

# The Transition Institute 1.5

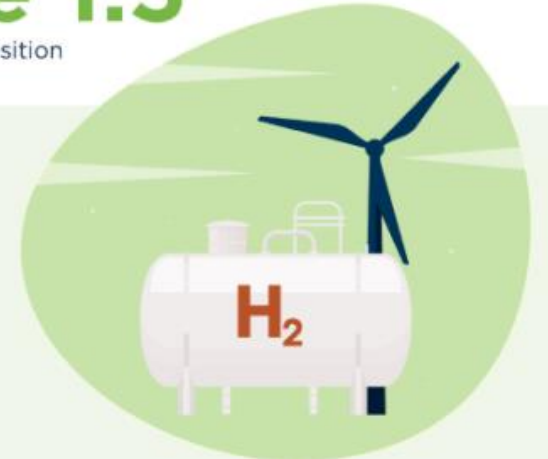
L'ambition d'une véritable transition



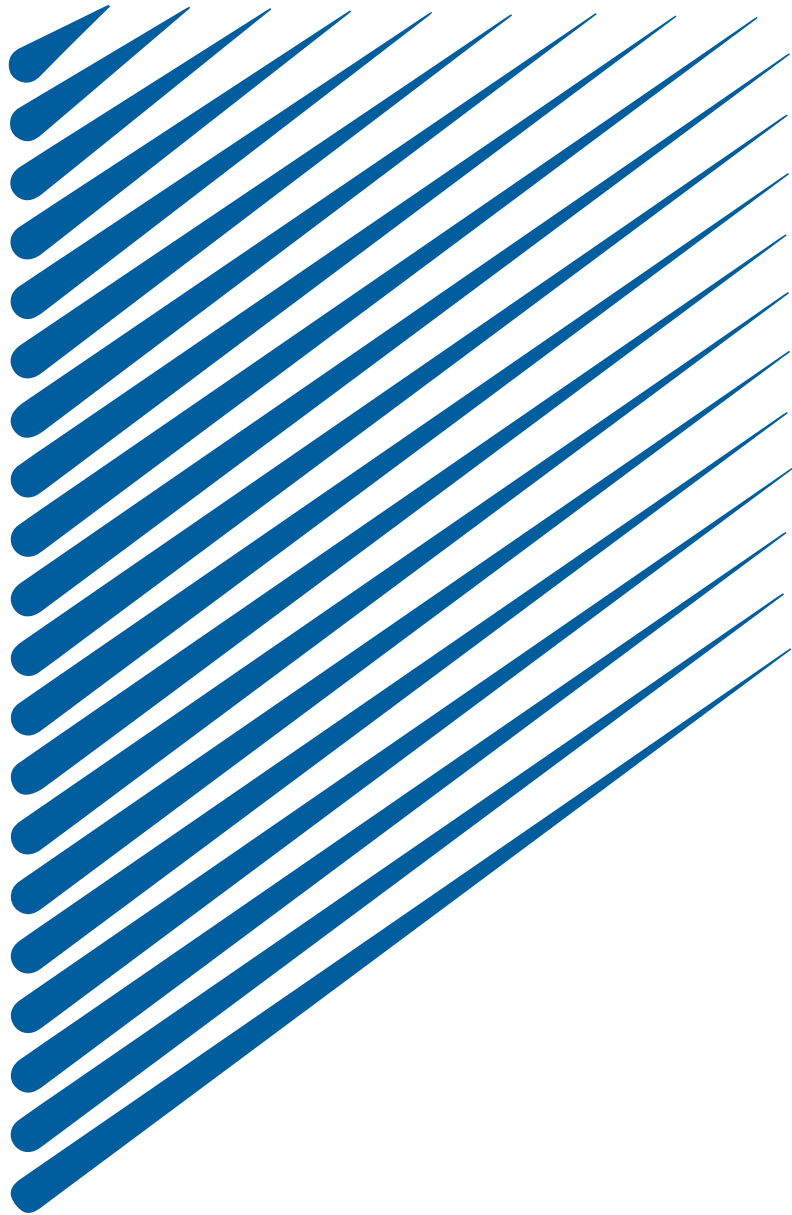
## SÉMINAIRE TTI.5

SÉANCE 3 :  
HYDROGÈNE-ÉNERGIE

JEUDI 19 JANVIER 2023  
À 13H30 (EN LIGNE)



- **Introduction** : Panorama des activités H<sub>2</sub> du groupe H<sub>2</sub>MINES.  
**Christian BEAUGER** | [PERSEE](#) (Mines Paris – PSL)
- **Exposé 1** : Production d'hydrogène « Turquoise » par pyrolyse du méthane.  
**Laurent FULCHERI** | [PERSEE](#) (Mines Paris – PSL)
- **Exposé 2** : Chaire ANR industrielle Messiah : sureté des structures métalliques vis-à-vis de l'hydrogène.  
**Yazid MADI** | [MAT](#) (Mines Paris – PSL)
- **Exposé 3** : Évaluation des impacts environnementaux de la production d'hydrogène par Analyse de Cycle de Vie.  
**Joanna SCHLESINGER** | [O.I.E.](#) (Mines Paris – PSL)



PSL  | PERSEE

# **H<sub>2</sub>MINES**

L'expertise du Carnot M.I.N.E.S pour la filière H<sub>2</sub>



R&D



Innovation



Formation



# L'HYDROGÈNE – RAPPELS?

- H : élément le plus abondant de l'univers
- Sur Terre : lié à O (Eau), + C (GN, biomasse...), ...

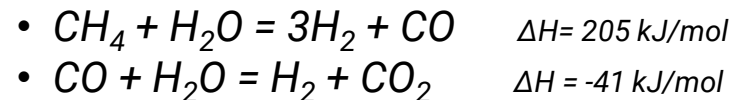
- **H<sub>2</sub>** : CNTP = **gaz**

- ✓ **léger**, diffusion rapide (0,61 cm<sup>2</sup>/s)
- ✓ **Inflammable** ([4-75%vol./air], 20 μJ, 858 K, flamme invisible)
- ✓ **Sans odeur, ni couleur, ni saveur**

- **Vecteur énergétique** à **fort PCI** (120 MJ/kg vs 50 pour le GN)



- **Déjà très utilisé dans l'industrie** : raffineries, synthèse NH<sub>3</sub> et MeOH, atmosphère protectrice...
- **Peu d'usage énergétique** : espace < 1% de la production mondiale
- **90 Mt** produit/an
- **95%** de la prod. à partir de **ressources fossiles** (GN, pétrole, charbon) → **# 10 kg CO<sub>2</sub> / kg H<sub>2</sub>!**



**+/- 2 €/kg**

- **Production d'électricité** par conversion électrochimique : piles à combustible (rendement électrique # 50%)

→ "Nouveaux" usages : **mobilité électrique, μCoG**

# L'HYDROGÈNE – QUELQUES DÉFIS LE LONG DE LA CHAÎNE DE VALEUR

## 1. PRODUCTION : minimum d'impact environnemental

- Electrolyse de l'eau
- Pyro-gazéification/reformage de la biomasse
- Pyrolyse du méthane

**Exposé 1** : Production d'hydrogène « Turquoise » par pyrolyse du méthane.  
**Laurent FULCHERI** | [PERSEE](#) (Mines Paris – PSL)



## 2. STOCKAGE : dense et sûr

- Sous pression (350/700 b) ou liquide (20 K)
- Dans des matériaux solides (MOF, Hydrures...)
- A l'aide de vecteurs (NH<sub>3</sub>, LOHC...)
- En masse dans le sous-sol (cavités salines ou minées)

## 3. DISTRIBUTION : développement de l'infrastructure

- Route (camion), Mer (Bateaux)
- Pipelines (GN, dédiés)
- Stations service

**Exposé 2** : Chaire ANR industrielle Messiah : sûreté des structures métalliques vis-à-vis de l'hydrogène.  
**Yazid MADI** | [MAT](#) (Mines Paris – PSL)



## 4. USAGES : efficacité/durabilité/coût

- Conversion électrochimique
- Combustion

## 5. DD

- Intégration dans les territoires
- Interaction sociétale
- Ressources/Impacts environnementaux (ACV)
- Prospectives

**Exposé 3** : Évaluation des impacts environnementaux de la production d'hydrogène par Analyse de Cycle de Vie.  
**Joanna SCHLESINGER** | [O.I.E.](#) (Mines Paris – PSL)



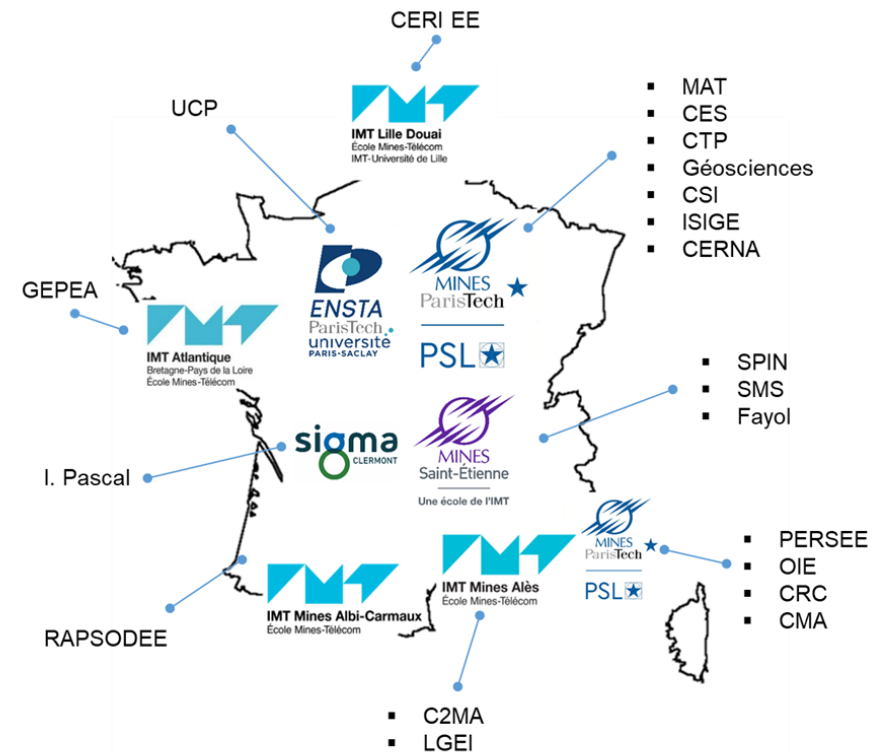
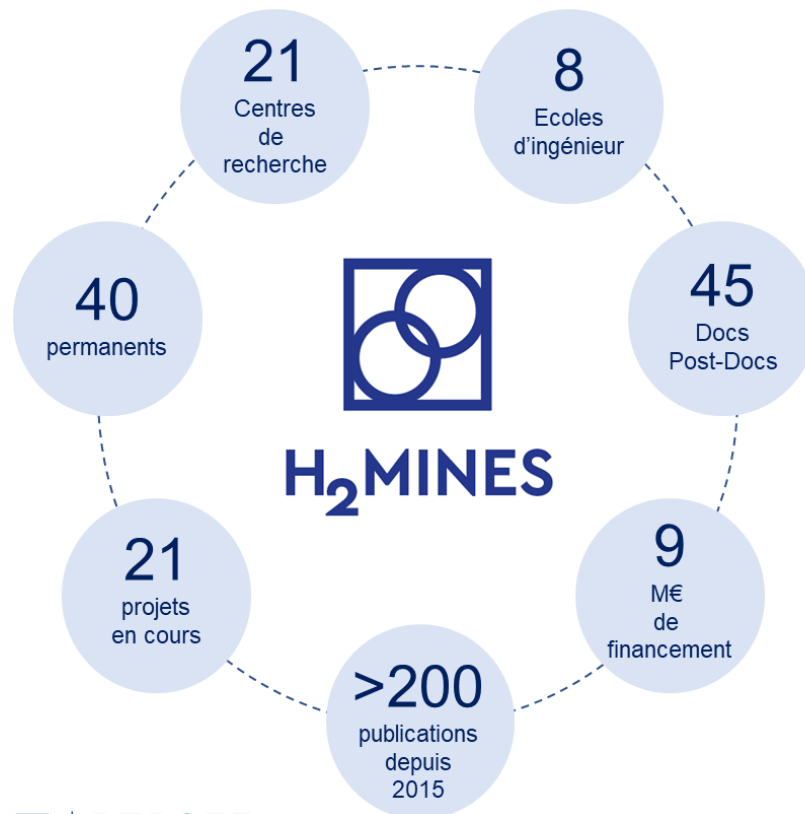
Des réponses  
**PROCEDES**  
&  
**MATERIAUX**



# H<sub>2</sub>MINES, R&D, INNOVATION ET FORMATION POUR LA FILIÈRE HYDROGÈNE

Créé en 2016, H<sub>2</sub>MINES fédère

les **enseignants-chercheurs** du **Carnot M.I.N.E.S.** actifs sur la **filière hydrogène**

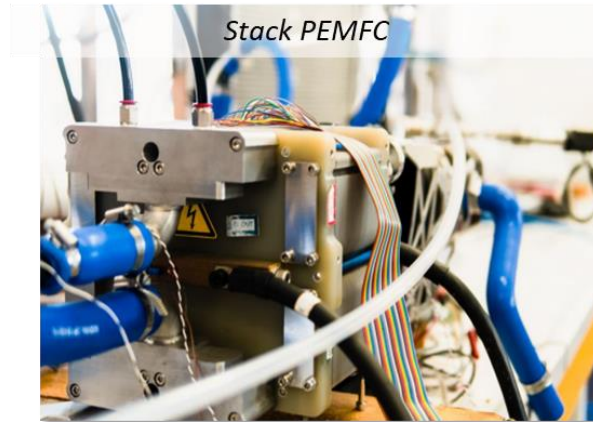
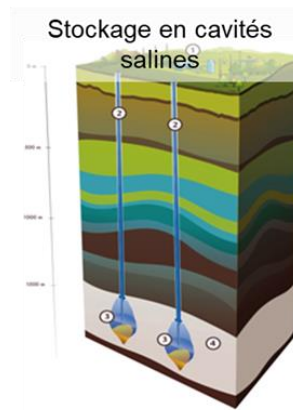
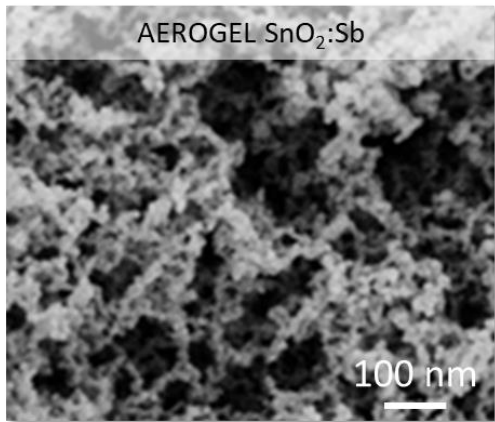


# H<sub>2</sub>MINES, COMPLÉMENTARITÉ SUR LA CHAÎNE DE VALEUR DE LA FILIÈRE



DIAGRAMMES de phases, PROPRIETES thermochimiques

CAPTEURS gaz – Plateforme multicapteurs



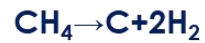
# H<sub>2</sub>MINES, DES PLATEFORMES EXPERIMENTALES ORIGINALES (SÉLECTION)

## PRODUCTION

Biomasse



Unité pilote VALTHERA



Torche PLASMA

## STOCKAGE-DISTRIBUTION

Cavités



Pilote Stockage

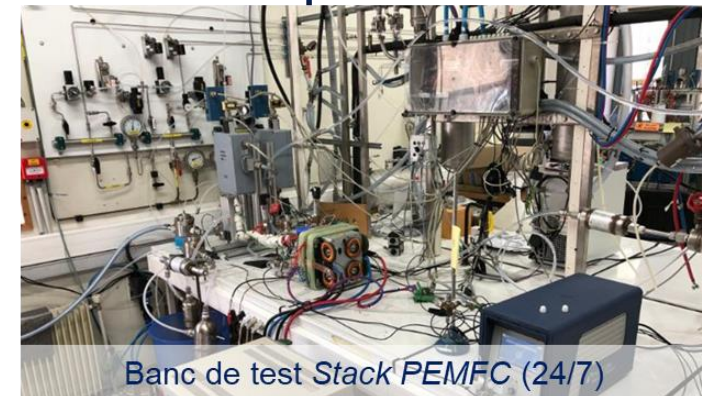
## USAGE

SOFC



Banc de test pile monochambre

PEMFC (AME → Stack 10 kW)



Banc de test Stack PEMFC (24/7)



# H<sub>2</sub>MINES, UNE RECHERCHE APPLIQUÉE

- Etroite collaboration avec le monde industriel
- Recherche par projets
- Contrats directs (Accords cadre, Cifre, CIR)
- Mode collaboratif (ANR, FUI, Ademe, Eu)



**La recirculation passive :**  
une idée innovante,  
du labo à son intégration.



# H<sub>2</sub>MINES, CONNECTÉ AUX RÉSEAUX

Pôles de compétitivité

Associations

Sociétés

GDR

...



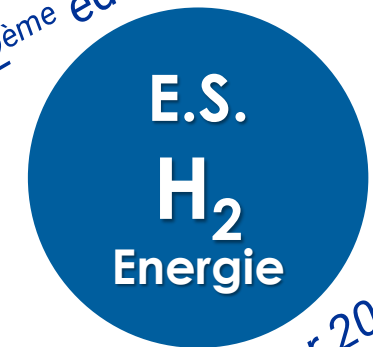
# H<sub>2</sub>MINES, FORMATION

## Une grande variété de formats – Une voie de recrutement privilégiée

- Formation par la recherche (thèse de doctorat)
- Cycles ingénieurs
  - Stages, projet de fin d'étude
  - Métier de l'Ingénieur Généraliste (MIG)
  - Trimestres recherche et ingénierie
  - Enseignements spécialisés
- Master Recherche
- Mastères spécialisés (*Post master*)
- *Executive Education*



2<sup>ème</sup> édition

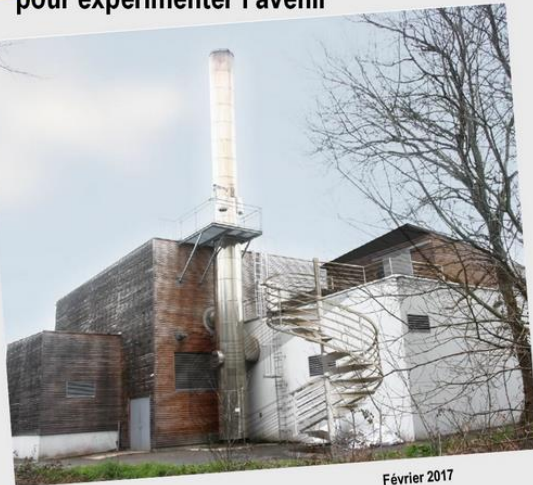


Février 2023

# H<sub>2</sub>MINES, PROJET FÉDÉRATEUR HYTREND ('19-'23)

Mobilisation des expertises transdisciplinaires de H<sub>2</sub>MINES autour de la plateforme *Power to gaz* MINERVE (Nantes)

**MINERVE :**  
Un démonstrateur *power-to-gas*  
pour expérimenter l'avenir



Février 2017

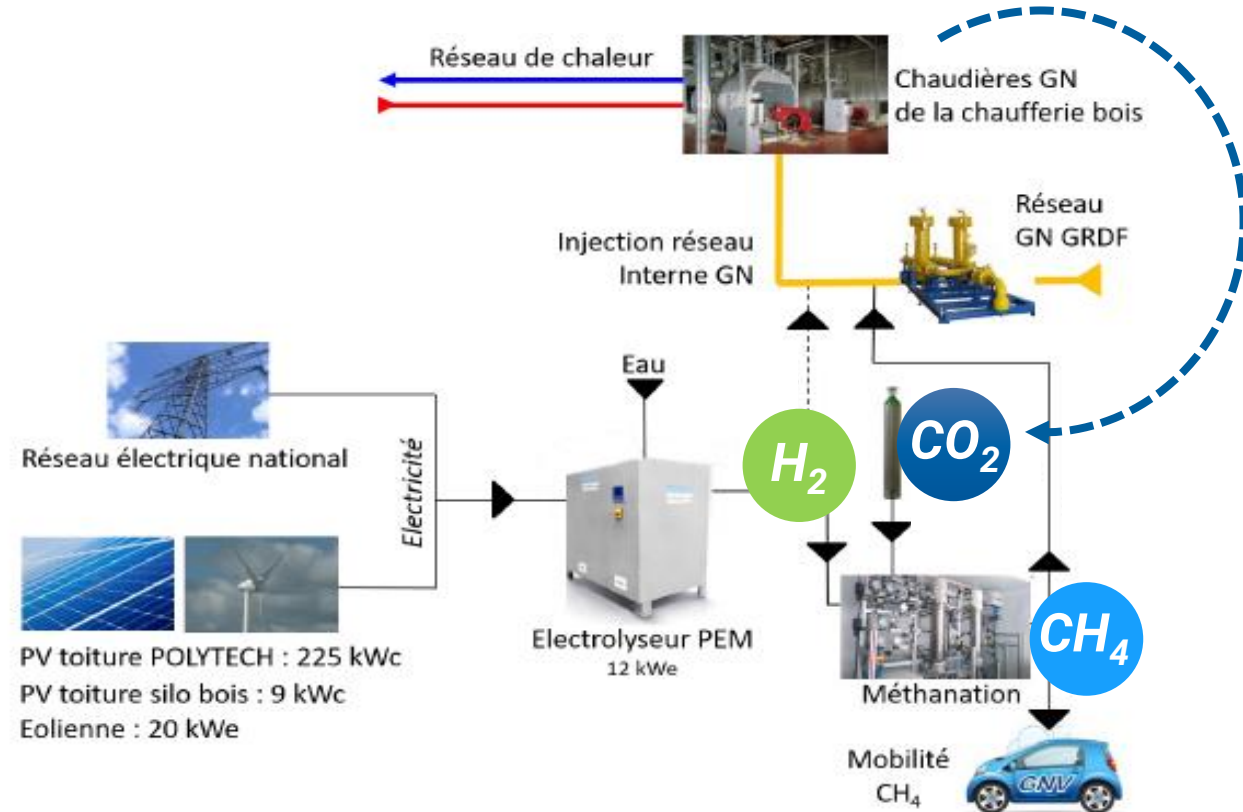


Schéma de principe du fonctionnement du démonstrateur MINERVE

# H<sub>2</sub>MINES, FLYER

[https://s3.production.france-hydrogene.org/uploads/sites/5/formidable/2/H2MINES-Flyer\\_2021.pdf](https://s3.production.france-hydrogene.org/uploads/sites/5/formidable/2/H2MINES-Flyer_2021.pdf)

## SOME OF OUR INDUSTRIAL PARTNERS:



Air Liquide

AREVA H<sub>2</sub>Gen



storengy



## ONE CONTRACT MANAGEMENT ORGANIZATION:



## CONTACTS

first.name.name@...

- ▶ **IMT MINES Albi-Carmaux** (@mines-albi.fr)
  - RAPSODEE: Doan Phamminh, Ange Nzihou
- ▶ **IMT MINES Alès** (@mines-ales.fr)
  - C2MA: Belkacem Otazaghine, Aurélie Taguet
  - LGEI: Luc Malhautier, Frédéric Heymes (EUREQUA), Guillaume Junqua (ERT)
- ▶ **IMT Atlantique** (@imt-atlantique.fr)
  - GEPEA: Pascaline Pré
- ▶ **IMT Lille-Douai** (@imt-lille-douai.fr)
  - CERI EE: Rémi Gautier, Daniel Bougeard
- ▶ **MINES ParisTech** (@mines-paristech.fr)
  - PERSEE: Christian Beauger
  - MAT: Yazid Madi
  - CES: Chakib Bouallou
  - CTP: Elise El\_Ahmar
  - Géosciences: Faouzi Hadj\_Hassen
  - OIE: Paula Perez\_Lopez
  - CSI: Madeleine Akrich
  - ISIGE: Jasha Oosterbaan, Daniel Florentin
  - CMA: Gilles Guerassimoff
  - CERNA: François Lévêque
  - CRC: Franck Guamlier
- ▶ **IMT MINES Saint-Etienne** (@mines-st-etienne.fr)
  - SPIN: Mathilde Rieu, Jean-Paul Viricelle
  - Fayol: Valérie Laforest
  - SMS: Cédric Bosch
- ▶ **ENSTA Paris** (@ensta-paris.fr)
  - UCP: Laurent Catolre, Didier Dalmazzone, Johnny Deschamps
- ▶ **Sigma Clermont** (@sigma-clermont.fr)
  - I. Pascal: Jean-François Cornet

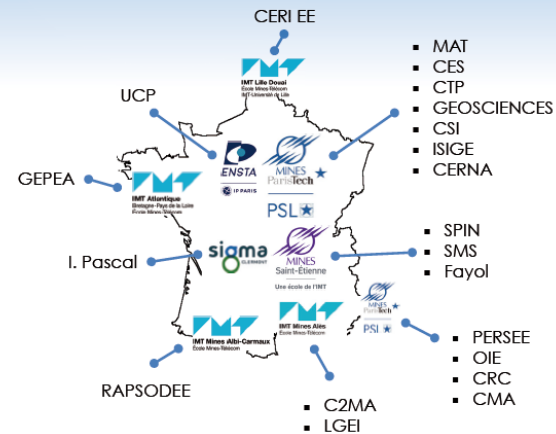
**Coordinator: Christian Beauger**  
christian.beauger@mines-paristech.fr



## OUR NETWORK FOR THE H<sub>2</sub> ENERGY SECTOR

RESEARCH & DEVELOPMENT | EDUCATION

Carnot M.I.N.E.S. research centres involved in H<sub>2</sub>MINES



[www.carnot-mines.eu/fr](http://www.carnot-mines.eu/fr)

## H<sub>2</sub>MINES TAKES PART IN:

### NETWORKS

- Hydrogen Europe Research
- EERA
- France Hydrogène
- GDR (Solar Fuels, Thermod. moléc. et proc.)
- FRH2 (CNRS)
- Géodénergies
- SFGP
- SFT
- SEE
- Mission H<sub>2</sub> Pays de Loire
- Climate KIC

### CLUSTERS

- CAPENERGIES
- DERBI
- MOVEO
- AXELERA
- EMC2
- ASTECH
- TENERDIS

### PROJECTS (ANR, EU, PIA...)

- FluidStory, Rostock-H, Waveincore, Stopil-H2, Citeph20, Comehte, Anima, Ingopint-Pacos, Moise, Pretzel, Pegasus, Comet, Momentom, Minerve, Endemat, HyCOMP, FIBreMoD, Osirhys, Chaire industrielle Messiah... & HyTREND (AMI Carnot)

### TECHNOLOGICAL PLATFORMS

- Fuel Cell test benches
- H<sub>2</sub> storage, purification test benches
- Gas sensors test benches
- Burners, flash pyrolyzers, gasifiers, HP reactors, methanation...
- Materials synthesis and characterization
- Shaping processes
- Fluids thermophysical properties
- Rock geomechanical characterization
- Power to gas

### EDUCATION PROGRAMS

- Conferences, courses and student projects in the framework of the different education programs of the partner schools.



# The Transition Institute 1.5

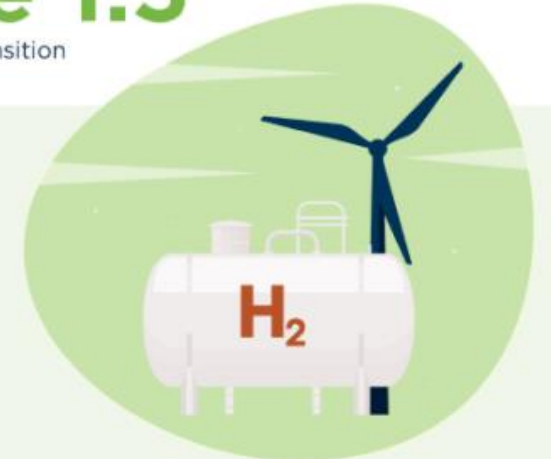
L'ambition d'une véritable transition



## SÉMINAIRE TTI.5

SÉANCE 3 :  
HYDROGÈNE-ÉNERGIE

JEUDI 19 JANVIER 2023  
À 13H30 (EN LIGNE)



- **Introduction** : Panorama des activités H<sub>2</sub> du groupe H<sub>2</sub>MINES.  
**Christian BEAUGER** | [PERSEE](#) (Mines Paris – PSL)
- **Exposé 1** : Production d'hydrogène « Turquoise » par pyrolyse du méthane.  
**Laurent FULCHERI** | [PERSEE](#) (Mines Paris – PSL)
- **Exposé 2** : Chaire ANR industrielle Messiah : sureté des structures métalliques vis-à-vis de l'hydrogène.  
**Yazid MADI** | [MAT](#) (Mines Paris – PSL)
- **Exposé 3** : Évaluation des impacts environnementaux de la production d'hydrogène par Analyse de Cycle de Vie.  
**Joanna SCHLESINGER** | [O.I.E.](#) (Mines Paris – PSL)