Le rôle de l’hydrogène dans la transition énergétique du Québec

Pr. Philippe A. Tanguy
Polytechnique Montreal

Étude financée par Transition Énergétique Québec et le MERN

Émissions de CO_2 au Québec

8.5 MT

Résidentiel et commercial

Taux de population urbaine: 81%

Transports

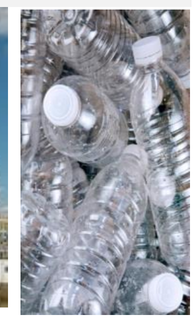
34 MT

6,45 millions de véhicules

31.1 MT

Agriculture

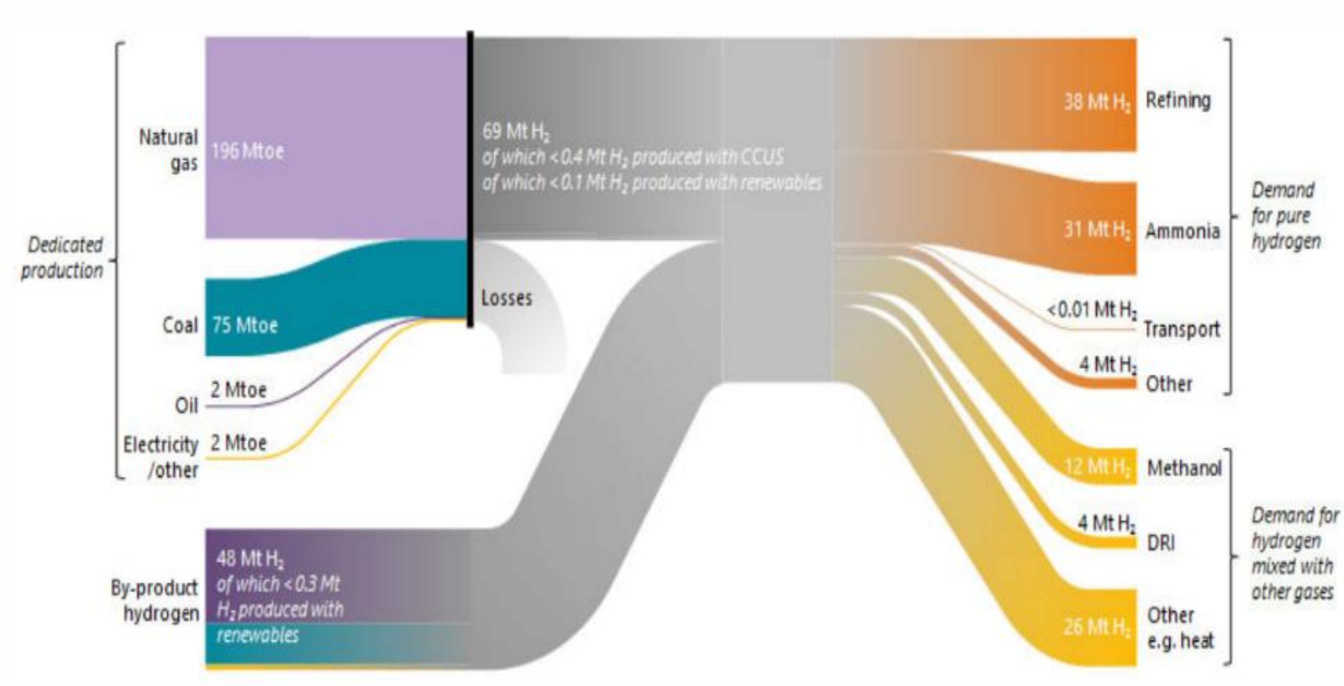
Industrie



8,4 millions de consommateurs

Chaînes de valeur de l'hydrogène

L'hydrogène est considéré par un nombre croissant de grandes puissances industrielles tant en Asie qu'en Europe comme un vecteur clé dans la transition énergétique vers une économie bas carbone.

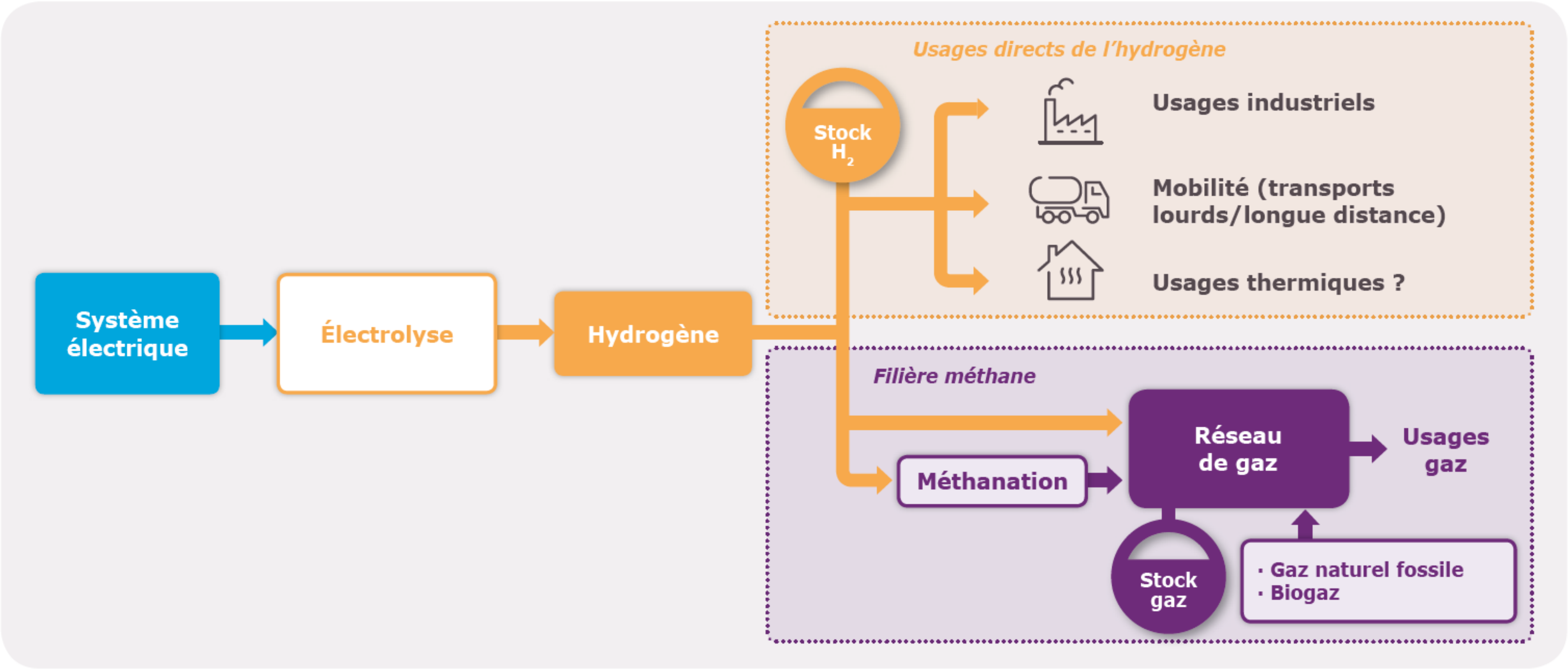


IEA 2019

Québec: environ 100 kT/a (90 kT pour le raffinage)

L'hydrogène vert: un des piliers pour réussir la transition énergétique

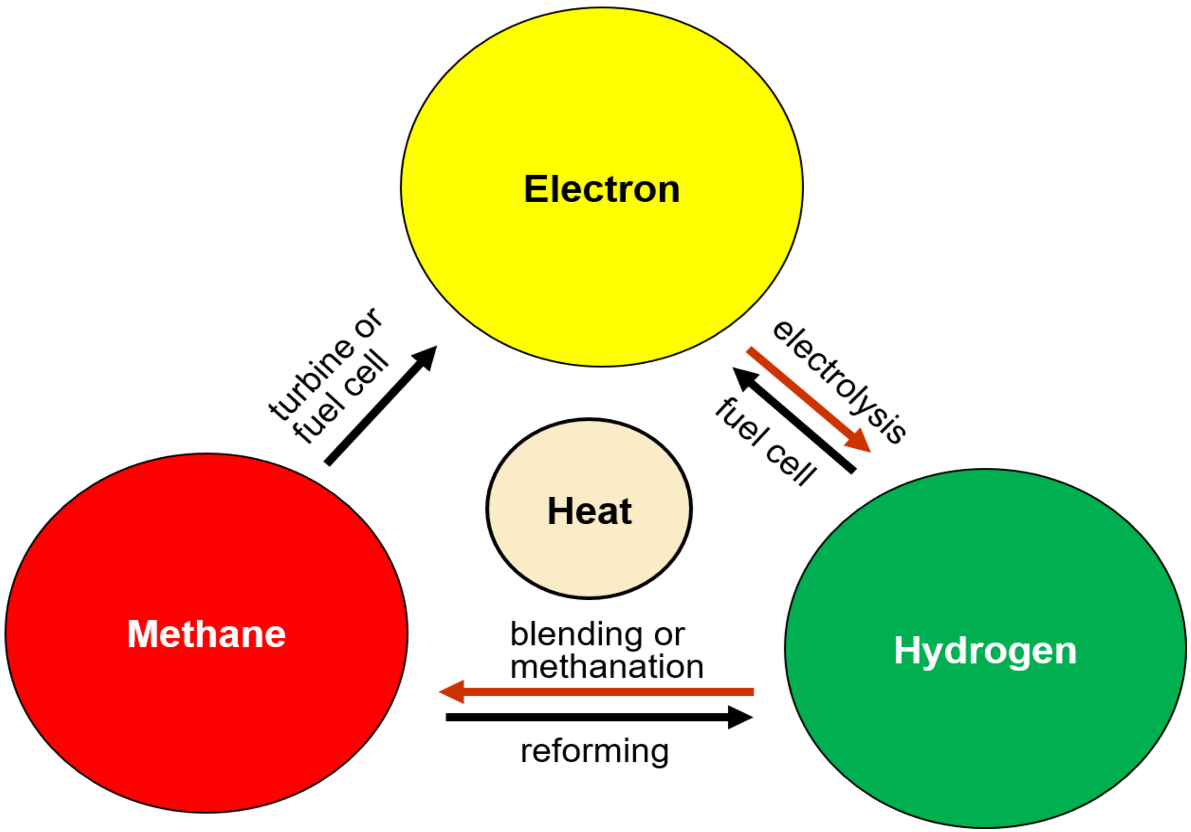
L'hydrogène vert produit à partir d'électricité renouvelable peut permettre de décarboner des usages (transport, industrie) et d'accroitre la flexibilité du réseau électrique (passerelle).



RTE 2020

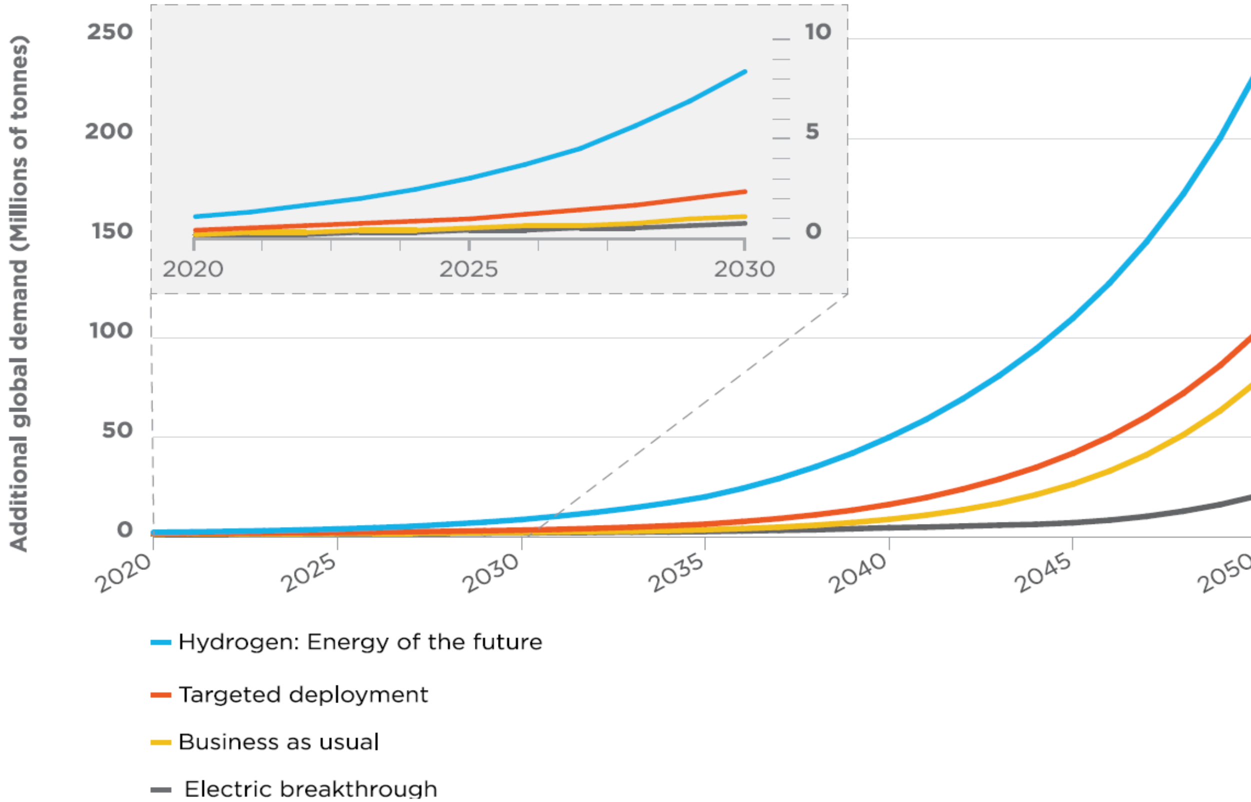
Passerelles entre les réseaux

Réseau électrique



Réseau de
gaz naturel

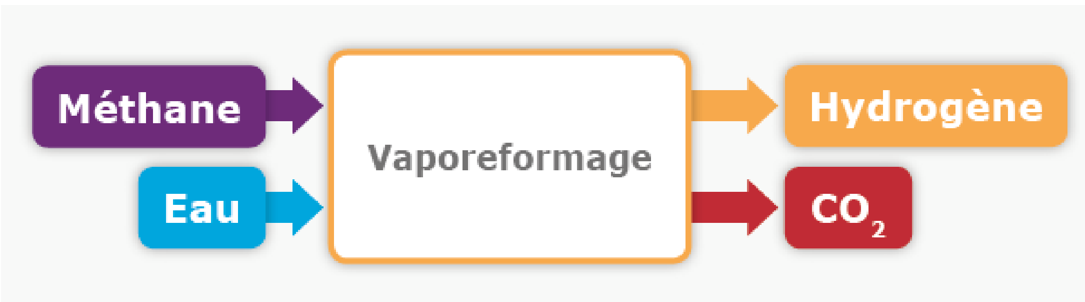
Évolution de la consommation d'hydrogène



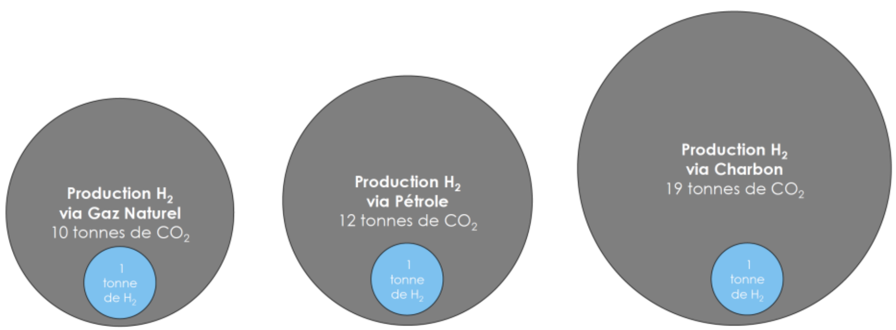
SIA Partners 2019

Le scénario optimiste de l'*Hydrogen Council* (2017) prévoit en 2050 une demande supplémentaire de 500 MT/an

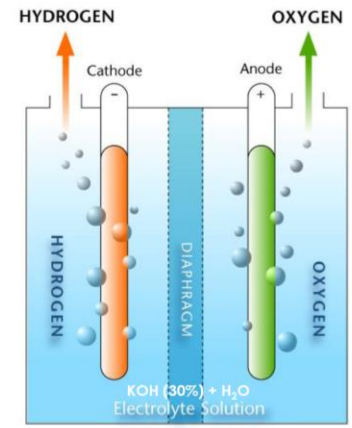
Technologies de production



Réformage: 95% de la production mondiale



Plus de 1 GT de GES émis chaque année



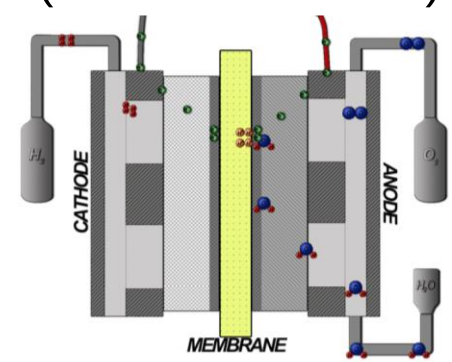
Cathode: $4\,H_2O + 4\,e^- \rightarrow 2\,H_2 + 4\,OH^-$

Anode: $4\,OH^- \rightarrow O_2 + 2\,H_2O + 4\,e^-$

Overall: $2\,H_2O \rightarrow 2\,H_2 + O_2$

Ael (mature)

Électrolyse – sans GES (si électricité verte)



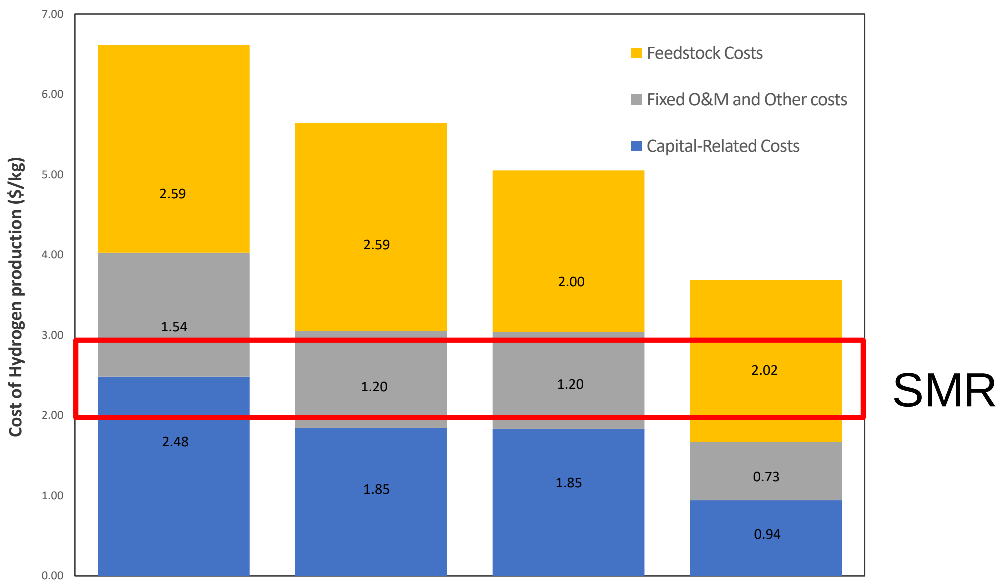
Anode: $H_2O \rightarrow 2H^+ + \frac{1}{2} O^2 + 2e^-$

Cathode: $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

Overall: $H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2} O^2$

PEM (en déploiement)

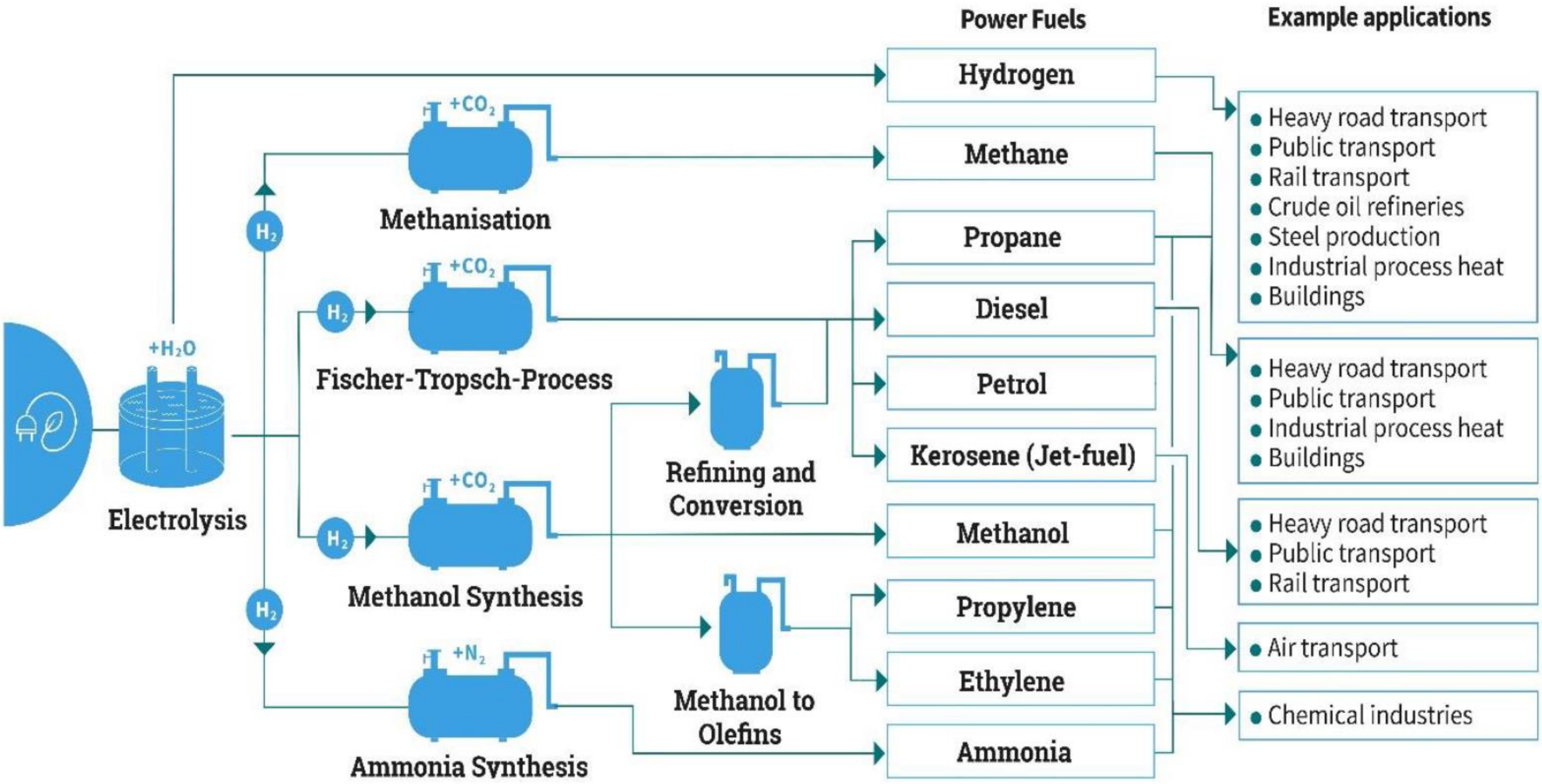
Modélisation économique pour le Québec



PEM Electrolyzer				
Scenarios	Base case	Aggressive	2030	Long-term
Hydrogen Production cost (2019 CAD/kg)	6.62	5.64	5.05	3.69
Load Factor (%)	90%	90%	90%	90%
Electricity Price at 2019 (¢/kwh)	4.5	4.5	3.5	3.5
CAPEX ($/kWe)	1900	1400	1400	700

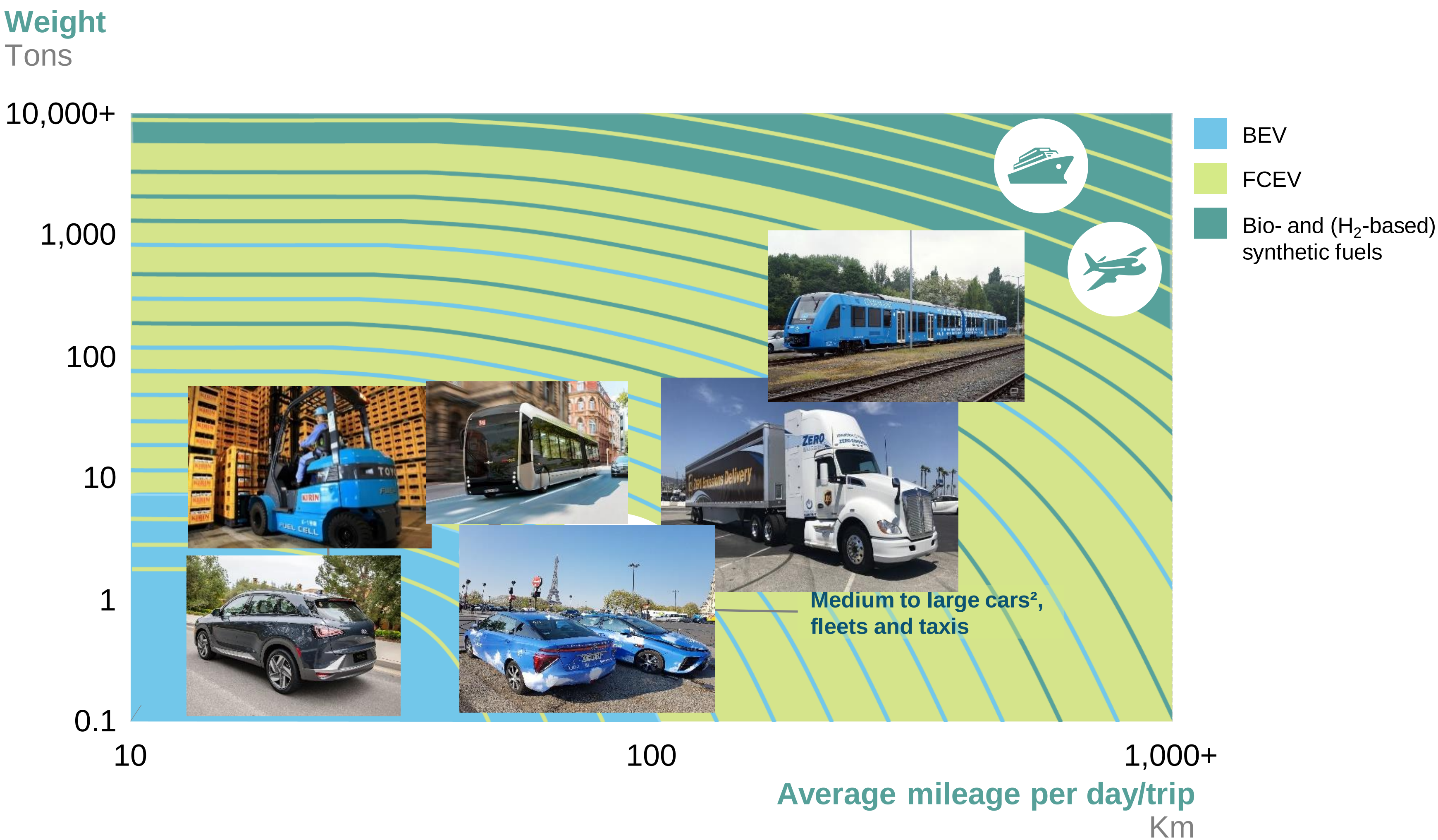
La production est rentable surtout avec une taxation du carbone

Typologie du Power-to-X



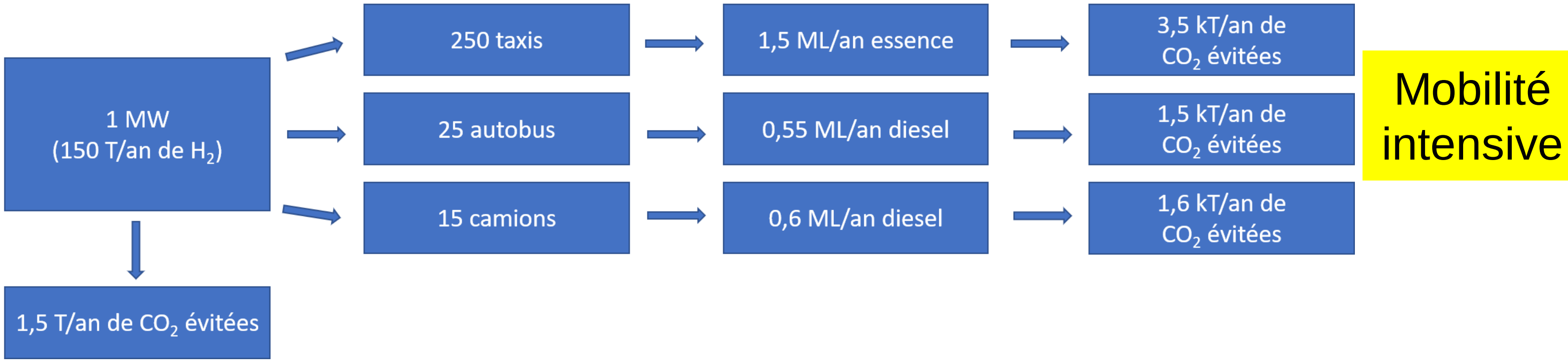
DENA 2019

Électrification des transports

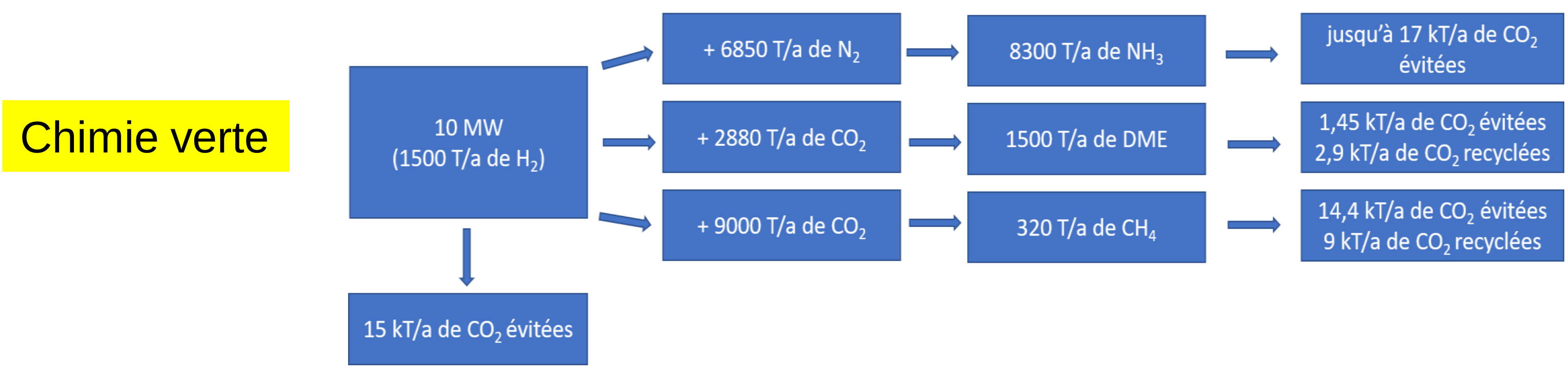


Toyota, Hyundai, Daimler 2017

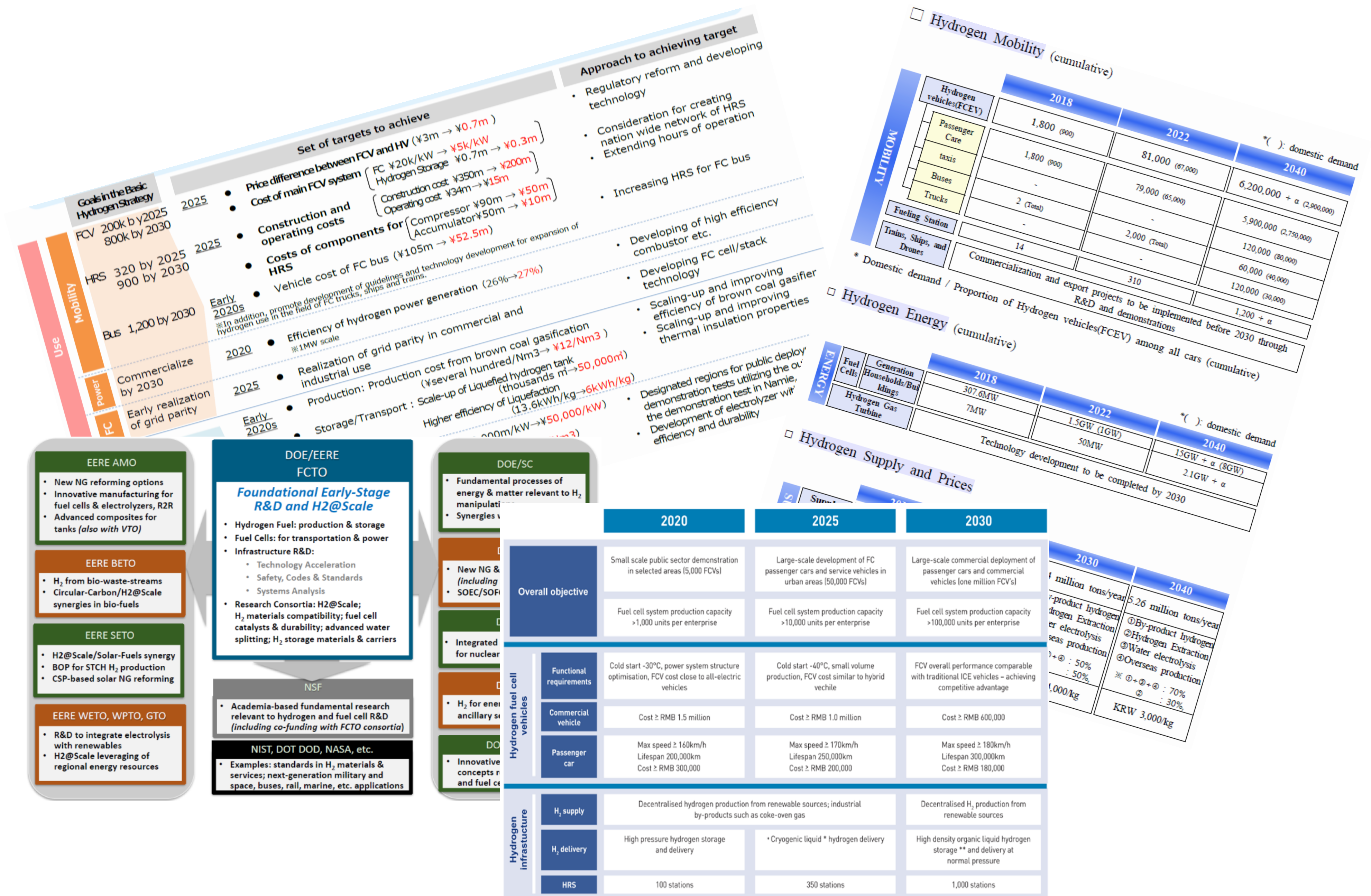
Quelques ordres de grandeur



Décarboner le camionnage lourd au Québec par l'hydrogène vert demanderait environ 900 kT/an d'hydrogène. Cela nécessiterait une capacité d'électrolyse de près de 6 GW (300 unités identiques à celle d'Air Liquide à Bécancour) et une consommation d'énergie de 50 TWh (6 fois la Romaine). À 1500 $/kW, les coûts fixes seraient de 9 milliards de $.



Plus de 20 feuilles de route déjà publiées

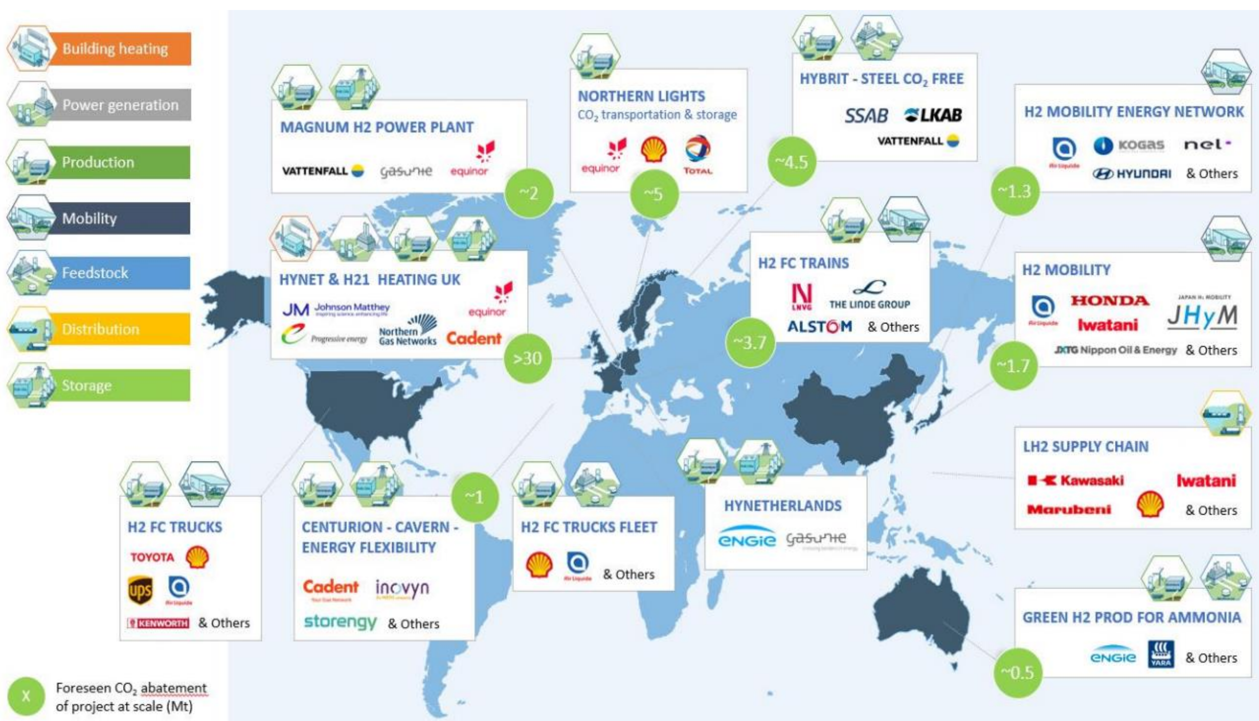


Création de l'*Hydrogen Council* en 2017

90 milliards de grands projets en cours

Coopération établie entre les principaux acteurs pour promouvoir le « 10-10-10 »

- 10 millions de véhicules fonctionnant à l'hydrogène
- 10000 points de ravitaillement
- en 10 ans



Franc 2019

Propositions pour le Québec

Pour l'hydrogène direct (utilisé tel quel) :

- La mobilité avec un fort potentiel à long terme pour les véhicules lourds et le transport intensif
- Le stockage d'énergie incluant l'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel

Pour l'hydrogène indirect :

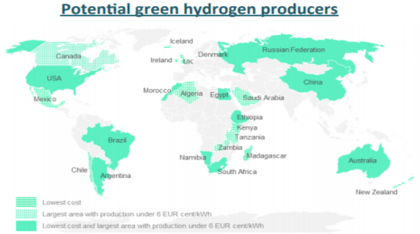
- La décarbonation du raffinage et de la pétrochimie
- Le développement d'une chimie plus verte basée sur la valorisation du CO_2 industriel capté et comprenant en particulier les carburants synthétiques et d'autres produits chimiques à haute valeur ajoutée
- La diminution de l'empreinte carbone de la sidérurgie (réduction directe de l'oxyde de fer)

Un marché d'export?

International supply chains: Potential partner countries

Country	Shared characteristics
Canada, US, Australia, China	Likely future blue and green hydrogen producers and technology providers
Saudi Arabia, Russia	Resource-rich countries with potential of both blue and green hydrogen production
Peru, Iceland, Ethiopia	Potential supplier of low-cost green hydrogen; no incentive to use hydrogen domestically, enabling green hydrogen export
Ireland, Chile, UK	Potential supplier of low-cost green hydrogen; a need to enhance energy self-sufficiency, thus likely facing competition between domestic consumption and export of green hydrogen
Netherlands, UK, Switzerland, France, Germany, Spain, Portugal, Israel, Italy, Belgium, Korea, Japan	Potential demand for low-carbon hydrogen; high-income, high dependence on primary energy imports, and likely future users with technology competence

Potential green hydrogen producers



Potential blue hydrogen producers