

# Atelier Recherche & Innovation Paris-Saclay 25 juin 2018



## 14h30-14h50 Introduction

- Mot d'accueil de la puissance invitante
- Présentation des objectifs et de l'organisation de l'atelier R&I par Jacques Roudier, avec présentation d'un film dédié sur le débat public sur la PPE
- Intervention introductive de Claude Nahon, Académie des technologies

## 14h50 – 15h50 Première partie : le pilotage des réseaux et des systèmes

*Chaque thématique est structurée en interventions de 3 minutes par un acteur (chercheur ou start-up) suivies de 10 minutes d'échanges avec la salle.*

### *Thématique 1 : Réseaux électriques et intégration des ENR*

François Hubert (KEMWATT), Yvon Besabger (CNRS-G2ELAB), Bernard Multon (ENS Rennes Labo Satie)

### *Thématique 2 : « Smart » grids*

Frédéric Wurtz (CNRS-G2ELAB), Franck Bourry (CEA), Kelly Mamadou (E-SIMS), Gilney Damm (Efficacity/Supelec)

### *Thématique 3 : Simulation - modélisation de la gestion de l'énergie*

Jean-Luc Hubert (Efficacity/EDF R&D), Cristian Muresan (Efficacity/Engie Lab), Jean-Christophe Leonard (Efficacity/EDF R&D), Dominique Marchio (Efficacity/Mines Paris), Benjamin Guinot (SEED Energy), Bérengère Lebental (Efficacity/IFSTTAR)

## 16h20-17h20 Seconde partie : la conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

*Chaque thématique est structurée en interventions de 3 minutes par un acteur (chercheur ou start-up) suivies de 10 minutes d'échanges avec la salle.*

### *Thématique 4 : Production d'hydrogène*

François Le Naour (CEA), Pierre Millet (Université Paris Sud - CNRS)

### *Thématique 5 : Utilisation d'hydrogène*

Christophe Coutanceau (CNRS-Univ Poitiers), Daniel Hissel (Université de Bourgogne Franche Comté - CNRS), Fabio Ferrari (SymbioFCcell)

### *Thématique 6 : « Power-to-X »*

Laurent Bedel (CEA), Guy Maisonnier (IFPEN), Nicolas Bardi (Sylfen)

## 17h20- 17h30

Conclusion par les animateurs



## Introduction :

- **Mot d'accueil de la puissance invitante**
- **Présentation des objectifs et de l'organisation de l'atelier R&I par Jacques Roudier, avec présentation d'un film dédié sur le débat public sur la PPE**
- **Intervention introductive de Claude Nahon, Académie des technologies**



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

Thématique 1 : Réseaux électriques et intégration des ENR

Thématique 2 : « Smart » grids

Thématique 3 : Simulation – modélisation de la gestion de l'énergie

## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

Thématique 4 : Production d'hydrogène

Thématique 5 : Utilisation d'hydrogène

Thématique 6 : « Power-to-X »



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

### Thématique 1 : Réseaux électriques et intégration des ENR :

- François Hubert (KEMWATT)
- Yvon Besanger (CNRS-G2ELAB)
- Bernard Multon (ENS Rennes Labo Satie)



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

Thématique 1 : Réseaux électriques et intégration des ENR :

- François Hubert (KEMWATT)

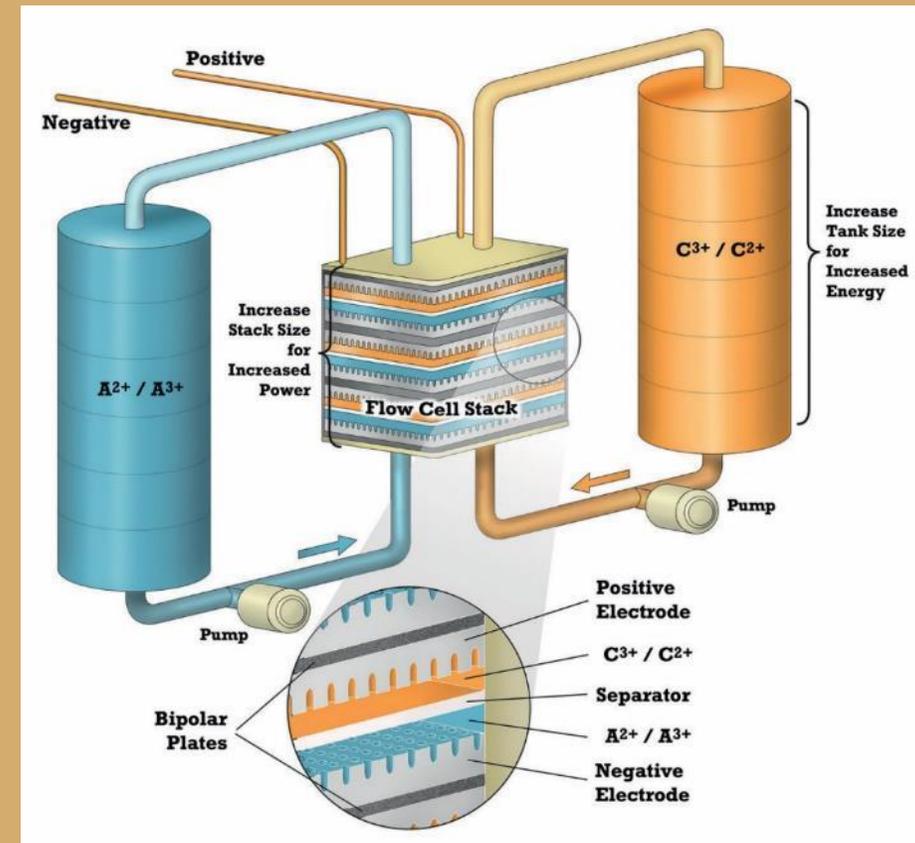


Kemwatt développe une  
batterie redox à électrolytes  
organiques biodégradables





- Un système qui permet de stocker de grandes quantités d'énergie pour une puissance donnée
- Une chimie spécifique pour une longue durée de vie





- Au stade du démonstrateur industriel
- Fondée à Rennes en 2014, 10 personnes, leader technologique





- Les énergies renouvelables deviennent compétitives
- D'énormes quantités d'énergie intermittente vont être produites
- Le lithium répond aux contraintes pour l'instant
- Ce n'est pas l'alpha et l'oméga, il faut anticiper et expérimenter d'autres solutions pour répondre aux besoins futurs



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

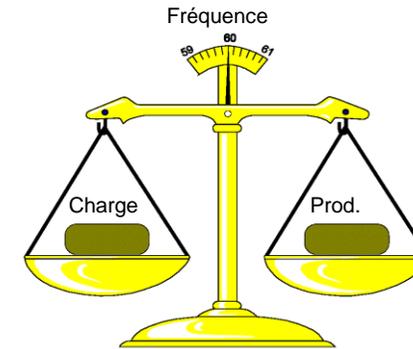
Thématique 1 : Réseaux électriques et intégration des ENR :

- Yvon Besanger (CNRS-G2ELAB)

## Problématiques identifiées

### ■ Equilibre production/consommation

- À chaque instant
- EnR non dispatchables
- Quid du stockage ?

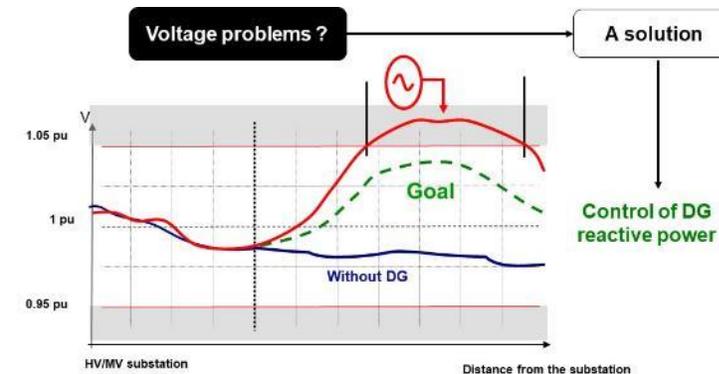


### ■ Baisse de l'inertie globale du réseau

- EnR connectée via des convertisseurs d'électronique de puissance
- Diminution de la stabilité

### ■ Réseau de distribution non conçu pour accueillir l'EnR

(plan de protection, congestions, VE, surtensions transformateurs et vieillissement,...)



## Des recherches actuelles et à venir...

### ■ Les réseaux de distribution deviennent « actifs »

- Vision d'ensemble => renforcer la coordination transport/distribution, notamment au niveau du pilotage.
- Transport => Utiliser les flexibilités apportées par les fermes éoliennes/PV (services système) et les réseaux de distribution (délestage en douceur/pilotage de la charge, pilotage du stockage et des VE, effacement de production classique et EnR, soutien de tension/fréquence...)

### ■ Réseaux AC/DC

- Avancées des composants/convertisseurs d'électronique de puissance
- Stabilisation du réseau
- Supergrid

### ■ Réseaux électriques et NTIC

- Interactions/interdépendances réseaux numériques NTIC et réseaux de puissance => compréhension des phénomènes et modélisation
- Les outils : co-simulation, simulation temps-réel hybride PHIL, micro-réseaux (au sens banc d'essai), interopérabilité



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

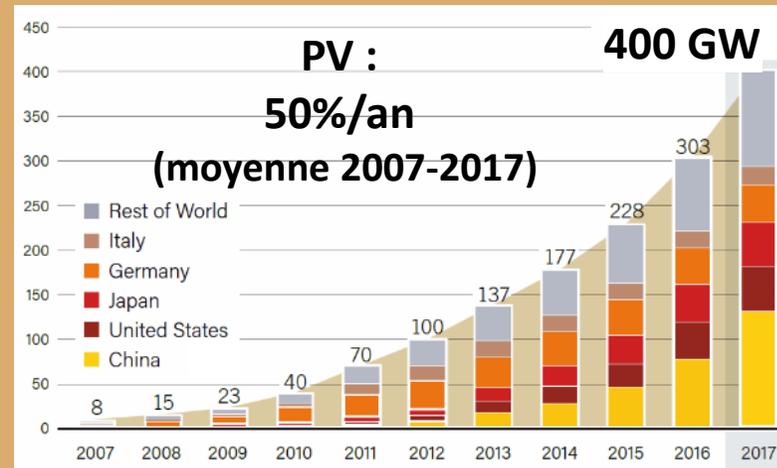
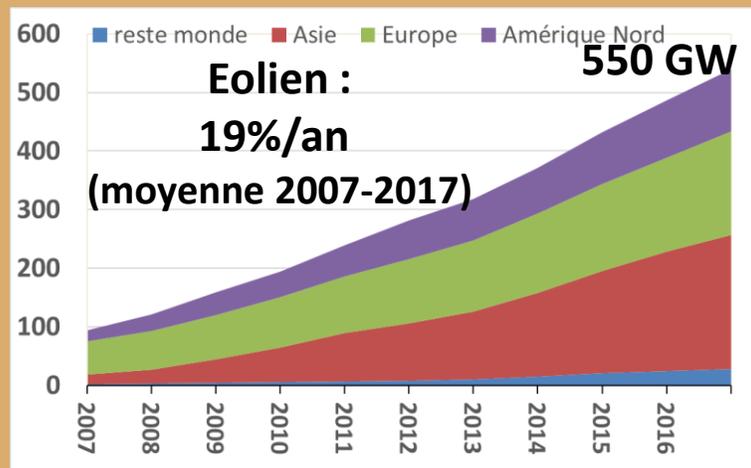
**Thématique 1 : Réseaux électriques et intégration des ENR :**

- **Bernard Multon (ENS Rennes Labo Satie)**



**Les ressources les plus abondantes sont de très loin le solaire et l'éolien**

**Les technologies disponibles les rendent désormais compétitives d'où leur développement rapide dans le monde :**



**2017 : Monde<sup>(1)</sup>**

**Eolien : 5,6 %**

**PV : 1,9 %**

**France<sup>(2)</sup> DK Californie**

**Eolien : 4,5 % 44 %**

**PV : 1,7 % 15 %**

Sources :

<sup>(1)</sup> Renewables 2018 Global Status Report

<sup>(2)</sup> Bilan électrique 2017 RTE



**Dans les travaux de recherche sur l'intégration des EnR variables :**

- Nécessité de considérations du cycle de vie prise en compte du vieillissement, de l'énergie grise, de la disponibilité des matières premières...**
- Importance majeure de la qualité des prévisions météorologiques pour minimiser les coûts**



**Pourquoi pas un Kombikraftwerk\* français ?**

**Avec une réalisation de centrale virtuelle 100% renouvelable,  
permettant d'expérimenter la participation  
aux réglages de fréquence et de tension**

**Puis une simulation à haute résolution spatiale et temporelle  
d'un système électrique français 100% renouvelable**

**Besoin, d'un accès libre aux données du système électrique**

\* Projet Fraunhofer IWES : Kombikrafwerk 1 (échelle 1/10 000ème) : 2007 et 2 : 2012 (simulation)



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

### Thématique 2 : « Smart » Grids

- Frédéric Wurtz (CNRS-G2ELAB)
- Franck Bourry (CEA)
- Kelly Mamadou (E-SIMS)
- Gilney Damm (Efficacity/Supelec)



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

### Thématique 2 : « Smart » Grids

- Frédéric Wurtz (CNRS-G2ELAB)

# Le « smart-grid »



- **C'est quoi ?**: le passage d'un réseau « v1 » centralisée vers un réseau « V2 » hybride dit « intelligent »
- **Pourquoi ?**: en particulier, la valorisation des Energies Renouvelables intermittentes (solaire, vent, chaleur fatale, ...) locales&globales
- **Comment**:
  - Nécessité d'une « intelligence » pour coordonner consommation, production&stockage
  - En utilisant
    - des solutions scientifiques/technologiques de composants (PV, éolienne, cogénérateur) et réseaux d'énergie (électricité, chaleur gaz)
    - des technologies de l'information (compteurs « intelligents », internet, cyber-sécurité ...)
  - En s'appuyant sur différents niveaux:
    - réseau de transport/réseau de distribution
    - coordonnant différents noeuds: pays/continent , « smart-city », eco-quartier, « smart-building »
  - L'importance du « smart-building »
    - 68% soit 303 TWh (2013) de la consommation dans le réseau pour le résidentiel-tertiaire
  - D'où l'importance croissante du consom'acteur
    - Principal consommateur, source de flexibilité, ...
    - **Producteur d'énergie** dans les bâtiments à titre individuel ou collectif
  - Et la proposition du concept d' « internet de l'énergie » comme le « smart-grid » idéal ?
    - Dimensions sociales, économiques et territoriales
    - Une « intelligence » globale porté des acteurs individuels et collectifs (coopérative, entreprises, territoire, état) le tout catalysé par les technologies de l'énergie et de la communication



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

### Thématique 2 : « Smart » Grids

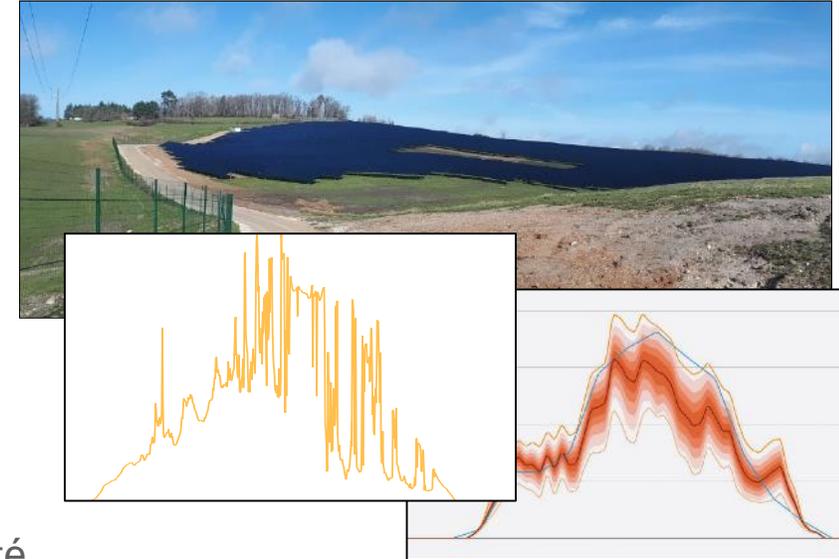
- Franck Bourry (CEA)

- **Contexte :**

- Une pénétration massive de nouvelles technologies au sein des systèmes électriques :
  - Unités de production renouvelable, décentralisées, variables
  - Déploiement du véhicule électrique
  - Systèmes de stockage
  - Digitalisation
- Une opération du système électrique bouleversée:
  - Impacts sur l'opération actuelle du système électrique: infrastructures électriques, parc de production existant, équilibre offre-demande, stabilité
  - De nouvelles opportunités pour la fourniture de services de flexibilité

- **Enjeux et verrous, axes de Recherche et Développement :**

- Des nouveaux besoins de modélisation, optimisation et contrôle de ces systèmes ;
  - Modélisation pour le dimensionnement, l'évaluation de l'impact des systèmes ENR sur le système électrique, pour le développement du contrôle de ces équipements;
  - Optimisation pour le contrôle, qui tient compte des incertitudes;
  - Intégration de contrôles avancés au sein de systèmes d'information;
  - Validation expérimentale et analyse de données





## Première partie: Le pilotage des réseaux et des systèmes

### Thématique 2 : « Smart » Grids

- Kelly Mamadou (E-SIMS)



# Le stockage distribué pour les ZNI

- Un levier d'insertion du solaire décentralisé
- Une planification spatio-temporelle à intégrer par ZNI dans la PPE



Kelli MAMADOU, CEO

[www.e-sims.fr](http://www.e-sims.fr)

(MQ) +596 696 61 61 60  
(FR) +33 6 63 67 61 05  
[kelli.mamadou@e-sims.fr](mailto:kelli.mamadou@e-sims.fr)

# Le vecteur hydrogène pour les Antilles-Guyane

- Un cas atypique : la raffinerie de la Martinique
- Réutiliser ses déchets par la production d'hydrogène
- Injecter entre 4 et 5 MW à la demande grâce à une hybridation pile à combustible / Batterie.



Kelli MAMADOU, CEO

[www.e-sims.fr](http://www.e-sims.fr)

(MQ) +596 696 61 61 60  
(FR) +33 6 63 67 61 05  
[kelli.mamadou@e-sims.fr](mailto:kelli.mamadou@e-sims.fr)



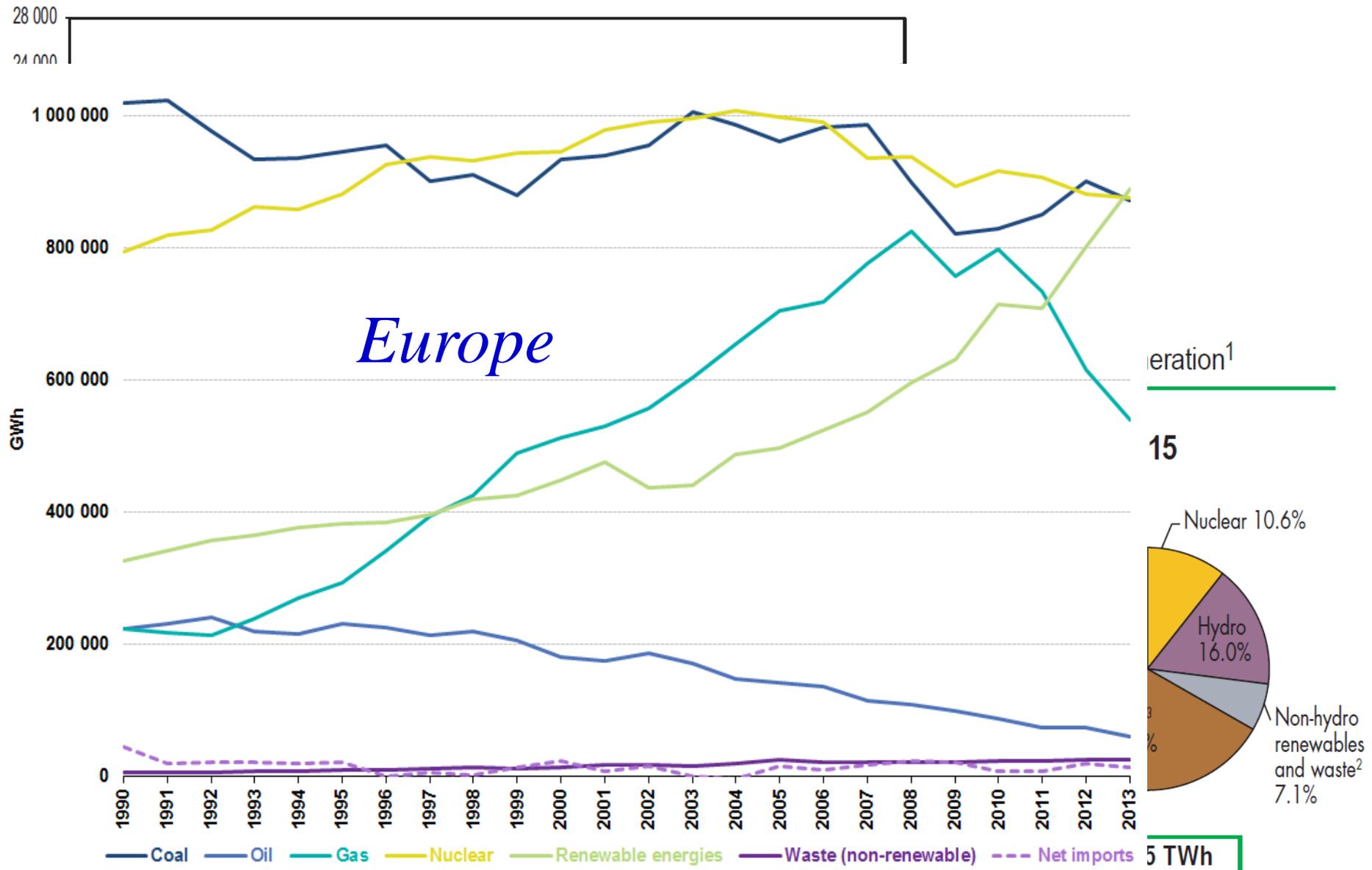
## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

### Thématique 2 : « Smart » Grids

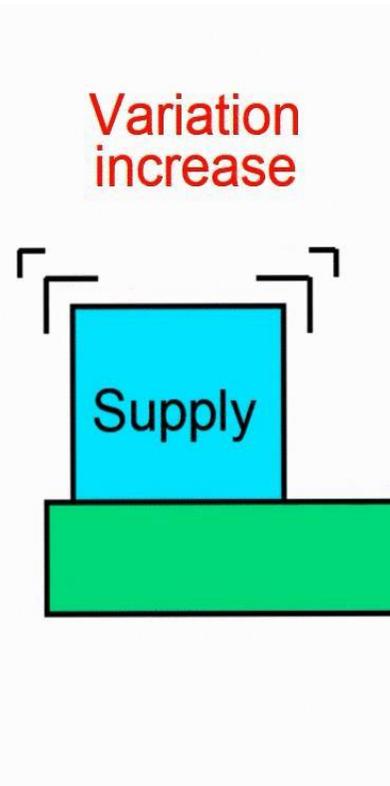
- Gilney Damm (Efficacity/Supelec)

# World electricity generation<sup>1</sup> from 1971 to 2015 by fuel (TWh)

*Monde*



Caractéristique fondamentale d

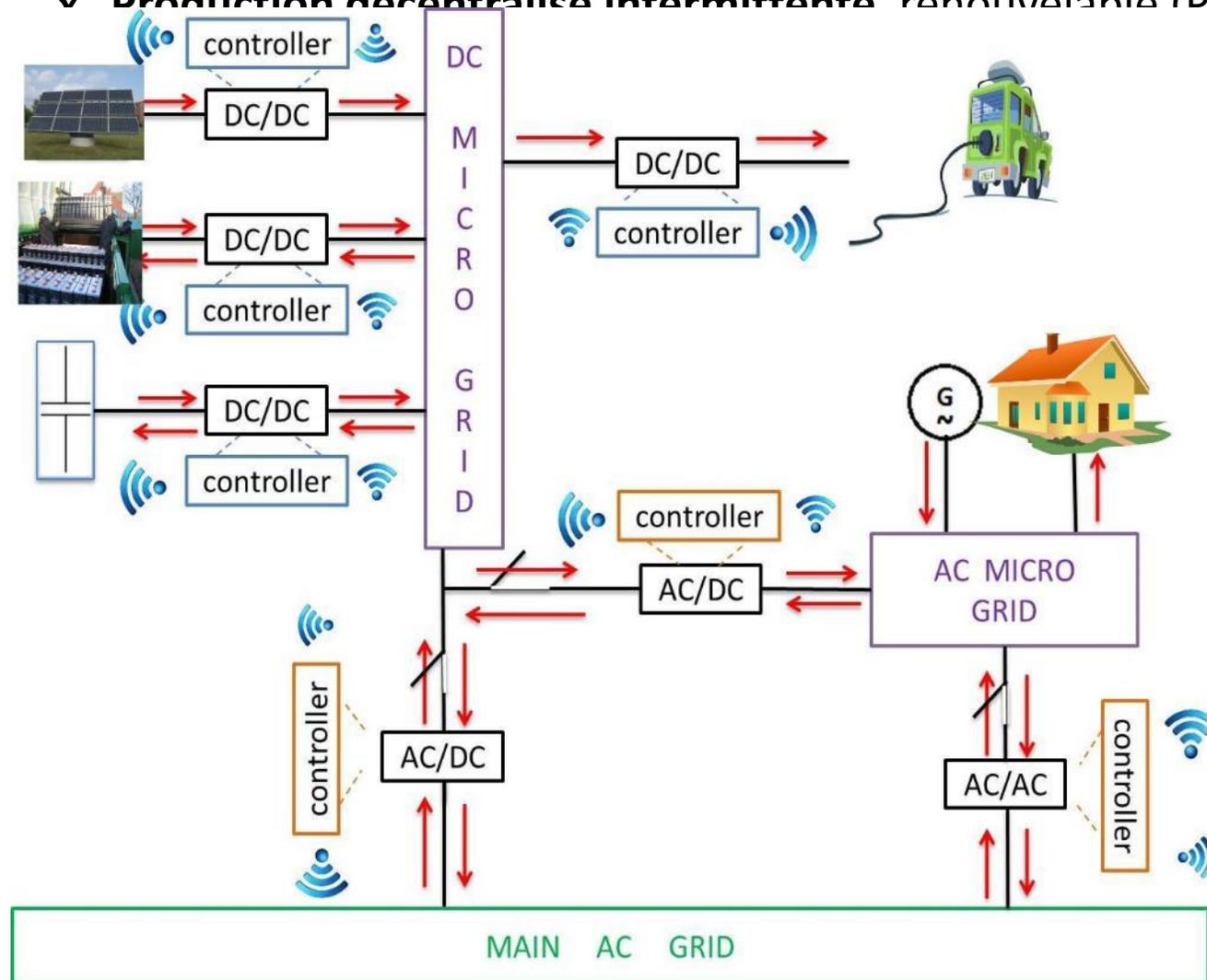


Courtesy: E-Energy  
Project MeRegio

# SmartGrids sont une des solutions pour ces nouveaux défis

SmartGrids composés par de:

- ✓ Production décentralisée intermittente renouvelable (PV, éolien) (chauffage, moteurs...)
- Énergie distribuée (véhicules électriques, chauffage, moteurs...)
- Intégration de nouvelles SmartGrids





## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

### Thématique 3 : Simulation – modélisation de la gestion de l'énergie

- Jean-Luc Hubert (Efficacity/EDF R&D)
- Cristian Muresan (Efficacity/Engie Lab)
- Jean-Christophe Léonard (Efficacity/EDF R&D)
- Dominique Marchio (Efficacity/Mine Paris)
- Bérengère Lebental (Efficacity/IFSTTAR)



## Première partie: Le pilotage des réseaux et des systèmes

Thématique 3 : Simulation – modélisation de la gestion de l'énergie

- Jean-Luc Hubert (Efficacity/EDF R&D)

# MODÉLISATION ET SIMULATION ÉNERGÉTIQUE DYNAMIQUE À L'ÉCHELLE D'UN QUARTIER

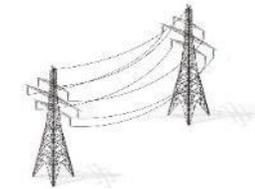
## STD bâtiment

Simulation Thermique Dynamique



## SED quartier

Simulation Énergétique Dynamique



- Utilisation bien ancrée
- Indispensable pour :
  - ✓ bâtiments performants neufs ou rénovés
  - ✓ bâtiments complexes
  - ✓ systèmes innovants
  - ✓ BBC et confort d'été
  - ✓ ...

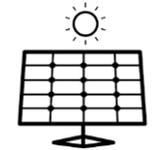
Du bâtiment au quartier :  
transition naturelle ?

- 1 → N bâtiments =  $\square$  perf. PC
- Données = BIM, OpenData...



Quartier =  $\Sigma$  Bâtiments

- + **Interaction thermique** entre bâtiments (mitoyenneté, ombrages, rayon. GLO)
- + **Réseaux et interactions entre réseaux** (chaud, froid, élec, gaz, eaux usées...)
- + **Foisonnements** des usages, des bâtiments avec des fonctions différentes → **puissance** et pas seulement énergie
- + **Sources de production réparties** (PV, chaleur fatale, récupération énergétiques sur process industriels...)
- + **Smartgrid**



# MODÉLISATION ET SIMULATION ÉNERGÉTIQUE DYNAMIQUE À L'ÉCHELLE D'UN QUARTIER

## Dimension acteurs

- Des jeux de données différents
- Des analyses différentes

➔ Offrir des vues différentes :

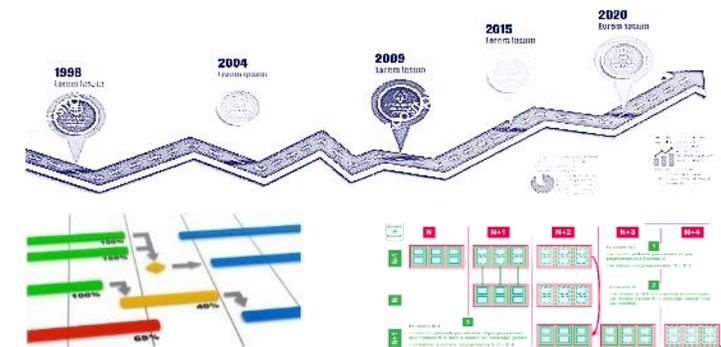
- Aménageur, Concepteur, Habitants, Exploitants
- Vision économique, vision environnemental

} ➔ Interfaces ≠  
+  
données ≠



## Dimension temporelle

- Une ville, un quartier, un réseau de chaleur...  
... ne se construisent pas en une seule phase
- ➔ vision scénarisée, par phases, vision prospective...



## Massification des données

- Automatisation du paramétrage ➔ indispensable
- Données disponibles en masse ➔ à vérifier, corriger, contrôler
- Données très/trop détaillées (BIM) ➔ à simplifier
- Données manquantes (occupants, systèmes) ➔ règles d'inférences expertes



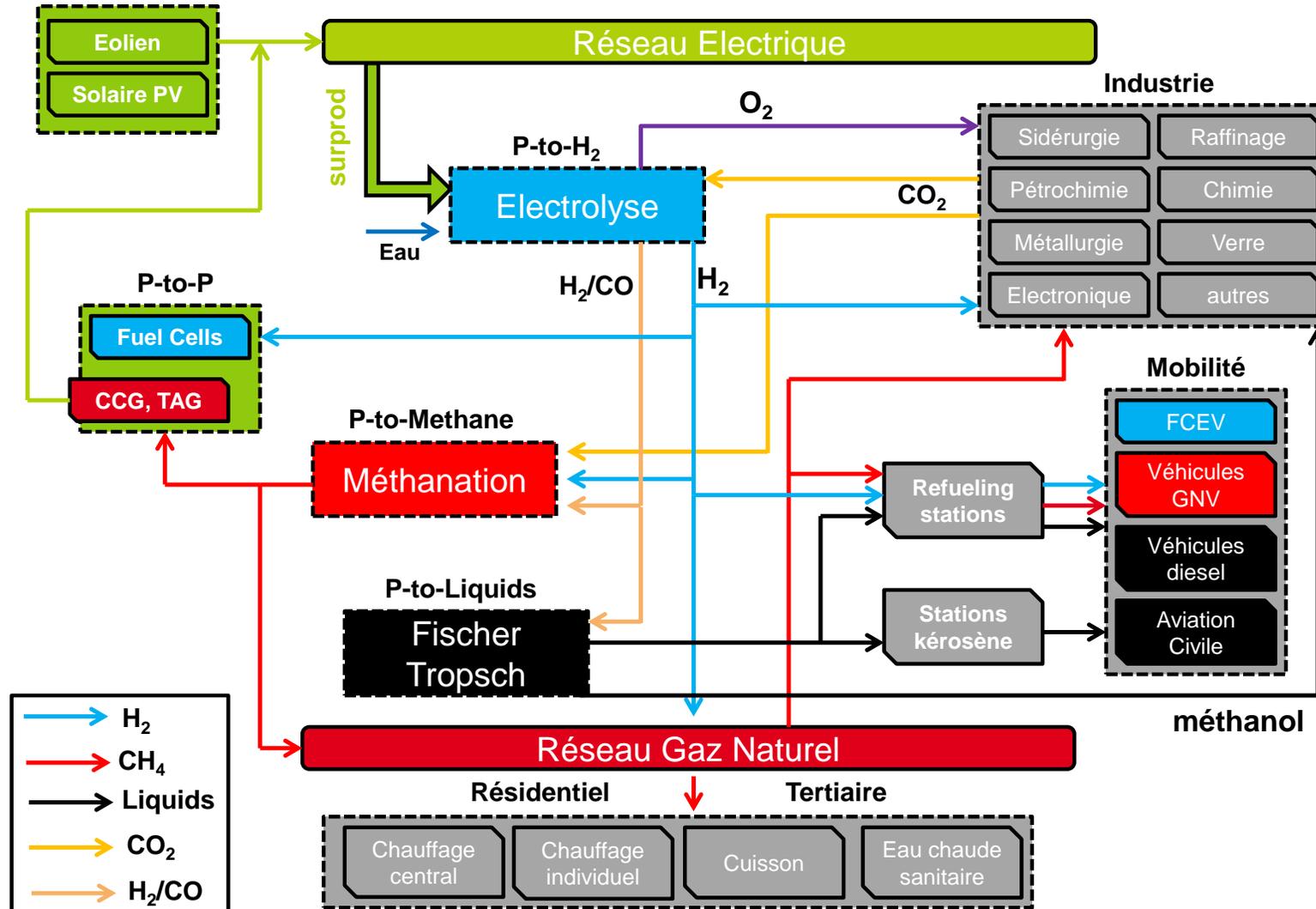


## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

Thématique 3 : Simulation – modélisation de la gestion de l'énergie

- Cristian Muresan (Efficacity/Engie Lab)

# Convergence des réseaux électrique, gaz, chaleur...



---

## Nouvelle génération d'outils de modélisation ...

---

- ❑ reposant sur l'équilibrage de l'offre et de la demande (merit order des points de production/conversion ET évolution de la demande)
- ❑ permettant des décisions en cout global et marginal
- ❑ basée sur une modélisation techno-explicite, dynamique, infra horaire
- ❑ intégrant des approches stochastiques (aléas climatiques, comportement utilisateurs, garantie de performance / résultats ...)
- ❑ utilisant une base de données couts communément acceptée et mise à jour périodiquement



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

Thématique 3 : Simulation – modélisation de la gestion de l'énergie

- Jean-Christophe Léonard (Efficacity/EDF R&D)

# Détecter et estimer les potentiels locaux d'énergie fatale

Contexte : enrichir le mix énergétique urbain en récupérant les énergies fatales



UIOM

Blanchisseries

Entrepôts frigo

Eaux usées

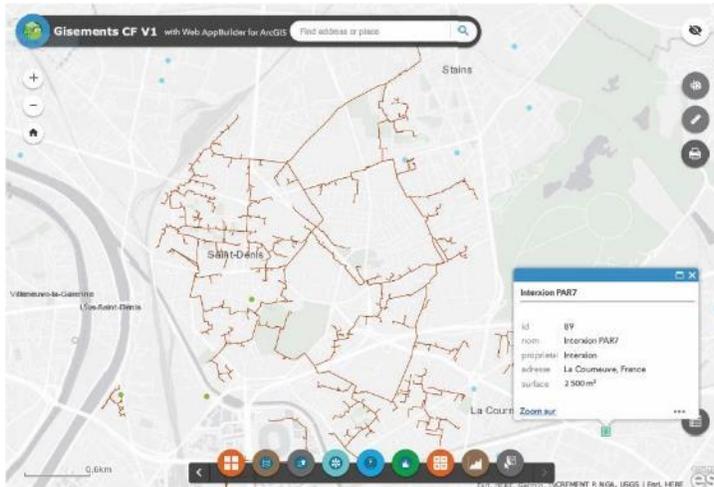
Datacenters

STEP

Etc.

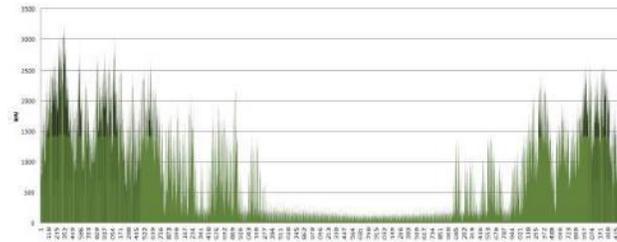
Besoins opérationnels en termes d'outils de planification énergétique

Localiser les sources



Estimer les gisements

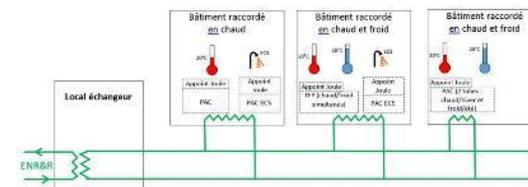
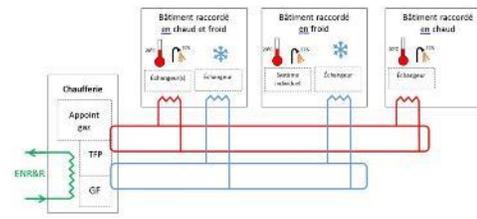
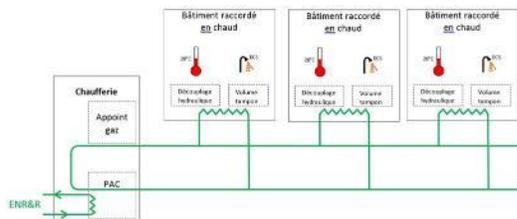
RECOV'HEAT



Energie valorisable	COP PAC	Puissance PAC	Investissement	LCOE	CO2 évité	Taux EnR&R
6110 MWh	3,73	1313 kW	2 275 797 €	52,3 €/MWh	21 352 tonnes	61 %



Perspectives : architectures de réseaux de chaleur compatibles avec l'énergie fatale





## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

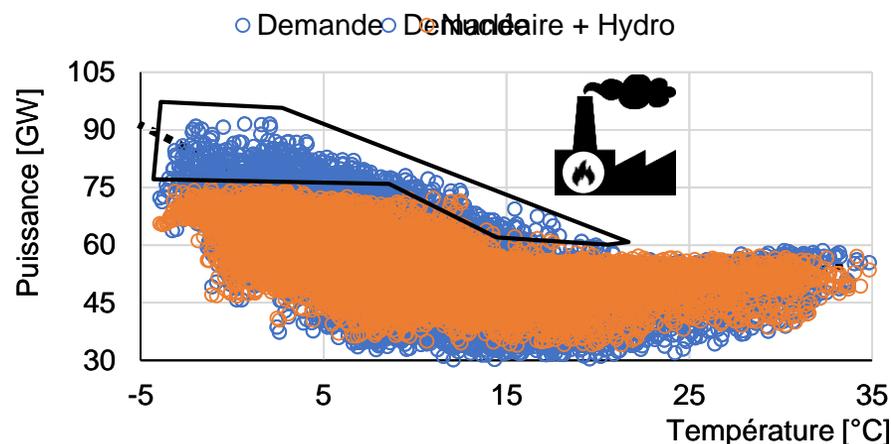
Thématique 3 : Simulation – modélisation de la gestion de l'énergie

- Dominique Marchio (Efficacity/Mine Paris)

## ○ Bénéfices pour le système électrique

### Problématique

- Demande électrique thermo-sensible
  - Réseau électrique tendu
  - Hausse des émissions de GES



- Augmentation de la pénétration des ENR



- Intermittence de la production
- Gestion réseau
- Taux de charge centrales en base
- Sollicitations ponctuelles centrales de pointe

### Potentiel de la micro-cogénération

- Production thermo-sensible
  - Production en hiver corrélée à la demande
  - Amélioration marge sécurité (capacité)
  - Bénéficie des infrastructures de stockage gaz naturel
  - Décarbonation des pointes
- Production pilotable et décentralisée
  - Périodes de production complémentaires du solaire PV
  - Sollicitable comme une centrale de pointe

# Micro-cogénération ( $P_{el} < 36$ kVA) Panorama des technologies

Technologies	Moteur Stirling	Micro-Turbine	Moteur combustion interne	Pile à combustible
				
<b>Puissances (<math>kW_{el}</math>)</b>	1	3 – 50	5 – 50	< 5
<b>Rendement électrique (PCS)</b>	10 – 15 %	10 – 25 %	20 – 40 %	25 – 60 %
<b>Rendement global (PCS)</b>	80 – 95 %	60 – 80 %	80 – 95 %	65 – 90 %
<b>Ratio E/C machine</b>	0,15 – 0,3	0,15 – 0,4	0,25 – 0,7	0,5 - 2
<b>Maturité</b>	Pré-commercialisation	Pré-commercialisation	Commercialisé	Pré-commercialisation
<b>CAPEX (<math>k€/kW_{el}</math>)</b>	10	6 – 3	5 – 2	10
<b>Maintenance</b>	faible	régulière	élevée	Peu de REX

## ○ Problématique

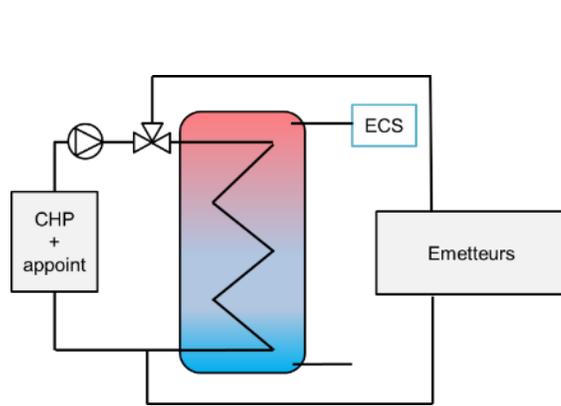
- Quel micro-cogénérateur sélectionner ?
  - **Dimensionnement** de la puissance installée
  - **Choix technologique**
- Comment l'intégrer ?
  - **Stockages** thermiques & électriques
  - **Intégration hydraulique** : schéma d'installation, régulation
- Quelle rentabilité ?



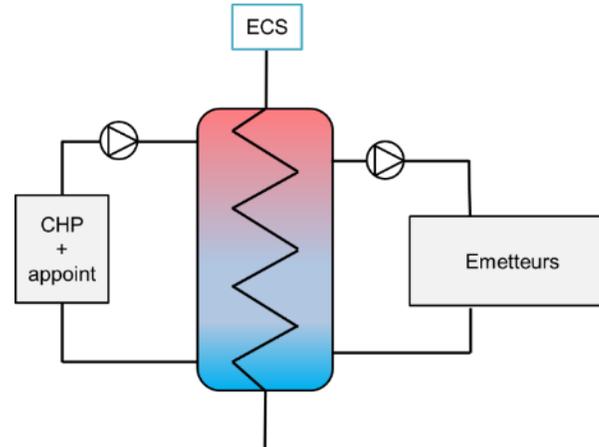
# La simulation permet de distinguer des variantes

## ○ Présentation des configurations hydrauliques

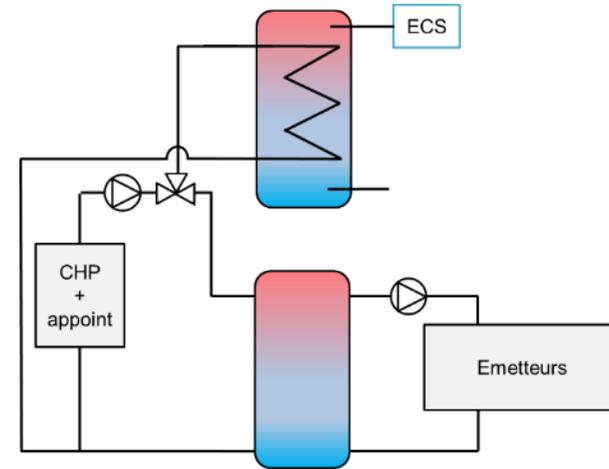
- 3 configurations types proposées chez les constructeurs
- Quelle est la meilleure ?
- Variantes possibles (sondes, ports)



C1 : ballon ECS seul

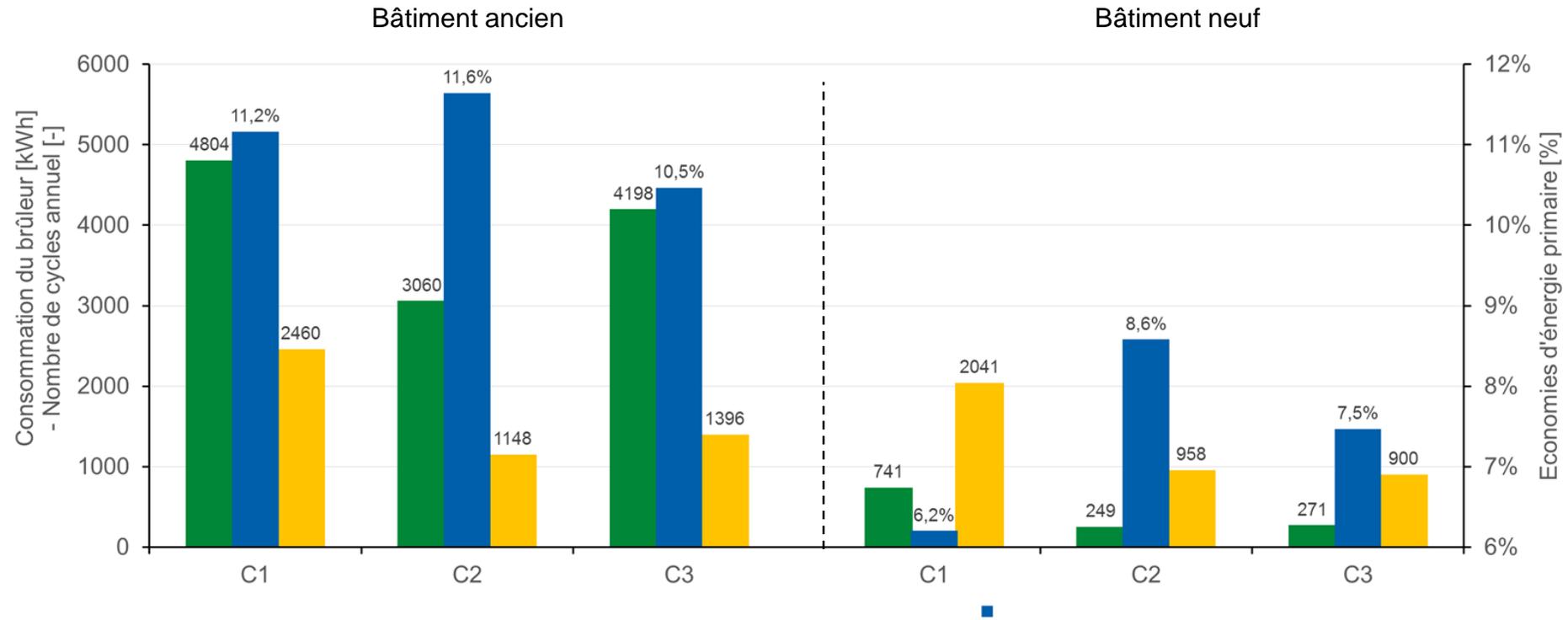


C2 : ballon combiné



C3 : 2 ballons

## ○ Différents indicateurs



- Contributions :
  - Quantification impact de la configuration hydraulique
  - Quantification impact des besoins

- La simulation permet
- Mise en évidence de l'impact de l'intégration sur les performances
  - Stockage
  - Hydraulique
  - Régulation
- Evaluation de l'autoconsommation avec des scénarios de besoins
- Etude de l'intégration des  $\mu$ CHP à l'échelle du quartier
  - Dimensionnement
  - Pilotage
  - Foisonnement de besoins



## Première partie : Le pilotage des réseaux et des systèmes

Thématique 3 : Simulation – modélisation de la gestion de l'énergie

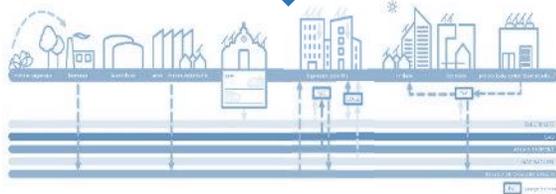
- Bérengère Lebental (Efficacity/IFSTTAR)

# Instrumentation et transition énergétique de la ville ?

Tendance globale: COLLECTE AUTOMATISEE DE DONNEES URBAINES  
Intérêt: connaissance fine des PHENOMENES ET USAGES URBAINS



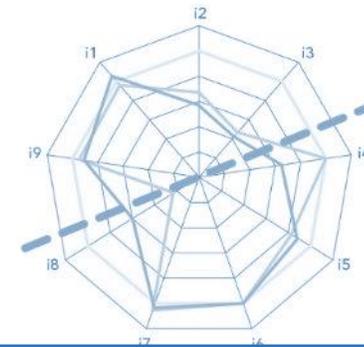
DENSIFICATION ET SYSTEMATISATION  
de l'instrumentation urbaine



DESIGN ET PERFORMANCES OPTIMISEES  
à l'échelle du quartier



OPTIMISATION DE L'OPÉRATION  
des systèmes énergétiques locaux



OUTILS SYSTEMATIQUES DE COLLECTE  
de données pour l'évaluation urbaine

Le capteur dans la Smart City: un outil d'AIDE A LA DECISION  
Un enjeu majeur: construire des DEPLOIEMENTS EQUILIBRES



## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 4 : Production d'hydrogène

- François Le Naour (CEA)
- Pierre Millet (Université Paris Sud – CNRS)



## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 4 : Production d'hydrogène

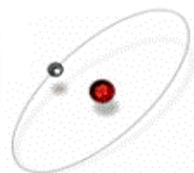
- François Le Naour (CEA)

# Le paradoxe de l'hydrogène

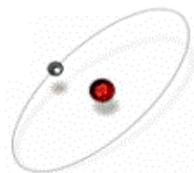
*L'hydrogène est l'élément le plus abondant de la planète ...  
... mais il n'existe pratiquement pas dans la nature  
... on l'obtient par dissociation de molécules !*



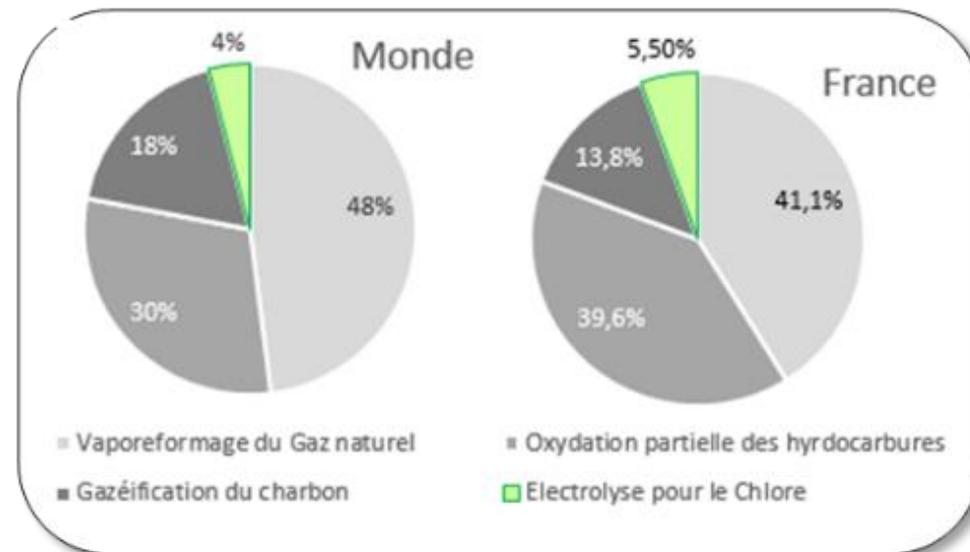
les hydrocarbures



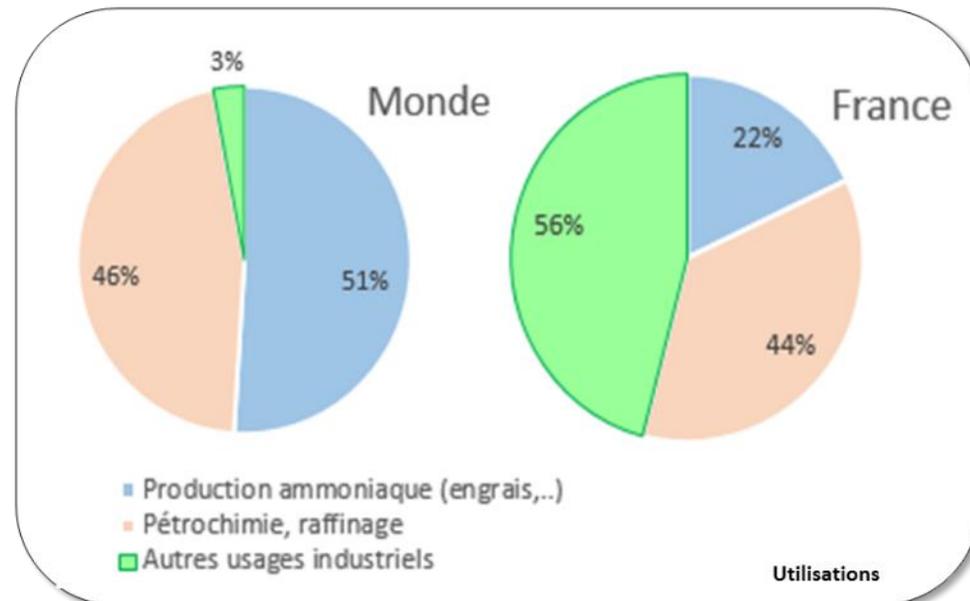
la biomasse



l'eau



Production



Utilisations

# Les technologies d'électrolyse

Des systèmes d'électrolyse alcaline et PEM déjà commerciales

Hydrogène pour l'industrie

Aujourd'hui

Alcaline		Durée de fonctionnement annuelle électrolyseur				
		8200 h	5000h	3000h		
Massification de production d'électrolyseurs (MW/an/usine)		Prix de l'électricité (€/Mwh <sub>e</sub> )				
		80	60	40	40	30
1	1000	5,60	3,87	3,32	5,39	4,88
20	750	5,15	3,77	3,21	4,36	3,85
200	500	4,46	2,49	1,97	3,10	2,62
1000	350	3,95	1,93	1,44	2,19	1,75

Electrolyseur Thyssen-Krupp ( $P > 50$  MW) –  $2 < P_{H_2} < 4,5$  (€/kg)

2030

EHT		Durée de fonctionnement annuelle électrolyseur				
		8200 h	5000h	3000h		
Massification de production d'électrolyseurs (MW/an/usine)		Prix de l'électricité (€/Mwh <sub>e</sub> )				
		80	60	40	40	30
1	4000	10,03	12,87	12,48	15,47	15,08
20	1500	4,59	4,15	3,78	4,82	4,45
200	1000	3,91	3,02	2,66	3,23	2,87
1000	400	3,06	1,49	1,14	1,32	0,97

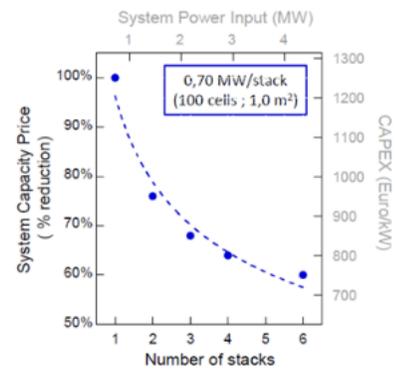
Electrolyseur EHT –  $1 < P_{H_2} < 1,5$  (€/kg)

ITM Electrolyzer



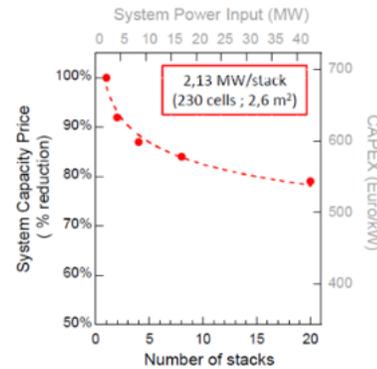
- From 60 kW to 1030 kW
- From 25 to 460 kilos per day.
- Pressure from 20 to 80 bars

PEM



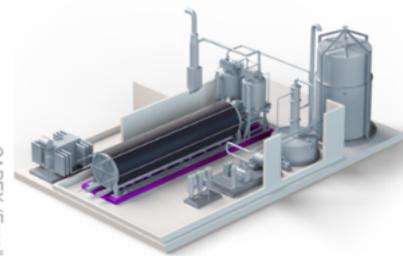
Down to 700 €/kW

alcaline



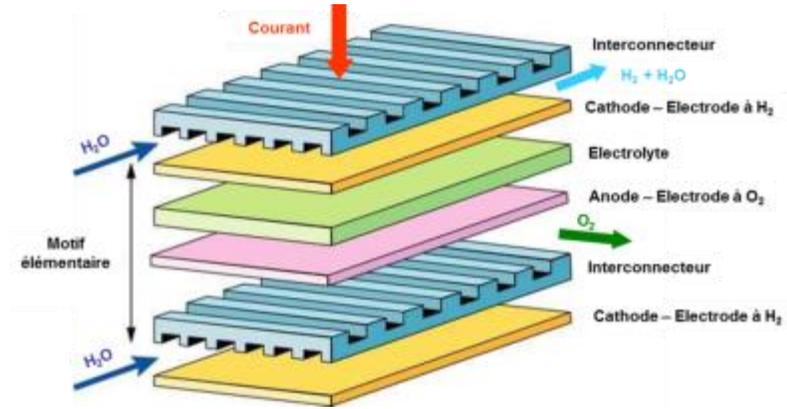
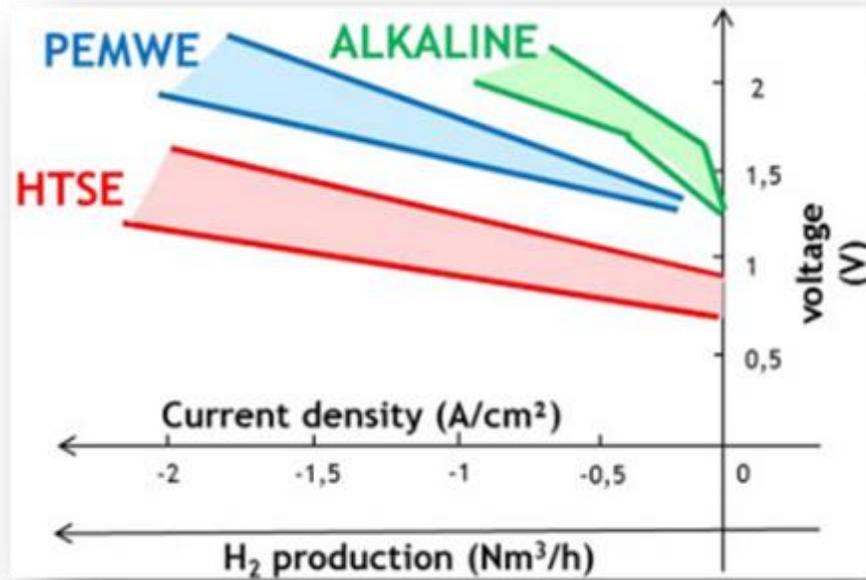
Down to 500 €/kW

NEL Electrolyzer



- Cell stack power consumption of down to 3.8 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>,
- up to 2.2 MW per stack
- 1000 kilos per day.

# L'électrolyse avancée à haute température



- Une technologie à rendement amélioré > 90%
- Une technologie réversible
- Une technologie sûre





## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 4 : Production d'hydrogène

- Pierre Millet (Université Paris Sud – CNRS)



# Electrolyse de l'eau et "Power-to-H<sub>2</sub>"

Prof. P. Millet

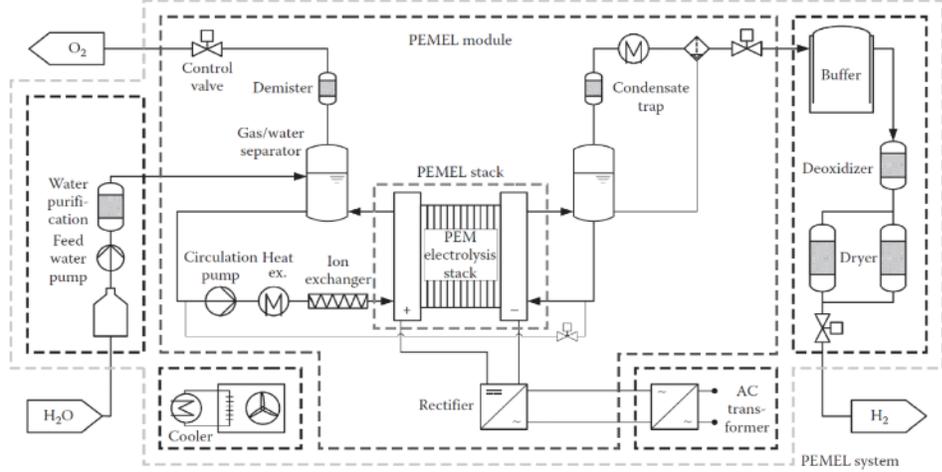
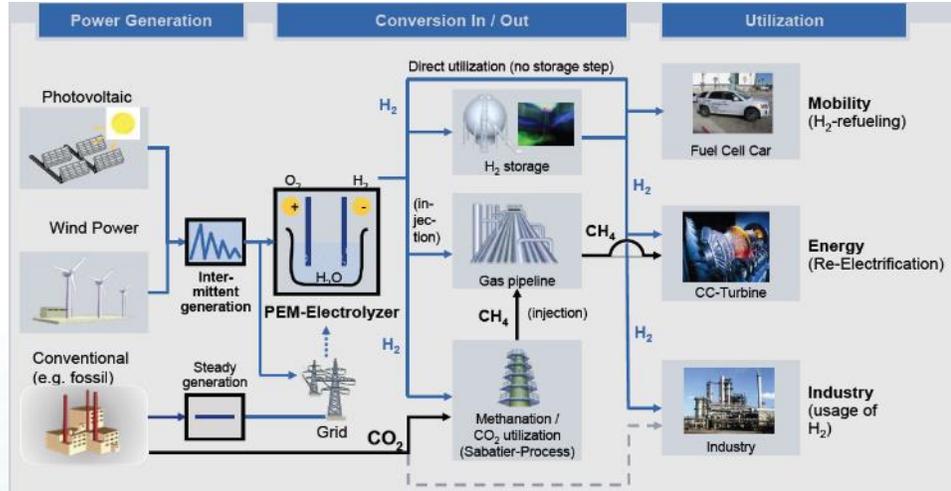
*Team of Research and Innovation in Electrochemistry for Energy Applications*

Paris-Sud University, ICMMO (UMR 8182), France



# L'usine d'électrolyse de l'eau dans la transition énergétique

(Siemens, 2011)



Réseau électrique



business model



*service au réseau  
kWh bas coût ?*

station H<sub>2</sub>



Usine PEM

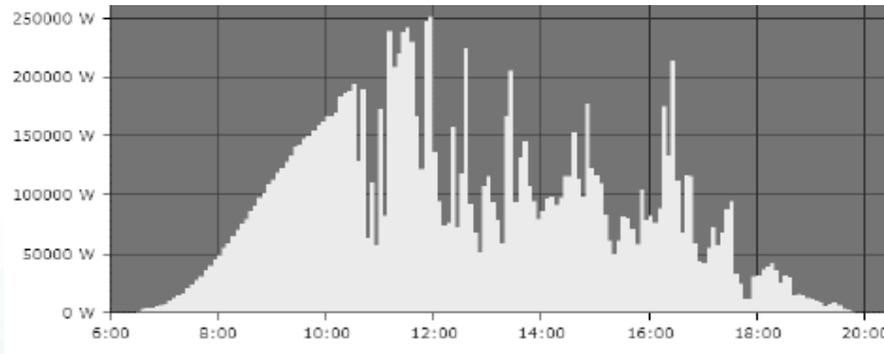


PEM conteneurisé

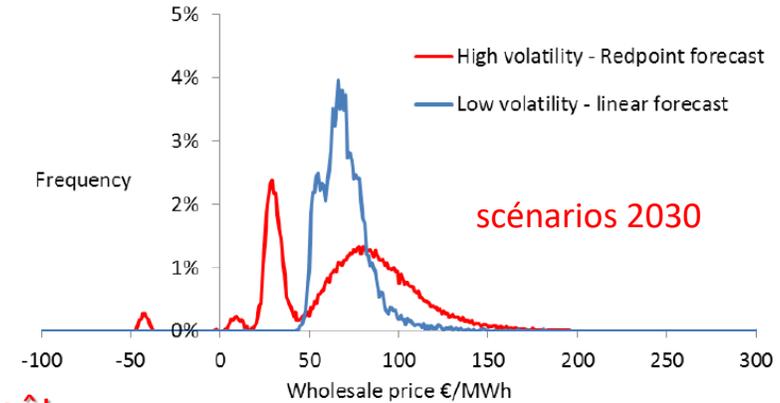


# Fluctuations de puissance: Risque ou opportunité ?

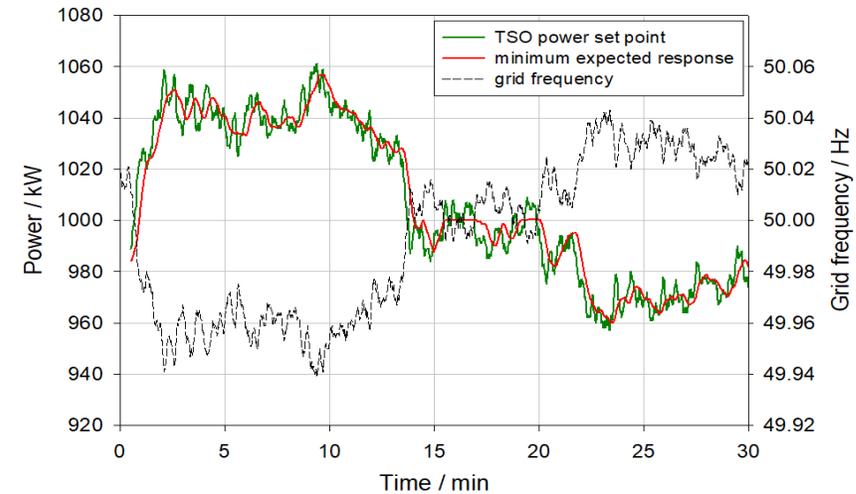
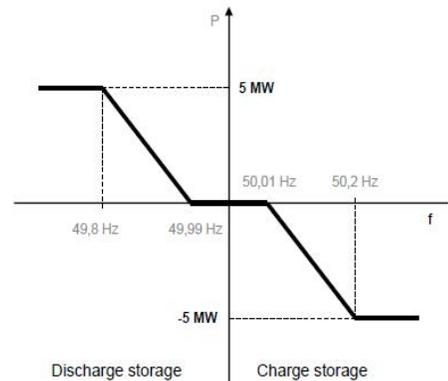
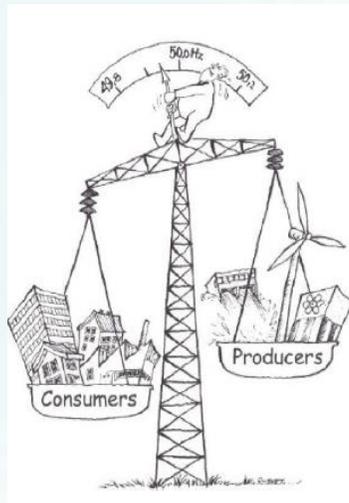
intermittence



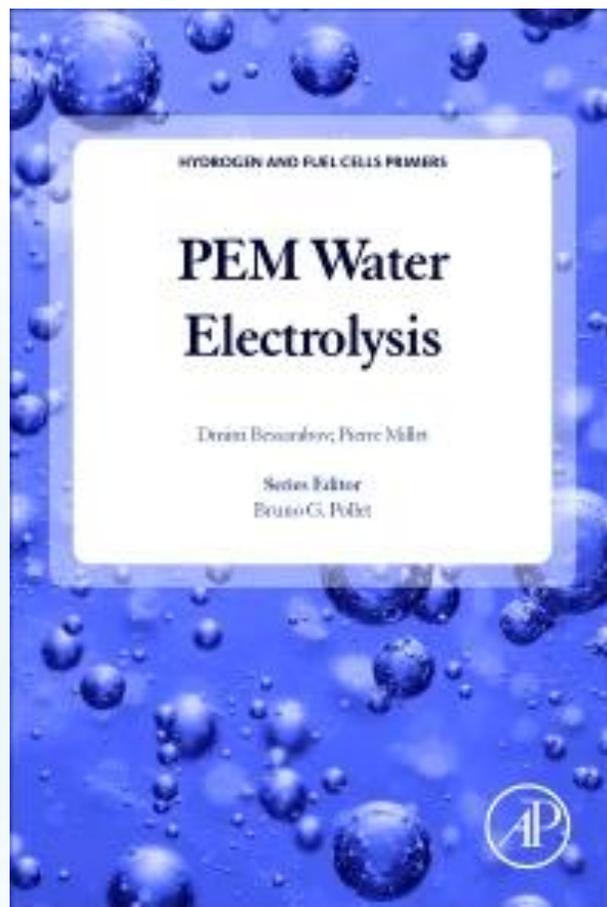
volatilité du prix de l'électricité



Opportunité d'obtenir des kWh bas coût  
Besoin d'électrolyseurs flexibles



# Thank you for your attention !



D. Bessarabov, P. Millet, PEM water electrolysis,  
B. Pollet Ed., Elsevier (2018)

9-12 Juillet 2018

<http://www.progepi.fr/summer-school-hydrogen-Nancy2018/>

INTERNATIONAL  
SUMMER SCHOOL

HYDROGEN NANCY 2018



## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 5 : Utilisation d'hydrogène

- Christophe Coutanceau (CNRS – Univ Poitiers)
- Daniel Hissel (Université de Bourgogne Franche Comté – CNRS)
- Fabio Ferrari (SymbioFCcell)



## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 5 : Utilisation d'hydrogène

- Christophe Coutanceau (CNRS – Univ Poitiers)

## 1- Les avantages des piles H<sub>2</sub>/air



Du watt au gigawatt

## 3- Axes de recherches

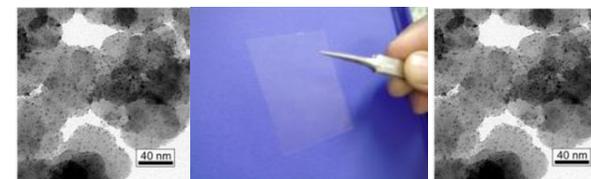
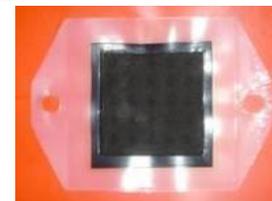
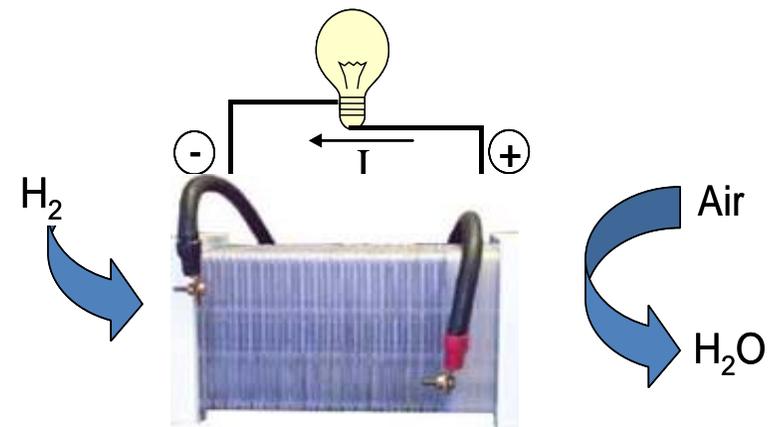
### Pile à combustible première génération:

- Optimisation des performances
- Diminution de la quantité de métaux nobles  
=> vers les systèmes de fortes puissances

### Piles de seconde et troisième générations

- Electrodes sans métaux nobles
- Electrolyte et matériaux issue de la chimie « verte »  
=> vers les produits grand public

## 2- La composition des piles H<sub>2</sub>/air 1<sup>ère</sup> génération



Pt/C

Electrolyte  
perfluoré

Pt/C

- Performance des matériaux (durabilité)
- Disponibilité des matériaux
- Coût des matériaux
- Chimie non durable (unsustainable)

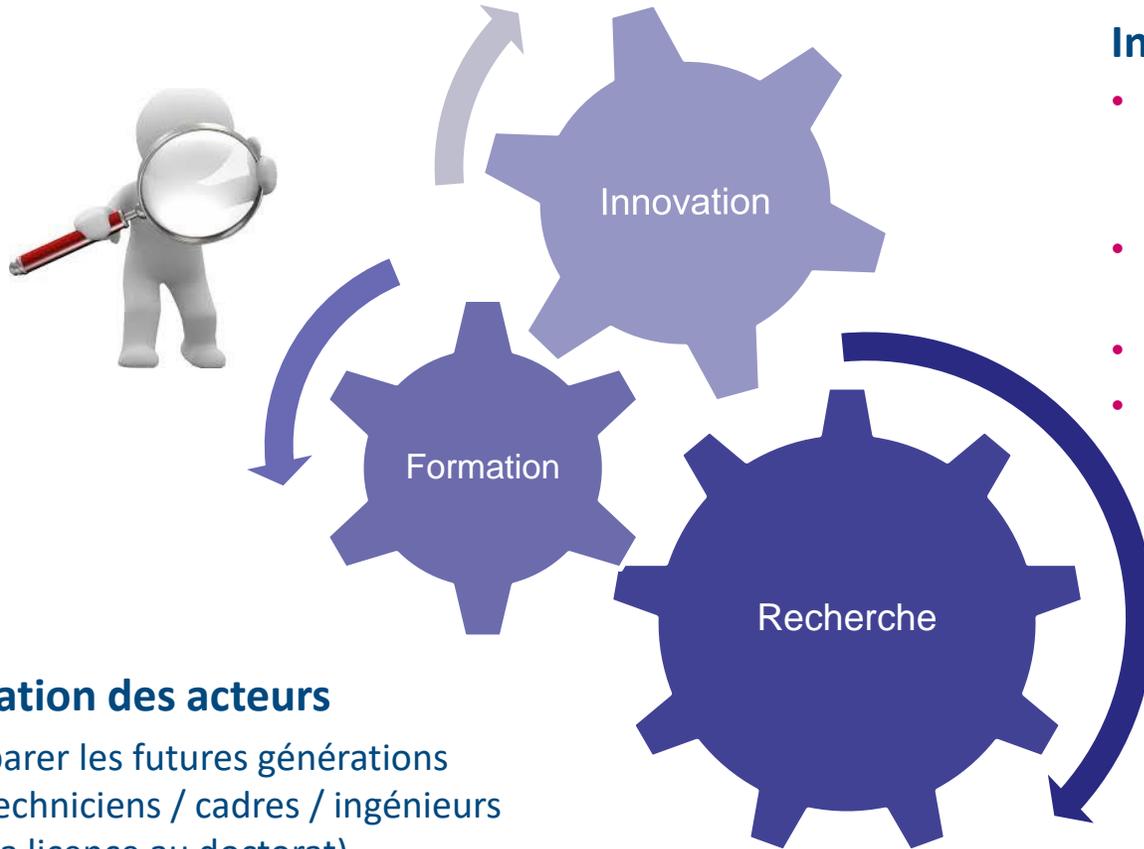


## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 5 : Utilisation d'hydrogène

- Daniel Hissel (Université de Bourgogne Franche Comté – CNRS)

# ENJEUX METHODOLOGIQUES



## Formation des acteurs

- Préparer les futures générations de techniciens / cadres / ingénieurs (de la licence au doctorat)
- Formations en ligne dédiés
- Formation tout au long la vie
- Acculturer les citoyens et les futures générations à l'hydrogène-énergie (dès le primaire)

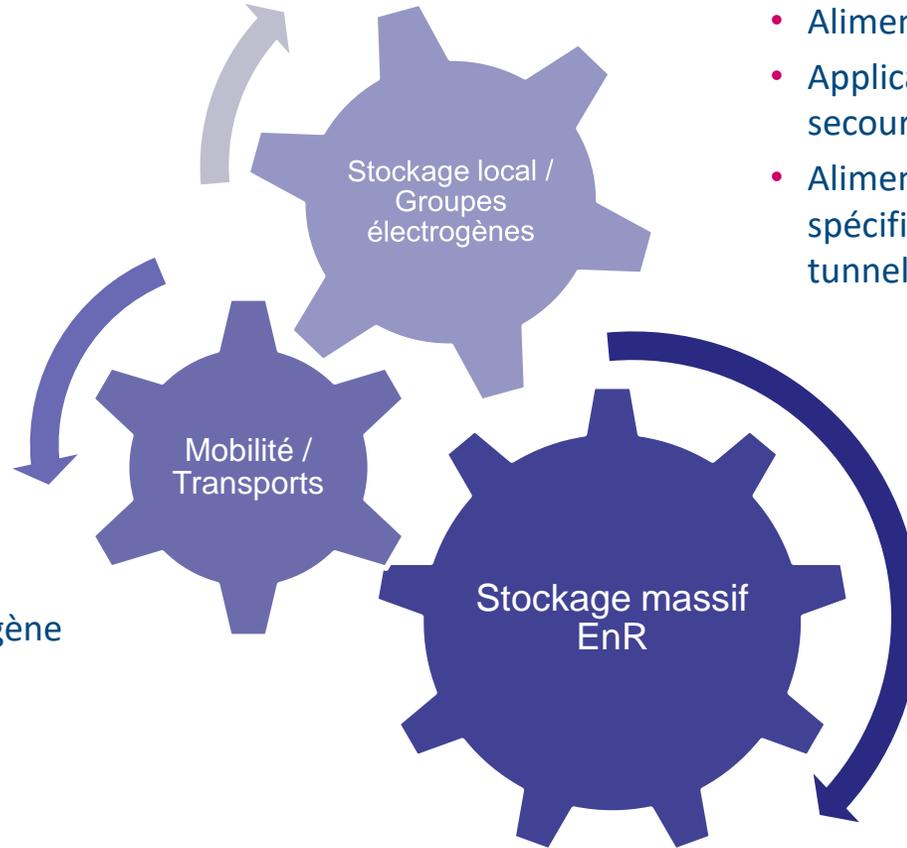
## Innovation

- Expertise pile à combustible et filière hydrogène (conception, tests, contrôle, diagnostic, production, transport, ...)
- Projets multi-partenariaux, orientés industrie
- Spin-offs, start-ups
- Business models

## Recherche

- De TRL1 à TRL8 (de l'idée à la tête de série)
- Orientation systémique
- Forte interdisciplinarité (SPI / SHS)
- Augmentation de la durabilité / fiabilité
- Augmentation des performances énergétiques
- Matériaux et procédés innovants
- Economie, acceptabilité

# ENJEUX APPLICATIFS



## Mobilité / Transports

- Mobilité électrique hydrogène
- Véhicules légers
- Véhicules routiers
- Véhicules spécialisés
- Transport ferroviaire
- Aéronautique
- Transport fluvial / maritime



Mobypost @ FCLAB

## Stockage local / Groupes électrogènes

- Alimentations de sites isolés
- Alimentations de secours
- Applications spécifiques (spectacle, secours, travaux, ...)
- Alimentations électriques à contraintes spécifiques (zones urbaines, indoor, tunnels, ...)



@ H2SYS

## Stockage massif EnR

- Stockage saisonnier de l'électricité
- Lissage de la production électrique intermittente
- Production décarbonée d'hydrogène



Myrte@ Univ. Corsica



## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 5 : Utilisation d'hydrogène

- Fabio Ferrari (SymbioFCCell)



## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 6 : Power-to-X

- Laurent Bedel (CEA)
- Guy Maisonnier (IFPEN)
- Nicolas Bardi (Sylfen)



## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 6 : Power-to-X

- Laurent Bedel (CEA)

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



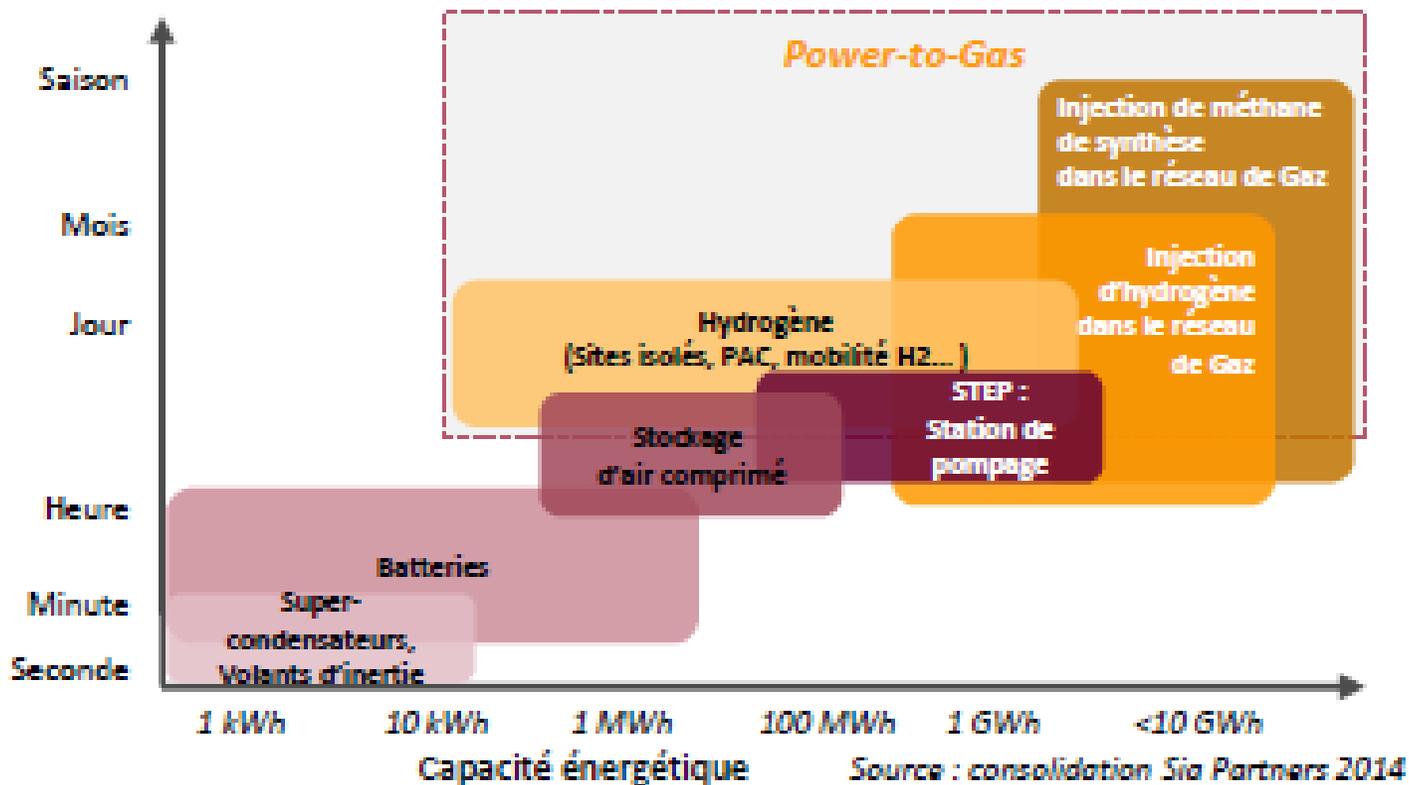
[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

# P2G

F. Ducros  
L. Bedel

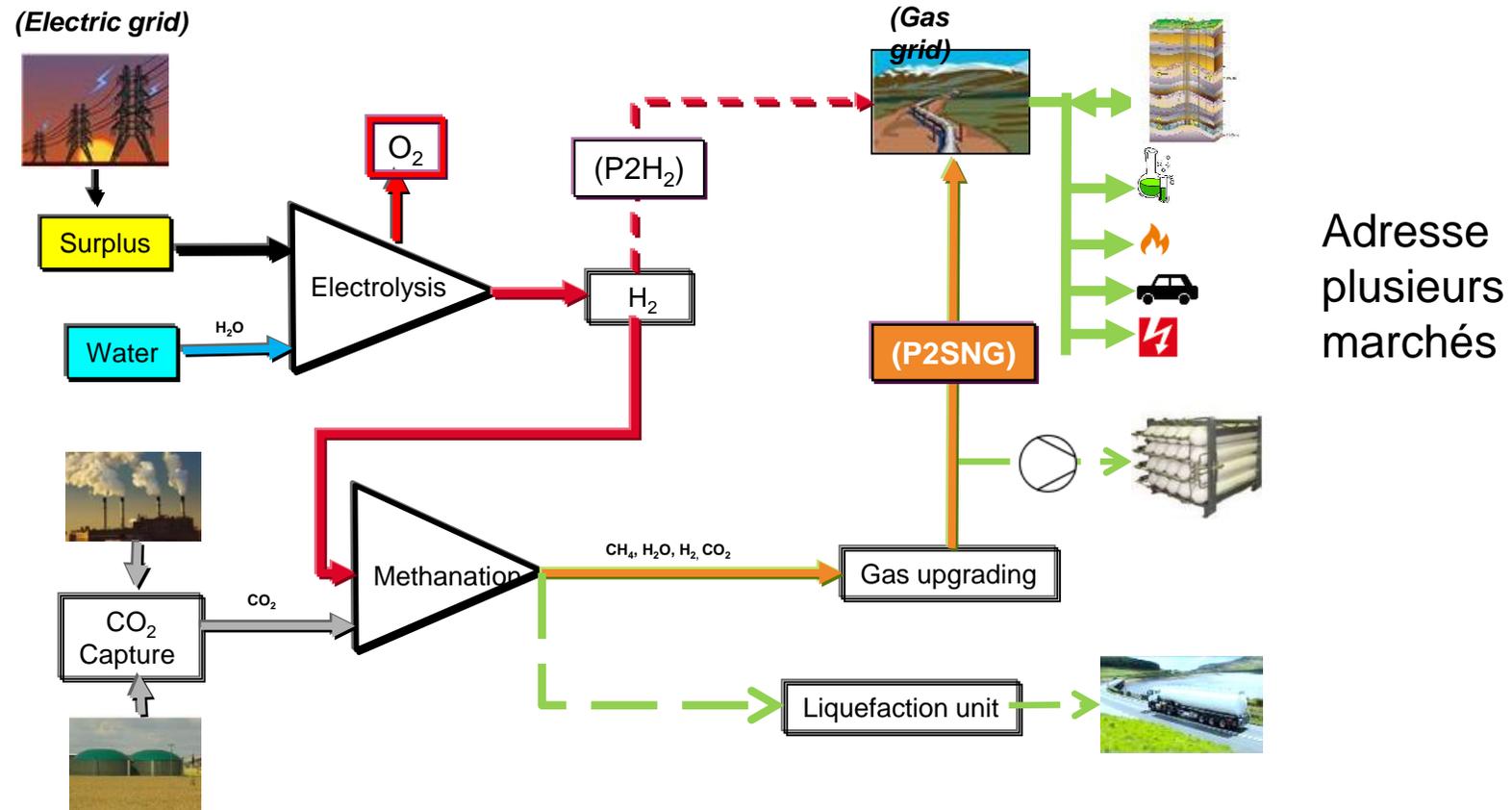
The logo for LITEN (Laboratoire Interdisciplinaire de Technologie des Energies Nouvelles) consists of the word 'liten' in a bold, blue, lowercase sans-serif font.

## Le stockage de l'électricité pour différer la production aux périodes de forte demande



Le P2G est complémentaire aux autres technologies de stockage  
Capacité de stockage P2G : Environ 130 TWh par an en France (infrastructure existante)

## Chaine de conversion d'énergie électrique en un vecteur gazeux (H2 et CH4)



Injection  $H_2$  : techniquement faisable mais plusieurs limitations (teneur, FPH, fluctuation du PCI et composition)

Injection  $CH_4$  : composante principale du GN mais ajoute une étape supplémentaire (méthanation) et besoin d'une source de  $CO_2$  (ou  $CO$ )

## • TECHNOLOGIQUES

### Composants:

- Électrolyseur
- Captage/gestion CO2
- Méthaneur
- Unité de mise aux spécifications



flexibilité, compacité, durée de vie, échelle (puissance), « rendement énergétique », CAPEX/OPEX



Audi renewable fuel plant, Germany  
(6,3MWe), 2013



CO2 SNG European Project, Pologne,  
250 kWe, 2018

### Systeme:

- Intégration



flexibilité, pilotage, connections au réseau

## • FILIERES

Définir les conditions de marché pour l'émergence de cette filière

- |                     |  |
|---------------------|--|
| - Réglementation :  | Pas de statut du méthane de synthèse   |
| - Tarif de rachat : | Pas de tarif                           |
| - Tech-éco :        | Service rendu non rémunéré aujourd'hui |

### En France 3 projets majeurs :

- GRHYD (ENGIE)
- JUPITER 1000 (GRTgaz)
- Méthycentre (STORENGY)



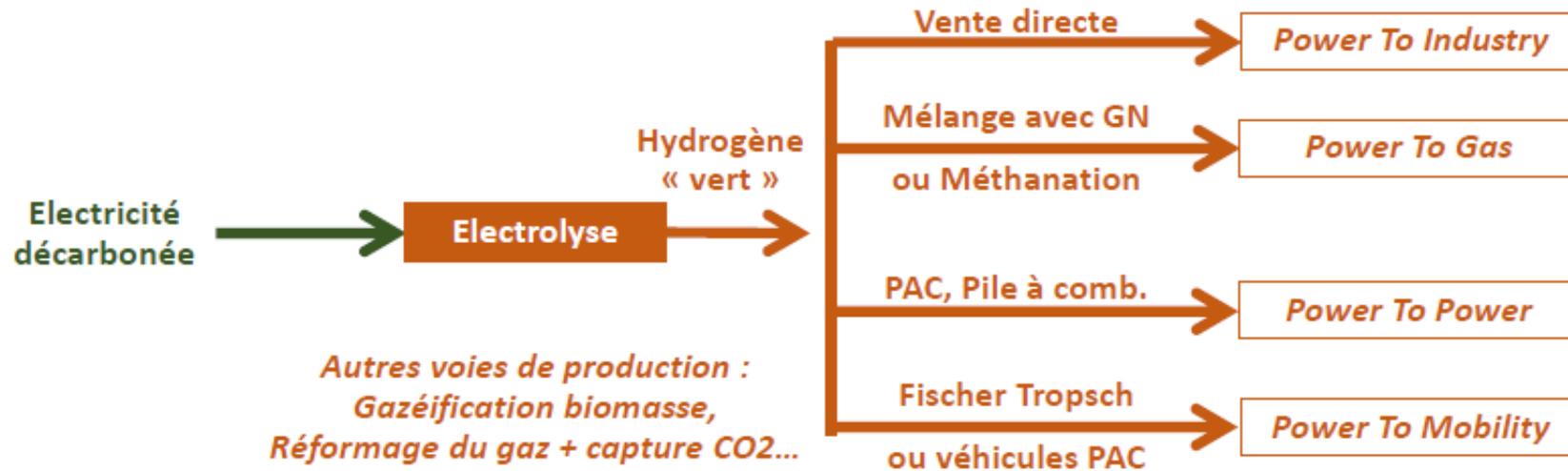
## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 6 : Power-to-X

- **Guy Maisonnier (IFPEN)**

# « POWER TO... », FILIÈRES, RAISONS ET ENJEUX

HYDROGÈNE



## Pourquoi ?

Flexibilité système énergétique & « décarbonation » (industrie, gaz naturel, mobilité...)

## Conditions ?

H2 « vert » produit via une source décarbonée (lien avec disponibilités EnR)

## Enjeux du déploiement ?

Réduction des coûts (rendement +, Investissements -), réseau à déployer & Prix du CO2 pour renchérir les solutions fossiles alternatives

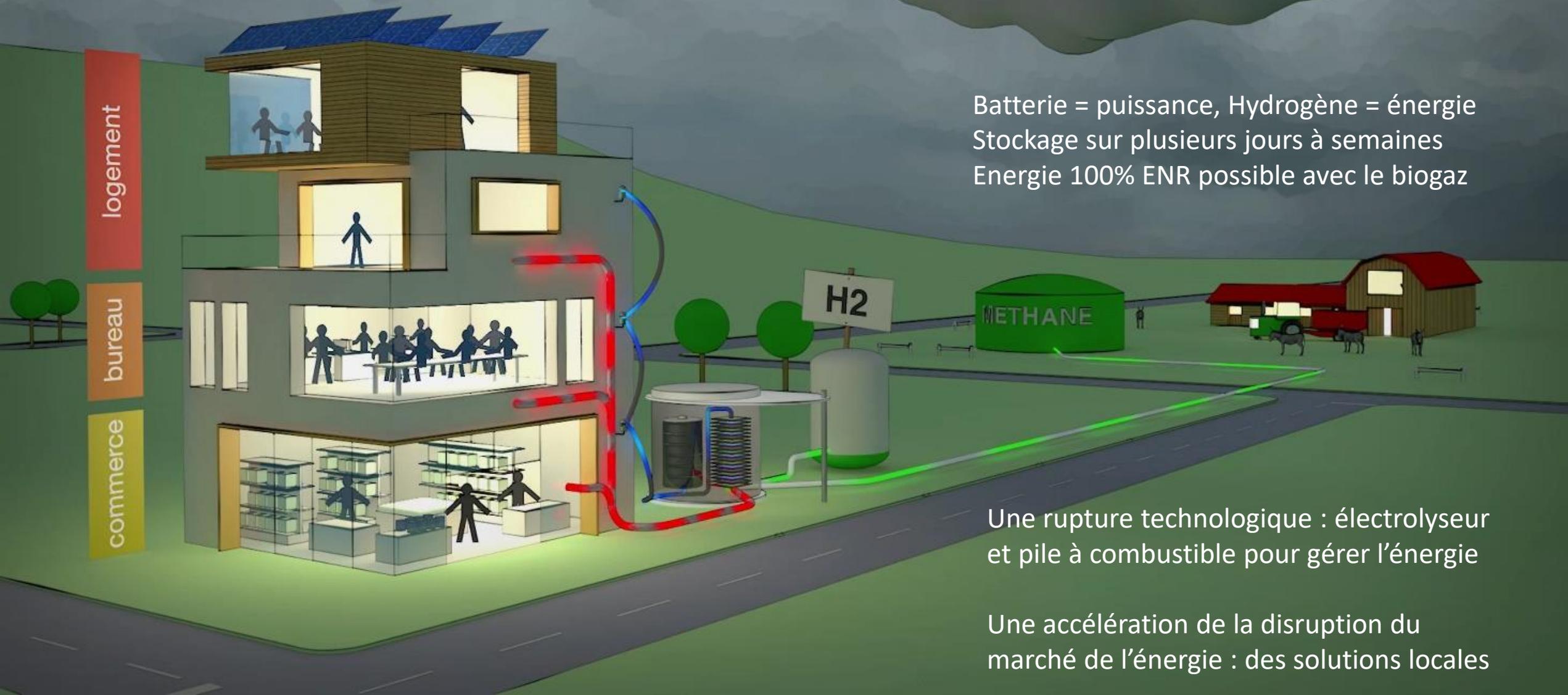
(+ réglementations, soutiens publics, ...)



## Seconde partie : La Conversion d'électricité en gaz (« power to gas »)

### Thématique 6 : Power-to-X

- Nicolas Bardi (Sylfen)



Batterie = puissance, Hydrogène = énergie  
Stockage sur plusieurs jours à semaines  
Energie 100% ENR possible avec le biogaz

Une rupture technologique : électrolyseur  
et pile à combustible pour gérer l'énergie

Une accélération de la disruption du  
marché de l'énergie : des solutions locales