



STRATÉGIE CANADIENNE POUR L'HYDROGÈNE

Saisir les possibilités pour l'hydrogène

Appel à l'action

Décembre 2020

AVIS DE NON-RESPONSABILITÉ

La *Stratégie canadienne pour l'hydrogène* (la « stratégie ») présente le point de vue de nombreux intervenants de l'ensemble des gouvernements et de l'industrie, ainsi que d'organismes autochtones, d'organisations non gouvernementales et du milieu universitaire. Bien que le gouvernement du Canada en ait dirigé l'élaboration et ait mené de vastes consultations auprès de l'industrie, la stratégie – y compris les constatations et les recommandations – représente un amalgame de perspectives qui pourraient ne pas être approuvées à l'unanimité par tous les organismes participants et leurs employés.

Also available in English under the title: Canadian Strategy for Hydrogen
Cat. No. M134-65/2020F-PDF (Online) ISBN 978-0-660-36761-3

Avant-propos de la Stratégie canadienne pour l'hydrogène

Depuis plus de cent ans, les esprits les plus brillants de notre pays travaillent à la technologie qui transformera la promesse invisible de l'hydrogène en solutions tangibles. Encore une fois, l'ingéniosité et l'innovation canadiennes nous amènent à un moment charnière.

Maintenant qu'il faut rebâtir notre économie secouée par la COVID-19 et combattre la menace existentielle des changements climatiques, le développement de l'hydrogène à faibles émissions de carbone constitue une priorité stratégique pour le Canada. Le moment est venu d'agir sur ce front.

La *Stratégie canadienne pour l'hydrogène* établit un ambitieux cadre d'intervention pour faire de l'hydrogène un outil de choix pour atteindre la carboneutralité d'ici 2050 et placer le Canada à l'avant-garde de l'industrie des combustibles propres.

Cette stratégie nous montre que l'hydrogène propre peut nous mettre sur la voie pour atteindre notre objectif de carboneutralité en 2050, tout en créant des emplois, en stimulant l'économie et en protégeant l'environnement. Pour ce, il faudra remplacer l'essence classique, le diesel et le gaz naturel par des combustibles à émissions nulles, en profitant de nouveaux cadres réglementaires et en embrassant les nouvelles technologies afin de donner aux Canadiens plus de solutions de recharge zéro émission.

Le Canada figure aujourd'hui parmi les dix premiers producteurs d'hydrogène dans le monde. Nous disposons de grandes quantités des matières premières pour la production d'hydrogène, notre secteur énergétique est vigoureux et nous avons des atouts géographiques qui nous propulseront au rang des principaux exportateurs d'hydrogène et de technologies connexes.

L'hydrogène est peut-être la plus petite molécule de la nature, mais son potentiel est énorme. L'hydrogène offre de nouveaux marchés pour nos ressources énergétiques classiques, ainsi que la possibilité de décarboner bon nombre des secteurs de notre économie, dont ceux de l'extraction des ressources, du transport de marchandises et de passagers, de la production d'électricité, du secteur manufacturier, ainsi que de la production d'acier et de ciment.

Cette stratégie est un appel à l'action. Elle stimulera les investissements et les partenariats stratégiques à l'échelle du pays et au-delà de nos frontières. Elle permettra au Canada de tirer parti de possibilités économiques et environnementales présentes sur l'ensemble de son territoire. En développant nos exportations et en créant jusqu'à 350 000 bons emplois verts au cours des trente prochaines années. Tout en réduisant radicalement nos émissions de gaz à effet de serre. Afin qu'un avenir carboneutre soit à notre portée.

La pandémie a mis en relief l'importance de nos secteurs des ressources et des technologies propres. Afin de saisir pleinement les possibilités offertes par l'hydrogène, il nous incombe maintenant de mobiliser notre volonté, notre expertise et nos ressources financières combinées.

Cette stratégie est le fruit de trois années d'études et d'analyses, y compris de vastes séances de consultation, où plus de 1 500 éminents experts et intervenants de notre pays ont apporté leur éclairage. Pourtant, sa publication ne marque pas l'aboutissement d'une démarche. Ce n'en est que le début.

Ensemble, nous utiliserons cette stratégie pour guider nos actions et nos investissements. En travaillant avec les provinces et les territoires, avec nos partenaires autochtones et avec le secteur privé, et en tirant parti de nos nombreux avantages, nous créerons la prospérité que nous souhaitons tous, protégerons la planète que nous chérissons tous et veillerons à ne laisser personne de côté.

L'honorable Seamus O'Regan
Ministre des Ressources naturelles du Canada



Contributeurs

Depuis trois ans, le gouvernement du Canada, sous la direction de Ressources naturelles Canada (RNCan), travaille avec des intervenants du secteur privé, des organismes autochtones, des organisations non gouvernementales et des gouvernements de tous les ordres afin d'éclairer l'élaboration d'une *Stratégie canadienne pour l'hydrogène*. Cette stratégie contient les contributions de centaines d'entreprises, d'organismes et de particuliers, recueillies dans le cadre de différents forums, ateliers, téléconférences, discussions bilatérales et dialogues par l'entremise de groupes de travail existants. Bien que le gouvernement du Canada en ait dirigé l'élaboration et ait mené de vastes consultations auprès de l'industrie, la stratégie – y compris les constatations et les recommandations – représente un amalgame de perspectives qui pourraient ne pas être approuvées à l'unanimité par tous les organismes participants et leurs employés.

Le gouvernement a également commandé un certain nombre d'études clés sur des sujets tels que les codes et normes relatifs à l'hydrogène, la sensibilisation, la modélisation de la demande et le potentiel de réduction des émissions de GES. Ces études, ainsi que les principaux rapports internationaux, par exemple ceux de l'Agence internationale de l'énergie et du Conseil de l'hydrogène (Hydrogen Council), ont contribué à l'élaboration de la stratégie.

Zen and the Art of Clean Energy Solutions (Zen) est l'auteure principale de cette stratégie au nom du gouvernement du Canada. En collaboration avec l'Institute for Breakthrough Energy + Emission Technologies (IBET), Zen a dirigé les travaux de modélisation de la demande en hydrogène agrégée pour 2050 afin de déterminer le rôle potentiel de l'hydrogène dans le futur système énergétique du Canada. La Stratégie résume et intègre les contributions des intervenants et les études antérieures, ainsi que les modélisations et analyses récentes, dans un seul document cohérent.

La *Stratégie canadienne pour l'hydrogène* est un document d'orientation stratégique fondé sur les meilleurs renseignements dont on dispose à ce jour. Des ajustements seront apportés à mesure que la technologie, la recherche, les codes et les normes, les politiques et le paysage international de l'hydrogène évolueront. Des recherches et analyses supplémentaires, décrites comme des mesures recommandées dans le présent document, sont prévues dans le cadre du comité directeur stratégique de mise en œuvre, des groupes de travail spécialisés et des plans d'action régionaux.

Consultations

Des consultations ont été menées auprès de plus de 1 500 intervenants de toute la chaîne de valeur afin de s'assurer que les occasions de mobilisation étaient aussi complètes que possible. Les groupes d'intervenants comprennent entre autres le secteur privé, les associations et les ONG, le milieu universitaire et les groupes de recherche, les gouvernements fédéral et provinciaux, les organismes autochtones, les communautés et les entreprises.

Liens avec les groupes de travail de l'industrie

Le gouvernement a également travaillé en étroite collaboration avec l'Accélérateur de transition, l'Association canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible (ACHPC), l'Association canadienne du gaz et d'autres associations industrielles qui prennent des mesures étroitement harmonisées avec celles qui sont définies dans la stratégie. Une fois la stratégie publiée, le Canada mettra sur pied un comité directeur stratégique, comprenant plusieurs groupes de travail ciblés, pour veiller à ce que les progrès réalisés dans la mise en œuvre des recommandations de la stratégie soient effectifs et mesurés.

Abréviations

\$ CA	Dollars canadiens
AC	Autorité compétente
ACHPC	Association canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible
AEPC	Autobus électrique à pile à combustible
AIE	Agence internationale de l'énergie
AMP	Adsorption modulée en pression
ATR	Reformage autothermique
AZETEC	Projet de collaboration en électrification de camions à émission zéro de l'Alberta
BC-LCFS	Norme sur les carburants à faible teneur en carbone de la Colombie-Britannique
BECSC	Bioénergie avec captage et stockage du carbone
BNQ	Bureau de normalisation du Québec
CCIH	Code canadien d'installation de l'hydrogène
CDA	Capture directe dans l'air
CEC	California Energy Commission
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
CSA	Association canadienne de normalisation
CTP	Coût total de propriété
CUSC	Captage, utilisation et stockage du carbone
DOE	Département de l'Énergie (États-Unis)
FEO	Fabricant d'équipement d'origine
FRD	Fer de réduction directe
GES	Gaz à effet de serre
GJ	Gigajoule
GN	Gaz naturel
GNC	Gaz naturel comprimé
GNL	Gaz naturel liquéfié
GNR	Gaz naturel renouvelable
GW	Gigawatt
H ₂	Hydrogène
IC	Intensité carbonique
ICT	Innovative Clean Transit
MCH	Méthylcyclohexane
MCI	Moteur à combustion interne
MEP	Membrane échangeuse de protons
MJ	Mégajoule
NCP	Norme sur les combustibles propres
NH ₃	Ammoniac
NMT	Niveau de maturité technologique
NO _x	Oxydes d'azote
OMI	Organisation maritime internationale
PI	Propriété intellectuelle
PARI	Programme d'aide à la recherche industrielle
PCMM	Plan canadien pour les minéraux et les métaux
PIB	Produit intérieur brut

PJ	Pétajoules
REE	Rapport d'efficacité énergétique
RMV	Reformage du méthane à la vapeur
RS&DE	Programme de la recherche scientifique et du développement expérimental
SO _x	Oxydes de soufre
TA	Thermopompe à air
TDDC	Technologies du développement durable Canada
TWh	Térawattheure
ERV	Énergie renouvelable variable
VEB	Véhicule électrique à batterie
VEPC	Véhicule électrique à pile à combustible
VZE	Véhicules à zéro émission
WGS	Conversion de l'eau en gaz

Table des matières

Avant-propos de la Stratégie canadienne pour l'hydrogène	I
Contributeurs.....	II
Abréviations	IV
Sommaire.....	IX
1. Pourquoi l'hydrogène au Canada?.....	1
Avantages du Canada.....	3
Notre point de départ unique.....	7
L'hydrogène à grande échelle offre de réels avantages aux Canadiens et Canadiennes	11
2. Qu'est-ce que l'hydrogène?	15
Aspects fondamentaux de l'hydrogène.....	15
Un élan mondial en faveur de l'hydrogène propre	19
3. Possibilités de production et de distribution du Canada.....	22
Voies de production.....	22
Les ressources régionales de production d'hydrogène au Canada	37
Coûts et intensité carbonique des voies de production.....	39
Stockage et distribution de l'hydrogène	46
4. Possibilités d'utilisation finale de l'hydrogène.....	52
Carburant pour le transport.....	53
Combustible pour la production d'électricité	68
Chaleur pour l'industrie et chauffage des bâtiments	70
Matière première pour l'industrie.....	77
5. Assembler les pièces : possibilités offertes par l'hydrogène au Canada.....	83
L'hydrogène faisant partie d'un système énergétique canadien intégré	83
Facteurs temporels et régionaux.....	87
Quantifier les possibilités	92
Potentiel de décarbonisation de l'hydrogène.....	99
Débouchés économiques	102
6. Possibilités au-delà de nos frontières	107
Marché d'exportation	107
Marchés cibles.....	108
Facilitateurs.....	112
7. Défis restants.....	116
Économie et investissements.....	116
Technologie et innovation	117
Politiques et règlements.....	117
Hydrogène et infrastructure	118
Codes et normes.....	118
Sensibilisation.....	119
8. Saisir les possibilités offertes par l'hydrogène au Canada.....	120
Vision pour 2050.....	121
Feuille de route pour 2050	122
Le moment d'agir.....	126

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Pourquoi l’hydrogène au Canada?.....	1
Figure 2 – Point de départ du Canada pour la production et l’utilisation d’hydrogène à faible intensité carbonique.....	10
Figure 3 – Inventaire des émissions de GES du Canada pour 2017.....	14
Figure 4 – Qu’est-ce que l’hydrogène?.....	15
Figure 5 – Principaux avantages liés à l’utilisation de l’hydrogène.....	16
Figure 6 – Chaîne de valeur de l’hydrogène.....	18
Figure 7 – Production mondiale d’hydrogène par source d’énergie (2018) ¹	19
Figure 8 – Demande mondiale en hydrogène par utilisation finale (2018) ¹	19
Figure 9 – Fourchettes d’estimations de la demande annuelle mondiale en hydrogène.....	20
Figure 10 – Un élan international en faveur de l’hydrogène.....	21
Figure 11 – Voies de production de l’hydrogène au Canada.....	25
Figure 12 – Capacité électrique et sources de combustibles primaires par province au Canada.....	26
Figure 13 – Production de gaz naturel commercialisable au Canada en 2018, par province.....	28
Figure 14 – Procédé de reformage du méthane à la vapeur et description.....	30
Figure 15 – Carte provinciale des voies potentielles de production de l’hydrogène.....	38
Figure 16 – Comparaison des coûts des voies de production de l’hydrogène en 2020, 2030 et 2050 ^{1,2,4}	40
Figure 17 – Intensités carboniques de l’hydrogène provenant de différentes voies de production ^{1,2,4}	42
Figure 18 – Coût de livraison par camion de l’hydrogène sous forme de gaz comprimé et de liquide cryogénique.....	48
Figure 19 – Pipeline d’hydrogène d’Air Products en Alberta.....	49
Figure 20 – Utilisations finales de l’hydrogène.....	52
Figure 21 – Utilisation de l’hydrogène dans les transports.....	53
Figure 22 – La Hyundai Nexa au sein du réseau d’autopartage Modo de Vancouver.....	55
Figure 23 – Autobus électrique à pile à combustible de 40 pi de New Flyer.....	56
Figure 24 – Camion de factage électrique à pile à combustible.....	58
Figure 25 – Les ports du Canada comme premiers centres de déploiement de l’hydrogène.....	61
Figure 26 – Train à hydrogène d’Alstom doté du moteur d’Hydrogenics (Photo offerte par Alstom).....	63
Figure 27 – Système ferroviaire du Canada d’un océan à l’autre.....	64
Figure 28 – Production d’électricité par type de carburant au Canada, 2018 (source : Régie de l’énergie du Canada).....	68
Figure 29 – Intensité carbonique des sources provinciales de production d’électricité.....	69
Figure 30 – Projet de pipeline principal de l’Alberta pour le carbone (Alberta Carbon Trunk Line) ¹	78
Figure 31 – Coût moyen actualisé de la production d’acier.....	79
Figure 32 – Utilisation de l’hydrogène au Canada.....	82
Figure 33 – L’hydrogène faisant partie d’un système énergétique canadien intégré.....	86

Figure 34 – Production régionale à moyen terme de l’hydrogène et potentiel d’adoption des utilisations finales de l’hydrogène au Canada	91
Figure 35 – Possibilités offertes par la demande globale en hydrogène au Canada.....	92
Figure 36 – Comparaison des coûts de l’hydrogène utilisé comme combustible de chauffage	93
Figure 37 – Comparaison des coûts de l’hydrogène utilisé comme carburant de transport.....	94
Figure 38 – Potentiel de réduction des émissions de GES par l’hydrogène utilisé comme combustible de chauffage.....	95
Figure 39 – Potentiel de réduction des émissions de GES par l’hydrogène utilisé comme carburant de transport.....	95
Figure 40 – Production d’hydrogène à partir de combustibles fossiles par rapport à l’électrolyse en 2050	98
Figure 41 – Demande canadienne en énergie secondaire de 2017	99
Figure 42 – Scénario relatif à la demande canadienne en énergie secondaire de 2050	99
Figure 43 – Potentiel de décarbonisation de l’hydrogène	101
Figure 44 – Rôle de l’hydrogène dans l’atteinte des cibles de décarbonisation du Canada – Scénario transformateur.....	101
Figure 45 – Recettes potentielles de l’hydrogène au Canada en 2030 et en 2050.....	103
Figure 46 – Potentiel de création d’emplois dans le secteur de l’hydrogène au Canada en 2030 et en 2050	104
Figure 47– Potentiel du Canada en tant qu’exportateur d’hydrogène ¹	111
Figure 48 – Installations d’hydrogène et de piles à combustible par région	112
Figure 49– Définition de l’hydrogène vert et de l’hydrogène à faible teneur en carbone selon CertifHy	114
Figure 50 – Vision de l’avenir de l’hydrogène au Canada en 2050	121
Figure 51 – Résumé de la chronologie de l’adoption de l’hydrogène et de la technologie au Canada ..	125
Figure 52 – Groupes de travail sur la mise en œuvre.....	138
Figure 53 – Feuille de route pour 2050.....	139



Sommaire

LE MOMENT D'AGIR

Les systèmes énergétiques mondiaux subissent une transformation radicale, motivée par la nécessité d'atténuer les changements climatiques. Le développement d'une économie de l'hydrogène propre à grande échelle constitue une priorité stratégique pour le Canada, nécessaire pour diversifier notre futur bouquet énergétique, générer des avantages économiques et atteindre la cible de zéro émission nette d'ici 2050.

Il est grand temps d'agir. Les gouvernements du monde entier publient et mettent en œuvre des stratégies sur l'hydrogène qui créent un élan mondial. En 2019, le Canada a profité de cet élan en élaborant et en lançant une nouvelle initiative sur l'hydrogène dans le cadre de la réunion ministérielle sur l'énergie propre, conçue pour être la pierre angulaire du déploiement mondial de l'hydrogène.

Aujourd'hui, un an plus tard, le Canada est prêt à tirer parti de cet élan, guidé par cette stratégie, pour accroître les possibilités nationales en matière d'hydrogène, tout en profitant de la croissance de la demande mondiale grâce aux possibilités d'exportation.

Cette stratégie vise à moderniser les systèmes énergétiques du Canada en tirant parti de l'expertise canadienne, notamment par une participation accrue des groupes marginalisés et sous-représentés, en construisant de nouvelles

infrastructures d'approvisionnement et de distribution de l'hydrogène et en favorisant l'adoption dans diverses utilisations finales, qui serviront de base à un écosystème énergétique à faibles émissions de carbone à court et à long terme. Elle jettera les bases nécessaires pour y parvenir au cours des cinq prochaines années en :

- encourageant les premiers centres de déploiement dans les applications matures et les démonstrations canadiennes dans les applications émergentes;
- utilisant les règlements, notamment la future Norme sur les combustibles propres, pour stimuler les investissements à court terme;
- élaborant de nouvelles mesures stratégiques et réglementaires nécessaires pour atteindre la cible de zéro émission nette d'ici 2050.

Ces mesures à court terme seront suivies par la croissance et la diversification du secteur durant la période de 2025 à 2030. Par la suite, grâce à une expansion rapide jusqu'en 2050, le Canada commencera à tirer pleinement profit de la stratégie sur l'hydrogène.

Ces avantages comprennent :

- le positionnement du Canada en tant que chef de file mondial dans la fourniture des technologies de l'hydrogène;
- la stimulation de la reprise économique tout en augmentant la production nationale de carburants à faibles émissions de carbone afin de réduire les émissions à long terme, y compris des possibilités uniques pour les communautés et entreprises autochtones;

- la création de plus de 350 000 emplois bien rémunérés à l'échelle nationale;
- l'utilisation de l'hydrogène comme facteur clé pour atteindre la cible de zéro émission nette d'ici 2050.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) a recommandé aux gouvernements de placer les solutions énergétiques propres, comme l'hydrogène, au cœur des plans de relance. Les investissements dans les infrastructures vertes sont essentiels pour atteindre les objectifs du Canada en matière de reprise économique après la pandémie, de croissance propre et de changements climatiques.

En appliquant son expertise de calibre mondial sur le plan national, le Canada peut mettre en valeur les applications et les avantages réels de l'hydrogène et le rôle que l'hydrogène peut jouer dans la transformation des systèmes énergétiques. Les premiers centres de déploiement mettront le Canada sur la voie d'un déploiement à grande échelle à moyen et à long terme, où le potentiel de décarbonisation de l'hydrogène pourra être pleinement réalisé.

CONTEXTE

Le Canada a joué un rôle important dans le développement de l'économie mondiale de l'hydrogène, qui est en pleine croissance, d'abord par son innovation dans la technologie de production de l'hydrogène il y a plus d'un siècle, puis en tant que pionnier de la technologie des piles à combustible il y a quatre décennies. Le Canada demeure un chef de file en matière de recherche et développement (R-D) et de technologie dans ce secteur.

Dans le cadre de l'Accord de Paris, le Canada s'est engagé à réduire d'ici 2030 ses émissions de GES de 30 % sous les niveaux de 2005. Il a également annoncé une cible de zéro émission nette à atteindre d'ici 2050, se joignant ainsi à 72 autres

pays pour cet engagement ambitieux. Dans un avenir à consommation énergétique nette zéro, l'économie canadienne sera alimentée par l'électricité et les carburants à faible teneur en carbone, et l'on prévoit que ces derniers combleront jusqu'à au moins 60 % de nos besoins énergétiques. En tant que carburant à plus faible teneur en carbone, l'hydrogène est essentiel à la décarbonisation du tiers supérieur des utilisations finales les plus énergivores et les plus difficiles à décarboniser au Canada, et il reste encore beaucoup de travail à accomplir pour déployer l'hydrogène à grande échelle au pays.

Le Canada n'est pas le seul à considérer l'hydrogène comme un élément essentiel de la solution pour lutter contre les changements climatiques et améliorer la qualité de l'air, tout en stimulant la croissance économique dans un monde contraint à limiter ses émissions de carbone. Les pays du monde entier ont élaboré des stratégies visant à déterminer les voies d'approvisionnement optimales et les utilisations finales de l'hydrogène, ainsi qu'à définir des stratégies d'exportation.

La demande en hydrogène dans les systèmes énergétiques mondiaux augmente de façon spectaculaire, les projections indiquant un décuplement de la demande au cours des trois prochaines décennies. Des études indiquent que l'hydrogène pourrait combler jusqu'à 24 %¹ de la demande énergétique mondiale d'ici 2050. Le nombre de pays dont les politiques soutiennent les investissements dans les technologies de l'hydrogène augmente, ainsi que le nombre de secteurs que ces politiques ciblent. Le Canada est particulièrement bien placé pour devenir un exportateur d'hydrogène à grande échelle afin de desservir ce marché en pleine croissance; toutefois, les déploiements nationaux doivent ouvrir la voie.

Depuis trois ans, le gouvernement du Canada, sous la direction de RNCAN, travaille avec des intervenants du secteur privé et des

¹ BloombergNEF. (2020). *Hydrogen Economy Outlook*. En ligne : <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>

gouvernements de tous les ordres afin d'éclairer l'élaboration de la *Stratégie canadienne pour l'hydrogène*. La publication de cette stratégie intervient à une période sans précédent. Le monde a été secoué par la COVID-19, et il est de plus en plus évident que les changements climatiques représentent un risque de plus en plus croissant pour les économies, les habitats, la biodiversité, la santé humaine et notre mode de vie futur.

Le Canada dispose de tous les ingrédients nécessaires pour développer une économie de l'hydrogène compétitive et durable. La modernisation des systèmes énergétiques du Canada en vue de la transition vers une économie sobre en carbone offre une occasion unique de tirer parti de l'expertise des Canadiens et Canadiennes pour construire de nouvelles infrastructures qui serviront de base à un écosystème énergétique à faibles émissions de carbone à l'échelle du Canada, l'hydrogène y jouant un rôle essentiel, en fournissant jusqu'à 30 % de l'énergie d'utilisation finale au Canada d'ici 2050.

Cette stratégie est un appel à l'action. Pour atteindre les cibles de décarbonisation, il faut prendre des mesures audacieuses et transformer radicalement le système énergétique du Canada, qui doit commencer en tenant compte du résultat final, plutôt que de travailler progressivement sur la base de vieux paradigmes.

AVANTAGES DU CANADA

Le Canada possède des avantages concurrentiels et comparatifs uniques qui lui permettent de devenir un chef de file mondial en matière de production, d'utilisation et d'exportation d'hydrogène propre, ainsi que de technologies et de services liés à l'hydrogène. Une économie de l'hydrogène forte entraînera des avantages financiers, environnementaux et sanitaires pour les Canadiens et Canadiennes.

- ◆ **Riche en matières premières pour produire de l'hydrogène**

Le Canada affiche l'une des plus faibles intensités carboniques (IC) du monde en matière d'approvisionnement en électricité, étant donné sa capacité de production hydroélectrique et son statut de région nucléaire de niveau 1. Le Canada dispose également d'abondantes réserves de combustibles fossiles, d'une géologie de stockage du CO₂ de calibre mondial, d'un potentiel de croissance dans le domaine des énergies renouvelables variables, d'un approvisionnement en biomasse à grande échelle et de ressources en eau douce. Tous ces éléments peuvent être mis à profit pour produire de l'hydrogène.

- ◆ **Chef de file de l'innovation et de l'industrie**

Le Canada est réputé pour son expertise et ses entreprises de pointe dans le domaine des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible. En date de 2017, on comptait plus de 100 entreprises établies, employant plus de 2 100 personnes et générant plus de 200 millions de dollars de revenus. Le Canada possède également une expertise considérable dans la technologie de captage du carbone, l'une des clés de la production d'hydrogène à faible IC à partir de combustibles fossiles.

◆ Secteur énergétique fort

En 2019, le secteur de l'énergie au Canada représentait 832 500 emplois directs et indirects, avec des actifs évalués à 685 milliards de dollars^[1]. Cette main-d'œuvre qualifiée, conjuguée à des infrastructures stratégiques, permet au Canada de s'adapter rapidement pour inclure l'hydrogène à grande échelle comme devise énergétique.

◆ Collaborations internationales établies

Le gouvernement canadien, l'industrie et les universités participent à des collaborations internationales liées à l'hydrogène qui positionnent le Canada en tant que chef de file en matière d'innovation et de commerce.

◆ Canaux d'exportation de l'énergie vers le marché

La proximité du Canada avec les marchés d'importation de l'hydrogène, notamment le Japon, la Corée du Sud, la Californie, le Royaume-Uni, l'Allemagne et toute l'Europe, ainsi que ses atouts en matière d'exportation, tels que ses ports en eau profonde, ses réseaux de pipelines établis et son industrie naissante du GNL, positionnent le Canada comme un exportateur d'hydrogène à mesure que l'économie mondiale évolue.

◆ Point de départ unique du Canada

Le Canada est reconnu en tant que chef de file dans le secteur de l'hydrogène et des piles à combustible et perçu comme un centre de l'expertise technique, de la propriété intellectuelle et des produits et services de pointe. Le Canada est aujourd'hui l'un des 10 premiers producteurs d'hydrogène dans le monde. On estime à trois millions de tonnes la quantité d'hydrogène produite à partir du gaz naturel chaque année. Le Canada possède la plus grande installation de production d'hydrogène propre au monde pour produire de l'hydrogène à partir du gaz naturel avec

captage et stockage permanent du carbone pour les émissions de CO₂ qui en résultent.

Le développement d'une économie de l'hydrogène propre dynamique et robuste en tirant parti de ces avantages apportera aux Canadiens et Canadiennes les avantages suivants :

◆ Croissance économique et emplois

L'économie de l'hydrogène du Canada créera de nouveaux emplois verts dans les domaines de la R-D, de la fabrication et des services, ce qui favorisera une participation accrue des groupes traditionnellement marginalisés et sous-représentés dans le cadre d'une transition inclusive. L'hydrogène deviendra une nouvelle devise d'exportation pour les économies énergétiques régionales de l'Ouest, du Centre et de l'Est du Canada, ainsi que sur le marché international. Cela permettra aux entreprises canadiennes du secteur de l'énergie de progresser dans la chaîne de valeur en tant que fournisseurs de combustible dans un avenir sans émissions. Si le Canada exploite le plein potentiel présenté par l'hydrogène, il pourrait créer plus de 350 000 emplois dans le secteur et générer des revenus directs de plus de 50 milliards de dollars par année d'ici 2050.

◆ Possibilité de transformation pour le secteur pétrolier du Canada

L'hydrogène est essentiel à la transformation des industries du pétrole et du gaz naturel en une industrie à zéro émission nette. Il offre la possibilité de tirer parti du bassin de talents diversifié du Canada, ainsi que de ses précieuses réserves énergétiques et infrastructures, d'une manière qui soit sans carbone au point d'utilisation, offrant ainsi une voie d'avenir pour l'utilisation de ces actifs.

◆ Résilience énergétique

L'hydrogène peut servir de vecteur énergétique pour permettre une pénétration accrue des énergies renouvelables en offrant

^[1] RNCan. (2018). *10 faits essentiels sur le secteur de l'énergie au Canada*. En ligne : https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/energy/pdf/10_Key_Facts_on_Canada_sEnergy_Sector_f.pdf

des capacités de décalage de temps et de stockage de l'énergie. L'hydrogène ajoute une option supplémentaire à un futur bouquet énergétique à émission nette zéro, complétant d'autres vecteurs énergétiques tels que l'électrification directe et les biocarburants, et servant de pont entre les réseaux énergétiques dans un système énergétique intégré.

◆ **Air de meilleure qualité**

L'hydrogène ne produit pas de gaz à effet de serre, de carbone noir, de particules, de SO_x ou d'ozone troposphérique au point d'utilisation. Lorsqu'il est utilisé dans une pile à combustible électrochimique, il n'émet que de l'eau et de la chaleur. L'adoption accrue de l'hydrogène permet d'obtenir un air de meilleure qualité, ce qui se traduit par l'amélioration de la santé des Canadiens et Canadiennes.

◆ **Atteinte des objectifs de décarbonisation**

L'hydrogène comble de manière unique l'écart dans les applications à forte intensité d'émissions difficiles à réduire, telles que le transport à grande distance, la production de chaleur d'intensité élevée et les procédés industriels, où on l'utilise comme matière première. L'hydrogène pourrait permettre au Canada de contribuer de façon importante à réductions des émissions de GES requises d'ici 2050.

POSSIBILITÉS POUR LE CANADA

L'hydrogène propre a le potentiel de fournir jusqu'à 30 % de l'énergie d'utilisation finale du Canada d'ici 2050, réduisant jusqu'à 190 Mt d'éq. CO₂ d'émissions de GES grâce à son déploiement dans les transports, le chauffage et les applications industrielles.

Grâce à la solide position de départ du Canada, la réduction d'émissions envisageable dans un scénario transformateur optimiste pourrait

atteindre jusqu'à 45 Mt d'éq. CO₂ d'ici 2030. Ce scénario a plus de probabilités de se réaliser si des mesures incitatives réglementaires et financières fortes sont mises en place pour encourager l'adoption de l'hydrogène et si elles sont soutenues par une action immédiate et harmonisée des pouvoirs publics et de l'industrie. Le plan climatique renforcé annoncé récemment par le Canada, qui comprend une tarification du carbone, une norme sur les combustibles propres et un fonds de 1,5 milliard de dollars pour les combustibles à faible teneur en carbone et à émissions nulles, met déjà en place des initiatives fédérales fondatrices qui rendront possible le train de mesures envisagées dans la stratégie. Les avantages de l'utilisation de l'hydrogène s'accéléreront au-delà de 2030 et pourraient en vertu de ce scénario transformateur éviter l'émission de jusqu'à 190 Mt d'éq. CO₂ d'ici 2050.

Possibilités offertes par l'hydrogène		
	2030	2050
 Pourcentage de l'énergie livrée (%)	6 %	30 %
 Demande en hydrogène	4 Mt H ₂	20 Mt H ₂
 Réduction des émissions de GES	Jusqu'à 45 Mt d'éq. CO ₂	Jusqu'à 190 Mt d'éq. CO ₂

Production

Les riches réserves de matières premières du Canada, sa main-d'œuvre qualifiée dans le secteur de l'énergie, ses infrastructures énergétiques stratégiques et sa position de chef de file en matière d'innovation dans les technologies de l'hydrogène et des piles à combustible lui permettent de devenir l'un des trois principaux

producteurs mondiaux d'hydrogène propre.

Le Canada est aujourd'hui l'un des dix principaux producteurs mondiaux d'hydrogène, avec une production annuelle estimée à 3 millions de tonnes (Mt). Cet hydrogène est produit à partir du gaz naturel par reformage du méthane à la vapeur (RMV). Bien que le reformage du méthane à la vapeur ne soit pas considéré comme une voie de production de l'hydrogène propre sans captage du carbone, le Canada est bien placé pour effectuer la transition vers des voies propres à l'avenir. Le Canada a mis en place des chaînes d'approvisionnement en matière de production, principalement en Alberta pour la valorisation et le raffinage du carburant et la production d'engrais azotés, qui peuvent être exploitées à court terme. D'ici 2050, le Canada pourrait multiplier sa production par sept pour répondre à la demande intérieure, en produisant plus de 20 Mt d'hydrogène à faible intensité carbonique par année, avec un potentiel d'augmentation important pour répondre à la demande mondiale.

L'hydrogène peut être produit à partir de diverses matières premières, dont l'eau et l'électricité, des combustibles fossiles et la biomasse, et sous forme de sous-produit de procédés industriels. L'intensité carbonique des voies relatives à l'hydrogène peut varier considérablement, et le Canada doit se concentrer sur le développement de voies rentables à faible intensité carbonique à court et à moyen terme, tout en assurant la transition vers un pourcentage croissant de matières premières renouvelables ou à zéro émission à long terme. Le Canada collabore avec des pays du monde entier à l'élaboration d'une méthodologie commune permettant de déterminer et de certifier de façon indépendante l'intensité carbonique de l'hydrogène, ce qui sera nécessaire pour faciliter le commerce.

La production d'hydrogène au Canada devrait reposer sur une combinaison de voies. La demande globale en hydrogène prévue en 2050 souligne la nécessité pour le Canada d'explorer toutes les possibilités de production

d'hydrogène à faible intensité carbonique.

◆ Hydrogène électrolytique

L'hydrogène peut être produit à partir de l'eau par électrolyse en utilisant de l'électricité propre. Le Canada est le sixième plus important producteur mondial d'électricité et possède l'un des réseaux à plus faible intensité carbonique grâce à ses vastes installations de production d'hydroélectricité. Il existe également des synergies entre la production d'hydrogène, l'énergie nucléaire et l'électricité renouvelable. L'hydrogène peut être produit par électrolyse en utilisant de l'électricité nucléaire en dehors des périodes de pointe à court terme, tandis que les procédés thermiques à haute température ou par couplage avec de petits réacteurs modulaires sont viables à plus long terme. L'hydrogène peut également jouer un rôle dans le stockage quotidien ou saisonnier de ressources renouvelables variables, permettant une plus grande pénétration des énergies renouvelables intermittentes dans le réseau.

◆ Hydrogène produit à partir des combustibles fossiles

L'hydrogène propre peut être produit à partir de combustibles fossiles lorsqu'il est combiné avec le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC) ou le carbone peut être séquestré sous forme de carbone solide. Le Canada est le quatrième plus important producteur de gaz naturel dans le monde. Les provinces possédant les plus grandes réserves de gaz naturel et de pétrole sont l'Alberta, la Colombie-Britannique, la Saskatchewan et les provinces de l'Atlantique. Ces provinces sont les mieux adaptées à la production de l'hydrogène à partir de combustibles fossiles.

◆ Hydrogène produit à partir de la biomasse

L'hydrogène peut être produit à partir de la gazéification de la biomasse sèche. Cet hydrogène est considéré comme étant à la fois renouvelable et neutre en carbone. La plupart des provinces canadiennes ont accès à des

résidus de biomasse par le biais des secteurs forestier et agricole.

◆ Hydrogène généré en tant que sous-produit industriel

Au Canada, l'hydrogène actuellement généré sous forme de sous-produit de procédés industriels, notamment la production de chloralcali et de chlorate de sodium, peut être capté, purifié et utilisé directement. L'hydrogène évacué des grandes usines peut suffire à répondre à certains besoins à court terme, mais l'approvisionnement est limité.

Le réseau d'approvisionnement en hydrogène au Canada pourrait comprendre à la fois des grandes usines centralisées dans les provinces canadiennes riches en gaz naturel ou dans des régions où la pénétration des énergies renouvelables à faible coût est élevée, et une production électrolytique distribuée à plus petite échelle près des centres de demande. Les coûts de l'hydrogène livré devraient atteindre 1,50 à 3,50 \$/kg à mesure que l'échelle de production sera réalisée et que des investissements seront effectués dans l'infrastructure de distribution.

L'industrie et les gouvernements provinciaux joueront un rôle important dans la détermination des voies de production de l'hydrogène qui se concrétiseront au Canada et des échéanciers à cet égard.

Utilisation finale

Le déploiement national de l'hydrogène est essentiel pour appuyer le secteur canadien de l'hydrogène et des piles à combustible, chef de file mondial, ainsi que pour atteindre les objectifs en matière de changements climatiques. Si le déploiement est amorcé de manière précoce, on pourra rapidement parvenir à une production à grande échelle et à l'acceptation par l'utilisateur, ce qui permettra de réaliser des projections à plus long terme sur l'adoption et les avantages connexes.

L'adoption de l'hydrogène sera axée sur des applications énergivores, où il offre des avantages par rapport aux autres options sobres en carbone. Cela

comprend l'utilisation de l'hydrogène comme carburant pour le transport à grande distance et la production d'électricité, pour fournir de la chaleur à l'industrie et aux bâtiments, et comme matière première pour les procédés industriels.

◆ Carburant pour le transport

L'hydrogène peut être utilisé directement comme carburant dans les véhicules électriques à pile à combustible, dont le rendement est deux fois supérieur à celui des moteurs à combustion et dont les émissions nocives au tuyau d'échappement sont nulles. La technologie des moteurs à combustion et à combustion mixte fonctionnant à l'hydrogène est également en cours de développement en tant que possibilité de transition.

Aujourd'hui, les véhicules légers à pile à combustible pour le transport des passagers sont commercialisés à l'échelle mondiale, et en nombre limité au Canada. Le gouvernement du Canada s'est fixé des cibles fédérales pour les véhicules à zéro émission (VZE), soit 10 % des ventes de véhicules légers par année d'ici 2025, 30 % d'ici 2030 et 100 % d'ici 2040. Le Canada considère les véhicules électriques à batterie (VEB), les véhicules électriques à pile à combustible (VEPC) et les véhicules électriques hybrides rechargeables (VEHR) comme des VZE. La Colombie-Britannique et le Québec ont été les premières provinces à offrir des incitatifs aux consommateurs pour l'achat de VZE et à adopter des règlements sur la vente de ces véhicules. Ces deux provinces ont commencé à déployer des infrastructures de ravitaillement en hydrogène et des VEPC légers.

Les véhicules électriques à batterie devraient s'emparer d'une part importante du marché des véhicules légers au Canada. Les VEPC offrent un choix aux consommateurs qui souhaitent avoir une plus grande autonomie et des temps de ravitaillement plus courts, et sont bien adaptés aux grandes plateformes de véhicules à passagers.

Partout dans le monde, les organismes de transport en commun se tournent vers des véhicules à faibles émissions ou à zéro émission. Les autobus électriques à pile à combustible (AEPC) sont actuellement commercialisés, et plus de 2 000¹ d'entre eux sont en service dans le monde entier. Environ la moitié de ces autobus sont équipés de la technologie canadienne. Le Canada dispose d'un potentiel unique pour une solution canadienne, New Flyer Industries et Ballard Power Systems étant les chefs de file du marché grâce au déploiement d'autobus électriques commerciaux à pile à combustible en Amérique du Nord.

L'initiative d'autobus à zéro émission (AZE)² en cours au Canada encourage le gouvernement à soutenir les conseils scolaires et les municipalités dans l'achat de 5 000 autobus à zéro émission au cours des cinq prochaines années. Le Canada peut tirer parti de la chaîne d'approvisionnement locale pour apporter une valeur économique si les autobus électriques à pile à combustible font partie de l'ensemble. Ces autobus sont bien adaptés aux trajets plus longs et au climat froid que desservent les organismes de transport en commun canadiens.

Les piles à combustible devraient jouer un rôle important en ce qui concerne les camions moyens et lourds, les trains et les navires dont le fonctionnement nécessite une forte puissance, associée à des cycles de service longs et énergivores. Par exemple, les camions lourds qui parcourent de longues distances nécessiteraient de nombreuses batteries lourdes, ce qui réduirait la capacité de charge au-delà de ce qui serait acceptable pour les exploitants. De longs temps de chargement pourraient également avoir une incidence négative sur l'exploitation. L'amélioration de la densité énergétique et les caractéristiques de chargement rapide des camions électriques à pile à combustible en feront probablement un choix optimal pour certaines applications.

¹ Ballard. (2020). *Bus électrique à hydrogène*. En ligne : https://www.ballard.com/docs/default-source/web-pdfs/white-paper-fuel-cell-buses-for-france-final-french-web.pdf?sfvrsn=939bc280_0

Il existe une proposition de valeur semblable pour l'utilisation de l'hydrogène dans les équipements miniers, y compris les véhicules de manutention de matériaux. L'hydrogène offre la possibilité de réduire la dépendance généralisée au diesel pour les véhicules miniers et les équipements stationnaires de production d'énergie. L'hydrogène offre l'avantage supplémentaire de réduire les émissions provenant de gaz d'échappement nocifs, en particulier dans les mines souterraines. Le Plan canadien pour les minéraux et les métaux (PCMM) vise à tirer parti des possibilités de renforcer la position concurrentielle du Canada au sein du secteur minier mondial et souligne l'importance de développer et d'adopter des sources d'énergie de remplacement, comme l'hydrogène.

À court terme, étant donné que le coût et la disponibilité des piles à combustible constituent un frein à l'adoption, la combustion mixte de l'hydrogène et du diesel dans les applications des camions offre une voie de remplacement pour créer la demande en hydrogène et soutenir le développement des infrastructures.

◆ Combustible pour la production d'électricité

L'hydrogène peut être utilisé comme combustible pour la production d'électricité, soit par la combustion de l'hydrogène dans des turbines, soit par la conversion électrochimique dans des centrales électriques à piles à combustible stationnaires. L'hydrogène permet la gestion des charges et le stockage de l'énergie à long terme, et offre une voie d'accès au marché qui permet l'utilisation croissante d'énergies renouvelables intermittentes.

À plus long terme, l'hydrogène peut jouer un rôle dans l'écologisation des réseaux électriques du Canada, qui dépendent encore des combustibles fossiles pour la production d'électricité. L'hydrogène peut également assurer la stabilité des solutions d'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelable hors réseau dans les collectivités et les sites industriels éloignés,

² ACTU. (2019). *Le nouveau gouvernement fédéral dévoile ses priorités*. En ligne : <https://cutaactu.ca/fr/blog-posts/le-nouveau-gouvernement-federal-devoile-ses-priorites>

comme les mines, qui dépendent aujourd'hui en grande partie de l'alimentation au diesel qui est coûteuse et très polluante.

◆ **Chaleur pour l'industrie**

En tant que combustible de chauffage, l'hydrogène est une molécule plus propre qui peut remplacer la combustion de combustibles fossiles dans des applications où une chaleur de haute température est nécessaire et où le chauffage électrique n'est pas la meilleure solution sur le plan technique ou économique.

Dans le secteur pétrolier et gazier canadien, l'hydrogène à faible intensité carbonique peut offrir des avantages en matière de réduction des émissions, tant dans les procédés d'extraction en amont (brûlé comme source de chaleur) que dans les procédés de raffinage en aval (utilisé comme matière première chimique). Par exemple, dans les opérations en amont, l'hydrogène à faible intensité carbonique peut remplacer le gaz naturel brûlé pour produire de la vapeur pour la production in situ de bitume par drainage par gravité au moyen de vapeur (DGMV). L'hydrogène peut ainsi réduire l'intensité carbonique des produits pétroliers raffinés classiques et pourrait offrir une voie pour se conformer à la Norme sur les combustibles propres du gouvernement fédéral.

D'autres industries lourdes au Canada qui dépendent d'une importante production de chaleur de haute température comprennent la fabrication de ciment et d'acier, le secteur des pâtes et papiers et les procédés industriels qui dépendent de la production de vapeur. Ces secteurs peuvent également réduire leurs émissions en adoptant les mélanges d'hydrogène et de gaz naturel ou l'hydrogène pur pour la production de chaleur.

◆ **Chauffage des bâtiments**

L'hydrogène peut jouer un rôle dans la réduction des émissions dans les applications de chauffage dans l'environnement bâti. Les services publics de

gaz naturel (GN) cherchent à décarboniser le réseau de GN en introduisant le gaz naturel renouvelable (GNR) et l'hydrogène comme carburants chimiques de remplacement à faibles émissions de carbone. Le climat froid du Canada fait que le chauffage représente près de 80 % de la consommation d'énergie des maisons¹. Comme le gaz naturel est utilisé à la fois pour le chauffage des locaux et de l'eau, l'hydrogène suscite une attention accrue de la part des services publics en tant qu'option sobre en carbone, utilisée soit comme mélange avec du gaz naturel, soit comme carburant de remplacement. Plusieurs provinces et territoires du Canada, ainsi que de nombreux pays dans le monde entier mènent des projets pilotes visant à déterminer la faisabilité technique du mélange de l'hydrogène dans les systèmes de gaz naturel existants. Il faudra élaborer des codes et des normes pour appuyer les possibilités de mélange potentiel de l'hydrogène.

En raison d'éventuelles contraintes techniques, au-delà des limites de mélange d'environ 20 % par volume, les hydrogénoducs, soit les pipelines consacrés exclusivement à l'hydrogène, commencent à devenir une solution de remplacement intéressante. Dans un avenir à consommation énergétique nette zéro où les émissions provenant de la combustion répartie devront être en grande partie éliminées, l'hydrogène pourrait devenir le nouveau combustible chimique de choix pour le chauffage au Canada, et les services publics joueront un rôle de leadership important dans cette transition.

◆ **Matière première pour l'industrie**

L'hydrogène est aujourd'hui utilisé comme matière première dans plusieurs procédés industriels au Canada. La grande partie de l'hydrogène utilisé comme matière première est actuellement produite par reformage du méthane à la vapeur.

L'hydrogène est utilisé comme matière première pour :

- ◆ le raffinage du pétrole

¹ RNCan. (2017). *Secteur résidentiel*. En ligne : https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/guide/guide_res_00.cfm

- ◆ la valorisation du bitume
- ◆ la production d'ammoniac
- ◆ la production de méthanol
- ◆ la production d'acier

Aujourd'hui, l'hydrogène est surtout utilisé dans le monde entier pour le raffinage et la valorisation du pétrole brut, où les procédés à base d'hydrogène éliminent les impuretés comme le soufre et transforment les chaînes d'hydrocarbures lourds en composants plus légers. La majeure partie de l'hydrogène nécessaire au raffinage est produite sur place, dans des installations de production spécialisées ou sous forme de sous-produit. En raison de cette intégration de la production d'hydrogène dans les installations de raffinage, la production est principalement assurée par les méthodes de reformage du gaz naturel. L'occasion la plus importante de réduire les émissions associées à l'hydrogène dans l'industrie pétrolière et gazière consiste à adapter la technologie de conversion existante au captage et au stockage du carbone ou à déployer une nouvelle technologie d'hydrogène propre qui ne produit pas de CO₂.

La disponibilité d'hydrogène à faible coût et à faible intensité carbonique peut créer une nouvelle industrie au Canada. Cela comprend la production de méthanol et de carburants liquides synthétiques, un procédé novateur qui combine de l'hydrogène propre avec du carbone capté dans l'air pour produire des carburants liquides neutres en carbone et à forte densité énergétique qui conviennent bien à des applications comme l'aviation et les grands navires. La production d'engrais azotés renouvelables représente également une occasion pour une nouvelle industrie canadienne.

Exportation

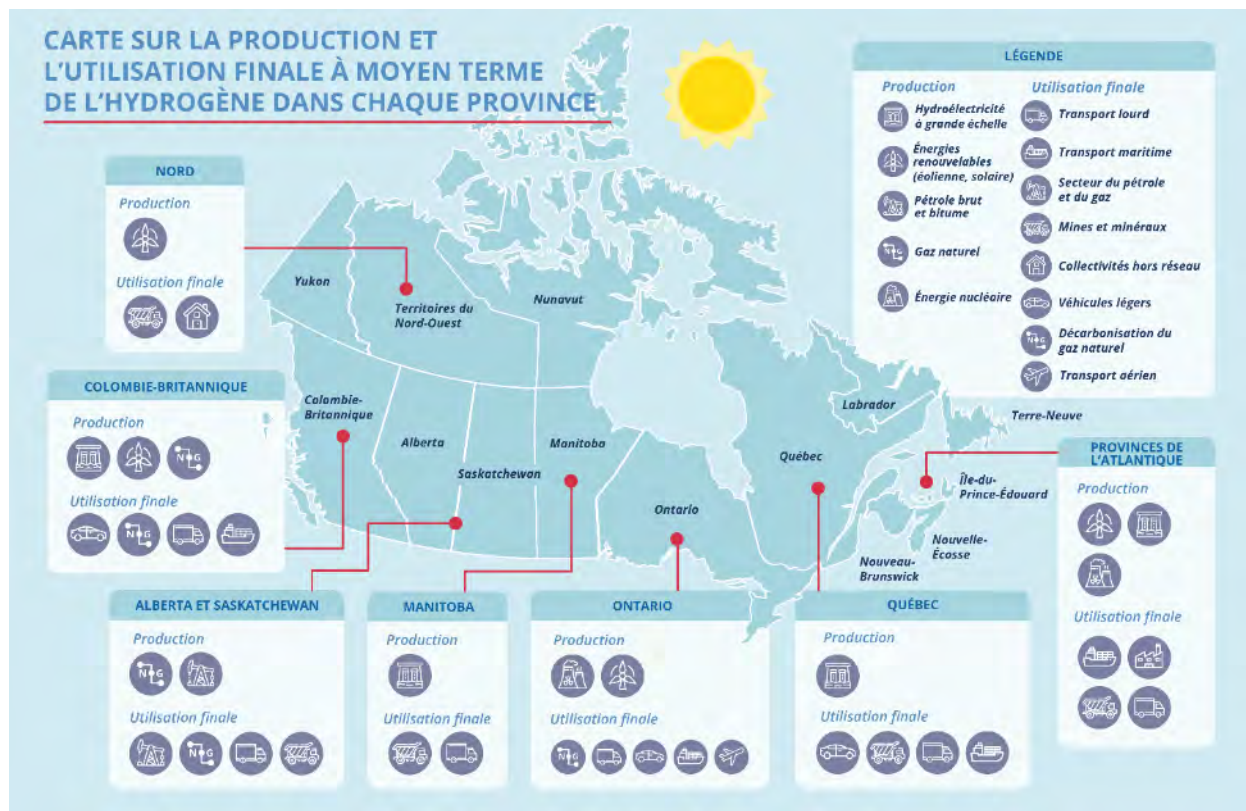
Avec l'augmentation de la demande mondiale d'hydrogène, le marché mondial devrait atteindre plus de

2,5 billions de dollars d'ici 2050. Il existe d'importantes possibilités d'exportation pour le Canada, car les importateurs d'énergie se tournent activement vers le Canada en tant que fournisseur potentiel.

En tant que pays riche en ressources énergétiques, doté d'une importante capacité de production d'hydrogène propre, de partenariats commerciaux internationaux établis et d'infrastructures stratégiques telles que des ports en eau profonde et des réseaux de pipelines établis, le Canada est bien placé pour devenir le premier fournisseur mondial d'hydrogène propre. Une étude réalisée en 2019 par la Colombie-Britannique révèle un potentiel d'exportation de 15 milliards de dollars d'ici 2050 pour cette seule province. Selon une autre étude récente, les exportations d'hydrogène pourraient atteindre environ 50 milliards de dollars d'ici 2050¹, soit le double du potentiel économique du marché national prévu pour le Canada au cours de la même période. Les pays importateurs cherchant à décarboniser leurs systèmes énergétiques, l'hydrogène pourrait contribuer à une part importante du marché d'exportation d'énergie au cours des prochaines décennies.

De la même manière que le Canada s'emploie à conquérir le marché mondial d'exportation du gaz naturel liquéfié, nous pouvons nous appuyer sur cette expérience pour promouvoir une stratégie sur l'hydrogène grâce à des mesures précoces fortes et à un plan national s'appuyant sur les atouts régionaux du Canada. Globalement, nous pouvons être le chef de file sur le marché émergent de l'exportation de l'hydrogène.

¹ L'Accélérateur de transition. (2020). *Towards Net-Zero Energy Systems in Canada: A Key Role for Hydrogen*. En ligne : https://transitionaccelerator.ca/wp-content/uploads/2020/09/Net-zero-energy-systems_role-for-hydrogen_200909-Final-print-1.pdf.



DÉFIS RESTANTS

Économie et investissements

De nos jours, les facteurs qui limitent l'utilisation de l'hydrogène dans certaines applications sont d'ordre économique plutôt que technologique, l'hydrogène n'étant pas encore concurrentiel en termes de coût par rapport aux options de carburants classiques.

Bien que l'hydrogène puisse être l'une des solutions de rechange les moins coûteuses pour réduire les émissions de carbone en termes de coûts par tonne de CO₂ réduit, un des défis actuels est que, même avec une certaine forme de tarification du carbone, les émissions de GES ne sont pas toujours correctement prises en compte dans le coût du marché des carburants de référence. La mise en œuvre de la Norme sur les combustibles propres du gouvernement fédéral constituera une avancée importante.

Le coût des utilisations finales qui reposent sur les piles à combustible est également un obstacle à

son adoption, et des activités de R-D et des procédés de fabrication à grande échelle sont nécessaires pour réduire les coûts. Le développement des infrastructures de soutien nécessite d'importants investissements coordonnés, lesquels sont compromis par une demande incertaine, créant ainsi un risque élevé pour les investisseurs.

Il est également essentiel d'atteindre une certaine échelle pour assurer la compétitivité économique de l'industrie. Bien que le secteur doive en fin de compte être autonome, un soutien politique et financier fort est nécessaire au cours des 5 à 10 prochaines années pour attirer les investissements industriels et réduire les risques associés à ceux-ci.

Technologie et innovation

Le Canada a été l'un des premiers chefs de file dans le secteur de l'hydrogène et des piles à combustible et il est reconnu à l'échelle mondiale comme une région riche en expertise technique, en propriété intellectuelle et en produits et services de pointe. Bien que certaines

technologies de l'hydrogène et des piles à combustible soient à un niveau de maturité commerciale, un soutien à la R-D est nécessaire pour réduire davantage les coûts, concevoir des solutions dans les applications moins matures et découvrir de nouvelles technologies de pointe au profit du secteur. Il est essentiel de demeurer à la pointe de l'innovation pour maintenir les avantages concurrentiels du Canada.

D'autres pays ont augmenté rapidement leurs investissements pour appuyer l'innovation dans le secteur, alors qu'entre 2008 et 2016, le Canada a réduit ses investissements dans la recherche fondamentale dans ce secteur. Si, plus récemment, le Canada s'est de nouveau engagé à être un chef de file mondial en matière d'innovation dans les technologies propres, cette lacune dans le soutien a entraîné la mise sur pied par certaines entreprises canadiennes des centres de recherche ou la délocalisation d'une partie de leurs activités dans d'autres pays dans lesquels les progrès technologiques sont davantage soutenus. Le Canada doit impérativement prendre des mesures dès maintenant pour prévenir la perte de la propriété intellectuelle essentielle.

Politiques et règlements

Dans le monde entier, les projets relatifs à l'hydrogène propre ont principalement été mis en œuvre dans des régions ayant adopté une combinaison de politiques et de règlements d'appui. Les politiques et les règlements qui encouragent l'utilisation des technologies de l'hydrogène comprennent les règlements sur les carburants à faible teneur en carbone, la tarification du carbone, les règlements sur les émissions des véhicules, les exigences relatives aux véhicules à zéro émission, la création de zones sans émissions et les exigences relatives à l'intégration du gaz renouvelable dans les réseaux de gaz naturel. Des mécanismes visant à réduire les risques liés aux investissements afin de permettre aux utilisateurs finaux de s'adapter aux règlements sont également bénéfiques.

À l'heure actuelle, le Canada ne dispose pas d'un cadre stratégique et réglementaire complet et à long terme qui régit l'industrie de l'hydrogène. Et quand bien même des politiques sont mises en place, elles ne sont pas uniformes d'une région à l'autre, ce qui donne lieu à un ensemble disparate qui ralentit l'adoption.

Disponibilité de l'infrastructure relative à l'hydrogène

L'approvisionnement national en hydrogène à faible intensité carbonique est aujourd'hui limité dans de nombreuses régions du Canada, ce qui empêche le déploiement à l'échelle pilote et commerciale. Pour certaines applications, il est nécessaire de transporter et de stocker l'hydrogène depuis le site de production jusqu'à l'utilisateur final. Cela implique les infrastructures de ravitaillement pour les applications de transport.

Au fil du temps, à mesure que la production et la demande nationales augmenteront, il faudra mettre en place des infrastructures spécialisées telles que des hydrogénoducs et des usines de liquéfaction. Il sera essentiel de veiller à ce que ces actifs cruciaux puissent être construits de manière coordonnée et en temps opportun afin de garantir la fourniture d'hydrogène à faible coût et à faible intensité carbonique sur les marchés nationaux et internationaux.

Codes et normes

Le déploiement de l'hydrogène en est à ses débuts dans de nombreuses régions et dans de nombreux secteurs au Canada. Aussi, les codes et normes existants présentent des lacunes qui doivent être comblées pour permettre l'adoption de l'hydrogène. L'harmonisation des codes et des normes dans tous les pays permettra de garantir que les pratiques exemplaires sont appliquées dans l'ensemble de l'économie mondiale de l'hydrogène afin de faciliter la croissance des échanges et des marchés d'exportation.

Sensibilisation

Il existe un manque de sensibilisation du grand public, de l'industrie et du gouvernement aux possibilités et à la sécurité entourant l'hydrogène. Une sensibilisation accrue à l'hydrogène en tant que voie de décarbonisation viable, sécuritaire et offrant des avantages économiques est essentielle à l'établissement d'un secteur de l'hydrogène dynamique.



VOIE À SUIVRE

Vision pour 2050

Si le Canada saisit les occasions offertes par l'hydrogène, d'ici 2050, le pays pourrait réaliser ce qui suit :

- ◆ Jusqu'à 30 % de l'énergie canadienne fournie sous forme d'hydrogène
- ◆ Le Canada figurant parmi les trois principaux producteurs mondiaux d'hydrogène propre, avec un approvisionnement national de plus de 20 Mt par année

- ◆ Base d'approvisionnement en hydrogène à faible intensité carbonique établie, avec des prix à la livraison de 1,50 à 3,50 \$/kg
- ◆ > 5 millions de véhicules électriques à pile à combustible sur la route
- ◆ Réseau de ravitaillement en hydrogène à l'échelle nationale
- ◆ > 50 % de l'énergie fournie aujourd'hui par le gaz naturel est fournie par l'hydrogène mélangé à d'autres combustibles dans les pipelines existants et l'hydrogène des nouveaux hydrogénéoducs.
- ◆ De nouvelles industries rendues possibles grâce à un réseau d'approvisionnement en hydrogène à faible coût
- ◆ ~350 000 emplois dans le secteur de l'hydrogène
- ◆ > 50 milliards de dollars en revenus directs du secteur de l'hydrogène pour le marché intérieur
- ◆ Marché d'exportation de l'hydrogène établi et concurrentiel
- ◆ Jusqu'à 190 Mt d'éq. CO₂ de réduction annuelle des émissions de GES

À court terme : préparation du terrain

Les cinq prochaines années viseront à jeter les bases de l'économie de l'hydrogène au Canada. Cela comprend la planification et le développement de nouvelles infrastructures d'approvisionnement et de distribution de l'hydrogène pour appuyer les premiers centres de déploiement dans les applications matures tout en soutenant les démonstrations canadiennes dans les applications émergentes. Des règlements comme la Norme sur les combustibles propres seront essentiels pour stimuler les investissements à court terme dans le secteur. L'adoption de nouvelles mesures stratégiques et réglementaires sera également nécessaire.

À moyen terme : croissance et diversification

Les activités visant à stimuler le secteur au cours des cinq prochaines années seront suivies par la croissance et la diversification du secteur durant la période de 2025 à 2030. À mesure que la technologie gagnera en maturité et que le vaste éventail d'utilisations finales atteindra les niveaux de maturité technologique de la commercialisation ou s'en approchera, l'utilisation de l'hydrogène sera axée sur les applications qui offrent la meilleure proposition de valeur par rapport aux autres technologies sans émission.

À long terme : expansion rapide du marché

Au cours de la période de 2030 à 2050, le Canada commencera à tirer pleinement profit d'une économie de l'hydrogène, à mesure que l'échelle des déploiements et le nombre de nouvelles applications commerciales augmenteront, grâce à l'infrastructure fondamentale d'approvisionnement et de distribution du Canada.

l'évolution du marché. Les mesures seront coordonnées par un comité directeur stratégique et des groupes de travail.

Les recommandations de la stratégie ont été élaborées en consultation avec les intervenants et représentent les mesures nécessaires pour jeter les bases et maintenir l'élan en vue de maximiser les avantages de l'hydrogène dans le futur système énergétique diversifié du Canada.

Il y a 32 recommandations pour les huit piliers de la *Stratégie canadienne pour l'hydrogène*. Toutes ces mesures ne seront pas prises en même temps; la figure de la page XXVI montre comment le Canada doit séquencer les mesures pour saisir les occasions liées à l'hydrogène au fil du temps, consolidant ainsi son rôle essentiel dans notre avenir à faibles émissions de carbone.

RECOMMANDATIONS ET MISE EN ŒUVRE

Recommandations

La publication de cette stratégie est la première étape de la prochaine phase du parcours du Canada en matière d'hydrogène. Les recommandations éclaireront l'élaboration de mesures concrètes par tous les acteurs de l'écosystème de l'hydrogène.

Au cours de la phase de mise en œuvre qui suivra immédiatement après la publication de cette stratégie, il y aura un échange continu avec les intervenants des secteurs public et privé et les intervenants autochtones afin de poursuivre l'élan, d'entreprendre des activités liées aux recommandations et d'en faire le suivi, de suivre les progrès et de déterminer de nouveaux domaines prioritaires au fur et à mesure de

Les recommandations de la stratégie représentent des thèmes à l'échelle du secteur mis en évidence tout au long de la stratégie. Des recommandations ont été proposées selon huit piliers :

Pilier 1 : Partenariats stratégiques – Utiliser stratégiquement les partenariats existants et nouveaux pour collaborer et planifier l'avenir de l'hydrogène au Canada.

Pilier 2 : Atténuation des risques liés aux investissements – Établir des programmes de financement, des politiques à long terme et des modèles d'affaires pour encourager l'industrie et les gouvernements à investir dans la croissance de l'économie de l'hydrogène.

Pilier 3 : Innovation – Prendre des mesures visant à soutenir davantage la R-D, définir les priorités en matière de recherche et encourager la collaboration entre les intervenants afin que le Canada conserve son avantage concurrentiel et son leadership mondial dans les technologies de l'hydrogène et des piles à combustible.

Pilier 4 : Codes et normes – Moderniser les codes et normes existants et en élaborer de nouveaux afin de suivre le rythme de cette industrie en évolution rapide et d'éliminer les obstacles au

déploiement, à l'échelle tant nationale qu'internationale.

Pilier 5 : Politiques et réglementation habilitantes – Veiller à ce que l'hydrogène soit intégré dans les feuilles de route et les stratégies en matière d'énergie propre à tous les ordres de gouvernement et encourager son application.

Pilier 6 : Sensibilisation – Prendre l'initiative à l'échelle nationale pour veiller à ce que les communautés et l'ensemble de la population soient au courant de la sécurité, de l'utilisation et des avantages de l'hydrogène à une époque où les technologies évoluent rapidement.

Pilier 7 : Plans d'action régionaux – Mettre en œuvre un effort de collaboration avec les différents ordres de gouvernement pour faciliter l'élaboration de plans d'action régionaux sur l'hydrogène afin de déterminer les possibilités et les plans particuliers pour la production et l'utilisation finale de l'hydrogène.

Pilier 8 : Marchés internationaux – Collaborer avec nos partenaires internationaux pour s'assurer que l'élan mondial en faveur des carburants propres comprenne l'hydrogène afin que les industries canadiennes prospèrent au pays et à l'étranger.



Partenariats stratégiques

1 Collaboration entre différents ordres de gouvernement et avec les groupes autochtones dans le cadre d'un groupe de travail fédéral-provincial-territorial officiel afin d'établir les domaines prioritaires de déploiement et de partager les connaissances, les pratiques exemplaires et les leçons apprises des premiers projets de déploiement.

2

Élargissements de partenariats publics-privés en tirant parti des entreprises canadiennes de technologies propres novatrices et de l'expertise de calibre mondial en matière d'hydrogène et de piles à combustible afin d'accélérer les projets de déploiement dans l'ensemble de la chaîne de valeur.

3

Promotion de collaborations intersectorielles au sein des centres de déploiement canadiens afin de montrer les avantages économiques et opérationnels des multiples applications fonctionnant dans le cadre d'un écosystème intégré.

4

Optimisation des collaborations internationales et poursuite des initiatives internationales synergiques afin d'attirer des investissements étrangers directs et d'accélérer les possibilités pour le Canada sur les marchés mondiaux.



Atténuation des risques liés aux investissements

5

Mise en œuvre de politiques à long terme qui créent une certitude quant à la demande en hydrogène et atténuent les risques liés aux investissements du secteur privé nécessaires à la mise en place des infrastructures d'approvisionnement et de distribution.

6

Établissement de programmes pluriannuels ainsi que d'un cadre réglementaire clair et à long terme pour soutenir les premiers projets de production et d'utilisation finale, y compris un soutien visant à évaluer la faisabilité des projets.

7

Création de centres de déploiement canadiens pour démontrer et valider des analyses de rentabilité d'un bout à l'autre de la chaîne de valeur intégrale, de la production et de la distribution à l'utilisation finale.

8

Facilitation d'occasions de cofinancement, en tirant parti des différents ordres de gouvernement et du secteur privé.



Innovation

9

Élaboration de priorités stratégiques en matière de recherche fondamentale dans lesquelles le Canada peut durablement exceller et apporter une valeur économique; définition des objectifs en matière de rendement technologique et de coûts.

10

Établissement de fonds réservés pour les initiatives de recherche, de développement et de démonstration (R-D-D) soutenus afin de garantir que le Canada conserve sa position de chef de file dans les technologies de l'hydrogène et des piles à combustible.

11

Mise à profit de l'expertise des universités, des laboratoires gouvernementaux et des laboratoires du secteur privé pour créer des centres de recherche régionaux et encourager les approches axées sur les missions en matière de recherche, de développement et de projets pilotes de déploiement.

12

Promotion de la collaboration entre les laboratoires fédéraux, l'industrie et les universités, ainsi qu'avec les partenaires internationaux, en soutenant des projets fondés sur le consensus relativement à la recherche fondamentale et en coordonnant les examens et le partage de renseignements.



Codes et normes

13

Mise à jour, harmonisation et reconnaissances de codes et de normes (y compris le Code canadien d'installation de l'hydrogène) afin de permettre les déploiements et de faciliter l'adoption de nouvelles technologies et infrastructures dans les premiers marchés.

14

Formation de groupes de travail sur les codes et les normes comprenant des représentants des autorités compétentes interprovinciales, afin de partager les leçons apprises et de cerner les lacunes liées aux codes et aux normes.

15

Élaboration de normes fondées sur le rendement plutôt que prescriptives, et veiller à ce que l'hydrogène ne soit pas exclu des codes, normes et règlements dont la portée est plus large en raison d'un libellé restrictif.

16

Facilitation du leadership et de la participation du Canada aux efforts visant des normes et des certifications internationales (p. ex., élaboration de mesures de l'intensité carbonique à l'échelle mondiale, niveaux de mélange de l'hydrogène dans les systèmes de gaz naturel) et simplification du commerce international.



Politiques et réglementation habilitantes

Efforts visant à ce que tous les ordres de gouvernement tiennent compte du rôle essentiel de l'hydrogène dans l'avenir énergétique du Canada dans le cadre de l'élaboration de nouvelles politiques, de nouveaux programmes et de nouveaux règlements.

17

Encouragement des gouvernements à moderniser et à mettre à jour les politiques, les programmes et la réglementation existants afin de faciliter la croissance de la production et de l'utilisation finale de l'hydrogène à l'échelle nationale.

18

Efforts visant à ce que l'hydrogène soit intégré aux feuilles de route nationales et provinciales sur l'énergie propre.

19

Établissement de normes basées sur le rendement et neutres sur le plan technologique afin de définir le seuil de l'intensité carbonique associée à la production de l'hydrogène. Établissement d'exigences à paliers et fondées sur le temps concernant la teneur en hydrogène renouvelable dans les projets soutenus par le gouvernement.

20



Sensibilisation

21

Soutien de la mobilisation et de la sensibilisation communautaires là où des centres sont établis

22

Établissement de campagnes de sensibilisation visant à informer le gouvernement, l'industrie, le public et d'autres influenceurs importants au sujet de la sécurité, de l'utilisation et des avantages de l'hydrogène.

23

Mise au point d'une série d'outils et de ressources destinés aux premiers marchés de l'hydrogène afin d'aider les utilisateurs finaux à évaluer l'hydrogène en tant qu'option de façon quantitative dans le cadre de leurs activités Hébergement des outils et des ressources sur un site Web central géré par le gouvernement.

24

Soutien des collaborations entre l'industrie et le milieu universitaire pour élaborer des programmes d'études propres à l'hydrogène afin de renforcer la sensibilisation, de susciter l'intérêt, de perfectionner les aptitudes pour former la prochaine génération de talents et préparer la main-d'œuvre à de nouvelles possibilités.



Plans d'action régionaux

23

Facilitation de l'élaboration de plans d'action régionaux sur l'hydrogène, dans le cadre d'un effort de collaboration à plusieurs ordres de gouvernement, afin de déterminer les possibilités et les plans particuliers pour la production et l'utilisation finale de l'hydrogène. Assurer la participation du gouvernement fédéral afin de tirer parti des synergies avec la Stratégie canadienne pour l'hydrogène.

26

Repérage d'occasions relatives à l'établissement de centres régionaux, composées de projets dans l'ensemble de la chaîne de valeur.

27

Collaboration avec des intervenants des services publics, d'industries connexes importantes et des entreprises de technologies propres dans le cadre de l'élaboration et de la mise en œuvre de plans d'action.

28

Repérage de domaines d'harmonisation avec d'autres provinces ou régions et de domaines pouvant être répliqués par ceux-ci afin de faciliter et d'accélérer l'adoption globale.



Marchés internationaux

29

Élaboration et consolidation de l'image de marque du Canada, le positionnant comme un fournisseur mondial de premier choix d'hydrogène à faibles émissions de carbone, et des technologies nécessaires à son utilisation.

30

Investissement dans l'infrastructure afin de relier l'approvisionnement canadien aux marchés internationaux, comme les actifs de liquéfaction pour le transport de l'hydrogène à forte densité énergétique et les pipelines d'hydrogène de l'Ouest canadien vers les États-Unis.

31

Établissement de projets phares à l'échelle nationale qui mettent en valeur l'expertise du Canada, attirent des investissements sur le marché intérieur et peuvent être reproduits à l'échelle internationale.

32

Optimisation de forums internationaux existants (p. ex., l'initiative sur l'hydrogène de la réunion ministérielle sur l'énergie propre, le G20, l'AIE) pour mettre en évidence le leadership du Canada et promouvoir de nouveaux débouchés commerciaux.

	COURT TERME (2020-2025) <i>Préparation du terrain</i>	MOYEN TERME (2025-2030) <i>Croissance et diversification</i>	LONG TERME (2030-2050) <i>Expansion rapide du marché</i>
PRODUCTION D'HYDROGÈNE	Intensité carbonique		
	< 36,4 g d'éq. CO ₂ /MJ		Diminution au fil du temps
	Seuil d'énergie renouvelable des projets soutenus par le gouvernement		
	> 33 %		Augmentation au fil du temps
	Coût de l'hydrogène livré		
	5,0 à 12,0 \$/kg		1,5 à 3,5 \$/kg
DISTRIBUTION + STOCKAGE	Hydrogène gazeux		
	250 bars	450 bars ou plus	450 bars ou plus
	Hydrogène liquide		
	Côte Est	Partout au Canada	Partout au Canada
	Pipeline		
Mélange H ₂ -GN	Mélange H ₂ -GN + H ₂ pur (hydrogénoduc)	Mélange H ₂ -GN + H ₂ pur (hydrogénoduc)	
Stockage géologique			
		Caverne de sel	
UTILISATION FINALE	Utilisation commerciale		
		→	
	Projets pilotes		
			Nouvelles retombées industrielles
CENTRE RÉGIONAL	Création de centres régionaux notoires incorporant à grande échelle la chaîne de valeur complète	Expansion des centres, connexions des corridors et mise au point de nouveaux centres	Déploiement pancanadien complet, et commerce et coopération interprovinciaux
	→		
	→		
R-D-D	R-D-D soutenue dans le domaine des matériaux de pointe, des technologies de production et de stockage de l'hydrogène, du CUSC et des applications d'utilisation finale		
RÉALISATIONS	Production d'hydrogène		
	3 Mt/année (intensité carbonique élevée)	4 Mt/année (faible intensité carbonique)	20 Mt/année (faible intensité carbonique)
	Pourcentage de l'énergie livrée associée à l'hydrogène (%)		
	1,6 %	6,2 %	30 %
Réduction des GES			
		Jusqu'à 45 Mt	Jusqu'à 190 Mt

POURQUOI L'HYDROGÈNE AU CANADA?

*Riche en
matières
premières*

*Réseau à faible
intensité carbonique,
abondantes réserves
de combustibles
fossiles, eau douce*



*Collaborations
internationales
établies*



*Chef de file de
l'innovation et
de l'industrie*

*Secteur
énergétique
fort*



*Une longueur d'avance :
Un des dix principaux
producteurs mondiaux
d'hydrogène*

*>100
sociétés établies
dans le secteur
de l'hydrogène et
des piles à
combustible*

*Main-d'œuvre
qualifiée,
infrastructures
stratégiques*



*Canaux
d'exportation
de l'énergie
vers le marché*



Avantages concurrentiels et comparatifs uniques



Croissance économique

- Nouveaux emplois verts
- Progression dans la chaîne de valeur des carburants
- Potentiel d'exportation

Air de meilleure qualité



Amélioration de l'état de santé des Canadiens et Canadiennes en réduisant les émissions dans les transports, le chauffage et l'industrie

Décarbonisation



Comble l'écart dans les applications à forte intensité d'émissions et difficiles à décarboniser



Résilience énergétique



Vecteur énergétique sans carbone permettant une augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables



Possibilité de transformation pour le secteur pétrolier du Canada



...créer des avantages pour les Canadiens et Canadiennes

1. Pourquoi l'hydrogène au Canada?

Le Canada dispose de tous les ingrédients nécessaires pour développer une économie de l'hydrogène compétitive et durable, qu'il s'agisse des riches matières premières utilisées dans la production de l'hydrogène, de l'innovation de pointe de calibre mondial, ou d'une industrie énergétique forte et de vastes relations internationales. Ainsi, le Canada se retrouve dans une position de départ unique et avantageuse sur la voie de l'établissement d'une économie de l'hydrogène propre. Si le Canada tire pleinement parti de ses avantages, les Canadiens pourront, d'ici 2050, bénéficier de plus de 50 milliards de dollars de revenus nationaux, le secteur pétrolier et gazier classique pourra être transformé, un marché d'exportation dynamique pourra être créé, et l'utilisation de l'hydrogène pourra réduire les émissions jusqu'à 190 Mt d'éq. CO₂ tout en améliorant la qualité de l'air dans tout le pays.

AVANTAGES DU CANADA

Riche en matières premières

Le Canada possède l'un des systèmes d'approvisionnement en électricité à plus faible intensité carbonique au monde, d'abondantes réserves de combustibles fossiles, une géologie de stockage du CO₂ de calibre mondial, un approvisionnement en biomasse à grande échelle et des ressources en eau douce, qui peuvent tous être mis à profit pour produire de l'hydrogène.

Le Canada est le sixième plus important producteur mondial d'électricité, avec une production de 652 TWh d'électricité en 2017¹. Soixante-sept pour cent (67 %) de l'électricité au Canada provient de ressources renouvelables et 82 % de sources non émettrices de GES. Le Canada se classe au troisième rang mondial en termes de production d'hydroélectricité, représentant 60 % de la capacité de production totale actuelle². Le Canada dispose également d'un potentiel important pour étendre le déploiement d'énergies renouvelables variables comme l'énergie éolienne et solaire. L'énergie éolienne est l'une des sources d'énergie électrique connaissant la plus forte croissance au monde et au Canada. L'énergie éolienne représente 4 % de la production d'électricité au Canada à l'heure actuelle, et les déploiements d'énergie éolienne et d'énergie solaire photovoltaïque sont en pleine croissance. Le Canada est un fournisseur nucléaire de niveau 1, et 14,6 % de la production d'électricité à l'échelle nationale provient des dix-neuf réacteurs de puissance en exploitation dans quatre



¹ RNCAN. (2020). *Faits sur l'électricité*. En ligne : https://www.rncan.gc.ca/science-donnees/donnees-analyse/donnees-analyse-energetiques/faits-saillants-sur-lenergie-lelectricite/20079?_ga=2.19701432.145676228.1602056879-45417966.1568926339

² AIE (2020). *Key World Energy Statistics 2020*. En ligne : <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>

centrales nucléaires du pays. Le Canada étudie la possibilité d'accroître sa capacité nucléaire grâce à de petits réacteurs modulaires qui peuvent fournir de l'électricité non émettrice de GES dans les collectivités éloignées, en misant sur l'innovation canadienne dans ce secteur.

Le Canada possède les troisièmes plus grandes réserves de pétrole au monde ainsi que l'une des plus grandes réserves prouvées de gaz naturel. Si on se fie aux niveaux de consommation actuels, le Canada peut répondre à ses besoins pour 300 ans, et il lui en reste encore pour l'exportation¹. Le Canada abrite un cinquième des grands projets de captage, d'utilisation et de stockage du carbone (CUSC) en cours dans le monde, ainsi qu'un certain nombre d'innovateurs de premier plan dans le domaine du CUSC qui peuvent être mis à profit pour appuyer la réduction des émissions dans de multiples secteurs, y compris la production d'hydrogène à faible intensité carbonique. Le Canada dispose d'une grande réserve de biomasse forestière renouvelable, ainsi que d'un accès aux sous-produits et résidus de l'industrie forestière. La Colombie-Britannique, l'Ontario, l'Alberta, le Québec et le Nouveau-Brunswick sont les provinces qui ont la plus grande capacité et la plus grande production de biomasse. Enfin, le Canada possède 7 % des réserves mondiales d'eau douce. L'eau est une matière première importante dans la production d'hydrogène par électrolyse alimentée par de l'électricité propre.

Chef de file de l'innovation, de la propriété intellectuelle et de l'industrie

Grâce à son leadership précoce en matière de R-D-D et de développement des technologies propres, le Canada est réputé pour son expertise et ses entreprises de pointe dans le domaine des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible. En 2017, on comptait plus de 100 entreprises établies dans le secteur de l'hydrogène et des piles à combustible couvrant toute la chaîne de valeur, employant plus de 2 100 personnes dans des emplois directs au Canada et générant des revenus de plus de 200 millions de dollars. Le secteur dépense plus de 90 millions de dollars en revenus par année pour maintenir les entreprises canadiennes à l'avant-garde de l'innovation². Il existe des entreprises nouvelles et établies dans le secteur de l'hydrogène et des piles à combustible, ainsi que de grandes entreprises énergétiques et des services publics qui développent et déploient des solutions liées à l'hydrogène dans la plupart des provinces du Canada. La Colombie-Britannique, l'Ontario et le Québec accueillent les plus grands pôles d'entreprises du secteur.

L'augmentation de la demande mondiale en hydrogène a créé des possibilités sur les marchés d'exportation pour les entreprises canadiennes. Par exemple, plus de la moitié des autobus à pile à combustible déployés dans le monde sont dotés de la technologie canadienne des groupes motopropulseurs à pile à combustible³. Les entreprises canadiennes sont bien placées pour fournir des technologies, des produits et des services à l'appui des infrastructures de production, de distribution, de stockage et de ravitaillement en hydrogène, ainsi que des applications d'utilisation finale telles que les trains, les véhicules lourds, les équipements de manutention de matériaux, les systèmes de propulsion des navires et des avions, et les solutions d'alimentation de secours et stationnaires. Les technologies canadiennes dans les domaines liés aux produits d'électrolyse, aux matériaux de stockage de pointe et aux solutions techniques jouent également un rôle important dans les systèmes d'énergie renouvelable dans le monde, en s'intégrant aux technologies éoliennes et solaires. Une chaîne d'approvisionnement canadienne a vu le jour et fournit des pièces, des composants, du matériel d'essai, et des services d'ingénierie et financiers aux concepteurs mondiaux de technologies de l'hydrogène et des piles à combustible. Les partenariats stratégiques entre l'industrie, les universités et les laboratoires fédéraux

¹ ACPP. (2018). *Les sources d'énergie canadiennes*. En ligne : <https://www.capp.ca/fr/energie/les-sources-denergie-canadiennes/>

² ACHPC. (2018). *Profil de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible*. En ligne : http://www.chfca.ca/wp-content/uploads/2019/10/FR_CHFC-Sector-Profile-2018-Final-Report.pdf

³ Ballard. (2020). *Bus électrique à hydrogène*. En ligne : https://www.ballard.com/docs/default-source/web-pdf/s/white-paper-fuel-cell-buses-for-france-final-french-web.pdf?sfvrsn=939bc280_0

ont joué un rôle essentiel dans le développement de nouvelles propriétés intellectuelles (PI) et la formation de la prochaine génération de talents pour le secteur.

Depuis 2012, le financement canadien des technologies propres et de l'innovation dans le domaine de l'hydrogène a chuté, ce qui a permis à d'autres pays de rattraper leur retard. En réinvestissant dans la R-D-D, le Canada pourra tirer parti de sa longueur d'avance et maximiser la pénétration de la technologie canadienne dans les marchés mondiaux émergents. Toutefois, le développement technologique ne suffira pas à lui seul à assurer la place du Canada sur les marchés mondiaux. Après la publication de la stratégie sur l'hydrogène, il sera essentiel de poursuivre l'élaboration d'une stratégie industrielle afin de quantifier davantage les possibilités et de mettre le Canada sur une voie claire pour assurer sa place dans l'économie mondiale de l'hydrogène.

Pour stimuler la production d'hydrogène propre au Canada, il est également nécessaire de renouveler le soutien au CUSC. Le leadership précoce du Canada dans ce secteur de la technologie est en perte de vitesse, car les pays concurrents renforcent les mesures incitatives et le financement pour stimuler la R-D-D et le déploiement commercial. Le Canada doit prendre des mesures similaires afin de demeurer au même niveau que les États-Unis et d'autres pays, et inciter nos concepteurs de technologies de renommée mondiale à déployer leur expertise au pays pour soutenir les réductions nationales, ainsi qu'à l'étranger pour tirer parti du marché mondial croissant de plusieurs milliards de dollars pour les solutions climatiques liées au CUSC.

Secteur énergétique fort

Le secteur énergétique canadien est essentiel pour soutenir la reprise de l'économie canadienne au sortir de la pandémie de la COVID-19. En 2019, il représentait 832 500 emplois directs et indirects, avec des actifs évalués à 685 milliards de dollars^[1]. Il a également contribué directement et indirectement à hauteur de 10,2 % au PIB nominal du Canada au cours de la même période.

Un élément clé de ce secteur est l'industrie pétrolière et gazière, durement touchée, qui est confrontée à des défis exceptionnels en raison de la chute des prix du pétrole et de l'effondrement de la demande mondiale de pétrole à cause de la pandémie. Malgré ces défis, le secteur pétrolier demeure un moteur de la reprise, employant 576 000 Canadiens et Canadiennes, dont 11 000 Autochtones, qui travaillent dans 4 500 entreprises partout au Canada.



La force et la résilience du secteur de l'énergie sont davantage renforcées par le fait que les infrastructures énergétiques existantes et en cours de développement peuvent être reconverties pour la production de l'hydrogène propre. Par exemple, le vaste réseau canadien de pipelines pour le transport et la distribution du gaz naturel pourrait servir de réseaux de stockage et de distribution d'énergie à grande échelle pour l'hydrogène, transportant soit un mélange d'hydrogène et de gaz naturel, soit de l'hydrogène pur à long terme.

Les actifs de stockage tels que les puits épuisés, les aquifères salins et les cavernes de sel peuvent être un outil important pour un déploiement à grande échelle en servant pour le stockage permanent du CO₂, et potentiellement pour le stockage de l'hydrogène à grande échelle. En outre, le Canada produit déjà de l'hydrogène en grande quantité à partir du gaz naturel dans le secteur pétrolier et gazier utilisé pour la valorisation et le raffinage des produits pétroliers, et ces actifs de production d'hydrogène peuvent être

mis à profit et associés à de nouveaux actifs pour produire de l'hydrogène à faible intensité carbonique en grande quantité.

Les talents canadiens dans le secteur de l'énergie sont nombreux et couvrent tous les niveaux de la chaîne de valeur dans un large éventail de domaines liés à l'hydrogène pour la production à grande échelle. De la R-D stratégique dans l'industrie des produits chimiques à la fabrication de composants et de produits allant des matériaux aux solutions complètes clés en main, en passant par l'expertise en matière de construction, de service et d'entretien, la main-d'œuvre du secteur canadien de l'énergie est bien placée pour s'adapter afin d'intégrer l'hydrogène dans le circuit énergétique.

Collaborations internationales établies

Le Canada a conclu plusieurs ententes bilatérales et multilatérales qui officialisent et renforcent la collaboration avec des pays et des régions du monde entier, notamment l'Allemagne, l'Union européenne, le Portugal et le Japon. Depuis les trois dernières décennies, le Canada est membre fondateur de plusieurs initiatives internationales dans l'ensemble de la chaîne de valeur et continue de tirer parti de ces partenariats stratégiques pour faire progresser la collaboration mondiale sur l'hydrogène.

- ◆ Le Canada a été un membre fondateur des initiatives de l'AIE sur l'hydrogène et les piles à combustible de pointe, qui sont devenues les actuels programmes de collaboration technologique (PCT), conçus pour coordonner les travaux des chercheurs privés et publics afin d'accélérer la R-D et les démonstrations et de promouvoir l'innovation à l'échelle mondiale.
- ◆ Le Canada est un membre fondateur et un partenaire clé du Partenariat international pour l'économie de l'hydrogène et des piles à combustible (PIEH). Les pays membres se sont engagés à commercialiser les technologies des piles à combustible et de l'hydrogène afin de sensibiliser le public et d'élaborer des codes et des normes essentiels.
- ◆ Plus récemment, le Canada a dirigé l'élaboration et le lancement d'une initiative sur l'hydrogène sous les auspices de la réunion ministérielle sur l'énergie propre (CEM). Le Canada codirige cette initiative, qui regroupe plus de 20 pays membres, avec pour objectif d'être la pierre angulaire de la collaboration mondiale en matière d'hydrogène et d'intégrer le rôle essentiel de l'hydrogène dans la transformation énergétique mondiale dans les discussions des ministres de l'Énergie du monde entier.

L'industrie canadienne a également entrepris des collaborations internationales pour accélérer et tirer parti des efforts de R-D et partager les enseignements liés à l'analyse de rentabilisation et aux considérations pratiques liées au déploiement. Par exemple, l'Association canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible (ACHPC) et l'Australian Hydrogen Council (AHC) ont récemment signé un protocole d'entente visant à renforcer la collaboration entre le Canada et l'Australie dans le déploiement commercial des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible, notamment dans les applications minières et de transport.

Plusieurs des partenaires énergétiques les plus importants du Canada, dont le Japon, la Corée du Sud, la Chine et les États-Unis, ont publié des stratégies nationales ou annoncé d'importants investissements dans leurs économies de l'hydrogène (voir la figure 10). Cet intérêt récent est motivé par de multiples forces et facteurs, les plus importants étant :

- ◆ la transition vers la décarbonisation de tous les secteurs;
- ◆ la pénétration croissante des sources d'énergie renouvelable variable;
- ◆ l'incertitude des futurs investissements dans le secteur pétrolier et gazier;
- ◆ la chute rapide des coûts liés aux technologies de production de l'hydrogène.

Contrairement aux premières vagues d'enthousiasme entourant l'hydrogène, l'intérêt d'aujourd'hui s'explique par la prise de conscience du rôle crucial que jouera l'hydrogène en tant qu'outil pour lutter contre les changements climatiques. Bien qu'il existe encore de nombreux obstacles à surmonter, le message est clair : l'hydrogène jouera un rôle crucial dans la construction d'un avenir neutre en carbone, et la plupart des plus grandes économies du monde travaillent déjà à élaborer les stratégies et à réaliser les investissements nécessaires pour faire de cette perspective une réalité.

Canaux d'exportation de l'énergie vers le marché

Avec des exportations de plus de 100 milliards de dollars¹ en 2017, le Canada a établi des relations commerciales pour les produits énergétiques existants, comme le gaz naturel, le pétrole brut, les produits pétroliers raffinés et l'électricité, qui peuvent être mises à profit pour offrir un nouveau carburant à faible teneur en carbone sur le marché.

De plus, la proximité du Canada avec les marchés d'importation de l'hydrogène, notamment le Japon, la Corée du Sud, la Californie et l'Europe, ainsi que ses atouts en matière d'exportation, tels que ses ports en eau profonde, son industrie du gaz naturel liquéfié (GNL) en développement et ses réseaux de pipelines établis, ainsi que ses sociétés de transport de gaz naturel et de pétrole, positionnent le Canada comme un exportateur d'hydrogène à mesure que l'économie mondiale évolue.



NOTRE POINT DE DÉPART UNIQUE

Le Canada a joué un rôle important dans l'avancement de la technologie de production et des équipements de stockage et de distribution d'hydrogène, et il est un pionnier de la technologie des piles à combustible depuis plus de 40 ans. Les premières avancées dans le domaine de l'hydrogène au Canada comprennent le premier brevet pour la technologie de l'électrolyse en 1915, et la première grande percée dans la densité de puissance des piles à combustible à membrane échangeuse de protons au début des années 1990 qui a prouvé que cette technologie est viable pour les applications de transport.

Le Canada a une longueur d'avance dans le déploiement d'applications de production et d'utilisation finale. Par exemple, le Canada a déployé la première production d'hydrogène à l'échelle industrielle dans les années 1920, la première démonstration d'autobus à pile à combustible dans les années 1990, ainsi que le premier chariot élévateur à fourche à pile à combustible et le premier véhicule électrique léger à pile à combustible au début des années 2000.

Aujourd'hui, le Canada est l'un des 10 premiers producteurs d'hydrogène dans le monde, avec une production annuelle estimée à 3 millions de tonnes. Au Canada, la majeure partie de l'hydrogène est produite par l'industrie chimique et le secteur pétrolier et gazier à partir de combustibles fossiles. Sur le

¹ REC. (2017). *Aperçu du marché : Exportations canadiennes : Part de l'énergie de nouveau en hausse* En ligne : <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/aperçu-marches/2017/aperçu-marche-exportations-canadiennes-part-lenergie-nouveau-hausse.html>



plan géographique, la majeure partie de l'hydrogène est produite dans l'Ouest canadien, suivi du Centre du Canada et du Canada atlantique. Les utilisateurs actuels d'hydrogène, y compris les raffineries, explorent d'autres voies de production d'hydrogène en prévision de la norme fédérale sur les carburants à faible teneur en carbone du Canada. Les autres voies de production comprennent l'électrolyse ou le reformage du méthane à la vapeur présent dans le gaz naturel conjugué au CUSC, afin d'utiliser de l'hydrogène plus propre comme matière première et voie pour atteindre la conformité en matière de réduction de l'intensité carbonique des carburants classiques.

Les entreprises de gaz industriel exercent leurs activités en Ontario et au Québec, avec des actifs de production et de liquéfaction d'hydrogène. L'ajout par Air Liquide d'un électrolyseur avec membrane échangeuse de protons (MEP) de 20 MW à son usine de Bécancour, au Québec, qu'elle décrit comme le plus grand en Amérique du Nord, augmente la capacité de production de l'installation de 50 %. En outre, un certain nombre de nouveaux projets de production d'hydrogène sont en cours de développement partout au Canada.

Le Canada demeure un chef de file en matière de recherche et développement (R-D) et de technologie dans ce secteur. Par exemple, la technologie canadienne des moteurs à pile à combustible de grosse cylindrée alimente plus de la moitié des autobus électriques à piles à combustible en service commercial à l'échelle mondiale dans une gamme de marchés et de climats internationaux. En 2018, la technologie canadienne a été utilisée dans le premier train de banlieue à hydrogène. De nouvelles techniques de production d'hydrogène sont mises au point dans tout le pays, positionnant le Canada en tant que chef de file mondial en matière de production d'hydrogène propre de la prochaine génération. L'expertise et les technologies du Canada sont exportées et utilisées dans des pays partout dans le monde, ce qui démontre les possibilités de croissance et de déploiement à l'échelle internationale.

Malgré ce succès, il existe actuellement peu de projets nationaux à grande échelle dans le domaine de l'hydrogène. Cela a diverses conséquences sur la compétitivité du Canada sur la scène internationale. Premièrement, les entreprises canadiennes ne sont pas en mesure de citer des exemples pertinents de déploiements locaux lorsqu'elles font la promotion de leurs technologies à l'étranger. Deuxièmement, les talents canadiens sont attirés vers d'autres pays où il existe davantage de possibilités d'acquérir une expérience pratique. Enfin, les pôles industriels qui soutiennent le développement, les déploiements et les chaînes d'approvisionnement des technologies de l'hydrogène ne sont pas en mesure de constituer ou de conserver une masse critique d'activités.

Bien que les déploiements au pays soient limités, le secteur ne part pas de zéro. Des activités liées à la production et à l'utilisation d'hydrogène à faible IC sont en cours dans tout le Canada, comme illustré à la Figure 2. Il existe des actifs stratégiques de production et de liquéfaction de l'hydrogène dans l'Est du Canada, et les applications d'utilisation finale vont du déploiement de véhicules électriques à pile à combustible légers et d'infrastructures de ravitaillement en hydrogène au détail, aux projets pilotes visant à explorer la possibilité de mélanger de l'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel afin de décarboniser le gaz naturel. De nombreux projets sont également en cours de développement et des études régionales sont menées pour explorer les possibilités offertes par l'hydrogène. La présente infographie ne comprend pas la production et l'utilisation d'hydrogène gris dans les secteurs du pétrole et du gaz et de la production d'engrais azotés. Ces industries représentent une occasion de conversion à l'approvisionnement à faible intensité carbonique, ce qui fait d'elles des acteurs clés à mesure que la capacité de production de l'hydrogène à faible intensité carbonique augmentera au Canada.

L'élan mondial actuel en ce qui concerne l'hydrogène offre une occasion importante pour le Canada s'il peut continuer d'être un chef de file dans le développement technologique appuyé par de nouveaux déploiements locaux. Sans des projets locaux et des investissements actifs, d'autres pays éroderont cet avantage du premier et la technologie canadienne risque de devenir obsolète. Le moment est venu d'agir et d'investir dans l'avenir de l'hydrogène au Canada.

POINT DE DÉPART POUR LA PRODUCTION ET L'UTILISATION DE L'HYDROGÈNE AU CANADA

COLOMBIE-BRITANNIQUE

- Véhicules légers à hydrogène et réseau de ravitaillement en hydrogène pour les véhicules légers
- Pôle des technologies propres liées à l'hydrogène en Colombie-Britannique
- Démonstration de camions à MCI à hydrogène
- Étude sur l'hydrogène en Colombie-Britannique

ALBERTA

- Projet Quest visant le CUSC
- Déploiement de chariots élévateurs à fourche à piles à combustible
- Projet pilote AZETEC
- Projet de mélange d'hydrogène à Fort Saskatchewan
- Pipelines existants consacrés à l'hydrogène
- Groupe de travail sur l'hydrogène du centre industriel de l'Alberta
- Projet de pipeline principal de l'Alberta pour le carbone

SASKATCHEWAN

- Projet pilote de démonstration d'hydrogène produit in situ dans un puits

MANITOBA

- Développement d'autobus électriques commerciaux à pile à combustible

ONTARIO

- Production, liquéfaction et pipelines d'hydrogène à Sarnia
- Station de ravitaillement en hydrogène au détail
- Projets de transformation de l'électricité en gaz à Markham, d'une capacité de 2,5 MW
- Démonstration pancanadienne d'AEPC à hydrogène

QUÉBEC

- Ajout d'un système d'hydrogène de 20 MW à l'usine de Bécancour
- Véhicules légers à hydrogène et réseau de ravitaillement en hydrogène pour les véhicules légers
- Démonstration d'un microréseau utilisant l'hydrogène pour le stockage d'énergie dans le cadre d'activités minières
- Plusieurs projets de production d'hydrogène vert à partir de matières premières sont en cours de développement

PROVINCES MARITIMES (N.-B., N.-É., Î.-P.-E.)

- Étude de faisabilité sur l'hydrogène dans les Maritimes

- Déploiement de chariots élévateurs à fourche dans les entrepôts

- Projet d'étude de faisabilité d'Hydrail par Metrolinx

- Étude de faisabilité de la conversion de l'énergie nucléaire en hydrogène dans le comté de Bruce

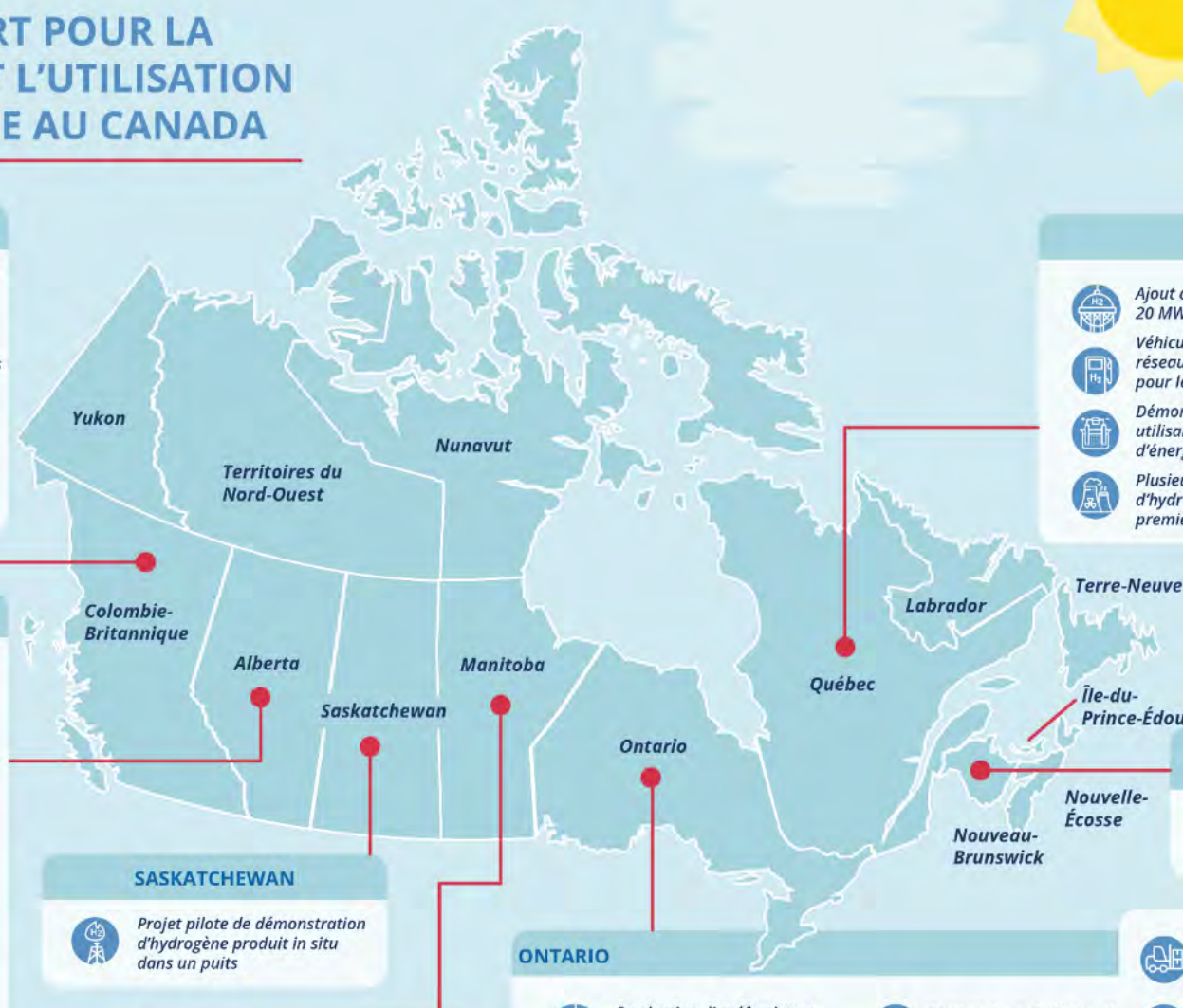


Figure 2 – Point de départ du Canada pour la production et l'utilisation d'hydrogène à faible intensité carbonique

L'HYDROGÈNE À GRANDE ÉCHELLE OFFRE DE RÉELS AVANTAGES AUX CANADIENS ET CANADIENNES

Croissance économique

L'économie de l'hydrogène du Canada créera de nouveaux emplois dans les domaines de la R-D, de la fabrication et des services. L'hydrogène deviendra également une nouvelle devise d'exportation pour les économies énergétiques régionales de l'Ouest, du Centre et de l'Est du Canada, ainsi que sur le marché international. Cela permettra aux entreprises canadiennes du secteur de l'énergie de progresser dans la chaîne de valeur en tant que fournisseurs de combustible pour utilisation finale dans un avenir sans émissions. Les entreprises canadiennes exportent déjà des biens et des services liés aux technologies de l'hydrogène et des piles à combustible, ainsi que dans des secteurs complémentaires adjacents comme le CUSC partout dans le monde. La croissance des déploiements nationaux servira de projets de référence importants pour aider ces entreprises canadiennes à continuer à prospérer et à se développer.

Si le Canada saisit cette occasion, le marché intérieur pour les ventes directes d'hydrogène et de produits connexes pourrait représenter plus de 50 milliards de dollars par année d'ici 2050. De plus, les possibilités supplémentaires liées aux revenus indirects et aux exportations pourraient permettre de doubler la valeur du secteur. On estime que plus de 350 000 Canadiens pourraient travailler dans le secteur de l'hydrogène d'ici 2050, ce qui permettrait de redéployer certains des plus de 800 000 travailleurs qui occupent des emplois dans le secteur traditionnel de l'énergie et de créer de nouveaux emplois. Cela offre également la possibilité de créer une main-d'œuvre plus équitable et plus inclusive, en mobilisant la participation des groupes sous-représentés, y compris, mais sans s'y limiter les femmes, les jeunes et les personnes handicapées. La production et l'utilisation de l'hydrogène offrent également aux communautés et aux organismes autochtones la possibilité de tirer parti de leurs ressources existantes pour ouvrir de nouveaux débouchés commerciaux.

Possibilité de transformation pour le secteur pétrolier du Canada

L'hydrogène est essentiel pour atteindre une transformation nette zéro pour les industries du pétrole et du gaz naturel. Il offre la possibilité de tirer parti de précieux actifs énergétiques et infrastructurels, notamment les réserves de combustibles fossiles et les pipelines de gaz naturel, d'une manière qui soit sans carbone au point d'utilisation, offrant ainsi une voie pour maximiser ces précieux actifs dans un avenir neutre en carbone d'ici 2050. Le secteur pétrolier est un maillon important du secteur énergétique canadien et contribue à l'économie canadienne, surtout en Alberta. La récente baisse des prix du pétrole a eu une incidence importante sur l'industrie pétrolière et gazière du Canada, ce qui a eu des répercussions sur d'autres industries. La promotion d'une économie de l'hydrogène réduira l'intensité carbonique des carburants classiques et offrira des possibilités de diversification du secteur.

Dans un système énergétique net zéro de l'avenir, la combustion répartie de combustibles fossiles comme le gaz naturel sera limitée, ce qui signifie que les services publics de gaz devront transformer leur gamme actuelle de produits et de services pour demeurer concurrentiels. Le gaz naturel renouvelable et le gaz d'enfouissement peuvent remplacer le gaz naturel, mais l'offre est limitée.

L'hydrogène produit à grande échelle peut être la solution à long terme pour que les services publics de gaz naturel du Canada demeurent concurrentiels dans un avenir restreint en carbone.

Le rôle de l'hydrogène dans le secteur pétrolier canadien évoluera au fil du temps. Au départ, l'hydrogène à faible intensité carbonique offre une voie pour atteindre la conformité en matière de réduction de l'intensité carbonique des carburants classiques. En parallèle, compte tenu de l'augmentation de la demande en hydrogène comme carburant pour les transports grâce au déploiement croissant de véhicules à pile à combustible, le secteur déterminera la meilleure façon de participer à la chaîne de valeur. Les carburants liquides synthétiques qui combinent de l'hydrogène non émetteur et du CO₂ récupéré par captage direct dans l'air peuvent également jouer un rôle en tant que matière première pour les carburants liquides à haute densité énergétique et neutres en GES pour des applications d'utilisation finale comme les procédés industriels, ainsi que les grands navires et les avions utilisant encore des moteurs à combustion interne.



Résilience énergétique

L'hydrogène est un vecteur énergétique polyvalent pouvant être créé à partir de plusieurs voies différentes, et cette diversité de matières premières crée une résilience dans le système énergétique canadien. L'hydrogène peut aider les régions qui dépendent des importations d'énergie à devenir plus indépendantes sur le plan énergétique. L'hydrogène peut également être le vecteur énergétique qui permet de relier des systèmes énergétiques disparates en un système énergétique intégré, plus optimisé et plus résilient.

L'hydrogène ne fait pas concurrence à l'électrification directe, au contraire, il peut plutôt contribuer à accroître la pénétration des énergies renouvelables en offrant des capacités de décalage de temps et de stockage de l'énergie. Bien que la principale source d'énergie renouvelable au Canada soit l'hydroélectricité, qui s'accompagne d'une capacité de stockage de l'énergie inhérente, la capacité de l'énergie éolienne a connu une croissance continue au cours des 10 dernières années. L'énergie éolienne est l'une des sources d'énergie électrique connaissant la plus forte croissance au monde et au Canada. Elle représente actuellement 4 % de la production nationale d'électricité, l'Ontario et le Québec étant les chefs de file en termes de capacité.

Comme on peut le voir dans des pays comme l'Allemagne, l'hydrogène peut être la meilleure option pour le stockage d'énergie à échelle industrielle, car les réseaux électriques parviennent à une plus grande pénétration des énergies renouvelables variables en proportion du bouquet énergétique global. À titre d'exemple, l'Île-du-Prince-Édouard, dont 98 % de la production locale d'électricité provient de l'énergie éolienne, dépend actuellement de l'importation d'électricité acheminable selon la demande du réseau électrique du Nouveau-Brunswick. L'hydrogène pourrait être une solution pour fournir de l'électricité acheminable selon la demande afin d'accroître l'indépendance énergétique et pourrait également être utilisé directement pour le chauffage en hiver comme système hybride pour compenser les pics saisonniers de la demande de chauffage électrique. La flexibilité de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique offre des options personnalisables pour chaque région du Canada.

Air de meilleure qualité

Lorsque l'hydrogène est utilisé dans une pile à combustible électrochimique, il n'émet que de l'eau, ce qui élimine complètement les émissions de particules, de SO_x, de NO_x et d'ozone troposphérique. Lorsqu'il est brûlé, sa combustion est plus propre que celle des autres carburants chimiques. L'adoption accrue de l'hydrogène permet d'obtenir un air de meilleure qualité, ce qui se traduit par l'amélioration de la santé des Canadiens et Canadiennes.

Bien qu'au cours des dernières décennies des efforts substantiels aient été faits au Canada pour améliorer la qualité de l'air, les indicateurs suggèrent que la pollution atmosphérique extérieure continue d'être un problème de santé important pour le public¹. Environ 2 % des décès, à l'exclusion des décès dus à des blessures, peuvent être attribués à l'exposition à l'ozone et 0,8 % à l'exposition aux particules fines, et la proportion des décès pouvant être attribués à l'ozone montre une tendance à la hausse. Le déploiement mondial de l'hydrogène dans les véhicules à pile à combustible à zéro émission vise à la fois à respecter les normes axées sur la santé pour la qualité de l'air et à atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre. On prévoit qu'un plus grand nombre de villes imposeront de nouvelles restrictions et interdiront les camions diesel émettant des matières particulaires fines (MP_{2,5}) afin d'améliorer la qualité de l'air pour leurs citoyens grâce à des initiatives telles que le programme C40 Cities².

¹ Environnement et Changement climatique Canada. (2018). *Tendances air-santé*. En ligne : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/tendances-air-sante.html>

² C40 Cities Climate Leadership Group, Inc. (2020). *About C40*. En ligne : <https://www.c40.org/about>

Atteinte des objectifs de décarbonisation

La capacité de l'hydrogène à contribuer à la décarbonisation des systèmes énergétiques est le principal facteur d'adoption.

Dans le cadre de l'Accord de Paris, le Canada s'est engagé à réduire d'ici 2030 ses émissions de GES de 30 % sous les niveaux de 2005, fixant une cible de 511 Mt pour 2030. Le gouvernement du Canada a également annoncé une cible de zéro émission nette à atteindre d'ici 2050. Le défi à relever correspond à une réduction de 729 Mt d'éq. CO₂ au cours des 30 prochaines années, selon les niveaux d'émissions de 2018. En réalité, ce défi est d'une ampleur bien plus importante, car l'augmentation de la population et la croissance économique seront des forces concurrentes dans les efforts de décarbonisation.

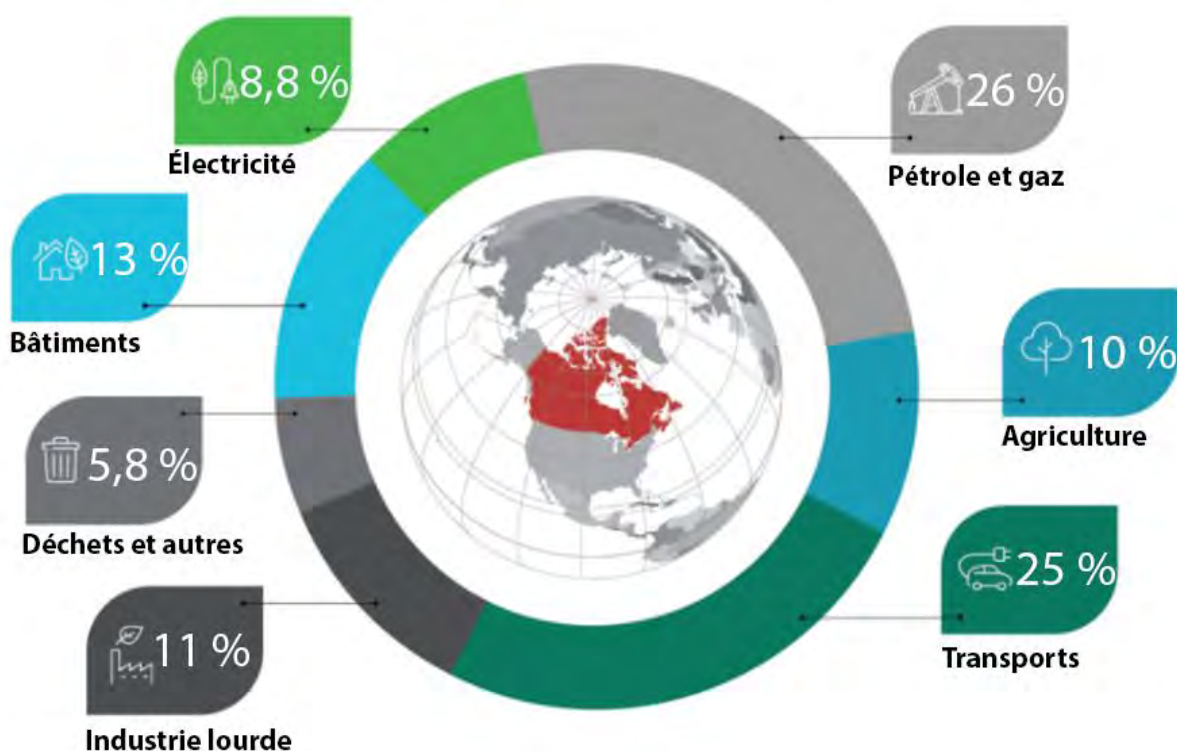


Figure 3 – Inventaire des émissions de GES du Canada pour 2017¹

La combustion répartie de combustibles à base de carbone contribue de manière importante aux émissions de GES du Canada dans les secteurs du pétrole et du gaz, des transports, des bâtiments, de l'électricité et de l'industrie lourde.

De nombreux leviers seront nécessaires pour atteindre la cible de zéro émission nette d'ici 2050 du Canada. L'hydrogène à faible IC offre la possibilité de contribuer à la résolution du problème de réduction des GES pour 2050, s'attaquant ainsi aux applications les plus difficiles pour lesquelles d'autres options comme l'électrification directe ne sont pas forcément avantageuses sur le plan technique ou économique. Les applications telles que le transport à grande distance, la chaleur de haute température pour l'industrie et les bâtiments, et l'utilisation comme matière première dans les procédés industriels sont mieux servies par l'hydrogène à faible intensité carbonique.

¹ Gouvernement du Canada. (2017). *Mesures prises par le Canada pour réduire les émissions*. En ligne : <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/plan-climatique/reduire-emissions.html>

2. Qu'est-ce que l'hydrogène?

Le potentiel de décarbonisation de l'hydrogène suscite beaucoup d'intérêt à l'échelle mondiale en tant qu'élément essentiel des systèmes à consommation énergétique nette zéro. Toutefois, pour bien comprendre les possibilités économiques et environnementales que présente l'hydrogène, il est important de se familiariser avec certains principes fondamentaux de cette ressource. L'hydrogène est un vecteur énergétique polyvalent sans carbone qui peut être produit à partir de diverses matières premières abondantes partout au Canada. L'hydrogène peut être converti en électricité grâce à une pile à combustible dans les véhicules électriques et les équipements de production d'énergie; il peut également être brûlé pour produire de la chaleur ou être utilisé comme matière première dans une gamme de procédés chimiques et industriels.

ASPECTS FONDAMENTAUX DE L'HYDROGÈNE

Quatorze fois plus léger que l'air, l'hydrogène est le premier élément du tableau périodique, car il est l'élément le plus simple et le plus léger sur Terre. L'hydrogène est l'élément le plus abondant de l'univers et représente environ 75 % de toute sa masse. À l'état naturel et gazeux, l'hydrogène est invisible, inodore, sans saveur et non toxique, ce qui le rend difficile à détecter. Comme l'électricité, l'hydrogène est un vecteur énergétique capable de conduire de l'énergie utilisable créée à distance sur un autre site. L'hydrogène est le carburant qui présente la plus grande valeur d'énergie par masse, l'énergie contenue dans 1 kg d'hydrogène équivalant à environ 2,8 kg d'essence. Cependant, l'hydrogène présente une faible densité d'énergie volumétrique, ce qui constitue un défi sur le plan de son stockage et de la rentabilité de sa distribution.

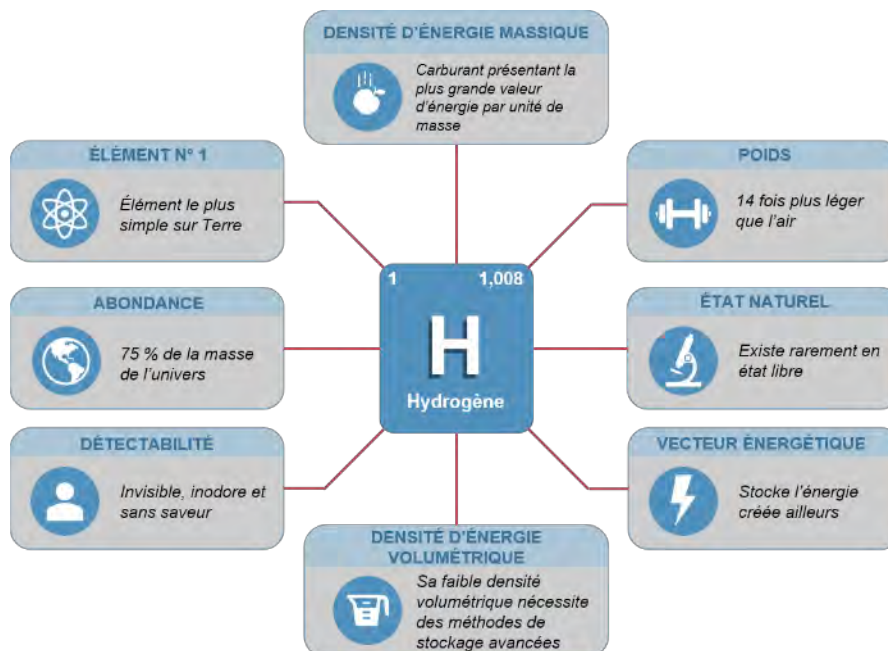


Figure 4 – Qu'est-ce que l'hydrogène?

Sa capacité à produire de l'électricité à partir d'une quantité limitée de sous-produits fait de lui un carburant de remplacement attractif. La réaction chimique entre l'hydrogène et l'oxygène produit de l'électricité, de la chaleur et de l'eau, sans qu'aucun polluant ou qu'aucune émission de carbone ne soit relâché au point d'utilisation. L'hydrogène est également un carburant propre lorsqu'il est utilisé comme combustible. Malgré son abondance dans l'univers, l'hydrogène est rarement présent à l'état naturel sur Terre et est couramment associé à d'autres sources comme l'eau (H₂O) et le méthane (CH₄). L'électrolyse et le reformage du méthane à la vapeur sont des pratiques courantes utilisées en vue d'extraire l'hydrogène de l'eau et du méthane, respectivement.

Avantages

L'hydrogène est un vecteur énergétique unique et polyvalent qui présente des avantages économiques et environnementaux et qui peut jouer un rôle considérable dans la décarbonisation des systèmes énergétiques. En tant que liquide ou gaz comprimé, l'hydrogène est un vecteur énergétique multifacettes. Il est le carburant qui présente la plus grande valeur d'énergie par masse, ce qui lui permet de conduire d'importantes quantités d'énergie de son point de production à son point d'utilisation finale. L'hydrogène peut être produit à partir de sources d'énergie propre et ne libère aucun carbone ou polluant à son point d'utilisation lorsqu'il est utilisé dans une pile à combustible.

L'hydrogène est adapté à des applications à forte intensité énergétique où l'électrification est difficile ou limitée, et où les applications reposant actuellement sur l'utilisation de gaz naturel à faible coût sont plus adaptées à des carburants chimiques à forte densité énergétique. Parmi les similitudes existantes entre le gaz naturel et l'hydrogène, nous pourrions citer les considérations sur la sécurité qui leur sont associées, leur capacité à être transportés sur de longues distances par pipeline ou par transport routier, ainsi que leur polyvalence en tant que vecteur énergétique, ce qui fait de l'hydrogène une excellente solution de rechange au gaz naturel pour cette gamme d'applications.



Vecteur
énergétique
polyvalent



Sans carbone au
point d'utilisation



Peut être produit à
partir de diverses
matières premières



Peut être
transporté sur
de longues
distances



Carburant présentant
la plus grande valeur
d'énergie par unité de
masse

Figure5 – Principaux avantages liés à l'utilisation de l'hydrogène

L'utilisation de l'hydrogène en tant que carburant pour VEPC devient rapidement une solution de rechange à zéro émission intéressante sur le plan des transports, surtout pour les véhicules lourds et les autobus urbains, qui nécessitent des carburants à forte densité énergétique. L'hydrogène peut également être utilisé comme carburant pour produire de l'énergie, ce qui permet de gérer les charges et de stocker l'énergie. Le secteur des énergies renouvelables pourrait ainsi se développer.

L'hydrogène peut être brûlé soit directement, soit mélangé à du gaz naturel, afin de chauffer les bâtiments et de fournir de la chaleur de haute température à l'industrie tout en réduisant les émissions de carbone.

L'hydrogène est couramment utilisé comme matière première dans des procédés industriels comme le raffinage du pétrole, la valorisation du bitume, ainsi que la production de l'ammoniac, du méthanol et de l'acier.

Pour de plus amples renseignements concernant les utilisations finales de l'hydrogène, veuillez consulter la section « *Possibilités d'utilisation finale de l'hydrogène* ».

CHAÎNE DE VALEUR DE L'HYDROGÈNE

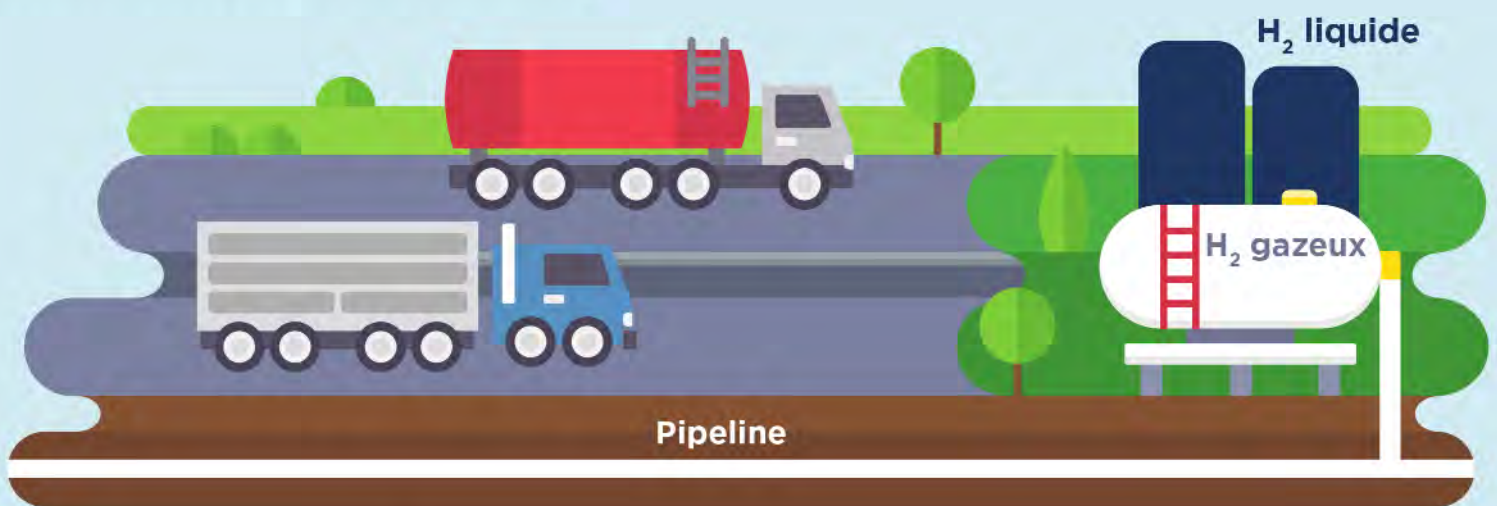
PRODUCTION

COMBUSTIBLES FOSSILES ET PRODUITS CHIMIQUES UTILISÉS COMME MATIÈRES PREMIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET BIOMASSE UTILISÉES COMME MATIÈRES PREMIÈRES



TRANSPORT ET STOCKAGE



UTILISATIONS FINALES



TRANSPORTS



PRODUCTION ET STOCKAGE D'ÉNERGIE



CHALEUR POUR L'INDUSTRIE ET CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS



MATIÈRE PREMIÈRE



EXPORTATION

UN ÉLAN MONDIAL EN FAVEUR DE L'HYDROGÈNE PROPRE

Production mondiale actuelle d'hydrogène par source d'énergie

Figure7 donne un aperçu de la production mondiale d'hydrogène par source d'énergie en 2018. La production totale d'hydrogène à l'échelle mondiale en 2018 était de 144 Mt, parmi lesquelles 67 % ont été produites délibérément et 33 % ont été produites sous forme de sous-produit de procédés industriels¹.

À l'heure actuelle, l'hydrogène est essentiellement produit à partir de combustibles fossiles. En 2018, 48 % du total de l'hydrogène produit dans le monde entier était dérivé du gaz naturel. La production d'hydrogène à partir du charbon, qui s'explique principalement par sa popularité en tant que source d'énergie en Chine, représentait 18 % de sa production totale. L'électricité et le pétrole représentaient respectivement 0,48 % de sa production, le reste ayant été généré sous forme de sous-produit de procédés industriels, comme la production de chloralcali et de chlorate de sodium.

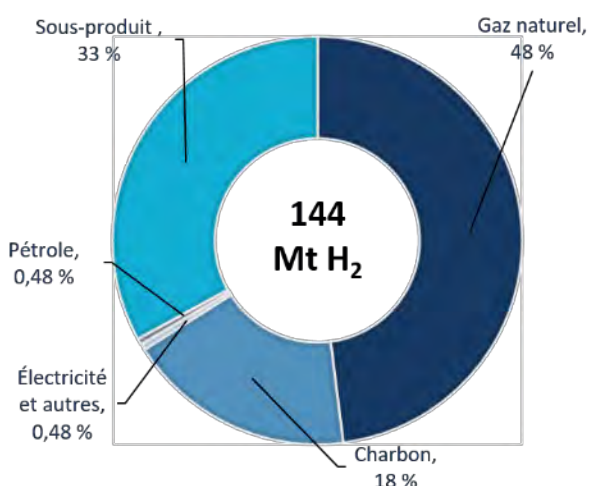


Figure7 – Production mondiale d'hydrogène par source d'énergie (2018)¹

Demande mondiale actuelle en hydrogène

La demande mondiale en hydrogène en 2018, présentée dans la Figure8, était de 115 Mt H₂.

Les applications recourant à de l'hydrogène pur représentaient 60 % (69 Mt H₂) de toute la demande. L'utilisation finale de l'hydrogène pur dans le raffinage du pétrole et la production d'ammoniac figurait parmi les plus courantes et représentait respectivement 33 % et 27 % de la demande totale. Le reste de l'utilisation d'hydrogène pur en 2018 est associée aux industries du transport, des produits chimiques, des métaux, de l'électronique et de la fabrication du verre.

La demande en hydrogène mixte couvrait les 40 % restants du marché (46 Mt H₂), les autres utilisations finales comme la production de chaleur à partir du gaz produit par les aciéries et du gaz dérivé des vapocraqueurs représentant 23 % de la demande totale. Parmi les autres utilisations de l'hydrogène mixte, nous pourrions citer la production de méthanol et d'acier produit à partir de fer de réduction directe (FRD).

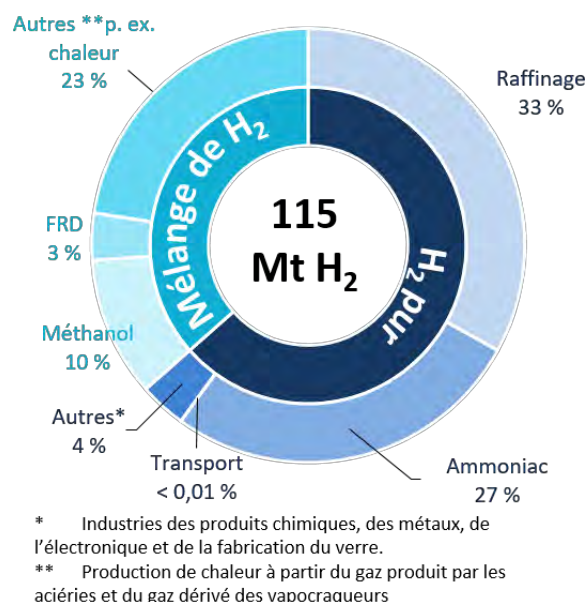


Figure8 – Demande mondiale en hydrogène par utilisation finale (2018)¹

¹ AIE. (2019). *The Future of Hydrogen*. En ligne : https://www.capenergies.fr/wp-content/uploads/2019/07/the_future_of_hydrogen.pdf

L'intérêt pour l'hydrogène dans la transformation énergétique mondiale s'accroît rapidement, les projections indiquant un décuplement de la demande au cours des prochaines décennies. Depuis 2010, la demande mondiale en hydrogène a connu une croissance modérée de 28 %. Cependant, des études indiquent que l'hydrogène, appuyé par les bons incitatifs, investissements et politiques, pourrait combler de 18 à 24 % de la demande énergétique mondiale d'ici 2050¹, et bien plus encore pour certains pays. Si l'on se fie à leurs stratégies et à leurs cibles existantes, les cinq plus grands consommateurs d'hydrogène devraient être la Chine, les États-Unis, le Japon, la Corée du Sud et la Californie.

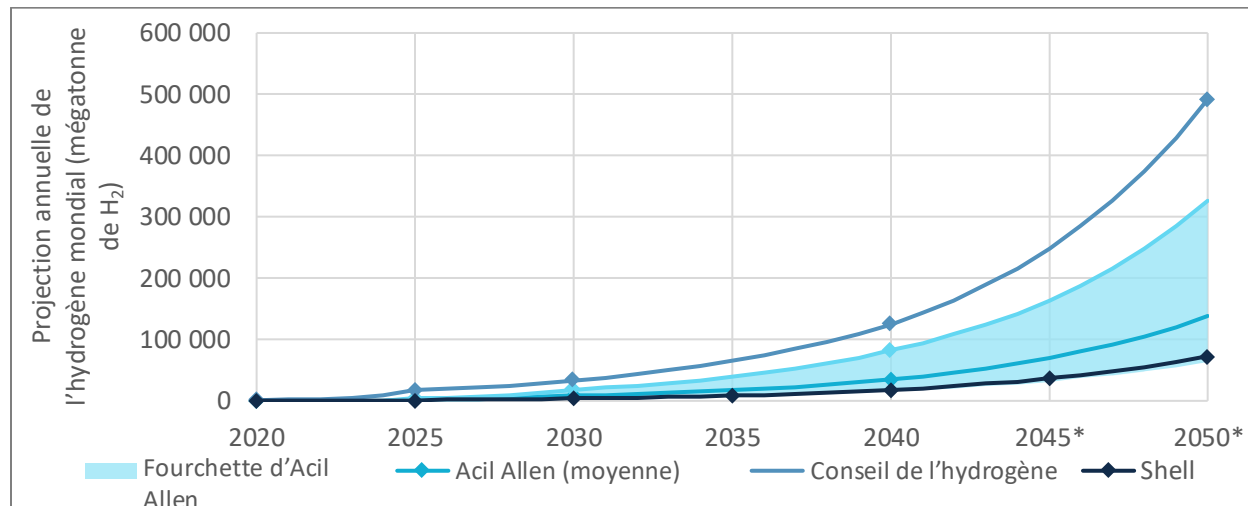


Figure 9 – Fourchettes d'estimations de la demande annuelle mondiale en hydrogène

Les pays du monde entier élaborent actuellement des stratégies et des feuilles de route visant à éclairer leur propre transition vers une économie de l'hydrogène. Ces stratégies propres à chaque pays et région visent à optimiser l'utilisation des voies d'approvisionnement et des applications finales de l'hydrogène pour alimenter leurs économies propres et se positionner sur le marché international. Le nombre de pays dont les politiques soutiennent directement les investissements dans les technologies de l'hydrogène augmente, ainsi que le nombre de secteurs que ces politiques ciblent. Figure 10 présente les annonces relatives aux stratégies nationales ou régionales, aux plans de grands projets et à d'autres plans ou investissements d'importance effectués au cours des deux dernières années. D'après le Conseil de l'hydrogène (Hydrogen Council), en date du mois de janvier 2020, 18 gouvernements, dont les économies représentent plus de 70 % du PIB mondial, ont élaboré des stratégies nationales consacrées à l'hydrogène².

¹ AIE. (2019). *The Future of Hydrogen*. https://www.capenergies.fr/wpcontent/uploads/2019/07/the_future_of_hydrogen.pdf

² Hydrogen Council. (2020). *Path to hydrogen competitiveness: A Cost perspective*. En ligne : <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness-Full-Study-1.pdf>

CALENDRIER DES ACTIVITÉS INTERNATIONALES RÉCENTES LIÉES À L'HYDROGÈNE

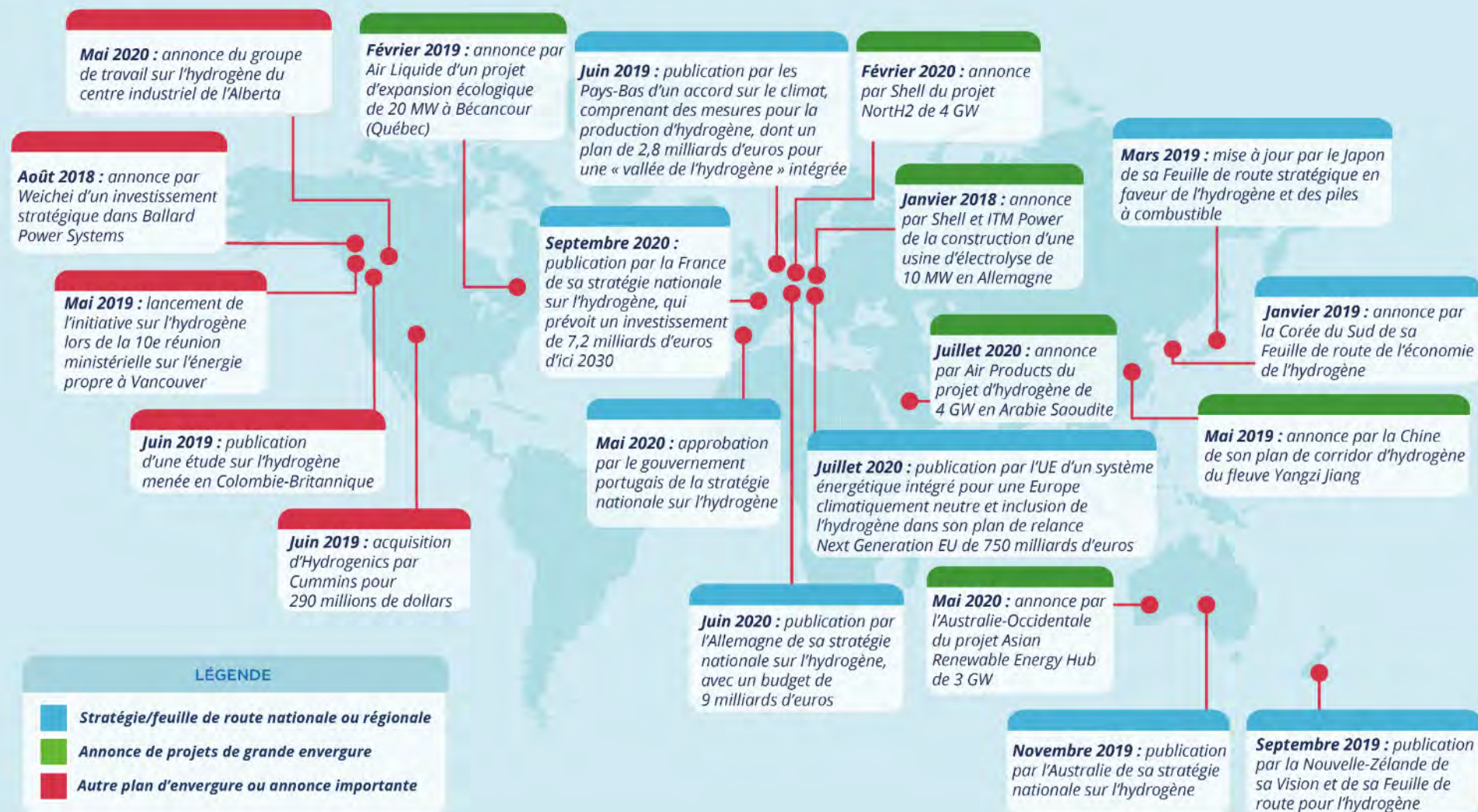


Figure 10 – Un élan international en faveur de l'hydrogène



3. Possibilités de production et de distribution du Canada

Le Canada est sur la bonne voie pour devenir l'un des principaux producteurs mondiaux d'hydrogène propre. Plus précisément, l'hydrogène peut être produit à partir de diverses matières premières, dont l'eau et l'électricité, des combustibles fossiles et la biomasse, et sous forme de sous-produit de procédés industriels. Compte tenu de l'ampleur de la demande projetée d'hydrogène au pays et dans le monde, le Canada sera obligé de maximiser l'utilisation de toutes les voies de production d'hydrogène à faible intensité carbonique à l'échelle du pays. Toutes les régions auront ainsi la possibilité de bénéficier de leur éventail de voies de production unique, basé sur les ressources et les facteurs économiques locaux. Le vaste réseau de pipelines de gaz naturel du Canada, combiné aux nouveaux équipements de stockage et de distribution, peut être mis à profit pour acheminer l'hydrogène des lieux de production vers les lieux d'utilisation finale.

VOIES DE PRODUCTION

L'hydrogène est un vecteur énergétique chimique qui peut être produit à partir de diverses matières premières, dont l'eau et l'électricité, des combustibles fossiles (comme le gaz naturel et le pétrole brut) et la biomasse, et sous forme de sous-produit de procédés industriels. Le Canada jouit d'un avantage particulier en tant que producteur d'hydrogène en raison de ses importantes ressources en hydrocarbures à faible coût et de son approvisionnement abondant en électricité propre provenant de sources comme l'hydroélectricité, le nucléaire, l'énergie éolienne et l'énergie solaire. Les différentes méthodes de production de l'hydrogène, des matières premières d'entrée aux gaz en vrac de sortie, sont connues sous le nom de voies de production. Tous les vecteurs énergétiques, y compris les combustibles fossiles et l'électricité, subissent des pertes de conversion au moment de la production, de la distribution et de l'utilisation. Ces pertes s'accumulent le long de la chaîne de production et ont une incidence sur l'efficacité globale du vecteur énergétique. De la même manière, l'intensité carbonique des différents processus dans la voie de production s'ajoute à l'intensité carbonique globale, généralement exprimée en grammes d'équivalent en dioxyde de carbone par unité d'énergie en mégajoules (g d'éq. CO₂/MJ). Dans l'évaluation des voies de production de l'hydrogène, ensemble et par rapport à d'autres vecteurs énergétiques, il faut tenir compte du rendement de conversion, de l'intensité carbonique, de la disponibilité des matières premières, du coût, et des répercussions sur le stockage et la distribution.

Les molécules d'hydrogène n'existent généralement pas à l'état libre dans la nature; toutefois, elles sont présentes en abondance dans de nombreux composés. L'hydrogène doit être produit à partir de matières premières à l'aide d'intrants énergétiques. Lors de l'étude des voies locales viables relatives à l'hydrogène, il faut tenir compte de la disponibilité des matières premières et des sources d'énergie. L'hydrogène présente également l'avantage d'être exempt de carbone au point d'utilisation, ce qui en fait un produit idéal pour la consommation distribuée et centralisée. Lorsqu'il est brûlé, l'hydrogène ne produit pas de gaz à effet de serre, de particules, de SO_x ou d'ozone troposphérique, bien qu'il puisse y avoir des émissions de NO_x. Lorsqu'il est utilisé dans une pile à combustible électrochimique, il n'émet que de l'eau. Cependant, la production de l'hydrogène peut entraîner des émissions de gaz à effet de serre et la voie de production définit l'intensité carbonique. Étant donné que l'utilisation de l'hydrogène au Canada est



principalement motivée par les réductions de gaz à effet de serre qu'elle peut entraîner, il est important que le Canada concentre sa future production de l'hydrogène sur les voies économiques à faible intensité carbonique.





Le Canada est aujourd'hui un important producteur d'hydrogène, avec environ 3 millions de tonnes produites chaque année, principalement par reformage à la vapeur du méthane présent dans le gaz naturel à des fins industrielles, notamment le raffinage du carburant et la production d'engrais azotés, et se classe parmi les dix premiers producteurs d'hydrogène mondiaux. Bien que le reformage du méthane à la vapeur à lui seul ne soit pas considéré comme une voie de production de l'hydrogène à faible intensité carbonique, le Canada est bien placé pour effectuer la transition vers des voies propres à l'avenir.

Les couleurs sont souvent utilisées pour représenter les différentes voies de production de l'hydrogène. À titre de référence, les définitions des couleurs courantes sont fournies dans le Tableau 1. Bien que cette terminologie soit largement utilisée, les définitions et les délimitations ne sont pas normalisées et peuvent créer une ambiguïté. Dans cette section, les différentes voies de production seront plutôt décrites en fonction de leurs matières premières d'entrée et de leur intensité carbonique estimée.

Le Canada affiche l'une des plus faibles IC du monde en matière d'approvisionnement en électricité, étant donné sa capacité de production hydroélectrique et son statut de région nucléaire de niveau 1, ses abondantes réserves de combustibles fossiles, sa géologie de stockage du CO₂ de calibre mondial, son potentiel de croissance dans le domaine des énergies renouvelables variables, son approvisionnement en biomasse à grande échelle et ses ressources en eau douce, qui peuvent tous être mis à profit pour produire de l'hydrogène.

Tableau 1 – Matières premières courantes pour la production de l'hydrogène et voies de production étudiées et déployées

Procédé de production		Matières premières et sources d'énergie	Avantages et inconvénients	Exemples
GRIS		Matières premières : gaz naturel, charbon gazéifié	Avantages : faible coût, abondant Inconvénients : intensité carbonique plus élevée	Le Canada produit environ 3 millions de tonnes d'hydrogène gris par année, principalement à des fins industrielles.
	Produit par reformage du méthane à la vapeur sans captage et séquestration du carbone (CSC)			
BLEU		Matières premières : gaz	Avantages : faible coût, abondant, faible IC; la pyrolyse offre	Projet Quest de l'Alberta

		naturel, charbon, bitume brut	une flexibilité en termes d'échelle et de choix de site Inconvénients : La détermination de l'emplacement relativement à la voie de production par reformage du méthane à la vapeur est limitée par le CUSC, la matière première n'est pas renouvelable	
VERT	 	Matières premières : eau Source d'énergie : Électricité renouvelable	Avantages : intensité carbonique plus faible, adaptable Inconvénients : coût plus élevé, coût de renonciation; concurrence avec la demande d'électrification	Électrolyseur de 20 MW d'Air Liquide à Bécancour. Des projets sont en cours en Colombie-Britannique pour soutenir le réseau de ravitaillement en hydrogène.
	Produit à partir de l'eau par électrolyse en utilisant de l'électricité renouvelable telle que l'hydroélectricité et l'énergie éolienne ou solaire			
NUCLÉAIRE	 	Matières premières : eau Source d'énergie : uranium/électricité nucléaire	Avantages : faible intensité carbonique Inconvénients : disponibilité limitée et contraintes liées au choix du site	Étude de faisabilité prévue dans le comté de Bruce.
	Produit à partir de l'eau par électrolyse ou de hautes températures provenant de l'énergie nucléaire			

La Figure 11 donne un aperçu des voies de production canadiennes matures. D'autres technologies émergentes sont en cours de développement et sont également prometteuses.

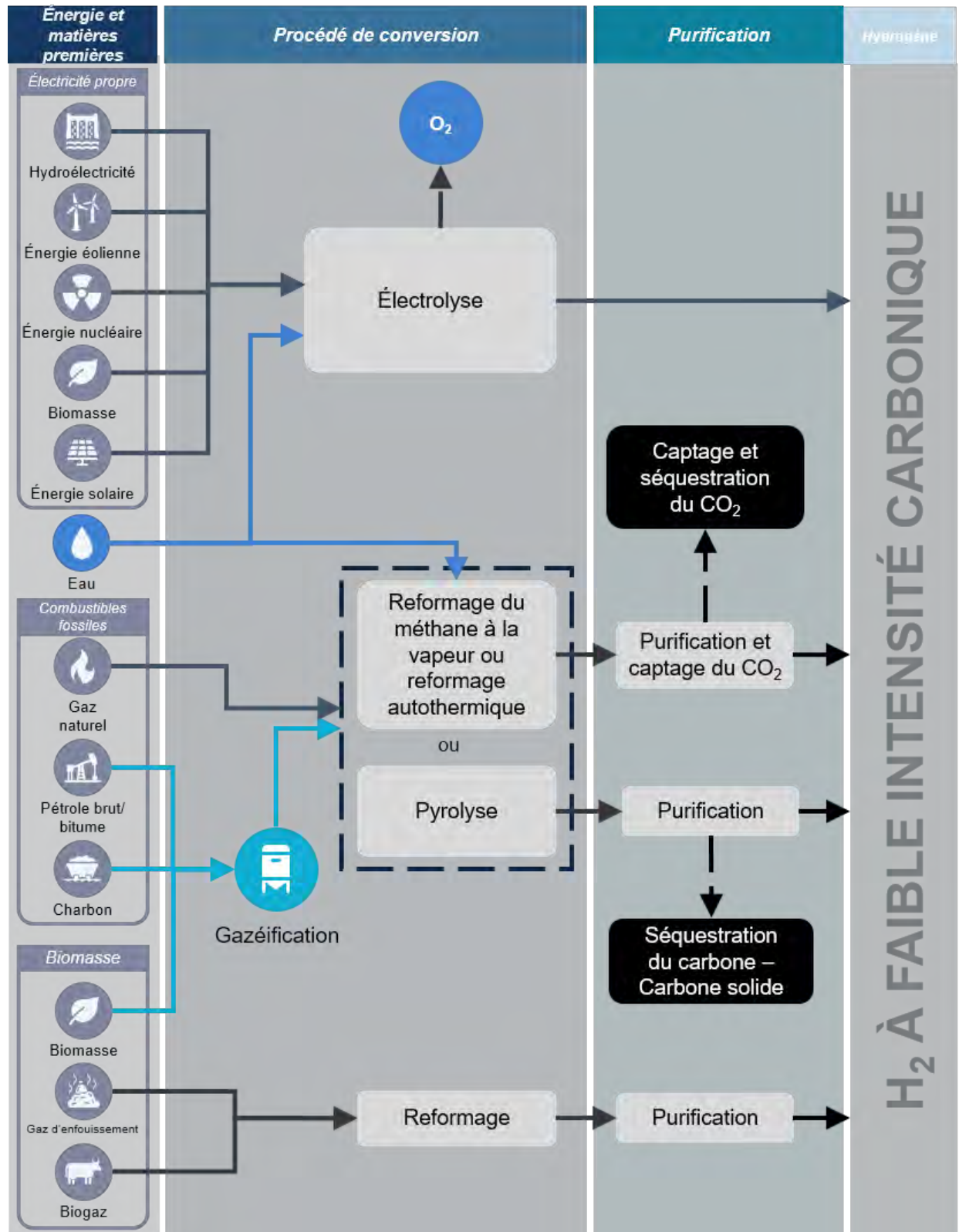


Figure 11 – Voies de production de l'hydrogène au Canada

Production de l'hydrogène à partir d'eau et d'électricité

Le Canada est bien placé en tant que producteur d'hydrogène à partir d'électricité étant donné que 67 % de l'approvisionnement en électricité du Canada provient de sources renouvelables et 82 % de sources non émettrices de GES¹. Le Canada est également le troisième producteur d'énergie hydroélectrique en importance à l'échelle mondiale. Ces sources d'électricité importantes, prévisibles et à faibles émissions de carbone sont favorables à la production de l'hydrogène à grande échelle par électrolyse.



L'électrolyse est le procédé consistant à utiliser l'électricité pour séparer l'eau en hydrogène et en oxygène. Dans ce procédé, l'eau est séparée en hydrogène et en oxygène à l'aide d'un courant électrique et d'un électrolyte ou d'une membrane. Il faut environ 9 litres d'eau douce pour produire 1 kg d'hydrogène et 8 kg d'oxygène. L'hydrogène qui en résulte est très pur et peut être utilisé directement dans les transports et d'autres utilisations finales sans subir un autre traitement. L'oxygène, bien que souvent mis à l'air libre, peut également être utilisé dans des applications médicales ou industrielles.

Les principales technologies d'électrolyseurs sont la technologie alcaline, la membrane échangeuse de protons (MEP) et les cellules d'électrolyse à oxydes solides. La technologie alcaline est une technologie plus ancienne qui est utilisée depuis plus d'un siècle. Elle fonctionne mieux avec une charge constante, a un faible coût en capital et peut atteindre plus de 150 MW. Les électrolyseurs à MEP utilisent la même technologie membranaire que les piles à combustible à MEP. Ils peuvent fonctionner avec une gamme de charges et peuvent répondre de manière dynamique, ce qui les rend avantageux pour les services publics d'électricité à la recherche d'une demande flexible afin de les associer aux énergies renouvelables variables. La technologie finale, soit la cellule d'électrolyse à oxydes solides, est toujours commercialisée et fonctionne à haute température. Il est possible de combiner ces électrolyseurs avec la chaleur de sortie des centrales nucléaires et des systèmes géothermiques et solaires thermiques.

Énergies renouvelables et hydroélectricité

Le Canada est le troisième producteur d'énergie hydroélectrique en importance à l'échelle mondiale. Les provinces qui produisent la plus grande partie de l'énergie hydroélectrique sont :

- ◆ le Manitoba : l'hydroélectricité représente 96,8 % de sa production d'énergie

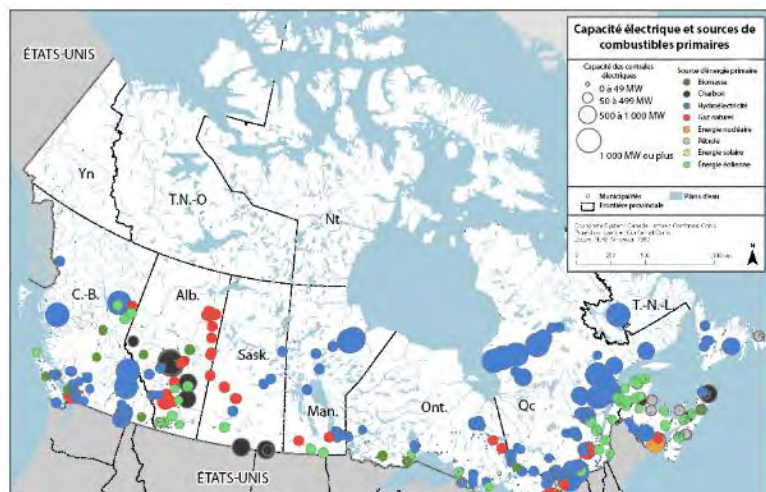


Figure 12 – Capacité électrique et sources de combustibles primaires par province au Canada

¹ RNCAN. (2020). *Faits sur l'électricité*. En ligne : https://www.rncan.gc.ca/science-donnees/donnees-analyse/donnees-analyse-energetiques/faits-saillants-sur-lenergie/faits-lelectricite/20079?_ga=2.19701432.145676228.1602056879-45417966.1568926339

- ◆ le Québec : l'hydroélectricité représente 95 % de sa production d'énergie
- ◆ Terre-Neuve-et-Labrador : l'hydroélectricité représente 93,7 % de sa production d'énergie
- ◆ le Yukon : l'hydroélectricité représente 92 % de sa production d'énergie
- ◆ la Colombie-Britannique : l'hydroélectricité représente 90 % de sa production d'énergie

Dans ces provinces, les fournisseurs de services publics d'électricité pourraient jouer un rôle important dans la chaîne de valeur de l'hydrogène. Les parcs d'électrolyseurs situés dans des installations de production peuvent fournir des services de régulation du réseau, et l'hydrogène produit peut constituer une autre source de revenus de grande valeur pour les services publics. La production décentralisée par électrolyse peut également être implantée à proximité des centres de demande. Les électrolyseurs sont adaptables de façon intrinsèque, et de nombreux fabricants d'équipement ont mis au point des solutions conteneurisées faciles à installer.

Les producteurs d'électricité indépendants, qui exploitent par exemple des centrales de production d'énergie au fil de l'eau, éolienne ou solaire, peuvent également jouer un rôle important dans la chaîne de valeur, en particulier dans les provinces où les ententes d'achat d'énergie doivent être renégociées.

À mesure que la part d'énergie éolienne et d'énergie solaire intégrée dans le bouquet énergétique du Canada augmente, elles offrent la possibilité d'accroître la production de l'hydrogène à faibles émissions de carbone et de réduire les coûts de l'approvisionnement variable. L'hydrogène peut à son tour améliorer la rentabilité des énergies renouvelables variables en fournissant un stockage d'énergie à grande échelle qui optimise l'utilisation de ces actifs de production d'électricité. Par exemple, l'Ontario a réduit de 6 à 8 TWh la production d'électricité renouvelable en 2016, ce qui a entraîné une importante perte de revenus qui auraient pu être utilisés pour produire de l'hydrogène². Le Canada se classe au 9^e rang mondial en ce qui concerne les installations éoliennes et solaires. La production des parcs éoliens et des panneaux solaires photovoltaïques est passée d'une quantité négligeable en 2005 à environ 5 % de la production totale d'électricité en 2018, la capacité de production d'électricité éolienne du Canada étant de 13,0 GW et celle d'électricité solaire de 2,9 GW au Canada. La majorité des installations éoliennes au Canada sont situées en Ontario, au Québec et en Alberta, tandis que l'Ontario abrite plus de 98 % des installations solaires du Canada.

Nucléaire

Les réacteurs nucléaires produisent de l'électricité ainsi que de la chaleur industrielle qui peuvent être utilisées pour la production de l'hydrogène à faible intensité carbonique. Les grands réacteurs conviennent à la production centralisée d'hydrogène à grande échelle, tandis que les petits réacteurs modulaires seront plus adaptés à la production décentralisée de l'hydrogène. L'hydrogène peut être produit par électrolyse à partir d'électricité peu coûteuse en dehors des périodes de pointe provenant des centrales nucléaires existantes. Des efforts sont en cours visant à étudier les paramètres économiques de la production d'hydrogène à partir d'énergie nucléaire en Ontario, à la centrale nucléaire de Bruce. Les possibilités de production de l'hydrogène aujourd'hui à partir d'énergie nucléaire se trouvent en Ontario, où sont situées trois des quatre centrales nucléaires, et au Nouveau-Brunswick.

De petits réacteurs modulaires sont en cours de développement au Canada et partout dans le monde. Certains modèles de petits réacteurs modulaires peuvent produire de la chaleur industrielle à haute température, ce qui améliore l'efficacité globale de la production de l'hydrogène (voir ci-dessous). Le

¹ REC. (2017). En ligne : <https://www.cer-rec.gc.ca/nrg/ntgrtd/mrkt/nrgsstmpfils/mg/cnd-mp-lctrct-eng.pdf>

² Commissaire à l'environnement de l'Ontario. (2018). *Rapport annuel sur les progrès liés à l'économie d'énergie, 2018, volume un* En ligne : <http://docs.assets.eco.on.ca/reports/energy/2018/Making-Connections-07-FR.pdf>

déploiement commercial de réacteurs avancés et de petits réacteurs modulaires ne devrait pas constituer une occasion à court terme, mais offre une possibilité à plus long terme pour la production de l'hydrogène.

Nucléaire à haute température et électrolyse

Il existe plusieurs voies de production de l'hydrogène qui utilisent la chaleur à haute température produite par les réacteurs nucléaires. Une des méthodes consiste à utiliser la vapeur produite par les réacteurs nucléaires comme réactif dans le processus de reformage du méthane à la vapeur décrit ci-dessus. Cela éliminerait la nécessité d'utiliser le gaz naturel pour produire de la vapeur, et simplifierait et réduirait le coût du captage du carbone.

L'utilisation de la vapeur à la place de l'eau liquide dans un électrolyseur peut également réduire les besoins en électricité, car la vapeur est plus facile à séparer que l'eau. Les électrolyseurs avec cellules d'électrolyse à oxydes solides, qui fonctionnent à des températures élevées, pourraient tirer parti de la vapeur produite par les réacteurs nucléaires pour améliorer l'efficacité de la production de l'hydrogène et utiliser la chaleur qui serait autrement gaspillée.

À mesure que de nouveaux modèles de réacteurs nucléaires seront commercialisés, notamment les petits réacteurs modulaires, les réacteurs à fission à haute température et, éventuellement, les réacteurs à fusion, la température de l'eau de sortie continuera d'augmenter. La décomposition thermochimique de l'eau utilise la chaleur de 500 à 2000 °C et des réactifs chimiques réutilisables comme l'oxyde de cérium et le chlorure de cuivre pour produire de l'hydrogène. Comme le processus est un système fermé, les produits chimiques sont réutilisables. La production de l'hydrogène à partir d'énergie nucléaire à haute température pourrait être un processus de cogénération précieux pour les sites nucléaires de la prochaine génération au Canada, améliorant ainsi l'efficacité globale du système.

Production de l'hydrogène à partir de combustibles fossiles avec CUSC

Le Canada possède de vastes ressources en combustibles fossiles sous forme de gaz naturel, de pétrole brut et de bitume. Lorsqu'elles sont associées avec le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC), ces ressources peuvent être converties en hydrogène à faible intensité carbonique. Cette voie présente l'avantage d'être

VOIE DE TRANSITION POUR LE SECTEUR CANADIEN DU PÉTROLE ET DU GAZ

Le Canada a le potentiel de produire de grandes quantités d'hydrogène à partir du gaz naturel en association avec le CUSC. Les provinces qui produisent le plus de gaz naturel sont l'Alberta et la Colombie-Britannique, suivies de la Saskatchewan, et ce sont les provinces qui conviennent le mieux à cette voie de production de l'hydrogène.

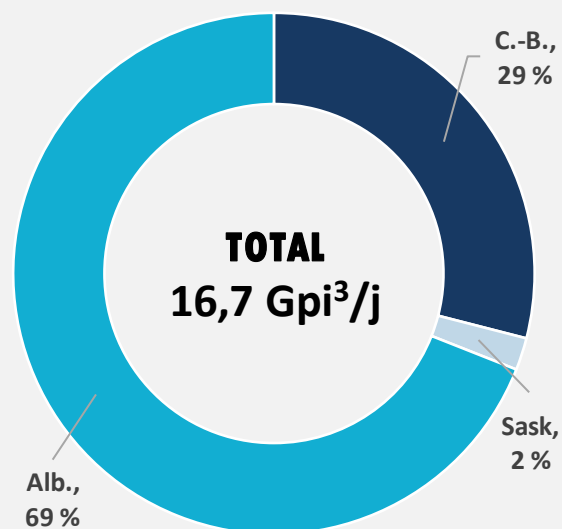


Figure 13 – Production de gaz naturel commercialisable au Canada en 2018, par province

En Alberta, un nouveau groupe de travail a été annoncé pour stimuler l'économie de l'hydrogène dans le centre industriel de la province afin de saisir cette occasion de transformation. Le groupe de travail rassemblera les industries de production, de distribution et d'approvisionnement de la région afin de réduire les risques liés aux investissements, en mettant un accent particulier sur le secteur du transport lourd. Ce type de déploiement multidimensionnel, qui couvre les mesures prises dans l'ensemble de la chaîne de valeur, est un exemple de premier centre pour le déploiement.

la méthode de production de l'hydrogène propre à grande échelle la moins coûteuse, compte tenu des technologies et des coûts des produits de base actuels. Avec ses réserves de combustibles fossiles et sa capacité de stockage du CO₂, le Canada peut répondre à la demande à grande échelle pendant de nombreuses décennies. Cette section résume les principales voies de production commerciale de l'hydrogène à partir des combustibles fossiles au Canada et leurs options connexes relativement au CUSC.

Il existe un important potentiel de croissance pour le CUSC et la production d'hydrogène au Canada, ce qui pourrait avoir une incidence importante sur la réduction des émissions. Selon une analyse récente de l'Accélérateur de transition, il existe au Canada un potentiel dépassant de huit fois la production nationale actuelle d'hydrogène à partir du gaz naturel dans un système à consommation énergétique nette zéro pour 2050. Les besoins en matière de CUSC pour une production d'hydrogène de cette ampleur seraient d'environ 203 Mt de CO₂ par année. Étant donné que les projets opérationnels actuels de CUSC au Canada permettent de capter et de stocker environ 4 Mt de CO₂ par année, cela représenterait une augmentation importante de l'activité de CUSC. Ces possibilités ont également été cernées dans l'objectif de la vision et de la stratégie de l'Alberta en matière de gaz naturel, qui consiste à déployer la production d'hydrogène bleu avec CUSC à grande échelle dans toute la province d'ici 2030.

Gaz naturel

Le Canada est le quatrième plus important producteur et aussi le sixième plus important exportateur de gaz naturel dans le monde. Les ressources canadiennes commercialisables de gaz naturel peuvent maintenir les niveaux de production actuels pendant 300 ans. Cependant, lorsqu'il est brûlé ou utilisé directement sous forme de méthane, il dégage des émissions de GES. Si le méthane est plutôt converti en hydrogène et associé au CUSC, l'intensité carbonique du carburant produit peut être réduite d'environ 90 %. La production de l'hydrogène à partir du gaz naturel offre une occasion unique de tirer parti des vastes réserves de gaz du Canada pour produire un vecteur énergétique à faible intensité carbonique en attendant que d'autres technologies de production soient mises à l'échelle.

Lorsqu'il est capté sous forme de CO₂, le carbone peut être utilisé pour la récupération assistée des hydrocarbures ou comme matière première industrielle, à condition que les émissions ne retournent pas dans l'atmosphère. Il peut également être stocké sous terre, à condition qu'il existe une géologie de sous-surface appropriée. La production de l'hydrogène à partir du gaz naturel par reformage du méthane à la vapeur avec CUSC sera limitée par la disponibilité et l'accessibilité de la géologie de stockage du carbone. L'Alberta, la Colombie-Britannique et la Saskatchewan disposent d'importantes réserves de gaz naturel et d'un potentiel de stockage du CO₂, ce qui fait d'elles les mieux adaptées à cette voie de production. Dans la production de l'hydrogène à partir du gaz naturel par pyrolyse, le carbone est capté sous forme de carbone solide, ce qui permet une production distribuée proche de la demande, sans contraintes géologiques.

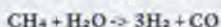
Il existe trois principales méthodes commerciales pour convertir le gaz naturel en hydrogène et en carbone : 1) le reformage du méthane à la vapeur qui utilise de l'eau à haute température comme oxydant et source d'hydrogène, 2) le reformage autothermique qui utilise des oxydants à la fois dans l'eau et dans l'air, et 3) la pyrolyse qui repose sur la séparation du méthane en hydrogène et en carbone solide en utilisant une chaleur élevée.

Dans le cadre du reformage du méthane à la vapeur, le gaz naturel est utilisé à la fois comme matière première et comme combustible pour produire de la vapeur. Dans la première réaction, le méthane est combiné à la vapeur (H₂O + chaleur) pour produire un gaz synthétique composé de CO₂, de CO et de H₂. Le gaz synthétique est ensuite séparé par conversion de l'eau en gaz (WGS) et adsorption modulée en pression (AMP). L'ajout du captage du carbone à différentes étapes du processus augmente les coûts et réduit l'efficacité globale, mais améliore le rendement environnemental. Le captage du CO₂ provenant de la conversion de l'eau en gaz et de l'adsorption modulée en pression permet de réduire les émissions

d'environ 60 %, alors que l'ajout du captage du CO₂ provenant des gaz de combustion permet d'obtenir un captage total du carbone de 90 % pour un coût supplémentaire de 45 %¹. Le reformage du méthane à la vapeur est la technologie la plus utilisée pour la production de l'hydrogène au Canada et devrait continuer à être l'une des principales voies à l'avenir, avec l'ajout du CUSC pour réduire l'intensité carbonique.

REFORMAGE DU MÉTHANE À LA VAPEUR (RMV)

À l'heure actuelle, l'hydrogène est essentiellement produit à partir d'un procédé chimique connu sous le nom de reformage du méthane à la vapeur (RMV). Le RMV consiste à mélanger du méthane à de la vapeur et à chauffer le mélange en présence d'un catalyseur dans un réacteur chimique appelé reformeur de méthane. Une réaction chimique produit de l'hydrogène (H₂) et du monoxyde de carbone (CO) :



Le flux de sortie du reformeur, appelé gaz de synthèse, est envoyé vers un second réacteur, appelé réacteur de conversion de l'eau en gaz, pour produire plus d'hydrogène et convertir une partie du CO en dioxyde de carbone (CO₂) :



Un purificateur d'hydrogène sépare l'hydrogène de grande pureté du flux sortant du réacteur de conversion. Les gaz restants (méthane, CO et CO₂ n'ayant pas réagi) sont utilisés comme combustible pour le chauffage dans le reformeur afin de fournir de la chaleur supplémentaire et de détruire le monoxyde de carbone.

Le procédé de RMV produit de l'hydrogène de grande pureté. Il génère du CO₂ à partir des réactions chimiques et de la combustion du combustible pour chauffer le reformeur.



Figure 14 – Procédé de reformage du méthane à la vapeur et description²

Le reformage autothermique (ATR) est une autre technologie qui utilise la chaleur produite par le reformeur lui-même pour obtenir des taux de récupération de CO₂ plus élevés. Tout le CO₂ du processus est produit à l'intérieur du reformeur, de sorte qu'il n'y a pas de gaz de combustion supplémentaire provenant de la production de chaleur nécessitant une décarbonisation. Cette méthode permet de réduire le coût du captage du CO₂, car les gaz produits sont plus concentrés. Le reformage autothermique (ATR) est largement utilisé dans les industries de l'ammoniac et du méthanol et des usines pilotes d'ATR + CUSC sont prévues au Royaume-Uni et dans l'UE³.

La pyrolyse est une technologie de production d'hydrogène en développement qui utilise la chaleur à haute température pour séparer la molécule de méthane en ses éléments constitutifs. Le résultat est une forme très pure d'hydrogène gazeux et de carbone solide. Les deux principales technologies de pyrolyse sont la pyrolyse thermique et la pyrolyse au plasma. Dans la pyrolyse thermique, la chaleur provenant du gaz naturel est utilisée pour décomposer la molécule de méthane. Une partie du méthane servant de matière première n'est pas utilisée comme réactif; elle est captée de nouveau pour être utilisée comme combustible de transformation. Cette approche réduit le rendement de conversion et augmente les

¹ Layzell DB, Young C, Lof J, Leary J et Sit S. 2020. *Towards Net-Zero Energy Systems in Canada: A Key Role for Hydrogen*. Les rapports de l'Accélérateur de transition : volume 2, numéro 3. En ligne : <https://transitionaccelerator.ca/towards-net-zero-energy-systems-in-canada-a-key-role-for-hydrogen>

² Global CCS Institution. (2019). *Global Status of CCS*.

³ AIE. (2019). *The Future of Hydrogen*. En ligne : https://www.capenergies.fr/wp-content/uploads/2019/07/the_future_of_hydrogen.pdf

émissions de CO₂. La pyrolyse au plasma est un type particulier de pyrolyse qui utilise un arc électrique pour produire un plasma à haute température. Bien que les pertes de chaleur soient importantes, le rendement global du système peut être meilleur par rapport à l'utilisation de l'électricité pour alimenter un électrolyseur¹. Il existe de nombreux autres moyens de fournir de la chaleur au système de pyrolyse, et des systèmes basés sur des micro-ondes et des photocatalyseurs sont également en cours de développement. Le carbone solide est chimiquement stable et peut être utilisé dans de nombreux matériaux industriels comme le caoutchouc et les plastiques, ainsi que dans les imprimantes. La technologie de la pyrolyse a été déployée commercialement; toutefois, elle demeure limitée principalement en tant que source de carbone solide commercial (noir thermique). Elle est en cours de mise au point comme solution de rechange économique au reformage du méthane à la vapeur pour la production de l'hydrogène. La pyrolyse a le potentiel de produire de l'hydrogène distribué au point d'utilisation, en utilisant le gaz naturel comme matière première et en tirant parti des réseaux de pipelines de distribution existants. Étant donné que le carbone est séquestré sous forme de carbone solide, il n'est pas nécessaire que la production soit située au même endroit où le CO₂ peut être séquestré.



Pétrole brut, bitume et charbon

Outre les réserves de gaz naturel, le Canada compte également d'importantes ressources sous forme de pétrole brut et de bitume dans les régions du nord de l'Alberta et de la Saskatchewan, et de charbon en Alberta et en Colombie-Britannique. La gazéification du pétrole brut, du bitume ou du charbon utilise un processus semblable à la gazéification de la biomasse. On fait réagir les matières premières avec de la vapeur et/ou de l'oxygène à haute température, ce qui produit un mélange de gaz synthétique qui peut être séparé en CO₂ et en H₂. Ce processus peut avoir lieu dans un établissement industriel une fois que la matière première a été extraite, auquel cas il faudrait utiliser le CUSC pour capter le CO₂ qui en résulte. La gazéification in situ est une technologie émergente présentement en développement en Alberta et en Saskatchewan pour le pétrole brut et le bitume comme matières premières. Dans ce processus, la gazéification se produit en profondeur sous terre, par exemple dans un champ pétrolier existant, et l'hydrogène est filtré à l'aide d'une membrane sélective. Cette méthode présente l'avantage de laisser le CO₂ déjà enfoui sous terre et séquestré, ce qui permet de réaliser des économies et de réduire la complexité. La sélection de réservoirs possédant des propriétés géologiques appropriées pour maintenir le CO₂ sous terre dans un état stable constitue un facteur important à prendre en considération pour cette technologie.

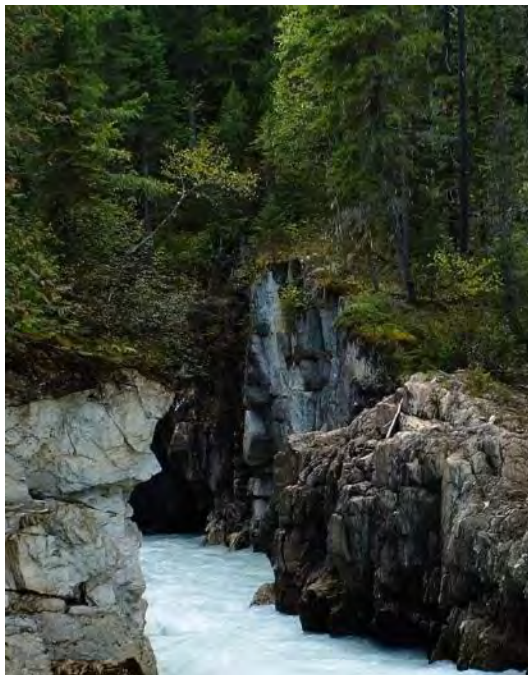
Captage, utilisation et stockage du carbone

Pour atteindre la cible de zéro émission nette d'ici 2050 du Canada, toute la production d'hydrogène devra être neutre en carbone, ce qui comprend l'hydrogène électrolytique provenant de l'électricité non émettrice de GES, ou l'hydrogène produit à partir de combustibles fossiles en association avec le CUSC,

¹ Idem.

ou elle devra être compensée, par exemple par le captage direct du CO₂ dans l'air. À l'heure actuelle, l'hydrogène dérivé de combustibles fossiles avec CUSC est plus concurrentiel en termes de coûts que l'hydrogène électrolytique au Canada¹, surtout en raison de l'abondance de gaz naturel à faible coût.

Le Canada compte plusieurs décennies d'expérience en matière de CUSC, avec un leadership en matière d'innovation technologique, une abondance de géologie adaptée au stockage permanent du CO₂, notamment dans le bassin sédimentaire de l'Ouest canadien², une expertise transférable du secteur pétrolier et gazier, ainsi que des marchés en croissance et des nouvelles voies pour l'utilisation du CO₂. Le Canada abrite également un cinquième des projets à grande échelle en cours dans le monde, ce qui a été rendu possible grâce à l'environnement politique actuel et à une vaste expérience en matière de progrès technologiques par l'entremise de partenariats public-privé. Toutefois, des défis demeurent en termes de coûts technologiques élevés pour certaines applications, de risques techniques et commerciaux, d'investissements requis dans les infrastructures, et de compétitivité par rapport à d'autres pays comme les États-Unis, le Royaume-Uni et la Norvège, qui ont mis en place des mesures incitatives plus fortes. Le leadership précoce du Canada en matière de CUSC a consisté notamment à faire progresser la production d'hydrogène avec CUSC. Les projets comprennent le projet Quest de Shell, et la raffinerie de Sturgeon reliée au pipeline principal de l'Alberta pour le carbone (Alberta Carbon Trunk Line).



RNCan envisage des possibilités pour un secteur du CUSC qui tirera parti des avantages naturels et des capacités du Canada pour appuyer la réduction des émissions dans les secteurs industriels (p. ex. pétrole et gaz, ciment, fer et acier, produits chimiques, électricité), et promouvoir l'hydrogène à faibles émissions de carbone, d'autres combustibles et produits à base de CO₂, et des solutions d'émissions négatives comme le captage direct dans l'air (CDA) et la bioénergie avec CSC (BECSC).

Il existe un important potentiel de croissance pour le CUSC parallèlement à la production d'hydrogène propre au Canada, ce qui pourrait avoir une incidence importante sur la réduction des émissions. Selon une analyse récente de l'Accélérateur de transition – un organisme pancanadien à but non lucratif qui travaille sur des solutions de réduction des émissions pour les entreprises et la société – il existe au Canada un potentiel dépassant de huit fois la production nationale actuelle d'hydrogène propre à partir du gaz naturel dans un système à consommation énergétique nette zéro pour 2050. Les besoins en matière de captage et de stockage du carbone pour une production d'hydrogène propre de cette ampleur seraient d'environ 203 Mt de CO₂ par année. Étant donné que les projets opérationnels actuels de CUSC au Canada permettent de capter et de stocker environ 4 Mt de CO₂ par année, cela représenterait une augmentation très importante de l'activité de CUSC. Ces possibilités ont été cernées et intégrées dans l'objectif de la vision et de la stratégie de l'Alberta en matière de gaz naturel, qui consiste à déployer la production d'hydrogène bleu avec CUSC à grande échelle dans toute la province d'ici 2030.

¹ AIE. *Energy Technology Perspectives 2020*.

RNCan. (2013). *Atlas nord-américain sur le stockage du carbone*. En ligne : https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/energy/files/pdf/11-1454_fre_acc.pdf

Captage et compression

Il est beaucoup plus facile de capter le CO₂ au point de conversion des combustibles fossiles en hydrogène que de le capter une fois libéré dans l'atmosphère. La concentration de CO₂ dans le flux de traitement de gaz à la source est un facteur important des coûts et des exigences énergétiques liés au captage du CO₂; ces coûts de captage et de compression dominent les coûts globaux du CUSC¹. Les émissions de CO₂ importantes et à forte concentration, comme celles provenant de l'éthanol, du traitement du gaz naturel et de la production de l'hydrogène, présentent généralement les coûts de captage de CO₂ les plus bas². L'ajout du CUSC aux usines de reformage du méthane à la vapeur entraîne, en moyenne, une augmentation de coûts d'environ 50 % pour les dépenses en capital et nécessite 10 % de carburant supplémentaire. Cela entraîne également en moyenne une multiplication par deux des dépenses d'exploitation en raison des coûts de transport et de stockage du CO₂³.

Le projet Quest de Shell, situé dans l'usine de valorisation de Scotford, est un projet de reformage du méthane à la vapeur (RMV) avec CUSC de grande envergure actuellement en exploitation en Alberta qui permet de capter environ 1,2 Mt de CO₂ par année. Le carbone capté est déshydraté, comprimé et transporté par pipeline sur environ 65 km jusqu'à un aquifère salin au nord de Redwater, en Alberta, puis injecté à plus de deux kilomètres sous terre. Durant les cinq années qui se sont écoulées depuis son lancement, le projet Quest a permis de capter et de stocker en toute sécurité cinq millions de tonnes de CO₂ à un coût inférieur à celui prévu. Selon Shell, le coût d'exploitation du projet Quest est inférieur d'environ 35 % à ce qui était prévu en 2015, grâce à un excellent réservoir de stockage doté d'une capacité importante d'injection de CO₂ et d'une grande fiabilité de captage. En outre, si le projet Quest devait être construit aujourd'hui, il permettrait de réaliser une économie d'environ 30 % grâce à l'amélioration de la rentabilité des capitaux⁴. D'autres projets de CUSC à l'échelle mondiale, comme le projet de captage et stockage du carbone (CSC) Northern Lights en Norvège, ont intégré les leçons tirées du projet Quest, qui a permis de partager les connaissances et les leçons apprises au cours des cinq dernières années afin d'encourager une mise en œuvre plus généralisée du CUSC.

¹ National Petroleum Council. (2019). *Meeting the Dual Challenge – A Roadmap to At-Scale Deployment of Carbon Capture, Use, and Storage*. Vol II., chapitre 2. En ligne : <https://dualchallenge.npc.org>

² National Petroleum Council. (2019). *Meeting the Dual Challenge – A Roadmap to At-Scale Deployment of Carbon Capture, Use, and Storage*. Vol II., chapitre 2. En ligne : <https://dualchallenge.npc.org>

³ AIE. (2019). *The Future of Hydrogen*. En ligne : https://www.capenergies.fr/wp-content/uploads/2019/07/the_future_of_hydrogen.pdf

⁴ Shell. (2020). *L'installation Quest de captage et de stockage du carbone (CSC) capte et stocke cinq millions de tonnes de CO₂ avant son cinquième anniversaire*. En ligne : https://www.shell.ca/fr_ca/medias/communiqués-de-presse/news-releases-2020/css-quest-facility-captures-and-stores-five-million-tonnes.html

Transport du CO₂ et centres industriels à faibles émissions de carbone



Le CO₂ comprimé peut être transporté par bateau, par pipeline et par transport routier. Les pipelines sont le moyen le plus économique de transporter le CO₂ en grandes quantités par voie terrestre. Le projet de pipeline principal de l'Alberta pour le carbone (Alberta Carbon Trunk Line – ACTL) est un important projet de CUSC en cours d'exploitation et a la capacité de transporter environ 14,6 Mt de CO₂ par année le long d'un pipeline de 240 km. Il est alimenté par deux sources de CO₂, dont l'une est un produit dérivé de l'hydrogène produit par la gazéification des résidus de pétrole lourd à la raffinerie de Sturgeon. L'ACTL a une capacité disponible de 85 % pour faciliter l'adoption du CUSC dans d'autres installations de production d'hydrogène et d'autres installations à fortes émissions dans le centre industriel de l'Alberta.

À mesure que la production d'hydrogène à partir de combustibles fossiles augmentera, il faudra davantage de pipelines de CO₂ pour accroître le déploiement du CUSC. Le développement de centres industriels à faibles émissions de carbone est en train de devenir un moyen de promouvoir les possibilités offertes par le CUSC afin de stimuler l'innovation, de permettre de nouveaux modèles d'affaires et d'encourager le développement de technologies de CUSC rentables à grande échelle. Les centres industriels relient les installations émettrices à

des projets de stockage ou d'utilisation du CO₂, ce qui permet de tirer profit d'une infrastructure de CO₂ partagée, de réaliser des économies d'échelle et de réduire les risques commerciaux pour de multiples intervenants. Les centres de CUSC conviennent le mieux aux régions où les possibilités de stockage ou d'utilisation du CO₂ se trouvent à proximité de pôles d'installations à fortes émissions.

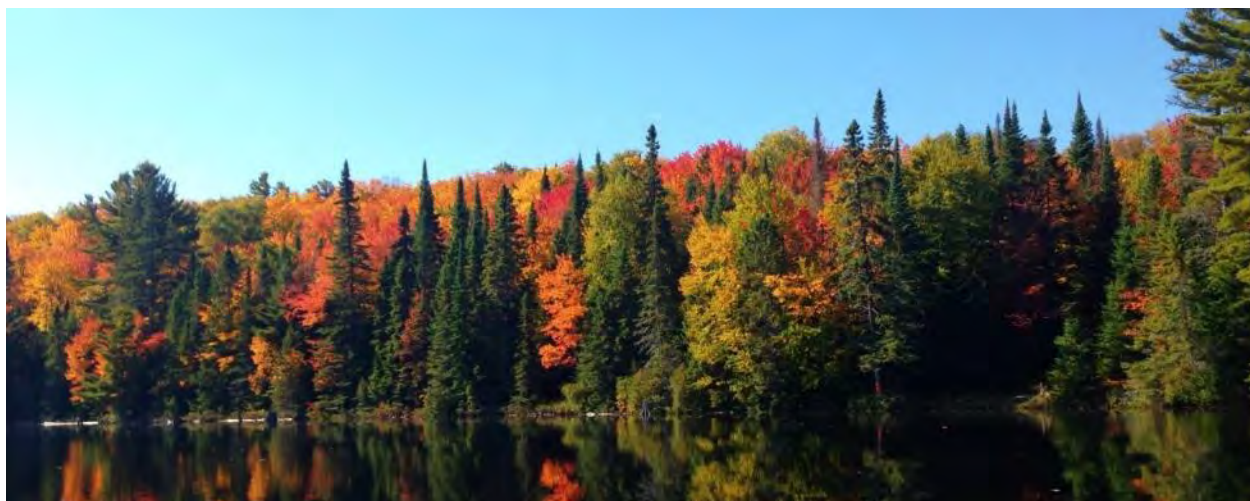
Utilisation et stockage

La dernière étape du CUSC est son stockage et sa séquestration à long terme sous terre ou son utilisation dans des procédés industriels et commerciaux. Le CO₂ peut être stocké dans des formations sédimentaires poreuses, notamment dans des réservoirs de gaz, de pétrole brut et de bitume épuisés, des aquifères salins profonds, des cavernes de sel et dans des filons de charbon. La pertinence à long terme de ces options dépend de leur accessibilité, des formations de roche couverture sus-jacente et d'autres facteurs. Le Canada est riche en géologie adaptée au stockage du CO₂, notamment en bassins sédimentaires, en formations salines et en formations pétrolières et gazières à proximité d'une partie importante des industries émettrices¹. Le bassin sédimentaire de l'Ouest canadien est une formation géologique qui couvre le nord de la Colombie-Britannique, l'Alberta et certaines régions de la Saskatchewan; il contient de nombreux sites de stockage potentiels. Les aquifères salins profonds sont les lieux de stockage les plus sûrs et les plus accessibles au Canada.

¹ Dooley, J.J., R.T. Dahowski, C.L. Davidson, S. Bachu, N. Gupta et J. Gale. 2004. *A CO₂-storage Supply Curve for North America and its Implications for the Deployment of Carbon Dioxide Capture and Storage Systems*, p. 7. En ligne : <http://uregina.ca/ghgt7/PDF/papers/peer/282.pdf>.

Dans l'ensemble, le stockage du CO₂ est sécuritaire, permanent et bien démontré au Canada, avec des décennies de surveillance qui prouvent que le CO₂ injecté reste dans les réservoirs. Il est important de noter que le stockage et l'utilisation du CO₂, en particulier pour la récupération assistée des hydrocarbures, sont en exploitation commerciale depuis 1972, des centaines de millions de tonnes de CO₂ ayant été séquestrées avec succès dans le monde entier. À titre d'exemple de protocoles avancés, le California Air Resources Board (CARB), en vertu des dispositions de la norme de carburants à faible teneur en carbone (Low Carbon Fuel Standard; LCFS), permet de séquestrer le CO₂ à émissions négatives partout dans le monde et de recevoir des crédits dans le cadre de la LCFS pour le CO₂. Dans le cadre de cette norme, le CARB a mis en place un protocole de surveillance et de vérification pour s'assurer que le CO₂ reste séquestré et toute personne qui demande le crédit doit se conformer à ce protocole.

On met au point un certain nombre de nouvelles technologies et de nouveaux produits qui utilisent le CO₂ comme matière première ou offrent un potentiel de séquestration à long terme, par exemple sous la forme de produits utiles comme le béton, les carburants liquides synthétiques et les boissons. Un certain nombre d'entreprises canadiennes sont des chefs de file dans ce domaine, offrant une expertise technologique complémentaire qui peut également, à terme, profiter au secteur de l'hydrogène.



Production d'hydrogène à partir de la biomasse

La gazéification de la biomasse est considérée à la fois comme renouvelable et neutre en carbone et constitue une voie de production d'hydrogène viable au Canada. Les plantes consomment du CO₂ quand elles croissent, de sorte que le rejet de CO₂ au cours de ce type de processus est neutre en carbone net tout au long de son cycle de vie. Toute ressource organique renouvelable composée principalement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène peut être utilisée comme matière première tirée de la biomasse. La technologie de gazéification de la biomasse permet d'extraire l'hydrogène en gazéifiant puis en reformant les résidus forestiers ou agricoles ou d'autres déchets organiques secs. La production d'hydrogène à partir de bioénergie avec captage et stockage du carbone (BECSC) offre la possibilité de réduire les émissions non seulement dans la production d'hydrogène, mais aussi dans d'autres secteurs, grâce à la négativité du carbone du processus.

Gazéification de la biomasse forestière et agricole

La gazéification de la biomasse est une technologie stable qui utilise la vapeur à haute température (généralement > 700 °C) et l'oxygène de l'air pour décomposer la biomasse en hydrogène et en d'autres produits sans combustion. La gazéification de la biomasse se fait généralement en deux étapes : 1) une étape initiale de gazéification et 2) une conversion de l'eau en gaz dans laquelle le monoxyde de

carbone (CO) est converti en dioxyde de carbone (CO₂), générant ainsi de l'hydrogène supplémentaire. L'adsorption modulée en pression est ensuite utilisée pour purifier l'hydrogène et éliminer le CO₂.

Les économies d'échelle associées à la gazéification de la biomasse sont considérables; par conséquent, la production de l'hydrogène selon cette méthode nécessite un modèle de production centralisée. La biomasse forestière et agricole est très recherchée au Canada pour la production de biocarburants liquides et de gaz naturel renouvelable et le cotraitement dans les raffineries de pétrole. Bien que techniquement viable, la gazéification de la biomasse nécessite un approvisionnement important et fiable de matières premières d'origine locale ou régionale pour constituer une voie de production importante. L'intégration des installations de produits forestiers existantes dans le réseau d'infrastructures liées à l'hydrogène pourrait tirer parti de leur position d'agrégateur de biomasse et servir à améliorer l'efficacité globale de l'utilisation des ressources. Il est également possible de développer des « biocentres » pour aider à résoudre les problèmes d'approvisionnement régionaux. Des arguments peuvent être avancés en faveur d'un investissement dans la collecte, le stockage et le traitement de la biomasse pour soutenir la production d'hydrogène, et devraient être explorés plus en détail dans les plans régionaux relatifs à l'hydrogène.



Reformage des gaz provenant des sites d'enfouissement, des égouts et de l'agriculture

Le méthane (CH₄) résultant de la décomposition des matières organiques dans les sites d'enfouissement, les usines de traitement des eaux usées et les sites de déchets agricoles est une autre source potentielle d'hydrogène provenant de la biomasse. Comme dans le cas des procédés de reformage du méthane à la vapeur ou de reformage autothermique du gaz naturel, le méthane provenant de ces sources est recueilli et mis en réaction avec de la vapeur, et l'hydrogène est séparé. Le CO₂ de cette matière première provient de l'atmosphère; par conséquent, les seules émissions supplémentaires créées par le processus proviennent de la chaleur nécessaire pour produire la vapeur. Comme c'est le cas pour la biomasse solide en tant que matière première, ces flux de déchets gazeux sont propres à chaque région et sont en quantités limitées. Compte tenu de la demande croissante de gaz naturel renouvelable (GNR) comme carburant de remplacement, il est probable que ces matières premières seront utilisées directement sous forme de méthane plutôt que d'être converties en hydrogène.

Autres voies de production d'hydrogène

Captage de sous-produits industriels

De nombreuses usines industrielles produisent de l'hydrogène en tant que sous-produit. Dans certains cas, cet hydrogène est capté et utilisé comme matière première dans la production chimique, et dans d'autres, il est simplement rejeté dans l'atmosphère. Une étude sur l'hydrogène menée en Colombie-Britannique en 2019¹ a révélé qu'environ 18,5 tonnes d'hydrogène relativement pur sont actuellement rejetées dans l'atmosphère chaque jour en Colombie-Britannique. Cela représente une importante source

¹ Source : Zen and the Art of Clean Energy Solutions Inc. (2019). *British Columbia Hydrogen Study*.

d'hydrogène à court terme pour cette province et une occasion de créer un nouveau marché pour les établissements industriels afin de vendre de l'hydrogène généré en tant que sous-produit de procédés industriels. Cette méthode de production exige un nettoyage minimal et représente un approvisionnement en hydrogène à faible intensité carbonique et à faible coût, estimé à 0,88 \$/kg avant la distribution et le stockage, en fonction du pouvoir calorifique du combustible. L'approvisionnement à court terme en hydrogène généré en tant que sous-produit est peu coûteux par rapport à une nouvelle production spécialisée. Ces usines chimiques qui rejettent actuellement de l'hydrogène pourraient devenir des points focaux autour desquels sont basés les centres de déploiement à court terme.

L'approvisionnement de cette source d'hydrogène au Canada qui n'est pas encore utilisée ou vendue est estimé à environ 70 000 tonnes par année¹, soit 190 tonnes par jour. Les usines canadiennes de chloralcali et de chlorate de sodium sont généralement implantées dans les provinces où les coûts d'électricité sont les plus bas, notamment en Colombie-Britannique, au Manitoba, en Saskatchewan et au Québec.

LES RESSOURCES RÉGIONALES DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE AU CANADA

Les voies de production adoptées dans chaque région du Canada dépendront de la disponibilité des matières premières, des intrants énergétiques et, dans certains cas, des sites appropriés pour le CUSC. Chaque région/province devra examiner attentivement l'ensemble de son système énergétique avant d'investir dans une voie de production particulière. Dans l'ensemble, la voie de production la plus judicieuse pour chaque région permettra de minimiser les coûts et l'intensité carbonique tout en maximisant l'utilisation des matières premières et des sources d'énergie locales.

L'industrie et les gouvernements provinciaux joueront un rôle clé dans la détermination des voies de production de l'hydrogène qui se concrétiseront au Canada et des échéanciers à cet égard, le gouvernement jouant le rôle consistant à établir des politiques, par exemple en fixant de limites en matière d'intensité carbonique, et l'industrie déterminant les voies les plus économiques qui respectent ces limites. Dans l'ensemble, on prévoit l'évolution d'une approche régionale équilibrée pour le développement de l'approvisionnement en hydrogène du Canada à partir d'une combinaison de sources dérivées de combustibles fossiles et d'électricité propre. Cette diversification des sources de combustible permettrait de mieux adapter les volumes de production pour soutenir le développement des marchés intérieurs et d'exportation. La Figure 15 montre les voies potentielles de production les mieux adaptées pour chaque province/région en fonction de son réseau électrique existant et de son accès aux matières premières.



¹ Source : Ekona Power, étude du marché privé

POTENTIEL DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE DU CANADA

NORD

- Couverture limitée du réseau, 94 % d'hydroélectricité
- Rôle potentiel de l'hydrogène dans les miniréseaux pour les communautés éloignées

COLOMBIE-BRITANNIQUE

- Réseau électrique à faible intensité carbonique (91 % d'hydroélectricité), 4^e plus important producteur d'électricité au Canada
- Les vastes réserves de gaz naturel de la formation de Montney, au nord-est de la province, occupent le 2^e rang des plus importants producteurs de gaz naturel au Canada.

ALBERTA

- Réseau d'électricité essentiellement basé sur le gaz naturel et le charbon /coke.
- D'importantes réserves de combustibles fossiles et un potentiel de séquestration du CO₂, le plus grand producteur de gaz naturel au Canada.

SASKATCHEWAN

- Système d'électricité à base de combustibles fossiles, avec 14 % d'énergie éolienne.
- Possibilités pour l'énergie éolienne, reformage du gaz naturel en tant que 3^e plus important producteur de gaz naturel au Canada.

MANITOBA

- 97 % d'hydroélectricité
- Possibilités d'électrolyse

ONTARIO

- Important secteur de l'énergie nucléaire avec un potentiel de synergies avec l'hydrogène.

NOUVEAU-BRUNSWICK

- Réseau électrique mixte intégrant l'énergie nucléaire, l'hydroélectricité et les combustibles fossiles.
- Réseau de gaz naturel relativement nouveau et bien intégré.

NOUVELLE-ÉCOSSE

- Réseau électrique mixte intégrant les combustibles fossiles, l'hydroélectricité et les énergies renouvelables.
- Réseau de gaz naturel relativement nouveau et bien intégré.

Î.-P.-É.

- 99 % d'énergie éolienne avec des interconnexions avec d'autres provinces.

QUÉBEC

- 95 % d'hydroélectricité
- Possibilités d'électrolyse

TERRE-NEUVE-ET-LABRADOR

- Production hydroélectrique excédentaire importante.
- Potentiel de production d'hydrogène par électrolyse.

LÉGENDE

- Potentiel de production d'hydrogène à partir de combustibles fossiles
- Potentiel de production d'hydrogène à partir d'énergies renouvelables et d'hydroélectricité
- Potentiel de production d'hydrogène à partir d'énergie nucléaire
- Potentiel de production d'hydrogène à partir de matières premières mixtes

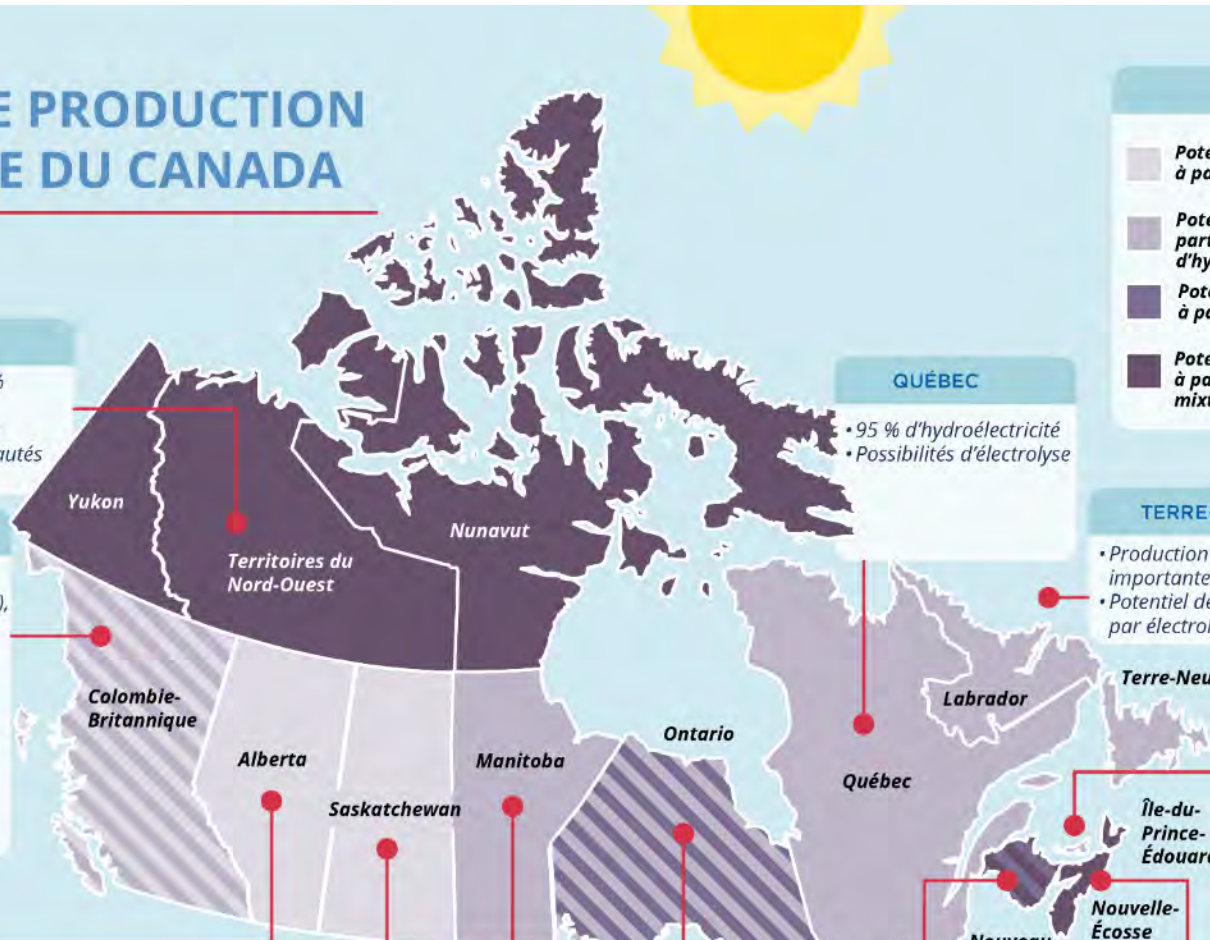


Figure 15 – Carte provinciale des voies potentielles de production de l'hydrogène

COÛTS ET INTENSITÉ CARBONIQUE DES VOIES DE PRODUCTION

Le coût de production de l'hydrogène pour différentes voies est influencé par des facteurs techniques et économiques, notamment les coûts des matières premières (p. ex., le gaz naturel, l'électricité), les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation permanents. Selon l'AIE, le carburant et les matières premières constituent la composante la plus importante des coûts de production, représentant de 45 % à 75 % de ces derniers, selon la région du monde où l'hydrogène est produit¹. Selon un rapport publié en 2018 par l'*Asia Pacific Research Centre* [Centre de recherche Asie-Pacifique], le Canada a un des coûts de production les plus bas au monde relativement au reformage du méthane à la vapeur (RMV) avec CUSC et à l'électrolyse hydroélectrique². Cet avantage en termes de coûts donne au Canada la possibilité de se lancer dans la production de l'hydrogène à faible coût et à faible intensité carbonique presque immédiatement. À l'heure actuelle, la production de l'hydrogène à faible intensité carbonique à grande échelle au Canada est moins coûteuse lorsqu'on utilise des combustibles fossiles comme matière première par rapport aux voies d'électrolyse. Bien que le Canada ait des prix de l'électricité concurrentiels par rapport aux marchés internationaux, les coûts doivent être de l'ordre de moins de 40 \$/MWh pour produire de l'hydrogène à des prix cibles. Les tarifs industriels assortis de frais élevés d'appel de puissance de crête et des structures tarifaires qui ne tiennent pas compte des avantages de la décarbonisation peuvent constituer un obstacle aux voies de l'électrolyse.

À mesure que la demande augmentera, les économies d'échelle et les progrès techniques permettront de réduire davantage le coût de production de l'hydrogène au Canada, ce qui donnera le temps d'injecter davantage d'énergies renouvelables dans le réseau pour une production à intensité carbonique encore plus faible. La Figure 16 compare les coûts de production de l'hydrogène en vrac prévus (sans compter les coûts de distribution) par différentes voies projetées au fil du temps à partir d'un éventail d'études internationales et canadiennes. Selon des études menées en Alberta et en Colombie-Britannique, d'ici 2030, le coût de l'hydrogène produit à partir du reformage du méthane à la vapeur (RMV) avec CUSC devrait se situer dans une fourchette d'environ 1,00 à 2,00 \$/kg d'hydrogène lorsqu'il est produit à grande échelle (> 100 tonnes par jour [t/j]) au Canada, tandis que le coût de l'électrolyse à partir d'énergies renouvelables spécialisées pourrait se situer dans une fourchette de 3,20 \$/kg d'hydrogène dans cette période.

¹ AIE. (2019). *The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities*.

² Asia Pacific Energy Research Centre. *Perspectives on Hydrogen in the APEC Region*. Juin 2018. En ligne : <https://aperc.ieej.or.jp/file/2018/9/12/Perspectives+on+Hydrogen+in+the+APEC+Region.pdf>

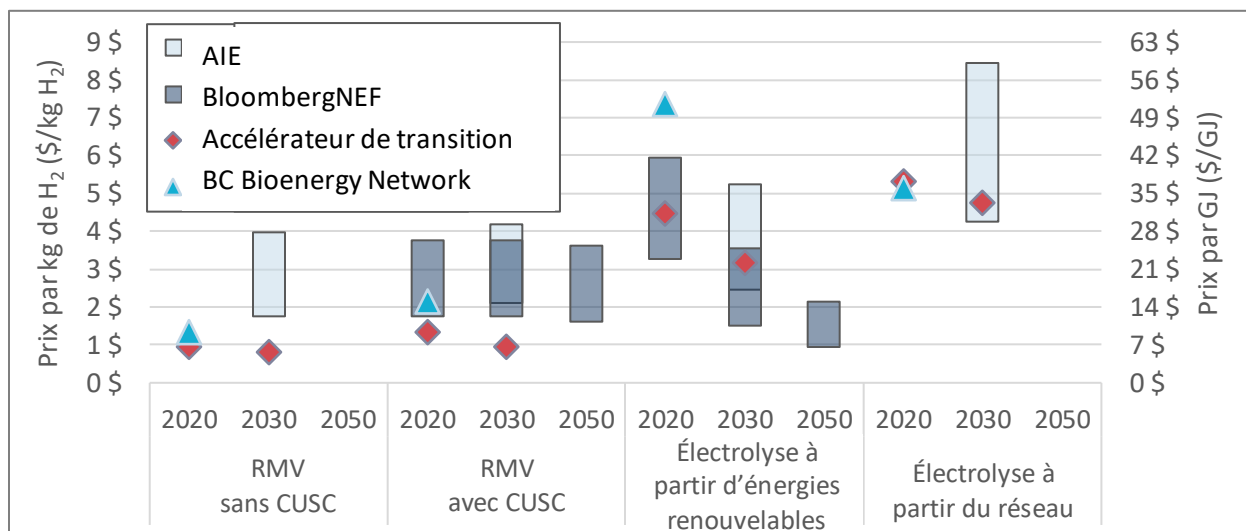


Figure 16 – Comparaison des coûts des voies de production de l'hydrogène en 2020, 2030 et 2050^{1,2,1,2}

BloombergNEF prévoit que le coût global actualisé de l'hydrogène provenant de grands projets alimentés par des énergies renouvelables sera concurrentiel par rapport à celui de l'hydrogène à faible teneur en carbone obtenu à partir du gaz naturel par reformage du méthane à la vapeur avec CUSC d'ici 2030. Son étude montre que d'ici 2050, l'hydrogène renouvelable pourrait être produit pour moins d'un dollar le kilogramme². Les résultats de cette étude ne sont peut-être pas directement applicables au Canada, mais la tendance générale à la baisse des coûts de l'hydrogène renouvelable au fil du temps est valable et justifie la nécessité d'une étude plus approfondie à l'échelle régionale au Canada. Toutefois, cet hydrogène renouvelable serait variable et ne serait pas à l'échelle requise à lui seul pour les grandes applications continues requérant des quantités d'énergie se chiffrant en pétajoules. La situation au Canada pourrait favoriser l'hydrogène à base de combustibles fossiles plutôt que l'hydrogène électrolytique en raison de notre gaz naturel abondant et peu coûteux et de l'accès au CUSC. Cependant, il convient de noter que l'échelle et les coûts de transport sont des facteurs importants qui ont une grande incidence sur le coût de l'hydrogène livré, en particulier au moment où le marché se développe. L'hydrogène produit par RMV avec CUSC nécessite une échelle importante pour être économique, ce qui exige des investissements en capital élevés et un délai de construction relativement long. Les électrolyseurs sont modulaires et faciles à mettre à l'échelle, et peuvent être placés près des applications d'utilisation finale. On s'attend donc à ce que les deux jouent un rôle important.

L'intensité carbonique de la production d'hydrogène est une méthode permettant de comparer les émissions de GES de bout en bout du cycle de vie de l'hydrogène, de la source d'énergie primaire/matière première jusqu'au produit énergétique livré. L'utilisation finale peut aussi parfois être prise en compte dans l'analyse du cycle de vie, mais pour des raisons de simplicité, elle est séparée dans la présente des émissions liées aux voies de production. Dans le cas de l'hydrogène produit à partir de gaz naturel par reformage du méthane à la vapeur avec CUSC, cela comprend les émissions en amont nécessaires pour récupérer le gaz, et les émissions rejetées au cours du processus de reformage du méthane à la vapeur ou de reformage autothermique (moins les émissions réduites par CUSC). Les émissions en amont varient à l'échelle régionale au Canada, et des efforts sont déployés à l'échelle nationale et provinciale pour réduire les émissions grâce à des mesures comme la réduction des émissions fugitives de méthane et l'électrification des équipements en amont.

¹ Zen and the Art of Clean Energy Solutions Inc. (2019). *British Columbia Hydrogen Study*.

² BloombergNEF. *Hydrogen Economy Outlook*. 20 mars 2020

En ce qui concerne l'hydrogène produit par électrolyse, l'intensité carbonique peut être presque nulle s'il est produit à partir de sources d'électricité sans émissions comme l'hydroélectricité, et l'énergie éolienne, solaire et nucléaire. L'hydrogène produit à partir de l'électricité provenant d'un réseau à sources mixtes aura une intensité carbonique en rapport avec la combinaison des sources. Par exemple, un réseau alimenté par l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables aura une intensité carbonique beaucoup plus faible qu'un réseau alimenté principalement par des centrales à charbon. Il est important de noter que l'hydrogène produit par électrolyse n'est pas nécessairement plus propre que l'hydrogène produit par reformage du méthane à la vapeur, et à mesure que les régions du Canada développent l'approvisionnement en hydrogène, la mesure de l'intensité carbonique est essentielle pour comparer les différentes voies et sources de production. L'hydrogène peut en fait contribuer à réduire l'intensité carbonique des réseaux électriques dans les régions à sources de production mixtes qui comprennent la production à partir de combustibles fossiles; ce point est abordé plus en détail dans la section sur les possibilités d'utilisation finale. La Figure 17 compare l'intensité carbonique des voies de production de l'hydrogène en fonction des sources canadiennes et internationales.



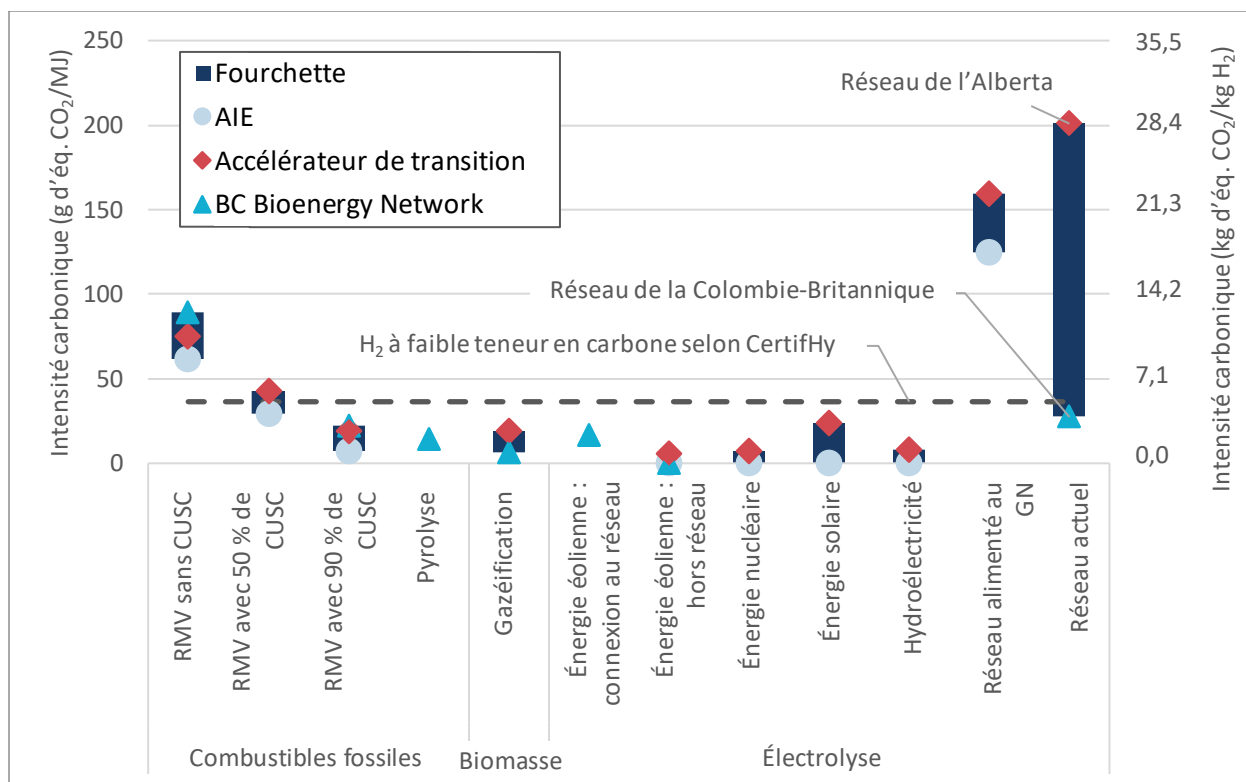


Figure 17 – Intensités carboniques de l'hydrogène provenant de différentes voies de production^{1,2,1,2}

Il sera important pour le Canada d'élaborer et d'adopter des définitions et des normes nationales relatives à l'hydrogène « propre », lesquelles établiront des seuils d'intensité carbonique pouvant être certifiés de manière indépendante. Les avantages de la décarbonisation de l'hydrogène ne se concrétiseront que si le Canada adopte l'hydrogène à faible intensité carbonique, et tout investissement gouvernemental dans le développement de nouveaux approvisionnements au Canada doit en tenir compte. Il est recommandé que le Canada coordonne les efforts déployés à l'échelle internationale afin de faciliter le commerce à plus long terme et de tirer parti des efforts considérables qui ont déjà été déployés pour définir et mesurer quantitativement l'intensité carbonique de l'hydrogène produit à partir d'un éventail de voies. Par exemple, la Commission européenne a lancé un programme pilote appelé CertifHy afin de créer un programme de Garanties d'origine pour l'hydrogène vert et l'hydrogène à faible teneur en carbone à l'échelle de l'UE qui tient compte à la fois de l'origine de l'hydrogène et de son intensité en gaz à effet de serre (GES). Le seuil recommandé pour l'intensité en GES est fixé à 60 % en dessous de l'intensité de l'hydrogène produit à partir du gaz naturel, actuellement fixée à 36,4 g d'éq. CO₂/MJ².

Au fil du temps, l'éventail des voies de production évoluera en fonction de leur réduction globale de l'intensité carbonique et de leur coût par tonne de CO₂ réduit. On passera probablement à terme d'un mélange d'hydrogène dérivé de combustibles fossiles avec et sans CUSC et d'hydrogène produit par électrolyse connectée au réseau à des sources renouvelables et non émettrices avec une intensité carbonique très faible ou nulle. Le calendrier de cette transition dépend d'un certain nombre de facteurs,

¹ AIE. (2019). *The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities*.

¹ Asia Pacific Energy Research Centre. *Perspectives on Hydrogen in the APEC Region*. Juin 2018. En ligne : <https://aperc.ieej.or.jp/file/2018/9/12/Perspectives+on+Hydrogen+in+the+APEC+Region.pdf>

¹ BloombergNEF. *Hydrogen Economy Outlook*. 20 mars 2020

¹ Zen and the Art of Clean Energy Solutions Inc. (2019). *British Columbia Hydrogen Study*.

² https://www.certifhy.eu/images/media/files/CertifHy_2_deliverables/CertifHy_H2-criteria-definition_V1-1_2019-03-13_clean_endorsed.pdf

notamment le coût des matières premières, la demande et l'innovation technique, ainsi que des forces du marché qui, en fin de compte, favoriseront le développement de la voie de production au Canada. Toutefois, le faible coût potentiel des émissions négatives signifie que le Canada utilisera probablement des hydrocarbures à bas prix pendant longtemps encore, à moins que des mesures stratégiques fortes ne soient mises en place. La production de l'hydrogène à partir de combustibles fossiles sans CUSC devrait être associée à un CUSC supérieur à 50 % dès que possible et passer à un CUSC supérieur à 90 % d'ici 2030.

La voie des combustibles fossiles avec CUSC dominera la production jusqu'à ce que davantage de sources renouvelables puissent être construites et que la réduction des coûts donne un élan à la transition énergétique globale vers les énergies renouvelables. Le remplacement des carburants en faveur de l'électrification directe entraînera une augmentation de la demande globale d'électricité au cours de la même période que l'on verra une hausse de la demande d'hydrogène; par conséquent, le marché prendra des décisions quant à la meilleure combinaison globale de voies de production d'hydrogène en tenant compte de ce facteur. Il est recommandé qu'en plus d'établir des seuils d'intensité carbonique, les provinces, avec l'aide du gouvernement fédéral, fixent des objectifs à plus long terme pour la transition vers des approvisionnements en hydrogène renouvelable en établissant des seuils à paliers de teneur en énergie renouvelable requise au fil du temps, si l'aspect financier est avantageux par rapport aux vecteurs d'énergie propre viable, mais non renouvelable. Les seuils d'intensité carbonique et le calendrier varieront probablement d'une province à l'autre, en fonction de la disponibilité des ressources locales et de facteurs économiques. Le Canada a besoin d'une politique pour encourager l'adoption de plusieurs voies afin de garantir que les objectifs de décarbonisation et de durabilité ultime soient atteints. L'établissement de seuils d'intensité carbonique à paliers permettra également de s'assurer que les actifs d'électrolyse qui sont adaptables et économiques peuvent être déployés pour répondre à la demande au cours des premières années, à mesure que la demande augmente, et qu'ils ne sont pas mis de côté lorsque l'hydrogène centralisé à moindre coût produit à partir de combustibles fossiles avec CUSC est mis sur le marché.

Une façon d'établir un approvisionnement équilibré en hydrogène propre consiste à exiger que les projets financés par le gouvernement utilisent une part d'hydrogène à faibles émissions de carbone. Les programmes de financement provinciaux tels que Emissions Reduction



Alberta fixe déjà des exigences, comme celle d'un approvisionnement national en hydrogène, dans le but de stimuler le développement de la chaîne d'approvisionnement de la production d'hydrogène ainsi que le déploiement pour utilisation finale. L'ajout d'exigences en matière de teneur en hydrogène renouvelable est un autre aspect important à prendre en compte et, dans les régions où on produit de l'énergie nucléaire, la définition peut être axée sur l'hydrogène non émetteur plutôt que limitée à l'hydrogène renouvelable. La Norme sur les combustibles propres (NCP) du gouvernement fédéral adopte une approche neutre sur le plan technologique en utilisant l'intensité carbonique du carburant pour déterminer l'admissibilité aux crédits et le nombre de crédits accordés; elle ne prévoit pas expressément de crédits supplémentaires pour les voies renouvelables. La conception de la NCP encouragera l'utilisation de carburants à faible intensité carbonique, favorisant ainsi l'adoption des voies de production d'hydrogène à faible intensité carbonique au fil du temps.

CONTRIBUTIONS DES INTERVENANTS : PRODUCTION D'HYDROGÈNE



Possibilités



- Soixante-sept (67 %) de l'électricité au Canada provient de ressources renouvelables et 82 % de sources non émettrices de GES qui pourraient être utilisées pour l'électrolyse
- Le Canada est aujourd'hui l'un des dix principaux producteurs mondiaux d'hydrogène, avec une production annuelle estimée à 3 millions de tonnes. Cet hydrogène est produit à partir du gaz naturel par reformage du méthane à la vapeur (RMV).
- Le Canada est le quatrième plus important producteur et aussi le sixième plus important exportateur de gaz naturel dans le monde.



Défis



Les préjugés contre certaines voies créent des désavantages et des inégalités dans l'ensemble de l'industrie de l'hydrogène à court terme



La régionalité du CUSC peut poser problème, et on relève un manque d'acceptation et des inquiétudes quant à la stabilité à long terme



Coût de l'électricité pour la voie de l'électrolyse en fonction de la demande de pointe et absence de tarifs spéciaux



L'IC du réseau pour l'électrolyse peut être très élevée dans certaines régions à court et à moyen terme



Une demande prévisible et à long terme est essentielle avant que l'industrie ne puisse investir dans des projets



Les investissements importants en capital nécessaires à la production à grande échelle exigent que la demande augmente en même temps que l'offre



Conclusions

- Il faut mettre l'accent sur l'intensité carbonique de l'hydrogène comme mesure principale à court terme fondée sur le rendement.
- Le soutien gouvernemental au développement de l'approvisionnement doit être limité aux voies à faible intensité carbonique, avec des seuils clairement établis et des capacités de certification indépendantes établies. Il importe d'assurer l'harmonisation avec les efforts de normalisation internationaux (p. ex., CertifHy à 36,4 g d'éq. CO₂/MJ).
- Une transition vers une augmentation de la teneur en hydrogène renouvelable est nécessaire au fil du temps, car les sources d'énergie doivent en fin de compte être à faibles émissions et durables. Il convient d'établir des seuils croissants pour la teneur en énergie renouvelable dans les projets soutenus par le gouvernement au fil du temps (p. ex., de 33 % maintenant à 50 % d'ici 2050).
- Le Canada doit adopter une orientation stratégique pour l'expertise technique et l'innovation en matière de CUSC, compte tenu du potentiel de l'hydrogène à faible IC et à faible coût produit à partir de combustibles fossiles qui dépendent du potentiel de CUSC en vrac.

STOCKAGE ET DISTRIBUTION DE L'HYDROGÈNE

L'hydrogène peut être stocké et transporté du point de production au point d'utilisation de plusieurs façons. Le stockage et la distribution doivent être pris en compte dès le départ à mesure que les centres régionaux de déploiement de l'hydrogène sont mis en place partout au Canada. Cette partie de la chaîne de valeur a d'importantes répercussions économiques et sur les émissions qui ont une incidence sur le coût global de l'hydrogène livré et sur les émissions de GES pendant le cycle de vie.

Stockage de l'hydrogène

La faible densité d'énergie volumétrique de l'hydrogène rend le stockage difficile, tant comme produit en vrac au point de production que dans les applications d'utilisation finale comme le stockage de carburant à bord des véhicules. Le stockage physique, le stockage à base de matériaux et le stockage à l'aide de vecteurs chimiques sont les grandes catégories définissant la manière dont l'hydrogène peut être stocké. La méthode de stockage de l'hydrogène est souvent fondée sur les exigences relatives à l'utilisation finale, y compris le poids et le volume disponibles pour le stockage d'énergie.

Le stockage physique désigne l'hydrogène stocké soit sous forme de gaz comprimé dans des bouteilles à haute pression, soit sous forme de liquide cryogénique dans des réservoirs isolés spéciaux. Dans les applications d'utilisation finale, comme à bord des véhicules, l'hydrogène gazeux est généralement stocké dans des réservoirs à haute pression dont la pression varie de 350 à 700 bars (5 000 à 10 000 lb/po² [psi]). De nos jours, les réservoirs d'hydrogène des chariots élévateurs à fourche, des autobus et des véhicules lourds utilisent généralement de l'hydrogène comprimé à une pression de 350 bars. Les véhicules légers stockent de l'hydrogène à une pression de 700 bars, car des pressions plus élevées permettent l'installation de réservoirs plus petits qui peuvent être plus facilement intégrés aux modèles de véhicules conventionnels. À l'avenir, l'hydrogène liquide pourrait être utilisé pour le stockage à bord pour certaines applications telles que les camions, comme c'est le cas pour les camions de GNL actuels. L'hydrogène en vrac pour les applications non mobiles peut être stocké sous forme de gaz comprimé dans des réservoirs au-dessus et au-dessous du sol, sous forme d'hydrogène liquide dans de grands réservoirs isolés, et dans des gazoducs, des cavernes de sel et des puits épuisés. À mesure que les volumes augmentent, par exemple si l'hydrogène est utilisé pour assurer le stockage quotidien ou saisonnier de l'énergie, la capacité d'utiliser les réseaux de pipelines existants ou les options de stockage géologique devient nécessaire pour des raisons de coût et pour des questions pratiques liées à la superficie occupée.

L'hydrogène gazeux peut être stocké efficacement sous terre dans des cavernes de sel, comme cela a été démontré dans le cadre de projets au Royaume-Uni, aux États-Unis et dans toute l'Europe. Ces régions ciblent l'utilisation de l'hydrogène pour le stockage d'énergie à échelle industrielle, où le stockage en vrac est nécessaire pour la viabilité technique et économique. Des cavernes de sel artificielles sont utilisées pour le stockage du gaz naturel dans de nombreuses provinces du Canada. Ces cavernes sont créées en perçant d'abord un trou jusqu'aux profondeurs de stockage et en créant l'espace de stockage par extraction par dissolution, où l'on dissout le sel en injectant de l'eau douce pour ensuite extraire la saumure ainsi produite. La structure compacte et la composition des formations de roches salines rendent les structures intrinsèquement étanches au gaz, et l'unique point d'accès à la surface de la caverne est le trou de forage, qui est bouché pour empêcher les fuites. De l'hydrogène séché et comprimé peut être injecté par le trou de forage et stocké efficacement dans la caverne pour une durée indéterminée. À mesure que la demande en hydrogène augmente dans le monde, des puits de gaz épuisés sont également envisagés pour le stockage en vrac de l'hydrogène et offrent un potentiel à moyen terme au Canada dans un certain nombre de provinces.



Le stockage de l'hydrogène sous forme de liquide cryogénique est une autre méthode de stockage physique. Le Canada possède des actifs de liquéfaction de l'hydrogène au Québec et en Ontario, lesquels sont détenus et exploités par de grandes entreprises de gaz industriel. L'hydrogène liquide (LH_2) est un vecteur énergétique beaucoup plus dense que l'hydrogène gazeux. Cependant, l'hydrogène se liquéfie à $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ et nécessite environ 10 kWh/kg de H_2 d'énergie pour refroidir le gaz à l'état liquide, ce qui représente environ 30% du pouvoir calorifique de l'hydrogène, entraînant une augmentation des coûts économiques. L'hydrogène liquide doit être stocké à température cryogénique dans des réservoirs de stockage isolés afin d'éviter l'évaporation de l'hydrogène, comme c'est le cas pour le stockage du GNL. Le transport de l'hydrogène sous forme liquide devient rentable à mesure que des quantités plus importantes sont nécessaires. Le stockage liquide est également efficace lorsque l'espace est limité aux lieux d'utilisation finale, comme dans les stations de ravitaillement au détail pour les véhicules légers et lourds. L'hydrogène liquide est généralement vaporisé et distribué sous forme gazeuse pour la plupart des applications actuelles de véhicules à pile à combustible. Cependant, des applications telles que les trains ou les grands navires nécessitent de grandes quantités de carburant et on envisage de stocker de l'hydrogène liquide à bord.

Les technologies émergentes permettent de stocker l'hydrogène sous forme de composés appelés vecteurs chimiques. Il y a plus d'hydrogène dans un litre d'essence que dans un litre d'hydrogène liquide. Les vecteurs chimiques liquides sont donc faciles à manipuler et peuvent contenir de grandes quantités d'hydrogène par volume. Le méthylcyclohexane (MCH) et l'ammoniac (NH_3) sont les principaux vecteurs chimiques utilisés pour stocker l'hydrogène.

L'hydrogène peut également être stocké en adsorbant le gaz sur des poudres. L'un des avantages de cette méthode est que les quantités d'énergie requises pour adsorber (lier) l'hydrogène à la poudre devraient être inférieures à celles requises pour former des liaisons chimiques, conformément aux méthodes de

stockage chimique susmentionnées. À mesure de l'évolution de la technologie, le stockage par adsorption peut permettre de stocker des densités d'hydrogène relativement élevées – comparables à celles des gaz comprimés – à des pressions plus faibles. Bien qu'il existe des technologies prometteuses, d'autres recherches sont nécessaires pour démontrer le potentiel ultime.

Distribution de l'hydrogène

De nos jours, l'hydrogène gazeux est principalement transporté dans des remorques porte-tubes, à des pressions allant jusqu'à 250 bars, la norme se situant entre 180 et 200 bars. Transports Canada réglemente le transport de l'hydrogène gazeux dans le cadre du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* (TMD). De nos jours, les remorques à tubes en acier sont les plus fréquemment utilisées pour la livraison de l'hydrogène gazeux; toutefois, les règlements sur les poids limitent la quantité pouvant être livrée par chaque camion. Un certain nombre d'entreprises développent des systèmes de stockage d'hydrogène à 450 bars pour la livraison à l'aide de matériaux composites afin d'accroître la quantité d'hydrogène pouvant être livrée par chaque camion, réduisant ainsi les coûts et les émissions liés au transport.

L'hydrogène liquide cryogénique est transporté dans des camions-citernes de transport de liquides cryogéniques à isolation supérieure. En ce qui concerne la distribution de l'hydrogène sur de plus longues distances, en quantités modérées, dans les cas où les hydrogénoducs ne sont pas une option, l'hydrogène liquéfié est actuellement la méthode de distribution la plus économique en raison de sa densité énergétique beaucoup plus élevée.



La distribution peut augmenter de manière importante le coût final du carburant livré. Le coût de la livraison de l'hydrogène sous forme de gaz comprimé ou de liquide cryogénique par camion est fonction de la distance; les coûts estimés selon une étude récente réalisée en Colombie-Britannique sont présentés à la Figure 18.

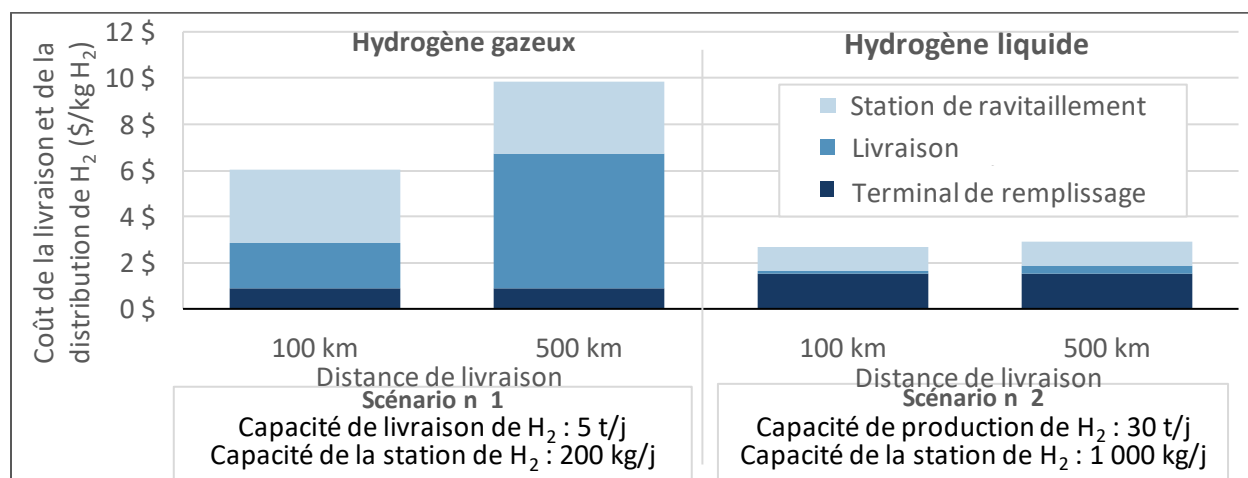


Figure 18 – Coût de livraison par camion de l'hydrogène sous forme de gaz comprimé et de liquide cryogénique¹

¹ Zen and the Art of Clean Energy Solutions Inc. (2019). *British Columbia Hydrogen Study*.

Les pipelines de gaz naturel peuvent être utilisés pour stocker et transporter l'hydrogène. Le Canada possède l'un des plus grands réseaux de pipelines au monde, qui achemine le gaz naturel des régions de production vers les marchés du Canada et des États-Unis.

L'hydrogène peut être injecté dans les pipelines de gaz naturel, généralement à des pressions inférieures à 100 bars, en tirant parti de la capacité de stockage inhérente au réseau. Une fois injecté dans le pipeline de gaz naturel, le mélange hydrogène-gaz naturel peut être utilisé dans de nombreuses applications à la place du gaz naturel pur. Des rapports de mélange comprenant jusqu'à 20 % d'hydrogène sont mis à l'essai partout dans le monde, avec une incidence limitée sur les infrastructures et les appareils d'utilisation finale. Bien qu'il y ait un développement technologique important axé sur les technologies de séparation, il est actuellement difficile de séparer l'hydrogène du gaz naturel une fois mélangé. Cela pourrait devenir viable à moyen terme et permettrait d'utiliser l'hydrogène séparé dans des applications de piles à combustible.

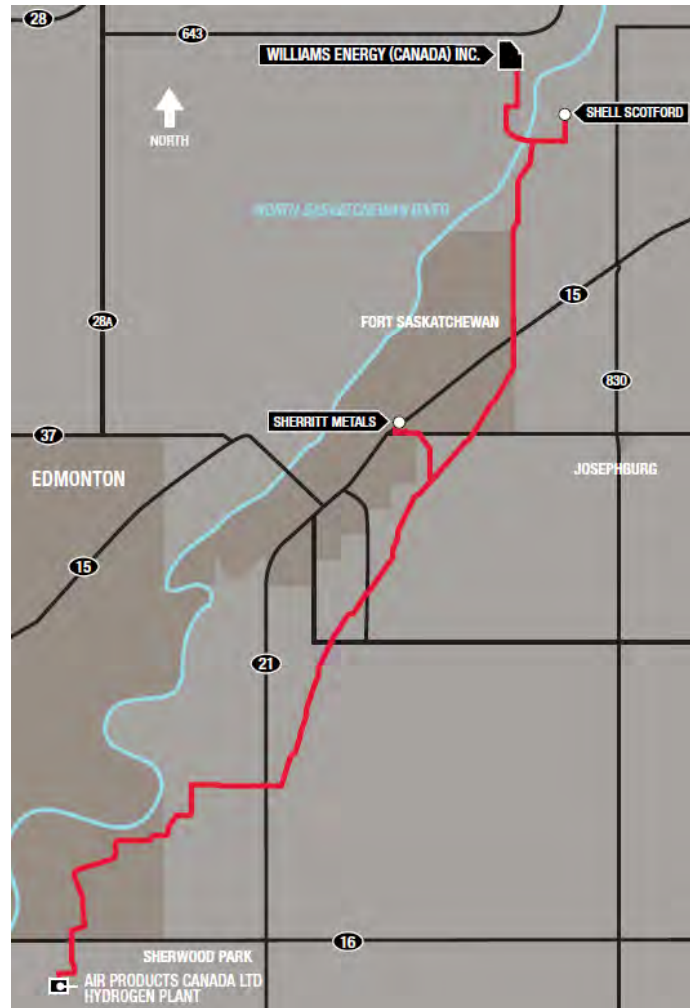


Figure 19 – Pipeline d'hydrogène d'Air Products en Alberta

Lorsque de l'hydrogène pur est nécessaire, les réseaux pipeliniers voués à l'hydrogène peuvent devenir une option intéressante pour le transport à faible coût de l'hydrogène à grande échelle. De tels réseaux pourraient être créés en utilisant des pipelines de gaz naturel existants, par exemple la Figure 19 montre un hydrogénoduc existant. Le défi lié à la construction d'hydrogénoducs réside dans l'investissement initial requis et le risque de réaliser ces importants investissements en capital alors que la demande est croissante et incertaine. La construction de nouveaux pipelines de gaz naturel afin de les transformer à l'avenir en pipelines d'hydrogène est un aspect important à prendre compte pour les services publics de gaz naturel qui investissent dans de nouvelles infrastructures. Ceci est particulièrement vrai dans des régions comme les Maritimes, où les réseaux de gaz naturel sont encore relativement nouveaux et en phase de croissance. Le département de l'Énergie (DOE) des États-Unis a fixé des cibles techniques spécifiques pour les pipelines d'hydrogène, y compris des coûts d'investissement ciblés de 520 000 \$/mille¹ comme cible à long terme. À l'instar des États-Unis, un réseau de base de pipelines d'hydrogène pourrait constituer un atout stratégique en matière d'infrastructure pour le Canada. Ce réseau de base serait essentiel pour faciliter le commerce et la coopération entre les provinces.

¹ <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-hydrogen-delivery>

Une fois l'infrastructure en place, les pipelines seront de loin le moyen de transport en vrac le moins coûteux et le moins polluant. Il est recommandé qu'un groupe spécialisé dans les infrastructures étudie davantage ce potentiel.



CONTRIBUTIONS DES INTERVENANTS : DISTRIBUTION ET STOCKAGE



Possibilités



- Le Canada dispose déjà d'hydrogénoducs en Alberta, et un prolongement de ces derniers pourrait donner au Canada un avantage en matière d'hydrogène
- Le Canada possède des réserves géologiques uniques, notamment des cavernes de sel et des puits de gaz naturel épuisés, qui peuvent être exploitées pour le stockage de l'hydrogène en vrac
- Le vaste réseau de pipelines de gaz naturel peut être utilisé pour stocker et transporter l'hydrogène
- Les actifs de liquéfaction de l'hydrogène permettront au Canada de distribuer l'hydrogène à l'échelle locale et internationale



Défis



Le Canada accuse un retard par rapport aux autres pays pour ce qui est de l'élaboration de normes relatives au mélange de l'hydrogène dans les pipelines de GN



Il existe des limites techniques à prendre en compte pour le transport maritime et ferroviaire et le stockage en vrac



Le stockage et la distribution peuvent être mieux optimisés lorsque les régions collaborent au-delà des frontières provinciales



La liquéfaction est une opération énergivore et pose des problèmes de sécurité, mais elle est nécessaire à grande échelle



Les coûts de transport de l'hydrogène peuvent être importants si les infrastructures essentielles font défaut



Il existe un manque de données techniques sur la faisabilité de l'utilisation et de la modification de l'infrastructure pipelinière du Canada pour soutenir la distribution à grande échelle de l'hydrogène



Conclusions

- Accélérer les approbations réglementaires pour la distribution de gaz à haute pression au Canada (450 bars)
- Accélérer la mise à jour des normes et des codes canadiens relatifs aux mélanges dans les pipelines
- Commencer à accroître l'injection de gaz naturel et les démonstrations de conversion de l'électricité en gaz dans différentes régions, y compris le soutien à l'investissement, les incitatifs politiques et réglementaires et le soutien à la R-D et à l'innovation
- Mettre les réseaux de transport et de distribution de l'hydrogène à l'échelle, en commençant par les réseaux de stations de ravitaillement dans les zones urbaines et les pôles industriels
- Investir dans des actifs de liquéfaction stratégiques dans l'Ouest canadien pour compléter les actifs de l'Est canadien

4. Possibilités d'utilisation finale de l'hydrogène

Le potentiel d'utilisation de l'hydrogène au Canada est aussi diversifié que les voies de sa création. L'adoption de l'hydrogène sera axée sur des applications énergivores, où il offre des avantages par rapport aux autres options sobres en carbone. Cela comprend l'utilisation de l'hydrogène comme carburant pour le transport à grande distance et la production d'électricité, pour fournir de la chaleur à l'industrie et aux bâtiments, et comme matière première pour les procédés industriels lourds, tels que la fabrication de l'acier et du ciment. Le déploiement national de l'hydrogène sera essentiel pour appuyer le secteur canadien de l'hydrogène et des piles à combustible, chef de file mondial, ainsi que pour atteindre nos objectifs en matière de changements climatiques.



Figure 20 – Utilisations finales de l'hydrogène



CARBURANT POUR LE TRANSPORT

L'hydrogène peut être utilisé dans des applications de transport par l'entremise de plusieurs voies différentes, comme le montre la Figure 21.

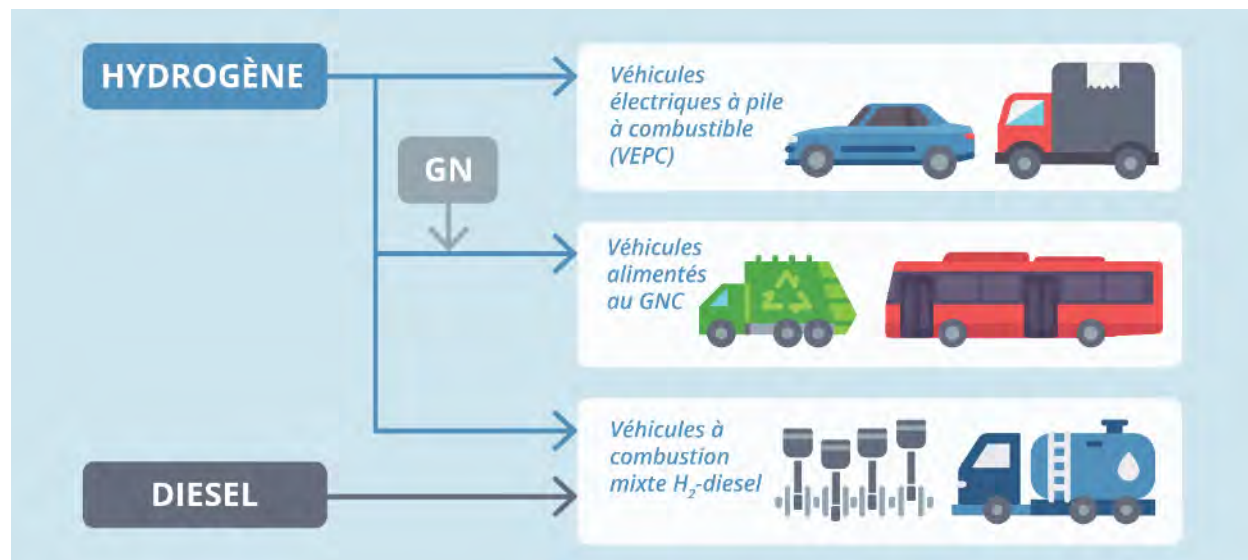


Figure 21 – Utilisation de l'hydrogène dans les transports

L'hydrogène peut être utilisé directement comme carburant dans les véhicules électriques à pile à combustible (VEPC), dont le rendement est deux fois supérieur à celui des moteurs à combustion et dont les émissions au tuyau d'échappement sont nulles. Aujourd'hui, les autobus urbains et les véhicules légers à passagers à pile à combustible sont commercialisés à l'échelle mondiale et déployés en nombre limité au Canada. Les VEPC à hydrogène sont très prometteurs dans les applications de transport longue distance par camions lourds, pour lesquelles les batteries présentent certaines limites. Le règlement récemment approuvé en Californie sur les camions à zéro émission suscite une activité importante chez les promoteurs de systèmes de pile à combustible, les fournisseurs de moteurs de niveau 1 et les fabricants d'équipement d'origine (FEO) de véhicules¹. L'objectif premier consiste à passer rapidement de la phase de démonstration à l'échelle pilote actuelle à la commercialisation de camions moyens et lourds sur le marché nord-américain au cours des prochaines années. Les applications relatives aux avions, aux navires, aux trains et aux véhicules industriels spécialisés sont en phase de démonstration à l'échelle pilote et sont prometteuses à long terme en raison de leur forte demande énergétique. Au Canada, les VEPC peuvent offrir des avantages aux collectivités autochtones et éloignées vivant dans des climats froids qui nuisent à la composition chimique des batteries. Les piles à combustible ne subissent pas les dégradations de rendement inhérentes aux températures froides, et la chaleur résiduelle qu'elles produisent peut être utilisée pour le chauffage de l'habitacle afin de mettre davantage l'accent sur l'autonomie prolongée de ces véhicules électriques à pile combustible dans ces climats froids.

En plus d'être utilisé directement comme carburant dans les VEPC, l'hydrogène permet d'augmenter la production de gaz renouvelable dans les réseaux d'approvisionnement en gaz naturel qui fournissent du carburant pour les véhicules alimentés au gaz naturel comprimé (GNC). Par exemple, en Colombie-Britannique, des efforts sont actuellement déployés en vue de reconnaître l'hydrogène comme un gaz renouvelable admissible dans le cadre de l'objectif de CleanBC visant à intégrer 15 % de gaz naturel

¹ Règlement sur les camions écologiques avancés (Advanced Clean Trucks regulation) adopté par le California Air Resources Board le 25 juin 2020. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/advanced-clean-trucks>

renouvelable dans le système de distribution de gaz naturel de la province d'ici 2030. La demande en gaz renouvelable à plus faible émission est élevée parmi les exploitants de parcs de véhicules alimentés au GNC, et l'hydrogène peut contribuer à y répondre. L'utilisation d'un mélange d'hydrogène et de GNC peut poser des difficultés techniques pour certains véhicules, comme des émissions de NO_x et une fragilisation du réservoir pour les types de réservoir plus anciens. Cependant, avec les matériaux et les techniques d'ingénierie appropriés, l'utilisation d'un mélange d'hydrogène et de GNC peut réduire les émissions des véhicules alimentés au GNC et a été éprouvée dans le cadre de plusieurs projets pilotes. Au fur et à mesure des progrès réalisés dans les technologies de séparation de l'hydrogène et de la présence grandissante de l'hydrogène dans le réseau de gaz naturel, on pourrait potentiellement mettre en place des stations de ravitaillement offrant deux sources de carburant, le GNC et l'hydrogène, lesquels seraient séparés au point d'utilisation.

L'hydrogène peut également être combiné à du diesel dans les camions disposant de moteurs à combustion interne s'appuyant sur la technologie de combustion mixte. Ce type de combustion a l'avantage de réduire les coûts initiaux pour les utilisateurs finaux, puisque les moteurs diesel existants peuvent être modernisés. Cependant, ces moteurs n'offrent pas les avantages des piles à combustible en termes d'efficacité et ne réduisent les émissions d'échappement que proportionnellement au pourcentage d'hydrogène injecté, lequel devrait atteindre un plafond de 30 %. En outre, la combustion de l'hydrogène pourrait accroître les émissions de NO_x. Cette technologie est généralement considérée comme une étape intermédiaire dans la transition vers les VEPC et peut jouer un rôle important à court terme en soutenant la demande en hydrogène. Cette avancée pourrait contribuer à la construction d'infrastructures de ravitaillement en hydrogène qui seront compatibles avec les camions électriques lourds à pile à combustible lorsque cette technologie passera de la mise à l'essai à la commercialisation.

Véhicules légers

L'hydrogène ainsi que l'électrification joueront un rôle important dans la transition vers les véhicules légers à zéro émission. Le gouvernement du Canada s'est fixé des cibles fédérales pour les véhicules à zéro émission, soit 10 % des ventes de véhicules légers par année d'ici 2025, 30 % d'ici 2030 et 100 % d'ici 2040. Le Canada considère les VEB, les VEPC et les VEHR comme des véhicules à zéro émission. La Colombie-Britannique et le Québec ont été les premières provinces à offrir des incitatifs aux consommateurs pour l'achat de véhicules à zéro émission (VZE), et celles-ci ont commencé à déployer en quantité limitée des VEPC ainsi que des infrastructures de ravitaillement en hydrogène. À ce jour, environ 110 véhicules légers sont en service au Canada, soutenus par 3 stations de ravitaillement au détail en Colombie-Britannique, 1 au Québec et 1 en Ontario. Quatre nouvelles stations sont en cours de développement en Colombie-Britannique, ce qui représentera un jalon important, car les fabricants d'équipement d'origine (FEO) de véhicules ont indiqué qu'il était nécessaire de mettre en place 7 à 8 stations par région du point de vue de la couverture et de la redondance pour permettre le déploiement généralisé des véhicules. La Colombie-Britannique a récemment annoncé le financement de 10 nouvelles stations supplémentaires en vue de poursuivre l'élargissement du réseau. Environ 150 véhicules légers supplémentaires devraient être déployés au cours des mois à venir, au fil de la mise en service des nouvelles stations.

¹ Modo. (2019). Image tirée de : *Press Release: Hyundai NEXO Fuel Cell sees success with Modo, Vancouver-based carsharing co-operative*. <https://modo.coop/blog/press-release-hyundai-nexo-fuel-cell-sees-success-with-modo-vancouver-based-carsharing-co-operative/>

Les VEB devraient s'emparer d'une part importante du marché des véhicules légers au Canada. Les VEPC offrent du choix aux propriétaires préférant les véhicules de grande taille, à autonomie prolongée, à recharge rapide ou au rendement sans compromis dans les climats froids. Les consommateurs canadiens ont manifesté un intérêt croissant pour des véhicules de grande taille, 80 % des dépenses nationales pour l'achat de nouveaux véhicules en 2019 ayant été consacrées à l'achat de camions, de fourgonnettes ou de véhicules utilitaires sport¹. Ces données indiquent que les consommateurs souhaiteront toujours avoir du choix et qu'ils n'opteront pas systématiquement



Figure 22 – La Hyundai Nexo au sein du réseau d'autopartage Modo de Vancouver¹

pour le véhicule le plus efficace d'un point de vue énergétique, mais qu'ils prendront également en compte la taille et le rendement du véhicule dans leur décision. Les tendances relatives à la conduite autonome et au covoiturage pourraient également générer une demande de VEPC plus importante compte tenu des cycles de service à forte intensité énergétique nécessaires à ces applications, qui sont bien desservies par l'hydrogène. Les technologies relatives aux batteries et au chargement continuent d'évoluer à un rythme soutenu, et les véhicules de grande taille à autonomie prolongée devraient faire leur entrée sur le marché à court terme. Au bout du compte, les VEB et les VEPC auront respectivement un rôle à jouer dans la décarbonisation des véhicules légers.

Les VEPC sont susceptibles d'être plus attractifs pour les conducteurs des centres urbains canadiens, où une proportion plus importante des ménages vit dans des immeubles résidentiels à logements multiples (condominiums, appartements, maisons en rangée avec garages communs), dont les frais et règlements de copropriété peuvent rendre la modernisation des bornes de recharge à domicile plus difficile et plus coûteuse (dans la mesure où ils se sentent bien desservis par l'infrastructure de ravitaillement en hydrogène). De surcroît, les ménages dépendant du stationnement sur rue pourraient préférer les VEPC aux VEB pour des raisons de commodité. En raison de l'augmentation du taux de pénétration du marché des VEB dans les centres urbains, la capacité du réseau électrique à répondre à la demande pour la recharge des véhicules peut constituer une contrainte supplémentaire. L'ajout de nouveaux postes électriques et réseaux de distribution pourraient être trop coûteux, et la superficie des terres disponibles pourrait se révéler insuffisante. Le ravitaillement en hydrogène peut constituer une option importante pour optimiser les coûts globaux des infrastructures pour VZE.

Bien que les VEPC légers soient offerts sur le marché actuellement, ils sont produits à une échelle relativement petite, et l'un des plus grands freins à leur déploiement à court terme au Canada est leur approvisionnement. La disponibilité des infrastructures de ravitaillement est un défi de plus à surmonter. Ces deux obstacles sont liés, l'approvisionnement en véhicules étant partiellement limité par les fabricants d'équipements d'origine (FEO), qui déploieront leur nombre limité de véhicules uniquement dans les régions disposant de réseaux de ravitaillement au détail déjà établis. Les régions ayant associé une réglementation en matière de VZE à des programmes incitatifs visant à stimuler la construction d'infrastructures de ravitaillement sont celles qui ont rencontré le plus de succès dans le déploiement des

¹ Source : Statistique Canada. [Tableau 20-10-0002-01 Ventes de véhicules automobiles neufs, selon le genre de véhicule](#)

VEPC. Les collaborations régionales stratégiques tirant parti des marchés publics et privés peuvent constituer un mécanisme efficace pour résoudre ce double défi.

Les VEPC étant actuellement produits en petites quantités, ils demeurent plus chers que des VEB ou des véhicules à MCI comparables. En attendant que les avancées technologiques et l'échelle de production permettent de réduire les coûts, les subventions destinées aux consommateurs contribueront de manière importante à soutenir l'adoption des VEPC. Les programmes incitatifs canadiens ont établi des plafonds tarifaires qui excluent les VEPC à l'heure actuelle en raison de leur prix élevé¹. Il serait possible de surmonter cet obstacle à l'adoption des VEPC par les consommateurs en mettant en place des programmes incitatifs fondés sur la maturité de chaque technologie.

Le taux d'adoption des VEPC au Canada dépendra fortement de la réduction des coûts occasionnée par la fabrication à l'échelle, de l'engagement à atteindre les cibles nationales en matière de VZE, ainsi que des politiques et réglementations provinciales entourant les VZE et la construction d'infrastructures de ravitaillement en hydrogène.

Véhicules lourds et moyens

Autobus

Partout dans le monde, les organismes de transport en commun se tournent vers des véhicules à faibles émissions ou à zéro émission. Les autobus électriques à batterie (AEB) et les autobus électriques à pile à combustible (AEPC) sont les deux groupes motopropulseurs considérés comme zéro émission dans les applications relatives aux transports en commun. Les AEPC sont actuellement commercialisés, et plus de 2 000² d'entre eux sont en service dans le monde entier. Environ la moitié de ces autobus sont équipés de la technologie canadienne des moteurs à pile à combustible de grosse cylindrée. Ayant transporté des passagers depuis plus de 15 ans sur des millions de kilomètres, tant dans des climats chauds que dans des climats froids, les AEPC ont su démontrer leur rendement. Les entreprises canadiennes comme New Flyer Industries, Ballard Power Systems, Hydrogenics et Dana TM4 occupent des positions dans la chaîne de valeur des AEPC, offrant ainsi une véritable solution canadienne.

Les AEPC constituent la seule technologie à émission zéro pouvant égaler le rendement des autobus conventionnels alimentés au diesel et sont avantageux sur de longs trajets par rapport aux AEB, qui présentent des besoins énergétiques plus importants. Les AEPC peuvent également offrir un taux de remplacement d'un pour un, ce qui signifie que les organismes de transport en commun ne sont pas contraints d'acheter davantage de véhicules pour assurer un niveau de service équivalent à celui des autobus conventionnels. Il s'agit d'une considération importante, tant du point de vue des coûts initiaux que du stockage, étant donné que les organismes peinent souvent à contenir leurs parcs de VZE dans l'espace restreint de leurs garages. Les AEPC peuvent être rechargés à une vitesse comparable à celle des autobus alimentés au GNC et de façon similaire, alors que les AEB nécessitent des temps de chargement bien plus importants à l'heure actuelle.



Figure 23 – Autobus électrique à pile à combustible de 40 pi de New Flyer (Photo tirée du site Web de NewFlyer)

¹ <https://tc.canada.ca/fr/transport-routier/technologies-novatrices/vehicules-zero-emission/liste-vehicules-admissibles-programme-ivze>

² https://www.ballard.com/docs/default-source/web-pdf/s/white-paper_fuel-cell-buses-for-france_final-french-web.pdf?sfvrsn=3498c280_2

La Californie a ouvert la voie aux transports en commun à zéro émission en Amérique du Nord avec l'adoption de l'Innovative Clean Transit Regulation (ICT) en 2018. Ce règlement exige que 100 % des nouveaux autobus achetés soient des autobus à zéro émission d'ici 2029, et que tous les autobus en circulation en Californie soient à zéro émission d'ici 2040. Les grands organismes de transport en commun ont été tenus de déposer des plans de transition auprès du California Air Resources Board (CARB) en été 2020. Les organismes qui envisageaient de lancer des projets pilotes à petite échelle se consacrent à présent à la planification d'une transition complète, suscitant un intérêt accru à l'égard des AEPC à hydrogène. Les considérations relatives à la résilience énergétique sont également entrées en jeu puisqu'il est possible de stocker suffisamment d'hydrogène liquide sur place dans un format compact pour approvisionner les autobus pour plusieurs jours. La continuité des services est donc garantie, même en cas de baisse de tension au sein du réseau, phénomène advenant de plus en plus fréquemment en Californie à l'heure actuelle. Les déploiements effectués en Californie représentent une excellente occasion d'apprentissage pour les organismes de transport en commun canadiens qui étudient les options relatives aux autobus à zéro émission.

Certains obstacles limitent actuellement le déploiement des AEPC au Canada. En effet, il n'existe aujourd'hui aucun cadre de réglementation permettant aux organismes d'effectuer leur transition vers les autobus à zéro émission. Bien que certains organismes examinent les stratégies sur les carburants de remplacement pour réduire leurs émissions, un engagement national en faveur des transports en commun à zéro émission contribuerait à accélérer la transition vers un système à zéro émission plutôt que de favoriser une transition progressive. L'importance des investissements de capitaux nécessaires au déploiement initial des infrastructures de ravitaillement ainsi que la mise à niveau des installations d'entretien, dans l'éventualité où le garage ne serait pas équipé de système de sécurité pour les autobus alimentés au GNC, posent un autre défi. Bien qu'il soit possible de constituer un dossier solide à l'égard de la rentabilité, de la compacité et de l'efficacité opérationnelle du ravitaillement en hydrogène par rapport à la recharge au garage à l'échelle (p. ex., > 20 autobus), dans de telles circonstances, il est difficile pour les organismes de lancer un premier projet pilote en vue de se familiariser avec cette technologie et de former leur personnel, ce qui serait le premier pas vers un déploiement plus large.



Les villes canadiennes ont besoin de transports en commun, et ces derniers doivent être à zéro émission pour permettre au Canada d'atteindre la neutralité carbonique et pour améliorer la qualité de l'air dans les centres urbains. L'initiative d'autobus à zéro émission¹ en cours au Canada encourage le gouvernement à soutenir les conseils scolaires et les municipalités dans l'achat de 5 000 autobus à zéro émission au cours des 5 prochaines années. La solution canadienne d'AEPC fabriqués au Canada apportera au secteur une valeur économique ainsi que des projets de référence locaux essentiels si les AEPC font partie de l'ensemble. Une initiative est en cours pour faire en sorte que sur ces 5000 autobus, 1000 soient alimentés

¹ <https://cutaactu.ca/fr/blog-posts/le-nouveau-gouvernement-federal-devoile-ses-priorites>

à l'hydrogène. Ces autobus sont bien adaptés aux trajets plus longs et aux climats froids que desservent les organismes de transport en commun canadiens.

L'adoption des AEPC au Canada dépendra de la réussite d'un projet pilote visant à convertir un garage dans les 5 à 7 prochaines années en vue d'obtenir l'acceptation des organismes locaux, mais également d'accroître leur compréhension vis-à-vis de ces technologies, et de mettre à l'essai leurs avantages opérationnels sur de longs trajets dans les climats froids du Canada. La conversion de ce garage offrira également l'occasion de mettre à l'essai le Code canadien d'installation de l'hydrogène mis à jour et publié aux fins d'examen et donnera aux autorités compétentes la possibilité d'acquérir une expérience en matière d'implantation d'infrastructure à l'échelle d'un garage. Les coûts des autobus sont en baisse en raison de l'augmentation de la demande dans d'autres pays, et le Canada pourrait contribuer à encourager cette tendance en coordonnant des achats de plus grande envergure au sein des organismes.

Camions

Les piles à combustible devraient jouer un rôle clé dans les applications de transport routier où la forte densité d'énergie massique de l'hydrogène, associée à un temps de chargement rapide, offre des avantages stratégiques. Par exemple, pour les camions lourds transportant de lourdes charges utiles sur de longues distances, le poids des batteries nécessaires à leur alimentation occasionnerait une réduction de la capacité de chargement des marchandises qui est inacceptable pour les exploitants. Leur long temps de chargement pourrait également nuire aux activités d'une industrie dont la rentabilité dépend de sa capacité à transporter des biens aussi vite que possible. Bien que prometteurs, les camions à pile à combustible sont en phase de démonstration à l'échelle pilote et ne sont pas encore commercialisés.



Figure 24 – Camion de factage électrique à pile à combustible (Photo offerte par Ballard Power Systems)

Au cours des dernières années, un intérêt accru a été manifesté pour les piles à combustible concernant les camions de transport longue distance de classe 8, plus communément appelés camions de marchandises, semi-remorques ou tracteurs-remorques. Nikola Motor, Toyota, Daimler et Hyundai travaillent tous à l'élaboration de groupes motopropulseurs à pile à combustible destinés à ce segment de marché. Cummins Inc. a fait l'acquisition de la société canadienne Hydrogenics et a réalisé d'importants investissements dans le développement. Un certain nombre de projets de démonstration à l'échelle pilote ont été réalisés, comme le Projet de collaboration en électrification de camions à émission zéro de l'Alberta (Alberta Zero-Emission Truck Electrification Collaboration; AZETEC), qui mettra à l'essai deux camions à pile à combustible de classe 8 le long du corridor reliant Edmonton à Calgary en utilisant un système de propulsion à pile à combustible à hydrogène fabriqué au Canada¹. Le projet initial débutera avec deux véhicules à pile à combustible et une station de ravitaillement et devrait s'agrandir lors de la phase 2 dans le cadre de l'initiative sur l'hydrogène du centre industriel de l'Alberta.

¹ Lowey, M. JWN. (2019). *\$15-million Project to test Hydrogen Fuel in Alberta's Freight Transportation Sector*. En ligne : <https://www.iwnenergy.com/article/2019/3/15-million-project-test-hydrogen-fuel-albertas-freight-transportation-sector/>

En juin 2020, la Californie a adopté une règle exigeant que plus de la moitié des camions vendus dans l'État soient à zéro émission d'ici 2035. Cette réglementation vise à améliorer la qualité de l'air à l'échelle locale, un problème de santé majeur au sein de l'État qui est aggravé par les émissions des camions alimentés au diesel, particulièrement dans les corridors de transport de marchandises, qui passent en grande partie par des zones habitées par des collectivités défavorisées. Cette réglementation permettra également de réduire les émissions de GES en contribuant à l'atteinte des objectifs de décarbonisation. Cette réglementation a conduit à l'accélération des activités de développement relatives aux camions à pile à combustible, et le Canada devrait bénéficier de leur commercialisation croissante.

Le projet pilote en cours de développement en Alberta constituera un élément de preuve important pour le déploiement de l'hydrogène dans le secteur du camionnage, tout comme l'évolution du marché, favorisée par l'exigence récemment adoptée en Californie. Au bout du compte, le Canada aura besoin d'une option à zéro émission pour ses camions de transport longue distance afin d'atteindre ses objectifs de décarbonisation. En septembre 2019, dans le cadre de l'initiative Global Commercial Vehicle Drive to Zero [initiative mondiale pour les véhicules commerciaux à zéro émission], le Canada a été le premier pays à s'engager à accélérer l'adoption des véhicules lourds et moyens à zéro émission ou à émissions presque nulles dans les centres urbains d'ici 2025 et à atteindre une pénétration totale du marché d'ici 2040. Les engagements pris en vue d'appuyer cette initiative auront une incidence sur le rythme d'adoption.

Autres applications de transport

Équipement de transport de marchandises, ports

Un large éventail d'équipements de transport de marchandises actuellement en service sont alimentés par des piles à combustible à hydrogène, lesquels sont à différents stades de commercialisation. Les chariots élévateurs à fourche à pile à combustible sont disponibles sur le marché, avec plus de 35 000 équipements en service en Amérique du Nord. La plupart des déploiements ont été menés aux États-Unis dans des centres de distribution à haut rendement où les piles à combustible offrent une analyse de rentabilité plus convaincante que celle des batteries d'accumulateurs au plomb-acide grâce à une augmentation de la productivité. Le crédit d'impôt fédéral des États-Unis pour les systèmes à pile à combustible a joué un rôle déterminant dans l'établissement du marché et a favorisé des déploiements plus importants aux États-Unis qu'au Canada. Cependant, davantage de chariots élévateurs à fourche à pile à combustible devraient être déployés en Alberta et en Ontario compte tenu de leur compétitivité commerciale.

Les ports maritimes utilisent des équipements lourds alimentés au diesel et subissent des pressions pour réduire les émissions qui aboutissent à la dégradation de la qualité de l'air et contribuent au réchauffement climatique. Les ports peuvent faire partie des premiers centres de déploiement pour les équipements à pile à combustible, où des infrastructures partagées à grande échelle relatives à l'hydrogène seraient rassemblées à un emplacement unique où convergent les applications de transport multimodal. Les équipements utilisés dans les ports tendent à présenter une puissance élevée ainsi que des cycles de service à forte intensité énergétique et peuvent générer la demande de carburant nécessaire en un seul emplacement afin de favoriser un déploiement de carburant rentable et à l'échelle. Parmi les autres équipements de transport de marchandises pouvant être déployés, nous pourrions citer les camions de factage, les camions industriels, les portiques, les chariots cavaliers et les locomotives de manœuvres-triage. Les générateurs à pile à combustible à hydrogène peuvent également alimenter les navires ainsi que les unités de réfrigération de transport stationnées au port. Figure 25 montre



l'emplacement des plus grands ports du Canada. Bien que le nombre total de véhicules puisse être faible en termes de possibilités globales pour le Canada, des projets phares accueillis par les ports peuvent démontrer les avantages offerts par les applications d'utilisations finales multiples partageant une infrastructure commune et pourraient faire office de catalyseur puissant pour le secteur dans les cinq prochaines années.

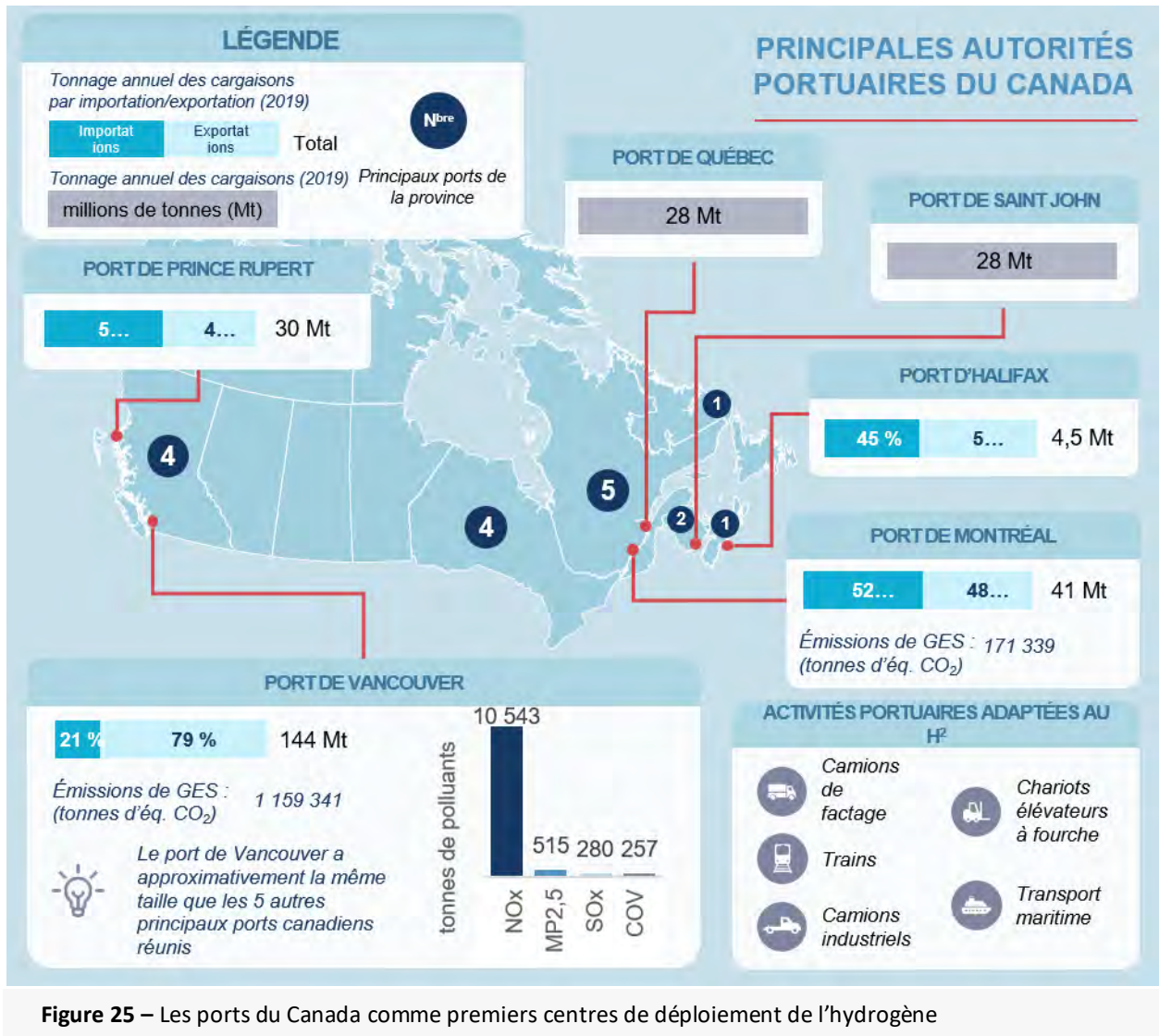


Figure 25 – Les ports du Canada comme premiers centres de déploiement de l’hydrogène

Mines

Il existe une proposition de valeur semblable pour le remplacement du diesel par l’hydrogène dans les équipements miniers en vue de réduire les émissions. L’industrie minière du Canada est l’une des plus importantes à l’échelle mondiale. Avec une production de plus de 60 métaux et minéraux, le Canada figure parmi les cinq plus grands producteurs mondiaux de 14 métaux et minéraux de base différents¹. Les mines situées dans les régions nordiques et éloignées dépendent largement de l’utilisation du diesel, qui est un carburant coûteux et à fortes émissions. La consultation des intervenants a indiqué que sur une base annuelle, le secteur minier du Canada consomme environ 2 milliards de litres de diesel. L’hydrogène offre la possibilité de réduire la dépendance généralisée au diesel pour les véhicules miniers, de surface comme souterrains, et peut également être intégré aux systèmes électriques stationnaires de microréseau.

¹ <https://www.statista.com/topics/3067/canada-s-mining-industry/#:~:text=Canada's%20mining%20industry%20is%20one,different%20commodity%20metals%20and%20minerals.>



Pour les véhicules miniers lourds, la forte densité d'énergie massique de l'hydrogène ainsi que son temps de chargement rapide pour les VEPC offrent des avantages techniques et opérationnels ainsi qu'une productivité accrue. Les piles à combustible à zéro émission utilisées dans les équipements miniers souterrains éliminent les émissions provenant de la combustion du diesel, comme les émissions de monoxyde de carbone, de NO_x et de MP et peuvent ainsi réduire les exigences de ventilation dans les mines, qui peuvent représenter de 30 à 40 %¹ des coûts d'exploitation totaux d'une mine. Les véhicules

lourds alimentés à l'hydrogène peuvent également réduire les émissions provenant des mines de sable bitumineux du Canada.

Le Plan canadien pour les minéraux et les métaux (PCMM) vise à tirer parti des possibilités de renforcer la position concurrentielle du Canada au sein du secteur minier mondial. Il souligne l'importance de développer et d'adopter des technologies propres ainsi que des sources d'énergie de remplacement comme l'hydrogène. Dans un contexte où les sociétés minières sont confrontées à une pression sociale et économique grandissante, il est évident qu'elles pourraient être contraintes d'aller au-delà des exigences relatives à la loi et aux normes industrielles, environnementales et sociales applicables, mais également de celles d'autres normes, si elles souhaitent obtenir ou conserver leur « permis social » d'exploitation. La division CanmetMINES de RNCAN a examiné et mis à l'essai le potentiel de l'hydrogène dans les mines en prenant en compte les considérations de sécurité relatives à son intégration dans les mines souterraines. Cette initiative a joué un rôle important en éclairant l'élaboration du code de sécurité canadien en matière d'hydrogène et servira de centre de renseignements au secteur minier afin qu'il comprenne les possibilités offertes par l'hydrogène dans le cadre de leurs activités.

Les démonstrations relatives aux applications de l'hydrogène dans les activités minières ont commencé au début des années 2000. Au Canada, RNCAN a soutenu un projet lancé en 2015 dans la mine de nickel Raglan au nord du Québec, où l'hydrogène est utilisé comme solution de stockage de l'énergie afin de réduire la consommation de diesel au sein du système de production d'électricité stationnaire du site. Malgré des démonstrations précoces, le secteur a tardé à adopter l'hydrogène de manière significative. Cependant, le déploiement de l'hydrogène dans les activités minières semble commencer à connaître un certain élan au sein de l'industrie, et les sociétés canadiennes y jouent un rôle. Un certain nombre de sociétés minières étudient les possibilités offertes par les piles à combustible pour les tombereaux très lourds. Chacun de ces véhicules devrait consommer environ 1 t/j d'hydrogène, soit une consommation équivalente à celle d'environ 33 autobus en service, démontrant ainsi qu'un seul site minier pourrait déployer de l'hydrogène à une échelle importante.

Pour dépasser le stade des démonstrations de véhicules uniques, il sera important que les FEO comme Komatsu et Caterpillar s'engagent à développer des équipements alimentés à l'hydrogène qui pourront être offerts sur le marché. Les coûts et la nécessité de procéder à une analyse de rentabilité démontrée continuent de constituer un défi dans ce secteur, et à terme, l'hydrogène ainsi que les autres énergies renouvelables devront être considérés comme faisant partie de l'écosystème global intégré dans le cadre des activités minières afin d'optimiser le rendement et la rentabilité.

La collaboration avec d'autres régions peut aider le Canada à faire progresser le déploiement de l'hydrogène au sein des mines. En juillet 2020, l'Association canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible (ACHPC) et l'Australian Hydrogen Council (AHC) ont signé un protocole d'entente visant à renforcer la collaboration entre le Canada et l'Australie dans le déploiement commercial des technologies

¹ <http://www.fchea.org/in-transition/2020/3/16/a-case-for-hydrogen-to-decarbonize-mining>

de l'hydrogène et des piles à combustible à zéro émission, notamment grâce à la détermination des possibilités de projets communs dans le secteur minier. Bien que les collaborations internationales soient importantes, le Canada doit également examiner comment le déploiement de solutions fabriquées au Canada pourrait offrir un avantage aux sociétés minières canadiennes qui opèrent dans un secteur hautement compétitif, mais également comment protéger une propriété intellectuelle potentiellement précieuse. Il sera important de considérer un projet national de déploiement de l'hydrogène dans des activités minières comme la preuve que le secteur envisagera d'adopter l'hydrogène pour remplacer le diesel. Pour ce faire, la première étape sera de soutenir une étude de faisabilité qui considère l'hydrogène comme faisant partie de l'ensemble des activités minières.

Transport ferroviaire

Les applications de transport ferroviaire, maritime et aérien sont bien adaptées à l'hydrogène, car leurs cycles de service à forte intensité énergétique et leurs grandes distances les rendent particulièrement difficiles à électrifier. Les piles à combustible à hydrogène font l'objet d'un intérêt croissant à l'égard de ces applications, mais les activités menées à ce jour se concentraient principalement sur les marchés européens et asiatiques. Ces applications démontrent un fort potentiel à long terme pour le Canada, et des projets pilotes réalisés dans les secteurs ferroviaires et maritimes pourraient être intégrés aux centres de démonstration portuaires tirant parti des solutions en cours de développement pour les autres marchés pour permettre au Canada de faire un bond en avant.



Figure 26– Train à hydrogène d'Alstom doté du moteur d'Hydrogenics (Photo offerte par Alstom)¹

Les trains à hydrogène constituent un moyen rentable d'électrifier le service ferroviaire par rapport aux approches traditionnelles en matière d'électrification, qui recourent à des câbles caténaires ou à un troisième rail. Les émissions de GES provenant des trains alimentés au diesel contribuent de manière importante au réchauffement climatique, et les trains de transport en commun produisent des polluants atmosphériques locaux qui contribuent à la dégradation de la qualité de l'air dans les zones urbaines. Une pression grandissante est exercée sur les autorités afin qu'elles réduisent les émissions de carbone provenant des services ferroviaires, mais les autres options d'électrification sont coûteuses et nécessitent une mise à niveau considérable des infrastructures. Les trains alimentés à l'hydrogène ne nécessitent

aucune infrastructure d'électrification et circulent sur des voies existantes non modifiées. Cette technologie permet de procéder à une transition graduelle vers l'électrification, un train à la fois, par opposition à une reconstruction d'infrastructures de remplacement qui perturbe les services et nécessite un investissement initial en vue d'électrifier tous les trains simultanément.

Les sociétés canadiennes jouent un rôle déterminant dans la chaîne de valeur relative aux applications des trains à hydrogène. Hydrogenics, une société basée en Ontario, a fourni les piles à combustible des premiers trains commerciaux alimentés à l'hydrogène, qui sont entrés en service en Allemagne en 2018 et ont été fabriqués par le fabricant de trains français Alstom. Ces trains sont capables de parcourir 1 000 km sans ravitaillement, ce qui est comparable aux trains alimentés au diesel¹.

¹ Agence France-Presse. (2018). *Germany Launches World's First Hydrogen-Powered Train*. En ligne : <https://www.theguardian.com/environment/2018/sep/17/germany-launches-worlds-first-hydrogen-powered-train>

Ballard Power Systems, une société basée en Colombie-Britannique, travaille sur des projets relatifs aux trains à hydrogène en Europe et en Chine. À ce jour, aucun train alimenté à l'hydrogène n'a été déployé au Canada, mais des études à l'appui de l'intérêt que cette technologie suscite ont examiné sa viabilité.

Le Canada possède un grand système ferroviaire bien développé d'un océan à l'autre qui transporte principalement des marchandises et dispose de 49 422 km de voies ferrées². Le secteur est dominé par le CN, le CP et VIA Rail, qui sont régis par la *Loi sur la sécurité ferroviaire*.



Figure 27 – Système ferroviaire du Canada d'un océan à l'autre

Le secteur canadien du transport ferroviaire de voyageurs dessert 450 collectivités et dispose de 12 500 km de voies ferrées. Le corridor le plus emprunté par les voyageurs est celui de Québec-Windsor, qui transporte près de 4 millions de passagers par an. Toronto, Montréal et Vancouver sont dotées de systèmes ferroviaires de banlieue, et Calgary, Edmonton et Ottawa possèdent des systèmes de trains légers qui sont actuellement en service. De nouveaux systèmes similaires sont en construction à Edmonton, Waterloo et Toronto.

L'examen le plus exhaustif de la technologie des trains à hydrogène ayant été réalisé à ce jour au Canada a été effectué dans le cadre de l'étude de Metrolinx. Publiée en 2018, celle-ci visait à étudier la faisabilité relative à l'utilisation des trains à pile à combustible à hydrogène pour électrifier le réseau GO, une solution de rechange à l'électrification utilisant des câbles aériens conventionnels en Ontario. Cette étude conclut qu'il est techniquement et économiquement faisable de construire et d'exploiter le réseau GO à l'aide de véhicules ferroviaires à pile à combustible à hydrogène et que les coûts de construction et d'exploitation de ce système sont équivalents à ceux d'un système d'électrification aérienne conventionnel. La mise en œuvre d'un système de trains à hydrogène de cette envergure et de cette complexité serait novatrice et présenterait un ensemble d'avantages et de risques unique que le Canada pourrait étudier en première ligne. Bien qu'aucun engagement ferme n'ait été pris afin de sélectionner cette technologie, Metrolinx a l'intention d'engager un sous-traitant afin de mettre à niveau le réseau GO

¹ Alstom. (2019). *Alstom va tester son train à pile à hydrogène aux Pays-Bas*. En ligne : <https://www.alstom.com/fr/press-releases-news/2019/10/alstom-va-tester-son-train-pile-hydrogene-aux-pays-bas>

² Transports Canada. *Overview of the Hydrogen Rail Status in Canada*, mars 2019.

à l'aide d'un modèle conception-construction-financement-exploitation-entretien (CCFEE). Dans le cadre du processus d'appel d'offres, les soumissionnaires seront en mesure de proposer des technologies relevant tant des piles à combustible à hydrogène que des câbles aériens pour électrifier le réseau GO.

Des projets de trains de voyageurs alimentés à l'hydrogène ont été proposés en Colombie-Britannique dans la vallée de l'Okanagan ainsi que le long du corridor de la vallée du Fraser, mais aucun d'eux n'est encore passé à la phase de mise en œuvre.

Bien qu'aucun projet concret de train à hydrogène n'ait été lancé au Canada, les progrès réalisés en Europe et en Asie grâce à la propriété intellectuelle fondamentale du Canada devraient aboutir tôt ou tard à des déploiements nationaux. Parmi les applications potentielles au Canada, nous pourrions citer les locomotives de manœuvres-triage, les services de transport ferroviaire de voyageurs et les locomotives à marchandises. Les études précoces évaluant l'applicabilité des trains à hydrogène au transport de marchandises ont conclu que l'application de cette technologie au triage des marchandises est techniquement et économiquement faisable¹. La modernisation des locomotives et le remplacement des moteurs diesel par des moteurs à pile à combustible à zéro émission constituent une solution de rechange viable et rentable aux trains à hydrogène spécialement conçus, ce qui représente une possibilité importante compte tenu du long cycle de vie des locomotives (50 ans et plus).

Transport maritime

Les applications de transport maritime démontrent un fort potentiel quant à l'adoption de l'hydrogène au Canada. Les applications potentielles englobent notamment les systèmes de propulsion à pile à combustible à hydrogène ainsi que les systèmes d'alimentation électriques auxiliaires destinés aux navires. Les systèmes à pile à combustible peuvent également alimenter les navires amarrés au port. L'Organisation maritime internationale (OMI) encourage une réduction draconienne des émissions dans l'industrie du transport maritime grâce à l'adoption de règlements en matière d'émissions et d'efficacité énergétique. L'OMI a identifié l'ammoniac (composé d'hydrogène renouvelable) et l'hydrogène directement utilisé comme carburant comme étant les potentiels carburants de l'avenir dans une industrie de transport maritime décarbonisée.

Les applications précoces de l'hydrogène dans le transport maritime englobent les traversiers, les remorqueurs et les barges côtières et fluviales. Les vastes voies navigables du Canada abritent plus de 180 différents trajets de traversier, et au moins un trajet de traversier est actuellement exploité dans chaque province et dans la majorité des territoires. Les trajets de ces traversiers sont exploités par les secteurs public et privé, et ils offrent différents types de transport, soit le transport des passagers, des marchandises ou les deux². Le Canada ne compte aucun déploiement de l'hydrogène dans le transport maritime actuellement, mais de nombreuses études ont été lancées dans les Maritimes, en Ontario et en Colombie-Britannique. Le Canada peut profiter des activités menées principalement en dehors de l'Europe, comme les transbordeurs alimentés à l'hydrogène en cours de développement en Norvège.

Transport aérien

L'hydrogène peut également jouer le rôle de carburant dans le secteur de l'aviation en raison des avantages considérables offerts par sa forte densité d'énergie massique. Les piles à combustible à hydrogène pourraient également avoir un rôle à jouer dans l'alimentation des systèmes de bord en réduisant la consommation globale de carburant. Bien qu'elles ne soient pas encore commercialisées, une vaste gamme d'applications sont en phase d'étude et de démonstration à l'échelle pilote. Ces

¹ Change2Energy Services, Évaluation des caractéristiques et des exigences de conception et de déploiement d'une locomotive de manœuvre à pile à hydrogène exploitée dans une gare de triage dotée d'une infrastructure de ravitaillement connexe, juin 2020

² <https://canadianferry.ca/fr/ferries-in-canada/>

applications passent tant par les véhicules aériens sans pilote (UAV) que les drones et les systèmes de propulsion en aéronef habité. De grands acteurs comme Audi, Aston Martin, Boeing, Daimler et plus récemment Hyundai, par l'entremise de sa nouvelle division de mobilité aérienne urbaine (« Urban Air Mobility Division »), examinent les autres approches du secteur de l'aviation qui sont rendues possibles par les technologies sans émission¹. Ces nouveaux modes de transport pourraient radicalement changer les options de mobilité en milieu urbain en diminuant la congestion au niveau du sol et en réduisant tant les émissions de GES que les polluants courants locaux. En septembre 2020, Airbus a dévoilé trois concepts d'aéronefs alimentés à l'hydrogène qui pourraient entrer en service d'ici 2035². Dans certains concepts d'aviation, l'hydrogène est considéré comme un carburant réservé aux groupes auxiliaires de bord et non comme principal carburant de propulsion.

La principale solution de recharge à l'hydrogène en matière d'aviation à zéro émission est les batteries au lithium-ion. L'hydrogène est avantageux par rapport aux batteries au lithium-ion en raison de la densité énergétique plus importante qu'il peut offrir dans les applications aux cycles de service plus lourds et de son temps de chargement plus rapide. Ces avantages offrent une autonomie accrue ainsi qu'une capacité de charge plus importante. Les UAV destinés à des applications militaires et commerciales utilisant des piles à combustible à hydrogène suscitent un intérêt grandissant. En 2019, Plug Power a fait l'acquisition d'EnergyOr, une société basée à Montréal, afin d'intégrer les technologies de pile à combustible petite et très légère à leur gamme de produits.

L'industrie canadienne de l'aérospatiale contribue à l'économie du pays à hauteur de 200 000 emplois et de 25 milliards de dollars par an³. Des pressions sont exercées sur le secteur pour qu'il maintienne la position du Canada dans un contexte de concurrence grandissante en vue de s'attaquer aux émissions de GES ainsi qu'aux perturbations majeures causées par la COVID-19 au sein de l'industrie. Celle-ci considère les piles à combustible à hydrogène ainsi que sa combustion comme des options prometteuses pour la réduction des émissions de CO₂.

¹ <https://newatlas.com/aircraft/hyundai-nasa-expert-flying-car-division/>

² <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html>

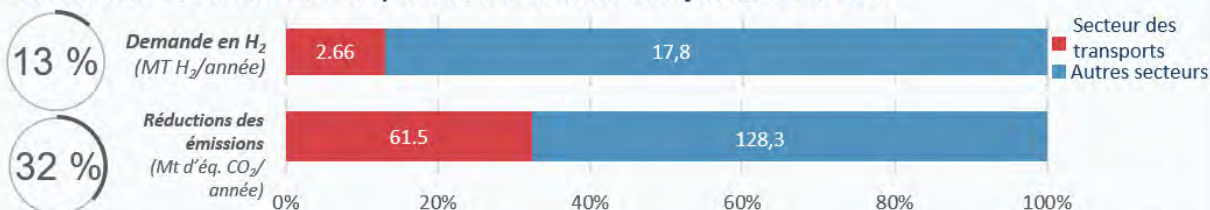
³ AIAC, 2019

CONTRIBUTIONS DES INTERVENANTS : TRANSPORT



Possibilités

Contribution du secteur des transports dans le scénario transformateur de 2050



- 13 %
- 32 %
- 1 véhicule léger sur 4 pourrait être un VEPC d'ici 2050



5 millions

160 000

6 500

Véhicules légers

Camions

Autobus

- Les piles à combustible offrent les plus grands avantages par rapport aux batteries dans les applications lourdes comprenant des charges utiles élevées, de longues distances et des cycles de service intensifs



Défis



Manque d'infrastructures de ravitaillement en hydrogène; il faut mettre en place des pôles de 7 à 8 stations avant que les fabricants d'équipement d'origine (FEO) de véhicules ne déploient des VEPC dans une région



Coûts des véhicules plus élevés en raison d'un niveau de maturité plus faible et de volumes plus faibles



Concurrence perçue avec les VEB par rapport aux technologies complémentaires, chacune jouant un rôle important; par exemple, dans le secteur des véhicules lourds



Manque de véhicules routiers éprouvés et viables sur le plan commercial, frein à l'adoption en raison d'un manque de véhicules offerts sur le marché; d'autres modes (p. ex., transports ferroviaire et maritime) en sont aux premières phases de déploiement



Conclusions

- Politique/réglementation plus contraignante appuyée par des incitatifs et des investissements dans les infrastructures pour favoriser l'adoption de véhicules à zéro émission
- Modification des programmes ou politiques existants afin qu'ils reflètent la faible maturité du marché des VEPC par rapport aux autres options
- Plan coordonné d'investissement dans les infrastructures de ravitaillement en hydrogène, axé sur les régions accueillant les centres et s'étendant aux stations de raccordement pour les véhicules légers (700 bars) et lourds (350 bars), situées au même endroit dans la mesure du possible
- Projet pilote de déploiement de haut niveau des AEPC dans un garage complet pour accroître la sensibilisation et partager les données pour la planification de la transition
- Obligation pour les organismes de transport en commun canadiens d'élaborer des plans de transition à zéro émission
- Renforcement de la certitude de la demande par le biais de la politique fédérale d'approvisionnement en VZE
- Projets pilotes de déploiement dans les transports à faible NMT – transports routier, ferroviaire, maritime et aérien

COMBUSTIBLE POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

L'hydrogène peut être utilisé comme combustible pour la production d'électricité, soit par la combustion de l'hydrogène dans des turbines, soit dans des centrales électriques à piles à combustible stationnaires. Les turbines à combustion conçues pour brûler un mélange d'hydrogène et de gaz naturel sont actuellement commercialisées. Les turbines à gaz naturel existantes pourraient être alimentées par un mélange d'hydrogène et de gaz naturel composé de 10 % à 15 % d'hydrogène par volume. Cependant, il serait nécessaire de remplacer ou de modifier considérablement les infrastructures et les équipements pour brûler une proportion plus importante d'hydrogène dans les centrales électriques existantes. Des turbines en mesure de brûler 100 % d'hydrogène sont en cours de développement et devraient être mises en service d'ici 2030. L'hydrogène peut également offrir des capacités de gestion de la charge, ainsi que des capacités quotidiennes ou même saisonnières de stockage d'énergie à échelle industrielle, en plus de faciliter la croissance des énergies renouvelables variables au sein du secteur.

Bien que le réseau électrique du Canada soit considéré comme à faible intensité carbonique en moyenne, certaines régions présentent une intensité carbonique bien supérieure à celle-ci et dépendent de la combustion de combustibles fossiles pour produire de l'énergie. Dans l'ensemble, environ 17 % du réseau électrique du Canada est alimenté par la combustion de combustibles fossiles. L'hydrogène à faible intensité carbonique peut contribuer à réduire les émissions provenant de la production de l'électricité, mais également à écologiser le réseau d'électricité¹. Le coût actualisé de l'électricité produite par des turbines à combustion alimentées à l'hydrogène devrait chuter pour devenir concurrentiel du point de vue du cycle de vie par rapport aux turbines de combustion alimentées au gaz naturel d'ici 2050².

En Alberta, par exemple, l'hydrogène produit par la conversion de gaz naturel ou de pétrole associée à la réduction des émissions de carbone pourrait être utilisé à la place des turbines alimentées au gaz naturel pour fournir de l'électricité acheminable selon la demande. Le Nunavut dépend du diesel pour produire de l'électricité, et l'hydrogène, qu'il soit importé sous une forme liquide semblable à celle du diesel actuel ou

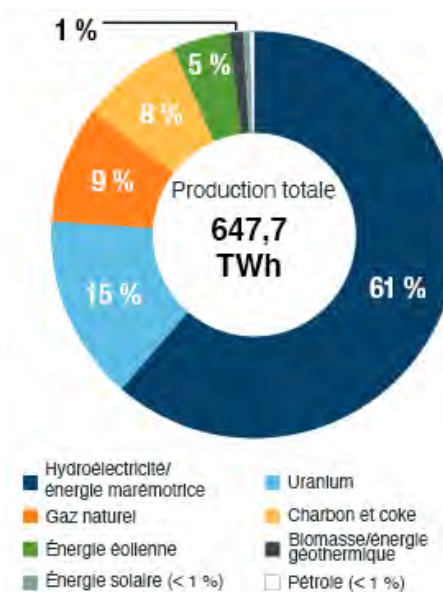


Figure 28 – Production d'électricité par type de carburant au Canada, 2018 (source : Régie de l'énergie du Canada)



¹ REC. (2018). *Profils énergétiques des provinces et territoires – Canada*. En ligne : <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/profils-energetiques-provinces-territoires/profils-energetiques-provinces-territoires-canada.html>

² AIE. *Energy Technology Perspectives 2020*.

produit localement par électrolyse à partir de sources d'électricité non émettrices, peut contribuer à réduire l'intensité carbonique de l'électricité dans la région, en plus d'améliorer la qualité de l'air. Parmi les autres provinces qui dépendent de combustibles fossiles émetteurs de carbones pour la production d'électricité et qui pourraient tirer parti de la faible intensité carbonique de l'hydrogène pour produire leur électricité, nous pourrions citer la Saskatchewan, la Nouvelle-Écosse, les Territoires du Nord-Ouest et le Nouveau-Brunswick.

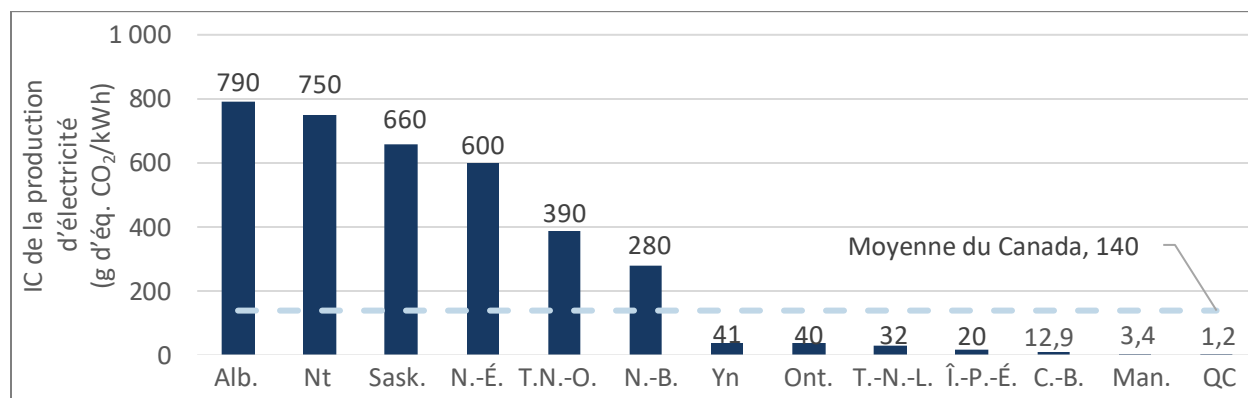


Figure 29 – Intensité carbonique des sources provinciales de production d'électricité

Le Japon a ouvert la voie à la vision d'une production d'électricité à grande échelle en utilisant de l'hydrogène importé pour produire de l'électricité au moyen de turbines. Une centrale de 80 MW a récemment été mise en service, l'objectif du pays étant de mettre en service une centrale de 1 GW d'ici 2030. L'Europe examine le potentiel de production d'électricité à partir de turbines à hydrogène et de turbines alimentées par un mélange d'hydrogène et de gaz naturel. Ces technologies ne seront économiquement viables au Canada que si l'on dispose d'un approvisionnement en hydrogène à grande échelle, à faibles coûts et à faible intensité carbonique.

En tant que vecteur de stockage d'énergie à échelle industrielle, l'hydrogène peut faciliter la pénétration accrue des énergies renouvelables au sein du réseau. L'hydrogène peut être produit par électrolyse à partir de sources d'énergies renouvelables variables comme les énergies éolienne et solaire pendant les périodes creuses, lorsque la demande en électricité est faible, ou lorsque le producteur d'électricité ne peut obtenir que des taux bas, voire négatifs. L'intégration de l'hydrogène en tant que vecteur de stockage de l'énergie peut donner lieu à une analyse de rentabilité améliorée. Le stockage de l'hydrogène est un facteur essentiel pour déterminer la faisabilité de l'utilisation de l'hydrogène dans le secteur de l'énergie puisque des facteurs comme l'emplacement géologique ainsi que le volume et la durée de stockage ont une incidence sur le coût du stockage de l'hydrogène. L'hydrogène peut être stocké sur place et utilisé pour produire de l'électricité aux heures de pointe au moyen d'une turbine ou d'une pile à combustible à membrane échangeuse de protons, être injecté au sein du réseau de gaz naturel en vue de décarboniser le gaz naturel, ou encore être intégré à des hydrogénoducs et utilisé comme carburant de transport de grande valeur ou comme matière première industrielle.

Le processus de production d'hydrogène par électrolyse à partir de l'électricité renouvelable excédentaire et d'injection dans le réseau de gaz naturel est couramment désigné sous le terme de « transformation de l'électricité en gaz ». La transformation de l'électricité en gaz permet de relier les systèmes énergétiques d'électricité et de gaz naturel; elle peut également jouer un rôle crucial dans la transition du réseau de gaz naturel fossile vers la décarbonisation. La croissance de l'intérêt porté à la transformation de l'électricité en gaz en Europe a été favorisée par des cibles ambitieuses de réduction des GES et par un approvisionnement grandissant en électricité renouvelable variable.

Quelques projets de transformation d'électricité en gaz sont en cours de développement au Canada. La première installation de transformation d'électricité en gaz au Canada a été mise en service en Ontario en juillet 2018 lorsqu'un électrolyseur avec membrane échangeuse de protons de 2,5 MW fourni par Hydrogenics a été installé aux termes d'un contrat avec la Société indépendante d'exploitation du réseau d'électricité (SIERE) de l'Ontario. L'électrolyseur offre des fonctions de réponse à la demande énergétique du réseau à la SIERE, et l'hydrogène produit est injecté dans le réseau de distribution de gaz d'Enbridge. Des projets d'une échelle s'élevant à environ 150 MW sont en cours de développement ailleurs au Canada.

L'hydrogène peut également être intégré aux systèmes d'énergie renouvelable des collectivités autochtones et éloignées du Canada. Le terme « collectivités éloignées » s'entend des collectivités non reliées aux réseaux d'électricité ou de gaz naturel intégrés d'Amérique du Nord qui dépendent d'une électricité coûteuse et émettrice de GES produite à partir de diesel. Les générateurs diesel sont une source de polluants atmosphériques courants, surtout dans les petites collectivités où la qualité de l'air et les répercussions sanitaires peuvent être problématiques. Le diesel peut être remplacé par de l'hydrogène importé ou produit localement. L'hydrogène peut alimenter un système de microréseau centralisé ou distribué avec cogénération de chaleur et d'électricité. Les sources d'énergies renouvelables peuvent également être intégrées pour produire de l'hydrogène par électrolyse et, par extension, réduire la dépendance au carburant importé.

CHALEUR POUR L'INDUSTRIE ET CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS

En tant que combustible de chauffage, l'hydrogène est une molécule plus propre qui peut remplacer la combustion de combustibles fossiles dans des applications où une chaleur de haute température est nécessaire et où le chauffage électrique n'est pas la meilleure option. L'hydrogène peut être brûlé directement ou mélangé à du gaz naturel afin de réduire les émissions de carbone.



Chaleur pour l'industrie

Le secteur industriel recourt au gaz naturel comme source de chaleur industrielle, mais aussi comme carburant pour produire de la vapeur. Lorsque le gaz naturel est brûlé pour produire de la chaleur, il dégage des émissions de carbone. Il est très difficile de capter les émissions de carbone au point d'utilisation en dehors des grandes installations industrielles à grande échelle, où il est possible de capter le CO₂ provenant des gaz de combustion concentrés.

Le secteur pétrolier et gazier canadien est un grand contributeur aux émissions de GES; il est responsable de 26 % des émissions totales en 2018¹. L'hydrogène à faible intensité carbonique peut offrir des avantages en matière de réduction des émissions, tant dans les procédés d'extraction en amont (brûlé comme source de chaleur) que dans les procédés de raffinage en aval (utilisé comme matière première chimique; voir la section consacrée à l'hydrogène comme matière première). Par exemple, dans les opérations en amont, l'hydrogène à faible intensité carbonique peut remplacer le gaz naturel brûlé pour produire de la vapeur pour la production in situ de bitume par drainage par gravité au moyen de vapeur (DGMV). L'hydrogène peut ainsi réduire l'intensité carbonique des produits pétroliers raffinés classiques et offre ainsi une voie pour se conformer à la Norme sur les combustibles propres du gouvernement fédéral.

D'autres industries lourdes au Canada qui dépendent d'une importante production de chaleur de haute température comprennent la fabrication de ciment, le secteur des pâtes et papiers et les procédés industriels qui dépendent de la production de vapeur. Ces secteurs peuvent également réduire leurs émissions en adoptant les mélanges d'hydrogène et de gaz naturel ou l'hydrogène pur pour la production de chaleur. Au Canada, un certain nombre de ces secteurs examinent la possibilité de réduire les émissions grâce à l'utilisation de l'hydrogène.

L'intégration d'hydrogène produit par électrolyse directement dans de grandes installations industrielles peut offrir des avantages à valeur ajoutée. Par exemple, certains de ces secteurs peuvent tirer parti de l'oxygène et de la chaleur résiduelle produite au cours du processus d'électrolyse. L'oxygène peut améliorer la combustion et faciliter l'utilisation d'une plus vaste gamme de matières premières dans les fours à ciment. Il peut être utilisé dans le processus de fabrication de la pâte à papier à la place de l'oxygène marchand. Les installations industrielles ont généralement investi dans des postes électriques, ce qui permet de faire baisser le tarif de l'électricité ainsi que le coût de l'hydrogène. La production d'hydrogène destiné à ces secteurs industriels peut offrir la possibilité de diversifier les activités si de l'hydrogène excédentaire venait à être produit et vendu pour générer une nouvelle source de revenus.

¹ Environnement et Changement climatique Canada. (2020). *Rapport d'inventaire national 1990–2018 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada*. En ligne : http://publications.gc.ca/collections/collection_2020/eccc/En81-4-1-2018-fra.pdf

Chauffage des bâtiments

L'hydrogène peut également jouer un rôle dans la réduction des émissions dans les applications de chauffage dans l'environnement bâti. Les services publics de gaz naturel cherchent à décarboniser le réseau de gaz naturel en introduisant le GNR et l'hydrogène comme carburants chimiques de remplacement à faibles émissions de carbone. Le climat froid du Canada fait que le chauffage des locaux représente plus de 60 % de la consommation d'énergie des maisons, le chauffage de l'eau arrivant en deuxième position à plus de 19 %¹. Le gaz naturel est utilisé à ces deux fins dans certaines provinces du Canada, et l'hydrogène suscite une attention croissante au sein des services publics, car il peut être produit à haute capacité par rapport au GNR, dont l'approvisionnement est limité.

Dans le monde, plusieurs pays mettent actuellement à l'essai le mélange de l'hydrogène dans leurs systèmes de gaz naturel dans le cadre des efforts visant à réduire les émissions associées au chauffage domestique. Le mélange de l'hydrogène a été lancé en Allemagne, à Dunkerque en France (mélange composé d'un maximum de 20 % d'hydrogène dans le cadre du projet de démonstration GRHYD), et à Keele au Royaume-Uni (mélange composé d'un maximum de 20 % d'hydrogène dans le cadre du projet HyDeploy réalisé au sein de la Keele University en 2019). Le projet H21 Leeds City Gate prévoit de transformer Leeds en ville alimentée à 100 % à l'hydrogène d'ici 2028².

Considérations techniques

La mise en œuvre des mélanges de l'hydrogène destinés à être utilisés à la fois dans les applications industrielles et l'environnement bâti dans le réseau de gaz naturel peut avoir des répercussions sur les pipelines, les propriétés du gaz, les systèmes de sécurité, les équipements de mesure et d'utilisation finale ainsi que les appareils. De nombreux services publics de gaz du monde entier, y compris les services publics de gaz naturel canadiens, en collaboration avec l'Association canadienne du gaz, travaillent à comprendre et à surmonter les difficultés techniques relatives à l'introduction de l'hydrogène en tant que mélange. Parmi ces considérations techniques, nous pourrions citer les suivantes.



¹ RNCan. (2017). *Secteur résidentiel*. En ligne :

https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/guide/guide_res_00.cfm

² <https://rienergia.staffettaonline.com/articolo/33278/Hydrogen+is+the+key+for+a+green+European+gas+network/Chatzimakakis#:~:text=In%20the%20Hydrogen%20Roadmap%20Europe,7%25%20by%20volume%20until%202030.&text=By%202050%2C%20hydrogen%20could%20provide,by%20European%20households%20for%20heating.>

Compatibilité des matériaux – Fragilisation

Certains pipelines métalliques peuvent se dégrader en étant exposés à de l'hydrogène pendant de longues périodes, notamment en raison des grandes concentrations et des hautes pressions susceptibles d'advenir lors de son injection dans les systèmes de transport de gaz naturel à haute pression. Les effets de cette fragilisation dépendent du type d'acier et des conditions d'exploitation et doivent être évalués au cas par cas.

Les pipelines de transport du gaz naturel au Canada sont généralement faits d'aciers à haute résistance et fonctionnent à des pressions élevées par rapport aux réseaux de distribution, ce qui les rend plus sensibles à la fragilisation par l'hydrogène. Les aciers utilisés dans les systèmes de distribution du gaz naturel ne sont généralement pas sensibles à la fragilisation par l'hydrogène dans des conditions d'exploitation normale. Les autres pipelines métalliques composés de fer (fonte ductile, fonte et fer forgé) et de cuivre ne posent aucun problème de fragilisation, tout comme le polyéthylène (PE), le polychlorure de vinyle (PVC) et les élastomères plus couramment utilisés dans les réseaux de distribution de gaz naturel récemment installés.

Normes et politiques en matière de pipelines

La quantité d'hydrogène actuellement autorisée dans les infrastructures de gaz naturel est limitée par des codes et normes propres à chaque pays. Les normes internationales relatives à l'injection de l'hydrogène autorisent actuellement des valeurs allant de 0,1 % (vol.) au Royaume-Uni et en Belgique à 12 % (vol.) aux Pays-Bas, et de nombreux pays travaillent activement à mettre à jour ou à créer des normes en la matière. Il est également nécessaire d'élaborer des normes visant à définir la qualité de l'hydrogène et les niveaux de contamination associés. Aucune norme relative à la qualité et à l'injection de l'hydrogène n'a encore été établie au Canada et ailleurs en Amérique du Nord, et l'élaboration de ces normes est une étape essentielle pour permettre la mise en œuvre du mélange de l'hydrogène dans les provinces et territoires du Canada. Une coordination interprovinciale s'impose étant donné que les pipelines traversent parfois les frontières.

Propriétés du gaz et systèmes de sécurité

L'hydrogène présente une densité d'énergie volumétrique inférieure à celle du gaz naturel. À n'importe quelle pression, la densité d'énergie volumétrique de l'hydrogène représente environ un tiers de celle du gaz naturel. Ainsi, l'hydrogène injecté dans les réseaux de gaz naturel donnera un mélange contenant moins d'énergie par volume. Il serait donc nécessaire d'augmenter le débit volumétrique afin de fournir les mêmes quantités d'énergie aux utilisateurs finaux. Pour adapter l'augmentation du débit à celle des rapports de mélange, les pipelines et les réseaux de distribution devront augmenter la pression du système ainsi que la densité du mélange de gaz circulant dans les pipelines. La pression nominale des pipelines pourrait donc limiter la quantité d'hydrogène injecté dans les infrastructures de gaz naturel existantes.

Les propriétés du gaz comme l'explosivité, l'inflammabilité, l'inflammation, la dispersion et la capacité à ajouter des odorants pour faciliter la détection des fuites sont toutes différentes selon qu'il s'agit de systèmes de mélange d'hydrogène ou de gaz naturel pur. Des modélisations ainsi que des mises à l'essai ont été entreprises afin de comprendre les répercussions et de cerner les domaines dans lesquels les systèmes de sécurité doivent être mis à niveau pour permettre la mise en œuvre des mélanges. Les conclusions générales indiquent que les mélanges composés d'un maximum de 20 % d'hydrogène n'exigent pas de modifier les systèmes de sécurité. Il est nécessaire de procéder à des analyses et mises à l'essai plus poussées dans le contexte canadien, et les résultats seront susceptibles de varier en fonction des réseaux de gaz naturel locaux.

Mesure du gaz

Les mélanges d'hydrogène peuvent avoir une incidence sur la précision des compteurs de gaz existants. Les études ont révélé que les compteurs de gaz ne nécessiteront pas d'être réglés pour les mélanges contenant peu d'hydrogène¹. Cependant, il est nécessaire de procéder à des essais de validation plus poussés, et de nouveaux compteurs pourraient être requis pour les mélanges contenant de plus grandes quantités d'hydrogène.

Appareils et équipements d'utilisation finale

Les appareils doivent être en mesure de fonctionner en toute sécurité et à des niveaux de rendement équivalents afin d'intégrer les mélanges d'hydrogène dans l'environnement bâti sans nécessiter d'amélioration. Les mises à l'essai relatives à la mise en œuvre du mélange de l'hydrogène au Canada et dans d'autres régions comme le Royaume-Uni et l'Australie démontrent que les mélanges composés d'un maximum de 30 % d'hydrogène n'ont aucune répercussion sur les appareils² comme les cuisinières, les générateurs d'air chaud et les foyers alimentés au gaz naturel. Au-delà de ce seuil, il pourrait être nécessaire de procéder à des modifications telles que de nouveaux brûleurs. Les équipements industriels tels que les turbines, les compresseurs et les chaudières peuvent également être affectés par les mélanges d'hydrogène, tout comme certains matériaux de réservoir de GNC plus anciens. Par exemple, l'hydrogène produit plus de vapeur d'eau que le gaz naturel pour la même quantité d'énergie générée lors de la combustion, ce qui pourrait accroître la quantité de condensat dans les chaudières. Dans les compresseurs conçus pour être étanches aux fuites de gaz naturel, des fuites d'hydrogène sont susceptibles de se produire. L'hydrogène produit une chaleur rayonnante inférieure à celle du gaz naturel, ce qui peut avoir une incidence sur les applications de chauffage des bâtiments industriels. L'intégration des mélanges d'hydrogène auprès des clients industriels nécessitera des études et essais pilotes importants et devra être évaluée au cas par cas.

Contexte canadien

Bien que les concentrations admissibles d'hydrogène dans les réseaux de gazoducs de gaz naturel restent un domaine de recherche et d'évaluation actives, des études récentes ont conclu que les pipelines de transport peuvent accepter des concentrations d'hydrogène de 5 à 20 % (en volume) avec un risque minimal³. Les limites du mélange de l'hydrogène peuvent être surmontées en localisant les parties de l'infrastructure de gaz naturel ou les utilisateurs finaux qui sont prêts à tolérer de plus grandes concentrations d'hydrogène, avec la possibilité d'avoir uniquement des hydrogénoducs dans certaines régions du Canada.

Le service public ontarien Enbridge Gas est l'un des premiers à proposer une démonstration visant à mélanger de l'hydrogène au gaz naturel au sein du réseau, et la Colombie-Britannique et le Québec ont mis en œuvre des politiques provinciales qui ont stimulé la recherche et le développement ainsi que l'élaboration de projets pilotes consacrés au mélange de l'hydrogène dans le réseau de gaz naturel. En Alberta, la société ATCO a annoncé un projet de mélange à Fort Saskatchewan, dans le cadre duquel un mélange composé d'un maximum de 5 % d'hydrogène en volume sera intégré à une partie du réseau résidentiel de distribution de gaz naturel à partir de 2021. Les intervenants consultés ont cerné jusqu'à neuf projets relatifs à l'hydrogène actuellement développés par des services publics au Canada. Cependant, aucune norme liée à l'injection de l'hydrogène n'a été établie au Canada, ce qui constitue un frein à un déploiement plus large. Les spécifications techniques et les exigences d'interface liées au

¹ Zen and the Art of Clean Energy Solutions Inc. (2019). *British Columbia Hydrogen Study*.

² ATCO (2020). En ligne : <https://www.atco.com/en-ca/for-home/natural-gas/hydrogen.html>

³ Yoo Y., et coll., (2017). *Review of hydrogen tolerance of key Power-to-Gas (P2G) components and systems in Canada*. NRC-EME-55882. En ligne : https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/guide/guide_res_00.cfm

mélange de l'hydrogène devront être établies, et des projets pilotes soutiendront l'élaboration de ces normes.

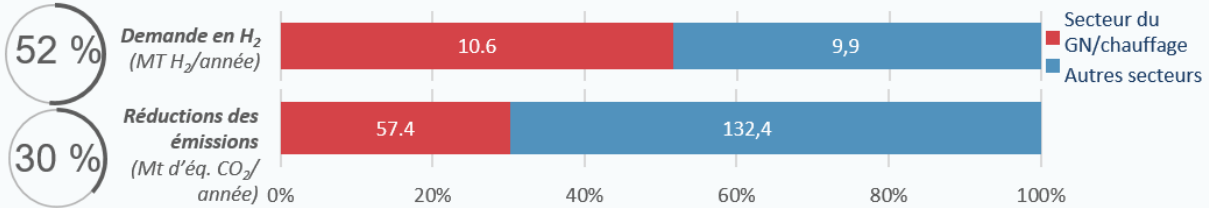
Au bout du compte, les services publics admettent que dans un système énergétique net zéro de l'avenir, la combustion répartie de combustibles fossiles doit cesser, ce qui constitue une menace pour leurs activités. Le gaz naturel renouvelable et le gaz d'enfouissement peuvent remplacer le gaz naturel, mais l'offre est limitée. L'hydrogène produit à grande échelle peut être la solution à long terme pour que les services publics de gaz naturel du Canada demeurent concurrentiels dans un avenir restreint en carbone. L'hydrogène donne la possibilité d'utiliser les précieux investissements canadiens injectés dans les infrastructures de pipelines de gaz naturel pour fournir des carburants à faible teneur en carbone et à forte intensité énergétique pour les applications de haute température, où le chauffage électrique n'est pas la meilleure option. Dans les régions où l'on utilise les thermopompes, l'hydrogène peut également servir à fournir de la chaleur en hiver à l'aide de systèmes de chauffage hybrides.

Destiné à être utilisé à la fois dans l'industrie et l'environnement bâti, le mélange d'hydrogène à faible intensité carbonique au sein des réseaux de gaz naturel du Canada est la voie offrant le plus grand potentiel à l'égard de la demande en hydrogène. Cependant, il est aussi le moins abordable économiquement en raison du faible prix des produits de gaz naturel au Canada aujourd'hui, et lorsqu'il est brûlé, il ne présente aucune amélioration sur le plan de l'efficacité, contrairement aux applications relatives aux piles à combustible. Un des avantages offerts par l'utilisation de l'hydrogène dans le réseau de gaz naturel repose sur le fait que l'hydrogène peut être produit en grandes quantités près des points d'injection dans le réseau de gaz naturel et qu'il n'a pas besoin d'être comprimé à haute pression.

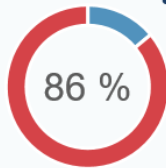


Possibilités

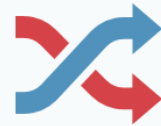
Contribution du chauffage et des réseaux de gaz naturel décarbonisés dans le scénario transformateur de 2050



- D'ici 2050, l'hydrogène pourrait représenter 86 % en volume en moyenne du combustible du réseau gazier



- Le mélange d'hydrogène dans le réseau de gaz à un faible niveau est techniquement réalisable aujourd'hui



Défis



La sécurité et la fiabilité doivent être prouvées avec succès au cours de la phase pilote avant que la technologie puisse être adoptée dans son intégralité



L'incidence des propriétés du gaz et des limites des équipements complique la substitution directe de l'hydrogène dans les procédés industriels



Le gaz naturel est actuellement peu coûteux dans de nombreuses régions du Canada, et si l'hydrogène peut concurrencer le GNR, son coût plus élevé constitue un défi, notamment pour l'industrie



Il existe un manque de normes et de recherches sur la définition des limites de mélange au Canada



Conclusions

- Définir un plan et une approche pour augmenter en toute sécurité les pourcentages de mélange de H₂; collaborer avec les organismes de réglementation, les autorités compétentes et les organisations et organismes de normalisation internationaux
- Élaborer et mettre en œuvre une Norme sur les combustibles propres au sein du gouvernement fédéral afin d'imposer une réduction constante de l'intensité carbonique des combustibles grâce à des améliorations en amont, des procédés et des utilisations finales
- Développer une série d'outils publics (p. ex., le modèle CTP) et de ressources pour aider les utilisateurs finaux à évaluer les options relatives à l'hydrogène
- Étendre les projets pilotes de miniréseaux intégrés d'hydrogène sur les sites industriels et le long des corridors de transport stratégiques afin de mettre en commun les sources d'offre et de demande
- Accroître la recherche et le développement dans le domaine des équipements et des applications d'utilisation finale, y compris les chaudières, les équipements de sécurité et de surveillance, et les problèmes de fragilisation
- Accroître la sensibilisation à l'hydrogène comme option de chauffage à faibles émissions de carbone, p. ex., auprès des municipalités

MATIÈRE PREMIÈRE POUR L'INDUSTRIE

Au Canada comme à l'échelle mondiale, l'hydrogène est le plus couramment utilisé comme matière première dans les secteurs industriels à forte intensité d'émissions. Les principales utilisations uniques de l'hydrogène, tant sous forme pure que de mélange, sont les quatre suivantes : le raffinage du pétrole (33 %), la production d'ammoniac (27 %), la production de méthanol (11 %) et la production d'acier par réduction directe du minerai de fer (3 %)¹. La grande partie de cet hydrogène utilisé comme matière première est actuellement produite par reformage du méthane à la vapeur (RMV) de gaz naturel sans CUSC. L'hydrogène à faible intensité carbonique offre à ces industries une occasion importante de réduire l'intensité carbonique de leurs produits et de leurs émissions globales.

La tarification du carbone et des règlements comme la Norme sur les combustibles propres devraient favoriser la demande en hydrogène propre dans ces industries. Cependant, la plupart des applications industrielles nécessitent d'importants capitaux et tardent à changer. Il pourrait donc s'écouler une dizaine d'années avant que des démonstrations à grande échelle se concrétisent. Ces projets de démonstrations dépendront également d'un soutien financier important, d'un soutien stratégique, d'améliorations technologiques ainsi que d'une réforme du marché de l'énergie. La compétitivité future de l'utilisation de l'hydrogène dans les applications industrielles dépendra de l'élaboration de voies de production de l'hydrogène à faible intensité carbonique et à faible coût, comme l'électrolyse et le reformage du méthane à la vapeur (RMV) avec CUSC.

Industrie pétrolière et gazière



L'hydrotraitement et l'hydrocraquage constituent les deux principales utilisations de l'hydrogène dans les secteurs pétroliers et gaziers. Dans l'hydrotraitement, les impuretés comme le soufre sont retirées des stocks de combustibles bruts (p. ex., le pétrole brut et le bitume) pour réduire leur teneur en soufre, laquelle occasionne une pollution de l'air lors de la combustion. L'hydrocraquage est un moyen de fractionner les huiles résiduelles lourdes en produits de plus grande valeur comme le kérosène, l'essence et le diesel. Dans le cas du traitement du bitume, la production de chaque tonne de bitume nécessite environ une dizaine de kilogrammes d'hydrogène. Les biocarburants produits à partir de graisses animales et d'huiles végétales, eux, nécessitent 38 kg d'hydrogène².

L'AIE prévoit une augmentation de 7 % de la demande en hydrogène dans les secteurs pétrolier et gazier dans le cadre des politiques existantes³. Une réglementation plus stricte en matière de pollution contribuera à augmenter la

¹ AIE. (2019). *The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities*.

² Idem.

³ Idem.

demande en hydrogène comme matière première, mais occasionnera également une baisse globale de la demande en combustibles fossiles. À plus long terme, la demande en hydrogène dans ce secteur dépendra aussi fortement de l'utilisation du pétrole et du gaz comme combustibles d'utilisation finale dans un monde en pleine décarbonisation.

La majeure partie de l'hydrogène nécessaire au raffinage est produite sur place, dans des installations de production spécialisées ou sous forme de sous-produit. En raison de cette intégration de la production d'hydrogène dans les installations de raffinage, la production est principalement assurée par les méthodes de reformage du gaz naturel ou de reformage du naphta. La production d'hydrogène locale n'est pas en mesure de répondre à la demande en hydrogène des plus grandes raffineries, et ces installations dépendent généralement de fournisseurs de gaz marchand. Cette option est particulièrement importante pour les zones densément industrialisées où des hydrogénoducs communs peuvent être construits pour desservir de multiples clients.

L'occasion la plus importante de réduire les émissions associées à l'hydrogène dans l'industrie intermédiaire pétrolière et gazière consiste à adapter la technologie de conversion existante au captage et au stockage du carbone. L'utilisation de l'hydrogène est responsable d'environ 20 % des émissions globales provenant des activités de raffinage (~230 Mt d'éq. CO₂/an), selon l'AIE. Le projet de pipeline principal de l'Alberta pour le carbone (Alberta Carbon Trunk Line – ACTL) est un exemple d'installation de CCUS qui a été mise en service avec succès et qui capte actuellement environ 4,5 tonnes de CO₂/jour (voir la Figure 30)¹.

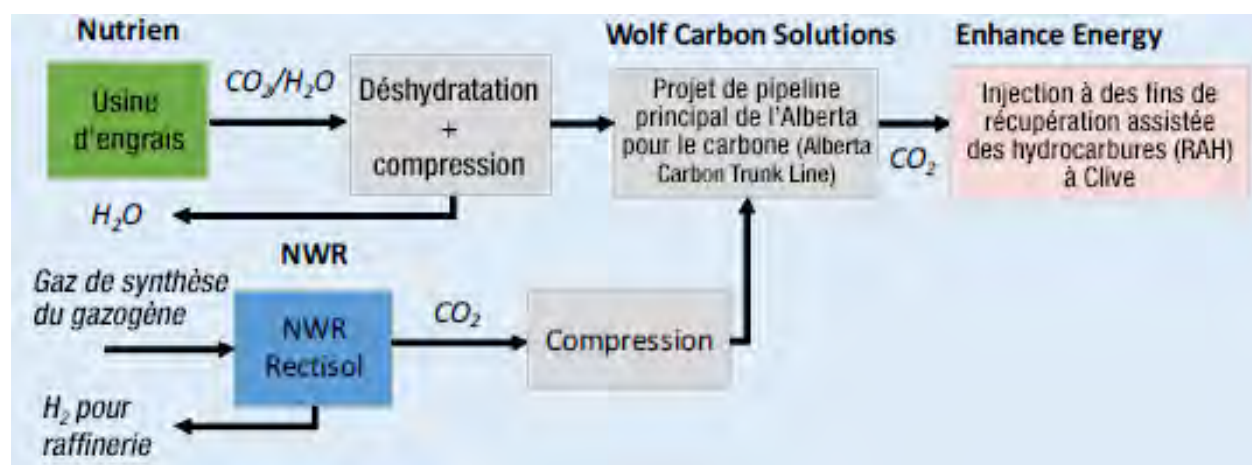


Figure 30 – Projet de pipeline principal de l'Alberta pour le carbone (Alberta Carbon Trunk Line)¹

Il est également possible d'utiliser l'hydrogène électrolytique dans la valorisation des combustibles, bien que les coûts et l'intensité carbonique de cette voie dépendent grandement de la source d'électricité et de l'utilisation finale des carburants. L'hydrogène peut également remplacer le gaz naturel dans les opérations en amont, particulièrement dans le cas des sables bitumineux, où la production de chaleur à des fins d'extraction est une grande source d'émissions. Dans le contexte du Canada, cette voie offre la possibilité particulière de décarboniser une partie des sables bitumineux en Alberta.

Carburants synthétiques

La disponibilité d'hydrogène à faible coût et à faible intensité carbonique a également le potentiel de créer une nouvelle industrie au Canada. Cela comprend la production de carburants liquides synthétiques, un

¹ Layzell DB, Young C, Lof J, Leary J et Sit S. 2020. *Towards Net-Zero Energy Systems in Canada: A Key Role for Hydrogen*. Les rapports de l'Accélérateur de transition : volume 2, numéro 3. En ligne : <https://transitionaccelerator.ca/towards-net-zero-energy-systems-in-canada-a-key-role-for-hydrogen>

procédé novateur qui combine de l'hydrogène non émetteur avec du carbone capté dans l'air pour produire des carburants liquides neutres en carbone et à forte densité énergétique qui conviennent bien à des applications comme l'aviation et les grands navires.

Production d'ammoniac et de produits chimiques

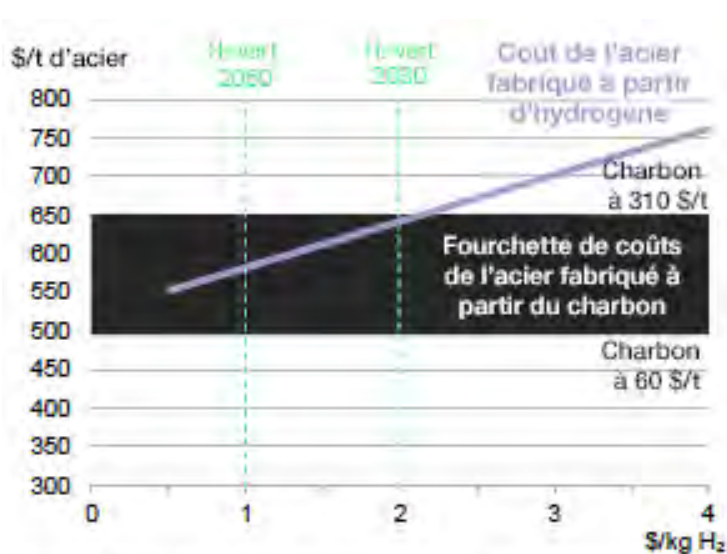
La demande mondiale en hydrogène au sein de l'industrie chimique est principalement répartie entre la production d'ammoniac (à hauteur de 31 Mt d'éq. H₂/an) et la production de méthanol (à hauteur de 12 Mt d'éq. H₂/an). D'autres applications mineures comme la production de plastiques, de solvants et d'explosifs s'élèvent à environ 3 Mt d'éq. H₂/an¹. L'ammoniac (NH₃) est le principal ingrédient utilisé dans la production d'engrais à base d'azote comme l'urée et le nitrate d'ammonium et est produit à grande échelle au Canada. Le méthanol (CH₃OH), également désigné sous le terme d'alcool méthylique, est utilisé dans divers procédés industriels, mais également comme précurseur d'autres produits chimiques comme le formaldéhyde, l'acide acétique ainsi que de nombreux produits chimiques spécialisés.

La demande en hydrogène au sein de l'industrie chimique, actuellement de 46 Mt/an, devrait atteindre les 57 Mt/an d'ici 2030, stimulée par diverses applications industrielles. À l'échelle mondiale, les émissions de CO₂ provenant de la production d'ammoniac et de méthanol s'élèvent à environ 630 Mt d'éq. CO₂/an, la production d'hydrogène représentant un pourcentage important. Comme pour le raffinage du pétrole, la grande majorité de cet hydrogène (65 % pour l'ammoniac et 30 % pour le méthanol) est produite à partir de combustibles fossiles, le reste étant produit à partir du charbon et généré sous forme de sous-produit de procédés industriels. L'ajout du CCUS aux voies de productions de l'hydrogène ou l'utilisation d'hydrogène électrolytique pour ces produits occasionnerait une réduction importante de leur intensité carbonique globale.

Production du fer et de l'acier

La demande en hydrogène dans la production du fer et de l'acier est la quatrième plus importante après celle du pétrole, du gaz et des produits chimiques et s'élève à 4 Mt d'éq. H₂/an². Comme dans les secteurs du pétrole et des produits chimiques, l'hydrogène est utilisé à la fois comme matière première et comme combustible de transformation et est majoritairement issu des combustibles fossiles sans CUSC.

L'hydrogène est utilisé dans la méthode de production d'acier par réduction directe du fer et fusion au four électrique à arc, laquelle représente 7 % de la production d'acier primaire (c.-à-d, l'acier non recyclé) à l'échelle mondiale. D'ici 2030, les exigences relatives à l'hydrogène concernant la production par réduction directe et fusion au four



Source : Bloomberg NEF. Remarque : les coûts actualisés n'incluent pas le prix du carbone

Figure 31 – Coût moyen actualisé de la production d'acier

¹ AIE. (2019). *The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities*.

² Idem.

électrique à arc pourrait plus que doubler, selon l'AIE. D'ici 2050, cette méthode pourrait devenir le principal processus de production d'acier primaire et multiplier par quinze la demande en hydrogène.

Aujourd'hui, la production d'acier est l'un des plus grands émetteurs de CO₂ au monde, représentant environ de 7 à 9 % des émissions mondiales de CO₂ générées par l'utilisation des combustibles fossiles¹. Il existe plusieurs façons d'éviter ou de réduire les émissions de CO₂ provenant de la production d'acier. La plupart de ces pistes sont encore en phase d'expérimentation ou pilote, mais pourraient augmenter considérablement la demande en hydrogène une fois mises en œuvre à grande échelle. La méthode de production d'acier par réduction directe du fer et fusion au four électrique à arc utilisant de l'hydrogène à faible intensité carbonique comme réducteur à la place du charbon évite les émissions de carbone générées lors du processus. À l'heure actuelle, les usines pilotes adoptant cette approche peuvent fonctionner à l'aide d'un maximum de 30 % d'hydrogène supplémentaire, mais il est techniquement faisable d'atteindre des pourcentages supérieurs. Plusieurs projets mondiaux en cours mettent actuellement à l'essai l'utilisation de l'hydrogène dans la fabrication de l'acier. HYBRIT, une coentreprise suédoise récemment formée par SSAB, LKAB et Vattenfall, démontre actuellement la fabrication d'acier faible en carbone en utilisant la méthode de production d'acier par réduction directe du fer et fusion au four électrique à arc avec de l'hydrogène produit à partir de l'électrolyse de l'eau².

¹ World Steel Association. (2019a). *Steel Facts*. En ligne : <https://www.worldsteel.org/about-steel/steel-facts.html>

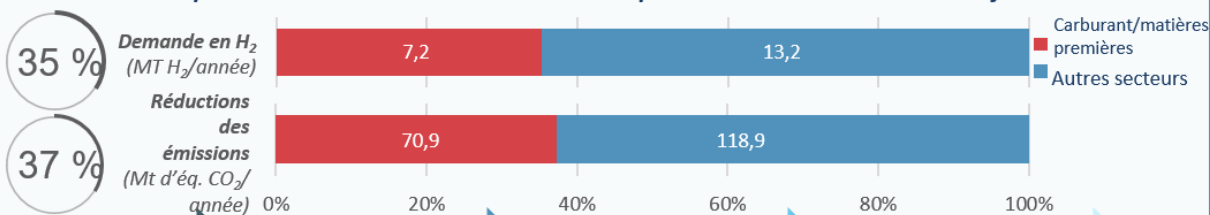
² US Fuel Cell & Hydrogen Energy Association. *Road Map to a US Hydrogen Economy*. (2019).

CONTRIBUTIONS DES INTERVENANTS : MATIÈRE PREMIÈRE POUR L'INDUSTRIE



Possibilités

Contribution de la production de carburant et des matières premières dans le scénario transformateur de 2050



Le Canada dispose d'électricité, de réserves de combustibles fossiles, d'un potentiel de CUSC et d'une main-d'œuvre spécialisée qui peut s'adapter afin d'intégrer une nouvelle industrie des combustibles à faible teneur en carbone

L'industrie du pétrole/des produits pétrochimiques est déjà le plus grand utilisateur de H₂ et la demande en amont et des secteurs intermédiaires pourrait augmenter considérablement

La proposition de Norme sur les combustibles propres du gouvernement fédéral pourrait entraîner d'importantes réductions des émissions de GES et stimuler le développement de technologies destinées à l'exportation

L'hydrogène peut être utilisé comme source d'énergie et matière première dans la production d'acier et d'ammoniac, ce qui permet de remplacer d'importantes quantités de charbon et de GN



Défis



La production de carburant et les procédés industriels sont optimisés pour l'exploitation à grande échelle et continue; les projets à l'échelle pilote peuvent être moins efficaces



Les répercussions en matière de processus, d'équipement et de sécurité du mélange d'hydrogène dans les matières premières essentielles doivent être comprises et les risques qui y sont associés doivent être réduits



Une demande prévisible et à long terme pour les carburants à faible teneur en carbone et les produits industriels est essentielle avant que l'industrie ne puisse investir dans ces projets



Les besoins en matière de stockage du CO₂ seront importants dans le cadre de la transition à long terme du secteur



Conclusions

- Veiller à ce que l'hydrogène et les carburants à faible teneur en carbone soient des éléments essentiels dans la voie du Canada vers 2050
- Mettre en œuvre la NCP et reconnaître le rôle de l'hydrogène dans les définitions des voies
- Explorer les synergies entre l'hydrogène et d'autres biocarburants renouvelables, comme les biocarburants liquides, le méthanol, les carburants synthétiques, le biogaz et le gaz naturel renouvelable (GNR)
- Veiller à ce que les cadres stratégiques offrent une certitude à long terme qui encourage l'innovation et l'investissement du secteur privé dans des mesures tout au long de la chaîne de valeur, de la production à l'utilisation finale
- Commencer à développer des marchés internationaux/étrangers pour les exportations de CFTC, d'acier et d'engrais – le Canada devrait promouvoir activement la faible intensité carbonique de ses produits à valeur ajoutée à l'échelle internationale
- Promouvoir la collaboration entre les industries en amont et en aval afin d'assurer l'adéquation entre l'offre et la demande
- Encourager l'utilisation de produits à faibles émissions de carbone dans les infrastructures nationales afin de créer une demande de produits à faibles émissions de carbone sur le marché local et de réduire les risques liés aux investissements

UTILISATION DE L'HYDROGÈNE AU CANADA

LÉGENDE : Déploiements précommerciaux Déploiements commerciaux Expansion rapide

À COURT TERME (2020-2025)

À MOYEN TERME (2025-2030)

À LONG TERME (2030-2050)

CARBURANT POUR :
Les transports



Véhicules légers



AEPC (transport en commun)



Camions à pile à combustible de classe 8 et à combustion mixte



Autocars interurbains



Camions de livraison à pile à combustible de classe 5 à 7



Équipement de transport des marchandises de port maritime



Transport ferroviaire



Équipement d'exploitation minière



Navires

CARBURANT POUR :
La production d'énergie



Production à partir de piles à combustible pour les collectivités éloignées



Alimentation de secours pour une durée de fonctionnement prolongée



Stockage d'énergie renouvelable associé à l'électricité acheminable selon la demande



Alimentation à quai pour les ports maritimes

CHAUFFAGE POUR :
Industrie



Mélange H₂-GN dans les réseaux de distribution des services publics

CHAUFFAGE POUR :
Environnement bâti



Mélange H₂-GN dans les réseaux de transport d'électricité des services publics



Mélange H₂-GN dans l'industrie ou chaleur directe produite à partir de l'hydrogène pour l'industrie



Hydrogénoducs

MATIÈRE PREMIÈRE POUR :



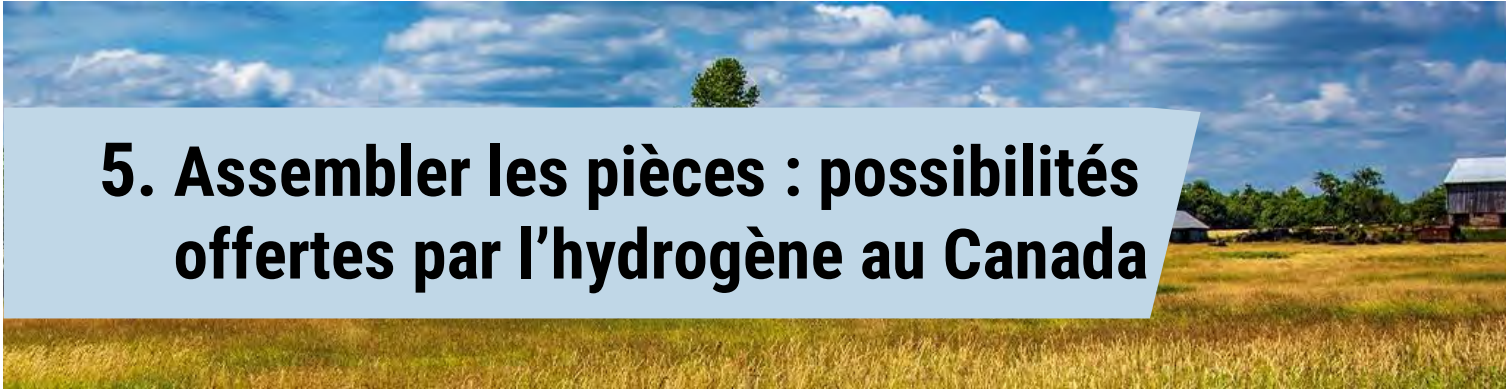
Valorisation du pétrole



Carburants liquides synthétiques



Production chimique



5. Assembler les pièces : possibilités offertes par l'hydrogène au Canada

L'hydrogène offre de véritables possibilités pancanadiennes. Chaque région du pays peut utiliser ses propres ressources pour produire et déployer l'hydrogène à l'échelle nationale, mais également pour approvisionner des marchés d'exportation en pleine croissance. L'hydrogène produit par les voies propres, abondantes et diversifiées du Canada a le potentiel de fournir jusqu'à 30 % de l'énergie d'utilisation finale d'ici 2050 tout en réduisant jusqu'à 190 Mt d'éq. CO₂ d'émissions de GES s'il est déployé dans tous les secteurs de l'économie, des transports à la production d'électricité, en passant par le chauffage et les applications industrielles. La mise en œuvre de la stratégie sur l'hydrogène peut encourager une relance rapide de l'économie et permettre de bâtir d'ici 2050 un secteur national de l'hydrogène d'une valeur de 50 milliards de dollars qui permettra la création de plus de 350 000 emplois bien rémunérés d'un océan à l'autre.

L'HYDROGÈNE FAISANT PARTIE D'UN SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE CANADIEN INTÉGRÉ

Les possibilités offertes par l'hydrogène au Canada seront exploitées de la manière la plus optimale à mesure que les régions développeront des chaînes de valeur intégrales de l'hydrogène qui seront adaptées à leur profil énergétique et aux matières premières destinées à la production, en accordant la priorité aux utilisations finales permettant de maximiser la décarbonisation et les avantages économiques des activités liées aux régions en question. La polyvalence de l'hydrogène en tant que combustible nous permet de fondamentalement transformer le paysage énergétique du Canada. Tout comme l'électricité, l'hydrogène peut jouer de nombreux rôles dans le système énergétique, de la production de carburants liquides en amont à la consommation à petite échelle par des appareils et des équipements d'utilisation finale. Par contre, contrairement à l'électricité, l'hydrogène peut être expédié et stocké en vrac pendant de longues périodes. Il peut donc servir de tampon énergétique important pour équilibrer les niveaux de production imprévisibles et les fluctuations de la demande d'utilisation finale. Cette flexibilité temporelle et géographique assure la redondance et la résilience précieuses du système énergétique et complète les vecteurs existants, comme l'électricité, le gaz naturel et les carburants liquides. La capacité de l'hydrogène à fonctionner dans le cadre d'un système énergétique intégré en fera un élément essentiel de la transformation du système énergétique à grande échelle.



Tout comme les réseaux routiers, les voies ferrées et les compagnies aériennes contribuent au transport des biens et des services d'un océan à l'autre, les réseaux de distribution de l'hydrogène, de l'électricité et du carburant peuvent se compléter afin de rendre l'ensemble du système plus robuste et plus résilient (voir la Figure 33). Cette complémentarité est particulièrement importante pour deux raisons. Premièrement, il faut électrifier l'économie dans tous les domaines où ce processus est réalisable sur les plans technique et financier. Cela comprend la plupart des modes de transport légers, l'énergie thermique de faible intensité lorsqu'il s'agit d'une option économique (p. ex., dans les bâtiments), ainsi que certains procédés industriels. L'électrification est le moyen le plus direct et le plus efficace de décarboniser de nombreux secteurs de l'économie, car ce processus sépare la consommation énergétique des émissions de GES au point d'utilisation. Cette séparation réduit les émissions en améliorant l'efficacité globale du processus et contribue à faciliter la gestion des émissions restantes en les concentrant au point de production. À mesure que le réseau électrique deviendra plus propre, les émissions de GES de toutes les utilisations finales électrifiées diminueront. L'hydrogène peut contribuer à favoriser

l'électrification en servant de vecteur énergétique pour les secteurs difficiles à électrifier comme l'énergie thermique d'intensité élevée, le transport de charges lourdes et de nombreux procédés industriels.

Deuxièmement, l'hydrogène peut compléter l'électrification à grande échelle en servant de fluide accumulateur et d'interface entre les réseaux de distribution de gaz et d'électricité. Bien que l'électricité peut être stockée dans des batteries ou dans d'autres formes chimiques pendant plusieurs jours ou semaines, le stockage géographiquement flexible de l'électricité à long terme et à grande échelle demeure techniquement complexe et coûteux. L'hydrogène peut être produit et stocké au moment et à l'endroit le plus pratique, être expédié par voie terrestre, ferroviaire ou marine, être injecté dans le réseau de gaz naturel pour une utilisation ultérieure ou être reconverti en électricité. Cette flexibilité est essentielle, car les sources d'énergie renouvelables variables représentent un pourcentage croissant du bouquet énergétique. En offrant une source flexible qui peut répondre à une demande plus ou moins intense au fil de la journée, les électrolyseurs peuvent convertir l'excédent d'électricité produit par des sources renouvelables en hydrogène pour une utilisation ultérieure. Inversement, les piles à combustible peuvent convertir de nouveau l'hydrogène stocké en électricité pendant les périodes de faible ensoleillement ou de faible production d'énergie éolienne.

Alors que la *section 3 : Qu'est-ce que l'hydrogène?* et la *section 4 : Possibilités de production et de distribution du Canada* ont abordé séparément les voies de production et les utilisations finales, la présente section explore comment l'hydrogène peut être déployé en fonction de facteurs temporels et régionaux dans le cadre de systèmes énergétiques intégrés. Pour illustrer l'étendue de la décarbonisation et du potentiel de croissance économique que l'hydrogène peut offrir en examinant la demande globale prévue pour l'hydrogène en fonction de l'utilisation finale, on présente des scénarios possibles, l'un se fondant sur une mise en œuvre graduelle et l'autre sur une mise en œuvre transformatrice.

Les décisions à propos des endroits où l'hydrogène peut être le plus efficacement déployé au fil de la transformation du système énergétique seront influencées par l'économie, le potentiel de réduction des émissions de carbone, ainsi que le fonctionnement et le rendement de l'hydrogène dans des applications finales, comparativement à d'autres options. Étant donné que tous les vecteurs énergétiques à faibles émissions de carbone réalisent encore des progrès technologiques rapides et que leur coût diminue, il est

impossible d'établir des scénarios définitifs. Par conséquent, les cas présentés ne devraient pas être considérés comme des prévisions ou des prédictions, mais plutôt comme une paire de scénarios possibles se situant aux deux extrêmes. Le scénario transformateur devrait représenter l'ampleur potentielle des possibilités offertes par l'hydrogène au Canada si des mesures audacieuses sont adoptées à court terme, tandis que le scénario graduel se fonde sur l'approche de maintien du statu quo et sur des mesures stratégiques mises en œuvre plus lentement.

Ultimement, l'adoption de l'hydrogène dans différentes régions du pays en est à ses débuts, et tous les intervenants peuvent contribuer à influencer notre orientation grâce à un solide leadership et à des initiatives, et en suivant une approche collaborative afin de faire progresser ce secteur.

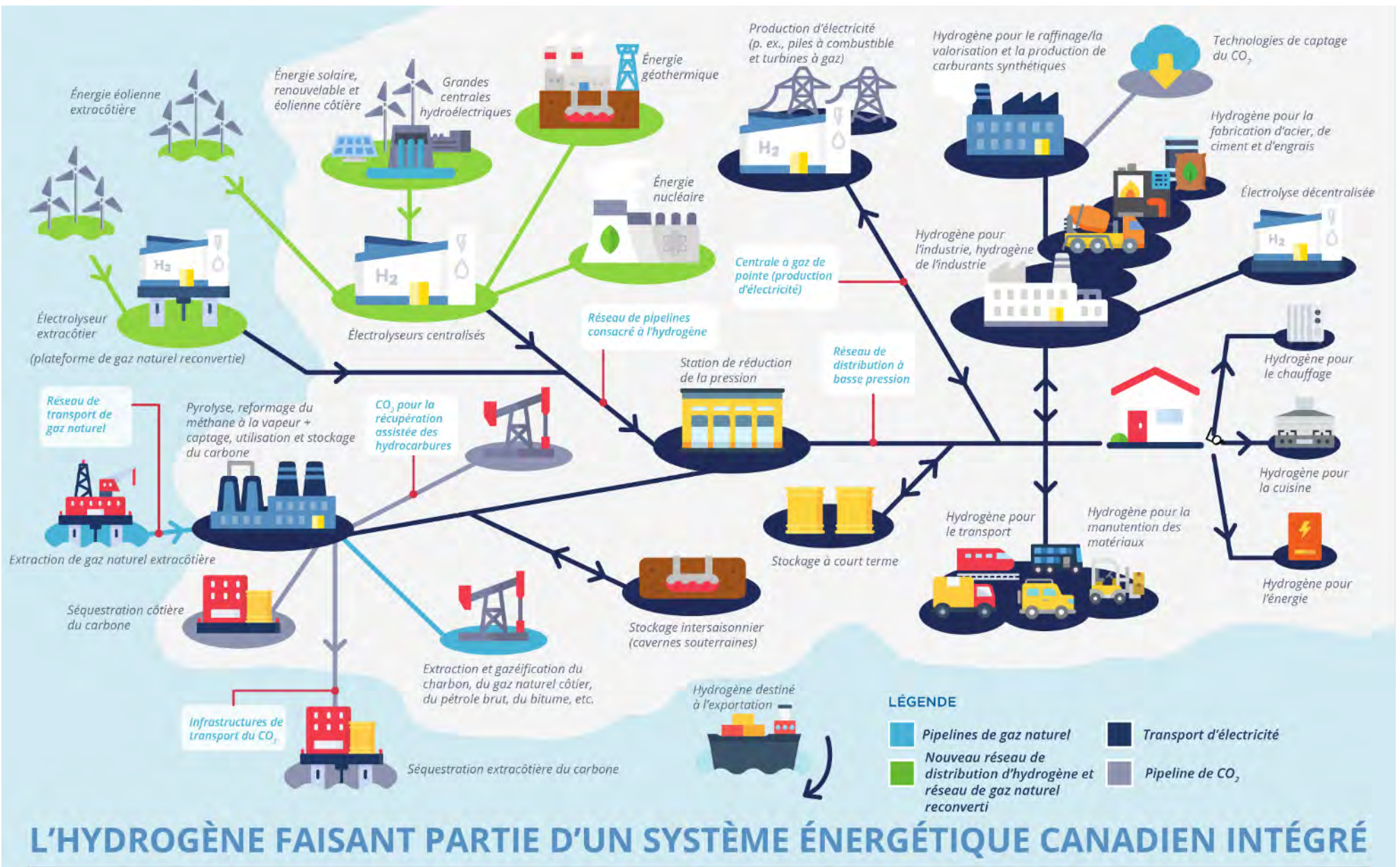


Figure 33 – L'hydrogène faisant partie d'un système énergétique canadien intégré

FACTEURS TEMPORELS ET RÉGIONAUX

Facteurs temporels

Mise en œuvre à court terme (2020 à 2025)

À court terme, l'utilisation de l'hydrogène sera dominée par des applications commerciales relativement matures, atteignant le niveau de maturité technologique (NMT) de la commercialisation ou s'en approchant, y compris les véhicules électriques à pile à combustible (VEPC) et les autobus électriques à pile à combustible liés aux activités de transport en commun. Les applications précommerciales comme les camions lourds, l'équipement de transport des marchandises de port maritime, la production d'électricité, les solutions de chauffage pour les industries et pour l'environnement bâti, et les applications relatives aux matières premières industrielles seront présentées en tant que projets pilotes dans les centres régionaux. Ces centres régionaux seront fortement influencés par :

- ◆ les exigences relatives aux VZE pour les véhicules à passagers, y compris la réglementation du Québec et de la Colombie-Britannique;
- ◆ la tarification du carbone et des règlements comme la Norme sur les combustibles propres qui favorisent la production de l'hydrogène à faibles émissions de carbone dans le cadre d'applications industrielles, y compris la conversion du CO₂ en méthane renouvelable dans des usines d'éthanol et des usines de valorisation du biogaz en GNR, la production de diesel renouvelable et la valorisation de carburants de transport;
- ◆ les infrastructures existantes de production et de distribution d'hydrogène pouvant être exploitées;
- ◆ les résultats de projets pilotes, les codes, les normes et les approbations réglementaires concernant le mélange de l'hydrogène avec le gaz naturel visant à décarboniser le système de distribution des services publics;
- ◆ les cibles en matière de gaz naturel renouvelable pour les services publics de gaz naturel où l'hydrogène constitue une voie d'entrée.

La production locale de l'hydrogène doit évoluer en même temps que la demande grâce à des déploiements pour une utilisation finale au sein de centres sous-régionaux situés dans chaque province ou région. L'augmentation de l'offre et de la demande dans des centres réduira le coût des voies de l'hydrogène à faible intensité carbonique et stimulera le développement de nouvelles sources par différents moyens importants. Premièrement, les installations de production d'hydrogène peuvent être construites à grande échelle afin de stimuler les économies et de tirer parti de la diversité et de la durabilité de la demande, ce qui réduira les coûts de financement et améliorera le rendement du capital investi des projets. Deuxièmement, les coûts d'acheminement et de distribution peuvent être minimisés, car l'offre et la demande proviennent de la même région. Finalement, étant donné que bon nombre des centres industriels du Canada sont déjà des utilisateurs établis de l'hydrogène pour la



production de l'ammoniac et du méthanol et le raffinage, les nouveaux acheteurs de faibles quantités d'hydrogène peuvent adapter leur demande en fonction de la survenue de leurs besoins.

Plusieurs régions présentent un fort potentiel quant à la construction de centres, car elles offrent la possibilité de créer des économies de l'hydrogène autosuffisantes plus rapidement en adoptant une approche holistique à l'égard du système énergétique. Ces centres de déploiement regroupent l'offre et la demande et rassemblent tous les principaux acteurs en vue d'élaborer et de mettre en œuvre des plans régionaux fondés sur leurs forces et possibilités tout en déterminant leurs propres défis et barrières, renforçant ainsi l'analyse de rentabilité globale de chaque projet. Parmi ces projets et régions propices à une adoption précoce, nous pourrions citer les suivants.

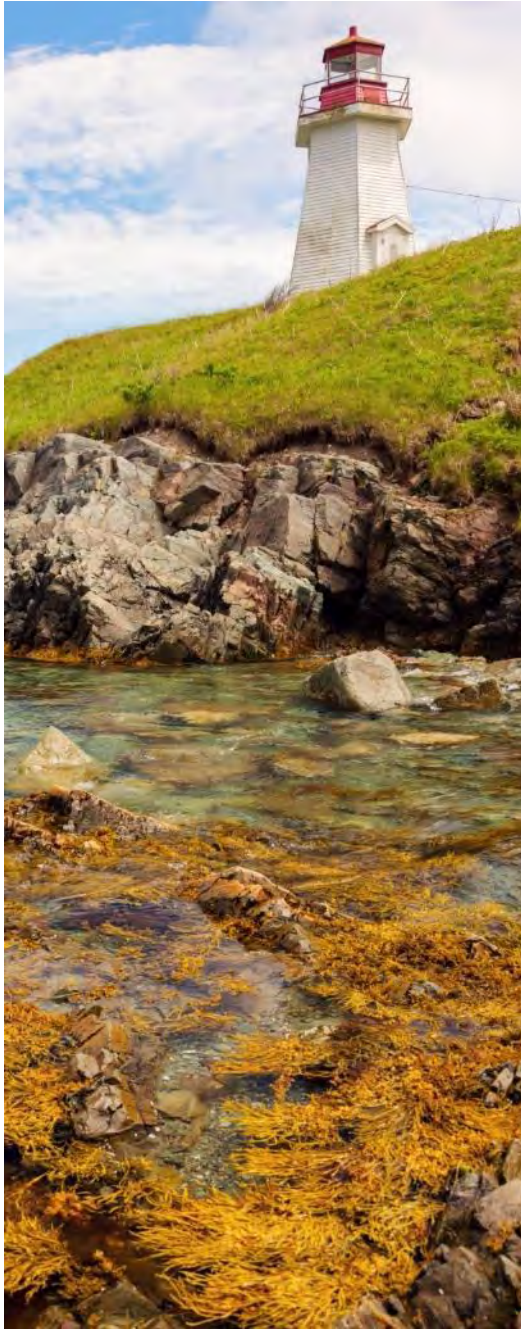
- ◆ En raison de ses avantages, le centre industriel de l'Alberta, qui est situé près d'Edmonton, pourrait devenir l'un des premiers centres d'hydrogène du Canada. Ce centre est connecté à de nombreux sites de gaz naturel et de CSUC, à un hydrogénéoduc existant et à deux pipelines de CO₂. Cette infrastructure existante réduirait le coût des nouveaux projets d'hydrogène à faibles émissions de carbone. Le centre avoisine également la ville d'Edmonton, dont les secteurs des transports, du chauffage des locaux et de la production d'électricité pourraient occasionner une forte demande en hydrogène.
- ◆ Les ports côtiers situés en Colombie-Britannique, en Ontario, au Québec, au Manitoba et dans la région de l'Atlantique présentent également un potentiel élevé à titre de centres d'hydrogène. Les ports sont des centres concentrés de consommation d'énergie pour le transport et pourraient également servir de points de sortie pour l'hydrogène exporté.
- ◆ Le corridor de transport situé entre Montréal et Detroit est une autre région à fort potentiel, car il relie la demande en matière de transport à des centres industriels et de fabrication. Un centre régional d'hydrogène se trouvant le long de ce corridor contribuerait à regrouper l'offre et la demande de nombreuses sources, ce qui nous permettrait de réaliser de multiples économies d'échelle.
- ◆ Les usines d'éthanol et les usines de valorisation du gaz d'enfouissement ou du biogaz en GNR dans les provinces qui ont accès à l'hydroélectricité, comme la Colombie-Britannique, le Manitoba et le Québec, sont des sites potentiels où des électrolyseurs pourraient produire de l'hydrogène vert pouvant être combiné au CO₂ disponible afin de produire du GNR et du méthanol.

Mise en œuvre à moyen terme (2025 à 2030)

À moyen terme, les pôles industriels serviront de points de départ pour étendre l'utilisation de l'hydrogène dans d'autres secteurs et régions. Par exemple, les usines de production et les infrastructures construites pour des applications industrielles peuvent être agrandies en vue de fournir de l'hydrogène pour le chauffage résidentiel, les stations de ravitaillement en hydrogène ou la production d'électricité acheminable selon la demande. De même, les pôles industriels peuvent être reliés par des corridors, comme des autoroutes, des voies ferrées et des pipelines, afin de créer des réseaux intégrés de plus en plus grands.

À mesure que la technologie gagnera en maturité et que le vaste éventail d'utilisations finales atteindra les niveaux de maturité technologique de la commercialisation ou s'en approchera, l'utilisation de l'hydrogène à moyen terme sera axée sur les applications qui offrent la meilleure proposition de valeur par rapport aux autres technologies sans émission. Par exemple, les VEPC et les autobus électriques à pile à combustible entreront dans une phase d'expansion rapide à mesure que le marché de la technologie des piles à combustible et des batteries sera mieux défini et que des facteurs comme l'autonomie, l'aptitude en pente et le temps de chargement rapide offriront des avantages aux VEPC.

Dans les régions dont le bassin d'air fait l'objet d'une réglementation, les camions lourds de catégorie 8 parcourant les corridors avec de lourdes charges utiles et l'équipement de transport des marchandises de



marchés national et d'exportation. Les applications de production d'électricité continueront de se développer, quoique progressivement, en accusant un certain retard derrière les marchés des transports et industriels.

port maritime passeront à la phase de déploiement commercial. Durant cette période, la nouvelle production d'hydrogène à grande échelle à moyen terme permettra la commercialisation de l'hydrogène ou du mélange hydrogène-gaz naturel dans des centres régionaux pour être utilisé par le secteur industriel et l'environnement bâti, ainsi que comme matière première pour la production chimique et la valorisation d'hydrocarbures.

Au cours de cette période, on mènera des projets pilotes visant des applications précommerciales, notamment les camions de livraison de classe 5 à 7 qui roulent dans les zones urbaines à zéro émission, le transport ferroviaire des voyageurs et des marchandises, dont l'électrification exigerait des coûts prohibitifs, ainsi que les véhicules miniers et les navires, qui requièrent les avantages en matière de densité énergétique offerts par l'hydrogène.

Mise en œuvre à long terme (2030 à 2050)

À long terme, on prévoit que grâce au développement des technologies relatives aux batteries et au chargement, il existera une division plus nette entre l'utilisation des batteries et celle des piles à combustible au Canada. Par conséquent, les applications ayant une demande de puissance élevée (orientées vers les services publics) devraient pencher vers l'hydrogène pour le stockage de l'énergie, tandis que les applications ayant une demande de puissance moindre (orientées vers l'efficacité énergétique) pencheront vers les batteries pour le stockage de l'énergie. Les nouvelles applications de transport passeront aux phases commerciales et d'expansion rapide au cours de cette période.

Parallèlement, les économies d'échelle liées à la production de l'hydrogène et les pressions réglementaires pourraient entraîner l'accélération de la croissance du système de distribution du mélange hydrogène-gaz naturel, à mesure que la Norme sur les combustibles propres stimulera la production du carburant liquide synthétique destiné aux

Facteurs régionaux

La réglementation et les politiques provinciales, la disponibilité des ressources, la géographie et le climat, les infrastructures et la maturité de la technologie détermineront l'échéancier et l'envergure du déploiement de l'hydrogène à l'échelle du Canada. La Figure 34 présente un aperçu consolidé des applications de production et d'utilisation finale les plus prometteuses dans chaque province à moyen terme. À long terme, la plupart des utilisations finales devraient être déployées partout au pays.



CARTE SUR LA PRODUCTION ET L'UTILISATION FINALE À MOYEN TERME DE L'HYDROGÈNE DANS CHAQUE PROVINCE

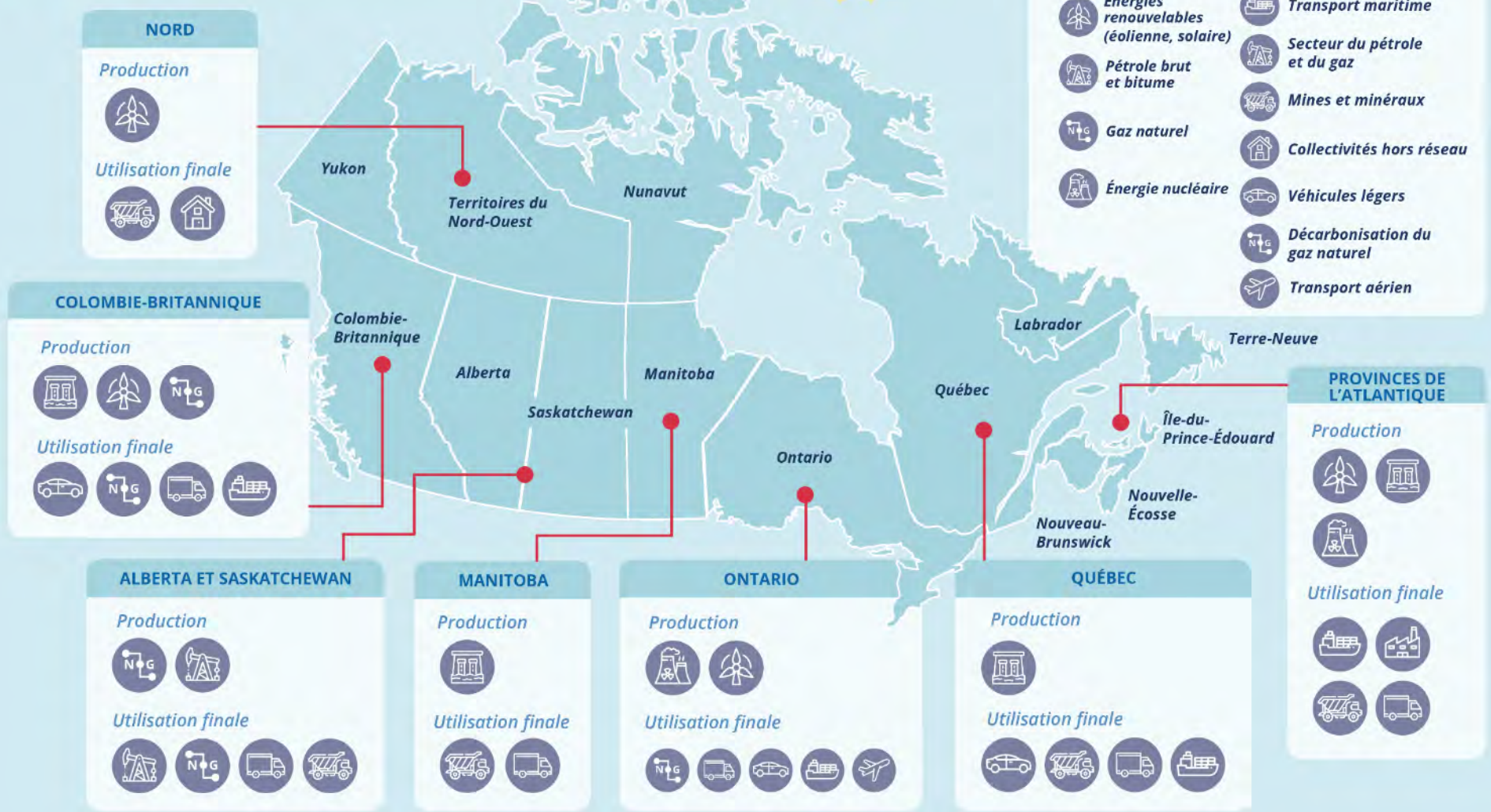


Figure 34 – Production régionale à moyen terme de l'hydrogène et potentiel d'adoption des utilisations finales de l'hydrogène au Canada

QUANTIFIER LES POSSIBILITÉS

En 2050, l’approvisionnement total de l’énergie primaire devrait être assuré par plusieurs vecteurs énergétiques à faibles émissions de carbone, y compris l’électrification, les biocarburants, l’hydrogène et les combustibles fossiles associés à la réduction des émissions de carbone. Une modélisation a été réalisée afin d’estimer les taux d’adoption potentiels de l’hydrogène selon un scénario « graduel » ou un scénario « transformateur ». Le scénario « transformateur » fournit une estimation directionnelle de la taille du marché des applications clés de l’hydrogène visant à atteindre la cible de zéro émission nette d’ici 2050. Selon ce scénario « transformateur », l’hydrogène pourrait représenter 31 % de l’énergie livrée (c’est-à-dire, la consommation de l’énergie secondaire) au Canada d’ici 2050, et ce, si la croissance économique et la croissance de la population sont compensées par des améliorations en matière d’efficacité énergétique qui entraîneraient la stabilité de la consommation énergétique au fil du temps. Cela représente une demande annuelle en hydrogène d’un peu plus de 20 Mt en 2050 approchant les 3 000 PJ d’énergie livrée. Le scénario « graduel » plus prudent prévoit des politiques moins rigoureuses ainsi qu’une demande potentielle qui atteindrait les 8,3 Mt par année d’ici 2050. Il importe de noter que le scénario graduel ne concorde pas à l’atteinte des cibles de zéro émission nette de 2050. Les demandes selon l’application finale prévue sont présentées à la Figure 35.

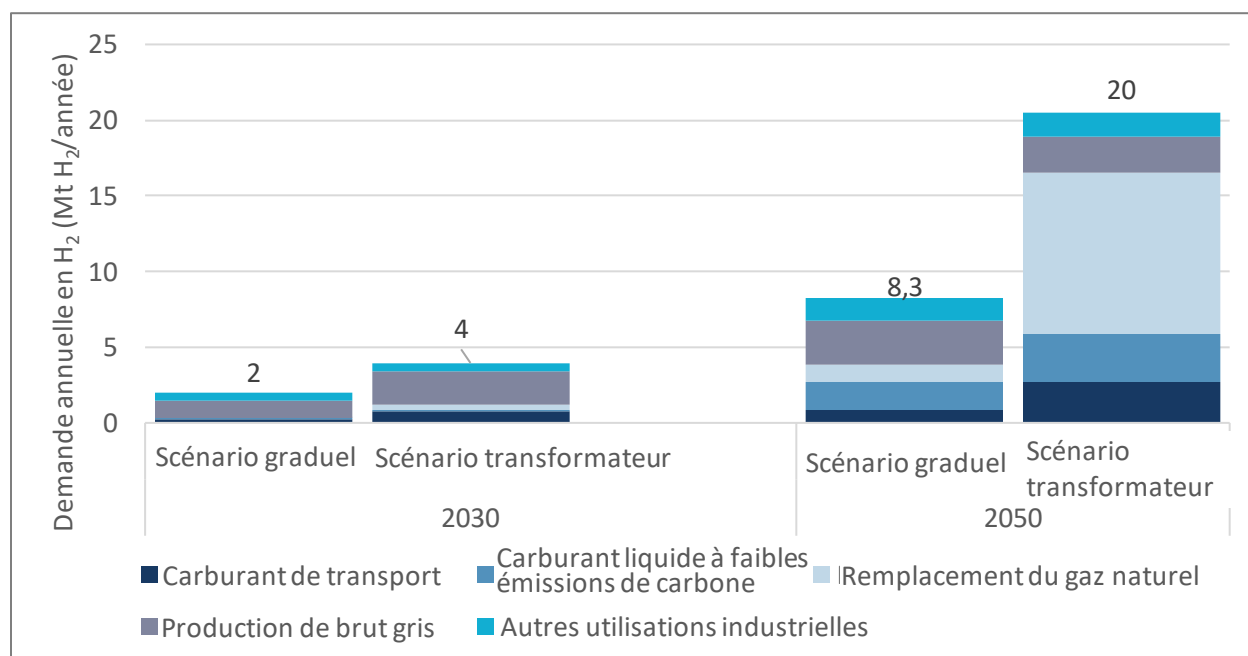
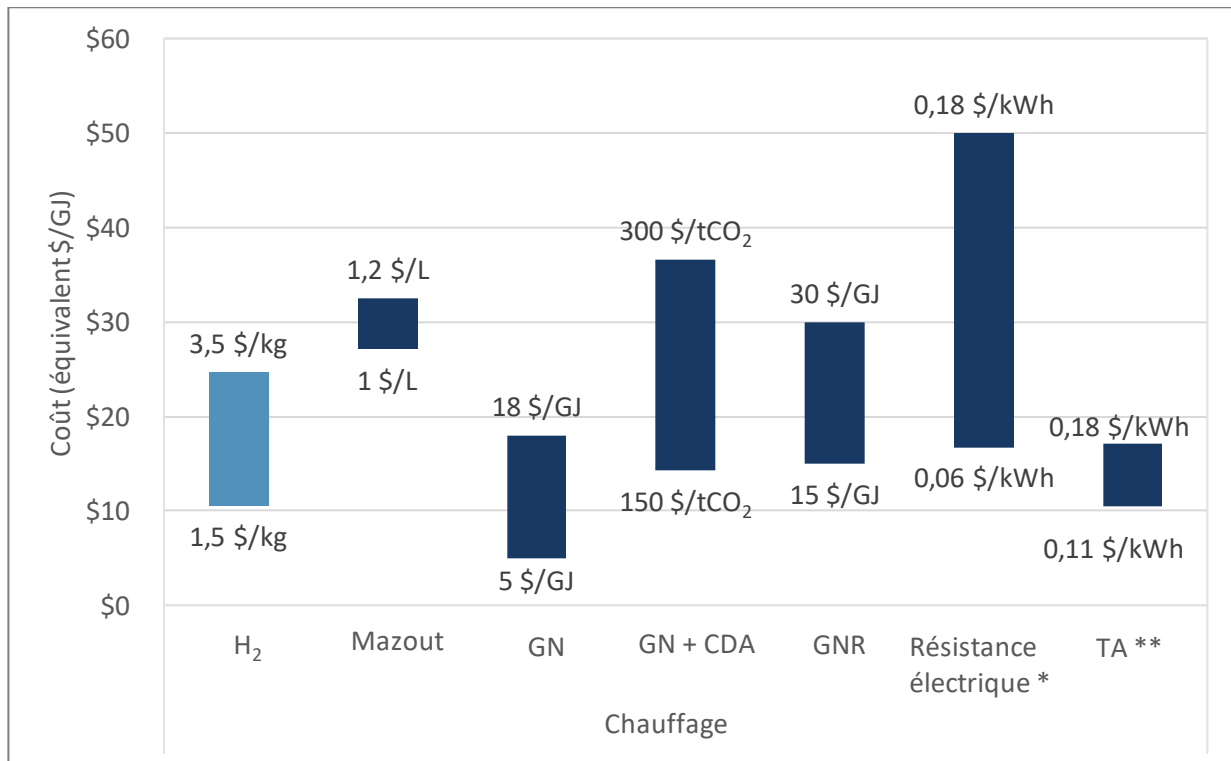


Figure 35 – Possibilités offertes par la demande globale en hydrogène au Canada

Ultimement, le marché décidera du meilleur endroit où déployer l’hydrogène une fois que l’offre s’accroîtra au Canada. Les deux grands moteurs seront la compétitivité des coûts comparativement aux sources d’énergie de remplacement pouvant desservir chaque utilisation finale, et le potentiel de décarbonisation qui sera, en fin de compte, lié à la rentabilité, à mesure que la tarification de la pollution par le carbone reflètera le prix réel des émissions.

Il est important de tenir compte de l’utilisation finale lorsque l’on compare le coût de l’hydrogène à celui d’un combustible existant. Par exemple, lorsque l’hydrogène est utilisé comme carburant de transport, il est consommé dans les piles à combustible, qui sont nettement plus efficaces que les moteurs à combustion interne (MCI) à essence ou diesel. Par conséquent, les coûts relatifs des carburants ne peuvent pas être comparés sur une simple base de dollar par gigajoule (\$/GJ).

La Figure 36 et la Figure 37 présentent le coût estimé de l'hydrogène par rapport à celui d'autres combustibles de chauffage et carburants pour le transport. En ce qui a trait à l'hydrogène et aux carburants de remplacement, les coûts indiqués reflètent les coûts totaux assumés par les clients, y compris le coût de la production et de la distribution. Les valeurs sont présentées en équivalent \$/GJ; cette mesure tient compte de l'efficacité des VEPC et des VEB par rapport aux véhicules à MCI, et des thermopompes à air par rapport aux générateurs de chaleur à résistance électrique. En tant que combustible de chauffage, l'hydrogène est plus coûteux que le gaz naturel, mais cette valeur ne tient pas compte de l'augmentation du coût du gaz naturel en raison de la tarification du carbone. Au fil du temps, les coûts à la livraison de tous les carburants offerts sont susceptibles de changer. À titre de comparaison, la figure présente le coût prévu du gaz naturel utilisé pour les applications de chauffage dont les émissions de carbone ont été compensées par le captage direct dans l'air (CDA). L'hydrogène destiné aux applications de transport peut être concurrentiel sur le plan des coûts avec l'essence et le diesel; cependant, les coûts associés aux véhicules à hydrogène sont typiquement plus élevés que ceux des véhicules électriques à batterie. Malgré leur coût plus élevé, les véhicules à pile à combustible resteront attrayants au sein des segments de véhicules où les exigences opérationnelles telles qu'une autonomie accrue, un meilleur rendement dans des climats froids et un temps de ravitaillement accéléré sont importantes.

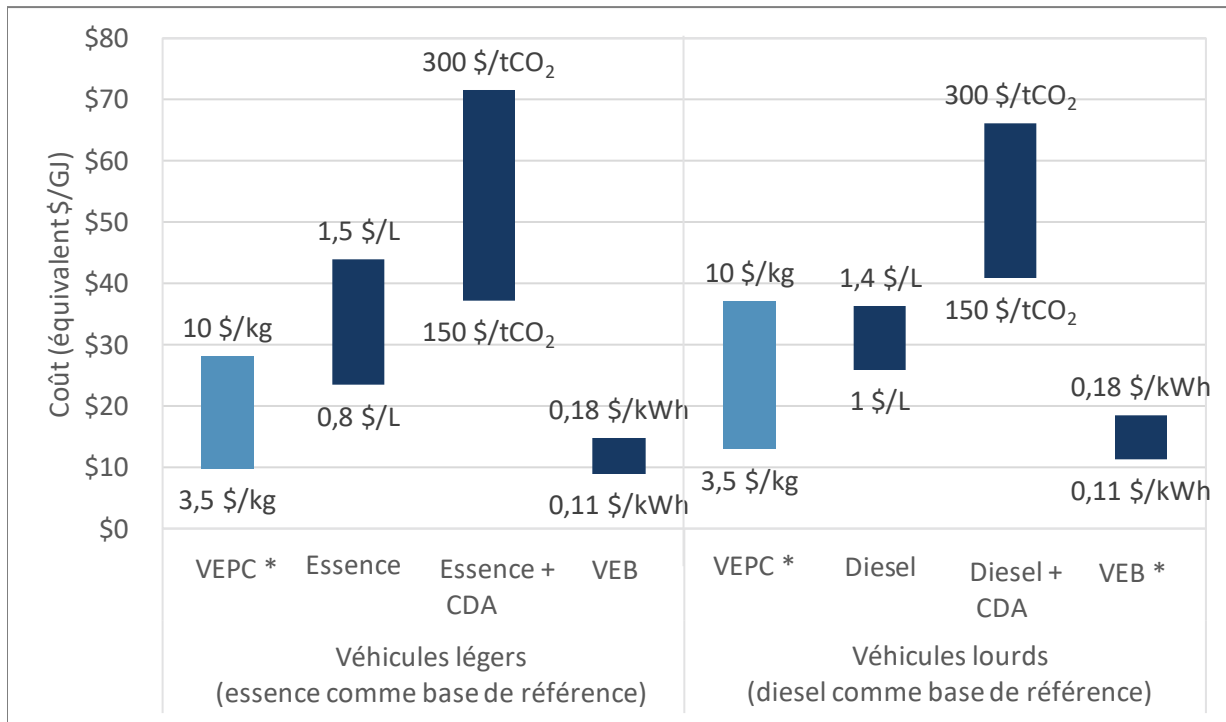


* La fourchette de prix peu élevés des générateurs de chaleur à résistance électrique est inférieure à celle des thermopompes à air, car les générateurs de chaleur à résistance peuvent être utilisés dans des applications industrielles et peuvent donc être assujettis à des taux pour les consommateurs industriels à grande échelle, tandis que les thermopompes à air concernent généralement les applications résidentielles et commerciales.

** Coefficient de performance des thermopompes à air = 2,92

Figure 36 – Comparaison des coûts de l'hydrogène utilisé comme combustible de chauffage

Le coût prévu de l'hydrogène dépend de l'application d'utilisation finale visée. On suppose qu'à titre de combustible de chauffage, l'hydrogène sera produit en vrac, puis injecté dans le réseau de pipelines de gaz naturel à court et moyen terme. La production a lieu dans les sites d'injection ou près de ceux-ci, donc les coûts de distribution sont comparables aux coûts actuels du gaz naturel, et le gaz est uniquement comprimé à une pression de 100 bars, ce qui limite les coûts de compression. Dans le secteur des véhicules légers et lourds, le carburant devrait être distribué par camion et comprimé à des pressions de 700 bars et 350 bars, respectivement. Des coûts comparables ont été atteints en Californie dans le cadre des applications de transport en commun.



* Rapport d'efficacité énergétique pour les véhicules légers : VEPC = 2,5, VEB = 3,4; rapport d'efficacité énergétique pour les véhicules lourds : VEPC = 1,9, VEB = 2,7

Figure 37 – Comparaison des coûts de l'hydrogène utilisé comme carburant de transport

Le potentiel de réduction des émissions de l'hydrogène dépend aussi de l'application d'utilisation finale visée. La Figure 38 et la Figure 39 présentent la réduction relative des émissions entraînée par l'utilisation de l'hydrogène et de l'électricité pour le chauffage ou le transport. La réduction des émissions est comparée à l'utilisation du gaz naturel comme combustible de chauffage à titre de référence, à l'essence alimentant les véhicules légers et au diesel alimentant les véhicules lourds. Dans les graphiques suivants, les valeurs négatives indiquent les scénarios selon lesquels les émissions ont augmenté par rapport au carburant de référence.

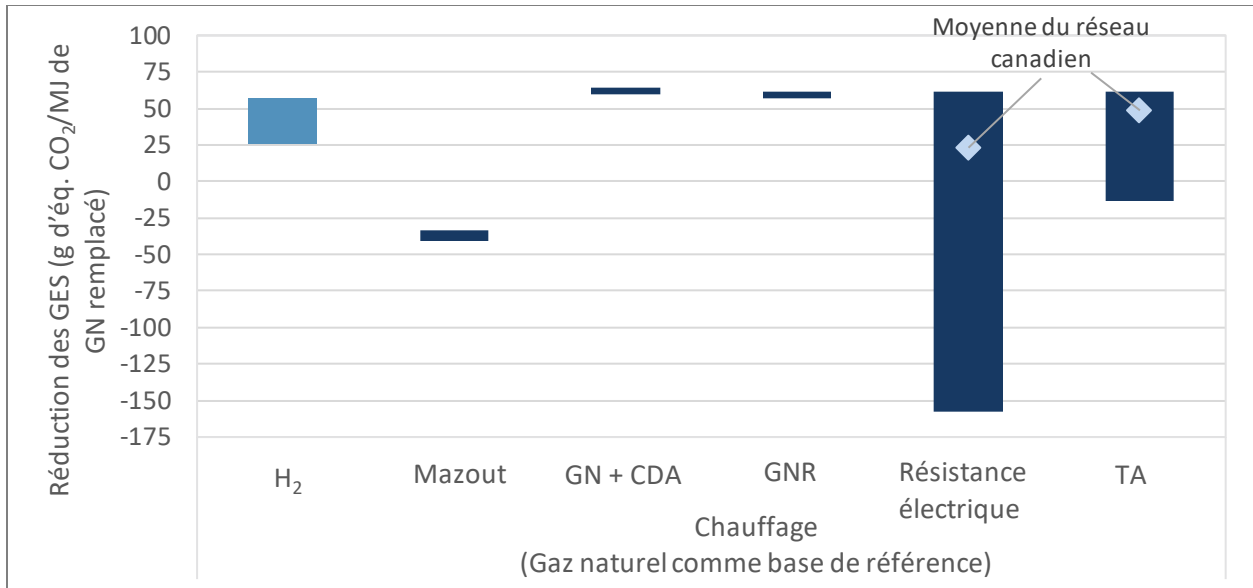


Figure 38 – Potentiel de réduction des émissions de GES par l'hydrogène utilisé comme combustible de chauffage

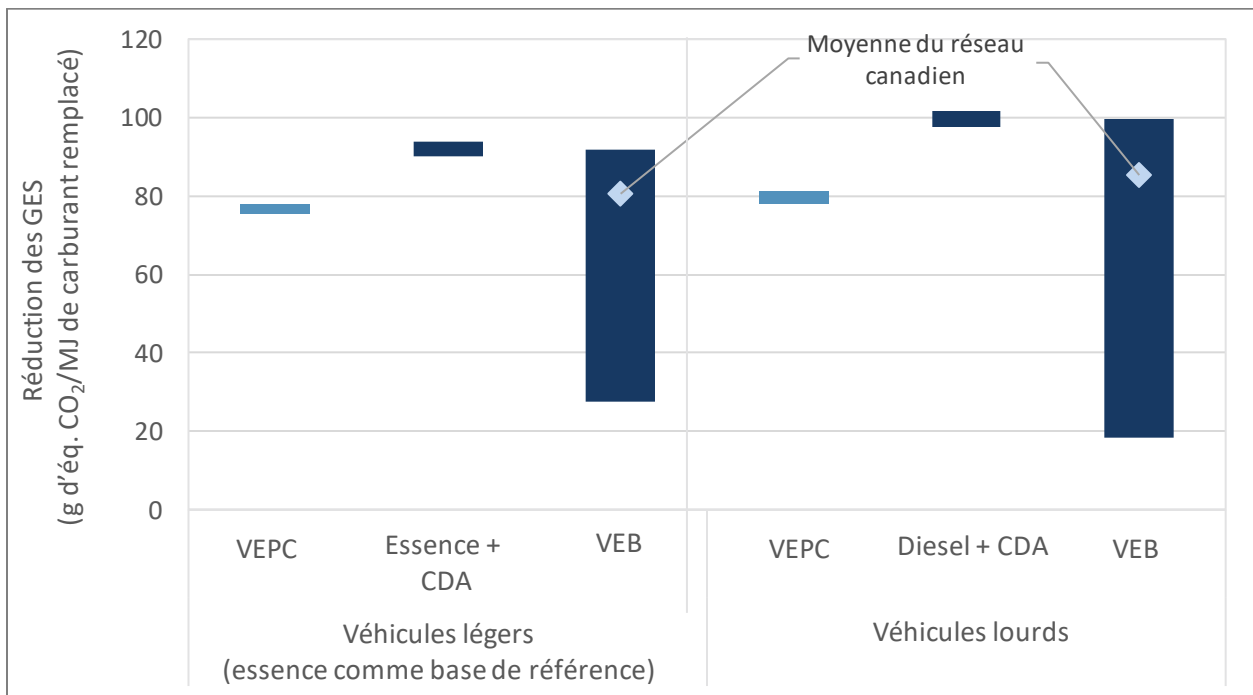


Figure 39 – Potentiel de réduction des émissions de GES par l'hydrogène utilisé comme carburant de transport

La réduction des émissions dépend de l'intensité carbonique des différentes sources d'énergie. On a présumé que l'intensité carbonique de l'hydrogène utilisé comme combustible de chauffage se situait entre 10,3 et 16,2 g d'éq. CO₂/MJ, et celle de l'hydrogène utilisé comme carburant de transport, entre 35,0 et 40,9 g d'éq. CO₂/MJ; ces valeurs tiennent compte de l'énergie supplémentaire requise pour liquéfier, comprimer et distribuer l'hydrogène. Ces intensités carboniques correspondent à la production de l'hydrogène par électrolyse à grande échelle ou par reformage du méthane à la vapeur conjugué au CUSC, comme le décrit la section *Coûts et intensité carbonique des voies de production* du présent rapport.



Le potentiel de réduction des émissions provenant de la production d'électricité est basé sur une intensité carbonique de 140 g d'éq. CO₂/kWh, soit la moyenne canadienne. La limite inférieure (le pire rendement) indique le potentiel de réduction relatif au réseau électrique de l'Alberta (790 g d'éq. CO₂/kWh); il s'agit du réseau dont l'intensité carbonique est la plus élevée parmi les réseaux des provinces canadiennes. La limite supérieure (le meilleur rendement) présente le réseau électrique du Québec (1,2 g d'éq. CO₂/kWh), soit le réseau à plus faible intensité carbonique du pays¹. Dans les régions avec un réseau à très fortes émissions, l'électrification entraînerait plus d'émissions

que l'utilisation du gaz naturel ou du mazout. Cependant, à mesure que le réseau deviendra plus écologique, le potentiel de réduction des émissions s'améliorera.

Le coût et l'intensité carbonique de chaque carburant constituent d'importants facteurs qui stimuleront l'adoption d'options sobres en carbone pour le chauffage et le transport. Une mesure utile pour comparer les différentes technologies est le coût différentiel de l'hydrogène ou d'autres sources d'énergie à faibles émissions de carbone par rapport à celui des combustibles fossiles existants, divisé par la valeur de la réduction des émissions. Cette mesure est souvent exprimée en dollars par tonne d'équivalent CO₂ réduit (\$/t d'éq. CO₂). L'hydrogène utilisé dans les applications de transport utilisant des piles à combustible coûtera moins cher que l'essence ou le diesel, ce qui entraînera une valeur négative (en \$/t d'éq. CO₂). Il s'agit donc d'un puissant incitatif économique pour l'adoption de l'hydrogène dans la mesure où les coûts d'investissement sont comparables. Au Canada, le coût par tonne d'éq. CO₂ réduit des combustibles de chauffage est d'environ 100 à 300 \$/t d'éq. CO₂, ce qui est comparable aux autres options sobres en carbone. Bien qu'ils sont importants, le coût et l'intensité carbonique ne constituent pas les seuls facteurs limitants : il existe aussi les différences opérationnelles, les coûts d'investissement initiaux plus élevés et l'aversion générale au risque (ce dernier facteur s'applique particulièrement aux nouvelles technologies). Des études plus approfondies sont nécessaires pour mieux expliquer les coûts de l'ensemble de la chaîne de valeur de chaque technologie sobre en carbone et évaluer les avantages de chaque option.

L'ampleur de la demande globale du scénario transformateur de 2050 est considérable et met en évidence la nécessité pour le Canada d'explorer toutes les voies de production d'hydrogène à faible intensité carbonique. En examinant les voies permettant de satisfaire à la demande potentielle à venir et d'optimiser le potentiel de l'hydrogène, il est important de considérer les autres changements qui toucheront au bouquet énergétique à mesure que le Canada transformera toutes les sources énergétiques qui émettent du carbone en sources neutres en carbone. On prévoit que l'électrification directe jouera un rôle important dans la réduction des émissions de plusieurs secteurs, des véhicules électriques à batterie aux thermopompes adoptées pour le chauffage des bâtiments. La demande en électricité à titre de vecteur énergétique devrait augmenter d'au moins 57 % et sera comblée grâce au déploiement de sources d'énergie renouvelable supplémentaires, comme l'énergie hydroélectrique, éolienne ou solaire. On s'attend aussi à une hausse de la demande pour les biocarburants liquides et

¹ Régie de l'énergie du Canada. (2020). Panorama de l'électricité renouvelable au Canada 2017 – Analyse des marchés de l'énergie. En ligne : <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/produits-base-energetiques/electricite/rapport/electricite-renouvelable-canada-2017/panorama-lelectricite-renouvelable-canada-2017-analyse-marches-lenergie-emission.html>

gazeux. Cependant, la demande en gaz naturel utilisé pour d'autres applications que la production de l'hydrogène devrait diminuer, car dans un système énergétique net zéro, les émissions provenant de la combustion devront être compensées par le captage direct dans l'air, par exemple. La Figure 40 indique la quantité d'électricité supplémentaire ou la capacité en matière de gaz naturel conjugué au CUSC nécessaires pour produire de l'hydrogène selon chacune de ces voies. L'ampleur de la matière première énergétique nécessaire souligne le fait que notre stratégie de production doit être diversifiée et que le Canada devra compter sur les voies relatives aux combustibles fossiles et sur la voie de l'électrolyse afin d'atteindre ses objectifs de décarbonisation.



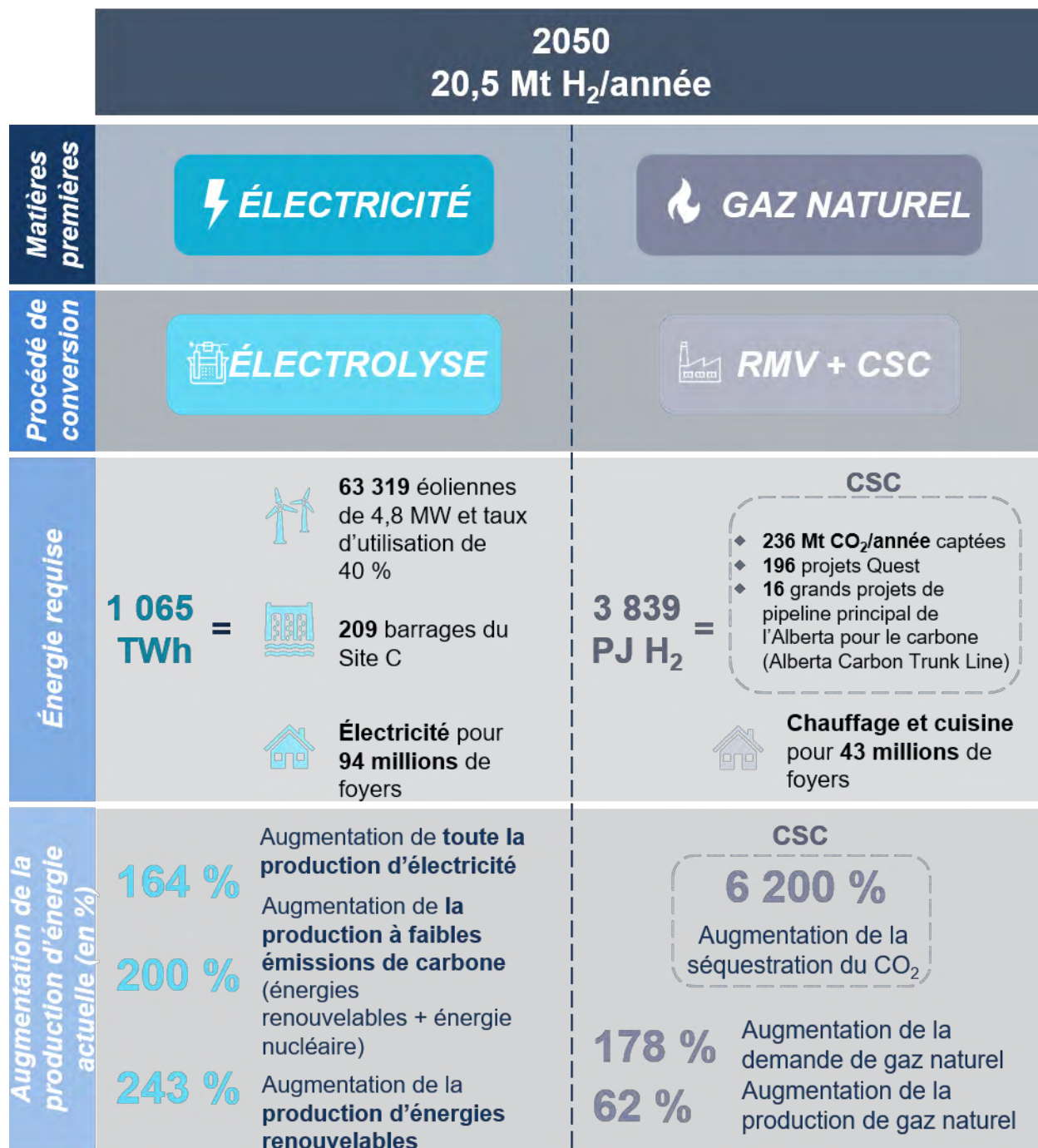


Figure 40 – Production d'hydrogène à partir de combustibles fossiles par rapport à l'électrolyse en 2050

POTENTIEL DE DÉCARBONISATION DE L'HYDROGÈNE

Pour évaluer le rôle que peut jouer l'hydrogène dans l'atteinte de la carboneutralité par le Canada d'ici 2050, des études théoriques ont été entreprises pour un scénario progressif et un scénario transformateur, afin de comprendre le potentiel de l'hydrogène dans le système énergétique global, avec l'électrification et d'autres sources d'énergie faibles en carbone. Ces scénarios ont plus de probabilités de se réaliser si des mesures incitatives réglementaires et financières fortes sont mises en place pour encourager l'adoption de l'hydrogène et si les pouvoirs publics et l'industrie agissent en concertation.

L'électrification accrue et les sources d'énergie renouvelable et à faible intensité carbonique seront déterminantes pour la réduction des émissions. Ces sources s'accordent bien à de nombreuses applications, y compris les VEB légers et le chauffage lorsque l'utilisation des thermopompes est rentable. Il sera toutefois impossible de produire des sources d'électricité propre assez rapidement pour répondre à la demande si l'ensemble des secteurs de l'énergie passent à l'électricité afin d'atteindre les objectifs climatiques du pays. L'hydrogène produit à partir du gaz naturel et du pétrole brut conjugué au CUSC permettra au Canada d'utiliser ses ressources naturelles tout en limitant les émissions à mesure que les infrastructures de production d'électricité à faible intensité carbonique seront déployées. Il existe également des applications finales difficiles à électrifier, y compris les véhicules lourds, dont les batteries à faible densité énergétique limitent la capacité de transport et dont le fonctionnement continu rend le temps de chargement critique. Dans de tels cas, l'hydrogène est susceptible de devenir une option à faible intensité carbonique importante.

De même, la production de pétrole brut à faible intensité carbonique, qui comprend le pétrole brut traditionnel conjugué au CUSC indirect ou à la récupération assistée des hydrocarbures de sorte que les émissions nettes de CO₂ sont presque nulles, ainsi que de biocarburants liquides et gazeux

ÉVOLUTION DU SECTEUR DE L'ÉNERGIE

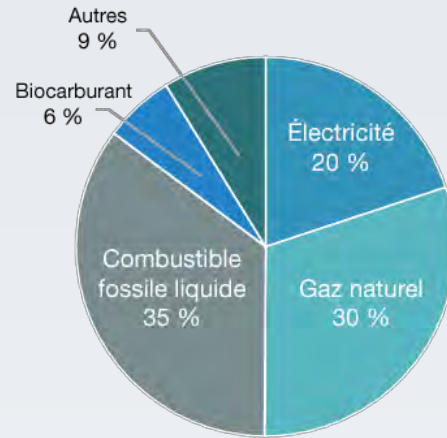


Figure 41 – Demande canadienne en énergie secondaire de 2017

La demande pour l'hydrogène augmentera en même temps que la demande pour les autres sources d'énergie sobres en carbone.

D'ici à 2050, les sources énergétiques à fortes émissions seront remplacées à la fois par l'électrification accrue, les biocarburants, les carburants liquides à faibles émissions de carbone (y compris les carburants synthétiques et le pétrole brut traditionnel compensé par le CUSC) et l'hydrogène.

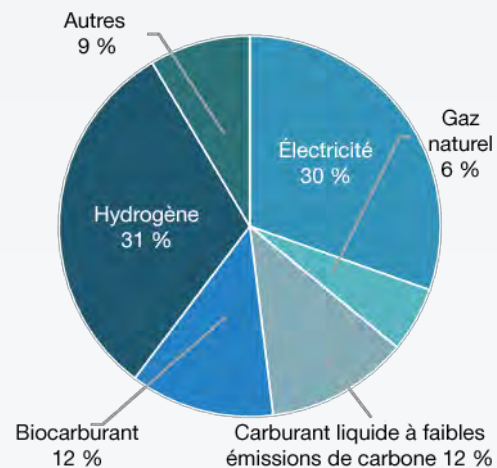


Figure 42 – Scénario relatif à la demande canadienne en énergie secondaire de 2050

constituera une part importante du bouquet énergétique. Ces carburants sont des substituts efficaces du pétrole brut traditionnel et du gaz naturel (respectivement), car on peut les intégrer au système énergétique actuel sans que l'on doive remplacer ou mettre à niveau les infrastructures de distribution et d'utilisation finale existantes. L'utilisation de pétrole brut et de biocarburants à faible intensité carbonique sera principalement limitée par l'approvisionnement en matières premières et par l'économie. Le coût de leur production augmentera lorsque les possibilités de production les plus simples seront épuisées. Les occasions de production de GNR rentable sont limitées et sont susceptibles d'être insuffisantes à mesure que nous nous approcherons de la neutralité carbone nette. Cependant, tous les carburants à faible teneur en carbone, dont le GNR, auront un rôle à jouer dans l'avenir du Canada.

On prévoyait que la demande en hydrogène comblerait essentiellement les lacunes que l'électrification et les autres sources d'énergie à faible intensité carbonique ne peuvent pallier, ou remplacerait ces solutions si elles s'avèrent onéreuses. L'analyse a tenu compte des coûts relatifs attendus de chaque source d'énergie à faible intensité carbonique et de la capacité des technologies à satisfaire aux exigences de la demande d'utilisation finale.

Le potentiel de réduction des émissions de GES a été estimé en comparant la consommation d'hydrogène aux sources d'énergie existantes dans chaque secteur. Parmi les applications de transport, l'hydrogène est considéré comme un substitut du diesel et de l'essence dérivée du pétrole brut; dans le réseau de gaz naturel, l'hydrogène remplace le gaz naturel; parmi les utilisations industrielles, l'hydrogène à faible intensité carbonique peut remplacer le gaz naturel ou l'hydrogène gris produit par le reformage du méthane à la vapeur sans CUSC en fonction de l'application visée.

Le cas échéant, les réductions d'émissions calculées tiennent compte de l'amélioration de l'efficacité énergétique des piles à combustible comparativement aux moteurs à combustion interne. On a présumé que dans les applications de transport, l'hydrogène serait utilisé dans les piles à combustible dont le rapport d'efficacité énergétique (REE) est de 1,9 pour les véhicules légers et de 2,5 pour les véhicules moyens et lourds. Lorsque l'hydrogène est utilisé comme substitut du gaz naturel ou comme matière première pour des procédés industriels, il ne présente pas de gain en matière d'efficacité énergétique par rapport au combustible existant.

La Figure 43 indique le potentiel de décarbonisation transformateur et graduel de l'hydrogène en 2030 et en 2050 par secteur. Selon le scénario transformateur, l'hydrogène peut réduire les émissions jusqu'à l'ordre de 45 Mt d'éq. CO₂ par année d'ici 2030. En 2050, la cible de réduction des émissions passera à jusqu'à 190 Mt d'éq. CO₂ par année. Selon cette analyse simplifiée, la demande énergétique restera stable d'ici 2050, car l'augmentation de la demande sera compensée par des améliorations en matière d'efficacité énergétique.

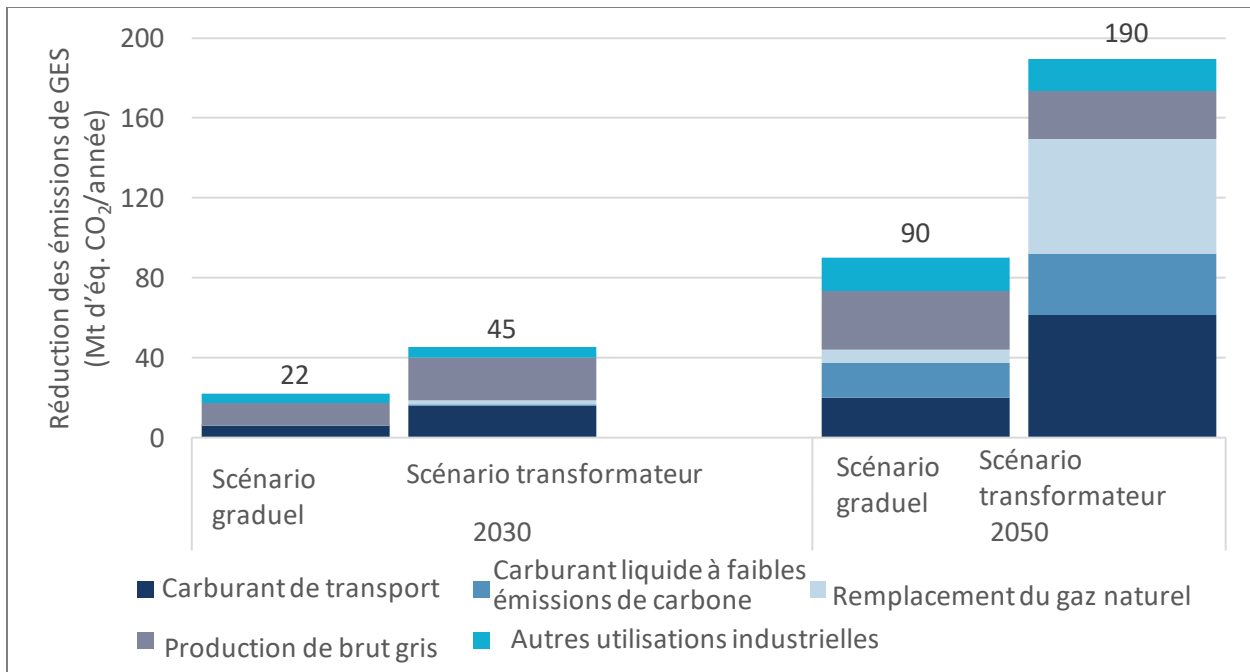


Figure 43 – Potentiel de décarbonisation de l'hydrogène

La Figure 44 présente l'ampleur de la réduction des émissions attribuable à l'hydrogène selon les cibles de 2030 et de 2050 du Canada.

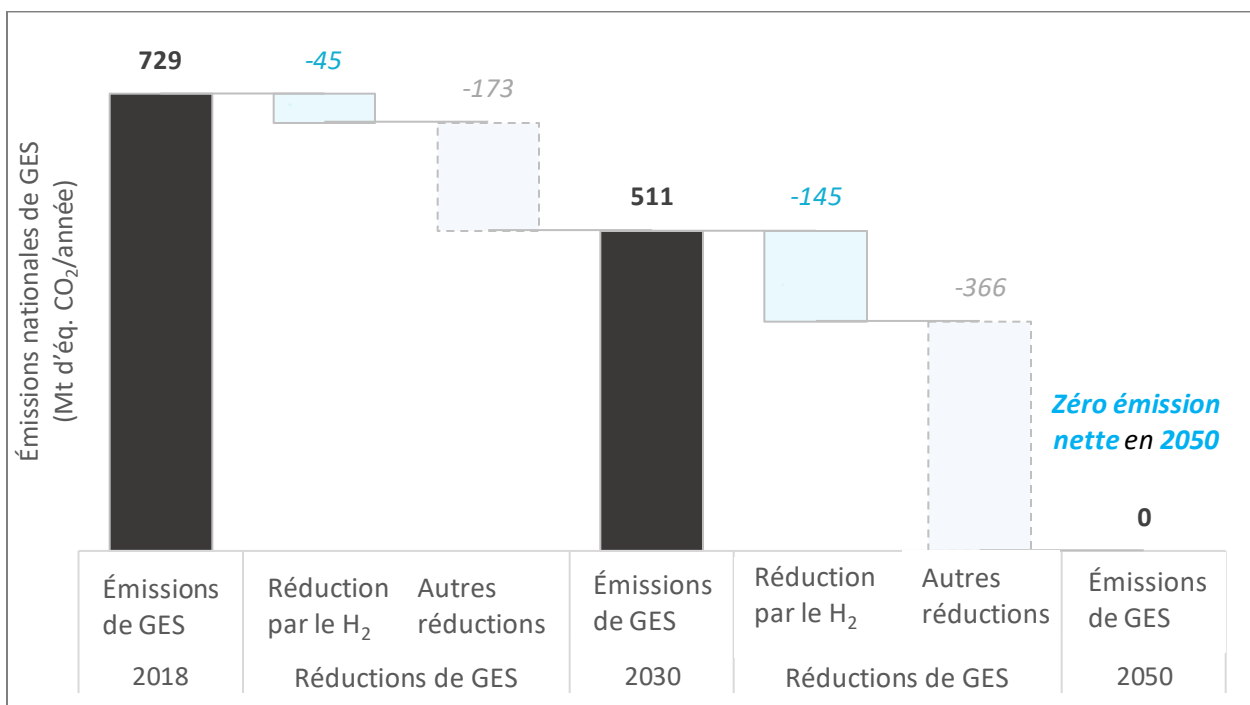


Figure 44 – Rôle potentiel de l'hydrogène dans l'atteinte des cibles de décarbonisation du Canada – Scénario transformateur

DÉBOUCHÉS ÉCONOMIQUES

Marché intérieur

Si l'on tient uniquement compte de la demande intérieure pour la production d'hydrogène et des revenus de la fabrication et des services locaux, le secteur de l'hydrogène et des piles à combustible pourrait générer près de 50 milliards de dollars de revenus en 2050, selon le scénario transformateur (Figure 45). Ce chiffre est basé sur la demande estimée en hydrogène en 2030 et en 2050 selon les scénarios de modélisation graduel et transformateur et selon un prix de vente moyen de l'hydrogène s'élevant à deux dollars canadiens par kilogramme. En outre, les recettes de la fabrication de l'équipement d'électrolyse, des piles à combustible, et des services d'ingénierie et de consultation sont estimées avec prudence en fonction d'une part de marché représentant 5 % du marché intérieur. La valeur estimée du marché intérieur devrait se chiffrer à près de **50 milliards de dollars par année** d'ici 2050. Ce calcul ne tient pas compte du fait que le marché de l'hydrogène profitera indirectement à plusieurs industries connexes qui contribueront aussi à la croissance économique et pourraient entraîner des occasions de fabrication au Canada, y compris les installations et l'équipement de reformage du méthane à la vapeur et de CUSC, le développement de pipelines d'hydrogène et les applications finales dans les bâtiments, l'industrie et le réseau du gaz naturel.



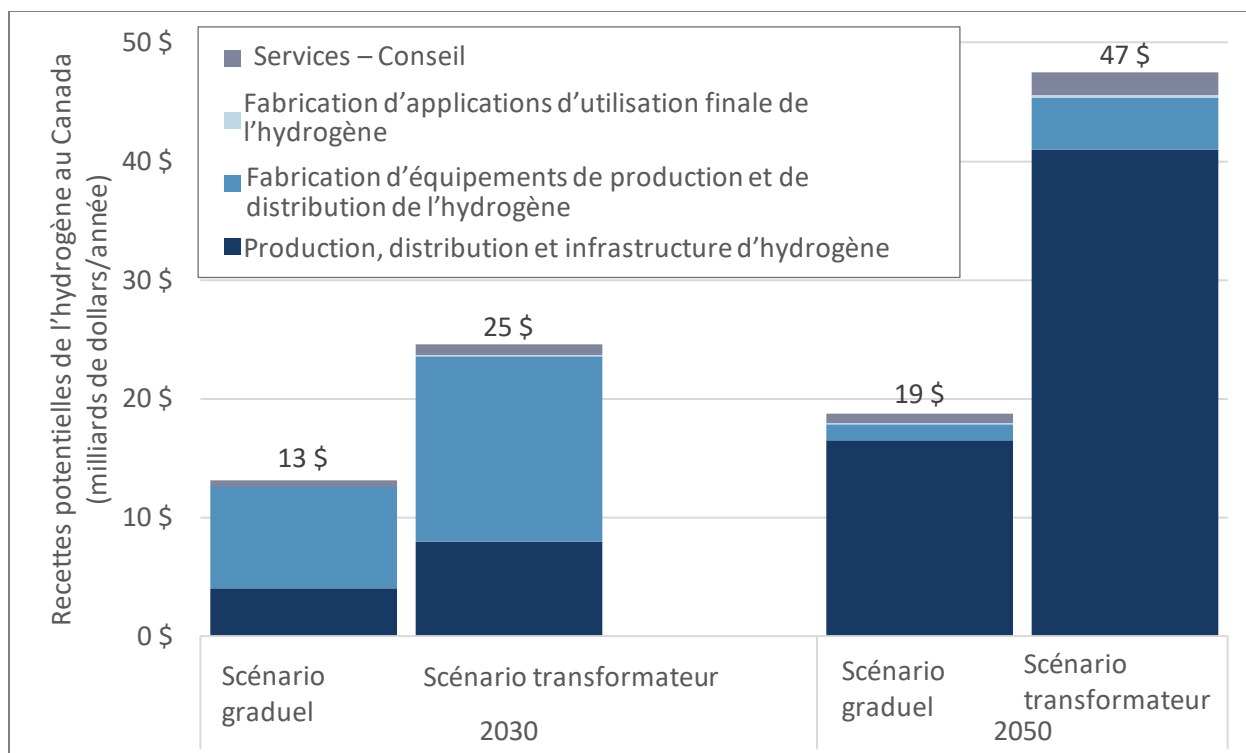


Figure 45 – Recettes potentielles de l'hydrogène au Canada en 2030 et en 2050

En fonction des estimations des revenus directs du secteur de l'hydrogène, plus de **350 000 emplois** pourraient être créés en 2050, selon le scénario de transformateur (Figure 46). Cette valeur a été calculée en multipliant le revenu annuel de chaque sous-secteur par un coefficient d'emploi associé à des industries similaires (Tableau 2). Par exemple, le nombre d'emplois liés à l'industrie de la production de l'hydrogène est basé sur le coefficient des industries de fabrication de gaz industriels. Ce chiffre représente la combinaison de la création de nouveaux emplois et la main-d'œuvre formée et reconvertie.

Tableau 2 – Coefficients d'emploi

Emplois par M\$ (emplois créés par tranche d'un million de dollars de revenus)^{1,2}	
Emplois par revenus créés dans l'industrie de la machinerie et des équipements	12,2
Emplois par revenus créés dans l'industrie automobile	10,2
Emplois par revenus créés pour la fabrication de gaz industriels	6,7
Emplois par revenus créés pour la fabrication d'autres équipements de transport	14,5
Coefficient d'emploi – hydrogène	6,7
Coefficient d'emploi – équipements	12,3
Coefficient d'emploi – marché secondaire	14,3

¹ Ces coefficients d'emploi sont basés sur des données tirées du rapport « Road Map to a US Hydrogen Economy » [Feuille de route vers une économie de l'hydrogène aux États-Unis] de la US Fuel Cell & Hydrogen Energy Association (2019); ils ont en outre été ajustés en dollars canadiens. Ces projections devraient être considérées comme des indicateurs approximatifs du nombre d'emplois dans l'industrie de l'hydrogène et sont sujettes à de nombreuses incertitudes et aux changements imprévisibles qui touchent à l'économie et aux technologies.

² Source : McKinsey Global Institute Economics Research, données interindustrielles du Projet d'analyse des échanges mondiaux (GTAP).

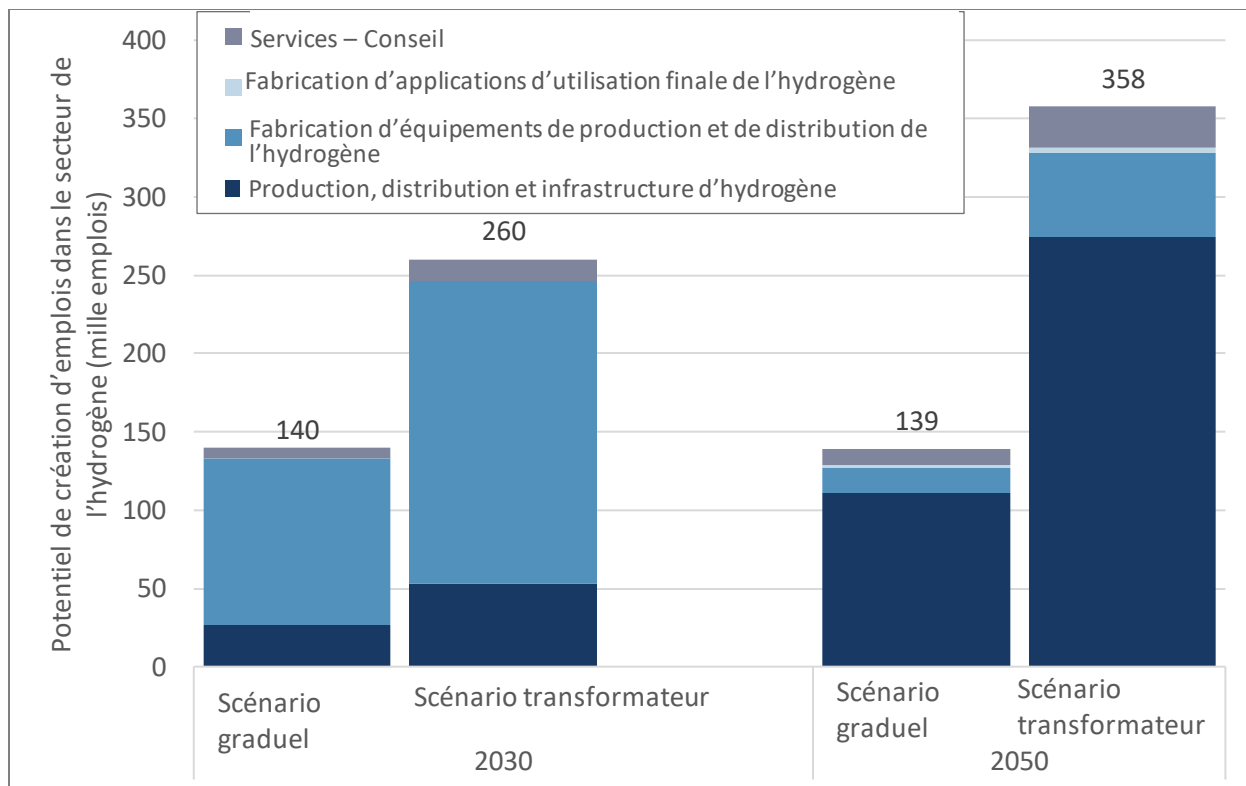


Figure 46 – Potentiel de création d’emplois dans le secteur de l’hydrogène au Canada en 2030 et en 2050

La transition énergétique transformera fondamentalement l’économie canadienne et modifiera les chaînes de valeurs de nombreux secteurs liés. L’abandon de la combustion directe des carburants fossiles sans la réduction des émissions de carbone représentera un changement particulièrement important. En 2017, le secteur de l’énergie au Canada représentait 900 000 emplois directs et indirects, avec des actifs évalués à 596 milliards de dollars¹. L’expertise en énergie et les infrastructures considérables de l’industrie peuvent servir à soutenir le développement de l’économie de l’hydrogène future du Canada. L’hydrogène sera essentiel à l’atteinte d’une transformation nette zéro pour les industries du pétrole et du gaz naturel. Il offre la possibilité de tirer parti de nos précieux actifs énergétiques et infrastructurels, notamment les réserves de combustibles fossiles et les pipelines de gaz naturel, offrant ainsi une voie pour éviter la sous-exploitation ou la mise à l’écart de ces actifs dans un avenir neutre en carbone d’ici 2050. L’exploitation de ces précieux actifs sera indispensable à la croissance économique prévue pour le marché intérieur et donnera aussi l’occasion au Canada de se positionner pour devenir un chef de file dans l’exportation des carburants propres.

Possibilités pour les communautés et entreprises autochtones

Le secteur de l’énergie figure parmi les plus grands employeurs des peuples autochtones du Canada. À mesure que le secteur de l’énergie se transforme pour adopter des carburants à faible teneur en carbone, l’économie de l’hydrogène émergente offrira de nouvelles possibilités aux communautés autochtones en termes de création d’emploi et de nouvelles entreprises.

¹ https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/energy/pdf/10_Key_Facts_on_Canada_sEnergy_Sector_f.pdf

Les voies de production polyvalentes de l'hydrogène et le potentiel lié aux installations de production distribuées pouvant être adaptées à différentes échelles offrent la possibilité d'une participation et d'une propriété dans la chaîne de valeur plus importantes que ce qui a été possible dans les secteurs de l'électricité, du pétrole et du gaz.

Pour les communautés autochtones ayant la capacité de tirer parti des infrastructures existantes, notamment l'électricité renouvelable, pour produire, distribuer et utiliser l'hydrogène, cette ressource leur offre des occasions d'affaires uniques. Ces occasions pourraient également se présenter en dehors des communautés locales. Par exemple, les communautés et les entreprises autochtones pourraient adhérer aux premiers centres de déploiement, ce qui leur permettrait de devenir des producteurs et des distributeurs de carburant tant pour les communautés avoisinantes que pour l'industrie adjacente.

Un grand nombre de communautés éloignées du Canada abritent des peuples autochtones, et la plupart d'entre elles dépendent de l'importation du diesel pour produire leur électricité. Cette dépendance entraîne une augmentation des coûts d'exploitation et une mauvaise qualité de l'air. À moyen et à long terme, l'hydrogène pourrait offrir aux communautés éloignées une indépendance énergétique accrue, puisqu'il peut être produit à partir de la biomasse locale ou des ressources hydroélectriques. En outre, le remplacement du diesel à fortes émissions par l'hydrogène permettra d'améliorer la qualité de l'air à l'échelle locale ainsi que la santé des membres de ces communautés.

Ainsi, les investissements réalisés par le Canada dans la construction des infrastructures liées à l'hydrogène offriront aux peuples autochtones la possibilité de participer. Certains des corridors de distribution prévus pour le transport de l'hydrogène du point de production aux lieux d'utilisation finale sont susceptibles de traverser les terres autochtones. À ce titre, il sera nécessaire de faire appel à une main-d'œuvre qualifiée dans le secteur de la construction pour construire les infrastructures de distribution et de production de l'hydrogène, y compris les futurs hydrogénéoducs potentiels. Bien que les pipelines traditionnels aient bénéficié d'un soutien mitigé, les hydrogénéoducs pourraient constituer une solution de rechange unique à faible risque environnemental pour acheminer l'énergie à l'intérieur du Canada, bien qu'il faille encore tenir compte des perturbations locales des terres dans les territoires autochtones. Il conviendra donc de s'engager rapidement et de manière significative sur tous les aspects de la production, de la distribution et du déploiement de l'hydrogène.

Pour certaines communautés et entreprises autochtones du Canada, l'hydrogène représente déjà une nouvelle possibilité de développement économique présentant en plus des avantages environnementaux. À mesure que ces communautés tirent parti des ressources naturelles qu'elles gèrent et des installations commerciales existantes qui sont détenues et exploitées par des entreprises dirigées par des personnes autochtones, de nouvelles occasions liées à l'hydrogène se profilent. Par exemple, la Bande indienne de Penticton envisage de mettre au point un service de transport ferroviaire de voyageurs alimenté à l'hydrogène dans la vallée de l'Okanagan (cette initiative pourrait être une première en Amérique du Nord) et mobilise des partenaires et des experts de la région afin de former une vision holistique du transport durable. Au nord-est de la Colombie-Britannique, la société Renewable Hydrogen Canada (RH₂C) travaille actuellement à l'élaboration du projet Sundance Hydrogen, qui fait appel à la participation des peuples autochtones pour exploiter des serres alimentées par la chaleur résiduelle des électrolyseurs qui fourniront des fruits et légumes frais et locaux à l'échelle régionale. En Ontario, la Première Nation de Saugeen a établi un partenariat avec le comté de Bruce pour mettre en place une infrastructure fondamentale liée à l'hydrogène. Ce peuple a d'ailleurs noté que la région, grâce à sa géologie, peut servir de vaste réservoir capable de stocker l'hydrogène produit à partir de ressources renouvelables locales et de l'énergie nucléaire. Une fois stocké, l'hydrogène peut être fourni aux marchés à titre de carburant gazeux à faible intensité carbonique ou être converti en électricité pour alimenter le réseau de transport d'énergie régional. De même, l'entreprise Des Nedhe Development envisage d'inclure des stations de ravitaillement en hydrogène et des bornes de recharge pour VE à son réseau de stations-service existant

en Saskatchewan à titre de prochaine étape dans sa transition vers une économie sobre en carbone. Pour cette entreprise, il existe de fortes synergies entre les mines d'uranium du Canada, l'adoption de petits réacteurs modulaires et l'hydrogène, qui peuvent présenter des débouchés économiques à moyen terme.

L'ampleur du leadership et de la propriété autochtones en matière d'énergie propre a la capacité de croître à court et à long terme. À l'avenir, il sera essentiel d'adopter une approche holistique pour comprendre le rôle potentiel que peut jouer l'hydrogène dans le cadre des voies énergétiques plus larges, afin de favoriser la réconciliation. Les initiatives de déploiement de l'hydrogène peuvent être mises en œuvre de manière plus efficace par l'entremise d'un dialogue précoce et significatif avec les peuples autochtones.

Comme le souligne la stratégie sur l'hydrogène, il est essentiel d'établir des partenariats stratégiques axés sur la collaboration afin d'accroître la production et l'utilisation de l'hydrogène au Canada. Des partenariats qui mettent l'accent sur la protection de l'environnement, la reconnaissance culturelle, la planification énergétique de la communauté harmonisée avec les valeurs traditionnelles, le développement économique et la participation aux projets seront essentiels pour maximiser les avantages pour les peuples autochtones dans le cadre de l'économie de l'hydrogène.



6. Possibilités au-delà de nos frontières

L'essor de la technologie de l'hydrogène et des piles à combustible prend de l'ampleur à l'échelle mondiale, les estimations du marché étant comprises entre 2,5 et 11,7 billions de dollars d'ici 2050. Le Canada a la possibilité de produire de grandes quantités d'hydrogène propre et à faible coût en plus de sa demande nationale, ce qui lui donne la possibilité de devenir un fournisseur de choix d'un nouveau produit d'exportation d'énergie sans carbone. Réputé pour ses entreprises de pointe dans le domaine des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible, le Canada est également bien placé pour attirer les investissements étrangers directs et continue son ascension en tant que chef de file dans l'exportation de technologies, de produits et de services.

MARCHÉ D'EXPORTATION

Les gouvernements canadiens, l'industrie et le milieu universitaire collaborent depuis longtemps à l'échelle internationale pour faire progresser la production et l'utilisation de l'hydrogène. Au menu de ces collaborations figurent la recherche fondamentale, la commercialisation, le déploiement et l'élaboration de politiques. Il en résulte que le Canada est bien placé pour demeurer un chef de file mondial en matière d'innovation technologique et de développements commerciaux. Les collaborations internationales accélèrent les progrès en matière de R-D et de développement de produits, garantissent que les codes et les normes nécessaires au déploiement à l'échelle commerciale soient harmonisés et s'appuient sur les politiques et les pratiques exemplaires. Elles permettent également aux entreprises canadiennes de présenter leurs produits et leur savoir-faire sur les marchés internationaux d'exportation et d'attirer d'autres investissements étrangers directs.

Grâce à l'augmentation de la demande mondiale d'hydrogène, le Canada a une occasion en or de devenir un fournisseur de l'hydrogène à faible IC, entendu comme un nouveau produit d'exportation de l'énergie sans carbone, en complément des exportations d'énergie du Canada, à savoir le pétrole brut, le gaz naturel et les carburants de transport. À elles seules, les exportations de pétrole et de gaz naturel du Canada se sont chiffrées à 119 milliards de dollars en 2019. Par ailleurs, étant donné que les pays importateurs cherchent à décarboniser leurs systèmes énergétiques, l'hydrogène pourrait s'emparer d'une part importante de ce marché au cours des prochaines décennies¹. Il est également possible d'accroître le marché de l'exportation des produits, des services et de la propriété intellectuelle du Canada. Selon une étude récente, les exportations d'hydrogène pourraient atteindre 50 milliards de dollars d'ici 2050, soit le double du potentiel économique global du marché prévu pour le Canada au cours de la même période². En novembre 2017, le Conseil de l'hydrogène (Hydrogen Council) a estimé que les ventes annuelles mondiales relatives à l'hydrogène et à ses équipements connexes pourraient s'élever à

¹ Ressources naturelles Canada. (2020). *Énergie et économie*. En ligne : https://www.rncan.gc.ca/science-donnees/donnees-analyse/donnees-analyse-energetiques/faits-saillants-sur-lenergie/energie-economie/20073?_ga=2.26750013.1480865255.1601924897-2019701772.1578089673.

² L'Accélérateur de transition. (2020). *Towards Net-Zero Energy Systems in Canada: A Key Role for Hydrogen*. En ligne : https://transitionaccelerator.ca/wp-content/uploads/2020/09/Net-zero-energy-systems_role-for-hydrogen_200909-Final-print-1.pdf.

2,5 billions de dollars d'ici 2050¹. Plus récemment, en septembre 2020, la banque d'investissement internationale Goldman Sachs a estimé que le marché potentiel de l'hydrogène pourrait valoir 11,7 billions de dollars d'ici 2050, répartis entre l'Asie, l'Europe et les États-Unis².

Le Canada a la possibilité de produire de grandes quantités d'hydrogène à faible coût et à faible IC en plus de sa demande nationale. Tirer parti de la diversité des matières premières nécessaires à la production de l'hydrogène qu'offre le Canada pour produire de l'hydrogène destiné à l'exportation pourrait créer une valeur économique considérable. Le Canada dispose de plusieurs avantages stratégiques en matière de production de l'hydrogène à des fins d'exportation, notamment :

- ◆ des ports en eau profonde et des infrastructures portuaires le long des deux côtes, de la baie d'Hudson et des Grands Lacs donnant accès à des marchés clés en Asie, en Europe et en Amérique du Nord;
- ◆ d'abondantes sources d'énergie à faible teneur en carbone à savoir l'électricité, la biomasse et le gaz naturel, et un potentiel de captage, de stockage et d'utilisation du carbone (CSUC);
- ◆ un réseau national intégré de pipelines et de gaz naturel;
- ◆ des systèmes énergétiques connectés intégrés aux grands marchés américains, en particulier la Californie et la côte Est;
- ◆ une main-d'œuvre bien formée possédant une expérience technique approfondie dans le secteur de l'énergie.

Une analyse complète du potentiel d'exportation de l'hydrogène dépasse la portée de la stratégie à court terme, mais plusieurs marchés, technologies et politiques clés sont recommandés comme base. Il est recommandé d'étudier en profondeur les possibilités d'exportation après la publication de la présente *Stratégie canadienne pour l'hydrogène*, dans le but de créer un plan d'action précis lié à la recherche des possibilités d'exportation parallèlement à l'accent mis sur l'établissement d'un marché intérieur dynamique.

MARCHÉS CIBLES

Cinq marchés clés ont été cernés comme étant des marchés d'exportation potentiels pour le Canada, à savoir les États-Unis (en particulier la Californie et l'Est des États-Unis), le Japon, la Corée du Sud, la Chine et l'Union européenne. Ils ont été cernés sur la base des stratégies qu'ils énoncent, de leur potentiel de demande et de leur proximité avec le Canada. La demande mondiale en hydrogène étant en pleine évolution, de nouveaux marchés d'exportation pourraient également se développer en Amérique du Sud.

¹ Hydrogen Council. (2017). *Hydrogen Scaling Up*. En ligne : <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-scaling-up-Hydrogen-Council.pdf>

² Barron's. (2020). *'Green Hydrogen' Could Become a \$12 Trillion Market. Here's How to Play It*. En ligne : <https://www.barrons.com/articles/goldman-sachs-says-so-called-green-hydrogen-will-become-a-12-trillion-market-heres-how-to-play-it-51600860476>.



Aux États-Unis, les deux principaux marchés de l'hydrogène devraient se situer en Californie et dans les États densément peuplés du Nord-Est. La demande en hydrogène de la Californie pourrait atteindre 1 à 4 millions de tonnes d'ici 2050. L'État dispose de règlements stricts à l'échelle gouvernementale et d'un financement de soutien pour l'infrastructure relative à l'hydrogène et les véhicules à pile à combustible. L'Innovative Clean Transit Regulation et les Zero Emission Vehicle Mandates devraient créer une demande importante d'hydrogène dans le secteur des transports. L'État a également d'importants besoins en gaz naturel renouvelable et en stockage de l'énergie qui pourraient être partiellement satisfaits par l'importation de l'hydrogène. Pour le marché du Nord-Est des États-Unis, il existe des possibilités de réutilisation des composants d'équipement de ravitaillement en GNL et d'autres infrastructures déjà en place au Canada atlantique. Les ports, les voies ferrées, les autoroutes et les interconnexions de pipelines entre les Maritimes et l'Est des États-Unis pourraient constituer des voies d'accès au marché de l'hydrogène produit dans le centre du Canada et au Québec.

En Asie, le Japon, la Corée du Sud et la Chine disposent de stratégies ambitieuses en matière d'hydrogène. Le Japon et la Corée du Sud devront compter sur les importations pour répondre à la majeure partie de leur demande. Selon le ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie, la demande d'hydrogène au Japon pourrait se situer entre 5 et 35 millions de tonnes par an en 2050. Le pays a déjà commencé à étudier les options d'approvisionnement avec l'Australie, qui a, à son tour, élaboré une stratégie d'exportation de l'hydrogène dynamique et ambitieuse. Dans la feuille de route de la Corée du Sud sur l'économie de l'hydrogène, la demande estimée en 2050 se situe entre 4 et 20 millions de tonnes par an, avec un potentiel de production nationale limité similaire à celui du Japon. La Chine a l'intention de faire des investissements importants dans les véhicules à hydrogène et à pile à combustible. La demande devrait se situer entre 18 et 160 millions de tonnes par année d'ici 2050. La Chine pourrait éventuellement devenir autosuffisante dans sa production si celle-ci est associée aux grands systèmes d'énergie renouvelable et nucléaire qu'elle développe.

En Europe, l'Allemagne dirige le développement de son économie de l'hydrogène basée sur les énergies renouvelables et l'électrolyse. Le gouvernement allemand prévoit qu'environ 2,7 à 3,3 millions de tonnes (90 à 110 TWh) d'hydrogène seront nécessaires d'ici 2030, avec une croissance importante au cours de la période de 2030 à 2050. Pour couvrir une partie de cette demande, l'Allemagne prévoit de mettre en place jusqu'à 5 GW de capacité de production, y compris les installations de production d'énergie côtières et extracôtières¹. Il est probable qu'elle dépende également des importations d'hydrogène pour compléter sa production nationale. Dans le reste de l'Europe, plusieurs centres de production d'hydrogène sont en cours de développement aux Pays-Bas, au Royaume-Uni et au Portugal. Le port de Rotterdam, aux Pays-Bas, travaille à la mise en place d'un réseau d'hydrogène à grande échelle dans le

¹ Ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie, Allemagne. The National Hydrogen Strategy. Juin 2020.

complexe portuaire, dans le but de faire de Rotterdam un centre international de production, d'importation, d'application et de transport de l'hydrogène vers d'autres pays d'Europe du Nord-Ouest¹. Ce centre permettra également à Rotterdam de maintenir sa position de port énergétique important pour l'Europe du Nord-Ouest à l'avenir, en anticipant la croissance de la demande d'hydrogène.

La Colombie-Britannique, qui se trouve à proximité de l'Asie de l'Est, pourrait être un centre d'exportation de l'hydrogène canadien, en tirant parti des capacités de production locales et albertaines, à condition que des infrastructures de transport soient mises en place pour relier les deux provinces. La *British Columbia Hydrogen Study* [étude sur l'hydrogène de la Colombie-Britannique], réalisée en 2019, révèle un potentiel d'exportation de 15 milliards de dollars d'ici 2050 pour cette province². Le Canada atlantique pourrait être un centre potentiel d'exportation de l'hydrogène canadien vers le marché européen. L'image qui suit (Figure 47) met en évidence le paysage international de la production et de la demande d'hydrogène et indique à un haut niveau comment le Canada pourrait explorer la possibilité de desservir ces marchés par des canaux d'exportation. Les provinces et les collectivités locales devront faire preuve de leadership pour établir des centres d'exportation stratégiques pour l'hydrogène canadien et investir dans leur création.



¹ <https://www.portofrotterdam.com/en/doing-business/port-of-the-future/energy-transition/hydrogen-in-rotterdam>

² Zen and the Art of Clean Energy Solutions Inc. (2019). *British Columbia Hydrogen Study*.

CARTE DES EXPORTATEURS SANS CARBONE

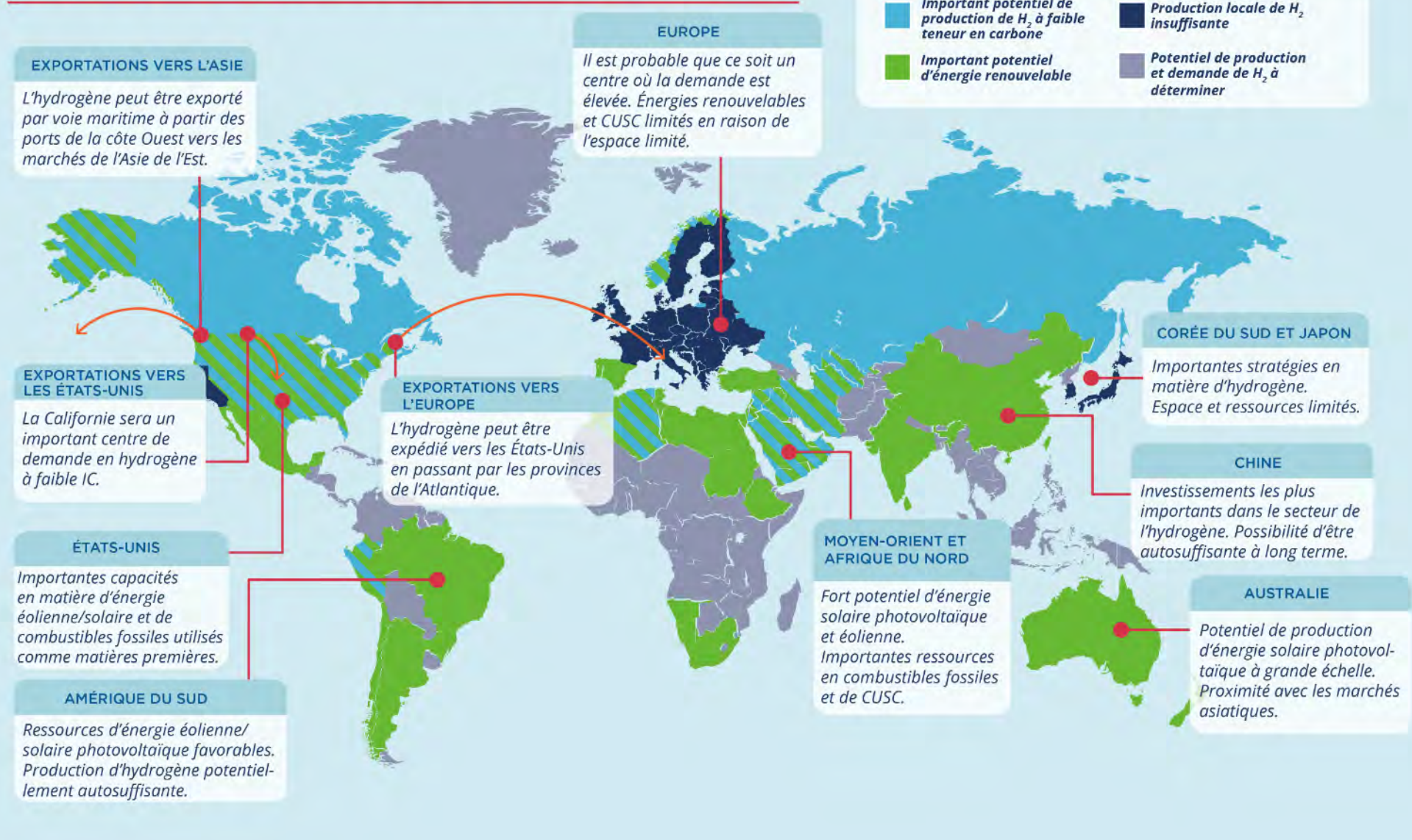


Figure 47– Potentiel du Canada en tant qu'exportateur d'hydrogène¹

¹ Basé sur des données et des cartes de l'étude *Hydrogen Economy Outlook* de BloombergNEF. Mars 2020

FACILITATEURS

Leadership en matière d'innovation et de propriété intellectuelle

Le Canada est reconnu en tant que chef de file dans le secteur de l'hydrogène et des piles à combustible et il est reconnu comme un centre de l'expertise technique, de la propriété intellectuelle et des produits et services de pointe. En 2018, le secteur a généré des revenus de 207 millions de dollars et comptait 2 177 emplois¹. Selon un sondage mené par l'Association canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible en 2017, 86 % des installations d'hydrogène et de piles à combustible des répondants étaient situés au Canada, et la Colombie-Britannique, l'Ontario, le Québec et l'Alberta représentaient certaines des filières industrielles les plus importantes, comme l'indique la Figure 48.

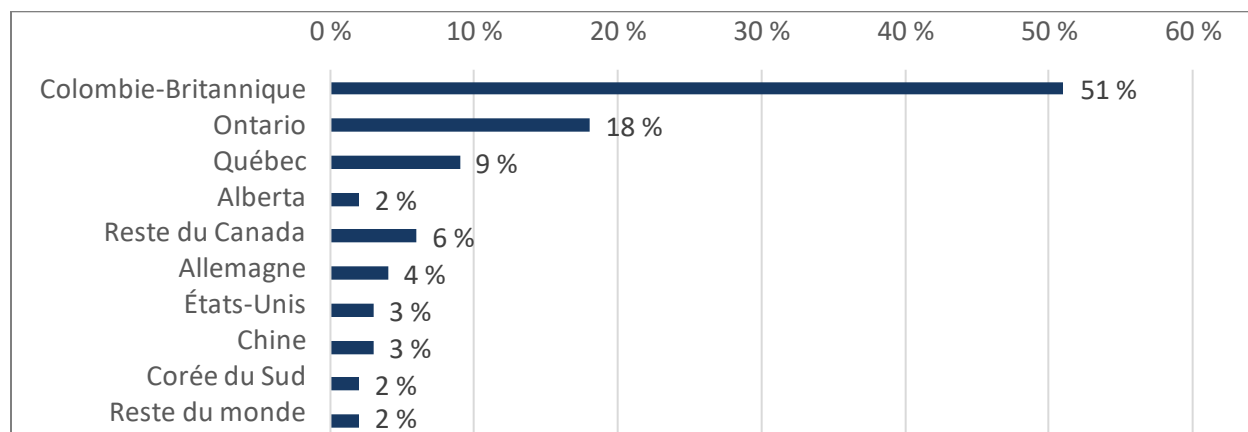


Figure 48 – Installations d'hydrogène et de piles à combustible par région

L'hydrogène et les piles à combustible sont intéressants aux yeux d'entreprises, d'établissements d'enseignement, d'organisations gouvernementales et d'ONG canadiennes provenant de nombreux secteurs et domaines d'expertise, de la recherche scientifique fondamentale à la vente et aux services du marché secondaire. Bon nombre de ces organisations se sont penchées sur l'hydrogène et les piles à combustible pendant de nombreuses décennies; elles ont en outre noué de fortes relations et partagent des bassins de talents.

Les déploiements à l'échelle nationale aideront les entreprises canadiennes de l'ensemble de la chaîne de valeur en assurant un marché local pour les biens et les services de ces entreprises et en donnant lieu à des projets de référence locaux pour les entreprises canadiennes qui cherchent à exporter des produits, des services ou de la propriété intellectuelle vers des marchés internationaux. Un thème récurrent de la part des intervenants du domaine des technologies propres est que les partenaires internationaux leur demandent souvent de présenter des projets de référence locaux afin de valider la maturité de leur technologie et leur analyse de rentabilité.

De nos jours, les entreprises canadiennes du secteur comptent généralement sur les marchés d'exportation pour développer leurs affaires, étant donné que la taille du marché canadien est relativement petite à ce jour. En raison du leadership technologique du Canada, des entreprises de premier plan ont attiré des investissements étrangers considérables, et des entreprises étrangères se sont établies au pays en vue de tirer parti du bassin local de talents qualifiés. Ce secteur continuera d'augmenter la valeur économique du Canada, de créer des emplois et d'attirer des investissements

¹ ACHPC. (2018). Profil de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible. En ligne : http://www.chfca.ca/wp-content/uploads/2019/10/FR_CHFC-Sector-Profile-2018-Final-Report.pdf

étrangers, à condition que le pays maintienne sa position de chef de file en matière de technologie et d'innovation.

Les entreprises canadiennes dans le secteur de l'hydrogène et des piles à combustible sont actuellement reconnues comme des chefs de file en matière de technologie et de produits, et dépendent aujourd'hui fortement des ventes internationales de services et de produits aux régions qui sont les chefs de file en matière d'adoption de l'hydrogène. Ces entreprises profiteront de la croissance de l'économie nationale de l'hydrogène et pourront également se développer grâce à l'augmentation des ventes internationales, alors que le Canada tire parti des possibilités offertes à l'extérieur de ses frontières par le secteur de l'hydrogène en pleine expansion. Les projets de référence canadiens permettront de valider les points forts et l'analyse de rentabilisation des produits canadiens, ce qui facilitera les ventes internationales.

Il est essentiel de demeurer à la pointe de l'innovation pour maintenir les avantages concurrentiels du Canada; pourtant, nous risquons de perdre du terrain. D'autres pays ont augmenté rapidement et massivement leurs investissements dans ce secteur, alors que le Canada a réduit ses investissements dans la recherche fondamentale au cours des dernières années. Par conséquent, certaines entreprises canadiennes ont délocalisé leurs activités dans d'autres pays dans lesquels les progrès technologiques sont davantage soutenus. Le Canada doit impérativement prendre des mesures dès maintenant pour prévenir la perte de la propriété intellectuelle essentielle.

La participation des intervenants a souligné les domaines dans lesquels le Canada peut exceller dans l'innovation en matière d'hydrogène. Le Canada possède déjà un secteur des piles à combustible de premier plan dont l'expertise couvre notamment les matériaux fondamentaux et les systèmes et véhicules complets. Miser sur nos atouts afin de maintenir notre position de chefs de file devrait être au cœur de nos priorités. Alors que le Canada passe au stade de déploiement, il se crée des occasions novatrices liées aux technologies de production de l'hydrogène et à d'importantes technologies complémentaires, comme le CSUC et le stockage de l'hydrogène uniques à la géologie du Canada. Ces occasions visent notamment l'utilisation de puits épuisés pour le stockage du carbone et le stockage de l'hydrogène mélangé ou pur. Le Canada peut également développer une expertise en ingénierie ou en intégration à l'aide des centres de déploiement afin de renforcer les compétences locales. En outre, ces centres de déploiement pourraient contribuer au perfectionnement des aptitudes et à la formation afin que les travailleurs et les communautés disposent des compétences nécessaires pour prospérer dans un avenir énergétique propre. Le Canada peut ainsi montrer comment les jeunes, les femmes, les peuples autochtones et les autres Canadiennes et Canadiens sous-représentés peuvent devenir l'épine dorsale d'une économie à faibles émissions de carbone grâce aux efforts soutenus de l'industrie et du gouvernement.

Technologies de stockage

Le stockage et le transport de l'hydrogène des centres de production vers les sites des utilisateurs constitueront l'un des obstacles les plus difficiles à surmonter pour l'adoption de l'hydrogène à grande échelle dans le monde. La liquéfaction et le stockage chimique, sous la forme de vecteurs chimiques comme l'ammoniac ou les liquides organiques porteurs d'hydrogène, devront en particulier être développés pour permettre le transport sécuritaire et rentable de l'hydrogène du Canada vers les marchés d'exportation du monde entier. Le Canada investit actuellement dans des infrastructures de gaz naturel liquéfié (GNL) à grande échelle, notamment des ports maritimes et des installations de liquéfaction qui pourraient être adaptées à l'hydrogène.

À mesure que les pays élaborent des stratégies d'importation de l'hydrogène, les émissions provenant de la production et du transport doivent être prises en compte dans l'analyse globale du cycle de vie afin de déterminer le potentiel de décarbonisation en tant que paramètre décisionnel important. Le Canada devra participer à la R-D internationale liée aux technologies de transport si l'exportation massive est considérée comme une priorité stratégique dans la feuille de route des exportations.

Normes et règlements

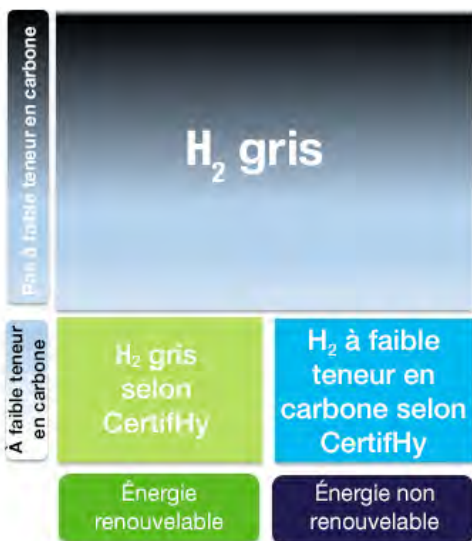


Figure 49– Définition de l’hydrogène vert et de l’hydrogène à faible teneur en carbone selon CertifHy

D’autres pays cherchent également à conquérir les mêmes marchés d’exportation et le Canada aura besoin de politiques et d’investissements solides pour demeurer concurrentiel. L’industrie canadienne de l’hydrogène devra être intégrée aux marchés d’exportation en ce qui concerne les codes et les normes, le suivi de l’intensité carbonique et les normes sur le gaz renouvelable. Il est particulièrement important de savoir comment les autres pays apprécieront l’hydrogène produit à partir de combustibles fossiles et de matières premières non renouvelables. Par exemple, l’initiative européenne CertifHy¹ Guarantee of Origin [Garantie d’origine de CertifHy] indique à la fois l’intensité carbonique et la source de l’hydrogène, en distinguant les sources d’énergie renouvelables des énergies non renouvelables. Dans la mesure où le Canada se concentre sur toutes les sources d’hydrogène à faible IC, il sera important qu’il participe à ce type d’activités. L’image de marque et la promotion des carburants à faible teneur en carbone du Canada seront importantes pour qu’ils soient acceptés par le marché. L’image de marque et les allégations devront être étayées par une analyse certifiée du cycle de vie.

¹ <https://www.certifhy.eu/project-description/certifhy-1.html>

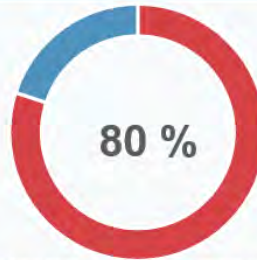
CONTRIBUTIONS DES INTERVENANTS : TECHNOLOGIES PROPRES ET INNOVATION



Possibilités



- Le Canada est un pionnier de la technologie des piles à combustible depuis plus de 40 ans et compte certaines des plus grandes entreprises d'hydrogène au monde



- La technologie canadienne des piles à combustible est utilisée dans plus de 80 % des applications à l'échelle mondiale, et le Canada est un chef de file mondial en matière de propriété intellectuelle



- Le marché mondial de l'hydrogène pourrait valoir de 2,5 à 11,7 billions de dollars en 2050 et employer 30 millions de personnes



Défis



Le déclin de la recherche et du développement a eu une incidence sur l'avance du Canada en matière d'innovation



Les grands pays qui investissent massivement dans les programmes nationaux de recherche ont attiré les talents et la propriété intellectuelle du Canada



Le manque de déploiements locaux signifie l'absence de marché local et de « laboratoires vivants » pour stimuler la collaboration et l'innovation.



Les investisseurs dans les entreprises canadiennes doivent être en mesure de voir des exemples de déploiement de technologies à l'échelle nationale



Conclusions

- Il faut établir des centres de déploiement nationaux qui mettent en valeur la technologie locale et encouragent la collaboration intersectorielle et internationale
- Le temps presse. Il faut accélérer le développement et soutenir les priorités de recherche pluriannuelles, sinon le Canada perdra son avantage en matière d'innovation
- Une recherche ciblée dans les domaines stratégiques est nécessaire à court terme pour orienter l'élaboration des codes et des normes nécessaires et la commercialisation des applications technologiques transversales de l'hydrogène
- Il convient d'encourager les approches axées sur les missions pour cibler la recherche, le développement et la démonstration (R-D-D)

7. Défis restants

Le Canada a une bonne longueur d'avance dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustible et est bien placé pour profiter des possibilités offertes par une économie de l'hydrogène dynamique sur le plan national, mais également sur celui de l'exportation. Cependant, il existe des défis qui doivent être relevés. Avec l'intensification de la concurrence mondiale, des actions ciblées dans toute la chaîne de valeur de l'hydrogène sont nécessaires pour relever ces défis et positionner le Canada sur la voie de la réussite.

ÉCONOMIE ET INVESTISSEMENTS

De nos jours, les facteurs qui limitent l'utilisation de l'hydrogène dans de nombreuses applications sont d'ordre économique plutôt que technologique, car l'hydrogène n'est pas encore concurrentiel en termes de coût par rapport aux carburants conventionnels. Par exemple, l'hydrogène utilisé comme combustible de chauffage sans carbone coûte environ 5 fois plus cher que le gaz naturel. Si l'hydrogène peut être concurrentiel en termes de coût par rapport à certaines sources de GNR, le gaz naturel conventionnel est généralement utilisé comme référence. L'hydrogène peut être l'une des solutions de rechange les moins coûteuses pour réduire les émissions de carbone en termes de coûts par tonne de CO₂ évitée. Un des défis actuels est que les émissions de GES ne sont pas toujours correctement prises en compte dans le coût du marché des carburants de référence. La mise en œuvre de la Norme sur les combustibles propres du gouvernement fédéral ainsi que la tarification du carbone constitueront une avancée importante.

Il est également essentiel d'atteindre une certaine échelle pour assurer la compétitivité économique du secteur et garantir l'accès à une source abondante et abordable d'hydrogène propre. Au Canada, le marché de l'hydrogène à faible IC en est à ses tout débuts, et les investissements importants en capital

nécessaires à la production à grande échelle exigent que la demande augmente en même temps que l'offre. Une demande prévisible et à long terme est donc essentielle avant que l'industrie ne puisse investir dans des projets à grande échelle.

Les coûts des applications finales constituent également un obstacle à l'adoption, ce qui peut limiter la demande et l'échelle connexe. Dans les applications de transport, les VEPC coûtent plus cher que les VEB et les VEHR, en raison des faibles volumes de production. Des travaux supplémentaires sont également nécessaires pour faire baisser les coûts de base des piles à combustible, des installations de production d'énergie, des matériaux et de la fabrication, ainsi que les coûts des autres composants spécialisés des véhicules, tels que les réservoirs de stockage d'hydrogène. Des investissements dans la R-D sont nécessaires pour atteindre la parité des coûts avec les autres solutions, tout comme des investissements dans les processus et les installations de fabrication pour atteindre l'échelle requise. La construction d'infrastructures de ravitaillement en carburant exige également des investissements initiaux importants. Pour ce qui est des VEPC légers, des réseaux de ravitaillement à stations multiples offrant accessibilité et redondance doivent être mis en place avant que les FEO ne déploient un plus grand nombre (des centaines) de véhicules. Il s'agit d'un défi économique pour les promoteurs de stations de ravitaillement qui doivent réaliser d'importants investissements en

capital, avec l'incertitude quant à la croissance de la demande en avitaillement au fil du temps. Pour les organismes de transport en commun qui cherchent à déployer des AEPC, les coûts d'infrastructure initiaux sont élevés et rendent difficile l'exécution des premiers projets pilotes de déploiement. Bien qu'il ait été prouvé que l'infrastructure relative à l'hydrogène à grande échelle est très rentable, la mise à l'échelle est un défi pour les organismes de transport en commun qui sont limités sur le plan financier et qui sont peu enclins à prendre des risques.

Certaines applications, comme l'utilisation de l'hydrogène mélangé au gaz naturel comme combustible de chauffage, ne nécessitent pas de nouveaux équipements ou de modernisation de l'équipement d'utilisation finale. Toutefois, le défi économique, tel que décrit ci-dessus, c'est que le carburant actuel est très peu coûteux. De plus, les services publics devront réaliser des investissements dans des projets pilotes et dans l'élaboration de codes et de normes pour développer ce marché.

Bien que le secteur doive en fin de compte être autonome, un soutien temporaire est nécessaire au cours des 5 à 10 prochaines années pour attirer les investissements industriels et réduire les risques associés à ceux-ci. Il conviendrait donc, entre autres, de réaliser des investissements dans les infrastructures de base et d'accorder des subventions pour encourager l'adoption des utilisations finales de l'hydrogène ainsi que son déploiement à grande échelle. Il sera également important d'attirer des investissements de sources internationales.

TECHNOLOGIE ET INNOVATION

Bien que certaines technologies de l'hydrogène et des piles à combustible soient à un niveau de maturité commerciale, un soutien continu à la R-D est nécessaire pour réduire davantage les coûts, concevoir des solutions dans les applications moins matures et découvrir de nouvelles technologies de pointe au profit du secteur. Les cycles actuels de financement à court terme de la R-D peuvent limiter les

investissements du secteur privé dans l'innovation canadienne. L'engagement à soutenir la R-D à long terme dans le domaine des technologies de pointe constitue de ce fait une lacune politique actuelle. Il est essentiel de demeurer à la pointe de l'innovation pour maintenir les avantages concurrentiels du Canada.

D'autres pays ont augmenté rapidement leurs investissements dans ce secteur, alors que le Canada a réduit ses investissements dans la recherche fondamentale au cours des dernières années. Le Canada accuse également un retard par rapport aux autres pays en ce qui concerne le lancement de projets pilotes sur l'hydrogène. Par conséquent, certaines entreprises canadiennes mettent sur pied des centres de recherche ou délocalisent une partie de leurs activités dans d'autres pays dans lesquels les progrès technologiques sont davantage soutenus. Le Canada doit impérativement prendre des mesures dès maintenant pour prévenir la perte de la propriété intellectuelle essentielle.

Le développement et l'innovation technologiques sont nécessaires pour les matériaux de base, les produits d'utilisation finale, ainsi que pour la production, le stockage et la distribution de l'hydrogène dans les chaînes de valeur. Les domaines adjacents et complémentaires tels que le CSUC seront également essentiels pour que le Canada devienne chef de file dans ce secteur. Le développement et l'innovation technologiques nécessitent des déploiements locaux pour favoriser la collaboration entre l'industrie, le milieu universitaire et les partenaires internationaux. Il est possible d'acquérir une expérience pratique essentielle pour comprendre les besoins du marché et élaborer des solutions pratiques et prêtes sur le plan commercial. Le manque de déploiements locaux au Canada entrave actuellement l'innovation dans le secteur.

POLITIQUES ET RÈGLEMENTS

Dans le monde entier, les projets relatifs à l'hydrogène propre ont principalement été mis en œuvre dans des régions ayant adopté une

combinaison de politiques et de règlements d'appui, ainsi que des cibles de réduction des GES.

À l'heure actuelle, il n'existe pas au Canada de cadre stratégique et réglementaire complet et à long terme qui régit l'industrie de l'hydrogène. Et quand bien même des politiques sont mises en place, elles ne sont pas uniformes d'une région à l'autre, ce qui donne lieu à un ensemble disparate qui ralentit l'adoption. La réalisation des cibles à long terme pour 2050 représente une transformation radicale du secteur de l'énergie et exige des efforts clairs et coordonnés.

Les politiques et les règlements qui encouragent l'utilisation des technologies de l'hydrogène comprennent les règlements sur les carburants à faible teneur en carbone, la tarification de la pollution par le carbone, les règlements sur les émissions des véhicules, les exigences relatives aux véhicules à zéro émission, la création de zones sans émissions et les exigences relatives à l'intégration du gaz renouvelable dans les réseaux de gaz naturel. Des mécanismes visant à réduire les risques liés aux investissements afin de permettre aux utilisateurs finaux de s'adapter aux règlements sont également nécessaires.

Un cadre national plus cohérent associé à une vision commune pourrait donner un signal clair de l'importance de l'hydrogène et éviter un ensemble disparate de politiques et de règlements entre les provinces et territoires.

HYDROGÈNE ET INFRASTRUCTURE

L'approvisionnement à l'échelle nationale en hydrogène à faible IC est aujourd'hui limité dans de nombreuses régions du Canada, ce qui empêche le déploiement à l'échelle commerciale et à l'échelle pilote des applications finales. Pour certaines applications, il est également nécessaire de transporter et de stocker l'hydrogène depuis le site de production jusqu'à l'utilisateur final. Cela implique les infrastructures de ravitaillement pour les applications de transport. La construction d'infrastructures d'approvisionnement et de distribution doit se

faire en fonction de la croissance de la demande, ce qui peut être difficile à coordonner et nécessite une approche de développement axée sur les régions.

Parmi les autres défis liés aux infrastructures, on peut citer les besoins importants en matière de stockage du carbone pour la transition à long terme des secteurs du pétrole et des combustibles à faible teneur en carbone, ainsi que le stockage de volumes importants d'hydrogène en vue de leur intégration dans les sites nucléaires existants. Le stockage géologique, par exemple dans des puits épuisés et des cavernes de sel, sera limité à certaines régions et nécessitera également un investissement initial élevé pour valider le stockage de l'hydrogène.

Au fil du temps, à mesure que la production et la demande nationales augmenteront, il faudra mettre en place des infrastructures spécialisées telles que des hydrogénoducs et des usines de liquéfaction. Il sera essentiel de veiller à ce que ces actifs cruciaux puissent être construits de manière coordonnée et en temps opportun afin de garantir la fourniture d'hydrogène à faible coût et à faible intensité carbonique sur les marchés nationaux et internationaux.

CODES ET NORMES

Le déploiement de l'hydrogène en est à ses débuts dans de nombreuses régions et dans de nombreux secteurs au Canada. Aussi, les codes et normes existants présentent certaines lacunes qui doivent être comblées pour permettre l'adoption de l'hydrogène.

La résolution de problèmes locaux et régionaux complexes liés à la certification des nouveaux déploiements de l'hydrogène peut nécessiter beaucoup de temps et d'efforts. L'harmonisation des codes et des normes dans tous les pays et dans l'ensemble des provinces permettra de garantir que les pratiques exemplaires sont appliquées dans l'ensemble de l'économie nationale et internationale de l'hydrogène afin de faciliter la croissance des échanges et des marchés d'exportation.

Les applications qui n'ont pas encore fait l'objet de projets pilotes au Canada et qui en sont au stade précommercial représentent des domaines d'intérêt importants. Par exemple, le mélange de l'hydrogène dans les systèmes de gaz naturel a été démontré dans le monde entier dans le cadre de nombreux projets de transformation de l'électricité en gaz. L'absence de codes et de normes élaborés et adoptés au Canada relativement à cette application finale est actuellement l'un des principaux facteurs limitants.

Le Canada collabore également avec des pays du monde entier pour élaborer et harmoniser des codes et des normes, grâce à des efforts comme le Conseil de coopération Canada-États-Unis en matière de réglementation. Ces efforts comprennent également l'élaboration et l'harmonisation d'une méthodologie commune pour déterminer l'IC des voies de production de l'hydrogène.

SENSIBILISATION

À l'heure actuelle, il existe un manque de sensibilisation du grand public, de l'industrie et du gouvernement aux possibilités offertes par l'hydrogène et aux questions de sécurité.

Le nombre limité de déploiements d'hydrogène à l'échelle nationale a également entraîné un manque d'études de cas tangibles permettant d'accroître la sensibilisation et de soutenir la planification et l'élaboration à long terme. Par exemple, la sécurité et la fiabilité dans les mines

doivent être prouvées avec succès au cours de la phase pilote avant que la technologie puisse être adoptée dans son intégralité.

Une sensibilisation accrue à l'hydrogène en tant que voie de décarbonisation viable, sécuritaire et offrant des avantages économiques est essentielle à l'établissement d'un secteur de l'hydrogène dynamique. Des campagnes de sensibilisation ciblées dans certains secteurs de l'industrie, notamment la fourniture d'outils faciles à utiliser aux utilisateurs finaux visant à évaluer les options en matière d'hydrogène, constitueront une étape importante dans le soutien de l'adoption de la technologie.

Un manque de sensibilisation sur la manière dont l'hydrogène s'intègre dans d'autres vecteurs énergétiques décarbonisants dans un avenir net zéro se fait actuellement ressentir. Bien que le déploiement de l'hydrogène et l'électrification croissante soient en fait très complémentaires, la concurrence perçue pourrait limiter l'adoption. Il faut y remédier au moyen d'une campagne de sensibilisation ciblée visant à montrer comment ces applications peuvent fonctionner ensemble.

Outre la nécessité de sensibiliser aux possibilités offertes par l'hydrogène et aux questions de sécurité, il est également nécessaire de sensibiliser de manière ciblée aux possibilités de carrière pour une main-d'œuvre talentueuse et qualifiée dans l'économie de l'hydrogène. Cela inclut la transition des travailleurs en milieu de carrière et la formation de la prochaine génération de travailleurs dans le secteur des technologies à faible teneur en carbone.



8. Saisir les possibilités offertes par l'hydrogène au Canada

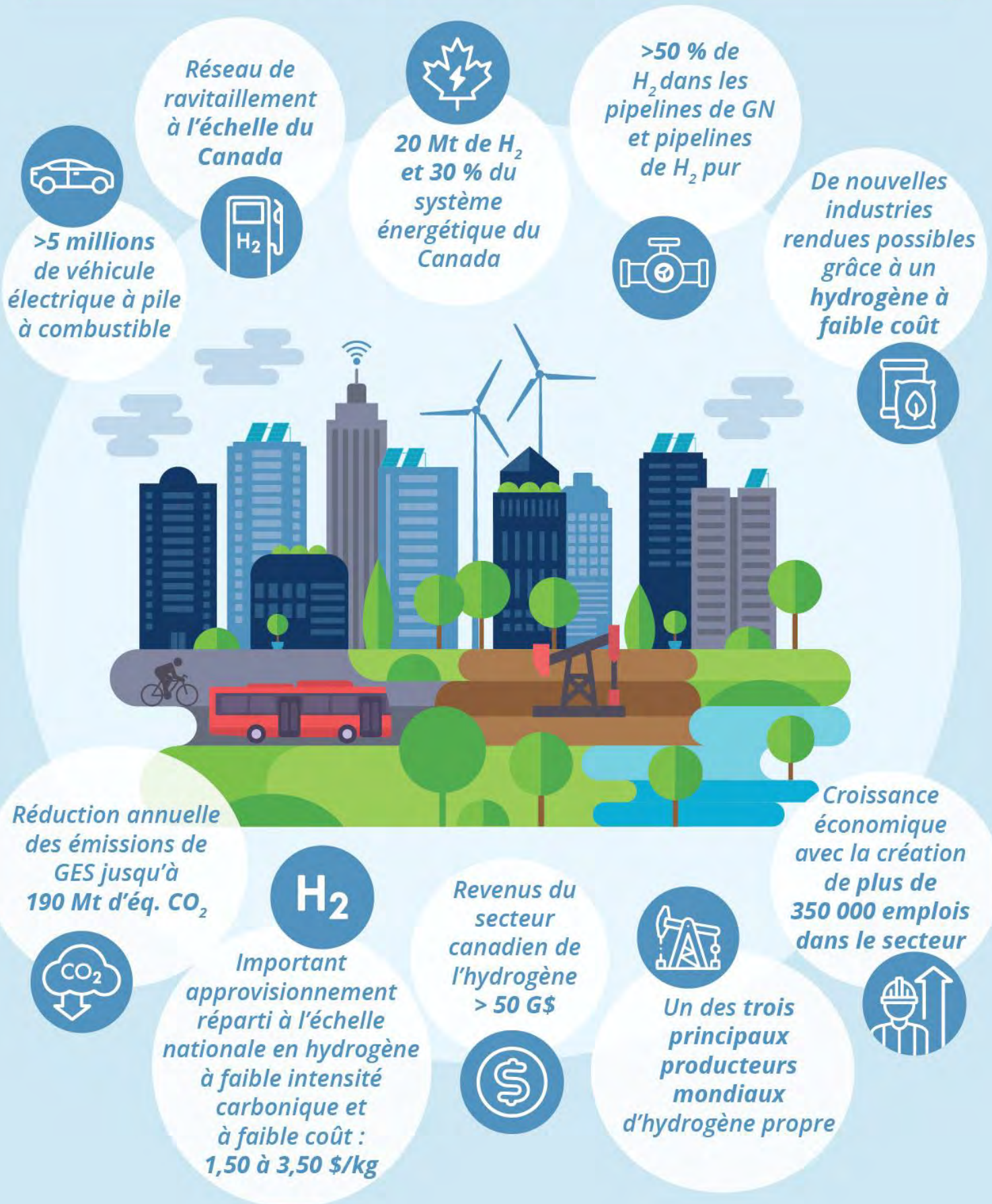
Les possibilités offertes par l'hydrogène au Canada sont considérables. Le Canada dispose de tous les ingrédients et avantages comparatifs nécessaires pour développer un marché national de l'hydrogène dynamique et prospère. Les ressources du Canada sont adaptées à la production de grandes quantités d'hydrogène propre et concurrentiel sur le plan des coûts, qui peuvent décarboniser nos secteurs d'utilisation finale les plus difficiles à décarboniser d'un océan à l'autre. Le déploiement de l'hydrogène offrira des avantages économiques, environnementaux et sanitaires aux Canadiens et soutiendra les entreprises canadiennes à l'avant-garde des secteurs de l'hydrogène et des piles à combustible. Bien que la priorité immédiate soit de permettre un déploiement national à grande échelle de l'hydrogène, les possibilités d'exportation de l'hydrogène canadien, ainsi que des produits, des services et de la propriété intellectuelle, présentent également un fort potentiel, stimulé par la croissance de la demande mondiale d'hydrogène.

La figure « *Vision de l'avenir de l'hydrogène au Canada en 2050* » présente l'ampleur des possibilités offertes par l'hydrogène au Canada. Si nous considérons l'hydrogène comme un élément stratégique et nécessaire de la transition du Canada vers un avenir plus inclusif et plus équitable en matière d'énergie propre, il peut jouer un rôle essentiel en nous aidant à atteindre la cible zéro émission nette d'ici 2050 tout en maintenant l'abordabilité, la fiabilité et la durabilité de l'approvisionnement en énergie du Canada. L'alignement sur une vision commune est essentiel pour nous mettre sur la bonne voie dès maintenant.

La section « *Feuille de route pour 2050* » présente les actions à mener au cours des cinq prochaines années pour jeter les bases du déploiement de l'hydrogène au Canada, développer et diversifier le secteur à moyen terme et parvenir à une expansion rapide du marché à long terme.

Le moment est venu d'agir, et la publication de cette stratégie n'est que le point de départ. Un ensemble de huit piliers de recommandations comportant des mesures précises est présenté à titre d'orientation pour les divers comités, groupes de travail et intervenants du gouvernement et de l'industrie qui, ensemble, feront progresser le plan de mise en œuvre.

VISION DE L'AVENIR DE L'HYDROGÈNE AU CANADA EN 2050



FEUILLE DE ROUTE POUR 2050

À court terme : préparation du terrain

Les cinq prochaines années viseront à jeter les bases de l'économie de l'hydrogène au Canada. Cela comprend le développement de nouvelles infrastructures d'approvisionnement et de distribution de l'hydrogène pour soutenir les premiers centres de déploiement dans les applications matures tout en soutenant les démonstrations canadiennes dans les applications émergentes. Des mesures précoces sont essentielles pour stimuler les investissements dans le secteur, tout comme l'introduction de mesures stratégiques et réglementaires nécessaires pour faire progresser le Canada vers la voie de l'atteinte des cibles de zéro émission nette. Des règlements comme la Norme sur les combustibles propres seront essentiels pour stimuler les investissements à court terme dans le secteur, en plus de mettre en place de nouvelles mesures stratégiques et réglementaires qui feront progresser le Canada vers l'atteinte de la cible de zéro émission nette d'ici 2050. Pour atteindre les objectifs à moyen et à long terme, il faut investir tôt dans l'innovation. Au stade précoce, il faut entre 5 et 10 ans pour réaliser une R-D « de pointe » et des travaux supplémentaires peuvent être nécessaires pour atteindre la pleine maturité. Même à un stade plus avancé, le soutien à l'efficacité des processus ou à la réduction des coûts peut prendre plusieurs années, suivi de plus de temps pour les essais pilotes et les démonstrations.

Le secteur pétrolier canadien est un important moteur d'investissements, lesquels se sont chiffrés à 52 milliards de dollars en 2019. Malgré la baisse du prix du pétrole et l'incertitude quant à la reprise économique après la COVID-19, le gouvernement a l'occasion de s'associer à l'industrie pour mener des projets de production de l'hydrogène à des fins commerciales dans le cadre du programme de consommation énergétique nette zéro du secteur. De même, l'industrie chimique peut adopter l'hydrogène propre comme matière première avec la participation du gouvernement.

À court terme, l'utilisation émergente de l'hydrogène sera dominée par des applications matures commercialisables ou en voie de l'être, y compris la valorisation du pétrole et du gaz, les usines d'éthanol et les usines de valorisation du gaz d'enfouissement ou du biogaz en GNR, les chariots élévateurs à fourche, les VEPC légers et les autobus électriques à pile à combustible liés aux activités de transport en commun. Les applications précommerciales comme les camions lourds, l'équipement de transport des marchandises de port maritime, les solutions de chauffage pour l'environnement bâti, et les applications relatives aux matières premières industrielles seront présentées en tant que projets pilotes dans les centres régionaux.



Ces centres régionaux seront fortement influencés par :

- ◆ les approbations réglementaires concernant le mélange de l'hydrogène avec le gaz naturel afin de décarboniser le système de distribution des services publics;
- ◆ la disponibilité de preuves techniques provenant de projets pilotes pour éclairer l'intégration sécuritaire des piles à combustible dans les régimes réglementaires nationaux, c'est-à-dire la *Loi sur la sécurité ferroviaire*, la *Loi sur la sécurité automobile*;

- ◆ la meilleure forme de gaz renouvelable dans un contexte régional, c'est-à-dire la meilleure utilisation de l'hydrogène, du GNR et du biogaz;
- ◆ les exigences relatives aux VZE pour les véhicules à passagers, y compris la réglementation du Québec et de la Colombie-Britannique;
- ◆ la présence d'écarts dans les plans de conformité à la NCP qui favoriseront la production d'hydrogène à faible teneur en carbone pour des applications industrielles, y compris la valorisation des carburants de transport;
- ◆ les infrastructures existantes de production et de distribution d'hydrogène pouvant être exploitées (par exemple, la capacité de liquéfaction au Québec ou le reformage du méthane à la vapeur avec séquestration du carbone en Alberta).

À moyen terme : croissance et diversification

Les activités visant à stimuler le secteur au cours des cinq prochaines années seront suivies par la croissance et la diversification du secteur durant la période de 2025 à 2030. Les premiers centres de déploiement se développeront, et de nouveaux centres seront créés, reliés par des infrastructures le long des corridors. Afin d'exploiter les possibilités décrites dans le scénario transformateur de 2050, le Canada devrait avoir pour objectif d'atteindre 10 à 20 % de la cible d'ici 2030 en ce qui concerne les volumes de déploiement et la réduction des GES.

À mesure que la technologie gagnera en maturité et que le vaste éventail d'utilisations finales atteindra les niveaux de maturité technologique de la commercialisation ou s'en approchera, l'utilisation de l'hydrogène à moyen terme sera axée sur les applications qui offrent la meilleure proposition de valeur par rapport aux autres technologies sans émission. Par exemple, les véhicules électriques à pile à combustible et les autobus de transport en commun entreront dans une phase d'expansion rapide à mesure que le marché de la technologie des piles à combustible et des batteries sera mieux défini. Les piles à combustible gagneront en popularité dans des segments de marché particuliers où la technologie des batteries présentera des difficultés techniques sur le plan du temps de chargement, des besoins en énergie, de l'autonomie, de l'aptitude en pente et du fonctionnement dans des climats extrêmes. Dans les régions dont le bassin d'air fait l'objet d'une réglementation, les camions lourds de catégorie 8 parcourant les corridors qui nécessitent des charges utiles lourdes et l'équipement de factage seront déployés à des fins commerciales.

Durant cette période, la nouvelle production d'hydrogène à grande échelle à moyen terme permettra la commercialisation de l'hydrogène ou du mélange hydrogène-gaz naturel dans des centres régionaux pour être utilisé par le secteur industriel et l'environnement bâti, ainsi que comme matière première pour la production chimique et la valorisation d'hydrocarbures. La production d'hydrogène propre à grande échelle dans le segment en amont du secteur pétrolier et gazier permettra de fournir de l'hydrogène à faible coût à des volumes qui peuvent profiter à d'autres secteurs.

Le déploiement des applications précommerciales comme les camions de livraison de catégorie 5 à 7 qui roulent dans les zones urbaines à zéro émission, le transport ferroviaire des voyageurs et des marchandises (l'infrastructure des portiques nécessaire pour électrifier la ligne est trop coûteuse), les véhicules miniers et les petits navires canadiens continue à se développer. La production de méthanol et de carburants liquides synthétiques devrait connaître une progression et une croissance similaires.

Un cadre réglementaire et des technologies prêtes à être commercialisées devraient permettre le déploiement de l'hydrogène dans les opérations minières dans diverses applications d'énergie stationnaire et de transport des marchandises. Avec l'introduction croissante des énergies renouvelables dans les réseaux électriques, des projets pilotes visant à explorer l'hydrogène comme fluide accumulateur à échelle industrielle seront nécessaires.

À long terme : expansion rapide du marché

Au cours de la période de 2030 à 2050, le Canada commencera à tirer pleinement profit d'une économie de l'hydrogène, à mesure que l'échelle des déploiements et le nombre de nouvelles applications commerciales augmenteront, grâce à l'infrastructure fondamentale d'approvisionnement et de distribution du Canada.

À long terme, on prévoit que grâce au développement des technologies relatives aux batteries et au chargement, il existera une division plus nette entre l'utilisation des batteries et celle des piles à combustible au Canada à des fins de transport. Par conséquent, les applications ayant une demande de puissance élevée (orientées vers les services publics) pencheront vers l'hydrogène pour le stockage de l'énergie, tandis que les applications ayant une demande de puissance moindre (orientées vers l'efficacité énergétique) pencheront vers les batteries pour le stockage de l'énergie. Les nouvelles applications de transport passeront aux phases commerciales et d'expansion rapide au cours de cette période.

À mesure que le pourcentage d'hydrogène dans les systèmes à gaz naturel augmentera, les hydrogénéoducs constitueront une option intéressante.

À mesure que l'hydrogène à faible IC sera plus largement offert au Canada, les industries existantes et responsables de grandes quantités d'émissions pourront adapter leurs activités, notamment la production d'engrais à base d'ammoniac et d'azote et d'acier à faible teneur en carbone.

COURT TERME (2020-2025)*Préparation du terrain***MOYEN TERME (2025-2030)***Croissance et diversification***LONG TERME (2030-2050)***Expansion rapide du marché***PRODUCTION D'HYDROGÈNE****Intensité carbonique**< 36,4 g d'éq. CO₂/MJ**Diminution au fil du temps****Seuil d'énergie renouvelable des projets soutenus par le gouvernement**

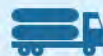
> 33 %

Augmentation au fil du temps**Coût de l'hydrogène livré**5,0 à
12,0 \$/kg

1,5 à 3,5 \$/kg

DISTRIBUTION + STOCKAGE**Hydrogène gazeux**

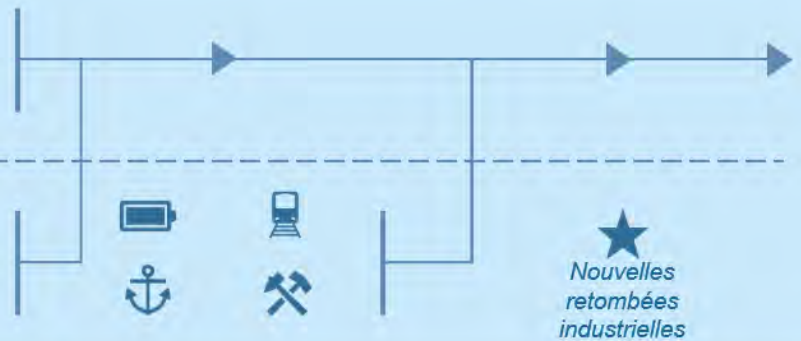
250 bars

450 bars
ou plus450 bars
ou plus**Hydrogène liquide**

Côte Est

Partout au
CanadaPartout au
Canada**Pipeline**Mélange H₂-GNMélange H₂-GN +
H₂ pur (hydrogénoduc)Mélange H₂-GN +
H₂ pur
(hydrogénoduc)**Stockage géologique**

Caverne de sel

UTILISATION FINALE**Utilisation commerciale****Projets pilotes****CENTRE RÉGIONAL**

Création de centres régionaux notoires incorporant à grande échelle la chaîne de valeur complète



Expansion des centres, connexions des corridors et mise au point de nouveaux centres



Déploiement pancanadien complet, et commerce et coopération interprovinciaux

R-D-D

R-D-D soutenue dans le domaine des matériaux de pointe, des technologies de production et de stockage de l'hydrogène, du CUSC et des applications d'utilisation finale

RÉALISATIONS**Production d'hydrogène**3 Mt/année
(intensité carbonique élevée)4 Mt/année
(faible intensité carbonique)20 Mt/année
(faible intensité carbonique)**Pourcentage de l'énergie livrée associée à l'hydrogène (%)**

1,6 %

6,2 %

30 %

Réduction des GES

Jusqu'à 45 Mt

Jusqu'à 190 Mt

LE MOMENT D'AGIR

Il est grand temps pour le Canada d'agir. Les gouvernements du monde entier élaborent des plans de relance pour un secteur énergétique vert et inclusif tout en publiant et en mettant en œuvre des stratégies sur l'hydrogène qui créent un élan mondial. En 2019, le Canada a profité de cet élan en élaborant et en lançant une nouvelle initiative sur l'hydrogène dans le cadre de la réunion ministérielle sur l'énergie propre, conçue pour être la pierre angulaire du déploiement mondial de l'hydrogène. Aujourd'hui, un an plus tard, le Canada est prêt à tirer de nouveau parti de cet élan pour accroître les possibilités nationales de production et d'utilisation finale de l'hydrogène, tout en profitant de la croissance de la demande mondiale.

Bien que la pandémie de la COVID-19 ait ébranlé tous les secteurs de l'économie, la reprise offre également une occasion unique de rebâtir un avenir énergétique plus vert et plus équitable. L'Agence internationale de l'énergie a recommandé aux gouvernements de placer les solutions énergétiques propres, comme l'hydrogène, au cœur des plans de relance. Les investissements dans les infrastructures vertes sont essentiels à la réalisation des engagements du gouvernement fédéral du Canada en matière de reprise économique après la pandémie, de croissance propre et de changements climatiques. Il faudra de nombreuses années pour se remettre des répercussions économiques de la COVID-19. Les fonds de stimulation peuvent représenter une occasion d'investissement unique et essentielle pour les infrastructures de base et les compétences nécessaires pour soutenir le secteur. Si l'occasion est manquée, le Canada risque de perdre sa longueur d'avance concurrentielle à mesure que les mesures d'austérité entreront en vigueur pendant la période de reprise prévue.

Recommandations

Les recommandations ont été élaborées en consultation avec les intervenants et représentent les mesures nécessaires pour jeter les bases en vue de maximiser les avantages de l'hydrogène dans le futur système énergétique diversifié du Canada. Elles éclaireront l'élaboration de plans d'action concrets lors de la phase de mise en œuvre qui suivra immédiatement après la publication de cette stratégie. Les recommandations énoncées dans cette section représentent des thèmes à l'échelle du secteur. Des recommandations ont été proposées dans huit domaines piliers :

- ◆ **Pilier 1 : Partenariats stratégiques** – *Utiliser stratégiquement les partenariats existants et nouveaux pour collaborer et planifier l'avenir de l'hydrogène au Canada.*
- ◆ **Pilier 2 : Atténuation des risques liés aux investissements** – *Établir des programmes de financement, des politiques à long terme et des modèles d'affaires pour encourager l'industrie et les gouvernements à investir dans la croissance de l'économie de l'hydrogène.*
- ◆ **Pilier 3 : Innovation** – *Prendre des mesures visant à soutenir davantage la R-D, définir les priorités en matière de recherche et encourager la collaboration entre les intervenants afin que le Canada conserve son avantage concurrentiel et son leadership mondial dans les technologies de l'hydrogène et des piles à combustible.*
- ◆ **Pilier 4 : Codes et normes** – *Moderniser les codes et normes existants et en élaborer de nouveaux afin de suivre le rythme de cette industrie en évolution rapide et d'éliminer les obstacles au déploiement, à l'échelle tant nationale qu'internationale.*

- ◆ **Pilier 5 : Politiques et réglementation habilitantes** – Veiller à ce que l'hydrogène soit intégré dans les feuilles de route et les stratégies en matière d'énergie propre à tous les ordres de gouvernement et encourager son application.
- ◆ **Pilier 6 : Sensibilisation** – Prendre l'initiative à l'échelle nationale pour veiller à ce que les communautés, le secteur privé et l'ensemble de la population soient au courant de la sécurité, de l'utilisation et des avantages de l'hydrogène à une époque où les technologies évoluent rapidement.
- ◆ **Pilier 7 : Plans d'action régionaux** – Mettre en œuvre un effort de collaboration avec les différents ordres de gouvernement pour faciliter l'élaboration de plans d'action régionaux sur l'hydrogène afin de déterminer les possibilités et les plans particuliers pour la production et l'utilisation finale de l'hydrogène.
- ◆ **Pilier 8 : Marchés internationaux** – Collaborer avec nos partenaires internationaux pour s'assurer que l'élan mondial en faveur des carburants propres comprenne l'hydrogène afin que les industries canadiennes prospèrent au pays et à l'étranger.

Pour chacun des huit piliers, une série de quatre mesures concrètes et une justification sont fournies dans la section suivante.



Pilier 1 : Partenariats stratégiques

1

Collaboration entre différents ordres de gouvernement et avec les groupes autochtones par l'entremise de groupes de travail intergouvernementaux afin d'établir les domaines prioritaires de déploiement et de partager les connaissances, les pratiques exemplaires et les leçons apprises des déploiements précoces.

2

Élargissements de partenariats publics-privés en tirant parti des entreprises canadiennes de technologies propres novatrices et de l'expertise de calibre mondial en matière d'hydrogène et de piles à combustible afin d'accélérer les projets de déploiement dans l'ensemble de la chaîne de valeur.

3

Promotion de collaborations intersectorielles au sein des centres de déploiement régionaux afin de montrer les avantages économiques et opérationnels des multiples applications fonctionnant dans le cadre d'un écosystème intégré.

4

Optimisation des collaborations internationales et poursuite des initiatives internationales synergiques afin d'attirer des investissements étrangers directs et d'accélérer les possibilités pour le Canada sur les marchés mondiaux.



Justification

L'hydrogène est un vecteur énergétique qui traverse les frontières géographiques, relie des systèmes énergétiques tels que les réseaux d'électricité et de gaz naturel, et dont les avantages sont mieux démontrés dans les déploiements intégrés qui couvrent de multiples applications finales. Selon les intervenants, un meilleur partage de renseignements et une meilleure collaboration entre les régions et les secteurs sont nécessaires pour développer l'économie de l'hydrogène au Canada. Des partenariats stratégiques sont nécessaires entre les différents ordres de gouvernement et les régions, entre les secteurs public et privé, avec les groupes autochtones, entre les secteurs industriels et le milieu universitaire, et avec les partenaires internationaux.

La coordination entre tous les ordres de gouvernement sera essentielle pour harmoniser les politiques et les programmes, et pour cerner les domaines de collaboration. Cette coordination serait le plus efficacement assurée par l'entremise d'un groupe de travail intergouvernemental. De même, pour s'assurer que les perspectives, les besoins et les priorités uniques des groupes autochtones sont bien représentés, on pourrait envisager la création d'un groupe de travail autochtone.

Le gouvernement et l'industrie doivent travailler en étroite collaboration, chacun jouant un rôle important, mais distinct et apportant chacun des ressources, une expertise et une perspective. Des partenariats stratégiques entre le gouvernement et l'industrie sont également essentiels pour réussir le déploiement de l'hydrogène au pays. Une adoption précoce est susceptible de se produire dans des domaines qui rassemblent les gouvernements, les producteurs de carburant, les utilisateurs finaux et d'autres acteurs clés dans un centre, un concept qui garantirait une croissance de l'offre et de la demande.

Des centres de déploiement nationaux de grande envergure ou des « projets phares » seront importants pour démontrer la rentabilité de l'hydrogène à grande échelle. Ces premiers centres de déploiement canadiens devraient être encouragés à inclure une participation pancanadienne, dans la mesure du possible, et à prévoir des activités de sensibilisation ciblées et le partage de renseignements. Le lancement de ces projets a déjà commencé, de nombreux projets « prêts à démarrer » étant proposés comme initiatives de relance écologique.

Le Canada ne peut y parvenir tout seul. Si le Canada a fait preuve d'un leadership précoce dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustible, l'activité et les investissements dans le domaine de l'hydrogène se sont accélérés partout dans le monde, d'autres pays élaborant des plans détaillés pour leurs propres marchés intérieurs et d'exportation. Le Canada peut tirer des leçons de l'expérience de ses partenaires internationaux et contribuer à la croissance des débouchés commerciaux internationaux en partageant les leçons tirées de ses activités nationales. Les partenariats internationaux comprendront des collaborations gouvernementales sur les approches stratégiques, des collaborations en matière de recherche dans des domaines d'intérêt commun, la participation à l'élaboration de normes et de codes internationaux, et le développement de débouchés commerciaux. Les partenariats internationaux peuvent être facilités par l'initiative sur l'hydrogène, l'Agence internationale de l'énergie jouant le rôle d'agent d'exécution, ainsi que par les canaux de soutien au commerce et à l'investissement canadiens.



Pilier 2 : Atténuation des risques liés aux investissements

5

Mise en œuvre de politiques à long terme qui créent une certitude quant à la demande en hydrogène et atténuent les risques liés aux investissements du secteur privé nécessaires à la mise en place des infrastructures d'approvisionnement et de distribution.

6

Établissement de programmes pluriannuels ainsi que d'un cadre réglementaire clair et à long terme pour soutenir les premiers projets de production et d'utilisation finale, y compris un soutien visant à évaluer la faisabilité des projets.

7

Développement de centres de déploiement régionaux pour démontrer, valider et mettre en œuvre des analyses de rentabilité d'un bout à l'autre de la chaîne de valeur intégrale, de la production et de la distribution à l'utilisation finale.

8

Facilitation d'occasions de cofinancement, en tirant parti des différents ordres de gouvernement et du secteur privé.



Justification

On estime qu'il faudra de 5 à 7 milliards de dollars d'investissements publics et privés combinés au cours des cinq années à venir pour jeter les bases d'une économie nationale de l'hydrogène forte qui maximisera les réductions d'émissions et assurera une croissance économique à long terme pour le secteur. Pour attirer des investissements de cette ampleur provenant de sources nationales et internationales, il faut prendre des mesures sur plusieurs fronts afin de réduire les risques liés aux investissements.

Les gouvernements à tous les échelons, ainsi que les intervenants du secteur privé auront tous un rôle à jouer dans la réduction des risques liés à ces investissements.

Les politiques à long terme comme la Norme sur les combustibles propres (NCP) du gouvernement fédéral et la tarification du carbone sont des étapes importantes vers la création d'un environnement plus sûr pour les investisseurs. La NCP pourrait reconnaître l'hydrogène comme une voie pour réduire l'intensité carbonique des carburants classiques et le fardeau de crédit qui en découle. La NCP pourrait également offrir des possibilités de génération de crédits et de financement pour les projets visant à produire de l'hydrogène propre. Bien que la NCP n'exclue pas ces voies, il est possible d'être plus explicite sur la manière dont l'hydrogène peut être considéré comme un mécanisme de conformité.

Des politiques gouvernementales à long terme comme la tarification du carbone qui tiennent compte des effets externes des changements climatiques, de la pollution atmosphérique, des problèmes de santé connexes et de la sécurité énergétique peuvent également servir de signal pour stimuler les investissements. Le gouvernement peut également veiller à la stabilité du marché en montrant l'exemple au moyen de solides politiques d'approvisionnement. Cette initiative a été couronnée de succès au Québec, où l'acquisition par le gouvernement

provincial de VEPC à Québec a stimulé la construction d'infrastructures de ravitaillement par l'industrie.

Les déductions fiscales accordées aux entreprises, aux institutions et aux particuliers dans le domaine des technologies propres constituent un autre mécanisme permettant de réduire les risques liés aux investissements et d'attirer ces derniers, tout comme l'élargissement de la déduction pour amortissement accéléré de 100 % à tous les investissements dans les technologies propres, y compris ceux dans le domaine de l'hydrogène.

Au Canada, le marché de l'hydrogène à faible IC en est à ses tout débuts. Bien que le secteur doive en fin de compte être autonome, un soutien financier temporaire pour atténuer les risques liés aux investissements tout au long de la chaîne de valeur est nécessaire au cours des 5 à 10 prochaines années.

Le Canada peut s'inspirer d'autres régions comme la Californie, où les engagements de financement pluriannuels établis ont été efficaces. Par exemple, la California Energy Commission finance la construction d'infrastructures relatives à l'hydrogène conjointement avec un programme relatif à la norme de carburant à faible teneur en carbone (Low Carbon Fuel Standard) qui offre des paiements de capacité pour assurer la certitude des revenus pendant que la demande en hydrogène augmente.

Les modèles de financement devraient évoluer au fil du temps. Au début, les ressources pourraient soutenir des projets qui couvrent toute la chaîne de valeur, à la fois par l'entremise de centres de déploiement régionaux et de projets à grande échelle. Un travail initial considérable est nécessaire pour développer des projets complexes de cette nature, d'un point de vue technique et économique, avant que les projets nationaux puissent passer à la phase de mise en œuvre. Le soutien aux études de faisabilité doit être considéré comme une première étape essentielle du développement d'un projet.



Pilier 3 : Innovation

9

Élaboration de priorités stratégiques en matière de recherche fondamentale dans lesquelles le Canada peut durablement exceller et apporter une valeur économique; définition des objectifs en matière de rendement technologique et de coûts.

10

Établissement de fonds réservés pour les initiatives de recherche, de développement et de démonstration (R-D-D) soutenus afin de garantir que le Canada conserve sa position de chef de file dans les technologies de l'hydrogène et des piles à combustible.

11

Mise à profit de l'expertise des universités, des laboratoires gouvernementaux et des laboratoires du secteur privé pour créer des centres de recherche régionaux et encourager les approches axées sur les missions en matière de recherche, de développement et de projets pilotes de déploiement.

12

Promotion de la collaboration entre les laboratoires fédéraux, l'industrie et les universités, ainsi qu'avec les partenaires internationaux, en soutenant des projets fondés sur le consensus relativement à la recherche fondamentale et en coordonnant les examens et le partage de renseignements.



Justification

Le Canada a été l'un des premiers chefs de file dans le secteur de l'hydrogène et des piles à combustible et il est reconnu à l'échelle mondiale comme une région de l'expertise technique, de la propriété intellectuelle et des produits et services de pointe. Bien que certaines technologies de l'hydrogène et des piles à combustible soient à un niveau de maturité commerciale, un soutien à la R-D-D est nécessaire pour réduire davantage les coûts, concevoir des solutions dans les applications moins matures et découvrir de nouvelles technologies de pointe. Il est essentiel de demeurer à la pointe de l'innovation pour maintenir l'avantage concurrentiel du Canada. D'autres pays ayant augmenté rapidement leurs investissements dans ce secteur, le Canada risque de perdre sa position de chef de file. Par conséquent, certaines entreprises canadiennes mettent sur pied des centres de recherche ou délocalisent une partie de leurs activités dans d'autres pays dans lesquels les progrès technologiques sont davantage soutenus. Le Canada doit impérativement prendre des mesures dès maintenant pour prévenir la perte de la propriété intellectuelle essentielle et d'emplois dans le secteur des technologies propres.

Le Canada possède déjà un secteur des piles à combustible de premier plan dont l'expertise couvre notamment les matériaux fondamentaux et les systèmes et véhicules complets. Il sera essentiel de miser sur ces forces en cernant, en consultation avec les intervenants du milieu universitaire et de l'industrie, les domaines prioritaires dans lesquels les chercheurs canadiens peuvent exceller. Le Canada dispose également d'importantes technologies complémentaires, comme le CUSC et le stockage de l'hydrogène, qui sont uniques à la géologie du pays. Le Canada peut également tirer parti de l'expertise existante en ingénierie ou en intégration de systèmes à l'aide des centres de déploiement afin de renforcer les compétences et les connaissances locales tout en favorisant une main-d'œuvre plus diversifiée et plus inclusive.

Une approche axée sur les missions permettrait de définir une orientation claire et d'harmoniser les efforts des participants de l'écosystème énergétique, tout en utilisant la gamme complète d'instruments gouvernementaux pour générer des investissements et des innovations dans l'ensemble de l'économie.

Le financement de la recherche et du développement de pointe doit provenir à la fois du secteur public et du secteur privé. Les intervenants ont relevé des lacunes et des limites, notamment en ce qui concerne le montant du financement du gouvernement canadien pouvant être utilisé comme « financement de contrepartie » dans le cadre de projets de collaboration internationale.

La collaboration entre les laboratoires fédéraux, l'industrie et les universités est nécessaire pour stimuler l'innovation et former la prochaine génération de talents dans le secteur. Le Canada a vu des talents être recrutés par d'autres régions et des efforts sont nécessaires pour lutter contre l'« exode des compétences ». Sans meilleurs talents, l'innovation ralentira. Pour attirer de nouveaux jeunes talents dans le secteur, les étudiants doivent être en mesure d'établir un lien avec les possibilités offertes par l'industrie, ce qui peut être facilité par des collaborations entre l'industrie et le milieu universitaire, par des concours d'étudiants commandités par l'industrie, ainsi que par des stages et des placements en alternance travail-études. Un mécanisme canadien d'établissement de cibles et de domaines prioritaires inspiré du plan pluriannuel de recherche, de développement et de démonstration du département de l'Énergie des États-Unis (DOE) pourrait être utilisé pour fournir des repères en vue d'atteindre des objectifs communs. Des examens visant à suivre les progrès et à partager les renseignements pourraient être coordonnés sous la forme d'un examen annuel du mérite.

L'expertise canadienne dans le développement de la technologie de l'hydrogène, tant dans le milieu universitaire que dans le secteur privé, est reconnue dans le monde entier. Des ressources soutenues pour appuyer l'innovation permettront également aux chercheurs canadiens de renforcer la collaboration à l'échelle internationale. Les collaborations internationales accéléreront à terme le déploiement de l'hydrogène tant au pays qu'à l'étranger.



Pilier 4 : Codes et normes

- 13 *Mise à jour, harmonisation et reconnaissances de codes et de normes (y compris le Code canadien d'installation de l'hydrogène) afin de permettre les déploiements et de faciliter l'adoption de nouvelles technologies et infrastructures dans les premiers marchés.*
- 14 *Formation de groupes de travail sur les codes et les normes comprenant des représentants des autorités compétentes interprovinciales, afin de partager les leçons apprises et de cerner les lacunes liées aux codes et aux normes.*
- 15 *Élaboration de normes fondées sur le rendement plutôt que prescriptives, et veiller à ce que l'hydrogène ne soit pas exclu des codes, normes et règlements dont la portée est plus large en raison d'un libellé restrictif.*
- 16 *Facilitation du leadership et de la participation du Canada aux efforts visant des normes et des certifications internationales (p. ex., élaboration de mesures de l'intensité carbonique à l'échelle mondiale, niveaux de mélange de l'hydrogène dans les systèmes de gaz naturel) et simplification du commerce international.*



Justification

Le déploiement de technologies relatives à l'hydrogène, y compris les piles à combustible et l'infrastructure de ravitaillement, en est à ses débuts dans de nombreuses régions du Canada. Il est important que des codes et des normes soient en place pour soutenir le déploiement et suivre le rythme des nouvelles technologies et innovations. Dans la mesure du possible, ces normes devraient être fondées sur le rendement plutôt que prescriptives afin de garantir que l'innovation ne soit pas limitée dans ce secteur émergent.

Le Canada dispose d'une infrastructure de normalisation mature dirigée par le Conseil canadien des normes et des organismes nationaux d'élaboration des normes (OEN) tels que le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) et l'Association canadienne de normalisation (CSA). Cependant, ces organisations dépendent des ressources et de l'expertise en la matière de l'industrie et des gouvernements pour faciliter leur travail.

L'une des pièces maîtresses au Canada est le Code canadien d'installation de l'hydrogène (CCIH), qui fixe les exigences quant à l'installation des équipements de production ou de distribution d'hydrogène, et des équipements fonctionnant à l'hydrogène. Bien que le CCIH ait été le premier du genre au monde lorsqu'il a été élaboré en 2010, il n'a pas été tenu à jour pour inclure les progrès et les connaissances les plus récentes. Ainsi, il a fallu s'appuyer sur des codes plus récents d'autres pays dans le cadre d'activités nationales de déploiement de l'hydrogène. Cette différence entre les pratiques établies de l'industrie et le code national a entraîné des incohérences dans la manière dont les autorités compétentes (AC) reconnaissent et certifient les projets relatifs à l'hydrogène dans le pays. Bien qu'une version mise à jour du CCIH soit en cours de finalisation, les futures mises à jour plus opportunes du code et la reconnaissance/mise en œuvre par les provinces seront essentielles pour faciliter l'installation et l'exploitation de nouveaux équipements relatifs à l'hydrogène au Canada.

La décarbonisation du gaz naturel, l'une des principales applications de l'hydrogène, nécessite des modifications de la réglementation au sein des provinces pour permettre l'utilisation de l'hydrogène dans les réseaux de distribution et de transport de gaz naturel. Ces modifications de la réglementation (p. ex., l'élargissement de la définition du gaz renouvelable) seront étayées par des normes et des codes techniques détaillés, par exemple en ce qui concerne la compatibilité des matériaux, la conception et les essais des principaux composants du système.

La révision, l'élaboration et l'adoption de codes et de normes clés sont un élément essentiel pour permettre au Canada d'exploiter le potentiel de l'hydrogène. Ce travail nécessitera un effort coordonné entre l'industrie, les OEN, les laboratoires d'essai nationaux, les gouvernements provinciaux et fédéral, ainsi que les autorités compétentes. Dans le cadre du plan de mise en œuvre, il est recommandé de créer un groupe de travail consacré aux codes et aux normes qui inclut l'industrie tout au long de la chaîne de valeur, les OEN, les laboratoires d'essais nationaux, les universités et les gouvernements provincial et fédéral. Les membres du groupe de travail devraient travailler par l'entremise d'un groupe de normalisation collaboratif afin de cerner clairement les lacunes dans les codes et les normes relatifs à l'hydrogène au Canada et d'élaborer un plan d'action hiérarchisé pour combler ces lacunes. À mesure que des codes et des normes plus vastes seront élaborés (p. ex., la définition du GNR dans les réseaux de gaz naturel), il sera important d'établir des normes fondées sur le rendement qui n'excluent pas l'hydrogène.

L'un des moyens les plus efficaces d'accélérer l'adoption de l'hydrogène au pays consiste à mettre l'accent sur l'harmonisation des normes canadiennes avec les exigences internationales en matière de sécurité, de rendement et de fiabilité, surtout dans les provinces et territoires où les fournisseurs canadiens travaillent beaucoup. Des normes harmonisées permettent aux entreprises canadiennes de soutenir plusieurs marchés avec la même conception d'équipement, en évitant une personnalisation coûteuse, des essais de certification inutiles et des obstacles potentiels à l'entrée sur le marché.



Pilier 5 : Politiques et réglementation habilitantes

Efforts visant à ce que tous les ordres de gouvernement tiennent compte du rôle essentiel de l'hydrogène dans l'avenir énergétique du Canada dans le cadre de l'élaboration de nouvelles politiques, de nouveaux programmes et de nouveaux règlements.

17

Encouragement des gouvernements à moderniser et à mettre à jour les politiques, les programmes et la réglementation existants afin de faciliter la croissance de la production et de l'utilisation finale de l'hydrogène à l'échelle nationale.

18

Efforts visant à ce que l'hydrogène soit intégré aux feuilles de route nationales et provinciales/territoriales sur l'énergie propre.

19

Établissement de normes basées sur le rendement et neutres sur le plan technologique afin de définir le seuil de l'intensité carbonique associée à la production de l'hydrogène. Établissement d'exigences à paliers et fondées sur le temps concernant la teneur en hydrogène renouvelable dans les projets soutenus par le gouvernement.

20



Justification

L'avenir net zéro du Canada sera alimenté par deux formes d'énergie, l'énergie et les carburants à faible teneur en carbone. L'hydrogène pourrait représenter jusqu'à 30 % de l'énergie livrée au Canada dans un avenir net zéro, ce qui permettrait de combler l'écart dans les secteurs les plus énergivores et les plus difficiles à décarboniser. Les gouvernements devraient tenir compte du rôle essentiel que l'hydrogène peut jouer dans notre avenir net zéro au moment d'élaborer leurs propres politiques, programmes et règlements climatiques à long terme.

De même, il est possible de tirer parti des politiques, des programmes et des règlements existants afin qu'ils soutiennent une voie vers un avenir net zéro, qui comprend l'hydrogène, et soient harmonisés à cette voie.

Les régions qui ont le mieux réussi à stimuler l'adoption de l'hydrogène ont mis au point une combinaison de réglementations et de programmes qui fonctionnent ensemble; les intervenants ont indiqué que c'est ce qu'il faut comme approche pancanadienne cohérente. Les outils réglementaires peuvent exiger l'adoption de technologies de remplacement ou interdire l'utilisation de technologies polluantes classiques. Une exigence relative aux véhicules à zéro émission et la création de zones sans émissions ou l'imposition de taxes routières élevées sur les véhicules à moteur à combustion interne sont des exemples de politiques mises en œuvre dans d'autres régions du monde. Au Canada, la Colombie-Britannique et le Québec ont mis en œuvre des exigences relatives aux VZE, et ce sont les provinces où les VEPC sont déployés et où des investissements dans l'infrastructure sont réalisés.

Les normes d'émissions sont un autre mécanisme pour favoriser l'adoption de véhicules zéro émission et à faibles émissions qui sont considérés comme moins prescriptives que les exigences relatives aux VZE.

Le Canada a mis en place des politiques, des programmes et des règlements pour atteindre les objectifs de décarbonisation et de durabilité. Une des premières activités importantes consistera à moderniser et à mettre à jour les politiques, les programmes et les règlements existants pour s'assurer qu'ils tiennent compte de l'hydrogène.

Pour atteindre les objectifs de décarbonisation à long terme, le Canada doit soutenir toutes les voies à faibles émissions de carbone, y compris l'électrification, les carburants à faible teneur en carbone et l'hydrogène. Une feuille de route globale intégrée pour l'énergie propre à l'échelle nationale et sous-nationale pourrait aider à définir le meilleur rôle pour chaque voie à faible émission de carbone et permettra de cerner la manière dont chacune d'elles peut être synergique. Par exemple, l'hydrogène est parfois perçu comme entrant en concurrence avec l'électrification directe. Cependant, l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur de stockage d'énergie à échelle industrielle peut en fait permettre une plus grande pénétration des énergies renouvelables variables au sein du réseau et contribuer à une électrification accrue. Les feuilles de route doivent tenter d'aller loin dans toutes ces voies pour faire face à l'incertitude inhérente à la transformation radicale qui devra se produire dans le bouquet énergétique du Canada pour atteindre la neutralité carbonique d'ici 2050.

En fin de compte, l'IC et la durabilité de la matière première utilisée pour produire de l'hydrogène sont importants. À court terme, l'accent doit être mis sur l'établissement d'un seuil d'IC clair pour l'hydrogène. De nouvelles politiques devraient être envisagées pour stimuler l'augmentation de la teneur en source non émettrice de l'approvisionnement en hydrogène afin de s'assurer que le Canada développe des sources d'énergie qui peuvent être renouvelées dans un délai raisonnable.



Pilier 6 : Sensibilisation

- 21 *Soutien de la mobilisation et de la sensibilisation communautaires là où des centres sont établis*
- 22 *Établissement de campagnes de sensibilisation visant à informer le gouvernement, l'industrie, le public et d'autres influenceurs importants au sujet de la sécurité, de l'utilisation et des avantages de l'hydrogène.*
- 23 *Mise au point d'une série d'outils et de ressources destinés aux premiers marchés de l'hydrogène afin d'aider les utilisateurs finaux à évaluer l'hydrogène en tant qu'option de façon quantitative dans le cadre de leurs activités Hébergement des outils et des ressources sur un site Web central géré par le gouvernement.*
- 24 *Soutien des collaborations entre l'industrie et le milieu universitaire pour élaborer des programmes d'études propres à l'hydrogène afin de renforcer la sensibilisation, de susciter l'intérêt, de perfectionner les aptitudes pour former la prochaine génération de talents et préparer la main-d'œuvre à de nouvelles possibilités.*



Justification

Les intervenants consultés ont constamment mis en évidence le manque de sensibilisation du public, de l'industrie et du gouvernement aux possibilités offertes par l'hydrogène et aux questions de sécurité. Une sensibilisation accrue à l'hydrogène en tant que voie de décarbonisation viable, sécuritaire et offrant des avantages économiques est essentielle à l'établissement d'un secteur de l'hydrogène dynamique et inclusif.

L'une des meilleures possibilités de sensibilisation est de déployer l'hydrogène à l'échelle nationale dans le cadre de projets de haut niveau comprenant des campagnes de sensibilisation. Les projets qui permettent au grand public d'interagir avec l'hydrogène comme carburant – par exemple, les autobus à pile à combustible, le système Hydrail ou les parcs de véhicules, tels que les services d'autopartage – offrent une plus grande possibilité de sensibilisation. Les projets financés doivent comporter un élément de sensibilisation dans le cadre de la conception du programme.

Une campagne de sensibilisation ciblée sur l'hydrogène devrait être coordonnée partout au pays et proposée à l'échelle régionale à un éventail d'intervenants par le biais de différents canaux sous une marque et une bannière communes. Il peut s'agir de séances spécialisées et des campagnes générales pour sensibiliser les consommateurs à propos de l'hydrogène.

Les gouvernements, l'industrie, les universités, les organisations autochtones et les ONG peuvent tous jouer un rôle important en soutenant la conception d'outils qui permettent aux utilisateurs finaux d'évaluer l'hydrogène comme carburant de remplacement dans leurs activités, en s'assurant que ces outils répondent à leurs besoins et à ceux du grand public. Les exemples comprennent un outil en ligne sur le coût total de propriété (CTP) permettant aux organismes de transport en commun de comparer les coûts du cycle de vie d'un autobus électrique à pile à combustible aux solutions de recharge.

Les secteurs qui sont de grands consommateurs de diesel, tels que le secteur minier où il existe de multiples utilisations potentielles de l'hydrogène et où chaque exploitation est unique, pourraient bénéficier d'un outil en ligne accessible au public qui permet d'évaluer le coût directionnel et d'effectuer l'analyse de rentabilité. Il est nécessaire de disposer d'autres outils de base, tels que des outils de calcul des facteurs de conversion et des renseignements sur les études de cas, qui pourraient être partagés dans un portail centralisé, comme un site Web régulièrement mis à jour.

À mesure que l'économie de l'hydrogène se développe au Canada, la disponibilité d'une main-d'œuvre diversifiée et qualifiée est essentielle. Pour attirer la prochaine génération de talents dans l'industrie et/ou encourager le recyclage dans les secteurs connexes avec des compétences complémentaires, il faut établir un lien clair avec la croissance des possibilités d'emplois bien rémunérés. Il s'agit notamment d'intégrer ces nouvelles possibilités dans les renseignements sur le marché du travail mis à la disposition des Canadiens et Canadiennes pour les aider dans leurs choix d'études et de carrière. Les collaborations entre l'industrie et le milieu universitaire peuvent soutenir la formation, fournir de nouvelles propriétés intellectuelles importantes au profit de l'industrie et montrer aux étudiants qu'il existe une industrie en pleine croissance ouverte à la participation de tous les pans de la société. Ensemble, nous devons travailler à accroître la participation au marché du travail des populations marginalisées et sous-représentées, notamment les femmes, les jeunes, les personnes handicapées et les Autochtones, afin de bâtir un secteur de l'énergie à faibles émissions de carbone plus inclusif et plus équitable. Il est également important d'organiser des campagnes de sensibilisation précoces auprès des élèves des écoles primaires et secondaires relativement à la place de l'hydrogène dans l'avenir global des énergies propres au Canada.



Pilier 7 : Plans d'action régionaux

25

Facilitation de l'élaboration de plans d'action régionaux sur l'hydrogène, dans le cadre d'un effort de collaboration à plusieurs ordres de gouvernement, afin de déterminer les possibilités et les plans particuliers pour la production et l'utilisation finale de l'hydrogène. Assurer la participation du gouvernement fédéral afin de tirer parti des synergies avec la Stratégie canadienne pour l'hydrogène.

26

Repérage d'occasions relatives à l'établissement de centres régionaux, composées de projets dans l'ensemble de la chaîne de valeur.

27

Collaboration avec des intervenants des services publics, d'industries connexes importantes et des entreprises de technologies propres dans le cadre de l'élaboration et de la mise en œuvre de plans d'action

28

Repérage de domaines d'harmonisation avec d'autres provinces ou régions et de domaines pouvant être répliqués par ceux-ci afin de faciliter et d'accélérer l'adoption globale



Justification

L'hydrogène représente une véritable occasion pancanadienne : de l'Ouest canadien avec ses abondantes ressources en gaz naturel et son expertise en matière de captage du carbone, à l'Est du Canada avec ses vastes ressources hydroélectriques. L'hydrogène peut être produit par un large éventail de voies matures et émergentes. Les ressources locales en énergie et en matières premières ainsi que les facteurs géologiques dicteront la ou les voies ultimes de production d'hydrogène dans chaque région. La plupart des provinces canadiennes peuvent devenir des producteurs d'hydrogène à des fins d'utilisation locale ou d'exportation. De même, s'il existe des occasions de déployer l'hydrogène dans une variété d'utilisations finales partout au pays, ces occasions, en particulier dans les premiers stades de déploiement, dépendent de l'intérêt de l'industrie locale, des facteurs économiques, ainsi que des politiques et réglementations locales.

Pour que l'hydrogène gagne du terrain au Canada, les projets qui couvrent toute la chaîne de valeur, de la production, à la distribution et au stockage, jusqu'à l'utilisation finale joueront un rôle clé. Pour y parvenir, il conviendrait d'établir des centres régionaux qui peuvent faire croître simultanément l'offre et la demande. Tous les échelons de gouvernement joueront un rôle important en soutenant le déploiement local.

Pour saisir ces occasions régionales diversifiées, la stratégie de l'hydrogène est complétée par une série de plans d'action régionaux pour établir la marche à suivre. La Colombie-Britannique, l'Alberta, le Québec et le Canada atlantique ont déjà entrepris des activités visant à déterminer les possibilités et les avantages que l'hydrogène peut offrir à leurs régions comme première étape vers la publication de plans d'action.

Il est possible de tirer parti des atouts locaux, y compris les centres de recherche, les principales industries et les chefs de file des technologies propres, pour contribuer à l'élaboration et à la mise en œuvre de plans régionaux.

Il est recommandé de consulter un ensemble diversifié d'intervenants dans l'élaboration de ces plans, notamment les gouvernements provinciaux et municipaux, les groupes autochtones, les services publics et les producteurs d'électricité indépendants, les grands acteurs industriels établis dans les secteurs connexes, les utilisateurs finaux, les hôtes potentiels des déploiements régionaux, y compris les ports et les pôles de réseaux industriels, ainsi que le secteur des technologies propres et les fournisseurs de solutions.

Si les gouvernements locaux et l'industrie prendront l'initiative d'établir ces plans d'action régionaux, il y a des avantages à avoir une coordination pancanadienne. Cela permettra d'éviter la duplication des efforts et de déterminer les domaines de collaboration. Un soutien sera également nécessaire pour surmonter les défis communs entre les régions ou pour aborder les questions qui sont essentielles au développement et au maintien des avantages stratégiques du Canada dans le secteur. Tous les ordres de gouvernement ont un rôle à jouer dans la détermination et la facilitation du développement des infrastructures pancanadiennes nécessaires pour relier les centres régionaux et soutenir une adoption généralisée.



Pilier 8 : Marché international

- 29** *Élaboration et consolidation de l'image de marque du Canada, le positionnant comme un fournisseur mondial de premier choix d'hydrogène à faibles émissions de carbone, et des technologies nécessaires à son utilisation.*
- 30** *Investissement dans l'infrastructure afin de relier l'approvisionnement canadien aux marchés internationaux, comme les actifs de liquéfaction pour le transport de l'hydrogène à forte densité énergétique et les pipelines d'hydrogène de l'Ouest canadien vers les États-Unis.*
- 31** *Établissement de projets phares à l'échelle nationale qui mettent en valeur l'expertise du Canada, attirent des investissements sur le marché intérieur et peuvent être reproduits à l'échelle internationale.*
- 32** *Optimisation de forums internationaux existants (p. ex., l'initiative sur l'hydrogène de la réunion ministérielle sur l'énergie propre, le G20, l'AIE) pour mettre en évidence le leadership du Canada et promouvoir de nouveaux débouchés commerciaux.*



Justification

L'élan prend de l'ampleur à l'échelle mondiale, avec des pays du monde entier élaborant leurs propres stratégies sur l'hydrogène soutenues par des investissements importants, ce qui entraîne une demande croissante de l'hydrogène et des technologies pour l'utiliser. Le Canada a des avantages qui nous positionnent pour devenir un producteur et un utilisateur national d'hydrogène ainsi qu'un exportateur d'énergie, en fournissant des technologies d'hydrogène propre et d'hydrogène sur les marchés internationaux en croissance. Des mesures importantes à court terme sont nécessaires pour asseoir la position de la chaîne d'approvisionnement du Canada au sein de marchés mondiaux afin de renforcer les capacités de production propre et de fabrication, l'expertise en matière d'hydrogène et les emplois au pays.

L'image de marque et la promotion des carburants à faible teneur en carbone du Canada, y compris l'hydrogène, seront importantes pour qu'ils soient acceptés par le marché. Il s'agit notamment de s'assurer que les voies de production de l'hydrogène au Canada sont appuyées par une analyse du cycle de vie certifiée. En ce qui concerne l'exportation d'hydrogène, il est important de participer aux activités d'élaboration de normes internationales en cours pour établir des seuils et certifier la conformité aux normes sur les combustibles.

Pour que le Canada puisse approvisionner le marché européen en hydrogène, il sera essentiel d'établir des seuils harmonisés et de veiller à ce que des systèmes de certification par des tiers soient mis en place. Les pipelines de gaz naturel canadiens traversent la frontière des États-Unis, et l'harmonisation bilatérale des normes et de la certification avec les États-Unis constitue une priorité absolue en prévision du mélange d'hydrogène dans les pipelines.

Du Chemin de fer Canadien Pacifique à la voie maritime du Saint-Laurent en passant par l'autoroute transcanadienne, les grands projets qui ont contribué à bâtir notre pays ont toujours eu besoin de la vision et du leadership du gouvernement. Le moment est venu d'imaginer un avenir énergétique propre, rendu possible par de nouvelles infrastructures telles que les pipelines d'hydrogène et les usines de production et de liquéfaction d'hydrogène qui produisent et transportent l'hydrogène au Canada et d'un bout à l'autre du pays, et qui nous relient aux marchés d'exportation. Le développement des infrastructures prend du temps, et le Canada doit déterminer les infrastructures habilitantes pour le secteur.

La technologie canadienne alimente déjà une part importante des déploiements de l'hydrogène et des piles à combustible dans le monde. Au cours des cinq prochaines années, au fur et à mesure que les centres de déploiement régionaux du pays et que les marchés internationaux se développeront, les déploiements nationaux fourniront des projets de référence qui pourront mettre en valeur le rôle de chef de file du Canada. L'expérience acquise peut être utilisée pour reproduire des projets similaires dans d'autres pays en utilisant la propriété intellectuelle, des produits ou services canadiens. Les intervenants du secteur des technologies propres ont souvent mentionné que les partenaires internationaux demandent à voir les projets de référence locaux pour valider la maturité technologique et l'analyse de rentabilisation.

Le Canada dirige également plusieurs partenariats internationaux ou y participe. Ceux-ci comprennent la réunion ministérielle sur l'énergie propre, Mission Innovation, l'AIE et le Partenariat international pour l'économie de l'hydrogène et des piles à combustible. Ces canaux existants peuvent être mis à profit pour mettre en évidence le leadership du Canada dans le secteur de l'hydrogène et promouvoir de nouveaux débouchés commerciaux.

Rôles et responsabilités

Le développement d'une solide économie canadienne de l'hydrogène exige un effort coordonné et de collaboration entre l'industrie, les gouvernements, les organismes autochtones, les services publics, le milieu universitaire et les organisations non gouvernementales, animé par une vision et une stratégie communes. Les rôles et responsabilités que peuvent assumer les intervenants dans la mise en œuvre des recommandations de cette stratégie sont présentés dans le Tableau 3. Pour bon nombre de ces activités, de nombreux intervenants pourraient jouer un rôle; toutefois, le tableau vise à fournir un aperçu général des rôles que les principaux intervenants pourraient jouer au cours des premières étapes du développement du marché de l'hydrogène.

Tableau 3 – Rôles et responsabilités des intervenants en fonction des recommandations

● Responsabilité	○ Information/consultation	Gouvernements	Industrie	Services publics	Milieu universitaire	Autochtones	ONG
Partenariats stratégiques	Collaboration intergouvernementale	●				●	
	Partenariats publics/privés	●	●	●		●	
	Collaboration intersectorielle	●	●	●	●	●	●
	Collaboration internationale	●	●	○	●	○	
Atténuation des risques liés aux investissements	Politiques à long terme	●					○
	Programmes pluriannuels	●					
	Centres de déploiement canadiens	●	●	○	○	○	○
	Facilitation d'occasions de cofinancement	●	○	○			
Innovation	Priorités de recherche stratégiques	●	●	○	●		
	Fonds réservés pour les initiatives de recherche, de développement et de démonstration (R-D-D)	●	●	●	●	○	○
	Centres de recherche régionaux	○	●	○	○	○	○
	Projets fondés sur le consensus	○	●	○	●	○	○
Codes et normes	Codes et normes canadiens	●	○	○			○
	Groupe de travail sur les codes et les normes	●	●	●	○		
	Normes basées sur le rendement	●					○
	Normes et certifications internationales	●	●	○	○		
Politiques et réglementation habilitantes	Rôle de l'hydrogène dans les nouvelles politiques, les nouveaux programmes et les nouveaux règlements	●	○	○	○	○	○

	Modernisation des politiques, des programmes et des règlements existants	●	○	○	○	○	○
	Intégration de l'hydrogène dans les feuilles de route sur l'énergie propre	●				○	○
	Règlements basés sur le rendement et neutres sur le plan technologique	●					
Sensibilisation	Campagnes de sensibilisation dans les régions accueillant les centres	○	●	○	○	●	○
	Sensibilisation sur la sécurité, les utilisations et les avantages	●	○	○	○	○	●
	Outils et ressources relatifs à l'hydrogène	●	●	○	○	○	○
	Collaboration entre l'industrie et le milieu universitaire	○	●	○	●		
Plans d'action régionaux	Élaboration de plans d'action régionaux	●	●	●	○	●	○
	Repérage de centres régionaux	○	○		●	●	
	Diversification des contributions des intervenants	●	●	●	●	●	●
	Harmonisation à l'échelle des régions et des provinces	●	○	○	○	●	○
Marchés internationaux	Marque canadienne	●	●	○	○	○	
	Investissements dans les infrastructures	●	●	●		○	
	Projets phares à l'échelle nationale	●	●	●	●	○	●
	Mise à profit des relations internationales	●	●	○	●	○	○

Plan de mise œuvre

La publication de la *Stratégie canadienne pour l'hydrogène* vise à servir de catalyseur pour les prochaines étapes de l'histoire de l'hydrogène au Canada. Après la publication de la stratégie suivront des engagements continus avec les partenaires des secteurs public et privé, du milieu universitaire et des organismes autochtones. Ces engagements seront gérés par un comité directeur stratégique présidé par RNCan, dont les membres proviendront de divers sous-groupes de travail (Figure 52). Le comité directeur stratégique et les groupes de travail seront chargés de créer un élan entourant la stratégie, d'entreprendre des activités liées aux recommandations et d'en faire le suivi, de suivre les progrès réalisés et de repérer de nouveaux domaines prioritaires au fur et à mesure de l'évolution du marché.

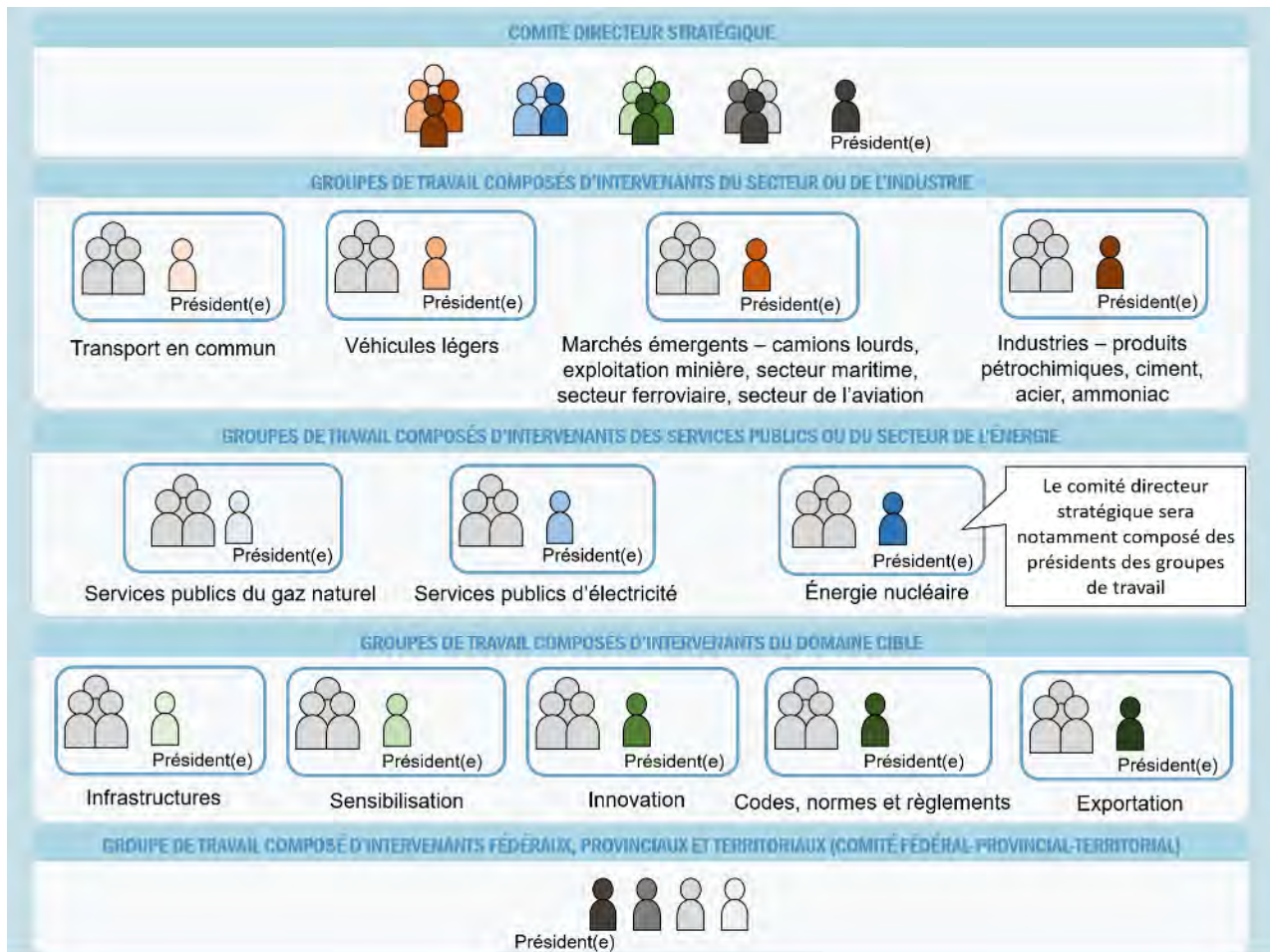


Figure 52 – Groupes de travail sur la mise en œuvre

LA VOIE VERS 2050

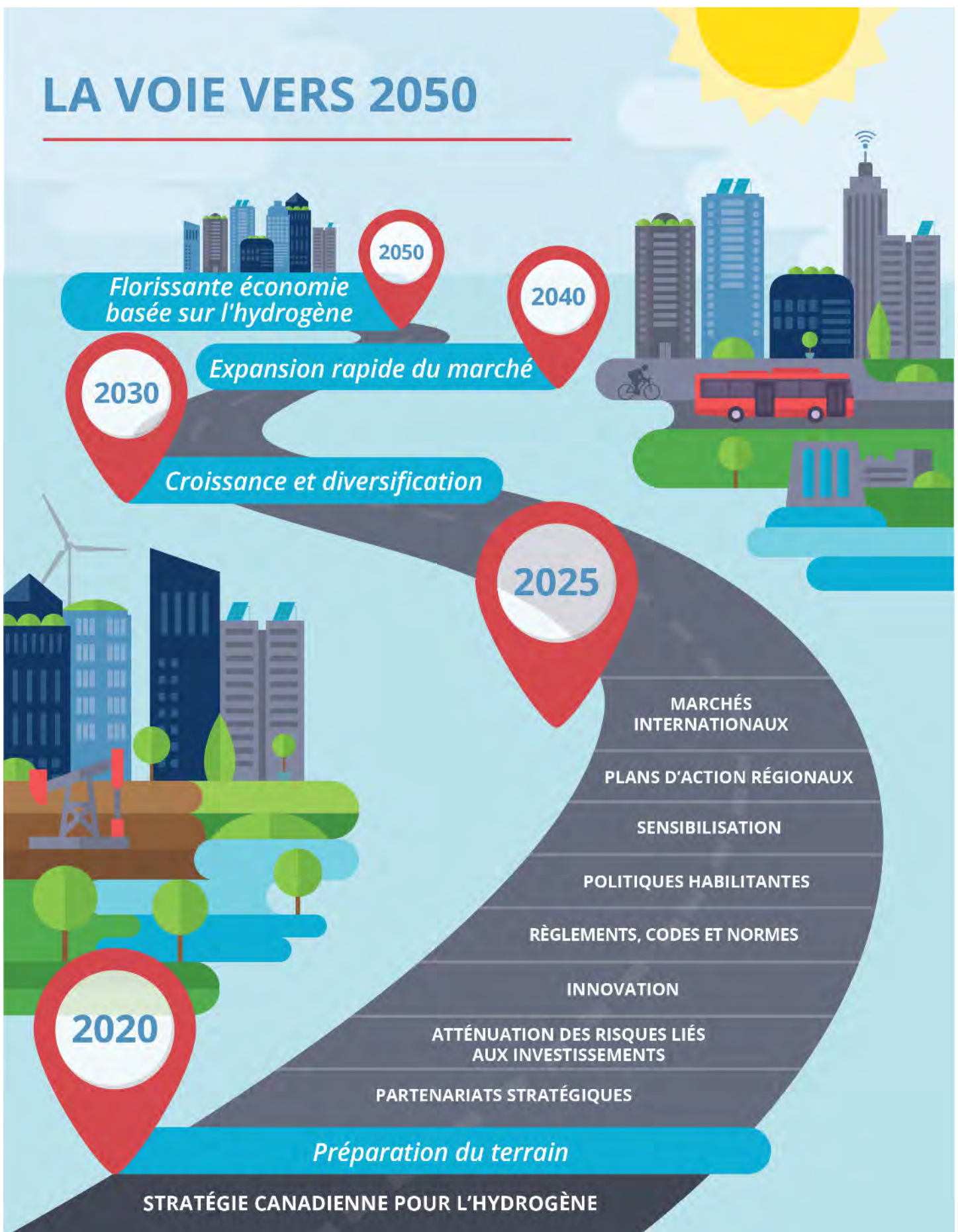


Figure 53 – Feuille de route pour 2050

