



## Centre PERSEE de MINES ParisTech à Sophia Antipolis Nos actions H<sub>2</sub> en direction de la mobilité

Christian Beauger Christian.beauger@mines-paristech.fr















#### Centre procédés, énergies renouvelables et systèmes énergétiques

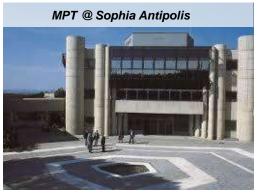


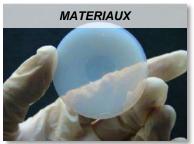
PSL\*

#### **PERSEE**

- 1 des 18 centres de recherche de MINES ParisTech
- Sophia Antipolis
- ∈ Idex UCA<sup>JEDI</sup>
- ∈ Département Energétique et Procédés
- ⇒ Nouvelles technologies de l'énergie et énergies renouvelables
  - Matériaux et composants pour l'énergie
  - Procédés de stockage et conversion d'énergie
  - Energies renouvelables et systèmes électriques intelligents
- 2 groupes de recherche : MATPRO et ERSEI
- **50 personnes** (25 permanents, 21 doctorants, 4 post-docs)
- Activité contractuelle : 1.8 M€
- Recherche appliquée

















# Etude, développement et mise au point de MATERIAUX et PROCEDES

#### pour la CONSERVATION, la CONVERSION et le STOCKAGE d'énergie



Effectifs: 26

8 enseignant-chercheurs

1 ingénieur de recherche

2 ingénieurs de laboratoire

1 technicien

10 doctorants

1 post-doctorants

1 professeur invité

2 chercheurs associés

Resp.: Christian Beauger

\_\_\_\_

16 projets de recherche en cours





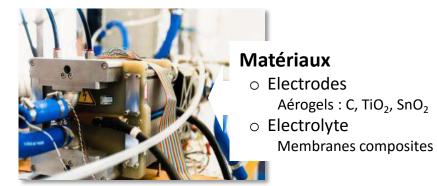


## 4 thématiques de recherche

- Conservation de la chaleur Procédés/Systèmes
  - Enveloppes de bâtiment
  - Batteries



- Conversion et stockage électrochimique Procédés/Systèmes
  - o Piles à combustible, Electrolyse BT (PEM)
  - Batteries



- Conversion thermochimique Procédés/Systèmes
  - Tocedes/ Systemes

Technologies plasma



- Conversion mécanique Procédés/Systèmes
  - o Eoliennes, turbines

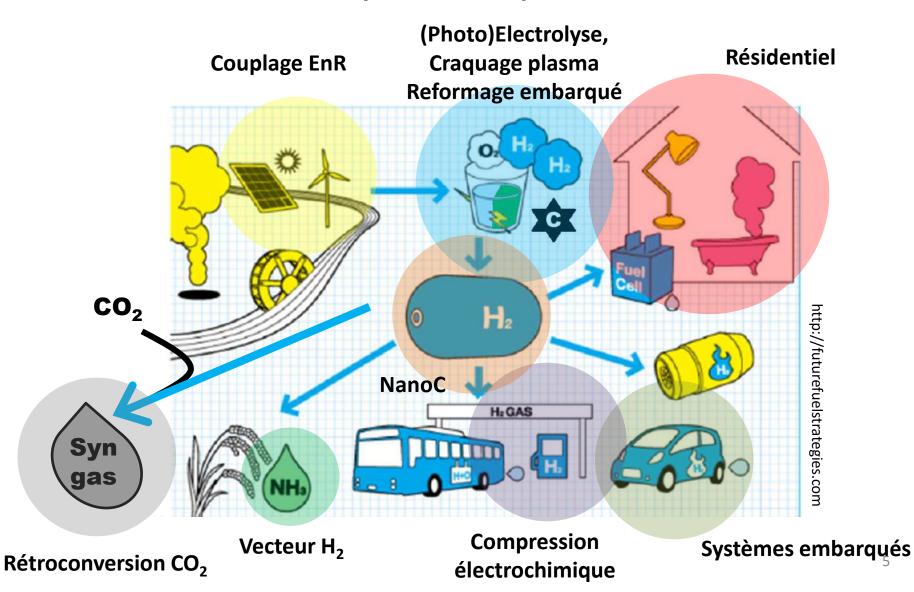








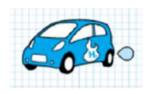












#### Mobilité – Procédés/systèmes – Projets phares

de Renault à Symbio

#### Laguna PAC

Pile 10 kW (3\*10 kW)



**FEVER** (Renault – 1994-98) - *Thèses L. Rouveyre, D. Picot* Renault, Air Liquide, Ansaldo, De Nora, Volvo

- Intégration système véhicule (1ère en France)
- Modélisation compresseur (Alimentation AIR)
- Caractérisation de stack sur cycle (environnement système simulé)
- Refroidissement, Humidification (écoulements internes)

**②** Règles de design pour l'intégration

#### Kangoo ZE H<sub>2</sub>

Prolongateur d'autonomie 6 kW



**NEIGE** (SymbioFCell – 2011-14) - *Thèse B.de Grisard* 

- Boucle de recirculation H<sub>2</sub> (brevetée)
- Refroidissement évaporatif

Simplification procédé









#### Mobilité – Procédés/systèmes – Projets phares

au-delà des transports terrestres

Sous-marin



PICOS (ECA – 2000-04) - *Thèse E. Raugel* ECA, Hélion, Ifremer

Intégration système

**⇒** Règles de design pour l'intégration

Avion électrique



**APACHE** (Hélion - FUI 2008-11) - *Thèse T. Hordé* Hélion, Eurocoptère, ECT, Lisa Airplanes

- Avionabilité d'un système PAC
- Tests en environnements variés (roulis, tangage, altitude)
- Couplage direct pile/batterie

**⇒** Règles de design pour l'intégration









#### Matériaux/Electrodes - Projets phares

#### Alternative aux noirs de C

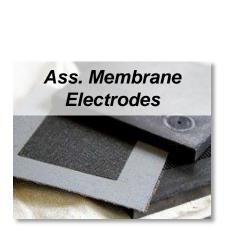
(Gestion fluidique, durabilité)

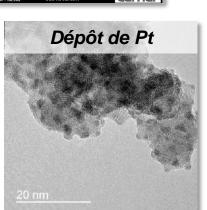
- Synthèse aérogels de carbone
- Synthèse aérogels TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub> Dopages
- Dépôt de Pt et caractérisation électrochimique
- AME et performances en monocellule

#### Morphologie adaptée à la gestion des fluides

au sein des électrodes

- Renault (ARM, '04) Thèse J. Marie
- Carnot (ARM, '07) Thèse M. Brigaudet
- Carnot (ARM, '10)
- SURICAT (ARM, ANR '12)
- NanoCAT (CEA, FP7 '13) Thèse G.Ozouf
- **CORECAT** (ARM, ANR '14) **Thèse F. Labbé**
- **PEGASUS** (CEA, FCH-JU '18)
- MOISE (ARM, ANR '18) Thèse L. Sola-Hernandez
- PRETZEL (DLR, FCH-JU '18)





Aérogels SnO2:Sb









## Matériaux/Electrolyte - Projets phares

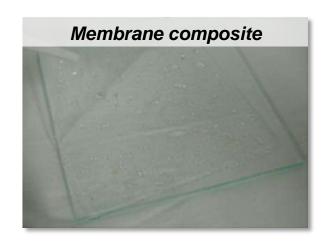
#### Alternative au Nafion®

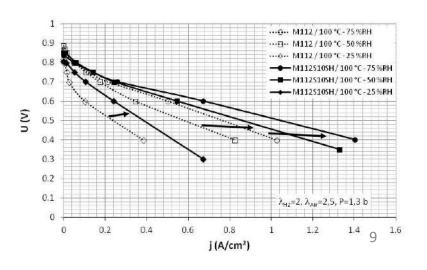
(Humidité relative, température)

- Membranes composites chargées en argile (sépiolite)
- AME et performances en monocellule

#### **⇒**Performances en conditions sévères (T, HR) > Nafion®

- CARNOT (ARM, '09)
- COMEHTE (ARM, ANR '15) Thèse S.H. Woo











## **Actions HYDROGENE (1990-2018)**



## Stationnaire – Procédés/systèmes – Projets phares

#### Cogénération



**EPACOP** (GDF – Ademe '03) - *Thèse C.E. Hubert* 

- Modélisation du système global (PAC+Reformeur GN + WGS + PrOX)
- Campagne de tests sur site réel (CSTB Sophia)

**⇒** Optimisation du système

#### Site isolé

**BALISES** (Axane – ANR '05)

- Tests endurance 24/7
- Récupération et analyse des données à distance

**②** Identification de marqueurs de vieillissement









## **Actions HYDROGENE (1990-2018)**



## Production d'hydrogène – Projets phares

Electrolyse de l'eau

#### Couplage:

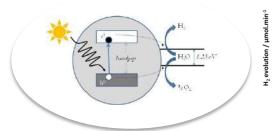
- PV
- Electrolyse
- Stockage
- PAC



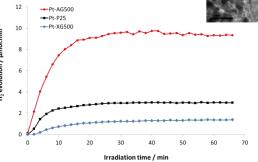
**PVFCSYS** (ARM, FP5, '00) – STM, Transénergie, H<sub>2</sub> systems... *Thèses S. Busquet, J. Labbé* 

- Modélisation de l'ensemble du système
- Démonstrateur installé à MPT et sur site ind. STM
  - Intérêt démontré pour du stockage saisonnier

Photo(électro)lyse de l'eau



Matériaux



CARNOT (ARM, '10)
Thèse D. D'Elia

- Synthèse TiO<sub>2</sub> / différentes morphologies
- Comparaison en photolyse
  - → Aérogels plus performants que P25











## Production d'hydrogène – Projets phares

- Craquage / Reformage
  - $CH_4$  →  $C + 2 H_2$ Co production NC &  $H_2$ 
    - $3 \text{ CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 (\text{CO} + 2 \text{H}_2)$ 1ère étape avant FT

TIMCAL ('96)

Monolith Materials (2013...)

Thèses J.D. Rollier, F. Rehmet, S. Takali

- Plasmas thermiques forte puissance
- De la modélisation à la conception de pilotes

**⊃** Pilote Redwood city (Silicon Valley)

#### Procédé







#### Moyens expérimentaux : laboratoires MATERIAUX





EM2: Synthèse Sol Gel, traitement thermique...



EM1 : Séchage supercritique, Photolyse...



EM3: Caractérisation thermique

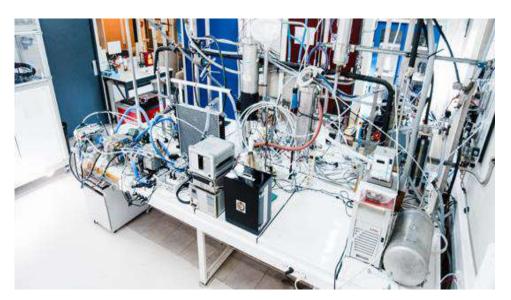


EM4: Electrochimie, Electrode, AME, FTIR...



# MINES \*

### Moyens expérimentaux : laboratoire HYDROGENE (15 kW)



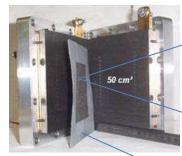
H<sub>2</sub> lab 24/7 (15 kW)



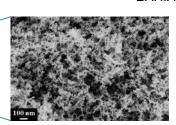
Banc test monocellule



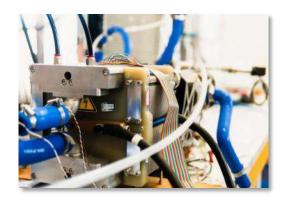
Banc test didactique BAHIA

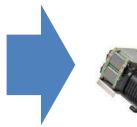


Monocellule et AME



ATO aérogel







Kangoo ZE H<sub>2</sub>



Membrane





#### Moyens expérimentaux : laboratoires PLASMA











**MONOLITH** 



Banc deCOV 1 kW (plasma froid)







#### Participation à l'enseignement :

Cycle IC (Tronc Commun, Options, Ens. Spécialisé, Corps),



Mastères Spécialisés (ALEF, EnR, OSE),







Master (ICARE, PSL),









Formation Spécialisée (ISUPFERE)



MOOC PEG



SPEIT (Shanghai Jiao Tong ParisTech Elite Institute of Technology)











Quelques opportunités sur le territoires des Alpes Maritimes



Grasse



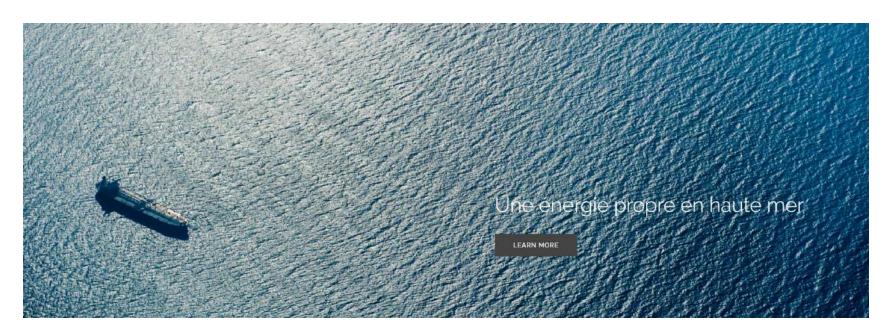






Quelques opportunités sur le territoires des Alpes Maritimes







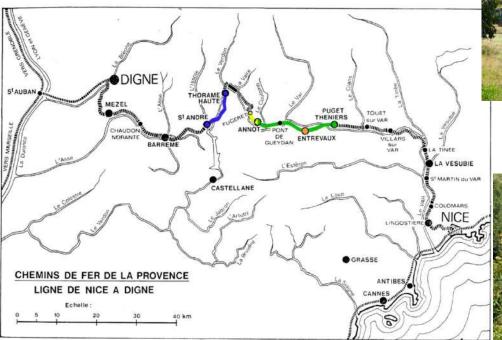






Quelques opportunités sur le territoires des Alpes Maritimes

Un trajet le long de ressources hydrauliques





Nice-Digne







Quelques opportunités sur le territoires des Alpes Maritimes







Cannes









#### **Actions HYDROGENE**

#### MINES ParisTech est membre de :















### **Actions HYDROGENE (>2018)**

#### PERSEE recrute:

un jeune enseignant chercheur (tenure track) spécialiste des systèmes pile à combustible.





RECRUTEMENT D'UN « TENURE TRACK » EN ENERGETIQUE (SYSTEMES POUR LA FILIERE HYDROGENE ENERGIE)

<u>Etablissement</u>: MINES ParisTech (Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris)

Affectation: Centre Procédés, énergies renouvelables et systèmes énergétiques (PERSEE

Dans le cadre du développement de ses activités de recherche et d'enseignement dans le domaine des systèmes pour la filère hydrogène énerge, MINES Paristech ouvre un poste de Tenure Track en Energètique.

Ouvert soos la forme d'un context à durée déterminée de trois ans, ce poste s'adresse à un jeune hecheurs (HF, Thèse e-O-ans) quot le gold frui meral multidosphanie à l'interface de la renberche fondamentale et du monde redustriet, (gift) confidatée; retenueja aura l'opportunité de travalère en lea retroit avec les misus économiques et participers aux travaux de rendenche contratteulle de son equippe. (gifte) disposera également de la possibilité d'encaderr des sujets de thèse et de participer aux enseignaments disponeis dans les différentes formations de l'Ecole.

Ce poste a vocation à évoluter vers un emploi permanent d'enseignant-chercheur à un hottori de 3 aos d'antie cache d'une prodetiure de traus trags, qui permant d'évaleur la bonne médigration di considiat dans l'aquipo de recherche et so capacite à faire pien le modelle de recherche des Centres de MINISE ParisTech. Les condidates jes pour not trouver une description de cette prodetiure sur le sate de MINISE ParisTech. L'actiesses: <u>Intitus Jimms annies position à l'Attoria Piccourisme out Travalles de MINISE</u> ParisTech. à l'actiesses: <u>Intitus Jimms annies position à l'Attoria Piccourisme out Travalles de MINISE</u> ParisTech.

#### 1. LA RECHERCHE DE MINES ParisTech

En cohérence avec son activité de formation, MINES Paristech développe une activité de recherche qui couvreur champ de disciplines soentifiques tres large. Les du-huit centres de recherche sont organises en 5 départements. Sciences de la Terre et de l'environnement, Energétique et procédés, Mécanique et matériaux, Mathématiques et systémes et enfin Economie, management et sociéé.

La recherche de MIMES Parificels vise à la fioi l'excellence académique et l'impact socio-économique. Ce modèle de rechtreche crisentée set développée en terraction distorte aux ce la mode socio-économique : entreprise du setteur privé ou public, mus aussi institutions et administrations, publiques. MIMES Print trécicist première école de n'anne par son volume de rechtreche sur contrats, ponéte par n'emmes. I Fordation Mines passifice de un MIMES Parificel. Ce positionnement original a permis à l'Ecole d'it foffer ses aquies par des secrutiments d'emergiament encheveurs en contrat à duriele indéferencée sur reconscripée sur resuscripes propres via l'association de euchirche contractualle Arminest, et lui primer de maximum sur le long terme de pastaformes experimentales et manièrques uniques et dent la qualité est éconnue par ses parteraires.

Cette capacità de MINISI PristiTech et des entreprises à traveller ensemble sur des sujets scientifiques et industrible ambitions est reconome sur inveau national et international citons, pour 2016, le médalle d'argent du CNISI attribuée à Mardelme Algigli, deux chaires industribles ANIR le renouvellement du label. Camario en 2016 (MERSE), MINISTE SANTI-CA à la 25th gibbe mondisée du CNISI World Inferenții Refutings by subject, dans la top 100, 130 et 300 des descenents thématiques en ingénienne de Shanghaji ou encore 721m avec PS, su descenent 171E.







## Bienvenu à Sophia Antipolis...





...pour rencontrer nos équipes et visiter nos laboratoires.