

# INVITATION

---

PERSEUs 

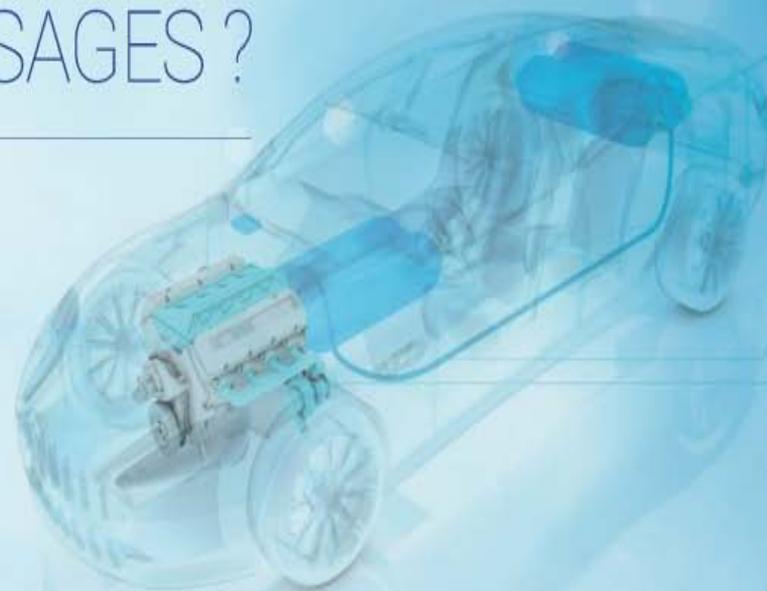


## HYDROGÈNE : UNE ÉNERGIE POUR QUELS USAGES ?

---

Le jeudi 25 juin 2015 de 14h30 à 16h30

Salle Ferrari (Bâtiment A ISGMP)  
Île du Saulcy - 57000 Metz



**UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE**

# L'hydrogène en Lorraine

## Contexte:

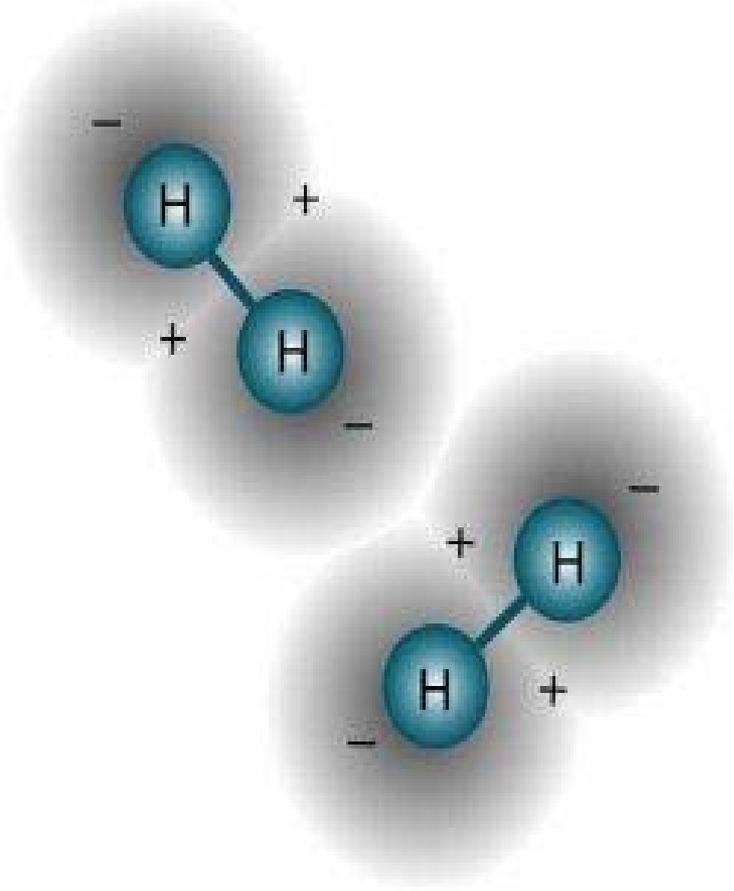
- la Région Lorraine s'est engagée à *faire de son territoire une vitrine du développement d'une filière hydrogène-énergie* (PACTE Lorraine – action 6)
- Interrogations de la part des utilisateurs potentiels:
  - Quels des modifications de leurs comportements?
  - Perception des futurs utilisateurs, leurs attentes, leurs craintes...

## Etude ergonomique exploratoire :

- Basée sur la *méthodologie des staffs d'experts* de communautés
- Objectif: produire des *modèles d'utilisateurs futurs* à partir de la méthode des personas.

# Rappels

- Hydrogène comme troisième vecteur énergétique?
- Émergence d'une civilisation de l'hydrogène?
- PACTE Lorraine: mise en place d'une filière hydrogène de grande ampleur?
  - **«Faire de la Lorraine la Vallée Européenne des Matériaux et de l'énergie»**
  - **«Déployer un pôle d'excellence pour produire, économiser, stocker et gérer l'énergie, fondé sur la chimie et l'hydrogène»**
- Trois formes
  - Mobilité/Transport
  - Stationnaire
  - Power-to-gas



# Programme

- **14h30** *Cadre général de l'étude : Ergonomie prospective des usages des piles à combustible à hydrogène : construire des représentations expertes des besoins futurs possibles.*  
–Pr. Eric Brangier (PErSEUs) & Pr. Christian Moyne (LEMTA).
- **14h45** *L'hydrogène : des possibilités techniques en mal d'usage ?*  
–Pr. Olivier Lottin (LEMTA)
- **15h10** *Explorer les usages futurs de produits et services qui n'existent pas encore : une question de méthode ?*  
–Dr. Benoit Roussel & Pr. Eric Brangier (PErSEUs)
- **15h30** *Appréhender les usages futurs liés à l'hydrogène : quelques résultats...*  
–Dr. Corinne Bornet, Dr. Javier Barcenilla, Dr. Robin Vivian, Amélie Bost (PErSEUs)
- **15h50** *Bilan et perspective : vers un « living lab » sur l'hydrogène en Lorraine ?*  
–Pr. Fabrice Lemoine (LEMTA)
- **16h10** *Hydrogène et transition énergétique ? Débat avec la salle et clôture du séminaire*  
–Dr. Julia Mainka (LEMTA)
- **16h30** *Cocktail de clôture : Théâtre BMK-Saulcy*

# 1.

**Cadre général de l'étude :  
Ergonomie prospective des  
usages des piles à combustible à  
hydrogène : construire des  
représentations expertes des  
besoins futurs possibles.**

*Pr. Eric Brangier  
(PErSEUs)  
Pr. Christian*

PErSEUs



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE

# Quelles issues pour les technologies sans l'homme?

- 99% des projets industriels sont des échecs commerciaux (Stevens & Burley, 1997).
- Seul 0,1% des brevets est à l'origine de la création d'une entreprise viable (Bostrom, Tieckelmann, & Kordal, 2006)
- Raisons:
  - l'intérêt que vont trouver y les utilisateurs?
  - la réussite marketing d'un produit innovant se traduit en termes psychologiques par l'adoption de celui-ci par ses utilisateurs
  - anticiper l'adoption d'un produit innovant par ses utilisateurs cibles est donc un enjeu pour les industriels, les politiques et les chercheurs

**Une demande initiale : « Acceptation sociale »**

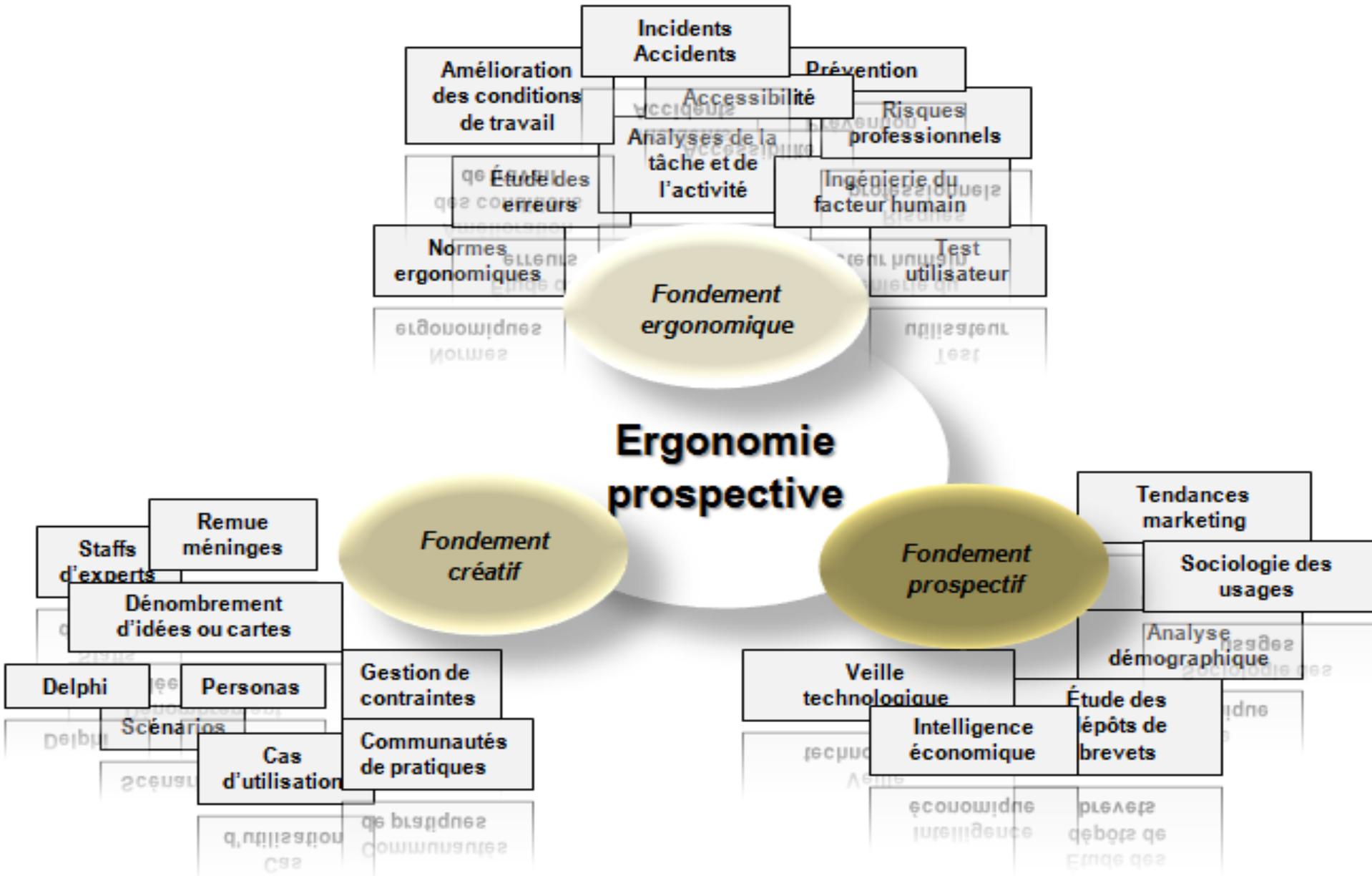


# **Anticiper les usages...**

## **Quatre approches du futur en ergonomie**

- 1. Analyser la situation actuelle pour prédire la situation future.**
- 2. Comprendre la manière dont les personnes apprennent à utiliser des systèmes techniques pour concevoir, à partir de là, leurs activités probables.**
- 3. Construire et développer les usages en associant les concepteurs et les utilisateurs.**
- 4. Créer des usages futurs à partir de l'analyse des activités humaines, de l'amplification de la créativité et de la prospective.**

# L'ergonomie devient prospective



# Démarche générale en ergonomie prospective

1

- S'appuyer sur la prospective pour convenir des événements futurs.

2

- Analyser les situations d'usage et les tendances associées.

3

- Produire des représentations des futurs usages.

4

- Amplifier et stimuler la créativité des ingénieurs avec des techniques participatives et créatives.

5

- Caractériser des représentations des usages futurs en définissant des utilisateurs prospectifs, des exigences et besoins prospectifs et des scénarios d'usages prospectifs.

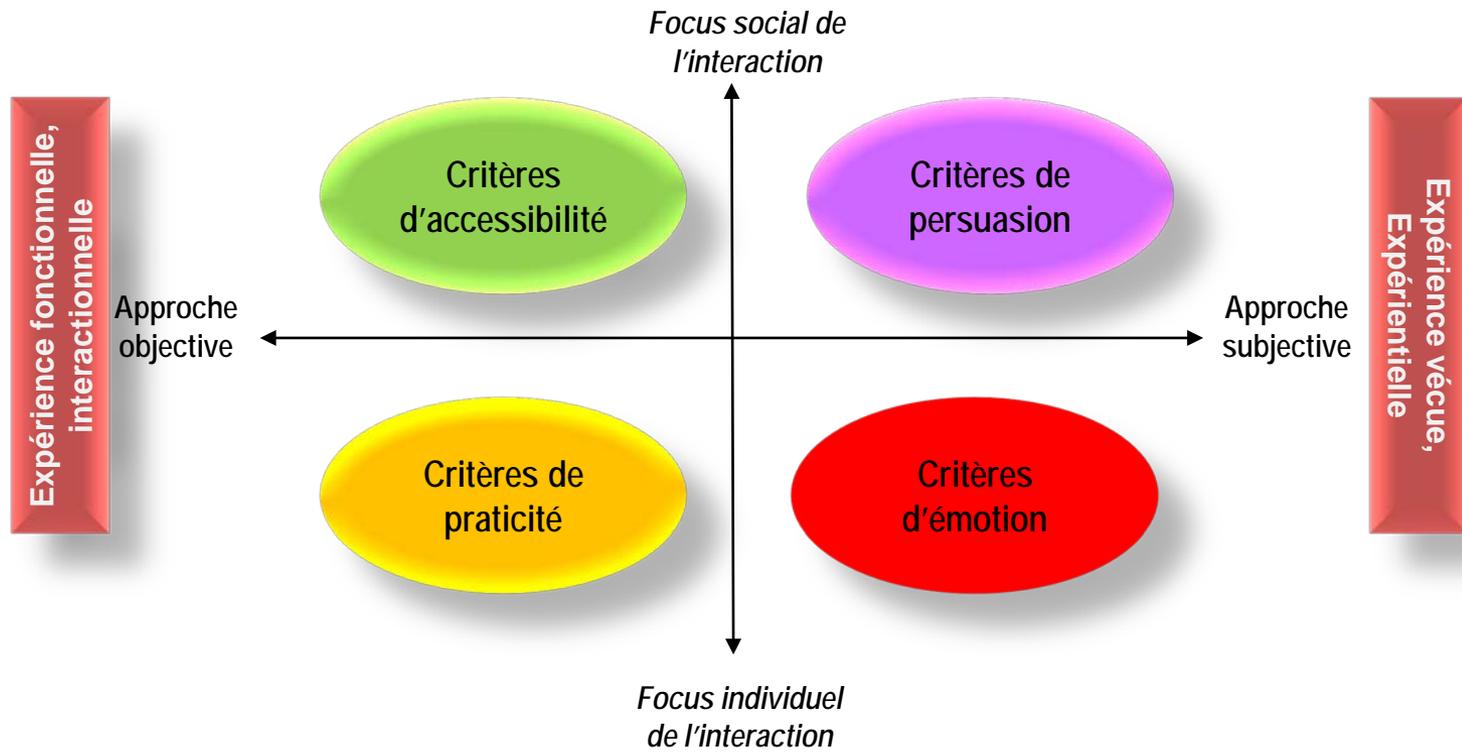
6

- Sélectionner une représentation parmi toutes celles construites.

# L'expérience d'usage ou expérience utilisateur

- Interagir avec un produit ou un service comme "expérience"
  - l'expérience utilisateur comme étant la résultante des perceptions et des comportements d'un utilisateur générés par l'usage réel et/ou par l'usage anticipé d'un produit, système ou service.
    - niveau de la relation entre l'utilisateur et le produit/service
    - niveau des dimensions constitutives de l'expérience utilisateur (perceptions, ressentis et émotions)
    - l'expérience utilisateur mesure les comportements et les réactions de l'utilisateur face au produit, système ou service.
- Accessibilité, Utilisabilité, Émotion, Persuasion:
  - ☐ Comprendre et à anticiper le comportement de l'utilisateur en interaction avec un produit afin d'en améliorer l'expérience.

# Les pôles de l'expérience utilisateur



# 2.

## Hydrogène: quelle énergie pour quels usages.

*Dr. Benoit Roussel*  
*Pr. Eric Brangier*  
*(PErSEUs)*

PErSEUs



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE

# Hydrogène : une énergie pour quels usages ?



**LEMTA, Université de Lorraine – CNRS**  
**2, avenue de la forêt de Haye**  
**Vandoeuvre-lès-Nancy, France**

# Pour commencer → les énergies et la chaîne énergétique

## ENERGIES PRIMAIRES

**Electrique**  
Eolien  
Hydraulique  
Solaire  
Energies marines

**Chaleur**  
Solaire  
Géothermie  
Nucléaire

**Chimique biomasse (chaleur)**  
Biomasse solide (bois...)  
Filières huile → agrodiesel  
Filières sucre → agroessence  
Méthanisation (biogaz)  
Autres déchets renouvelables

**Chimique fossile (chaleur)**  
Charbons  
Pétroles  
Gaz

**Déchets non renouvelables**

## Chaîne énergétique

Transformations

Transport - distribution

Stockage

## ENERGIES FINALES aujourd'hui

**Electricité**

**Carburants véhicules**

E5 - SP95

E10

Diesel

GPL

E85

GNL

Kérosène

} 2% d'H<sub>2</sub>

**Combustibles d'origine fossile**

Charbons

Butane/Propane

Gaz naturel

Fioul (lourd)

**Combustibles origine biomasse**

Bois déchiqueté

Granulés de bois

Biogaz

**Chaleur**

Pompes à chaleur

Solaire (ECS, chauffage, climatisation)

**MATÉRIAUX (4% EP ou 7% EF)**

# Pour commencer → les énergies et la chaîne énergétique

## ENERGIES PRIMAIRES

**Electrique**  
Eolien  
Hydraulique  
Solaire  
Energies marines

**Chaleur**  
Solaire  
Géothermie  
Nucléaire

**Chimie biomasse (chaleur)**  
Biomasse solide (bois...)  
Filières huile → agrodiesel  
Filières sucre → agroessence  
Méthanisation (biogaz)  
Autres déchets renouvelables

**Chimie fossile (chaleur)**  
Charbons  
Pétroles  
Gaz

**Déchets non renouvelables**

## Chaîne énergétique

Transformations

Transport - distribution

Stockage

## ENERGIES FINALES demain ?

**Electricité**

**Carburants véhicules**

SP95  
E10  
Diesel  
GPL  
E85  
GNL  
Kérosène } 2% d'H<sub>2</sub>

**H<sub>2</sub>**

**Combustibles d'origine électrique**

**H<sub>2</sub> ... voire CH<sub>4</sub>**

**Combustibles d'origine fossile**

Charbons

Butane/Propane

Gaz naturel

Fioul (lourd)

**Combustibles origine biomasse**

Bois déchiqueté

Granulés de bois

Biogaz

**Chaleur**

Pompes à chaleur

Solaire (ECS, chauffage, climatisation)

**MATÉRIAUX (4% EP ou 7% EF)**

# Pourquoi utiliser plus d'hydrogène ?



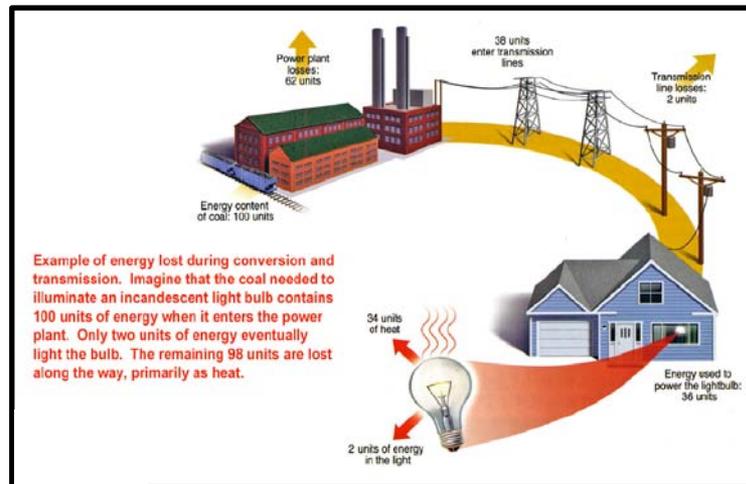
**Utilisation plus rationnelle de l'énergie produite par les nouvelles générations de réacteurs nucléaires**



**Valorisation de l'électricité renouvelable**



**Seule alternative actuelle aux carburants fossiles et aux agrocarburants pour les véhicules lourds ou à grande autonomie**



**Efficacité de la chaîne énergétique**

# Hydrogène dans les transports



# Le dihydrogène c'est quoi ?

## Propriétés Physiques

♦ **120 MJ/kg (33330 Wh/kg) vs. 44 MJ/kg (12000 Wh/kg)** pour l'essence, mais :

1 L d'essence ↔ 137,5 moles d'H<sub>2</sub> ↔ 3408 L d'H<sub>2</sub> à P<sub>atm</sub>  
↔ 17 L d'H<sub>2</sub> à 200 bar.  
↔ 9 L d'H<sub>2</sub> à 350 bar.  
↔ 4,9 L d'H<sub>2</sub> à 700 bar.



→ Il faut un réservoir de ≈ 120 L d'H<sub>2</sub> à 700 bar pour faire 500 km.

↔ 4,3 L d'H<sub>2</sub> à -253°C.

*Question* : combien pèse 1 m<sup>3</sup> d'hydrogène liquide à -253°C ?



# L'hydrogène → état de l'art en 2015

## Densité Energétique → ex. de la Toyota Mirai



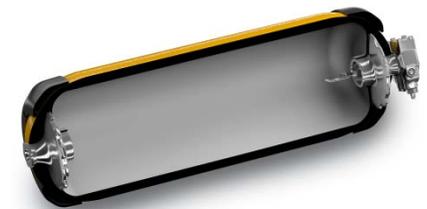
Volume total → 122 L

Densité massique → 5,7% (Record du monde !)

5 kg d' $H_2$  vont peser en réalité 88 kg (réservoir + combustible)

→ Densité énergétique nette (hors pile) : 6,8 MJ/kg ou 1900 Wh/kg.

→ Densité énergétique nette (pile incluse) : **4,1 MJ/kg ou 1150 Wh/kg.**

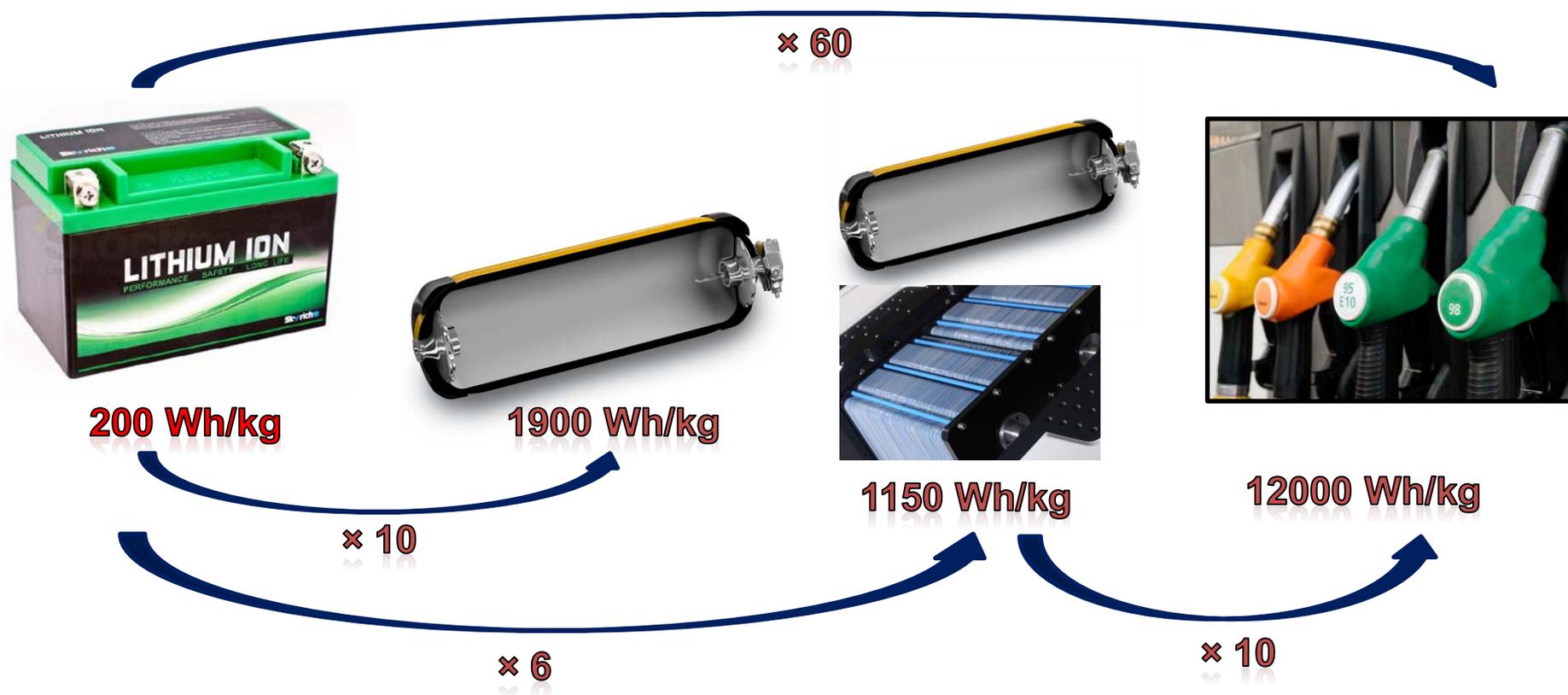


# L'hydrogène → état de l'art en 2015

## Densité Energétique → ex. de la Toyota Mirai

→ Densité énergétique nette (hors pile) : 6,8 MJ/kg ou 1900 Wh/kg.

→ Densité énergétique nette (pile incluse) : **4,1 MJ/kg ou 1150 Wh/kg.**



# Hydrogène vs. batterie → pour les plus gros véhicules

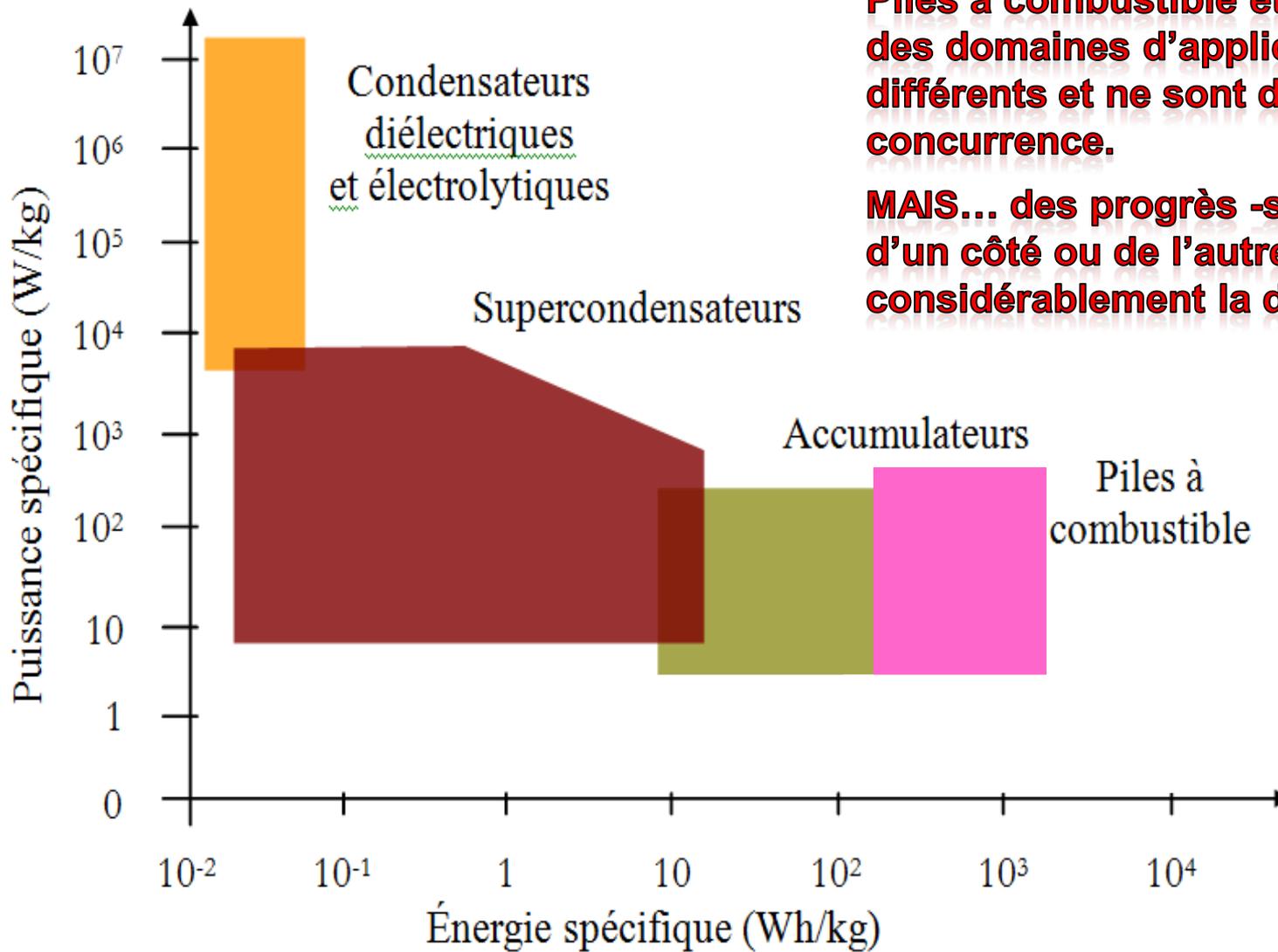
	Cas 1 : véhicule urbain	
Puissance	50 kW	50 kW
Autonomie	100 km →	500 km
Consommation	6 l/100 km	6 l/100 km
Masse des batteries	120 kg →	600 kg
Masse de la pile et du réservoir	115 kg	170 kg
Ratio masse batteries/pile	1,05	3,5

	Cas 2 : berline	Cas 3 : poids-lourd
Puissance	100 kW	300 kW
Autonomie	1000 km	1000 km
Consommation	7 l/100 km	30 l/100 km
Masse des batteries	1400 kg	6000 kg
Masse de la pile et du réservoir	370 kg	1300 kg
Ratio masse batteries/pile	3,8	4,5



# Hydrogène vs. batterie → au coude à coude



**Piles à combustible et batteries ont des domaines d'application différents et ne sont donc pas en concurrence.**

**MAIS... des progrès -significatifs- d'un côté ou de l'autre changeraient considérablement la donne !**

# Valorisation des énergies renouvelables



# Valorisation des énergies renouvelables → MYRTE

- ◆ La plate-forme MYRTE (Mission hYdrogène Renouvelable pour l'inTégration au réseau Electrique) a été développée par Hélion (Areva stockage de l'énergie) et le CEA, en Corse, autour d'une installation PV de 560 kWc (3700 m<sup>2</sup>).
- ◆ Les installations ont été inaugurées le 9 janvier 2012.
- ◆ Un électrolyseur convertit l'électricité en hydrogène et oxygène, stocké à 35 bar, pendant les heures de faible consommation. Cette énergie est ensuite restituée via une pile à combustible, pendant les heures de fortes consommations, c'est-à-dire le soir alors que les panneaux photovoltaïques ne produisent plus.
- ◆ L'électrolyseur et la pile font chacun 200 kW.



[http://myrte.univ-corse.fr/photos/Photostream\\_ga83794.html](http://myrte.univ-corse.fr/photos/Photostream_ga83794.html)

**!! Rendement du cycle complet pile/électrolyse → entre 25% et 35% → électricité à “très bas coût marginal” seulement !!**

# Valorisation des énergies renouvelables → le power-to-gas

- ◆ Le « *power-to-gas* » consiste à produire de l'hydrogène à partir d'un surplus d'électricité pour l'injecter sur le réseau de gaz naturel.
- ◆ Il est possible d'introduire jusqu'à 20% (en volume) d'hydrogène dans le gaz naturel. Le PCI du mélange est alors supérieur de 7% à celui du GN pur.
- ◆ En revanche, le mélange ainsi créé ne se stocke pas, l'hydrogène n'étant pas assez stable chimiquement et ne peut pas non plus être envoyé dans les compresseurs du réseau.
- ◆ Une des premières installations a été mise en service en août 2013 par E.On, à Falkenhagen dans l'Est de l'Allemagne.

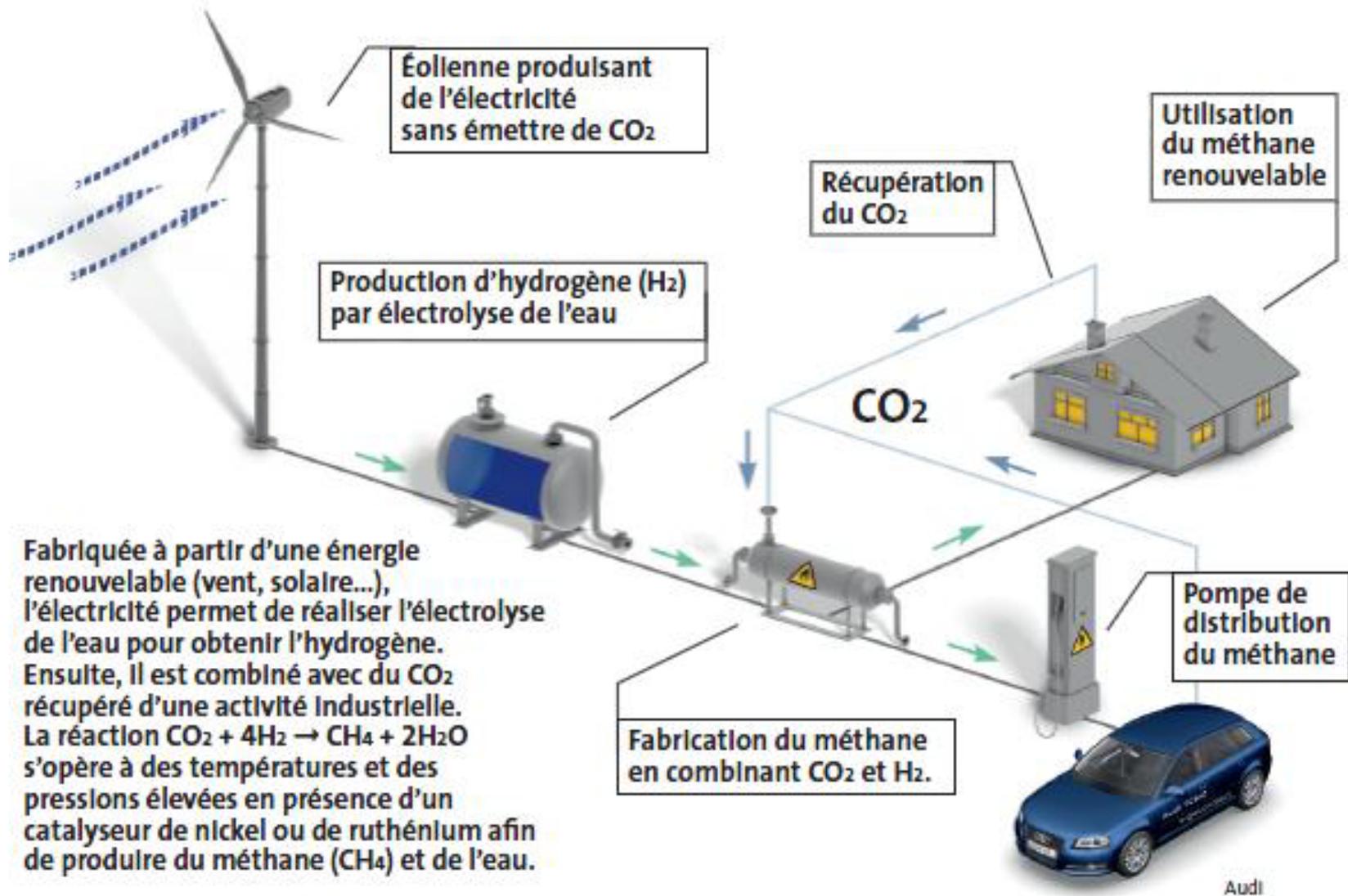
2 MW → 360 m<sup>3</sup><sub>H<sub>2</sub></sub>/h.



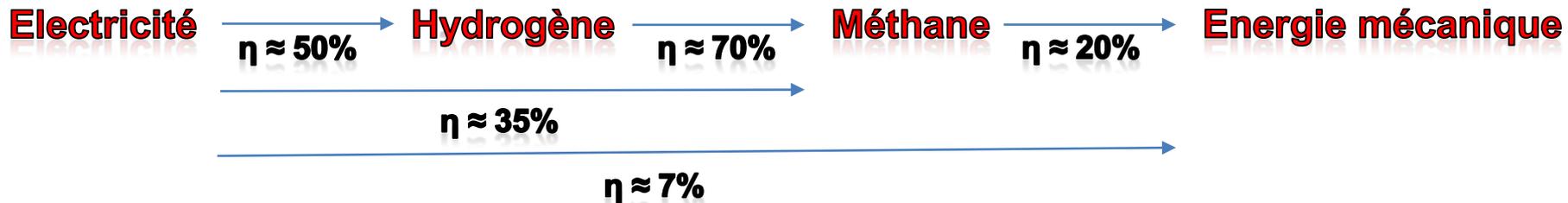
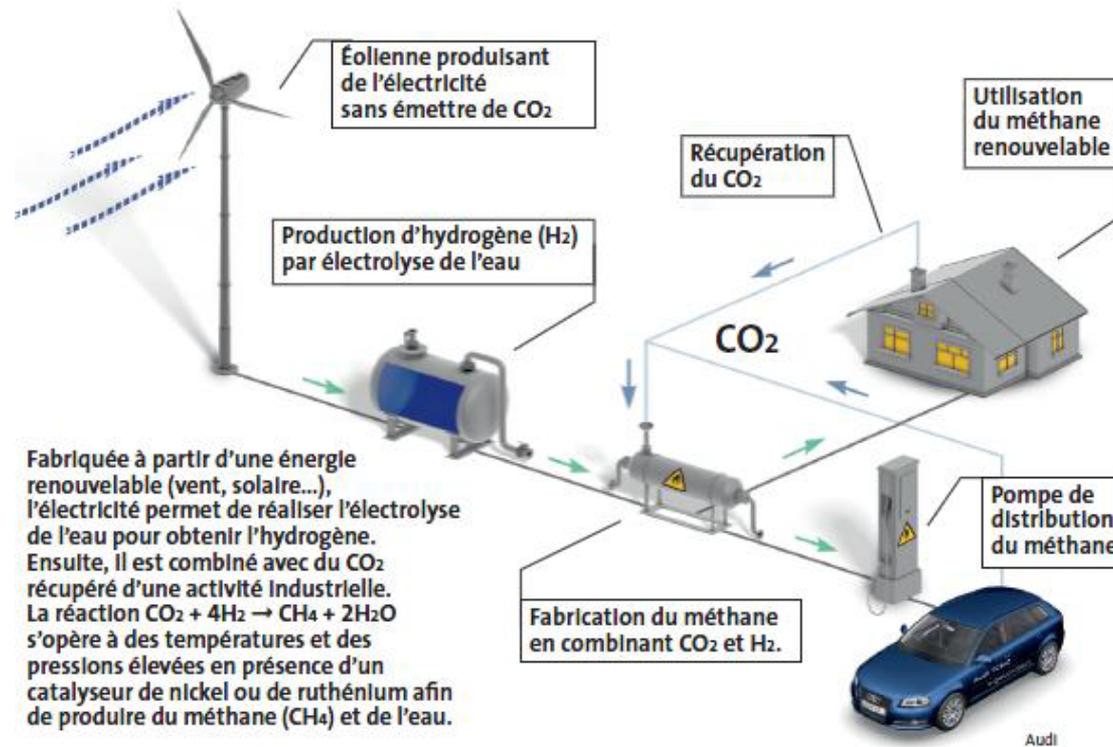
<http://www.eon.com/en/media/news/press-releases/2013/8/28/eon-inaugurates-power-to-gas-unit-in-falkenhagen-in-eastern-germany.html>

**Rendement d'un électrolyseur seul → de 50% à 60%**

# Valorisation des énergies renouvelables → la méthanation

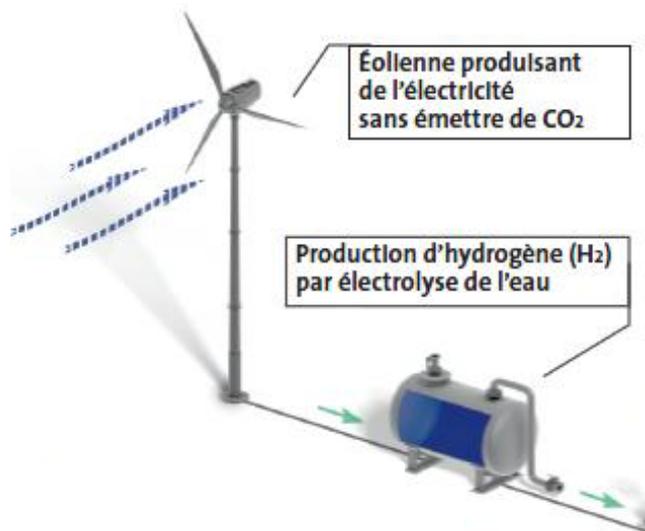


# Valorisation des énergies renouvelables → la méthanation



**MAIS... bilan carbone favorable + utilisation d'un carburant classique**

# Valorisation des énergies renouvelables → la méthanation



**Electricité**

$\eta \approx 50\%$

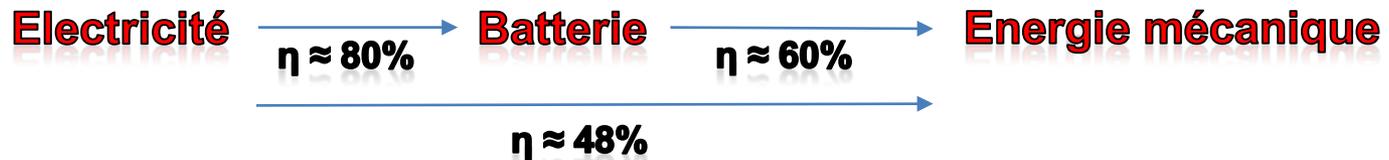
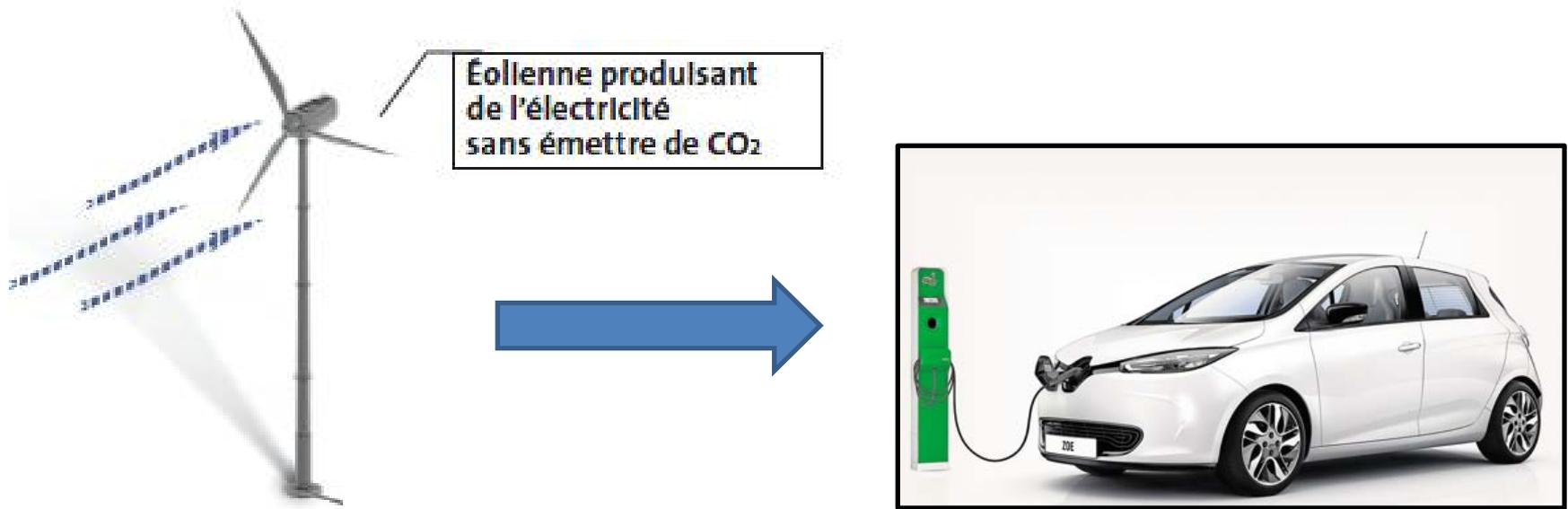
**Hydrogène**

$\eta \approx 40\%$

**Energie mécanique**

$\eta \approx 20\%$

# Valorisation des énergies renouvelables → méthanation



**BILAN - Avec l'énergie nécessaire pour parcourir 100 km avec du CH<sub>4</sub> de synthèse (méthanation), on pourrait faire:**

- 300 km avec de l'hydrogène et une PàC.
- 700 km avec des batteries.

# Efficacité de la chaîne énergétique

## ENERGIES PRIMAIRES

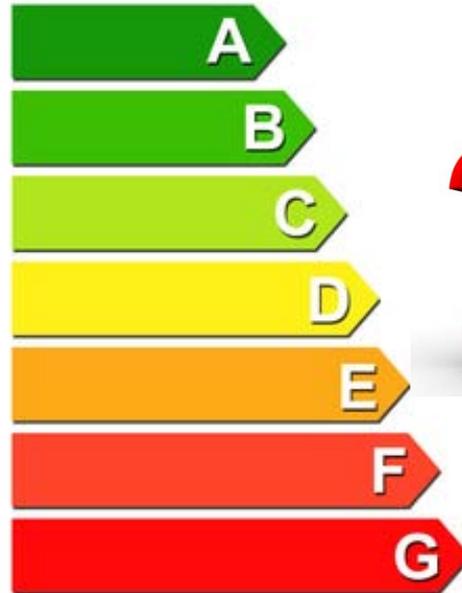
**Electrique**  
Eolien  
Hydraulique  
Solaire  
Energies marines

**Chaleur**  
Solaire  
Géothermie  
Nucléaire

**Chimique biomasse (chaleur)**  
Biomasse solide (bois...)  
Filières huile → agrodiesel  
Filières sucre → agroessence  
Méthanisation (biogaz)  
Autres déchets renouvelables

**Chimique fossile (chaleur)**  
Charbon  
Pétrole  
Gaz

**Déchets non renouvelables**



## ENERGIES FINALES

**Electricité**

**Carburants véhicules**

SP95

E10

Diesel

GPL

E85

GNL

Kérosène

} 2% d'H<sub>2</sub>

**H<sub>2</sub>**

**Combustibles d'origine électrique**

H<sub>2</sub> ... voire CH<sub>4</sub>

**Combustibles d'origine fossile**

Charbon

Butane/Propane

Gaz naturel

Fioul (lourd)

**Combustibles origine biomasse**

Bois déchiqueté

Granulés de bois

Biogaz

**Chaleur**

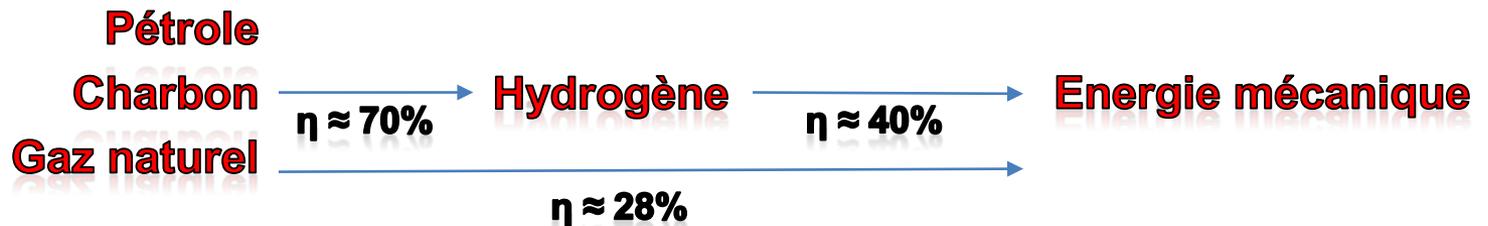
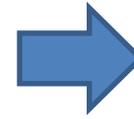
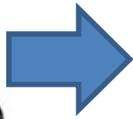
Pompes à chaleur

Solaire (ECS, chauffage, climatisation)

# Efficacité de la chaîne énergétique → les transports



# Efficacité de la chaîne énergétique → les transports

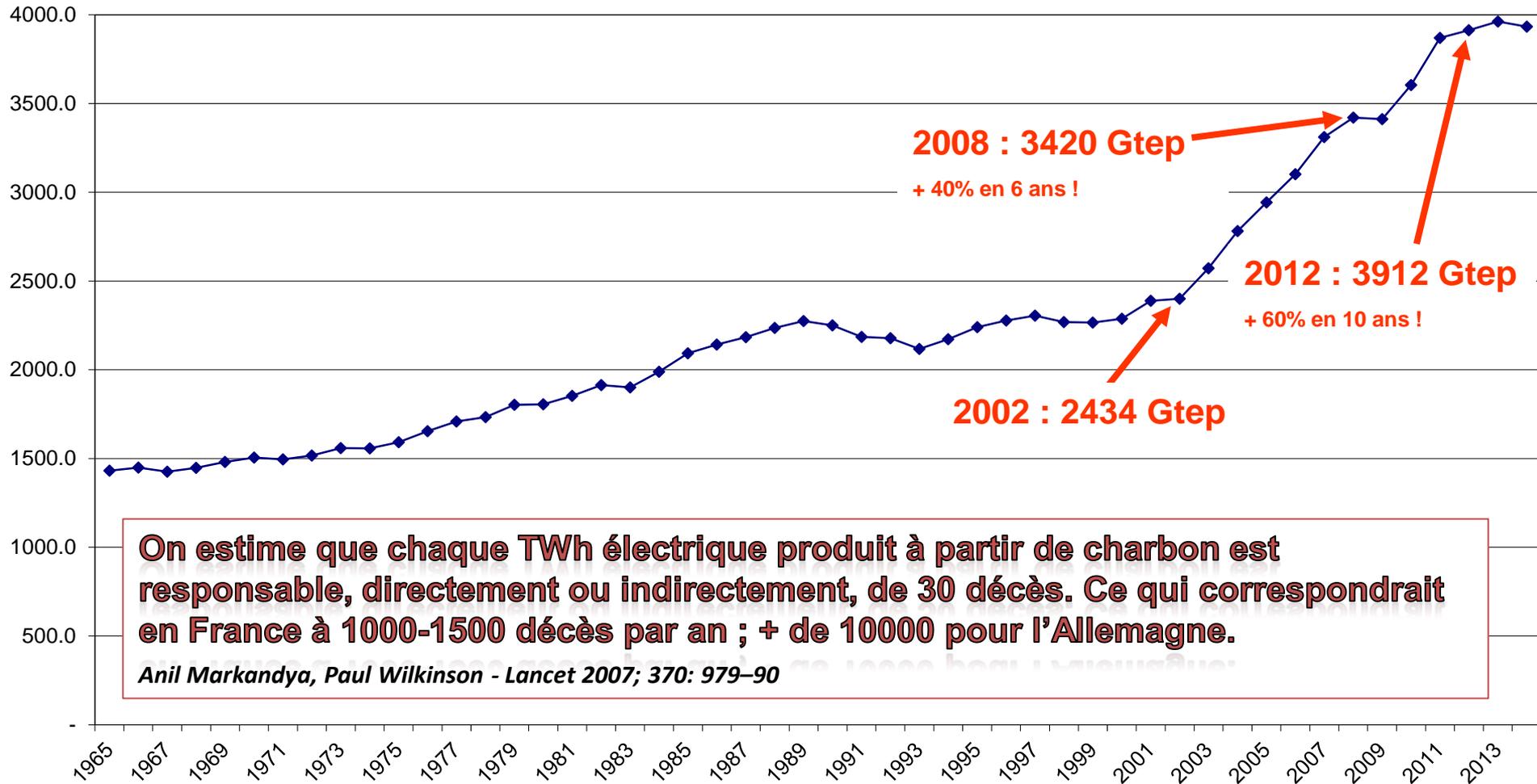


Toutes choses égales par ailleurs, généraliser l'usage de l'hydrogène dans les transports permettrait d'alléger la consommation d'énergies primaires fossiles d'environ 35%

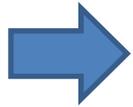
(...ça ne serait en tout cas pas pire qu'aujourd'hui...)

# Efficacité de la chaîne énergétique → le charbon « propre »

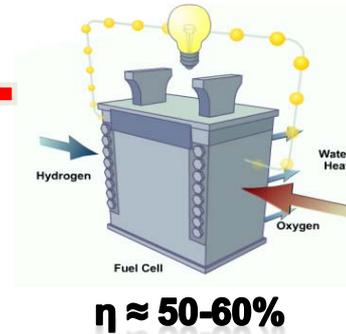
**Production mondiale de charbon en Mtep - 2014 : 3,9 Mds tep**  
**Réserves : 891 Mds tonnes (113 ans) - 1 tonne ≈ 0,5 tep**



# Efficacité de la chaîne énergétique → le charbon « propre »



$\eta \approx 100\%$

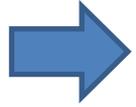


Rêvons un peu...

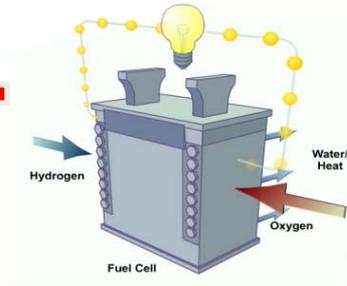
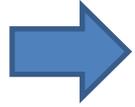
Remplacer les centrales actuelles par des installations utilisant du gaz de synthèse permettrait :

- de ramener la consommation de charbon au niveau de 1980.
- de diminuer de plus de 20% les émissions atmosphériques annuelles totales de carbone...
- ... c'est-à-dire au niveau de 2003 (9,6 Gt<sub>C</sub>/an → 7,5 Gt<sub>C</sub>/an).

# Efficacité de la chaîne énergétique → les chaudières électrogènes



$\eta \approx 80-100\%$



$\eta \approx 40-50\%$



Chaudière électrogène Ene-Farm de 20 kW thermique et 200 à 700 W électrique développée par Tokyo Gas et Panasonic (SOFC et PEMFC).

# Efficacité de la chaîne énergétique → sites isolés/backup



# Conclusions

- ◆ **Il est difficile de dire quel sera le paysage énergétique à l'issue de la période de transition que nous vivons...**
- ◆ **La concurrence est rude ! Le développement de la plupart des NTE repose encore et toujours sur des ruptures technologiques et scientifiques. Et l'hydrogène énergie finale se développera(it) faute de mieux.**
- ◆ **Mais, des nouveaux concepts : carburants issus de l'électricité – *power-to-gas***
- ◆ **Les quelques scénarios de développement à grande échelle envisagés pour l'hydrogène:**
  - **Nucléaire**
  - **Energies renouvelables électriques**
  - **Mobilité (méthanation)**
    - ... **supposent une énergie abondante et bon marché.**

# 3.

**Explorer les usages futurs de produits et services qui n'existent pas encore : une question de méthode ?**

*Dr. Benoit Roussel*  
*Pr. Eric Brangier*  
*(PErSEUs)*

PErSEUs



# But de la pré-étude

- « ...Explorer les usages futurs... pour aider à concevoir... »
  - *modalité d'intervention ergonomique qui consiste à anticiper les futurs besoins, usages et comportements ou à construire les futurs besoins en vue de créer des procédés, produits ou services qui leurs sont bien adaptés.*
    - *Utilisateurs : qui sont-ils? Qui seront-ils? Quelles situations?*
    - *Quelles variabilités?....*
- Identifier les outils et méthodes
  - Pour cette pré-étude exploratoire,
  - Pour les suites de cette pré-étude.

# Contexte de la pré-étude



- Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Théorique et Appliquée
  - « Un équilibre entre recherche fondamentale et recherche finalisée au service des grands défis du 21ème siècle »
  - « ...proposer une énergie propre et efficace pour assurer la transition énergétique »
  - « Répondre à des préoccupations sociétales et environnementales majeures »



Pile compacte de 2 kW fabriquée au LEMTA

Apports : Expertise dans le domaine de H2  
et connaissance des  
acteurs des réseaux



- **Psychologie Ergonomique et Sociale pour l'Expérience Utilisateurs**



- Un groupe de chercheurs multidisciplinaires : psychologues, ergonomes, spécialistes des facteurs humains, informaticiens et ingénieurs innovation
- « ..Mettre au cœur des raisonnements les utilisateurs... »
- « ... en situations réelles et/ou réalistes... »
- Une grande proximité avec les organisations

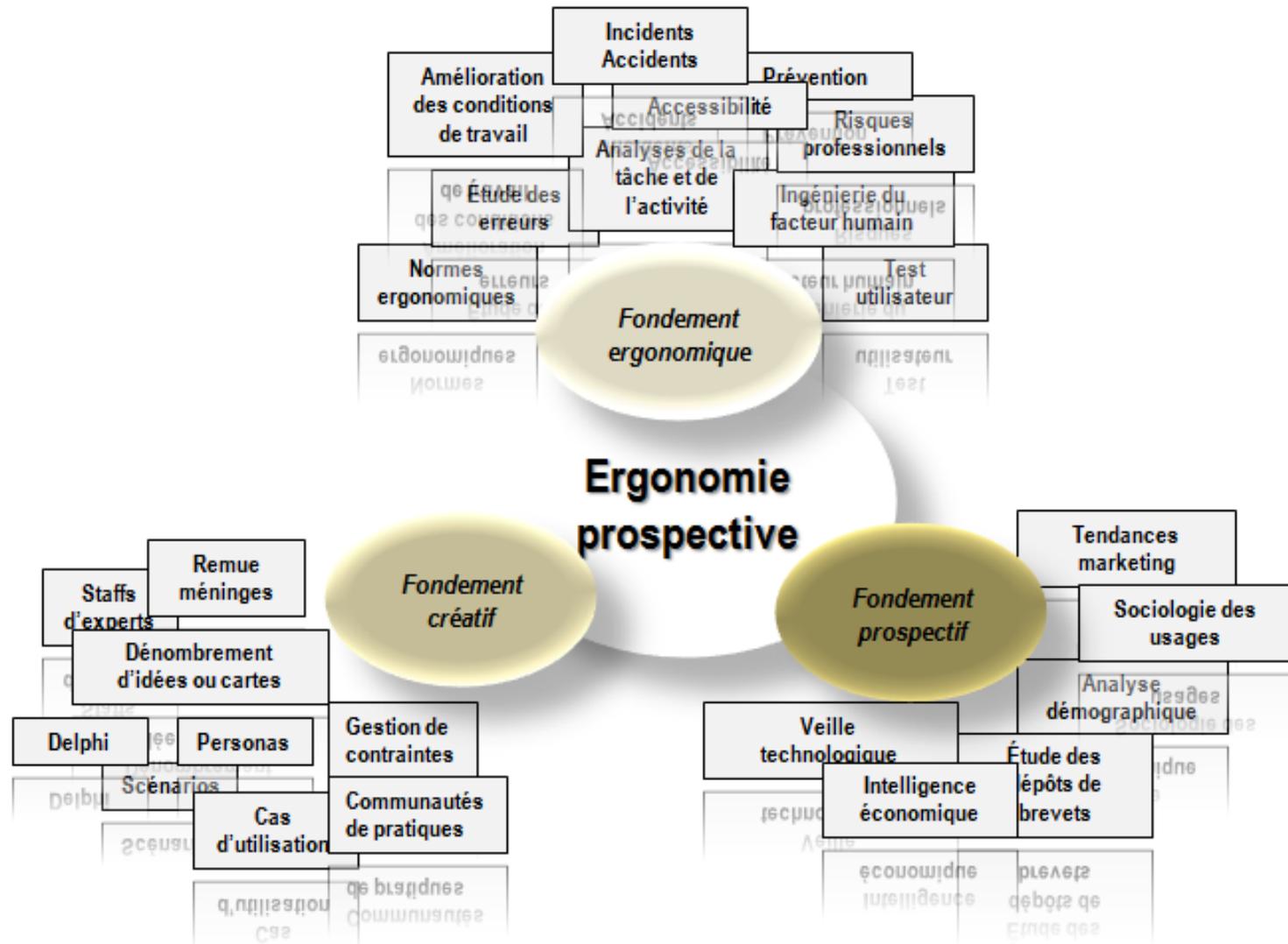


Apports : Expertise dans le domaine  
 Expérience Utilisateurs et  
 outils/méthodes/moyens

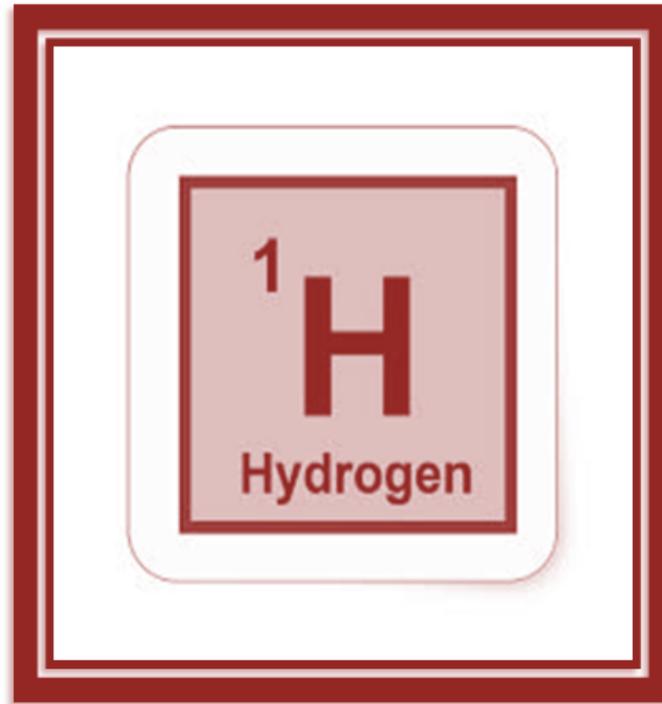


FabLab (prochainement)

# ..... Usages Futurs



En route pour les usages futurs de  
l'hydrogène...



... avec la méthode des staffs d'expert de  
communauté

# Objectifs de la pré-enquête

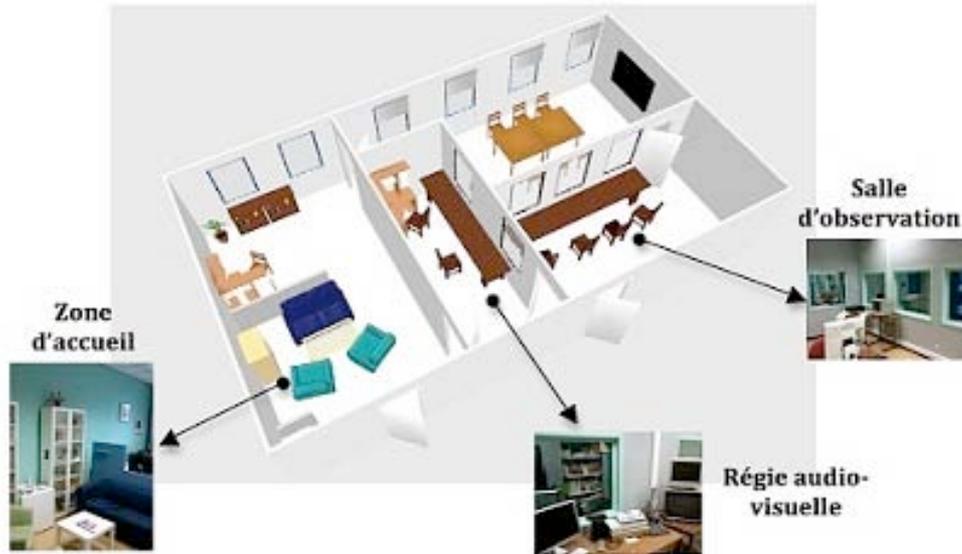
Entrevoir :

- les **interrogations** issues des utilisateurs potentiels,
- les exigences des **modifications profondes**,  
(acceptées ou non) de nos **comportements**,
- des nouvelles **possibilités technologiques**,
- des éléments de **prospective** sur les **usages futurs**,
- des **scénarios d'usages** prospectifs,
- des **utilisateurs prospectifs**.

# Méthodologie des staffs d'expert de communauté

- Un staff d'expert de communauté est un groupe d'experts (Brangier, Dinet & Eilrich, 2007 ; Brangier, Dinet & Bastien, 2009) représentant une communauté d'acteurs impliqués directement ou indirectement dans un projet et réuni sous la
  - **responsabilité des animateurs**
    - pour produire collectivement des connaissances sur le projet,
    - pour exprimer les besoins, attentes, exigences d'utilisateurs cibles,
    - pour réagir sur les produits ou services existants,
    - Pour expliciter les connaissances utiles et nécessaires à l'usage du produit ou service,
  - **dans une situation**
    - contrôlée et scénarisée, filmée.
  - **qui donne lieu à l'élaboration**
    - de comptes rendus des séances, de personas (archétype d'utilisateurs) d'une synthèse de tris conceptuels des idées émises
  - **en vue de la**
    - définition de scénario d'usage futur d'une technologie, d'un produit ou d'un service
    - décision sur les caractéristiques du produit ou service à concevoir.

# Moyens utilisés



## Architecture spatiale de Pergolab



# Échantillon



01/12 (TRANSPORT)

2 animateurs et 2 experts

08/12 (DISTRIBUTION)

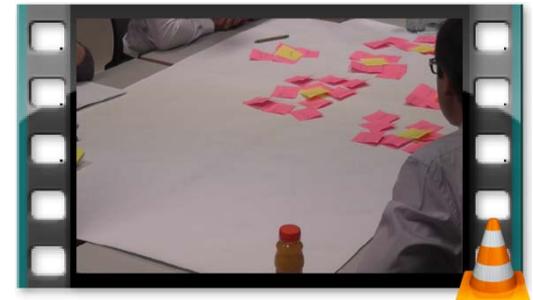
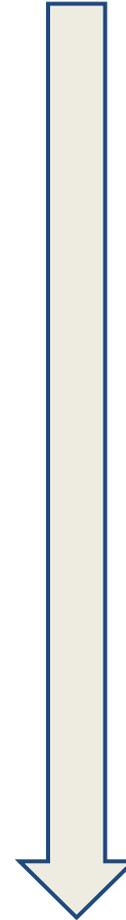
3 animateurs et 4 experts

12/12 (STATIONNAIRE)

2 animateurs et 4 experts

# Les trois parties de l'animation du staff d'experts de communauté

- **Phase 1:** Préciser les besoins en connaissance sur l'hydrogène et son usage?
- **Phase 2:** Réagir sur quelques films?
- **Phase 3:** Organiser la connaissance l'hydrogène et son usage?
  - Groupe de discussion durant trois heures



# Thèmes abordés dans les staffs

Responsible Business : The low carbon economy, sur CNBC

Air Liquide a participé à l'émission télé "Responsible Business; the low carbon economy" de la chaîne CNBC, sur le thème des applications de l'hydrogène comme vecteur d'énergie propre pour une mobilité durable.



Hydrogen Town project in the city of Kitakyushu: Toshiba's pure-hydrogen residential fuel cell



2015 Hyundai Tucson FuelCell  
HYDROGEN REFILLING STATION

How to refuel w/ Hydrogen? H2 fill-up Powertech Hydrogen Fueling Station Overview for Fuel Cell Cars

## 1. Staff Transport terrestre

<http://www.airliquideadvancedtechnologies.com/fr/responsible-business-the-low-carbon-economy-sur-cnbc.html>

## 2. Staff Stationnaire

[https://www.youtube.com/watch?v=P4iD6U\\_Hx8Y](https://www.youtube.com/watch?v=P4iD6U_Hx8Y)

## 3. Staff Distribution

<https://www.youtube.com/watch?v=7hAlsGtrJrY>

# 4.

*Amélie Bost  
Dr. Corinne Bornet,  
Dr. Javier Barcenilla,  
Dr. Robin Vivian,  
(PErSEUs)*

*Appréhender les usages futurs liés  
à l'hydrogène : quelques  
résultats...*

PErSEUs



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE

# Pourquoi une analyse lexicale ?

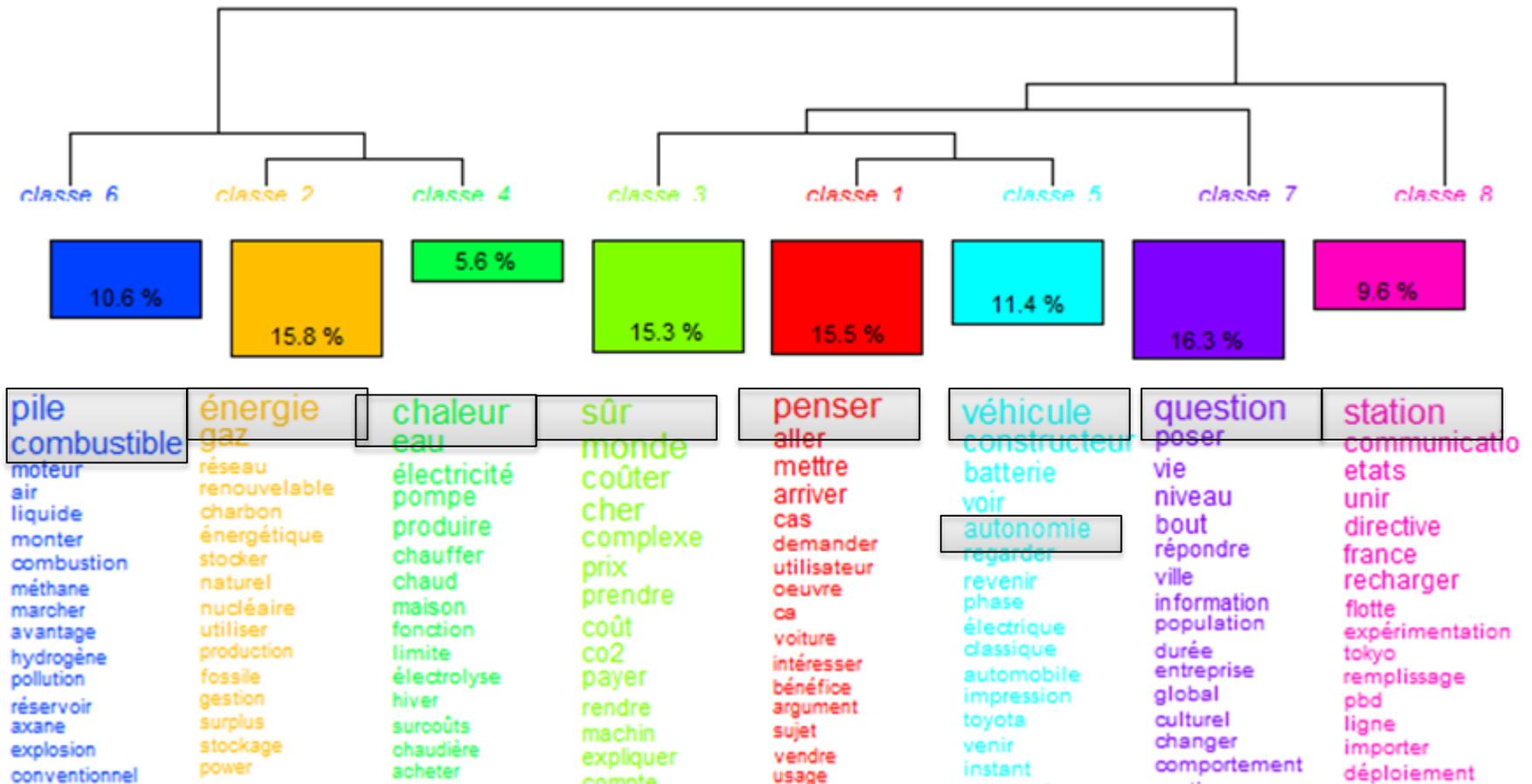
Analyser le discours pour :

- Connaître la perception qu'ont les industriels des futurs utilisateurs
- Améliorer la communication entre industriels et utilisateurs futurs
- Faire ressortir des patterns et les analyser/interpréter dans le contexte.

# 4 Analyse lexicale

- La retranscription des différents staffs représente plus de 160 pages (de 9H à 10H d'enregistrement vidéo)
- Après un travail correctif, de mise en forme, suppression des répétitions, des reprises inutiles pour notre étude, le corpus ne fait plus que ... 157 pages.
- Une première analyse textuelle a été faite avec Iramuteq

# Classification Hiérarchique Descendante



8 classes trouvées à partir du discours des participants

# Analyse du contenu lexical de chacune de ces classes

Classe 6	Classe 2	Classe 4	Classe 3	Classe 1	Classe 5	Classe 7	Classe 8
Pile Combustible Moteur Air Liquide Monter Combustion Méthane Marcher Avantage Hydrogène	Énergie Gaz Réseau Renouvelable Charbon Énergétique Stocker Naturel Nucléaire Utiliser	Chaleur Eau Électricité Pompe Produire Chauffer Chaud Maison Fonction Limite	Sûr Monde Coûter Cher Complexe Prix Prendre Coût CO2 Payer	Penser Aller Mettre Arriver Cas Demander Utilisateur Œuvre Ça Voiture	Véhicule Constructeur Batterie Voir Autonomie Regarder Revenir Phase Électrique Classique	Question Poser Vie Niveau Bout Répondre Ville Information Population Durée	Station Communication Etats Unir Directive France Recharger Flotte Expérimentation Tokyo

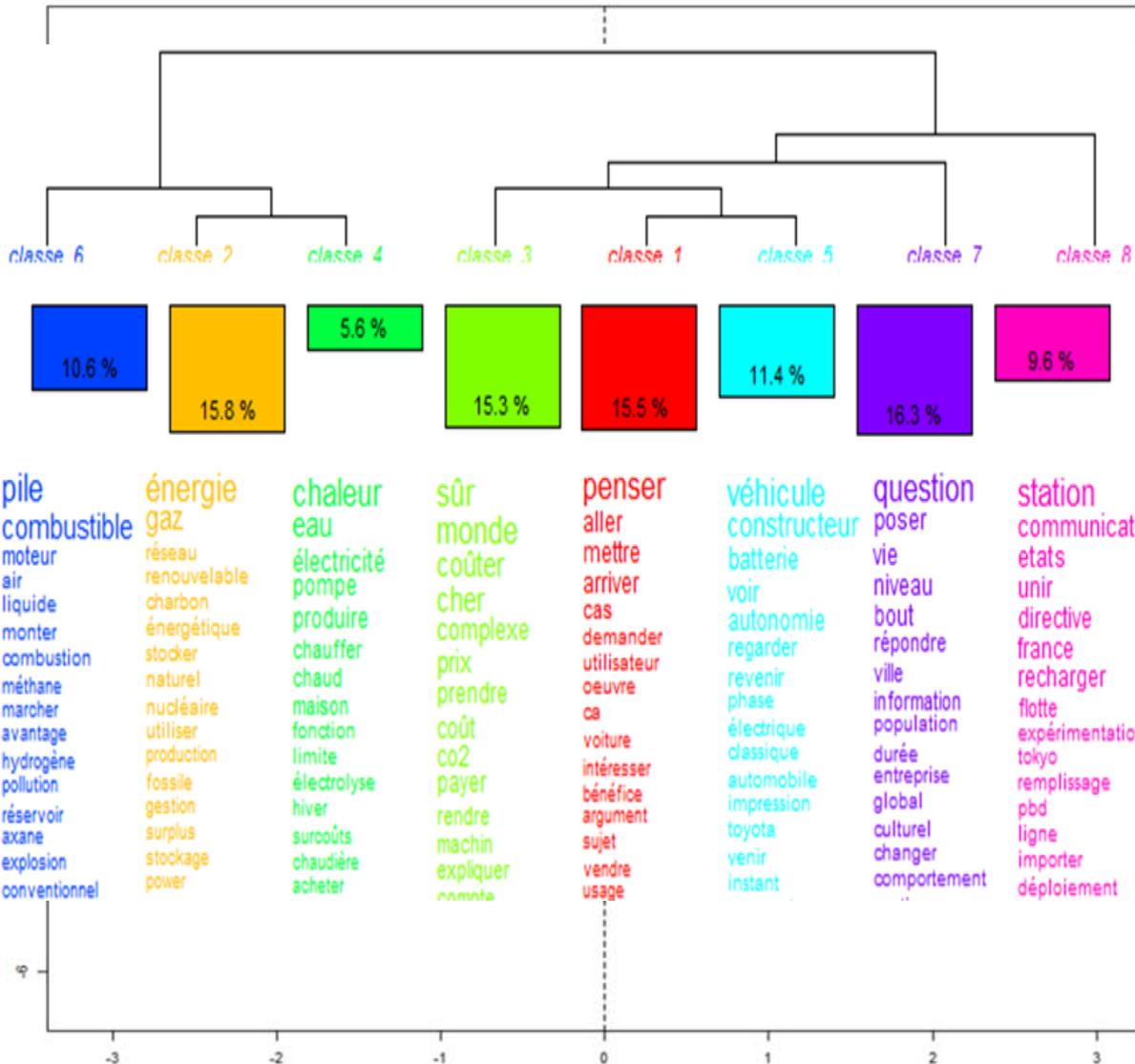
Hydrogène (aspects positifs)	Multiplication des énergies	Utilisation stationnaire	Points négatifs	Aspect prospectif, tourné vers le futur	Choix industriels	Interrogations (comportements utilisateurs)	Situation actuelle et gestion politique
---------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-----------------	--	-------------------	---	--

**Avantages de l'hydrogène et de la multiplication des énergies**

**Choix et améliorations à effectuer dans un avenir proche**

**Interrogations sur la volonté de changement des politiques et des consommateurs**

# Analyse Factorielle des Correspondances



**Facteur 1** = approche de l'hydrogène. Il oppose une logique sociale à une logique technique.

**Technique** : « Moteur, pile à combustible, énergie, gaz, chaleur, produire, électricité, ... »

**Sociale** : « préoccupation, charger, efforts, communication, confiance, ... »



# Personas

**Prénom NOM**

*Caractéristique principale du persona*

*Perception de l'hydrogène, en quelques mots*

Utilisateur / expert  
1<sup>er</sup> domaine d'usage / d'expertise

**Variables individuelles / sociologiques**

Age  
Profession  
Statut marital...

Photo

Attitudes et comportements du persona en relation avec l'énergie et les usages associés à l'hydrogène

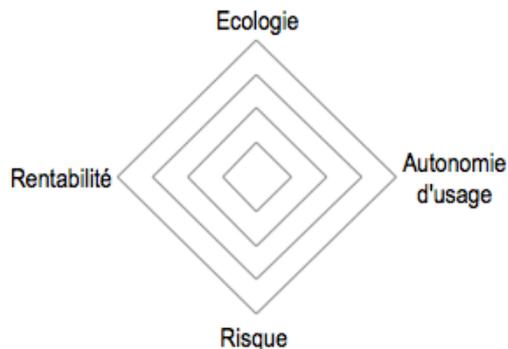
*Résumé du persona*

**Préoccupations d'usage**

**Son rôle, ses choix**

**Sa perception de l'hydrogène**

**Domaines d'usage pressentis**



Fonctions associées à l'H2 comme énergie

Personnalité, valeurs, priorités dans la vie.  
Contexte des actions.  
Sources de frustration, de plaisir.  
Attitude à l'égard des tâches associées à la gestion de l'énergie.

Informations associées.  
Niveau de sécurité et de fiabilité.

- ✓ Transport en commun
- ✓ Transport personnel
- ✓ Stationnaire communautaire
- ✓ Stationnaire individuel
- ✓ Distribution centralisée
- ✓ Distribution individualisée

**Les besoins en lien avec l'hydrogène**

*Citation*

# Pierre GILLES

L'hydrogène comme énergie d'avenir



*Perçoit l'hydrogène comme une opportunité pour mieux gérer sa consommation d'énergie*

Utilisateur  
Stationnaire

Pierre est un consommateur éclairé : par principe, il compare le prix et la qualité des produits avant de choisir. Pour l'énergie, Pierre est prêt à fonctionner de la même manière : après tout, ces choix sont déterminants pour le confort de la famille, le budget et bien sûr pour l'environnement. Mais l'environnement n'est pas une priorité, c'est l'aspect économique qui dicte les choix de Pierre. Avec un salaire d'enseignant, il n'a pas d'autre possibilité ! Pierre est également très friand de nouvelles technologies. Les perspectives en matière de domotique le fascinent.

36 ans  
Enseignant dans un  
collège  
Marié, 3 enfants

*Pierre est un gestionnaire !  
Bricoleur et familier des  
nouvelles technologies, il  
saisit toute opportunité pour  
améliorer le bien-être de sa  
famille et optimiser son  
budget.*

Préoccupations d'usage	Son rôle, ses choix	Sa perception de l'hydrogène	Domaines d'usage pressentis
<p>Fonctions associées à l'H2 comme énergie</p>	<p>Dans la famille, c'est Pierre qui suit la consommation d'énergie. Il compare les dépenses d'une année sur l'autre et pour sa nouvelle maison, il a opté, après mûre réflexion, pour 4 sources de chauffage. Il est enthousiaste à l'idée de pouvoir stocker de l'hydrogène, le produire et même vendre le surplus !</p>	<p>Pierre déplore le manque d'informations actuel sur l'hydrogène. Il aimerait avoir une meilleure visibilité sur les choix qui vont s'ouvrir, car les travaux dans sa maison, c'est maintenant !</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Stationnaire communautaire</li><li>✓ Stationnaire individuel</li><li>✓ Distribution centralisée</li><li>✓ Distribution individualisée</li></ul>
<p><b>Besoins</b> - Système de gestion efficace. - Informations sur l'hydrogène.</p>			

# Cécile APTEL

L'hydrogène comme une nouvelle contrainte dans le quotidien



*Perçoit l'hydrogène comme une nouvelle contrainte au quotidien*

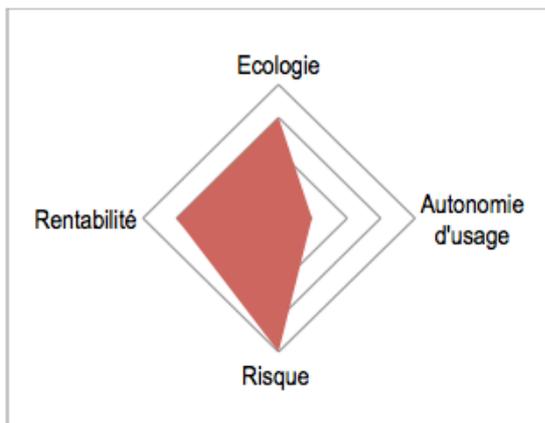
Utilisateur  
Stationnaire et mobilité

38 ans  
Responsable formation  
Divorcée, 2 enfants

Payer les factures, entretenir la chaudière, acheter une alarme incendie... Ces menues tâches représentent des corvées pour Cécile. Ce qu'elle veut, c'est consommer les yeux fermés. Pareil avec la voiture : Cécile n'envisage même pas de devoir sans cesse surveiller son niveau d'autonomie. Pouvoir continuer à faire 350-400 km sans faire le plein lui semble tout à fait naturel et elle ne compte pas revenir sur ce qu'elle considère comme acquis. Elle ne compte pas non plus se compliquer la vie pour faire le plein. Avoir une station d'essence, ou autre, quand elle en a besoin, lui semble tout à fait normal. Cécile a effectivement entendu parler de l'hydrogène. Ses seules questions portent sur la date à laquelle il faudra bien s'en occuper et s'il y a du risque.

*Cécile n'a pas une minute à elle, entre les activités des enfants et les siennes. Elle court toujours !*

## Préoccupations d'usage



Fonctions associées à l'H2 comme énergie

## Son rôle, ses choix

Cécile s'occupe de tout à la maison, non par choix, mais par nécessité. Elle a donc appris à fonctionner par priorité : ce qui n'est pas essentiel est reporté...

Cécile se déclare très sensible à l'argument écologique : elle fait quelques achats bio, privilégie le local... Mais elle fait également le choix de ne pas gaspiller trop de temps ni trop d'argent. Elle se sent donc souvent tiraillée entre ses convictions écologiques et les contraintes du quotidien.

## Sa perception de l'hydrogène

Cécile ne sait pas vraiment pourquoi, mais dans son esprit, l'hydrogène est associé à un risque d'explosion... Peut-on se garer dans un parking souterrain, avec un véhicule à hydrogène ? Que se passe-t-il en cas de choc ? en cas de fuite ? Cécile se pose de nombreuses questions et se demande si pour la maison, le risque est le même. Elle reconnaît également avoir très peu d'informations et ne pas en chercher ! De toute manière, elle sera obligée de s'en préoccuper à un moment ou à un autre, autant attendre !

## Domaines d'usage pressentis

- ✓ Transport en commun
- ✓ Transport personnel
- ✓ Stationnaire communautaire
- ✓ Stationnaire individuel
- ✓ Distribution centralisée
- ✓ Distribution individualisée

**Besoins - Système de gestion facile à paramétrer, sans autre intervention**

# Laurent LALOÉ

L'hydrogène comme vecteur énergétique du futur

*Perçoit l'hydrogène comme une formidable opportunité en tant qu'énergéticien*

Directeur de recherche  
Spécialiste des applications hydrogène en stationnaire



Laurent est convaincu que l'hydrogène va ouvrir des perspectives et des changements de comportement chez les consommateurs, qui ne sont pas encore connus. Globalement, le consommateur pourra être proactif dans la gestion de son énergie, il aura la possibilité de réaliser des choix éclairés. Le monde sera plus complexe !

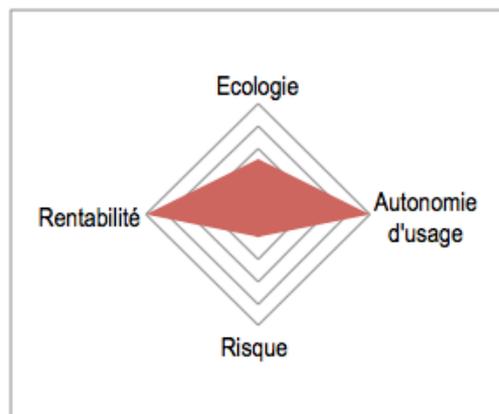
Pour le moment, l'avenir de l'hydrogène dépend avant tout de choix politiques ! Laurent insiste : les industriels souffrent en France d'un manque de visibilité et sont à l'écoute du législateur. Le consommateur viendra plus tard...

En un mot, l'hydrogène doit pour le moment préoccuper uniquement les experts, tant que la technologie n'est pas parfaitement maîtrisée et que les politiques n'ouvrent pas la voie.

42 ans  
Situation sociale  
Marié, 2 enfants

*Laurent regrette que le contexte actuel n'incite pas les consommateurs à se tourner vers l'hydrogène.*

## Préoccupations d'usage



Fonctions associées à l'H2 comme énergie

## Son rôle, ses choix

Laurent a choisi de ne pas se préoccuper maintenant des utilisateurs. Il s'agit d'abord de recevoir l'appui des politiques, que la réglementation suive, que les réseaux se mettent en place... A ce moment, il sera temps d'aller vers les consommateurs. Et ce sera bon signe ! En même temps, Laurent souhaiterait plus de débats, d'informations dans les médias sur l'hydrogène. Après tout, ce sera loin d'être neutre pour les utilisateurs : ils devront arbitrer entre différentes solutions pour chaque type d'application.

## Sa perception de l'hydrogène

En tant qu'énergéticien, Laurent est convaincu du potentiel associé à l'hydrogène. Au niveau des possibilités de stockage, du transport entre les centres de production et de consommation, du bilan énergétique global... l'hydrogène apporte des solutions indéniables. Il se passionne pour la question qui préoccupe en ce moment la communauté des experts : comment décarboner la production d'hydrogène ? Le risque, lui, est parfaitement maîtrisé.

## Ses domaines d'expertise

- ✓ Stationnaire communautaire
- ✓ Stationnaire individuel
  
- ✓ Distribution centralisée
- ✓ Distribution individualisée

**Besoins** - Soutien des pouvoirs publics  
- Informations à destination du grand public

*Tant qu'on n'a pas mis une valeur monnayable à l'environnement, il n'y a aucune raison pour laquelle un client final irait dépenser plus d'argent*

# Martin CACHE

*L'hydrogène comme une solution possible pour l'avenir, si les consommateurs suivent...*



*Perçoit l'hydrogène comme une voie intéressante mais s'interroge sur les réactions des consommateurs*

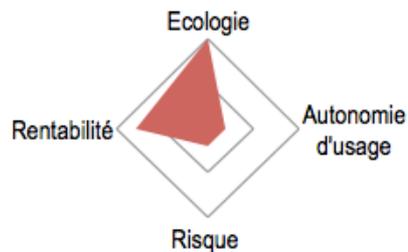
Directeur de recherche  
Spécialiste dans le domaine des piles à combustible pour le transport

54 ans  
Marié, 3 enfants

L'hydrogène ouvre pour Martin des perspectives indéniables au niveau écologique et économique. Seulement il s'interroge. Dans le transport, par exemple. Il ne faut pas oublier que les opérations de maintenance vont diminuer, et donc les emplois associés...Au niveau technique, d'autres solutions que l'hydrogène sont à l'étude, qui devraient également permettre de réduire l'émission de CO2. Mais la grande inconnue se situe pour Martin au niveau de la perception des consommateurs, des politiques, des médias, par rapport à l'hydrogène. La peur de l'explosion, l'absence en France d'expérimentation de véhicule à pile à combustible, sans oublier la réglementation contraignante, contribuent à alimenter soit une méfiance, soit une méconnaissance totale de l'hydrogène. En mot, rien n'est joué. Martin s'interroge sur les messages à faire passer sur des aspects liés à l'écologie, la sécurité ou même l'activité économique. Pour lui, il faut faire de la pédagogie. La question est de savoir comment.

*Pour Martin, l'hydrogène, c'est l'avenir. Mais il craint que la communauté d'experts ne soit relativement isolée. Il s'inquiète de la perception de l'hydrogène de la part de consommateurs, mais aussi des politiques et des médias !*

## Préoccupations d'usage



Fonctions associées à l'H2 comme énergie

## Son rôle, ses choix

Martin considère que son rôle est de faire en sorte que l'utilisation de l'hydrogène soit neutre au niveau du consommateur. Il insiste sur un point : l'hydrogène est un moyen de substitution. Il n'a pas vocation à révolutionner les usages ! Que ce soit en stationnaire ou en transport, l'enjeu est de permettre aux consommateurs de ne rien changer à leurs habitudes. L'argument commercial repose selon Martin sur le maintien des habitudes et la dimension écologique.

## Sa perception de l'hydrogène

Martin sait que les procédés sont sûrs et maîtrisés. La question est pour lui d'en informer le consommateur ! A donner trop d'informations, le risque est précisément de l'alerter...Martin estime qu'il faut sans doute opérer une distinction entre les messages d'information pour les véhicules à usage privé ou professionnel. Au niveau écologique, Martin s'interroge sur le meilleur moyen de communiquer sur le fait que l'hydrogène n'est pas une énergie propre du moins pour le moment !

## Ses domaines d'expertise

- ✓ Transport en commun
- ✓ Transport personnel

**Besoins - Informations sur la perception de l'hydrogène par l'ensemble des acteurs économiques  
- Retours d'expérience**

*Le but est de ne pas désorienter le consommateur !*



# A retenir...

- Il est possible de construire des représentations des usages de l'hydrogène :
  - Dans le stationnaire
  - Dans la mobilité
  - Dans la distribution
- Les discours se catégorisent en 8 classes qui se regroupent en 3 grandes catégories :
  - les avantages de l'hydrogène et de la multiplication des énergies
  - les choix stratégiques et les améliorations à effectuer dans un avenir proche
  - les interrogations sur la volonté de changement des politiques et des consommateurs.et se déclinent selon deux axes :
  - Logique sociale / Logique technique
  - Logique individuelle / Logique politique
- Même si cela reste exploratoire il est possible de construire des Personas qui correspondent à des utilisateurs prospectifs.

# Deux alternatives

## 1. Changements voulus

Conception en amont avec prise en compte de scénarii et utilisateurs prospectifs.

## 2. Changements subis

Acceptation sociale comme moyen d'accompagner les changements technologiques par la définition de comportements adaptés.

4.

## Vers un living lab sur l'hydrogène en Lorraine

*Pr Fabrice  
Lemoine  
Lemta  
(PErSEUs)*

PErSEUs



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE

Sources d'énergie  
= offre

- Nucléaire
- Fossiles
- Géothermie
- Solaire
- EMR
- Hydraulique
- Éolien
- Biomasse

Adéquation (optimisation système)  
Smart-grids  
Stockage  
Vecteurs flexibles, interconversion

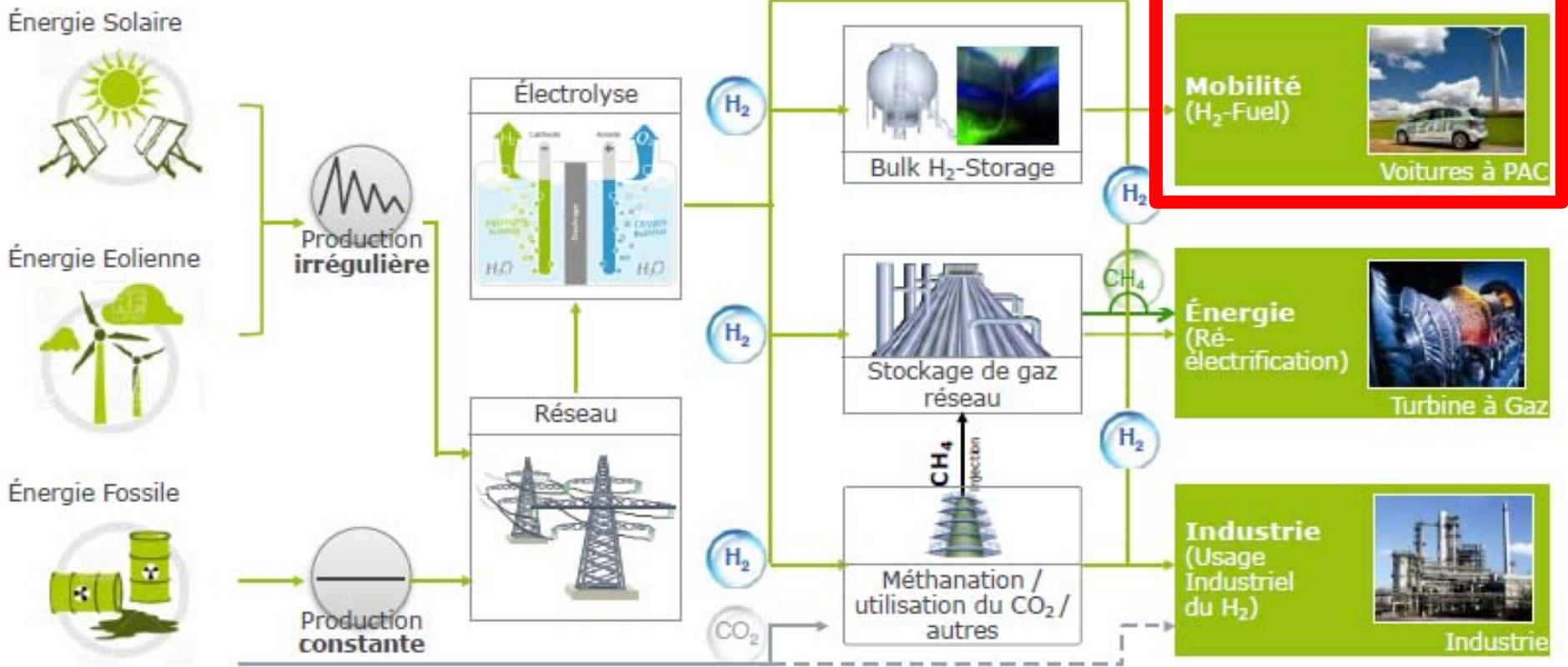
Usages = demande

- Bâtiment
- Mobilité
- Systeme urbain
- Industrie

Vecteur hydrogène :

- Permet de stocker les ENR
- Interconversion possible
- Emissions polluantes très réduites

# L'hydrogène : une molécule, de l'énergie stockée, des usages



**LTECV**, adoptée par l'Assemblée Nationale le 26 mai 2015.

### **Article 30 quater**

I. - Dans un délai de douze mois à compter de la promulgation de la présente loi, le Gouvernement remet au Parlement **un plan de développement du stockage des énergies renouvelables par hydrogène décarboné** qui porte notamment sur :

1° La mise en oeuvre d'un modèle économique du **stockage par hydrogène de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables**, visant à encourager les producteurs d'énergies renouvelables à participer à la disponibilité et à la mise en oeuvre des réserves nécessaires au fonctionnement des réseaux publics de transport et de distribution d'énergie, ainsi que les conditions de valorisation de ces services ;

2° La mise en oeuvre de mesures incitatives destinées à promouvoir des innovations technologiques visant plus particulièrement **les piles à combustibles, pour notamment développer le marché des véhicules électriques** ;

3° **Le déploiement d'une infrastructure de stations de distribution à hydrogène** ;

4° L'adaptation des **réglementations** pour permettre le déploiement de ces nouvelles applications de l'hydrogène, telles que **la conversion d'électricité en gaz**.

-Un *Living Lab* regroupe des acteurs publics, privés, des associations, des acteurs individuels, dans l'objectif de tester « **grandeur nature** » des services, des outils ou des usages nouveaux.

- **Il s'agit de sortir la recherche des laboratoires pour la faire descendre dans la vie de tous les jours, en ayant souvent une vue stratégique sur les usages potentiels de ces technologies.**

- Coopération avec des collectivités locales, des entreprises, des laboratoires de recherche, ainsi que des utilisateurs potentiels. Il s'agit de favoriser l'innovation ouverte et **impliquer les utilisateurs dès le début de la conception.**

 **Favorise l'innovation de système**

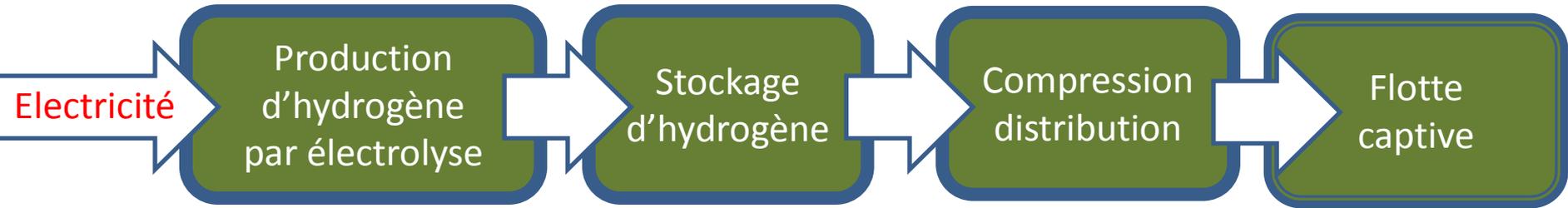
Un carrefour de rencontre privilégié entre les sciences humaines et sociales et les sciences technologiques

« Nous sommes en train de basculer  
d'une économie du produit  
à une économie d'usage »

*BERNARD CHARLES, Directeur Général de Dassault Systèmes  
(17-06-2015)*

→ **Mener une recherche et innover sur la technologie et les usages**

Sarreguemines (projet en démarrage), Grand Nancy, projet en cours d'élaboration



Station de ravitaillement en hydrogène

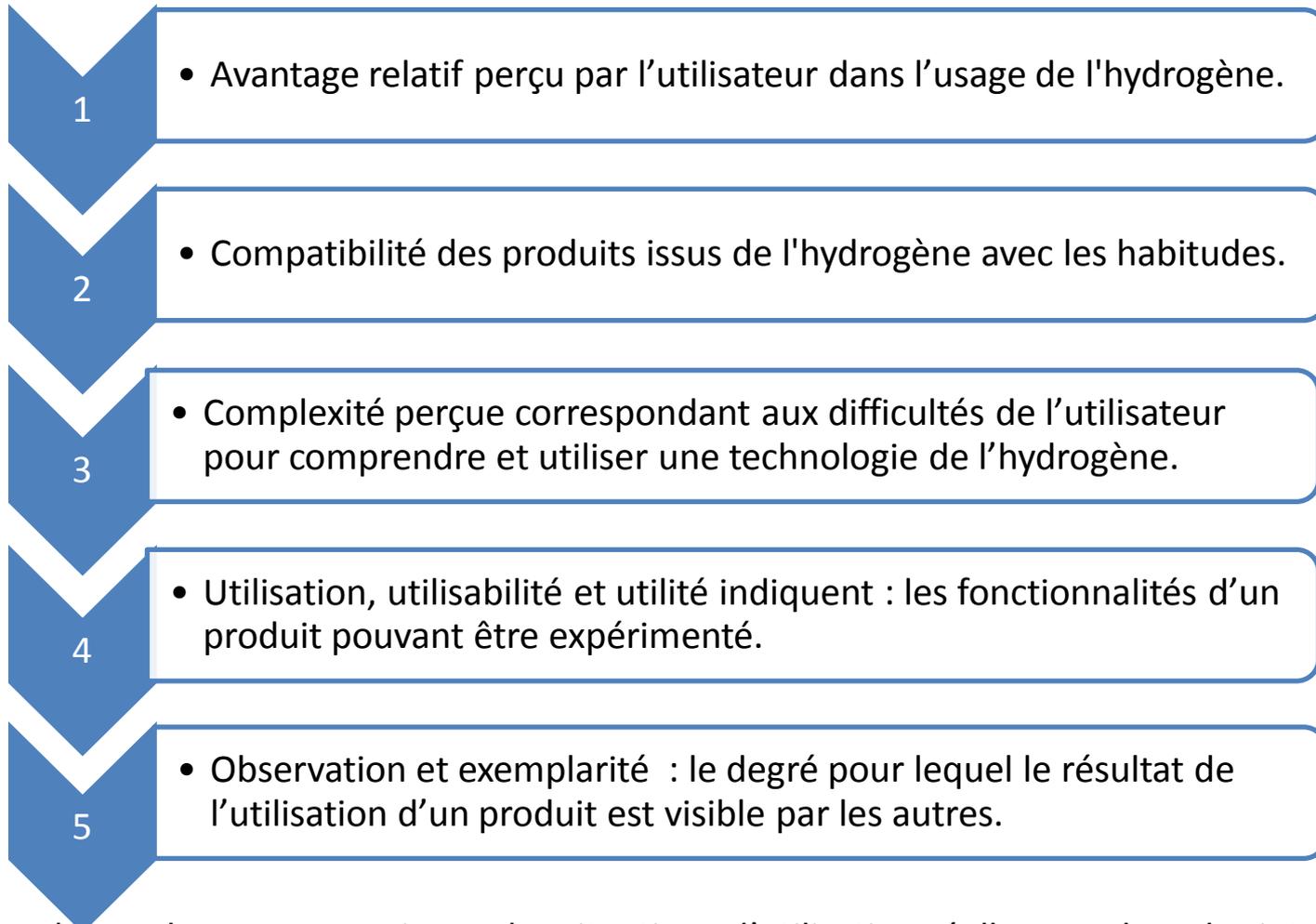


Flottes captives

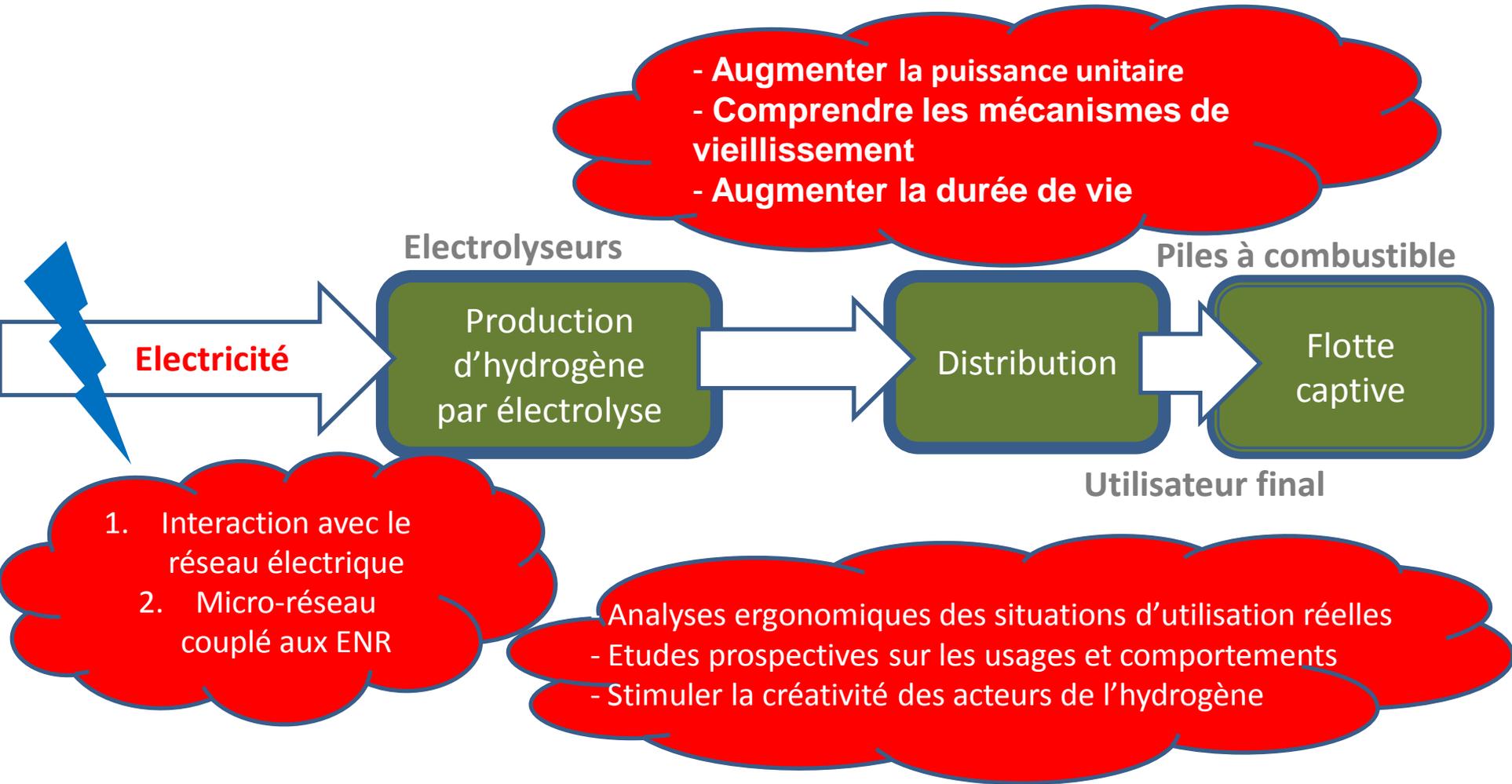


- Un démonstrateur
- Un living lab pour la recherche et la formation (technologies, appropriation sociale)
- Précurseur d'une nouvelle forme de mobilité

## PErSEUs



- Mener des analyses ergonomiques des situations d'utilisation réelles : analyse des interactions, des modes de défaillance, des contraintes, des astreintes, des dysfonctionnements.
- Conduire des études prospectives sur les usages et comportements liés à l'hydrogène.
- Stimuler la créativité des acteurs de l'hydrogène : producteurs, distributeurs, scientifiques, décideurs politiques, associations,...



**Etudes en situation réelle**

**Etudes par ergonomie prospective (usages)**

**Etudes en laboratoire**



**Normes  
Réglementation**

**Modèles économiques**

**Retours d'expérience à analyser**

**Formation : acteur, ingénieur, technicien**



**Territoire**



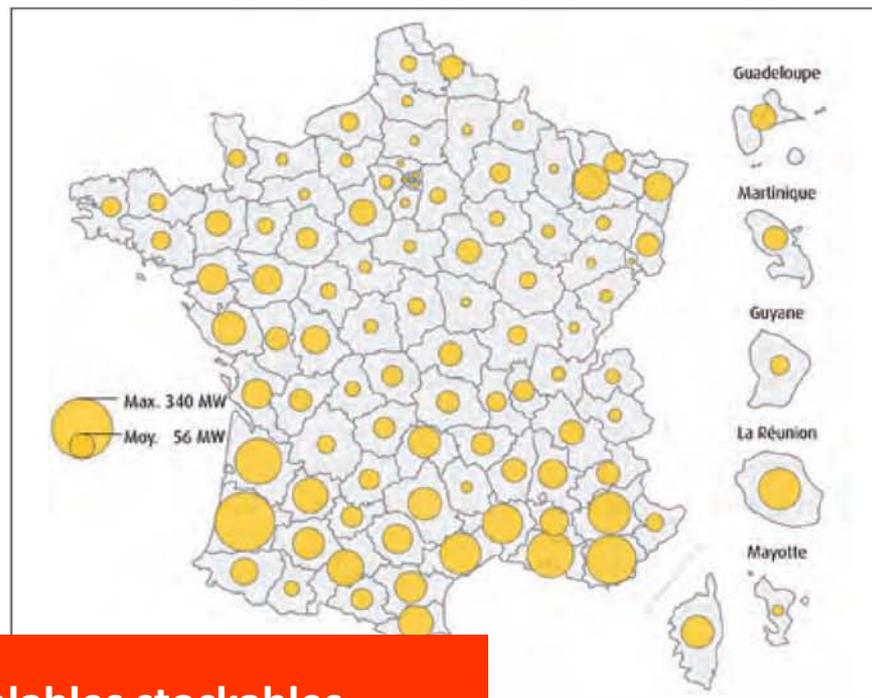
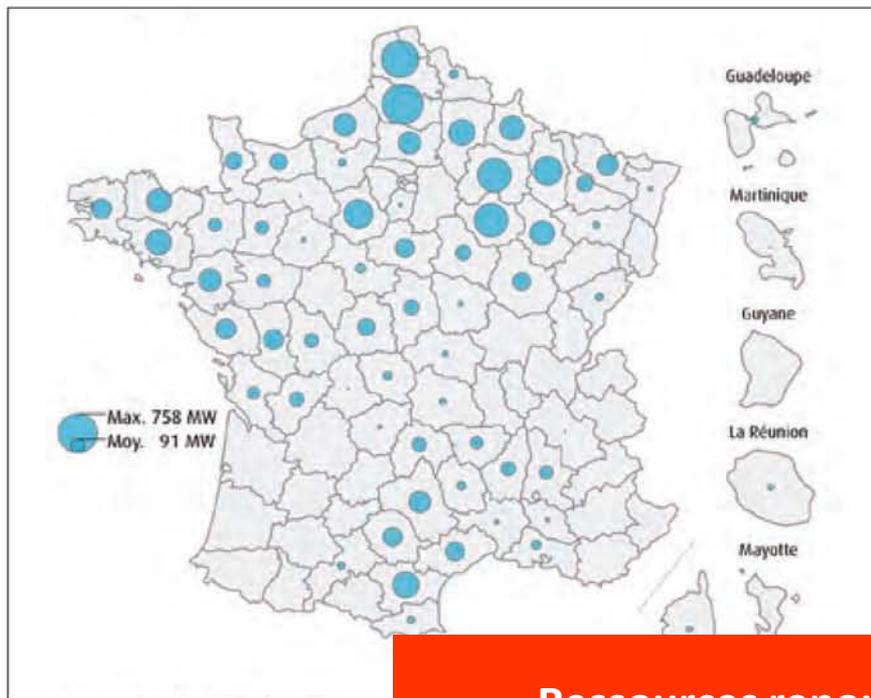
**Décideurs  
publiques**



**Acteurs de la chaîne  
de l'innovation (système)**



**Citoyens  
(acceptation,  
appropriation)**



## Ressources renouvelables stockables

➔ Mobilité

➔ Application stationnaire  
(micro-cogénération)

Chimie (méthanol, autres molécules, ...)

➔ Co-valorisation du CO<sub>2</sub>, méthanation, filière biogaz

Power to gas, power to chemicals

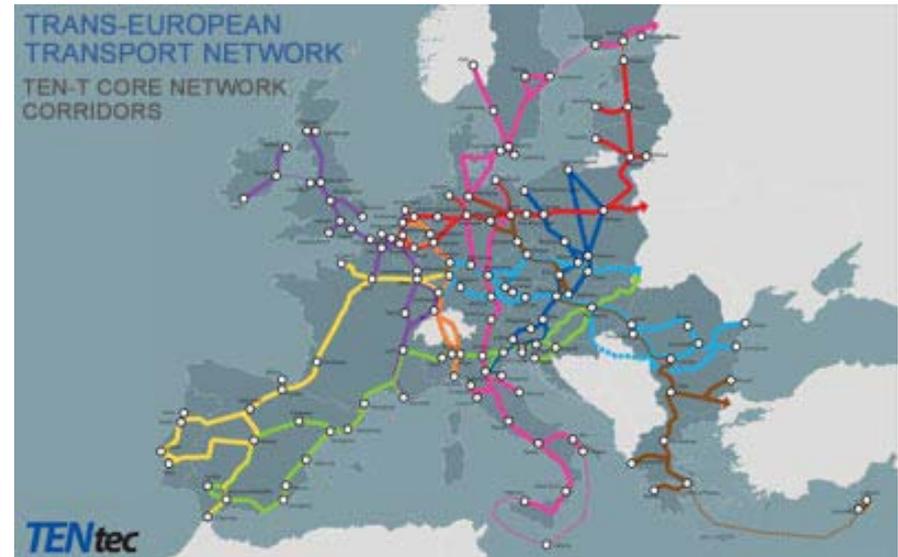
➔ Filière BTL (hydrogénation de la biomasse)

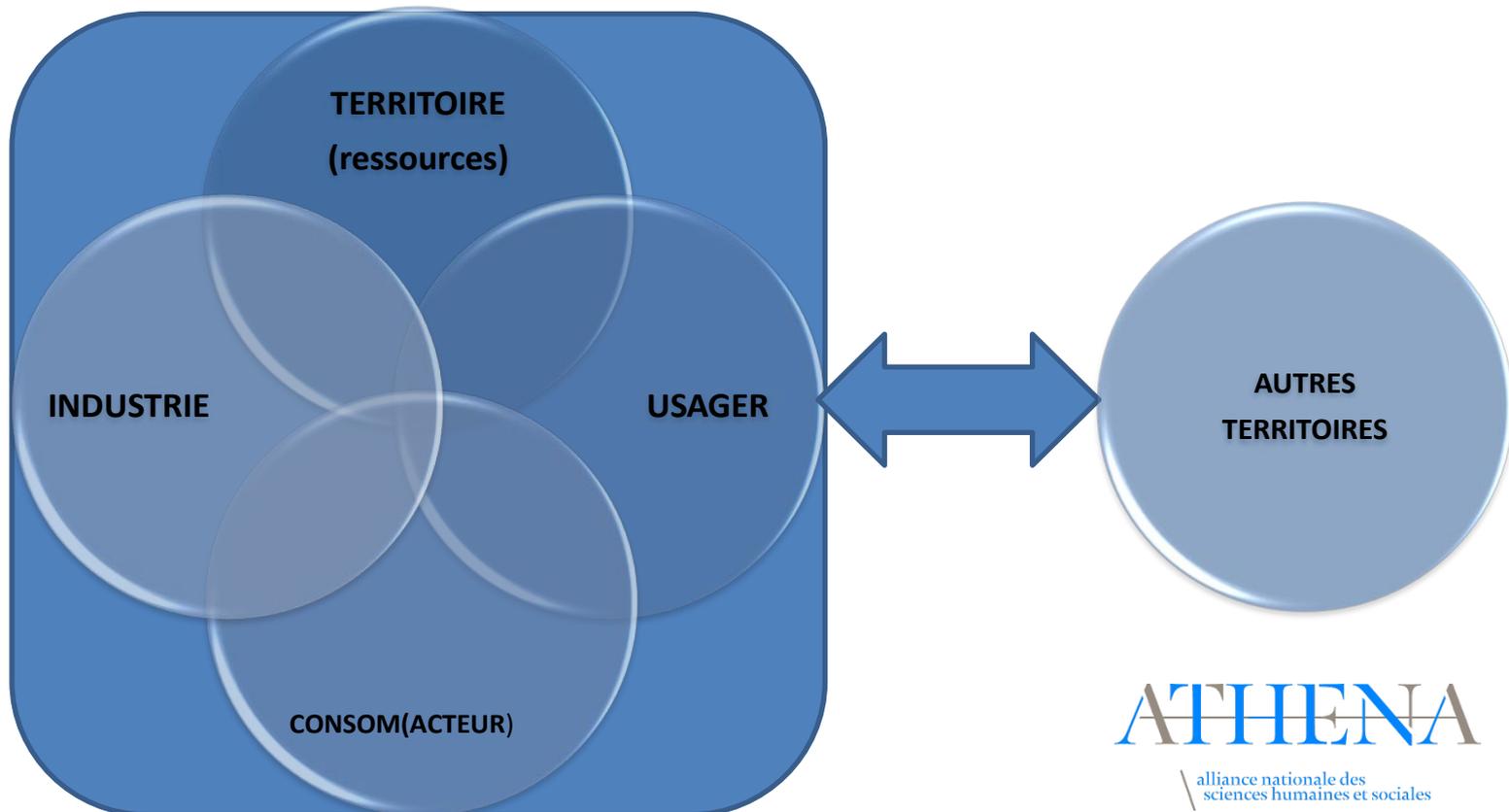
**Synergie avec la filière  
gaz de charbon**

**Synergie avec la filière  
forêt-bois**

**Déclinaison spatiale (territoire) et temporelle (Horizon 2050)**

- ❑ La Lorraine et ses grandes agglomérations est sur les TEN-T corridors européens.
- ❑ Proximité de l'Allemagne, N°1 européen dans le déploiement de l'économie Hydrogène.
- ❑ **Nouvelle France Industrielle** : « Intégrer et structurer une filière énergétique complète du vecteur hydrogène ». Plan de développement privilégiant le déploiement des stations H<sub>2</sub> dans les zones frontalières.





- ❑ Territoire : lieu privilégié d'expression des synergies entre filières de différentes natures.
- ❑ Comment un territoire peut-il capitaliser sur ses ressources énergétiques ?
- ❑ Comment des territoires producteurs d'énergie peuvent-ils s'insérer dans les chaînes globales de la valeur ?
- ❑ Prise en compte de différentes échelles spatiales et temporelles pour la gouvernance des politiques énergétiques (SNR)

**Observation de la dynamique territoriale → Innovation système  
→ Favoriser les confluences entre plusieurs filières technologiques.**