



Une petite introduction aux technologies de l'hydrogène

Laurent JAMMES
Atelier « Elus »
29 Novembre 2018
Le Dôme - CAEN

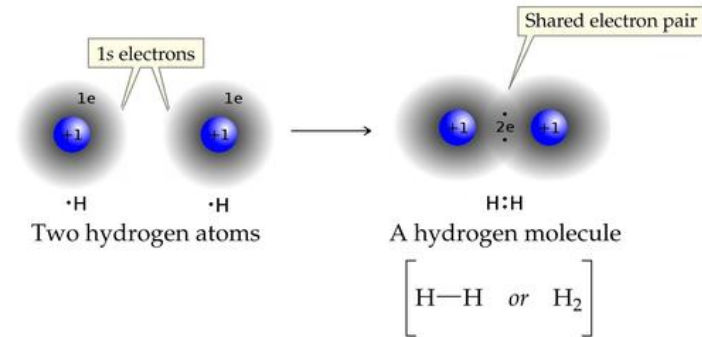
Qu'est ce que l'hydrogène?

L'hydrogène est le plus petit et le plus léger de tous les éléments, composé d'un proton et d'un électron.

C'est le premier élément créé dans l'espace après le big bang

On le trouve principalement dans la molécule d'eau sur terre

Il se combine facilement avec d'autres éléments



Il a été découvert au 18ème siècle en tant que gaz inflammable

Sa densité énergétique est très élevée (quantité d'énergie par kg), mais sa densité est très faible (l'hydrogène est très léger)

Il brûle proprement avec de l'oxygène en produisant de l'eau

L'histoire des applications de l'hydrogène

Les technologies pour produire et utiliser l'hydrogène ont été développées aux 19ème et 20ème siècles

Une première impulsion a été donnée dans les années 1960 par les voyages dans l'espace

Nouvel intérêt pour l'hydrogène depuis les années 1990, malgré les faibles prix de l'énergie, en raison des problèmes de changement climatique, en tant qu'option énergétique propre et durable

Dans les deux dernières décennies:

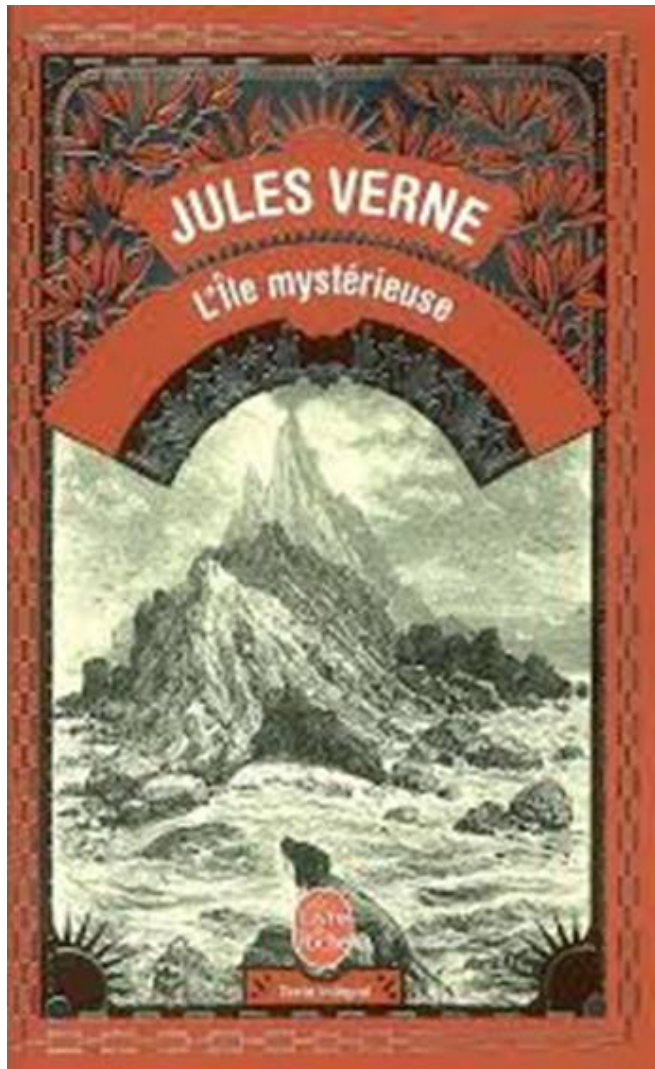
R&D intensive dans les technologies liées à l'hydrogène, bien que le déploiement de solutions commerciales soit encore très limité, principalement en raison de:

- La longue durée de vie des infrastructures énergétiques existantes
- Les coûts d'investissement élevés

L'expérience dans l'hydrogène est largement limitée à l'utilisation:

- En tant que matière première pour la production de produits chimiques
- En tant que gaz technique dans l'industrie

Un visionnaire au XIXème siècle



318

L'ILE MYSTÉRIEUSE

- Mais que trouvera-t-on? demanda Pencroff. L'imaginez-vous, monsieur Cyrus?
- A peu près, mon ami.
- Et qu'est-ce qu'on brûlera à la place du charbon?

— L'eau, répondit Cyrus Smith.

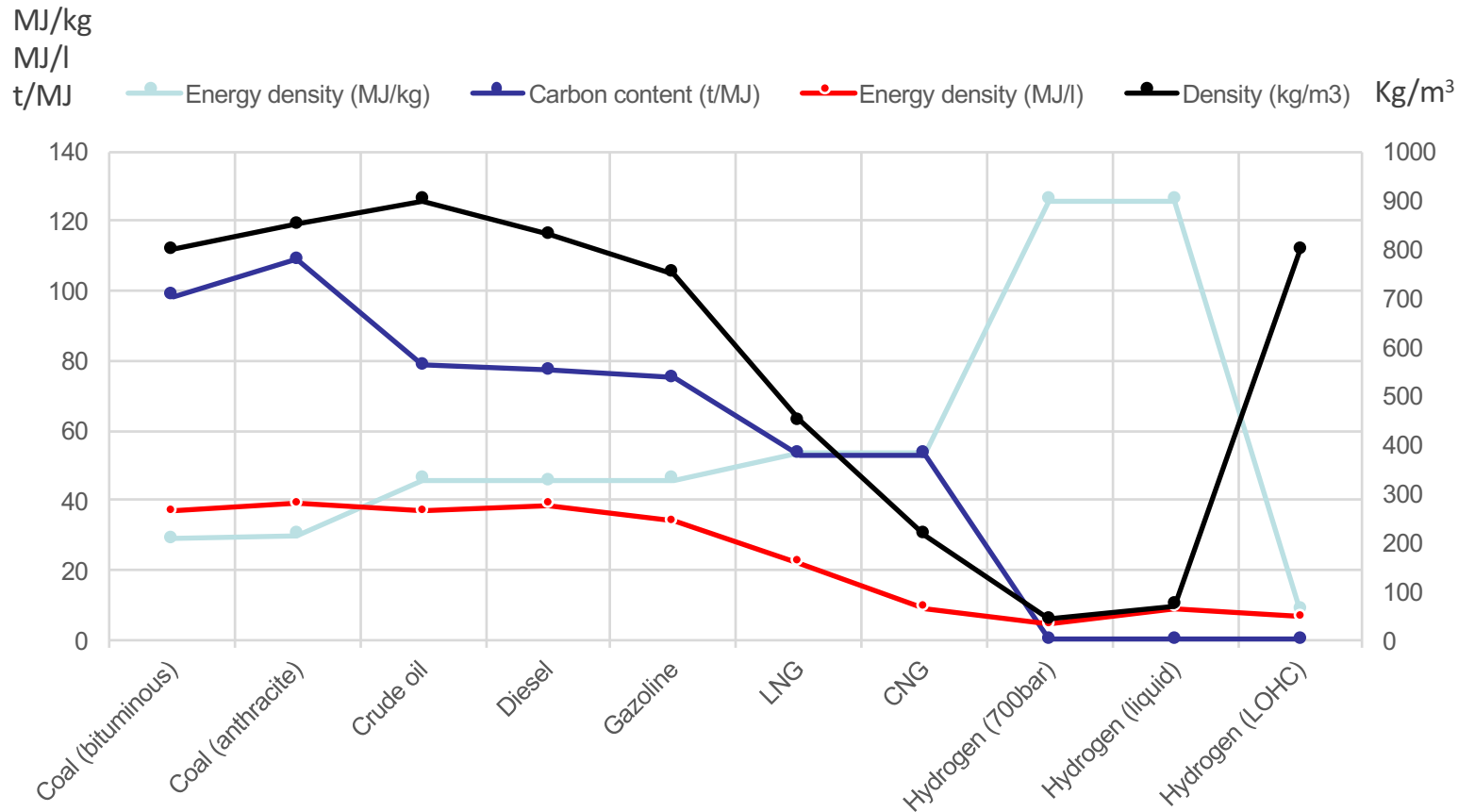
— L'eau, s'écria Pencroff, l'eau pour chauffer les bateaux à vapeur et les locomotives, l'eau pour chauffer l'eau!

— Oui, mais l'eau décomposée en ses éléments constitutifs, répondit Cyrus Smith, et décomposée, sans doute, par l'électricité, qui sera devenue alors une force puissante et maniable, car toutes les grandes découvertes, par une loi inexplicable, semblent concorder et se compléter au même moment. Oui, mes amis, je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène, qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables et d'une intensité que la houille ne saurait avoir. Un jour, les soutes des steamers et les tenders des locomotives, au lieu de charbon, seront chargés de ces deux gaz comprimés, qui brûleront dans les foyers avec une énorme puissance calorifique. Ainsi donc, rien à craindre. Tant que cette terre sera habitée, elle fournira aux besoins de ses habitants, et ils ne manqueront jamais ni de lumière ni de chaleur, pas plus qu'ils ne manqueront des productions des règnes végétal, minéral ou animal. Je crois donc que lorsque les gisements de houille seront épuisés, on chauffera et on se chauffera avec de l'eau. L'eau est le charbon de l'avenir.

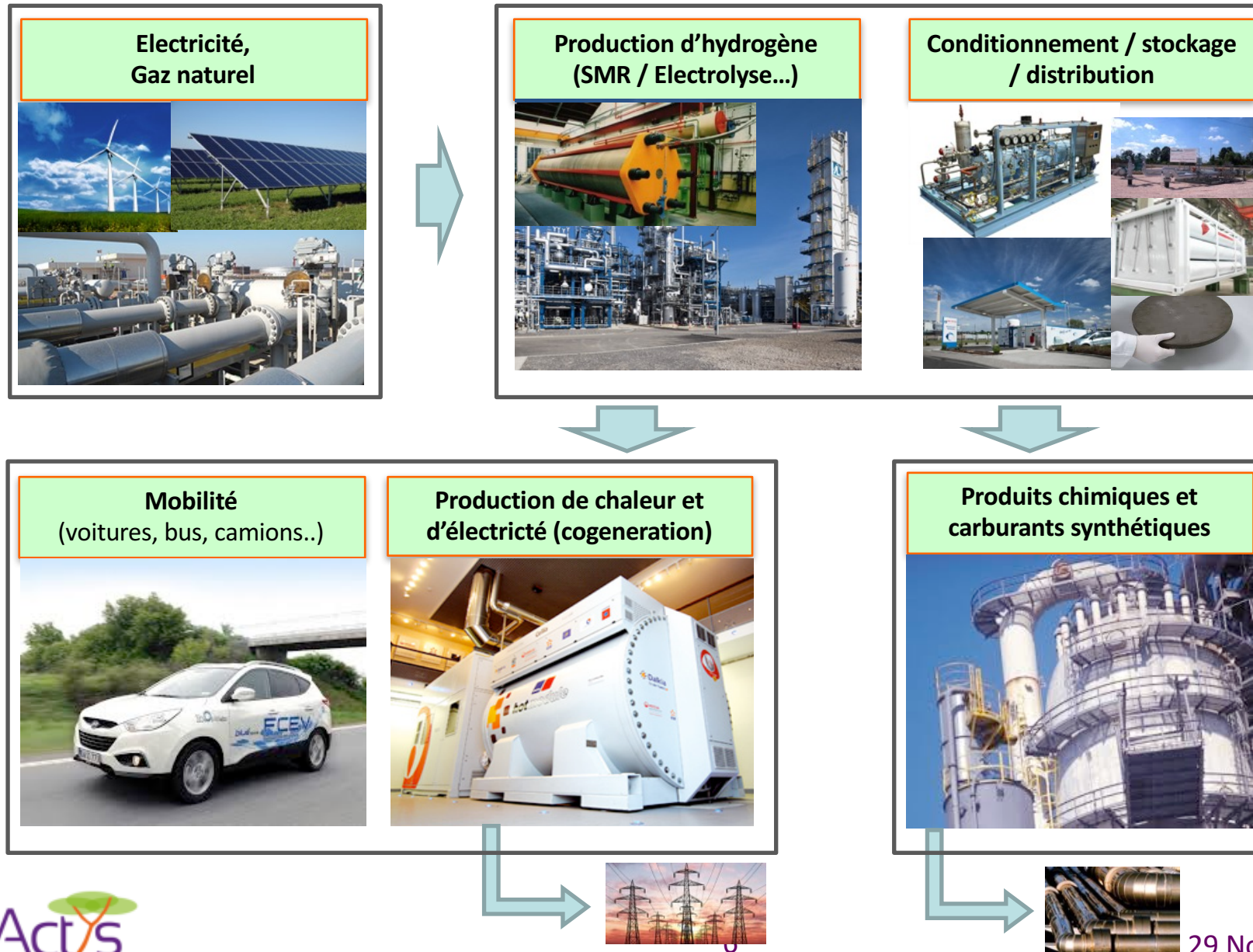
— Je voudrais voir cela, dit le marin.

Comparaison des propriétés des vecteurs énergétiques

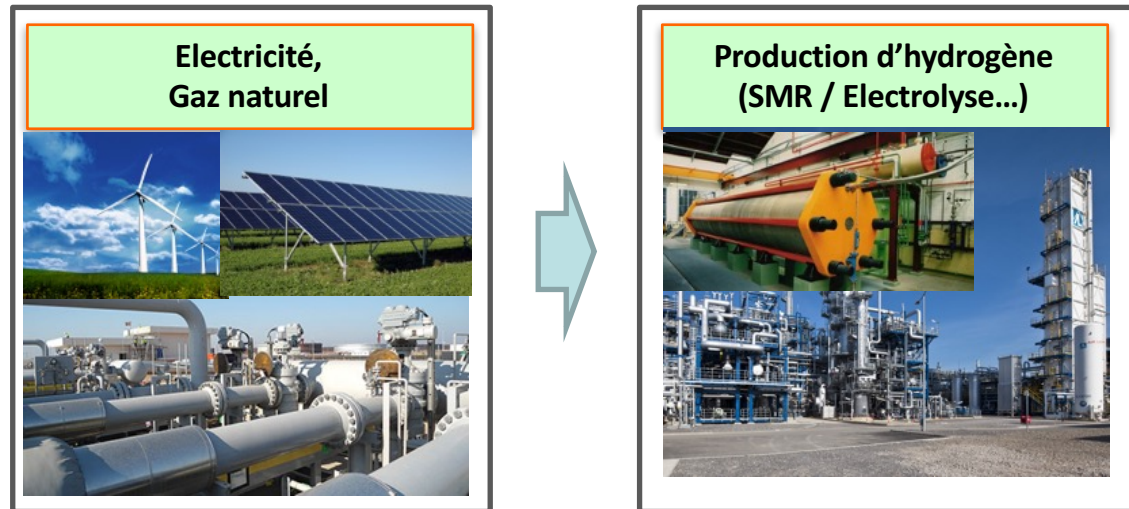
L'hydrogène est un vecteur énergétique non carboné, à très haute densité énergétique



L'hydrogène a de multiples usages (stockage d'énergie, usages finaux, matière première...)



La production d'hydrogène



L'hydrogène est actuellement produit à partir de combustibles fossiles ou d'électricité



Source: SHELL hydrogen study – energy of the future?

Production à partir de l'électrolyse de l'eau

- 5% de la production mondiale
- Production décentralisée ou centralisée
- Coûts de production: 6-8 € / kg d'H₂, principalement en fonction du prix de l'électricité et du nombre d'heures de fonctionnement
- L'empreinte carbone dépend de l'empreinte carbone de l'électricité



Actys

Production à partir de combustibles fossiles

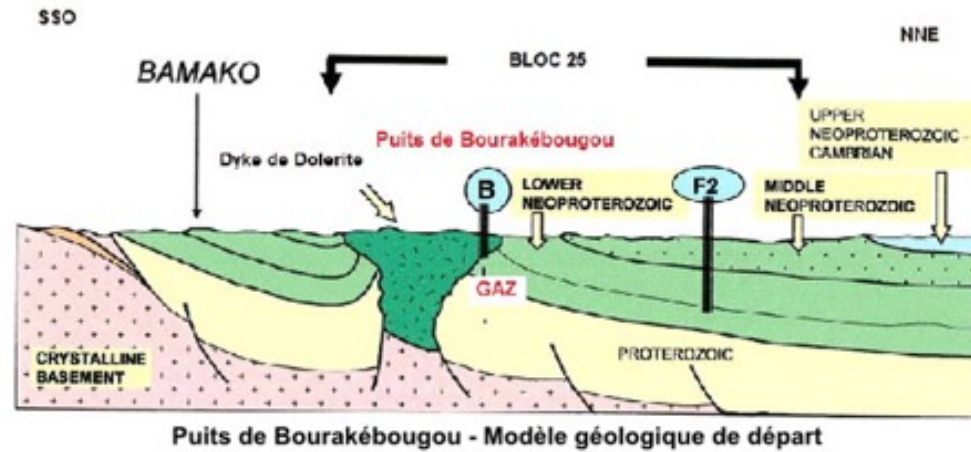
- 95% de la production mondiale
- Production centralisée
- Clients industriels principalement

Focus sur le SMR (gaz naturel)

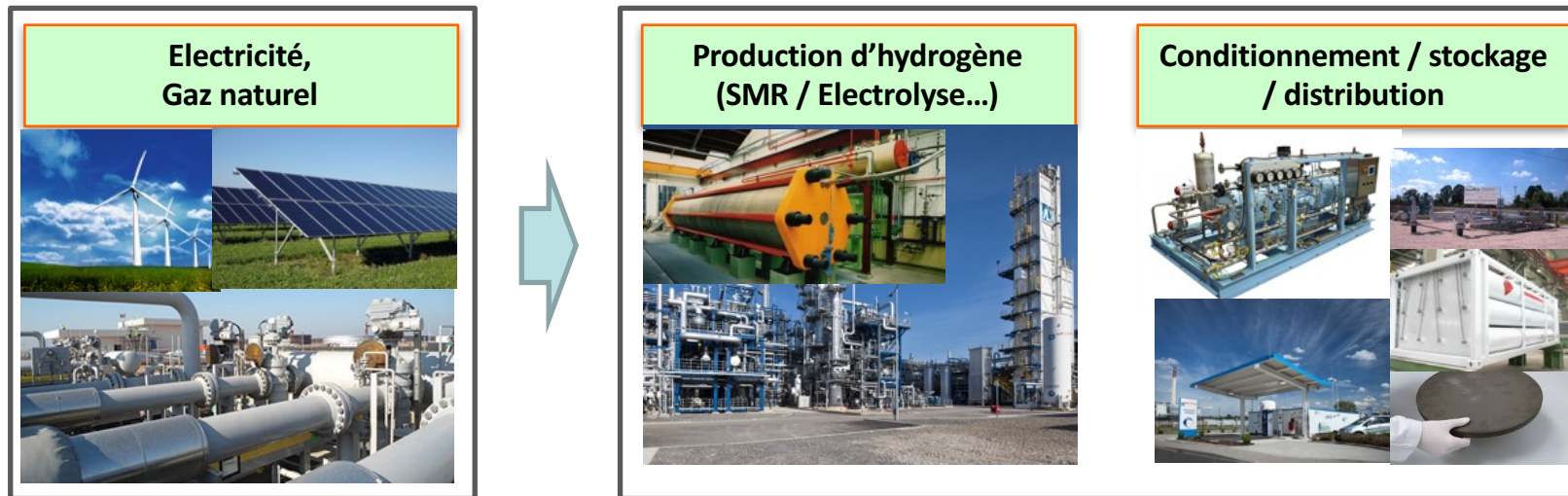
- Coûts de production: 1,5 à 2 € / kg de H₂
- 9 à 12 t / CO₂ émis pour 1t / H₂ produit



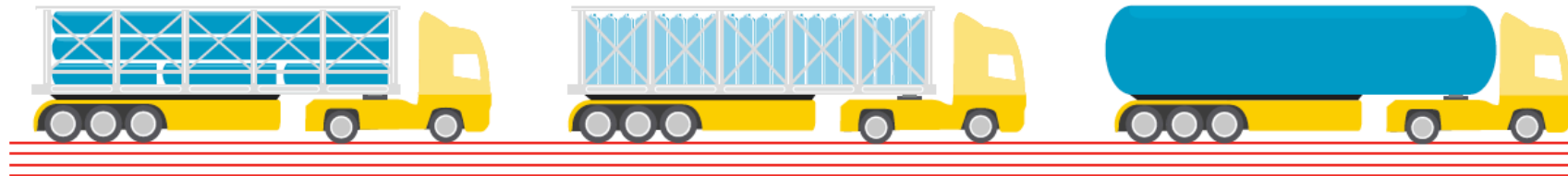
L'hydrogène peut être produit à partir de sources naturelles



Le transport d'hydrogène



Le transport de l'hydrogène par la route



TUBE TRAILER

200 - 250 bar, ≈ 500 kg, ambient temperature

CONTAINER TRAILER

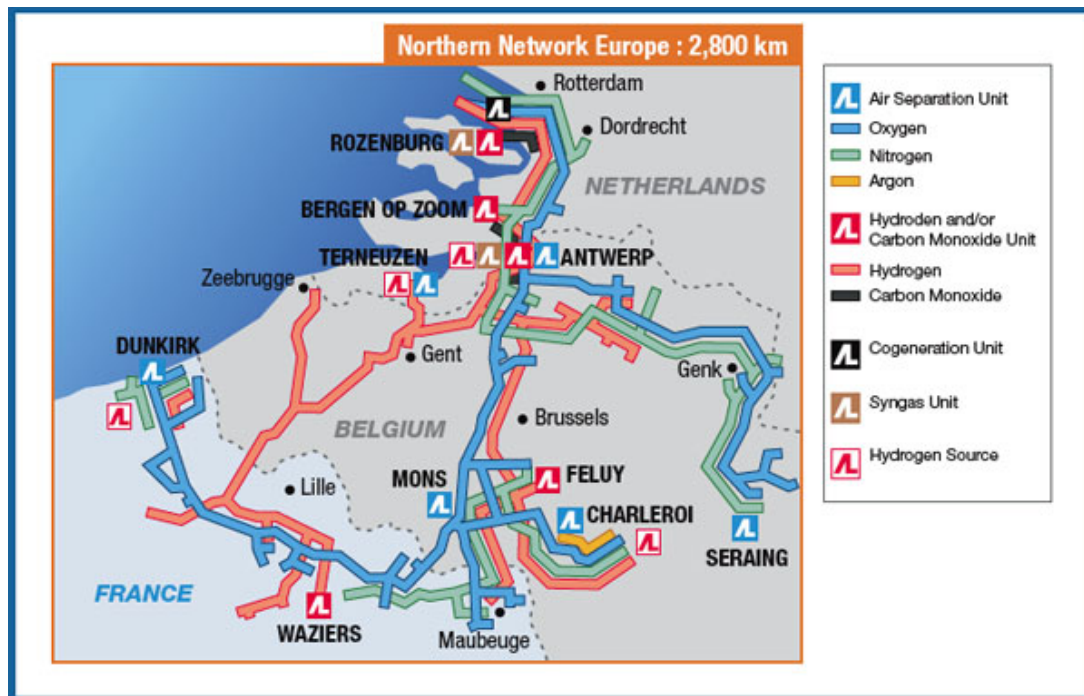
500 bar, ≈ 1,000 kg, ambient temperature

LIQUID TRAILER

1 - 4 bar, ≈ 4,000 kg, cryogenic temperature



Les pipelines d'hydrogène



Source: Air Liquide

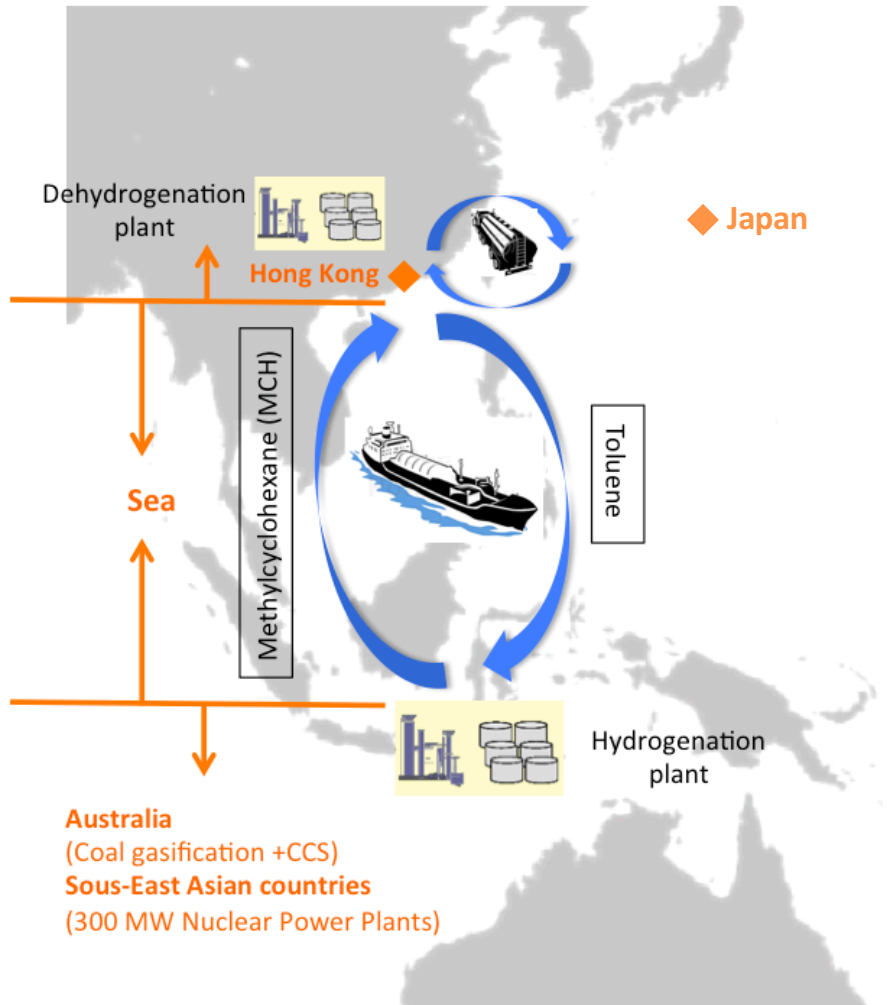


Il y a plus de 4 500 km de pipelines hydrogène dans le monde (2016)



Le transport d'hydrogène sous forme liquide

Système de stockage et de transport d'hydrogène de CHIYODA par LOHC



On greffe des atomes d'hydrogène sur une molécule porteuse

Prix cible (2025-2030):
2,5 €/kg livré au port d'arrivée
Prix distribué: 6-7 €/kg



Source: CHIYODA

Transport d'hydrogène cryogénique (-253°C)

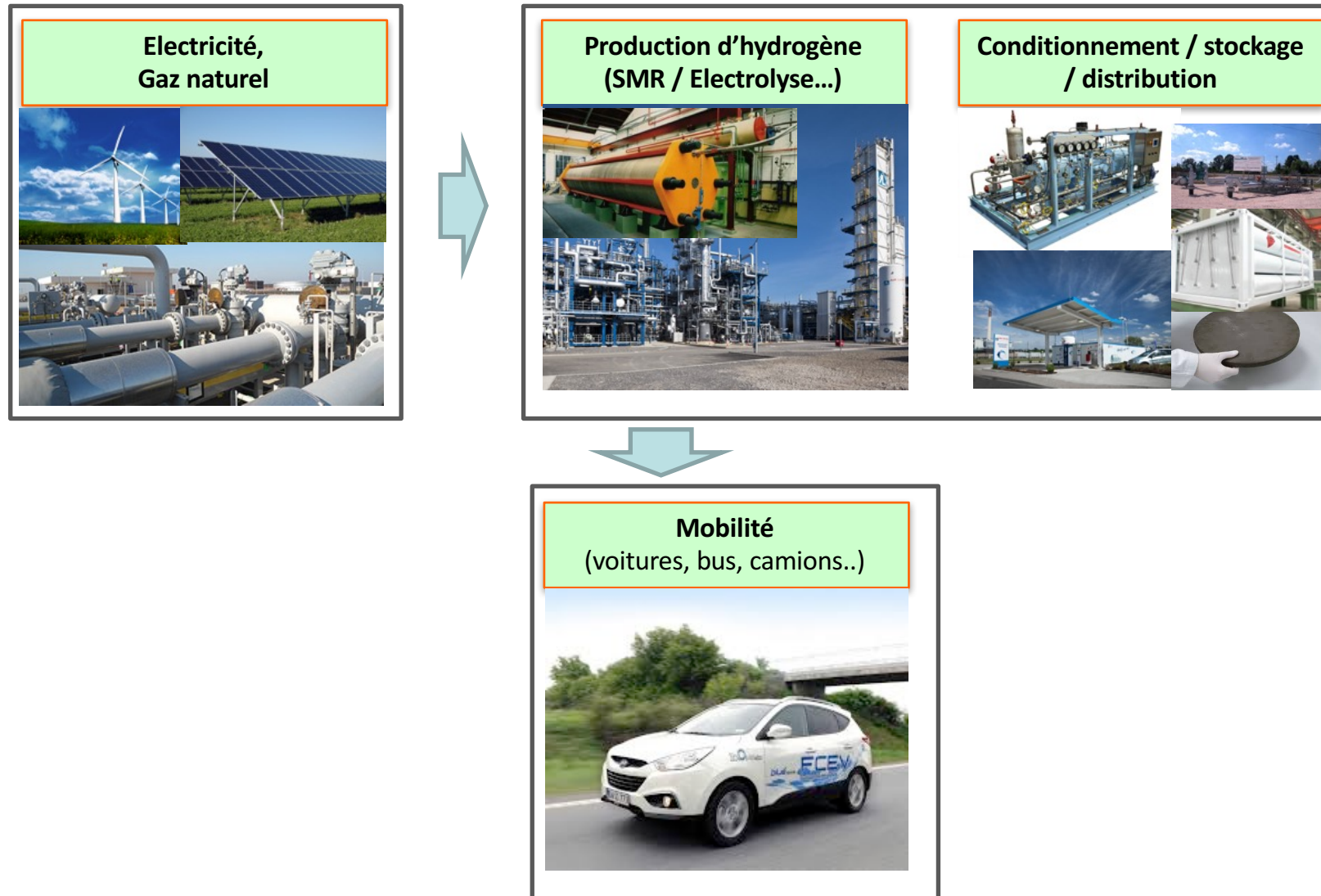
KWI prévoit de liquéfier l'hydrogène produit à partir de gazéification du charbon en Australie et de le transporter par tanker cryogénique vers le Japon

- Tanker dédié au transport d'hydrogène
- Réservoir spécifique pour contenir l'hydrogène (isolation sous vide pour minimiser l'évaporation de l'hydrogène)
- Système de récupération de l'hydrogène gazeux pour l'utiliser pour la propulsion du navire
- Capacité du réservoir sur le navire de démonstration: 1 250 m³.
passera à 4 000 m³ sur les versions futures, avec jusqu'à 4 réservoirs par bateau.
- Deux bateaux feraient le voyage en continu entre l'Australie et le Japon, ce qui permettrait d'approvisionner en hydrogène 3 million de véhicules.
- Le budget du tanker de démonstration est de plusieurs centaines de millions de dollars.

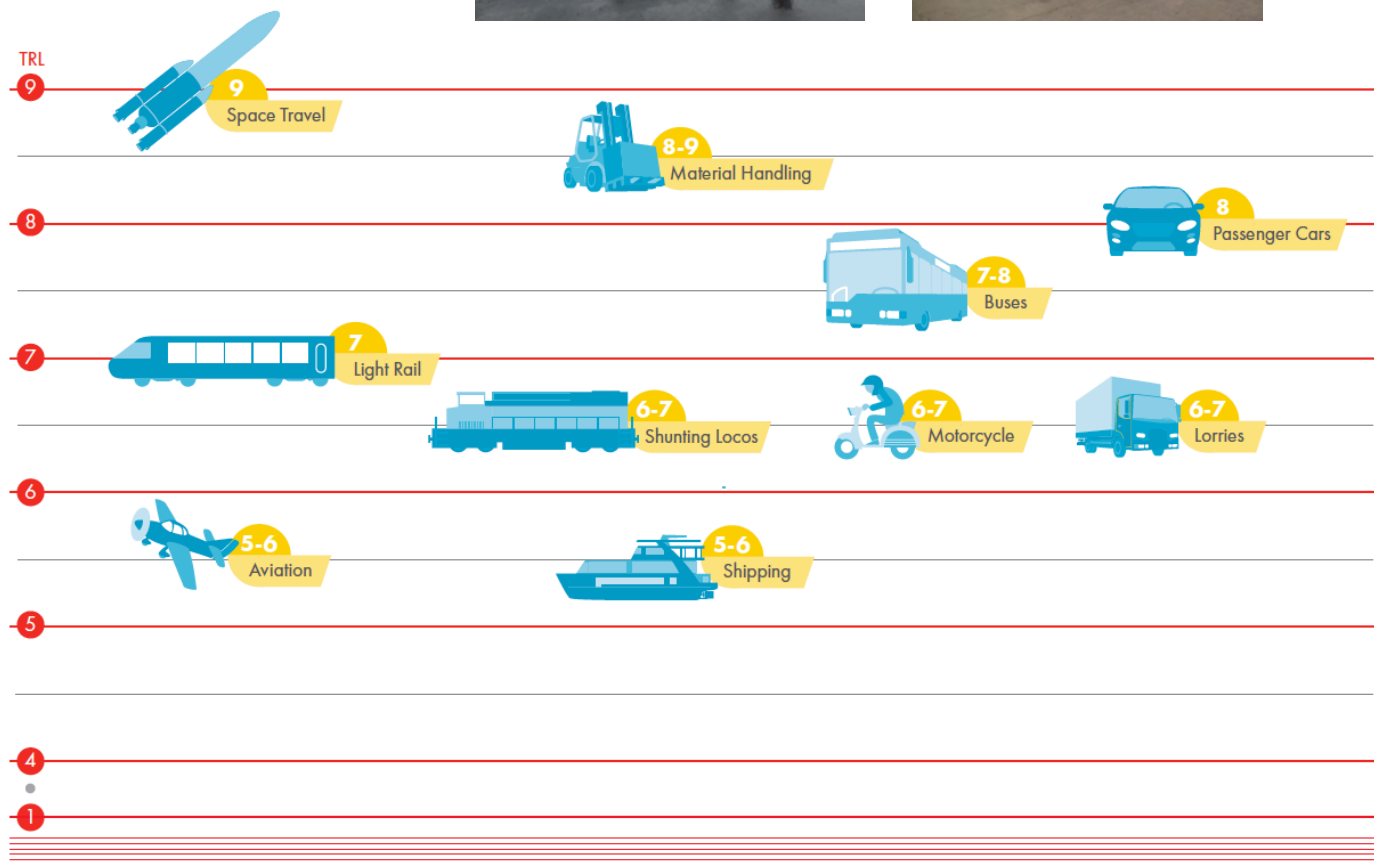


Source: Kawasaki

Applications à la mobilité

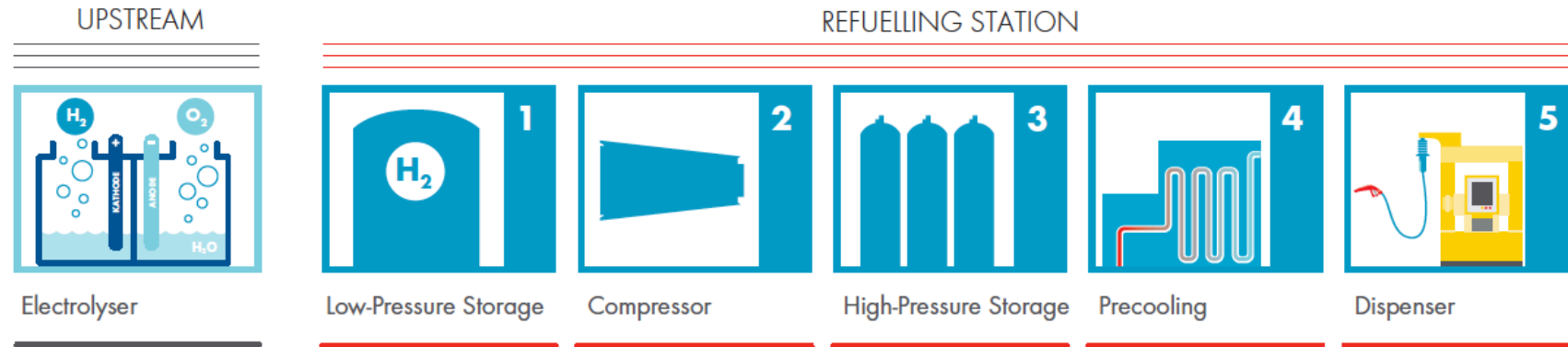


Maturité des véhicules à hydrogène



Source: SHELL hydrogen study – energy of the future?

Les stations de distribution d'hydrogène

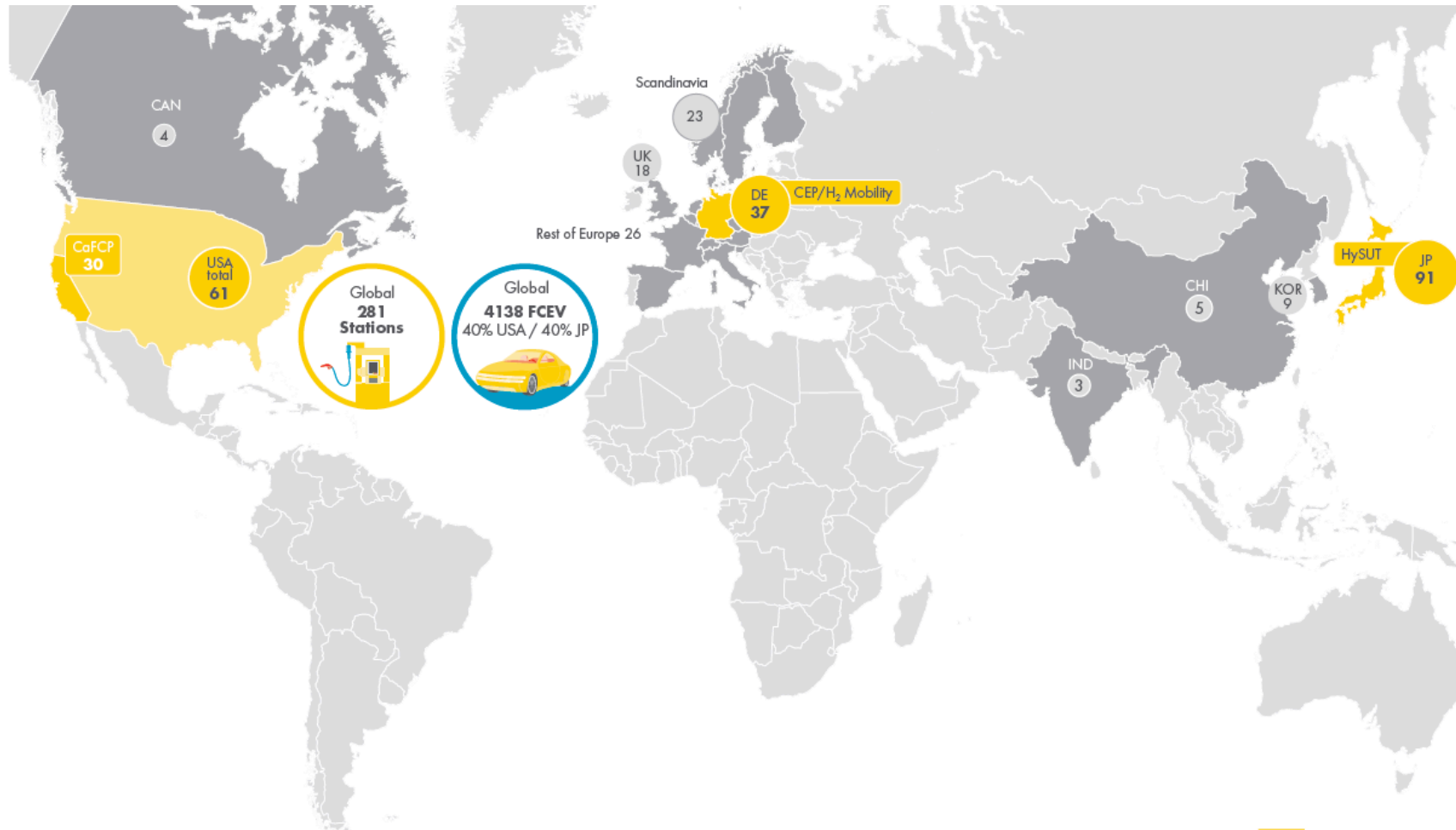


Source: SHELL hydrogen study – energy of the future?

Les différents composants d'une station de distribution d'hydrogène

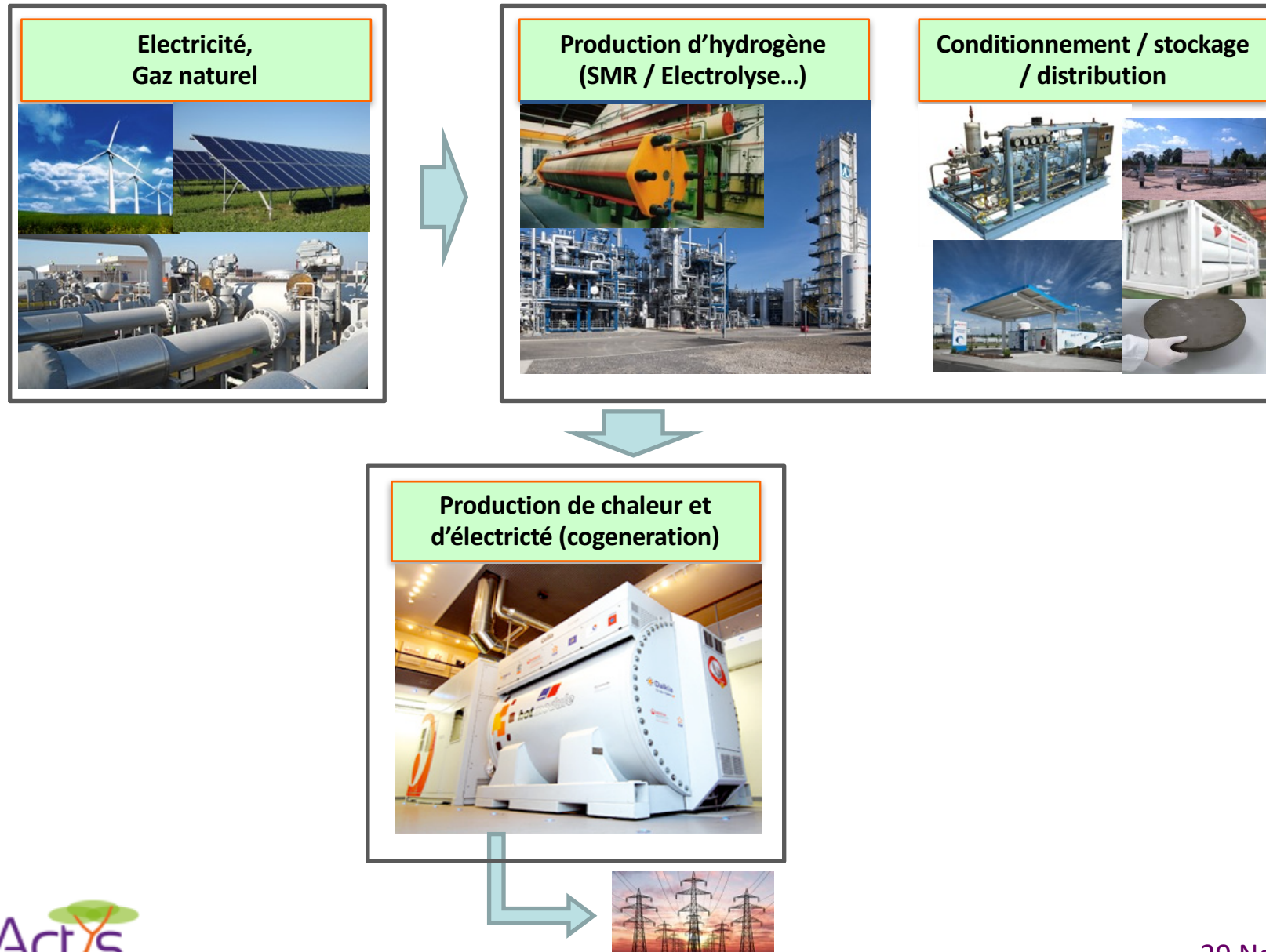


Statut mondial du déploiement d'infrastructure de recharge



Source: SHELL hydrogen study – energy of the future?

Production d'électricité et de chaleur



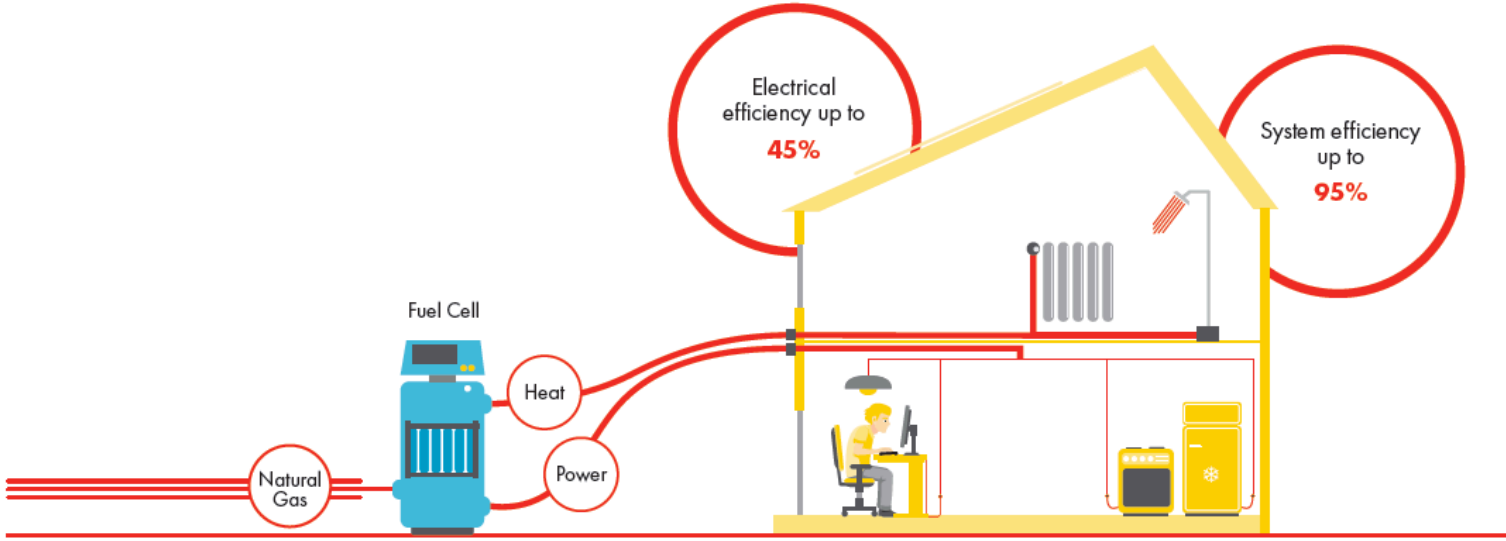
Applications stationnaires - Alimentation de secours



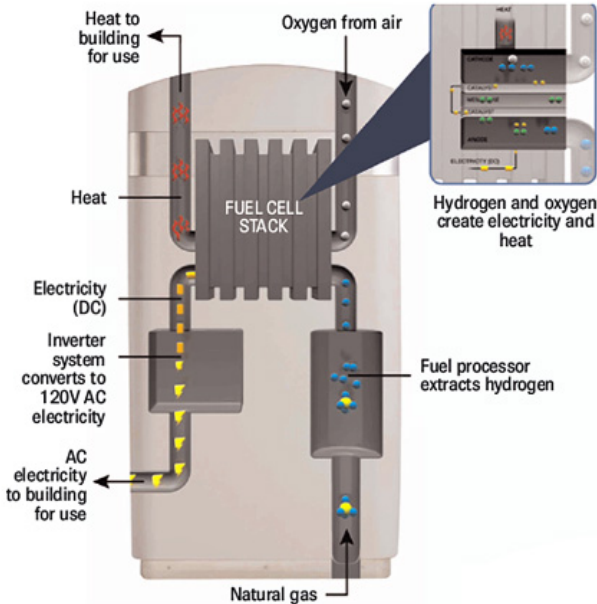
Source: SHELL hydrogen study – energy of the future?



Applications domestiques



Source: SHELL hydrogen study – energy of the future?



Applications domestiques - déploiement dans divers pays



Japon

Projet ENE FARM (micro CHP)

- PEFC d'abord
- SOFC

Plus de 200 000 systèmes installés

Etats-Unis

Très peu de micro CHP

Principalement FC de forte puissance dans des environnements industriels

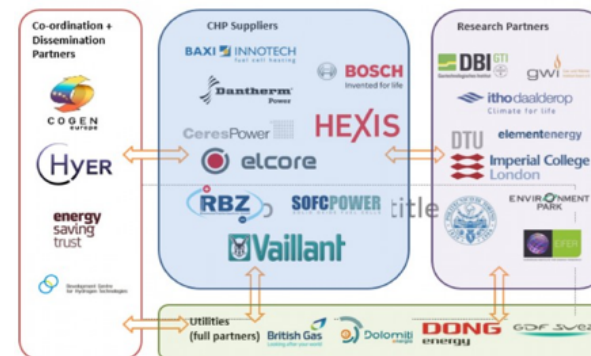
Allemagne

Piles à Combustible (FC) pour la cogénération résidentielle
 1 000 000 heures en opération (350 unités installées en Allemagne entre 2008 et 2012 – 800 en 2016)

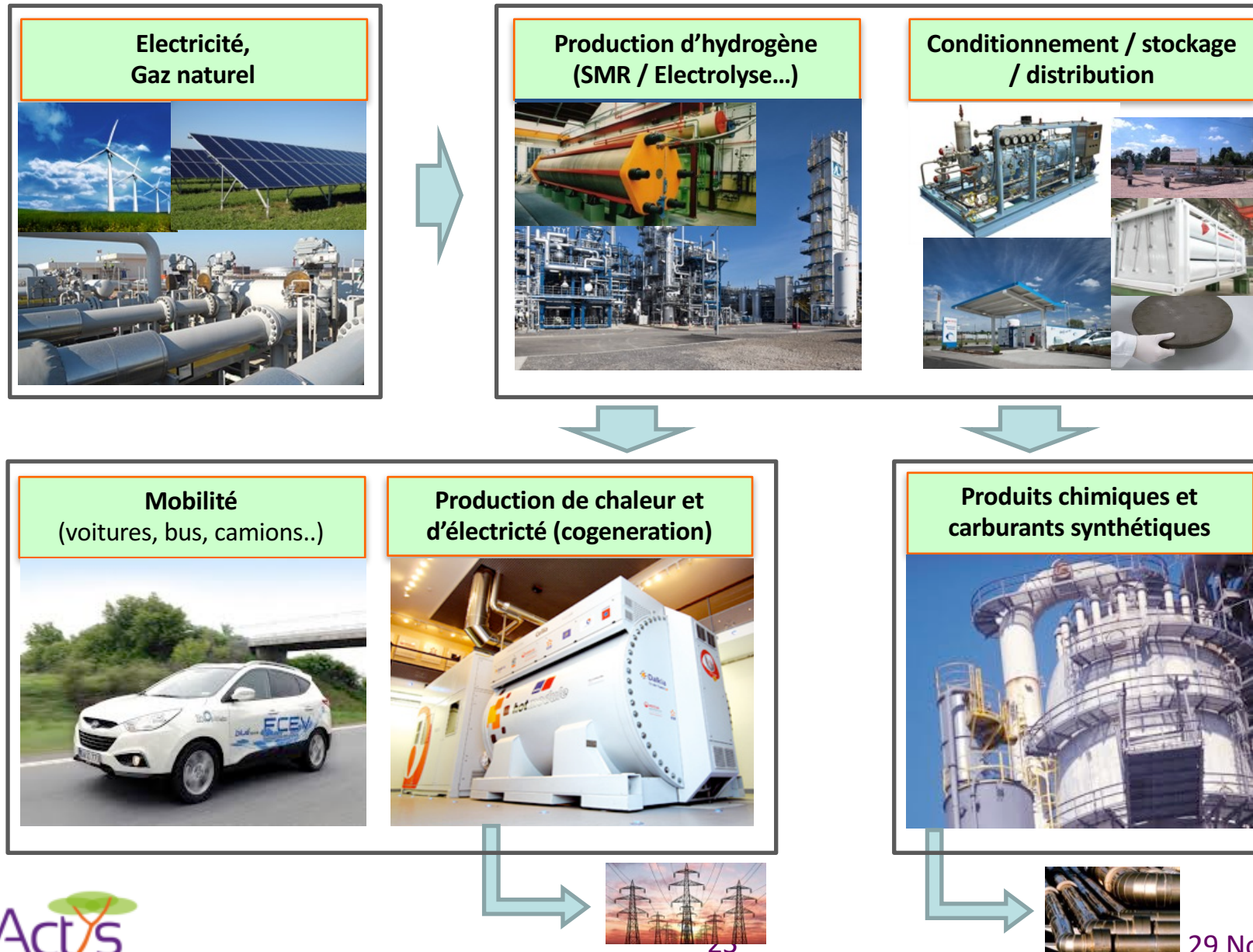


Europe

Projet ENE FIELD– 1000 systèmes

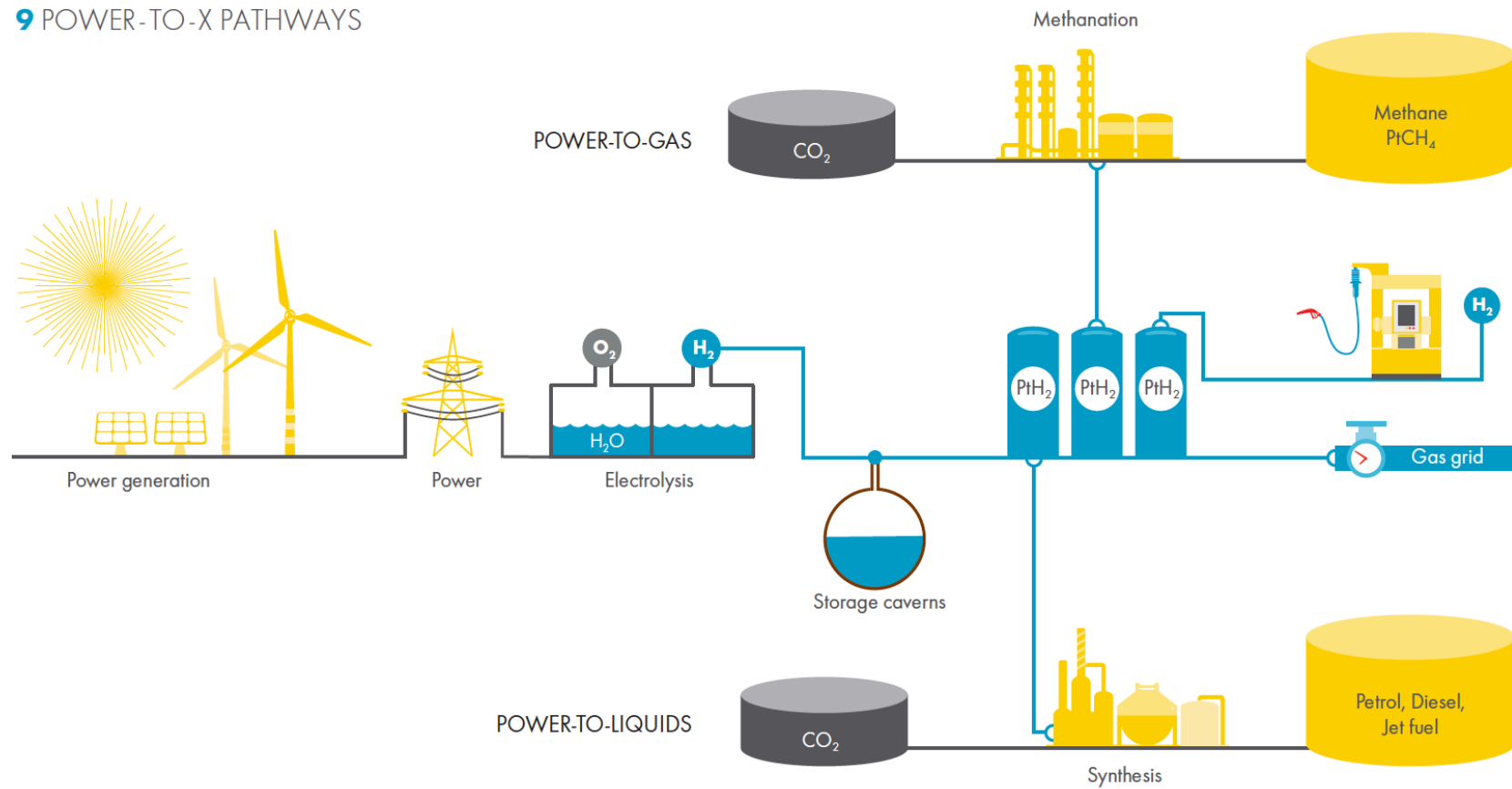


Fabrication de carburants de synthèse / produits chimiques



Les voies du « Power-to-X »

9 POWER-TO-X PATHWAYS



Source: SHELL hydrogen study – energy of the future?

Questions?