

Étude sur le potentiel de la filière de l'hydrogène au Québec dans la transition énergétique

Principales conclusions

14 juillet 2020

Déroulement du webinaire

1. Présentation du mandat
2. Contextualisation et présentation du volet C
3. Réactions et prises de positions des acteurs économiques
4. Occasions et défis du déploiement de la filière
5. Ce qu'il faut retenir
6. Questions





1. Présentation du mandat

Origine de l'initiative

Le Québec est actif depuis plusieurs décennies dans le domaine de l'hydrogène

- > Recherche sur les électrolyseurs et les piles à combustible au sein de l'IREQ dans les années 1980
- > Projet pilote « Euro Québec Hydro Hydrogen » 1990
- > Création de l'IRH à l'UQTR en 1993
- > Recherche sur les PAC depuis les années 1990 et sur l'ingénierie de l'hydrogène depuis les années 2010 à Polytechnique Montréal
- > Recherches dans d'autres universités québécoises (INRS, Sherbrooke, McGill, autres)

Origine de l'initiative

À l'échelle internationale, plusieurs pays annoncent des investissements et des feuilles de route ambitieuses pour le déploiement de la filière de l'hydrogène vert

- > Allemagne, Japon, É-U, Corée, Chine et autres déjà en action
- > Californie : mise sur l'hydrogène pour réduire ses émissions liées au secteur du transport
- > Hydrogen Council créé en 2017
- > Canada : publication d'une version pour consultation de sa stratégie hydrogène d'ici la fin de l'été 2020

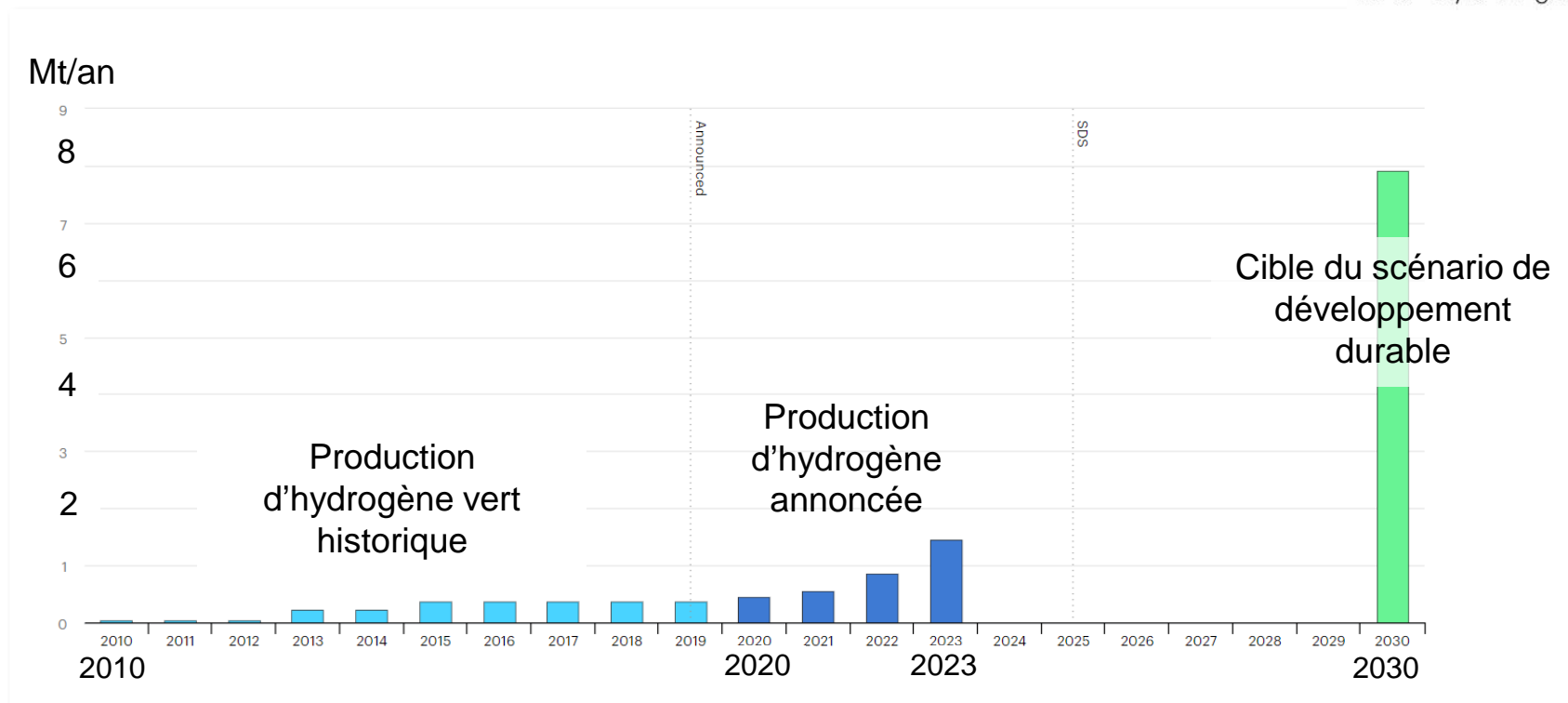
Origine de l'initiative



“As the International Energy Agency points out, if hydrogen is going to play a role in the world’s energy transition, it will have to be adopted in sectors where it’s currently almost completely absent – think transport, buildings and power generation.”

The Globe and Mail, 15 juin 2020

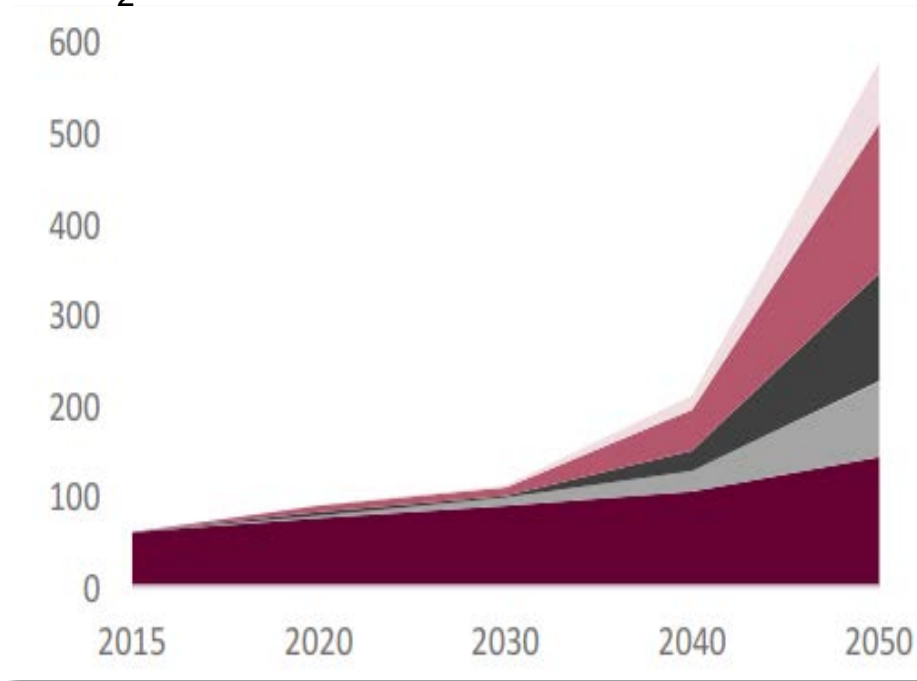
Origine de l'initiative



IEA, *Tracking report*, Juin 2020

Consommation de H2 – Projection 2050 (scénario optimiste)

MT H₂ / an



- Usages industriels
- Injection dans les réseaux de gaz
- Génération d'énergie pour l'industrie
- Mobilité
- Stockage d'électricité

SIA Partners 2019

Origine de l'initiative



- > 2017 : TEQ contribue au développement d'un banc d'essai pour des véhicules électriques à pile à combustible
- > 2018 : création d'un comité directeur hydrogène (TEQ, MERN, HQ, MEI)
- > 2019 : HQ fait mention d'une intention d'investir dans la production d'hydrogène vert dans son Plan stratégique 2020-2024
- > 2019 : signature d'une entente de collaboration TEQ-ADEME, entre autres pour les dossiers en lien avec l'hydrogène
- > 2019 : signature d'une entente de collaboration TEQ-DENA, entre autres pour les dossiers en lien avec l'hydrogène



Présentation du mandat

Objectifs

- > Fournir au gouvernement un portrait réaliste, objectif et actuel du paysage technico-économique et des enjeux liés à la filière de l'hydrogène
- > Proposer des pistes d'actions gouvernementales qui permettraient de soutenir le développement de la filière de l'hydrogène au Québec

Présentation du mandat

L'étude est réalisée conjointement par TEQ et le MERN et est divisée en quatre volets

- > Volet A Portrait régional, canadien et international actuel de l'économie de l'hydrogène
- > Volet B Revue de littérature technico-économique de l'hydrogène : de la production à l'utilisation
- > Volet C Propositions pour le déploiement de l'hydrogène vert au Québec
- > Volet D Perception des acteurs économiques en lien avec l'avenir de l'hydrogène vert au Québec

Présentation du mandat

- > Polytechnique Montréal mandaté pour réaliser l'étude
- > CIRAIG en appui pour réaliser les consultations auprès des acteurs économiques



- > Documents disponibles prochainement sur le site de TEQ
transitionenergetique.gouv.qc.ca/expertises



2. Contextualisation et présentation du volet C

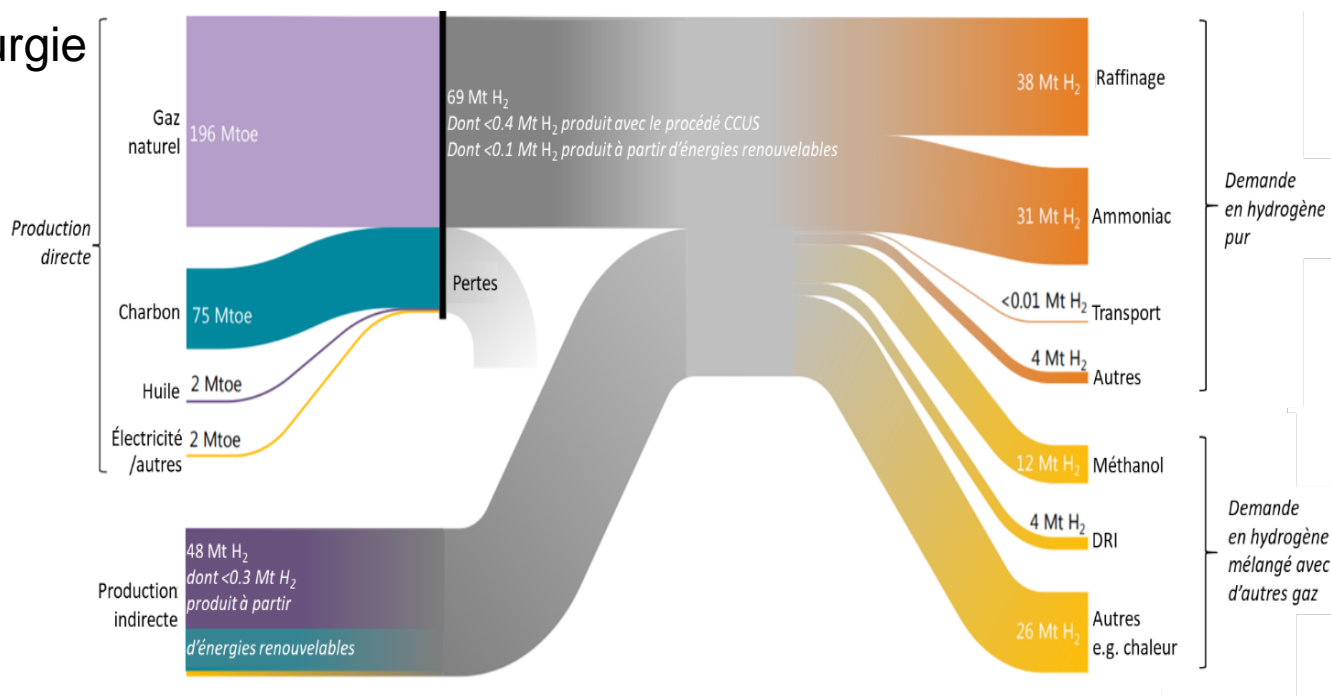
Défis de la transition énergétique

- > Système énergétique actuel carboné ➡ système énergétique basé sur l'énergie électrique (transport, bâtiment, industrie)
- > Utilisation d'énergies renouvelables à grande échelle, coût abordable et faible empreinte carbone :
 - énergie hydraulique
 - énergie éolienne
 - énergie solaire

} énergies intermittentes - Difficiles à stocker massivement et dans la durée
- > Stockage de l'énergie
 - indispensable pour sécuriser un approvisionnement continu et régulier
 - assurer l'équilibre entre l'offre et la demande (gestion du réseau)
- > Hydrogène considéré comme une solution à l'ensemble de ces enjeux
 - vecteur énergétique (substitut aux hydrocarbures et au charbon)
 - moyen de stockage énergétique sous forme chimique

Utilisation industrielle de l'hydrogène

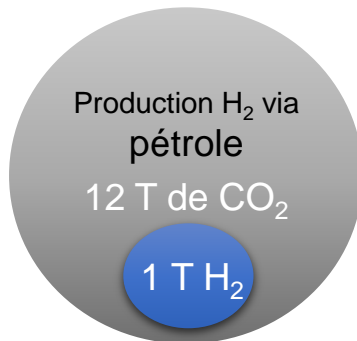
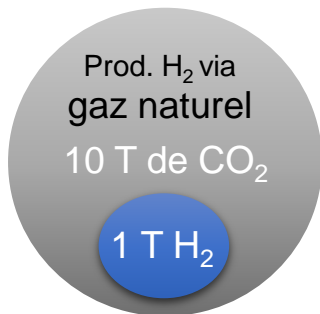
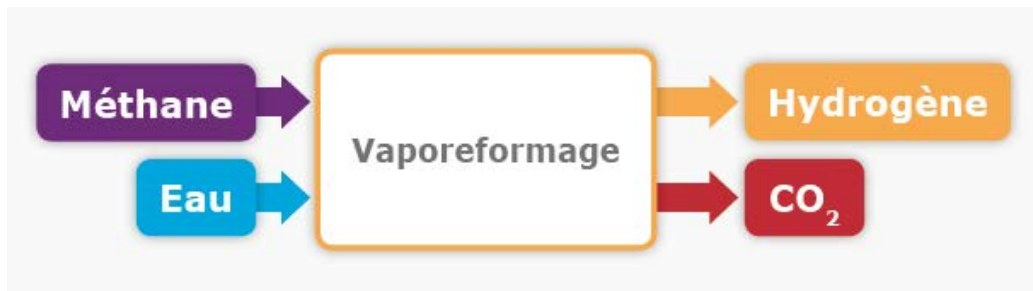
- > Raffinage, chimie industrielle et spécialités
- > Cogénération électricité-chaleur dans les bâtiments
- > Sidérurgie



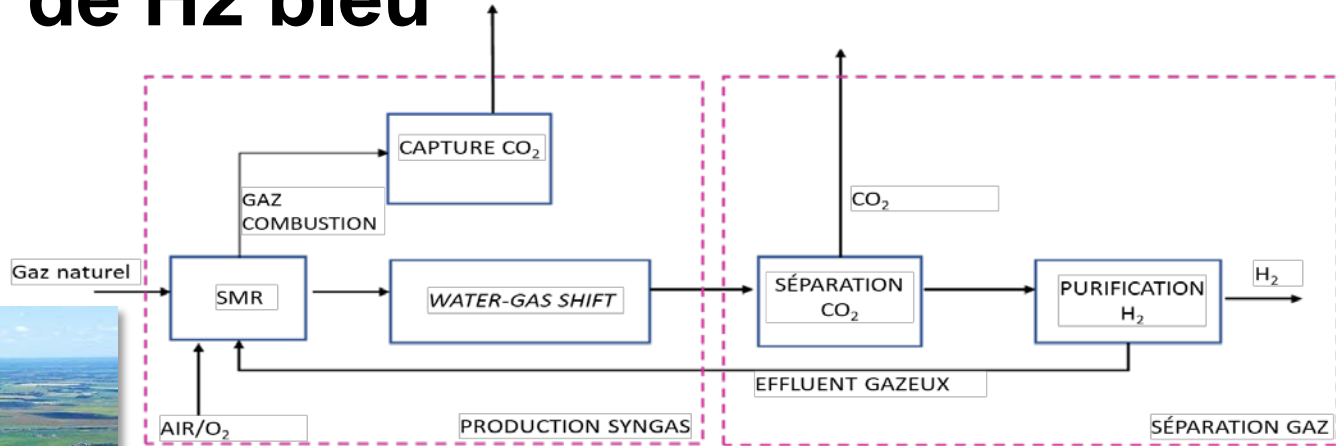
IEA 2019

Reformage – Production de H₂ gris

- > Hydrogène gris : 95 % de la production mondiale
- > + de 1 GT de CO₂ émis chaque année dans le monde (1 MT au Québec)



Reformage avec capture du CO₂ (CCS) - Production de H₂ bleu

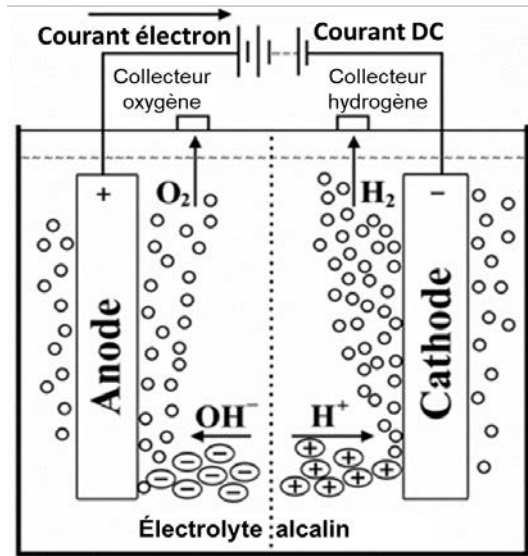


> Technologie en début de déploiement

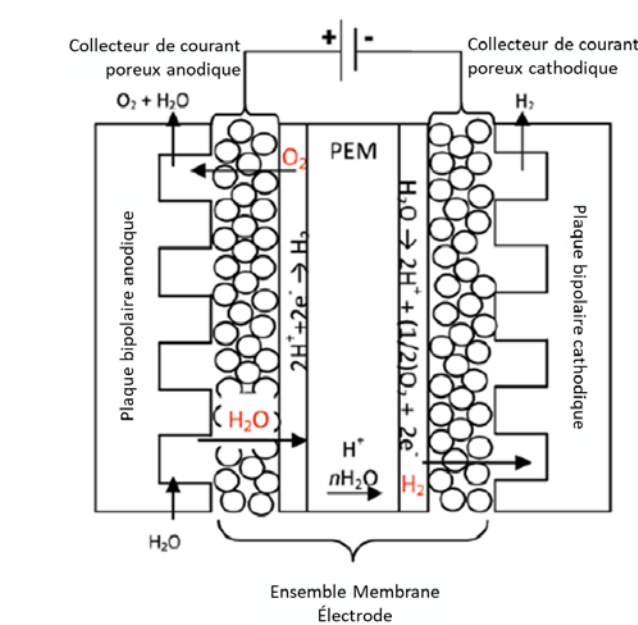


> Projet Quest en Alberta : 5 MT de CO₂ capturées (Shell 2020)

Électrolyse – Production de H₂ vert (électricité décarbonnée)



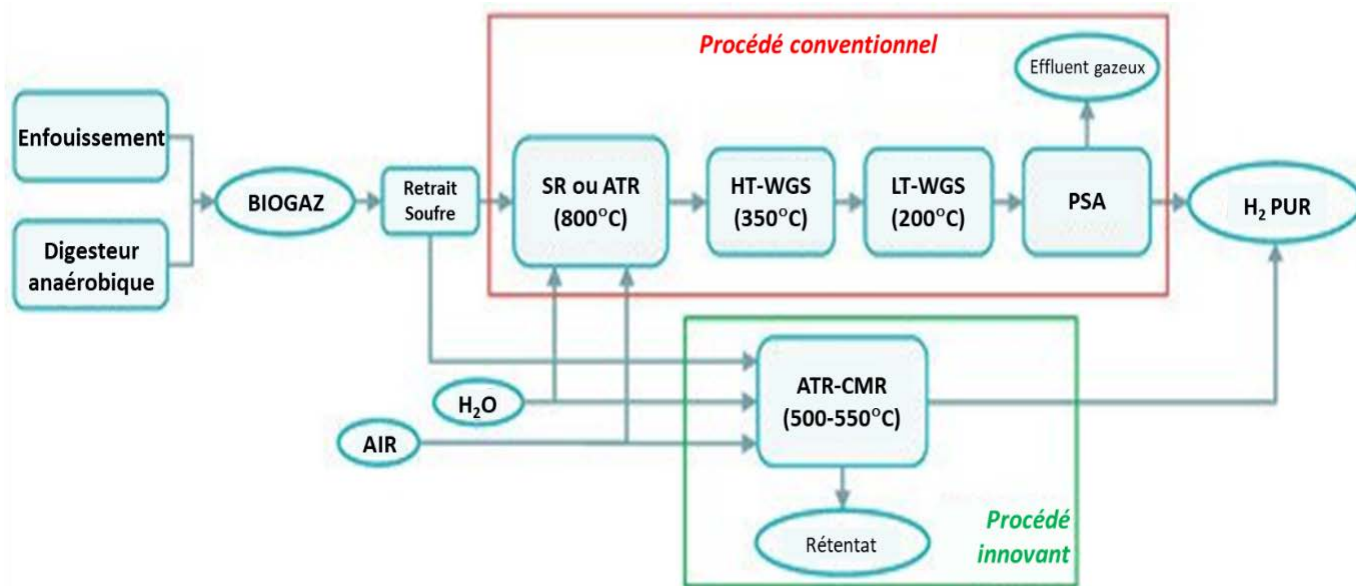
> Électrolyse alcaline (mature)



> Électrolyse à membrane (en déploiement)

Gazéification de la biomasse – Production de H₂ vert

- > Les technologies en début de déploiement comprennent aussi la gazéification et la pyrolyse de la biomasse



Production d'hydrogène au Québec

> Hydrogène marchand

- Air Liquide (Bécancour) et Messer (Magog)
- Environ 12 kT/an (SMR et coproduction)
- Exportation (2018) : 5,7 kT selon Statistiques Canada

> Hydrogène captif

- Suncor (Montréal-Est) et Valero (Lévis)
- Environ 90 kT/an (SMR)

> De l'ordre de 100 kT/an, soit 0,1 % de la production mondiale

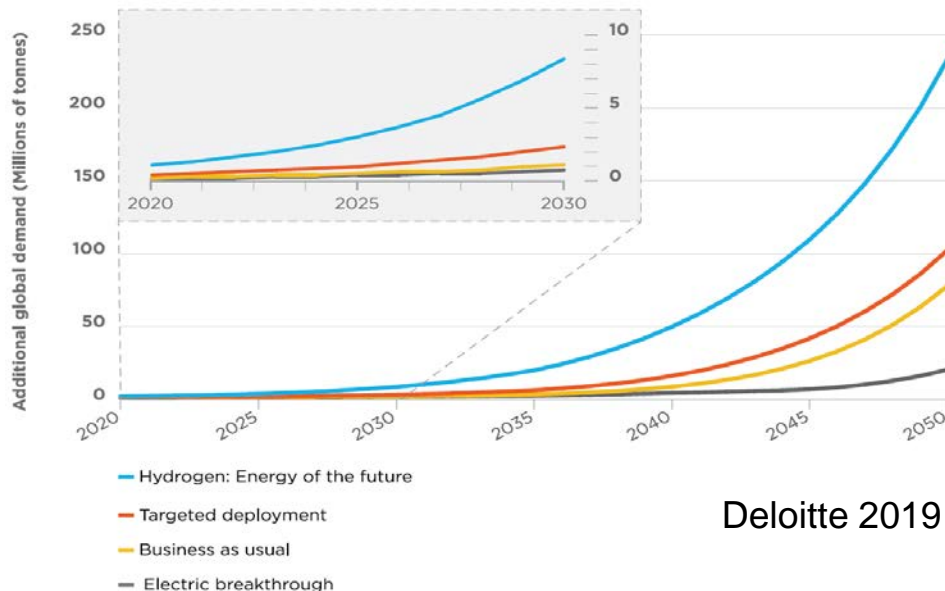
> Quelques projets d'hydrogène vert en cours ou annoncés

Consommation de H2 – Projection 2050

Scénario optimiste du Hydrogen Council

> 2x la courbe en bleu soit 500MT/an

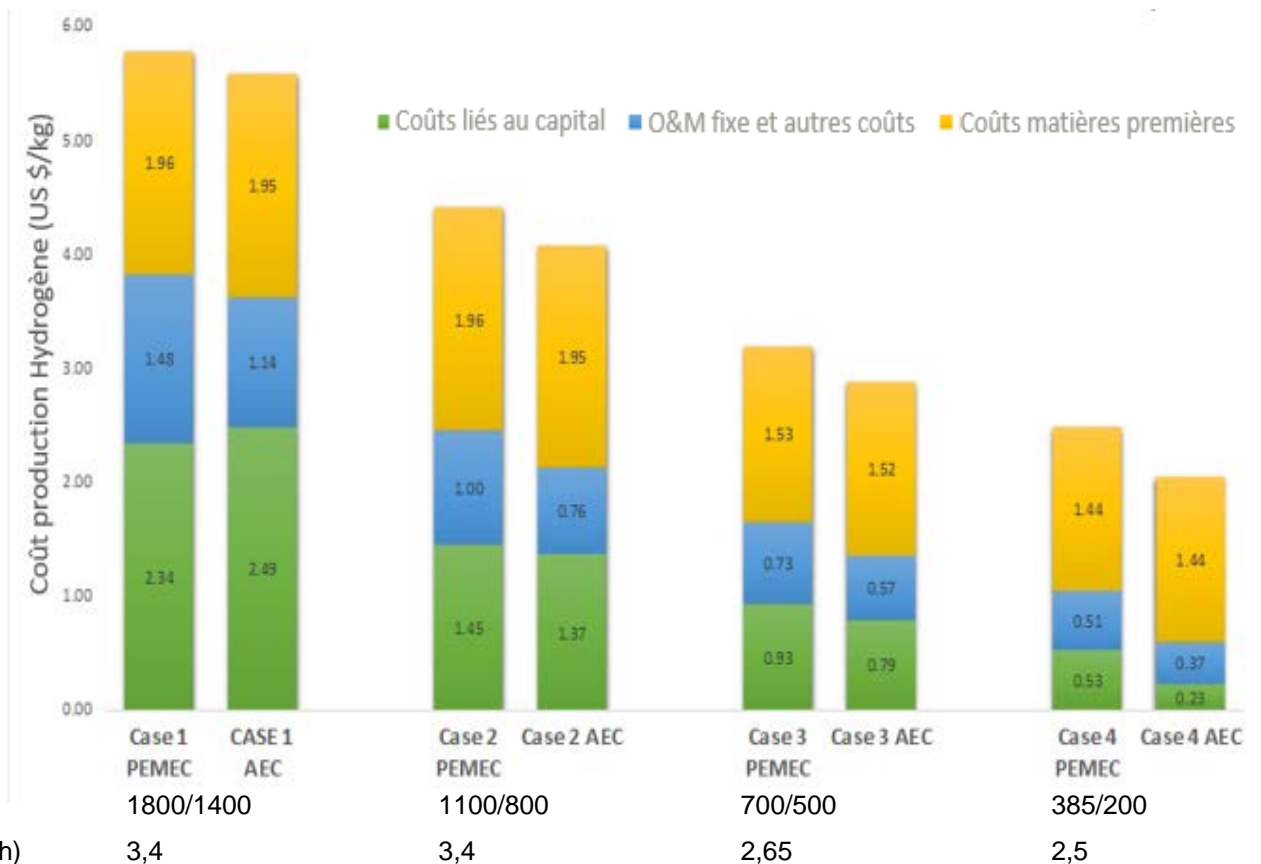
- Ammoniac et méthanol
- Mobilité (véhicules électriques à pile à combustible)
- Production d'électricité dans des centrales thermiques à flamme
- Décarbonation du gaz naturel



Deloitte 2019

> À parts de marché constantes, le Québec devra produire entre 30 kT/an et 500 kT/an supplémentaires (soit entre 10 fois et 162 fois la capacité du projet d'électrolyseur d'Air Liquide à Bécancour) d'ici 2050

Modélisation économique de la production électrolytique (\$ US)



CAPEX (\$/kW)

Électricité (¢/KWh)

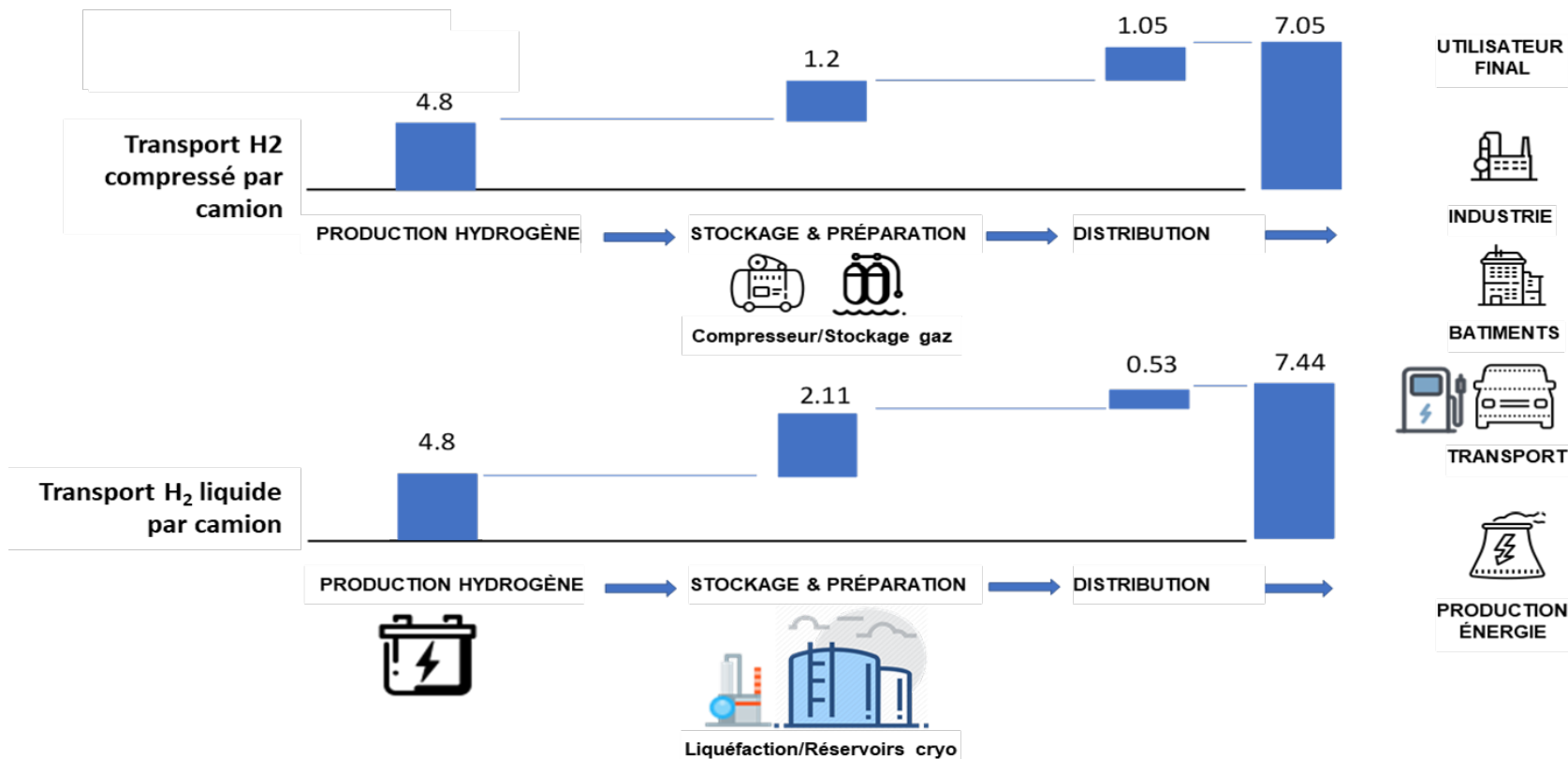
Comparatif des coûts de production

Procédé	État de la technologie	Efficacité [%]	Prix comparé au SMR	Émission GES
Reformage vapeur du méthane (SMR)	Mature	70-80	1	Élevées dues à l'utilisation de gaz naturel comme matière première
Électrolyse de l'eau	Mature		2.4-3.4	Aucune émission en utilisant l'hydro-électricité
Gazéification de la biomasse	R&D	30-40	1.2-4	CO ₂ neutre
Pyrolyse de la biomasse	Mature	35-50	1.24-3	CO ₂ neutre
Reformage conventionnel de la biomasse	Mature		--	CO ₂ neutre
Réacteur à membrane catalytique au biogaz	Début R&D		--	CO ₂ neutre
Conversion biochimique de la biomasse en hydrogène	R&D	Phytobiologique: 10-11	2.9-3.1	CO ₂ neutre/négatif ⁽¹⁾
		Fermentation sombre: 60-80		
		Photo fermentation: 0.1		

(1) : CO₂ négatif en lien avec la technologie CCUS neutre en CO₂

Kumar 2019, IEA 2019, Sarkar 2010, Binder 2018

Modélisation économique incluant la livraison (\$ CAN)



AEC : 1060 \$/kW

Électricité : Tarif L d'Hydro-Québec

Propositions pour le Québec

Les chaînes de valeur de l'hydrogène vert sont encore mal connues, immatures, complexes car multisectorielles et risquées en termes économiques car très exigeantes en capitaux.

- > Établissement d'une feuille de route québécoise sur l'hydrogène vert à partir de cibles fixées par le secteur public et l'industrie
- > Baliser et harmoniser les différentes phases de développement de l'hydrogène vert

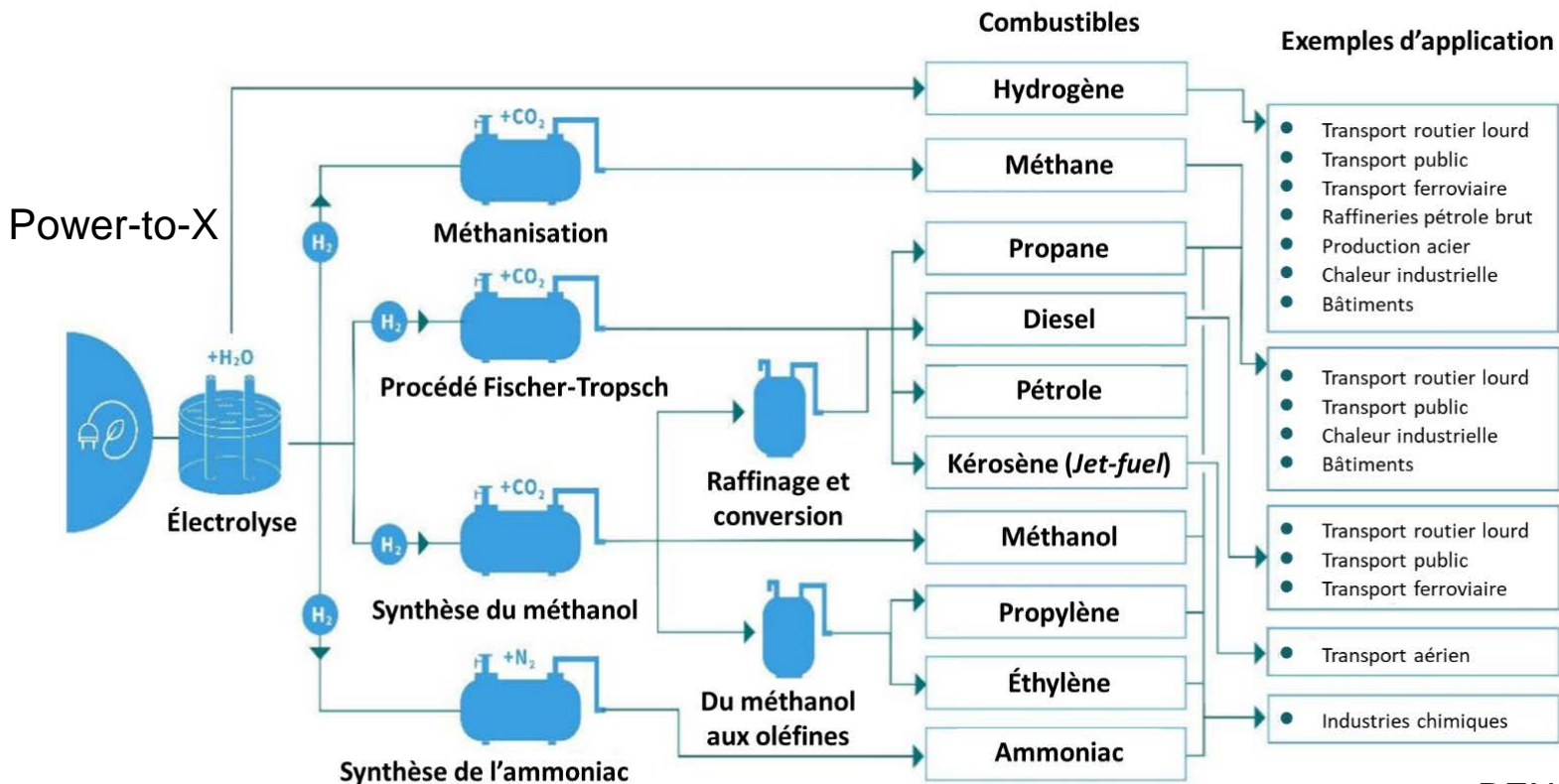
		Objectif de la stratégie de base sur l'hydrogène	Ensemble d'objectifs à atteindre	Approche pour atteindre l'objectif
Utilisation	Mobilité	FCV 200K en 2025 800K en 2030	<p><u>2025</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Différence de prix entre FCV et HV (¥3m → ¥0.7m) ● Coût du système principal FCV (FC ¥20k/kW → ¥5k/kW, Stockage hydrogène ¥0.7m → ¥0.3m) 	<ul style="list-style-type: none"> • Réforme réglementaire et technologique • Envisager la création d'un réseau national de HRS • Prolongation des heures d'opération • Augmentation du HRS pour le bus FC
		HRS 320 en 2025 900 en 2030	<p><u>2025</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Coûts de construction et d'opération (Coût construction ¥350m → ¥200m, Coût opération ¥34m → ¥15m) ● Coûts des composantes du HRS (Compresseur ¥90m → ¥50m, Accumulateur ¥50m → ¥10m) 	
		Bus 1,200 en 2030	<p><u>Début des années 2020</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Coût du véhicule bus FC (¥105m → ¥52.5m) <p>※ De plus, promouvoir l'élaboration de lignes directrices et le développement technologique en vue de l'expansion de l'hydrogène dans le domaine des camions FC, bateaux et trains.</p>	
	Énergie	Commercialisation en 2030	<p><u>2020</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Efficacité de la production d'énergie à partir d'hydrogène (26% → 27%) ※ Échelle 1MW 	<ul style="list-style-type: none"> • Développement des combusteurs à efficacité élevée
	FC	Réalisation rapide de la parité du réseau	<p><u>2025</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Réalisation de la parité du réseau pour des utilisations commerciales et industrielles 	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de la cellule FC /technologie de pile

Exemple de feuille de route (Japon)

Propositions pour le Québec

- > Création d'une main-d'œuvre québécoise qualifiée dans le domaine de l'hydrogène
 - Expertise industrielle et universitaire dans le secteur de la mobilité hydrogène et de l'hydrogène industriel insuffisante en nombre
 - Quasi-absence d'ingénieurs et de techniciens : besoin d'une initiative gouvernementale coordonnée forte en termes de formation technique au niveau collégial et de formation en ingénierie au niveau universitaire à tous les cycles
- > Création de chaires d'enseignement et de recherche en hydrogène vert dans le réseau universitaire
- > Financement d'une grappe québécoise de l'hydrogène
- > Lancement de projets pilotes pour « dérisquer » les technologies

Nouveaux marchés de l'hydrogène



DENA 2019

Électrification du transport

- > Secteur des transports au Québec : 34 MT de CO₂ (43 % des émissions annuelles) dont 17 MT provenant du sous-secteur du transport intensif de marchandises ou de voyageurs
- > Deux sous-secteurs particulièrement mal adaptés à l'électrification par batterie :
 - Transport routier de marchandises sur de longues distances en raison du poids des batteries pour assurer une bonne autonomie aux camions
 - Transport intensif ou spécialisé (autobus, taxis, véhicules d'urgence) en raison du temps d'immobilisation des véhicules pour la recharge

Électrification du transport

> Émissions des véhicules

- Véhicule privé (5 millions) : 13 000 km/an à 0,1 L/km d'essence soit 3 T/an de CO₂
- Taxi (8 300) : 60 000 km/an soit 14 T/an
- Autobus urbain hybride : 45,5 L/100 km d'essence soit 62,8 T/an de CO₂
- Camion : 39,5 L/100 km de diesel soit environ 100 T/an de CO₂ (grande variabilité)

> Consommation de véhicules à pile à combustible

- 99 kg/an d'hydrogène par véhicule privé sur une base de 0,76 kg/100 km
- 456 kg/an par taxi
- 4,8 T/an sur une base de 8 kg/100 km pour un autobus
- 10 T/an (en fait entre 6,6 T/an et 16 T/an sur la base de 80 kg d'hydrogène pour 500 à 1 200 km pour un camion de classe 8)

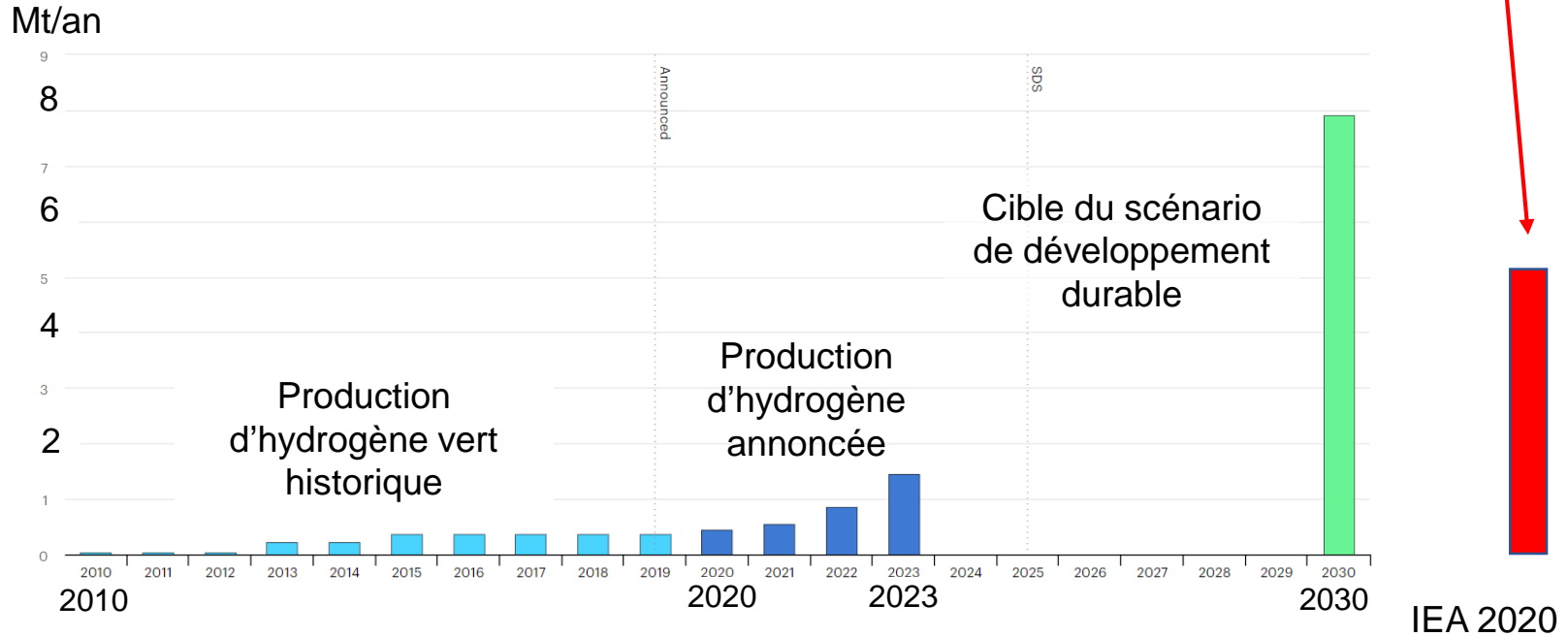
Électrification du transport

- > Carburants consommés (et importés) au Québec : 369 000 barils/j, soit en équivalent hydrogène près de 17 500 T/j
- > Après correction des rendements des motorisations, le besoin en hydrogène s'établit à 5,1 MT/an. Cela nécessiterait une capacité d'électrolyse de l'ordre de 34 GW et une consommation d'énergie proche de 300 TWh, soit près du double de la production d'Hydro-Québec. À 1 500 \$ CAN/kW (CAPEX actuel pour un électrolyseur PEM), l'investissement nécessaire serait de 47 G\$ canadiens
- > Situation actuelle

Production H ₂ (T/an)		Consommation H ₂ (T/an)		Nombre de véhicules desservis
Harnois + Air Liquide	3073	Véhicule privé	0,099	31313
		Taxi	0,456	6798
		Autobus	4,8	646
		Camion de classe 8	10	310

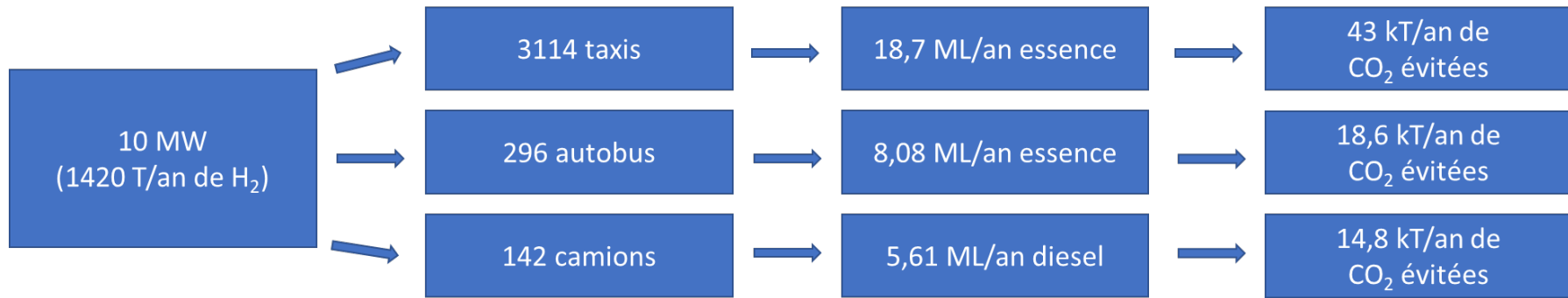
Électrification du transport

- > 5,1 MT/an d'hydrogène pour remplacer les carburants consommés (et importés) au Québec



Électrification du transport intensif ou lourd

- > Décarboner 10 % du camionnage lourd au Québec (8 600 camions émettant 0,8 MT/an de CO₂) par l'hydrogène vert demanderait 90 kT/an d'hydrogène, soit une capacité d'électrolyse de près de 0,6 GW (30 unités identiques à celle d'Air Liquide à Bécancour) et une consommation d'énergie de 5 TWh (équivalent à la Romaine)
- > Les CAPEX seraient de 900 M\$
- > Mobilité intensive ou lourde avec un pilote de 10 MW



Décarboner les gros émetteurs de l'industrie lourde

Rio Tinto Fer & Titane	0,91 MT/an
Arcelor-Mittal	0,94 MT/an
Valero et Suncor	2,6 MT/an (50 % provenant des SMR)


> Sidérurgie

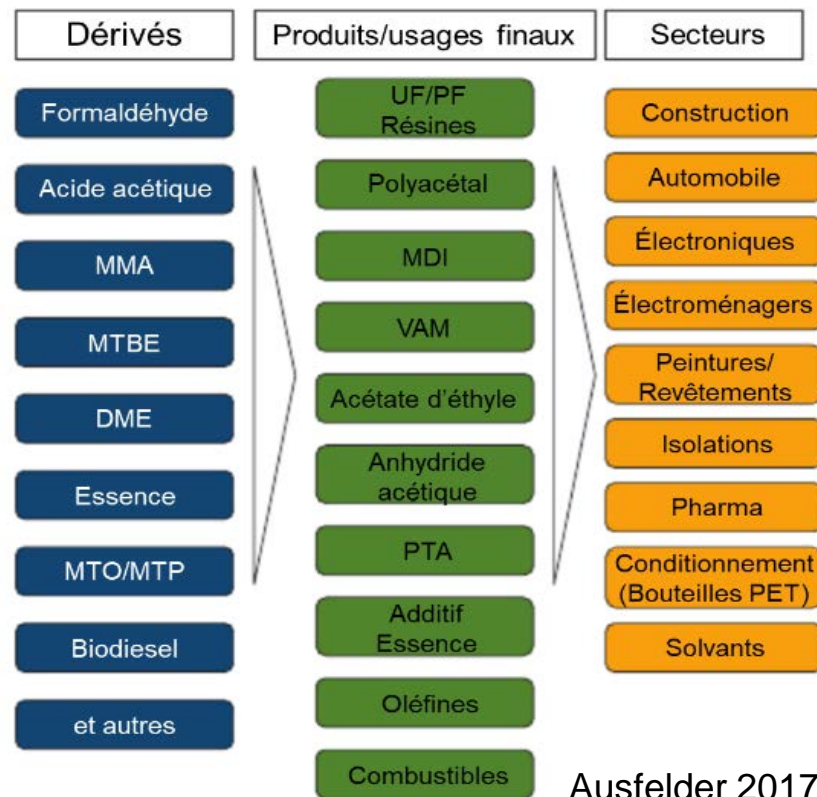
- Une fabrication basée à 100 % sur l'utilisation d'hydrogène vert nécessiterait la production d'environ 135 kT/an d'hydrogène, soit 900 MW d'électrolyse (consommant environ 7,9 TWh)
- Les CAPEX seraient de plus de 1,35 G\$

> Raffinage

- Il serait possible de décarboner partiellement la production de produits raffinés, soit en utilisant de l'hydrogène vert, soit en capturant et en valorisant le CO₂, ou les deux en simultané
- Cela permettrait de réduire de manière indirecte l'empreinte carbone du carburant lors de son utilisation dans les véhicules à combustion interne

Potentiel de la chimie verte

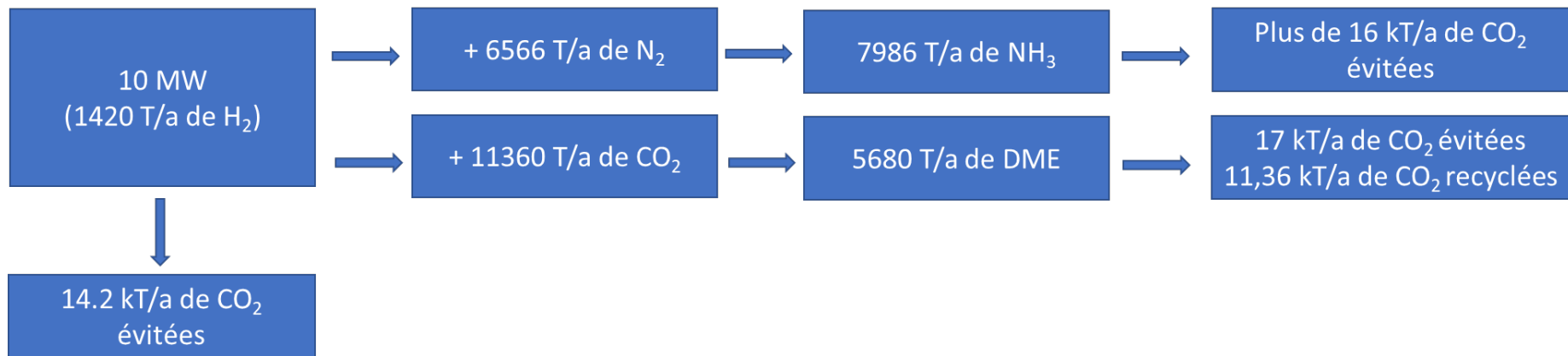
- > Carburants de synthèse
 - Hydrogène, méthane, propane
 - Électrocarburants (procédé Fischer-Tropsch)
- > Chimie du méthanol 
 - Additifs carburants
 - DME
 - Procédés MTO
- > Ammoniac
 - Carburant
 - Solvants et produits azotés



Ausfelder 2017

Potentiel de la chimie verte

> Chimie verte (pilote de 10 MW) – Cas de l'ammoniac et du DME



> Cette approche permet de valoriser le CO₂ capturé sur les unités industrielles

Alimentation des réseaux autonomes

- > Utilisation de piles à combustible stationnaires pour alimenter les communautés isolées du réseau
- > Test sur un cas réel correspondant à une situation où la construction de lignes à haute tension ne peut pas se justifier
- > Îles-de-la-Madeleine
 - Projet de décarbonation partielle de la production électrique actuellement assurée par une centrale au diesel
 - Construction de trois éoliennes qui pourraient être utilisées pour tester le stockage en conditions d'intermittence



3. Réactions et prises de positions des acteurs économiques

Brève note méthodologique

- > Trois ateliers
 - Volet production
 - Volet mobilité
 - Volet usages industriels
- > Types d'acteurs consultés
 - Producteurs ou producteurs potentiels d'hydrogène
 - Réseaux et associations liés à l'électrification, aux énergies renouvelables et à la mobilité
 - Distributeurs d'énergie et de carburants
 - Chercheurs dont l'expertise est connexe à l'hydrogène et aux énergies renouvelables
 - Fabricants de composantes liées à l'hydrogène (piles à combustible, électrolyseurs, etc.)
 - Manufacturiers automobiles ou de composantes de véhicules (lourds et légers)
 - Utilisateurs potentiels de l'hydrogène dans le secteur de la mobilité
 - Industriels intéressés par leurs procédés industriels
 - Industriels intéressés à créer des synergies industrielles ou à valoriser leurs extrants (H₂, CO₂, etc.)
 - Associations industrielles et de développement économique régional

Observateurs

- > TEQ
- > MERN
- > MEI
- > Investissement Québec
- > Montréal International





Principaux constats (partie 1)

- > L'intervention publique pourrait venir soutenir financièrement le déploiement de cette filière prometteuse
- > Besoin que les instances gouvernementales clarifient les avenues qui seront priorisées et potentiellement appuyés par des mécanismes fiscaux
- > Le principal frein à l'adoption est lié aux coûts élevés des projets
- > Il faut favoriser l'usage près des lieux de production, l'injection dans le réseau gazier, la production de produits à valeur ajoutée et la valorisation des extrants de l'électrolyse
- > L'argumentaire économique ne tient pas la route tant que le prix de la tonne de carbone demeurera bas
- > Il n'y a pas de mécanismes pour valoriser le *premium* associé aux produits à faible empreinte carbone
- > Besoin de communications pour désamorcer l'opposition tous azimuts à la mobilité H₂
- > En mobilité, il faut privilégier les bons usages aux bons endroits

Principaux constats (partie 2)

- > Mécanismes potentiels d'aide non réglementaire
 - Mise en place d'ambitieux bancs d'essai
- > Mécanismes réglementaires potentiels
 - Stable et prévisible dans le temps
 - Imposer aux consommateurs industriels d'hydrogène gris un pourcentage progressif minimal d'utilisation d'hydrogène vert
 - Imposition progressive du remplacement des combustibles fossiles et d'H₂ gris par des combustibles décarbonés
 - Imposition progressive de captation et de valorisation des émissions de CO₂
- > Recherche, développement et partenariats
 - Stockage
 - Transport
 - Consortium entre les industriels, les universités et les gouvernements d'ici et d'ailleurs

Degré d'adéquation avec les propositions initiales du volet C

Degré d'adéquation	Légende
Adéquation forte	
Adéquation forte, avec bonification(s) et/ou réserves	
Adéquation partielle, avec bonification(s) et/ou réserves	
Adéquation faible ou rejet de la proposition	

Axes prioritaires	Propositions initiales	Degré d'adéquation
Développement des compétences	Développement et renforcement d'une offre de formation technique (niveau collégial) et en ingénierie (niveau universitaire de 1 ^{er} , 2 ^e et 3 ^e cycle)	
	Financement d'une grappe industrielle québécoise	
Électrification du transport	Remplacement de véhicules à essence ou diesel par des VÉPC pour le transport routier des marchandises sur de longues distances	
	Remplacement de véhicules à essence ou diesel par des VÉPC pour le transport par autobus et/ou taxis	
	Remplacement de véhicules à essence ou diesel par des VÉPC pour les véhicules d'urgence, la machinerie lourde, les véhicules lourds municipaux et les chariots élévateurs	
	Recherche et développement pour l'application au secteur maritime et ferroviaire	
	Stratégie d'alimentation de flottes captives	
	Approche de <i>hub</i> basée sur la construction de stations de capacité importante concentrées géographiquement	

Axes prioritaires	Propositions initiales	Degré d'adéquation
Décarbonation sidérurgie et raffinage	Remplacer les carburants fossiles utilisés dans les processus industriels par des gaz de synthèse	
	Remplacer l'utilisation, dans le secteur du raffinage, de l'hydrogène issue du vaporeformage par de l'hydrogène vert	
	Réaliser la captation et la valorisation du CO ₂ rejeté par les processus industriels	
Développement d'une chimie verte	Combiner des molécules d'hydrogène vert à d'autres molécules (p. ex. CO ₂ recyclé) afin de créer des produits à valeur ajoutée (p. ex. carburants et liquides de synthèses, engrais, etc.)	
	Stocker et alimenter des réseaux autonomes basés sur des technologies de piles à combustibles stationnaires branchées à des énergies renouvelables intermittentes	
Autres	Coordonner des efforts concertés avec les autres provinces canadiennes afin de développer les marchés d'exportation	
	S'impliquer dans le développement des normes techniques et de la réglementation à l'échelle internationale	
	Favoriser les occasions de synergie et de maillage entre les acteurs de l'écosystème hydrogène au Québec	



4. Occasions et défis du déploiement de la filière

FFOM de l'environnement d'affaires

Forces	Occasions
<ul style="list-style-type: none">> Dynamisme des acteurs de l'écosystème> Coûts d'électricité relativement faibles> Engagement d'Hydro-Québec et présence de surplus d'énergie	<ul style="list-style-type: none">> Demande croissante à l'échelle mondiale> Potentiel de diminution de la balance commerciale> Potentiel de développement de brevets commerciaux> Amélioration du bilan environnemental de la province
Faiblesses	Menaces
<ul style="list-style-type: none">> Coût élevé de l'adoption des technologies> Faible vitesse de transformation du cadre réglementaire québécois> Lourdeur du processus d'obtention des permis d'exploitation> Important besoin d'investissements en ressources> Absence de mécanisme de marché pour valoriser le premium	<ul style="list-style-type: none">> Faibles coûts des combustibles fossiles> Absence d'une bourse du carbone mondiale> Acceptabilité sociale> Connaissance populaire faible des usages à fort potentiel technico-économique



5. Ce qu'il faut retenir

Ce qu'il faut retenir

- > Construire des pilotes pour « dérisquer » au plan technologique et économique dans des zones industrielles
- > Mener des études technico-économiques ciblées - Stratégie de déploiement Hub and Spoke
- > Mettre en place des incitatifs financiers et réglementaires
- > Établir une coordination au niveau québécois et canadien
- > Se positionner à l'international sur l'hydrogène vert

**l'avenir
commence
ici**



transitionenergetique.gouv.qc.ca/expertises

