

31 Mars 2024

DÉVELOPPER LA CHAÎNE MANUFACTURIÈRE LIÉE À L'HYDROGÈNE VERT

Rapport final

Marco Savoie, ing.

Associé, énergie & environnement
marco.savoie@sia-partners.com

Mathieu Demoulin

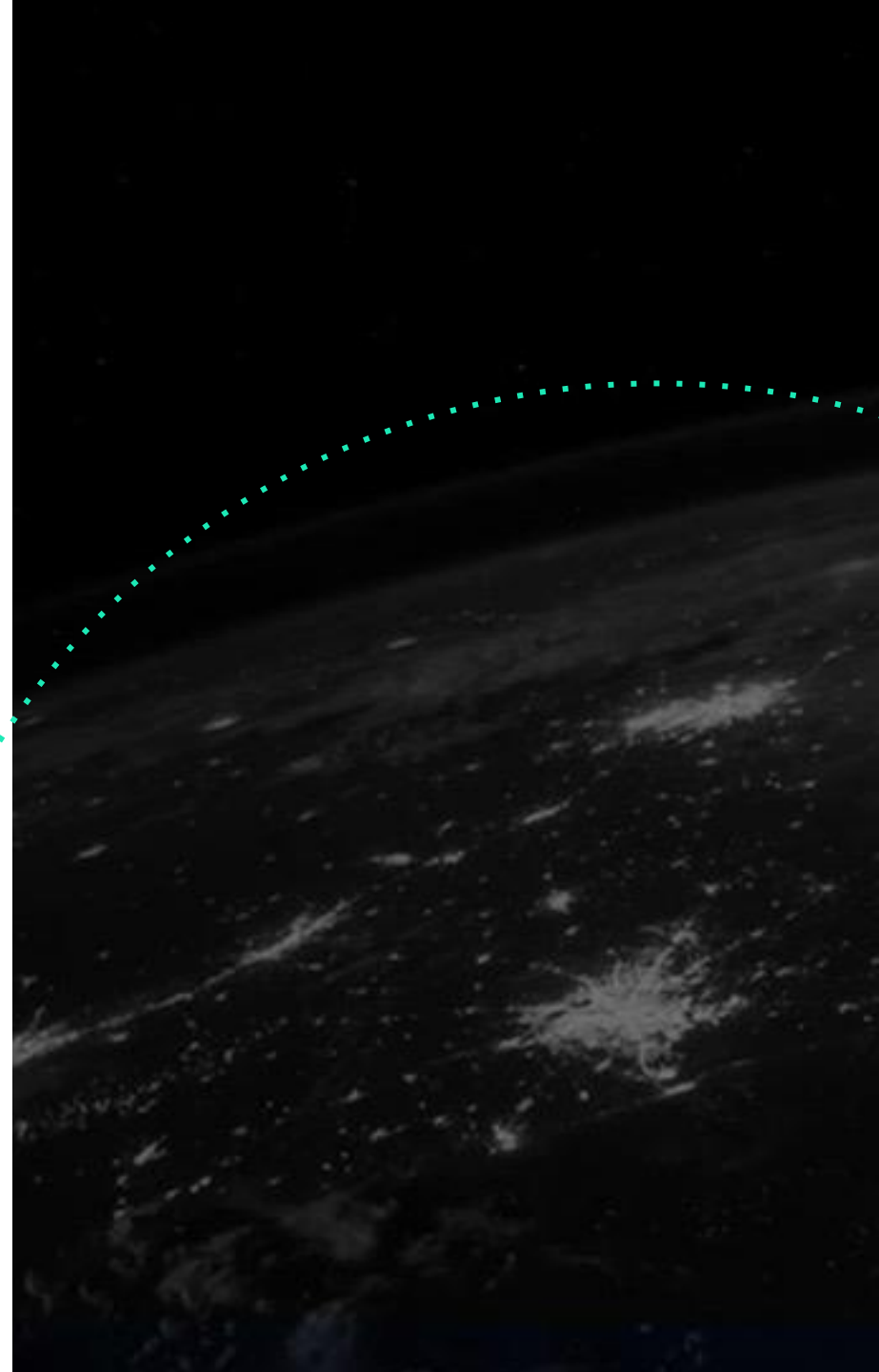
Conseiller senior, énergie & environnement
mathieu.demoulin@sia-partners.com

Myrielle Robitaille, ing.

Directrice principale, énergie & environnement
myrielle.robaille@sia-partners.com

Catherine Kallas, CPI

Conseillère, énergie & environnement
catherine.kallas@sia-partners.com



Sommaire

1. INTRODUCTION ET MÉTHODOLOGIE GLOBALE
 2. ÉTUDE DE L'ÉCOSYSTÈME MANUFACTURIER HYDROGÈNE
 3. ANALYSE DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE
 4. SÉLECTION DES SEGMENTS STRATÉGIQUES
 5. ÉTUDE SOCIO-ÉCONOMIQUE DU DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE
 6. SYNTHÈSE ET PRINCIPAUX CONSTATS
- ANNEXES
- ANNEXE 1. MÉTHODOLOGIE DÉTAILLÉE

Sommaire exécutif

La présente étude **analyse la pertinence d'accroître le soutien à l'écosystème manufacturier hydrogène au Québec**. Elle a été réalisée par Sia Partenaires, sous la supervision de PRIMA, avec le soutien financier du MEIE. Elle fait suite à deux précédents rapports du CNRC et des travaux conjoints de l'IRH et l'I²E³ de l'UQTR présentant un état de l'art des technologies H₂.



Une analyse complète de l'écosystème manufacturier au Québec et à l'étranger a été réalisée. Au total, ce sont plus de **350 acteurs** dont près de **200 manufacturiers** balisés, **près d'une 30^{aine} de joueurs industriels et institutionnels rencontrés** pour construire les conclusions de cette étude.



L'analyse se concentre dans un premier temps sur **14 segments manufacturiers** représentant l'ensemble de la chaîne de valeur H₂. L'étude approfondie de ces segments a permis de faire ressortir **4 équipements prioritaires pour le Québec : les électrolyseurs, les piles à combustible, les réservoirs stationnaires et les réacteurs servant à la production d'H₂** (pyrolyse par plasma, gazéification de la biomasse).



L'étude des impacts socio-économiques du développement de ces filières manufacturières au Québec a été réalisée. Les 4 filières ont d'abord été comparées entre elles, puis avec la filière batterie, ce qui a permis de mettre en évidence **un certain nombre de synergies du point de vue des minéraux critiques et stratégiques, des technologies, de la main-d'œuvre et des politiques.**



Finalement, la présente étude **a mis en lumière 8 constats sur la chaîne manufacturière H₂**. Ces constats pointent notamment **le besoin rapide de développer une politique industrielle manufacturière** mais également **d'éclaircir les orientations technologiques à prioriser, les synergies interfilières et le contexte réglementaire international.**

Glossaire | Abréviations 1/2

AFC	Pile à combustible alcaline	Indu.	Industriel
ALK	Électrolyseur alcalin	Integ.	Intégration
AMP	Adsorption modulée en pression	IRA	Inflation Reduction Act
Aux.	Auxiliaire	kg	Kilogramme
BoP	Équilibre de l'usine	kW	Kilowatt
CRD	Construction, rénovation, démolition	LOHC	Liquides organiques porteurs d'hydrogène
DOE	Department of Energy (États-Unis)	MCFC	Pile à combustible à carbonates fondus
Électro.	Électrolyseur	MCS	Minéraux critiques et stratégiques
ENR	Énergie renouvelable	NA	Non-applicable
EU	Europe	NMT	Niveau de maturité technologique
ÉU	États-Unis	NZE	Net zero emission
GNR	Gaz naturel renouvelable	PAC	Pile à combustible
GW	Gigawatt	PAFC	Pile à combustible à l'acide phosphorique
H2	Hydrogène	PEM	Électrolyseur à membrane échangeuse de protons
IA	Intelligence artificielle	PEMFC	Pile à combustible à membrane échangeuse de protons

Glossaire | Abréviations 2/2

QC	Québec
R&D	Recherche et développement
SOEC	Électrolyseur à oxyde solide
SOFC	Pile à combustible à oxyde solide
T°	Température
TCAC	Taux de croissance annuel composé
Techno.	Technologie
t.m	Tonnes métriques

Glossaire | Terminologies et acronymes 1/2

Acteur présent au Québec	Acteur ayant une usine, un projet, ou un site au Québec
NMT ou TRL	1 – Observation du principe de base 5 – Validation de la technologie en environnement réel 9 – Système réel démontré en environnement opérationnel
Petite entreprise/manufacturier	Effectif compris entre 1 à 99 employés
Moyenne entreprise/manufacturier	Effectif compris entre 100 à 499 employés
Grande entreprise/manufacturier	Effectif supérieur à 500 employés
Entreprise multinationale	Exploite des installations dans au moins un pays étranger
Champion canadien	Manufacturier canadien le plus performant sur son segment
Hub	Région avec une concentration élevée d'activités reliées à l'hydrogène
CQFA	Carrefour québécois de la fabrication additive
INRS	Institut national de la recherche scientifique
CNRC	Conseil national de recherches Canada
UQTR	Université du Québec à Trois-Rivières

Glossaire | Terminologies et acronymes 2/2

ULaval	Université de Laval
CSA	Canadian Standards Association
MEIE	Ministère de l'Économie, de l'innovation et de l'Énergie
CMQ	Centre de métallurgie du Québec
CEPROCQ	Centre d'études des procédés chimiques du Québec
ETS	École de technologie supérieure
CDCQ	Centre de développement des composites du Québec
PME	Petite et moyenne entreprise
STIQ	Sous-traitance industrielle Québec
RICQ	Regroupement des industries des composites du Québec



1. Introduction et méthodologie globale

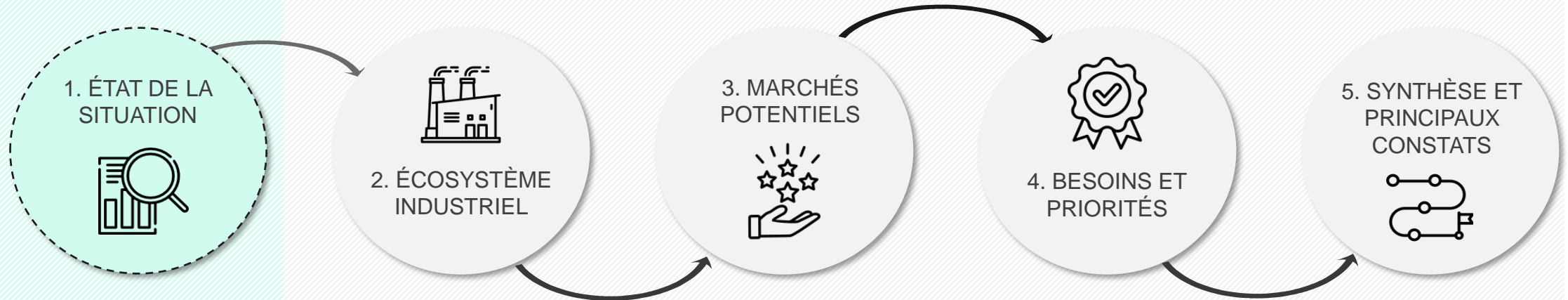
Contexte | Rappel des grands enjeux du projet



Le projet, dans son ensemble, vise à **analyser la pertinence d'appuyer davantage la chaîne manufacturière liée à la filière de l'hydrogène au Québec** en misant sur les atouts, tels les minéraux critiques et stratégiques (MCS) du Québec, tout en identifiant les créneaux distinctifs pour lesquels le Québec peut se démarquer.

Réalisé par l'UQTR et le CNRC

Présenté dans ce rapport

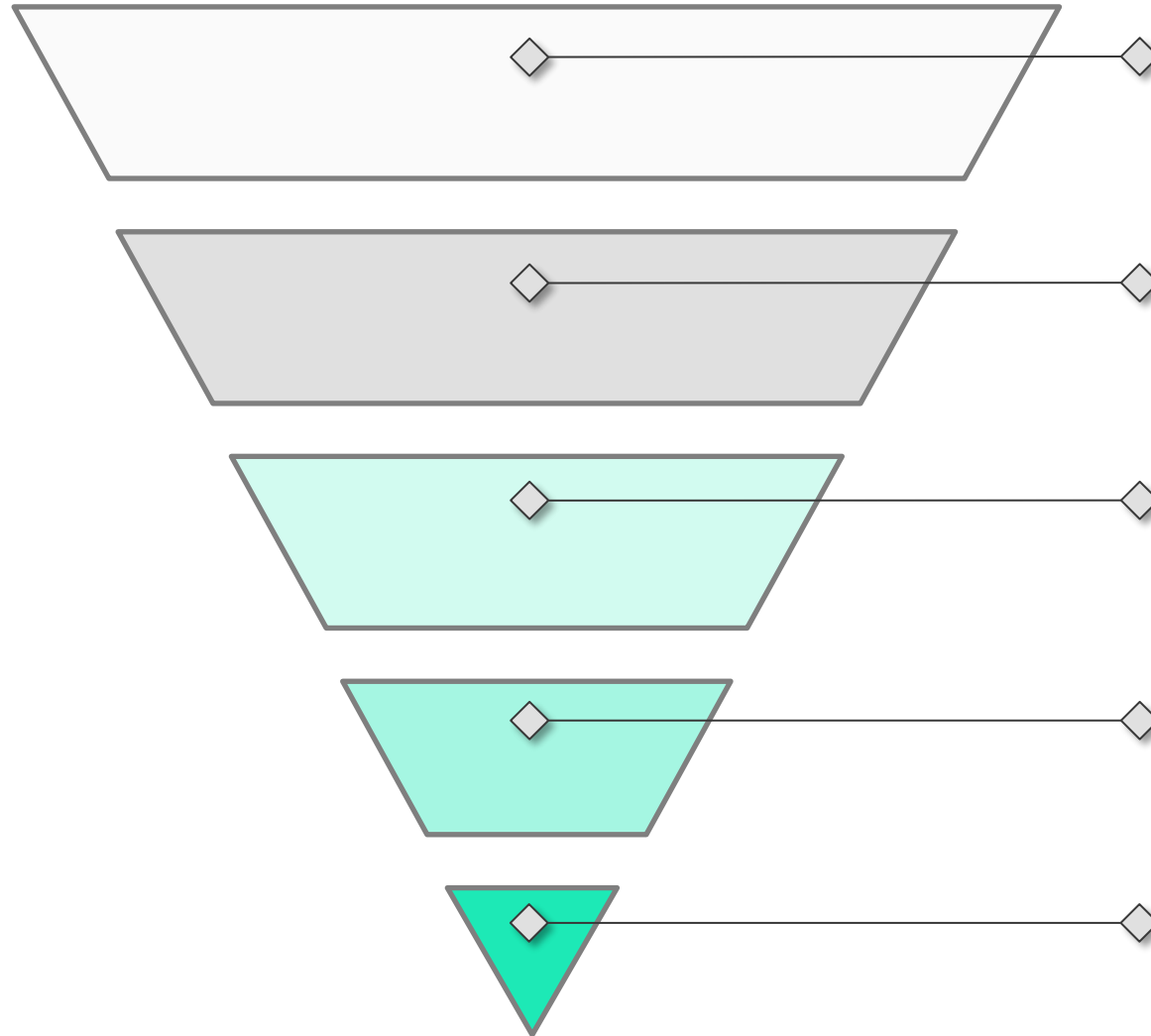


UQTR - Identification des principaux équipements et matériaux utilisés dans les systèmes de production d'hydrogène ainsi que leurs composants et sous-composants



CNRC - Revue de littérature sur les systèmes de transport, stockage et utilisation de l'hydrogène

Méthodologie | Vision d'ensemble de l'approche en entonnoir



1. ÉTUDE FINE DE L'ÉCOSYSTÈME MANUFACTURIER

- **Analyse** de plus de **350 acteurs** de l'H₂ (*Annexe 1.A.*)
- **Sélection** de **200 acteurs** à approfondir
- **Étude** de leurs stratégies, ambitions, projets, partenariats, etc.
- **Rencontre** avec une **30^{aine}** d'acteurs de la filière H₂ (*Annexe 1.B.*)

2. ANALYSE APPROFONDIE DES ÉQUIPEMENTS H₂

- **Segmentation** de la chaîne de valeur en **14 équipements** pour analyse fine
- **Approfondissement des marchés associés**, des grands projets, des MCS, des dynamiques R&D, etc.

3. SÉLECTION DE 4 SEGMENTS D'ÉQUIPEMENTS STRATÉGIQUES

- **Identification des critères clés** pour prioriser les segments: alignement avec la stratégie H₂, capacités québécoises, etc.
- **Calcul d'un score** pour chaque segment puis sélection des **4 segments les plus prometteurs**

4. ANALYSE DES IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

- **Sélection de 9 indicateurs** reflétant l'impact socio-économique du développement de la filière manufacturière
- **Étude de ces indicateurs pour les 3 segments** les plus matures
- **Analyse spécifique** pour le segment émergent

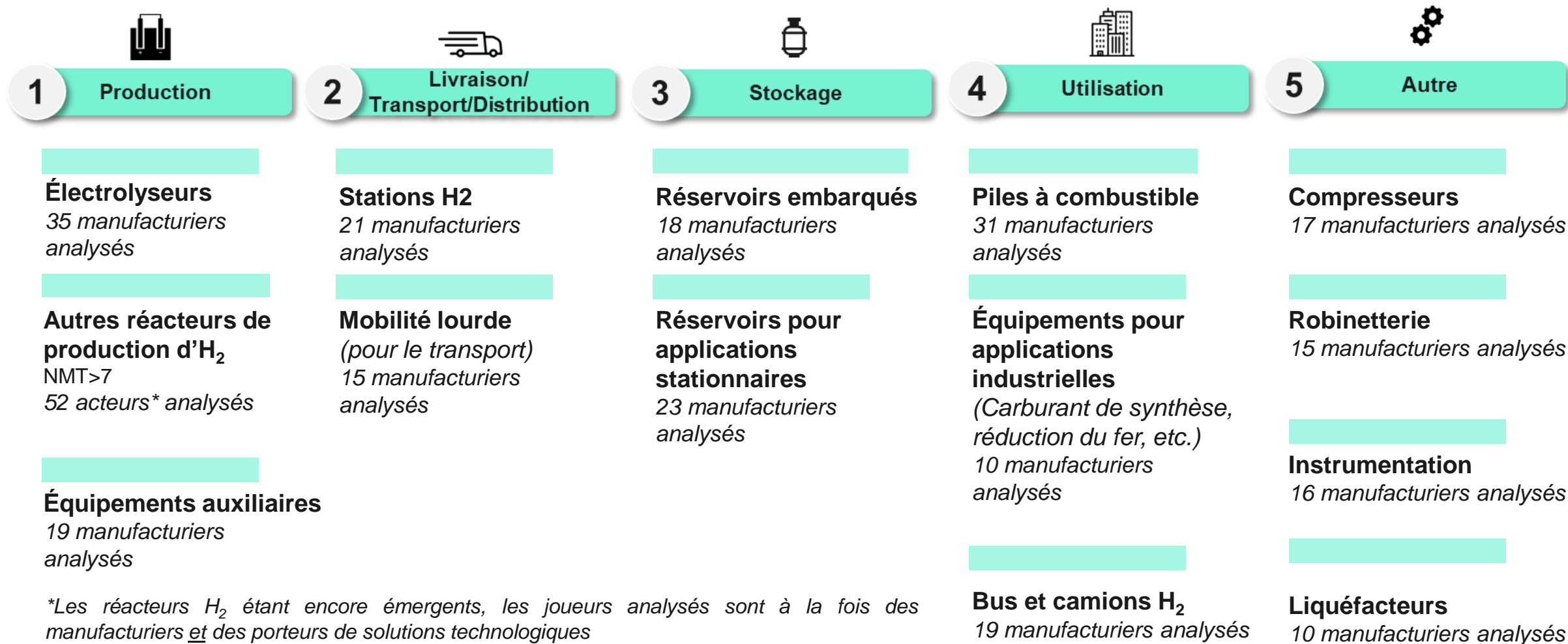
5. SYNTHÈSE ET PRINCIPAUX CONSTATS

- **Définition de 8 grands constats** qui ressortent des analyses précédentes
- **Élaboration d'argumentaires** associés à ces constats

Segmentation de la chaîne de valeur | Étude de 14 équipements



La chaîne de valeur de l'hydrogène a été fragmentée en **14 équipements H₂**. Certains équipements ne sont pas étudiés, car **hors périmètre du mandat** (ex : production par SMR), ou **moins pertinents** (ex : canalisation H₂). Pour chacun de ces segments, en plus des entretiens, entre 8 et 56 manufacturiers ont été analysés finement pour **étudier les grandes tendances** (partenariats, stratégies, besoins, attentes, etc.)



*Les réacteurs H₂ étant encore émergents, les joueurs analysés sont à la fois des manufacturiers et des porteurs de solutions technologiques



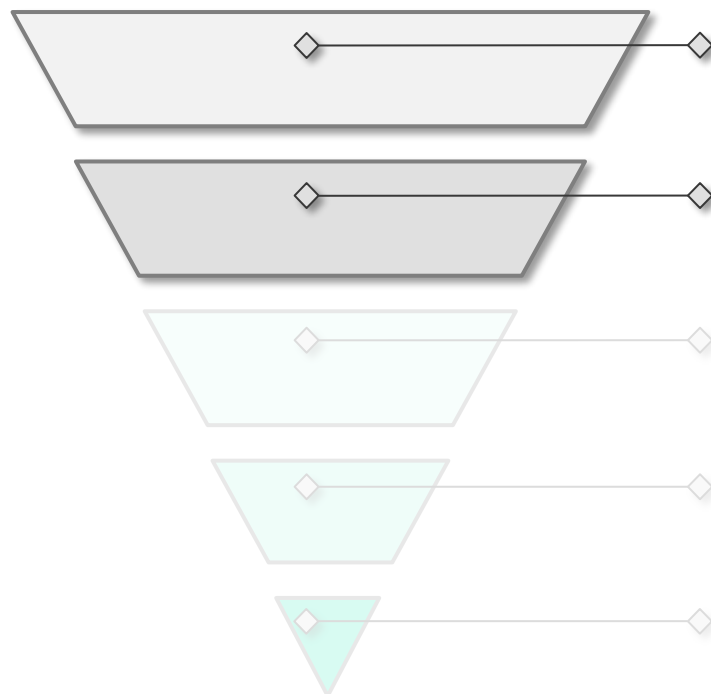
2. Étude de l'écosystème manufacturier hydrogène

Étude de l'écosystème | Rappel des enjeux et objectifs



Les objectifs principaux de cette étape consistent à **analyser et comprendre le positionnement des acteurs industriels et manufacturiers québécois et internationaux** sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'H₂. L'idée étant de **dessiner une vision globale des dynamiques et des opportunités de marché au Québec** ainsi qu'à l'export, et **d'identifier des secteurs d'application potentiels pour le tissu industriel et manufacturier québécois.**

Lien avec la méthodologie d'ensemble



1. ÉTUDE FINE DE L'ÉCOSYSTÈME MANUFACTURIER

- **Analyse** de plus de 350 acteurs de l'H₂ (*Annexe 1.A.*)
- **Sélection** de 200 acteurs à approfondir
- **Étude** de leur stratégie, ambitions, projets, partenariats, etc.
- **Rencontre** avec une 30^{aine} d'acteurs de la filière H₂ (*Annexe 1.B.*)

2. ANALYSE APPROFONDIE DES ÉQUIPEMENTS H₂

- **Segmentation** de la chaîne de valeur en 14 équipements à analyser finement
- **Approfondissement des marchés associés**, des grands projets, des MCS, des dynamiques R&D, etc.

3. SÉLECTION DE 4 SEGMENTS D'ÉQUIPEMENTS STRATÉGIQUES

- **Identification des critères clés** pour prioriser les segments : alignement avec la stratégie H₂, capacités Québécoises etc..
- **Calcul d'un score** pour chaque segment puis sélection des 4 segments les plus prometteurs

4. ANALYSE DES IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

- **Sélection de 9 indicateurs** reflétant l'impact socio-économique du développement de la filière manufacturière
- **Étude de ces indicateurs** pour les 3 segments les plus matures
- **Analyse spécifique** pour les segments émergents

5. SYNTHÈSE ET PRINCIPAUX CONSTATS

- **Définition de 8 grands constats** qui ressortent des analyses précédentes



Enjeux principaux

- **Établir une analyse au bon niveau d'information** – se basant sur une quantité suffisante de données pour arbitrer entre les équipements H₂ à étudier en profondeur, tout en priorisant les efforts
- **Prendre en compte la réalité et les problématiques concrètes des manufacturiers** en les rencontrant



Périmètre d'analyse

- **L'ensemble de la filière manufacturière H₂ l'étape « 1.Étude fine de l'écosystème »**
- **Les 14 segments d'équipements H₂ pour « 2. Analyse approfondie des équipements »**

Analyse des 14 segments | Vue d'ensemble des angles d'étude

THÉMATIQUE

DESCRIPTION



État des lieux de la technologie et des enjeux R&D

- > Applications principales et marchés
- > Composants & minéraux critiques et stratégiques
- > Technologies, NMT, utilité
- > Perspectives R&D



Perspectives de marché mondiales et québécoises

- > Valeur et croissance du marché mondiale et déclinaisons régionales
- > Technologie dominante
- > Vision du Québec sur ces marchés
- > Dynamique de projet au Québec et R&D en présence



Typologie d'acteur et principaux projets manufacturiers

- > Taille et nationalité des manufacturiers
- > Typologie d'industriels en présence
- > Positionnement et stratégies de diversification/spécialisation
- > Partenariats classiques développés



Observations générales sur le segment et étude des bonnes pratiques

- > Analyse des 3 manufacturiers les plus développés
- > Étude de leurs bonnes pratiques
- > Observations spécifiques au segment
- > Liste et classification des difficultés rencontrées par les manufacturiers



Capacité et intérêt du Québec à développer ce segment

- > Analyse des capacités manufacturières actuelles du Québec
- > Acteurs R&D ayant une expertise utile pour le segment
- > Intégration dans la stratégie H₂ provinciale
- > Valeur ajoutée pour la province de développer ce segment



2.A. Électrolyseur

Analyse de l'écosystème | Portrait global des électrolyseurs

Les électrolyseurs sont une **technologie essentielle pour la production d'hydrogène bas carbone** et les ambitions de décarbonation de nombreux pays devraient tirer la demande dans les prochaines années. **La réalisation de tous les projets en cours pourrait conduire à une capacité installée d'électrolyseurs de 135 à 365 GW d'ici 2030** et les scénarios de l'IEA tablent **sur des besoins allant jusqu'à 3300 GW à 2050 (NZE)**. En 2023, ce sont **2,4 GW d'électrolyseurs qui ont été installés** et près de **33,5 GW d'électrolyseurs qui ont été fabriqués** (augmentation de 145% par rapport à 2022).

MCS



Techno.	NMT	Coût (\$/kW)	Barrières
PEM	9	2500-3000	Coûts
ALK	9	1000-1500	Durabilité/Intég. ENR
SOEC	6	1000-2000	Performance / Durabilité
AEM	3	1000-1500	Performance / Durabilité
PCCEL	2*	NA	Performance / Durabilité

Technologies (Actuelles et futures)

Perspectives R&D

- > **Découverte de nouveaux matériaux:** Pour substituer les métaux critiques. L'IA pourrait permettre de modéliser de nouveaux alliages plus économiques et durables.
- > **Amélioration de la durabilité :** Travaux sur la dégradation des membranes et des matériaux catalytiques
- > **Recyclabilité des matériaux:** À l'instar de la filière batterie, nécessité de trouver des moyens de récupérer les métaux qui composent les électrolyseurs

PERSPECTIVES DE MARCHÉ



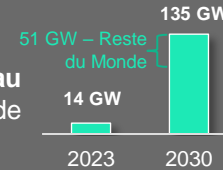
Vision mondiale

Technologie PEM & ALK

Il n'est pas clair actuellement quelle est la technologie d'électrolyseur qui va s'imposer d'ici 2030 mais les technologies dominantes sont ALK et PEM

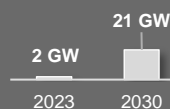
\$92 milliards en 2030 (\$2021)

TCAC de 32% au niveau mondial à l'horizon de 2030



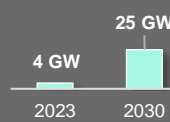
Amérique du Nord

Porté par l'IRA et les « Hubs » H₂, les ÉU représenteront une grande partie du marché



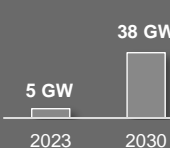
Europe

Avec le développement de la banque d'investissement H₂, l'Europe déploie rapidement des capacités



Asie Pacifique

En avance actuellement, l'Asie (Chine + Inde) sera le plus gros fabricant en 2030 pour soutenir la demande locale



Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

Le Québec identifie la production d'hydrogène comme une solution visant à décarboner principalement les applications locales (industrie, transport) – pas d'exportations envisagées

Un développement de la production H₂ limité par les capacités électriques

Malgré une pression croissante sur les usages électriques: une partie des capacités délivrées par Hydro-Québec en novembre 2023 concernait des projets H₂

Des projets en cours et une demande qui augmente significativement

Avec les récents projets de production d'hydrogène à large échelle qui se sont vu allouer une partie des capacités électriques nécessaires (TES CANADA – 150 MW, Greenfield – 60 MW, etc.) la demande en électrolyseur est grandissante

Expertise présente au Québec

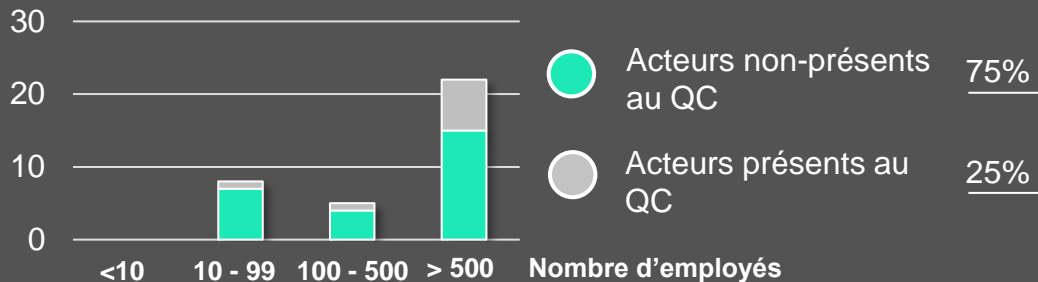
R&D au niveau des membranes, catalyseurs, des matériaux, de la modélisation numérique et de la recyclabilité des composants (INRS, McGill, UQTR, etc.)

*Toujours en développement, le prix des matériaux composites limite les applications commerciales

Projets et acteurs en présence

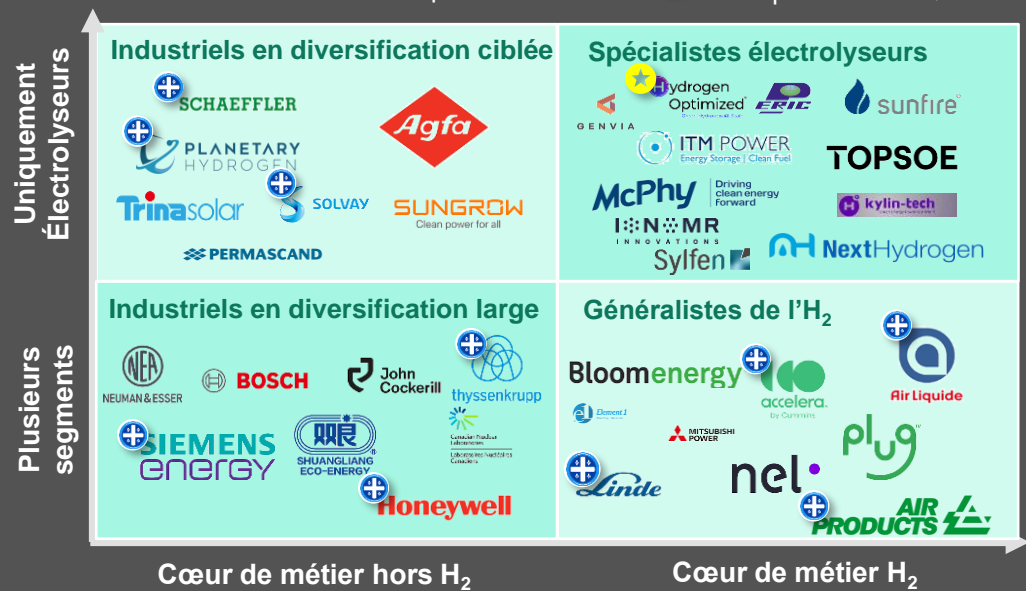
Électrolyseurs

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

★ Champion Canadien + Acteurs présents au Québec



Typologie d'acteurs en présence

- 1. Typologie des acteurs**
 - Plusieurs typologies d'acteurs sont retrouvées sur ce segment : des **gros manufacturiers industriels** qui se diversifient en rachetant des spécialistes H₂, des **manufacturiers du solaire chinois**, des **spécialistes des électrolyseurs** (souvent autour d'une seule technologie) et des **industriels de la chimie** pour la production de membranes notamment
 - La majorité des entreprises étudiées sont des **multinationales** (plus de 66% ont plus de 500 employés), ayant une très forte capacité à investir dans de nouvelles chaînes de production et une expérience dans le passage à l'échelle
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - Sur ce segment, **cohabitent des industriels spécialisés dans les électrolyseurs et des acteurs qui se diversifient au sein de la chaîne de valeur H₂**. Ceux qui se diversifient se positionnent majoritairement sur les **équipements auxiliaires, les stations H₂ et les PAC** (complémentarité technologique importante entre les PAC et les électrolyseurs)
- 3. Partenariats typiques**
 - Il est fréquent que les **acteurs souhaitant se développer en Asie forment des alliances** pour développer leurs usines (Genko & John Cockerill; Cummins & Sinopec)
 - Les manufacturiers **s'associent avec les acteurs historiques de l'H₂** pour sécuriser leurs carnets de commande, partager les expertises et le risque (Siemens & Air Liquide)
 - Des partenariats sont également formés **avec des industriels de la chimie en amont** pour sécuriser l'approvisionnement en membranes (Plug Power & Johnson Matthey) ou en **aval pour proposer des solutions complètes** (Hydrogen Optimized & ABB)



Projets manufacturiers majeurs

Cummins 4 GW en construction 1 GW au Minnesota 1 GW en Belgique 1 GW en Espagne 1 GW en Chine	John Cockerill 4 GW en construction 1 GW aux US 1 GW en Europe 1 GW en Chine 1 GW en Inde	Siemens 1 GW à Berlin Projet d'étendre la capacité de l'usine à 3GW d'ici à 2025.	Hydrogen Optimized 5000 électrolyseurs/an Projets de développer leur usine qui créera jusqu'à 50 emplois
---	---	--	---

Positionnement des acteurs & vision Québec | Électrolyseurs



Les manufacturiers se déploient rapidement en suivant principalement la demande et là où les infrastructures et la main-d'œuvre sont présentes. Le Québec répond à la majorité des besoins des manufacturiers, mais fait face à un enjeu de manque de main-d'œuvre qualifiée et une demande encore relativement faible par rapport au reste du Canada/É.U.

Observations sur le segment des électrolyseurs

Analyse des acteurs clés

Cummins | PEM & ALK
 73 600 employés (total)
 Forte présence au Québec:
 Bécancour, Varennes, etc.
 Electro. de 500 MW avec Chevron

John Cockerill | ALK
 6 500 employés (total)
 Ambition de 8 GW à 2025
 Cellules ALK les plus puissantes (6,5 MW/cellules)

Siemens | PEM
 92 000 employés (total)
 Utilise son savoir-faire pour proposer des solutions complètes (BoP, etc.)

Partenariats développés
 Les manufacturiers se développent souvent grâce à des rachats, et des alliances pour chercher une expertise H₂ ou connaissance locale



Autres observations sur le segment

Technologie SOEC – Bien que moins mature, la technologie se développe très rapidement avec des acteurs tels que Topsoe (5 GW d'ici 2025), Genvia, etc.

MCS – Certains industriels rencontrés sont bien au fait des tensions sur certains MCS et ne publient pas leurs ambitions pour ne pas faire grimper les prix

Difficultés rencontrées

1. Capacité des joueurs de l'écosystème à passer à l'échelle	●●●●
2. Difficulté à anticiper la demande pour calibrer les capacités	●●●○
3. Standardisation des technologies / projets	●●●○
4. Enjeux d'approvisionnement des composants	●●●○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises
 Du point de vue manufacturier, plusieurs industriels opèrent au Québec mais aucune usine de production d'électrolyseur n'est installée sur place. Les entretiens réalisés avec les industriels montrent un intérêt grandissant pour le Canada et le Québec, avec notamment les gros projets de TES, Greenfield, etc. qui permettraient de sécuriser la demande.

La production d'H₂ permet de décarboner les besoins locaux

Stratégie H₂ provinciale
 > La stratégie identifie l'H₂ vert comme étant une opportunité importante pour décarboner les industries localement

Secteurs complémentaires
 > Les industries polluantes au QC, notamment chimiques, sidérurgiques et les raffineries, bénéficieraient de la présence d'H₂ vert

Les forces du Québec répondent en partie aux besoins des indu.

1. Nécessité d'une demande très forte localement	Moyenne
2. Proximité avec le train/port en eau profonde	Importante
3. Volonté politique de soutenir les manufacturiers	Importante
4. Présence d'infrastructures/espaces existants	Importante
5. Main-d'œuvre qualifiée et sous-traitants présents	Moyenne



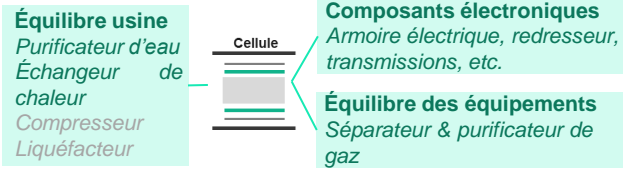


2.B. Équipements auxiliaires

Analyse de l'écosystème | Équipements auxiliaires de la production d'H₂

Les équipements auxiliaires sont **des composants/systèmes nécessaires au fonctionnement efficace d'un électrolyseur**. Ils jouent un rôle important dans la performance globale et la viabilité économique des projets. Dans la course pour rendre les électrolyseurs plus performants et rentables, les équipements auxiliaires sont clés pour réduire les coûts et augmenter la durabilité des systèmes. **Du point de vue des perspectives de marchés, les dynamiques sont très différentes pour chaque équipement mais toutes intimement liées aux dynamiques des cellules d'électrolyseurs et seront donc considérées comme similaires dans ces travaux.**

MCS



Équipements	Utilité
Purificateur d'eau	L'eau qui sert à l'électrolyse doit être déminéralisée et désionisée particulièrement pour les PEM
Échangeur de chaleur	Obtenir la bonne T° d'opération
Équipements d'électronique de puissance	Il est nécessaire d'alimenter l'électrolyseur par un courant continu et à la bonne intensité
Séparateur & purificateur de gaz	Pour séparer l'H ₂ de la vapeur d'eau et l'oxygène

Technologies (Actuelles et futures)

Perspectives R&D

- > **Échangeur de chaleur**: améliorer la sécurité des systèmes (fuites), diminuer taille et simplifier maintenance
- > **Purificateur d'eau** : réduire les coûts de purification et les besoins énergétiques
- > **Équipements électroniques**: capacité à gérer une alimentation électrique intermittente (renouvelables, gestion de pointe)
- > **Séparateur de gaz**: réduire les besoins énergétiques du procédé et les pertes d'H₂ associées

PERSPECTIVES DE MARCHÉ ÉLECTROLYSEURS

Vision mondiale

Technologie PEM & ALK

Il n'est pas clair actuellement quelle est la technologie d'électrolyseur qui va s'imposer d'ici 2030 mais les technologies dominantes sont ALK et PEM

\$92 milliards en 2030 (\$2021)

TCAC de 32% au niveau mondial à l'horizon de 2030

Porté par l'IRA et les « Hubs » H₂, les ÉU représenteront une grande partie du marché

Avec le développement de la banque d'investissement H₂, l'Europe déploie rapidement des capacités

En avance actuellement, l'Asie (Chine + Inde) sera le plus gros manufacturier en 2030 pour soutenir la demande locale

Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

Le Québec identifie la production d'hydrogène comme une solution visant à décarboner principalement les applications locales (industrie, transport) – pas d'exportations envisagées.

Un développement limité par les capacités électriques

Malgré une pression croissante sur les usages électriques, **une partie des capacités délivrées par Hydro-Québec** en novembre 2023 concernaient des projets H₂

Des projets en cours et une demande qui augmente significativement

Avec les récents projets de production d'hydrogène à **large échelle** qui se sont vu allouer les capacités électriques nécessaires (TES CANADA – 150 MW, Greenfield – 60 MW, etc.) **la demande en électrolyseur est grandissante**

Expertise présente au Québec

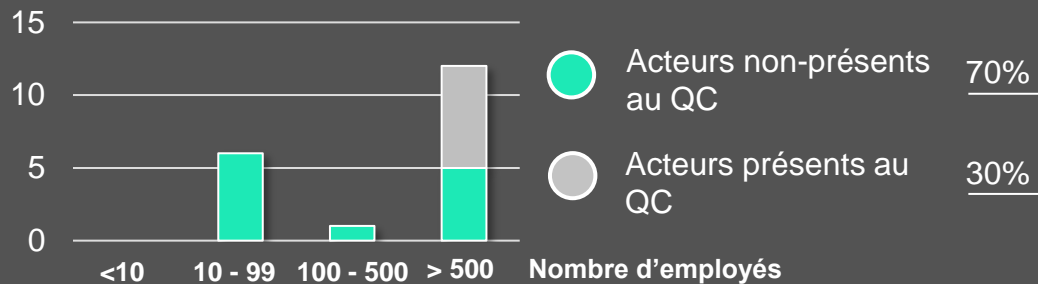
R&D au niveau des membranes, catalyseurs, des matériaux, de la modélisation numérique et de la recyclabilité des composants

Région	2023	2030
Amérique du Nord	2	21
Europe	4	25
Asie Pacifique	5	38
Total	14	135

*Toujours en développement, le prix des matériaux composites limite les applications commerciales

Projets et acteurs en présence

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

+ Acteurs présents au Québec
★ Champion Canadien

	Cœur activité H ₂	Cœur activité hors H ₂
Purificateur d'eau		+ VEOLIA GENESIS ImWATER
Échangeur de chaleur	+ Air Liquide + CHART NIKKISO	fives
Équipements électroniques		+ EMENS energy ANALOG DEVICES AEG + EMERSON Process Management ABB DVG
Séparateur de gaz	kylin-tech Element 1 Peric CSSC QUADROGEN	SBI BIOENERGY INC. IIVYS Adsorption Inc.

Equipements aux. de la production d'H₂



Typologie d'acteurs en présence

- 1. Typologie des acteurs**
 - > La majorité des acteurs présents sur ces segments sont des **spécialistes de leurs équipements** respectifs (purificateur, échangeur, électronique de puissance, etc.) dont le **cœur de métier n'est généralement pas l'H₂**
 - > Les acteurs se positionnant sur la séparation/purification d'H₂ sont **majoritairement des entreprises historiquement issues du pétrole et du gaz** qui se reconvertissent dans l'H₂ décarboné (SBI Bioenergy Inc., Ivys Adsorption). Les procédés sont en effet similaires, permettant à ces entreprises de capitaliser sur leurs expertises
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > En plus des **joueurs spécialistes de leur segment**, plusieurs entreprises sont des **généralistes de l'H₂** (Air Liquide, Chart) ou des **producteurs d'électrolyseurs** qui cherchent à internaliser plusieurs équipements composants la solution finale (Kylin Tech, Peric, Siemens)
- 3. Partenariats typiques**
 - > Les producteurs d'équipements auxiliaires se développent à **travers des partenariats avec des producteurs d'électrolyseurs majoritairement** (Véolia & Producteur d'électrolyseur PEM confidentiel; Chart & McPhy)



Capacités des manufacturiers majeurs

🇩🇪 AEG Espagne, Allemagne, Singapour, Chine +20 Transformateurs-Redresseurs vendus pour des projets de production d'H ₂	🇫🇷 Véolia Espagne, Allemagne, Slovaquie, etc. +8000 unités de traitement des eaux construites et installées (pas uniquement H ₂)	+ Ivys adsorption Québec +350 AMP pour installations H ₂ Usine à Montréal emploie +80 employés
--	---	---

Positionnement des acteurs & vision Québec | Équipements aux. de la prod. d'H₂



Du fait de la **complexité de chacun des équipements** présents sur ce segment et de la **diversité des expertises associées** (mécanique des fluides, électronique de puissance, thermodynamique, chimie, etc.), peu de manufacturiers d'électrolyseurs se risquent à intégrer cette étape. Néanmoins, le Québec a une **expertise reconnue en séparation des gaz** avec notamment la présence d'Ivys et son usine à Montréal.

Observations sur le segment des équipements auxiliaires

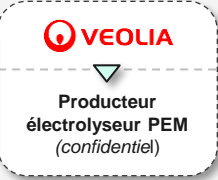
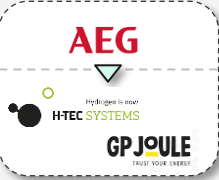
Analyse des acteurs clés

AEG
11 000 employés
Développe des systèmes complets (transformateurs, redresseurs, etc.) clés en main pour H₂

Véolia
220 000 employés
Possibilité de s'adapter à la technologie d'électrolyseur et obtenir des puissances >500 MW

Ivys adsorption
130 employés
Anciennement Xebec, s'est fait racheter en 2023 par Ivys suite à sa faillite

Partenariats développés
Les manufacturiers se développent en construisant des relations avec des porteurs de projets H₂ ou des manufacturiers d'électrolyseurs



Autres observations sur le segment
Secteur secondaire – Pour la majorité des manufacturiers d'équipements auxiliaires, l'H₂ est un marché secondaire qui représente une faible part du chiffre d'affaires

Difficulté d'intégration – Peu de fabricants d'électrolyseurs se positionnent sur ces segments qui nécessitent des expertises spécifiques

Difficultés rencontrées

1. Standardisation des projets et des technologies	●●●●
2. Enjeux d'approvisionnement des composants	●●●○
3. Technologies & marchés interdépendants d'autres solutions	●●○○
4. Risque de développer des solutions spécifiques H ₂	●●○○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Du point de vue manufacturier, Ivys Adsorption (anciennement Xebec Adsorption) possède un **centre manufacturier important à Montréal** qui développe des systèmes de purification des gaz. Malgré le rachat en 2023 par Ivys (basé aux États-Unis), l'usine à Montréal continue de recruter et les perspectives de production de gaz vert profitent à l'entreprise (H₂ & GNR)



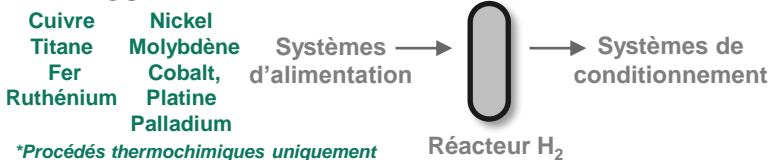


2.C. Réacteurs H₂

Analyse de l'écosystème | Portrait global des réacteurs H₂

Malgré que la production par électrolyse soit au cœur des projets et annonces, aujourd'hui l'hydrogène est principalement produit par le reformage à la vapeur (SMR: H₂ gris). Les autres moyens de production de l'hydrogène se classifient en deux catégories: les **procédés thermochimiques** et les **procédés biologiques**. Ce segment d'équipements concerne les **réacteurs** utilisés dans les procédés suivants (NMT>7): gazéification de la biomasse, pyrolyse du biométhane par plasma, fermentation sombre, photo-fermentation, et fermentation séquentielle. Le choix d'un équipement de production de l'hydrogène vert et sa commercialisation reposent sur une **analyse technicoéconomique** poussée impliquant une évaluation des inducteurs de coûts, l'exploration de stratégies de compétitivité des coûts et l'identification de facteurs influençant le coût de production. Également, **l'élimination et/ou la valorisation des co-produits** de ces réactions sont des enjeux majeurs pour produire de l'H₂ de pureté suffisante et construire des modèles d'affaires robustes.

MCS*



Procédé	NMT	Barrières et besoins	
SMR	9	Amélioration catalyseurs	Technologies (Actuelles et futures)
POX	9	Gestion et contrôle du CO	
Gazéification biomasse	9	Rentabilité et sous-produits (Souffre)	
Pyrolyse par plasma	9	Performance et durabilité MTR	
Fermentation sombre	8	Micro-organismes adaptés	
Photofermentation	8	Micro-organismes adaptés	Technologies BIOLÓGIQUES
Ferm. séquentielle	7	Micro-organismes adaptés	

- Perspectives R&D**
- > **Procédés thermochimiques:** IA pour modéliser de nouveaux types de catalyseurs (zéolithes) et modéliser la logistique collecte et transport de biomasse (gazéification biomasse)
 - > **Procédés biologiques:** Études plus approfondies pour développer la **fermentation sombre, la photofermentation et les approches enzymatiques**
 - > **Approches synergiques:** R&D pour concevoir des **systèmes hybrides thermochimiques et biologiques** pour remédier aux limites des procédés individuels

PERSPECTIVES DE MARCHÉ

Vision mondiale

\$1,9 milliards d'ici 2050

Le marché de la production d'hydrogène vert résultera en une **demande croissante dans les équipements de production** (électrolyseurs et autres réacteurs H₂)

Historiquement produit par vaporeformage, la transition vers l'H₂ vert est **majoritairement portée par les technologies d'électrolyse mais plusieurs autres voies de production sont possibles** et sont détaillées ci-après

Une transition vers l'électrolyse

Des retombées positives (2030-2050)

Le marché de la production de l'hydrogène vert permettra de:

- Créer **2 millions d'emplois** par année
- Réduire les émissions de CO₂ cumulatives de **85 gigatonnes**

Les politiques et investissements se multiplient au niveau de l'H₂ vert

Les projets majeurs annoncés se concentrent prioritairement sur les électrolyseurs (avec des partenariats d'import/export par exemple), mais la **dynamique est croissante sur les autres réacteurs d'H₂ vert**

Amérique du Nord et Europe

Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

Le Québec identifie la production d'hydrogène comme une solution visant à décarboner principalement les applications locales (industrie, transport) – pas d'exportations envisagées

Une demande majoritaire pour les électrolyseurs

Avec les récents projets de production d'hydrogène à **large échelle, les procédés d'électrolyse sont les plus dynamiques** parmi les moyens de production de l'hydrogène vert; notamment car la réduction en émissions GES est souvent supérieure

Soutenir la filière valorisation de la biomasse

La gazéification de la biomasse est une alternative à son incinération qui permet de réduire les émissions de GES. C'est également une alternative à l'enfouissement des déchets encore très répandu au QC (CRD, médicaux...)

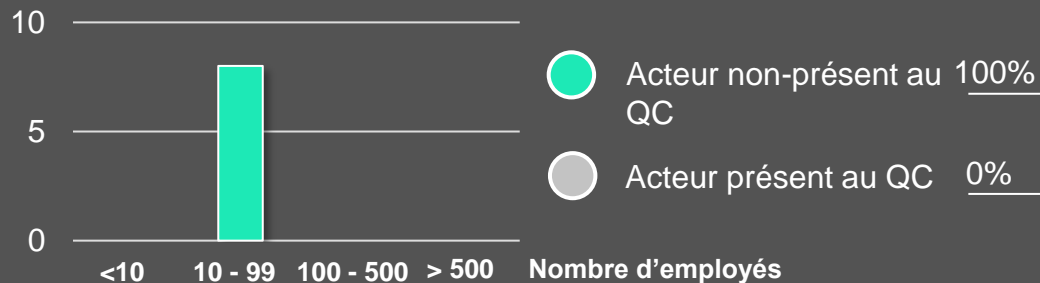
Expertise R&D

Expertise dans les procédés de pyrolyse par plasma détenue par universités et centres de recherche (Polytechnique, McGill, INRS, UQTR, CEPROCQ, Concordia, Sherbrooke...)

Projets et acteurs en présence

Réacteurs H₂

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

Acteurs présents au Québec



Typologie d'acteurs en présence

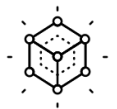
- 1. Typologie des acteurs**
 - > Les typologies d'acteurs que l'on retrouve majoritairement sur ce segment sont des petites entreprises **spécialistes en réacteurs H₂**
 - > La plupart des manufacturiers fournissent des solutions pour les **procédés thermochimiques** puisque les procédés biologiques sont encore à l'échelle du laboratoire ou pilote
 - > Les acteurs se distinguent par **leurs technologies et les brevets détenus**
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > La majorité des acteurs sont des **spécialistes de réacteurs hydrogène** qui ne se positionnent pas sur d'autres segments d'équipements de la chaîne de valeur
 - > La majorité des acteurs sont des **assembleurs d'équipements de production d'hydrogène**; NMT peu élevé et pour commercialiser leurs technologies, les propriétaires de technologies **externalisent la fabrication** (ex: KP Engineering effectue la manufacture des systèmes Omni Conversions; MMM Energy effectue la manufacture pour Element One)
- 3. Partenariats typiques**
 - > La majorité des manufacturiers développent des **partenariats stratégiques avec les organismes de recherche et développement** (Aurora Hydrogen & University of Toronto; Inentec & MIT; Innova Hydrogen & l'Université d'Alberta...) pour optimiser leurs technologies
 - > Des partenariats se forment aussi en **collaboration avec les industriels pour développer des solutions personnalisées** (Développement d'une nouvelle technologie de pyrolyse du méthane: Ekona & TransAlta; Système intégré pour la production d'hydrogène: Solution intégrée pour la production d'hydrogène à partir de déchets: KP Engineering & Omni Conversions)



Capacités manufacturières majeures

SBI Bioenergy Edmonton Réacteurs produisant l'hydrogène à partir de bioéthanol 1 site de 35 000 pi ²	KP Engineering Texas, États-Unis Unités Omni200 de Omni Conversions 2 sites aux États-Unis	Ekona Colombie Britannique Réacteurs: pyrolyse non-catalytique du méthane 1 site en CB	Wintec Energy États-Unis Démonstration de la technologie de H ₂ SX: plasma micro-onde
---	--	--	---

Positionnement des acteurs & vision Québec | Réacteurs H₂



La majorité des propriétaires de technologies sur ce segment externalisent la manufacture des réacteurs à des firmes de génie spécialisées. La R&D est également au cœur de ce segment et les acteurs s'associent souvent avec des organismes de recherche. Le Québec est en position de répondre aux besoins R&D de ce segment mais l'expertise manufacturière reste moins développée que le reste du Canada.

Observations sur le segment des réacteurs H₂

Analyse des acteurs clés

<p>SBI Bioenergy 25 employés <i>Se développe en créant des partenariats pour mettre en application son réacteur Golu-H2</i></p>	<p>KP Engineering 118 employés <i>Se développe grâce à une expertise dans la fabrication des systèmes hydrogène</i></p>	<p>Ekona 59 employés <i>Se développe en externalisant la commercialisation de sa plateforme technologique pour les réacteurs xCaliber</i></p>
--	--	--

Partenariats développés

Les manufacturiers se développent souvent grâce à des partenariats avec les propriétaires de technologies ou les usagers finaux pour des applications spécifiques.



Autres observations sur le segment

Compétition – Ce segment est en compétition proche avec celui des électrolyseurs qui pour le moment attire le plus d'intérêt et d'investissements

R&D – R&D très dynamique pour accélérer la commercialisation des technologies à NMT faible (fermentation sombre, photo-fermentation et fermentation séquentielle)

Difficultés rencontrées

1. Capacité des joueurs de l'écosystème à passer à l'échelle	●●●●
2. Demande encore trop faible pour justifier la manufacture à grande échelle	●●●○
3. Risque dans le choix du procédé commercialisé	●●●○
4. Dynamique de manufacture sur mesure	●●●○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Du point de vue manufacturier, **aucun acteur n'opère au QC**. La majorité des acteurs ont des opérations au Canada ou aux États-Unis. Au Québec, l'accent est plutôt mis sur les électrolyseurs comme équipement de choix pour la production de l'hydrogène vert autant par les manufacturiers que les porteurs de projet. Le Québec possède cependant **une expertise R&D distinguée** dans ce segment et des investissements aideront la commercialisation future des technologies associées.

Intérêt pour le Québec	◇ ◇	<h3>Répondre aux objectifs de décarbonation</h3> <ul style="list-style-type: none"> Le développement d'un écosystème manufacturier de réacteurs H₂ permettrait au QC de réduire les émissions issues des procédés SMR tout en soutenant la filière de valorisation de la biomasse (vs incinération) La demande demeure cependant très faible au niveau de ce segment d'équipement comparée à celle observée au niveau des électrolyseurs (dynamique à suivre)
Capacité du Québec	◇ ◇	<h3>Un écosystème manufacturier peu développé</h3> <p>Expertise R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> Expertise dans les procédés de fermentation et pyrolyse par plasma détenue par McGill, UQTR, Polytechnique, etc. <p>Écosystème manufacturier</p> <ul style="list-style-type: none"> Aucun acteur au QC identifié capable de produire des réacteurs H₂ mais présence de firmes spécialisées avec des compétences complémentaires (Pyrogenesis: fabrication de torches au plasma)



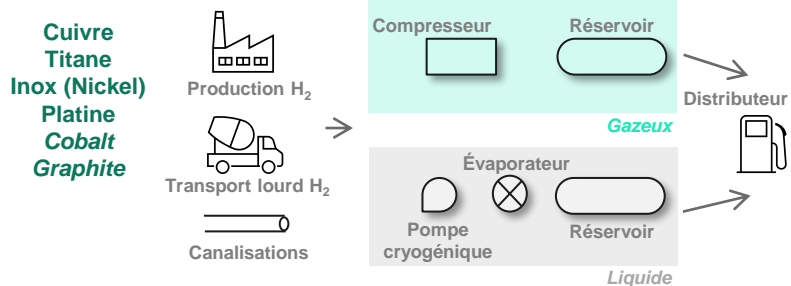


2.D. Stations H2

Analyse de l'écosystème | Portrait global des stations hydrogène

Les stations hydrogène sont clés pour la diffusion des technologies à propulsion hydrogène. Malgré la croissance du nombre de stations, **la dynamique est moins importante que celle observée sur les stations électriques**. Les stations hydrogène font intervenir plusieurs équipements auxiliaires: tuyauterie, systèmes de stockage, compresseurs, liquéfacteurs, équipements de production hydrogène, évaporateurs, pompes cryogéniques, distributeurs, etc. Deux systèmes cohabitent (gazeux et liquide) et sont envisageables en deux configurations selon le besoin (sur-site ou hors-site). Aujourd'hui, **on retrouve plus de 1000 stations dans le monde**, la Chine est responsable du tiers de ces installations. Les stations d'hydrogène gazeux permettent un avitaillement à deux pressions distinctes: 350 bars ou 700 bars selon le type de véhicule.

MCS



Type	NMT	Demande en énergie*	Avantages	Inconvénients	Technologies (Actuelles et futures)
Gazeux	9	4.21 kWh/kg <small>*Passage de 10 à 55 MPa</small>	350 bars Capacité 700 bars Temps d'avitaillement	350 bars Spectre FCEV 700 bars Capacité moindre	
Liquide	9	8.57 kWh/kg	Capacité élevée	Coûts élevés	

- > **Stockage liquide:** R&D pour développer le stockage liquide embarqué: densité de stockage prometteuse mais liquéfaction énergivore & évaporation
- > **Météo:** Recherche des solutions pour relever les défis liés aux conditions météorologiques extrêmes: fuites d'H2 au niveau des distributeurs amplifiées par les vents
- > **Modularité:** Conception modulaire pour permettre l'évolutivité des technologies
- > **Interopérabilité:** Standardisation pour permettre l'interopérabilité et la compatibilité entre les fabricants

Perspectives R&D

PERSPECTIVES DE MARCHÉ

Vision mondiale

\$0,95 milliard en 2022 TCAC de 26.43% à l'horizon 2030

Sur-site ou hors-site

Stations sur-site représentent **56% des revenus dans le marché** (besoins de transport et stockage limités); Stations mobiles est un segment émergent

Segment majoritaire

Les stations de moins de 1 tonne par jour représentent **92% du marché, cependant une tendance vers des stations de plus grandes tailles est observée pour améliorer la rentabilité**

Europe

Croissance attribuée aux **investissements des gouvernements et des industriels** qui se multiplient

Amérique du Nord

Aéroport Pearson: **première station hydrogène publique**; Partenariats pour développer les technologies d'avitaillement (CHFCA);

Asie Pacifique

Corée du Sud: projet annoncé par le gouvernement de produire **6.2 millions de véhicules hydrogène** et déployer au minimum **1200 stations d'ici 2040**

Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

Le Québec positionne l'hydrogène comme une alternative prometteuse pour décarboner le secteur de la **mobilité lourde et de longue distance**

Infrastructure peu mature

Très peu d'infrastructure d'avitaillement: **une adoption en croissance mais des coûts d'infrastructure élevés**

chaîne de valeur à consolider

Absence de chaîne de valeur pour l'hydrogène: **absence de gros producteurs et une majorité de producteurs sur-site**

Des opportunités

Expertise présente au QC détenue par Harnois Énergies et des projets qui émergent: Hydrolux – réseau de station H₂ produites par Vinci et TES - dont 1/3 de la production pourrait servir le transport lourd.

Marché co-dépendant

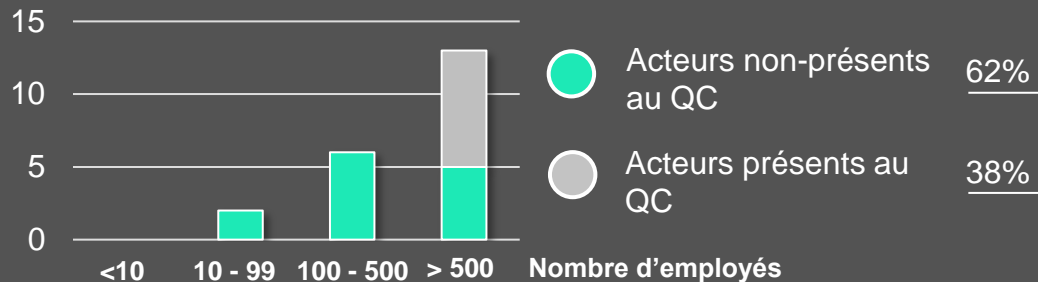
Besoin que le développement des stations se fasse en même temps que celui de la mobilité H₂

*Incluant la compression de l'hydrogène pour les systèmes gazeux de 10 à 55 MPa et la liquéfaction pour les systèmes liquides; Hors-électrolyse

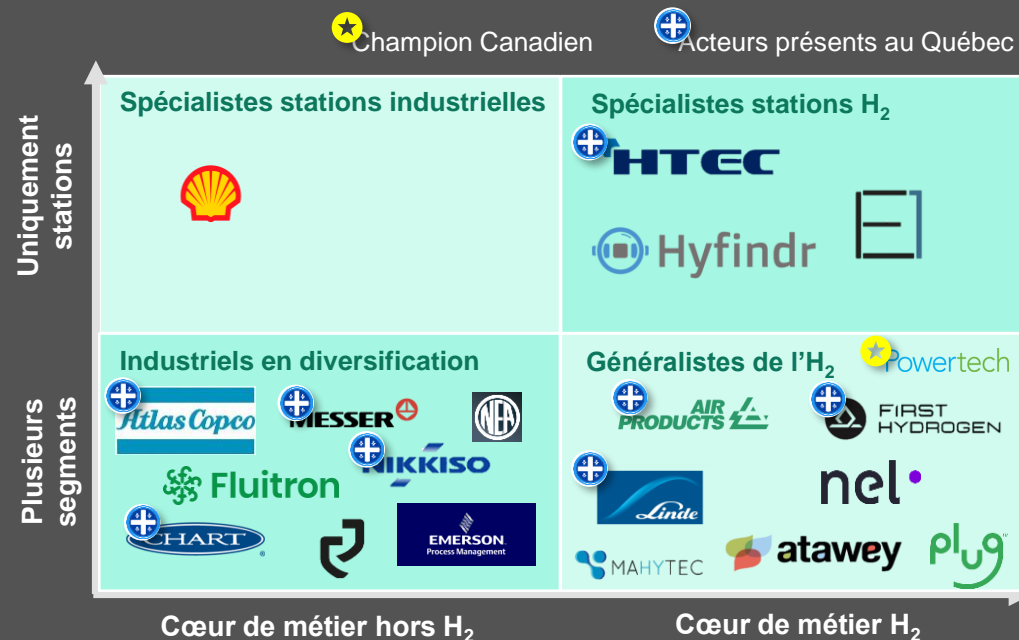
Projets et acteurs en présence

Stations H₂

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers



Typologie d'acteurs en présence

- 1. Typologie des acteurs**
 - > La plupart des acteurs sont des **multinationales** concentrées sur la manufacture des stations H₂ dont le cœur de métier est l'hydrogène. Ces derniers élargissent leur portfolio de technologies en intégrant d'autres équipements de la chaîne (Linde et Nel: électrolyseurs)
 - > **Disparité importante dans le nombre de stations d'avitaillement déployées**: 5 à 300 stations déployées. Certains projets sont en essai tandis que d'autres sont réalisés à l'échelle commerciale.
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > Sur la chaîne manufacturière, ils sont majoritairement **assembleurs**. Certains intègrent la **fabrication de sous-composants**: (Linde: pompes cryogéniques et compresseurs ioniques)
 - > D'autres acteurs identifiés pendant l'analyse se spécialisent dans les **sous-composants uniquement**: compresseurs (Neuman & Esser), pompes cryogéniques (Fluitron), liquéfacteur (Chart)
 - > Hyfindr offre des **stations qui permettent un avitaillement à deux pressions (350 et 700 bars)** permettant une couverture pour l'ensemble des technologies de propulsion H₂ qui existent
- 3. Partenariats typiques**
 - > La majorité des manufacturiers de grande taille développent des **partenariats stratégiques avec des acteurs spécialisés dans la manufacture d'électrolyseurs** pour inclure dans leurs stations une unité de production d'H₂ (Messer & Siemens; Nel & SFC Energy)
 - > **Développement de solutions clés en main**: intégration de production (Nel et SFC Energy), transport et distribution (Toyota et Messer; First Hydrogen)
 - > **Quelques partenariats avec utilisateurs finaux pour sécuriser la demande**: Fuel Element & Nikola; Cummins & Air Products



Projets manufacturiers majeurs

Nel Hydrogen Denmark	Plug Power États-Unis	Linde Chine	Ataway France
Capacité future: 300 stations/an 50 stations déployées	5 stations prévues en Amérique du Nord 60 stations déployées	Capacité qui va tripler 200 stations déployées	400 stations d'ici 2025 25 stations déployées

Positionnement des acteurs & vision Québec | Stations H₂



Les acteurs clés des stations hydrogène se démarquent par leur capacité à **absorber les coûts élevés de manufacture** et d'opération de l'infrastructure d'avitaillement par la construction de **modèles d'affaires solides**. Ces éléments constituent les deux barrières majeures à l'entrée de ce segment. Au Québec, bien que **la demande pour les stations se développe, peu de joueurs ont été identifiés** comme capable d'installer des capacités manufacturières conséquentes malgré quelques projets annoncés.

Observations sur le segment des stations H₂

Analyse des acteurs clés

Nel Hydrogen
556 employés
+ grosse capacité industrielle
Produit des électrolyseurs

Plug Power
3 353 employés
3 sites manufacturiers
S'occupe de la manufacture des distributeurs

Linde
74 207 employés
1 site manufacturier
Produit compresseurs ioniques et pompes cryogéniques

Partenariats développés

Les manufacturiers qui passent à l'échelle **sont ceux qui sont capables de sécuriser les équipements auxiliaires aux stations hydrogène.**



Autres observations sur le segment

Des marchés interdépendants – Manufacturiers hésitants à fabriquer des automobiles à propulsion hydrogène par manque d'infrastructure d'avitaillement et vice-versa

Tendances à la spécialisation – Les acteurs généralistes ont tendance à se spécialiser et délaisser certains segments (Achat par Ataway de la division Stations H₂ de Mcphy)

Difficultés rencontrées

1. Standardisation des pressions d'avitaillement	●●●●
2. Compétitivité économique par rapport aux alternatives	●●●○
3. Absence de gros producteurs d'hydrogène	●●○○
4. Capacité des joueurs de l'écosystème à passer à l'échelle	●○○○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

1 seul acteur balisé est présent au QC: HTEC (dont les stations sont fabriquées par Plug Power). Malgré la présence d'autres acteurs au QC, leurs projets annoncés se font hors-QC (Linde, Air Products). Les entretiens réalisés ont listé First Hydrogen comme **potentiellement intéressé de développer des activités manufacturières** au Québec (véhicules FCEV) en offrant une solution clé en main pour ses clients du secteur de la mobilité lourde (intégration de services d'avitaillement)

Intérêt pour le Québec

Produire des stations sert la décarbonation du transport

Objectifs provinciaux de décarbonation

- > Le gouvernement du Québec a pour objectif de réduire ses émissions de GES de 37,5% d'ici 2030 et le transport compte pour **44% de ces émissions.**
- > Par ailleurs la stratégie provinciale pour l'H₂ verte identifie le transport lourd comme débouché de **priorité moyenne** pour l'H₂.

Capacité du Québec

Une demande peu élevée pour le moment

Des expertises complémentaires présentes au QC

- > Capacité de répondre aux besoins des manufacturiers et opérateurs de stations: Harnois Énergie est un acteur éprouvé dans l'opération des stations hydrogène et l'intégration de processus de facturation

Manufacturier

- > Peu/pas d'acteurs QC identifiés capables de produire des stations à grande échelle mais dynamique émergente (7 stations d'hydrogène annoncées par Hydrolux et produites par Vinci) et demande peu élevée pour le moment

Importance relative des indicateurs

Faible ○ ○ ○ ● ● Élevé



2.E. Mobilité lourde H₂ (*Pour le transport d'H₂*)

Analyse de l'écosystème | Portrait global de la mobilité lourde H₂

Plusieurs moyens de transport et distribution d'hydrogène existent: canalisations (approvisionnement long-terme), camions, navires et trains (court-moyen terme). L'engouement pour le transport H₂ est surtout observé au niveau des navires et canalisations et peu au niveau du transport lourd par camions qui est déjà répandu depuis plusieurs dizaines d'années (transport cryogénique ou pressurisé). L'hydrogène peut être transporté sous trois formes: **gazeux, liquide et par molécules porteuses**. Les molécules porteuses sont surtout utilisées pour des applications d'exportation par navire et camion (l'ammoniac liquide, le méthanol et les LOHC). Au Canada, l'acheminement de l'hydrogène par canalisations est regardé de près avec Enbridge en tête de file pour le secteur industriel; cette analyse se concentre cependant sur le transport de l'hydrogène par **mobilité lourde H₂** plus adaptée pour la situation du Québec (**production centralisée et approvisionnement court-moyen terme nécessaire**).

MCS

Inox (Nickel)
Titane
Cuivre



PERSPECTIVES DE MARCHÉ

Vision mondiale

Au cœur du débat

Technologies les plus répandues

Des enjeux R&D à maîtriser à l'échelle mondiale

Amérique du Nord

Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

Une production d'hydrogène vert pour le besoin local

Atteinte des objectifs de décarbonation

Co-développement nécessaire

Compromis entre: production centralisée et infrastructure de transport de l'hydrogène développée & production décentralisée avec coûts de distribution (-) mais coûts de production (+) élevés (Influence sur coût H₂)

Transport par camions:
Camions citernes (liquide): méthode la plus répandue et économique pour transport H₂ sur de longues distances (Capacité élevée)
Remorques porte-tubes (gaz): plus petites distances (capacité limitée par poids des réservoirs embarqués)

Efforts R&D et investissements pour développer de nouvelles technologies telles que les molécules porteuses pour le transport haute densité - ex: Chiyoda Corporation: démonstration technologie SPERA LOHC (210 tonnes par an)

Travaux de simulation et optimisation dirigés par les ÉU: DOE effectue des analyses par scénario de transport pour optimiser les technologies de transport H₂ en fonction des usages finaux (*H2A Delivery Analysis*)

Technologies (Actuelles et futures)

Perspectives R&D

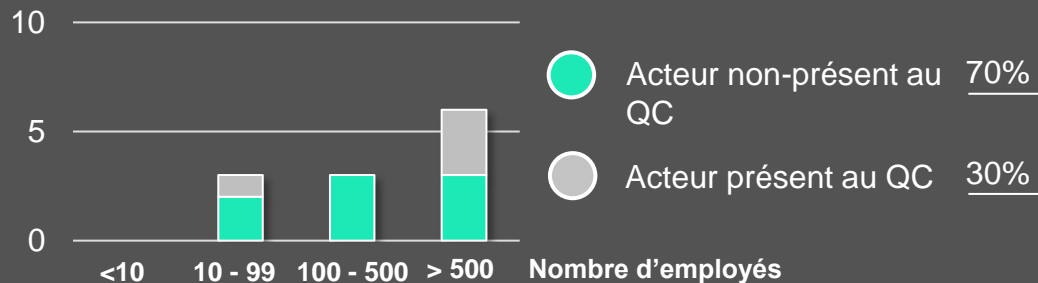
Moyens	NMT	État	Barrières et besoins
Camions	9	Gazeux	Capacités de stockage Limites de pressions Certification nouvelles approches
		Liquide	Réduction coûts et évaporation Augmentation capacité
Rail	7	Gazeux	Capacités de stockage Limites de pressions Certification nouvelles approches
		Liquide	Sécurité; Réduction coûts (poids) Capacité faible
Navire	7	Liquide Molécules porteuses	Limites de température Maturité technologie

- > **Alliages alternatifs:** R&D pour le développement de nouveaux alliages résistants à la corrosion
- > **Capteurs:** Les capteurs de la prochaine génération devront se multiplier pour répondre aux **besoins grandissants au niveau de la qualité de l'hydrogène transporté dans les réservoirs**; les nouveaux capteurs pourront faire appel aux **4 types de technologies** suivantes: FA, IA, électronique imprimée avec antennes RFID, et points quantiques pour les capteurs optiques

Projets et acteurs en présence

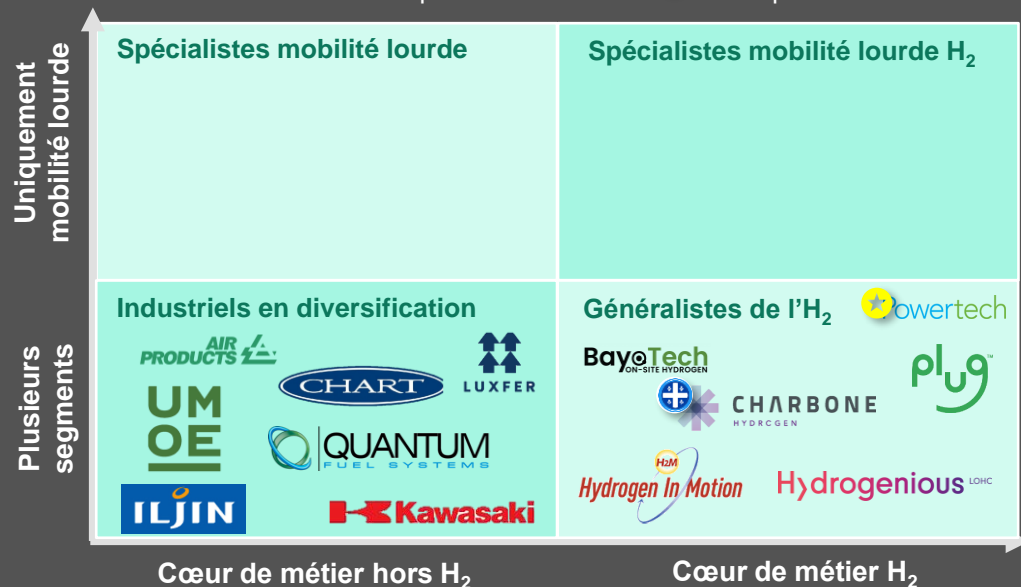
Mobilité lourde H₂

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

★ Champion Canadien ⊕ Acteurs présents au Québec



Typologie d'acteurs en présence

- 1. Typologie des acteurs**
 - > Les typologies d'acteurs que l'on retrouve majoritairement sont des **industriels en diversification** dont le cœur de métier n'est pas l'hydrogène et des **généralistes de l'H₂** dont le cœur de métier est l'hydrogène; **Aucun spécialiste de la mobilité lourde pour le transport de l'H₂ identifié**
 - > Les manufacturiers fournissent des technologies surtout dans le **segment des camions lourds** pour le transport de l'hydrogène (liquide ou gazeux)
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > On retrouve une majorité de généralistes qui sont positionnés sur **plusieurs mailles de la chaîne de valeur** de l'hydrogène (Charbone, Chart, Air Products, Bayotech, etc.)
 - > **Deux profils majoritaires: manufacturiers de réservoirs embarqués ou stationnaires** qui internalisent la production des réservoirs (Luxfer, Iljin) ou **manufacturiers de stations hydrogène** (Plug Power, Powertech, etc.)
 - > Les acteurs sont majoritairement **assembleurs des solutions finales** utilisées dans ce segment (camion/navire/train: externalisés + citernes/tubes/réservoirs: internalisés)
 - > Hydrogenious a été identifié comme **spécialiste de transport de l'hydrogène par navires et trains sous forme de LOHC**
- 3. Partenariats typiques**
 - > Partenariats avec les **manufacturiers de la mobilité lourde** (ex: BayoTech & Nikola: camions lourds à propulsion H₂ pour le transport de l'hydrogène)
 - > Partenariats entre **généralistes de l'H₂** et les **manufacturiers de réservoirs** pour fournir des solutions complètes de transport de l'H₂ (BayoTech & Luxfer; Luxfer & Octopus Hydrogen; Powertech & NPROXX)



Manufacturiers clés

Bayotech Mexique, États-Unis 50 camions achetés pour des applications de transport H ₂ ; commande de 4 camions HyFill par Chevron	Chart Theodore, AL Capacité manufacturière x5 en 18 mois 55 ans d'expérience en transport H ₂	Air Products États-Unis, Chine, Inde Camions pour le transport H ₂ : technologie interne testée dans +250 projets	Powertech Colombie-Britannique Acquisition Lift H2 Plus grosse capacité qui existe sur le marché (1,2 tonne de H ₂ gazeux compressé à 550 bars)
---	--	---	--

Positionnement des acteurs & vision QC | Mobilité lourde H₂



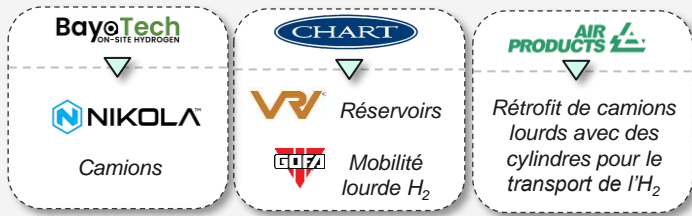
La dynamique de ce segment est surtout tirée par la formation de **partenariats pour la construction de solutions complètes pour le transport de l'hydrogène**. Au Québec, le développement de la demande provient de la nécessité de combler les **besoins locaux en hydrogène** acheminant ce dernier du point de production au point final. Le Québec possède une expertise R&D qui permettrait de développer davantage les capacités de transport des réservoirs mais la demande ne justifie pas encore le déploiement d'un réseau de distribution extensif malgré la présence de plusieurs acteurs.

Observations sur le segment de la mobilité lourde H₂

Analyse des acteurs clés et années d'expérience

<p>BayoTech 101 employés Développement d'un hub pour l'hydrogène au Missouri BayoGaas (production et livraison de l'hydrogène)</p>	<p>Chart 5 200 employés Se développe par acquisitions: James Russell Engineering Works, GOFA, VRV</p>	<p>Air Products 19 275 employés Technologie de marque déposée h2fM utilisée dans 20+ pays</p>
---	--	--

Observations
Les manufacturiers de ce segment s'associent à des partenaires pour sécuriser les briques constitutives des solutions finales (mobilité lourde et/ou réservoirs de stockage)



Autres observations sur le segment

Influence sur le prix de l'H₂ – La dynamique de ce segment influence fortement le prix de l'hydrogène qui doit tenir compte d'une variation du coût de distribution selon le monde de transport

Flexibilité – Le risque lié au développement d'une technologie spécifique est compensé par la flexibilité associée au transport par camion (ex: Chart a pour projet de fournir également des solutions de transport H₂ gazeux)

Difficultés rencontrées

1. Modèles de distribution et infrastructures peu matures	●●●●
2. Demande encore trop faible pour justifier la manufacture à grande échelle (production centralisée)	●●●○
3. Co-développement des technologies complémentaires	●●●○
4. Enjeu au niveau de la robustesse des technologies	●●●○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Du point de vue manufacturier, **4 acteurs sont présents au QC** (Air Products, Charbone, Chart Ind., et Luxfer) mais leurs **activités manufacturières se font hors-QC**. La demande observée est surtout locale et les distances de transport H₂ demeurent assez faibles; secteur du camionnage électrique est bien développé au QC et justifierait l'utilisation de camions lourds pour transport H₂ sur des courtes distances

Vers une production décentralisée

Intérêt pour le Québec

- Un virage de la production centralisée à la production décentralisée est observé avec des projets de génération d'hydrogène qui se multiplient (TES, Greenfield); besoin de développer les technologies de transport pour répondre aux besoins de distribution et livraison
- Besoins croissants en approvisionnement d'hydrogène pour les applications autour des carburants de synthèse, de l'acier vert et des stations de ravitaillement

Relever les défis R&D et répondre aux besoins

Capacité du Québec

- R&D autour des valves pour maîtriser les enjeux de fuites et pour continuer de développer les technologies de réservoirs qui vont permettre un transport d'H₂ de plus grande capacité (ETS, ULaval, Polytechnique Montréal, McGill)
- Expertise industrielle détenue par Air Products, Charbone, Chart Ind., Luxfer and Air Liquide
- Expertise industrielle complémentaire: le camionnage lourd est une maille déjà présente et solide au QC





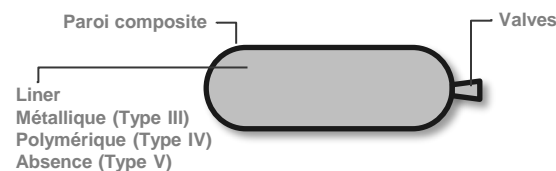
2.F. Réservoirs embarqués

Analyse de l'écosystème | Portrait global des réservoirs embarqués

Les **réservoirs embarqués** font partie des nombreux moyens de stockage de l'hydrogène. Contrairement aux réservoirs en sous-sol et les réservoirs hors-terre destinés à des applications stationnaires, les réservoirs embarqués sont utilisés pour le **transport routier, aérien ou maritime**. Leur composition varie selon leur usage mais ils sont généralement composés de **fibres de carbone** ou **acier inoxydable**. Les réservoirs de **type IV** sont les plus fréquemment utilisés grâce à leur légèreté et densité de stockage d'hydrogène. Certaines applications de stockage liquide/cryogéniques sont envisagées aujourd'hui mais l'application de stockage **gazeuse** présentée dans la section Technologies est la plus courante.

MCS

Cuivre
Titane
Inox (Nickel)



Type	NMT	Coûts	Poids	Applications
Type I	9	++	-	Stationnaires
Type II	9	+	=	Stationnaires
Type III	9	-	+	Embarquées
Type IV	9	-	++	Embarquées
Type V*	7	++	+++	Embarquées

Technologies
(Actuelles et futures)

FUTUR

Perspectives R&D

- > **Fabrication additive:** pour la réparabilité des systèmes en INOX qui sont fragilisés à des pressions élevées
- > **Robustesse des systèmes de sécurité:** R&D pour une conception au même niveau que pour les véhicules à moteur à combustion interne actuels
- > **Stockage liquide et solide:** R&D pour développer le stockage liquide embarqué (technologie mature mais densité de stockage prometteuse mais liquéfaction énergivore & évaporation) et les applications de stockage LOHC



PERSPECTIVES DE MARCHÉ



Vision mondiale

\$22 milliards en 2030 (\$2021)

TCAC de 5,2% à l'horizon de 2030
Réservoirs composites: croissance de part de marché directement dépendante du **prix des fibres de carbone** (50% de leurs poids)

Réservoirs de type IV

Les plus couramment utilisés
Applications dans le **secteur de la mobilité**: légèreté et densité de stockage

Amérique du Nord

Plus grande part de revenus à horizon 2030 portée par plusieurs initiatives de R&D: densité de stockage et réduction des coûts pour des applications embarquées

Europe

TCAC le plus rapide: réglementations gouvernementales encourageant les technologies de stockage

Asie Pacifique

Croissance constante: investissements continus dans la filière manufacturière



Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

Le Québec positionne l'hydrogène comme une alternative prometteuse pour décarboner le secteur de la **mobilité lourde et de longue distance**

Un secteur d'application en pleine croissance

Récente étude de Propulsion Québec - **Transport lourd et de longue distance est une application complémentaire** à l'électrification des camions lourds

Des projets en cours et une demande qui augmente

Harnois Énergies a commandé **5 camions H₂** pour entrer en opération en 2026
Projets Hydrolux de **7 stations H₂** et **20 camions H₂** sur la route 117

Expertise présente au Québec

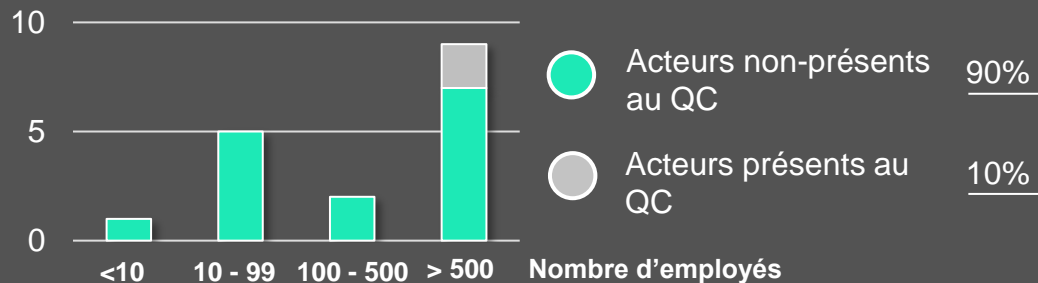
R&D au niveau des réservoirs embarqués: liquéfaction, amélioration de la densité de stockage, fabrication additive, métaux et composites (CQFA, CMQ, McGill, CDCQ)

*Réservoirs sans liner, paroi composite uniquement; toujours en développement, le prix des matériaux composites limite les applications commerciales

Projets et acteurs en présence

Réservoirs embarqués

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

★ Champion Canadien ⊕ Acteurs présents au Québec



Typologie d'acteurs en présence

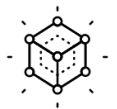
- 1. Typologie des acteurs**
 - > Les 3 typologies d'acteurs que l'on retrouve majoritairement sur ce segment sont des **multinationales dont le cœur de métier n'est pas l'hydrogène**, des **manufacturiers de réservoirs de gaz industriels** qui se diversifient avec l'H₂ et des **PME ayant une spécialisation technologique** (réservoir innovant, plus léger, etc.)
 - > Il existe donc de **larges différences dans les capacités de production des acteurs**. Les forces de frappe des acteurs sont très inégales : de moins de 100 réservoirs vendus à +100 000 réservoirs par an
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > La majorité des acteurs sont des **spécialistes des réservoirs embarqués** qui ne développent pas d'autres solutions hydrogène. Ceux qui se diversifient proposent des **systèmes plus complets pour le transport/stockage** (remorques H₂, applications de stockage stationnaire, etc.)
- 3. Partenariats typiques**
 - > La majorité des plus grands manufacturiers (>500 employés) (Faurecia, Plastic Omnium, etc.) développent des **partenariats stratégiques avec des acteurs de la mobilité H₂** (Hyzon, Symbio, etc.)
 - > Des partenariats se forment aussi au sein des **chaînes d'approvisionnements** pour se sourcer en matériaux composites, fibre de carbone, etc. (Ex: Faurecia & Arkema)



Projets manufacturiers majeurs

Faurecia <i>Allenjoie – En opération</i> 100 000 réservoirs/an Multiplication capacité de production par 10	Plastic Omnium <i>Michigan - 2026</i> +100 000 réservoirs/an Plus grande usine de réservoirs à hydrogène des États-Unis	Plastic Omnium <i>Compiègne – 2025</i> 80 000 réservoirs/an Réservoirs 700 bars, 200 emplois créés sur place
--	--	---

Positionnement des acteurs & vision Québec | Réservoirs embarqués



Les acteurs clés des réservoirs embarqués se démarquent par l'innovation technologique ainsi que la capacité à former des partenariats avec les joueurs de la mobilité hydrogène pour sécuriser la demande. Au Québec, bien que la demande pour les réservoirs se développe, peu de joueurs ont été identifiés comme capable d'installer des capacités manufacturières conséquentes.

Observations sur le segment des réservoirs embarqués

Analyse des acteurs clés

Plastic Omnium 28 330 employés + grosse capacité industrielle (180 000 réservoirs/an) Réservoirs 40% plus légers	Faurecia 110 000 employés 50 sites manufacturiers (100 000 réservoirs/an) Se développe avec partenariats	Luxfer Gas Cylinder 1 350 employés 7 sites manufacturiers (70 millions de réservoirs en utilisation)
--	--	---

Partenariats développés

Les manufacturiers qui passent à l'échelle travaillent de pair avec les acteurs de la mobilité hydrogène



Autres observations sur le segment

Nouveaux compétiteurs – Certains acteurs de la mobilité H₂ tendent à réintégrer la production de réservoirs (Ex: Toyota)

R&D – Nerf de la guerre technologique : poids, coûts, volume. R&D très importante et qui laisse la place à de nouvelles technologies d'où le développement de PME spécialistes

Difficultés rencontrées

1. Standardisation des pressions de transport H ₂	●●●●
2. Enjeux d'approvisionnement des composants	●●●○
3. Capacité des joueurs de l'écosystème à passer à l'échelle	●●○○
4. Difficulté à anticiper la demande pour calibrer les capacités	●○○○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Du point de vue manufacturier, seuls 2 acteurs balisés opèrent au QC : Chart Ind. et Arkema mais il n'est pas clair si leurs activités au QC sont en lien avec l'H₂. La fabrication de ces réservoirs pourrait être prise en charge par des PME spécialistes existantes, gravitant autour du domaine de l'aéronautique, et qui pourraient être identifiées à travers le STIQ ou le RICQ.

Intérêt pour le Québec

Produire des réservoirs sert la décarbonation du transport

Objectifs provinciaux de décarbonation

- > Le gouvernement du Québec a pour objectif de réduire ses émissions de GES de 37,5% d'ici 2030 et le transport compte pour **44% de ces émissions.**
- > Par ailleurs la stratégie provinciale pour l'H₂ vert identifie le transport lourd comme débouché de **priorité moyenne** pour l'H₂.

Capacité du Québec

Bien que la R&D soit dynamique, peu d'acteurs manufacturiers

Expertise R&D

- > La R&D est clé dans ce segment de marché où il reste beaucoup de place à l'innovation technologique. Au QC, le CQFA est le guichet unique où les acteurs sont regroupés pour travailler sur les problématiques de fabrication additive.

Manufacturier

- > PME spécialistes existantes pourraient potentiellement produire ces équipements

Importance relative des indicateurs

Faible ○ ○ ○ ● ● Élevé



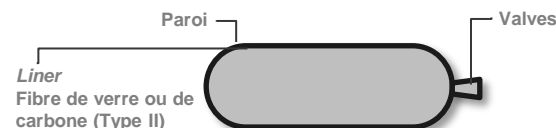
2.G. Réservoirs stationnaires

Analyse de l'écosystème | Portrait global des réservoirs stationnaires

Les **réservoirs stationnaires** font partie des différents moyens de stockage de l'hydrogène. Contrairement aux réservoirs embarqués, les réservoirs stationnaires sont utilisés pour le **stockage moyen ou long-terme**. Leur composition varie selon leur usage mais ils sont généralement composés **d'acier et d'aluminium**. Les réservoirs de **type I** sont utilisés pour des applications sous-marines ou du stockage industriel à grande échelle tandis que les réservoirs de **type II** sont adaptés pour des pressions plus élevées (300 bars) grâce à leur *liner* en filament qui leur confère une meilleure rigidité. Les réservoirs stationnaires sont utilisés dans plusieurs applications: stockage temporaire après production, stockage pour conversion en électricité, stockage dans les stations d'avitaillement et stockage pour utilisation dans les procédés industriels. L'hydrogène peut être stocké sous différentes formes: liquide, gazeux ou solide.

MCS

Titane
Platine
Inox (Nickel)



Type	NMT	Coûts	Pression maximale	Poids	Applications
Type I	9	++	-	-	Stationnaires
Type II	9	+	=	=	Stationnaires
Type III	9	-	++	+	Embarquées
Type IV	9	-	++	++	Embarquées
Type V	7	++	++	+++	Embarquées

Technologies
(Actuelles et futures)

- > **Stockage liquide:** R&D pour développer le stockage liquide embarqué: densité de stockage prometteuse mais liquéfaction énergivore & évaporation
- > **Stockage en sous-sol:** R&D pour développer le stockage en caverne: taille, forme et profondeur des cavernes; revalorisation d'anciens sites miniers, surtout ceux à base de sel
- > **Stockage solide:** R&D pour développer une solution qui permet de rendre l'hydrogène disponible à un taux plus élevé après sa liaison à des molécules solides

Perspectives R&D



PERSPECTIVES DE MARCHÉ



Vision mondiale

\$21,8 milliards en 2021

TCAC de 5,2% à l'horizon de 2030
Les réservoirs de type I et type II représentent plus que 50% de la part de marché des réservoirs hydrogène

Réservoirs stationnaires

Plus grande croissance à horizon 2028
Applications principales: stockage pour conversion en électricité (équilibre de réseau) et stockage dans les stations H2

Amérique du Nord

Plusieurs projets de stockage d'hydrogène majeurs avec une dominance par les États-Unis

Europe

Croissance rapide: réglementations gouvernementales encourageant les technologies de stockage

Asie Pacifique

TCAC le plus élevé: demande croissante en énergie propre contribue à l'adoption du stockage stationnaire par les industriels



Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

L'utilisation d'H₂ dans les procédés industriels et les carburants de synthèse: **applications à prioriser**; Réservoirs stationnaires essentiels à ces applications

Une opportunité pour le stockage de l'électricité

L'hydrogène est **complémentaire aux énergies intermittentes** (éoliennes et solaires) et constitue une avenue possible pour le **stockage stationnaire d'électricité et l'équilibrage de réseau**

Une demande prévue d'augmenter

La demande pour les réservoirs stationnaires sera portée par plusieurs applications dont l'utilisation de l'hydrogène pour des génératrices ou pour alimenter les centres de données.

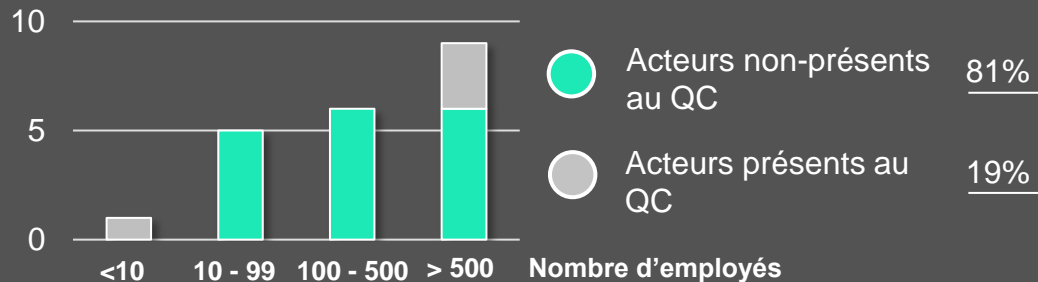
Expertise présente au Québec

Plusieurs acteurs se démarquent au QC au niveau des **systèmes de sécurité des réservoirs stationnaires** (AS Devices)

Projets et acteurs en présence

Réservoirs stationnaires

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers



Typologie d'acteurs en présence

1. Typologie des acteurs

- > Les 3 typologies d'acteurs que l'on retrouve majoritairement sur ce segment sont des **multinationales dont le cœur de métier est l'hydrogène**, des **manufacturiers de réservoirs de gaz industriels** (Kawasaki, Arkema, Mincatec) qui se diversifient avec l'H₂ et des **acteurs ayant une spécialisation technologique** (stockage sous-terrain - Linde, stockage solide - Mincatec, etc.)
- > Les acteurs les mieux positionnés sur ce secteur sont ceux qui possèdent une présence importante dans le segment des stations hydrogène (application principale de ces réservoirs)

2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂

- > Sur la chaîne manufacturière, ils développent majoritairement des solutions pour répondre au stockage stationnaire dans les **stations hydrogène avec une minorité de solutions pour les applications industrielles**. Certains d'entre eux intègrent la **fabrication des réservoirs** (Chart, Fives Nordon, GKN Hydrogen)

3. Partenariats typiques

- > La majorité des manufacturiers de grande taille développent des **partenariats stratégiques avec des fabricants de sous-composants** (Chart, Tissot Industrie, etc.)
- > Des partenariats se forgent pour fournir des **solutions d'infrastructures d'avitaillement hydrogène clés en main** (Fluitron et Ara Partners, Charbone et Resato Hydrogen Technology, Matrix Service et Chart...etc)



Projets manufacturiers majeurs*

Chart Industries États-Unis, Europe, Asie 800 réservoirs produits	Air Products États-Unis, Chine, Inde 250 stations déployées	Linde Chine 200 stations déployées	Plug Power États-Unis +60 stations déployées
--	--	---	---

*L'application la plus répandue pour les réservoirs stationnaires et qui connaîtra la plus grande croissance est l'utilisation de ces équipements pour le stockage dans les stations H₂. La capacité des acteurs majeurs a alors été analysée sous cet angle.

Positionnement des acteurs & vision Québec | Réservoirs stationnaires



Les acteurs clés des réservoirs stationnaires se démarquent par leur capacité à fournir des solutions clés en main pour des applications d'avitaillement; ce large spectre de services leur offre un avantage compétitif important par rapport aux autres manufacturiers. Au Québec, bien que **la demande pour les réservoirs stationnaires se développe, peu de joueurs ont été identifiés** comme capables d'installer des capacités manufacturières conséquentes.

Observations sur le segment des réservoirs stationnaires

Analyse des acteurs clés

Chart Industries
 5 200 employés
 + grosse capacité industrielle
 (Capacité de stockage liquide élevée)

Air Products
 19 275 employés
 98 sites manufacturiers
 Se développe avec partenariats (Cummins)

Linde
 74 207 employés
 73 sites manufacturiers
 Se développe avec partenariats (Hyosung Corporation)

Observations
 Les manufacturiers qui passent à l'échelle **intègrent d'autres segments d'équipements complémentaires de la chaîne de valeur**

CHART
 Liquéfacteurs
 Compresseurs
 Contrôleurs de débit

AIR PRODUCTS
 Systèmes de purification
 Stations H2

Linde
 Électrolyseurs
 Stations H2

Tendances du segment

Application principale – Majorité des acteurs développent des solutions pour le stockage dans les stations hydrogène

R&D – R&D très importante et produit non « fini » technologiquement d'où le développement de PME spécialistes et les travaux sur le stockage solide ou sous-terrain

Difficultés rencontrées

1. Robustesse des systèmes de sécurité	●●●●
2. Enjeux d'approvisionnement des composants	●●●○
3. Dynamique sur mesure pour l'intégration dans les applications	●●○○
4. Difficulté à anticiper la demande pour calibrer les capacités	●○○○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Du point de vue manufacturier, **6 acteurs balisés sont présents au QC mais la majorité opèrent hors-QC.** Les entretiens réalisés ont souligné l'importance de sécuriser la chaîne d'approvisionnement locale au niveau des réservoirs stationnaires pour répondre aux besoins croissants en stockage.

Produire des réservoirs sert la décarbonation du transport

Objectifs provinciaux de décarbonation

- La fabrication de réservoirs stationnaires au QC permettrait de consolider la chaîne d'approvisionnement (réservoirs présents sur toute la chaîne de valeur) pour les futurs projets (TES, Greenfield Global et stations qui seront déployées (HydroLux).

Bien que la R&D soit dynamique, peu d'acteurs manufacturiers

Expertise R&D

- La R&D est clé dans ce segment de marché où il reste beaucoup de place à l'innovation technologique. Au QC, Plusieurs acteurs se démarquent au niveau des systèmes de sécurité des réservoirs: un enjeu technologie important (AS Devices)

Manufacturier

- Quelques acteurs présents mais avec des chaîne de production hors-QC (Europe et États-Unis)

Importance relative des indicateurs

Faible ○ ○ ○ ● ● Élevé

Intérêt pour le Québec

Capacité du Québec



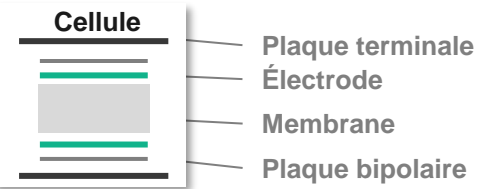
2.H. Piles à combustible

Analyse de l'écosystème | Portrait global des piles à combustible

Les piles à combustible combinent l'H₂ et l'O₂ pour produire de l'électricité, de l'eau et de la chaleur. Les piles à combustible peuvent être construites pour répondre à diverses spécifications ou besoins énergétiques, allant de **quelques watts à plusieurs mégawatts de puissance**. Il existe **trois marchés principaux** pour la technologie des piles à combustible : **l'usage stationnaire** (génératrice de secours pour centre de données, hôpitaux, gestion de pointe hivernale, etc.), **les transports** (véhicules légers et lourds) et **les applications portatives** qui concerne tous les usages portables (fourniture d'électricité dans régions éloignées, vente aux particuliers, etc.)

MCS

Inox (Nickel)
Platine
Cobalt
Graphite



Techno.	NMT	Avantages	Difficultés
PEMFC	9	Temp. faible Réponse rapide	Catalyseur cher Sensible impureté
AFC	Mature	Peu de MCS	Sensible au CO ₂
PAFC	Moyen	Tolérance impureté	Réponse lente
MCFC	Faible	Forte efficacité	Corrosion
SOFC	9	Complémentarité électricité/chaleur	Réponse lente Corrosion composants

Technologies (Actuelles et futures)

Perspectives R&D

- > **Efficacité**: améliorer l'efficacité des PAC (aujourd'hui de l'ordre de 60% pour les PEMFC et SOFC, et de 40% pour les PAFC)
- > **MCS**: trouver des catalyseurs alternatifs au Platine
- > **Matériaux**: développer une alternative aux PFAS (présentement en discussions pour être interdits en Europe, regardés de près aux ÉU et au Canada)
- > **Modélisation**: simulation des coûts totaux de possession



PERSPECTIVES DE MARCHÉ



Vision mondiale

\$12 Mds en 2028

Le marché devrait passer de \$4,4 Mds en 2023 à \$12 Mds à 2028 avec un **TCAC de 21,7%**

Principales applications

Les **usages stationnaires** sont les plus développés et devraient le rester, portés par la demande des **centres de données**. Le deuxième marché se développant rapidement est celui de la **mobilité H₂**

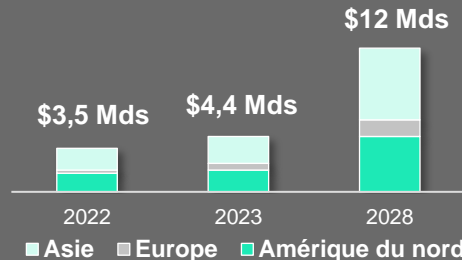
Technologie dominante

Les piles à combustible PEM représentent la majorité des usages, notamment car **elles peuvent être utilisées dans les 3 marchés des PACs**



■ PEMFC ■ SOFC ■ Autres

Évolutions régionales du marché



Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

Le Québec positionne plusieurs applications des piles à combustible comme étant prioritaires pour l'hydrogène : le stockage saisonnier, le remplacement des génératrices diesel et le camionnage longue distance de classe 8

Étude Propulsion Québec

Dans son étude publiée en 2023, Propulsion Québec réaffirme l'intérêt pour les **camions lourds et longues distances H₂**

Des projets en cours

Le projet d'HydroLux prévoit **7 stations H₂** et **20 camions H₂** sur la route 117 (HydroLux). First H₂ souhaite développer des activités manufacturières à Shawinigan

Les besoins de R&D sont importants

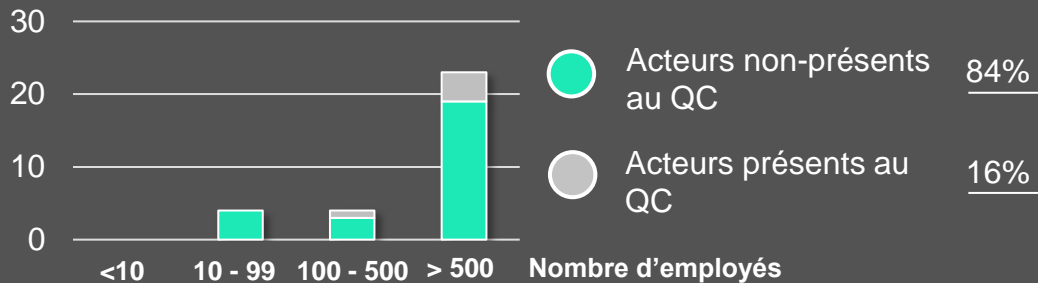
Plusieurs acteurs québécois ont été identifiés comme ayant une expertise transposable aux piles à combustible: CNRC, INRS, Polytechnique de Montréal

*Incluant la compression de l'hydrogène pour les systèmes gazeux de 10 à 55 MPa et la liquéfaction pour les systèmes liquides

Projets et acteurs en présence

Piles à combustible

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

★ Champion Canadien ⊕ Acteurs présents au Québec

Uniquement Piles à combustible

Plusieurs segments

Industriel en diversification ciblée

Panasonic



Spécialistes PAC H₂

★ **BALLARD**



Sylfen



DOOSAN

Industriels en diversification



Généralistes de l'H₂



Cœur de métier hors H₂

Cœur de métier H₂



Typologie d'acteurs en présence

- 1. Typologie des acteurs**
 - > La majorité des acteurs sont des **multinationales** (75% ont plus de 500 employés), provenant en grande partie du **secteur de la mobilité** qui se diversifient pour développer des solutions décarbonées (Volvo, Toyota, Volkswagen, etc.)
 - > Les spécialistes des PACs sont des **PME se développant autour d'une technologie bien spécifique** (ex – Sylfen, technologie SOEC réversible) ou **des acteurs clés ayant réussi à se développer sans se faire racheter** (Ballard, Doosan)
 - > Dans le secteur des camions propulsés à l'hydrogène, l'assemblage de cette technologie à haute valeur ajoutée est réalisé par quelques acteurs globaux (Accelera, Toyota, Hyundai, etc.)
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > Les acteurs qui se diversifient sur la chaîne de valeur hydrogène, **le font en majorité sur la production d'électrolyseur** (Bloom Energy, Bosch, Mitsubishi, etc.) ou **le développement de solutions de mobilité plus complètes** (Toyota, Hyundai, etc.)
 - > Certains joueurs se spécialisent dans les **sous-composants des piles à combustible**, notamment les grands industriels de la chimie qui produisent les membranes (Solvay, Arkema) ou **dans les équipements auxiliaires** – valves, régulateurs de pression, joints, etc. (Ex : Wesport Fuel Systems)
- 3. Partenariats typiques**
 - > Les joueurs développent leurs capacités à produire des PACs essentiellement par **des rachats d'entreprises spécialisées** : Bell Flight – Response Technologies LLC, Cummins – Hydrogenics, Alstom – Helion Power)
 - > **Les spécialistes des PACs s'associent également avec des acteurs de la mobilité** pour développer des solutions plus complètes (ex : Symbio – Stellantis; Safran - Mercedes)
 - > **Certains acteurs de la mobilité se regroupent** pour se développer sur ce segment (Ex : Volvo – Daimler; Faurecia – Michelin)



Projets manufacturiers majeurs

HTWO
Corée

23 000 PAC/an
HTWO développe des PEMFC

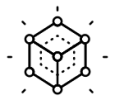
Bloom Energy
Newark (US)

1 GW/an
Développe des SOFC jusqu'à 10MW

Ballard
Vancouver

Capacité d'1,6 GW/an
Volonté de multiplier cette capacité par 6 (PEMFC) d'ici 2030

Positionnement des acteurs & vision Québec | Piles à combustible



Longtemps resté un marché de niche, celui des piles à combustible se développe rapidement porté par la demande pour la mobilité et les systèmes d'alimentation de secours, **poussant plusieurs acteurs à se positionner en rachetant des PME spécialisées**. Au Canada, Ballard est un acteur clé, présent **dans la majorité des projets nécessitant des piles à combustible au Québec** (First H₂, etc.). C'est un segment dont le développement est largement relié aux objectifs fixés par le DOE notamment en termes de coûts.

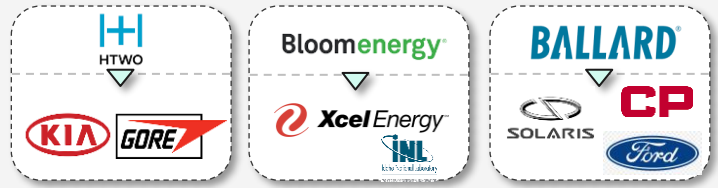
Observations sur le segment des piles à combustible

Analyse des acteurs clés

HTWO PEMFC 105 000 employés <i>Développe sa filière PAC en étroite collaboration avec Kia et Gore (pour les membranes)</i>	Bloom Energy SOFC 2530 employés <i>Propose des systèmes d'urgence SOFC pour les hôpitaux et centres de données</i>	Ballard PEMFC 1300 employés <i>Produit la majorité de ses sous-composants (dont les membranes)</i>
---	---	---

Partenariats développés

Les manufacturiers qui passent à l'échelle se regroupent avec des acteurs de la mobilité pour bâtir des solutions H₂ complètes



Autres observations sur le segment

MCS – Les manufacturiers ont une connaissance fine des enjeux liés aux MCS, Bloom s'est engagé à fournir un rapport pour donner de la visibilité sur ces sujets

Secteur très dynamique – Les positionnements des acteurs sur ce secteur sont pour la plupart très récents (Kohler, Airbus etc...) et les objectifs de production très importants

Difficultés rencontrées

1. Présence de main-d'œuvre qualifiée et formée	●●●●
2. Difficulté d'approvisionnement de composants critiques	●●●○
3. Absence d'infrastructures d'avitaillement d'H₂	●●○○
4. Risque de dépassement technologique	●○○○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Sur les 3 acteurs balisés qui opèrent au QC, aucun **n'a de chaîne manufacturière présente au Québec**. Au Canada, **Ballard est un chef de file du développement des piles à combustible** et s'est dit intéressé pour éventuellement s'implanter au Québec **dans le cas où une demande importante le justifierait**. Au QC, les usages mobiles des PAC se justifient pour les trains ou camions de classe 8.

Les centres de données et le camionnage tirent la demande

Objectifs de la stratégie H₂ québécois

- > Les PACs sont utilisées dans des applications qui sont prioritaires dans la stratégie hydrogène le remplacement des génératrices diesel, la gestion de pointe hivernale et le transport lourd par camion de classe 8.
- > Les bus ne semblent pas faire partie des applications prioritaires

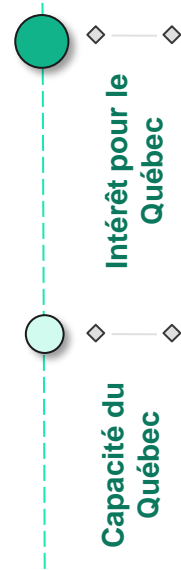
Au Québec l'écosystème R&D est dynamique

Expertise R&D

- > Le CNRC, l'INRS, l'UQTR et l'École Polytechnique de Montréal sont des potentiels acteurs de la R&D sur le segment des piles à combustible

Manufacturier

- > Peu d'acteurs présents au Québec qui pourraient développer des activités manufacturières localement

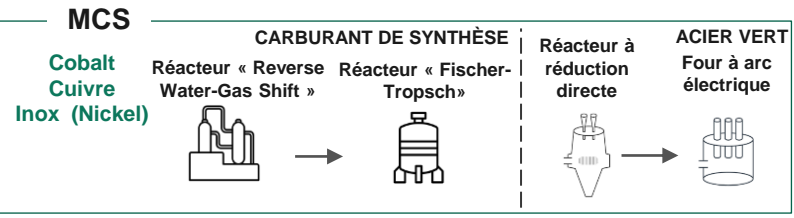




2.I. Équipements industriels

Analyse de l'écosystème | Portrait global des équipements industriels

L'H₂ est utilisé dans de nombreux procédés industriels : les raffineries, l'industrie chimique, etc. Cette étude se concentre sur deux nouvelles applications, **l'acier vert et les carburants de synthèse**. Ces derniers sont obtenus en **combinant l'H₂ et le CO₂** et sont à faibles émissions lorsque l'hydrogène est produit à partir d'électricité décarbonée. **Différents types de carburants peuvent être produits** à partir de cette combinaison : méthanol, méthane, ammoniac, etc. Ils devraient jouer un rôle important dans la décarbonation des transports selon l'IEA. L'H₂ est aussi **prometteur pour la décarbonation des applications sidérurgiques**, en faisant réagir l'hydrogène directement avec le minerai de fer, on produit du fer et de l'eau à la place du fer et du CO₂. Bien que peu mature, **cette réduction du fer associée à un four à arc électrique permettrait de largement décarboner la production d'acier**.



Équipements	Utilité
Réacteur « Reverse Water-Gas Shift »	Convertit le CO ₂ en CO, nécessaire à la synthèse de FT
Réacteur « Fischer-Tropsch »	Synthétise la molécule d'intérêt avec l'H ₂ et le CO
Réacteur à réduction directe	Réduit les minerais de fer de façon décarbonée (-jusqu'à 95% d'émissions CO ₂)
Four à arc électrique	Transforme les minerais de fer en acier à partir d'électricité

Technologies (Actuelles et futures)

- Perspectives R&D**
- > **Production d'acier vert à partir d'H₂**: réduire les coûts de production (10-50% plus chers actuellement que version fossile selon IEA), sécurité des fours, corrosion et fragilisation de l'acier par l'H₂
 - > **Production de carburant de synthèse** : amélioration de l'efficacité des réactions de transformations de l'H₂/CO₂, nouvelles voies de réactions pour éliminer des étapes de conversion, développement des e-biofuels, capacité à gérer des flux intrants intermittents

PERSPECTIVES DE MARCHÉ

Vision mondiale

Analyses IEA

Dans sa feuille de route 2020 (scénario « SDS ») l'IEA mentionne que plus de 8% de la production d'acier mondiale proviendra d'un système utilisant l'H₂ vert comme agent réducteur (12Mt H₂/an)

Passage à l'échelle

La course est engagée entre les producteurs d'acier pour se positionner rapidement sur ces nouvelles technologies avec des projets à large échelle annoncés en Europe, en Amérique du Nord et au Japon

Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

Le Québec a identifié l'utilisation d'H₂ dans les procédés industriels et les carburants de synthèse comme étant **les deux applications à prioriser**

Des projets en cours pour déployer l'H₂ vert

H2Green Steel est en discussion actuellement avec le QC pour développer une usine de 3Mds à 6 Mds de \$.

Arcelor Mittal a testé jusqu'à 7% d'H₂ dans son réacteur à Contrecoeur, mais ses usines **sont trop vieilles** au QC pour développer l'H₂ à grande échelle

CARBURANT DE SYNTHÈSE

Analyses IEA

Dans son étude publiée en décembre 2023, l'IEA propose des scénarios d'intégration des carburants de synthèse allant **jusqu'à 10% des carburants** de l'aviation, du maritime et du routier

Molécule dominante

Selon les projets annoncés, sur les 14Mt de carburants de synthèse produits à 2030, plus de **90% devraient être sous forme d'ammoniac**, 4% de méthane, 1% de méthane et 5% autres

Mauricie – TES Canada. 150 Tep de méthane de synthèse pour injection dans le réseau de gaz naturel

Montréal – SAF+. 75 Tep d'e-kérosène pour l'aviation

Varenes – Enerkem. 105 Tep d'e-méthanol

Baie-Comeau – Hy2Gen. 90 Tep d'e-ammoniac, pour les usages locaux.

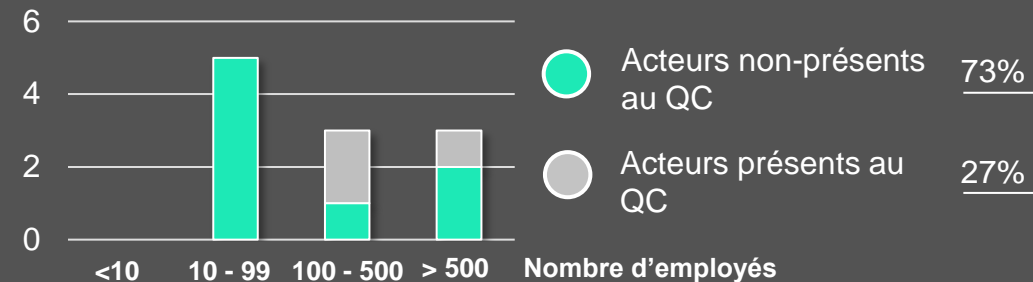
Montréal – Greenfield. Production d'e-méthanol pour le transport maritime.

*Toujours en développement, le prix des matériaux composites limite les applications commerciales

Projets et acteurs en présence

Équipements industriels

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

★ Champion Canadien ⊕ Acteurs présents au Québec



Typologie d'acteurs en présence

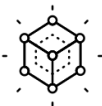
- 1. Typologie des acteurs**
 - > Dans la course à l'acier vert, les grands équipementiers industriels de la sidérurgie développent et testent les solutions H₂. Peu d'acteurs se positionnent sur le segment du fait de la **grande complexité technologique** et la **forte intensité capitalistique**. Le segment est **dominé par des entreprises japonaises** (Midrex – 80% des réacteurs DRI, Primetals)
 - > Les entreprises des carburants de synthèse sont en majorité des TPE/PME (<100 employés) en développement.
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > Les acteurs développant des solutions pour l'acier vert **sont toujours des spécialistes** qui se concentrent sur le segment des équipements industriels.
 - > De la même manière, la totalité des acteurs se positionnant sur les carburants de synthèse **sont des spécialistes** à l'exception de Sunfire qui produit également des électrolyseurs
- 3. Partenariats typiques**
 - > Les joueurs de l'industrie sidérurgique se regroupent pour développer des **écosystèmes complets** (ex : Primetals – Engie - Forvia); et avec des **acteurs majeurs des énergies renouvelables** (Ex: H2Green Steel - Primetal – Iberdrola; LKAB – SSAB - Vattenfall) pour la production d'H₂ vert.
 - > Les entreprises du secteur des carburants de synthèse se regroupent en consortium avec des **producteurs d'énergie renouvelable, d'hydrogène vert, des porteurs de projets et des fournisseurs technologiques** (électrolyseurs, etc.) pour **compléter les expertises et partager les risques** sur ces premiers projets.



Projets manufacturiers majeurs

Primetals Sutton, Worcester	Midrex Etats-Unis	Enerkem Québec
+4 usines de production d'acier vert fournies (Russie, US)	+100 modules de DRI déployés mondialement (80% des DRI mondiaux)	+5 projets majeurs En Espagne, en Europe, aux US, au Canada

Positionnement des acteurs & vision Québec | Équipements industriels



Ces deux applications industrielles **sont récentes et se développent rapidement** car les marchés sont prometteurs. Des écosystèmes d'industriels se déploient pour lancer les premiers projets, où **les fournisseurs de technologies sont au premier plan**. Pour le Québec, **les enjeux de décarbonation sont majeurs**, et certains acteurs sont bien positionnés pour y répondre.

Observations sur le segment des équipements industriels

Analyse des acteurs clés

UK Primetals
7 000 employés
Impliqué dans la majorité des projets de production d'H₂ vert de grande ampleur (France, Suède)

● Midrex
500 employés
Déploie 80% des DRI au monde. Complémentarité avec maison mère Kobe Steel

⊕ Enerkem
380 employés
Se développe rapidement et est très mature par rapport à son segment

Partenariats développés
Les manufacturiers se développent en construisant des **partenariats avec l'écosystème** pour monter les premiers projets.



Autres observations sur le segment

Modularité des solutions – La majorité des fabricants de réacteurs pour la production de carburants de synthèse sont capables de produire une grande diversité de molécules différentes

Maturité – Ce sont deux segments très jeunes et qui sont fortement soumis aux effets d'annonce dans lesquels il est compliqué de distinguer les projets qui verront le jour

Difficultés rencontrées

1. Fragilité du modèle d'affaire de la solution décarbonée	●●●●
2. Positionnement: fournisseur de liscense ou manufacturier	●●●●
3. Difficulté à anticiper la demande	●●●○
4. Passage à l'échelle de l'écosystème	●○○○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises
Du point de vue des manufacturiers, **quelques industriels opèrent déjà au Québec avec notamment les procédés Midrex qui sont utilisés à Contrecœur**; Par ailleurs, Enerkem propose sa solution technologique pour des **projets majeurs de conversion de déchets en carburant de synthèse (spécifiquement pour le méthanol)**



Ces segments sont clés et prioritaires pour le Québec

Objectifs provinciaux de décarbonation

- > L'acier vert est une priorité pour le Québec – les industries métallurgiques comptant pour 29% des émissions de CO₂ soumises au SPEDE
- > Par ailleurs les carburants de synthèse répondent aux besoins de décarbonation de la chimie et du transport

La forte demande pourrait attirer des industriels au Québec

Manufacturier

- > L'engouement général autour de l'acier et de carburants synthétiques pourrait justifier l'établissement d'un manufacturier au Québec, d'autant qu'Enerkem est déjà présent

R&D

- > Polytechnique Montréal et l'université de Sherbrooke ont des expertises dans les procédés de prod. de carburant de synthèse





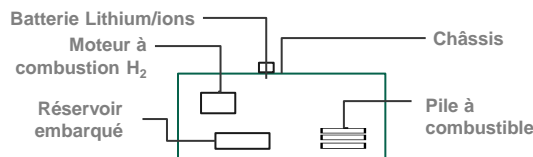
2.J. Bus et camions H2

Analyse de l'écosystème | Portrait global des bus et camions à propulsion H₂

Les véhicules à propulsion hydrogène sont souvent classés sous deux catégories: les **véhicules personnels** et les **véhicules commerciaux** comprenant les **véhicules moyens ou lourds**. Les véhicules commerciaux connaissent la commercialisation la plus importante en raison des plus longues distances parcourues et de l'efficacité moindre des véhicules conventionnels qui en font partie. Ce segment fait intervenir plusieurs technologies majeures dont **les piles à combustible, les moteurs à combustion hydrogène et les solutions de réhabilitation ou d'injection d'hydrogène**. Ce sont les **systèmes à circuits fermés** qui sont les plus intéressants. L'analyse suivante se **concentre sur le transport lourd**, qui présente une dynamique intéressante au Québec et plus particulièrement sur les **camions et bus à propulsion hydrogène**. **Le gouvernement du Québec a récemment annoncé la fin de son projet-pilote pour les véhicules légers à hydrogène** et aucun nouvel investissement pour ce type de véhicules n'est prévu.

MCS

Cuivre
Titane
Inox (Nickel)
Platine
Cobalt
Graphite



Type	NMT	Besoin recharge rapide	Besoin autonomie	Pertinence vs VÉ	Technologies (Actuelles et futures)
Véhicules légers	9	+	+	-	
Bus	9	+++	++	++	
Camions	9	+++	+++	+++	Perspectives R&D

- > **Analyse du stress sur les composants:** R&D pour optimiser le transfert de l'hydrogène liquide ou gazeux à grand débit
- > **Stockage liquide:** R&D pour développer le stockage liquide embarqué: densité de stockage prometteuse mais liquéfaction énergivore & évaporation

PERSPECTIVES DE MARCHÉ

Vision mondiale

\$1,3 milliards en 2023

Le marché des véhicules à propulsion H₂ connaîtra un TCAC de **47,9% entre 2024 et 2030**

Une demande majoritaire

95% de la demande en hydrogène par volume résultera des **véhicules commerciaux**. Les **véhicules moyens et lourds** prévus d'avoir la part de marché la plus élevée à horizon 2050.

Amérique du Nord

En 2022, part de 8% du marché qui va continuer d'augmenter: partenariats et support gouvernemental (ex: Projet AZETEC & Edmonton Hydrogen Hub)

Japon et Corée du Sud

Tendance différente: l'hydrogène pour les véhicules personnels fortement subventionné et manufacturiers dirigent le marché avec leurs technologies éprouvées; Densité de population élevée

Europe

Un leader en termes de volumes de véhicules: avec plus de 850 000 véhicules hydrogène à poids moyen et lourd d'ici 2035

Vision Québec

Étude Propulsion QC

Les camions lourds (classe 8) représentent un fort potentiel de décarbonation; L'étude ne fait pas mention des bus qui sont surtout ciblés par des objectifs ambitieux d'électrification pour le moment

Le segment des camions à H₂ est dynamique...

Des projets/annonces démontrent la dynamique du secteur au QC : **5 camions H₂** en opération en 2026 (Harnois Énergies) et **7 stations H₂** et **20 camions H_s** sur la route 117 (Hydrolux)

... mais les bus sont concurrencés par les VÉ

Il n'y a pas de projets annoncés pour les bus à hydrogène au QC malgré la présence de manufacturiers (PACCAR, Prevost)

Un manque d'infra.

Le manque d'infrastructure d'avitaillement est un frein à l'adoption des véhicules à propulsion hydrogène; à ce jour on ne compte qu'une seule station au QC, pour des véhicules légers.

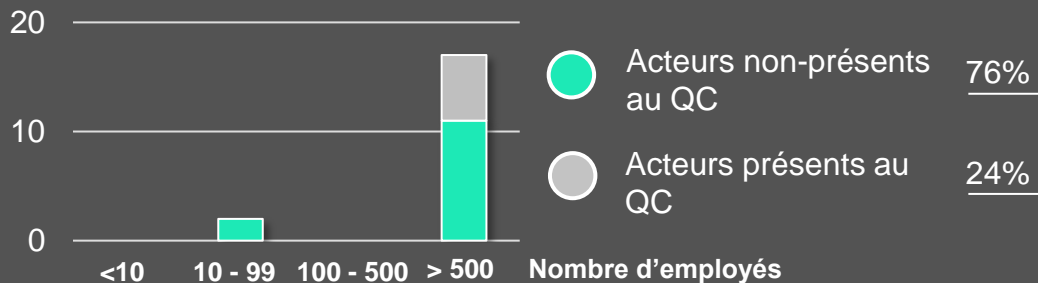
Un écosystème manufacturier niche

Deux projets manufacturiers annoncés à ce jour: First Hydrogen à Shawinigan (assemblage de véhicules et production d'hydrogène) et Prevost à Bellechasse

Projets et acteurs en présence

Bus et camions à propulsion H₂

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

Champion Canadien Acteurs présents au Québec



Typologie d'acteurs en présence

- 1. Typologie des acteurs**
 - > La plupart des acteurs sont des **multinationales** spécialisées dans la manufacture de bus et camions **dont le cœur de métier n'est pas l'hydrogène**. Ces derniers élargissent leur portfolio de technologies pour offrir des bus et camions à propulsion hydrogène
 - > Il existe une **disparité importante en termes de carnets de commandes des acteurs**: de 1 à 100 camions. Certains projets sont à l'échelle de démonstration (VDL Groep, Daimler) tandis que d'autres sont à un stade plus avancé: en commercialisation (New Flyer)
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > La majorité des acteurs sont des **manufacturiers de bus et camions conventionnels, peu de spécialistes des bus/camions H₂ ont été identifiés**
 - > Sur la chaîne manufacturière, ils sont majoritairement **assembleurs**. Certains d'entre eux intègrent la **fabrication de pile à combustibles** (Hyundai - HTWO), de **réservoirs** (New Flyer) ou de **moteurs à combustion** (JCB Bamford)
 - > Hydra Energy a été identifié comme spécialiste dans les **technologies de réhabilitation et d'injection d'hydrogène**
- 3. Partenariats typiques**
 - > La majorité des manufacturiers de grande taille développent des **partenariats stratégiques avec des acteurs spécialisés dans les piles à combustibles ou les systèmes annexes pour sécuriser les chaînes d'approvisionnement** (Symbio, Faurecia, Ballard)
 - > Un autre type de partenariat est observé entre les manufacturiers de bus et camions et les **fournisseurs d'hydrogène** pour l'avitaillement des véhicules (ex: PACCAR et Toyota)



Carnets de commandes majeurs

New Flyer États-Unis 108 bus commandés par SamTrans	Nikola Arizona 50 camions commandés par BayoTech	Hyundai Corée du Sud 1000 bus déployés en Suisse	Prevost Bellechasse, QC 318 bus conventionnels pour la MTA de New York assemblés à Bellechasse
--	---	---	---

Positionnement des acteurs & vision Québec | Bus et camions à propulsion H₂

Les acteurs clés de ce segment se démarquent par leur capacité à former des **partenariats pour sécuriser les chaînes d'approvisionnement sur les composants clés** pour les bus et camions (piles à combustible, réservoirs, moteurs à combustion). Au Québec, bien que **la mobilité lourde H₂ présente une dynamique intéressante** et que certains **joueurs ont été identifiés** comme capables de produire ces équipements à grande échelle, la demande demeure faible.

Observations sur le segment des bus et camions H₂

Analyse des acteurs clés

Hyundai 278 735 employés + grosse capacité industrielle (1000 camions déployés à ce jour) Produit les piles à combustibles	New Flyer 8000 employés 5 sites manufacturiers (Commande de 108 camions) Produit les réservoirs	Nikola 1 500 employés 1 site manufacturier (Commande de 50 camions) Se développe par partenariat
---	--	---

Partenariats développés

Les manufacturiers qui passent à l'échelle travaillent de pair avec les fournisseurs d'équipements annexes ou les produisent eux même. D'autres, comme Nikola établissent des partenariats avec des manufacturiers de stations pour fournir des solutions clés en main à leurs clients.



Autres observations sur le segment

Complémentarité avec les VÉ – Dans les objectifs gouvernementaux pour la décarbonation des transports, des objectifs chiffrés et ambitieux sont présentés pour les VÉ. Le potentiel de décarbonation de l'hydrogène est reconnu mais des objectifs clairs restent à définir.

Difficultés rencontrées

1. Modèle d'affaires en construction	●●●●
2. Manque d'infrastructures d'avitaillement	●●●○
3. Performance et usure des équipements annexes	●●○○
4. Capacité des joueurs de l'écosystème à passer à l'échelle	●○○○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Du point de vue manufacturier, **3 acteurs balisés opèrent au QC**: First Hydrogen à Shawinigan, PACCAR à Sainte-Thérèse et éventuellement Prevost à Bellechasse (ambition de s'orienter vers l'hydrogène) même si leurs dynamiques de croissance sont portées par des projets hors-QC (Los Angeles, Londres, New York). Les entretiens réalisés ont permis d'identifier First Hydrogen comme **intéressée de développer des activités manufacturières** au Québec.

Produire des camions et bus sert la décarbonation du transport

Objectifs provinciaux de décarbonation

- > Le gouvernement du Québec a pour objectif de réduire ses émissions de GES de 37,5% d'ici 2030 et le transport compte pour **44% de ces émissions**.
- > Par ailleurs la stratégie provinciale pour l'H₂ verte identifie le transport lourd comme débouché de **priorité moyenne** pour l'H₂.

Une dynamique émergente

- > **Bus et/ou camions H₂?** Les projets et études de faisabilité se concentrent sur le segment des camions pour des applications à l'H₂; Aucun projet de bus H₂ n'a été annoncé au QC; dynamique à suivre (présence de Prevost)
- > **Manufacturier:** Plusieurs acteurs capables de produire des bus et camions H₂ et dynamique émergente, mais les classes 8 ne sont pas privilégiées pour le moment (exemple: First Hydrogen – future usine d'assemblage à Shawinigan)

Importance relative des indicateurs





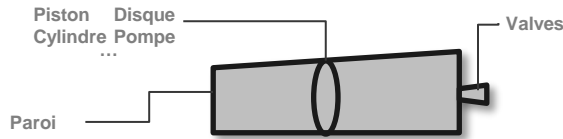
2.K. Compresseurs

Analyse de l'écosystème | Portrait global des compresseurs

Les technologies de compression d'hydrogène se distinguent en deux catégories: **mécanique et non-mécanique**. La première catégorie regroupe les compresseurs alternatifs, à diaphragme, ioniques et liquides. La deuxième catégorie regroupe les compresseurs cryogéniques, à hydrures de métal, électrochimiques et à adsorption. **Les compresseurs mécaniques sont les plus fréquemment utilisés aujourd'hui**. Le segment des compresseurs connaît une **évolution dynamique**: la méthode la plus répandue de stockage-livraison d'hydrogène est la compression suivie de la livraison par camions surtout pour les petites stations et les faibles demandes. Des efforts continus sont alors déployés pour améliorer les technologies de compression. D'autre part, les compresseurs sont nécessaires à chaque étape de la chaîne de valeur de l'hydrogène.

MCS

Titane
Inox (Nickel)



Type	NMT	Efficacité*	Applications
Alternatifs	9	45%	Haute pression
Diaphragme	9	45%	Faible débit
Linéaires	9	>70%	Aérospatiale
Ioniques	9	70%	Stations H2
Cryogéniques	9	25-50%	Liquide
Hydruure de métal	7	25%	Exothermique
Électrochimiques	7	60%	Gazeux
Adsorption	7	-	Solide

(Actuelles et futures) **Technologies**

- > **Étanchéité des systèmes de sécurité**: la maintenance des valves et pistons pour éviter les fuites dans les compresseurs représente environ 90% des coûts d'opération
 - > **Efficacité des systèmes hydrures de métal et électrochimiques**: R&D nécessaire pour réduire la consommation énergétique afin d'améliorer l'efficacité
- Perspectives R&D**

PERSPECTIVES DE MARCHÉ



Vision mondiale

\$2,3 milliards en 2024

TCAC de 5,28% à l'horizon de 2029
Compresseurs mécaniques: plus grosse part de marché en termes de revenus en 2022 et tendance qui se poursuivra jusqu'en 2029

Pétrolière et gazière

Part de marché la plus élevée en 2022
Application la plus courante pour les compresseurs hydrogène à horizon 2032

Amérique du Nord

États-Unis: marché qui connaît la **croissance la plus importante**
Croissance expliquée par la **demande grandissante dans les procédés de raffinage**

Europe

Utilisation importante des compresseurs hydrogène dans les **applications d'énergies renouvelables soutenues par les gouvernements**

Asie Pacifique

Dominance du marché: politiques gouvernementales favorables pour les manufacturiers en Chine, au Japon et en Inde



Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2022

Le Québec positionne l'hydrogène comme une alternative prometteuse pour décarboner plusieurs secteurs
Compresseurs essentiels pour ces applications

Un équipement qui se retrouve sur toute la chaîne de valeur

Les compresseurs sont utilisés à travers l'ensemble de la chaîne de valeur
Leur développement au Québec pourrait répondre aux projets récents annoncés et attirer de nouveaux projets

Un écosystème manufacturier niche

À ce jour, aucun manufacturier de compresseur n'a été identifié au QC comme capable de produire cet équipement à grande échelle

Expertise présente au QC

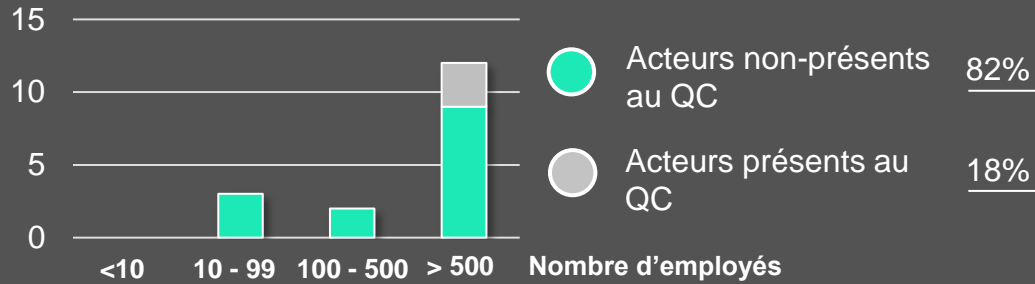
Expertise de pointe autour de la compression électrochimique détenue et démontrée par le CNRC en 2003

*Efficacité de compression évaluée pour un système de compression de 10 Mpa à 87.5 Mpa et un débit d'hydrogène de 100 kg/h;

Projets et acteurs en présence

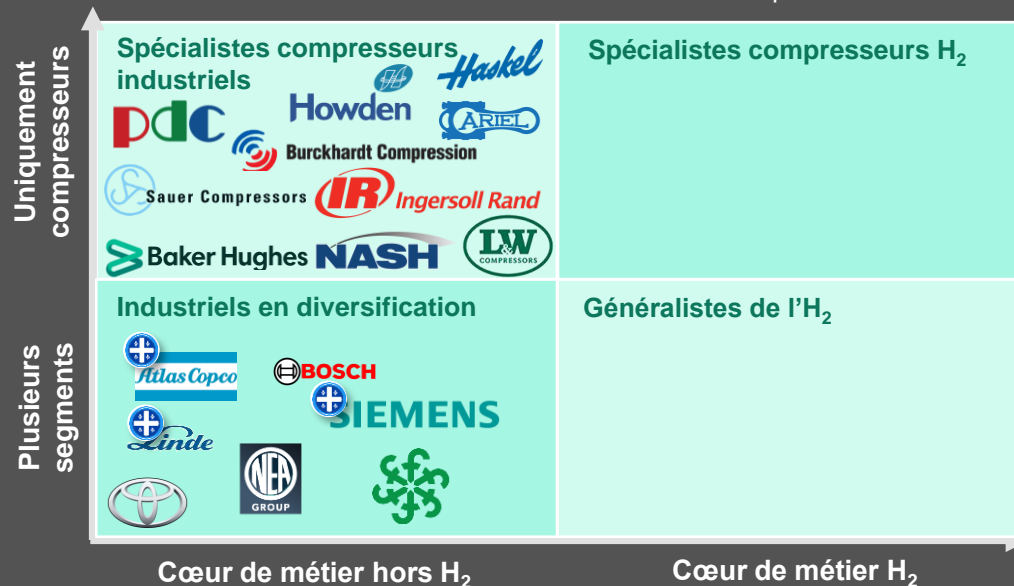
Compresseurs H₂

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

Acteurs présents au Québec



Typologie d'acteurs en présence

1. Typologie des acteurs

- > Les typologies d'acteurs que l'on retrouve majoritairement sur ce segment sont des **manufacturiers de compresseurs industriels dont le cœur de métier n'est pas l'hydrogène, et quelques multinationales** déjà impliquées dans la chaîne de valeur de l'hydrogène qui se positionnent sur le segment des compresseurs (Linde, Siemens, Bosch...)
- > Aucun acteur dont le cœur de métier est l'hydrogène n'a été identifié; la compression hydrogène est compliquée technologiquement: barrière à l'entrée pour les généralistes

2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂

- > La majorité des acteurs sont des **spécialistes de compresseurs hydrogène** qui ne développent pas d'autres solutions hydrogène (Baker Hughes, Howden, PDC Machines...)
- > La majorité des acteurs sont des **assembleurs** de compresseurs avec quelques acteurs qui produisent également les **sous-composants** (Ariel Corporation et Burckhardt: cylindres de compression)

3. Partenariats typiques

- > La majorité des manufacturiers développent des **partenariats stratégiques avec les usagers finaux** (Howden & Everfuel, Bosch & Maximator Hydrogen, PDC Machines & Hynion)
- > Des partenariats se forment aussi pour **développer des solutions de compressions qui répondent à des applications spécifiques**: Mobilité pour les stations à capacité et pression élevées (Ariel Corporation & Hoerbiger); Liquéfaction (Atlas Copco & Plug Power)



Capacité des principaux manufacturiers identifiés

Siemens Inde, États-Unis, Allemagne, Suède	Baker Hughes Australie, Asie, Europe, États-Unis, Moyen-Orient	PDC Machines Europe, Amériques, Océanie	Howden Australie, Europe, Asie, États-Unis, Pays-Bas, Royaume-Uni, République Tchèque
2500 compresseurs H ₂ livrés	2000 compresseurs H ₂ livrés	2000 compresseurs H ₂ et autres gaz livrés	1500 compresseurs livrés H ₂ et autres gaz

Positionnement des acteurs & vision Québec | Compresseurs H₂



Les acteurs clés capables de se positionner sur ce segment se démarquent par leur expertise technologique très spécifique. Il s'agit d'un secteur critique avec un procédé de manufacture complexe technologiquement. Au Québec, bien que **la filière se développe et que les applications faisant intervenir les compresseurs se multiplient, peu de joueurs ont été identifiés** comme capables d'installer des capacités manufacturières conséquentes.

Observations sur le segment des compresseurs

Analyse des acteurs clés

Siemens
 92 000 employés
 + grosse capacité industrielle
 2 lignes de produits bien référencées (alternatifs et turbocompresseurs)

Baker Hughes
 55 000 employés
 10 sites manufacturiers
 Se développe avec partenariats (Air Products et Terna)

PDC Machines
 1 350 employés
 3 sites manufacturiers
 Expertise en compression hydrogène depuis 1992

Partenariats développés
 Les manufacturiers qui passent à l'échelle **travaillent de pair avec les usagers finaux.**

SIEMENS

 22 compresseurs alternatifs fournis

Baker Hughes

AIR PRODUCTS

PDC

Autres observations sur le segment
Secteur peu mature – Compresseur: équipement critique; Plusieurs acteurs sont encore en phase de test engendrant des obstacles dans d'autres maillons de la chaîne

Choix technologique risqué – Les manufacturiers prennent un risque élevé en se spécialisant dans une technologie de compression spécifique

Difficultés rencontrées

1. Modèle d'affaires à consolider	●●●●
2. Durabilité des composants (valves et piston)	●●●○
3. Choix d'une technologie de compression à produire à grande échelle	●●○○
4. Capacité des joueurs de l'écosystème à passer à l'échelle	●○○○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Du point de vue manufacturier, **seuls 3 acteurs balisés sont présents** au QC : Siemens, Linde et Atlas Copco avec des activités majoritairement hors-QC. Ce segment n'est pas spécifique à l'hydrogène et intervient dans des applications pour d'autres gaz également.

Un équipement critique de la chaîne de valeur

Objectifs provinciaux de décarbonation

- > La filière de l'hydrogène connaît une évolution dynamique avec plusieurs projets qui s'annoncent
- > Les compresseurs sont essentiels à plusieurs applications sur l'ensemble de la chaîne de valeur allant de la production à l'utilisation

Bien que la R&D soit dynamique, peu d'acteurs manufacturiers

La compression électrochimique

- > Au QC, le CNRC se démarque dans la démonstration des technologies de compression électrochimique; des collaborations avec les manufacturiers permettraient de passer à l'état de commercialisation

Manufacturier

- > Peu/pas d'acteurs QC identifiés capable de produire des compresseurs à grande échelle

Importance relative des indicateurs

Faible ○ ○ ○ ● ● Élevé

Intérêt pour le Québec

Capacité du Québec

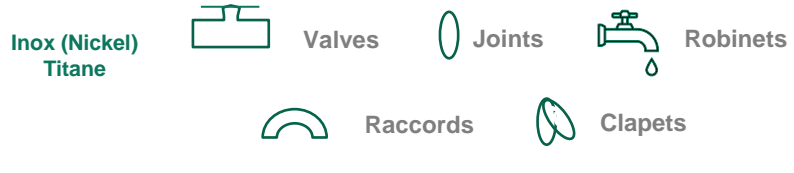


2.L. Robinetterie

Analyse de l'écosystème | Portrait global de la robinetterie

Le segment de la robinetterie regroupe plusieurs types d'équipements: **valves, raccords et joints, robinets, adaptateurs, clapets, brides et accessoires**, etc. Ce sont des équipements typiquement utilisés dans les procédés industriels conventionnels mais qui doivent être adaptés à l'hydrogène (très volatile et qui réagit avec les matériaux) en leur conférant une **meilleure étanchéité**. Dans la majorité des étapes de la chaîne de valeur, ces composants sont utilisés pour assurer la sécurité et la qualité des opérations. Les grands enjeux autour de ces équipements sont donc d'utiliser **des matériaux résistants aux effets de corrosions de l'H₂ et de réduire les fuites d'H₂**. Aujourd'hui, il n'existe pas de cadre global qui régit les certifications de ces équipements dans les applications à l'hydrogène.

MCS



Équipement	Utilité
Valves	Contrôler le débit d'hydrogène
Raccords	Connecter les tuyaux
Robinetts	Couper le débit d'hydrogène
Joints	Assurer l'étanchéité
Clapets	S'opposer au passage de l'hydrogène dans un conduit

Technologies (Actuelles et futures)

- Perspectives R&D
- > **Fabrication Additive: Réparabilité des systèmes INOX fragilisés** à des hautes pressions à cause de la corrosion et maîtrise des fuites et émissions fugitives
 - > **Robustesse des systèmes de sécurité:** R&D pour une conception au même niveau de sécurité que pour les autres applications industrielles
 - > **Résistance aux cycles de pression:** Développement pour améliorer la résistance aux cycles de pressions notamment pour les applications en canalisations

PERSPECTIVES DE MARCHÉ

Vision mondiale

- \$5,6 milliards en 2027** Le marché de la robinetterie industrielle est en croissance due à une demande de plusieurs secteurs dont celui de l'hydrogène
- Plusieurs marchés niches** Les manufacturiers de la robinetterie hydrogène ont de la difficulté à sélectionner un **segment d'application spécifique** Le secteur d'application le plus desservi est celui du **transport**
- Une attention particulière sur les valves** Des investissements d'un ordre de grandeur de centaines de millions de dollars sont prévus dans les valves pour des applications à l'hydrogène
- Europe** Pionnier dans la standardisation; **Comité Européen pour la standardisation:** standards en développement pour les valves hydrogène
- Une certification émergente** Plusieurs acteurs se dotent de la **certification FE «Fugitive Emissions»** au méthane ou à l'hydrogène

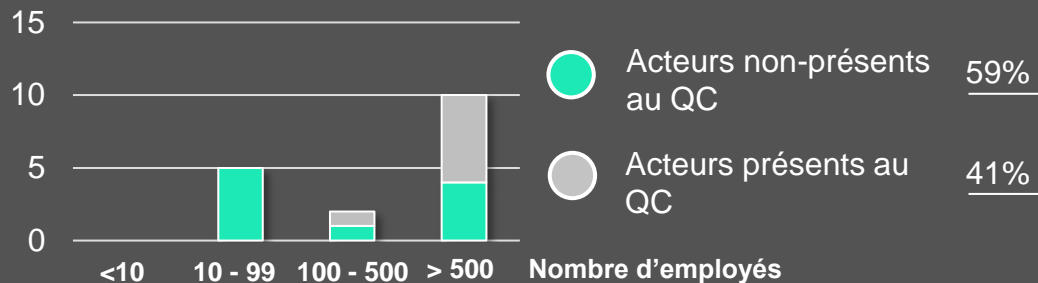
Vision Québec

- Une réglementation à développer** Le développement d'un standard au QC pour permettre la **manufacture à grande échelle**. Le **BNQ et le CSA travaillent actuellement** à l'**élaboration de ces normes**
- Équipements présents sur toute la chaîne** La robinetterie est utilisée à travers l'ensemble de la chaîne de valeur Le développement de ce segment au Québec pourrait répondre aux besoins créés par les nouveaux projets annoncés et **solidifier la chaîne d'approvisionnement québécoise**
- Expertise industrielle** Expertise dans la robinetterie hydrogène détenue par **Velan, Swagelok, KSB et JC Valves**
- Expertise R&D** Expertise en **fabrication additive (CQFA)** et **plusieurs études** sur la corrosion par fragilisation de la robinetterie (ex: **IBECA, McGill & CMQ**),

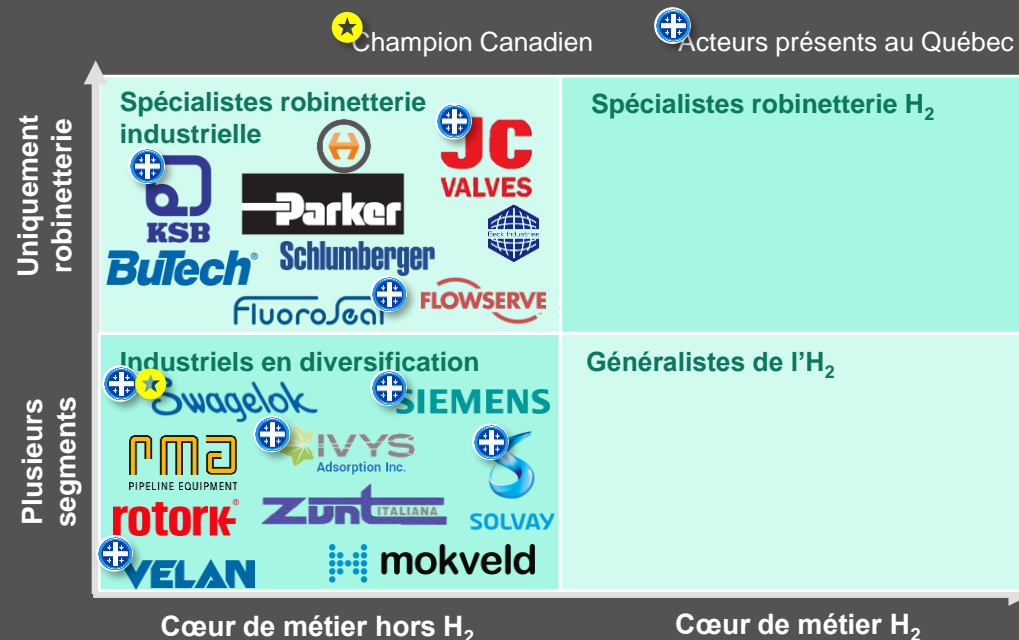
Projets et acteurs en présence

Robinetterie

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers



Typologie d'acteurs en présence

- 1. Typologie des acteurs**
 - > Les typologies d'acteurs que l'on retrouve majoritairement sur ce segment sont des **industriels en diversification dont le cœur de métier n'est pas l'hydrogène**; Les **capacités manufacturières en robinetterie spécifiques à l'hydrogène** des acteurs sont alors fortement liées à leurs capacités manufacturières pour d'autres gaz
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > La majorité des acteurs sont des **spécialistes de robinetterie hydrogène** qui ne développent pas d'autres solutions hydrogène (KSB, SLB, JC Valves, Mokveld Valves...)
 - > Lorsque les acteurs de la robinetterie se diversifient, ils se trouvent sur le segment d'instrumentation sur la chaîne de valeur de l'hydrogène (actuateurs, actionneurs, etc.)
 - > **La majorité des manufacturiers en robinetterie hydrogène se positionnent sur les valves (77%)** qui connaissent une demande importante dans ce segment grâce au développement de plusieurs applications où elles sont indispensables (ex: stockage stationnaire ou embarqué)
 - > Plusieurs acteurs fournissent des **services d'opération et maintenance pour la robinetterie** (KSB, SLB, Parker...)
 - > **Solvay a été identifié comme spécialiste dans les polymères pour les valves**
- 3. Partenariats typiques**
 - > La majorité des manufacturiers développent des **partenariats stratégiques avec les usagers finaux** (Rotork Motorisation & H2Gen; Swagelok & Everfuel)
 - > Des partenariats se forgent aussi pour **développer de nouvelles technologies pour l'hydrogène** (SLB en partenariat avec CEA ont développé Genvia pour la conception d'un électrolyseur SOEC)



Capacités manufacturières majeures

Schlumberger États-Unis, Norvège, Japon, Canada, Royaume-Uni, Chine Valves; Opération dans 120 pays	Swagelok +70 pays Valves et raccords; 20 sites manufacturiers; 5 centres technologiques	Flowserve + 50 pays Joints; 206 sites manufacturiers et de services	Ivys (Xebec) Québec Valves; 9 sites manufacturiers; 17 centres de services
--	--	--	---

Positionnement des acteurs & vision Québec | Robinetterie

Le passage à l'échelle dans ce segment est freiné par l'absence de standardisation qui crée une dynamique de marché sur-mesure. Il s'agit d'un segment facile à externaliser pour les acteurs sur la chaîne de l'hydrogène grâce aux capacités existantes qui répondent à leurs besoins. Le Québec est en position de répondre aux besoins actuels des manufacturiers **mais est limité par une demande encore relativement faible par rapport aux États-Unis qui se démarquent par les capacités manufacturières les plus élevées.**

Observations sur le segment de la robinetterie

Analyse des acteurs clés

Schlumberger | Valves
 99 000 employés
 Se développe en créant des partenariats pour consolider son expertise H₂

Swagelok | Valves et raccords
 5 500 employés
 Forte présence au QC
 Brevets sur la conception des raccords FK compatibles H₂

Flowserve | Joints
 16 000 employés
 Se développe par acquisitions
 pour élargir son portfolio de produit et ses capacités manufacturières

Partenariats développés

Les manufacturiers se développent souvent grâce à des **projets de grande ampleur**

Schlumberger
 Projet de production d'hydrogène par techno. SOEC
GENVIA

Swagelok
Everfuel
 Fourniture de raccords
 Projet HySynergy

FLOWSERVE
AUDCO INDIA LIMITED
 Acquisition **VELAN**
 Acquisition stoppée

Autres observations sur le segment

Certifications – Bien que le cadre normatif reste flou au niveau de ce segment, les acteurs se dotent de certifications comme avantage compétitif

Acquisitions – Les acteurs se développent également par acquisitions pour élargir leur portfolio de produits en robinetterie H₂ et augmenter leurs capacités manufacturières (ex: Flowserve fait l'acquisition de Velan; acquisition stoppée par le gouvernement Français: valves critiques pour le secteur du nucléaire)

Difficultés rencontrées

1. Durabilité des composants	●●●●
2. Difficulté à anticiper la demande pour calibrer les capacités	●●●○
3. Difficulté à sélectionner un segment particulier	●●●○
4. Manufacture sur mesure et manque de standards	●●○●

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Du point de vue manufacturier, **plusieurs industriels opèrent au Québec: Swagelok, Siemens, Solvay, Velan et Ivys.** Il n'est pas clair si leurs activités manufacturières sont concentrées au QC. **Fluoroseal**, quant à lui, possède des installations de manufacture à Montréal. Les entretiens réalisés avec les industriels montrent l'importance de développer une **chaîne d'approvisionnement québécoise solide** au niveau des équipements secondaires et auxiliaires (dont la robinetterie).





2.M. Instrumentation

Analyse de l'écosystème | Portrait global de l'instrumentation

Pour **détecter les fuites d'hydrogène, automatiser les procédés de production** ou **s'assurer de la pureté du gaz**, les systèmes d'instrumentation sont nécessaires pour accompagner le développement de la filière H₂ en toute sécurité. Ils sont utilisés **pour améliorer l'efficacité des usines de production, réduire les coûts d'opération, prolonger la durée de vie** des usines et **garantir la qualité du produit fini**. Du fait de son inflammabilité, de son grand pouvoir de diffusion, qu'il soit inodore et sa flamme invisible, les procédés industriels utilisant l'H₂ doivent être particulièrement vigilants en termes de sécurité industrielle et donc s'appuyer sur des appareils fiables, robustes et adaptés aux spécificités de l'H₂.

MCS

Platine
Palladium
Graphène
Tungstène



Capteur



Actionneur



Analyseur

Équipements	Utilité	Exemples de techno.
Capteur	Détecter fuites, pressions ou températures trop élevées	Capteur optique Capteur électrochimique
Actionneur	Ouvrir/fermer une valve ou un robinet à distance. Contrôler le débit	Valve pilotée par air (avec acier compatible H ₂)
Analyseur	Vérifier la qualité et les impuretés	Analyseur au plasma Chromatographie en phase gazeuse

Technologies (Actuelles et futures)

Perspectives R&D

- > **Capteur** : diminuer coût et taille, améliorer précision et fiabilité, limite minimum de la concentration d'H₂ capable d'être détectée
- > **Actionneur** : capacité à optimiser et automatiser complètement les procédés
- > **Analyseur** : développer des solutions capables d'analyser la composition en temps réel



PERSPECTIVES DE MARCHÉ



Vision mondiale

\$8,2 Mds en 2028

Le marché de l'instrumentation des gaz (pas uniquement H₂) devrait passer de \$6,3 Mds en 2023 à \$12 Mds à 2028 avec un TCAC de 5,6%

Principaux porteurs de croissance

Le développement de systèmes de sécurité plus performants, la prise de conscience croissante des impacts environnementaux des fuites de gaz (pouvoir réchauffement global du méthane et de l'H₂ très élevés) portent la dynamique de ce secteur

Point cruciale pour la sécurité

Le développement de canalisations 100% H₂, et d'utilisation/production d'H₂ en milieu confiné (voiture, usine, etc.) rend sa détection d'autant plus importante pour ne pas causer d'incidents industriels qui pourraient freiner la filière

L'Asie : principal marché potentiel

La croissance la plus importante se déroulera en Asie, portée notamment par l'industrialisation des pays et la mise en place de normes de sécurité internationales



Vision Québec

Une réglementation à développer

Le développement d'un standard au QC aiderait au déploiement de solutions à grande échelle. Le **BNQ** et le **CSA** travaillent actuellement à l'**élaboration de ces normes**

Équipements présents sur toute la chaîne

Les équipements d'instrumentation sont utilisés à travers l'ensemble de la chaîne de valeur. Le développement de ce segment au Québec pourrait répondre aux besoins créés par les nouveaux projets annoncés et **solidifier la chaîne d'approvisionnement québécoise**

Expertise industrielle

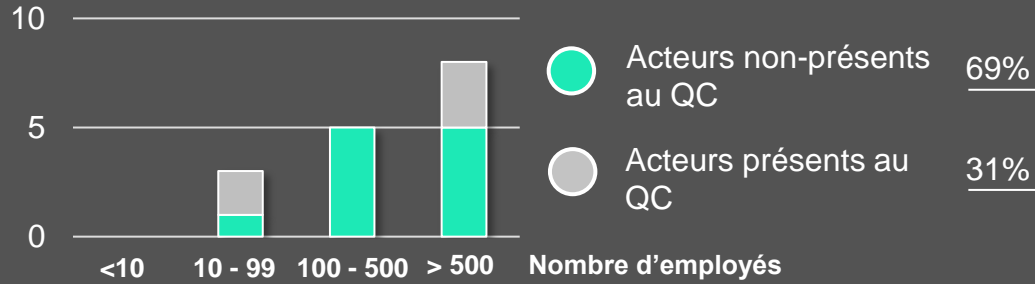
L'expertise dans l'instrumentation industrielle est détenue par Polycontrols, AS Devices et ABB au Québec

Expertise R&D

Expertise en détection de fuites H₂ à Polytechnique Montréal, et en capteurs à l'École de Technologie Supérieure et l'Université de Laval

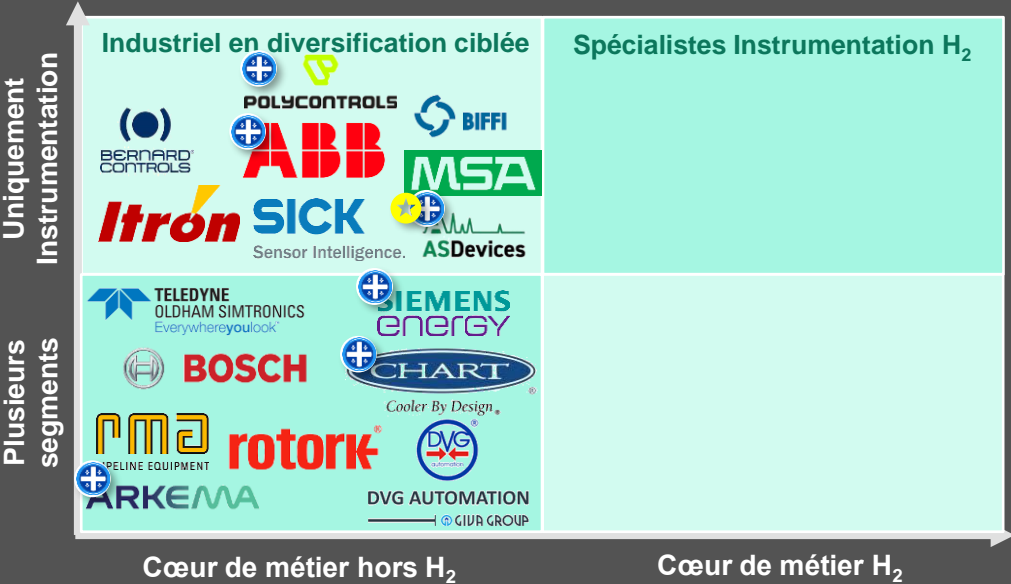
Projets et acteurs en présence

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers

Champion Canadien Acteurs présents au Québec



Instrumentation



Typologie d'acteurs en présence

- 1. Typologie des acteurs**
 - > Les typologies d'acteurs que l'on retrouve majoritairement sur ce segment sont des **industriels en diversification dont le cœur de métier n'est pas l'hydrogène**; Les **capacités manufacturières en instrumentation spécifique à l'hydrogène** des acteurs sont alors fortement liées à leurs capacités manufacturières pour d'autres applications
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > La majorité des acteurs sont des **spécialistes d'instrumentation hydrogène** qui ne développent pas d'autres solutions (Itron, MSA, AS Devices, Bernard Controls...)
 - > Les acteurs de l'instrumentation qui se diversifient sont positionnés sur la **robinetterie** (RMA, Rotork Motorisation...) ou d'autres **segments de la chaîne de valeur nécessitant un contrôle qualité et sécurité élevé** (Production d'hydrogène: Siemens Energy; Transport hydrogène: Chart)
 - > La majorité des acteurs sont des **assembleurs de solutions d'instrumentation** (ex: AS Devices effectue uniquement l'assemblage d'équipements d'instrumentation)
- 3. Partenariats typiques**
 - > La majorité des manufacturiers développent des **partenariats stratégiques avec les producteurs d'hydrogène vert** notamment pour l'automatisation de leurs procédés de génération H₂ (Rotork Motorisation & H2Gen; ABB & Hydrogen Optimized)
 - > Des partenariats se forgent aussi pour **développer des solutions clés en main** pour répondre aux besoins de contrôle qualité et sécurité des procédés hydrogène (Sick & Endress+Hauer)



Manufacturiers clés

ABB <i>Finlande, Suède</i> 491 sites manufacturiers et de services	Siemens <i>Inde, États-Unis, Allemagne, Suède</i> Présence dans +190 pays	Chart <i>Amériques, Europe, Asie</i> Plus de 1000 systèmes de mesure de débit produits par an
--	---	---

Positionnement des acteurs & vision Québec | Instrumentation



Le marché de l'instrumentation est tiré par la demande croissante au niveau de la **qualité et la sûreté des procédés à l'hydrogène**. Malgré le manque de standards, les acteurs se démarquent par la construction de modèles d'affaires solides en assurant une proximité avec les usagers finaux. Au QC, plusieurs acteurs sont présents mais la demande demeure faible et est très dépendante de la vitesse d'évolution de la filière hydrogène.

Observations sur le segment de l'instrumentation

Analyse des acteurs clés

ABB
105 000 employés
Se développe par des partenariats sur des projets d'hydrogène vert de grande échelle

Siemens Energy
92 000 employés
Propose des webinaires et études pour le partage d'expertise sur l'automatisation des procédés hydrogène

Chart
5 200 employés
Se développe en internalisant la fabrication d'instrumentation dans ses procédés de liquéfaction d'hydrogène

Partenariats développés
Les manufacturiers qui passent à l'échelle **sont ceux qui établissent des partenariats sur des projets de grande envergure sur l'hydrogène vert.**



Autres observations sur le segment
Tendance à la spécialisation – La spécificité technologique de ce segment fait que les acteurs ont peu tendance à se positionner sur d'autres segments de la chaîne manufacturière.

Des applications prioritaires – Une tendance observée dans la priorisation des applications de distribution et production d'hydrogène pour l'instrumentation qui portent la demande à ce jour.

Difficultés rencontrées

1. Difficulté à anticiper la demande pour calibrer les capacités	●●●●
2. Manque de standards et manufacture sur mesure	●●●○
3. Course aux projets entre les acteurs clés	●●○○
4. Mentalité à modifier au niveau du contrôle qualité	●○○○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Sur les 5 acteurs balisés qui opèrent au QC, 3 possèdent une **chaîne manufacturière locale** (Arkema, Polycontrols et Siemens). Il s'agit d'un segment souvent externalisé par les manufacturiers de la filière. **AS Devices** au Québec se démarque dans son accompagnement de l'essor des stations hydrogène en offrant des analyseurs mobiles de pureté de l'hydrogène dans les stations d'avitaillement.

Une demande encore faible pour justifier le développement d'un écosystème manufacturier

- > Les manufacturiers ont besoin d'une bonne visibilité sur la demande pour justifier l'implantation d'une usine de fabrication.
- > La demande demeure faible au QC et les acteurs clés sont capables de répondre aux besoins locaux en instrumentation à partir de leurs installations manufacturières hors-QC.
- > L'intérêt se justifierait avec une demande plus importante qui commence à se développer avec les nouveaux projets annoncés.

Capacité du Québec à répondre aux critères des manufacturiers

1. Nécessité d'une demande très forte localement	Faible
2. Présence d'infrastructures/espaces existants	Importante
3. Sous-traitants présents	Faible
4. Main-d'œuvre qualifiée	Moyenne

Intérêt pour le Québec

Capacité du Québec





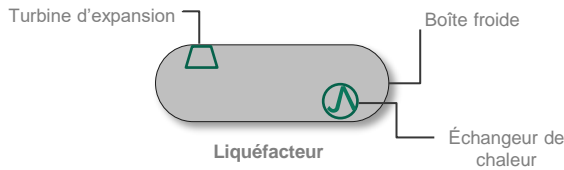
2.N. Liquéfacteurs H₂

Analyse de l'écosystème | Portrait global des liquéfacteurs H₂

Les liquéfacteurs sont des équipements qui permettent de **comprimer et refroidir l'hydrogène jusqu'à sa condensation** à un état liquide. Ils font partie des équipements **utilisés dans les procédés de liquéfaction** avec les compresseurs à piston, les unités de conditionnement et purification de l'hydrogène, les turbines d'expansion, et les réservoirs de stockage. L'hydrogène à l'état liquide a l'avantage d'être compact et plus facile à manipuler, il peut être stocké sans pressurisation avant son transport ou son utilisation. **L'ensemble de ces éléments poussent les manufacturiers à développer les technologies autour de l'hydrogène liquide** dont les liquéfacteurs pour des applications dans les véhicules à propulsion hydrogène, dans les stations hydrogène, et dans l'industrie aérospatiale. Cependant, **l'évaporation de l'H₂ liquide** pose des problèmes de **sécurité** et **rentabilité** des solutions reposant sur l'utilisation de l'H₂ sous forme liquide

MCS

Inox (Nickel)
Titane



PERSPECTIVES DE MARCHÉ



Vision mondiale

\$5 Mds en 2022

Le marché de la liquéfaction H₂ atteindra \$10 Mds en 2031 avec un TCAC de 7.88%

Une application dominante

Croissance principalement portée par la demande en hydrogène liquide issue du **secteur du transport** (avitaillement)

Amérique du Nord

Marché émergent, quelques projets annoncés: Saulsbury aux É.U pour une usine de liquéfaction d'hydrogène d'une capacité de 30 tonnes/jour

Europe

Projets majeurs autour de la liquéfaction: IDEALHY: optimiser l'efficacité et réduire les coûts (budget de 2M d'euros)
Hydrogène liquide: solution de choix pour l'approvisionnement des stations de grande capacité

Asie Pacifique

Contribution la plus importance à la croissance de ce segment: plusieurs projets autour de l'hydrogène liquide (Chine: 250 stations en opération; Corée du Sud: ambition de produire 5.3 M de tonnes d'hydrogène s'ici 2040)



Vision Québec

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies 2030

Le Québec positionne l'hydrogène comme une alternative prometteuse pour décarboner le secteur de la **mobilité lourde et de longue distance**

Une demande croissante pour l'H₂ liquide

Plusieurs projets utilisent déjà de la liquéfaction à échelle industrielle au Québec (ex: Olin/Arkema/ Air Liquide à Bécancour) et la demande prévoit de continuer de croître.

Un frein causé par les besoins en R&D

Des applications envisagées ou commercialisées au QC sont freinées par les besoins en R&D des technologies de liquéfaction (stockage liquide, transport lourd de l'hydrogène)

Co-développement nécessaire

Segment qui pourrait se développer à condition que son développement se fasse en même temps que celui du transport et stockage de l'H₂ liquide

Procédé	NMT	Barrières et besoins
Linde-Hampson	9	<i>Efficacité faible Uniquement compatible avec des systèmes de petites capacités</i>
Claude	9	<i>Modification du procédé par ajout d'échangeurs de chaleur</i>
Brayton	8	<i>Adaptation pour des capacités plus élevées</i>
Réfrigération magnétique	7	<i>Procédé énergivore et performance à optimiser</i>

Technologies (Actuelles et futures)

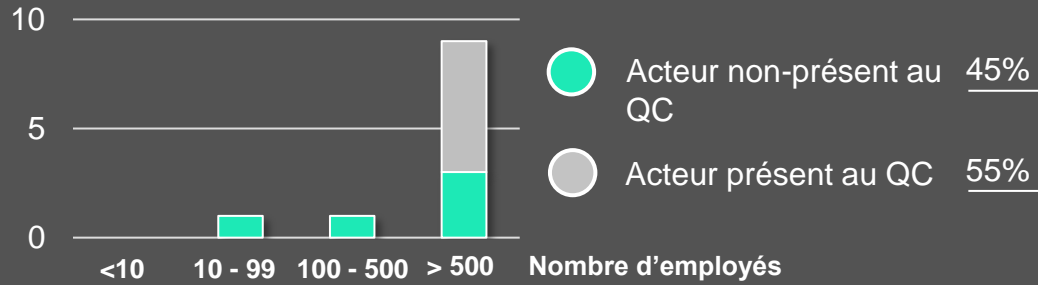
Perspectives R&D

- > **Équipements auxiliaires:** Développement nécessaire pour améliorer l'étanchéité des équipements auxiliaires tels que les pompes et compresseurs cryogéniques (pertes, fuites et évaporations importantes)
- > **Efficacité du procédé de liquéfaction:** R&D pour l'atteinte d'une efficacité d'au moins 60% dans le cycle de réfrigération
- > **Procédé énergivore:** 10 kWh/kg d'hydrogène tandis que la cible du DOE est à 6 kWh/kg

Projets et acteurs en présence

Liquéfacteurs H₂

Origine et taille des acteurs



Positionnement des manufacturiers



Typologie d'acteurs en présence

- 1. Typologie des acteurs**
 - > Les typologies d'acteurs que l'on retrouve majoritairement sont des **multinationales** spécialisées dans les liquéfacteurs industriels (pour l'H₂ et autres gaz)
 - > La plupart des manufacturiers fournissent des solutions se basant sur **une modification du procédé de Claude** qui permet de justifier la commercialisation de leurs liquéfacteurs (meilleure efficacité conférée par rajout d'un échangeur dans le dispositif de liquéfaction)
 - > Les acteurs se distinguent par **leur expertise dans les technologies de liquéfaction et les opérations de procédés de liquéfaction et cryogénie** (Linde, Air Liquide)
- 2. Positionnement sur la chaîne de valeur H₂**
 - > La majorité des acteurs sont des **spécialistes des liquéfacteurs hydrogène** qui se positionnent également sur des **segments complémentaires de la chaîne de valeur de l'hydrogène liquide** (ex: Plug Power se positionne dans la génération, la liquéfaction et la distribution)
 - > La majorité des acteurs **internalisent la manufacture des équipements auxiliaires** aux liquéfacteurs: enjeux manufacturiers à maîtriser au niveau de la volatilité et la fragilisation sont similaires (ex: Fives Nordon: manufacture des échangeurs de chaleur; Linde: manufacture des turbines d'expansion et autres; Atlas Copco: manufacture des compresseurs)
- 3. Partenariats typiques**
 - > Implication dans des programmes de développement pour **des applications spécifiques à l'hydrogène liquide** (ex: Fives Nordon & HyCryo; Plug Power, Chart & Fives Nordon)
 - > Des partenariats se forgent aussi avec les **usagers finaux pour développer de solutions décarbonées** (ex: Plug Power fournit l'hydrogène à Nikola pour l'avitaillement de ces camions; Linde fournit l'hydrogène à Dow pour son projet zéro-émission à Saskatchewan)



Manufacturiers clés et leur expérience en liquéfaction

<p>Linde Suisse, Tulsa, Allemagne</p> <p>140 ans d'expérience en liquéfaction H₂ et autres gaz</p>	<p>Air Liquide Nevada, Las Vegas</p> <p>60 ans d'expérience en liquéfaction H₂ et autres gaz</p>	<p>Plug Power Spokane, Washington, Rochester</p> <p>10 ans d'expérience en liquéfaction H₂</p>	<p>Quantum Technology Colombie-Britannique</p> <p>40 ans d'expérience en liquéfaction H₂</p>
--	--	--	--

Positionnement des acteurs & vision Québec | Liquéfacteurs H₂



Malgré la présence de plusieurs manufacturiers capables de produire les liquéfacteurs à grande échelle et la demande croissante pour des solutions à H₂ liquide, **le développement de ce segment est limité par celui du transport et stockage liquide où les besoins en R&D demeurent importants.** Les acteurs qui s'y positionnent possèdent historiquement une expertise au niveau de la liquéfaction, constituant une barrière à l'entrée importante. Le Québec est en position de répondre aux **besoins R&D** de ce segment mais **l'expertise manufacturière reste moins développée que le reste du Canada.**

Observations sur le segment des liquéfacteurs H₂

Analyse des acteurs clés et années d'expérience

<p>Linde 74 207 employés <i>Expertise forte en liquéfaction; Portfolio large autour des liquéfacteurs (échangeurs, turbines)</i></p>	<p>Air Liquide 67 100 employés <i>Liquéfacteurs qui se distinguent par maintenance faible et efficacité élevée</i> <i>Plus grosse usine de liquéfaction</i></p>	<p>Plug Power 3 353 employés <i>Offre des solutions complètes pour l'hydrogène liquide (génération, liquéfaction et distribution)</i></p>
---	--	--

Points notables
Les acteurs les mieux positionnés sur ce segment s'impliquent dans des projets de liquéfaction à grande échelle pour démontrer l'efficacité de leurs équipements.

 Usine de liquéfaction à Leuna Capacité de 10 tonnes par jour	 Plus grande usine de liquéfaction dans le monde en Corée du Sud Capacité de 90 tonnes par jour	 Systèmes de liquéfaction d'une capacité de 30 tonnes par jour
---	---	---

Autres observations sur le segment

Acquisitions – Les acteurs se développent par acquisitions dans le marché de l'H₂ liquide: Linde (acquisition de Praxair); Plug (Joule Processing LLC)

Co-dépendance – Le développement de ce segment est très dépendant de celui des autres technologies d'hydrogène liquide (stockage et transport)

Difficultés rencontrées

1. Consolidation des technologies à l'hydrogène liquide	●●●●
2. Demande trop faible pour justifier la manuf. à grande échelle	●●●○
3. Course aux projets et compétitivité entre manufacturiers	●●●○
4. Dynamique de manufacture sur mesure	●●●○

Zoom sur les capacités manufacturières québécoises

Du point de vue manufacturier, **plusieurs acteurs sont présents au QC** (Atlas Copco, Air Liquide, Chart Ind., Linde, Nikkiso, Air Products) mais leurs **activités manufacturières se font hors-QC**. La demande locale pour l'hydrogène liquide est prévue d'augmenter et les projets de liquéfaction suivront cette tendance engendrant une **demande au niveau des liquéfacteurs**. Les entretiens réalisés mettent l'accent sur le besoin en R&D sur les technologies liées à l'hydrogène liquide.

Répondre aux besoins croissants en hydrogène liquide

Intérêt pour le Québec

- Le développement d'un **écosystème manufacturier** de liquéfacteurs H₂ permettrait de répondre aux besoins croissants en H₂ liquide
- La collaboration **entre chercheurs et industriels** servirait la création d'un pôle d'expertise ainsi à positionner le QC comme pionnier dans ces technologies. Certains autres segments, freinés par les besoins en R&D, **en bénéficieraient grandement** (stockage liquide et transport de longue distance)

Tisser des liens solides entre la recherche et les industriels

Capacité du Québec

- Le QC possède l'expertise autour des procédés de liquéfaction; **détenue par les organismes de recherche** (CNRC, UQTR) et les **industriels expérimentés** (Air Liquide, Linde, Chart Ind.); des collaborations permettrait à ces technologies de passer de l'état prototype à l'état de commercialisation
- Plusieurs acteurs au QC identifiés comme capable de répondre à la demande actuelle en liquéfacteur malgré des activités manufacturières hors-QC





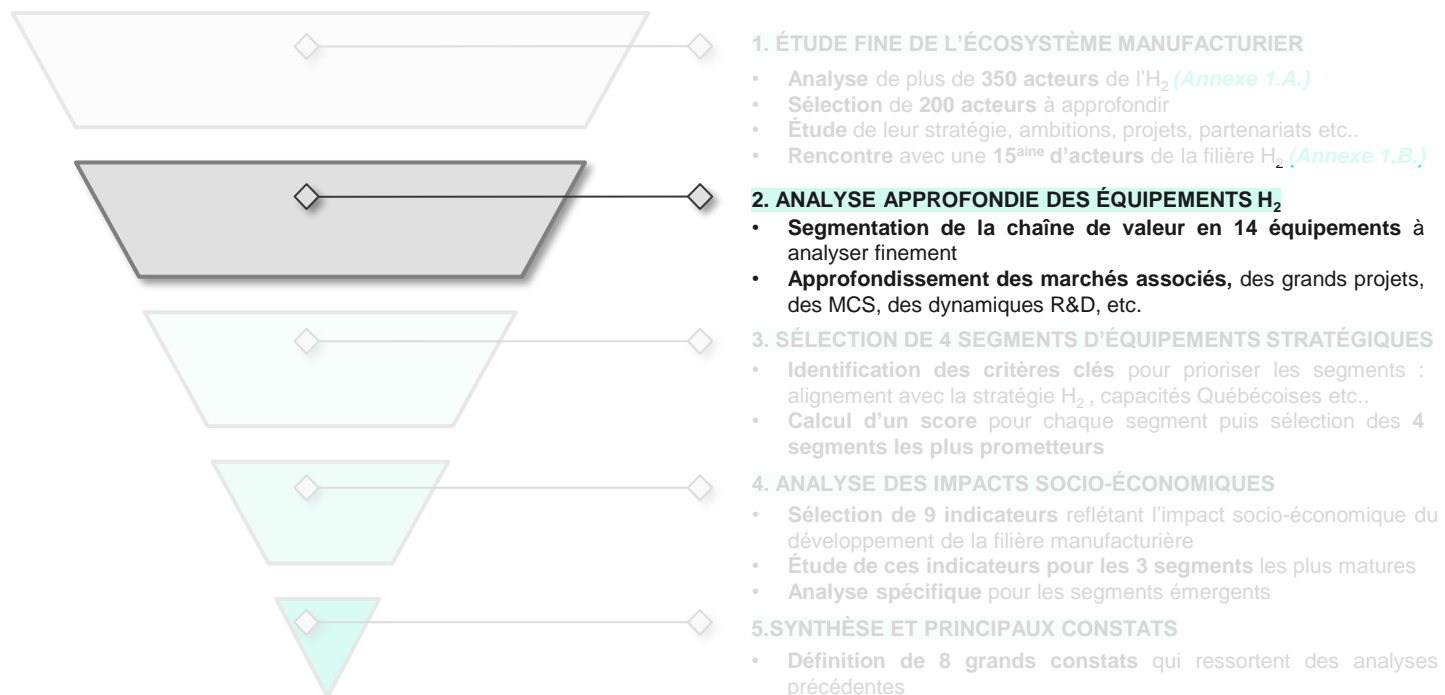
3. Analyse à haut niveau de la propriété intellectuelle

Analyse de la propriété intellectuelle | Rappel des enjeux et objectifs



Comprendre les dynamiques autour de la propriété intellectuelle dans le secteur de l'H₂: qui sont les joueurs les plus dynamiques dans les dépôts de brevets ? Dans quels secteurs ces brevets sont-ils déposés ? Sur quelles technologies ? De quelle nationalité sont ces joueurs ? L'objectif étant de situer le Canada et ses spécificités dans cet écosystème.

Lien avec la méthodologie d'ensemble



Enjeux principaux

- Trouver de la donnée fiable et pertinente à une maille géographique assez fine pour faire des analyses par nationalité.
- Mettre en perspective ces informations avec l'analyse de l'écosystème détaillée dans la section précédente.



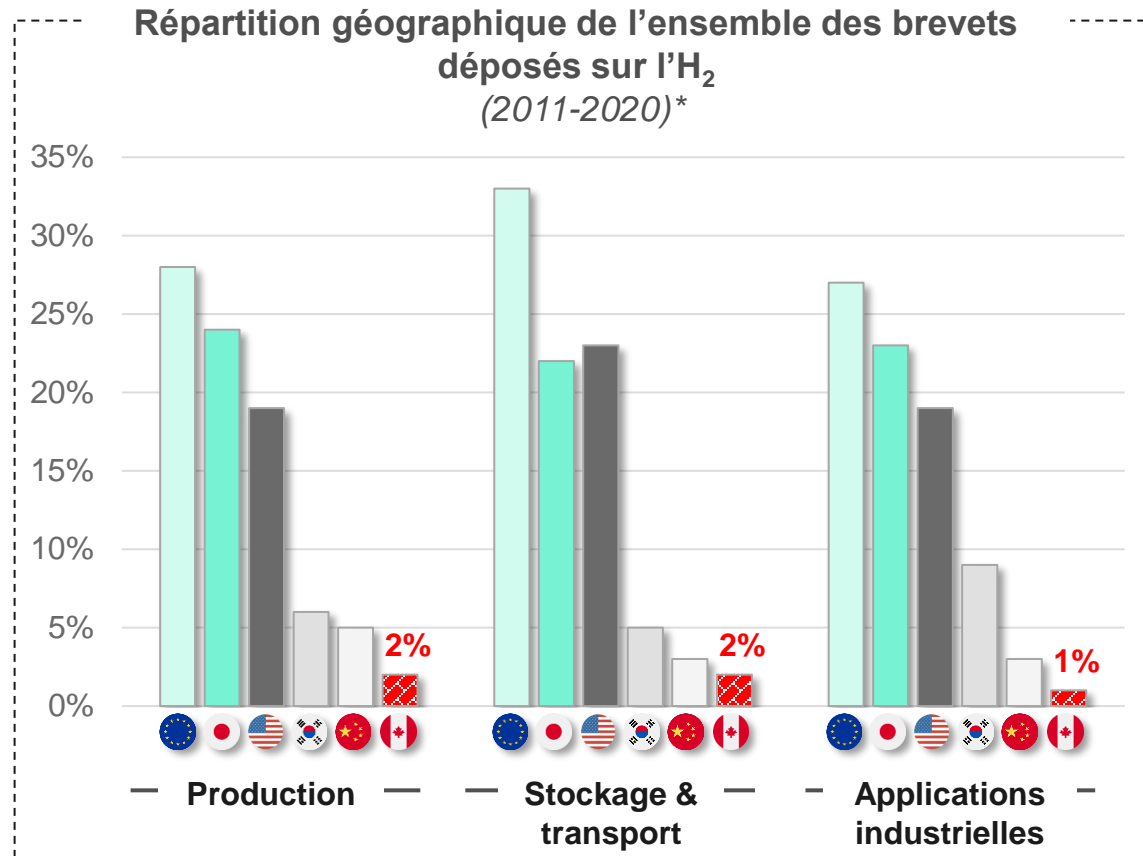
Périmètre d'analyse

- L'ensemble de la filière manufacturière H₂ avec une attention particulière sur les 14 segments d'équipements priorisés

Analyse de la propriété intellectuelle | Vue d'ensemble



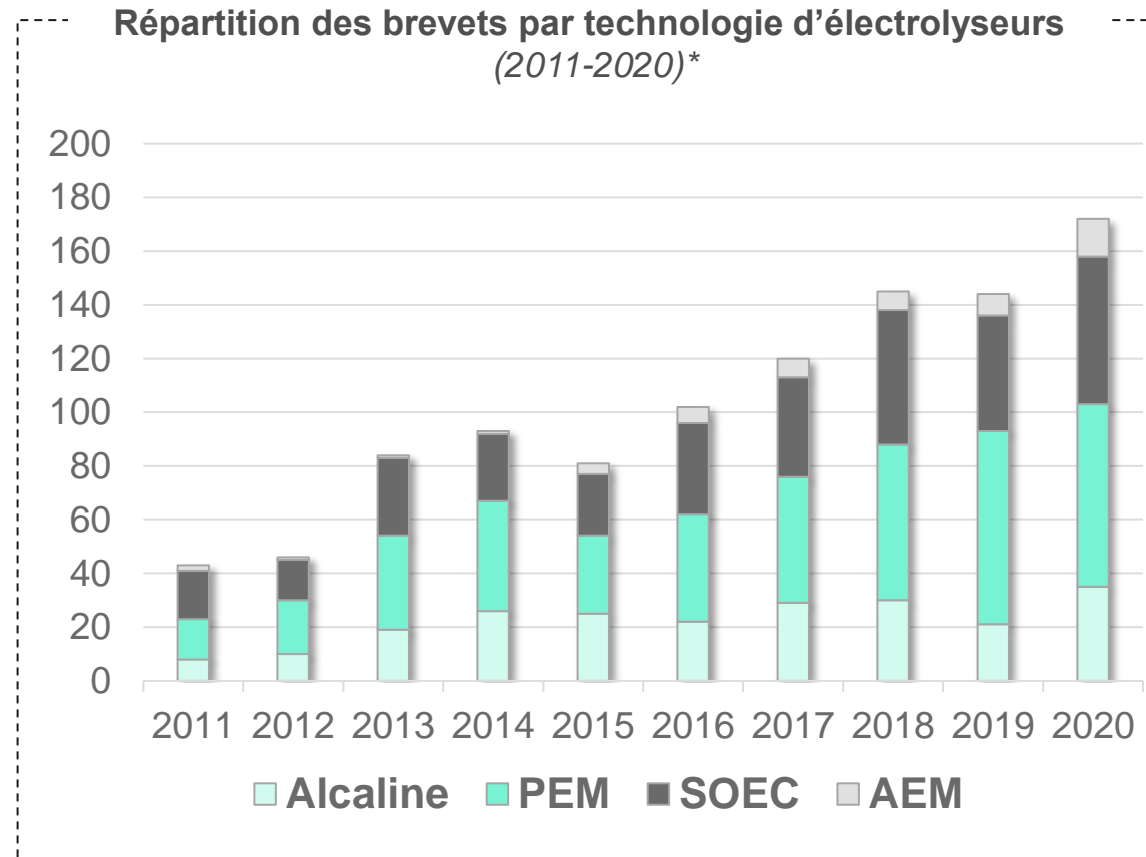
Portés par l'engouement lié à la croissance anticipée de l'H₂ vert, **l'Europe, les É-U. et le Japon se sont positionnés en chefs de file de l'innovation** dans ce secteur. L'écosystème – encore émergent – **laisse toute sa place à la recherche et au développement** sur toute la chaîne de valeur : production, transport, distribution, stockage et usages.



- Sur la dernière décennie, les **régions les plus dynamiques sont l'Europe** (Allemagne, France et Pays-Bas) et le **Japon**.
- Bien que représentant 20% des brevets, les **É-U. sont la seule zone d'innovations majeures dont les dépôts de brevets ont diminué sur les 10 dernières années**.
- Les joueurs qui développent en majorité ces brevets sont **des industriels de la chimie et des gaz** (Air Liquide, Linde, BASF, etc.) et **des acteurs du secteur de l'automobile** (Toyota, Hyundai, etc.).
- Parmi les brevets déposés ces 10 dernières années, **près de 80% d'entre eux concernent des technologies liées à l'H₂ vert, le 20 % restant se concentrant sur des technologies existantes**.
- Quelques pays en dehors des 5 principaux (EU, Japon, É.U., Corée, et Chine) **sont particulièrement dynamiques**: le Royaume-Uni, la Suisse, et le **Canada**.

*Source : *Hydrogen Patents for a Clean Energy Future*, IEA, 2023

Analyse de la propriété intellectuelle | Production par électrolyse



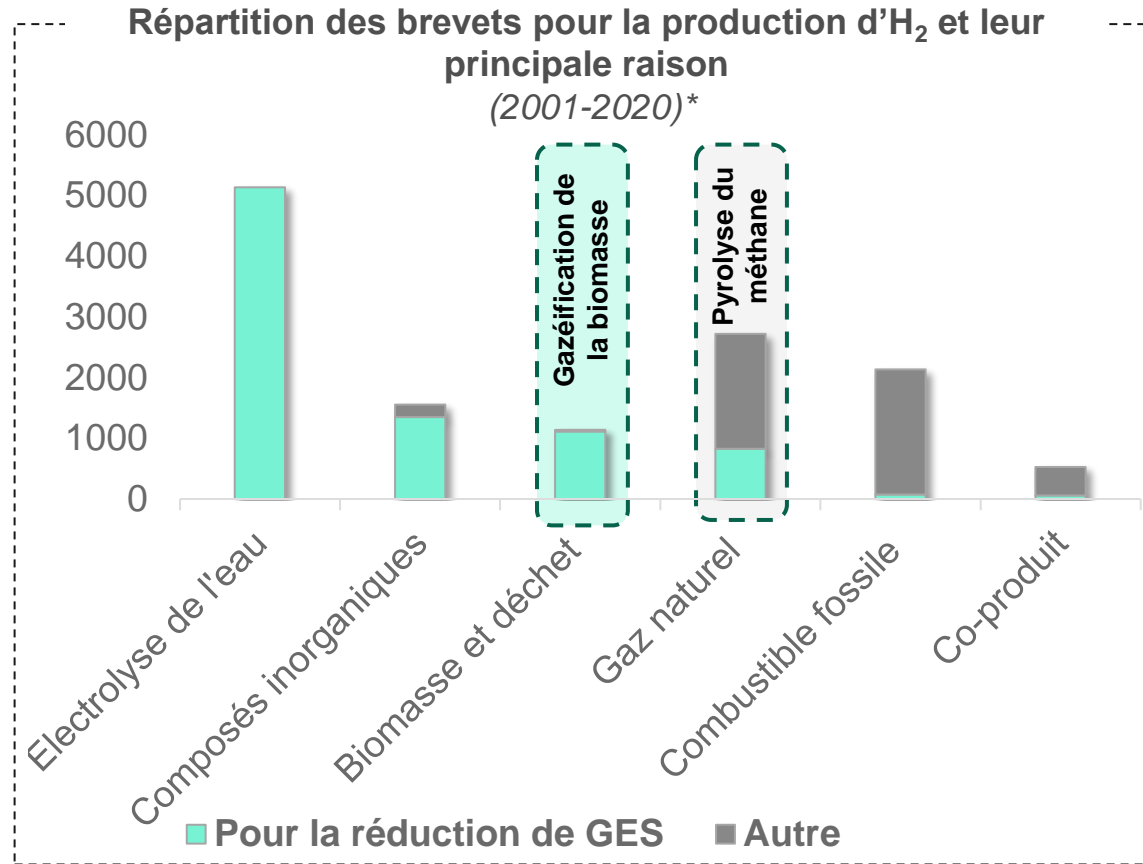
- Il est intéressant de noter **les différences de dynamiques entre les capacités de production des pays et leurs dépôts de brevets**. Sur les 10 dernières années, **le Japon a été le pays le plus prolifique en termes de dépôt, mais les capacités manufacturières ne suivent pas**. À l'inverse, **la Chine dépose peu de brevets, mais investit largement dans ses chaînes manufacturières locales**.
- Des **orientations technologiques se dessinent également par région** :
 - **les É.-U.** sont très présents sur les innovations dans la **technologie PEM**;
 - **l'Europe** dépose la majorité des brevets sur les **électrolyseurs SOEC**;
 - **La Chine** développe peu de brevets, mais en majorité sur la **technologie alcaline**.
- **Aucune technologie ne domine le marché** comme le montre la pluralité des brevets déposés. Alcaline est la technologie la plus vieille, PEM dans laquelle il y a le plus d'innovation, SOEC et AEM cherchent à passer à l'échelle.

*Source : *Hydrogen Patents for a Clean Energy Future*, IEA, 2023



Le Canada a développé de la propriété intellectuelle sur plusieurs de ces technologies avec des entreprises qui se sont créées dans ces domaines. Par exemple, **Hydrogen Optimized** a développé une **technologie brevetée d'électrolyseurs alcalins** pour des usages à échelle industrielle (12,5 MW à 50MW) et **Cipher Neutron** a **déposé 5 brevets** dans **des technologies AEM**.

Analyse de la propriété intellectuelle | Autres moyens de production



- Les dépôts de brevets dans le domaine de la production d'hydrogène à **partir de la biomasse ou de déchets** (par gazéification ou pyrolyse) ont fortement augmenté entre 2007 et 2011, **mais ont considérablement diminué depuis**.
- **Plusieurs défis sont en train d'être relevés** pour la production d'hydrogène par **pyrolyse du méthane** :
 - La température d'opération;
 - Le passage à l'échelle industrielle;
 - Les réactions auxiliaires qui diminuent les rendements;
 - La possibilité de produire du graphite au lieu du noir de carbone en sortie;
 - etc.
- **Thyssenkrup, SABIC et Exxonmobil** sont les joueurs ayant **déposé le plus de demandes de brevets sur la pyrolyse du méthane**.
- L'obtention d'un brevet aide significativement le passage à l'échelle et l'obtention de financements par les **jeunes entreprises** se positionnant sur la **gazéification de la biomasse et la pyrolyse du méthane**.

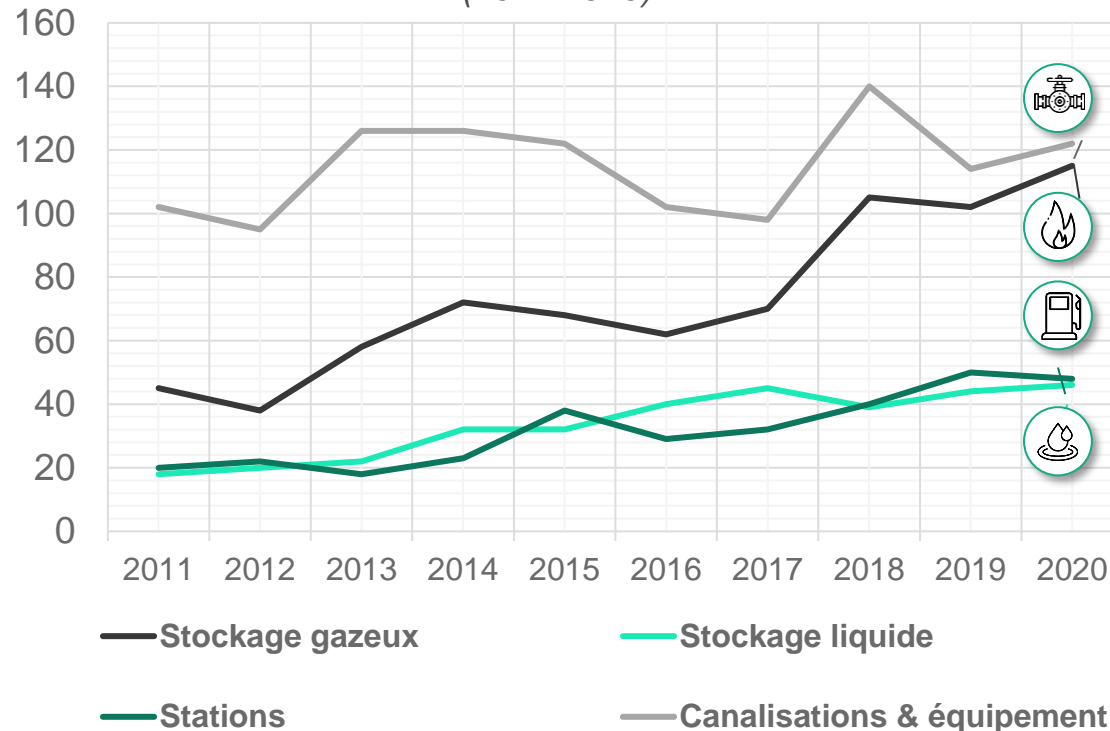
*Source : *Hydrogen Patents for a Clean Energy Future*, IEA, 2023



Au Canada, **ces deux secteurs sont particulièrement dynamiques**. Des entreprises comme Pyrogenesis, Aurora Hydrogen, Innova Hydrogen, Plasco Energy, Omni conversion, Nu:ionic **possèdent toutes des brevets d'intérêt sur ces technologies**.

Analyse de la propriété intellectuelle | Transport, distribution, stockage

Évolution des dépôts de brevets suivant les technologies de transport, distribution, stockage (2011-2020)*



- L'H₂ se transporte soit par canalisations/remorques sous forme gazeuse, soit sous forme liquide dans des conteneurs cryogéniques.
- L'analyse des brevets montre que des innovations sont faites sur toute la chaîne de valeur : transport, stockage, distribution de l'H₂ et sur toutes les technologies – avec une dynamique toute particulière néanmoins sur les réservoirs embarqués pour permettre la commercialisation des véhicules H₂.
- Pour le moment, l'innovation sur le stockage stationnaire se concentre principalement sur les applications actuelles : **sous forme de gaz comprimé sur site industriel et pour les stations d'avitaillement.**
- Néanmoins, dans des régions où la demande d'H₂ est particulièrement importante (Europe du Nord, Texas), **des efforts d'innovation** sont en cours pour **stocker l'H₂ en sous-sol** à grande échelle dans des cavités salines et **transporter de grandes quantités d'H₂ par canalisations.**

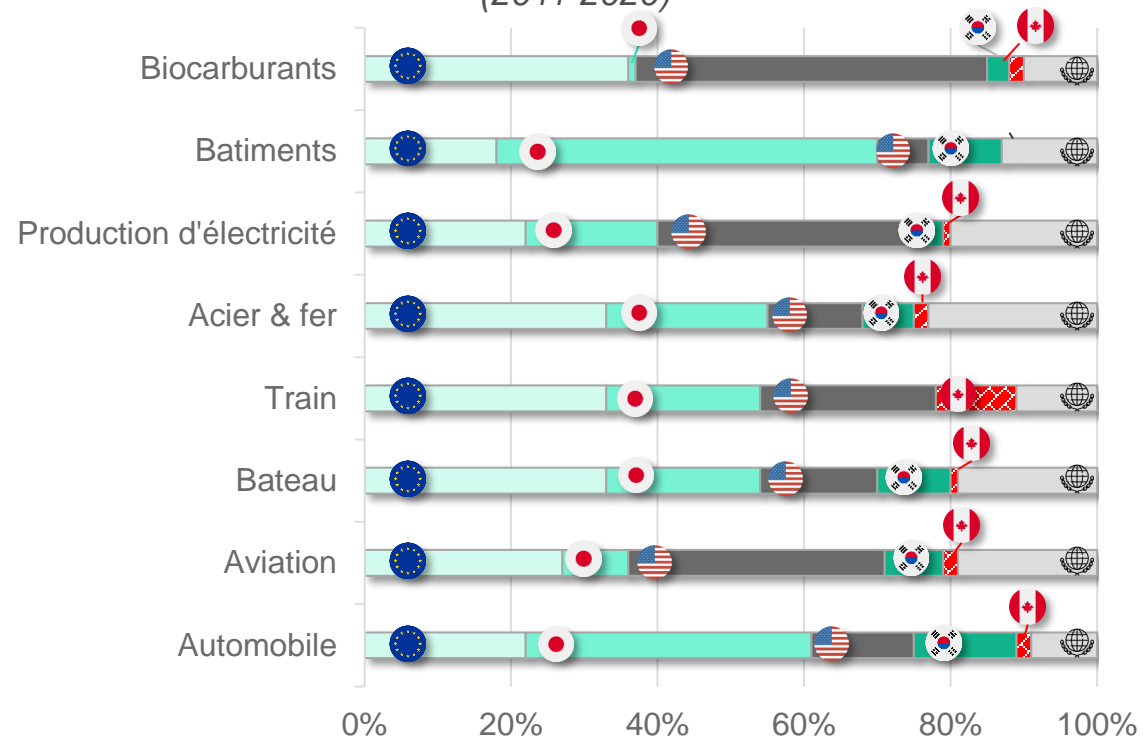
*Source : *Hydrogen Patents for a Clean Energy Future*, IEA, 2023



Au Canada, plusieurs joueurs se positionnent de manière innovante sur ces maillons. Vessel Energy par exemple propose des solutions de stockage H₂ à micro-canaux permettant de diminuer par 2 le poids des réservoirs. Par ailleurs, les laboratoires de Powertech en Colombie Britannique sont uniques en Amérique du Nord et très prisés par les manufacturiers pour tester les composantes de leurs stations H₂.

Analyse de la propriété intellectuelle | Applications industrielles

Répartition de l'ensemble des brevets déposés sur les applications industrielles de l'H₂ (2011-2020)*



- **Dominées par le Japon** dans la majorité des applications liées aux piles à combustible, **ce sont les joueurs de l'industrie automobile** qui sont les plus dynamiques sur ce segment.
- Il apparaît que les innovations dans les PAC génèrent des synergies avec les électrolyseurs PEM notamment autour :
 - des polymères qui séparent les membranes
 - des catalyseurs
 - des procédés d'empilement des cellules
- Récemment (après 2016), le nombre de brevets déposés pour la décarbonation de l'acier par l'H₂ a significativement augmenté, avec une grosse concentration de la propriété intellectuelle dans un nombre restreint de joueurs – **plutôt d'origine européenne.**
- La majorité des avancées sur les PACs concernent des applications dans le transport routier (légers et lourd) et, dans une certaine mesure, l'aviation légère (drone) et le transport maritime.

*Source : Hydrogen Patents for a Clean Energy Future, IEA, 2023

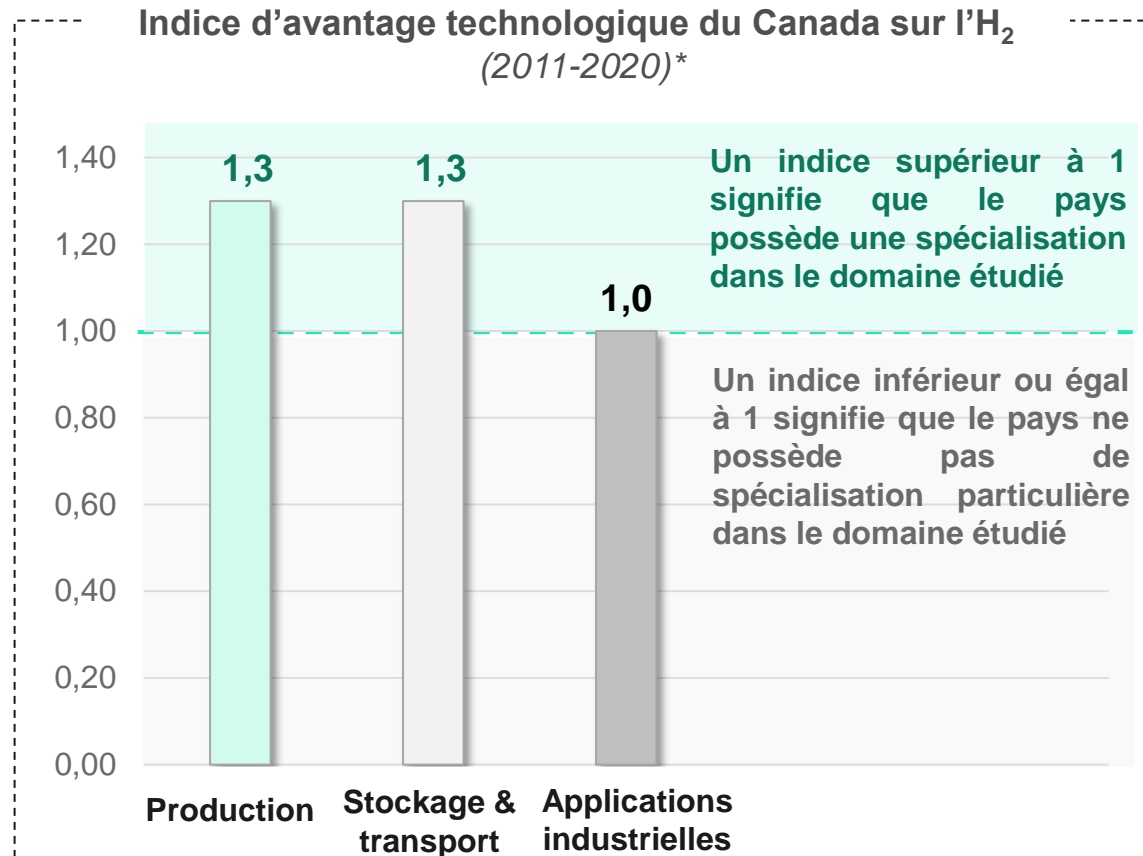


Ce qui n'est pas visible dans ces graphiques est que **les joueurs bien établis dans les PACs et dont c'est le cœur de métier** - comme **Ballard au Canada** – ont déposé moins de brevets dans ces domaines mais **possèdent néanmoins beaucoup de propriété intellectuelle sur des PACs plus génériques** (non reliées à des applications spécifiques automobiles – qui prennent beaucoup de place sur ces graphiques)

Analyse de la propriété intellectuelle | Synthèse du positionnement du Canada



Bien que devancé par les principales nations motrices de l'écosystème H₂ : Europe, Japon, É.-U., Chine et Corée; le Canada est identifié au niveau international comme **un pôle dynamique et émergent de dépôt de brevets** dans le secteur de l'H₂, au même titre que la Suisse ou le Royaume-Uni.



- L'indice d'avantage technologique est un indicateur développé par l'OCDE pour identifier les spécialisations technologiques d'un pays.
- Il se calcule comme le rapport entre la part des brevets déposés par un pays dans un domaine particulier sur la part des brevets déposés dans tous les domaines. **Lorsqu'il est supérieur à 1, cela signifie une concentration technologique dans le domaine étudié.**
- L'analyse de cet indicateur permet de **démontrer la place importante que l'H₂ joue dans l'innovation au Canada puisqu'il est supérieur ou égal à 1 sur tous les maillons de la chaîne de valeur.**
- L'indice d'avantage technologique illustre également le fait que le **Canada se spécialise en partie du côté amont de la chaîne de valeur : production et stockage, transport, distribution.**

*Source : Hydrogen Patents for a Clean Energy Future, IEA, 2023



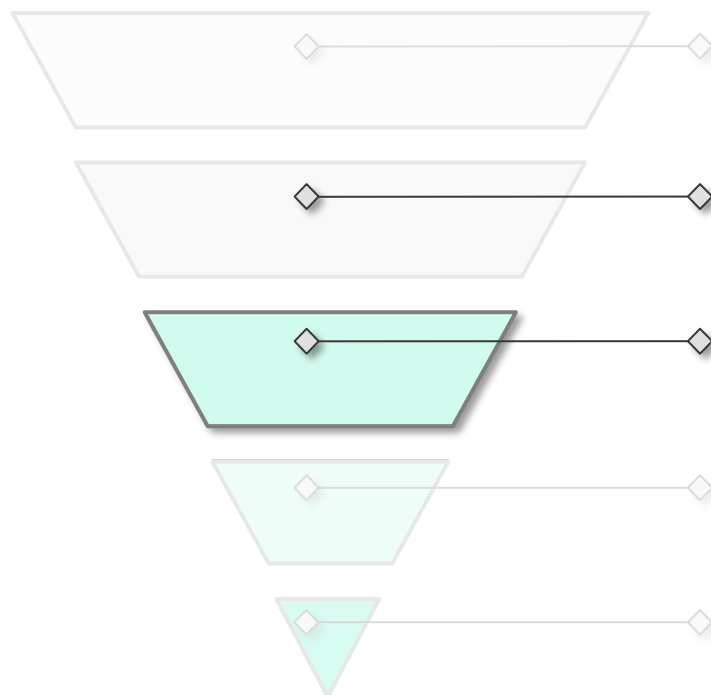
4. Sélection des segments stratégiques

Sélection des segments stratégiques | Rappel des enjeux et objectifs



L'objectif principal de cette étape est de **sélectionner** - parmi les 14 segments manufacturiers précédemment présentés - **les 4 segments les plus stratégiques** pour le Québec. Cette sélection se base sur une **étude fine de la capacité et de l'intérêt du Québec à développer chacun de ces segments**.

Lien avec la méthodologie d'ensemble



1. ÉTUDE FINE DE L'ÉCOSYSTÈME MANUFACTURIER

- Analyse de plus de 350 acteurs de l'H₂ (*Annexe 1.A.*)
- Sélection de 200 acteurs à approfondir
- Étude de leur stratégie, ambitions, projets, partenariats etc..
- Rencontre avec une 15^{aine} d'acteurs de la filière H₂ (*Annexe 1.B.*)

2. ANALYSE APPROFONDIE DES ÉQUIPEMENTS H₂

- Segmentation de la chaîne de valeur en 14 équipements à analyser finement
- Approfondissement des marchés associés, des grands projets, des MCS, des dynamiques R&D etc...

3. SÉLECTION DE 4 SEGMENTS D'ÉQUIPEMENTS STRATÉGIQUES

- Identification des critères clés pour prioriser les segments : alignement avec la stratégie H₂, capacités québécoises etc..
- Calcul d'un score pour chaque segment puis sélection des 4 segments les plus prometteurs

4. ANALYSE DES IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

- Sélection de 9 indicateurs reflétant l'impact socio-économique du développement de la filière manufacturière
- Étude de ces indicateurs pour les 3 segments les plus matures
- Analyse spécifique pour les segments émergents

5. SYNTHÈSE ET PRINCIPAUX CONSTATS

- Définition de 8 grands constats qui ressortent des analyses précédentes



Enjeux principaux

- **Élaborer un outil d'aide à la décision objectif**, basé sur des critères reflétant la **capacité et l'intérêt du Québec** pour chaque segment d'équipements
- **Travailler en collaboration** avec les acteurs du milieu sur ces critères pour **ajouter de l'intelligence et prendre en compte la réalité de la filière H₂ au Québec**



Périmètre d'analyse

- **Les 14 segments de production d'équipements H₂** (*présentés en p.11*)

Sélection des segments stratégiques | Méthodologie de sélection



Afin de sélectionner les **4 segments stratégiques pour le Québec**, deux critères ont été retenus: **Intérêt** et **Capacité**. Des scores associés à chacun de ces deux critères ont été évalués. Ces scores correspondent à la moyenne pondérée des notes attribuées à chacun des sous-critères établis. **Les pondérations des sous-critères ainsi que l'assignation des notes ont été élaborées en atelier avec PRIMA et le MEIE.**

Critère #1
Intérêt pour le Québec



Critère #2
Capacité du Québec

Notes attribuées par sous-critère

Sous-critères - Pondération

1 2 3 4 5

Sous-critères - Pondération	1	2	3	4	5
Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies - 50%	Hors-périmètre	Application moyennement prioritaire	Application hautement prioritaire		
Criticité- 20%	Présent sur peu de segments et facile d'appro.	Présent dans peu de segments et difficile d'appro/Présent dans plusieurs segment et facile d'appro	Présent sur plusieurs segments et difficulté d'appro		
Facilité à entrer sur le segment- 15%	Barrière à l'entrée forte	Barrière à l'entrée moyenne	Barrière à l'entrée faible		
Valeur ajoutée - 15%	Bas contenu technologique et R&D	Moyen contenu technologique et R&D	Haut contenu technologique et R&D		
Capacité manufacturière - 25%	Aucun acteur manufacturier	Manufacturier intéressé/présent	Au moins 1 manufacturier		
Capacité R&D - 25%	Aucun organisme de R&D.	Quelques travaux et acteurs R&D	Expertise R&D forte et beaucoup d'acteurs		
Dépendance aux MCS présents au Québec - 25%	Peu de MCS et aucun présent au QC	Au moins 3 MCS présents au QC	5+ MCS présents au QC		
Maturité pondérée du segment* - 25%	Maturité faible	Maturité moyenne	Maturité élevée		

Sélection des segments stratégiques | Matrice de priorisation



L'attribution de notes à chacun des sous-critères et le calcul des scores **Intérêt** et **Capacité** permettent d'obtenir un score moyen servant à **classer les segments**. Cet **outil d'aide à la décision** a été travaillé pour **sélectionner les 4 segments prioritaires** en atelier avec PRIMA et le MEIE. La sélection repose à la fois sur **l'analyse des scores et des discussions avec les experts du MEIE**; permettant de donner **une profondeur** à cet outil objectif.

Segments	Intérêt				Score Intérêt	Capacité					Score Capacité	Total Score moyen
	Stratégie H ₂	Criticité	Facilité à entrer sur le segment	Valeur ajoutée		Capacité manif.	Capacité R&D	Dépendance aux MCS QC	Maturité pondérée*			
Électrolyseurs	5	3	5	5	4.6	3	5	5	3	3.8	4.2	4.4
Équipements industriels	5	3	5	5	4.6	5	3	3	2	3.8	3.7	4.2
Réacteurs H ₂	4	3	4	5	4.0	3	5	5	2	4.2	4.3	4.1
Piles à combustible	4	5	5	5	4.5	3	5	3	4	3.4	3.6	4.1
Compresseurs	4	5	5	5	4.5	3	5	2	3	3.8	3.5	4.0
Liquéfacteur	4	5	4	4	4.2	3	5	2	4	3.4	3.4	3.8
Équipements auxiliaires	4.5	3	4	3	3.9	5	2	1	4	4.4	3.1	3.5
Bus et camions H ₂	4	1	2	2	2.8	5	2	5	4	4.4	4.1	3.5
Stations H ₂	4	3	4	3.5	3.7	3	2	5	3	2.6	3.2	3.4
Mobilité lourde H ₂	3	3	3	3	3.0	3	5	3	3	3.8	3.7	3.4
Instrumentation	3.5	3	3	2	3.1	3	5	3	4	3.4	3.6	3.4
Réservoirs stationnaires	4	4	3	3.5	3.8	1	5	3	3	2.6	2.9	3.3
Réservoirs embarqués	4	3	3	3.5	3.6	1	5	3	4	1.8	2.7	3.1
Robinetterie	3.5	3	1	2	2.8	3	5	2	5	3	3.3	3.0

*Sous-critère calculé en pondérant la capacité manufacturière et la capacité R&D: $\frac{5 - \text{maturité}}{5} \times \text{Capacité R\&D} + \frac{\text{maturité}}{5} \times \text{Capacité manufacturière}$

Sélection des segments stratégiques | Les 4 segments retenus



Les segments avec le score moyen le plus élevé ont été sélectionnés (**électrolyseurs, PAC, réacteurs H₂**) à l'exception des **équipements industriels** qui ont été éliminés à cause de leur faible spécificité à la filière hydrogène.

	ÉLECTROLYSEURS	PILES À COMBUSTIBLES	RÉACTEURS H ₂	RÉSERVOIRS STATIONNAIRES
INTÉRÊT	<ul style="list-style-type: none"> • Alignement fort avec la stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies • Présence d'hydrogène vert bénéficierait à plusieurs secteurs complémentaires (raffineries, sidérurgie..etc) 	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs applications des PAC identifiées comme prioritaires: stockage saisonnier et gestion de pointe hivernale, camionnage de longue distance (classe 8) • Haut contenu technologique transposable au segment des électrolyseurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des émissions issues de procédés de production d'H₂ conventionnels (SMR) • Technologie de l'avenir avec des besoins croissants à venir et un marché qui résonne fortement avec les forces du QC 	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidation de la chaîne d'approvisionnement au QC possible par la fabrication des réservoirs localement • Spécificité à la filière hydrogène élevée et réponse aux besoins des utilisateurs et les producteurs de l'hydrogène
CAPACITÉ	<ul style="list-style-type: none"> • Le QC répond à plusieurs des besoins exprimés par les manufacturiers: demande forte localement, proximité avec le transport en eau profonde, présence d'infrastructures, main-d'œuvre qualifiée et volonté politique de soutenir les manufacturiers 	<ul style="list-style-type: none"> • Expertise R&D forte détenue par les universités et CCTT qui cible des problématiques au niveau de l'efficacité et les alternatives aux PFAS • Manufacturiers présents au Canada dont Ballard qui se dit intéressé de s'installer au QC si la demande importante le justifiait 	<ul style="list-style-type: none"> • Expertise et propriété intellectuelle forte au QC autour des technologies de pyrolyse de plasma et gazéification biomasse/déchets • Complémentarité forte avec les compétences existantes au niveau de la fabrication de torches à plasma 	<ul style="list-style-type: none"> • Expertise R&D forte où il reste beaucoup de place à l'innovation au niveau des systèmes de sécurité et les différents modes de stockage • Plusieurs usages qui vont se développer au niveau du stockage de l'hydrogène permettant de sécuriser la demande pour cet équipement

- > Dans une perspective de développer des marchés stratégiques **résonnant fortement avec les atouts du Québec** et **en alignement fort avec les applications prioritaires par la stratégie sur l'H₂ vert** et les bioénergies, le segment des **réservoirs stationnaires** a également été retenu.
- > Des applications en lien avec ce dernier telles que **la gestion de pointe hivernale** sont ciblées et sa priorisation permettrait de **sécuriser un maillon important de la chaîne d'approvisionnement locale** pour répondre aux besoins à la fois des utilisateurs et des producteurs d'hydrogène.



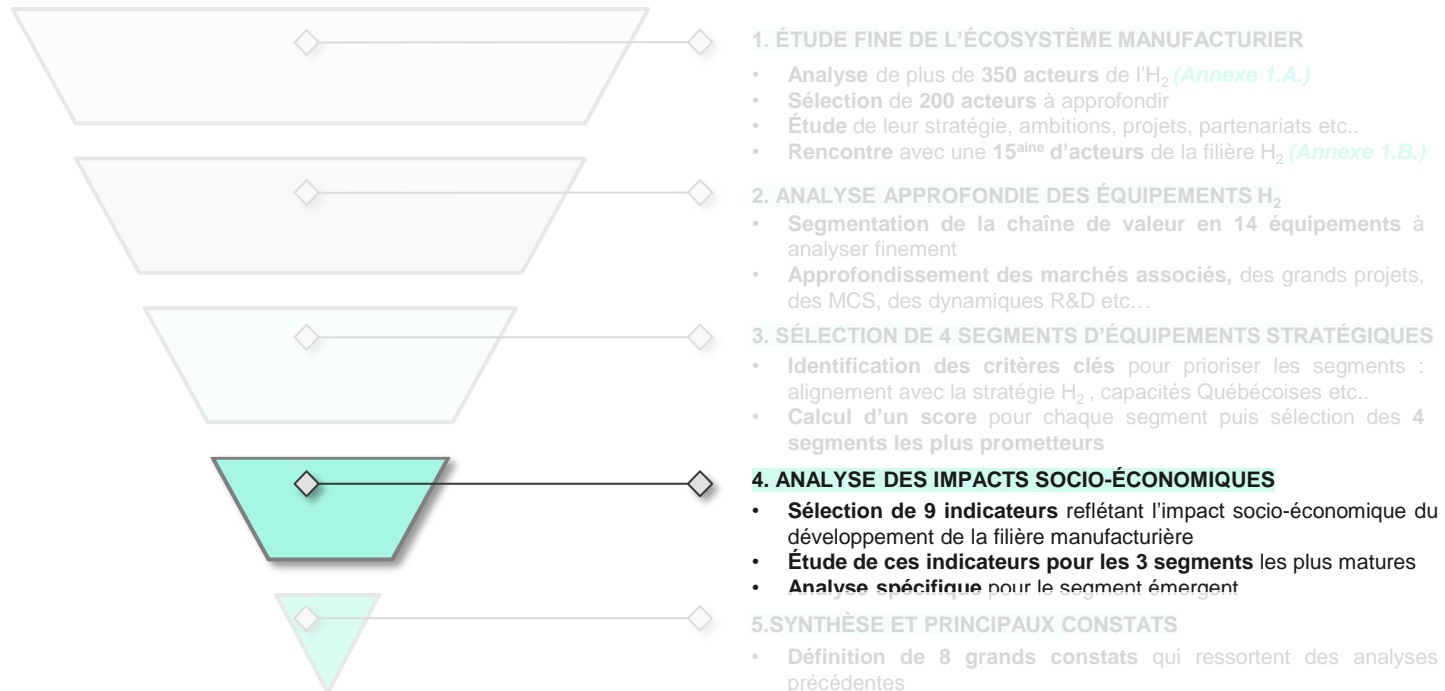
5. Étude socio-économique du développement de la filière

Étude socio-économique | Rappel des enjeux et objectifs



L'objectif principal de cette étape est d'étudier les **externalités reliées au développement des filières manufacturières des 4 segments d'équipements stratégiques retenus**. Une **analyse quantitative** des impacts socio-économiques a été réalisée pour les segments matures (électrolyseurs, piles à combustible et réservoirs stationnaires) et une **approche qualitative** pour le segment émergent des réacteurs H₂.

Lien avec la méthodologie d'ensemble



Enjeux principaux

- Sélectionner des indicateurs socio-économiques qui permettent de **cerner l'ensemble des externalités reliées au développement de la filière**
- Confronter les données à des études de référence et aux retours des manufacturiers** afin d'évaluer leur fiabilité et leurs limites



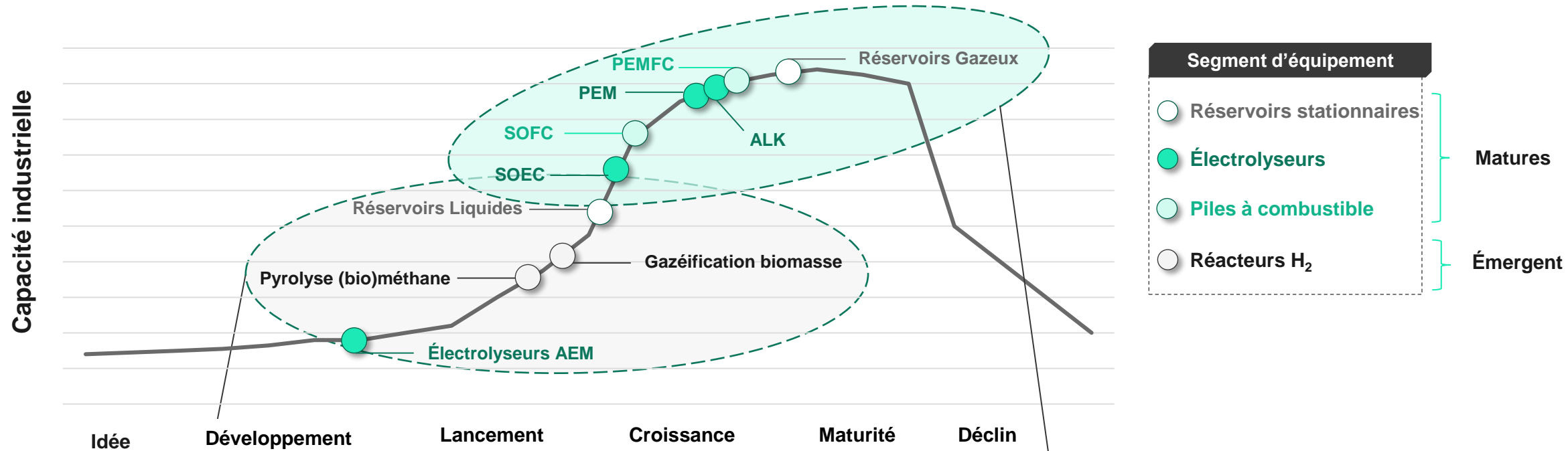
Périmètre d'analyse

- Les 4 segments d'équipements stratégiques retenus**
- La filière batterie** (technologie Lithium-ion)

Méthodologie | Axe d'analyse selon le degré de maturité technologique



Le **degré de maturité des technologies** associés aux 4 segments d'équipements stratégiques retenus ne permet pas le même niveau d'analyse sur les indicateurs socio-économico-environnementaux. **Les externalités des segments matures ont été définies avec des indicateurs quantitatifs** et **celles reliées au segment émergent des réacteurs H₂ sont définies à plus haut niveau**, de manière qualitative. Le graphique ci-dessous permet de classer les technologies selon les capacités industrielles correspondantes.












Marché industriel en développement

- Absence de manufacturiers avec des capacités de production importantes
- Les porteurs de projets pilotes sont confondus avec les porteurs de solutions technologiques et les manufacturiers
- **Ne permet pas une analyse socio-économique environnementale du développement de la filière**
- Ceci concerne le segment émergent des réacteurs H₂

Capacités industrielles suffisamment matures

- **Permet une analyse socio-économico-environnementale du développement de la filière**
- Ceci concerne les 3 segments matures des électrolyseurs, piles à combustible et réservoirs stationnaires

Étude socio-économique du développement de la filière | Description détaillée

INDICATEURS		QUESTIONNEMENT ASSOCIÉ
	◇ — ◇ Besoin de financement	> Quels sont les investissements initiaux (M\$) pour développer une usine de production pour une capacité donnée?
	◇ — ◇ Besoin en électricité	> Pour la production d'une certaine capacité par an, quelle est la capacité électrique nécessaire à l'usine? <i>NB : Ces données sont issues de la littérature scientifique essentiellement</i>
	◇ — ◇ Emplois créés	> Pour une usine de production de capacité typique (1GW ou 1GWh), combien d'emplois sont créés?
	◇ — ◇ Salaire moyen	> En moyenne, quel est le salaire annuel des salariés employés par l'industriel ?
	◇ — ◇ Type d'emplois	> Quelle est la répartition des emplois créés ? Ingénieurs, doctorants, techniciens, support, vente, etc.?
	◇ — ◇ Revenus gouvernement Québec	> Quels sont les revenus générés par le gouvernement pour la mise en place d'une usine d'1GW? <i>NB : Basé sur la méthodologie de l'ISQ et la prise en compte de deux composantes – Taxes sur les produits et les salaires</i>
	◇ — ◇ Valeur ajoutée	> Quelle est la valeur ajoutée de ce segment ? <i>NB : Cet indicateur est qualitatif: dynamiques d'intégration dans économie québécoise, synergies avec la filière batterie et les régions voisines, de priorité dans la stratégie H₂, etc.</i>
	◇ — ◇ Émissions GES	> Quelles sont les émissions GES annuelles associées au déploiement d'une usine d'1GW/GWh? <i>NB : Ces données sont évaluées à partir d'ACV sur toute la phase de fabrication des équipements</i>
	◇ — ◇ MCS	> Un indice de criticité a été calculé (détail en p.102). Ce dernier correspond à la moyenne des tensions des MCS qui composent la technologie et qui sont inscrits dans la stratégie provinciale. La tension sur les MCS a été évaluée en atelier en collaboration avec le MRNF.

Étude socio-économique | Collecte des données






Afin d'effectuer l'analyse des impacts socio-économiques, deux méthodologies ont été employées au niveau de la recherche/collecte de la donnée: une première méthode qualifiée de « **descendante** » qui consiste à utiliser la valeur la plus fiable et valider son ordre de grandeur par le recensement de plusieurs projets et une deuxième qualifiée de « **ascendante** » qui consiste à recenser le maximum de projets et les homogénéiser en calculant une moyenne qui exclut les données aberrantes.

Méthode #1 : Descendante

Utilisation de la valeur la plus fiable dans les études de références, puis recensement de plusieurs projets pour valider l'ordre de grandeur.




Méthode privilégiée lorsque l'information est disponible

1. **Revue de littérature** des études fiables sur le sujet : IEA, IRENA, branche énergie de gouvernements, fédération d'acteurs industriels autour de l'H2 (Ex: France hydrogène, Hydrogen Council, etc.)

2. **Collecte de la donnée la plus fiable/documentée**

3. **Revue de projets** manufacturiers majeurs puis moyenne des données par projet

4. **Vérification de la cohérence** entre la donnée issue de l'étude et celle issue de la revue des projets

Méthode #2 : Ascendante

Recensement d'un maximum de projets, homogénéisation des unités puis moyenne des valeurs rencontrées après exclusion des données « aberrantes » .

Méthode utilisée si aucune étude de référence n'est trouvée

1. **Revue de littérature** d'un grand nombre de projets industriels hydrogène

2. **Travail d'homogénéisation des unités** (nombre d'unités produites vs puissance totale de l'usine, etc.)

3. Étude des données « aberrantes » - localisation, technologie, fiabilité, etc.

4. Moyenne des données fiables

Étude socio-économique | Fiabilité des données












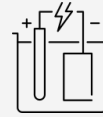



La filière manufacturière liée à l'H₂ vert est très sensible aux effets d'annonces, ce qui crée un **enjeu au niveau de la fiabilité et la limite des données recensées**. Deux échelles de fiabilité ont donc été établies afin de juger de la fiabilité de la donnée récoltée. La **première s'applique à la donnée primaire** à l'étape de collecte. La **deuxième échelle correspond à l'agrégation de ces données primaires**.

Degré de fiabilité

	I	II	III	IV
#1. Fiabilité des « données primaires » <i>Issue d'un projet, d'une étude ou d'un manufacturier.</i>	Données issues d'une étude de référence clé et/ou échanges avec manufacturiers	Données issues de publications scientifiques et/ou de revues de projets	Données issues de publications scientifiques et/ou de revues de projets	Données peu documentées dans la littérature, issues d'études moins fiables/non vérifiables
#2. Fiabilité des « valeurs retenues » pour le segment – <i>Utilisée pour la suite de l'analyse*.</i>	Valeur issue d'une donnée de fiabilité I ou de 5+ données de fiabilité II	Valeur issue de 3+ données de fiabilité II	Valeur issue de 3- données de fiabilité II	Valeur issue uniquement de données de fiabilité III ou moins

*Cette deuxième échelle est celle qui est utilisée pour la suite de l'analyse p.92 à p.97





Étude socio-économique | Synthèse sur les 3 segments matures

	 Besoin de financement	 Besoin en électricité	 Emplois créés	 Salaire moyen	 Type d'emplois	 Revenus gov. Québec	 Valeur ajoutée*	 Émissions GES**	 MCS (Sans unité)	
1	Électrolyseurs <i>Analyse par indicateur</i>	142 M\$/GW	35 MW/GW	450 ETP/GW	66 000\$/an	90 M\$/an	-	108 000 ktCO2eq/GW	ALK – 3,2 PEM – 3,3 AEM – 3,1 SOEC – 2,9	
2	PAC <i>Analyse par indicateur</i>	162 M\$/GW	5 MW/GW	323 ETP/GW	72 615\$/an	41 M\$/an	-	24 000 ktCO2eq/GW	PEMFC 3,5	
3	Réservoirs stationnaires <i>Analyse par indicateur</i>	16 M\$/GWh	0,16 MW/GWh	9 ETP/1000 réservoirs	-	-	-	18 224 ktCO2eq/GWh	Gazeux – 3,3 Liquide – 2,7	
	Batteries <i>Analyse par indicateur</i>	144 M\$/GWh	7 MW/GWh	154 ETP/GWh	63 255\$/an	-	-	13 083 ktCO2eq/GWh	Lithium-ion 3,4	

*L'indicateur autour de la valeur ajoutée est un indicateur qualitatif qui a été intégré dans la section suivante du rapport **Synthèse et principaux constats**. Il prend en compte des éléments tels que les dynamiques d'intégration dans l'économie québécoise, les synergies avec la filière batterie et les régions voisines, la priorité dans la stratégie H₂, etc.

**Les émissions GES proviennent d'analyses de cycle de vie réalisées sur toute la phase de fabrication des équipements (extraction et transformation des minéraux, assemblage etc.)

Analyse des indicateurs socio-économiques | Électrolyseurs

INDICATEURS	VALEUR	OBSERVATIONS
 <p>◇ — ◇ Besoin de financement (M\$/GW)</p>	<p>142 M\$/GW III*</p> <p>Donnée issue d'une moyenne calculée à partir de 10 projets (technologies différentes) et vérifiée par les retours des manufacturiers et études de référence</p>	<ul style="list-style-type: none"> > En ordre croissant de CAPEX: ALK < PEM > Les technologies les moins matures sont associées à des CAPEX plus élevés > Les coûts de main-d'œuvre poussent les manufacturiers à se tourner vers l'automatisation > Valeur fortement influencée par les cibles techniques définies par le DOE
 <p>◇ — ◇ Besoin en électricité (MW/GW)</p>	<p>35 MW/GW IV</p> <p>Donnée issue d'une moyenne calculée à partir des flux électriques pris en compte dans plusieurs ACV</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Procédés de manufacture moins électro-intensifs que l'utilisation des électrolyseurs > Incidence importante sur l'empreinte environnementale des procédés de manufacture lorsque le mix énergétique est non-décarboné
 <p>◇ — ◇ Emplois créés (ETP/GW)</p>	<p>304 ETP/GW II</p> <p>Donnée issue d'une moyenne calculée à partir de 10 projets et vérifiée par des études de référence</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Relation non linéaire entre le nombre d'emplois et la capacité manufacturière > Projets de taille intermédiaire (quelques dizaines de MW): impact le plus positif en termes de création d'emplois
 <p>◇ — ◇ Salaire moyen (\$/an)</p>	<p>66 000\$/an III</p> <p>Donnée calculée en se basant sur la typologie d'emplois et le salaire moyen par emploi; vérifiée par les retours des manufacturiers et études de référence</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Valeur qui risque d'évoluer à la hausse avec l'acquisition d'expertise nichée dans les procédés manufacturiers reliés aux électrolyseurs

Analyse des indicateurs socio-économiques | Électrolyseurs

	INDICATEURS	VALEUR	OBSERVATIONS
	Type d'emplois (%)	73% - Tech./sup. II 22% - Ingénieur 5% - Doctorant Valeur provenant des travaux de France Hydrogène	<ul style="list-style-type: none">> Typologie qui change de manière importante dans la phase d'exploitation> Synergie importante avec les PAC au niveau de la typologie des métiers> Adaptation de l'appareil de formation nécessaire> Synergies avec les compétences requises dans la filière batterie
	Revenus gouvernement Québec (M\$/GW)	90 M\$/an IV Valeur calculée en suivant la méthodologie de l'ISQ	<ul style="list-style-type: none">> Prise en compte des taxes sur les produits (TVQ et TPS) et sur les salaires (selon l'échelon salariale)> La taxe sur les produits représente environ 94% des revenus générés pour le gouvernement du Québec
	Émissions GES (tCO2eq/GW)	108 000 ktCO2eq/GW III Donnée issue d'une moyenne calculée à partir de plusieurs ACV	<ul style="list-style-type: none">> Les acheteurs regardent de plus en plus pour des électrolyseurs verts> Donnée utilisée comme intrant pour évaluer l'empreinte carbone de la production d'hydrogène> Si le mix énergétique est non-décarboné, ceci a une incidence importante sur les émissions GES
	MCS* (Sans unité)	ALK – 3,2 II PEM – 3,3 AEM – 3,1 SOEC – 2,9	<ul style="list-style-type: none">> La technologie PEM est la plus intensive en termes de MCS> Quelques MCS en tension moyenne à élevée avec la filière batterie> Avancées technologiques qui permettent la substitution ou le recyclage des MCS

Analyse des indicateurs socio-économiques | Piles à combustible



INDICATEURS

VALEUR

OBSERVATIONS



◇ — ◇ **Besoin de financement**
(M\$/GW)

162 M\$/GW II

Donnée issue d'une moyenne calculée à partir de 5 projets (technologies différentes) et vérifiée par les retours des manufacturiers et études de référence

- > Valeur qui évoluerait à la baisse avec l'augmentation des capacités manufacturières dans les prochaines années; possible grâce à des **améliorations dans les procédés de manufacture** et l'**automatisation de certaines phases de manufacture**
- > Contrairement à la batterie, le coût de manufacture d'une PAC résulte de la fabrication de cette dernière et non pas des matériaux qui la composent



◇ — ◇ **Besoin en électricité**
(MW/GW)

5 MW/GW IV

Donnée issue d'une moyenne calculée à partir des flux électriques pris en compte dans plusieurs ACV

- > Cette valeur prend son sens lorsque le mix énergétique n'est pas décarboné
- > Elle a une **incidence importante sur l'empreinte environnementale** d'une PAC sur son cycle de vie dans lequel la phase de manufacture est souvent prise en compte



◇ — ◇ **Emplois créés**
(ETP/GW)

323 ETP/GW I

Donnée issue d'une moyenne calculée à partir de 5 projets et vérifiée par des études de référence

- > L'évolution de la filière manufacturière des PAC résultera en des **pics de recrutement** qui risquent de coïncider avec ceux d'autres segments ou secteurs (mobilité)
- > L'estimation de la demande en emplois à long-terme permet de mieux **planifier les besoins en main-d'œuvre**



◇ — ◇ **Salaires moyens**
(\$/an)

72 615\$/an III





Donnée calculée en se basant sur la typologie d'emplois et le salaire moyen par emploi; vérifiée par les retours des manufacturiers et études de référence

- > Salaires moyens qui pourraient évoluer à la hausse avec l'**acquisition de compétences pointues**
- > **Demande croissante en emplois** générée par le développement de la filière manufacturière hydrogène et celle de la batterie; valeur qui évoluerait à la hausse à court-terme: demande plus forte que l'offre

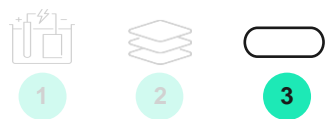
Analyse des indicateurs socio-économiques | Piles à combustible







	INDICATEURS	VALEUR	OBSERVATIONS
	Type d'emplois (%)	73% - Tech./sup. II 22% - Ingénieur 4% - Doctorant Valeur basée sur un projet réalisé par Symbio	<ul style="list-style-type: none">> Typologie d'emploi similaire à celle observée sur le segment des électrolyseurs> Similarité technologique forte dans les procédés d'assemblage de piles à combustibles et les procédés d'assemblage de cellules d'électrolyseurs
	Revenus gouvernement Québec (M\$/GW)	41 M\$/an II Valeur calculée en suivant la méthodologie de l'ISQ	<ul style="list-style-type: none">> Similairement au segment des électrolyseurs, la part la plus importante dans les revenus générés pour le gouvernement est due aux taxes sur les produits (90%)
	Émissions GES (tCO2eq/GW)	24 000ktCO2eq/GW III Donnée issue d'une moyenne calculée à partir de 2 ACV	<ul style="list-style-type: none">> D'autres impacts environnementaux autour des PAC doivent être considérés notamment autour des PFAS qui contaminent l'eau et les sols> Si le mix énergétique est non-décarboné, ceci a une incidence importante sur les émissions GES
	MCS* (Sans unité)	PEMFC – 3,5 II	<ul style="list-style-type: none">> Plusieurs travaux en R&D en cours afin de trouver des catalyseurs alternatifs au Platine qui permettrait de réduire la criticité des MCS dans la technologie PEM

INDICATEURS	VALEUR	OBSERVATIONS
 Besoin de financement (\$/kWh)	16 M\$/GWh III Donnée issue d'une moyenne calculée à partir de 7 projets (pression et type différents)	<ul style="list-style-type: none">> Différence de coût significative selon le type de réservoir: réservoirs de type IV environ 300% plus coûteux que les type I> C'est la tendance inverse qui est observée au niveau du poids par volume de gaz stocké> Contrairement au segment des électrolyseurs, le coût des matériaux a une incidence importante sur le coût de manufacture des réservoirs
 Besoin en électricité (kWh/kgH ₂)	0,16 MW/GWh IV Donnée issue d'une moyenne calculée à partir des flux électriques pris en compte dans plusieurs ACV	<ul style="list-style-type: none">> Les procédés de fabrication des réservoirs sont supposés électro-intensifs dans la littérature: besoins de chauffage à haute température des polymères composants les liners internes avant leur emballage
 Emplois créés (ETP/réservoir)	9 ETP/1000réservoir IV Donnée issue d'une moyenne calculée à partir de 2 projets	<ul style="list-style-type: none">> Emplois créés pourraient être comblés à court-terme avec des ressources du secteur de l'aéronautique où les procédés de manufacture utilisés sont similaires surtout au niveau de l'enroulement filamentaire
 Salaire moyen (\$/an)	- Donnée impossible à calculer: typologie d'emplois non disponible dans la littérature ou auprès des manufacturiers	<ul style="list-style-type: none">> La main-d'œuvre représente une part d'environ 9% du coût total de manufacture de réservoirs> L'augmentation significative du salaire moyen serait un élément déclencheur d'une orientation vers l'automatisation des procédés de manufacture

Analyse des indicateurs socio-économiques | Réservoirs stationnaires

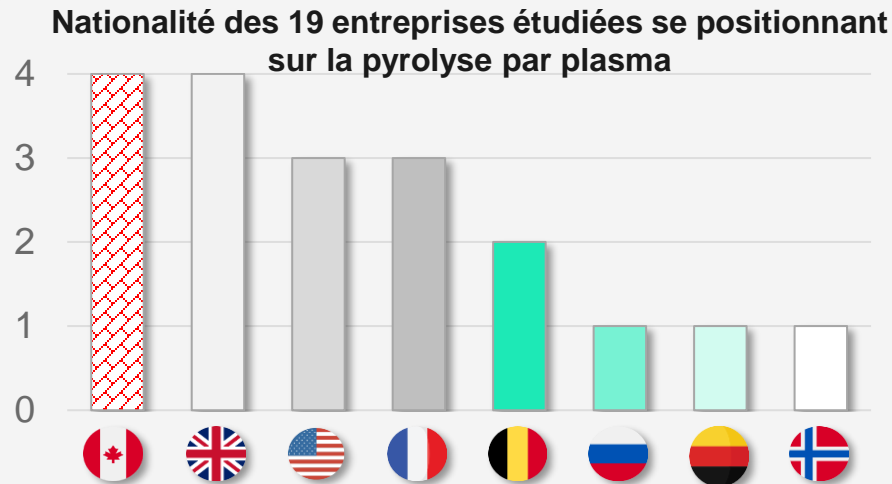


INDICATEURS	VALEUR	OBSERVATIONS
 <p>Type d'emplois (%)</p>	<p>-</p> <p>Donnée impossible à calculer: typologie d'emplois non disponible dans la littérature ou auprès des manufacturiers</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Emplois créés demandent une bonne connaissance des procédés compris dans la manufacture des réservoirs (ex: enroulement des filaments de fibre de carbone pour produire le liner interne) et un contrôle qualité adéquat > Typologie d'emplois différente selon le type de réservoirs: Type I et II surtout de la forgerie, Type III: surtout de l'assemblage et de l'enveloppement, Type IV: expérience en extrusion polymérique
 <p>Revenus gouvernement Québec (M\$/GW)</p>	<p>-</p> <p>Donnée impossible à calculer: valeur du salaire moyen requis</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Malgré qu'une estimation de la demande en réservoirs demeure nécessaire, certaines applications ciblées par la stratégie sur l'H₂ vert et les bioénergies tels que le stockage saisonnier résulteront en une demande croissante en ces équipements attirant alors des manufacturiers à long-terme > La part reliée à la taxe sur les produits générés par les manufacturiers pourrait représenter la part la plus importante des revenus générés (à l'image des autres segments)
 <p>Émissions GES (ktCO₂eq/kgH₂)</p>	<p>18224 ktCO₂eq/GWh IV</p> <p>Donnée issue d'une moyenne calculée à partir de plusieurs ACV</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Certains procédés de fabrication des réservoirs se déroulent à haute température nécessitant donc un apport en énergie important > Si le mix énergétique est non-décarboné, ceci a une incidence importante sur les émissions GES
 <p>MCS* (Sans unité)</p>	<p>Gazeux – 3,3 II</p> <p>Liquide – 2,7</p>	<ul style="list-style-type: none"> > MCS en tension avec la filière batterie: aluminium, carbone, chrome, fer, nickel, titane > Des efforts R&D existent autour la substitution des MCS présents dans les réservoirs mais se concentrent surtout sur les systèmes de sécurité

Analyse réacteurs H₂ | Étude des joueurs qui se positionnent



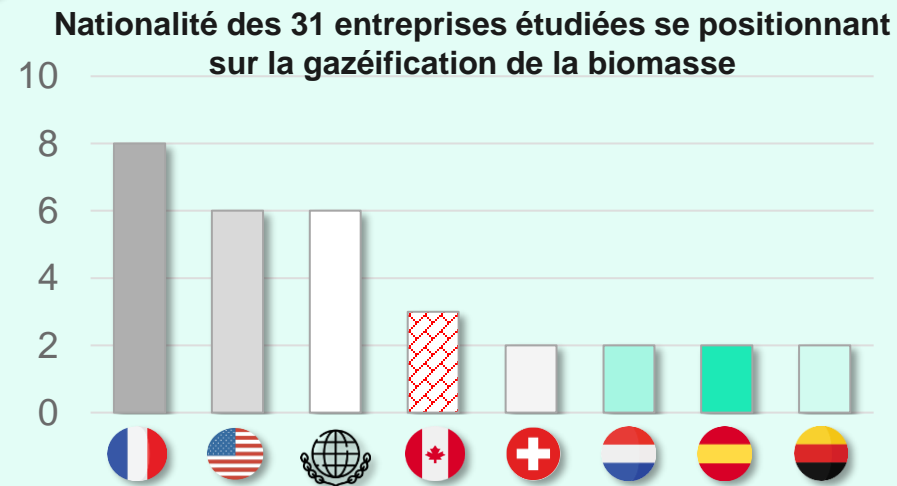
Pyrolyse par plasma



- Sur la pyrolyse par plasma, le Canada est un acteur particulièrement dynamique avec 4 entreprises sur 19 balisées.
- Ces joueurs sont majoritairement des entreprises qui ont **développé des procédés plasma pour d'autres applications** (séparation de métaux, gestion des déchets, fabrication additive, etc.); **ou des jeunes pousses issues d'universités** (6K – Université d'Alberta; Cambridge Nanosystem – Cambridge, etc.).
- Les entreprises **sont particulièrement jeunes**, elles ont été créées en majorité entre 2008 et 2012; ou après 2021. **Ce sont de petites et moyennes entreprises aux TRL faibles**. Seul Monolith a passé l'échelle industrielle avec son expansion d'usine à Olive Creek (É.-U.) prévue pour 2025.



Gazéification biomasse/déchet



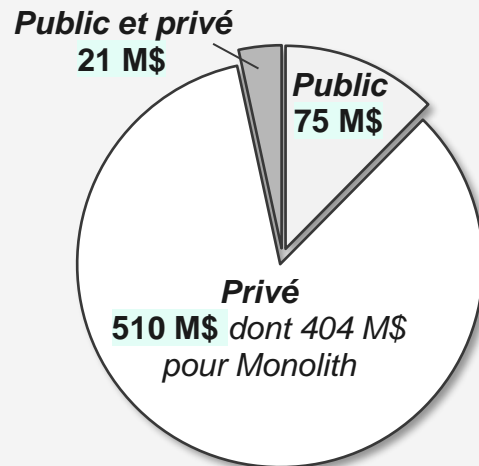
- Sur la gazéification de la biomasse, 3 entreprises sur les 31 balisées sont de nationalité canadienne. **La France et les É.-U. se démarquent** sur ce segment.
- **La majorité des acteurs sont des spécialistes des réacteurs H₂** qui se développent uniquement sur ce créneau.
- **Au moins 9 des 43 projets de développement de ces réacteurs sont en collaboration avec des instituts de recherche.**
- Sur les 31 entreprises, **3 ont fermé par manque de modèle d'affaires rentable, incapacité financière et/ou incapacité à se fournir en intrants.**

Analyse réacteurs H₂ | Financement et partenariat



Pyrolyse par plasma

Au total ce sont **606 M\$** d'investissement dans la filière pyrolyse du méthane qui ont été balisés

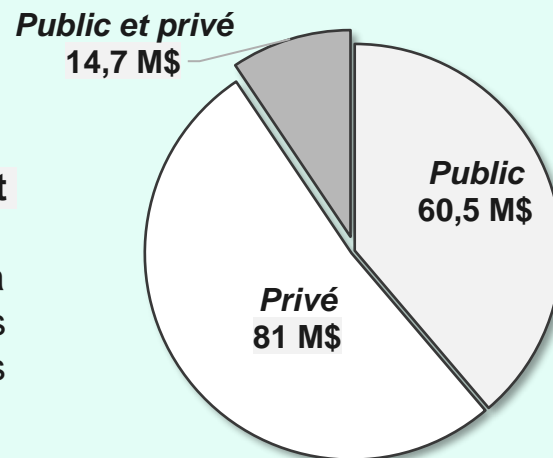


- Des partenariats se forgent **entre les fournisseurs de solutions technologiques** et les industriels pour développer des **réacteurs produisant des extrants carbonés personnalisés** :
 - **Production de noir carbone pour les pneus**: Monolith et Good Year
 - Études en cours pour développer des solutions **produisant du graphite pour la filière batterie** – Aurora Hydrogen
- La majorité des fonds de Monolith proviennent d'une levée de fond faite en 2022. **Une aide de 1,35 Mds \$ a également été accordée par le Department of Energy**, mais n'est pas représentée dans le graphique ci-contre car elle prend la forme d'un prêt.



Gazéification biomasse/déchet

Au total ce sont **156 M\$** d'investissement dans la filière gazéification de la biomasse/déchets qui ont été balisés



- **Les porteurs de solutions technologiques développent des partenariats stratégiques avec des organismes de recherche et développement** (InEnTec – MIT, Materia Nova - l'Université de Mons, etc.) **pour optimiser les performances de leurs technologies.**
- Des partenariats **se forgent également en collaboration avec les fournisseurs d'intrants potentiels** tels que les associations agricoles et/ou industrie pâtes et papier pour récupérer les résidus agricoles et municipalités pour collecter les déchets municipaux (Mote – Municipalité de Sacramento)

Analyse réacteurs H₂ | Valeur ajoutée pour l'économie québécoise



Pyrolyse par plasma

Exemple d'entreprises canadiennes

Joueurs	Province	Éléments distinctifs
AURORA HYDROGEN	Alberta	Pourrait produire du graphite de qualité batterie
innovahydrogen	Alberta	Nommée parmi les 15 jeunes entreprises les plus innovantes du Canada en 2023
NU:IONIC TECHNOLOGIES	Nouveau Brunswick	A annoncé un projet de 2400 kg H₂/j d'ici 2025 au Nouveau Brunswick
PYROGENESIS	Québec	Entreprise mature (51-200 employés) avec technologie éprouvée sur marchés hors H ₂

Interactions intéressantes de la pyrolyse du méthane dans l'économie québécoise

- Les **co-produits potentiels de la production d'H₂ ont des synergies fortes avec l'économie québécoise** : graphite pour l'utilisation dans les usines de production de batterie et/ou d'électrolyseurs (en cas de soutien de la filière).
- **Moins de congestion sur les capacités électriques** : jusqu'à **7x moins d'électricité** nécessaire pour la production d'H₂ que par les électrolyseurs en théorie.
- **Synergie avec le développement de la filière GNR** : En cas d'utilisation de GNR en intrant, l'H₂ produit séquestre du CO₂.



Gazéification biomasse/déchet

Exemple d'entreprises canadiennes

Joueurs	Province	Éléments distinctifs
OMNI CONVERSION TECHNOLOGIES	Ontario	Usines déjà en opération en Californie
MINNOVA CORP.	Ontario	Usine pilote planifiée au Manitoba
REN*energy	Colombie Britannique	Usine pilote planifiée en Colombie Britannique
PYROGENESIS	Québec	L'expertise plasma est également utilisée pour produire un gaz de synthèse à partir de déchets

Interactions intéressantes de la gazéification dans l'économie québécoise

- Les **gisements de biomasse forestière, agricole et municipale sont importants** – dans sa stratégie sur l'H₂ vert et les bioénergies pour 2030 le Québec identifie 19,2 Mt anhydre de biomasse ou 326 PJ en équivalent énergétique en 2019.
- **80% des minéraux qui composent ces réacteurs** sont identifiés comme des MCS par la stratégie provinciale.
- Les **procédés sont versatiles** et pourraient prendre en intrant des déchets municipaux, hospitaliers, etc.

Étude socio-économique du développement de la filière | Interactions filière batterie



L'étude socio-économique du développement de la filière a permis d'identifier des observations qui ont servi à alimenter l'**analyse des interactions à haut-niveau entre la filière hydrogène et la filière batterie**. Ces interactions sont étudiées sous 4 axes: **MCS, technologies, main-d'œuvre et politiques**.

Technologies



DES SYNERGIES TECHNOLOGIQUES FORTES EXISTENT ENTRE LES DEUX FILIÈRES

Cette synergie technologique est surtout observée au niveau des batteries et des électrolyseurs qui sont deux **technologies modulaires** bien adaptées à une manufacture à grande échelle. Les progrès technologiques observés au niveau des batteries sont plus avancés que ceux des électrolyseurs avec les coûts des batteries lithium-ion qui se voient diminuer de manière significative grâce au passage à l'échelle des procédés de manufacture. Le passage à l'échelle au niveau des électrolyseurs est à un stade plus précoce mais les réductions au niveau des coûts évoluent de manière importante avec plusieurs objectifs établis par le Department of Energy aux États-Unis. **Les synergies technologiques entre les deux filières se déclinent en 3 éléments:**



Procédés similaires

Les batteries et les électrolyseurs sont **basés sur les mêmes principes électrochimiques** permettant à la filière hydrogène de profiter des connaissances et de l'expertise générées pour réduire les cycles de passage à l'échelle et les coûts associés.

Ces deux filières partagent plusieurs composants tels que les électrolytes, les matériaux composant les membranes et les procédés de manufacture. C'est ce qui explique le fait que certains manufacturiers comme Toray ou BASF proposent les deux solutions.



Applications complémentaires prometteuses

Les efforts actuels en termes d'application de l'électrolyse sont concentrés autour de procédés basés sur les énergies renouvelables tels que le solaire ou l'éolien qui sont des **sources intermittentes** ne permettant pas une production stable. **L'intégration d'une batterie** qui permet le stockage de l'énergie en amont permet de générer une source d'alimentation stable aux électrolyseurs soulignant un exemple de la **complémentarité de ces deux technologies** qui peut exister. Ce scénario d'application est de plus en plus fréquent grâce à la réduction des coûts des batteries.



Enjeux de recherche et développement communs

Malgré la maturité élevée de la filière batterie, quelques enjeux R&D demeurent à maîtriser et plusieurs d'entre eux sont complémentaires aux enjeux ciblés pour la filière hydrogène:

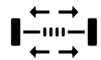
- **Substitution des MCS:** nécessité de remplacer les MCS composants les technologies par la découverte de nouveaux matériaux grâce à l'IA
- **Recyclage des MCS:** nécessité de trouver des moyens de récupérer les métaux qui composent les technologies
- **Amélioration de la durabilité des matériaux catalytiques et des membranes**

MCS



DES INTERACTIONS EXISTENT SUR QUELQUES MCS ENTRE LES DEUX FILIÈRES  Zoom à la p.102

L'identification de MCS communs aux technologies de la filière hydrogène et la filière batterie permet d'estimer la **tension** et la **criticité** qui se crée autour de ces derniers par le développement des deux filières respectives. Cette réflexion est en alignement avec le **Plan québécois pour la valorisation des minéraux critiques et stratégiques** qui vise à faire du Québec un chef de file de la production, de la transformation et du recyclage des minéraux critiques et stratégiques en partenariat avec les milieux régionaux et autochtones. L'importance de ce Plan est illustrée par les **tensions géopolitiques** récemment observées tels que les restrictions chinoises sur l'export du gallium, germanium et du graphite. L'installation de ce contexte rend la **cartographie des MCS** de plus en plus nécessaire afin d'identifier les **risques liés à la chaîne d'approvisionnement** et les **moyens de mitiger les goulots d'étranglements futurs**. Notre analyse se limite à l'identification des MCS en tension et l'évaluation de la criticité de ces derniers.



Identification des MCS en tension

Les MCS présents dans chacune des technologies reliées aux équipements étudiés (batterie, électrolyseurs, PAC, réservoirs stationnaires et réacteurs H₂) ont été recensés et un score de tension a été déterminé pour chaque MCS en atelier avec le MRNF. Une échelle de tension croissante de 1 à 5 a été établie. Les MCS possédant une tension de 4 ou plus sont les suivants:

Carbone – en tension avec la filière batterie mais synergie possible (graphite issu de la pyrolyse du méthane)

Cobalt – en tension car disponible en petite quantité, concentration des mines au Congo

Iridium – en tension car produit en petite quantité

Lithium – A long terme, 95% de la demande au niveau de la filière batterie (actuellement plutôt de l'ordre de 80-90%)

Nickel – en moins forte tension que les autres MCS mais concentration des mines en Indonésie

Ces tensions concernent majoritairement les technologies d'électrolyse et les batteries lithium-ion.



Évaluation de la criticité des MCS en tension

Dans une perspective d'étudier la tension sur les MCS communs entre la technologie étudiée et le Québec, un **indice de criticité** (présenté en S102) a été calculé. Ce dernier correspond à la moyenne des tensions des MCS **qui composent la technologie et** qui sont **inscrits dans le plan provincial**. Par segment d'équipements, les technologies avec les indices de criticité les plus élevés sont les suivantes:

Batteries lithium-ion: 100%*

Électrolyseurs ALK: 67%

Piles à combustible PEM: 75%

Réservoirs gazeux: 80%

Réacteurs de pyrolyse par plasma: 80%

**%des MCS composants la technologie listés dans le plan provincial*

Étude socio-économique du développement de la filière | Zoom sur les MCS



Un **indice de criticité** a été calculé. Ce dernier correspond à la moyenne des tensions des MCS qui composent la technologie et qui sont inscrits dans le plan provincial. La tension sur les MCS a été évaluée en atelier en collaboration avec le MRNF.

Minéraux	MCS Québec?	Tension	Batterie	Électrolyseurs				PAC	Réservoirs stationnaires		Réacteurs H2	
			Li-ion	ALK	PEM	AEM	SOEC	PEMFC	Gazeux	Liquide	Gazéification biomasse	Pyrolyse méthane
Aluminium	Oui	2	1	1	1				1	1	1	1
Argent	Non	1			1	1						
Carbone	Oui	4	1	1	1	1			1			
Cerium	Oui	2				1	1					
Chrome	Non	-		1	1	1	1	1	1	1		1
Cobalt	Oui	4	1	1		1	1					
Cuivre	Oui	3	1		1	1	1				1	1
Fer	Oui	-	1	1	1	1	1		1	1		1
Gadolinium	Non	-					1	1				
Iridium	Oui	4			1	1						
Lanthanum	Oui	2				1	1					
Manganèse	Oui	3	1				1					
Molybdène	Non	-		1		1						
Lithium	Oui	4	1									
Nickel	Oui	4	1	1	1	1	1	1	1	1		1
Or	Non	1			1							
Platine	Oui	3			1	1		1				
Ruthénium	Oui	3			1	1						
Scandium	Oui	1					1					
Silicium	Oui	1	1									
Titane	Oui	2		1	1	1	1			1		
Yttrium	Oui	3					1					
Zirconium	Non	-		1			1					
Indice de criticité des MCS Québec		-	3.43	3.20	3.30	3.10	2.7	3.50	3.33	2.67	2.50	3.00

Criticité (faible à élevée) 0 1 2 3 4 5

Étude socio-économique du développement de la filière | Interactions filière batterie



Main-d'œuvre

UNE TYPOLOGIE D'EMPLOIS SIMILAIRES

L'étude de l'indicateur socio-économique sur la typologie des emplois permet de **caractériser à haut-niveau les compétences qui seront requises à la suite du développement de la filière** hydrogène. Certaines typologies d'emplois sont similaires à celles retrouvées dans la filière batterie. Une étude sur les besoins en main-d'œuvre permettrait de mieux planifier la formation professionnelle, de garantir une croissance économique équilibrée et de répondre aux besoins du marché du travail. Notre analyse se limite à l'étude des typologies d'emplois à haut-niveau.

Politiques



DES TECHNOLOGIES COMPLÉMENTAIRES

Les **politiques locales** ont une incidence importante sur le **développement des filières industrielles et l'adoption des technologies** qui en font partie. Au Québec, le **PEV 2030** ainsi que la **Stratégie sur l'H₂ vert et les bioénergies** présentent respectivement la batterie et les technologies hydrogène comme des piliers clés de la décarbonation. Ces politiques positionnent ces filières et les technologies qui en font partie comme deux débouchés complémentaires pour un avenir énergétique propre.



Typologie d'emplois et formation

Une typologie d'emplois similaire entre les deux filières: des similarités dans les typologies d'emplois entre les électrolyseurs et piles à combustibles et la filière batterie; une majorité de profil techniciens et ingénieurs. Au niveau des compétences, le besoin est présent à la fois sur des compétences transverses (sécurité et réglementation) que sur des besoins d'expertises pointues (système H₂).

Une offre de formation qui est dans une dynamique de construction: différentes universités au Québec forment une main-d'œuvre qualifiée et les zones d'innovation de la VTÉ se penchent sur le développement de compétences spécifiques aux deux filières.



Politiques soutenant les deux filières

PEV 2030: Ce plan fait référence à la fois à la filière batterie avec des applications qui ciblent notamment le secteur du transport et le stockage d'énergie et la filière hydrogène comme solution complémentaire à l'électricité lorsque cette dernière n'est pas une solution économiquement rentable ou possible pour remplacer les énergies fossiles.

Stratégie sur l'hydrogène vert et les bioénergies: Cette stratégie priorise plusieurs applications de la filière hydrogène pour lesquelles la demande en énergie sera desservie par Hydro-Québec en complémentarité avec d'autres filières dont celle de la batterie.



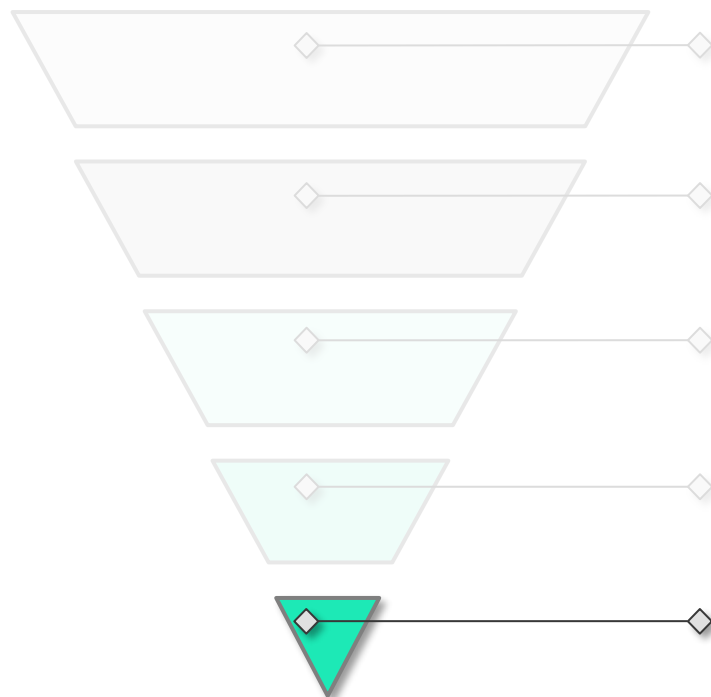
6. Synthèse et principaux constats

Synthèse et principaux constats | Rappel des enjeux et objectifs



Synthétiser les forces, faiblesses, menaces et opportunités pour la filière manufacturière H₂ au Québec. Puis, à partir des analyses, résultats et conclusions des étapes précédentes, établir un ensemble de constats soutenus par un argumentaire étayé et objectif.

Lien avec la méthodologie d'ensemble



1. ÉTUDE FINE DE L'ÉCOSYSTÈME MANUFACTURIER

- Analyse de plus de 350 acteurs de l'H₂ (*Annexe 1.A.*)
- Sélection de 200 acteurs à approfondir
- Étude de leur stratégie, ambitions, projets, partenariats etc..
- Rencontre avec une 15^{aine} d'acteurs de la filière H₂ (*Annexe 1.B.*)

2. ANALYSE APPROFONDIE DES ÉQUIPEMENTS H₂

- Segmentation de la chaîne de valeur en 14 équipements à analyser finement
- Approfondissement des marchés associés, des grands projets, des MCS, des dynamiques R&D etc...

3. SÉLECTION DE 4 SEGMENTS D'ÉQUIPEMENTS STRATÉGIQUES

- Identification des critères clés pour prioriser les segments : alignement avec la stratégie H₂, capacités Québécoises etc..
- Calcul d'un score pour chaque segment puis sélection des 4 segments les plus prometteurs

4. ANALYSE DES IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

- Sélection de 9 indicateurs reflétant l'impact socio-économique du développement de la filière manufacturière
- Étude de ces indicateurs pour les 3 segments les plus matures
- Analyse spécifique pour les segments émergents

5. SYNTHÈSE ET PRINCIPAUX CONSTATS

- Définition de 8 grands constats qui ressortent des analyses précédentes
- Élaboration d'argumentaires associés à ces constats



Enjeux principaux

- Synthétiser une grande quantité d'information pour en retirer des analyses à haut niveau sur le développement de la filière
- Traduire cette synthèse en un ensemble de constats factuels, clairs, objectifs et pragmatiques



Périmètre d'analyse

- Les 4 segments stratégiques : électrolyseurs, piles à combustibles, réservoirs stationnaires et réacteurs H₂

Synthèse et principaux constats | Aide à la lecture des constats



Dans un objectif de neutralité et d'objectivité, chaque constat présenté ci-après est étayé par un argumentaire factuel et basé sur l'analyse de l'écosystème et les retours des acteurs interrogés.



CONSTAT

Les constats sont des observations objectives qui ressortent de l'analyse ou des entretiens avec les manufacturiers

ARGUMENTAIRE

L'argumentaire appuie et illustre le constat. Il permet de donner de la profondeur à l'analyse

Constat #1 | Le contexte réglementaire actuel favorise le développement de manufacturiers aux É.-U.

-  Les É.-U. ont mis en place des politiques qui incitent largement les manufacturiers à s'installer localement —
- Historiquement, une majorité de la production industrielle a été délocalisée en Asie pour minimiser les coûts de production. Récemment, les activités manufacturières ont été ramenées aux É.-U. à la suite de réglementations et politiques favorables
- Le Buy American Act oblige les entités fédérales à s'approvisionner en biens produits aux É.-U. et qui possèdent leurs chaînes d'assemblage sur place
 - **Effet négatif sur les potentiels marchés d'exportations** de joueurs qui s'implanteraient au Québec qui comptent sur l'approvisionnement des entités fédérales des É.-U.
- L'Inflation Reduction Act favorise la multiplication des projets de production H₂ aux É.-U. – ce qui tire la demande – et le Bipartisan Infrastructure Law finance les activités manufacturières à travers la création de HUBS H₂
 - L'IRA offre des crédits de taxe pour la production d'hydrogène (jusqu'à 3\$ par kg de H₂ produit)
 - \$7 Mds ont également été investis pour le développement des HUBS H₂ aux É.-U.
-  Une bonne compréhension de ces politiques et de leurs limites permettrait d'enclencher les leviers les plus pertinents
- Le Québec peut identifier les lacunes dans le secteur manufacturier des É.-U. et dans ces textes pour être en mesure de les combler avec ses différentiateurs
 - **Certaines réticences se font ressentir** du côté des É.-U. face au Buy American Act par exemple : impossibilité de mise en œuvre, augmentation des coûts des projets etc..
 - Exemple de la capacité du QC dans les batteries : 28% des cathodes en Amérique du Nord seront produites à Bécancour d'ici 2030

Constat #1 | Le contexte réglementaire actuel favorise le développement de manufacturiers aux É.-U.



Les É.-U. ont mis en place des politiques qui incitent largement les manufacturiers à s'installer localement




- Historiquement, **une majorité de la production industrielle a été délocalisée en Asie** pour minimiser les coûts de production. Récemment, les **activités manufacturières ont été ramenées aux É.-U.** à la suite de réglementations et politiques favorables
- Le Buy American Act **oblige les entités fédérales à s'approvisionner en biens produits aux É.-U.** et qui possèdent leurs chaînes d'assemblage sur place
 - **Effet négatif sur les potentiels marchés d'exportations** de joueurs qui s'implanteraient au Québec qui comptent sur l'approvisionnement des entités fédérales des É.-U.
- L'Inflation Reduction Act **favorise la multiplication des projets de production H₂ aux É.-U.** – ce qui tire la demande – et le Bipartisan Infrastructure Law **finance les activités manufacturières** à travers la création de HUBs H₂
 - L'IRA offre des crédits de taxe pour la production d'hydrogène (jusqu'à 3\$ par kg de H₂ produit)
 - \$7 Mds ont également été investis pour le développement des HUBS H₂ aux É.-U.



Une bonne compréhension de ces politiques et de leurs limites permettrait d'enclencher les leviers les plus pertinents

- Le Québec peut identifier **les lacunes dans le secteur manufacturier des É.-U. et dans ces textes** pour être en mesure de les combler avec ses différentiateurs
 - **Certaines réticences se font ressentir** du côté des É.-U. face au Buy American Act par exemple : impossibilité de mise en œuvre, augmentation des coûts des projets, etc.
 - Exemple de la capacité du QC dans les batteries : 28% des cathodes en Amérique du Nord seront produites à Bécancour d'ici 2030

Constat #2 | Le Québec a la particularité de pouvoir récupérer de la valeur sur toute la chaîne d'approvisionnement

-  — **La présence de MCS contenus dans les technologies H₂ est un avantage stratégique important pour le Québec** —
 - Chacune des 9 technologies qui composent les 4 segments d'équipements stratégiques **sont composées d'au moins 50% de MCS** qui sont identifiés par la stratégie provinciale - **dont 7 technologies à plus de 75% de MCS communs avec la vision Québec.**
 - **Les MCS sont identifiés comme un enjeu clé par les manufacturiers.** Le marché des MCS est particulièrement **volatil et sensible** aux effets d'annonces des projets.
 - À titre d'exemple, plus de 60% du coût d'une cellule de PEMFC est lié au platine
-  — **La main-d'œuvre du Québec est qualifiée et capable d'assumer les phases à haut contenu technologique** —
 - Lors de l'implantation d'un manufacturier, **une analyse poussée est élaborée pour identifier les composants à importer ou produire sur place.** Le Québec a une main-d'œuvre capable **d'assumer la majorité des étapes manufacturières**, notamment celles les plus complexes.
-  — **Une attention toute particulière est nécessaire pour récupérer de la valeur sur toutes les étapes de production** —
 - Lors de l'implantation d'un manufacturier, **une analyse fine de ses chaînes d'approvisionnement** permettra de s'assurer de ne pas positionner uniquement le Québec en tant que territoire où **l'on extrait les minerais puis on assemble des solutions technologiques finies** mais encourager au **maximum le développement des étapes intermédiaires** (transformation des minerais, production de sous-composants, etc.)

Constat #3 | Les choix technologiques sont clés dans un écosystème manufacturier en développement

— — Dans un contexte d'innovations rapides et changeantes, tout miser sur une seule technologie serait très risqué —

- À l'instar de ce qu'il se produit dans la filière batterie, **certaines technologies qui dominent le marché actuellement** (électrolyseurs alcalins, stockage gazeux, etc.) pourraient **se voir remplacer progressivement par des technologies plus efficaces/adaptées** aux besoins du marché. Pour faire face à ce défi, certains manufacturiers développent des usines adaptables pouvant faire la transition d'une technologie à une autre rapidement.

— — L'innovation collaborative comme levier de développement de technologies nouvelles —

- **Renforcer le maillage recherche/industrie** et **offrir un soutien financier** permettent de dé-risquer la démarche d'innovation.
 - Il pourrait être intéressant pour cela de s'appuyer sur les **regroupements sectoriels de recherche industrielle**: PRIMA, InnovÉE, etc. et le **pôle d'innovation Hydrogène de la VTÉ**.
- **Faciliter la transition des échelles de laboratoires à projets pilotes**, notamment pour les segments stratégiques moins matures (électrolyseurs AEM, réacteurs H2, stockage liquide).
 - Certains programmes d'innovation d'Investissements Québec permettent d'aider à la maturation de technologies (Programme Innovation, Productivité innovation, etc.).

— — L'innovation doit se déployer rapidement pour profiter de la fenêtre d'opportunité actuelle —

- Dans une optique de délivrer des solutions dans des temps cohérents avec les besoins du marché, **le secteur de la R&D profiterait de l'expérience et de l'expertise en gestion de projet d'innovation de certains joueurs industriels**

Constat #4 | Le risque d'inadéquation technologique entre les solutions de l'offre et de la demande est fort

Les innovations sont très présentes sur les segments étudiés et dans la filière H₂ de manière générale

- La diversité des solutions H₂ mises au point dans les laboratoires et, plus récemment, dans les unités de taille commerciale, **a créé une dynamique d'innovation dans toutes les directions** - soutenue par la concurrence économique entre les entreprises et les régions. Cela soutient **une économie fragmentée** dans laquelle **les besoins et les innovations technologiques ne se rencontrent pas toujours**.

Il est nécessaire d'orienter et prioriser les développements pour s'assurer que les solutions trouvent un marché dans un horizon temporel aligné avec les besoins des industriels

- Les régions ont tout intérêt à **orienter l'innovation** vers de nouvelles techniques de fabrication, une moindre dépendance à l'égard de certains minéraux critiques ou l'utilisation d'intrants souhaitables (saumure ou l'eau contaminée pour les électrolyseurs par exemple). Cependant il est nécessaire de **définir des objectifs et priorités par technologies pour rationaliser les efforts et ne pas se disperser**.
 - *Ex : les électrolyseurs alcalins rencontrent des difficultés lorsque la source d'énergie est intermittente, dans le cas où les projets hors réseaux tels que TES Canada se développent au Québec, faut-il prioriser la R&D dans cette technologie?*
- Un développement trop diversifié de technologies peut **compliquer les efforts de standardisation et les initiatives autour de la fin de vie**. Avec trop de formes différentes de composants, le recyclage des minéraux précieux sera un défi.
 - *Des initiatives de priorisation de la R&D existent aux É.-U. avec les jalons fixés par le DOE pour chaque technologie. De même, en Europe, les « Strategic Innovation Milestone » ancrent une vision commune pour la recherche.*

Constat #5 | Il existe plusieurs synergies technico-économiques entre les segments et la filière batterie.



Certains procédés de fabrication sont très similaires et demandent les mêmes composants

- **Soutenir les technologies/procédés similaires permet de faire rayonner plusieurs segments avec le même investissement**
 - *Il existe des complémentarités fortes entre les procédés de fabrication des PEMFC et les électrolyseurs PEM par exemple. Ceci est dû à la réversibilité des piles à combustible PEM, qui peuvent être utilisées en sens inverse pour l'électrolyse, et permet donc d'importantes synergies entre les efforts d'innovation des deux technologies.*



Du point de vue des MCS et de la main-d'œuvre des synergies avec la filière batterie sont également observées

- **De nombreux MCS sont contenus dans les technologies H₂ et dans les batteries lithium-ion développées au Québec** : aluminium, carbone, cobalt, cuivre, fer, manganèse, nickel. Il existe alors des complémentarités dans **la filière de recyclage, la R&D**, et pour **assurer une demande locale importante**.
- **Les typologies de métiers** développés par l'implantation des usines sont également **similaires** : techniciens, ingénieurs, support, vente, etc. Une analyse plus approfondie des besoins de main-d'œuvre permettrait de qualifier les ponts de main-d'œuvre entre les deux filières.



La limite est fine entre synergies et compétitions inter-filières

- Dans le cas où la main-d'œuvre et les MCS **se retrouvent en tension, ces synergies se transforment alors en compétition** (c.-à-d., un bassin de main-d'œuvre insuffisant pour les deux filières, et un approvisionnement de MCS trop faible pour soutenir les deux filières). Il serait alors intéressant de **quantifier précisément ces deux points pour caractériser les interactions entre les filières**.

Constat #6 | La capacité et la volonté d'accompagnement des autorités locales sont regardées de près par les manufacturiers



Les financements aident l'implantation des manufacturiers mais ne sont pas les seuls leviers d'actions

- L'ensemble des mesures ci-après **soutiennent activement l'implantation de manufacturiers** sur le territoire :
 - **Simplification des procédures d'implantation**
 - **Standardisation et certification des technologies**, élaboration de normes
 - **Positionnement du QC en tant qu'acheteur** d'une partie de la production
 - **Mise en contact avec l'écosystème industriel et académique local** et **aidez au développement de potentiels sous-traitants**



Le Québec profiterait de l'élaboration d'une vision commune sur les investissements directs étrangers

- **L'uniformisation du message** porté par le Québec et de « son image de marque » ainsi que **la mise en commun des efforts pour attirer des manufacturiers étrangers** amélioreraient l'efficacité des actions portées dans ce domaine

Constat #7 | La course est lancée et le Québec dispose d'atouts stratégiques pour se positionner.



Les capacités industrielles sont déjà bien développées sur les segments stratégiques les plus matures

- Sur ces marchés, **le rapport de force actuel est plutôt du côté des manufacturiers**. La majorité des acteurs internationaux sont des manufacturiers bien établis, de grandes tailles, et qui se diversifient avec l' H_2 et cherchent la localisation la plus intéressante pour eux.
- Ces joueurs recherchent en priorité **une demande locale pour leurs équipements, de la main-d'œuvre qualifiée, du soutien et des relais locaux, une électricité peu chère et décarbonée, des MCS en lien avec les technologies H_2** , etc.
- **De larges investissements ont déjà été observés** sur les marchés des électrolyseurs, des piles à combustible et des réservoirs, mais aucun au Québec. Cependant, la majorité des besoins des manufacturiers sont similaires avec ce que propose le territoire – **le Québec est donc en posture favorable pour accueillir de prochains investissements**.



Certains marchés stratégiques émergents résonnent fortement avec les atouts du Québec

- Les acteurs qui prennent des risques en se lançant sur les marchés encore en développement des **réacteurs H_2** ou des **électrolyseurs AEM**, **recupèrent des parts de marché et des retours d'expériences précieux**
- **Des expertises sur les procédés de gazéification et pyrolyse par plasma** sont détenues par les universités McGill, Polytechnique, INRS, UQTR, Concordia, Sherbrooke, etc. Des entreprises comme **Pyrogenesis** au Québec, ou **Cypher Neutron** en Ontario sont également prometteuses sur ces marchés émergents.

Constat #8 | L'absence de signal clair des politiques actuelles freine l'implantation des manufacturiers H₂



— Le développement d'une politique industrielle chiffrée permet de réduire le risque et l'incertitude des joueurs —

- Le **rationnel principal** dans le choix d'implantation d'un manufacturier réside dans **sa confiance envers la demande locale**. Le déploiement d'une **politique industrielle manufacturière donnerait de la visibilité** et permettrait **de réduire le risque prévisionnel des investisseurs** et **promoteurs**.
- Plusieurs annonces de projets de grande envergure au Québec (TES, Greenfield, etc.) sont regardées de près par les manufacturiers, mais **la peur des effets d'annonces dans un écosystème H₂ très volatil freine les investissements**
- Une politique industrielle manufacturière chiffrée **compléterait la vision existante** développée dans Stratégie québécoise sur l'hydrogène vert et les bioénergies qui fixe le cap jusqu'à 2030. Elle pourrait détailler – entre autres - **les orientations R&D, l'implication du milieu universitaire, la part des équipements pour le marché local et pour l'exportation, la demande en MCS**, etc.



— Clarifier les technologies à prioriser et les standards à utiliser faciliteraient le passage à l'échelle —

- Il est **difficile de naviguer dans l'univers manufacturier H₂** du fait du caractère changeant de l'écosystème : **innovations régulières, standards qui varient selon les géographies, les projets, etc.** Une politique industrielle manufacturière donnerait **les orientations et une vision claire** pour les équipementiers.

ANNEXES



ANNEXE.1 Méthodologie détaillée

ANNEXE 1.A. | Base de données et type d'informations recherchées



L'analyse se base sur une étude fine des joueurs constituant l'écosystème manufacturier. Pour ce faire, une revue complète des manufacturiers québécois et internationaux a été réalisée, balisant au total plus de 300 acteurs de l'écosystème.

Processus d'analyse de l'écosystème

Liste consolidée | 312 acteurs



Critères d'élimination | Ex : taille de l'entreprise, secteur activité, etc.

Liste préliminaire | 156 manufacturiers



Critères d'analyse haut niveau | Ex : Ambitions H₂, Influence, etc.

Liste travaillée | 156 manufacturiers triés et analysés

Analyse écosystème approfondie | Ex : Voir ci-contre

Livrable analyse écosystème | 14 Segments de production d'équipement



Zoom sur l'analyse de l'écosystème

- 1 | **Caractérisation fine de l'acteur** : taille, présence au Qc, géographie, etc.
- 2 | **Identification du segment de production d'équipements**
- 3 | **Analyse des technologies utilisées et de la propriété intellectuelle**
- 4 | **Analyse des capacités de production** : nombre d'installations, capacités installées, commandes, etc.
- 5 | **Partenariats stratégiques/technologiques** : rachats, joint-venture, implémentation dans pays étrangers, partenariats fournisseurs techno., etc.
- 6 | **Autres informations utiles** : ambitions, positionnement concurrentiel, projets clés, applications des technologies, etc.

Acteur	Segment de production	Technologie	Capacité	Partenariat	Autres
ABB	Équipement d'automatisation	ABB Robot	100 000	ABB	ABB
ABB	Équipement d'automatisation	ABB Robot	100 000	ABB	ABB
ABB	Équipement d'automatisation	ABB Robot	100 000	ABB	ABB
ABB	Équipement d'automatisation	ABB Robot	100 000	ABB	ABB
ABB	Équipement d'automatisation	ABB Robot	100 000	ABB	ABB



312 acteurs
Haut niveau

156 manufacturiers
Analyse fine

+800 sources
Utilisées

ANNEXE 1.B. | Entretien avec les acteurs de la filière H₂



En parallèle de cette analyse de l'écosystème, **les joueurs de la filière H₂ ont été rencontrés individuellement** pour comprendre leurs besoins et attentes. Par ailleurs, le comité de pilotage du projet se composait de **plusieurs institutions gouvernementales** et les résultats ont été présentés plusieurs fois à un panel d'experts du milieu de l'H₂.

Joueurs rencontrés individuellement



Comité de pilotage



Experts du milieu

