

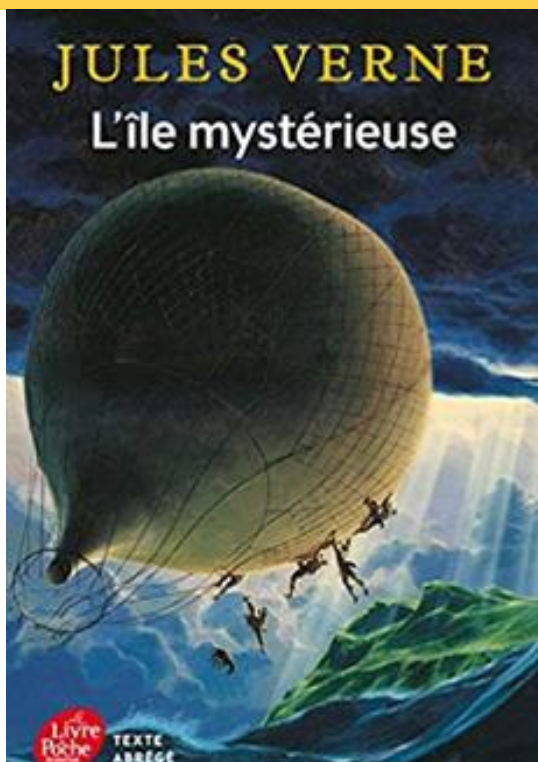
Transitions énergétiques: enjeux, verrous, défis

Colloque de lancement du Laboratoire Inspirons Demain sur l'énergie

Vecteur énergétique hydrogène

Ould Bouamama, Belkacem, Dieulot, Jean-Yves,

Khodakov, Andréi, Vannier, Rose-Noëlle, Guillaume, Vanhove



"Je pense qu'un jour, l'hydrogène et l'oxygène seront les sources inépuisables qui fourniront chaleur et lumière."

Jules Verne, l'île mystérieuse, 1875

1937: Le crash du Hindenburg,
le cauchemar de l'hydrogène !





©@BrunoLeMaire

Présentation de la **stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France**

« Nous accélérerons massivement ces investissements en engageant, d'ici 2030, **7 milliards d'euros**, dont 2 milliards d'euros dès le plan de relance. Notre objectif est clair : conjuguer le développement technologique et la transition écologique ».

Bruno Lemaire, 9 septembre 2020

L'hydrogène est perçu comme un vecteur de décarbonation !

Des projets déjà bien engagés...



Safra



Hythane : introduction de 20% d'hydrogène dans le gaz utilisé pour l'alimentation de bus et d'un quartier urbain.

ALThITUDE (2005-2010), GRYD (2014-2018)

Mise en place d'une **ligne de bus à hydrogène** autour de **Bruay-la-Buissière** (2018)

Des projets en cours de construction...



ArcelorMittal



4 février 2022

Jean Castex à Dunkerque



Remplacement d'ici 2030 de trois hauts fourneaux sur cinq (deux à Dunkerque) par des unités de réduction directe du minerai par de l'hydrogène.

STELLANTIS Hourdain

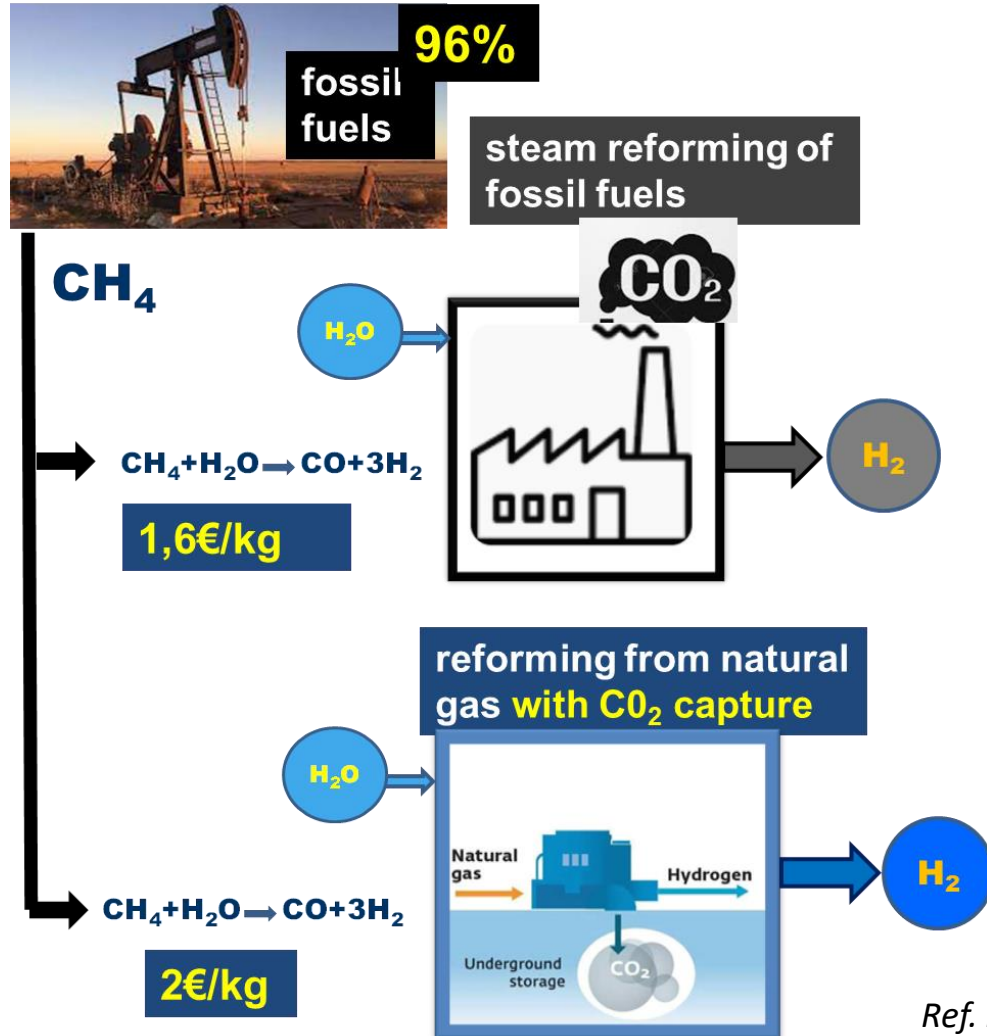
Janvier 2024 : lancement de la production de véhicule utilitaire roulant à l'hydrogène



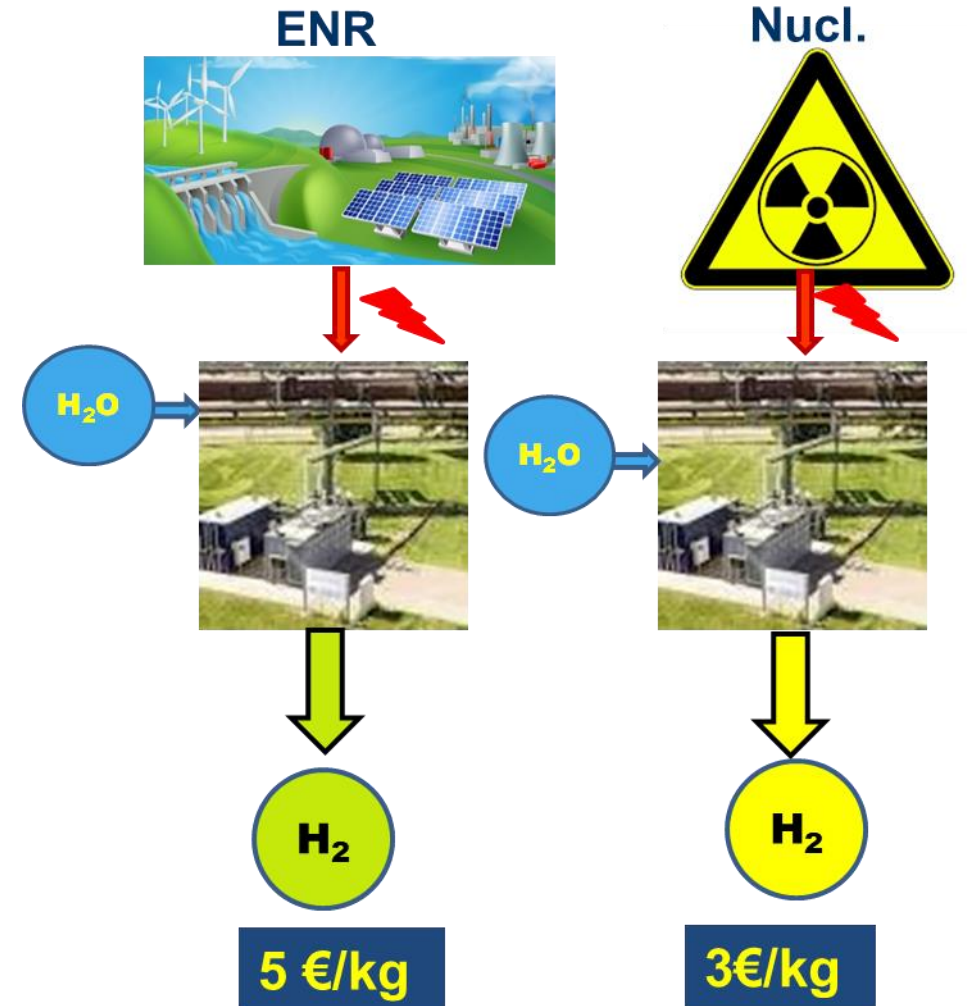
H2V : projet massif de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, Loon Plage, 28 000 t/an, mise en service 2027

Hydrogène Gris, Bleu, Jaune, vert : quelle technologie ?

Production 95% par vaporeformage



Une alternative : l'électrolyse de l'eau





hydrogène de John

- **Alcalin** : Electrolyte : potasse,
- Electrolyte : Potasse (KOH)
- **Application** : stationnaire, sensible à l'intermittence



Caract. : 80° C, Rend. 70%, Durée de vie: 80Kh

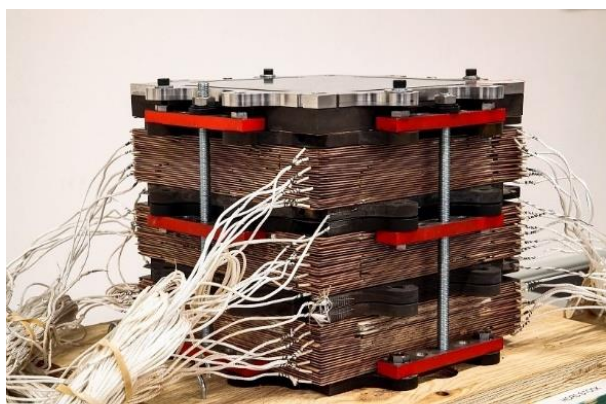


<https://elogenh2.com/fr/>

- **PEM** : à membrane polymère échangeuse de proton
- Electrolyte : Nafion™
- **Application** : **mobile et stationnaire**
- Verrous : prix de la membrane (coût du Pt utilisé comme catalyseur)



Caract. : 60° C, Rend. 85%, Durée de vie: 40Kh



© Alain TENDERO / divergence

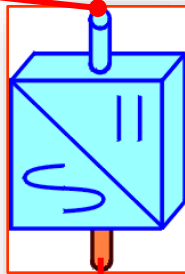
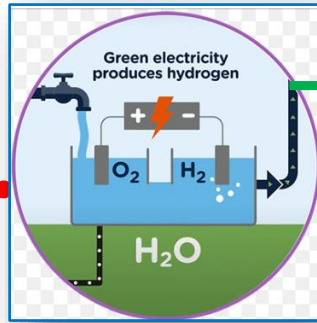
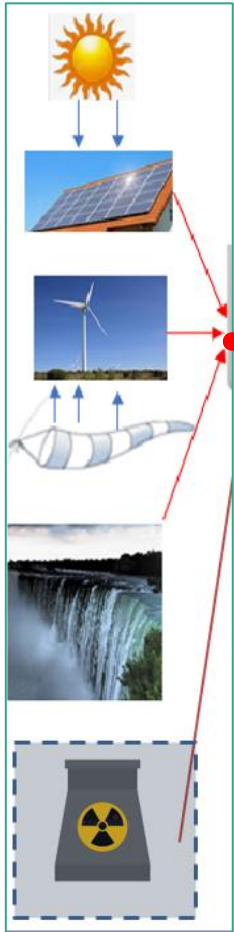
<https://genvia.com>

- **SOEC (EHT)** : à membrane céramique conductrice par ions oxyde
- Electrolyte : zircone stabilisée à l'yttrium
- **Application que stationnaire**
- Ne contient pas de métaux précieux



Caract. : 700° C, et Rend. 90%, Durée de vie: 10 Kh

Sources d'énergie
renouvelables



H₂

H₂O

Power to X

CH₄



injection dans des gazoducs

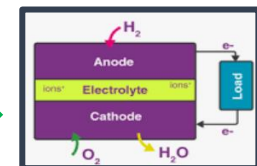
Transport via hydrogénéoducs
(10-20 bars) Cryogénique (-253deg)



combustion



moteur à combustion interne



e⁻



moteur électrique équipé
avec une pile à combustible

Synthèse de molécules plateformes

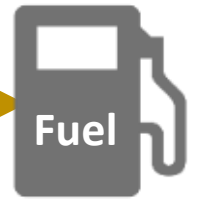


CO₂



CO₂ captation

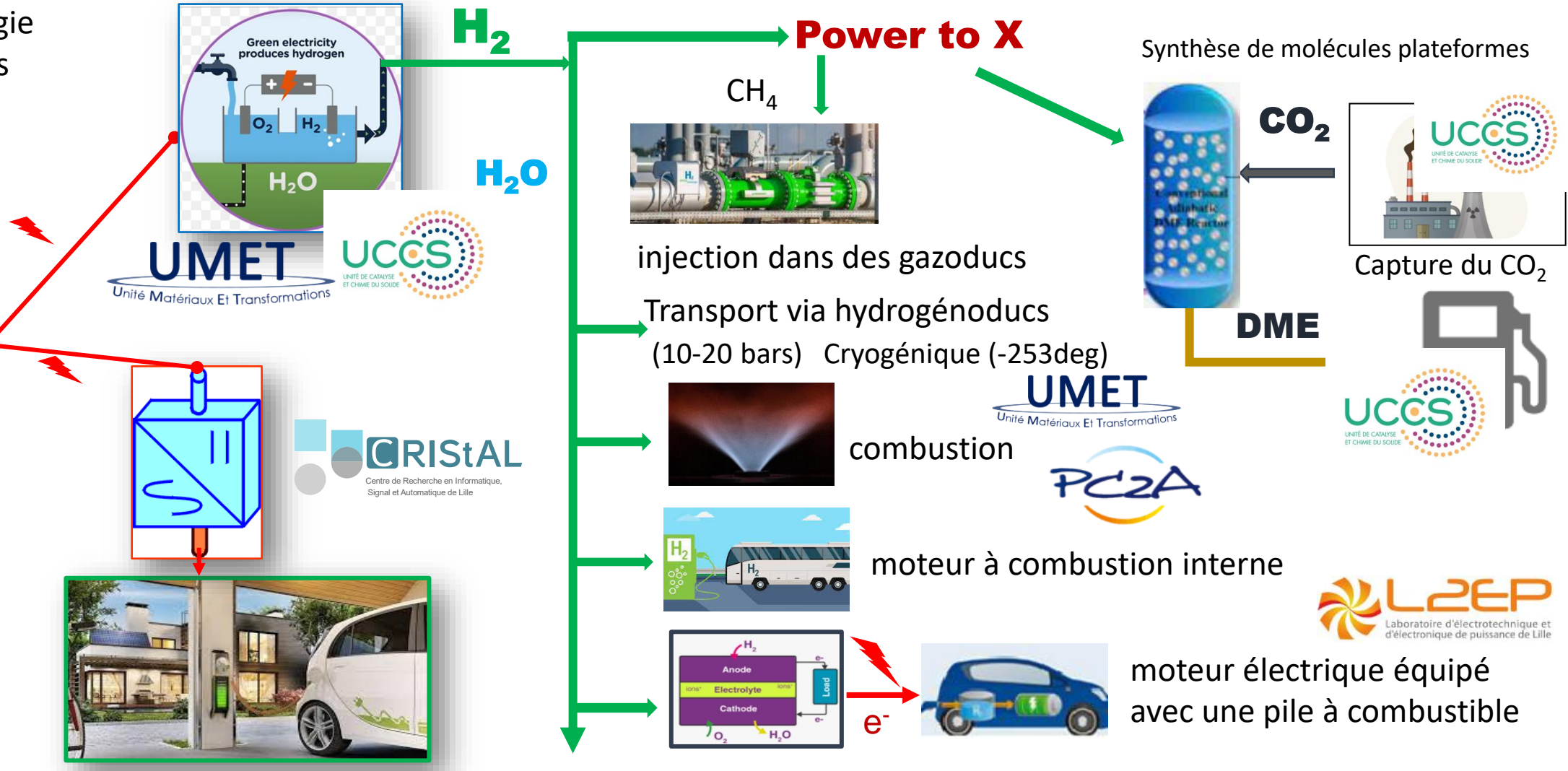
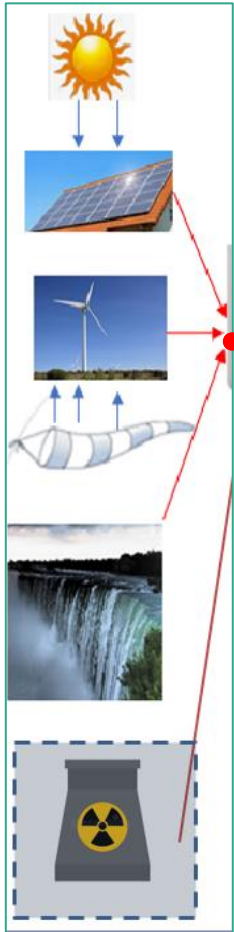
DME



Fuel

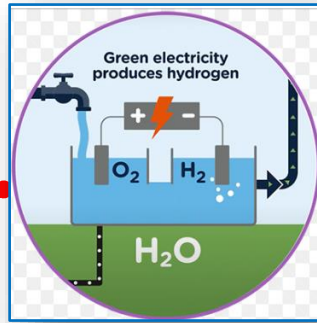
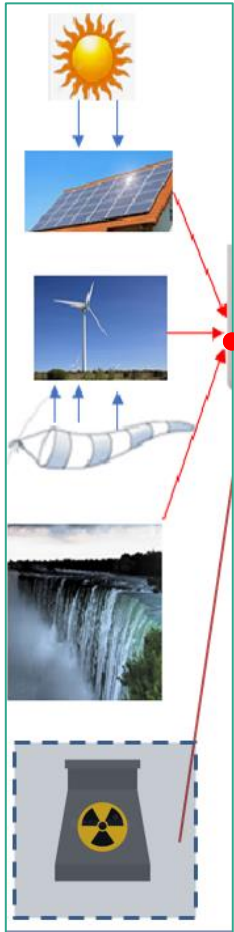
Implication des acteurs lillois dans la chaîne de l'hydrogène

Sources d'énergie renouvelables



Implication des acteurs lillois dans la chaîne de l'hydrogène

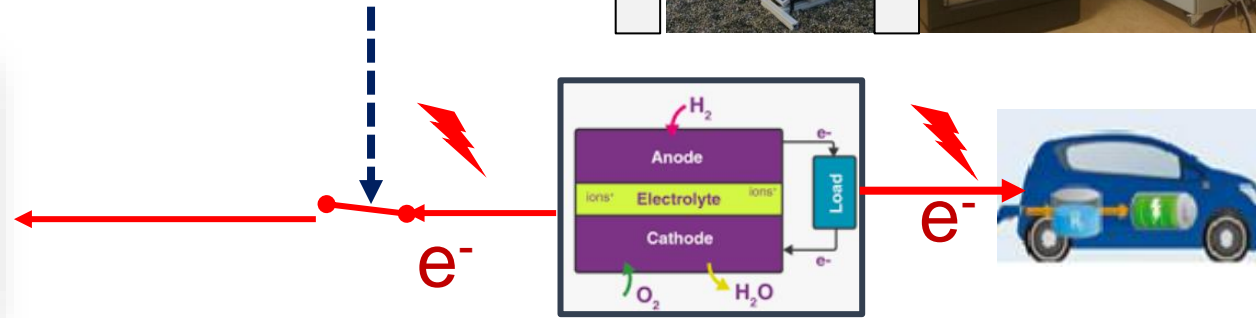
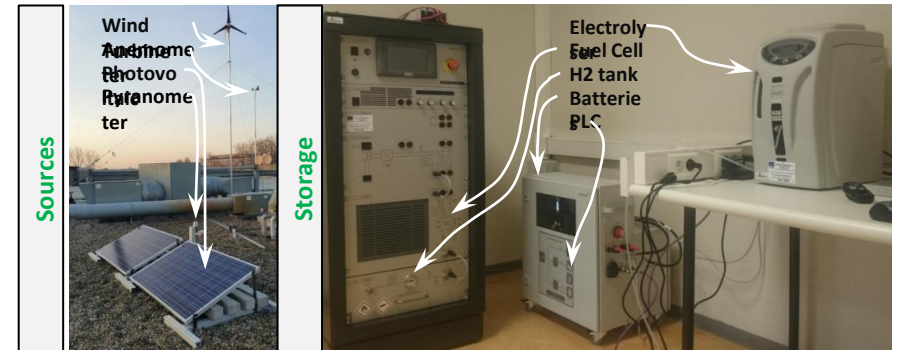
Sources d'énergie
renouvelables

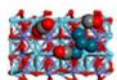


Projets : *Electrolife, E2C, EDF, Polytech, MODIS_H2...*

Optimal KPI,
SOH,...

**Gestion optimale
des SHER
résilients**



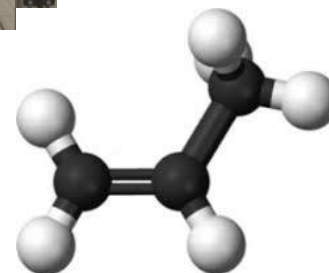
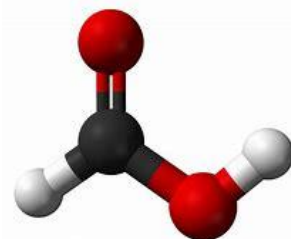
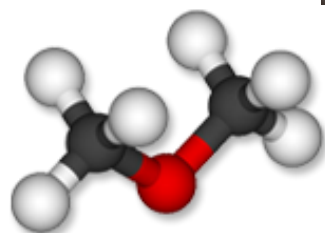
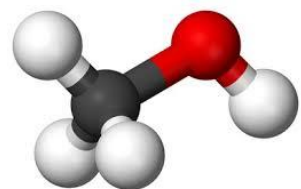
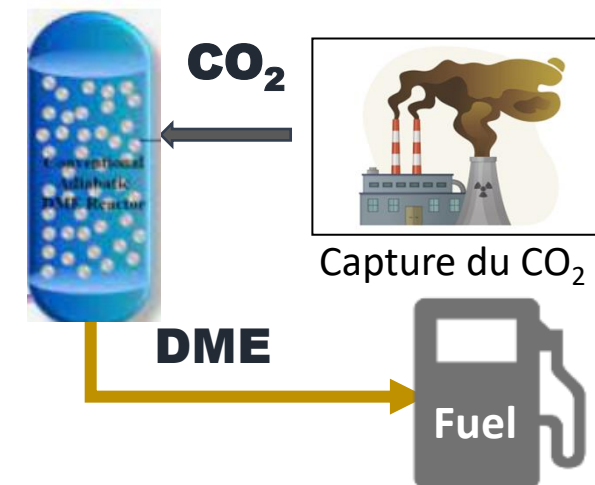


Axe
Catalyse hétérogène



Power to X

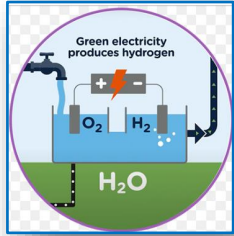
Synthèse de molécules plateformes



Recherche de molécules plateformes

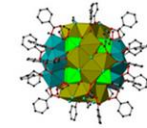
Méthanol
Diméthyl Ether
Oléfines Légères
Acide Formique

Implication des acteurs lillois dans la chaîne de l'hydrogène



Recherche de nouveaux matériaux d'électrode à air et verres de scellement pour électrolyseur à haute température

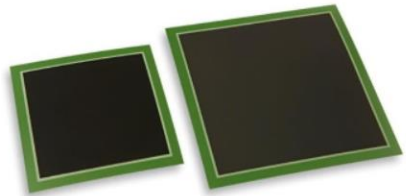
Membres de la FRH₂



Axe
Chimie du solide



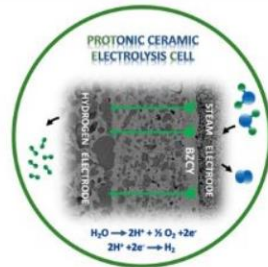
Impliqués dans 3 projets du PEPR-H₂ et 3 projets européens



CELCER-EHT

Production

CELCER-EHT vise le développement de cellules céramiques de taille pré-industrielle pour l'électrolyse de la vapeur d'eau ...



PROTEC

Production

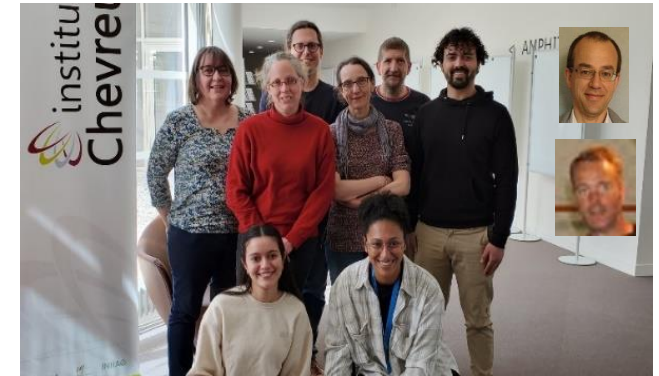
PROTEC s'intéresse aux cellules céramiques à conduction protonique pour électrolyseurs, opérant en mode réversible dans la ...



FLEXISOC

Conversion/usage

Le projet FLEXISOC vise à explorer la flexibilité des cellules SOC vis-à-vis du combustible utilisé. Les investigations sont déclinées à l'échelle des matériaux, des cellules, puis des stacks, et jusqu'aux systèmes complets



<https://www.youtube.com/watch?v=q65DgwT-JVc>
<https://comasys.univ-lille.fr/>

Modtester – Modular stack tester for industrial size cells



Nouveau – Novel electrode coatings and interconnect for sustainable and reusable SOEC, Horizon-CL4-2021-Resilience-01

Knowskite-X – Knowledge-driven fine-tuning of perovskite-based electrode materials for reversible Chem-X devices, Horizon-CL4-2022-Resilience-01-19

<https://www.pepr-hydrogene.fr/>

(Programme et Equipements Prioritaires de Recherche sur l'hydrogène décarboné)



Dans le monde, 84 % de la conversion d'énergie primaire est obtenue par combustion

La combustion de l'hydrogène (H₂): une autre solution d'avenir pour atteindre l'objectif d'une société bas carbone en 2050



Credit: Cecile Oriot - CentraleSupélec

Le PC2A est porteur du projet PEPR MONTHY (*Programmes et équipements prioritaires de recherche*) qui porte sur la compréhension et modélisation de la formation des oxydes d'azote (NOx) dans des flammes d'hydrogène turbulentes





contrôleur dSPACE

1103

Elec. de
puissance

PàC

BALLARD

1.2 kW



Inductance
de lissage

SC 130 F / 54V

Utilisation de l'hydrogène dans les véhicules :

- Hybridation pile à combustible / batteries
- Hybridation pile à combustible / supercondensateurs
- Gestion d'énergie de véhicule à hydrogène
- Applications à l'automobile, le bus le train

Banc de test Pile à Combustible / Supercondensateurs

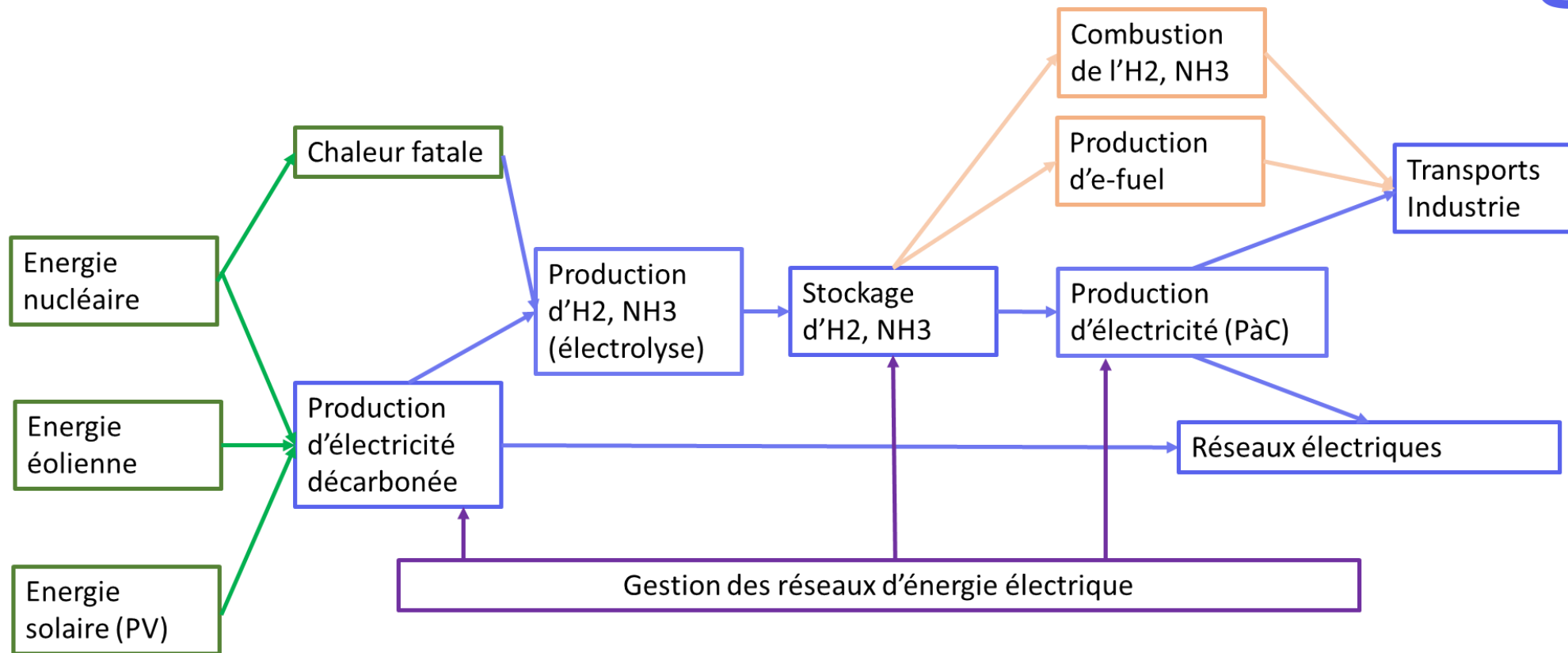
Partenariats stratégiques

- SNCF, MEL (programme CUMIN)
- FEMTO-ST et FC-Lab (réseau MEGEVH)
- IRH Trois Rivières (Canada, LAI eCAMPUS)



Toyota Mirai instrumentée
(L2EP et CUMIN)

Objectif du projet COMASYS est de considérer l'ensemble de la chaîne de la production de l'hydrogène à son utilisation en passant à son stockage avec l'établissement de jumeaux numériques



■ Technologique :

- Trouver des moyens embarqués **efficaces et sûrs** permettant une autonomie satisfaisante des véhicules
- Transport et stockage : **1L essence (9kwh) ↔ 3000 L d'H2 (à 1 bar), 7 L H2 / 700 b , 4 L H2 liquide / -253°C**

■ Économique :

- Réduire les coûts de production de l'H2, de fabrication des PEM
 - **prix min de 2,5 €/L de l'essence pour concurrencer les voitures thermiques.**
- Développer suffisamment d'applications liées à l'hydrogène pour amortir les investissements dédiés à la recherche et au futur développement d'un réseau de distribution d'hydrogène
- **Aujourd'hui H2 = 2 % du mix énergétique de l'UE. en 2050 passe à 20 %, (20 à 50 % pour transport lourd et 5 à 20 % dans l'industrie) (EU Hydrogen strategy (Com/2020/301)**

■ Sociétal :

- faire accepter l'hydrogène comme un carburant parmi d'autres (disponibilité, sécurité)

 Ensemble,
inspirons
demain



 Université
de Lille

Merci pour votre attention

Des questions ?

Logos des laboratoires des intervenants

