

# Pourquoi parle-t-on autant de l'hydrogène ?

Paul Lucchese

Chair of Executive Committee Representative, Hydrogen TCP IEA  
CEA, France

Conférence La Maison de l'Énergie, Manosque  
21 mars 2024



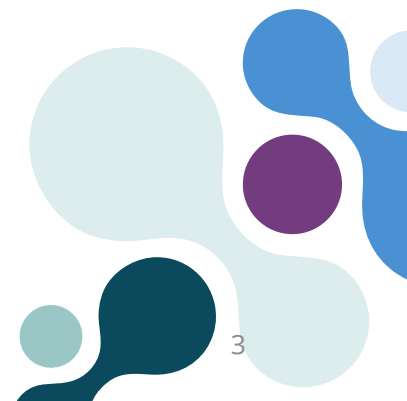
# Plan de la présentation

- L'hydrogène: ses propriétés et ses usages passés et actuels
- Le rôle nouveau que va jouer l'hydrogène décarboné dans la transition énergétique
  - Le produire, transporter, stocker et distribuer
  - À quoi va-t-il servir ?
  - Sa place dans l'atteinte du Net Zero Carbon en 2050
- Quels sont les obstacles encore à lever pour un déploiement massif
- La stratégie française et les actions en cours
- La région SUD



# L'hydrogène et ses propriétés

*Ses Usages passés et actuels*



# L'hydrogène sous sa forme molécule H<sub>2</sub>

- L'hydrogène sous forme libre est un gaz diatomique H<sub>2</sub>
- Sa formule isotopique est 1,008 (0,01 % de deutérium, 0 % de tritium) >> 10.08 ou 8 Octobre journée de l'hydrogène aux USA
- Transparent, inodore, non toxique
- Le plus léger des gaz, mais le plus énergétique en masse (par Kg)
- Il diffuse très vite (coefficient de diffusivité le plus élevé)
- **Il a des propriétés énergétiques**
  - Combustion qui produit de l'eau et de la chaleur (et des Nox si combustion dans l'air)
  - , flamme haute température 2045 °K
  - Conversion électrochimiques (eau, chaleur et électricité) dans une pile à combustible
  - Son utilisation ne produit pas de CO<sub>2</sub>
- **Il a des propriétés chimiques, notamment réductrices (exemple réduction des oxydes de fer)**
- Il a des plages en mélange avec l'air d'explosivité larges, avec une énergie d'ignition très faible
- Sa flamme ne rayonne pas ou peu dans le visible (invisible): Avantage et Inconvénient

# Les propriétés de l'Hydrogène

| Molécule<br>(Masse molaire)        | Unités             | Hydrogène<br>(2) | Propane<br>C <sub>3</sub> H <sub>8</sub><br>(44) | Méthane<br>CH <sub>4</sub><br>(16) | Essence |
|------------------------------------|--------------------|------------------|--|------------------------------------|---------|
| Masse volumique TPN                | Kg/m <sup>3</sup>  | 0,0887           | 1,87   | 0,707                              | 745     |
| HHV massique                       | MJ/Kg              | 142              |  | 55,6                               | 47      |
| HHV volumique                      | MJ/m <sup>3</sup>  |                  |  | 40                                 | 35 000  |
| TPN 1 bar                          |                    | 12,7             |  |                                    |         |
| H <sub>2</sub> 700 bars            |                    | 5960             |  |                                    |         |
| H <sub>2</sub> cryogénique         |                    | 10 080           |  |                                    |         |
| Energie minimale<br>d'inflammation | mJ                 | 0,02             | 0,26   | 0,29                               | 0,24    |
| Limites d'inflammabilité           | %                  | 4-75             | 2,1-9,5  | 5-15                               | 1-7,6   |
| Diffusivité dans l'air             | Cm <sup>2</sup> /s | 0,61             |  | 0,16                               | 0,05    |

# Risques liés à l'hydrogène: les Sapeurs-Pompiers savent comment intervenir

**FORMATION AU RISQUE HYDROGENE**  
Vos équipes savent-elles réagir en cas d'urgence ?  
Savoir conseiller / Savoir intervenir

Coursus à destination  
des services d'incendie et des  
acteurs de la filière hydrogène

Aix-en-Provence  
Session 1  
du 16 au 20 octobre 2017  
Session 2  
du 27 novembre  
au 1<sup>er</sup> décembre 2017

**H<sub>2</sub>** ENSOSP  
Ecole Nationale Supérieure des Officiers de Sapeurs-Pompiers - FRANCE



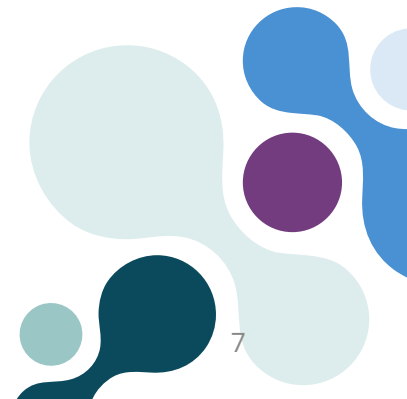
<https://www.youtube.com/watch?v=QNqtGkVm8w>

8



# L'hydrogène est présent partout dans sa forme liée

- Eau  $H_2O$  >>> source d'hydrogène
- L'ammoniac  $NH_3$
- Les hydrocarbures  $C_xH_y$ , les carburants, les plastiques ...
  - Les LOHC cas particulier
- Le méthanol, l'acide formique
- La biomasse, le vivant



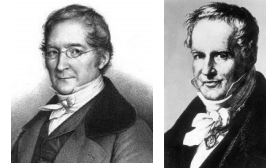
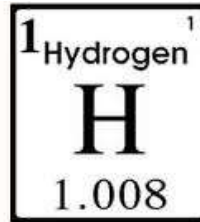
# Brève historique de l'hydrogène et de la pile à combustible



H Cavendish  
**1766**



A-L Lavoisier  
**1781**



**1804**  
LJ Gay Lussac et A Von Humbolt

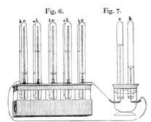


## Hydrogen découvert au 18<sup>ème</sup> siècle

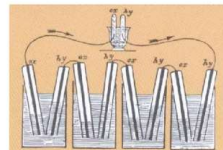


**1838-1839** Schönbein  
Principe Pile à combustible

**1839-1942**  
UK William R. Grove construit les premières cellules



page 272 of the Philosophical Magazine and Journal of Science, 1843, with William Grove's letter "On the Gas Voltaic Battery"



Philos. Mag., Ser. 3, 1839, 14, 127

## Pile à combustible au 19<sup>ème</sup> siècle

**1939-1953**  
UK Francis T. Bacon construit la première pile de puissance



**1960**  
Première application par la Nasa Programme Gemini, Apollo





# L'hydrogène, utilisé depuis le début du 19<sup>ème</sup> siècle



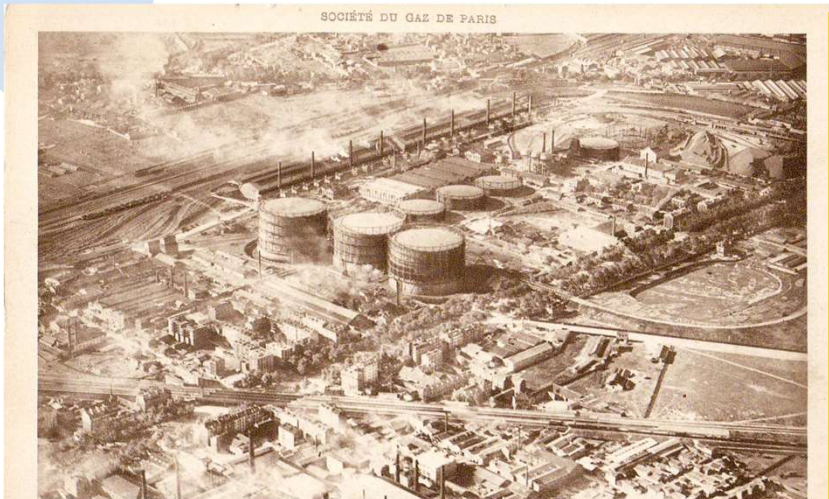
À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : l'hydrogène était un combustible « incontournable », employé dans les lampes afin de fournir de l'éclairage et également dans le "gaz de ville", où il était mélangé à de l'oxyde de carbone

Dès 1815 : gaz destiné à l'éclairage urbain fabriqué à partir de distillation de la houille : H<sub>2</sub> : 48 % - CH<sub>4</sub> : 36 % - CO : 8 % - CO<sub>2</sub> : 5 %

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle : disparition progressive de son utilisation « énergétique », avec l'apparition du gaz naturel et surtout du pétrole (excepté dans le domaine de la propulsion des fusées)



# L'hydrogène et les usines à gaz



## USINE A GAZ

**Produit par la houille.**

POUR L'USAGE DE LA VILLE ET PRÉVOIR LA CONSTRUCTION DES  
ÉTABLISSEMENTS PUBLICS ET PRIVÉS.

### PROSPECTUS.

 Une idée industrielle se présente dans cette cité avec toutes les apparences, et l'on peut dire hardiment, avec toutes les chances d'un succès assuré.

Depuis quelques temps la Société du Gaz de Paris a vu vivement agité par tous ceux qui ont adopté ce système d'éclairage; mais la mise à exécution d'un semblable projet paraissant offrir des difficultés insurmontables, qui reportaient encore loin de nous la création d'une œuvre aussi utile que profitable à notre ville.

Attendant un grand nombre de Capitalistes et d'Industriels, également honorables, nous nous en sommes remis dans nos mains, adoptant avec empressement le projet d'établissement de la nouvelle Usine à Gaz, à Aix, comme la réalisation d'une heureuse opération, utile à tous nos concitoyens et profitable à ceux qui voudront y faire une application de leurs capitaux.

L'investissement, basé sur les bases les plus sûres, avec les conditions de stabilité les plus essentielles et toutes les garanties morales et matérielles, pourra fournir largement aux besoins de la ville et des établissements publics et privés.

Le capital social sera de 200,000 fr., divisé en deux cents actions de 1,000 fr. chaque.

Il pourra être délégué des coupons de deux actions (200 fr.).

Le coupon social sera une société en son entier et en participation, qui aura une durée de vingt-cinq ans.

On appelle naturellement dans la location et la composition de cette société, en première ligne, toutes les personnes qui ont adopté, à Aix, l'usage de l'éclairage par le gaz.

La Société, établie sur ces bases et avec ces éléments, offre ce résultat, accompli avec l'aide de tous nos concitoyens, que les bénéfices qui résulteront de l'entreprise, venant dans la ville, entre les mains des associés, pour se répandre dans la circulation locale au profit de tous nos concitoyens, au lieu d'être perdus dans d'autres villes, nous avançons pour notre pays et pour ses habitants; et que l'éclairage public ou privé pourra être fourni à des prix modérés et, par conséquent, avec une grande économie pour ceux qui voudront user des produits de la nouvelle Usine.

Assurés que le placement de tout écusson sera une réalité, la Société sera définitivement constituée. L'acte de Société sera alors rédigé dans une assemblée générale d'Actionnaires, pour être ensuite converti en acte public.

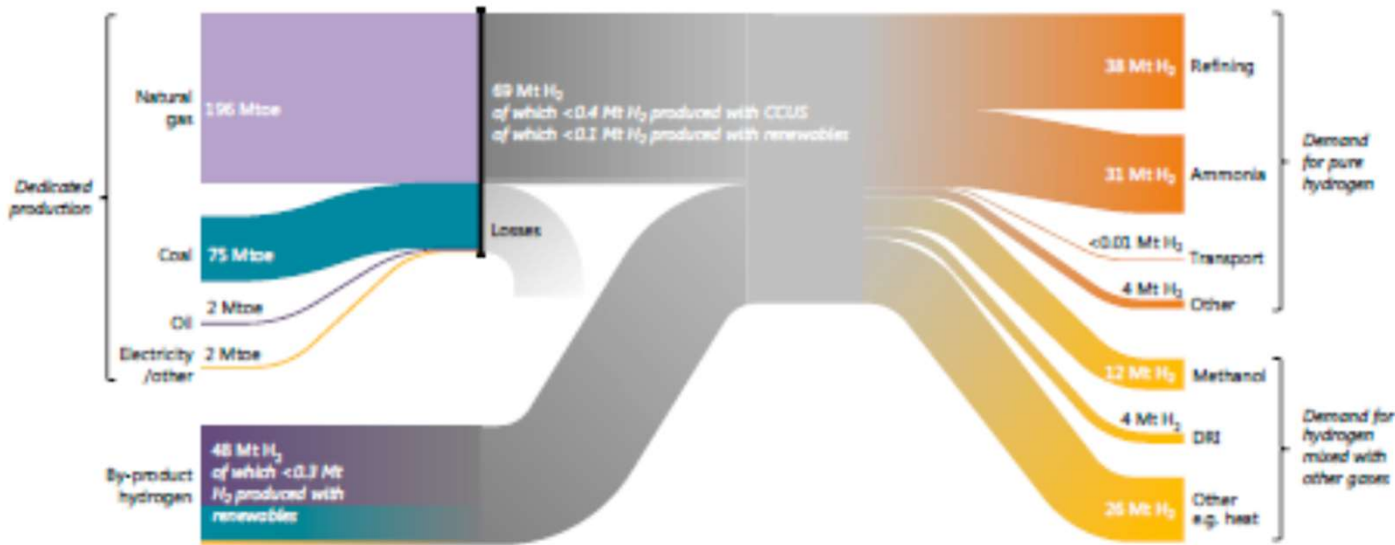
**Les souscriptions sont reçues :**



## Aujourd'hui l'hydrogène est largement utilisé dans l'industrie

### Les chaînes de valeur actuelles de l'hydrogène

Figure 6. Today's hydrogen value chains



Source IEA, 2019  
The future of Hydrogen, Webinar

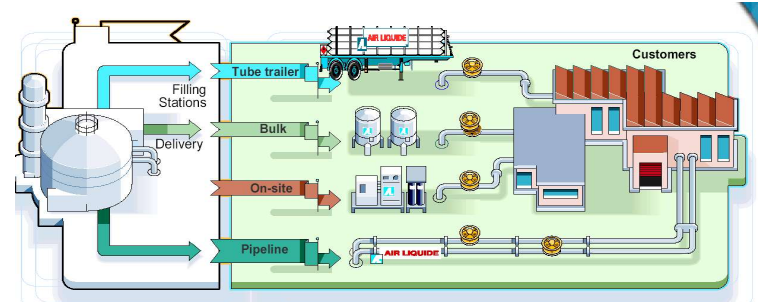
Les positions exprimées dans cette présentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA

- Production Hydrogène: 275 Mtoe, 2% conso finale énergie
- Consomme:
  - 205 Bm3 Gaz nat (6% conso. totale)
  - 107 Mt Charbon (2% conso. totale)
  - 617 M m3 eau ( 1,3% conso.totale)
- Sa production par electrolyse nécessiterait:
  - 3600 TWh électricité (Production totale Europe)
- 1 Tonne Hydrogène génère
  - 10 t CO2 si produit à partir de gaz nat.
  - 12t CO2 à partir de résidus pétroliers
  - 19t CO2 à partir d e charbon

- H<sub>2</sub>/CO production plant ( 1999 )
- With a Steam Methane Reformer
- Capacity of 32,000 m<sup>3</sup>/h of H<sub>2</sub> and 8,000 m<sup>3</sup>/h of CO



15 Nm3/h – VDB electrolyser



Compression

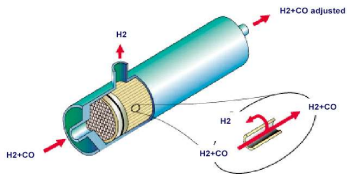
Production Hydrogène

Hydrogène Distribution

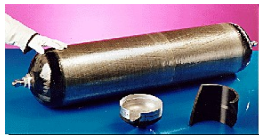
Liquefaction

Infrastructure Hydrogène:

Technologies de purification, récupération



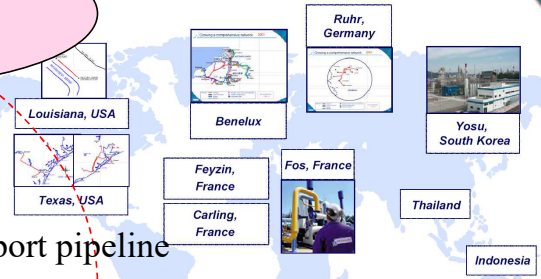
Hydrogène Stockage



Transport routier



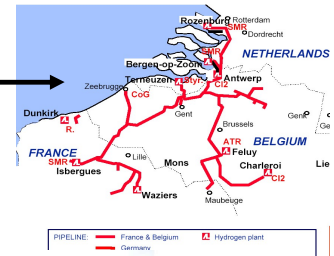
Hydrogène: Transport



Transport pipeline

12 hydrogen pipeline networks

1100 kms pipe



3400 Nm<sup>3</sup> CGH<sub>2</sub>  
300 Kg  
200b

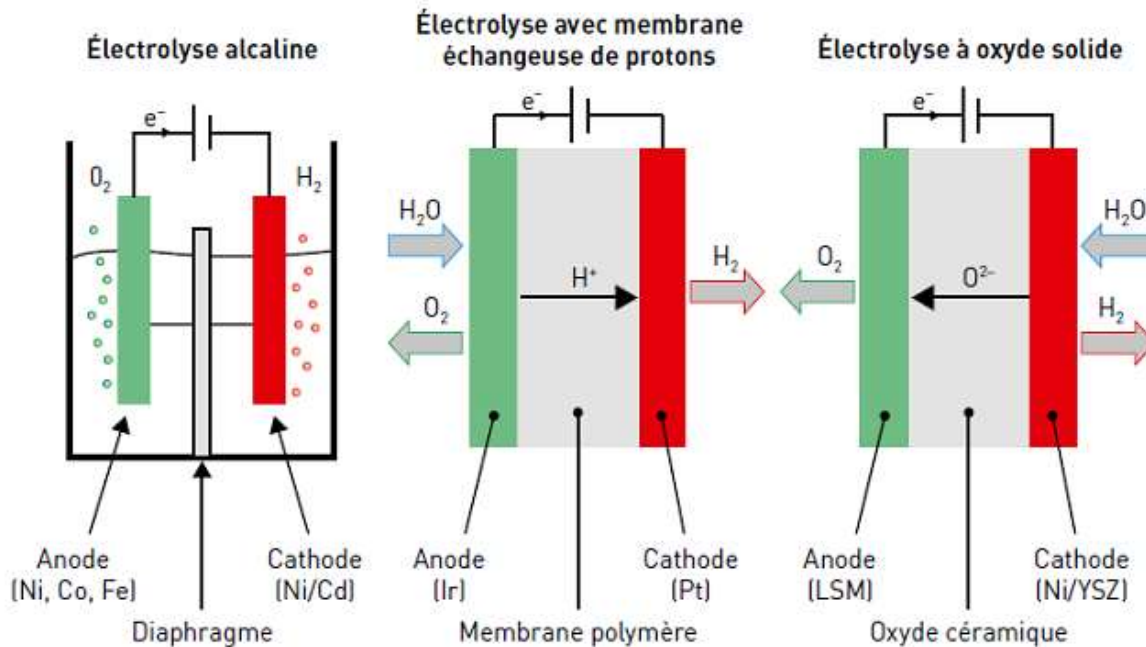
Le rôle nouveau que va jouer l'hydrogène  
decarboné dans la transition énergétique:

***Le produire, transporter, stocker et distribuer***

# Les différents procédés de production de l'hydrogène

| SOURCE HYDROGENE            | INTRANTS                                | PROCEDES  | PRODUITS                | REMARQUES   |
|-----------------------------|---|---|-------------------------|---|
| Gaz naturel                 | Gaz, eau, electricité                   | Vaporeformage, oxydation partielle gazeification<br>Reformage autothermal   | H2<br>CO2               | Procédés centralisée<br>Haute température   |
| Charbon+eau                 | eau                                     | gazeification   | H2 gaz à l'eau<br>H2+CO | Gaz de ville Syngas ou H2   |
| Fossiles                    |   | Idem Plus CCS   | H2                      | Capture et stockage du CO2  |
| Gaz Naturel                 | Energie (chaleur, electricité)          | Craquage catalytique, plasmalyse  | H2+C                    |   |
| Eau                         | Electricité<br>(Chaleur)                | Electrolyse (avec beaucoup de variantes selon les matériaux utilisés, la température, l'ion échangé, l'état solide ou liquide de l'electrolyte) | H2 O2<br>chaleur        | Le bilan CO2 dépend du bilan CO2 de l'électricité utilisée (Carbonée, nucléaire, renouvelables) |
| Eau                         | Chaleur<br>(haute et basse température) | Cycles thermochimiques  | H2 O2                   | Source chaleur nucléaire ou solaire haute température   |
| eau                         | Lumière soleil                          | Photoelectrochimie<br>Photocatalyse   | H2 O2                   | Procédés à l'échelle laboratoire  |
| biomasse                    | energie                                 | Thermolyse gazeification  | H2 CO CO2<br>H2 CO2 CH4 | Neutre en CO2   |
| Biogaz                      | energie                                 | reformage   | H2 CO2                  | Neutre en CO2   |
| Biomasse déchets            | energie                                 | Fermentation<br>(avec ou sans lumière) +reformage   | H2 CO2 CH4              |   |
| Eau micro algues, bacteries | Lumière soleil                          | Photosynthèse<br>Photobiologie<br>Procédés bio-inspirés   | H2                      | Echelle Laboratoire   |
| La terre                    |   | Réduction roches, radiolyse<br>Collecte purification  | H2                      | Hydrogène naturel<br>Evaluation des reserves et   |
| Eau et terre                | Matériaux (oxydes fer,,,) energie       | Geo Inspiration   | H2                      | À l'état très prospectif  |

# Les electrolyses



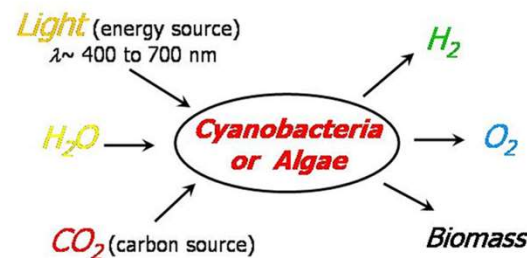
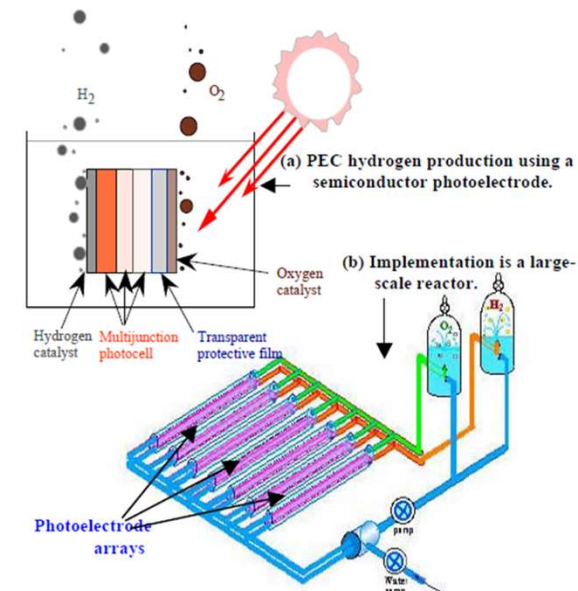
|         |  |  |   |
|---------|--|--|---|
| Anode   | $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{HO}_2 + 4\text{e}^- + \text{O}_2$         | $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2$ | $\text{O}^{2-} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^-$           |
| Cathode | $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^- + 2\text{H}_2$ | $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$                      | $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$ |

# La production à partir d'eau et de photons

## Conversion directe de l'énergie solaire

-la **photo-électrolyse** (ou photo-électrochimie), qui produit de l'hydrogène par éclairage d'un photocatalyseur à semi-conducteur immergé dans un électrolyte aqueux ou dans l'eau / semi-conducteurs à large gap (comme TiO<sub>2</sub> et AsGa) fournissent la tension suffisante pour la décomposition de l'eau mais ils n'absorbent qu'une partie du spectre lumineux et le rendement de conversion reste faible : 10% ... mais direct

la **photo-biologie** (ou bio-photolyse) : production d'hydrogène à partir de la photosynthèse / Certaines cyanobactéries, comme l'algue verte *Chlamydomonas reinhardtii*, peuvent produire de l'hydrogène en alternant des phases aérobies de constitution de biomasse et des phases anaérobies de production d'hydrogène due à la présence d'hydrogénases (enzymes) à forte activité.

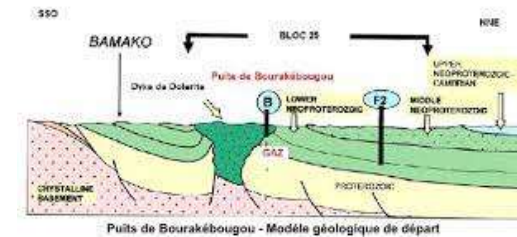


Rendements : 0,5 à 5% H<sub>2</sub>  
(jusqu'à 24% avec catalyseurs ...)



# Hydrogène naturel: que sait on ?

- Au-delà de l'hydrogène fossile stocké ? Hydrogène produit par bactéries
- Une partie se recombine avec CO<sub>2</sub> >> carbonate
- Potentiel stocké et le flux à la surface semble considérable
- Pays prometteurs: Afrique, Australie, Brésil, Maroc? Namibie? Nouvelle Calédonie, Pyrénées, Philippines
- Recherche universitaire intense
- QQ start up: HYDROMA (Mali), HNAT, NH2E(USA), 45-8 5f°
- Engie explore au Brésil
- Permis d'exploration délivrés Australie, France USA



*Les positions exprimées dans cette présentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA*

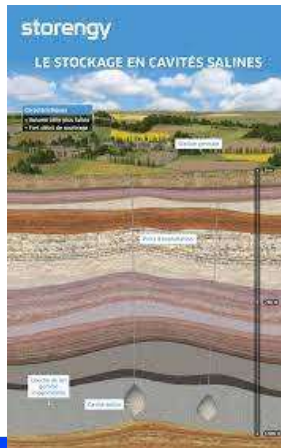
# Transport Distribution stockage



3400 Nm<sup>3</sup> CGH2  
300 Kg  
200b



45000 l LH2  
3200 Kg  
20°K



*Les positions exprimées dans cette présentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA*

# Les différentes formes de stockage: gazeux sous pression, solide, cryogénique liquide (-253°C)

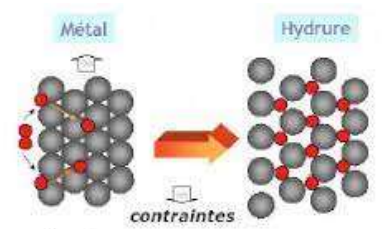
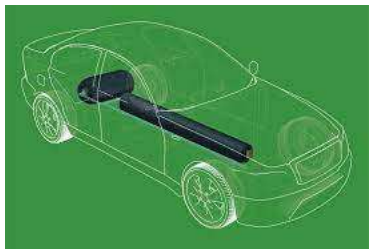
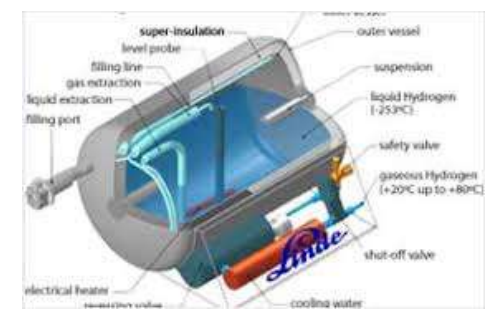


figure 14 : Phénomène d'hydruration qui engendre des contraintes. [8]



Les positions exprimées dans cette présentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA

# Le stockage massif et souterrain de l'hydrogène

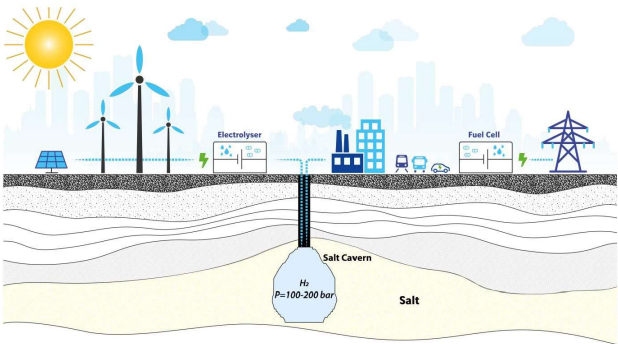


Figure 1: Hydrogen storage in salt cavern

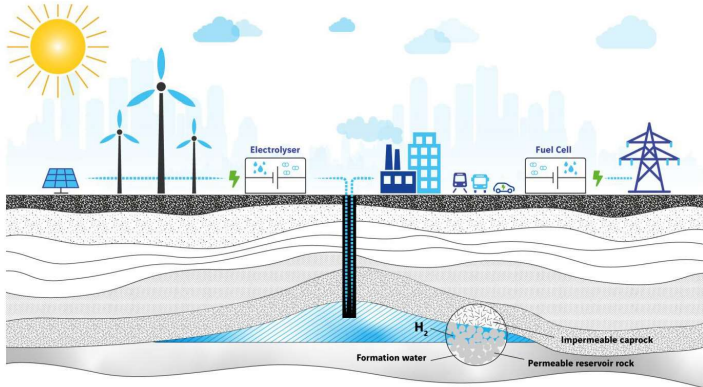


Figure 2: hydrogen storage in porous rock (Courtesy Hystories)

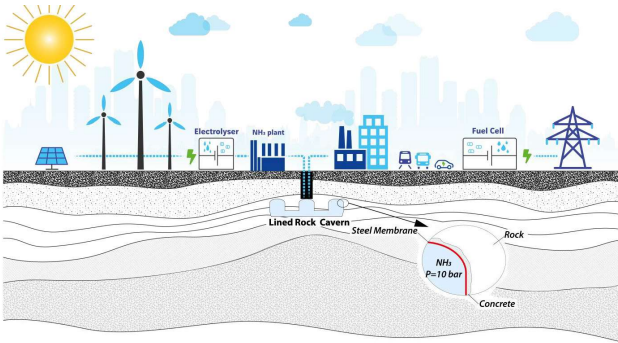
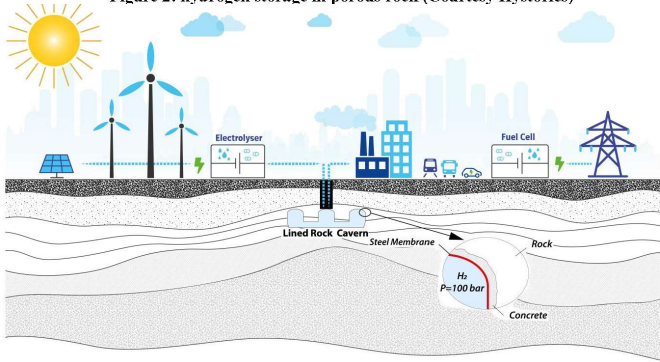


Figure 3: Lined Rock Cavern for ammonia storage



Source Geostock

Les positions exprimées dans cette présentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA

# Les réseaux d'hydrogénéoduc sont le moyen le moins cher de transporter des quantités massives d'hydrogène par voie terrestre

## 3.3.2 Corridor B — Southwest Europe and North Africa

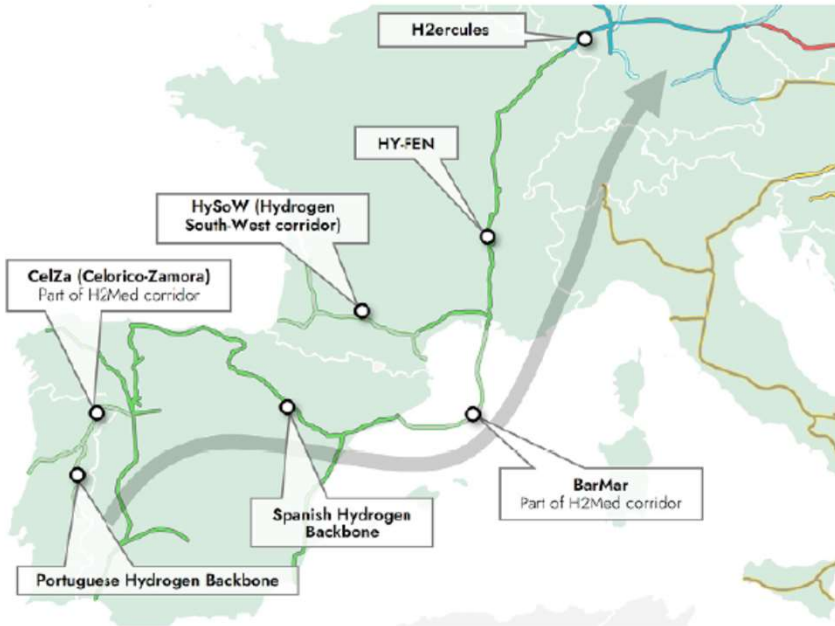
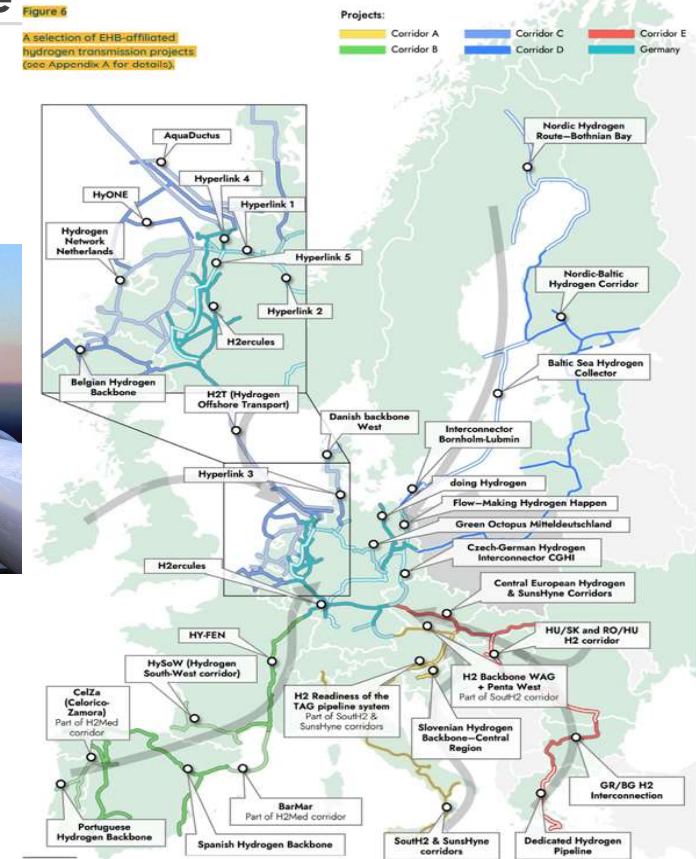


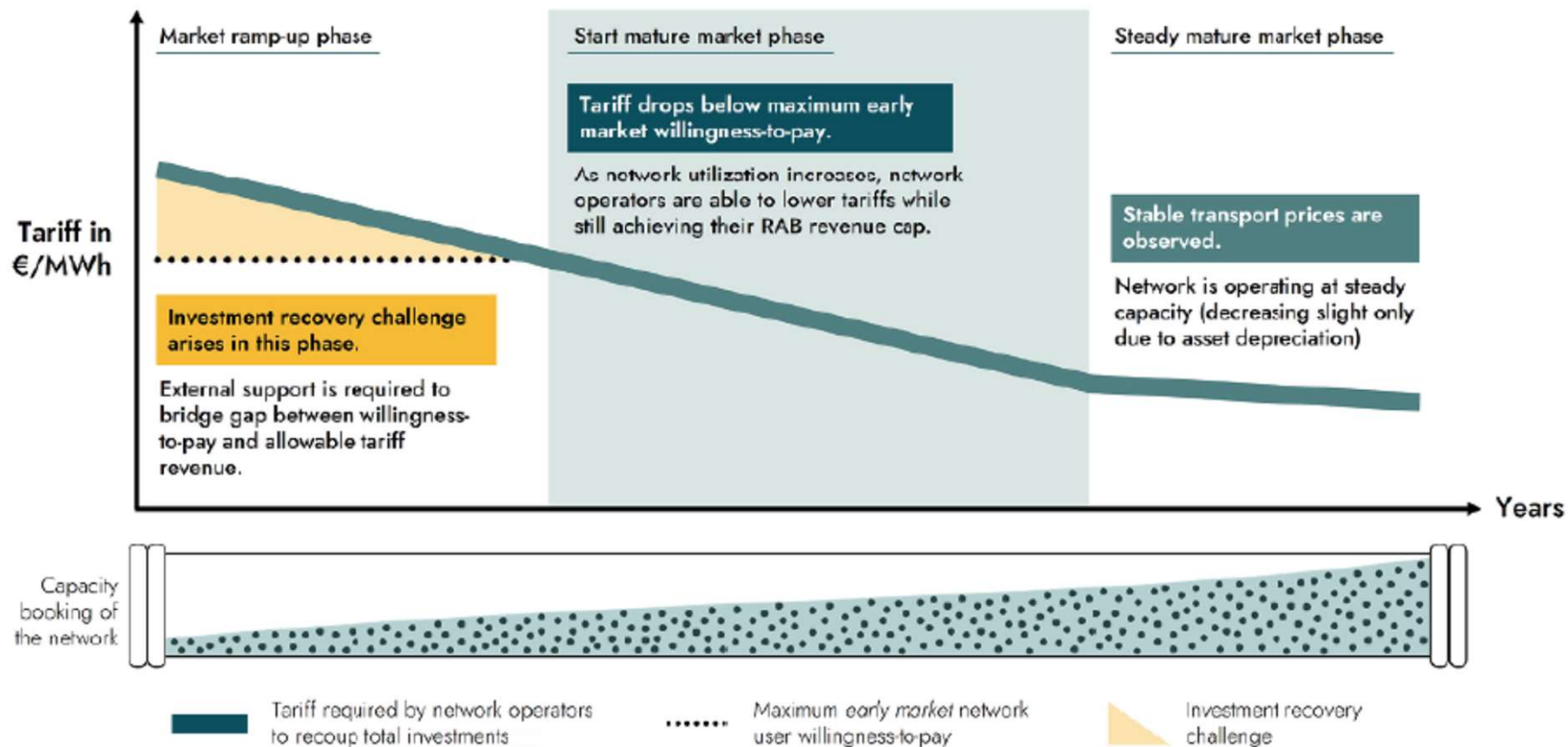
Figure 6

A selection of EHB-affiliated hydrogen transmission projects (see Appendix A for details)



Les positions exprimées dans cette présentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA

# Le modèle économique est complexe durant la phase de montée en puissance



Les positions exprimées dans cette présentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA

# Le transport très longue distance de l'hydrogène par voie maritime

## On passe par une molécule intermédiaire

**Port d'export hydrogénation:**  $H_2 + X \gg H-X$  liquide transport longue distance  $\gg \gg$  **Port d'import Dé-hydrogénation:**  $H-X \gg H_2 + X$



Ammoniac NH3



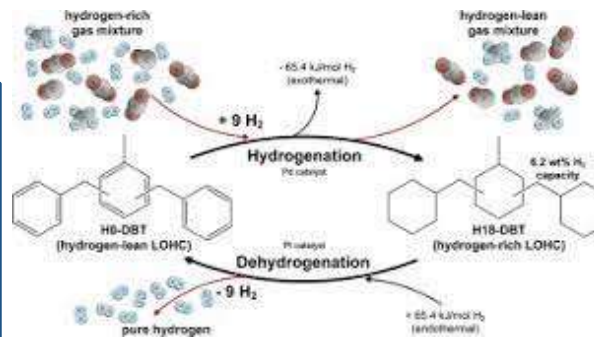
Méthanol CH3-OH

Acide formique

LOHC

Hydrosil

H2 cryogénique



- Propriétés d'une molécule idéale
- peu de pertes
  - Hydrogénation/dehydrogénation
  - facile à transporter
  - Non toxique
  - Contient beaucoup H

*Les positions exprimées dans cette présentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA*

---

On sait produire de l'hydrogène...décarboné, on sait le transporter,  
stocker distribuer

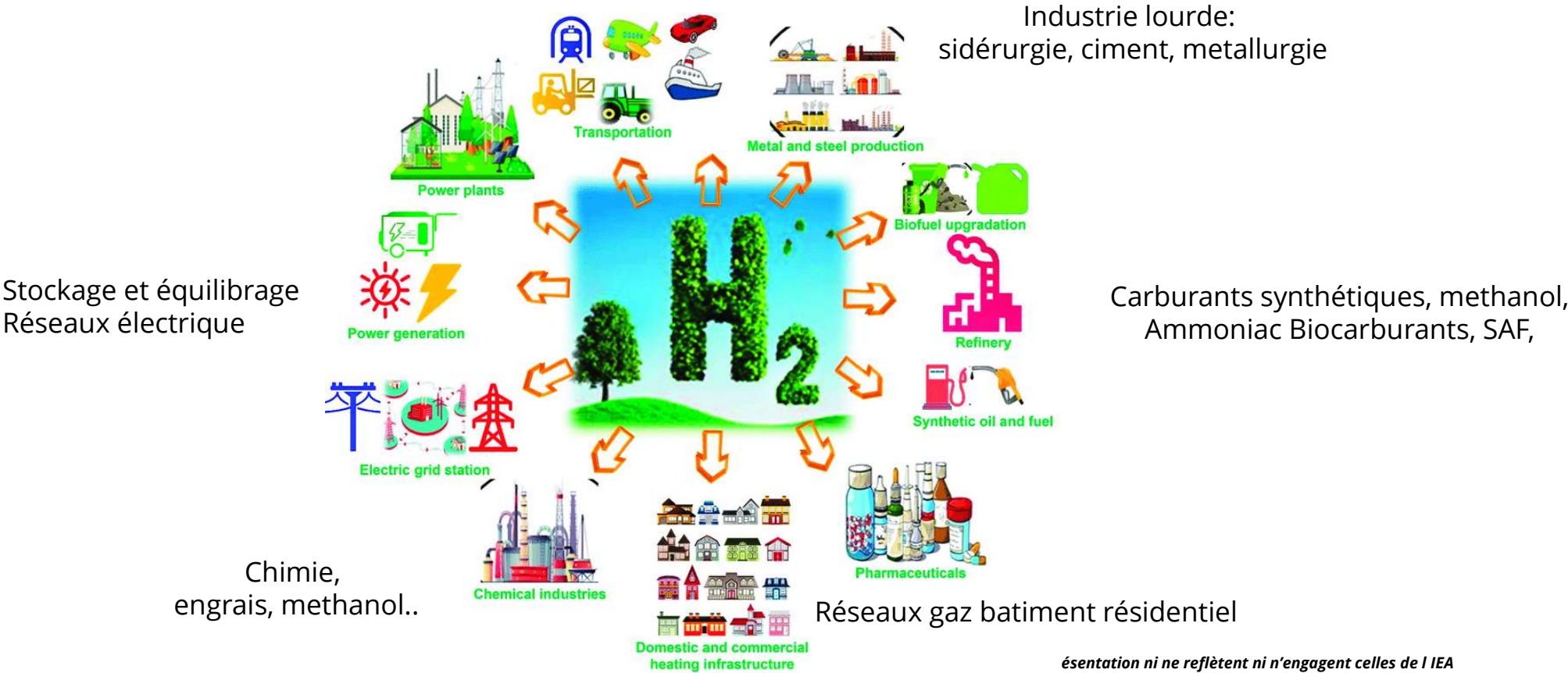
Mais pourquoi en a-t-on besoin  
pour atteindre le Net Zero carbon en 2050?

*Les positions exprimées dans cette présentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA*



# Les applications de l'hydrogène et de ses dérivés

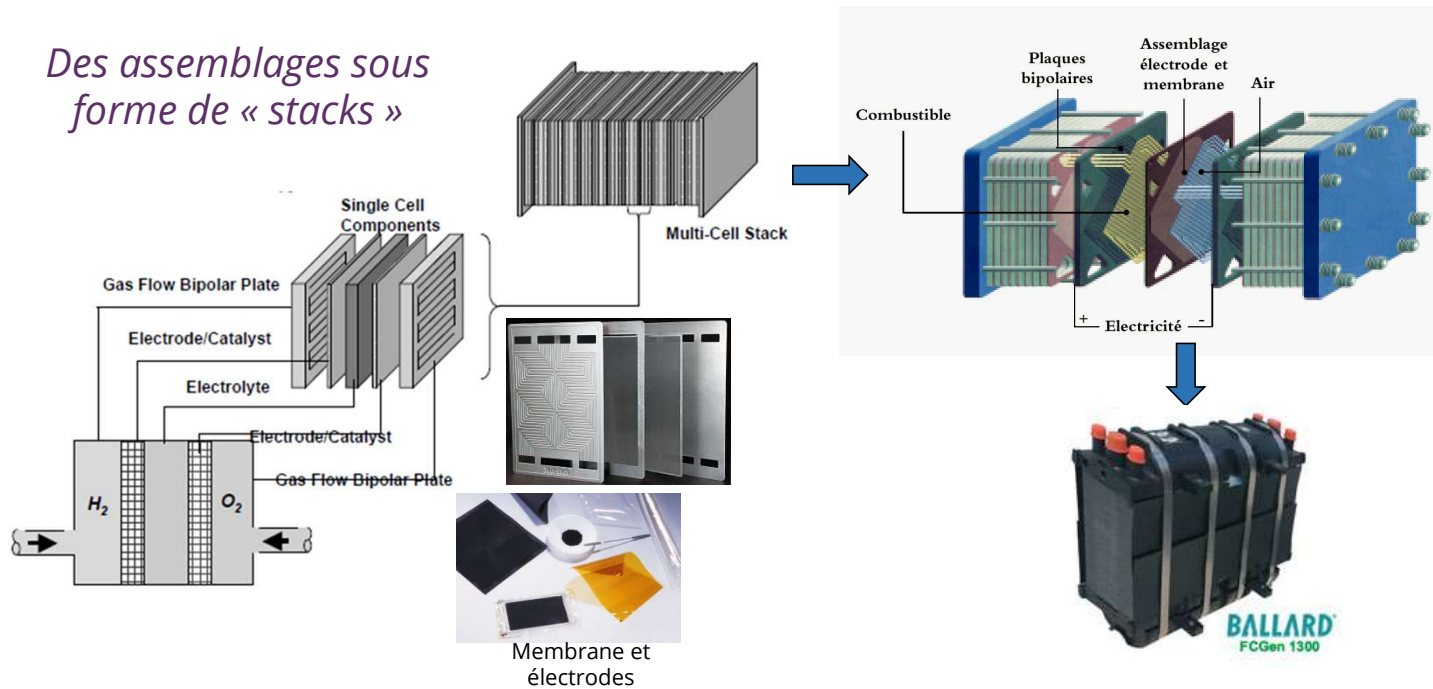
## Mobilité



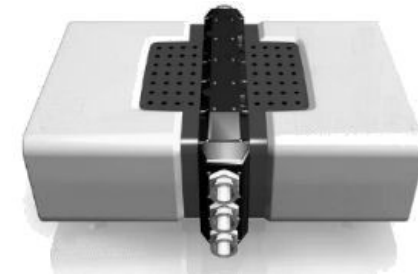
ésentation ni ne reflètent ni n'engagent celles de l'IEA

# La pile PEMFC / de la cellule à la pile

*Des assemblages sous forme de « stacks »*



GENEPAC (GENérateur Electric à Pile A Combustible) première pile à combustible issue du partenariat entre PSA Peugeot Citroën et le CEA (janvier 2006)



# Le véhicule à pile à combustible



Exemple de la  
Toyota Mirai



Batterie NiMH

Electronique de puissance



Moteur électrique

Autonomie :  
500 km



Système pile à combustible (114 kW)  
+ convertisseur



2 réservoirs d'hydrogène  
(5 kg, 700 bar)



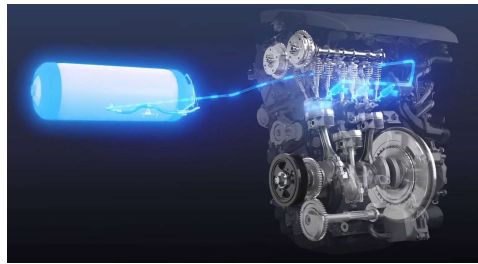
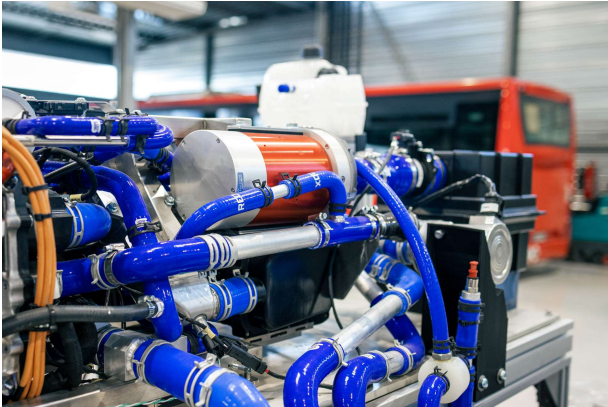
# *Beaucoup d'applications dans la mobilité terrestre*



# La flotte de 500 taxis à Paris La station de recharge Porte de Saint Cloud



# Les moteurs à combustion Hydrogène reviennent en force



- Volvo, Cummins, Hyundai Bosch etc.. développent des moteurs à Hydrogène pour la mobilité lourde

- Des start up Nam X sur la mobilité légère

## • Avantages

- Technologie existante,
  - Déploiement plus rapide, retrofit, économie circulaire
  - Rendements ont progressé 40-45%
  - Hydrogène moins pur moins cher (98% au lieu de 99,99 % pour une pile)
  - Pas de métaux nobles
  - Conservation de la filière automobile, savoir faire
- Nox traités

Principal obstacle: infrastucture H2

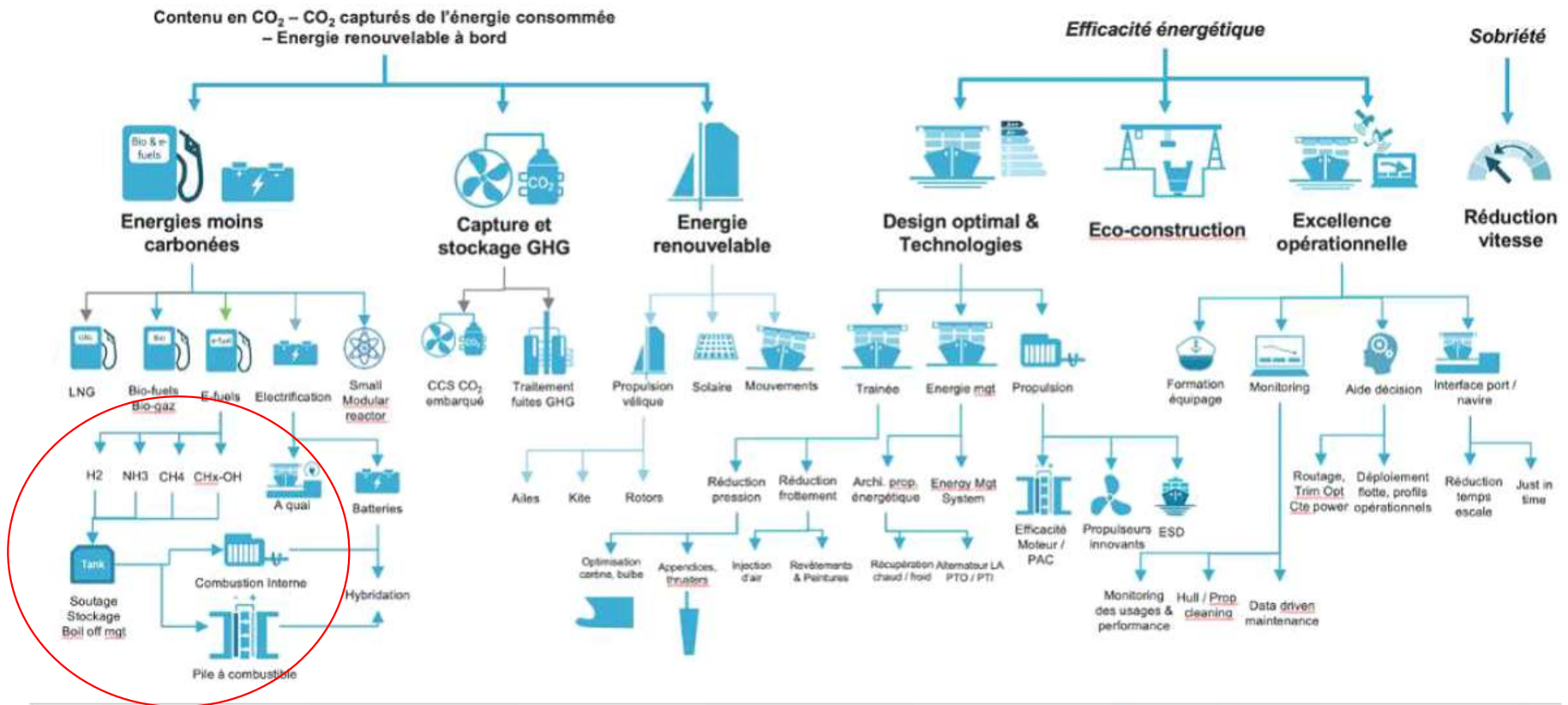


N A M X

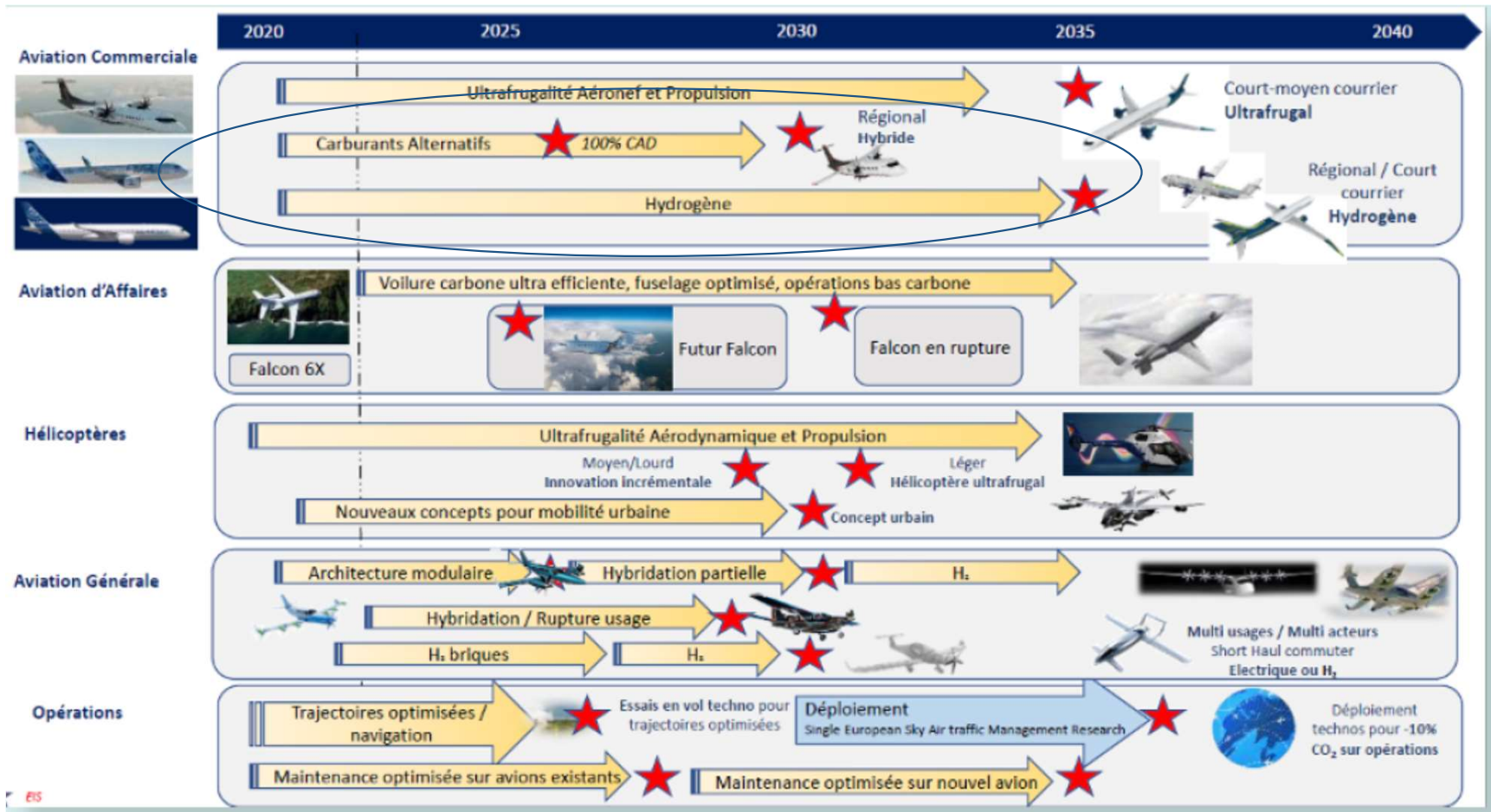
COMMUNIQUE DE PRESSE

NAMX fait le choix du thermique hydrogène pour rendre accessible la mobilité verte premium.





Les principaux leviers de décarbonation du maritime (source MEET2050)





# Les projets dans l'aérien

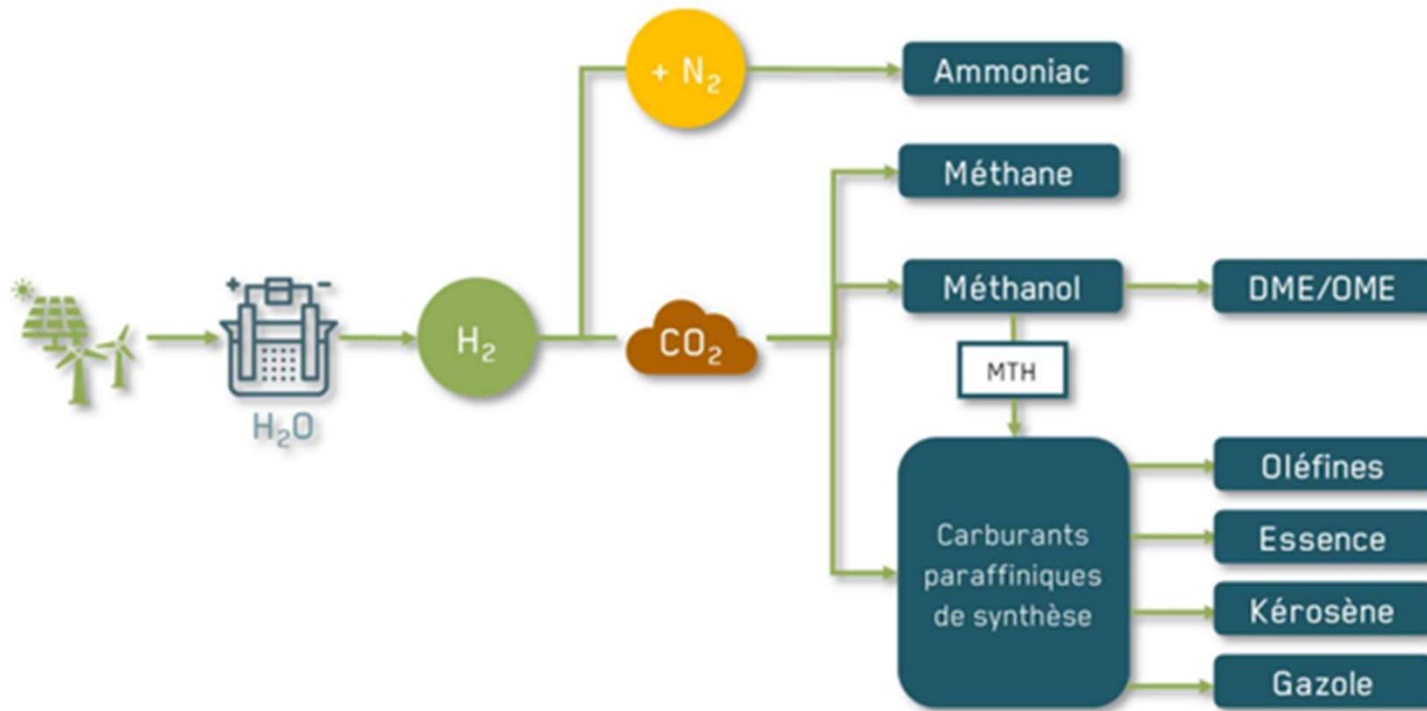


**Introducing Airbus ZEROe**

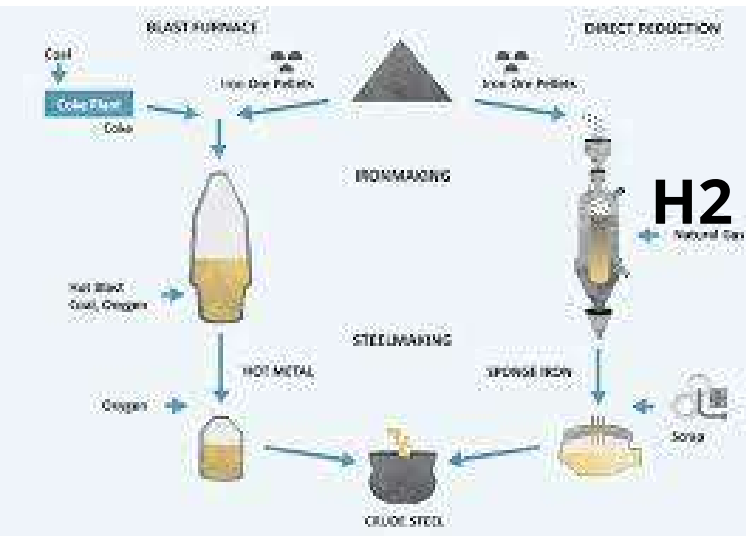
| Configuration     | Passengers | Range    | Hydrogen System                             |
|-------------------|------------|----------|---|
| Turbo-prop        | <100       | 1,000+nm | High-Pressure Storage & Distribution System |
| Blended-Wing Body | <200       | 2,000+nm | Low-Pressure Storage & Distribution System  |
| Turbofan          | <200       | 2,000+nm | Low-Pressure Storage & Distribution System  |

**AIRBUS**

# Les carburants de synthèse: débouchés massifs pour l'hydrogène décarboné



# La fabrication de l'acier décarboné: l'hydrogène est une partie de la solution



## Projet Gravit'hy

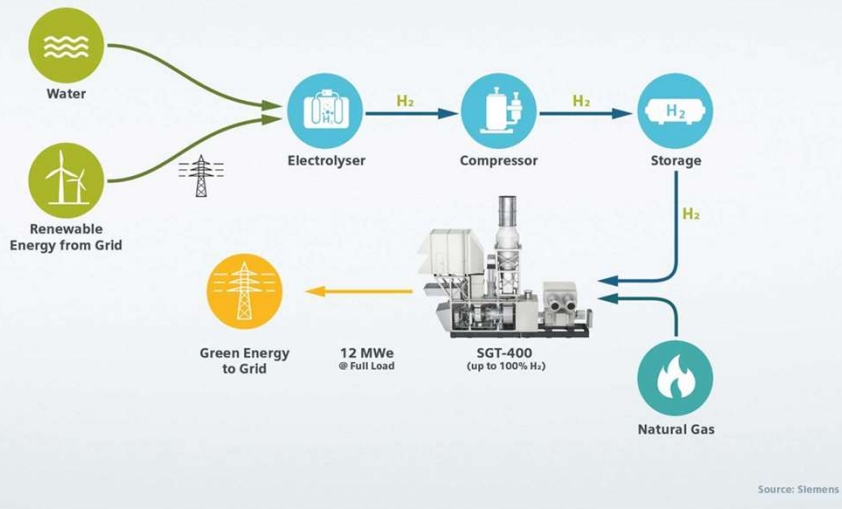
- Fos sur Mer
- 2 Mtonnes DRI
- 700 MW électrolyseur
- 3000 emplois créés



# L'équilibrage des réseaux et la production électrique

## EU funded project HYFLEXPOWER

Power-H<sub>2</sub>-Power Pilot Demonstration with Advanced H<sub>2</sub> Gas Turbine



|                                     | (1) Diffusion  | (2) DLE   | (3) Micromix                           |
|-------------------------------------|--|---|--|
| Combustor                           | <p>Hydrogen and natural gas</p> <p>Hydrogen burning diffusion burner</p> | <p>Hydrogen and natural gas</p> <p>Lean premixed burner<br/>Supplemental burner</p> | <p>Hydrogen</p> <p>Micromix burner</p> |
| Hydrogen ratio %vol                 | 0-100 flexible   | 0-40 flexible   | 100                                    |
| NOx reduction method                | Water/steam spraying   | Lean-premixed combustion, Supplemental combustion                                   | Microflames                            |
| NOx emissions (O <sub>2</sub> =15%) | 84-130 ppm   | 15-25 ppm   | 84 ppm                                 |

# Exemple du Japon

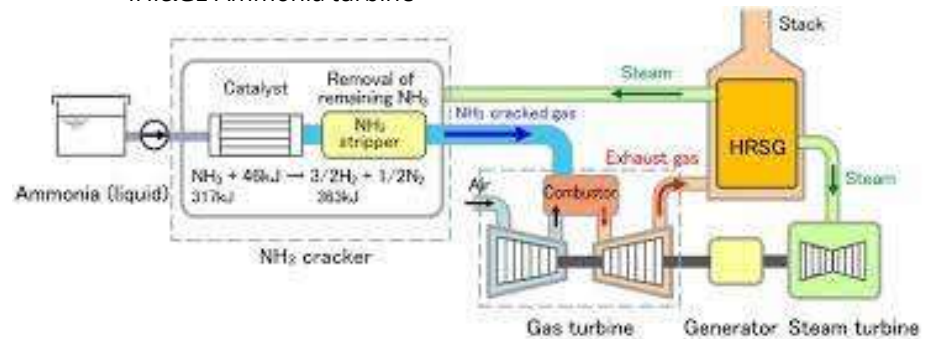
- Pays qui devra toujours importer une part significative de son énergie décarboné, complétée apr du nucléaire et un peu de renouvelables
- Import d'hydrogène par voie maritime , de NH3, de méthanol
- Développement de chaines logistiques
- Diversification des imports
- Passage de MOU avec Australie, Pays du Golfe, Amérique du Sud
- Développement de turbine NH3, H2, de réseau Hydrogène
- Fuel cell cars
- Hydrogen pour les applications résidentielles



IHI&GE Ammonia turbine

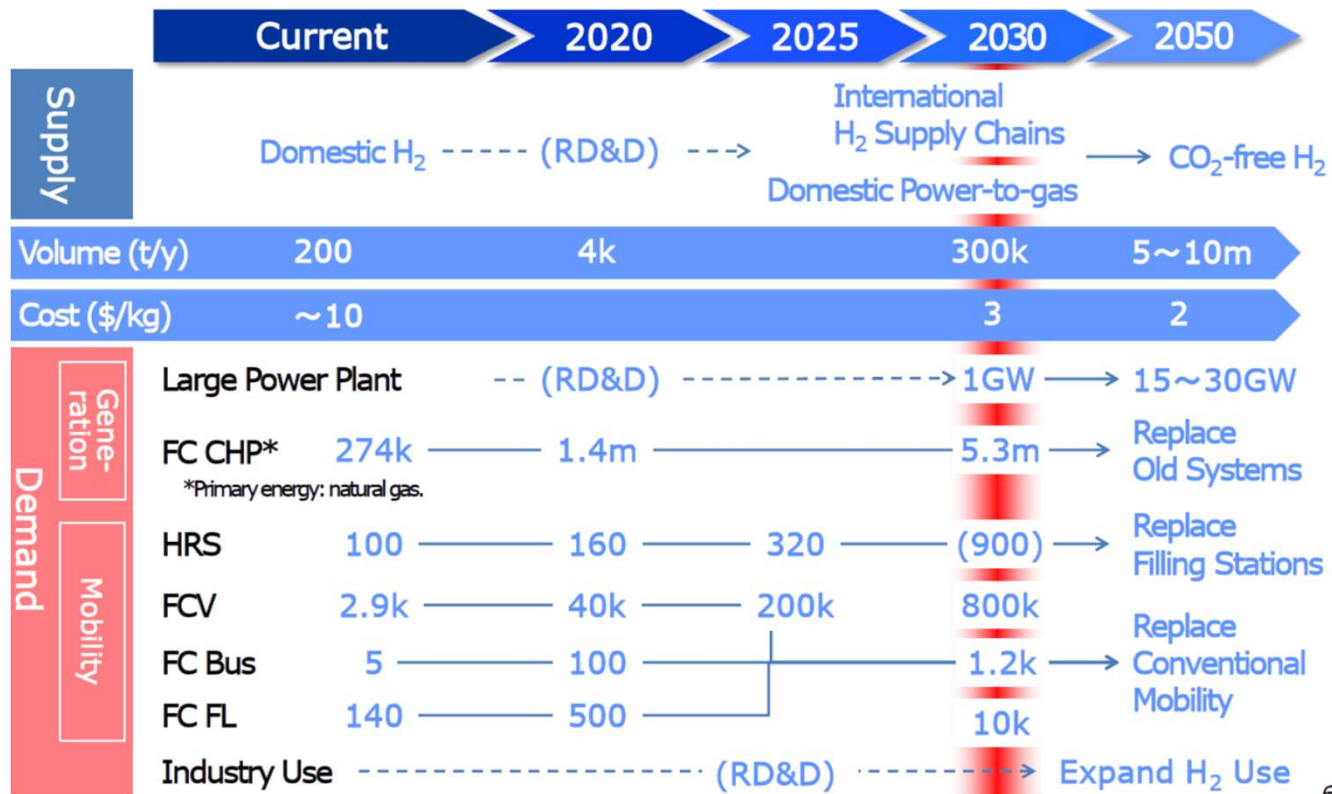


Mitsubishi power Ammonia Turbine



# La Stratégie du Japon

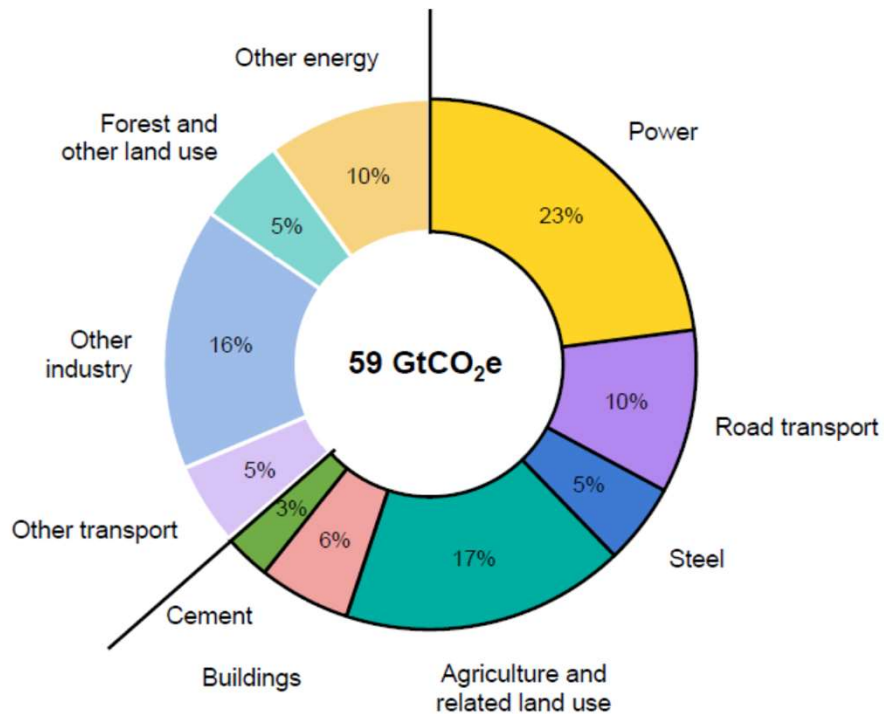
## Scenario



# **Le rôle nouveau que va jouer l'hydrogène decarboné dans la transition énergétique**

Sa place dans l'atteinte du Net Zero Carbon en 2050

# Eliminer 59 Gt/an GES d'ici à 2050



Source Breakthrough Agenda Report 2023

Total emissions 2019

Portefeuille de solutions à mettre en œuvre

- Efficacité énergétique
- Renouvelables
- Nucléaire
- CCS et CCU
- Electrification et réseaux (intelligents)
- Hydrogène

Sous les conditions nécessaires:

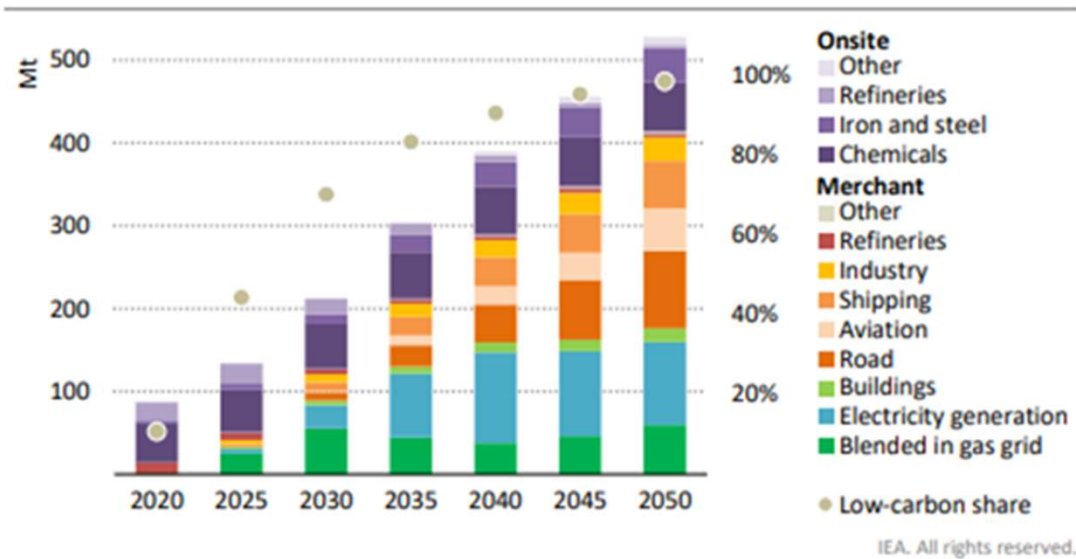
- développer R&D et innovation
- développer la collaboration internationale
- débloquer les investissements privés

Tout en assurant la croissance économique 3%/an d'ici à 2050



# L'hydrogène décarboné pourrait représenter entre 15 et 20 % de la consommation d'énergie en 2050

**Figure 2.19** ▶ Global hydrogen and hydrogen-based fuel use in the NZE



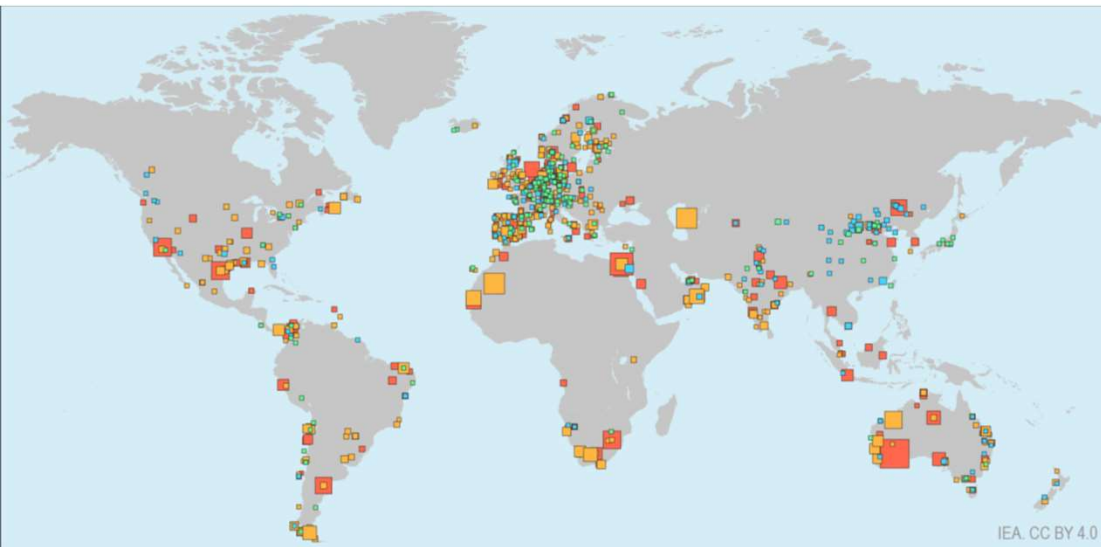
*The initial focus for hydrogen is to convert existing uses to low-carbon hydrogen; hydrogen and hydrogen-based fuels then expand across all end-uses*

Note: Includes hydrogen and hydrogen contained in ammonia and synthetic fuels.

# L'hydrogène est toujours un sujet prioritaire...

- Plus de 50 Etats ont une stratégie hydrogène, un plan d'actions, une politique de support financier
- Exemple en Europe 80-100 Milliards fond public de soutien d'ici 2030
- 2 Volets
  - Déploiement (décarbonation et sécurité énergétique)
  - Développement économique
- Points communs et différences entre stratégies
  - Usages
  - Manufacturing
  - Import, export, auto-suffisant
- Plus de 1400 projets sur le papier
  - 550 GW, potentiel de production 45 Millions tonnes en 2030 570 % ENR, 30 % CCS), 570 Mds Invest.
- 80 000 Vehicules FCV, 7000 bus, 7000 calions
- 1000 stations HRS
- 500 000 Pac stationnaire
- Capacité de manufacturing(electrolyse): 14 GW vers 150 GW en 2030 Position émergente (dominate /) Chine
- Infrastructure: annonces réseau Allemagne , H2 med
- Projets de démo bateau, stockage souterrain
- Cooperation internationale progresse
  - Bilatérale
  - multilatérale

# Plus de 1000 projets industriels de grande taille... seulement 4% au stade FID



IEA. CC BY 4.0

### CCUS projects

- ▲ Early stage
- ▲ Feasibility study
- ▲ FID/under construction
- ▲ Operational

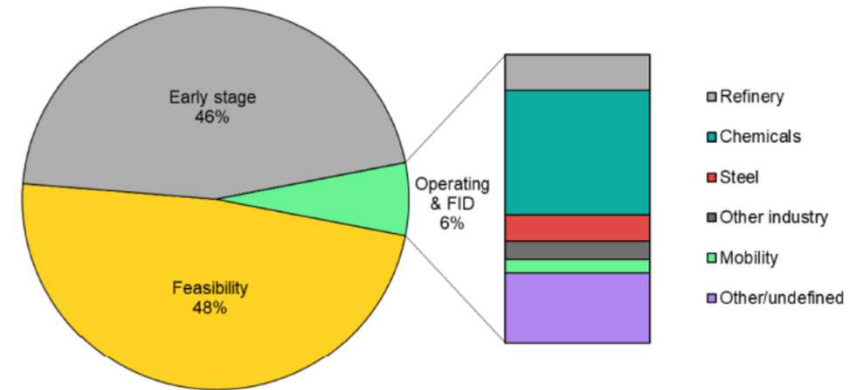
### Electrolyser projects

- Early stage
- Feasibility study
- FID/under construction
- Operational

### Capacity (kt H<sub>2</sub>/yr)

- 50 ▲
- 150 ▲
- 250 ▲
- 500 ▲
- 1 000 ▲
- 5 000 △
- 15 000 △

Figure 3.3 Low-emission hydrogen production by status and by sector based on announced projects, 2030

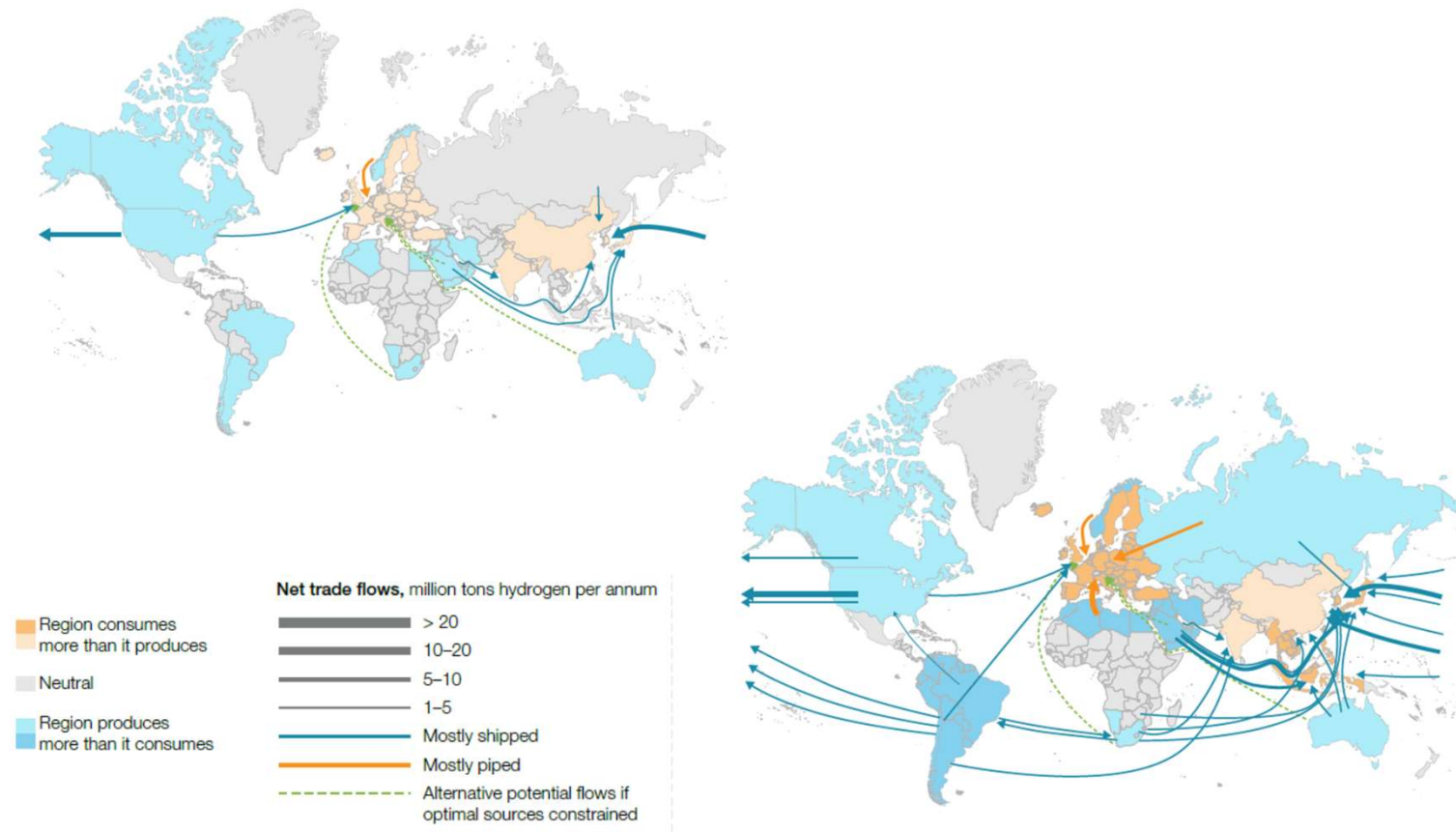


IEA. CC BY 4.0.

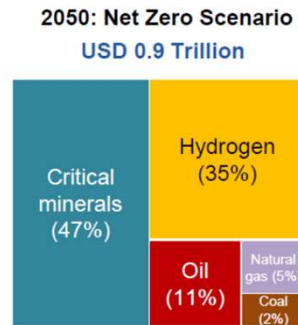
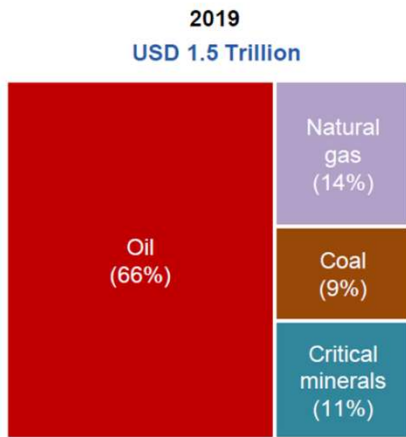
Notes: FID = Final investment decision. "Operating & FID" includes projects that are operating and that have reached at least FID, therefore projects under construction are also included; "Feasibility" includes projects undergoing a feasibility study; "Early stage" includes projects at very early stages, such as those in which only a co-operation agreement among stakeholders has been announced. "Other/undefined" includes projects for which the use has not been specified, and other hydrogen uses.

# Géopolitique des futurs échanges

Major flows of hydrogen and derivatives, million tons hydrogen equivalent in 2030



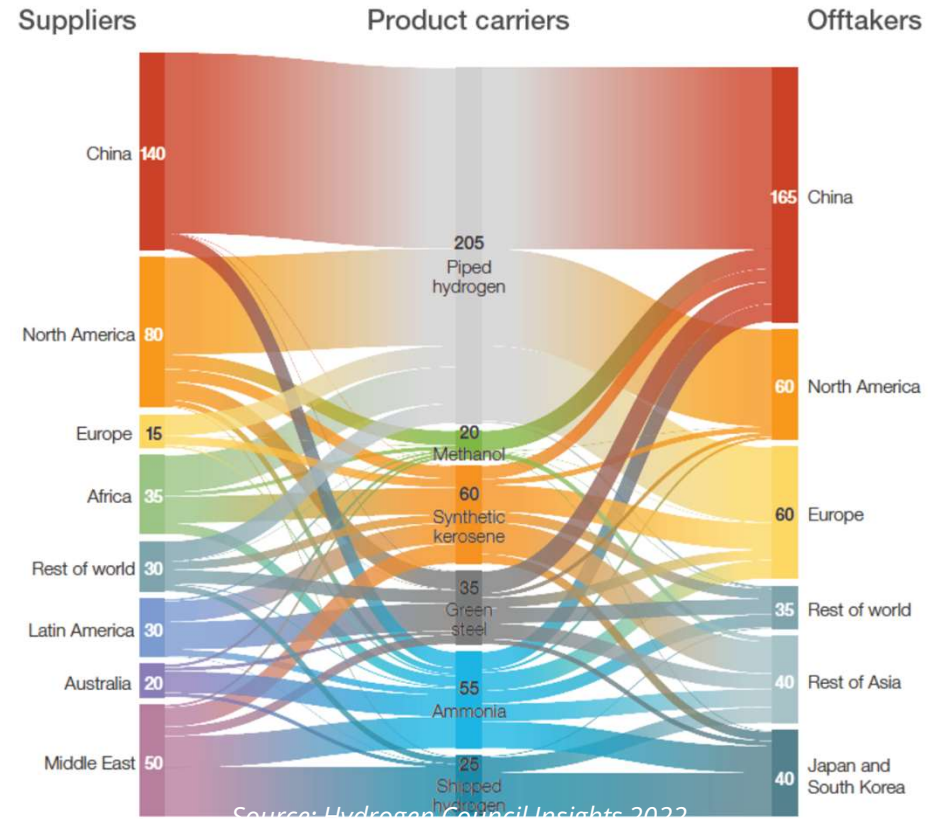
## Futur commerce international et Répartition du transport de l'hydrogène longue distance



Part Hydrogène tr  d   / Production totale d'hydrogène: 15-25 % ?

Source IEA WEO 2022

Global hydrogen and derivative interregional long-distance supply,<sup>1</sup> million tons per annum



# Mais la réalité est différente:

## *Quels sont les obstacles encore à lever pour un déploiement massif?*

### [Extrait de la publication H2vMobile dedu 16 janvier 2024](#)

La production d'hydrogène vert augmentera plus lentement que prévu partout, sauf en Chine. C'est ce qui ressort du dernier rapport de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). La lenteur de prise de décision et l'inflation des coûts de construction des nouvelles installations sont à l'origine de ce retard, qui pourrait se traduire par une offre d'hydrogène vert insuffisante au regard de la demande estimée.

« 45 GW de nouvelle capacité de production d'hydrogène vert seront opérationnelles d'ici la fin de 2028, soit seulement 7 % de ce que les précédentes projections prévoyaient ». Ce constat, tiré de la dernière étude de l'AIE, Renewables 2023: Analysis and Forecast to 2028, est alarmant. Pire encore, si l'on examine les projets à horizon 2030, l'AIE estime que sur les 360 GW annoncés, seuls 12 GW sont en cours de construction ou ont atteint une décision finale d'investissement

Cependant il y a un fossé entre ce momentum et la réelle dynamique de déploiement

**Les projets stade FID 4%-7 % 1GW electrolyse installe, 12 GW décidé (FID) sur 550 GW Pourquoi ?**

1. La demande n'est pas là (commandes fermes qui déclencheraient l'investissement)
2. Les coûts de la chaîne H2 plus le surcoût inflation( + 40-70 %!)/Coût crédit (+3% impacte +30 % sur le coût total)
3. Le cadre réglementaire et normatif international
4. Lenteur de la mise en place des aides
5. Compétition économique
6. Infrastructure: ports, bateaux, pipe line, stockage massif
7. Certaines technos pas encore mature
8. Capacité à fournir l'électricité, installation gigaparc ENR
9. Obstacles environnementaux/sociétaux: eau, surface, matériaux critiques, directive PFAS
10. Pays export: quelle stratégie adopter : besoins domestique versus export, délocalisation des produits finis(acier, chimie, e fuels, ammoniac, methanol ?)



# Bonnes nouvelles

- Les projets avancent (verre à moitié plein...)
- Hydrogène naturel
- R&D et Technologies, moteur à combustion interne (exemple NAM-x), vecteur porteur hydrogène (Hysilab)
- La collaboration multilatérale progresse sur des points clés (COP28)
  - Déclaration commune (38 pays) pour la reconnaissance mutuelle des systèmes de certification bas carbone Hydrogène et dérivés
  - Méthodologie officielle ISO pour calculer le contenu GES des chaînes hydrogène
  - Déclaration commune public privé sur les financements PPA
  - Banque mondiale et ONU: financer les projets >> 10 GW en 2030 pour les pays intermédiaires/en développement
  - Assistance financière technique internationale, plateforme d'échange
  - Déclaration sur l'accélération de la mise en place du commerce international
  - Collaboration R&D





# La stratégie française



# France 2030

10 Objectifs, 5 conditions 34 milliards € crédits nouveaux  
près de 10 milliards pour l'hydrogène



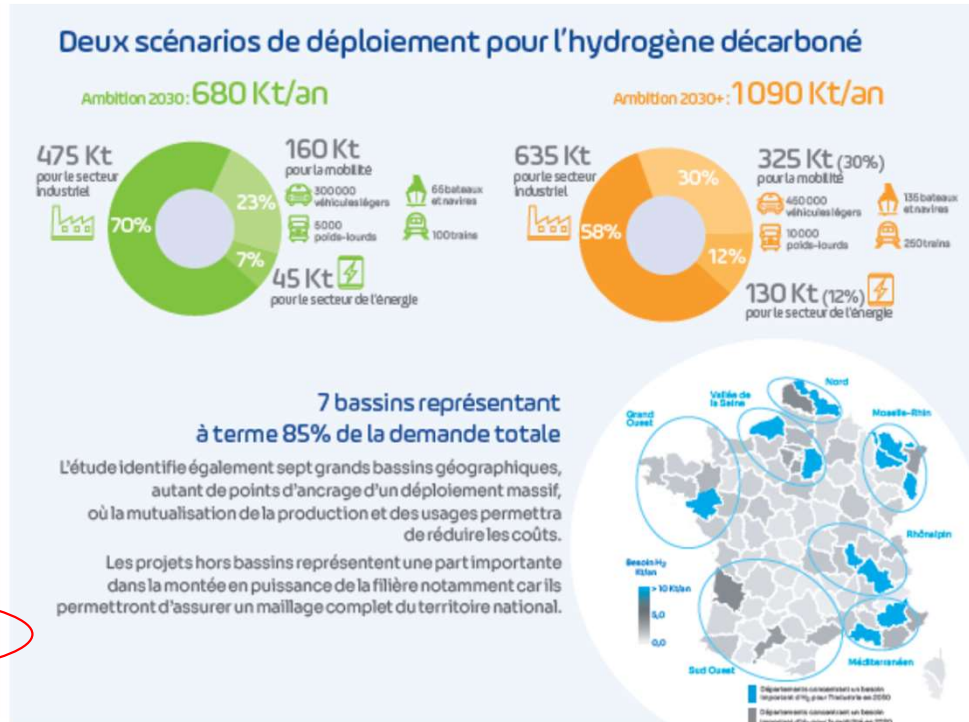
## La stratégie française « hydrogène décarboné »

- Lancée en septembre 2020
- L'hydrogène est un vecteur important pour atteindre la neutralité carbone en 2050
- Par la décarbonation de la mobilité lourde et de l'industrie
- En créant une filière souveraine de l'hydrogène décarboné en France
- En déployant d'ici 2030 une capacité de production par électrolyse de 6,5 GW
- En déployant et en soutenant les usages dans l'industrie (cimenterie, sidérurgie, chimie....) et dans le domaine de la mobilité lourde (avions, bateaux, trains, car, bus, bennes à ordures ménagères.....).

# Objectifs de déploiement et budget support

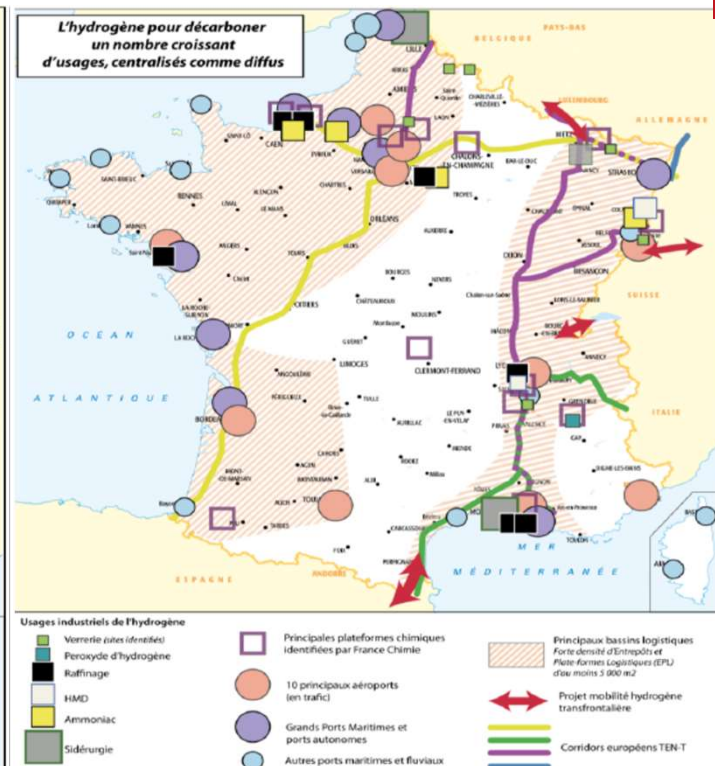
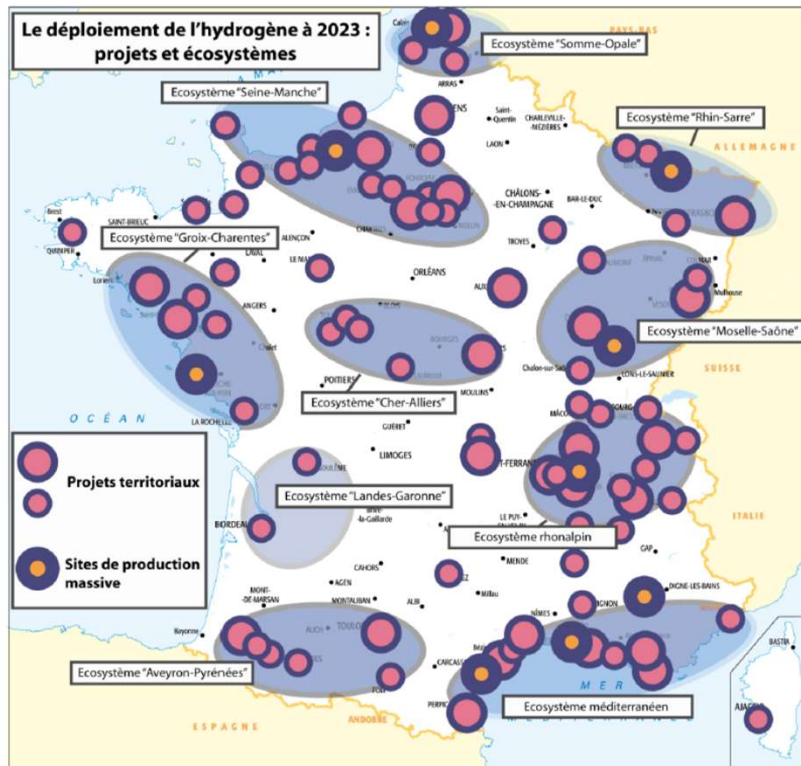
Les principaux dispositifs dédiés de soutien financier (France 2030 et autres)

|                             |  |  |         |
|-----------------------------|--|--|---------|
| TRL 1-4                     | Programmes de recherche                | • PEPR Hydrogène décarboné                               | 80 M€   |
|                             |  | • Soutien à la formation initiale et continue            | 30 M€   |
| TRL 5-7                     | Maturation, R&D, valo. de la recherche | • R&D Avion H2 (PIA + Crédits CORAC)                     | 70 M€   |
|                             |  | • Prématuration et maturation                            |         |
| TRL 7-9                     | Démonstration                          | • AMI Soutien aux régions pour le développement du train | 62 M€   |
|                             |  | • AAP Briques technologiques et démonstrateurs           | 350 M€  |
|                             |  | • IPCEI 2021   |         |
|                             |  | • Concours innovation                                    | 20 M€   |
| Déploiement & compétitivité |  | • AAP Ecosystèmes territoriaux H2                        | 475 M€  |
|                             |  | • Dispositif de complément de rémunération               | 3,5 Md€ |
|                             |  | • IPCEI 2021   | 3,3 Md€ |



**1 €/Kg de subvention = 1 Milliards €/an / Million tonnes**

# Focalisation sur 7 hubs





2 start up develop premium passenger cars

HOPIUM  
NAM X

H2 taxi: 300 taxis deployed, 700 in 2 024  
Deployment in Le Mans, Madrid Barcelona Brussels,  
Porto Lisbonne H2 corridor between Portugal and Belgium

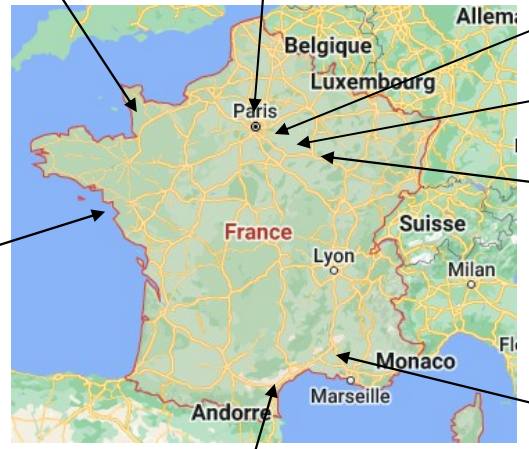


The biggest HRS in Europe in Paris (Porte Saint Cloud)  
1 ton/d electrolyser



Haffner Group installed a H2 production from biomass residue south of Paris  
450tons/year from 7000 tons residues +biochar usage

Lhyfe Project: first off shore production realized in Vendée near Nantes  
1 MW installed on a off shore platform  
400Kg H2/day produced pipe line to Nantes area



Fives Group developp a 100% H2 combustion burner



Genvia inaugurate its first pilot line production for SOEC  
1st project for Arcelor Mittal



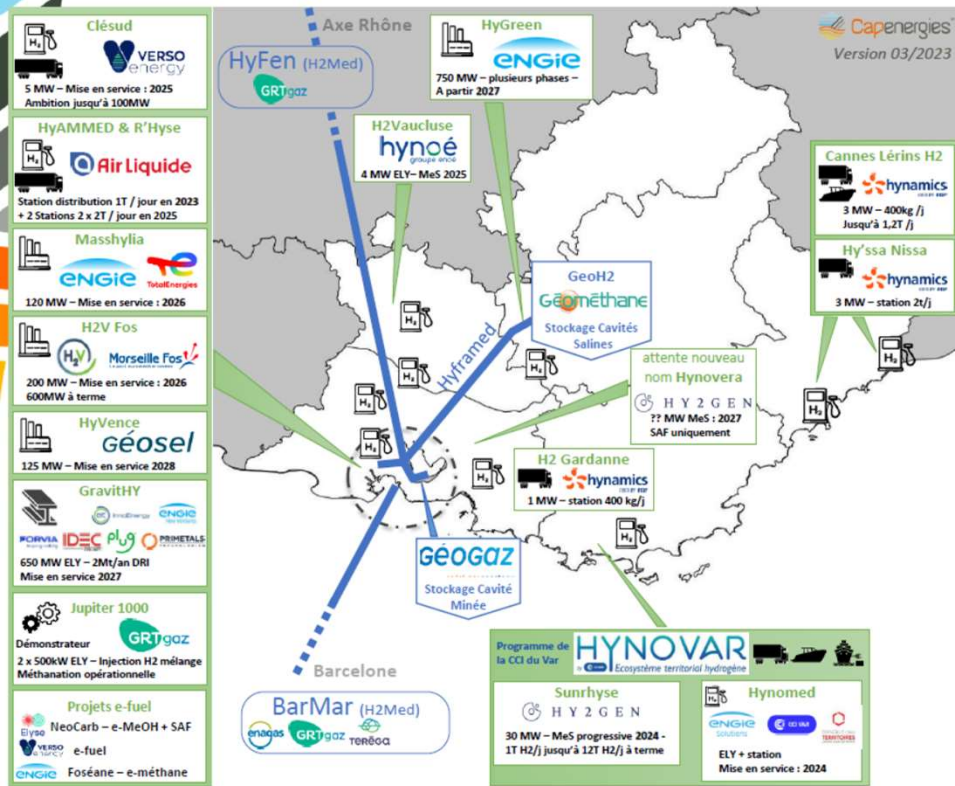
HSL (ex Hysilab) develop a silane base hydrogen carrier (NON organic LHC!)  
In Aix en Provence



# Projets en région SUD

# Principaux projets en région SUD

## MAIN PROJECTS IN RÉGION SUD



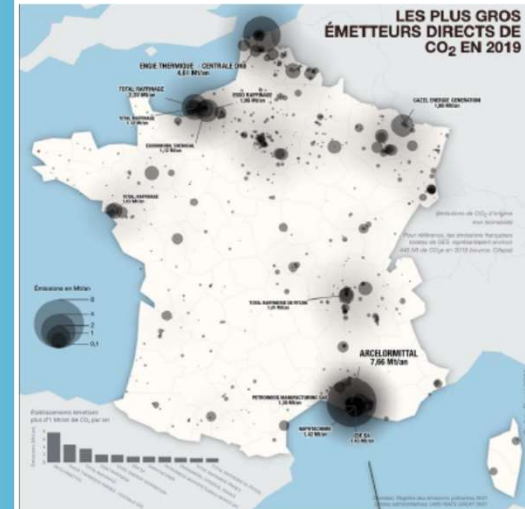
### 3 main zones for H2 deployment

- Industrial port of Marseille  
Including Manosque underground gas storage
- Toulon area
- French Riviera

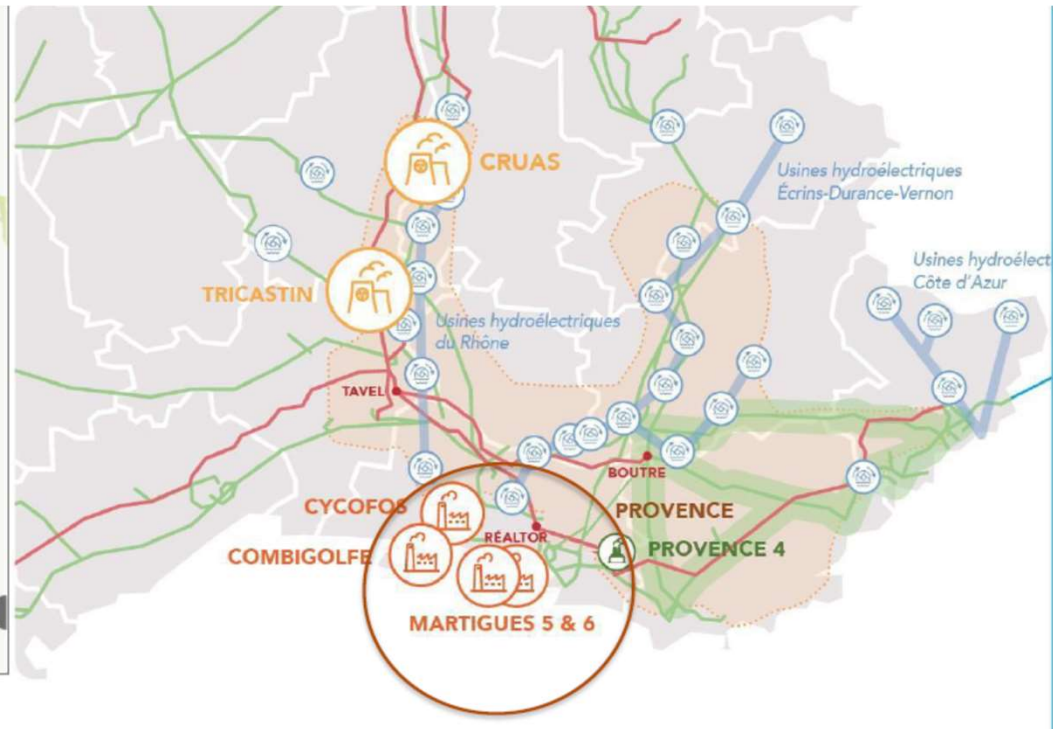
Zone de Fos  
Conso 100 kT H2/an  
18Mt CO2/an

### Infrastructure projects

- European backbone (H2Med pipelines)
- Local H2 network (Hynframed)
- H2 underground storage (salt cavern & mined cavern)



# Zone de Fos Lavera

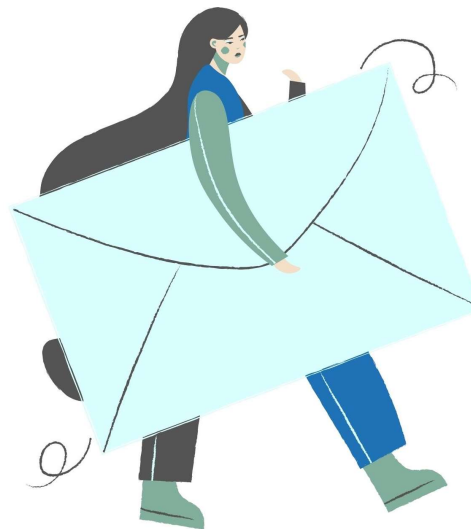




[Hydrogen TCP - Research and Innovation in Hydrogen Technology by IEA \(ieahydrogen.org\)](https://www.ieahydrogen.org)

**Merci!**


**Questions ?**



# Fiches techniques

## Exemple Air Liquide



|   |                                     |                        |
|---|-------------------------------------|------------------------|
|  | <b>FICHE DE DONNEES DE SECURITE</b> | Page : 1               |
|   |                                     | Edition révisée n° : 2 |
|   |                                     | Date : 10/6/2004       |
| <b>Hydrogène, I, U.</b>   |                                     | <b>067AGIS</b>         |



### 1 IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE / PRÉPARATION ET DE LA SOCIÉTÉ / ENTREPRISE

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Nom commercial                   | : Hydrogène, I, U.   |
| N° FDS                           | : 067AGIS  |
| Formule chimique                 | : H <sub>2</sub>   |
| Identification de la société     | : AIR LIQUIDE Gaz Industriels Services<br>Coeur Défense, Tour A<br>110 Esplanade du Général De Gaulle<br>92931 Paris La Défense Cedex France<br>Tel. +33 1 53 59 75 55 |
| N° de téléphone en cas d'urgence | : +33 01 45 42 59 59   |

### 2 COMPOSITION / INFORMATIONS SUR LES COMPOSANTS

|                         |              |           |           |              |                |
|-------------------------|--------------|-----------|-----------|--------------|----------------|
| Substance / Préparation | : Substance. |           |           |              |                |
| Nom de la substance     | Contenance   | No CAS    | No CE     | Número Index | Classification |
| Hydrogène               | : 100 %      | 1333-74-0 | 215-805-7 | 001-001-00-9 | F+, R12        |

Ne contient pas d'autres composants ni impuretés qui pourraient modifier la classification du produit.

### 3 IDENTIFICATION DES DANGERS

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Identification des dangers | : Gaz comprimé.<br>Extrêmement inflammable. |
|----------------------------|---|

### 4 PREMIERS SECOURS

|                  |  |
|------------------|--|
| Premiers secours |  |
| - Inhalation     | : Peut causer l'asphyxie à concentration élevée. Les symptômes peuvent être une perte de connaissance ou de motricité. La victime peut ne pas être prévenue de l'asphyxie.<br>Déplacer la victime dans une zone non contaminée, en s'équipant d'un appareil respiratoire autonome. Laisser la victime au chaud et au repos. Appeler un médecin. Pratiquer la respiration artificielle si la victime ne respire plus. |
| - Ingestion      | : L'ingestion n'est pas considérée comme un mode d'exposition possible.  |

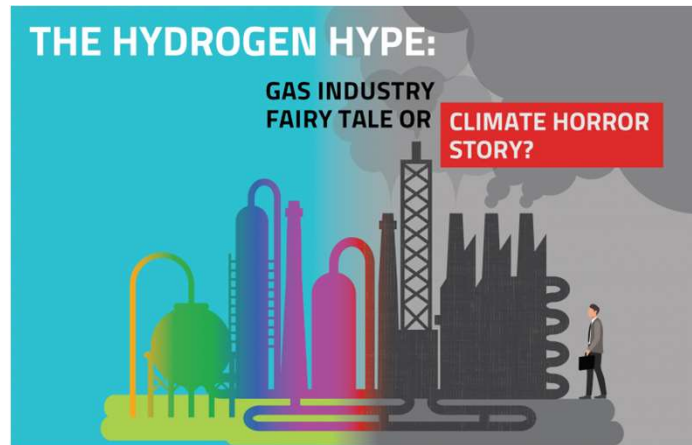
### 5 MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

|  |  |
|--|--|
| Classe d'inflammabilité                          | : Extrêmement inflammable.   |
| Risques spécifiques                              | : L'exposition prolongée au feu peut entraîner la rupture et l'explosion des récipients.   |
| Produits de combustion dangereux                 | : Aucun(e).  |
| Moyens d'extinction                              |  |
| - Agents d'extinction appropriés                 | : Tous les agents d'extinction connus peuvent être utilisés.   |
| Méthodes spécifiques                             | : Si possible, arrêter le débit gazeux.<br>S'éloigner du récipient et le refroidir avec de l'eau depuis un endroit protégé.<br>Ne pas éteindre une fuite de gaz enflammée sauf si absolument nécessaire. Une réinflammation spontanée et explosive peut se produire. Éteindre les autres feux. |
| Equipements de protection spéciaux pour pompiers | : Dans les espaces confinés utiliser un appareil respiratoire autonome.  |

AIR LIQUIDE Gaz Industriels Services En cas d'urgence : +33 01 45 42 59 59  
Coeur Défense, Tour A, 110 Esplanade du Général De Gaulle, 92931 Paris La Défense Cedex France Tel. +33 1 53 59 75 55  
Quick-FDS [15718-83736-93792-200701] - 2005-07-22 - 17:41:09

# Impact of NGOs

NGO BUND WWF DUH may 2022  
 “Currently, large parts of politics, industry and the media present hydrogen exports exclusively as an opportunity for the producing countries. The risks – such as negative climate impacts, destroyed ecosystems, illegal land grabbing and displacement – are almost completely ignored,” the NGOs said. “These risks are exacerbated when industrialised countries rely too heavily on imports, neglect self-sufficiency and projects in other countries are under pressure to quickly compensate for supply shortages.”



## The hydrogen hype: Gas industry fairy tale or climate horror story?

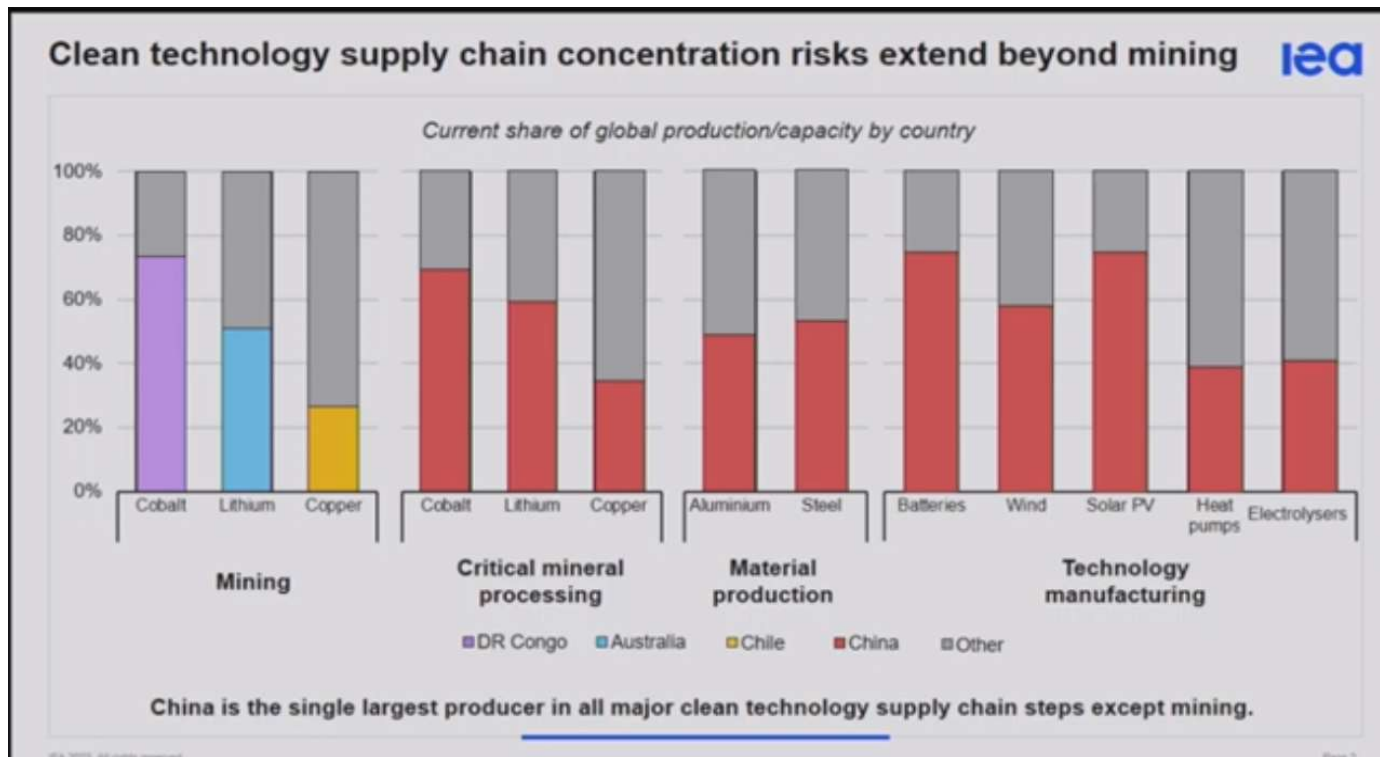
*The European Commission and its quest to let the gas industry write the book on hydrogen in Europe*



# Geopolitique des énergies



# Bataille leadership technologique et commercial



Source IEA ETP 20233