



ENERGIE & HYDROGÈNE

pour l'industrie et la mobilité

ORGANISÉE PAR :



La Région

Auvergne-Rhône-Alpes

ENTREPRISES

25 nov.
2022
.....
LYON

Conseils & solutions

conférences | ateliers | networking

Solutions technologiques pour déployer l'hydrogène bas carbone dans l'industrie

Découvrez les différentes solutions technologiques actuelles et à venir pour déployer l'hydrogène bas carbone dans l'industrie, depuis sa production jusqu'au stockage et ses usages.



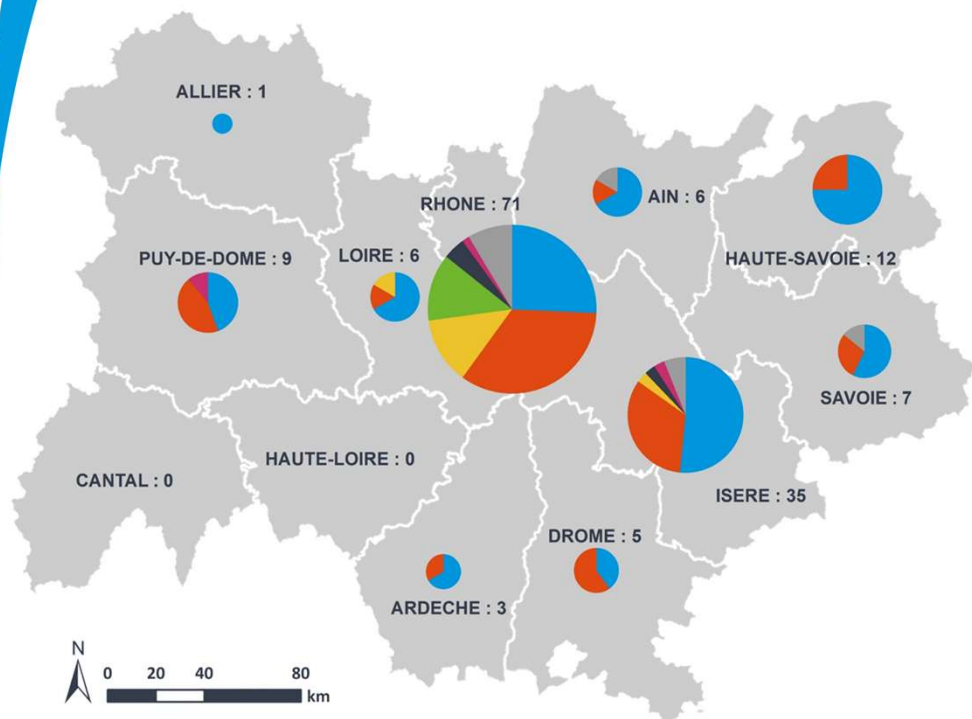
La Région

Auvergne-Rhône-Alpes

— **ENTREPRISES**



La filière Energie-Hydrogène en région Auvergne-Rhône-Alpes



- 154 entreprises travaillent pour la filière hydrogène bas carbone en Auvergne-Rhône-Alpes.
- Parmi elles, une vingtaine ont une activité 100 % dédiée à l'hydrogène.
- ½ sont des TPE ou PME. 1/3 des ETI.
- 70 % des entreprises ont été créées après 1989.
- 20 % ont moins de huit ans d'existence.

Intervenants



Julie Mougín

Chef du Service des
Technologies Hydrogène,
CEA-Liten



Pierre Lombard

Directeur commercial,
McPhy



Patrice Tochon

R&D Program Manager,
Genvia



Thomas Cazade

Chef de Projet Technique,
Ergosup



Jules Billiet

Deputy CEO, Inocel



Julie MOUGIN



Chef du Service des Technologies Hydrogène, CEA-Liten

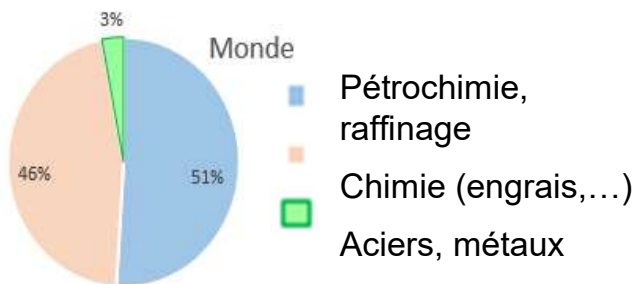


- Docteur ingénieur en Matériaux / Electrochimie
- Après une expérience industrielle dans le domaine des matériaux pour les marchés de l'énergie et de l'automobile, rejoint le CEA/Liten en 2005
- Depuis 2010, dirige le Laboratoire puis le Service des technologies de l'hydrogène, axé sur la production d'hydrogène, le stockage et les piles à combustible
- Supervision pendant 4 ans d'une équipe en charge des évaluations technico-économiques et environnementales pour les nouvelles technologies de l'énergie au sens large.
- Missions d'expertise sur la thématique Hydrogène à l'échelle internationale: Coordinatrice de projets européens, contribution aux feuilles de route de l'Union Européenne, évaluation de programmes nationaux hydrogène pour plusieurs pays, implication dans des comités normatifs

Hydrogène : Augmentation des usages... et des besoins

Usage 2020 : H₂ "industriel"

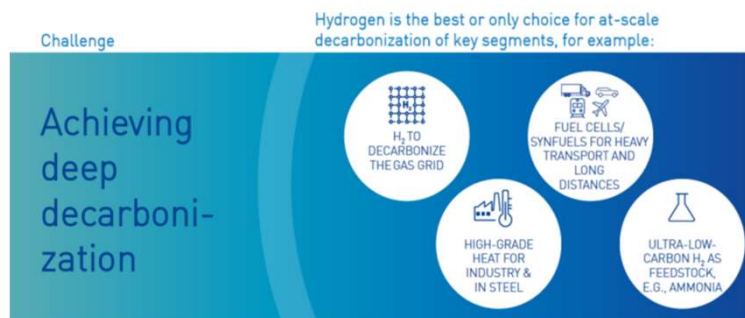
Monde ≈ 90 Mt/an



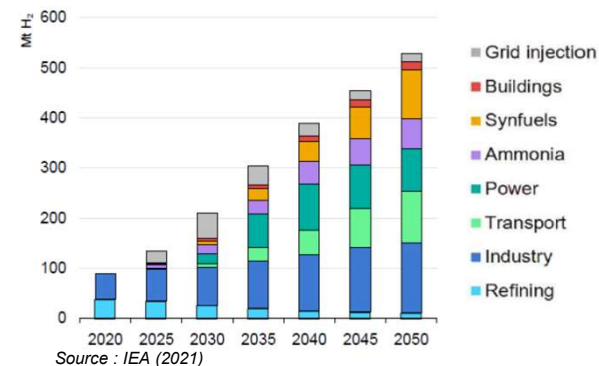
Usages 2030 et au-delà : H₂ "industriel" et "énergie"

Besoins X6 d'ici 2050 (scenario NZE)

ACHIEVING DEEP DECARBONIZATION OF >80% OF CO₂ EMISSIONS REQUIRES HYDROGEN



Source : FCH-JU



Source : IEA (2021)

Vecteur H₂ :

Des technologies sur toute la chaîne de la valeur

► Production

Stockage & distribution

Conversion

Systèmes

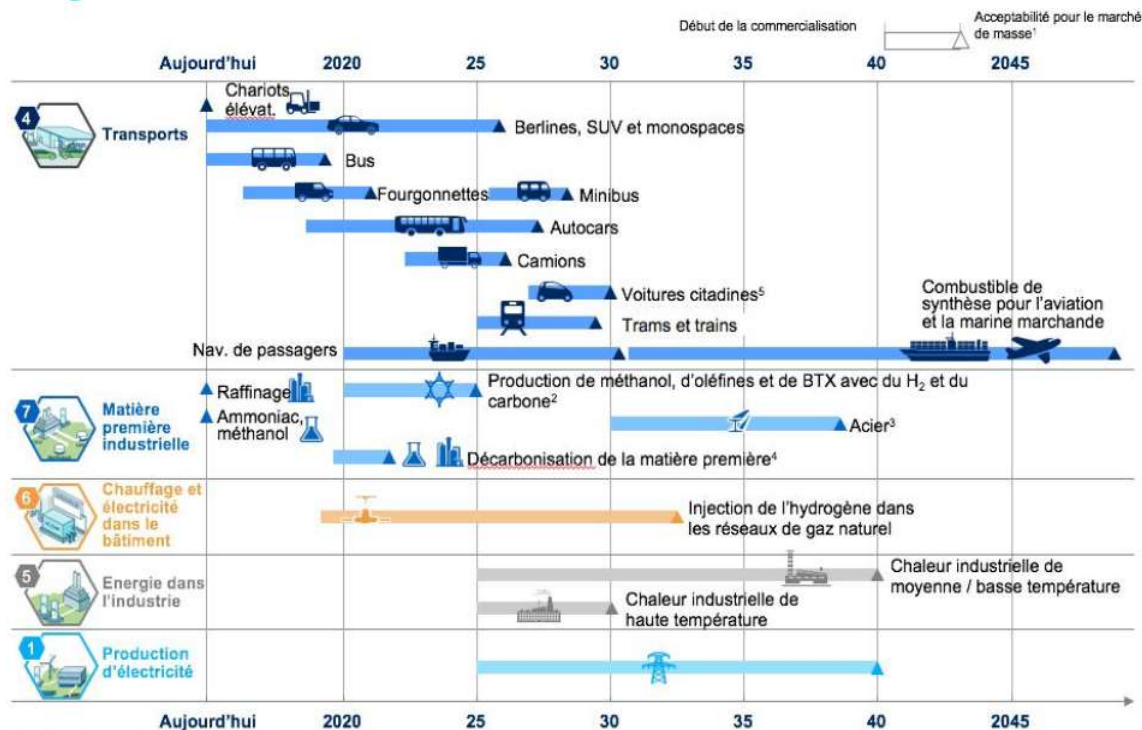
Décarbonation des usages

Electrolyse

- Stockage liquide
- Réservoirs sous pression
- Porteurs chimiques (LOHC, NH₃)

Piles à combustible

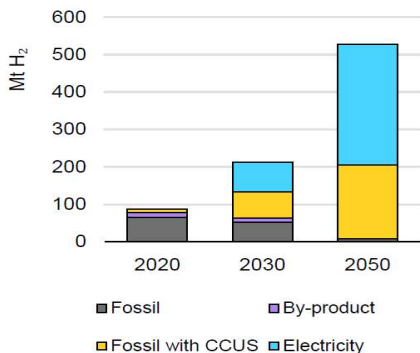
- Transport
- Réseaux multivecteurs
- Power-to-X
- Flexibilité



Production d'H₂ décarboné : différentes technologies

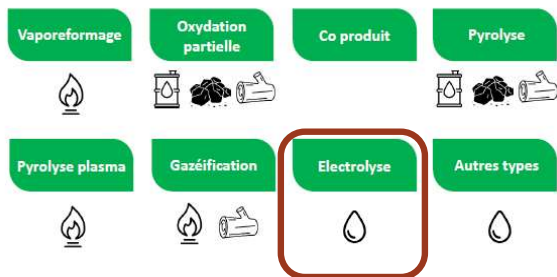
Modes de production :

- 2020 : H₂ fossile
≈ 11 kg de CO₂ par kg d'H₂
- Enjeu post 2030 :
H₂ bas carbone
→ électrolyse



Source : IEA (2021)

Procédés de production hydrogène

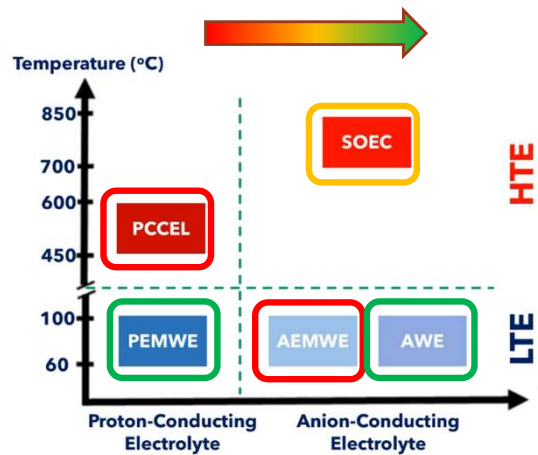


Matières premières

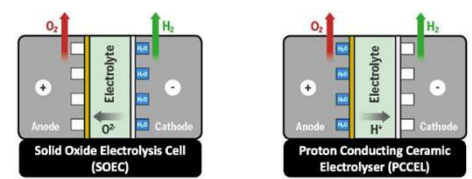


Source: France Hydrogène, Panorama des solutions H₂, mai 2022

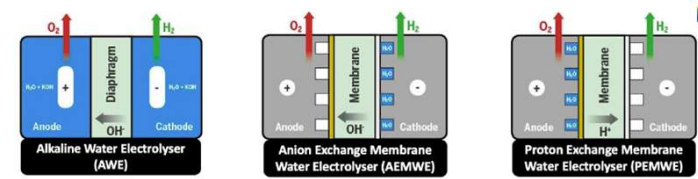
- Un large panel de technologies d'électrolyse
- Différents niveaux de maturité



HTE High Temperature Electrolysis



LTE Low temperature Electrolysis



Source: Chem. Rev. Soc. 2022, 51 4583-4762

Stockage et distribution

Underground storage in caverns

Salt Caverns

- Salt caverns are solution mined cavities within either salt domes or bedded salts that do not match reservoir volume capacity.

Depleted Oil/Gas Reservoirs

- Depleted reservoirs are proven gas reservoirs that are easy to develop and operate due to existing infrastructure.

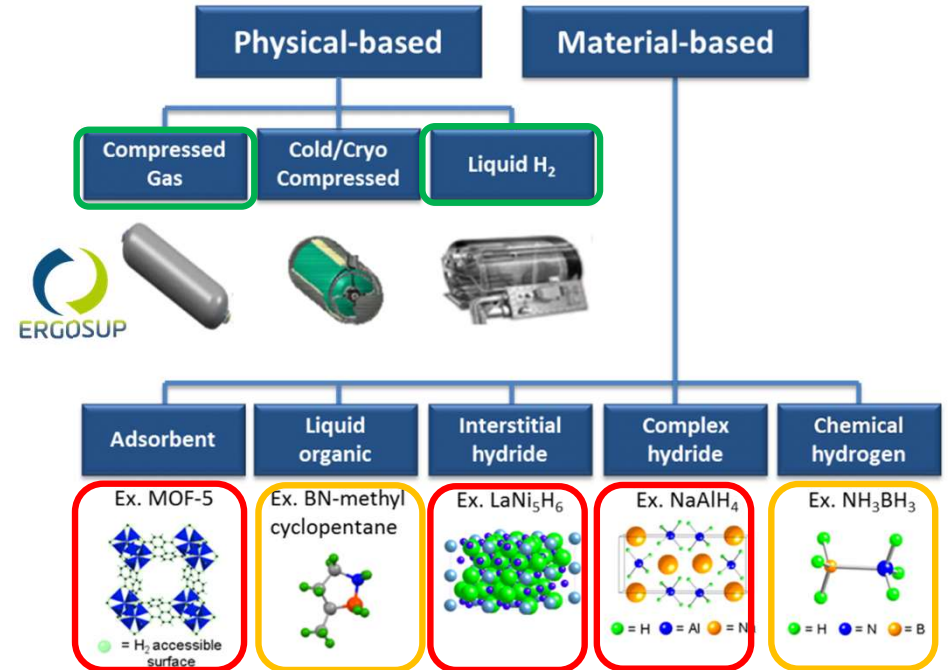
Aquifers

- Aquifers are similar in geology to depleted reservoirs, but have not been proven to trap gas and must be developed.

- Un large panel de technologies
- Adaptées aux différentes applications
- Différents niveaux de maturité



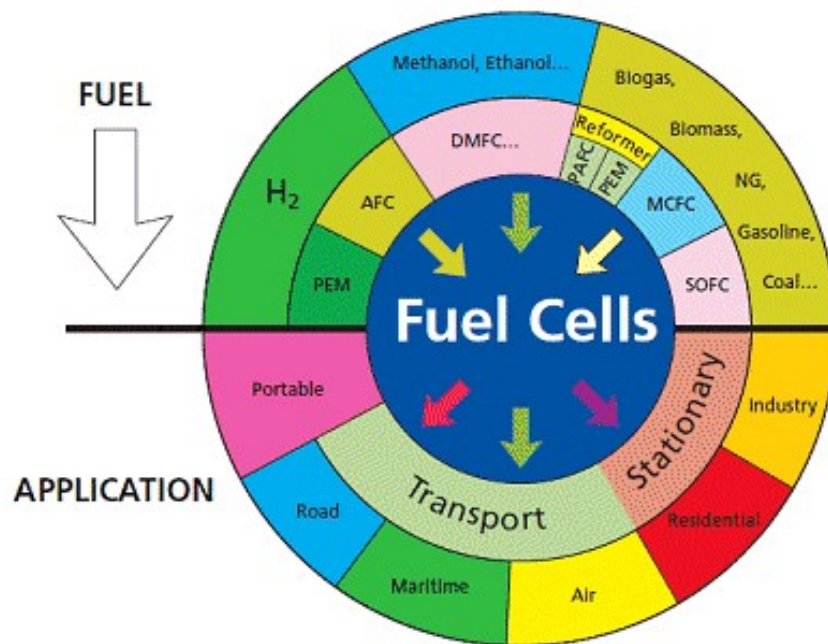
How is hydrogen stored?



Source: DoE, Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office - Hydrogen Storage

Piles à combustible

- Un large panel de technologies
- Adaptées aux différentes applications

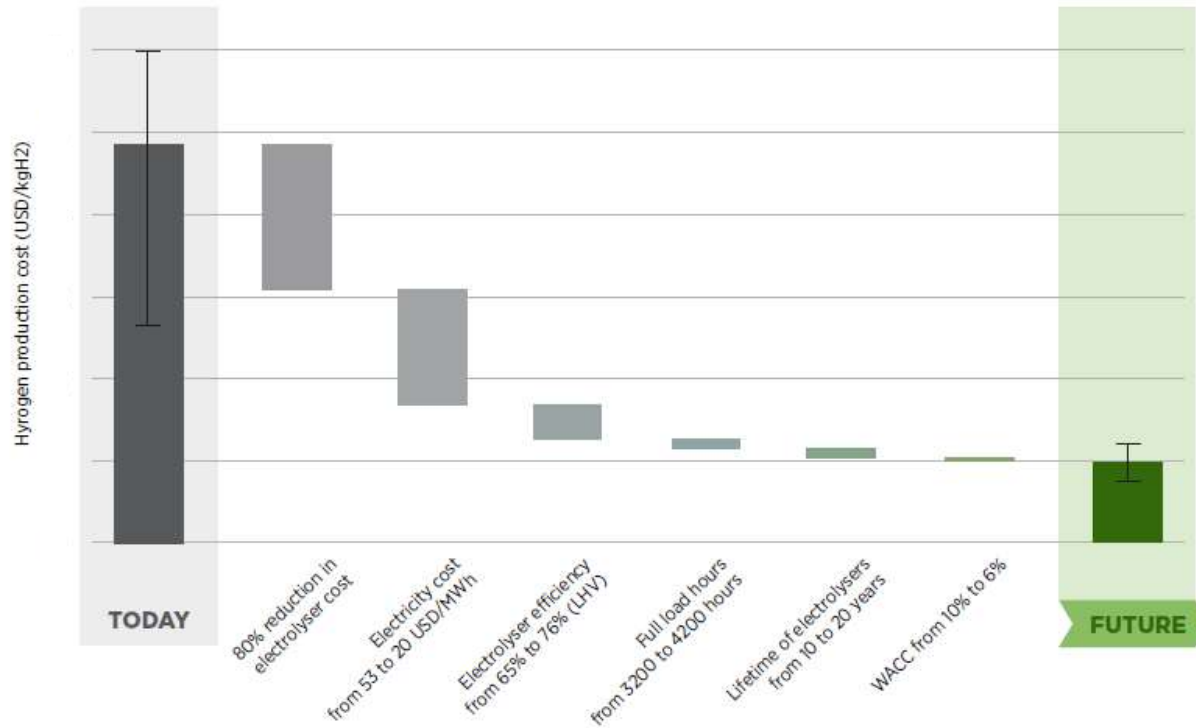


Abbreviations	
AFC	Alkaline Fuel Cell
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell
HT PEMFC	High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell

Source: ChemViews, Wiley, 2013

Enjeux pour le développement du vecteur H₂

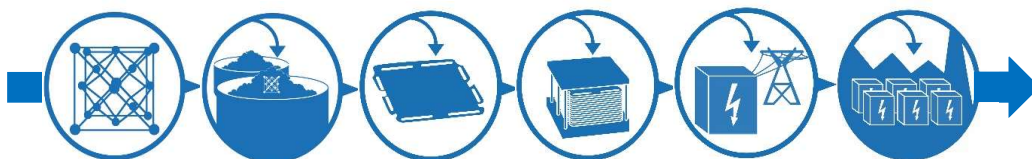
- Performance/rendement, durabilité
- Coût
- Upscaling
 - Fabrication (gigafactory)
 - tailles des briques technologiques unitaires



Exemple de l'électrolyse

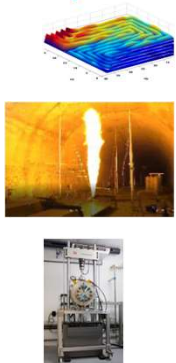
Axes de R&D pour le développement du vecteur H₂

Des matériaux jusqu'aux systèmes, via les composants et les briques technos clés



Nouveaux matériaux: catalyseurs, électrodes et membranes
 Nouveaux designs + Procédés associés
 Composants auxiliaires

Avec le support de :



- Modélisation / simulation
- Études de sécurité
- Étude du comportement des matériaux en environnement H₂
- Etudes technico-économiques €
- Études environnementales 🌍
- Recyclage

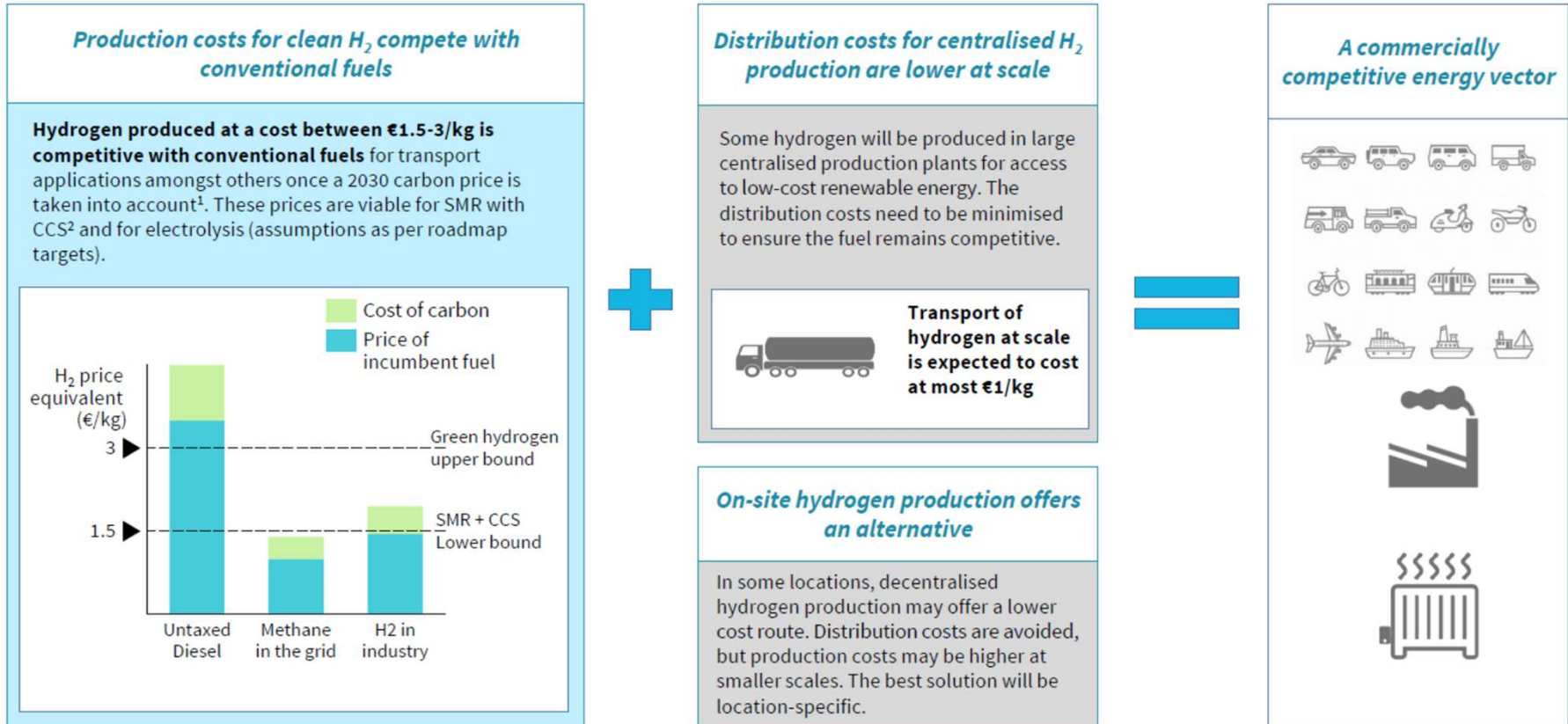
Des démonstrateurs de taille croissante

- Exemple des électrolyseurs



Conclusion

l'équation gagnante pour un vecteur H₂ compétitif



Pierre LOMBARD



Directeur commercial, McPhy



- Formation Ingénieur ESTACA, DESS de management CNAM
- Début de carrière dans les services transport multimodale rail-route, puis services aéroportuaires (Orly), de logistique support constructeur aéronautique.
- Rejoint le secteur de l'énergie depuis 2006 intégrant SUEZ, devenu GDF-SUEZ, ENGIE, succédant les postes opérationnelles, Directeur BU, Directeur Agence, Directeur Projets Complexes.
- Depuis 2016 rejoint McPhy, encore Start-Up à l'époque avant la vague « hydrogène », en tant que Directeur Commercial.



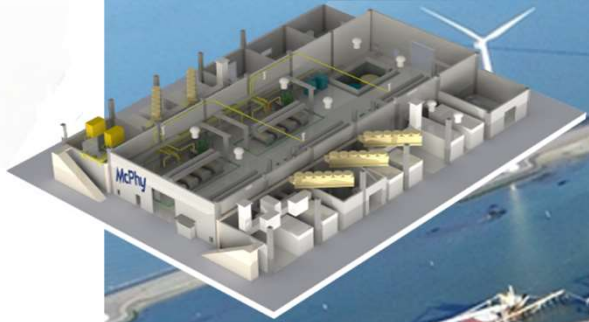
Electrolyseur McPhy : McLyzer



Stations McPhy : McFilling



DJEWELS | *The Netherlands*



CEOG | GUYANA

World's first multi-megawatt hydrogen power plant



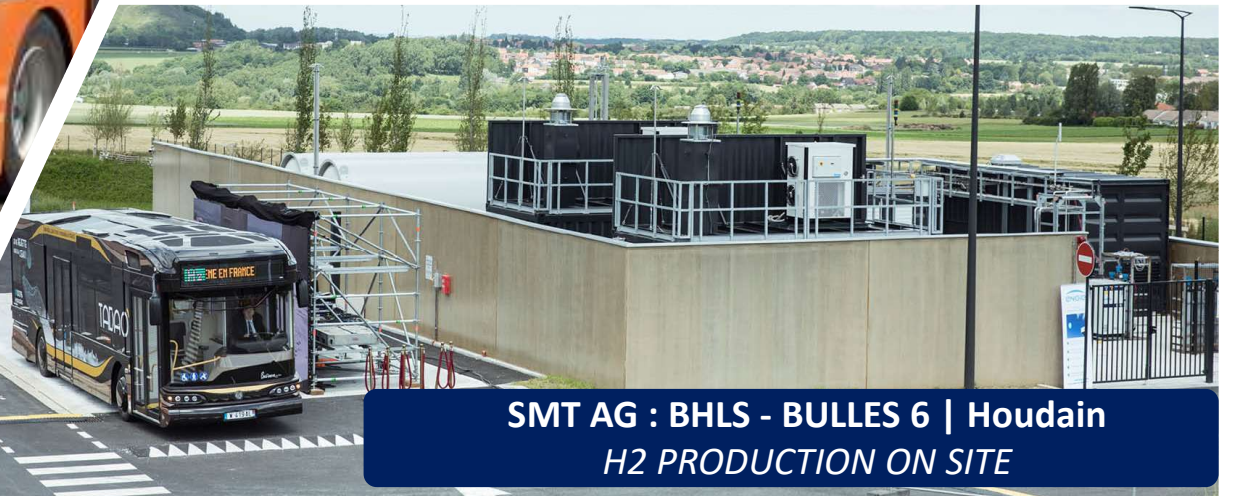
Hub Hydrogène McPhy





LE MANS METROPOLE - LINE 18

AuxHYGen - LINE 1 | Auxerre
H2 PRODUCTION ON SITE



SMT AG : BHLS - BULLES 6 | Houdain
H2 PRODUCTION ON SITE

2025 : Gigafactory d'électrolyseurs McPhy



Patrice TOCHON



R&D Manager, Genvia



- Formation Ingénieur INPG, Doctorat en Mécanique
- Début de carrière dans les systèmes thermiques au CEA de Grenoble
- En 2013, devient responsable du Département de Thermique, Biomasse et Hydrogène au CEA-Liten. Ce département, d'environ 220 personnes, se positionne comme un acteur majeur dans les réseaux énergétiques de demain, en développant des briques technologiques innovantes, les systèmes associés ainsi que la tech-éco correspondante.
- Depuis juin 2021, Patrice Tochon est responsable de la R&D de GENVIA, en charge de la recherche, du développement et de l'industrialisation d'électrolyseurs à haute température.

- > Créé le 1 Mars 2021, basé sur 40 familles de brevets et 15 ans de R&D
- > Aujourd'hui plus de 100 employés
- > Maturer, industrialiser et développer des solutions pour l'industrie avec la technologie d'électrolyse à haute température



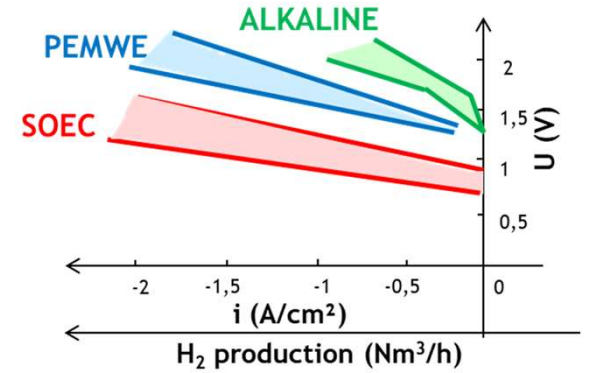
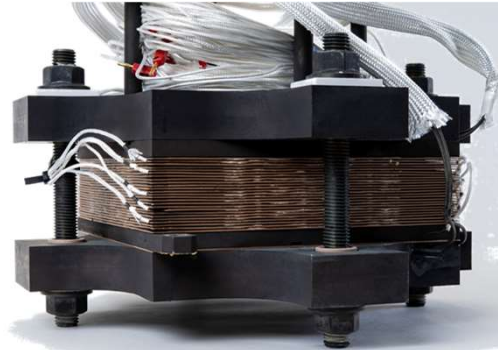
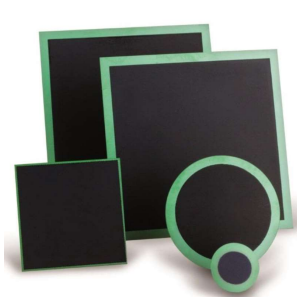
3 – sites



5 public /
private partners

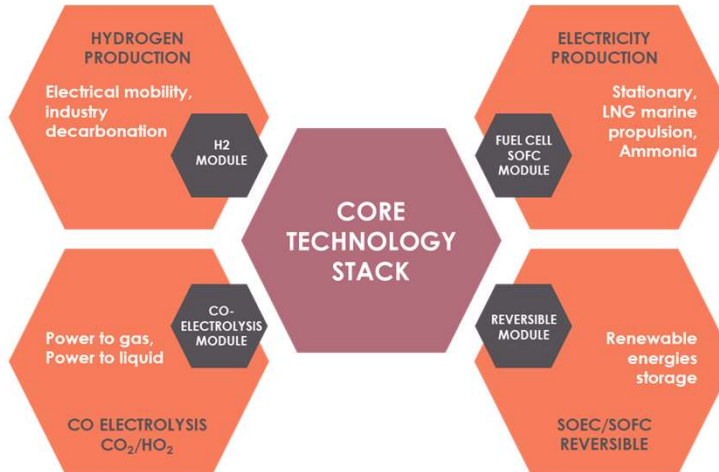


> Technologie à haut rendement modulaire et évolutive...

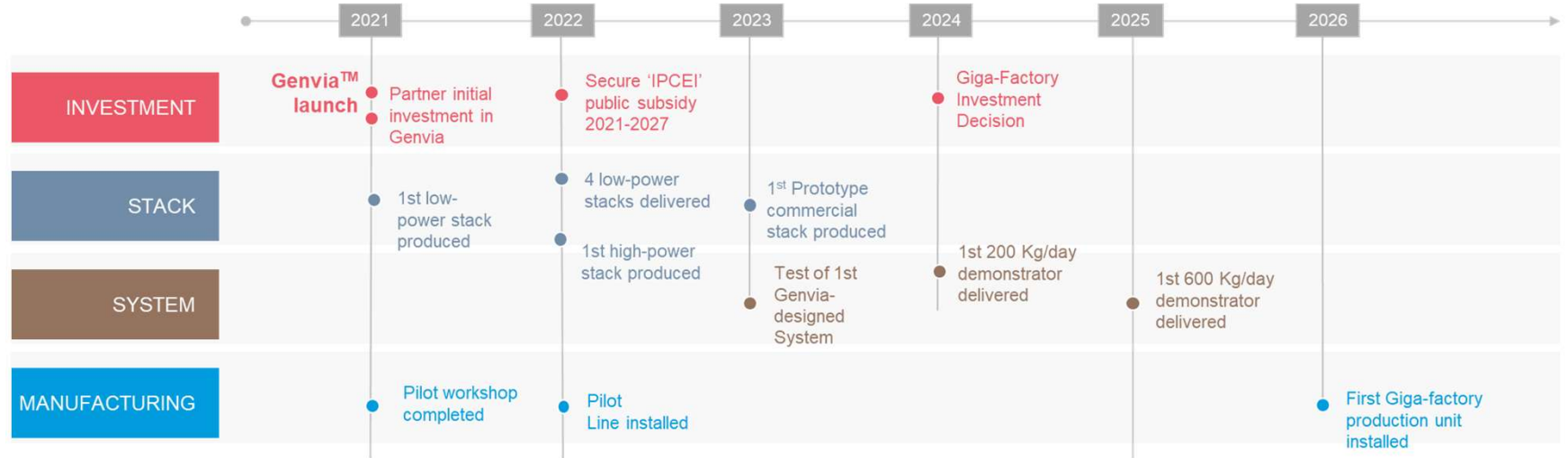


PEM / Alcalin : 4 à 6 kWh/Nm³
 EHT : < 3.5 kWh/Nm³

> ...au service de la transition énergétique



> Genvia Business Timeline



200 Kg/day pilot projects

	ArcelorMittal Plant Decarbonization
	Renewable H ₂ Hub
	EDF / Hynamics / Vicat Testing at R&D site

600 Kg/day pilot projects

	Vicat Cement Plant Decarbonization
	Swiss Steel Foundry Decarbonization
	Chemical plant Decarbonization

Thomas CAZADE



**Architecte machine,
Chef de projet technique,
ERGOSUP**



- Début de carrière dans la R&D, l'innovation et le prototypage de solutions innovantes : 9 années au sein de la Direction de la Recherche et de l'Innovation chez ENGIE sur une grande variété de sujets tels que l'Efficacité Energétique, le Smart Home, les EnR et l'Hydrogène.
- Chez Ergosup depuis 2019, je suis architecte machine et chef de projet technique en charge du développement du module 2-5 kg d'H₂/J à 200 bar. Pour les solutions de stockage massif et production basse pression, je recueille le besoin des utilisateurs et définis l'architecture des produits pour y répondre.

ERGOSUP

SOLUTIONS INNOVANTES DE PRODUCTION ET STOCKAGE D'HYDROGÈNE VERT

Présentation d'une Start-up Innovante



Technologie de rupture :
L'électrolyse fractionnée
(12 brevets internationaux)



Equipe : ~ 20 personnes
Pluridisciplinaire,
compétences sur toutes les
étapes d'un projet



Awards :

- Challenge Innovation 2030
- Solar impulse label
- Honoree CES Las Vegas



Investisseurs

ALIAD
Venture Capital
by Air Liquide

bpifrance

APVentures
ADVANCE & PIONEER

DEMETEER

KOUROS

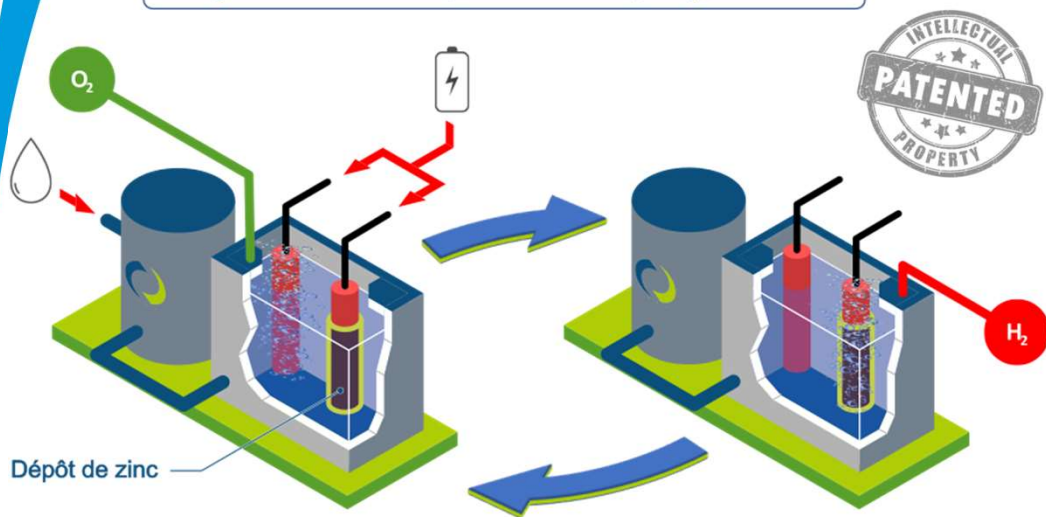
GO CAPITAL

ARKEA
CAPITAL INVESTISSEMENT



L'électrolyse fractionnée

ZHyncelec : l'électrolyse fractionnée par ERGOSUP



Dépôt de zinc

ETAPE 1

Dépôt du zinc sur la cathode
et production d' O_2

ETAPE 2

Dissolution du zinc et
production d' H_2 sous pression
(sans compresseur mécanique)

- ✓ Produire l'hydrogène **directement à haute pression** sans compresseur mécanique, grâce au découplage dans le temps des deux étapes.
- ✓ **Stocker de grandes quantités d'hydrogène sous forme liquide (ionique)** sur le long terme et en toute sécurité (P_{atm} et température ambiante).
- ✓ Haut niveau de pureté pour l' H_2
- ✓ Découplage besoin électrique et production d'hydrogène

Notre gamme haute pression

0,1 kg d'H₂/j
@ 100 bars

 **HyRIS**lab
hydrogen refueling system

 IUT Lyon 1
l'excellence technologique

 Institut Universitaire
de Technologie
Aix-Marseille Université



1 kg d'H₂/j
@ 300-350 bars

 **HyRIS**drone
hydrogen refueling system



 **DELAIR**
AERIAL INTELLIGENCE

2-5 kg d'H₂/j
@ 150-200 bars

 **HyRIS**drive
hydrogen refueling system

 **atawey**
AIRTIME, UNIVERSE, ENERGY



L'Hydrogène va être lié aux contraintes du marché de l'électricité

Le marché va passer **d'une logique de flux à une logique de stock** avec des problématiques de stockage fortes

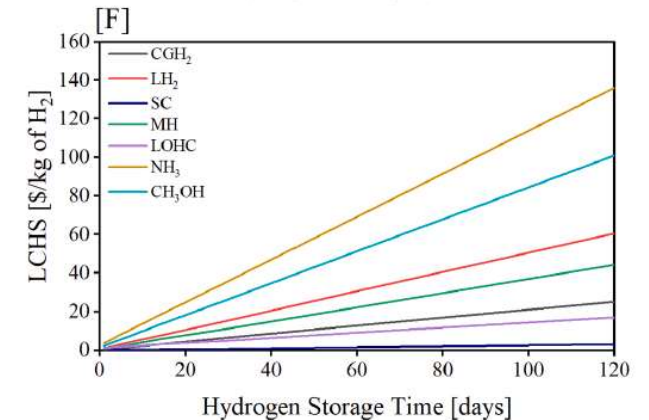
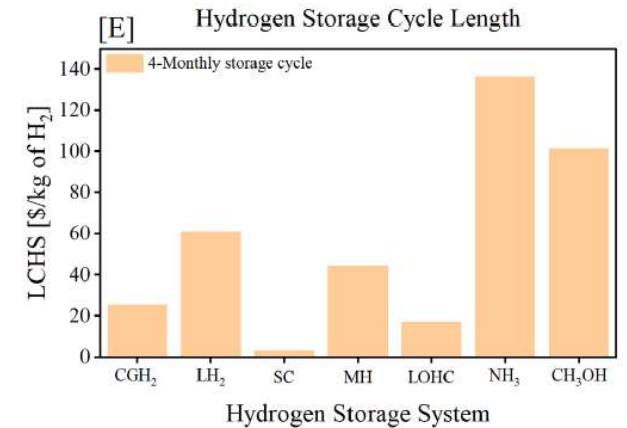
- Besoin d'hydrogène vert produit par les énergies renouvelables intermittentes
- Le Power to gaz sera utilisé pour stabiliser le réseau
- L'hydrogène vert sera affecté par la volatilité des prix de l'électricité



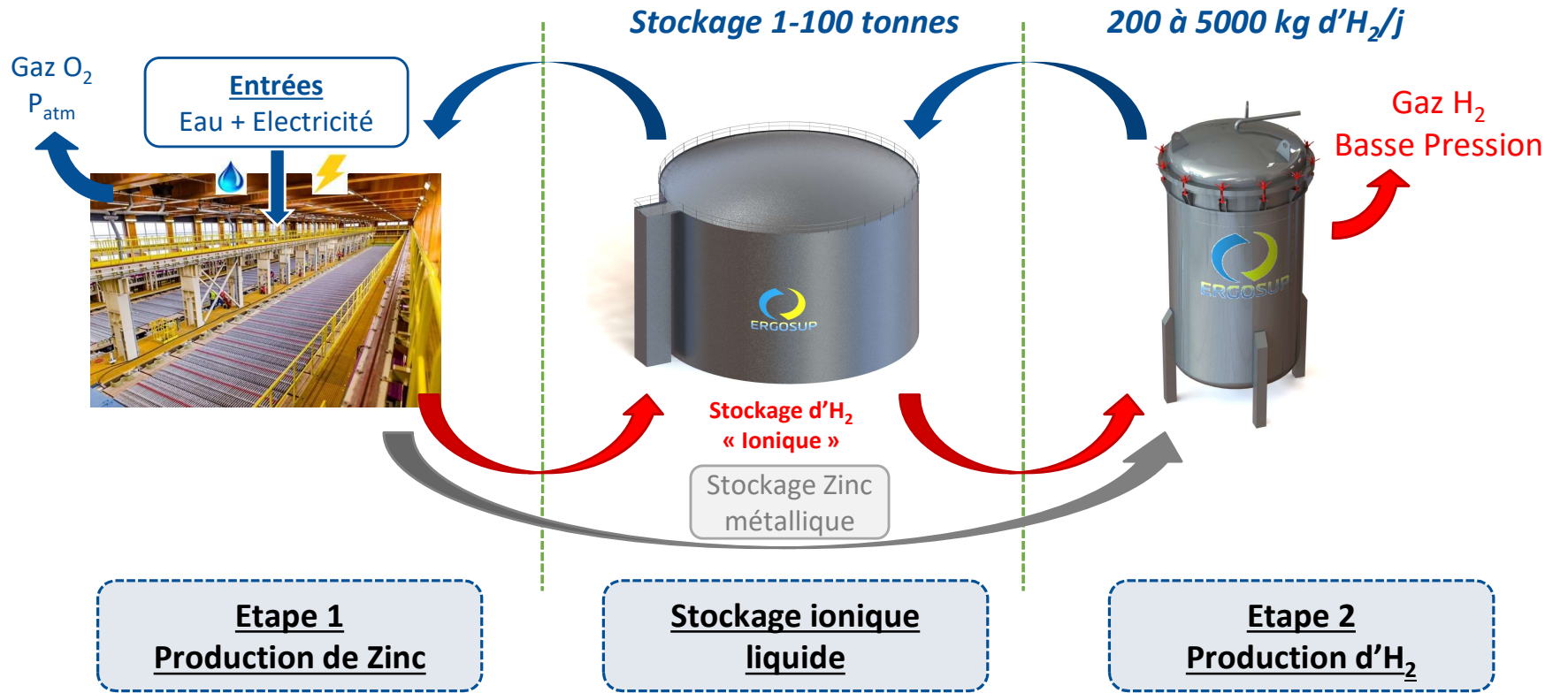
Fort besoin de stockage saisonnier (mois ou plus long) pour l'H₂
Sujet pourtant peu adressé et dont le coût est sous-estimé



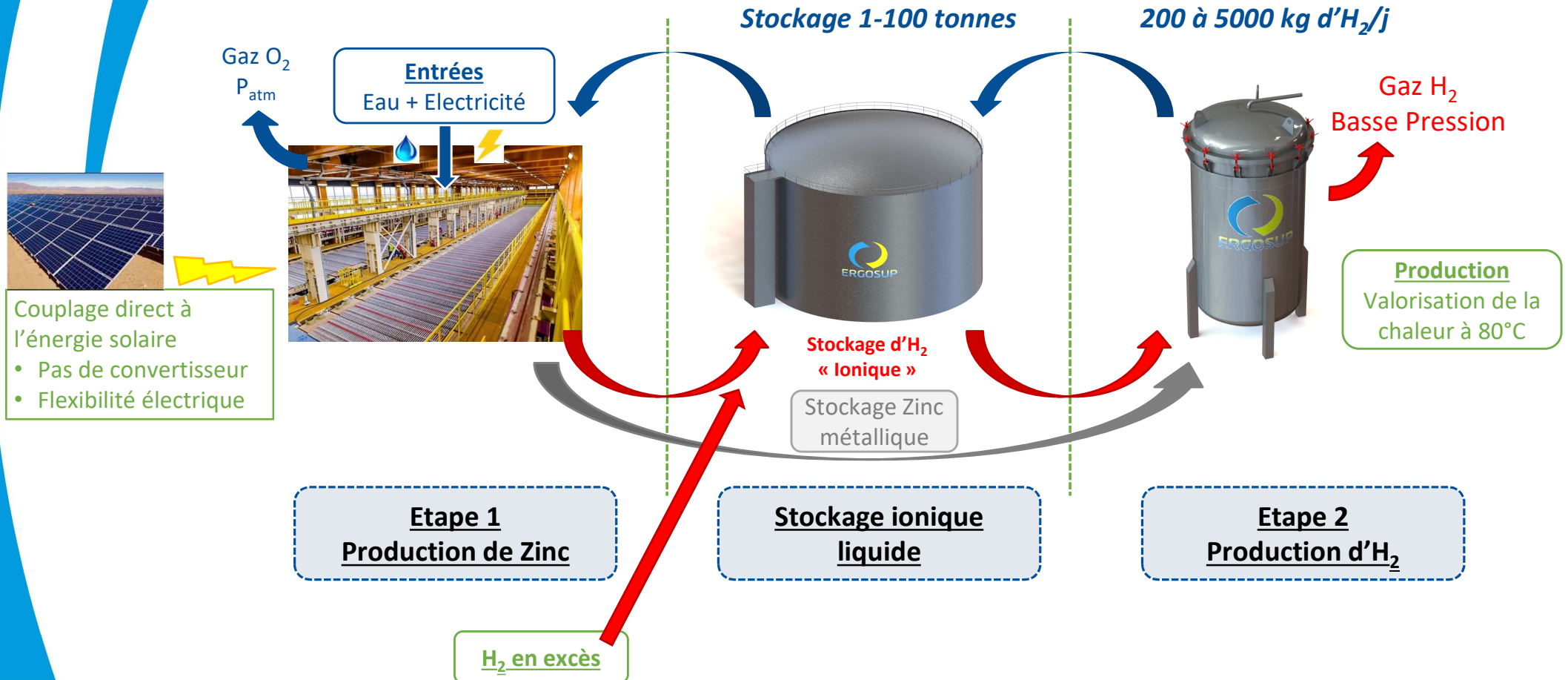
Les solutions de stockage décentralisées à grande échelle ont un TRL plutôt bas
(sauf stockage gaz HP ou liquide)



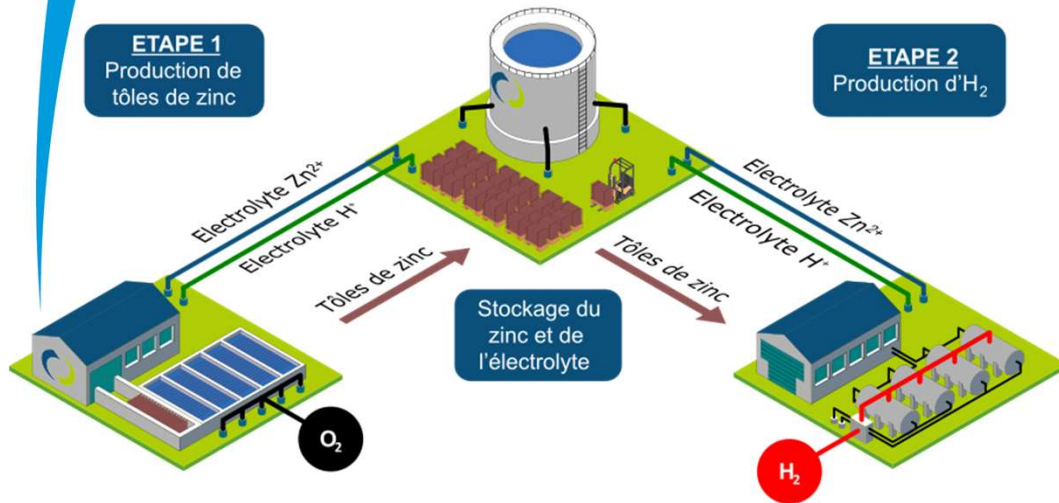
StorHyonic : sur l'ensemble de la chaîne H₂



StorHyonic : sur l'ensemble de la chaîne H₂



Les avantages de la solution StorHyonic



- Stockage saisonnier d' H_2 sous forme ionique (H^+) à pression atmosphérique et température ambiante
- Découplage du besoin électrique et de la production d'hydrogène
- Flexibilité vis-à-vis des prix de l'électricité
- Flexibilité pour la gestion du réseau électrique ou le couplage aux EnR
- Pureté élevée : pas de polluants dans l' H_2 produit (uniquement eau)

RoadMap StorHyonic

- Identification des usagers les plus intéressés
- Phase d'APS en cours pour définir un démonstrateur 200 kg d'H₂/J
- Recherche de site pour un démonstrateur 200 kg d'H₂/J
- Recherche de partenaires et financeurs pour ce premier démonstrateur.

Jules BILLIET



Directeur Général Délégué, INOCEL



- Diplômé de l'ESSEC Business School avec un cursus international dont Cornell University présente un parcours multiculturel et de l'expérience en développement stratégique et en finance.
- En particulier, Jules Billiet a occupé les responsabilités de Directeur de Cabinet et Directeur du Marketing Opérationnel du Groupe AKKA, contribuant significativement à la stratégie du Groupe et à son implémentation opérationnelle





INOCEL MISSION

Accelerate energetic transition
with efficient H₂ fuel cell
modules

We are INOCEL, passionate
people sharing one common
goal: decarbonize mobility
and stationary applications

Une image contenant herbe, montagne, extérieur, vert

Description générée automatiquement

THREE TARGETED SECTORS



MARINE



Settled in **Grenoble area**

- Headquarter
- R&D Center
- Production line





“Decarbonize the future of mobility and power generation”



INOCEL Z-SERIES +250 kW



Modular

From +250 kW to 3 MW

Compact

Cutting-edge power density

Responsive

Small battery only needed

INOCEL Z-SERIES +250 kW



SPECIFICATIONS

PEM (Proton Exchange Membrane) Fuel Cell

Net power	+250 kW
Cell count	700 (2 x 350)
Power density	> 5,5 kW/l
Efficiency	up to 60%
Dimensions (mm)	520 x 500 x 417
Mass (dry)	<100 kg
Volume	110 l
Ramp-up to max power	< 1,5 s

Specifications and descriptions in this document were in effect at the time of publication. INOCEL Development reserves the right to change specifications, product appearance or to discontinue products at any time. November, 2022.

Questions / Réponses



La Région

Auvergne-Rhône-Alpes

— **ENTREPRISES**

 **ENERGIE**
& HYDROGÈNE
pour l'industrie et la mobilité

Julie MOUGIN



Chef du Service des Technologies Hydrogène, CEA-Liten

- Docteur ingénieur en Matériaux / Electrochimie
- Après une expérience industrielle dans le domaine des matériaux pour les marchés de l'énergie et de l'automobile, rejoint le CEA/Liten en 2005
- Depuis 2010, dirige le Laboratoire puis le Service des technologies de l'hydrogène, axé sur la production d'hydrogène, le stockage et les piles à combustible
- Supervision pendant 4 ans d'une équipe en charge des évaluations technico-économiques et environnementales pour les nouvelles technologies de l'énergie au sens large.
- Missions d'expertise sur la thématique Hydrogène à l'échelle internationale: Coordinatrice de projets européens, contribution aux feuilles de route de l'Union Européenne, évaluation de programmes nationaux hydrogène pour plusieurs pays, implication dans des comités normatifs

Energie et H₂ pour l'industrie et les territoires

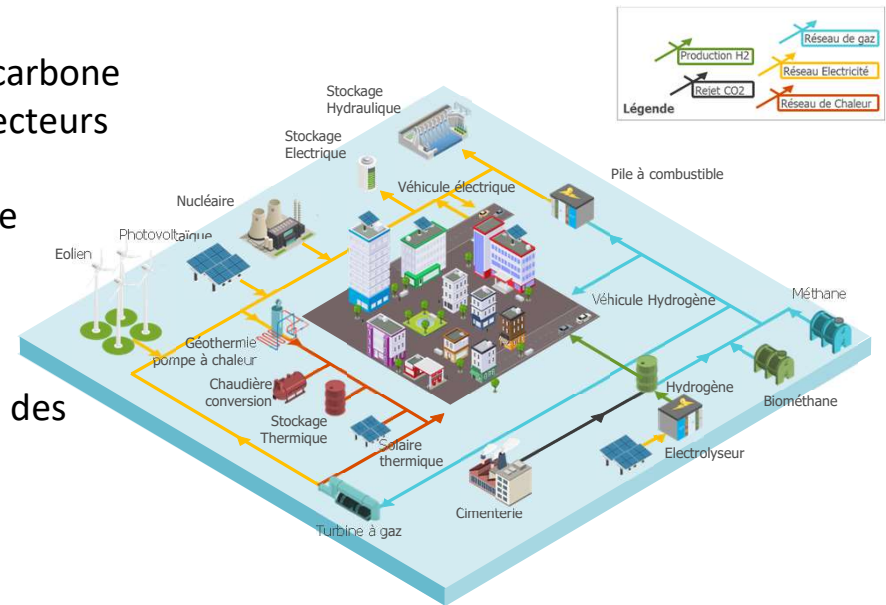
Contexte :

- Augmentation du coût des énergies et matières, de la taxe carbone
- Evolution vers une vision intégrée avec des réseaux multi-vecteurs et des hub énergétiques
- Besoin accru de flexibilité pour s'adapter à la disponibilité de l'énergie

Objectif : Amélioration de l'efficacité énergétique et décarbonation des usages, des sites et des territoires

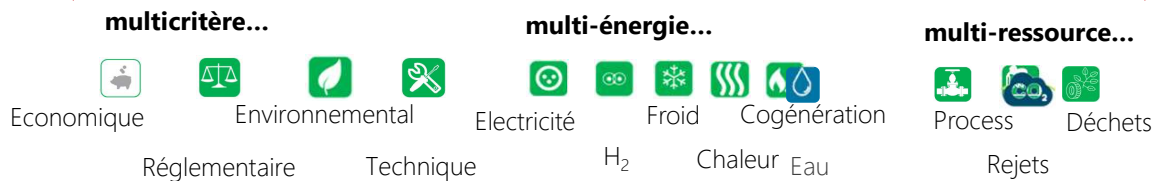
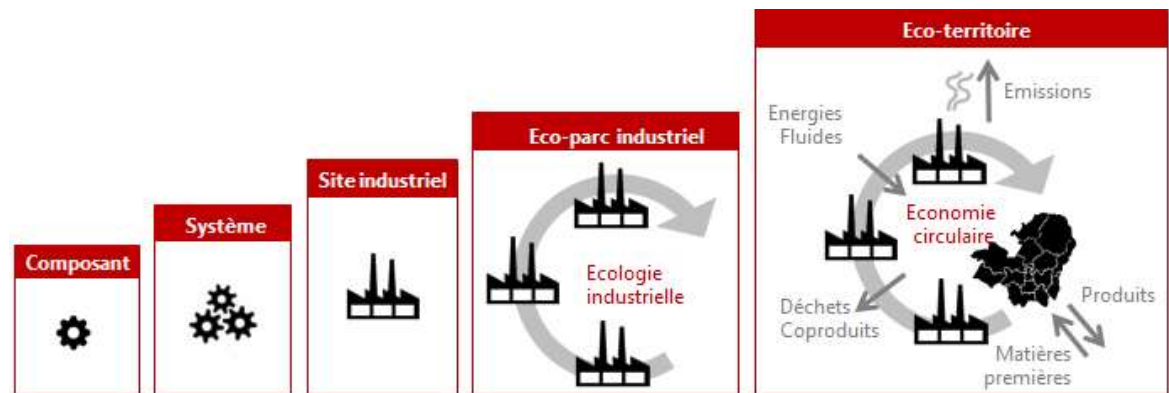
- Optimisation des procédés
- Changement de vecteurs énergétiques
- Passerelles entre vecteurs
- Récupération/valorisation de la chaleur fatale, de la vapeur, de l'eau, ...
- Capture et éventuellement conversion de CO₂, ...

- H₂ est une des composantes... et une des passerelles entre vecteurs (électricité, gaz, voire chaleur)
- Mais il existe de nombreuses autres briques à considérer
- ➔ une complexité des systèmes énergétiques importante et qui augmente



Efficacité énergétique pour l'industrie et les territoires

- Une complexité des systèmes énergétiques qui augmente...
- Pour optimiser des systèmes énergétiques :
 - Approche « expert » et « règles de l'art » insuffisante
 - ➔ Besoin d'une approche multi-critères, multi-énergies et multi-ressources, CO₂



Soutien aux acteurs industriels

Ex : Nouvelles technologies bas carbone, optimisation process

Soutien aux initiatives territoriales

Ex : Schéma directeur H₂, Pilotage réseau de chaleur

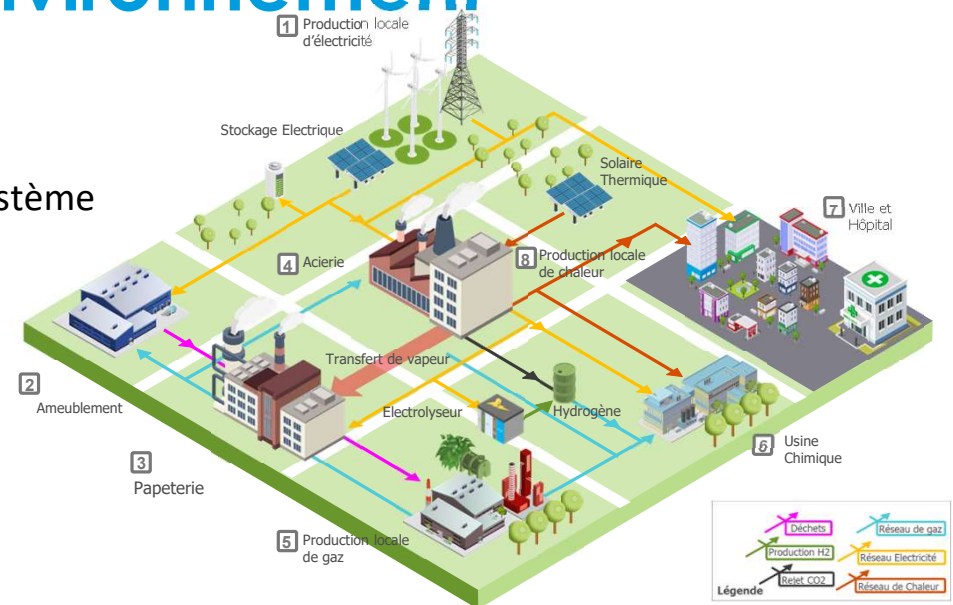
Efficacité Énergétique et décarbonation de l'Industrie dans son environnement

Approche pour l'Optimisation de systèmes complexes :

- Approche globale
- Exploration du champ des possibles en terme d'évolution du système énergétique de sites industriels dans leur environnement
 - pour satisfaire les ambitions environnementales
 - sous contraintes économiques et techniques

Résultat : Accompagnement à la définition d'un schéma directeur :

- Pour atteindre des objectifs locaux et/ou globaux
- En intégrant :
 - Des contraintes multiples : énergétiques, carbone, eau...
 - Des projections aux horizons temporels ciblés (10, 20, 30 ans)
 - Des nouvelles technologies/ressources/vecteurs
- Via :
 - Une description fine du site et de ses conditions aux limites
 - Une modélisation dynamique validée sur données réelles
 - Des optimisations sous contraintes
 - Des analyses de sensibilité multi critères selon
 - Coût de l'énergie, coût du CO2, Options techniques, degré d'autonomie énergétique, etc.
 - Evolution des besoins, du coût de l'argent, etc.



Déploiement des technologies de manière cohérente, optimisée et anticipée
Technologies Hydrogène : briques pertinentes et essentielles

Restons en contact :



Julie Mougins



Pierre Lombard



Patrice Tochon



Thomas Cazade



Jules Billiet



Anne Giraudel

Chargée d'affaires, Auvergne-Rhône-Alpes Entreprises

www.auvergnerhonealpes-entreprises.fr



La Région

Auvergne-Rhône-Alpes

ENTREPRISES

