin (13 kg → 4 kg)

**Produits :** systèmes de secours stationnaires, chargeurs portables

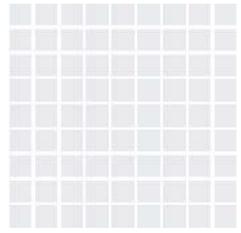
**Acteurs:** UltraCell, Protonex, Jadoo Power, Neah Power, AMI

En France: projet FELIN



***Forte implication de l'US Army***

# Conclusion



## ●●● La PAC n'est plus une arlésienne

Existence de produits commerciaux pour plusieurs types d'applications

Parts de marchés croissantes : systèmes de secours, générateurs stationnaires, cogénération résidentielle, chariots élévateurs.

## ●●● Transports terrestres

Existence de véhicules commercialisables

Besoin de définir de modèles économiques viables

Programme de mise en place d'infrastructures hydrogène

Diminution de près de 90% du coût de fabrication d'un véhicule à PAC en 10 ans (Toyota)

R&D: marge d'amélioration des performances et des durées de vie des systèmes

## ●●● Applications portables

Concurrence forte avec les batteries au Li de + en + performantes

Important marché dans le domaine de la recharge

## ●●● Autres applications

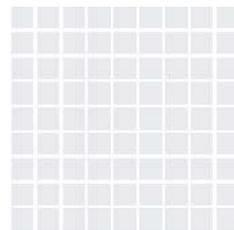
R&D, démonstration, drivers forts (diminution des émissions de CO<sub>2</sub>...), le Power-to-Gas...

Le Power-to-Gas connaît un développement important ces dernières années avec d'intéressantes perspectives économiques,

## ●●● Challenges importants

Normalisation et Règlementation

Acceptation sociétale



**Merci pour votre attention!**

**Contact:**

**Souleymane Kologo– Ingénieur Etudes, Projets et Veille**  
[Souleymane.kologo@alphea.com](mailto:Souleymane.kologo@alphea.com) - +33 (0)3 87 84 76 59

Website : [www.alphea.com](http://www.alphea.com)