

Feuille de route canadienne des codes et normes sur l'hydrogène

Canada



AVIS DE NON-RESPONSABILITÉ

La présente feuille de route est le résultat des activités du Groupe de travail sur les codes et normes (GTCN) de Ressources naturelles Canada (RNCAN), mis sur pied en avril 2021 pour orienter l'application des recommandations de la Stratégie canadienne pour l'hydrogène. Le groupe est composé de nombreux acteurs et actrices des gouvernements, des associations sectorielles, des entreprises, des organismes de réglementation et de la conception de technologies ainsi que d'utilisateurs finaux d'hydrogène.

Ce travail est la preuve que l'établissement de codes et de normes est un processus de longue haleine qui nécessite collaboration, ressources et dévouement. Par conséquent, les résultats présentés ici, et tirés des meilleurs renseignements dont on dispose à ce jour, serviront à répertorier et à hiérarchiser les principaux freins au déploiement de l'économie de l'hydrogène, y compris les domaines nécessitant une expertise supplémentaire.

Les lacunes et priorités relevées par les parties intéressées ne reflètent pas nécessairement le point de vue individuel des membres du GTCN ou des organisations auxquelles ils sont affiliés, et elles pourraient ne pas faire l'unanimité des membres ou de leurs organisations. De plus, même si l'élaboration de la présente feuille de route s'est faite sous la houlette du gouvernement du Canada, les initiatives et exemples d'activités présentés ne sauraient être interprétés comme un dégageant de l'obligation d'obtenir les approbations réglementaires ou les entérinements requis.

RNCAN ne saurait être tenu responsable de l'exactitude ou de l'exhaustivité des renseignements contenus dans le matériel reproduit. RNCAN doit en tout temps être indemnisé et déchargé de toute responsabilité contre toute réclamation découlant de la négligence ou de toute autre erreur relative à l'utilisation des informations contenues dans la présente publication ou le présent produit.



Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et le nom de l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada (RNCAN) et que la reproduction n'a pas été faite en association avec RNCAN ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de RNCAN. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec RNCAN à copyright-droitdauteur@nrcan-rncan.gc.ca.

Photos : © Ressources naturelles Canada

Cat. No. M134-74/2024F (Papier)
ISBN 978-0-660-73541-2

Cat. No. M134-74/2024F-PDF (En ligne)
ISBN 978-0-660-73539-9

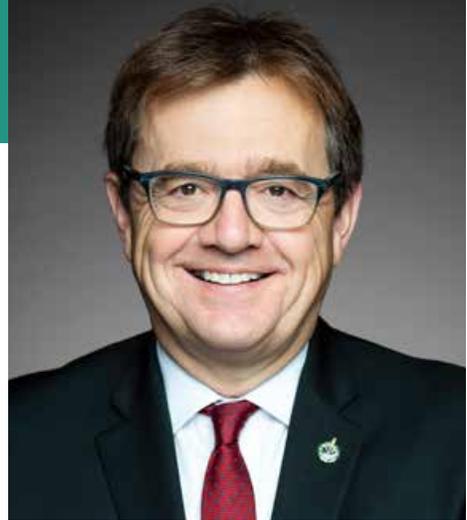
DOI : <https://doi.org/10.4095/g276073>

Also available in English
Canadian Hydrogen Codes and Standards Roadmap

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles du Canada, 2025



MOT DU MINISTRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES NATURELLES DU CANADA



Chaque région de notre beau et vaste pays propose un terroir unique de ressources naturelles et de domaines d'expertise technologique. Pour continuer de bâtir l'économie propre du Canada, nous faisons de grands investissements dans la production, la distribution et l'utilisation des carburants propres, dont l'hydrogène. Depuis maintenant plusieurs années, Ressources naturelles Canada (RNCan) mobilise groupes d'intervenants, gouvernements provinciaux et territoriaux et partenaires autochtones autour du déploiement de la stratégie pour l'hydrogène. La *Stratégie relative à l'hydrogène* est pensée pour créer des emplois durables, décarboniser l'économie, bonifier notre bouquet énergétique divers et répondre aux besoins énergétiques mondiaux tout en considérant la sécurité énergétique et, plus généralement, les impératifs climatiques.

Armé d'une main-d'œuvre puissante dans le secteur énergétique, le Canada sera toujours un grand fournisseur mondial. Vu la croissance de la demande pour l'hydrogène propre, le pays se positionne à la fine pointe des technologies propres et de la production. Un exemple :

pour fluidifier les exportations, le Canada a signé un protocole d'entente avec l'Allemagne pour mettre en place un mécanisme de financement bilatéral sous l'égide de la H2Global Foundation, mesure qui facilitera l'achat de l'hydrogène canadien en Allemagne.

L'harmonisation des codes et des normes est essentielle pour combler les lacunes, ainsi que pour l'adoption et le déploiement de l'hydrogène propre. Elle rassure les investisseurs tout au long de la chaîne de valeur de l'hydrogène, ce qui entraîne la croissance des technologies et des infrastructures. Elle accroît aussi la confiance du public dans la sûreté et la fiabilité des produits d'hydrogène propre. Avec cette feuille de route, le Canada saisit une autre des possibilités offertes par l'hydrogène. En misant sur l'innovation et des concertations actives, nous pouvons faire de l'hydrogène canadien un puissant levier pour réaliser l'objectif de carboneutralité à l'horizon 2050 et préparer une économie propre, dynamique et pérenne au Canada.

L'honorable Jonathan Wilkinson

*Ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles
du Canada*

MOT DE LA DG DU CONSEIL CANADIEN DES NORMES



Dans la quête nationale vers la carboneutralité, le Conseil canadien des normes (CCN) reconnaît que l'hydrogène est aujourd'hui l'une des avenues les plus prometteuses, puisqu'il a le potentiel de jouer un rôle d'avant-plan dans la décarbonisation de plusieurs secteurs, notamment les transports, l'industrie et le bâtiment, mais aussi de créer de l'emploi et de stimuler l'économie.

Le déploiement de l'hydrogène à grande échelle passera forcément par la création de cadres réglementaires et normatifs harmonisés et rigoureux axés sur la sécurité et l'efficacité. Ces cadres sont nécessaires au déploiement généralisé des technologies de l'hydrogène et à leur compatibilité avec l'infrastructure actuelle.

Nous savons que le Canada peut mettre sur pied et instaurer ces cadres durables, avec la collaboration du secteur, des gouvernements et des organismes de réglementation, d'élaboration de normes et d'évaluation de la conformité. Les codes et les normes étant le creuset de la chaîne de valeur de l'hydrogène et des évaluations de la sécurité et de la qualité, il est primordial que nous continuions à les améliorer, à les harmoniser à l'échelle du pays et à créer de nouveaux débouchés commerciaux ici comme ailleurs. Heureusement, pour se maintenir en tête de peloton dans cette course à la transition énergétique, le Canada peut compter sur un système de normalisation solide.

Chantal Guay

Directrice générale du Conseil canadien des normes



CODES, NORMES ET ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ

Un **code** est un ensemble de règles ou de lignes directrices visant à assurer l'uniformité, la sûreté et la qualité dans divers secteurs. Il s'agit d'un cadre de référence sur les pratiques exemplaires et les normes du secteur pour les spécialistes. Un code est souvent prescriptif et parfois exécutoire. Pensons notamment aux codes du bâtiment, codes électriques et codes pour les installations au gaz.

Une **norme** est un ensemble de règles, de lignes directrices ou de caractéristiques convenues pour encadrer des activités ou leurs résultats. Les normes définissent les pratiques acceptables, les exigences techniques et la terminologie utilisée dans divers domaines. Tantôt obligatoires, tantôt facultatives, elles se distinguent des lois, des règlements et des codes. Une norme incorporée par renvoi dans un règlement devient obligatoire et légalement contraignante.¹ Les Normes nationales du Canada (NNC) font l'objet d'examen périodiques (ex. : tous les cinq ans) ou basés sur les besoins, pour vérifier qu'elles demeurent pertinentes.

L'**évaluation de la conformité** est la pratique qui consiste à déterminer si un produit, un service ou un système répond aux exigences d'une norme donnée. Cette pratique garantit la sécurité des consommatrices et consommateurs, tout comme la qualité des produits et des services, leur compatibilité, leur efficacité et leur efficacité.² Les organismes d'évaluation de la conformité (OEC) sont des organismes indépendants qui effectuent des vérifications et fournissent l'assurance écrite (sous forme de certificat) qu'un produit, un service, un système, une personne ou un procédé satisfait aux exigences particulières d'une norme ou d'un règlement. En général, ils sont accrédités par un organisme d'accréditation reconnu (ex. : le Conseil canadien des normes [CCN] au Canada ou l'American National Standards Institute [ANSI] aux États-Unis).

Conseil canadien des normes

Le Conseil canadien des normes (CCN) est le représentant du Canada en matière de normalisation et d'accréditation sur les scènes nationale et internationale. Il collabore étroitement avec un vaste réseau pour promouvoir l'élaboration de normes efficaces et performantes qui favorisent la santé, la sécurité et le bien-être de la population canadienne, ainsi que la prospérité des entreprises canadiennes.

Le CCN accrédite les organismes d'élaboration de normes (OEN) qui élaborent les NNC. Ces organismes se spécialisent dans l'élaboration de normes par processus consensuel et participent au processus de normalisation régionale et internationale. Une liste des OEN accrédités par le CCN se trouve sur la page [Organismes d'élaboration de normes](#). Pour en savoir plus sur l'élaboration des NNC et des normes internationales, voir la page [Processus d'élaboration de normes](#).

Le CCN, en tant qu'organisme national de normalisation et d'accréditation, renforce la confiance des marchés au pays et à l'étranger en veillant à ce que les OEN et les OEC respectent les normes nationales et internationales les plus rigoureuses. Membre de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et de la Commission électrotechnique internationale (IEC), il défend les intérêts du Canada à l'international et aiguille des milliers de personnes vers des ressources et des réseaux du monde entier.

¹ Conseil canadien des normes (2018). *Lignes directrices sur l'incorporation par renvoi de normes dans la réglementation en appui aux objectifs de politiques publiques*. Extrait de <https://ccn-scc.ca/ressources/publications/lignes-directrices-sur-lincorporation-par-renvoi-de-normes-dans-la>

² Conseil canadien des normes (2018). *L'évaluation de la conformité au Canada : en comprendre la valeur et les implications pour le commerce intérieur*. Extrait de <https://ccn-scc.ca/ressources/publications/evaluation-de-la-conformite-au-canada-en-comprendre-la-valeur-et-les>

Élaboration d'une norme nationale du Canada (NNC)

L'élaboration d'une norme est un travail colossal qui demande beaucoup de temps et de soin, et ce, pour plusieurs raisons. Comme les NNC sont en partie fondées sur les pratiques exemplaires internationales et qu'elles doivent cadrer avec ce qui se fait ailleurs dans le monde, elles demandent un grand travail de recherche, de consultation et d'adaptation.

Ce processus sert à protéger les intérêts de la population canadienne, et c'est pourquoi il faut faire preuve de rigueur en créant des normes conformes aux besoins locaux, aux exigences de sécurité et aux attentes des différents secteurs. Qui plus est, la rapidité est de mise vu les divers enjeux, comme le niveau de préparation à la commercialisation, les avancées technologiques et les retombées économiques. Enfin, il faut s'assurer d'avoir assez de financement pour les phases de recherche, de rédaction et d'examen.

Les comités techniques doivent être équilibrés en fonction des intérêts de divers acteurs et être composés de d'expertes et experts, ce qui demande du temps.

Les NNC sont soumises à l'examen rigoureux des parties intéressées, du public et des représentantes et représentants du secteur, puisqu'elles doivent faire consensus, être pertinentes et être généralement acceptées. Il peut s'agir d'élaborer des normes nationales ou d'adopter des normes internationales. Dans le deuxième cas, il faudra porter une attention particulière au contexte national pour trouver l'équilibre entre les besoins de localisation et d'harmonisation internationale.

LISTE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

AC	autorité compétente	IFC	<i>Code international de prévention des incendies</i>
ACV	analyse du cycle de vie	IPHE	Partenariat international pour l'hydrogène et les piles à combustible dans l'économie
ANSI	American National Standards Institute (Institut national américain des normes)	ISO	Organisation internationale de normalisation
ASME	American Society of Mechanical Engineers (Société américaine des ingénieurs en mécanique)	LOPH	liquide organique porteur d'H ₂
ATR	reformage autothermique	MCI	moteur à combustion interne
BNQ	Bureau de normalisation du Québec	MPBD	matrice de priorisation basée sur les décisions
CCIH	<i>Code canadien d'installation de l'hydrogène</i>	NFPA	National Fire Protection Association (Association nationale de protection contre l'incendie)
CEI	Commission électrotechnique internationale	NH ₃	ammoniac
CGA	Association du gaz comprimé	NMT	niveau de maturité technologique
CNRC	Conseil national de recherches Canada	NNC	Norme nationale du Canada
CSA	Association canadienne de normalisation, opérant sous Groupe CSA	OEC	organisme d'évaluation de la conformité
CSC	captage et stockage du carbone	OEN	organisme d'élaboration de normes
CUSC	captage, utilisation et stockage du carbone	PNBV	poids nominal brut du véhicule
GES	gaz à effet de serre	RDF	réduction directe du fer
GN	gaz naturel	SAE	Society of Automotive Engineers (Société des ingénieurs de l'automobile), opérant sous SAE International
GNC	gaz naturel comprimé	SMR	reformage du méthane à la vapeur
GTCN	Groupe de travail sur les codes et normes	TCA	transition carbone accélérée
H ₂	hydrogène	TIL	lettre d'information technique
H ₂ G	hydrogène gazeux	VASP	véhicule aérien sans pilote
H ₂ L	hydrogène liquide	VEPC	véhicule électrique à pile à combustible
IC	intensité en carbone		

SYNTHÈSE

Selon la Stratégie canadienne pour l'hydrogène (la « Stratégie »), il est primordial d'harmoniser les codes et les normes et de combler les lacunes pour faciliter l'adoption et le déploiement de l'hydrogène sobre en carbone.^{3,4} L'élaboration de codes et de normes était d'ailleurs l'un des piliers de la Stratégie, accompagné de quatre appels à l'action à l'intention des gouvernements, du secteur et des organismes d'élaboration de normes (OEN). Les lacunes éventuelles pouvant constituer un frein important à la production, la livraison, le stockage, et l'utilisation finale de l'hydrogène propre à grande échelle, il faut s'y attaquer d'entrée de jeu si l'on espère pouvoir asseoir solidement le déploiement de l'hydrogène propre au Canada.

En réponse aux recommandations de la Stratégie, RNCan a mis sur pied plusieurs groupes de travail, dont le Groupe de travail sur les codes et normes (GTCN) relatifs à l'hydrogène, formé en avril 2021. Il est composé d'actrices et acteurs des gouvernements, d'associations industrielles, d'entreprises, d'organismes de réglementation, d'utilisateurs finaux et d'OEN accrédités.

L'un des principaux livrables du GTCN en réponse à la priorité de la Stratégie, la présente feuille de route est un appel à un meilleur encadrement de l'utilisation de l'hydrogène. Elle s'adresse tant au grand public qu'aux spécialistes techniques et responsables des politiques. Le lectorat y trouvera son compte dans l'une ou l'autre des sections, selon ses expériences et son expertise :

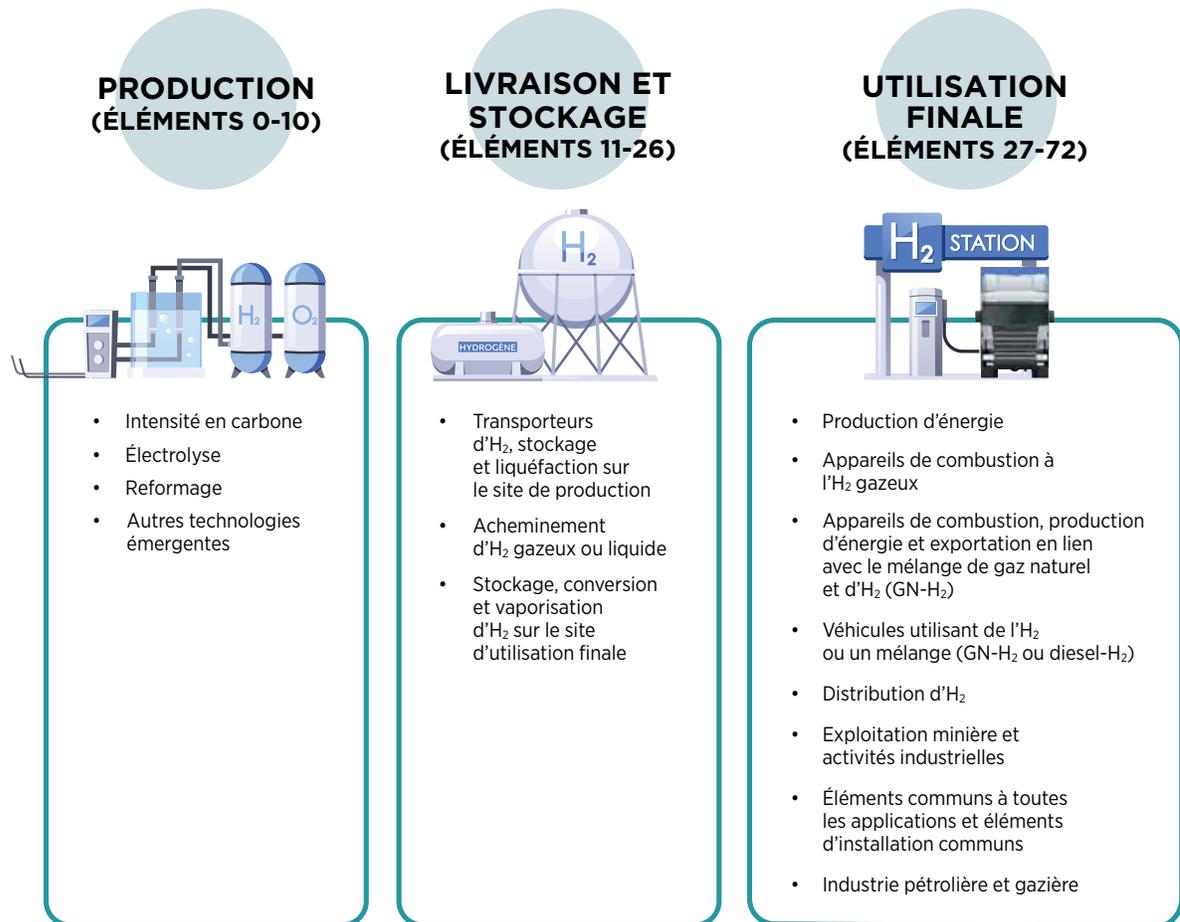
- Les sections 1 et 2 présentent la raison d'être et le processus d'élaboration de la feuille de route.
- La section 3 est la plus détaillée et la plus technique : les gens du domaine y trouveront la description des lacunes normatives pour une multitude de technologies et de procédés liés à l'hydrogène.
- La section 4 résume les résultats du travail associé à la présente feuille de route.
- La section 5 est un appel à l'action pour les décideuses, décideurs et parties intéressées qui pourraient être en mesure d'influencer considérablement les politiques pour que le Canada atteigne ses objectifs de réglementation et de normalisation de l'hydrogène.

³ Ressources naturelles Canada (2020). *Stratégie canadienne pour l'hydrogène*. Extrait de <https://ressources-naturelles.canada.ca/changes-climatiques/lavenir-vert-canada/strategie-relative-lhydrogene/23134>

⁴ Dans le présent document, les termes « hydrogène sobre en carbone » et « hydrogène propre » désignent l'hydrogène dont l'intensité carbonique devrait être en moyenne inférieure à 4 kg d'équivalent CO₂ par kilogramme produit, durant son cycle de vie.

i. Définition de la chaîne de valeur de l'hydrogène

La présente feuille de route se base sur un système de classification en 72 éléments, regroupés en trois segments soit 1) la production, 2) la livraison et le stockage et 3) l'utilisation finale de l'hydrogène. Chaque élément correspond à un aspect de la chaîne de valeur et est encadré par plusieurs codes ou normes ou appelé à être encadré par de nouvelles normes.



ii. Analyse des lacunes

Le GTCN a analysé les lacunes de la chaîne de valeur de l'hydrogène selon le processus suivant :

- Déterminer la portée, le secteur et l'équipement associés à chaque élément de la chaîne de valeur.
- Étudier les normes régionales, nationales et internationales susceptibles de s'appliquer, y compris celles en cours d'élaboration.
- Mettre à jour les lacunes dans les codes et les normes.

iii. Recommandations de normalisation

Le GTCN a mis au point une méthode pour proposer des mesures visant à combler les lacunes normatives – les « recommandations de normalisation » –, d'après la nature des lacunes et l'état de la situation. Conformément aux pratiques exemplaires, il a finalement été jugé préférable d'opter pour l'adoption de normes régionales ou internationales ou l'harmonisation avec celles-ci, plutôt que pour l'élaboration de normes complètement nouvelles.

iv. Hiérarchisation des lacunes

Des systèmes de classement ont été conçus pour évaluer l'incidence des lacunes normatives dans le déploiement sécuritaire de l'hydrogène, en fonction de différents facteurs :

- Nombre d'entreprises canadiennes
- Avantages si la lacune était corrigée
- Urgence de la normalisation
- Importance
- Portée
- Activité dans le secteur
- Niveau de maturité technologique (NMT)
- Réalisabilité
- Retombées

Ont été invités à se prêter à l'exercice les membres du GTCN, les gouvernementaux provinciaux et territoriaux ainsi que les autorités compétentes (AC). Le classement se fondait sur des critères propres aux opérations actuelles de déploiement de l'hydrogène ou susceptibles de faciliter un futur déploiement.

Un échéancier a été proposé pour chaque recommandation de normalisation :

- **Court terme** : Les lacunes associées à ces éléments sont prioritaires et doivent être corrigées. L'horizon recommandé de publication des codes et des normes est de trois ans, à compter de la publication du présent rapport (c.-à-d. avant 2028). Cela correspond au temps que met habituellement le Canada pour élaborer une norme (18 à 36 mois).
- **Moyen terme** : Il est important de combler les lacunes, mais pas nécessaire de le faire dans l'immédiat. L'horizon recommandé de publication des codes et des normes est de trois à six ans (c.-à-d. 2028 à 2030).
- **Long terme** : Aucune lacune n'a été observée, ou les lacunes ne sont pas urgentes, mais il serait néanmoins pertinent de se pencher sur la question un jour. L'horizon de publication des codes et des normes est de six ans ou plus (c.-à-d. 2031 ou après).

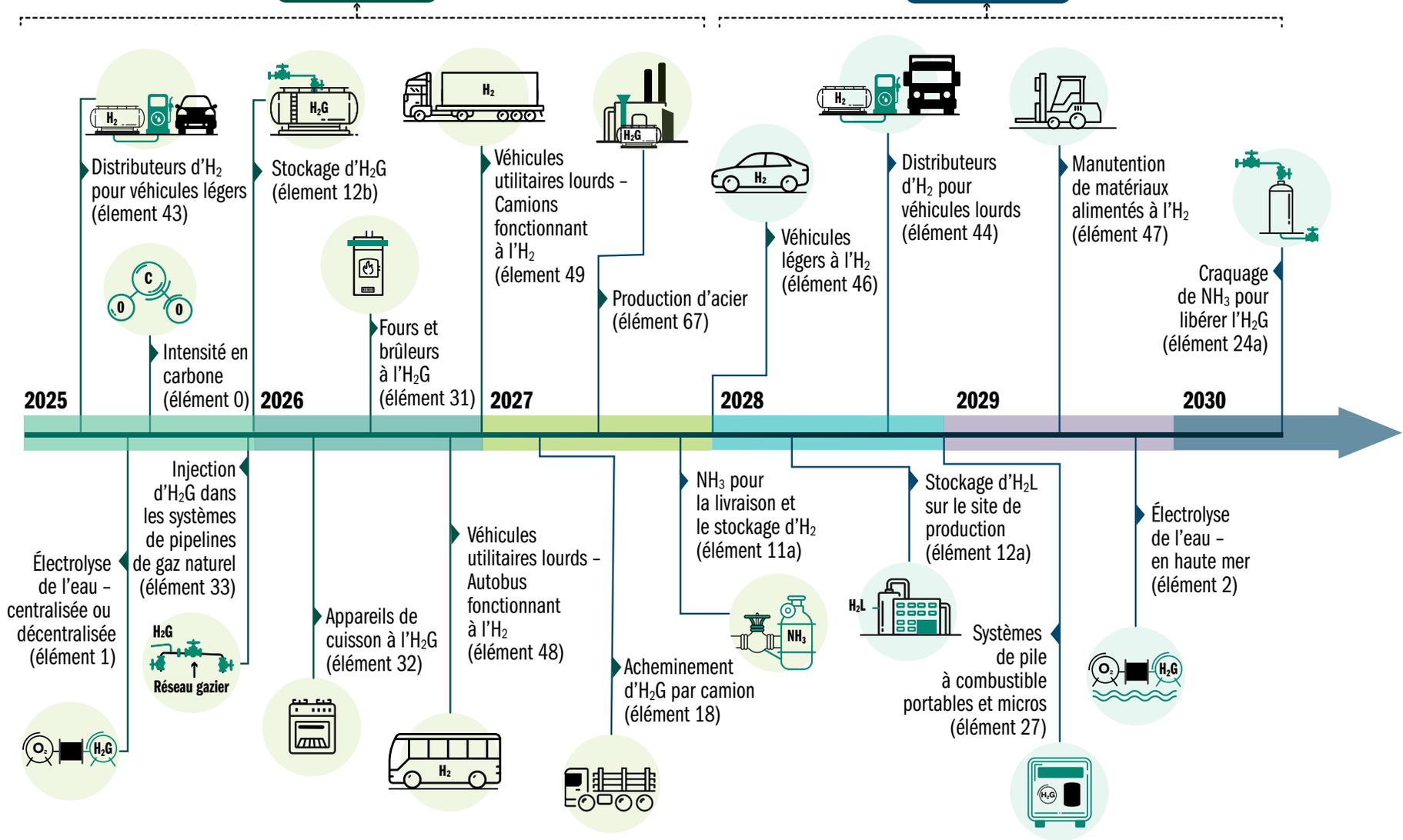
Pour les quatre étapes, les lacunes normatives liées aux priorités les plus importantes à court terme concernaient les éléments suivants :

Production	Livraison et stockage	Utilisation finale
<ul style="list-style-type: none">• Électrolyse de l'eau – centralisée ou décentralisée• Intensité en carbone	<ul style="list-style-type: none">• Stockage de l'hydrogène gazeux (H₂G)• Acheminement d'H₂G par camion• Ammoniac pour l'acheminement et le stockage de l'H₂	<ul style="list-style-type: none">• Distributeurs d'H₂ pour véhicules légers• Injection d'H₂G dans les systèmes de pipelines de gaz naturel• Appareils de cuisson à l'H₂G• Fours et brûleurs à l'H₂G• Véhicules utilitaires lourds – Autobus• Véhicules utilitaires lourds – Camions• Production d'acier

Pour les éléments prioritaires, il faut mettre en place des mesures efficaces et ciblées. La figure suivante illustre l'échéancier proposé pour l'élimination des lacunes considérées comme prioritaires à court et moyen termes. Les éléments sont présentés d'après leur classement général, compte tenu de l'échéancier à court et moyen terme recommandé (expliqué ci-dessus). L'échéancier réel des travaux dépendra de la formation, par les OEN, de comités techniques pour l'élaboration ou la mise à jour de normes concernant l'élément en question. Considérant que l'élaboration d'une norme type prend 18 à 36 mois au Canada, les mesures liées aux éléments assortis d'une échéance à court terme doivent être entamées immédiatement.

Court terme

Moyen terme





Pour combler les lacunes, il est primordial que les parties intéressées travaillent de concert. Les organisations trouveront dans la présente feuille de route des recommandations de normalisation qui simplifieront ce processus. La collaboration est de mise pour limiter la fragmentation des efforts et mieux harmoniser le travail, ce qui permettra aussi d'intégrer les priorités régionales dans la planification stratégique.

Sont recommandées une série de 19 mesures dans le cadre des objectifs d'élaboration de codes et de normes, ventilées selon les catégories suivantes :

- Gouvernance
- Initiatives stratégiques et mesures réglementaires
- Coopération internationale
- Innovation et renforcement de la capacité
- Technologie de l'information et accès
- Communication et harmonisation

La présente feuille de route appelle les parties prenantes à élaborer rapidement les normes essentielles, une étape nécessaire dans le plan de la transition énergétique globale du Canada.



TABLE DES MATIÈRES

Avis de non-responsabilité	i
Autorisation de reproduction.....	ii
Mot du ministre de l'Énergie et des Ressources naturelles du Canada.....	iii
Mot de la DG du Conseil canadien des normes	iv
Codes, normes et évaluation de la conformité.....	vi
Liste des acronymes et abréviations.....	viii
Synthèse.....	ix
1. Contexte	1
1.1 Stratégie canadienne pour l'hydrogène	1
1.2 Situation actuelle et nécessité des normes et codes canadiens.....	2
1.3 Groupe de travail sur les codes et normes relatifs à l'hydrogène.....	4
1.3.1 Composition	4
1.3.2 Objectif et activités.....	5
1.3.3 Groupes de projet	5
2. Tracer la voie : le processus de conception de la feuille de route	7
2.1 Approche générale	7
2.2 Définition de la chaîne de valeur de l'hydrogène	8
2.3 Analyse des lacunes	12
2.3.1 Liste des codes, des normes et des documents d'orientation.....	12
2.3.2 Attribution des cotes « Aucune lacune », « Lacune partielle » et « Lacune complète ».....	12
2.4 Formulation de recommandations de normalisation.....	12
2.5 Hiérarchisation des lacunes.....	16
2.5.1 Critères de priorité et classement.....	16
2.5.2 Échéanciers.....	17
3. Résultats de l'analyse des lacunes.....	19
3.1 Production.....	19
3.1.1 Portée	19
3.1.2 Lacunes	21
3.2 Livraison et stockage	24
3.2.1 Portée	24
3.2.2 Lacunes	26

3.2.2.1	Transporteurs d'hydrogène, stockage et liquéfaction sur le site de production (éléments 11 à 13)	26
3.2.2.2	Acheminement d'hydrogène gazeux ou liquide (éléments 14 à 23)	29
3.2.2.3	Stockage, conversion et vaporisation d'hydrogène sur le site d'utilisation finale (éléments 24 à 26)	31
3.3	Utilisation finale	33
3.3.1	Portée	33
3.3.2	Lacunes	35
3.3.2.1	Production d'énergie (éléments 27 à 29)	35
3.3.2.2	Appareils de combustion à l'hydrogène gazeux (éléments 30 à 32)	36
3.3.2.3	Appareils de combustion, production d'énergie et exportation en lien avec le mélange de gaz naturel et d'hydrogène (GN-H ₂) (éléments 33 à 36)	38
3.3.2.4	Véhicules utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H ₂ ou diesel-H ₂) (éléments 37 à 42, 46 à 50, 55 à 58 et 72)	42
3.3.2.5	Distribution d'hydrogène (éléments 43 à 45 et 51 à 54)	48
3.3.2.6	Exploitation minière et activités industrielles (éléments 59 à 68)	50
3.3.2.7	Éléments communs à toutes les applications et éléments d'installation communs (éléments 69 et 70)	55
3.3.2.8	Industrie pétrolière et gazière (élément 71)	58
3.4	Enjeux englobants	59
3.4.1	Collaboration et harmonisation	59
3.4.2	Sécurité, sensibilisation et acceptabilité sociale	59
3.4.3	Éducation et formation	60
3.4.4	Intensité en carbone et certification	61
3.4.5	Mélange d'hydrogène et demande sur le marché	62
3.4.6	Fuites d'hydrogène et répercussions environnementales	63
3.4.7	Prototypes	64
4.	Résultats de l'exercice de hiérarchisation et feuille de route	66
5.	Appel à l'action des parties concernées	71
	Annexe A : Listes des contributrices et contributeurs du GTCN et de la feuille de route	74
	Annexe B : Rôle des autorités compétentes dans le soutien de l'économie de l'hydrogène	77
	Annexe C : OEN du secteur de l'hydrogène accrédités par le CCN	78
	Annexe D : Participation du Canada aux activités internationales d'élaboration de code et de normes	79
	Annexe E : Renseignements complémentaires sur la méthode de classement	82
	Annexe F : Renseignements complémentaires sur la livraison et le stockage de l'hydrogène	85
	Annexe G : Synthèse de l'analyse des lacunes et de l'exercice de hiérarchisation	87

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Secteurs et domaines d'intérêt de l'hydrogène, organisés par groupes de travail (en date de 2023).....	4
Figure 2 :	Conception de la feuille de route – Approche générale.....	7
Figure 3 :	Système de classification de la chaîne de valeur de l'hydrogène.....	9
Figure 4 :	Schéma détaillé des recommandations de normalisation des éléments.....	15
Figure 5 :	Feuille de route proposée pour l'élimination des lacunes normatives prioritaires.....	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Segments de la chaîne de valeur de l'hydrogène.....	8
Tableau 2 :	Recommandations de normalisation pour les éléments.....	12
Tableau 3 :	Critères de classement des éléments utilisés par les membres des groupes de projet et les spécialistes.....	16
Tableau 4 :	Critères de classement des éléments utilisés par les personnes représentant des gouvernements provinciaux et des AC.....	17
Tableau 5 :	Lacunes dans le segment de production de l'hydrogène.....	21
Tableau 6 :	Groupements et éléments dans le segment « livraison et stockage ».....	25
Tableau 7 :	Lacunes relatives aux transporteurs d'hydrogène, au stockage et à la liquéfaction sur le site de production.....	26
Tableau 8 :	Lacunes relatives à l'acheminement d'hydrogène gazeux ou liquide.....	29
Tableau 9 :	Lacunes relatives au stockage, à la conversion et à la vaporisation d'hydrogène sur le site d'utilisation finale.....	31
Tableau 10 :	Groupements et éléments dans le segment des applications finales.....	33
Tableau 11 :	Lacunes dans la production d'énergie.....	35
Tableau 12 :	Lacunes relatives aux appareils de combustion à l'hydrogène gazeux.....	36
Tableau 13 :	Lacunes relatives aux appareils de combustion, à la production d'énergie et à l'exportation en lien avec le mélange de GN et d'H ₂	38
Tableau 14 :	Lacunes relatives aux véhicules routiers utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H ₂ ou diesel-H ₂).....	42
Tableau 15 :	Lacunes relatives aux véhicules hors routes utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H ₂ ou diesel-H ₂).....	44
Tableau 16 :	Lacunes dans la distribution d'hydrogène.....	48
Tableau 17 :	Lacunes dans l'exploitation minière.....	50
Tableau 18 :	Lacunes dans les usages industriels.....	53
Tableau 19 :	Lacunes relatives aux éléments communs à toutes les applications et aux éléments d'installation communs.....	55
Tableau 20 :	Lacunes dans l'industrie pétrolière et gazière.....	58
Tableau 21 :	Classement général des 20 éléments prioritaires.....	67
Tableau 22 :	Mesures recommandées et résultats escomptés pour chaque pilier.....	72

1



NET
ZERO

H₂

1. CONTEXTE

1.1 Stratégie canadienne pour l'hydrogène

Lancée en 2020 par Ressources naturelles Canada (RNCan), la Stratégie canadienne pour l'hydrogène (la « Stratégie ») fait état des problèmes susceptibles de freiner la commercialisation et le déploiement de l'hydrogène au Canada, puis propose 32 recommandations. Quatre d'entre elles, liées aux codes et aux normes, sont adressées aux gouvernements, au secteur, aux services publics et aux organismes d'élaboration de normes (OEN) :

- **Recommandation 13** : Mise à jour, harmonisation et reconnaissance de codes et de normes (y compris le *Code canadien d'installation de l'hydrogène* [CCIH]) afin de faciliter les déploiements et l'adoption de nouvelles technologies et infrastructures dans les premiers marchés.
- **Recommandation 14** : Formation de groupes de travail sur les codes et les normes comprenant des représentants des autorités compétences (AC) interprovinciales, afin de transmettre les leçons apprises et de cerner les lacunes liées aux codes et aux normes.
- **Recommandation 15** : Élaboration de normes fondées sur le rendement au lieu de normes prescriptives, et inclusion de l'hydrogène dans l'ensemble des codes, normes et règlements (ne pas employer un libellé trop restrictif).
- **Recommandation 16** : Facilitation du leadership et de la participation du Canada aux efforts visant des normes et des certifications internationales (ex. : élaboration de mesures de l'intensité en carbone (IC) à l'échelle mondiale, niveaux de mélange de l'hydrogène dans les systèmes de gaz naturel) et simplification du commerce international.

En mai 2024, dans un rapport d'étape sur la Stratégie canadienne pour l'hydrogène, RNCan confirmait que l'hydrogène sobre en carbone a toujours un rôle à jouer dans les besoins énergétiques nationaux et mondiaux en contexte de sécurité énergétique, de transition énergétique et des impératifs climatiques au sens large.^{5,6} L'hydrogène sobre en carbone produit pour l'exportation au Canada contribuera à la création d'emplois verts durables, à la sécurité énergétique internationale et à la réduction des émissions à l'échelle mondiale.

Dans le cadre des objectifs climatiques de carboneutralité du Canada, l'hydrogène sobre en carbone viendra compléter l'électrification et d'autres approches d'atténuation du carbone en contribuant à la décarbonisation des secteurs difficiles à décarboniser lorsque l'électrification seule s'avère peu économique ou techniquement irréalisable. On réitère également dans ce rapport la nécessité de continuer à élaborer des codes et des normes, dans le cadre des quatre priorités stratégiques pour 2024-2026, afin de favoriser le déploiement des technologies de l'hydrogène et d'apporter une certaine prévisibilité aux investisseurs de l'ensemble de la chaîne de valeur.

De plus amples renseignements se trouvent en annexes :

- Rôle des AC dans l'économie de l'hydrogène (**annexe B**)
- OEN accrédités par le Conseil canadien des normes (CCN) participant ou prévoyant participer à l'élaboration de codes et de normes dans le domaine de l'hydrogène (**annexe C**)

⁵ Ressources naturelles Canada (2024). *Stratégie canadienne pour l'hydrogène : Rapport d'étape*. Extrait de <https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/lavenir-vert-canada/strategie-canadienne-pour-lhydrogene-rapport-detape/25686>

⁶ Dans le présent document, les termes « hydrogène sobre en carbone » et « hydrogène propre » désignent l'hydrogène dont l'intensité carbonique devrait être en moyenne inférieure à 4 kg d'équivalent CO₂ par kilogramme produit durant son cycle de vie.

1.2 Situation actuelle et nécessité des normes et codes canadiens

À l'heure actuelle, au moins 59 pays, en plus de l'Union européenne, se sont dotés d'une stratégie ou d'une feuille de route mettant en lumière l'importance de l'hydrogène comme moteur de décarbonisation propre. De plus, la majorité d'entre eux reconnaissent l'importance des codes et des normes pour légiférer et déployer l'hydrogène dans différents secteurs économiques. Étant donné cette mobilisation des pays pour faire une plus grande place à l'hydrogène dans leur économie, le moment ne pourrait être mieux choisi pour rassembler les parties prenantes canadiennes en vue de faire du Canada une figure de proue de l'économie de l'hydrogène propre.

La filière de projets proposés au Canada continue d'évoluer, englobant plus de régions et plus de technologies. En début 2024, plus de 80 projets de production d'hydrogène avaient été annoncés ou étaient en cours. Dans l'Ouest canadien, l'on mise principalement sur le reformage du gaz naturel avec captage du carbone, au moyen du reformage autothermique (ATR) et du reformage du méthane à la vapeur (SMR). Au Centre et dans l'Est du pays, on mise plutôt sur l'électrolyse de l'eau, en se servant de l'électricité des réseaux existants ou de nouvelles installations spéciales, notamment éoliennes et solaires. Si de nos jours, l'hydrogène produit est majoritairement utilisé dans les procédés industriels, les projets émergents étendent son utilisation aux secteurs commercial, résidentiel et des transports.

C'est la preuve que l'intérêt national pour les projets d'hydrogène est fort et qu'il faut vite mettre à jour nos codes et normes ou en élaborer de nouveaux. Les lacunes liées aux codes et aux normes sont un frein majeur à la production, la livraison, le stockage et l'utilisation finale à grande échelle de l'hydrogène. Il faut donc y remédier rapidement afin de préparer le terrain pour un déploiement solide.⁷

Étant donné leurs objectifs de simplification des processus de conception et d'amélioration de l'assurance de la sécurité, les normes et les codes peuvent – s'ils sont pertinents – engendrer des gains d'efficacité pour les projets. Ainsi, les concepteurs, constructeurs, fabricants, autorités de réglementation et services publics peuvent gérer plus efficacement les ressources, les coûts, la main-d'œuvre et le matériel, car ils ont quelque chose de tangible sur quoi s'appuyer, ce qui adoucit la courbe d'apprentissage.

Le gouvernement du Canada est conscient qu'il faut créer, mettre à jour ou adapter des normes et des codes pour favoriser l'exploitation de l'hydrogène dans toute la chaîne de valeur. La présente feuille de route est un appel à l'élaboration rapide des normes essentielles, une étape nécessaire dans le plan de la transition énergétique globale du Canada.

Cependant, aucun pays ne peut faire cavalier seul pour combler les lacunes dans les délais impartis vu la demande pour la production à grande échelle et l'exportation, ainsi que les impératifs commerciaux. Pour veiller à ce que les normes essentielles soient mises en place rapidement :

- Les méthodes et les lignes directrices élaborées par un ou plusieurs pays pour dresser l'inventaire des besoins peuvent servir de documents de base pour des normes nationales ou des normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO).
- Les normes internationales, comme celles de l'ISO ou de la Commission électrotechnique internationale (IEC) peuvent être appliquées ou adoptées à l'échelle nationale avec les modifications nécessaires.
- Les pays peuvent profiter de carrefours internationaux pour échanger des informations et faire ressortir des lacunes critiques. Mentionnons le Partenariat international pour l'économie de l'hydrogène et des piles à combustible, qui réunit des groupes de travail spécialisés.

Le Canada poursuit de nombreuses pistes de collaboration touchant l'élaboration de codes et de normes. Les activités internationales du Canada en la matière sont présentées à ***l'annexe D***.

⁷ Les termes « livraison » et « distribution » sont synonymes. Toutefois, puisque « distribution » signifie aussi l'approvisionnement ou l'utilisation comme carburant, ce qui s'inscrit dans le segment « Utilisation finale », nous avons plutôt opté pour « livraison ».

LES DÉMARCHES D'AUTRES PAYS

Les méthodes d'élaboration des codes et des normes varient selon le pays. Les États-Unis, tout comme le Canada, suivent un processus consensuel animé par des OEN accrédités. Des représentants des deux administrations siègent à des comités techniques avec d'autres parties intéressées (entreprises, organismes de réglementation, groupes de protection du consommateur). Si les pouvoirs publics canadiens et états-unis jouent un rôle névralgique dans l'établissement des priorités et le financement des OEN, ils n'ont pas le droit d'ordonner des travaux. Mais la Commission européenne, elle, peut mandater le Comité Européen de Normalisation (CEN) et le Comité Européen de Normalisation Électrotechnique (CENELEC) pour rédiger des normes conformes aux stratégies et aux règlements de l'Union européenne. Par un processus de transposition, les directives de l'Union européenne sont incorporées dans les lois nationales des États membres, rendant ainsi les normes européennes communes. Le Japon, lui, agit différemment : le comité japonais des normes industrielles, sous l'égide du ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie, encadre un système national de normalisation unifié.

À l'étranger, l'on constate la publication de deux autres feuilles de route en matière de codes et de normes :

- i. La Standardization Roadmap for Hydrogen Technologies, soutenue par le gouvernement allemand, qui présente les résultats d'une analyse poussée des normes, des règlements techniques et des lacunes dans tous les maillons de la chaîne de valeur.⁸ Notons parmi les domaines traités la production, les infrastructures, les applications industrielles, les formations, les certifications et la sûreté. Parmi les recommandations formulées, mentionnons la normalisation de la livraison, du stockage et de l'utilisation finale pour les réseaux ferroviaires.
- ii. La European Clean Hydrogen Alliance Roadmap on Hydrogen Standardisation, qui présente les enjeux, les lacunes, les défis et les priorités pour le cadre normatif actuel dans toute la chaîne de valeur.⁹ Elle indique le statut des travaux normatifs en chantier et recense les domaines prioritaires, dont l'utilisation finale de l'hydrogène dans l'industrie, les véhicules routiers lourds, les applications maritimes et l'aviation. Grâce aux orientations du document, le CEN/CENELEC a établi un groupe de coordination sur l'hydrogène, et 53 comités techniques seront mobilisés pour réaliser des démarches techniques.

De nombreuses stratégies nationales proposent de combler les lacunes dans les codes et les normes par les moyens suivants :

- i. Coordonner les démarches au pays tout en consultant les entreprises et les intervenants clés;
- ii. Adopter des codes et des normes publiées par des organismes de normalisation internationaux;
- iii. Harmoniser les normes dans la mesure du possible pour éviter les incohérences.

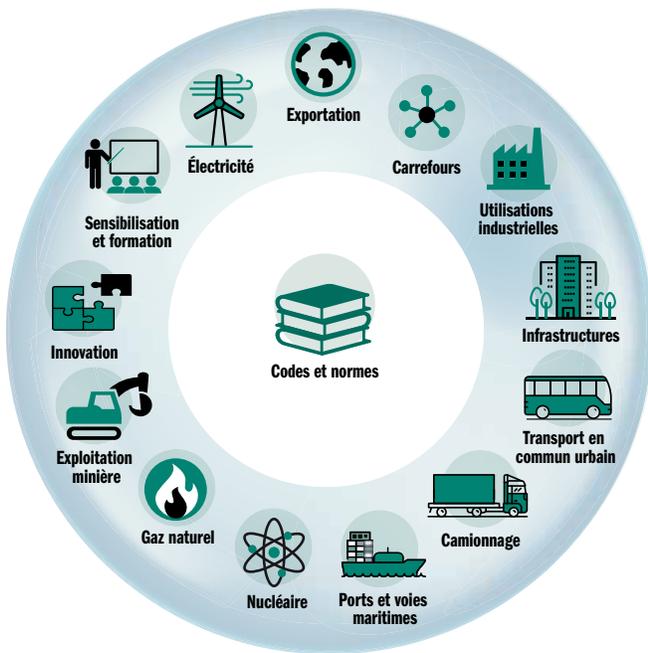
⁸ Partenaires collaborant à la Standardization Roadmap for Hydrogen Technologies (2024). *Standardization Roadmap for Hydrogen Technologies 2024*. Extrait de <https://www.dke.de/resource/blob/2348516/775822063b19703b5e2dd5e41c4f3a/standardization-roadmap-for-hydrogen-technologies---download-data.pdf> (en anglais)

⁹ European Clean Hydrogen Alliance (2023). *Roadmap on Hydrogen Standardisation*. Extrait de <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/53721/attachments/1/translations/en/renditions/native> (en anglais)

1.3 Groupe de travail sur les codes et normes relatifs à l'hydrogène

Soucieux de répondre aux recommandations de la Stratégie selon une approche multisectorielle ciblée, RNCAN a mis sur pied plusieurs groupes de travail pour différents secteurs et domaines d'intérêt (**figure 1**). C'est dans le cadre de ces efforts qu'a été créé, en avril 2021, le Groupe de travail sur les codes et normes (GTCN) relatifs à l'hydrogène, qui englobe tous les autres groupes de travail.

Figure 1 : Secteurs et domaines d'intérêt de l'hydrogène, organisés par groupes de travail (depuis 2023)



1.3.1 Composition

Le GTCN, coprésidé par RNCAN et CCN, poursuit son travail sans interruption depuis sa création. Il compte plus de 250 membres issus des entités suivantes :

- Divers ordres de gouvernement
- Organismes de réglementation ou AC
- Secteur industriel, y compris des sociétés de services publics et de conception de technologies
- Milieu universitaire
- Organismes d'élaboration de normes (OEN)
- Organismes d'évaluation de la conformité (OEC)
- Autres spécialistes nationaux ou internationaux

Les membres du GTCN disposent collectivement d'un grand savoir-faire sur l'hydrogène. Bon nombre d'entre eux sont affiliés à des organisations de conception de produits d'hydrogène ou de recherche, de développement et de déploiement. D'autres ont des connaissances techniques pointues sur les activités encadrées par les codes et les normes ou sur les enjeux d'actualité dans leurs domaines respectifs.

1.3.2 Objectif et activités

L'objectif du GTCN est de mobiliser toutes les parties concernées pour qu'elles puissent coordonner et harmoniser les efforts nationaux d'élimination des obstacles réglementaires et normatifs au déploiement de l'hydrogène, d'une part, et d'autre part, saisir les occasions qui se présentent, qu'il s'agisse de sécurité ou de commercialisation. Son mandat englobe notamment :

- les analyses des lacunes liées aux codes et aux normes;
- les recommandations de normalisation visant à combler ces lacunes;
- la proposition des possibilités de développement, ce qui passe notamment par la hiérarchisation des normes les plus pertinentes à court et à moyen terme et par la communication des priorités dans une feuille de route.

Durant la phase de création de la présente feuille de route, le GTCN s'est réuni chaque trimestre, d'abord pour mettre en commun l'information sur les codes et les normes relatifs à l'hydrogène, ensuite pour se renseigner sur ce qui se faisait à l'international auprès d'actrices et acteurs d'autres pays. Le GTCN a consulté d'autres groupes de travail, des gouvernements et des organismes de réglementation pour connaître les priorités et les pratiques locales, et discuter des leçons apprises avec les communautés d'hydrogène canadiennes et internationales.

Il a invité à faire des présentations plusieurs OEN, des ministères du Canada et des États-Unis, le Comité européen de normalisation et l'Alliance européenne pour un hydrogène propre, ainsi qu'un cabinet d'ingénieurs-conseils. Ces présentations ont permis aux membres de découvrir les dernières avancées en matière de normalisation touchant les projets d'hydrogène au Canada et de faire

fond sur l'expérience d'autres économies évoluant dans le secteur de l'hydrogène. Les activités de réseautage et de collaboration ont contribué, en grande partie, à l'acquisition du savoir-faire et des ressources ayant servi à la rédaction de la présente feuille de route.

1.3.3 Groupes de projet

Trois groupes de projet relevant du GTCN ont été formés pour chacun des trois segments, soit 1) la production, 2) la livraison et le stockage et 3) l'utilisation finale. Leurs membres, totalisant environ 80 personnes, ont été retenus pour leurs compétences et leurs réseaux dans le secteur industriel, la fonction publique, les organismes de réglementation, les OEN et les OEC.

Chaque groupe de projet devait mettre au jour les lacunes et les possibilités en matière d'élaboration, d'harmonisation, d'adoption et de révision des normes. L'élaboration et la mise à jour des normes à proprement parler ne relevaient cependant ni des groupes de projet, ni du GTCN.

QUI PEUT ÉLABORER DES NORMES?

Seuls les comités techniques d'un OEN accrédité, composés de représentantes et représentants chevronnés et compétents du secteur, de groupes de défense des consommatrices et consommateurs, de gouvernements et d'organismes de réglementation, ont le savoir-faire nécessaire pour concrétiser les recommandations de mise à jour ou d'élaboration de normes.



2

H₂

2. TRACER LA VOIE : LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE LA FEUILLE DE ROUTE

2.1 Approche générale

Pour concevoir la feuille de route, nous avons adopté une approche méthodique et rigoureuse en plusieurs étapes, lesquelles sont présentées brièvement ici, puis dans le détail aux **sections 2.2 à 2.5**.

Définition de la chaîne de valeur de l'hydrogène : Pour commencer, nous avons adopté un système de classification, créée au préalable par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), afin de scinder la chaîne de valeur de l'hydrogène en 72 éléments. Chaque élément est encadré par plusieurs codes ou normes ou sera encadré par de futures normes.

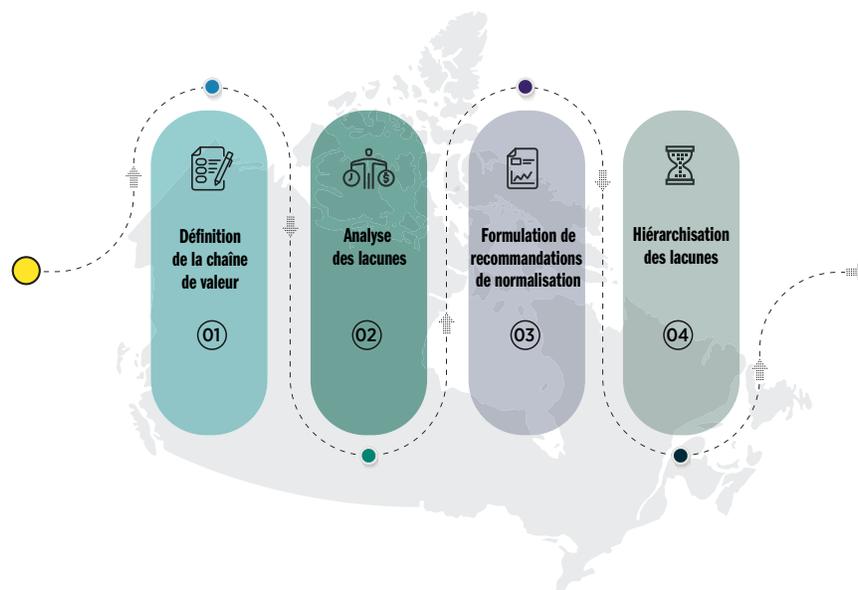
Analyse des lacunes : Les membres des trois groupes de projet (production; livraison et stockage; utilisation finale) ont réalisé une analyse environnementale des normes et codes régionaux, canadiens, états-unis et internationaux pour chacun des éléments, leur attribuant tour à tour la cote « Aucune lacune », « Lacune partielle » ou « Lacune complète ».

Formulation de recommandations de normalisation : Un ensemble de mesures a été créé comme pistes de solutions pour combler les lacunes. Appelées « recommandations de normalisation » dans le présent rapport, ces mesures s'appuient sur la nature et l'ampleur des lacunes, la conjoncture de normalisation et l'urgence d'adopter des mesures d'observation.

Hiérarchisation des lacunes :

- Pour bien visualiser l'ampleur des lacunes, le GTCN a mis au point un système de classement par ordre de priorité, fondé sur l'importance et l'urgence du problème ainsi que la faisabilité des solutions. Ont été invitées à prendre part à cet exercice diverses parties concernées, dont les membres du GTCN, les gouvernements et des autorités de réglementation, ce qui a permis de faire une analyse méticuleuse et bien complète.
- Le GTCN a proposé des échéanciers pour la concrétisation des mesures de normalisation, en fonction des résultats de l'exercice de hiérarchisation. Lorsque les lacunes étaient majeures, il leur a attribué une échéance à court ou moyen terme.

Figure 2 : Conception de la feuille de route – Approche générale



2.2 Définition de la chaîne de valeur de l'hydrogène

La présente feuille de route s'articule autour des 72 éléments de la chaîne de valeur de l'hydrogène, établis en fonction d'un système de classification. Ces éléments sont illustrés à la **figure 3**.

Ce système précède la présente feuille de route, et nous le devons au CNRC, qui s'était déjà donné pour objectif de cartographier et d'illustrer la grande quantité d'information relative aux codes et aux normes sur l'hydrogène.¹⁰ Nous avons adopté ce système pour concevoir la feuille de route,

en sachant fort bien que des améliorations seraient sans doute nécessaires, compte tenu de l'évolution constante du secteur de l'hydrogène. Des ajustements seront peut-être requis dans les prochains travaux du GTCN ou les prochaines moutures de la feuille de route. Par ailleurs, si un système de classification international voyait le jour, il pourrait être adopté.

Pour garantir l'exhaustivité de l'analyse des lacunes, les 72 éléments ont été divisés en trois groupes, chacun d'eux se rapportant à un segment de la chaîne de valeur : 1) production, 2) livraison et stockage et 3) utilisation finale. La portée de chacun des groupes est résumée au **tableau 1**.

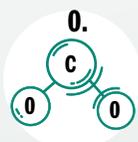
Tableau 1 : Segments de la chaîne de valeur de l'hydrogène

Production (Éléments 0 à 10)	Livraison et stockage (Éléments 11 à 26)	Utilisation finale (Éléments 27 à 72)
<p>S'attarde à l'intensité en carbone et aux différentes façons de transformer des ressources naturelles et de l'énergie primaire en hydrogène, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Électrolyse de l'eau • Reformage du gaz naturel • Gazéification de la biomasse • Déchets industriels raffinés • Autres technologies émergentes 	<p>S'attarde au transfert de l'hydrogène des sites de production à ceux d'utilisation et d'entreposage intermédiaires, de même qu'à ce qui suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conversion, stockage et liquéfaction aux sites de production • Acheminement de l'hydrogène liquide et gazeux • Stockage, conversion et vaporisation aux sites d'utilisation 	<p>S'attarde à l'utilisation de l'hydrogène dans les contextes industriels, commerciaux et résidentiels ainsi que dans le transport, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Production d'énergie • Appareils de combustion • Mélanges de gaz naturel et d'hydrogène (GN-H₂) • Distribution et utilisation de l'hydrogène comme carburant dans les secteurs routiers, aériens, ferroviaires, miniers et maritimes • Utilisation industrielle des matières premières • Applications du pétrole et du gaz

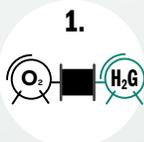
¹⁰ Conseil national de recherches Canada (2022). *NRCan Hydrogen Codes and Standards Gap Analysis Project*. Extrait de <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=6d14bc19-30b8-4c59-bb26-513dd983d3d7>. Pour consulter une cartographie actualisée, visiter le site <https://csres-cnrc.gc.ca/fr/canadian-hydrogen-value-chain-2024>.

Figure 3 : Système de classification de la chaîne de valeur de l'hydrogène

PRODUCTION



Intensité en carbone



Électrolyse de l'eau - centralisée ou décentralisée



Électrolyse de l'eau - en haute mer



Reformage du gaz naturel



Gazéification de la biomasse



Reformage de liquides dérivés de la biomasse



Déchets industriels raffinés



Hydrogène thermochimique de source solaire ou nucléaire

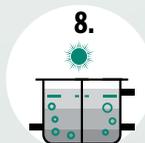
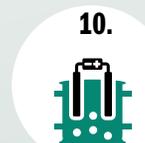


Photo-électrochimique



Conversion microbienne / photobiologique de la biomasse



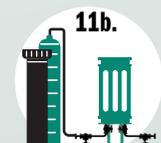
Transition carbone accélérée (TCA)

LIVRAISON ET STOCKAGE

TRANSPORTEURS D'HYDROGÈNE, STOCKAGE ET LIQUÉFACTION SUR LE SITE DE PRODUCTION



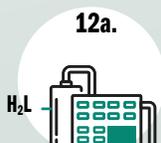
NH₃ pour la livraison et le stockage d'H₂



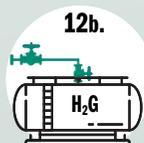
Liquides organiques porteurs d'H₂ (LOPH) pour la livraison et le stockage d'H₂



Méthanol pour la livraison et le stockage d'H₂



Stockage d'H₂L sur le site de production



Stockage d'H₂G



Usine de liquéfaction de l'H₂

ACHEMÈNEMENT D'HYDROGÈNE GAZEUX OU LIQUIDE



Acheminement de NH₃ par camion



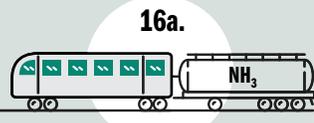
Acheminement de LOPH par camion



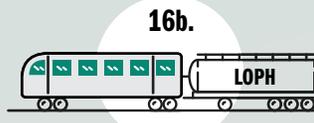
Acheminement de NH₃ par bateau



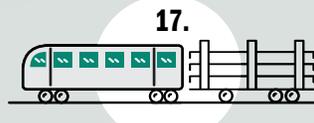
Acheminement de LOPH par bateau



Acheminement de NH₃ par chemin de fer



Acheminement de LOPH par chemin de fer



Acheminement d'H₂G par chemin de fer



Acheminement d'H₂G par camion



Systèmes de pipelines de gaz H₂ / Stations de réduction de pression H₂G



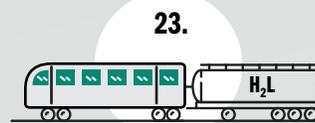
Acheminement d'H₂G par bateau



Acheminement d'H₂L par bateau



Acheminement d'H₂L par camion



Acheminement d'H₂L par chemin de fer

LIVRAISON ET STOCKAGE

STOCKAGE, CONVERSION ET VAPORISATION D'H₂ SUR LE SITE D'UTILISATION FINALE



24a.
Craquage de NH₃ pour libérer l'H₂G



24b.
Déshydrogénation de LOPH pour libérer l'H₂



25.
Stockage d'H₂L sur le site d'utilisation



26.
Vaporisation d'H₂L sur le site de distribution

UTILISATION FINALE

APPAREILS DE COMBUSTION À L'HYDROGÈNE GAZEUX



30.
Chaudières et chauffe-eau à l'H₂G



31.
Fours et brûleurs à l'H₂G

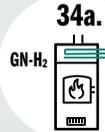


32.
Appareils de cuisson à l'H₂G

APPAREILS DE COMBUSTION, PRODUCTION D'ÉNERGIE ET EXPORTATION EN LIEN AVEC LE MÉLANGE DE GAZ NATUREL ET D'HYDROGÈNE (GN-H₂)



33.
Injection d'H₂G dans les systèmes de pipelines de gaz naturel



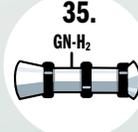
34a.
Chauffe-eau au mélange de GN-H₂



34b.
Fours et brûleurs au mélange de GN-H₂



34c.
Appareils de cuisson au mélange de GN-H₂



35.
Turbines à gaz alimentées au mélange de GN-H₂



36.
Acheminement de mélange de GN et d'H₂ par bateau

UTILISATION FINALE

PRODUCTION D'ÉNERGIE



27.
Systèmes de pile à combustible portables et micros



28.
Systèmes de pile à combustible stationnaires

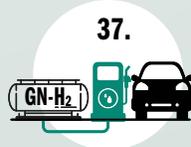


29a.
Turbines à gaz alimentées à l'H₂

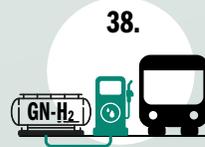


29b.
Moteurs à combustion interne (MCI) à gaz alimentés à l'H₂

VÉHICULES UTILISANT DE L'HYDROGÈNE OU UN MÉLANGE (GN-H₂ OU DIESEL-H₂)



37.
Distributeurs de mélange de GN-H₂ pour véhicules légers



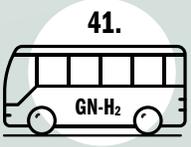
38.
Distributeurs de mélange de GN-H₂ pour véhicules lourds



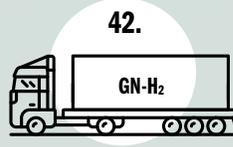
39.
Manutention de matériaux alimentés au mélange de GN-H₂



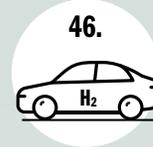
40.
Véhicules utilitaires légers alimentés au mélange de GN-H₂



41.
Véhicules utilitaires lourds - Autobus alimentés au mélange de GN-H₂



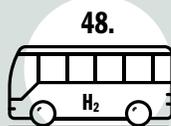
42.
Véhicules utilitaires lourds - Camions alimentés au mélange de GN-H₂



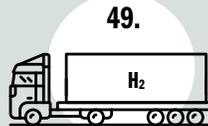
46.
Véhicules légers à l'H₂



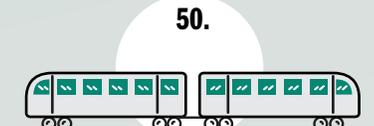
47.
Manutention de matériaux alimentés à l'H₂



48.
Véhicules utilitaires lourds - Autobus fonctionnant à l'H₂



49.
Véhicules utilitaires lourds - Camions fonctionnant à l'H₂



50.
Train à l'hydrogène (train alimenté à l'H₂)



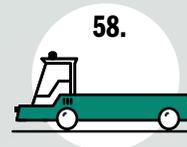
55.
Navires propulsés à l'H₂



56.
Avions propulsés à l'H₂



57.
Véhicules aériens sans pilote propulsés à l'H₂



58.
Véhicules aéroportuaires fonctionnant à l'H₂



72.
Camions au mélange de diesel et d'H₂

UTILISATION FINALE

DISTRIBUTION D'HYDROGÈNE

43.



Distributeurs d'H₂
pour véhicules légers

44.



Distributeurs d'H₂
pour véhicules lourds

45.



Distributeurs d'H₂
pour chemin de fer

51.



Distributeurs d'H₂
pour les navires

52.



Distributeurs d'H₂
pour les avions

53.



Distributeurs d'H₂ pour
les véhicules aériens sans pilote

54.



Distributeurs d'H₂ pour
les véhicules aéroportuaires

EXPLOITATION MINIÈRE ET ACTIVITÉS INDUSTRIELLES

59.



Distributeurs d'H₂ pour véhicules
d'exploitation minière à ciel ouvert

60.



Distributeurs d'H₂G pour véhicules
d'exploitation minière souterraine

63.



Systèmes de chauffage
et de ventilation fonctionnant
à l'H₂ pour l'exploitation
minière souterraine

61.



Équipements utilitaires lourds
fonctionnant à l'H₂ pour
l'exploitation minière à ciel ouvert

62.



Équipements utilitaires lourds
fonctionnant à l'H₂ pour
l'exploitation minière souterraine

64.



Production chimique

65.



Engrais

66.



Carburants synthétiques

67.



Production d'acier

68.



Usines de ciment

ÉLÉMENTS COMMUNS À TOUTES LES APPLICATIONS ET ÉLÉMENTS D'INSTALLATION COMMUNS

69.



Éléments communs à
toutes les applications

70.



Éléments d'installation communs

PÉTROLE ET GAZ

71.



Industrie pétrolière et gazière

2.3 Analyse des lacunes

2.3.1 Liste des codes, des normes et des documents d'orientation

Les membres des trois groupes de projet (production; livraison et stockage; utilisation finale) ont réalisé une analyse environnementale des codes, normes et documents d'orientation régionaux, canadiens, états-uniens et internationaux pour chacun des éléments se rapportant à leur segment. Étaient visés tant les documents en vigueur que ceux en cours d'élaboration.

Les membres du GTCN ont recensé les codes, normes et documents d'orientation jugés pertinents ou informatifs pour un élément. Une liste détaillée de ceux-ci, ventilée par éléments et classée selon qu'ils ont été validés ou non, est accessible sur *Liste des codes, des normes et des documents d'orientation*. Chaque document réputé avoir été validé a été évalué par une représentante ou un représentant d'un OEN accrédité par le CCN, puis jugé applicable à l'élément auquel il se rapporte.

2.4 Formulation de recommandations de normalisation

Le choix d'une solution pour combler une lacune normative nécessiterait une analyse approfondie du sujet et des normes en vigueur; or, ce n'était pas le mandat des groupes de projet, mais plutôt celui des comités techniques. Néanmoins, nous avons dressé une liste de pistes possibles : les « recommandations de normalisation ». Celles-ci sont présentées sommairement au **tableau 2** et détaillées à la **figure 4**.

Tableau 2 : Recommandations de normalisation pour les éléments

1	Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes.
2	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes.
3.1	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter.
3.2	Renvoyer à des normes régionales existantes ou les adopter.
3.3	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter.
4	Élaborer de nouvelles normes.
5	Attendre la publication des normes en cours d'élaboration.
6	Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée.

2.3.2 Attribution des cotes « Aucune lacune », « Lacune partielle » et « Lacune complète »

Pour simplifier la présentation des constats de l'analyse, l'ampleur des lacunes a été cotée ainsi :

- **Aucune lacune** – Il existe une norme pertinente et applicable pouvant être utilisée telle quelle.
- **Lacune partielle** – Il existe une ou des normes pertinentes, mais pas forcément applicables dans leur entièreté, pouvant être utilisées, modifiées ou adoptées.
- **Lacune complète** – Il n'existe aucune norme régionale, canadienne, états-unienne ou internationale. Cette cote a aussi été attribuée si une norme pertinente est en cours d'élaboration, mais sans avoir été publiée.

Si l'analyse des lacunes révèle qu'il existe une norme canadienne :¹¹

- L'**option 1** est retenue si la norme préexistante est pertinente pour l'équipement à l'hydrogène ou si elle pourrait être optimisée grâce à l'intégration d'éléments de normes régionales ou internationales. Aucune action immédiate n'est requise dans ce cas; la norme suivra son processus d'examen périodique ordinaire.
- L'**option 2** est retenue si la norme préexistante s'applique à un équipement ou un secteur similaire, sans s'appliquer directement à l'élément visé. Il est alors proposé d'utiliser la norme similaire telle quelle ou d'en étendre la portée à l'hydrogène.

Si l'analyse révèle qu'il n'existe pas de norme canadienne, mais qu'il en existe une ailleurs :

- L'**option 3 (3.1, 3.2 et 3.3)** est retenue. Idéalement, il faut viser la compatibilité à l'international et l'interopérabilité transfrontalière, et chercher à prévenir les obstacles techniques au commerce et à améliorer l'accès aux marchés, tout en respectant les normes déjà établies. L'adoption d'une norme régionale ou internationale, par exemple, allège le fardeau et réduit le temps qu'il faut pour se conformer aux différentes exigences réglementaires.

Si l'analyse révèle qu'il n'existe aucune norme :

- L'**option 4** est retenue. Compte tenu des investissements, du temps et des ressources nécessaires pour élaborer une nouvelle norme, cette option ne devrait être envisagée que s'il a été confirmé qu'aucune norme existante ne peut être adoptée ou harmonisée.

Selon la situation, on peut explorer d'autres recommandations de normalisation (autre qu'une NNC) *en attendant* qu'une norme canadienne voit le jour ou qu'une norme régionale ou internationale soit adoptée. Les solutions normatives flexibles proposent toutes sortes de stratégies possibles selon l'urgence, le financement et les besoins, pour un produit ou une certification qui fait consensus.¹²

N'OUBLIEZ PAS : L'ÉLABORATION D'UNE NOUVELLE NORME EST UNE TÂCHE COLOSSALE

- i. Comme les NNC sont en partie fondées sur les pratiques exemplaires internationales et qu'elles doivent cadrer avec ce qui se fait ailleurs dans le monde, elles demandent un grand travail de recherche, de consultation et d'adaptation.
- ii. Les NNC doivent répondre aux besoins locaux, aux exigences en matière de sécurité et aux attentes des secteurs.
- iii. La rapidité est de mise en raison de divers enjeux, comme le niveau de préparation à la commercialisation, les avancées technologiques et les retombées économiques.
- iv. Il faut s'assurer d'avoir suffisamment de financement pour les phases de recherche, de rédaction et d'examen.
- v. Les comités techniques doivent être équilibrés et doivent faire appel à des expertes et experts.
- vi. Les NNC sont soumises à l'examen rigoureux des parties intéressées, des représentantes et représentants du secteur et du public.
- vii. Il peut s'agir d'élaborer des normes nationales ou d'adopter des normes internationales. Dans le deuxième cas, il faudra porter une attention particulière au contexte national pour trouver l'équilibre entre les besoins de localisation et d'harmonisation internationale.

¹¹ S'entend d'une norme canadienne une norme nationale du Canada (NNC), qui ne peut être élaborée que par un OEN accrédité par le CCN.

¹² Conseil canadien des normes (2021). *Stratégies et solutions normatives souples*. Extrait de <https://ccn-scc.ca/ressources/publications/strategies-et-solutions-normatives-souples>

Si l'analyse révèle qu'une norme est en cours d'élaboration :

- L'**option 5** est retenue. Les parties concernées peuvent soit attendre la publication de la norme, soit opter pour une solution intérimaire, comme il est décrit à l'option 4.

Si l'analyse révèle que le Canada n'a pas besoin d'une norme dans l'immédiat parce que la technologie en est encore à ses balbutiements ou qu'elle n'est pas encore très répandue :

- L'**option 6** est retenue. Cette option s'applique dans le cas d'une nouvelle technologie (c.-à-d., un élément dont le niveau de maturité technologique [NMT] est inférieur à 7) ou d'une technologie peu répandue ou adoptée au Canada.¹³ Il est donc recommandé d'attendre que la technologie soit plus mature ou qu'elle soit commercialisée avant d'entamer un processus de normalisation.

Les normes, fondement des codes

Une norme est un document normatif indépendant établissant des lignes directrices, des spécifications et des pratiques exemplaires. Elle sert de référence à divers secteurs et domaines d'application.

Un code est plutôt l'amalgame des règles et règlements à respecter. Il renvoie souvent aux normes pertinentes à des fins particulières. Par exemple, les codes de l'électricité, de la plomberie, du bâtiment et de la sécurité incendie renvoient aux normes pertinentes sélectionnées dans une optique de conformité.

À noter que le CCIH (CAN/BNQ 1784-000) fait exception. Malgré son appellation (*Code canadien d'installation de l'hydrogène*), il se rapproche davantage d'une norme, dans le sens qu'il vise à établir les lignes directrices et les pratiques liées à l'installation de l'hydrogène.

Puisque les codes dépendent de normes sous-jacentes, il est impératif de combler les lacunes normatives pour en faciliter l'élaboration. D'autres discussions seront nécessaires pour mettre au jour les lacunes liées aux codes et y remédier efficacement.

¹³ Innovation, Sciences et Développement économique Canada (2018). *Niveaux de maturité technologique*. Extrait de <https://ised-isde.canada.ca/site/innovation-canada/fr/niveaux-maturite-technologique>

Figure 4 : Schéma détaillé des recommandations de normalisation des éléments



2.5 Hiérarchisation des lacunes

2.5.1 Critères de priorité et classement

Compte tenu du très grand nombre d'éléments, il est nécessaire d'établir un ordre de priorité pour faire en sorte que le plan (feuille de route) comble efficacement les lacunes normatives. Entre donc en jeu la matrice de priorisation basée sur les décisions (MPBD), un système de classement qui tient compte de plusieurs variables dans l'évaluation du poids des lacunes et de leur importance pour l'élimination des obstacles au déploiement sécuritaire de l'hydrogène. Divers groupes d'intervenants, notamment des membres des groupes de projet du GTCN et des personnes externes

représentant les gouvernements provinciaux et les AC, ont été invités à participer à l'exercice. Le classement se fonde sur des critères propres aux opérations actuelles de déploiement de l'hydrogène ou susceptibles de faciliter les déploiements futurs. Visant essentiellement à combler les lacunes relatives aux codes et aux normes, il n'illustre pas forcément le caractère économiquement prioritaire des éléments.

Au départ, l'exercice s'adressait aux membres des groupes de projet du GTCN, auxquels siègent des parties prenantes de divers horizons. Ceux-ci devaient fournir de l'information et donner leur avis, ou faire appel à leur réseau, pour classer chaque élément de leur segment de la chaîne de valeur en fonction des critères présentés au **tableau 3**.

Tableau 3 : Critères de classement des éléments utilisés par les membres des groupes de projet et les spécialistes

Critère de classement	Description
Nombre d'entreprises canadiennes	Nombre d'entreprises actives proposant des produits, réalisant des projets ou faisant de la recherche en lien avec un élément donné.
Activité dans le secteur	Taille et influence (ex. : chiffre d'affaires) relatives des entreprises actives proposant des produits, réalisant des projets ou faisant de la recherche en lien avec un élément donné; l'existence de grandes entreprises influentes est l'indicateur d'un niveau d'intérêt et de commercialisation élevé, ce rend l'élément plus prioritaire.
Avantages	Avantages liés à la publication d'une norme pertinente; si l'élaboration ou la mise à jour d'une norme éliminerait des obstacles ou accélérerait l'adoption de la technologie, le degré de priorité augmente.
Niveau de maturité technologique (NMT)	Niveau de maturité d'un élément donné (ex. : phase de conception, ou commercialisation avancée ou enclenchée).
Urgence	Incidence plus ou moins grande du facteur temps dans l'adoption d'une nouvelle norme; l'urgence est élevée si la demande pour une technologie donnée est forte, mais que son développement ou sa mise en œuvre est freiné par l'absence de normes applicables.

Un exercice distinct a ensuite été mené auprès de représentantes et représentants de gouvernements et d'organismes de réglementation, dans le but de mieux comprendre les priorités et de vérifier qu'elles cadraient avec les constats de l'exercice initial. On a demandé à ces personnes de classer les éléments en fonction des quatre critères présentés au **tableau 4**, qui complètent les données recueillies auprès des membres du GTCN. Adaptés pour les codes et les normes relatifs à l'hydrogène, ces critères sont tirés du rapport du comité sur les véhicules électriques de l'American National Standards Institute (ANSI) intitulé *Roadmap of Standards and Codes for Electric Vehicles at Scale*, dont les objectifs étaient semblables à ceux de la présente feuille de route.¹⁴ Ont contribué à l'exercice des représentantes et représentants des gouvernements de l'Alberta, de la Colombie-Britannique, de Terre-Neuve-et-Labrador, de l'Ontario et du Québec,

¹⁴ American National Standards Association. *ANSI Electric Vehicles Standards Panel (EVSP)*. Extrait de <https://www.ansi.org/standards-coordination/collaboratives-activities/electric-vehicles> (en anglais)

de même que des représentantes et représentants d'AC de la Colombie-Britannique, de l'Ontario, du Québec et de la Saskatchewan. La participation d'autres provinces et territoires aux prochains exercices de hiérarchisation permettrait de consolider les résultats.

Tableau 4 : Critères de classement des éléments utilisés par les personnes représentant des gouvernements provinciaux et des AC

Critère de classement	Description
Réalisabilité	Volume de ressources nécessaire pour combler les lacunes, en tenant compte des priorités concurrentes (c.-à-d. les autres éléments); la réalisabilité est plus élevée si le projet est déjà entamé que s'il ne l'est pas, puisque le travail nécessaire est plus grand.
Importance	Importance et urgence d'adopter une norme pour un élément donné; si les conséquences (ex. : risques pour la sécurité ou la qualité) de ne pas élaborer de normes sont graves, alors l'importance est élevée.
Retombées	Effet positif de l'élimination des lacunes normatives pour un élément; plus le rendement du capital investi est haut, plus la priorité est élevée.
Portée	Ampleur des investissements requis (ex. : temps, efforts, argent) pour optimiser les connaissances et combler les lacunes, et disponibilité de l'information, des outils et des ressources; moins l'investissement requis est élevé, plus l'élément est situé haut dans le classement.

Les résultats ont ensuite été pondérés selon la méthode de la MPBD (voir l'**annexe E**) pour obtenir une cote normalisée sur 100. Plus la cote se rapproche de 100, plus la priorité est élevée. À partir d'ici, le terme « **classement général** » désigne ce classement final.

2.5.2 Échéanciers

Les 72 éléments ont été classés en ordre croissant d'après le classement général. Nous avons analysé plus en profondeur les 20 premiers, en vue de proposer un échéancier. Trois options étaient possibles :

- **Court terme** : Les lacunes associées à ces éléments sont prioritaires et doivent être corrigées. L'horizon recommandé de publication des codes et des normes est de trois ans, à compter de la publication du présent rapport (c.-à-d. avant 2028). Cela correspond au temps que met habituellement le Canada pour élaborer une norme (18 à 36 mois).
- **Moyen terme** : Il est important de combler les lacunes, mais pas nécessaire de le faire dans l'imédiat. L'horizon recommandé de publication des codes et des normes est de trois à six ans (c.-à-d. 2028 à 2030).

- **Long terme** : Aucune lacune n'a été observée, ou les lacunes ne sont pas urgentes, mais il serait néanmoins pertinent de se pencher sur la question un jour. L'horizon de publication des codes et des normes est de six ans ou plus (c.-à-d. 2031 ou après).

Pour proposer un échéancier pour les éléments assortis des cotes « Lacune partielle » et « Lacune complète », nous nous sommes appuyés sur les scores des critères d'urgence et d'importance (présentés aux **tableaux 3 et 4**, respectivement), puisqu'ils témoignent du laps de temps dans lequel les parties concernées estiment qu'il faut combler les lacunes. Nous avons proposé une échéance à court terme lorsque le score combiné, pour les deux critères, était supérieur à 70 (sur 100), et une échéance à moyen terme lorsque le score était inférieur à 70.

Pour les éléments ne présentant aucune lacune – soit parce qu'une norme existe déjà, soit parce qu'il a été impossible de valider les lacunes – nous avons proposé une échéance à long terme. À noter cependant que les échéanciers sont appelés à évoluer avec les nouvelles données, tout comme les besoins des secteurs. Nous nous attendons à ce que certaines priorités à long terme soient reclassées dans les catégories à court et moyen terme lorsque la présente feuille de route sera mise à jour.

A close-up photograph of a hand in a light blue lab coat sleeve, reaching out towards the left. The background is a blurred, bright blue and green environment. A large, white, bold number '3' is overlaid on a dark green, curved shape on the left side of the image.

3

3. RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES LACUNES

Les résultats de l'analyse des lacunes sont présentés par portions de la chaîne de valeur de l'hydrogène : production (**section 3.1**), livraison et stockage (**section 3.2**) et utilisation finale (**section 3.3**). Par souci de clarté, compte tenu du grand nombre d'éléments qu'elles englobent, les deux dernières sections seront subdivisées. Certains enjeux qui se recoupent entre plusieurs parties de la chaîne de valeur sont aussi explorés à la **section 3.4**.

La liste complète des codes, des normes et des documents d'orientation publiés recensés pendant l'analyse environnementale et l'analyse des lacunes peut être consultée sur [*Liste des codes, des normes et des documents d'orientation*](#).

Certains éléments ont été regroupés pour les besoins de l'analyse des lacunes, en raison de similitudes dans le secteur ou les technologies utilisées, ce qui a permis une meilleure comparaison des normes. D'autres éléments n'ont pas été évalués, soit parce que la technologie est récente et que l'information à son sujet est limitée, soit parce que l'expertise nécessaire n'était pas disponible.

3.1 Production

3.1.1 Portée

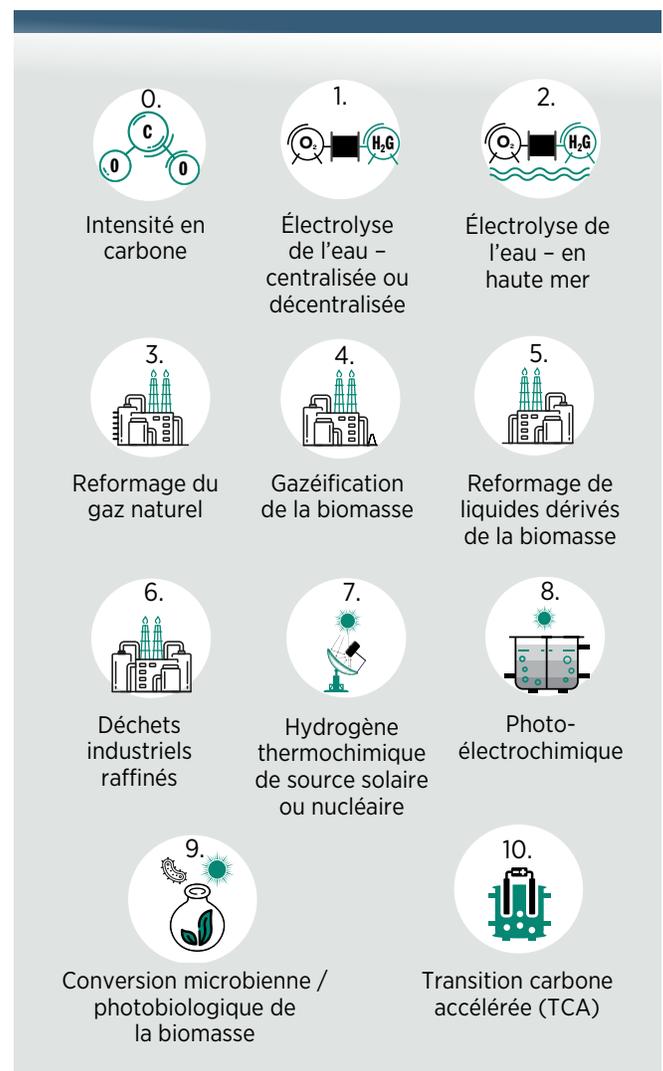
La partie production de la chaîne de valeur s'attarde aux diverses façons de transformer des ressources naturelles et de l'énergie primaire en hydrogène. Elle comprend les éléments 0 à 10, dont l'IC associée aux différentes voies de production de l'hydrogène.

La production d'hydrogène nécessite un grand nombre de technologies matures et de processus commerciaux établis, comme l'électrolyse de l'eau et le reformage du méthane à la vapeur. De nouvelles technologies émergent aussi continuellement, comme la conversion thermochimique ou biologique. L'hydrogène peut également être le sous-produit d'autres processus industriels.

Les membres du sous-groupe de travail ont tâché de cerner les lacunes et de faire des suggestions pour augmenter rapidement la disponibilité de l'hydrogène d'ici 2030. Ils se sont attardés aux technologies de production d'un niveau de maturité technologique (NMT) d'au moins 8, soit les éléments 1 à 6. Les éléments 7 à 10, qui se rapportent

à des technologies émergentes (NMT de 4 ou moins), ont donc été mis de côté.

À l'heure actuelle, l'hydrogène est principalement produit à grande échelle, dans des milieux industriels centralisés. Il pourrait toutefois être produit à plus petite échelle, plus près des infrastructures d'utilisation finale (comme les postes de ravitaillement) pour réduire le besoin de transport. Comme il existe de multiples technologies de production décentralisée ou à petite échelle, il serait important que les codes et les normes pour chacune couvrent aussi l'application finale correspondante.



Bien que l'hydrogène soit produit à l'échelle industrielle depuis des décennies, l'hydrogène sobre en carbone demeure bien plus rare. Au Canada, pour être considéré comme sobre en carbone, l'hydrogène doit avoir une IC moyenne de moins de 4 kg de CO₂ par kg produit sur tout son cycle de vie. Ainsi, il est crucial d'avoir un mécanisme normalisé pour déterminer l'IC des différentes voies de production afin d'encourager le développement de l'hydrogène sobre en carbone. Un certificat ou un système équivalent pourrait être utilisé pour départager la production à forte et à faible IC et faciliter le commerce international de l'hydrogène, ce qui aurait pour effet de stimuler la demande. Les marchés d'exportation potentiels (comme l'Europe) continuent de se développer et de définir des exigences et des caractéristiques pour l'hydrogène sobre en carbone, ce dont le Canada devra tenir compte dans sa norme d'analyse du cycle de vie (ACV) de l'hydrogène.¹⁵

LA PURETÉ DE L'HYDROGÈNE PRODUIT, UN FACTEUR IMPORTANT

La pureté de l'hydrogène dépend de plusieurs éléments dans la chaîne de valeur (compatibilité des matériaux, sécurité, mélange à d'autres combustibles). Une spécification de qualité minimale ou un niveau de contamination critique devra être défini aux fins de conformité aux exigences de traitement, de transport et d'utilisation finale de l'hydrogène produit. Il existe déjà des normes de qualité et de pureté de l'hydrogène, par exemple ISO/DIS 14687, *Qualité du carburant hydrogène*.

Le matériel de purification est principalement conçu pour éliminer les impuretés, comme les gaz autres que l'hydrogène, l'oxygène, l'eau, l'huile et les matières particulaires des flux gazeux de l'hydrogène. Se situant généralement à même les installations de production, les systèmes de purification sont disponibles sur le marché, fonctionnels et majoritairement couverts par les normes existantes. Or, il demeure certaines lacunes. Notamment, il n'existe aucune norme consacrée à l'équipement d'assèchement de l'hydrogène gazeux. Le matériel de purification et d'assèchement est partiellement couvert par CSA B22734, *Générateurs d'hydrogène utilisant le procédé de l'électrolyse de l'eau*, et CSA B51, *Code sur les chaudières, les appareils et les tuyauteries sous pression*, mais il manque toujours une norme définissant les exigences minimales de construction et de sûreté pour l'assèchement de l'hydrogène gazeux.

¹⁵ L'ACV est une approche courante pour déterminer l'IC d'un produit et de ses sources en fonction des nombreux facteurs d'émissions dans l'analyse.

3.1.2 Lacunes

Le **tableau 5** résume les lacunes dans le segment de production de la chaîne de valeur de l'hydrogène

Tableau 5 : Lacunes dans le segment de production de l'hydrogène

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
0	Intensité en carbone	●	5 – Attendre la publication des normes en cours d'élaboration
1	Électrolyse de l'eau – centralisée ou décentralisée	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
2	Électrolyse de l'eau – en haute mer	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
3	Reformage du gaz naturel	●	3.1 – Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter
4	Gazéification de la biomasse	●	3.1 – Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter
5	Reformage de liquides dérivés de la biomasse	●	6 – Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée
6	Déchets industriels raffinés	○	1 – Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes
7	Hydrogène thermochimique de source solaire ou nucléaire	X	
8	Photo-électrochimique	X	
9	Conversion microbienne / photobiologique de la biomasse	X	
10	Transition carbone accélérée (TCA)	X	

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

Les éléments 7 à 10 n'ont pas été évalués, en raison tantôt de leur faible NMT, tantôt d'une activité limitée au Canada, tantôt d'un manque d'expertise au moment de la préparation de la feuille de route.

Intensité en carbone (élément 0) – *Lacune complète*

L'IC de la production d'hydrogène doit être prise en compte, tant pour l'usage local que pour l'exportation. Bien que l'ACV soit souvent l'approche préconisée, il est important de définir une méthode de mesure commune à l'échelle mondiale. La détermination de l'IC d'un produit ou d'un procédé par ACV s'appuie généralement sur les protocoles et les normes définis par l'ISO ou les gouvernements pour les gaz à effet de serre (GES). Les normes canadiennes devraient correspondre aux normes ISO, au minimum, et tenir compte du contexte international, en particulier des marchés d'exportation potentiels.

Cette lacune est en cours de rectification : le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) et le Groupe CSA travaillent sur une norme binationale (canado-états-unienne) définissant des lignes directrices pour l'évaluation de l'IC de la production d'hydrogène¹⁶ CSA a d'ailleurs publié un rapport d'étude faisant des recommandations pour un éventuel système de classification de l'hydrogène, qui aiderait les fournisseurs et les consommatrices et consommateurs à prendre des décisions plus éclairées¹⁷.

L'IPHE a également publié en juillet 2023 une méthode de détermination des émissions de GES associées à la production d'hydrogène.¹⁸ Appelée la « méthode IPHE », celle-ci a inspiré la récente spécification technique ISO 19870:2023, *Méthodologie pour déterminer les émissions de gaz à effet de serre associées à la production, au conditionnement et au transport de l'hydrogène jusqu'au point de consommation*.

Bien que différentes initiatives soient en cours, aucune norme applicable n'a encore été publiée, d'où la classification dans la catégorie « lacune complète ».

Électrolyse de l'eau (éléments 1 et 2) – Lacunes partielles

L'électrolyse de l'eau est un processus chimique qui consiste à utiliser l'électricité pour séparer l'eau en hydrogène et en oxygène. C'est sur les plans de l'emplacement et de l'autorité réglementaire responsable que se distinguent principalement l'électrolyse en mer et l'électrolyse sur terre. Les normes encadrant les installations en mer, comme les éoliennes ou les plateformes pétrogazières, seraient probablement applicables.

Il n'existe que quelques technologies pour l'électrolyse de l'eau, et bon nombre sont couvertes par des normes existantes, par exemple la nouvelle version publiée de la norme binationale (canado-états-unienne) CSA B22734, *Générateurs d'hydrogène utilisant le procédé de l'électrolyse de l'eau*. Légère adaptation de la norme ISO 22734,

celle-ci s'harmonise aux normes internationales et couvre des composants d'électrolyseurs supplémentaires.

On notera toutefois une lacune substantielle du côté des interrelations entre la production d'hydrogène et les autres aspects de la chaîne de valeur, comme la livraison et le stockage. Il s'agit d'un enjeu pour l'intégration des systèmes d'électrolyse de l'eau décentralisés – ou d'autres installations de production à petite échelle sur place – avec le reste des infrastructures de ravitaillement en hydrogène (compresseurs, réservoirs de stockage, distributeurs), qui peuvent être dans un milieu urbain ou commercial.

Il pourrait par ailleurs être avisé d'actualiser les codes et les normes qui encadrent les différents modes de production d'électricité, comme le gaz naturel à cycle combiné ou le nucléaire, afin de favoriser la production d'hydrogène à grande échelle (ex. : évaluation des risques d'une centrale nucléaire)¹⁹. C'est pourquoi nous avons opté pour la lacune partielle.

Reformage du gaz naturel (élément 3) – Lacune partielle

Le reformage du gaz naturel, qui englobe le SMR et l'ATR, est un processus faisant appel à la réaction des hydrocarbures – le plus souvent la réaction du gaz naturel avec l'eau ou l'oxygène – pour produire un gaz de synthèse composé d'hydrogène et de monoxyde de carbone. Le SMR, jusqu'ici le principal mode de production d'hydrogène à grande échelle, continue de fournir une grande part de l'hydrogène mondial.

Le SMR et l'ATR sont des technologies pleinement développées et commercialisées, et l'on trouve de multiples installations de SMR au Canada. Les installations de SMR existantes en sont à se doter de systèmes de captage et de stockage du carbone (CSC) ou de captage, d'utilisation et de stockage du carbone (CUSC) pour réduire l'IC de leur production d'hydrogène; il s'agit d'un élément de plus à prendre en compte dans la normalisation. En outre, tous les projets d'ATR prévus auront recours au captage pour

¹⁶ Conseil canadien des normes. *Intensité en carbone de l'hydrogène*. Extrait de <https://ccn-scc.ca/normes/avis-dintention/bureau-de-normalisation-du-quebec-bnq/intensite-en-carbone-de-lhydrogene>

¹⁷ Oliver, B., Davidson, A., Punia, G. K. (2023). *Classification avancée de l'hydrogène : analyse du cycle de vie et plus*. Association canadienne de normalisation, Toronto, ON.

¹⁸ International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (2021). *Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated with the Production of Hydrogen*. Extrait de <https://www.iphe.net/iphe-working-paper-methodology-doc-oct-2021> (en anglais)

¹⁹ Parmi les normes pertinentes sur les centrales nucléaires, notons CSA N286:12, *Exigences relatives au système de gestion des installations nucléaires*, et CSA N290.17, *Études probabilistes de sûreté pour les centrales nucléaires*.

réduire leur IC. Le CSC et le CUSC dépassent la portée de la présente feuille de route, mais le rapport technique ISO/TR 27912:2016, *Capture du dioxyde de carbone – Systèmes de capture du dioxyde de carbone, technologies et processus* entre dans le détail des systèmes, des technologies et des processus qui s’y rapportent.

D’autres technologies de production d’hydrogène sont en développement, dont l’oxydation partielle et la pyrolyse du méthane.

La plupart des normes de production d’hydrogène sont internationales. Au Canada, il existe peu de normes consacrées à cette activité : seul le document CSA B51, *Code sur les chaudières, les appareils et les tuyauteries sous pression*, a été jugé pertinent pour le présent élément. Toutefois, comme il existe des normes, il s’agit d’une lacune partielle.

Il y aurait potentiellement lieu de consolider et de simplifier des normes pour faciliter les projets d’hydrogène, notamment sur les plans des pratiques exemplaires de conception des processus, des connaissances opérationnelles et de l’expérience, sans fardeau ni coûts de production supplémentaires, et de définir des méthodes d’essai pour évaluer l’efficacité des processus. Cela vaut pour tous les modes de production.

Gazéification de la biomasse et reformage de liquides dérivés de la biomasse (éléments 4 et 5) – Lacunes partielles

La gazéification est un procédé thermochimique permettant de convertir des matières carbonées solides et brutes en charge d’alimentation gazeuse combustible ou chimique. Elle consiste à oxyder partiellement des matières biologiques (biomasse) à des températures généralement supérieures à 800 °C, à l’aide d’un agent comme l’air ou la vapeur, pour produire un mélange de monoxyde de carbone, d’hydrogène, de dioxyde de carbone, de vapeur d’eau, de méthane et d’azote avec des contaminants de soufre, de goudron et de cendre. L’hydrogène peut ensuite être extrait.

La production d’hydrogène à partir de biomasse repose sur des charges d’alimentation renouvelables, qui sont abondantes dans certaines régions du Canada. Les liquides dérivés de la biomasse peuvent être produits par divers procédés : gazéification, pyrolyse, liquéfaction hydrothermique et fermentation. Le reformage subséquent de ces liquides en hydrogène peut être jumelé au captage et à l’utilisation du carbone pour réduire l’IC. La production à partir de biomasse offre ainsi un potentiel de diversification de sources d’hydrogène sobre en carbone et devrait être surveillée de près pour que les normes évoluent avec les technologies et les projets.

Il existe plusieurs normes applicables à ces éléments, d’où les lacunes partielles. Pour la gazéification de la biomasse (élément 4), nous recommandons :

- d’étendre CAN/CGA-B105-M93, *Code régissant les systèmes utilisant le gaz de digestion et les gaz de rebuts*, et CSA/ANSI B149.6:20, *Code sur la production et l’utilisation des gaz de digestion, des gaz d’enfouissement et des biogaz*, à la production d’hydrogène;
- de faire de CSA/ANSI FC 5:21, *Générateurs d’hydrogène faisant appel aux technologies du traitement du carburant – Partie 1 : Sécurité, une norme binationale canado-états-unienne*.

Des normes d’autres secteurs, dont les normes sur le biogaz (ex. : ISO 20675:2018, *Production, traitement, épuration et utilisation du biogaz*), pourraient aussi être adaptées.

Déchets industriels raffinés (élément 6) – Aucune lacune

L’hydrogène peut être un sous-produit de certains processus industriels, dont les procédés pétrochimiques et électrochimiques employés pour produire du polyéthylène et des composés chloroalkylés. La production d’hydrogène est alors fortuite; il ne s’agit pas du produit primaire.

Dans les installations concernées, l’hydrogène est capté et réutilisé comme gaz combustible sur place, ou purifié et vendu comme produit. Les technologies de captage et de purification sont en vente sur le marché et déjà encadrées par des normes; aucune lacune n’a été relevée.

3.2 Livraison et stockage

3.2.1 Portée

La portion livraison et stockage de la chaîne de valeur comprend les transporteurs d'hydrogène, le stockage, la liquéfaction, l'acheminement et la libération (éléments 11 à 26). La livraison et le stockage de l'hydrogène sont nécessaires tant pour l'usage local que pour l'importation ou l'exportation. La présente feuille de route s'attarde aux questions d'acheminement à l'intérieur du pays.²⁰

La faible densité énergétique volumétrique de l'hydrogène en complique le stockage. La méthode retenue dépend souvent des exigences de l'utilisation finale, y compris le poids et le volume à stocker.

L'hydrogène peut être acheminé et stocké sous plusieurs formes :

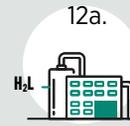
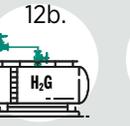
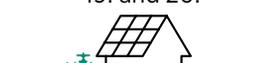
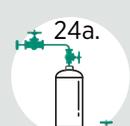
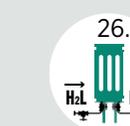
- Hydrogène gazeux (H₂G) : L'hydrogène gazeux peut être stocké dans des récipients sous pression, à l'état solide, dans des pipelines et dans des cavernes salines. Certaines de ces méthodes de stockage peuvent aussi servir de mode d'acheminement. L'**annexe F** entre dans le détail de chacune.

- Hydrogène liquide (H₂L) : L'hydrogène liquide offre une densité énergétique supérieure à l'hydrogène gazeux. Se liquéfiant à -253 °C, l'hydrogène requiert environ 10 kWh d'électricité par kilogramme refroidi à l'état liquide, soit environ 30 % de son pouvoir calorifique. Pour en prévenir l'évaporation, l'hydrogène liquide doit être conservé à une température cryogénique, dans des réservoirs hautement isolés semblables à ceux utilisés pour le gaz naturel. En raison de sa haute densité énergétique, l'hydrogène sous cette forme peut également être acheminé sur de longues distances, en quantités modérées, lorsqu'un pipeline dédié n'est pas une option.
- Transporteurs d'hydrogène : Les trois transporteurs examinés dans le cadre de cette feuille de route sont l'ammoniac (NH₃), les liquides organiques porteurs d'H₂ (LOPH) et le méthanol. Pour en savoir plus sur chacun, voir l'**annexe F**. D'autres transporteurs d'hydrogène émergents ont été laissés de côté, mais pourraient être examinés dans une prochaine analyse.

²⁰ Les prochaines analyses des lacunes pourraient porter sur l'exportation dans le segment « livraison », ou encore sur une analyse complète des exportations et des normes internationales sous l'angle de l'acheminement.

Le segment « livraison et stockage » de la chaîne de valeur de l'hydrogène comprend 16 éléments, divisés en trois groupes (**tableau 6**).

Tableau 6 : Groupements et éléments dans le segment « livraison et stockage »

Groupe	Éléments couverts					
Transporteurs d'H ₂ , stockage et liquéfaction sur le site de production	 <p>11a. NH₃ pour l'acheminement et le stockage d'H₂</p>	 <p>11b. Liquides organiques porteurs d'H₂ (LOPH) pour l'acheminement et le stockage d'H₂</p>	 <p>11c. Méthanol pour l'acheminement et le stockage d'H₂</p>	 <p>12a. Stockage d'H₂L sur le site de production</p>	 <p>12b. Stockage d'H₂G</p>	 <p>13. Usine de liquéfaction de l'H₂</p>
Acheminement d'H ₂ sous forme gazeuse ou liquide	 <p>14a. Acheminement de NH₃ par camion</p>	 <p>14b. Acheminement de LOPH par camion</p>	 <p>15a. Acheminement de NH₃ par bateau</p>	 <p>15b. Acheminement de LOPH par bateau</p>	 <p>16a. Acheminement de NH₃ par chemin de fer</p>	
	 <p>16b. Acheminement de LOPH par chemin de fer</p>	 <p>17. Acheminement d'H₂G par chemin de fer</p>	 <p>18. Acheminement d'H₂L par camion</p>	 <p>19. and 20. Systèmes de pipelines de gaz H₂ / stations de réduction de pression H₂G</p>		
	 <p>21a. Acheminement d'H₂G par bateau</p>	 <p>21b. Acheminement d'H₂L par bateau</p>	 <p>22. Acheminement d'H₂L par camion</p>	 <p>23. Acheminement d'H₂L par chemin de fer</p>		
Stockage, conversion et vaporisation d'H ₂ sur le site d'utilisation finale	 <p>24a. Craquage de NH₃ pour libérer l'H₂G</p>	 <p>24b. Déshydrogénation de LOPH pour libérer l'H₂</p>	 <p>25. Stockage d'H₂L sur le site d'utilisation</p>	 <p>26. Vaporisation d'H₂L sur le site de distribution</p>		

3.2.2 Lacunes

3.2.2.1 Transporteurs d'hydrogène, stockage et liquéfaction sur le site de production (éléments 11 à 13)

Le **tableau 7** résume les lacunes relatives aux transporteurs d'hydrogène, au stockage et à la liquéfaction sur le site de production.

Tableau 7 : Lacunes relatives aux transporteurs d'hydrogène, au stockage et à la liquéfaction sur le site de production

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
11a	NH ₃ pour la livraison et le stockage d'H ₂	●	4 - Élaborer de nouvelles normes
11b	Liquides organiques porteurs d'H ₂ (LOPH) pour la livraison et le stockage d'H ₂	●	6 - Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée
11c	Méthanol pour la livraison et le stockage d'H ₂	●	6 - Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée
12a	Stockage d'H ₂ L sur le site de production	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
12b	Stockage d'H ₂ G <i>Comprend : récipients sous pression, stockage à l'état solide, pipelines, inclus utilisation pour le stockage temporaire, cavernes salines/stockage souterrain, et stations de compression/compresseurs</i>	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
13	Usine de liquéfaction de l'H ₂	●	4 - Élaborer de nouvelles normes

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

NH₃ pour la livraison et le stockage d'H₂ (élément 11a) - *Lacune partielle*

L'ammoniac est un transporteur émergent de livraison et de stockage d'hydrogène, et ses processus de production sont technologiquement et commercialement matures. Il représente une option intéressante, car il peut être utilisé directement dans plusieurs applications ou reconverti en hydrogène au point d'utilisation.

Les lacunes pour cet élément se rapportent aux pipelines, au transport de masse par trains-blocs, au stockage dans les ports marins et aux envois à partir de ports canadiens, pour lesquels il n'existe actuellement aucune norme. De nouvelles normes ou sections au sein des normes devront être élaborées. De plus, si le volume d'ammoniac acheminé dans des zones densément peuplées était appelé à augmenter considérablement, il y aurait là aussi une lacune. Il y a donc une lacune partielle.

Liquides organiques porteurs d'H₂ (LOPH) pour la livraison et le stockage d'H₂ (élément 11b) – Lacune partielle

Il n'existe aucun code ni aucune norme qui porte expressément sur les LOPH. Néanmoins, il serait possible de rectifier en bonne partie la situation en ajoutant ces substances aux codes et aux normes sur les matières organiques inflammables (ex. : fabrication de produits dangereux) ou à la réglementation sur les traitements pétrochimiques. C'est pourquoi la lacune est considérée comme partielle.

Méthanol pour la livraison et le stockage d'H₂ (élément 11c) – Lacune partielle

Le méthanol est un alcool marchand courant : il est à la fois solvant, combustible, précurseur d'un large éventail de produits chimiques et, plus récemment, transporteur pour la livraison et le stockage d'hydrogène. Il peut être dérivé d'une charge de pétrole ou de charges d'alimentation durables émergentes, comme les déchets solides des municipalités, les déchets agricoles ou le dioxyde de carbone capté.

Déjà mature, la production de méthanol conventionnel permet le commerce mondial de grands volumes. Le marché du e-méthanol, un combustible synthétique combinant monoxyde ou dioxyde de carbone capté et hydrogène de sources renouvelables, devrait aussi connaître une croissance rapide dans la prochaine décennie. D'un point de vue chimique, le e-méthanol est identique au méthanol conventionnel, depuis longtemps utilisé dans toutes sortes de produits. Ainsi, les mêmes règlements, codes et normes d'acheminement, de manutention et de stockage pourront s'appliquer. Cela dit, il faudra tout de même effectuer une analyse approfondie pour déterminer s'il existe des lacunes liées à la production à grande échelle du e-méthanol. C'est pourquoi nous avons ici opté pour une lacune partielle.

Stockage d'H₂L sur le site de production (élément 12a) – Lacune partielle

L'hydrogène est souvent liquéfié avant d'être acheminé (ex. : par train ou camion). Il arrive qu'il soit entreposé sous cette forme sur place, là où il a été produit. Il existe des options commerciales pour le stockage de l'hydrogène liquide, et elles sont déjà utilisées un peu partout au Canada.

Bien que des normes soient en place, il y aurait lieu d'en élargir la portée. Les normes CSA B3xx (ex. : CSA B339-18, *Bouteilles à gaz cylindriques et sphériques et tubes pour le transport des marchandises dangereuses*) concernent le transport de marchandises, mais pourraient aussi encadrer le stockage temporaire sur place. Puisque le stockage d'hydrogène liquide demande une classification d'emplacement dangereux, le Code canadien de l'électricité (CSA C22.1:21) devrait être actualisé et doté d'une classification pour cette substance. Il y a donc une lacune partielle.

Stockage d'H₂G (élément 12b) – Lacune partielle

L'hydrogène gazeux peut être stocké dans des récipients sous pression, à l'état solide, dans des pipelines (y compris de façon temporaire) et dans des cavernes salines ou des espaces souterrains. L'analyse des normes a révélé une couverture complète pour certaines méthodes, mais des lacunes pour d'autres, d'où la catégorie « lacune partielle » attribuée à l'élément.

Les stations de compression et les compresseurs nécessaires au stockage de l'hydrogène gazeux sont aussi un aspect important. Cependant, puisque le matériel de compression est couramment utilisé pour d'autres gaz déjà encadrés par des normes, aucune lacune majeure n'a été notée sur ce plan.

Récipients sous pression

Il existe des récipients sous pression de toute taille, pour des installations mobiles et fixes. Le transport de l'hydrogène et de ses dérivés est régi par le *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* de Transports Canada. Les normes canadiennes pour les récipients et réservoirs sous pression, comme CSA B51, *Code sur les chaudières, les appareils et les tuyauteries sous pression*, sont en vigueur et couvrent partiellement le stockage de gaz. Cependant, elles devraient être révisées et élargies à l'hydrogène. Il y aurait par exemple lieu d'examiner CSA B625:20, *Citernes mobiles pour le transport des marchandises dangereuses*, pour déterminer si ses dispositions sont aussi applicables au stockage d'hydrogène à long terme. Les normes CSA B3xx (ex. : CSA B339-18, *Bouteilles à gaz cylindriques et sphériques et tubes pour le transport des marchandises dangereuses*) concernent le transport de marchandises, mais pourraient aussi encadrer le stockage temporaire sur

place. CSA travaille également à réviser certaines normes pour les harmoniser à d'autres et couvrir l'hydrogène et son mélange.

Pipelines (y compris pour le stockage temporaire)

D'un règlement à l'autre, les pipelines sont considérés tantôt comme un mode de stockage, tantôt comme un mode d'acheminement. CSA Z662:23, *Réseaux de canalisations de pétrole et de gaz*, couvre le stockage d'hydrogène à haut niveau dans des pipelines; l'article 17 sur l'hydrogène exige que l'utilisateur évalue les répercussions du mélange d'hydrogène dans le stockage (ex. : durée du stockage, conséquences de laisser l'hydrogène au même endroit pour une période prolongée, stratification des gaz immobiles). Quant aux exigences électriques associées à la compression, aux compteurs et aux autres installations de stockage, le Code canadien de l'électricité (CSA C22.1:21), qui mentionne les gaz combustibles, offre une classification de l'hydrogène gazeux et des limites pour le mélange de gaz naturel et d'hydrogène. Les normes sont toutefois lacunaires en ce qui concerne la contrainte annulaire maximale applicable aux pipelines à hydrogène et à mélange d'hydrogène (limite d'élasticité conventionnelle minimum spécifiée de plus de 50 %). Pour rectifier le tir, il serait important de tout harmoniser avec les exigences proposées dans ASME B31.3, *Process Piping*, et ASME B31.8, *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*.

Stockage à l'état solide

Les normes sur les silos de stockage hybride réversibles et les réservoirs de matières carbonées contenant de l'hydrogène gazeux présentent des lacunes, notamment en lien avec :

- les types et les tailles de filtres aptes à préserver l'intégrité de l'hydrogène relâché et du limiteur de pression du cylindre;
- le dégazage, le cycle de vie et les exigences de maintenance des réservoirs de nanomatériaux;
- l'intégrité des récipients contenant la matière solide sous pression;
- le stockage mobile à l'état solide (le transport de réservoirs).

Cavernes salines et stockage souterrain

Il existe plusieurs normes en vigueur ou en cours d'élaboration pour le stockage souterrain de l'hydrogène. Notamment, un supplément applicable à l'hydrogène et au mélange d'hydrogène a été publié en 2023 pour la norme CSA Z341:22, *Stockage des hydrocarbures dans les formations souterraines*. Nous recommandons aussi d'ajouter le stockage d'hydrogène à cette norme. En outre, une nouvelle version de CSA Z625:16, *Well design for petroleum and natural gas industry systems*, est en cours d'élaboration, et la norme à venir CSA W228, *Quantitative Risk Assessment of Underground Storage of Hydrogen*, encadrera l'évaluation des risques du stockage souterrain. Nous estimons donc qu'il n'y a pas de lacune pour ce type de stockage.

Usine de liquéfaction de l'H₂ (élément 13) – Lacune complète

Bien que le Code canadien d'installation de l'hydrogène (CCIH) couvre les applications liquides de l'hydrogène, il ne mentionne pas les systèmes cryogéniques de liquéfaction ni la liquéfaction dans les raffineries de pétrole et les usines chimiques. Pour encadrer la liquéfaction sur les sites industriels, il serait pertinent de normaliser l'évaluation des risques, ce qui permettrait de lever le voile sur les complexités et de proposer des méthodes fondamentales de conception et d'exploitation sécuritaires. Il y a donc là une lacune complète.

3.2.2.2 Acheminement d'hydrogène gazeux ou liquide (éléments 14 à 23)

Le **tableau 8** résume les lacunes relatives à l'acheminement d'hydrogène gazeux ou liquide.

Tableau 8 : Lacunes relatives à l'acheminement d'hydrogène gazeux ou liquide

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
14a	Acheminement de NH ₃ par camion	○	1 - Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes
14b	Acheminement de LOPH par camion	X	
15a	Acheminement de NH ₃ par bateau	○	1 - Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes
15b	Acheminement de LOPH par bateau	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
16a	Acheminement de NH ₃ par chemin de fer	○	1 - Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes
16b	Acheminement de LOPH par chemin de fer	○	1 - Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes
17	Acheminement d'H ₂ G par chemin de fer	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
18	Acheminement d'H ₂ G par camion	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
19 & 20	Systèmes de pipelines de gaz H ₂ / Stations de réduction de pression H ₂ G	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
21a	Acheminement d'H ₂ G par bateau	●	6 - Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée
21b	Acheminement d'H ₂ L par bateau	X	
22	Acheminement d'H ₂ L par camion	X	
23	Acheminement d'H ₂ L par chemin de fer	○	1 - Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

Les éléments 14b, 21b et 22 n'ont pas été évalués en raison de leur faible NMT, d'une activité limitée au Canada ou d'un manque d'expertise au moment de la préparation de la feuille de route.

Acheminement de NH₃ par camion (élément 14a) – Aucune lacune

L'utilisation d'ammoniac dans différentes applications est rendue possible grâce à l'acheminement par camion. Ce gaz est généralement transporté par camion sous forme liquide pressurisée, dans des récipients isolés dotés de systèmes de réfrigération prévenant la vaporisation. On retrouve des protocoles d'acheminement à l'annexe 2 du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (DORS/2001-286). Nous n'avons donc relevé aucune lacune.

Acheminement de NH₃ par bateau (élément 15a) – Aucune lacune

Comme la réglementation sur les pratiques d'acheminement d'ammoniac par bateau est bien établie, il n'y a présentement aucune lacune. Cependant, avec l'augmentation de la demande anticipée, il pourrait être nécessaire de trouver de nouveaux modes de livraison et de stockage pour les grands volumes d'hydrogène sous forme d'ammoniac, et donc d'actualiser les normes.

Acheminement de LOPH par bateau (élément 15b) – Lacune partielle

Bien qu'il n'y ait actuellement aucune lacune dans les normes sur l'acheminement de LOPH par bateau, l'encadrement des systèmes de réception dans les ports pourrait s'avérer lacunaire, surtout si les volumes augmentent considérablement. Il y a donc lacune partielle.

Acheminement de NH₃ par chemin de fer (élément 16a) – Aucune lacune

L'ammoniac étant déjà acheminé par chemin de fer, il n'y a aucune lacune sur ce plan. Néanmoins, s'il venait à être utilisé comme transporteur d'hydrogène à grande échelle dans des zones densément peuplées ou écologiquement fragiles, il serait alors nécessaire d'évaluer les risques et, potentiellement, de définir des normes et des règlements pour les atténuer. En outre, les projets de production d'ammoniac à grande échelle proposés à des fins d'exportation dans l'Ouest canadien requerraient un acheminement par trains-blocs, ce qui ne se fait pas pour l'instant.

Acheminement de LOPH par chemin de fer (élément 16b) – Aucune lacune

Puisque les composés organiques utilisés comme transporteurs d'hydrogène sont déjà acheminés par chemin de fer, il n'y a ici non plus aucune lacune. Les normes et les codes devraient toutefois être actualisés avec l'augmentation des volumes.

Acheminement d'H₂G par chemin de fer (élément 17) – Lacune partielle

Il existe des normes sur le transport de produits dangereux, mais celles-ci auraient besoin d'être révisées pour couvrir adéquatement l'hydrogène gazeux, d'où la lacune partielle.

En règle générale, les normes devraient tenir compte :

- de la conception des tenders à hydrogène;
- du transport dans des récipients conformes à l'ISO;
- de l'applicabilité au transport d'hydrogène des exigences de conception existantes relatives aux wagons de gaz naturel liquéfié.²¹

Acheminement d'H₂G par camion (élément 18) – Lacune partielle

Il existe aussi de multiples normes sur le transport de biens dangereux, qui couvrent l'acheminement d'hydrogène gazeux par camion. La conclusion est donc la même que pour l'acheminement par chemin de fer (élément 17). En 2023, le Groupe CSA a publié une synthèse de ses études sur les lacunes concernant la livraison d'hydrogène par camion.²²

Systèmes de pipelines de gaz H₂ / Stations de réduction de pression H₂G (éléments 19 et 20) – Lacunes partielles

Ces éléments se rapportent à l'acheminement et au transport de gaz sous haute et basse pression dans des pipelines consacrés. On note une lacune partielle du côté de la sécurité des pipelines à contrainte élevée (limite d'élasticité conventionnelle minimum spécifiée de plus de 50 %). Certes, l'édition 2023 de CSA Z662, *Réseaux de canalisations de pétrole et de gaz*, couvre l'hydrogène, mais pas aussi bien qu'elle le pourrait. CSA travaille sur des exigences plus précises.

²¹ Kauling, D., Sage, G., Pinatton, M., Jeremic Nikolic, D. (2023). *Stockage et transport de l'hydrogène autrement que par pipeline : réglementation et normalisation*. Association canadienne de normalisation, Toronto, ON.

²² Kauling, D., Sage, G., Pinatton, M., Jeremic Nikolic, D. (2023). *Stockage et transport de l'hydrogène autrement que par pipeline : réglementation et normalisation*. Association canadienne de normalisation, Toronto, ON.

Acheminement d'H₂G par bateau (élément 21a) – Lacune complète

Il n'existe pour l'instant aucune norme établie pour l'acheminement d'hydrogène comprimé par bateau. Bien que le transport maritime de l'hydrogène risque de devenir pour les producteurs canadiens une voie d'accès essentielle aux marchés internationaux, l'hydrogène liquide et les autres transporteurs comme l'ammoniac et le méthanol demeurent les principales voies explorées pour l'acheminement de masse. L'acheminement sous forme gazeuse permet de transporter moins d'hydrogène, mais élimine des difficultés techniques critiques, comme le maintien de la température cryogénique nécessaire pour liquéfier l'hydrogène ou les pertes d'énergie causées par sa libération de ses transporteurs (ex. : craquage d'ammoniac). Si l'on tente déjà de créer des bateaux optimisés pour l'acheminement d'hydrogène, l'information publiquement disponible est minime, alors il est difficile de brosser un portrait adéquat des lacunes en la matière. Nous avons donc opté pour une lacune complète.

Acheminement d'H₂L par chemin de fer (élément 23) – Aucune lacune

L'acheminement d'hydrogène liquide par chemin de fer peut se faire sous une pression considérablement plus basse que l'acheminement d'hydrogène gazeux. Les normes existantes couvrent largement cet élément; nous n'avons vu aucune lacune.

Cela dit, les normes sur le transport de produits dangereux devront peut-être être révisées à l'aune de l'acheminement d'H₂L par chemin de fer. En règle générale, les normes devraient tenir compte :

- de la conception des tenders cryogéniques à hydrogène;
- du transport dans des récipients conformes à l'ISO;
- de l'applicabilité au transport d'hydrogène des exigences de conception existantes relatives aux wagons de gaz naturel liquéfié.²³

3.2.2.3 Stockage, conversion et vaporisation d'hydrogène sur le site d'utilisation finale (éléments 24 à 26)

Le **tableau 9** résume les lacunes relatives au stockage, à la conversion et à la vaporisation d'hydrogène sur le site d'utilisation finale.

Tableau 9 : Lacunes relatives au stockage, à la conversion et à la vaporisation d'hydrogène sur le site d'utilisation finale

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
24a	Craquage de NH ₃ pour libérer l'H ₂ G	●	6 – Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée
24b	Déshydrogénation de LOPH pour libérer l'H ₂	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
25	Stockage d'H ₂ L sur le site d'utilisation	○	1 – Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes
26	Vaporisation d'H ₂ L sur le site de distribution	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

²³ Kauling, D., Sage, G., Pinatton, M., Jeremic Nikolic, D. (2023). *Stockage et transport de l'hydrogène autrement que par pipeline : réglementation et normalization*. Association canadienne de normalisation, Toronto, ON.

Craquage de NH₃ pour libérer l'H₂G (élément 24a) – Lacune complète

Le craquage d'ammoniac consiste à convertir l'ammoniac en hydrogène et en azote. Pour libérer l'hydrogène, il faut utiliser considérablement plus d'énergie que pour regazéifier l'hydrogène liquide. Actuellement, il n'existe dans le monde aucune installation utilisant cette technique à grande échelle (à ne pas confondre avec le procédé Haber Bosch établi, qui permet de produire de l'ammoniac à partir d'hydrogène). Des technologies de craquage sont toutefois en développement, avec plusieurs installations pilotes.

Par conséquent, il n'existe aucune norme pour le craquage d'ammoniac. Certains aspects pourraient être couverts par des normes existantes (pression élevée, compatibilité des matériaux avec l'hydrogène, classification des emplacements), mais aucune n'énonce d'exigences précises pour les technologies de craquage d'ammoniac. L'absence d'exigences adaptées aux réalités de ce processus explique la classification « lacune complète ».

Déshydrogénation de LOPH pour libérer l'H₂ (élément 24b) – Lacune partielle

Actuellement, il n'existe aucun code ni aucune norme qui porte expressément sur les LOPH. Néanmoins, il serait possible de rectifier en bonne partie la situation en ajoutant ces substances aux codes et aux normes sur les matières organiques inflammables (ex. : fabrication de produits dangereux) ou à la réglementation sur les traitements pétrochimiques. Ainsi, la lacune est considérée comme partielle.

Stockage d'H₂L sur le site d'utilisation (élément 25) – Aucune lacune

Il existe des exigences pour le stockage d'hydrogène liquide. Nous ne notons aucune lacune pour l'instant, mais les normes devront être actualisées avec l'augmentation des volumes.

Vaporisation d'H₂L sur le site de distribution (élément 26) – Lacune partielle

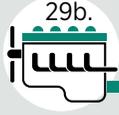
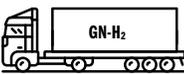
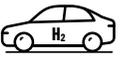
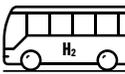
La plupart des exigences de normalisation sont remplies pour cet élément, y compris pour le déploiement de vaporiseurs d'hydrogène liquide aux stations de distribution. Il faudrait toutefois vérifier le Code canadien de l'électricité (CSA C22.1:21) et CSA Z662:23, *Réseaux de canalisations de pétrole et de gaz*, pour confirmer que l'équipement et les codes existants sont adaptés à la vaporisation de l'hydrogène liquide en hydrogène gazeux et à son injection dans les lignes de distribution et de transport de gaz naturel. C'est ce qui explique l'attribution d'une lacune partielle.

3.3 Utilisation finale

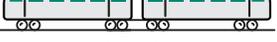
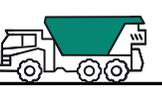
3.3.1 Portée

Une fois l'hydrogène produit et acheminé à l'utilisateur final, il peut être utilisé de nombreuses façons. Le segment utilisation finale de la chaîne de valeur couvre l'utilisation et la distribution de l'hydrogène dans des contextes industriels, commerciaux et résidentiels ainsi que dans le transport (éléments 27 à 72). La distribution est comprise dans ce segment parce que l'équipement de distribution se trouve sur le site de l'utilisation finale.²⁴ Les 49 éléments compris ici ont été subdivisés en huit groupes, expliqués au **tableau 10**.

Tableau 10 : Groupements et éléments dans le segment des applications finales

Groupe	Éléments couverts					
Production d'énergie	 27. Systèmes de pile à combustible portables et micros	 28. Systèmes de pile à combustible stationnaires	 29a. Turbines à gaz alimentées à l'H ₂	 29b. Moteurs à combustion interne (MCI) à gaz alimentés à l'H ₂		
Appareils de combustion à l'hydrogène gazeux	 30. Chaudières et chauffe-eau à l'H ₂ G	 31. Fours et brûleurs à l'H ₂ G	 32. Appareils de cuisson à l'H ₂ G			
Appareils de combustion, production d'énergie et exportation en lien avec le mélange de gaz naturel et d'hydrogène (GN-H ₂)	 33. Réseau gazier Injection d'H ₂ G dans les systèmes de pipelines de gaz naturel	 34a. Chauffe-eau au mélange de GN-H ₂	 34b. Fours et brûleurs au mélange de GN-H ₂	 34c. Appareils de cuisson au mélange de GN-H ₂	 35. Turbines à gaz alimentées au mélange de GN-H ₂	 36. Acheminement de mélange de GN-H ₂ par bateau
Véhicules utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H ₂ ou diesel-H ₂)	 37. Distributeurs de mélange de GN-H ₂ pour véhicules légers	 38. Distributeurs de mélange GN-H ₂ pour véhicules lourds	 39. Manutention de matériaux alimentés au mélange de GN-H ₂	 40. Véhicules utilitaires légers alimentés au mélange de GN-H ₂	 41. Véhicules utilitaires lourds – Autobus alimentés au mélange de GN-H ₂	
	 42. Véhicules utilitaires lourds – Camions alimentés au mélange de GN-H ₂	 46. Véhicules légers à l'H ₂	 47. Manutention de matériaux alimentés à l'H ₂	 48. Véhicules utilitaires lourds – Autobus fonctionnant à l'H ₂	 49. Véhicules utilitaires lourds – Camions fonctionnant à l'H ₂	

²⁴ Les prochains travaux du GTCN ou les prochaines feuilles de route pourraient ajuster et optimiser la classification et l'organisation des éléments dans la chaîne de valeur de l'hydrogène.

Groupe	Éléments couverts
Véhicules utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H ₂ ou diesel-H ₂) (cont.)	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>50.</p>  <p>Train à l'hydrogène (train alimenté à l'H₂)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>55.</p>  <p>Navires propulsés à l'H₂</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>56.</p>  <p>Avions propulsés à l'H₂</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>57.</p>  <p>Véhicules aériens sans pilote propulsés à l'H₂</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>58.</p>  <p>Véhicules aéroportuaires fonctionnant à l'H₂</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>72.</p>  <p>Camions au mélange de diesel et d'H₂</p> </div> </div>
Distribution d'hydrogène	<div style="display: grid; grid-template-columns: repeat(3, 1fr); gap: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>43.</p>  <p>Distributeurs d'H₂ pour véhicules légers</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>44.</p>  <p>Distributeurs d'H₂ pour véhicules lourds</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>45.</p>  <p>Distributeurs d'H₂ pour chemin de fer</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>51.</p>  <p>Distributeurs d'H₂ pour les navires</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>52.</p>  <p>Distributeurs d'H₂ pour les avions</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>53.</p>  <p>Distributeurs d'H₂ pour les véhicules aériens sans pilote</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>54.</p>  <p>Distributeurs d'H₂ pour les véhicules aéroportuaires</p> </div> </div>
Exploitation minière et activités industrielles	<div style="display: grid; grid-template-columns: repeat(5, 1fr); gap: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>59.</p>  <p>Distributeurs d'H₂ pour véhicules d'exploitation minière à ciel ouvert</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>60.</p>  <p>Distributeurs d'H₂G pour véhicules d'exploitation minière souterraine</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>63.</p>  <p>Systèmes de chauffage et de ventilation fonctionnant à l'H₂ pour l'exploitation minière souterraine</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>64.</p>  <p>Production chimique</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>65.</p>  <p>Engrais</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>66.</p>  <p>Carburants synthétiques</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>61.</p>  <p>Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H₂ pour l'exploitation minière à ciel ouvert</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>62.</p>  <p>Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H₂ pour l'exploitation minière souterraine</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>67.</p>  <p>Production d'acier</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>68.</p>  <p>Usines de ciment</p> </div> </div> <p>Ce groupe concerne aussi les éléments 27 à 32</p>
Éléments communs à toutes les applications et éléments d'installation communs	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>69.</p>  <p>Éléments communs à toutes les applications</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>70.</p>  <p>Éléments d'installation communs</p> </div> </div>
Pétrole et gaz	<div style="text-align: center;"> <p>71.</p>  <p>Industrie pétrolière et gazière</p> </div>

3.3.2 Lacunes

3.3.2.1 Production d'énergie (éléments 27 à 29)

L'hydrogène est un combustible polyvalent qui permet de produire de l'énergie de deux grandes façons :

- par combustion dans des turbines;
- par conversion électrochimique dans des centrales à piles à combustible stationnaires et portables.

Il peut s'utiliser pour l'effacement de consommation ou le stockage d'énergie à long terme, servir d'alimentation d'urgence, ou favoriser l'intégration d'énergies renouvelables intermittentes sur le marché. Comme l'indique le **tableau 11**, l'encadrement de la production d'énergie est partiel, puisque des normes existantes pourraient être élargies ou adoptées.

Tableau 11 : Lacunes dans la production d'énergie

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
27	Systèmes de pile à combustible portables et micros	●	3.1 – Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopte
28	Systèmes de pile à combustible stationnaires	○	1 – Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes
29a	Turbines à gaz alimentées à l'H ₂	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
29b	Moteurs à combustion interne (MCI) à gaz alimentés à l'H ₂	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

Systèmes de pile à combustible portables et micros (élément 27) – Lacune partielle

En l'absence d'une norme canadienne pour cet élément, une lettre d'information technique de CSA agissant comme norme provisoire sert de ligne directrice pour la certification. Cette lettre sera toutefois remplacée par l'adoption d'une norme IEC pertinente harmonisée avec les États-Unis, comme pour les systèmes de pile à combustible stationnaires (élément 28). Il y a donc une lacune partielle.

Systèmes de pile à combustible stationnaires (élément 28) – Aucune lacune

Il existe la norme binationale CSA/ANSI FC 1:21/CSA C22.2 N° 62282-3-100:21, *Technologies des piles à combustible – Partie 3-100 : Systèmes à piles à combustible stationnaires*

– Sécurité (norme IEC 62282-3-100:2019 adoptée, deuxième édition, 2019-02, déviations canadienne et états-unienne). Il n'y a aucune lacune pour cet élément.

Turbines à gaz alimentées à l'H₂ et moteurs à combustion interne (MCI) à gaz alimentés à l'H₂ (éléments 29a et 29b) – Lacunes partielles

Plusieurs normes sont en place pour les turbines et les génératrices à MCI alternatif, mais la couverture devra être étendue pour faire place à l'hydrogène, d'où la classification « lacunes partielles ».

3.3.2.2 Appareils de combustion à l'hydrogène gazeux (éléments 30 à 32)

Pour en assurer la sécurité et l'efficacité, les appareils de combustion à l'hydrogène pur, y compris les appareils de chauffage direct, doivent être encadrés par des exigences différentes de celles des appareils de combustion au gaz naturel. Il en va de même pour les appareils au gaz naturel modernisés pour l'hydrogène. Ce groupe couvre les mêmes appareils qu'à la **section 3.3.2.3**, mais avec de l'hydrogène gazeux pur et non mélangé. Le **tableau 12** résume les lacunes relatives aux appareils de combustion à l'hydrogène gazeux.

Tableau 12 : Lacunes relatives aux appareils de combustion à l'hydrogène gazeux

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
30	Chaudières et chauffe-eau à l'H ₂ G	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 3.1 – Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter 3.2 – Renvoyer à des normes régionales existantes ou les adopter
31	Fours et brûleurs à l'H ₂ G	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 5 – Attendre la publication des normes en cours d'élaboration
32	Appareils de cuisson à l'H ₂ G	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 5 – Attendre la publication des normes en cours d'élaboration

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

Chaudières,²⁵ chauffe-eau, fours, brûleurs et appareils de cuisson à l'H₂G (éléments 30 à 32) – *Lacunes partielles*

Divers fabricants travaillent sur différents types d'appareils compatibles avec l'hydrogène (chaudières, chauffe-eau, fours, brûleurs, appareils de cuisson). Aucune norme canadienne ne couvre expressément l'hydrogène comme combustible, mais il existe des normes nord-américaines et internationales, ce qui explique pourquoi il y a une lacune partielle. Plusieurs types d'appareils auront besoin de normes d'évaluation de la conformité une fois l'infrastructure d'approvisionnement en place.

Les exigences pour les appareils et équipements à l'hydrogène pur devront être examinées dans une optique de sécurité et d'efficacité énergétique. Nous recommandons d'actualiser les normes sur les appareils au gaz naturel afin d'y ajouter l'hydrogène pur, ou d'élaborer de

nouvelles normes pour les appareils à l'hydrogène. Cela dit, il faudra assurer le maintien de l'harmonie avec les États-Unis (normes binationales) et continuer de surveiller les progrès de l'ISO et des autres organismes internationaux de normalisation.

Il existe plus d'une centaine de normes sur les appareils au gaz naturel, leurs composants (ex. : contrôle du gaz, connecteurs) et leur installation (voir les exemples à la **section 3.3.2.7**). Elles devront toutes être évaluées, et la plupart – si ce n'est l'ensemble – devront être modifiées.

Pour les nouveaux équipements, il faudra obtenir des certifications attestant de leur conformité aux normes pertinentes, par exemple pour les appareils utilisant de l'hydrogène pur ou mélangé et pour les infrastructures prêtes à être converties à l'hydrogène.

²⁵ Les chauffe-eau comprennent les réservoirs à eau chaude, les chauffe-eau instantanés, les chauffe-piscines, les chaudières et les chauffe-eau industriels.

3.3.2.3 Appareils de combustion, production d'énergie et exportation en lien avec le mélange de gaz naturel et d'hydrogène (GN-H₂) (éléments 33 à 36)

Le mélange d'hydrogène pourrait jouer un rôle crucial dans la transition vers un avenir énergétique durable et sobre en carbone; il permet d'utiliser l'infrastructure existante pour réduire les émissions et faciliter l'intégration des sources d'énergie renouvelable. Il est une sorte de tremplin pour stimuler la demande en attendant que les systèmes entièrement à l'hydrogène soient prêts. Les mélanges dans lesquels l'hydrogène équivaut à moins de 5 % du volume sont classifiés comme du gaz naturel, et il n'existe encore aucune norme pour les concentrations supérieures.²⁶

Ce groupe comprend l'injection d'hydrogène dans les pipelines de gaz naturel, les appareils utilisant le mélange de GN et d'H₂ ainsi que les exportations potentielles par bateau. Le **tableau 13** résume les lacunes pour ces éléments.

Pour les besoins de cette feuille de route, l'exportation d'hydrogène ou de mélange d'hydrogène a été intégrée au segment d'utilisation finale de la chaîne de valeur, car les bateaux ne sont plus assujettis aux lois canadiennes une fois qu'ils ont traversé les frontières internationales. Ainsi, l'évaluation de la réglementation encadrant l'importation et l'exportation dépasse la portée de la présente étude. Toutefois, dans les prochaines versions de la feuille de route, la chaîne de valeur pourrait être divisée autrement, et il pourrait y avoir une analyse des normes internationales pour l'exportation d'hydrogène.

Tableau 13 : Lacunes relatives aux appareils de combustion, à la production d'énergie et à l'exportation en lien avec le mélange de GN et d'H₂

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
33	Injection d'H ₂ G dans les systèmes de pipelines de gaz naturel	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 3.2 - Renvoyer à des normes régionales existantes ou les adopter 3.3 - Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter
34a	Chauffe-eau au mélange de GN-H ₂	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 3.1 - Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter 3.2 - Renvoyer à des normes régionales existantes ou les adopter
34b	Fours et brûleurs au mélange de GN-H ₂	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 3.1 - Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter 3.2 - Renvoyer à des normes régionales existantes ou les adopter
34c	Appareils de cuisson au mélange de GN-H ₂	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 3.1 - Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter 3.2 - Renvoyer à des normes régionales existantes ou les adopter
35	Turbines à gaz alimentées au mélange de GN-H ₂	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 3.1 - Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter
36	Acheminement de mélange de GN-H ₂ par bateau	X	

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

L'élément 36 n'a pas été évalué parce que les règlements sur l'importation et l'exportation ont été jugés hors de portée.

²⁶ Suchovsky, C.J., Ericksen, L., Williams, T.A., Nikolic, D.J. (2021). *Appliance and Equipment Performance with Hydrogen-Enriched Natural Gases*. Association canadienne de normalisation, Toronto, ON. (en anglais)

Injection d'H₂G dans les systèmes de pipelines de gaz naturel (élément 33) – *Lacune partielle*

Il existe des normes et des codes internationaux pour le mélange d'hydrogène dans les pipelines de gaz naturel (à ne pas confondre avec les pipelines d'hydrogène gazeux [élément 19], qui transportent de l'hydrogène pur). Ceux-ci couvrent les réseaux de transmission sous haute pression et les réseaux de distribution sous pression intermédiaire ou basse (ex. : réseaux communautaires). Cependant, les normes et les codes mondiaux sont souvent en désaccord quant à la définition exacte des systèmes sous haute et basse pression.

Les normes et les codes encadrant les systèmes de pipelines ne font pas mention du mélange d'hydrogène au gaz naturel, à quelques exceptions près. Certaines normes sur les pipelines de gaz naturel tiennent compte de l'injection d'hydrogène, comme ASME B31.8, *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*, et la nouvelle édition de CSA Z662:23, *Réseaux de canalisations de pétrole et de gaz*. D'autres normes et codes comme ASME B31.12, *Hydrogen Piping and Pipelines*, et IGEM/H1, *Reference Standard for Low Pressure Hydrogen Utilisation*, ne s'appliquent qu'aux systèmes de pipelines à hydrogène pur. Cependant, au Royaume-Uni, les normes sont bonifiées de documents complémentaires sur le mélange d'hydrogène.

Il serait avantageux pour le secteur d'avoir des normes et des codes qui tiennent compte des effets de la pression partielle de l'hydrogène sur les pipelines et l'intégrité des composants, pour la conception de systèmes de distribution sous pression élevée, intermédiaire ou basse ainsi que pour la conversion aux mélanges de gaz des systèmes existants. La norme IEC 60079, *Atmosphères explosives – Partie 10-1 : Classification des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses*, vient modifier la classification des emplacements dangereux de sorte à couvrir les installations utilisant un mélange de GN et d'H₂ et les stations de compression, de distribution et de réduction de la pression ainsi que les autres composants. CSA a récemment publié un rapport où sont évaluées les lacunes de normalisation quant aux matériaux des pipelines de gaz naturel accueillant de l'hydrogène, lesquelles semblent être un obstacle majeur à l'accélération du déploiement de l'hydrogène dans l'économie.²⁷

La manière dont se comportent les mélanges de GN et d'H₂ dans la transition d'une substance à l'autre dépend de la concentration de l'hydrogène; plus celui-ci est présent, plus les caractéristiques de combustion se rapprochent de l'hydrogène pur.

Le Code canadien de l'électricité (CSA C22.1:21) devrait inclure une classification des mélanges de GN et d'H₂, soit en fonction d'un pourcentage fixe, soit en fonction d'une analyse d'interchangeabilité utilisant le pire scénario. Ses exigences actuelles, de même que CSA Z662:23, *Réseaux de canalisations de pétrole et de gaz*, devraient permettre à l'équipement et aux codes existants d'être utilisés pour la vaporisation d'hydrogène liquide en hydrogène gazeux avant l'injection dans les sites de distribution et de transmission du gaz naturel.

Aucune norme ni aucun code examiné ne couvrait la mise à niveau d'équipements et de systèmes en vue de l'injection et du mélange d'hydrogène. La nouvelle édition de CSA Z662:23, qui s'applique aux pipelines de transmission et de distribution, comprend des dispositions sur la conception, les matériaux, la construction, l'exploitation et l'entretien des systèmes à hydrogène pur ou mélangé.

La série de normes AS/NZS 4645, *Gas Distribution Networks*, ne s'applique pas aux mélanges dans lesquels le volume d'hydrogène dépasse 15 %. Cet écart est probablement dû aux études mondiales indiquant que l'injection d'hydrogène dans des systèmes de pipelines sous basse pression a des répercussions minimales à cette proportion. Par exemple, une étude de Hodges et coll. (2015) suggère que le mélange d'hydrogène à hauteur maximale de 20 % du volume dans les pipelines et les appareils de distribution sous basse pression est peu susceptible d'augmenter les risques pour l'utilisateur final.²⁸ De même, cette série ne mentionne pas le matériel d'utilisation finale, qui est généralement le principal obstacle à l'injection d'hydrogène dans les réseaux de distribution sous basse pression. La certification des compteurs de gaz naturel existants pour le mélange d'hydrogène est une autre lacune à examiner.

²⁷ Dinata, R., Janzen, T., Miller, T., Korolnek, R., Finneran, S., Lee, K., Gajonera, D. (2024). *Assessment of Natural Gas Pipeline Materials for Hydrogen Service*. Association canadienne de normalisation, Toronto, ON. (en anglais)

²⁸ Hodges, J., Geary W., Graham S., Hooker P., and Goff R. (2015). *Injecting Hydrogen into the Gas Network—a Literature Search*. Health and Safety Laboratory, Buxton. (en anglais)

Par ailleurs, afin d'encadrer la transition des pipelines de l'hydrogène mélangé à l'hydrogène pur, il faudra élaborer ou actualiser des normes sur la conversion de pipelines de gaz naturel en pipelines exclusivement d'hydrogène. Il faudra par exemple encadrer l'utilisation d'odorisants, la décontamination des pipelines de gaz naturels convertis, le remplacement de la doublure des pipelines existants, la compatibilité des matériaux des joints et des composants, et le remplacement des systèmes de détection des fuites.

NORMES ET CODES RELATIFS AU MÉLANGE D'HYDROGÈNE DANS LE GAZ NATUREL

- i. Suivant une demande d'interprétation, les comités techniques pertinents de CSA ont déterminé que les mélanges dans lesquels l'hydrogène équivaut à 5 % du volume ou moins étaient déjà couverts par les essais actuels pour une série d'appareils au gaz naturel. Cependant, cette couverture ne s'étend pas à l'entièreté de la chaîne de valeur des mélanges.
- ii. CSA Z662:23, *Réseaux de canalisations de pétrole et de gaz*, comprend des dispositions sur la conception, les matériaux, la construction, l'exploitation et l'entretien des systèmes à hydrogène pur ou mélangé.
- iii. La série de normes australiennes AS/NZA 4645, *Gas Distribution Networks* (2018), sur les systèmes de distribution de gaz naturel sous basse pression (jusqu'à 1 050 kPa ou 152 psi), couvre la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien de systèmes de distribution pouvant accueillir jusqu'à 15 % de volume d'hydrogène.
- iv. La norme internationale IEC 60079-10-1:2020, *Atmosphères explosives – Partie 10-1 : Classification des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses*, à laquelle renvoie le Code canadien de l'électricité, tient compte du fait que la classification de l'emplacement change lorsque l'hydrogène est mélangé au gaz naturel.
- v. Les codes britanniques encadrant la transmission et la distribution de gaz naturel sont bonifiés de documents complémentaires couvrant le transport de mélanges de gaz et la conversion d'infrastructures de gaz naturel en infrastructures de gaz mélangés :
 - a. La norme IGEM/TD/1, *Steel Pipelines for High Pressure Gas Transmission*, couvre les pipelines sous haute pression (7 bar à 100 bar). Le supplément 2 de l'édition 6 y ajoute les mélanges contenant 10 % et plus de volume d'hydrogène. Or, la norme indique que le risque est faible sous les 10 % seulement; il y a là une lacune à corriger.
 - b. La norme IGEM/TD/3, *Steel and PE Pipelines for Gas Distribution*, couvre les pipelines sous basse pression (moins de 7 bar). Le supplément 1 de l'édition 5 y ajoute les mélanges contenant 20 % et plus de volume d'hydrogène.
 - c. La norme IGEM/TD/13, *Pressure Regulating Pipeline Installations Exceeding 7 Bar*, couvre les installations de régulation de la pression pour les systèmes de transmission et de distribution. Le supplément 2 de l'édition 2 y ajoute les mélanges contenant 20 % et plus de volume d'hydrogène – pour des pressions maximales de 7 bar.

Chauffe-eau, fours, brûleurs et appareils de cuisson au mélange de GN et d'H₂ (éléments 34a, 34b et 34c) – Lacunes partielles

Ces éléments comprennent les chauffe-eau, les fours et les appareils de cuisson au mélange de GN et d'H₂ (résidentiels, commerciaux et industriels).²⁹ Bien qu'il n'existe aucune norme canadienne pour le mélange de GN et d'H₂ (uniquement pour le gaz naturel), certaines normes nord-américaines et internationales peuvent s'appliquer aux cas d'usage généraux et aux exigences d'installation, ce qui contribue à la catégorisation « lacune partielle ». Les normes existantes sur le gaz naturel pourraient être adaptées au mélange de GN et d'H₂. D'autres normes nord-américaines et internationales sont également en cours d'élaboration.

Nombre d'appareils semblables utilisés dans les milieux résidentiel, commercial et industriel auraient aussi besoin de normes de certification d'ici l'établissement d'infrastructures d'approvisionnement en gaz mélangés. Il serait crucial d'évaluer les exigences requises pour les appareils et équipements neufs ou existants utilisant des mélanges à divers pourcentages d'hydrogène, dans une optique de sécurité et d'efficacité énergétique. Par conséquent, voici ce qui serait attendu de la normalisation :

- Actualiser les normes sur les appareils au gaz naturel pour y ajouter le mélange d'hydrogène, ou élaborer des normes expressément pour les appareils à l'hydrogène.

- Poursuivre les efforts d'harmonisation avec les États-Unis et la surveillance du progrès sur la scène internationale (ex. : ISO).
- Actualiser les codes d'installation pertinents pour couvrir le mélange d'hydrogène.

Par ailleurs, il faudrait définir et publier un plafond national pour le mélange d'hydrogène dans les appareils déjà en service. Une approbation sur le terrain pourrait être nécessaire pour les équipements non compris dans cette limite. Les mélanges sont explorés plus en détail à la **section 3.4.5**.

Turbines à gaz alimentées au mélange de GN et d'H₂ (élément 35) – Lacune partielle

Les enjeux mentionnés pour les turbines à gaz alimentées à l'H₂ (élément 29a) à la **section 3.3.2.1** s'appliquent ici aussi. Une lacune partielle demeure, car malgré l'existence de normes pour les turbines à gaz, aucune ne couvre actuellement l'hydrogène.

²⁹ Puisque les applications résidentielles, commerciales et industrielles appellent des mesures de sécurité différentes, une prochaine version de la feuille de route pourrait séparer ou organiser autrement ces éléments.

3.3.2.4 Véhicules utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H₂ ou diesel-H₂) (éléments 37 à 42, 46 à 50, 55 à 58 et 72)

Cette section s'attarde aux différents véhicules alimentés à l'hydrogène pur ou mélangé. Elle est divisée en deux groupes : les véhicules routiers et les véhicules hors route.

Véhicules routiers

Les véhicules routiers sont des véhicules conçus et autorisés pour l'utilisation sur les routes publiques et les autoroutes. Il s'agit des automobiles et motocyclettes (véhicules légers) et des autobus et camions (véhicules lourds). Le **tableau 14** résume les lacunes relatives aux véhicules routiers utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H₂ ou diesel-H₂).

Tableau 14 : Lacunes relatives aux véhicules routiers utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H₂ ou diesel-H₂)

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
37	Distributeurs de mélange de GN et d'H ₂ pour véhicules légers	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
38	Distributeurs de mélange de GN et d'H ₂ pour véhicules lourds	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
39	Manutention de matériaux alimentés au mélange de GN et d'H ₂	●	3.3 - Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter
40	Véhicules utilitaires légers alimentés au mélange de GN et d'H ₂	●	3.3 - Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter
41	Véhicules utilitaires lourds - Autobus alimentés au mélange de GN et d'H ₂	●	3.3 - Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter
42	Véhicules utilitaires lourds - Camions alimentés au mélange de GN et d'H ₂	●	3.3 - Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter
46	Véhicules légers à l'H ₂	●	3.1 - Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter
48	Véhicules utilitaires lourds - Autobus fonctionnant à l'H ₂	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (sur l'H ₂ G). 6 - Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée (sur l'H ₂ L)
49	Véhicules utilitaires lourds - Camions fonctionnant à l'H ₂	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (sur l'H ₂ G). 6 - Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée (sur l'H ₂ L)

○ Aucune lacune

● Lacune partielle

● Lacune complète

X Non évalué

Distributeurs de mélange de GN et H₂ pour véhicules légers (éléments 37 à 42) – Lacunes partielles

Il existe des normes pour les véhicules au gaz naturel et à l'hydrogène (CSA/ANSI HGV 4.1, *Hydrogen-Dispensing Systems*, CSA/ANSI NGV 4.1, *Natural Gas Vehicle Dispensing Systems*, CSA/ANSI NGV 3.1, *Fuel System Components for Compressed Natural Gas Powered Vehicles*, CSA/ANSI HGV 3.1, *Fuel System Components for Compressed Hydrogen Gas Powered Vehicles*, CSA/ANSI HGV 2, *Compressed Hydrogen Gas Vehicle Fuel Containers*, CSA/ANSI NGV 2, *Compressed Natural Gas Vehicle Fuel Containers*, CSA/ANSI HPRD 1, *Thermally Activated Pressure Relief Devices for Compressed Hydrogen Vehicle [HGV] Fuel Containers*, CSA/ANSI PRD 1, *Pressure Relief Devices For Natural Gas Vehicle [NGV] Fuel Containers*). Néanmoins, il y a aussi des lacunes partielles, car aucune norme ne régit les véhicules fonctionnant au mélange de GN et d'H₂. Les mélanges à plus faible teneur en hydrogène sont cependant parfois couverts par les normes sur les véhicules au gaz naturel.

À court terme, les mélanges de GN et d'H₂ sont susceptibles de se retrouver dans les véhicules au gaz naturel, d'où l'importance d'une couverture supplémentaire dans les normes comme CSA/ANSI NGV 4.1, *Natural Gas Vehicle Dispensing Systems*, et CSA/ANSI NGV 3.1, *Fuel System Components for Compressed Natural Gas Powered Vehicles*.

Voici donc nos recommandations pour les éléments de transport reposant sur le mélange de GN et d'H₂ :

- Actualiser les normes et les codes existants sur les véhicules au gaz naturel pour couvrir le mélange d'hydrogène, en fonction des données d'évaluation des véhicules et des postes de ravitaillement sur différents pourcentages.
- Poursuivre l'harmonisation avec les États-Unis et la surveillance des progrès de l'ISO.

Véhicules légers à l'H₂ (élément 46) – Lacune partielle

S'il existe des normes binationales canado-états-uniennes, celles-ci ne s'accordent pas pleinement avec les normes ISO pertinentes. Il y a donc une lacune partielle, puisqu'une harmonisation soutenue est nécessaire.

Véhicules utilitaires lourds – Autobus (élément 48) et camions (élément 49) fonctionnant à l'H₂ – Lacunes partielles

Pour les besoins de l'analyse des lacunes, nous avons regroupé les autobus et les camions, tous deux couverts par la définition des véhicules utilitaires lourds, soit un poids nominal brut du véhicule (PNBV) de plus de 3 856 kg. Cette définition couvre plusieurs classes de PNBV (6, 7 et 8).

Hydrogène gazeux

Malgré l'existence de plusieurs normes nord-américaines (y compris des normes binationales canado-états-uniennes) et internationales sur les autobus et les camions à l'hydrogène gazeux, celles-ci ne couvrent que les exigences rudimentaires. Il y a donc une lacune partielle.

CSA a créé un groupe de travail sur les véhicules utilitaires lourds à l'hydrogène pour déterminer les considérations techniques applicables. La SAE travaille sur un protocole de ravitaillement des véhicules en hydrogène gazeux. Les véhicules à pile à combustible sont aussi munis d'une batterie pour démarrer le moteur (basse tension) et stocker l'énergie régénérée afin de compléter l'alimentation du moteur à traction électrique (haute tension).

Une incertitude persiste quant aux véhicules hybrides combinant une batterie et une pile à combustible à l'hydrogène gazeux (ceux qui utilisent en priorité la batterie). Ceux-ci devraient recevoir le même traitement que les véhicules électriques à batterie; le tout doit être clarifié dans les normes.

Par ailleurs, la taille supérieure des blocs-batteries utilisés dans les véhicules hybrides fonctionnant principalement à batterie pourrait influencer sur les normes de suppression des incendies dans les entrepôts de véhicules à l'hydrogène, ce qui implique des dispositions autres que celles applicables aux véhicules électriques à batterie. CSA travaille à actualiser sa série de normes B401 pour couvrir la suppression des incendies dans les installations d'entreposage et d'entretien de véhicules à batterie (voir les éléments communs à toutes les applications et les éléments d'installation communs [éléments 69 et 70] pour en savoir plus).

Hydrogène liquide

Il n'existe encore aucune norme canadienne sur les véhicules à l'hydrogène liquide. Seules deux normes internationales s'appliquent : ISO 13984, *Hydrogène liquide – Interface des systèmes de remplissage pour véhicules terrestres*, et ISO 13985, *Hydrogène liquide – Réservoirs de carburant pour véhicules terrestres*. Elles sont en cours de révision. L'ISO travaille aussi sur les applications cryogéniques, qui comprendront ultimement les camions à l'hydrogène liquide et leur ravitaillement.

Ainsi, les autobus et les camions à l'hydrogène liquide font l'objet d'une lacune partielle. Puisque les deux normes de l'ISO sur les véhicules à l'hydrogène liquide sont actuellement en révision, elles ne sont pas prêtes à être adoptées. Et une fois qu'elles seront publiées, leur compatibilité devra encore être soigneusement examinée. En outre, l'activité limitée dans ce secteur au Canada nous indique qu'il serait plus prudent d'attendre la mise au point des normes et la maturation des technologies.

Voici nos recommandations pour les véhicules routiers (tous les éléments du **tableau 14**) :

- Poursuivre l'actualisation du portefeuille de normes sur les véhicules à l'hydrogène et les postes de

ravitaillement (ex. : CSA/ANSI HGV 3.1, *Fuel System Components for Compressed Hydrogen Gas Powered Vehicles*, et CSA/ANSI HGV 2, *Compressed Hydrogen Gas Vehicle Fuel Containers*) pour couvrir les nouvelles technologies et les installations d'entretien des véhicules.

- Actualiser les normes de conception pour les véhicules utilitaires lourds et de gamme moyenne en prévision de l'hydrogène.
- Poursuivre l'actualisation du CCIH pour couvrir les technologies émergentes en matière de postes de ravitaillement et d'équipement de distribution.

Véhicules hors route

Les véhicules hors routes sont ceux destinés aux surfaces autres que des routes et autoroutes pavées; conçus pour les déplacements sur des sols cahoteux ou non pavés, ils ne sont pas faits pour les routes publiques. Il peut s'agir de véhicules de manutention, de véhicules de transport aérien ou nautique, ou de véhicules pour les chemins de fer. Le **tableau 15** résume les lacunes relatives aux véhicules hors routes utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H₂ ou diesel-H₂).

Tableau 15 : Lacunes relatives aux véhicules hors routes utilisant de l'hydrogène ou un mélange (GN-H₂ ou diesel-H₂)

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
47	Manutention de matériaux alimentés à l'H ₂	●	3.1 – Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter
50	Train à l'hydrogène (train alimenté à l'H ₂)	●	3.3 – Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter
55	Navires propulsés à l'H ₂	●	3.3 – Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter
56	Avions propulsés à l'H ₂	●	3.1 – Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter
57	Véhicules aériens sans pilote propulsés à l'H ₂	●	5 – Attendre la publication des normes en cours d'élaboration
58	Véhicules aéroportuaires fonctionnant à l'H ₂	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 3.1 – Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter 3.3 – Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter
72	Camions au mélange de diesel et d'H ₂	●	2 – Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes

○ Aucune lacune

● Lacune partielle

● Lacune complète

X Non évalué

Manutention de matériaux alimentés à l'H₂ (élément 47) et de véhicules aéroportuaires fonctionnant à l'H₂ (élément 58) – *Lacunes partielles*

Ces éléments couvrent les véhicules à l'hydrogène employés dans la manutention de matériaux destinés à la vente au détail, au stockage ou à l'usage dans les ports (ex. : lève-palette) ainsi que les véhicules aéroportuaires à l'hydrogène (ex. : avion de remorquage, groupe de parc, camion de manutention des bagages). Ils ont été regroupés en raison de la taille et des fonctions similaires des véhicules qu'ils concernent. Les lacunes ont été jugées partielles, car bien que CSA ait publié des normes pertinentes (ex. : HPIT 1, *Compressed Hydrogen Powered Industrial Truck On-Board Fuel Storage and Handling Components*, et HPIT 2, *Dispensing Systems and Components for Fuelling Hydrogen Powered Industrial Trucks*), il ne s'agit pas de Normes nationales du Canada (NNC).

Nous recommandons l'uniformisation avec UL 2267, *Standard for Fuel Cell Power Systems for Installation in Industrial Electric Trucks*, et l'adoption potentielle d'IEC 62282-4-101, *Technologies des piles à combustible – Partie 4-101 : Systèmes à pile à combustible pour chariots de manutention électriques – Sécurité*. CSA pourrait aussi actualiser HPIT 1 et HPIT 2 pour en faire des NNC.

Pour les véhicules aéroportuaires en particulier, nous recommandons les actions suivantes :

- Appliquer les normes sur les véhicules utilitaires lourds et de gamme moyenne aux avions de remorquage, aux camions, aux autobus et aux véhicules de manutention des bagages dans les aéroports.
- Appliquer à la fois les normes sur les véhicules utilitaires lourds et les normes sur la manutention des bagages pour les véhicules comme les lève-palette.

Élaborer des normes inspirées de celles pour les générateurs portables (ex. : ANSI/CSA FC3, *Portable Fuel Cell Power Systems*, ou IEC 62282-5-100, *Technologies des piles à combustible – Partie 5-100 : Systèmes à piles à combustible portables – Sécurité*), comme pour les systèmes de pile à combustible portables et micros (élément 27) avec les groupes de parc.

Train à l'hydrogène (train alimenté à l'H₂) (élément 50) – *Lacune partielle*

Les trains à l'hydrogène sont de plus en plus fréquents au Canada. Citons notamment des projets de démonstration d'Alstom et de l'Université de la Colombie-Britannique ainsi que le programme de locomotives à l'hydrogène du Canadian Pacific (CPKC).^{30,31,32}

Il existe actuellement une lacune partielle dans les normes canadiennes pour ce qui touche à l'hydrogène liquide ou gazeux et aux trains de voyageurs et de marchandises, y compris les locomotives de manœuvre. Afin de la rectifier, il serait important d'adopter après leur publication les normes IEC 63341-1, *Applications ferroviaires – Systèmes à hydrogène et à pile à combustible pour matériel roulant – Partie 1 : Système à pile à combustible*, IEC 63341-2, *Applications ferroviaires – Systèmes à hydrogène et à pile à combustible pour matériel roulant – Partie 2 : Système à hydrogène*, et IEC 63341-3, *Applications ferroviaires – Systèmes à hydrogène et à pile à combustible pour matériel roulant – Partie 3 : Méthodes d'essai des performances pour système à pile à combustible*. Puisque l'élaboration de normes peut être longue, CSA a entre-temps publié la spécification technique CSA TS-602, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Batteries d'accumulateurs de traction embarquées au lithium-ion*, et travaille sur une seconde, soit CSA SPE-601, *Hydrogen Fuel Cell Power Systems for Locomotives*.

³⁰ Alstom (2023). *Alstom conclut avec succès la démonstration du premier train à hydrogène en service commercial en Amérique du Nord*. Extrait de <https://www.alstom.com/fr/press-releases-news/2023/10/alstom-conclut-avec-succes-la-demonstration-du-premier-train-hydrogene-en-service-commercial-en-amerique-du-nord>

³¹ The University of British Columbia. *Sustainable & Zero-Emission Rail Technology*. Extrait de <https://sustainablecommunities.ok.ubc.ca/research/sustainable-zero-emissionrail-technology/> (en anglais)

³² CPKC (2021). *Canadian Pacific expands Hydrogen Locomotive Program to include additional locomotives, fueling stations with Emissions Reduction Alberta grant*. Extrait de <https://investor.cpr.ca/news/press-release-details/2021/Canadian-Pacific-expands-Hydrogen-Locomotive-Program-to-include-additional-locomotives-fueling-stations-with-Emissions-Reduction-Alberta-grant/default.aspx> (en anglais)

Quant aux trains à l'hydrogène liquide, il faudra élaborer des normes pour le stockage et la vaporisation de l'hydrogène. Certaines portions de normes sur d'autres équipements à l'hydrogène liquide pourraient être reprises ou référencées.

Nous faisons en outre les recommandations suivantes :

- Rectifier les écarts dans les évaluations des risques des locomotives à l'hydrogène et à batterie, relevés par Transports Canada dans le rapport *Évaluation des risques des locomotives à hydrogène et à batterie – Partie 3 – Examen des cordes et des normes*.³³
- Rectifier les écarts dans la normalisation des technologies de piles à combustible à l'hydrogène et de batteries pour matériel roulant et des postes de ravitaillement et de recharge, relevés par CSA dans son document *Faire progresser l'utilisation de l'hydrogène et l'électrification dans le secteur ferroviaire*.³⁴
- Continuer d'élaborer des exigences pour la propulsion du matériel roulant et les infrastructures de ravitaillement et de recharge à partir des activités en cours de CSA.
- Suivre les travaux du groupe ISO TC 197 SC 1/IEC TC 9 dans une optique d'adoption.

Navires propulsés à l'H₂ (élément 55) – *Lacune partielle*

La lacune est partielle, puisqu'il existe des normes internationales pertinentes. Lloyd's Register a émis les premières règles pour l'utilisation de l'hydrogène comme combustible sur les bateaux, et Bureau Veritas a défini des règles encadrant les navires propulsés à l'hydrogène.³⁵ Nous recommandons d'évaluer aussi l'applicabilité en contexte marin de normes d'industries connexes, particulièrement pour les infrastructures de ravitaillement et les applications hors des eaux internationales.

Avions propulsés à l'H₂ (élément 56) – *Lacune partielle* | Véhicules aériens sans pilote propulsés à l'H₂ (élément 57) – *Lacune complète*

Du côté des avions propulsés à l'hydrogène, les normes d'industries connexes (ex. : équipement d'aéroport et petits avions conventionnels) pourraient être applicables. Toutefois, la question devra être étudiée plus en profondeur, d'où la lacune partielle.

Pour les véhicules aériens sans pilote (drones), une norme définissant les spécifications pour l'utilisation de systèmes de pile à combustible est en cours d'élaboration : ASTM WK60937, *Design of Fuel Cells for Use in Unmanned Aircraft Systems*. Cela dit, cette norme devra probablement être bonifiée d'exigences de sécurité pour l'aérospatiale. C'est ce qui explique la lacune complète.

Parmi les normes qui pourraient s'appliquer aux avions et aux véhicules aériens sans pilote, on s'intéressera à CSA/ANSI HGV 3.1, *Fuel System Components for Compressed Hydrogen Gas Powered Vehicles*, CSA/ANSI HGV 2, *Compressed Hydrogen Gas Vehicle Fuel Containers*, et HPIT 1, *Compressed Hydrogen Powered Industrial Truck On-Board Fuel Storage and Handling Components*. Pour les deux types de véhicules, les directives de sécurité de la Federal Aviation Administration devraient être consultées dans l'élaboration des codes et des normes sur l'hydrogène.

³³ Transports Canada. *Évaluation des risques des locomotives à hydrogène et à batterie – Partie 3 – Examen des cordes et des normes*. Extrait de <https://tc.canada.ca/fr/centre-innovation/rapports-prioritaires/evaluation-risques-locomotives-hydrogene-batterie-partie-3-examen-cordes-normes>

³⁴ Hegazi, M., Wong, D., Aitken, H., Hoffrichter, A. (2024). *Faire progresser l'utilisation de l'hydrogène et l'électrification dans le secteur ferroviaire*. Association canadienne de normalisation, Toronto, ON.

³⁵ Hydrogen Central (2023). *Lloyd's Register Issues World's First Rules For Hydrogen Fuel*. Extrait de <https://hydrogen-central.com/lloyds-register-issues-worlds-first-rules-hydrogen-fuel/> (en anglais)

Camions au mélange de diesel et d'H₂ (élément 72) – Lacune partielle

Les camions au mélange de diesel et d'H₂ sont des véhicules (routiers et hors route) dont le MCI est alimenté par un mélange de diesel et d'hydrogène. Cette technologie est généralement installée sur des véhicules existants afin d'en réduire les émissions de GES et la consommation de carburant sans compromettre l'efficacité et la fiabilité des camions au diesel conventionnels.

Il existe cependant des trous majeurs dans les normes et les codes; aucun au Canada ne couvre les exigences de conception, d'installation, d'inspection et de réparation pour ces véhicules. Néanmoins, la lacune n'est que

partielle, puisque des normes existantes de CSA sur l'hydrogène couvrent une grande partie des exigences applicables aux composants. Le processus d'approbation par les différentes autorités canadiennes responsables est également ambigu, puisque ces dernières n'ont pas toutes l'expertise nécessaire en matière de mobilité de l'hydrogène.

Ainsi, nous recommandons d'élaborer une nouvelle norme inspirée des normes canadiennes existantes sur les véhicules au gaz naturel, soit CSA B109, *Code d'installation du gaz naturel comprimé pour les véhicules*, et CSA/ANSI NGV 6.1, *Système de stockage et de distribution de gaz naturel comprimé (GNC) pour véhicules routiers*.

3.3.2.5 Distribution d'hydrogène (éléments 43 à 45 et 51 à 54)

La distribution d'hydrogène consiste à ravitailler en hydrogène les véhicules qui s'en alimentent. Ce processus requiert généralement des infrastructures et du matériel spécialisés conçus pour le stockage, l'acheminement et la distribution aux utilisateurs finaux. Le **tableau 16** résume les lacunes dans la distribution d'hydrogène.

Tableau 16 : Lacunes dans la distribution d'hydrogène d'H₂

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
43	Distributeurs d'H ₂ pour véhicules légers	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
44	Distributeurs d'H ₂ pour véhicules lourds	●	3.1 - Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter 5 - Attendre la publication des normes en cours d'élaboration
45	Distributeurs d'H ₂ pour chemin de fer	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 3.1 - Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter 5 - Attendre la publication des normes en cours d'élaboration
51	Distributeurs d'H ₂ pour les navires	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
52	Distributeurs d'H ₂ pour les avions	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
53	Distributeurs d'H ₂ pour les véhicules aériens sans pilote	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
54	Distributeurs d'H ₂ pour les véhicules aéroportuaires	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

Distributeurs d'H₂ pour véhicules légers (élément 43) – Lacune partielle

Malgré l'existence d'un cadre global pour les normes et les codes de distribution, des directives supplémentaires pourraient s'avérer nécessaires à la gestion sécuritaire des postes de ravitaillement en hydrogène dans les espaces publics. La normalisation de cet enjeu faciliterait d'ailleurs l'installation à l'échelle nationale.

Par exemple, le CCIH dicte que certains composants doivent être conçus pour résister à des températures ambiantes minimales de -40 °C. Or, aux États-Unis et dans les normes internationales (ex. : NFPA 2, *Hydrogen Technologies Code*), l'exigence de conception est de seulement -20 °C. Ainsi, un fournisseur étranger qui

se conforme aux normes états-uniennes ou européennes ne respectera pas nécessairement les exigences canadiennes, ce qui limite les options pour les projets canadiens. En outre, les producteurs du pays s'en trouvent désavantagés, puisqu'ils doivent se conformer à des exigences plus strictes qui augmentent leurs coûts de production, même s'ils exportent la majeure partie de leurs produits. Des exigences uniformes faciliteraient l'importation d'équipement et réduiraient les coûts.

Par ailleurs, compte tenu des différences régionales au Canada, il y aurait lieu de laisser place à une certaine flexibilité quant à la température ambiante, sans compromettre la sécurité. Pour ce faire, il faudrait procéder à une évaluation technique au cas par cas afin de déterminer le seuil acceptable pour chaque région. Nous avons donc attribué la catégorie « lacune partielle », puisque le CCIH pourrait devoir être révisé.

Distributeurs d'H₂ pour véhicules lourds (élément 44) – Lacune partielle

La distribution d'hydrogène pour les véhicules lourds n'est pas bien couverte par les normes canadiennes. Il manque de normes sur les débits d'hydrogène élevés nécessaires pour ravitailler rapidement des véhicules lourds ou de gamme moyenne. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une NNC, la norme SAE J2601-5, *High-Flow Prescriptive Fueling Protocols for Gaseous Hydrogen Powered Medium and Heavy-Duty Vehicles*, publiée en février 2023, peut s'appliquer. CSA élaborera une norme binationale pour assurer son respect, puisqu'on en anticipe l'utilisation au Canada.

Nous recommandons que des normes nord-américaines sur la distribution d'hydrogène liquide soient rédigées en harmonie avec ISO/WD 13984, *Liquid Hydrogen Land Vehicle Fueling Protocol*, en cours d'élaboration. Le ravitaillement mobile sera couvert dans la norme CSA/ANSI HGV 5.3, *Mobile and Portable Refueling Units*, aussi en cours d'élaboration.³⁶ C'est pourquoi la lacune est partielle

Distributeurs d'H₂ pour chemin de fer, navires et avions (éléments 45, 51 et 52) – Lacunes partielles

Les trains, les navires et les avions requérant également un débit d'hydrogène élevé, on trouve ici les mêmes lacunes que pour les véhicules lourds (élément 44). Pour les navires et les avions, les normes de distribution nord-américaines existantes (et les normes à venir de l'ISO) devraient être adaptées ou utilisées comme fondation pour des normes canadiennes. Les lacunes sont donc partielles.

Distributeurs d'H₂ pour les véhicules aériens sans pilote (élément 53) – Lacune partielle

Il faudra évaluer plus en profondeur l'applicabilité des normes existantes aux distributeurs pour véhicules aériens sans pilote. Il y a là une lacune partielle, car malgré les nombreuses normes connexes sur les composants de distributeurs et les protocoles de ravitaillement, aucune ne se rapporte directement au ravitaillement en hydrogène de véhicules aériens sans pilote. De plus, la taille variable des véhicules de ce type implique différentes exigences de stockage de combustible à bord, ce qui se répercute sur les spécifications de distribution. Selon les besoins, les normes CSA HPIT 2, *Dispensing Systems and Components for Fuelling Hydrogen Powered Industrial Trucks*, et CSA/ANSI HGV 4.1, *Hydrogen-Dispensing Systems*, qui traitent principalement des véhicules légers, pourraient être applicables. L'actualisation de normes existantes (ici CSA/ANSI HGV 4.1) pourrait contribuer à combler la lacune.

Distributeurs d'H₂ pour les véhicules aéroportuaires (élément 54) – Lacune partielle

Comme les véhicules aériens sans pilote, les véhicules aéroportuaires peuvent être de taille variable, auquel cas les exigences de ravitaillement seraient différentes. Par ailleurs, l'applicabilité des normes de distribution existantes (ex. : CSA HPIT 2, *Dispensing Systems and Components for Fuelling Hydrogen Powered Industrial Trucks*, et CSA/ANSI HGV 4.1, *Hydrogen-Dispensing Systems*) est incertaine. Nous avons relevé une lacune partielle, qui est d'autant plus marquée pour l'hydrogène liquide, pour lequel il n'existe encore aucune norme de distribution.

³⁶ Conseil canadien des normes. *Unités de ravitaillement en hydrogène transportables*. Extrait de <https://ccn-scc.ca/normes/avis-dintention/csa-group/unites-de-ravitaillement-en-hydrogene-transportables>

3.3.2.6 Exploitation minière et activités industrielles (éléments 59 à 68)

L'hydrogène pourrait réduire considérablement les émissions de l'exploitation minière et des activités industrielles.

Exploitation minière

Le **tableau 17** résume les lacunes dans l'exploitation minière. Les éléments 27 à 32 ont aussi des implications dans ce domaine (voir les **sections 3.3.2.1** et **3.3.2.2**).

Tableau 17 : Lacunes dans l'exploitation minière

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
59	Distributeurs d'H ₂ pour véhicules d'exploitation minière à ciel ouvert	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
60	Distributeurs d'H ₂ G pour véhicules d'exploitation minière souterraine	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
61	Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H ₂ pour l'exploitation minière à ciel ouvert	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
62	Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H ₂ pour l'exploitation minière souterraine	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
63	Systèmes de chauffage et de ventilation fonctionnant à l'H ₂ pour l'exploitation minière souterraine	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

Distributeurs d'H₂ pour véhicules d'exploitation minière à ciel ouvert (élément 59) et distributeurs d'H₂G pour véhicules d'exploitation minière souterraine (élément 60) – *Lacunnes partielles*

Les systèmes de distribution de combustible diffèrent selon que l'exploitation minière se fait à ciel ouvert ou sous terre. Les normes et les codes sur les distributeurs d'hydrogène dans les mines à ciel ouvert sont les mêmes que pour toutes les autres industries utilisant des véhicules lourds. Toutefois, les mines souterraines présentent des dangers uniques (ex. : espace restreint) qu'aucun document existant ne couvre.

Il existe nombre de normes et de codes sur les composants des distributeurs pour véhicules légers au Canada (principalement la série CSA HGV), aux États-Unis, en Allemagne et à l'international. Ceux-ci ne sont toutefois pas complets, d'où la lacune partielle.

Les éléments suivants ne sont pas couverts :

- Un système de ravitaillement rapide sous haute pression pour l'équipement mobile lourd à grand réservoir;
- Un système intégré de gestion efficace de la chaleur permettant d'accélérer le ravitaillement;
- Un système de scellant à conception unique pour tous les joints mécaniques dans le distributeur pour prévenir les fuites continues de petites quantités d'hydrogène dans les applications souterraines;
- Des exigences de ventilation adaptées aux fuites d'hydrogène;
- Des dispositions pour la distribution sécuritaire d'hydrogène de la surface aux souterrains.

Les normes canadiennes existantes (principalement la série CSA HGV) couvrent actuellement les véhicules routiers, mais pourraient être modifiées ou servir d'assise pour créer des normes sur les distributeurs d'hydrogène pour véhicules lourds et hors route. Il en va de même pour les normes ISO pertinentes.

RÉPERCUSSIONS DES DISTRIBUTEURS SUR LA PRODUCTIVITÉ

L'équipement mobile lourd utilisé dans les mines requiert de grandes quantités d'hydrogène. Il est essentiel que la distribution de ce combustible ait des effets minimes sur la productivité et la disponibilité de l'équipement; le ravitaillement doit être rapide. Or, les technologies actuelles ne permettent des vitesses de ravitaillement que de 1 à 8 kg par minute, ce qui est insuffisant pour les grands réservoirs d'hydrogène. Il n'est pas urgent de mettre au point des distributeurs mobiles pour les véhicules routiers lourds parce qu'il existe déjà des technologies pour l'équipement léger. La priorité est donc de développer et d'adopter de l'équipement mobile à l'hydrogène pour l'exploitation minière, et d'adapter les normes et les codes en conséquence.

Nous recommandons d'évaluer l'applicabilité à l'exploitation minière des normes d'industries connexes. Pour les distributeurs dans les mines souterraines, les normes et les codes existants devront être élargis si une évaluation des normes d'autres industries ne révèle pas une applicabilité, particulièrement en contexte d'espace restreint (souterrain).

Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H₂ pour l'exploitation minière à ciel ouvert et souterraine (éléments 61 et 62) – *Lacunnes partielles*

Les normes et les codes sur la conception de véhicules lourds et hors route à l'hydrogène correspondent à ceux des industries de fabrication comparables. Dans les mines souterraines, où l'espace est restreint, l'hydrogène pose toutefois des enjeux de sécurité particuliers exacerbés par l'espace de stockage gazeux limité dans les véhicules. L'hydrogène liquide est une solution potentielle, mais la faisabilité de cette option, surtout sous terre, demeure à confirmer.

Il existe des normes canadiennes et internationales sur la conception de pièces de véhicules à l'hydrogène. Comme les véhicules électriques à pile à combustible (VEPCs) utilisent un format hybride combinant une pile à combustible à une grande batterie, les normes et les codes pertinents sur les véhicules électriques à batterie s'appliquent aussi.

VÉHICULES MINIERES DE POINTE : ÉTAT DES LIEUX

L'utilisation d'équipement mobile lourd à l'hydrogène est une solution envisagée pour les mines à ciel ouvert et souterraines, car les véhicules de production minière sont une source majeure d'émissions de GES dans le domaine. Les comparaisons entre les VEPCs et les véhicules à MCI font ressortir des avantages et des désavantages. Les véhicules miniers doivent avoir une bonne autonomie et pouvoir répondre aux pics de demande. Les VEPC de 350 tonnes en sont à l'étape de la démonstration, tandis que les MCI à l'hydrogène sont encore en développement. Les véhicules lourds ont déjà fait leurs preuves sur les routes, ce qui nous donne une idée de leur potentiel hors route et dans les mines.

Voici les écarts relevés pour les véhicules dans les mines à ciel ouvert et souterraines (MCI ou pile à combustible) :

- L'absence de normes mentionnant les risques de l'hydrogène liquide, dont l'utilisation dans l'exploitation et les environnements miniers devra être examinée plus en profondeur;
- L'absence de normes sur les MCI à l'hydrogène dans les véhicules lourds et hors route;
- L'élaboration et l'évaluation d'exigences de ventilation et de contrôle des émissions pour les véhicules miniers à l'hydrogène, et l'établissement d'une procédure de certification.

Des normes seront nécessaires pour le stockage d'hydrogène liquide et la vaporisation à même les véhicules. Des extraits de normes semblables sur l'équipement à l'hydrogène liquide pourraient être repris et référencés. Des normes et des codes sur les MCI à l'hydrogène pour l'équipement mobile devraient être élaborés.

Systèmes de chauffage et de ventilation fonctionnant à l'H₂ pour l'exploitation minière souterraine (élément 63) – *Lacune partielle*

Pendant les saisons froides dans les mines souterraines, il est essentiel que l'air entrant dans le système de ventilation soit chauffé légèrement au-dessus du point de congélation afin d'éviter le gel des infrastructures et l'accumulation de glace. Jusqu'ici, cela se faisait avec du gaz naturel, du propane ou du diesel. Bien qu'il existe des normes et des codes sur des applications semblables, aucun ne couvre les systèmes de chauffage et de ventilation fonctionnant à l'hydrogène ou aux mélanges de GN et d'H₂, d'où la lacune partielle.

Le mélange de GN et d'H₂ peut avoir des effets importants sur les installations et les infrastructures minières souterraines existantes; les exploitants doivent en comprendre pleinement les implications.

Les brûleurs des systèmes de chauffage et de ventilation relâchent des émissions, qui se mélangent à la circulation d'air sous la terre, et la combustion d'un mélange de GN et d'H₂ augmente la proportion d'oxyde d'azote dans l'air.

Voici ce qu'il manque dans la normalisation des systèmes de ventilation souterrains :

- La confirmation de la sécurité et de la performance des brûleurs existants avec les mélanges de GN et de H₂;
- La définition des débits de ventilation requis, notamment pour les mélanges contenant plus de 20 % d'hydrogène (jusqu'à 100 %);
- La définition de plafonds d'émissions pour les activités minières.

Les extraits pertinents des normes sur les technologies de chauffage au mélange de GN et d'H₂ s'appliquent. Il faudra toutefois plus d'études, d'essais et de démonstrations pour élaborer des normes.

Usages industriels

Les secteurs industriels examinés dans le cadre de la présente feuille de route sont la production chimique, les engrais, les carburants synthétiques, la production d'acier et les usines de ciment. Le **tableau 18** résume les lacunes dans les usages industriels. Les appareils de combustion à l'hydrogène gazeux (éléments 30 à 32) ont aussi des implications dans ce groupe (voir la **section 3.3.2.2**) puisque de grands chauffe-eau ou brûleurs sont parfois utilisés dans des contextes industriels.

Tableau 18 : Lacunes dans les usages industriels

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
64	Production chimique	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes
65	Engrais	○	1 - Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes
66	Carburants synthétiques	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 5 - Attendre la publication des normes en cours d'élaboration
67	Production d'acier	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes 3.1 - Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter 3.2 - Renvoyer à des normes régionales existantes ou les adopter
68	Usines de ciment	●	2 - Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes

○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète X Non évalué

Production chimique (élément 64) – Lacune partielle | Engrais (élément 65) – Aucune lacune

L'hydrogène est actuellement utilisé comme charge d'alimentation pour divers produits chimiques (ex. : méthanol). Le gaz de synthèse, résultant du mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone, pourrait aussi être employé dans divers processus industriels pour produire des amines, des naphènes, du peroxyde d'hydrogène, les alcools supérieurs et les aldéhydes. Cela dit, le secteur de la production chimique pourrait aussi l'utiliser comme combustible afin de réduire ses émissions de GES. La lacune pour cet élément est partielle, car s'il existe des normes canadiennes pertinentes, celles-ci pourraient devoir être revues.

La production d'engrais utilise aussi beaucoup l'hydrogène comme charge d'alimentation ou précurseur. Nous n'avons détecté là aucune lacune; l'industrie est bien établie et dispose déjà de normes et de codes adéquats.³⁷ Cependant, nous recommandons aux autorités pertinentes de continuer de surveiller le tout et d'étoffer les documents existants advenant des écarts.

Carburants synthétiques (élément 66) – Lacune partielle

Les carburants synthétiques (comme l'essence ou le diesel synthétiques) peuvent être produits en captant du dioxyde de carbone, puis en le mélangeant à l'hydrogène. Il existe des normes canadiennes sur le sujet, mais celles-ci pourraient

³⁷ En raison de sa maturité, la production d'engrais a été jugée hors de la portée de l'analyse environnementale.

être désuètes, d'où la lacune partielle. Par exemple, aucune ne couvre l'acide formique, qui pourrait pourtant s'avérer essentiel. La norme en cours d'élaboration CSA Z21.106, *Hydrogen-Fueled Appliances and Related Accessories*, pourrait éventuellement s'appliquer à l'hydrogène dans les usines de carburants synthétiques.

Production d'acier (élément 67) – Lacune partielle

Mélange de fer et d'autres matériaux bruts, l'acier se produit comme suit :

- Extraction du fer du minerai;
- Affinage d'acier à l'oxygène pur ou à l'aide d'un four électrique à arc;
- Coulage, formation et finition.

Le Canada compte plusieurs usines de production d'acier en activité ou en construction. Il existe des processus sidérurgiques matures qui utilisent l'hydrogène depuis près d'un siècle. Les normes nationales en couvrent une partie, et les normes de la NFPA couvrent les brûleurs.

Processus consistant à éliminer l'oxygène du minerai pour obtenir du fer, la réduction directe de minerai de fer requiert de l'hydrogène et du monoxyde de carbone. Sachant qu'il existe au Canada une installation de réduction directe qui est exploitée en toute sécurité depuis 50 ans, on peut déduire que les normes et les codes en place sont adéquats. Toutefois, les installations existantes utilisent du gaz naturel réformé pour produire l'hydrogène et le monoxyde de carbone nécessaires. Elles devront être modifiées pour permettre l'injection directe d'hydrogène, et les normes et les codes devront être ajustés en conséquence. L'acier produit à partir d'hydrogène devra demeurer conforme aux normes de qualité.

Dans la production d'acier, l'hydrogène peut servir sur deux plans : il offre à la fois un carburant sans émissions viable pour les fours électriques à arc et une option pour remplacer le charbon dans le processus de réduction. Les normes et les codes de construction et d'exploitation de tels systèmes ont fait leurs preuves et sont bien compris

par les autorités de réglementation et l'industrie. Aucun nouveau document n'est nécessaire. Les processus pour convertir les appareils de chauffage au gaz naturel (employés dans certains processus sidérurgiques) à l'hydrogène sont aussi bien compris, et l'équipement nécessaire est largement utilisé dans les raffineries de pétrole et disponible sur le marché. Les normes et les codes de conversion sont déjà bien implantés et compris.

C'est pourquoi nous avons opté pour une lacune partielle. Voici nos recommandations pour la sidérurgie :

- Adopter les normes états-uniennes sur l'équipement pour la réduction directe de minerai de fer.
- Examiner la réglementation encadrant les installations de réduction directe pour voir si elles peuvent être adaptées à d'autres applications.
- Définir les processus d'approbation pour la conversion de brûleurs hydrogène-air et hydrogène-oxygène.
- Adopter NFPA 86C, *Industrial Furnaces Using a Special Processing Atmosphere*, et NFPA 86D, *Industrial Furnaces Using Vacuum as an Atmosphere*, pour en faire des normes canadiennes.

Usines de ciment (élément 68) – Lacune partielle

Bien qu'il existe des normes canadiennes pertinentes pour les installations industrielles, aucune ne fait mention du mélange ou de l'utilisation directe d'hydrogène dans les usines de ciment, ce qui explique la lacune partielle. En 2019, une étude réalisée au Royaume-Uni s'est penchée sur les enjeux et les lacunes relativement au mélange de GN et d'H₂ dans les fours à ciment pour réduire les émissions.³⁸ Puisque la plupart des émissions de GES ne proviennent pas de l'utilisation de carburants, l'emploi d'hydrogène pur ou mélangé aurait un effet limité sur les émissions.

Les enjeux techniques et de sécurité communs aux applications industrielles de l'hydrogène et des mélanges de GN et d'H₂, comme le contrôle des propriétés ignifugeantes, les systèmes de brûleurs et la détection des fuites et des dangers, s'appliquent aussi aux usines de ciment.

³⁸ Mineral Products Association, Cinar Ltd, VDZ gGmbH (2019). *Options for switching UK cement production sites to near zero CO₂ emission fuel: Technical and financial feasibility*. Extrait de https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/866365/Phase_2_-_MPA_-_Cement_Production_Fuel_Switching.pdf (en anglais)

3.3.2.7 Éléments communs à toutes les applications et éléments d'installation communs (éléments 69 et 70)

Pour couvrir tous les risques propres à l'hydrogène, il est important de tenir compte des éléments communs à toutes les applications, comme l'énergie sobre en émissions et les fuites d'hydrogène. Les éléments d'installation communs se rapportent aux codes qui encadrent l'installation sécuritaire d'équipement : gaz naturel, électricité, plomberie et, surtout, hydrogène.

La portée et la complexité de ces éléments requérant une étude distincte, ils n'ont pas été évalués dans le cadre de cette analyse (**tableau 19**). Quoi qu'il en soit, les normes existantes sur le matériel à l'hydrogène ne couvrent pas le gros de ces éléments. Les utilisations et les technologies finales se développent rapidement, et les parties prenantes devront être continuellement consultées pour assurer le suivi de l'industrie et harmoniser la normalisation avec les besoins du marché.

Voici tout de même quelques observations sur ces éléments.

Élément 69 : éléments communs à toutes les applications

- i. Normes générales sur l'hydrogène
- ii. Électricité statique
- iii. Qualité de l'hydrogène
- iv. Compatibilité des matériaux avec l'hydrogène
- v. Composants (ex. : capteurs, enceintes, compresseurs d'air, compresseurs d'hydrogène, trains de robinets de gaz, dispositifs de commande)
- vi. Sûreté fonctionnelle
- vii. Contrôles programmables
- viii. Compatibilité électromagnétique
- ix. Propriétés et cote au feu des matériaux
- x. Évaluations des risques
- xi. Qualification et formation du personnel
- xii. Réfection, élimination et recyclage

Élément 70 : éléments d'installation communs

- i. Codes d'installation
- ii. Classification des emplacements et normes sur l'équipement dédié aux emplacements classifiés
- iii. Évacuation de l'hydrogène
- iv. Systèmes d'alarme incendie
- v. Protection contre la foudre
- vi. Mesures d'urgence

Tableau 19 : Lacunes relatives aux éléments communs à toutes les applications et aux éléments d'installation communs

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
69	Éléments communs à toutes les applications	X	
70	Éléments d'installation communs	X	

Aucune lacune
 Lacune partielle
 Lacune complète
 Non évalué

Éléments communs à toutes les applications (élément 69) – Non évalué

Classification des emplacements : réduire au minimum le risque d'erreur à l'installation

La section sur la classification des emplacements du CCIH renvoie à IEC 60079-10-1, *Atmosphères explosives – Partie 10-1: Classification des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses*, qui porte sur la classification des emplacements pouvant contenir des gaz ou des vapeurs inflammables, y compris des mélanges et des gouttelettes inflammables. Cette norme s'applique partout où une substance inflammable pose un risque d'ignition et définit des lignes directrices pour la conception, la construction, l'exploitation et l'entretien d'équipement dans un tel contexte. Toutefois, elle utilise une méthodologie complexe pouvant mener à une installation dangereuse en cas d'erreur de calcul.

Le risque d'erreur pourrait être atténué en ajoutant des directives prescriptives à la méthode de classification des emplacements du CCIH afin de réduire la dépendance à la méthodologie complexe d'IEC 60079-10-1. Cette dernière norme continuerait de s'appliquer là où la méthode prescriptive ne serait pas valide ou pratique.

Électricité statique

Le Canada utilise la norme NFPA 77, *Recommended Practice on Static Electricity*, qui couvre les dangers de l'électricité statique.

Éléments d'installation communs (élément 70) – Non évalué

Distribution d'hydrogène à proximité d'autres sources de carburants et de zones résidentielles

Nous avons peu d'information sur la distribution d'hydrogène à proximité d'autres sources de carburants dans les stations-service publiques. Il existe aussi un flou quant à la distance sécuritaire entre les postes de ravitaillement en hydrogène et les zones résidentielles. Il pourrait être nécessaire d'harmoniser les normes de multiples secteurs.

Installations d'entretien de véhicules hybrides

CSA travaille à actualiser la série de normes B401 pour y ajouter les installations accueillant des véhicules à l'hydrogène, à batterie et hybrides, de même qu'à transformer en NNC la norme CSA B401.3, *Code des installations d'entretien des véhicules et des remorques à hydrogène*.³⁹ Ce travail vise à créer des lignes directrices canadiennes pour les installations dédiées à l'entretien, à la réparation ou à l'entreposage de véhicules, de remorques porte-tubes et de tenders à l'hydrogène. La norme couvrira également les espaces et les systèmes connexes.

Par ailleurs, CSA s'affaire à convertir CSA B401.4, *Code de l'installation d'entretien des véhicules électriques à batterie*, en NNC afin de définir les exigences et de présenter des suggestions pour les installations d'entretien de véhicules électriques à batterie et hybrides, y compris pour les dépôts et les installations d'appoint (stationnement, entretien, réparation et stockage, et espaces et systèmes connexes).⁴⁰ Ce code couvrira en outre des éléments comme la prévention des décharges électriques et des éclats d'arc, la détection et la suppression des incendies, les déflagrations et les interventions d'urgence. Enfin, il renverra à des normes existantes sur la suppression des incendies et le stockage et la manutention de batteries.

³⁹ Conseil canadien des normes. *Code des installations d'entretien des véhicules et des remorques à hydrogène*. Extrait de <https://ccn-scc.ca/normes/avis-dintention/csa-group/code-des-installations-dentretien-des-vehicules-et-des-remorques>

⁴⁰ Conseil canadien des normes. *Code de l'installation d'entretien des véhicules électriques à batterie*. Extrait de <https://ccn-scc.ca/normes/avis-dintention/csa-group/code-de-linstallation-dentretien-des-vehicules-electriques>

D'ici là, l'industrie peut s'appuyer sur le CCIH, qui comprend des dispositions sur les garages de réparation et les installations d'entretien de véhicules légers à l'hydrogène comprimé ainsi qu'un renvoi à CSA B401.1, *Code sur les établissements d'entretien de véhicules au gaz naturel (VGN)*, pour les véhicules emmagasinant plus d'un kilogramme d'hydrogène. Ce dernier code est activement utilisé par les installations qui entretiennent, réparent ou entreposent des véhicules motorisés au gaz naturel. Certaines des exigences pourraient être adaptées pour les installations d'entretien d'autobus à l'hydrogène, en tenant compte du volume accru d'hydrogène entreposé.

Codes de construction pour les installations d'entreposage de véhicules

Les codes de construction pour les installations d'entreposage de véhicules sont imprécis sur deux plans clés, particulièrement lorsqu'il est question d'hydrogène gazeux et liquide :

- Mélange de types de véhicules : L'acceptabilité de l'entreposage de plusieurs types de véhicules (ex. : diesel, gaz naturel comprimé [GNC], batterie électrique, pile à combustible à l'hydrogène) dans un même espace est ambiguë. En effet, les codes n'indiquent pas si différents véhicules peuvent coexister ou s'ils devraient être gardés dans des espaces ou des bâtiments distincts.
- Maximum de véhicules : Il n'est pas non plus clair s'il existe un nombre maximal de véhicules pouvant être entreposés dans le même espace ni si une telle limite serait pertinente.

Ces incertitudes soulignent l'importance de clarifier les codes de construction et des incendies pour assurer la gestion efficace et sécuritaire des installations entreposant des véhicules à l'hydrogène gazeux ou liquide.

Normes sur les murets de rétention des installations d'entreposage de véhicules

Il n'est pas clair si les normes actuelles sur les murets de rétention conviennent pour les nouveaux véhicules à l'hydrogène, particulièrement ceux qui contiennent de très grandes batteries. Il serait important de préciser les exigences du Code national de prévention des incendies du Canada et de l'International Fire Code (IFC) sur les plans suivants :

- Différences entre les réparations mineures et majeures :
 - ♦ Contrairement à la National Fire Protection Association (NFPA), l'IFC ne différencie pas clairement les installations de réparations mineures et majeures, ce qui crée une ambiguïté quant aux exigences de vidange du carburant pour les entretiens mineurs (ex. : vérification et remplissage des liquides) dans les installations d'entreposage.
 - ♦ Le CCIH n'est pas bien implanté à l'échelle du pays et présente des contradictions semblables à l'IFC, ce qui fait planer une incertitude sur les garages de réparations mineures et majeures.
- Conflits potentiels ou écarts entre les différents codes de construction et des incendies.

3.3.2.8 Industrie pétrolière et gazière (élément 71)

Le **tableau 20** indique une lacune partielle concernant l'hydrogène dans l'industrie pétrolière et gazière. Cette industrie pourrait utiliser l'hydrogène de diverses façons, qui impliquent plusieurs autres éléments, par exemple les suivants :

- Camions lourds
 - ♦ Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H₂ pour l'exploitation minière à ciel ouvert (élément 61)
- Production locale d'énergie
 - ♦ Systèmes de pile à combustible portables et micros (élément 27)
 - ♦ Systèmes de pile à combustible stationnaires (élément 28)
 - ♦ MCI à gaz alimentés à l'H₂ (élément 29b)
- Appareils de combustion pour la production de vapeur⁴¹
 - ♦ Chaudières et chauffe-eau à l'H₂G (élément 30)
 - ♦ Fours et brûleurs à l'H₂G (élément 31)
- Exploitation minière⁴²
 - ♦ Distributeurs d'H₂ pour véhicules d'exploitation minière à ciel ouvert (élément 59)
 - ♦ Distributeurs d'H₂G pour véhicules d'exploitation minière souterraine (élément 60)
 - ♦ Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H₂ pour l'exploitation minière à ciel ouvert (élément 61)
 - ♦ Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H₂ pour l'exploitation minière souterraine (élément 62)

Tableau 20 : Lacunes dans l'industrie pétrolière et gazière

Élément	Nom de l'élément	Lacune	Recommandations de normalisation
71	Industrie pétrolière et gazière	●	3.1 – Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> ○ Aucune lacune ● Lacune partielle ● Lacune complète ✘ Non évalué </div>			

Industrie pétrolière et gazière (élément 71) – Lacune partielle

Il n'existe aucune norme canadienne pour cet élément. Cependant, plusieurs normes états-uniennes pourraient s'appliquer (ex. : CSA/ANSI FC 5:21, *Générateurs d'hydrogène faisant appel aux technologies du traitement du carburant – Partie 1 : Sécurité*, CGA H-10, *Combustion Safety for Steam Reformer Operation*, CGA H-11, *Safe Startup and Shutdown Practices for Steam Reformers*, et CGA H-12, *Mechanical Integrity of Syngas Outlet Systems*). Il existe aussi des normes internationales pour des industries comparables (ex. : ISO 16110-1, *Générateurs d'hydrogène faisant appel aux technologies du traitement du carburant – Partie 1 : Sécurité*, ISO 16110-2, *Générateurs d'hydrogène faisant appel aux technologies du traitement du carburant – Partie 2 : Méthodes d'essai de rendement*, ISO 26142, *Détecteurs d'hydrogène – Applications fixes*, et code ICS 75.200,

⁴¹ L'hydrogène peut remplacer le gaz naturel dans la production conventionnelle, notamment pour générer la vapeur qui chauffe le pétrole (pour en réduire la viscosité) en vue du transport.

⁴² L'exploitation ex situ de sables bitumineux consiste à extraire le sable et à l'emmener dans des camions lourds; l'exploitation in situ a recours au drainage par gravité au moyen de vapeur (DGMV).

Équipement de transport du pétrole, des produits pétroliers et du gaz naturel). Par conséquent, nous avons attribué la catégorie « lacune partielle » à l'élément. Nous recommandons d'harmoniser la norme canadienne avec la norme états-unienne ou de créer une norme binationale canado-états-unienne.

Au fil de la normalisation et de la codification de l'hydrogène dans l'industrie pétrolière et gazière, il pourrait être utile de définir des sous-secteurs ou des sous-éléments plus précis, en fonction des diverses circonstances uniques de cette vaste industrie. Par exemple, la production pétrolière et gazière n'est pas la même en mer et sur terre : contraintes d'espace, caractéristiques propres aux milieux marins et terrestres, et considérations de transport (ex. : acheminement par un tiers, par bateau ou par camion).

3.4 Enjeux englobants

Pendant l'analyse des lacunes, ont été soulevés par les membres du GTCN des enjeux qui touchaient plus d'un des 72 éléments de la chaîne de valeur de l'hydrogène, voire tous. Puisqu'il s'agit d'enjeux recoupant plusieurs segments, nous les avons examinés de façon plus globale. Cela ne signifie toutefois pas qu'ils sont moins importants. Nous recommandons de les intégrer aux analyses des lacunes et aux exercices d'établissement des priorités futurs.

3.4.1 Collaboration et harmonisation

Peu importe le segment de la chaîne de valeur ou l'industrie, l'harmonisation des normes au pays, avec les États-Unis (normes binationales) et à l'international, au moyen d'ententes de commerce, serait un atout majeur pour un déploiement rapide de l'hydrogène. Par exemple, l'équipement pour l'électrolyse de l'eau est parfois acquis à l'extérieur du Canada. Il est donc important d'avoir une approche unifiée pour la mise à l'essai et la certification du matériel importé, y compris des méthodes d'estimation de la performance et de l'efficacité, s'il y a lieu. De plus, l'harmonisation s'avère avantageuse pour les importations et les exportations, car des normes cohérentes (p. ex., la définition d'un réservoir vide) réduisent les obstacles commerciaux et techniques aux douanes.

L'emploi de normes venant d'autres industries ou régions lorsque possible permettra aussi d'accélérer la normalisation de l'hydrogène. Au Canada, les OEN sont en bonne position pour diriger un tel effort, en collaboration avec l'industrie et les autorités réglementaires.

3.4.2 Sécurité, sensibilisation et acceptabilité sociale

Quelle que soit l'application ou la technologie, la sécurité doit être ancrée dans les règlements, les codes, les normes, les lignes directrices et les permis. Il s'agit d'un aspect crucial pour tous les éléments de la chaîne de valeur. En outre, les risques de sécurité sont l'un des principaux obstacles à l'adoption généralisée de l'hydrogène dans l'économie, particulièrement les risques liés au manque d'expérience lorsqu'il s'agit de le manipuler. Pour prévenir les incidents, on peut notamment générer des données qui éclaireront les codes et les normes à l'aide de la modélisation. Les déploiements réussis peuvent aussi servir à définir des pratiques exemplaires.

Il sera important pour les gouvernements, les associations, les services publics, les fabricants d'équipement et les autorités de réglementation de collaborer pour créer des normes de sécurité harmonieuses et comprendre les lacunes actuelles.

La sécurité comprend aussi la sensibilisation du public aux risques de l'hydrogène et aux façons de les atténuer. Le public doit avoir confiance :

- que chaque aspect de la production, de la livraison et de l'utilisation a fait l'objet d'essais méticuleux avant le déploiement;
- que les activités présentent un niveau de risque acceptable.

Bien qu'il soit méconnu du public, l'hydrogène est une option sûre lorsque les mesures de sécurité adéquates sont prises; plus la population en saura sur le sujet, plus ce carburant sera accepté.

Il faudra consulter les diverses parties prenantes pour faciliter l'harmonisation pancanadienne des normes et des codes. Ce travail favorisera la mise en place de processus de sécurité cohérents dans toutes les régions et familiarisera le public avec la manipulation et l'utilisation de l'hydrogène et de ses systèmes connexes

3.4.3 Éducation et formation

Pour que le déploiement soit réussi, il sera crucial de préparer la main-d'œuvre et de combler l'écart de compétences.

Préparer la main-d'œuvre

La qualification de la main-d'œuvre est intimement liée à la sécurité; il est vital de donner au personnel les connaissances et les formations nécessaires pour produire, manipuler et utiliser de l'hydrogène de façon sûre et efficace. Le Canada dispose déjà de bon nombre des compétences et des emplois techniques essentiels à l'économie de l'hydrogène, notamment de l'expertise dans :

- l'électrolyse de l'eau visant à produire de l'hydrogène propre et des dérivés (ammoniac);
- le CUSC permettant de transformer des combustibles fossiles en hydrogène sobre en carbone.

De plus, le sous-secteur canadien du développement et de la fabrication de piles à combustible est florissant.

Comblent l'écart de compétences

L'Accélérateur de transition est une organisation pancanadienne qui a mis au point un outil d'évaluation de la main-d'œuvre visant à cerner les emplois, les capacités et les risques liés à l'expansion de l'hydrogène sur le marché du travail.⁴³ Des pénuries de main-d'œuvre qualifiée sont d'ailleurs anticipées dans les postes en génie et en géoscience, les postes techniques et les postes d'inspection de véhicules à pile à combustible, de même que dans les secteurs qui utilisent l'hydrogène comme charge d'alimentation industrielle. Le personnel doit connaître et savoir appliquer les règlements, les codes et les normes.

L'écart de compétences et les besoins de recyclage professionnel peuvent être compensés à l'aide d'approches

⁴³ The Transition Accelerator (2022). *Workforce Requirements for Advancing a Hydrogen Economy*. Extrait de https://transitionaccelerator.ca/wp-content/uploads/2023/05/TA_H2-Workforce-Requirements-Assessment-Tool_FINAL-1.pdf (en anglais)

ABSENCE DE CERTIFICATIONS ET DE COURS SPÉCIALISÉS RECONNUS SUR LA SÉCURITÉ DE L'HYDROGÈNE

Exemple d'un membre du GTCN : Le personnel travaillant avec des appareils à l'hydrogène doit posséder une formation de sécurité, de l'expérience avec l'hydrogène et une certification de montage d'installations au gaz. Cependant, la plupart des personnes qui travaillent depuis des années avec du gaz naturel comprimé (GNC) sous haute pression n'ont pas nécessairement de certificat en main. Ainsi, malgré leur expérience, elles ne seraient pas qualifiées pour monter et exploiter de l'équipement à l'hydrogène. Les entreprises devront embaucher une monteuse ou un monteur possédant l'attestation nécessaire pour superviser le tout, mais la plupart des monteuses et monteurs n'ont pas d'expérience avec l'hydrogène. Il n'existe actuellement aucun mécanisme permettant aux techniciennes et techniciens qui ont des années d'expérience avec le GNC sous haute pression d'obtenir une certification spéciale pour l'hydrogène; il faudrait en créer un. Un cours de sécurité pour l'hydrogène, reconnu par un organisme de réglementation, serait aussi nécessaire. Les cours et normes sur l'hydrogène doivent devenir une priorité si l'on compte assurer au personnel le degré de qualification requis pour utiliser et inspecter les systèmes et les infrastructures en toute sécurité.

novatrices comme des microcertifications, des intensifs et l'apprentissage intégré au travail – auxquelles seront incorporées des formations spécialisées sur les normes et les codes.

Les parties prenantes comme les gouvernements, le secteur privé et le milieu universitaire devront collaborer pour fournir des formations et des certifications de sécurité accessibles et adaptées aux besoins précis du domaine. Il sera par ailleurs essentiel d'harmoniser les directives avec les normes internationales. Les établissements d'enseignement canadiens auront un rôle central dans la sensibilisation et le recrutement de jeunes travailleuses et travailleurs dans les milieux propices au déploiement de l'hydrogène. La collaboration avec les fabricants d'équipement et les OEN ouvrira aussi de nouvelles possibilités de formation. Tous ces efforts permettront de réduire les risques que posent l'application inégale des normes et la pénurie de talents diversifiés et qualifiés.

3.4.4 Intensité en carbone et certification

L'hydrogène propre pourrait s'avérer un atout majeur dans l'atteinte des objectifs de carboneutralité du Canada. L'accord de la COP28 souligne l'importance d'accélérer le déploiement de l'hydrogène sobre en carbone, des énergies renouvelables et du captage de carbone pour respecter les engagements climatiques mondiaux.⁴⁴ L'IC de l'hydrogène, qui mesure la quantité d'émissions de GES relâchées par la production d'une unité d'hydrogène, est l'indicateur de durabilité environnementale le plus reconnu. Elle est fréquemment exprimée en kilogrammes d'équivalent en dioxyde de carbone par kilogramme d'hydrogène (kg d'éq. CO₂/kg d'H₂) ou en grammes de dioxyde de carbone par mégajoule (g d'éq. CO₂/MJ). Bien que l'IC soit souvent circonscrite au segment de production de la chaîne de valeur, il pourrait y avoir lieu de l'étendre aussi à l'acheminement et à l'utilisation finale.

Détermination de l'intensité en carbone

Il existe plusieurs documents d'orientation et méthodes pour déterminer l'IC : ACV, normes de durabilité environnementale, évaluations de l'empreinte carbone, mesure et déclaration des émissions de GES engendrées par divers processus et produits. Le Canada a besoin d'une norme sur l'IC qui soit adaptée aux réalités de la production d'hydrogène au pays et harmonisée avec les efforts de normalisation internationaux.

Certification comme garantie de l'hydrogène sobre en carbone

Les programmes de certification, qui sont distincts des essais et des certifications de produits, permettent aux organisations indépendantes accréditées d'émettre des déclarations de garantie transférables. Ces déclarations certifient qu'une unité d'un vecteur énergétique, comme l'hydrogène, répond aux critères de durabilité définis sur toute la chaîne de valeur. Ainsi, la certification est cruciale pour établir la valeur commerciale de l'énergie sobre en carbone, stimuler le commerce et favoriser la conquête de marchés qui accordent une grande importance à l'IC.

LA VOIE VERS UNE NORME SUR L'INTENSITÉ EN CARBONE

Voici la liste des normes et autres documents de référence existants ou en cours d'élaboration :

- i. *Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles* d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC)
- ii. ISO/TS 19870:2023, *Méthodologie pour déterminer les émissions de gaz à effet de serre associées à la production, au conditionnement et au transport de l'hydrogène jusqu'au point de consommation*
- iii. ISO 14040, ISO 14044 et ISO 14067 (normes sur l'ACV et la comptabilité carbone)
- iv. Bases de données sur le cycle de vie du Protocole des GES
- v. CSA/ANS R124/BNQ 1789-200, *Méthodologie harmonisée pour communiquer les données relatives à la filière de production et à l'intensité carbone de l'hydrogène* (en cours d'élaboration)
- vi. Classification avancée de l'hydrogène de CSA (rapport de recherche)

⁴⁴ United Nations Climate Change. *UN Climate Change Conference – United Arab Emirates*. Extrait de <https://unfccc.int/fr/cop28>

Il est important d'établir des mécanismes crédibles pour déterminer et certifier la durabilité de l'hydrogène et des transporteurs (ex. : ammoniac, méthanol) produits et importés, particulièrement lorsqu'on sait que l'hydrogène provenant de sources et de technologies diverses pourrait être mélangé dans les chaînes d'approvisionnement. Une garantie d'origine serait aussi capitale pour faciliter l'exportation d'hydrogène canadien sur d'autres marchés, dont le marché européen.

Les consommatrices et consommateurs en quête d'options sobres en carbone auront besoin d'information fiable sur l'origine du produit; il faudra établir un suivi crédible de la chaîne de possession couvrant la livraison et le stockage intermédiaires, ainsi que des mécanismes de bilan de masse ou des garanties d'origine. Selon l'emplacement, des critères de durabilité supplémentaires pourraient s'appliquer (consommation d'eau, utilisation des terres, acceptabilité sociale, répercussions sur les communautés autochtones). Le Canada a signé *la déclaration d'intention sur la reconnaissance mutuelle des systèmes de certification de l'hydrogène et des dérivés de l'hydrogène renouvelables et à faible teneur en carbone* lors de la COP28. Il travaille sur la question avec le groupe de projet de l'IPHE.

En contexte canadien, la certification permettra de confirmer que l'hydrogène et ses transporteurs ont été produits, stockés et livrés conformément aux critères de durabilité. La certification est à la fois :

- une assise pour les politiques liées à la réduction des émissions, comme les crédits d'impôt;
- un moyen d'incorporer d'autres mesures de durabilité;
- un outil pour offrir plus de transparence aux utilisatrices et utilisateurs finaux;
- une fondation clairement définie et vérifiable pour cultiver la confiance entre les producteurs d'hydrogène canadiens et les marchés nationaux et internationaux ciblés.

3.4.5 Mélange d'hydrogène et demande sur le marché

Le mélange d'hydrogène avec du gaz naturel permet de réduire les émissions des carburants là où l'IC de l'hydrogène est nettement inférieure à celle du gaz naturel qu'il remplace. À l'heure actuelle, l'emploi de carburants gazeux dans différents secteurs de l'économie s'appuie largement sur des réseaux de pipelines de gaz naturel, dans lesquels circulent de plus en plus de gaz naturel renouvelable.

Les normes sur le mélange d'hydrogène sont cruciales pour stimuler la demande sur le marché, car l'injection d'hydrogène dans les systèmes existants servira de tremplin à l'industrie. Ainsi, le fait de veiller à ce que l'hydrogène mélangé soit acheminé de façon sûre et efficace ouvrira la voie au développement et à l'utilisation d'autres éléments, comme les appareils à combustion et la production d'énergie par la combustion d'hydrogène. Le mélange de GN et d'H₂ aura donc un rôle à jouer à court, à moyen et à long terme, puisqu'il ouvrira la voie à l'utilisation continue des appareils au gaz naturel, moyennant une augmentation progressive de la proportion d'hydrogène, d'ici à ce que les systèmes à l'hydrogène pur soient prêts.

Puisque les réseaux de transport et de distribution du gaz naturel n'ont pas été conçus pour l'hydrogène, plusieurs enjeux techniques se dessinent. Il existe un survol des limites réglementaires pour l'injection d'hydrogène dans les infrastructures au gaz naturel et les utilisations finales en Europe; ce document offre une approche méthodique pour l'analyse des lacunes en contexte canadien.⁴⁵

Les prochaines études devront couvrir les effets de l'hydrogène dans les applications industrielles et les environnements bâtis et s'attarder aux pipelines, aux propriétés du gaz, aux systèmes de sécurité et au matériel de mesure, de même qu'à l'équipement et aux appareils d'utilisation finale.

⁴⁵ ENTSOE, GIE, Hydrogen Europe. *How to Transport and Store Hydrogen – Facts and Figures*. Extrait de <https://www.gie.eu/h2-report-facts-and-figures/> (en anglais)

Divers groupes, dont CSA, ont déjà publié ou réalisent actuellement des études sur les effets de l'hydrogène sur les matériaux et les composants des pipelines (en cours) ainsi que sur les appareils d'utilisation finale (publiées et en cours).⁴⁶ Des projets pilotes de mélange d'hydrogène ont aussi été lancés dans certaines provinces afin d'orienter le déploiement futur de l'hydrogène et l'élaboration de normes et de codes :

- Alberta – Projet de mélange d'hydrogène d'ATCO à Fort Saskatchewan⁴⁷
- Québec – Projet pilote d'injection d'hydrogène vert d'Énergir⁴⁸
- Ontario – Projet de mélange d'hydrogène d'Enbridge Gas⁴⁹

Au Canada, seuls les mélanges de gaz naturel contenant un volume maximum de 5 % d'hydrogène sont couverts par les certifications et les essais actuels. Il faudra élaborer des normes pour les volumes plus élevés, tant pour leur livraison et leur stockage que pour leurs utilisations finales, y compris des critères pour déterminer si les infrastructures existantes peuvent accueillir un mélange d'hydrogène ou de l'hydrogène pur.

3.4.6 Fuites d'hydrogène et répercussions environnementales

À tous les points de la chaîne de valeur, les fuites d'hydrogène peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement, effets qui n'ont pas encore été bien étudiés.⁵⁰ Bien que l'hydrogène ne soit pas directement un GES, il peut contribuer au réchauffement climatique en prolongeant la durée de vie de GES comme le méthane dans l'atmosphère. Plus les quantités d'hydrogène produit, transporté et utilisé seront importantes, plus le volume des fuites augmentera.

LES FUITES D'HYDROGÈNE DE PLUS EN PLUS DISCUTÉES AU PUBLIC COMME AU PRIVÉ

Plusieurs entreprises, dont C-FER Technologies (C-FER), contribuent à étudier les fuites d'hydrogène. C-FER collabore avec l'industrie pour évaluer et mettre en place des technologies novatrices en vue du déploiement généralisé de l'hydrogène. Ses efforts génèrent des données qui orientent le développement et l'actualisation du milieu. L'entreprise s'intéresse notamment à l'intégrité des pipelines, à la sécurité et au stockage souterrain.

Selon une modélisation des risques, les pipelines de gaz naturel existants auraient une intégrité structurale suffisante pour l'acheminement d'hydrogène. Cela dit, il est essentiel de quantifier l'interaction de l'hydrogène avec les matériaux des tuyaux pour assurer le contrôle de la fragilisation.

La détection de l'hydrogène est un élément important de la résolution des fuites. Les capteurs, détecteurs et traceurs sont des infrastructures de sécurité critiques; ils déclenchent des alarmes, activent des systèmes de ventilation en environnement clos et mettent hors service les systèmes à l'hydrogène en cas de problème.

⁴⁶ Suchovsky, C.J., Ericksen, L., Williams, T.A., Nikolic, D.J. (2021). *Appliance and Equipment Performance with Hydrogen-Enriched Natural Gases*. Association canadienne de normalisation, Toronto, ON. ATCO (2020). (en anglais)

⁴⁷ ATCO (2020). *Fort Saskatchewan Hydrogen Blending*. Extrait de <https://gas.atco.com/en-ca/community/projects/fort-saskatchewan-hydrogen-blending-project.html> (en anglais)

⁴⁸ Energir. *Projet pilote d'injection d'hydrogène vert, Une filière en développement*. Extrait de <https://energir.com/fr/a-propos/lentreprise/grands-travaux/hydrogene-vert>

⁴⁹ Enbridge (2022). *Clean hydrogen enters the Markham energy mix*. Extrait de <https://www.enbridge.com/stories/2022/january/hydrogen-blending-project-enbridge-gas-cummins-operational-markham-ontario> (en anglais)

⁵⁰ Les fuites sont différentes de la perméation. Néanmoins, dans la présente section, le terme « fuite » englobe aussi la perméation.

Il sera nécessaire de réaliser des études plus poussées afin de mieux comprendre l'ampleur des fuites potentielles et de trouver des méthodes efficaces pour les détecter, les mesurer et les réduire. Des technologies de détection fiables et adaptées aux propriétés chimiques et physiques de l'hydrogène seront indispensables pour obtenir une mesure exacte des débits et des pertes. Les technologies et les systèmes de détection devront aussi être étalonnés en fonction de références métrologiques à des fins de traçabilité et de validation. À l'heure actuelle, les solutions de mesure employées dans l'assurance et l'évaluation de la qualité, la détection des fuites, la détermination du contenu énergétique, le stockage ou la mesure de débit de l'hydrogène gazeux ou liquide et de ses transporteurs (ex. : LOPH) ne sont pas validées ou normalisées et ne peuvent donc pas être largement adoptées dans la chaîne de valeur de l'hydrogène. Les normes et les codes joueront donc un rôle dans l'atténuation des fuites, en posant des exigences techniques et des méthodes pour l'estimation, la détection, la mesure et la réduction des fuites dans divers équipements et processus.

L'élaboration de normes devra tenir compte des facteurs suivants :

- Degré de précision
- Temps de réponse
- Intervalle de mesure
- Sélectivité
- Stabilité
- Vie utile estimative
- Odorisants

3.4.7 Prototypes

L'absence de règlements raisonnables sur les prototypes d'équipement et d'appareils à l'hydrogène est un autre obstacle qui nuit à tous les segments de la chaîne de valeur. Pourtant, il existe des normes sur les prototypes d'appareils au gaz naturel, qui peuvent être inspectés selon CSA B149.3, *Code d'approbation sur place des appareils à combustible et appareillages*, de même qu'un code pour l'évaluation sur le terrain des prototypes d'appareils électriques (SPE 1000). L'hydrogène pur et mélangé pourrait être ajouté à l'édition 2025 de la norme CSA B149.3, mais pour l'instant, les autorités exigent la certification complète des prototypes d'appareils à l'hydrogène, ce qui limite les projets pilotes d'utilisation finale. Des membres du GTCN estiment qu'il serait pertinent de mener des inspections spéciales pour un nombre limité de prototypes. La question devra être explorée plus en profondeur.

4



4. RÉSULTATS DE L'EXERCICE DE HIÉRARCHISATION ET FEUILLE DE ROUTE

Les 72 éléments ont été classés en ordre croissant de priorité d'après le classement général.⁵¹ Nous avons ensuite proposé un échéancier pour les 20 premiers en fonction des scores et des critères d'urgence et d'importance attribués par les membres du GTCN, des gouvernements provinciaux et des AC. Trois options étaient possibles : échéancier à court terme (avant 2028), à moyen terme (2028-2030) et à long terme (après 2030).

Des 20 premiers éléments, 12 ont été assortis d'un échéancier à court terme, comme on peut le voir dans le **tableau 21**. Plus de la moitié des priorités à court terme appartiennent au segment « utilisation finale » de la chaîne de valeur de l'hydrogène. Pour une liste complète des lacunes associées aux éléments et un échéancier des priorités, voir l'**annexe G**.

Si le **tableau 21** présente fidèlement les résultats de l'exercice de hiérarchisation, il faut néanmoins faire preuve d'esprit critique. Le classement n'est pas infaillible, et il faut tenir compte des interdépendances, lesquelles n'ont pas été analysées dans le cadre de la présente feuille de route. Par exemple, l'élément « Distributeurs d'H₂ pour véhicules légers » (43) est considéré comme une priorité à court terme, tandis que l'élément « Véhicules légers à l'H₂ » (46) est une priorité à moyen terme. Dans les faits, le calendrier et la réussite du déploiement de ces deux éléments sont étroitement liés, la présence de stations de ravitaillement et de distributeurs concourant à l'adoption des véhicules à hydrogène. Rappelons que nous n'avons pas tenu compte de ce type d'interdépendances dans l'exercice de hiérarchisation. Cela dit, cette étape supplémentaire pourrait être envisagée pour des prochaines moutures de la feuille de route et des exercices subséquents.

La **figure 5** illustre l'échéancier proposé pour l'élimination des lacunes considérées comme des priorités à court et moyen termes (c.f. **tableau 21**). Les éléments sont présentés d'après leur classement général, compte tenu de l'échéancier à court et moyen terme recommandé (expliqué précédemment). L'échéancier réel des travaux dépendra de la formation, par les OEN, de comités techniques pour l'élaboration ou la mise à jour de normes concernant l'élément en question. Considérant que l'élaboration d'une norme type prend 18 à 36 mois au Canada, les mesures liées aux éléments assortis d'une échéance à court terme doivent être entamées immédiatement.

UN ÉCOSYSTÈME EN ÉVOLUTION

La priorité des éléments et les échéanciers proposés sont amenés à évoluer avec les nouvelles données disponibles et les besoins des secteurs et des AC. Certaines priorités à long terme seront reclassées dans les catégories à court et moyen terme au fur et à mesure que la feuille de route sera mise à jour.

⁵¹ S'entend du classement final (score sur 100) fondé sur neuf critères, décrits à la **section 2.5.2** : nombre d'entreprises canadiennes, activité dans le secteur, avantages, NMT, urgence, réalisabilité, importance, retombées et portée.

Tableau 21 : Classement général des 20 éléments prioritaires

Échéancier	Rang dans le classement général	Nom et numéro de l'élément	Segment	Lacune	Recommandation(s) de normalisation
Court terme	1	Distributeurs d'H ₂ pour véhicules légers (élément 43)	Utilisation finale	●	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2)
	2	Électrolyse de l'eau – Centralisée ou décentralisée (élément 1)	Production	●	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2)
	3	Intensité en carbone (élément 0)	Production	●	Attendre la publication des normes en cours d'élaboration (option 5)
	4	Injection d'H ₂ G dans les systèmes de pipelines de gaz naturel (élément 33)	Utilisation finale	●	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2) Renvoyer à des normes régionales existantes ou les adopter (option 3.2) et/ou Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter (option 3.3)
	5	Stockage d'H ₂ G (élément 12b) ^A	Acheminement et stockage	●	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2)
	6	Appareils de cuisson à l'H ₂ G (élément 32)	Utilisation finale	●	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2) et/ou Attendre la publication des normes en cours d'élaboration (option 5)
	7	Fours et brûleurs à l'H ₂ G (élément 31)	Utilisation finale	●	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2) et/ou Attendre la publication des normes en cours d'élaboration (option 5)
	8	Véhicules utilitaires lourds – Autobus fonctionnant à l'H ₂ (élément 48) ^B	Utilisation finale	●	H ₂ G : Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2) H ₂ L : Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée (option 6)
	9	Véhicules utilitaires lourds – Camions fonctionnant à l'H ₂ (élément 49) ^C	Utilisation finale	●	H ₂ G : Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2) H ₂ L : Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée (option 6)
	10	Acheminement d'H ₂ G par camion (élément 18)	Acheminement et stockage	●	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2)
	15	Production d'acier (élément 67)	Utilisation finale	●	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter (option 3.1) et/ou Renvoyer à des normes régionales existantes ou les adopter (option 3.2)
	17	NH ₃ pour l'acheminement et le stockage d'H ₂ (élément 11a)	Acheminement et stockage	●	Élaborer de nouvelles normes (option 4)

Échéancier	Rang dans le classement général	Nom et numéro de l'élément	Segment	Lacune	Recommandation(s) de normalisation
Moyen terme	11	Véhicules légers à l'H ₂ (élément 46)	Utilisation finale	●	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter (option 3.1)
	12	Stockage d'H ₂ L sur le site de production (élément 12a)	Acheminement et stockage	●	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2)
	14	Distributeurs d'H ₂ pour véhicules lourds (élément 44)	Utilisation finale	●	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter (option 3.1) Attendre la publication des normes en cours d'élaboration (option 5)
	16	Systèmes de pile à combustible portables et micros (élément 27)	Utilisation finale	●	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter (option 3.1)
	18	Manutention de matériaux alimentés à l'H ₂ (élément 47)	Utilisation finale	●	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter (option 3.1)
	19	Électrolyse de l'eau – En haute mer (élément 2)	Production	●	Utiliser telles quelles ou actualiser les normes canadiennes existantes (option 2))
	20	Craquage de NH ₃ pour libérer l'H ₂ G (élément 24a)	Acheminement et stockage	●	Aucune action immédiate; attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée (option 6)
Long terme ^D	13	Acheminement de NH ₃ par bateau (élément 15a)	Acheminement et stockage	○	Aucune action immédiate; actualiser périodiquement les normes canadiennes existantes (option 1)

○ Aucune lacune
● Lacune partielle
● Lacune complète

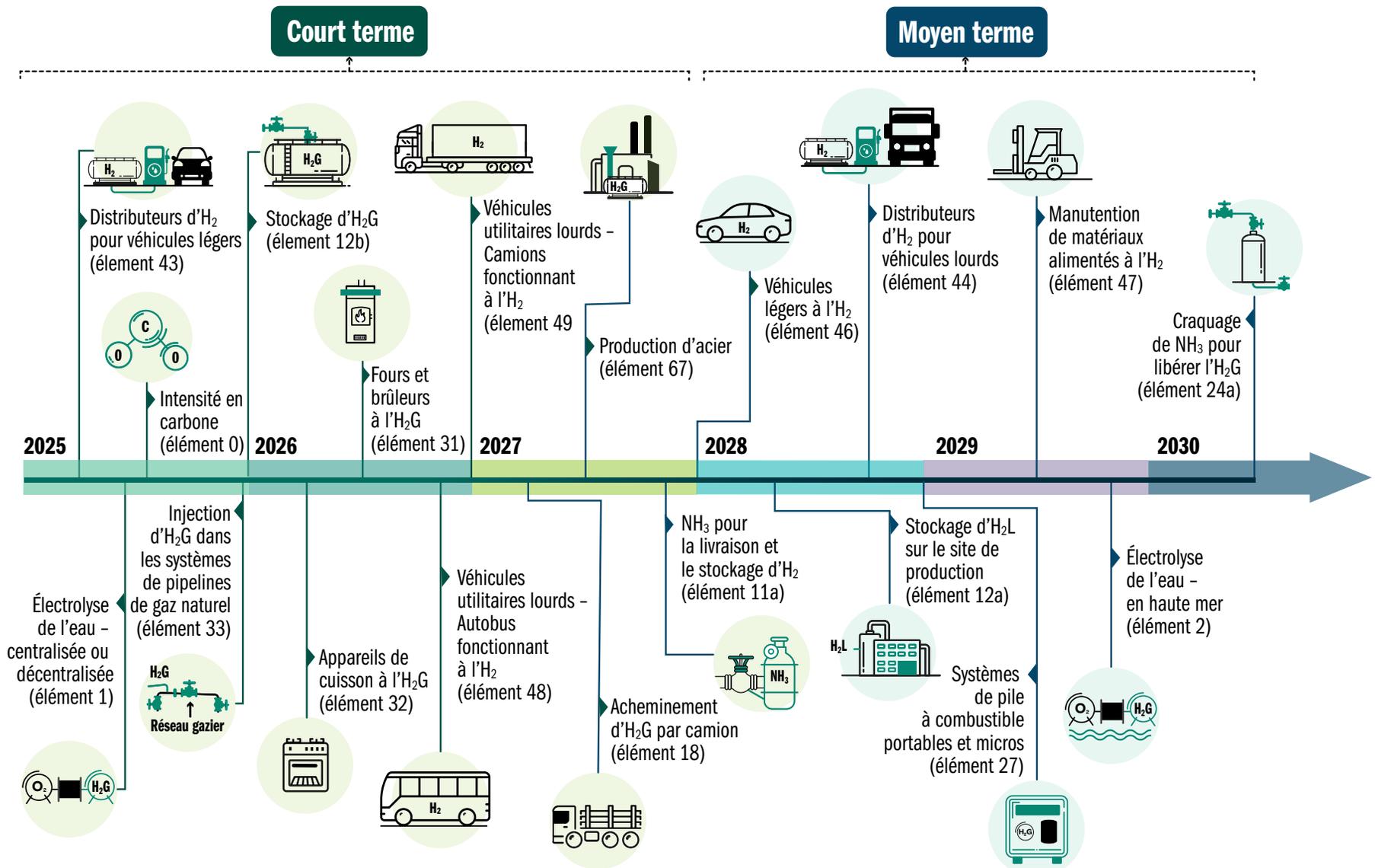
^A L'élément « Stockage de H₂G » (12b) vise toutes sortes d'équipements et de méthodes de stockage de l'hydrogène gazeux, avec des degrés de priorité variés. Le rang donné ici est global. Pour dresser un portrait plus précis dans les prochains exercices de hiérarchisation, il conviendrait de subdiviser cet élément en fonction des différents équipements et différentes méthodes.

^B Bien que l'élément « Véhicules utilitaires lourds – Autobus fonctionnant à l'H₂ » (48) vise à la fois l'hydrogène gazeux et liquide, l'on a constaté au cours de l'exercice que seul l'hydrogène gazeux était une priorité à court terme.

^C Bien que l'élément « Véhicules utilitaires lourds – Camions fonctionnant à l'H₂ » (49) vise à la fois l'hydrogène gazeux et liquide, l'on a constaté au cours de l'exercice que seul l'hydrogène gazeux était une priorité à court terme.

^D Rappelons que les priorités à long terme et les éléments n'ayant « aucune lacune » peuvent aussi faire l'objet de recommandations, les normes suivant un cycle d'examen régulier.

Figure 5 : Feuille de route proposée pour l'élimination des lacunes normatives prioritaire



H₂

5



5. APPEL À L'ACTION DES PARTIES CONCERNÉES

Les codes et les normes sont importants parce qu'ils encadrent l'économie de l'hydrogène et assurent sa cohérence sur le long terme. Leur élaboration est tout aussi importante que l'augmentation de l'offre, la construction d'infrastructures et la réponse à la demande. Au-delà des considérations techniques, les codes et les normes permettent d'harmoniser les politiques et la réglementation. Par exemple, une norme sur l'IC pourrait servir d'assise à un règlement qui fait appel à ce paramètre pour atteindre des objectifs climatiques ou proposer des crédits d'impôt. Par ailleurs, les normes ont le potentiel d'accroître l'« approbation sociale » de l'économie de l'hydrogène, en favorisant la confiance du public.

Pour qu'ils soient utilisés efficacement dans les politiques, les règlements et l'économie de l'hydrogène, les codes et les normes doivent favoriser la sécurité, atténuer les entraves au commerce, tenir compte des différences et priorités géographiques, être mis à jour périodiquement et concourir aux évaluations de la conformité. Il est aussi important de faire la distinction entre les domaines émergents et les secteurs industriels matures, qui respectent les plus rigoureuses normes de sécurité depuis des décennies. La priorité doit être accordée aux nouveaux domaines dont le paysage normatif comporte des lacunes; il faut éviter d'ajouter un fardeau indu aux secteurs avec une expertise de longue date.

Pour la première fois au Canada, dans le cadre de l'élaboration de la présente feuille de route, nous avons mis au jour les lacunes critiques de la chaîne de valeur de l'hydrogène, de concert avec bon nombre de parties concernées. D'après les constats de l'analyse des lacunes et de l'exercice de hiérarchisation, nous avons créé une feuille de

route pour l'élaboration de codes et de normes (**figure 5**). Les recommandations de normalisation, telles que celles présentées ici, sont un bon point de départ pour déterminer comment combler les lacunes, dans le respect des objectifs réglementaires et de politiques publiques du Canada, des besoins des secteurs, ainsi que de la santé et sécurité de la population canadienne.

Pour combler certaines lacunes, il faudra faire de la recherche, ce qui mènera à de nouvelles innovations. Les codes et normes créés dans la foulée pourraient faciliter l'accès aux marchés, car les coûts de mise en conformité des technologies de l'hydrogène sont susceptibles de diminuer. Ils faciliteront aussi les décisions d'investissement dans les technologies, puisque les pratiques exemplaires et les recommandations techniques seront rendues publiques.

Est présentée au **tableau 22** une liste de mesures recommandées et leurs résultats escomptés, ventilés en six grandes catégories. Les parties concernées – gouvernements, organismes de réglementation, associations industrielles, producteurs d'hydrogène et concepteurs de technologies, etc. – et les utilisateurs finaux devront mettre la main à la pâte pour accélérer l'élaboration des codes et des normes dont nous avons tant besoin. Et pour combler les lacunes relevées, la collaboration sera absolument primordiale. Du reste, comme l'écosystème de l'hydrogène évolue rapidement, il faudra faire preuve de flexibilité pour atténuer les entraves aux priorités, technologies, processus et projets émergents. Des exercices périodiques devraient être conçus pour mettre au jour les changements et formuler des conseils rapidement.

Tableau 22 : Mesures recommandées et résultats escomptés pour chaque pilier

Mesures recommandées	Résultats escomptés
Gouvernance	
<ul style="list-style-type: none"> i. Poursuivre les activités du GTCN, ce qui pourrait nécessiter de recruter d'autres expertes et experts en fonction de l'évolution ou de l'émergence d'éléments ou de priorités. ii. Créer une plateforme de coordination des codes et des normes relatifs à l'hydrogène, visant à rassembler les gouvernements, les secteurs, les OEN actifs dans l'écosystème de l'hydrogène et les parties concernées, pour garantir la mise en œuvre des priorités de la feuille de route. iii. Établir un processus d'examen périodique de la présente feuille de route. iv. Faire le pont entre les gouvernements et les AC concernant l'établissement des priorités pour éliminer les entraves aux codes, normes et certifications relatifs à l'hydrogène. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Accès à un vaste bassin diversifié de spécialistes pour se pencher sur les priorités et définir les objectifs en lien avec les codes et les normes, par le truchement d'une tribune de mobilisation des parties concernées. ii. Coordination avec les forums et groupes de travail techniques en appui à la chaîne de valeur de l'hydrogène et pour tirer parti des pratiques exemplaires. iii. Mesure des progrès, notamment quant au comblement des lacunes des éléments prioritaires listés et à la mise au jour des lacunes émergentes qui nécessitent des activités de normalisation. iv. Synergie entre les gouvernements et les autorités de réglementation quant à la budgétisation, à la planification et aux priorités communes menant à la délivrance d'accréditations pour les praticiennes et praticiens du secteur, pour une utilisation sécuritaire des technologies et des applications de l'hydrogène au Canada.
Initiatives stratégiques et mesures réglementaires	
<ul style="list-style-type: none"> i. Créer des programmes gouvernementaux stratégiques dédiés pour soutenir l'adoption des codes et des normes relatifs à l'hydrogène. ii. Assister les OEN qui œuvrent à corriger les lacunes, conformément aux priorités de la feuille de route et des stratégies pour l'hydrogène fédérale et provinciales. iii. Faire en sorte que les mécanismes en appui à l'hydrogène (ex. : programmes ciblés, financement stratégique, soutien à la recherche et au développement) tiennent compte des lacunes des codes et des normes. iv. Éliminer les obstacles réglementaires causés par l'absence de codes et de normes que rencontrent les projets dans l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène, surtout ceux qui stimulent la demande. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Financement et soutien continu pour l'élaboration de codes et de normes et leur utilisation dans les règlements. ii. Continuité des priorités présentées dans la présente feuille de route. iii. Importance accrue des analyses des codes et des normes dans le cadre d'activités bénéficiant de financement ou d'investissement gouvernementaux directs pour le développement de méthodes novatrices dans la chaîne de valeur. iv. Appui aux possibilités stimulant la demande d'hydrogène et les technologies connexes au Canada, même en l'absence de code ou de norme.
Coopération internationale	
<ul style="list-style-type: none"> i. Continuer de se coordonner avec les États-Unis et l'Union européenne et de contribuer à l'ISO pour favoriser l'harmonisation internationale. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Multiplication des initiatives internationales bilatérales ou multilatérales en lien avec les codes et les normes, dont de nouveaux plans de travail pour l'hydrogène du Conseil de coopération Canada – États-Unis en matière de réglementation et du Forum de coopération en matière de réglementation entre le Canada et l'Union européenne.

Mesures recommandées	Résultats escomptés
Innovation et renforcement de la capacité	
<ul style="list-style-type: none"> i. Financer les activités de recherche et développement de laboratoires fédéraux et d'autres institutions en appui à la création de codes et de normes. ii. Définir les compétences et la formation nécessaires sur les codes et les normes relatifs à l'hydrogène. iii. Aider les AC à harmoniser les exigences et les programmes de qualification retenus. iv. Continuer de veiller au signalement des technologies émergentes pour que les codes et les normes soient élaborés en priorité, avant leur commercialisation. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Dissémination des connaissances et diffusion publique des données critiques nécessaires à l'élaboration de codes et de normes. ii. Comblement des lacunes en matière de connaissances, surtout concernant l'utilisation des codes et des normes. iii. Gains d'efficacité en évitant les redondances dans le travail des instances canadiennes. iv. Sensibilisation dans l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène pour que les concepteurs signalent les implications des technologies de l'hydrogène émergentes sur les codes et les normes.
Technologie de l'information et accès	
<ul style="list-style-type: none"> i. Mettre en place un moyen (ex. : portail accessible) pour que les parties concernées puissent soumettre une demande ou communiquer un besoin aux OEN et aux AC s'ils constatent une lacune normative majeure nuisant au déploiement de l'hydrogène ou de technologies connexes. ii. Obliger, entre autres, les secteurs à divulguer à leurs consommateurs des données sur l'environnement, notamment par le truchement : <ul style="list-style-type: none"> a. de programmes d'écoétiquette; b. de systèmes de classement et de certification. iii. Rendre publics les codes et les normes élaborés avec des fonds du gouvernement du Canada. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Optimisation des communications entre les parties concernées et les OEN et AC. ii. Accès accru à l'information sur l'hydrogène pour le public, y compris aux indicateurs comme les méthodes, les modèles et les mesures relatifs à l'IC. iii. Possibilité pour les utilisatrices et utilisateurs finaux de consulter gratuitement les codes et les normes pertinents, surtout ceux dont l'élaboration a été financée par les fonds publics.
Communication et harmonisation	
<ul style="list-style-type: none"> i. Diffuser largement la présente feuille de route aux parties concernées du pays, par l'intermédiaire de forums et des OEN, et encourager les expertes et experts techniques à participer au processus d'élaboration des codes et des normes. ii. Articuler et faire connaître le lien entre les normes et la certification de systèmes de management et d'équipements. iii. Trouver des façons novatrices de communiquer les informations et les données, surtout dans les cas où on procède à des évaluations techniques parce qu'il n'existe ni code ni norme. 	<ul style="list-style-type: none"> i. Contribution à l'utilisation d'hydrogène, tout en mettant de l'avant son rôle dans la décarbonisation de l'économie, parce que l'accroissement de la demande favorisera l'élaboration de codes et de normes. ii. Harmonisation des codes et des normes s'appliquant à plusieurs applications et secteurs industriels (c.-à-d. interrelation et interconnexion des exigences dans divers codes et normes). iii. Harmonisation à l'échelle du pays et facilitation des échanges entre les provinces et territoires.

ANNEXE A : LISTES DES CONTRIBUTRICES ET CONTRIBUTEURS DU GTCN ET DE LA FEUILLE DE ROUTE

Les affiliations ci-dessous sont celles au moment où la feuille de route a été créée.

Gouvernance du GTCN

Olumoye Ajao	Ressources naturelles Canada, co-président du GTCN
Jillian Townsend	Ressources naturelles Canada
Akintona Sadiku	Ressources naturelles Canada
Alejandro Trujillo	Conseil canadien des normes, co-président du GTCN
Sabrina Pillay	Conseil canadien des normes, secrétaire du GTCN
Don Ahimon	Conseil canadien des normes, secrétaire du GTCN

Présidences des sous-groupes de travail du GTCN

Lisa Doig	Cariboo LCF, <i>groupe de projet sur la production</i>
Grace Quan	Hydrogen In Motion, <i>groupe de projet sur la livraison et le stockage</i>
Manuel Hernandez	Conseil national de recherches, <i>groupe de projet sur l'utilisation finale</i>
Aminul Islam	Conseil national de recherches, <i>groupe de projet sur l'utilisation finale</i>
Gord Lovegrove	Université de la Colombie-Britannique, <i>groupe de projet sur l'utilisation finale</i>

Membres des groupes de projet du GTCN

Contribution à l'analyse des lacunes et à l'exercice de hiérarchisation

Ala Abusalhieh	Enbridge Gas
Alexandre Morin	Bureau de normalisation du Québec
Anil Lal	Office des normes techniques et de la sécurité
Ashkan Begizadeh	Ressources naturelles Canada
Bob Blattler	Cariboo LCF
Brent Hartman	Groupe CSA
Brett Weinkauf	Groupe CSA
Christopher Penny	Atura Power
David Brockerville	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador
Daya Nhuchhen	Contributeur indépendant
Gouvernement numérique et Service T.-N.-L.	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador
Industrie, Énergie et Technologie	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador
Ed Da Silva	Sacré-Davey Engineering
Graham Meadows	Westport Fuel Systems
Helen Bennett	Association canadienne des carburants
Jessica Verhagen	Hydra Energy
Larisa Logan	Groupe CSA
Lee Gardner	Laboratoires nucléaires canadiens
Mark Fasel	International Code Council, Inc.
Martin Thomas	Ressources naturelles Canada
Matthew Findlay	CPKC
Melanie Pinatton	Groupe CSA
Mervah Khan	Groupe CSA

Membres des groupes de projet du GTCN (cont.)

Contribution à l'analyse des lacunes et à l'exercice de hiérarchisation

Nishant Kumar	HTEC
Norman Barmeier	HTEC
Pascale Lepage	Bureau de normalisation du Québec
Pejman Nekoovaght	Ressources naturelles Canada
Pete Koepfgen	Fortis BC
Pierre-Alexandre Poirier	Transports Canada
Richard Jewell	Xebec Adsorption Inc. /Hygear
Zhe (Rita) Liang	Laboratoires nucléaires canadiens
Rob Forbes	Flame Boss Inc.
Sean Ludzki	Fertilisants Canada
Shannon Hildebrandt	GHD
Sidney Manning	Alberta Municipal Affairs
Sudianto Wijaya	Intertek
Tyson White	Hydra Energy
Vincent Chou	Fortis BC
Warren Johnson	Sacré-Davey Engineering
Yinghai Wu	Ressources naturelles Canada
Zekai Hong	Conseil national de recherches

Groupe de travail des gouvernements et des AC

Participation à l'exercice de hiérarchisation des gouvernements et des AC

Amar Khif	Régie du bâtiment du Québec
Anil Lal	Office des normes techniques et de la sécurité
Daniel Balcha	Gouvernement du Manitoba
Gouvernement numérique et Service T.-N.-L.	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador
Industrie, Énergie et Technologie	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador
Gilles Gagnon	Gouvernement du Nouveau-Brunswick
Hamou L'Hadj Boussaad	Régie du bâtiment du Québec
Jeff Dolan	Gouvernement de la Nouvelle-Écosse
Jeremy LaFontaine	BC Hydrogen Office
Joshua Collins	Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard.
Ryan Mackie	SaskEnergy gouvernement de la Saskatchewan
Sidney Manning	Alberta Municipal Affairs

Équipe de rédaction de la feuille de route du GTCN

Akintona Sadiku	Ressources naturelles Canada
Alejandro Trujillo	Conseil canadien des normes
Aminul Islam	Conseil national de recherches
Don Ahimon	Conseil canadien des normes
Grace Quan	Hydrogen In Motion
Jillian Townsend	Ressources naturelles Canada
Lisa Doig	Cariboo LCF
Manuel Hernandez	Conseil national de recherches
Olumoye Ajao	Ressources naturelles Canada
Sabrina Pillay	Conseil canadien des normes

Équipe de révision de la feuille de route du GTCN

Amandeep Garcha	Ressources naturelles Canada
Anil Lal	Office des normes techniques et de la sécurité
Bernard Gindroz	BMGI Consulting
Brent Hartman	Groupe CSA
Brett Weinkauff	Groupe CSA
Brian Zupancic	Groupe CSA
David Van Den Assem	Alberta Innovates
Daya Nhuchhen	Contributeur indépendant
Gouvernement numérique et Service T.-N.-L.	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador
Industrie, Énergie et Technologie	Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador
Doug Hird	Technical Safety Authority of Saskatchewan
Greg Van Boven	TC Énergie
Hasin Haroon	Air Products
Helen Bennett	Association canadienne des carburants
Hong Zekai	Conseil national de recherches
Jeff Blais	Manitoba Hydro
John Lau	Ressources naturelles Canada
Josip Novkovic	Groupe CSA
Justin Osmond	Conseil canadien des normes
Larisa Logan	Groupe CSA
Margaret Skwara	Ressources naturelles Canada
Mark Chapeskie	Ressources humaines, industrie électrique du Canada
Maroufmashat Azadeh	Ressources naturelles Canada
Mary Marquez	Ressources naturelles Canada
Melanie Pinatton	Groupe CSA
Mervah Khan	Groupe CSA
Niklas Ekstrom	Ressources naturelles Canada
Nirmal Gnanapragasam	Centre canadien pour la sécurité de l'hydrogène
Norman Hendry	Contributeur indépendant
Pavel Peykov	Gouvernement de l'Ontario
Pete Koepfgen	Fortis BC
Philip Tomlinson	Ressources naturelles Canada
Pierre-Alexandre Poirier	Transports Canada
Richard Jewell	Xebec Adsorption Inc. /Hygear
Rob Forbes	Flame Boss Inc.
Robert Edwards	H2 Networks
Samantha Both	Ressources naturelles Canada
Sean Ludzki	Fertilisants Canada
Yinghai Wu	Ressources naturelles Canada
Zhe (Rita) Liang	Laboratoires nucléaires canadiens

ANNEXE B : RÔLE DES AUTORITÉS COMPÉTENTES DANS LE SOUTIEN DE L'ÉCONOMIE DE L'HYDROGÈNE

Le terme « autorités compétentes » (AC) désigne un organe gouvernemental ou de réglementation fédéral, provincial ou territorial dont le mandat consiste à appliquer et interpréter les lois et règlements dans un secteur donné. Les AC sont responsables de diverses activités de réglementation garantissant le bien-être du public, c'est-à-dire de sa santé et sécurité, ainsi que de la protection de l'environnement dans leur territoire de compétence. On pense notamment aux activités suivantes :

- Établir des règles par l'élaboration ou l'adoption et l'application des normes et des codes incorporés par renvoi aux lois provinciales et territoriales.
- Participer à l'élaboration de codes et de normes, dans le cadre de comités techniques d'OEN.
- Délivrer des permis, notamment des permis d'appareils, des licences d'installation, les inscriptions des promoteurs et les certifications des techniciennes et techniciens, pour vérifier que les travaux sont conformes aux normes de sécurité.
- Réaliser des inspections et des audits pour garantir la conformité aux codes adoptés et aux plans approuvés.
- Donner des programmes de formation et délivrer des certificats de compétences.
- Organiser des campagnes de sensibilisation du public, notamment sur le code du bâtiment, les mesures de sécurité et la réglementation, pour favoriser la conformité.

Les AC sont légalement autorisées à adopter un code ou à renvoyer à une norme, en tout ou en partie, dans le cadre d'un règlement applicable, lequel peut par la suite être modifié selon les besoins de la province ou du territoire.

Au Canada, les cadres législatifs ne font pas mention de l'hydrogène parmi les sources d'énergie, ce qui pose problème. Actuellement, un seul code encadre l'hydrogène gazeux : le *Code canadien d'installation de l'hydrogène* (CAN/BNQ 1784-000). Or, le secteur du gaz est régi par trois grands groupes de codes, aucun d'entre eux ne tenant compte de l'hydrogène :

- Installation du gaz : série CSA B149
- Chaudières et appareils sous pression : série CSA B51
- Gazoducs et oléoducs : CSA Z662

Pour que l'hydrogène soit déployé de façon adéquate et sécuritaire, il faut tenir compte de plusieurs facteurs techniques lors de l'élaboration ou de l'adoption de codes et de normes, et de leur éventuelle incorporation par renvois dans des règlements, à savoir :

- l'adaptabilité, puisque les technologies évoluent rapidement;
- la rigueur des précautions mises en place, puisque l'hydrogène est un gaz inflammable; ainsi, il faut se doter de procédures de manutention et de stockage spécialisées; cela vaut aussi pour ses dérivés et les porteurs d'hydrogène (ex. : ammoniac et liquides organiques porteurs d'hydrogène);
- les possibilités d'harmonisation internationale et nationale (lorsque possible), pour favoriser l'interopérabilité et le commerce;
- la faisabilité des projets de reconversion, au lieu de la construction de nouvelles infrastructures.

ANNEXE C : OEN DU SECTEUR DE L'HYDROGÈNE ACCRÉDITÉS PAR LE CCN

Plusieurs OEN accrédités par le CCN participent ou participeront prochainement à l'élaboration de codes et de normes relatifs à l'hydrogène. À noter que la liste suivante n'est pas exhaustive.

Association canadienne de normalisation (Groupe CSA)	Le Groupe CSA participe activement aux efforts de normalisation autour de l'hydrogène, élaborant des normes et des lignes directrices pour les technologies et applications de l'hydrogène qui se rapportent aux divers volets de la chaîne de valeur (production, stockage, transport, infrastructures, utilisation finale, sécurité).
Association du gaz comprimé (CGA)	La CGA crée des directives de sécurité pour la production, le stockage, le transport et l'utilisation d'hydrogène dans le secteur des véhicules électriques à pile à combustible. Son projet <i>Safe Hydrogen Project</i> consiste à élaborer des normes pour l'exploitation sécuritaire des applications de l'hydrogène, à conscientiser davantage le public au moyen de campagnes de communication et de marketing, et à approcher des parties prenantes ayant un intérêt pour le domaine.
Bureau de normalisation du Québec (BNQ)	Le BNQ est l'auteur du <i>Code canadien d'installation de l'hydrogène</i> , qui s'applique à tous les éléments de la chaîne de valeur de l'hydrogène. Il œuvre actuellement à l'élaboration d'une norme binationale sur l'intensité en carbone, avec le Groupe CSA et l'American National Standards Institute (ANSI).
International Code Council (ICC)	L'ICC se penche actuellement sur des propositions pour intégrer le mélange de GN et d'H ₂ à l' <i>International Fuel Gas Code</i> et aux prochaines versions des codes du bâtiment et des incendies, ce qui pourrait s'avérer nécessaire pour soutenir le secteur et reconnaître les caractéristiques de sécurité avancées des technologies de l'hydrogène d'aujourd'hui.
Laboratoires des assureurs du Canada (ULC)	ULC œuvre pour la conformité à certaines normes de sécurité et de rendement des produits, systèmes et installations liés aux technologies de l'hydrogène, en réalisant des essais et en délivrant des certifications. Sont notamment visés les domaines des piles à combustible ainsi que de la production, du stockage et des systèmes d'acheminement de l'hydrogène.

ANNEXE D : PARTICIPATION DU CANADA AUX ACTIVITÉS INTERNATIONALES D'ÉLABORATION DE CODE ET DE NORMES

Le Canada collabore avec des partenaires internationaux pour définir le rôle de l'hydrogène dans l'atteinte de la carboneutralité. À noter que la liste suivante n'est pas exhaustive.

Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA)	<p>En tant que membre du cadre de collaboration sur l'hydrogène vert de l'IRENA, le Canada participe aux échanges, aux efforts de coopération et aux actions coordonnées visant à accélérer le développement et le déploiement de l'hydrogène vert et de ses dérivés, ainsi qu'à l'harmonisation des normes, certifications et codes communs dont sont tributaires le commerce international et l'intégrité environnementale dans toute la chaîne de valeur. Le cadre de collaboration tire parti du travail sur l'hydrogène vert de l'Agence, des vastes connaissances et expertise des membres de cette dernière et des possibilités de partenariat avec d'autres entités, comme le Forum économique mondial et l'Organisation mondiale du commerce.</p>
Alliance Canada-Allemagne pour l'hydrogène	<p>En 2022, le Canada a signé une déclaration d'intention conjointe avec le gouvernement de la République fédérale d'Allemagne concernant la création d'une alliance Canada-Allemagne pour l'hydrogène.⁵² Cette alliance vise à stimuler l'économie de l'hydrogène dans les deux pays; les initiatives porteront notamment sur l'harmonisation des codes, normes et règlements relatifs à la production, à la distribution, au commerce et à l'utilisation de l'hydrogène et de ses dérivés. Les deux parties se sont aussi entendues pour se pencher sur la mise au point d'une méthode commune pour déterminer l'intensité en carbone de l'hydrogène.</p> <p>En mars 2024, le Canada et l'Allemagne ont signé un protocole d'entente pour l'avancement de l'Alliance, s'engageant ainsi à entamer la création d'un couloir commercial de l'hydrogène transatlantique en ouvrant un guichet bilatéral pour le Canada au titre de la fondation allemande H2Global afin de contrebalancer la « prime verte » rattachée au coût de l'hydrogène et de ses dérivés.</p>
Conseil canadien des normes (CCN)	<p>Le Canada, par l'intermédiaire du CCN, participe aux efforts de normalisation internationaux d'organisations telles que l'ISO (en siégeant au comité technique ISO/TC 197 sur les technologies de l'hydrogène). Ces organisations élaborent des normes internationales pertinentes pour le secteur de l'hydrogène. Le CCN est l'organisme d'accréditation du Canada. Une liste des OEN accrédités par le CCN se trouve sur la page Organismes accrédités.</p>

⁵² Ressources naturelles Canada (2022). *Déclaration d'intention conjointe entre le gouvernement du Canada et le gouvernement de la république fédérale d'Allemagne concernant la création d'une alliance entre le Canada et l'Allemagne pour l'hydrogène*. Extrait de <https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/lavenir-vert-canada/strategie-relative-lhydrogene/declaration-dintention-conjointe-entre-le-gouvernement-du-canada-et-le-gouvernement-d/24608>

Conseil de coopération Canada-États-Unis en matière de réglementation (CCR)	<p>Le Canada siège au CCR Canada-États-Unis, une tribune de discussion avec son plus proche partenaire commercial où il est principalement question des priorités réglementaires et, selon les besoins, d'harmonisation des priorités réglementaires et normatives. Le CCR a pour objectif de favoriser la croissance économique, de créer de l'emploi et de renforcer la transparence et la coordination. Comme les règlements renvoient aux codes et aux normes, les plans de travail créés par le CCR sont directement liés à ceux qui portent sur les codes et les normes prioritaires.</p>
Coopération économique Asie-Pacifique (APEC)	<p>Le Canada est membre de l'APEC, un forum régional qui favorise la coopération économique et le libre-échange entre ses membres, des États de l'Asie-Pacifique. Il a participé à un atelier du projet pour la création d'une norme internationale sur l'hydrogène sobre en carbone. Le rapport découlant de cet atelier traite des normes existantes, de méthodologies, des caractéristiques recherchées dans une norme internationale et des prochaines étapes pour l'adoption d'une norme dans la région de l'APEC.⁵³</p>
Forum de coopération en matière de réglementation (FCR)	<p>En appui aux efforts du FCR dans le cadre de l'Accord économique et commercial global Canada-Union européenne (AECG), le Canada fait part au CEN et au CENELEC de l'avancement des initiatives de normalisation en lien avec les technologies de l'hydrogène.</p>
Mission Innovation	<p>Le Canada est membre fondateur et membre actif de Mission Innovation, une initiative internationale rassemblant les gouvernements de 23 pays et la Commission européenne autour de coalitions privées-publiques appelées « missions ». Il est l'un des principaux membres de la mission pour l'hydrogène propre, qui travaille sur l'intégration de la production aux applications finales et sur la préparation à l'expansion de l'économie de l'hydrogène. L'un des grands axes de la mission est de rassembler des parties prenantes pour échanger des connaissances sur la création de conditions optimales pour l'expansion de l'économie de l'hydrogène. Le Canada est aussi l'un des principaux membres de la mission pour des industries carboneutres et un membre de soutien de la mission pour la carboneutralité des livraisons, qui stimulent les priorités en matière de recherche et d'innovation en décarbonisation (ex. : adoption de carburants zéro émission). Dans le cadre de ces trois missions, le Canada participe activement aux activités d'élaboration de cadres stratégiques, de normes et de règlements.</p>

⁵³ Asia-Pacific Economic Cooperation (2022). *Low-Carbon Hydrogen International Standard – Post-Workshop Report*. Extrait de <https://www.apec.org/publications/2022/07/low-carbon-hydrogen-international-standard-post-workshop-report> (en anglais)

<p>Organisation internationale de normalisation (ISO)</p>	<p>Le comité technique ISO/TC 197 (Technologies de l'hydrogène) rassemble des expertes et experts et des parties prenantes du monde entier autour de l'élaboration de normes internationales dans le domaine des systèmes et dispositifs de production, de stockage, de transport, de mesurage et d'utilisation de l'hydrogène. Le CCN, au nom du Canada, assure le secrétariat de ce comité.</p>
<p>Partenariat international pour l'hydrogène et les piles à combustible dans l'économie (IPHE)</p>	<p>Le Canada est membre de l'IPHE, un partenariat ayant pour objectif de soutenir et d'impulser l'utilisation des technologies de l'hydrogène et de piles à combustible dans l'économie de l'énergie propre. C'est à cette entité qu'on doit le document <i>Methodology for Determining the Greenhouse Gas Emissions Associated with the Production of Hydrogen</i>, publié en juillet 2023, duquel a germé la norme ISO/TS 19870:2023. Le Canada participe aussi activement aux sous-groupes de travail sur les règlements, les codes, les normes et la sécurité dans le secteur maritime, de même que sur le stockage en vrac de l'hydrogène et de ses dérivés. L'IPHE travaille aussi sur les mécanismes de certification de l'hydrogène.</p>

ANNEXE E : RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES SUR LA MÉTHODE DE CLASSEMENT

La méthode de classement est décrite à la **section 2.5.2**.

Matrice de priorisation basée sur les décisions (MPBD)

Le classement par ordre de priorité des différents éléments comportant des lacunes repose sur de nombreuses variables. Compte tenu de leur grand nombre, il a fallu adopter une approche systématique. L'Université de la Colombie-Britannique a fourni au GTCN une grille décisionnelle, dont se sert aussi l'Université de la Floride. Cette grille a servi de base pour la création de la matrice de priorisation basée sur les décisions (MPBD), conçue pour les situations où il faut tenir compte de nombreuses variables dans la hiérarchisation des éléments. Au nombre des critères, mentionnons le nombre d'entreprises canadiennes, leur activité dans le secteur, l'urgence, les avantages et le niveau de maturité technologique (NMT). Par ailleurs, la matrice tenait compte de l'évaluation des gouvernements provinciaux et des AC (portée, importance, réalisabilité, retombées).

La MPBD ramenait toutes les variables sur une échelle de 10 pour des questions d'uniformité. Par exemple, les NMT, allant initialement de 1 à 9, ont été divisés par 9, puis multipliés par 10. Autre exemple, aux fins de normalisation, le nombre d'entreprises canadiennes pour chaque élément a été divisé par le plus grand nombre d'entreprises pour un élément (c.-à-d. 38 entreprises pour l'élément Électrolyse de l'eau – Centralisée ou décentralisée [1]), puis multiplié par 10.

Le classement du nombre d'entreprises, de leur activité dans le secteur, des avantages, des NMT et de l'urgence a été fait par les membres des groupes de projet du GTCN et de leur réseau. Le classement en matière de réalisabilité, d'importance, de retombées et de portée a été réalisé par les gouvernements provinciaux et les AC.

Critère de classement	Échelle initiale	Échelle normalisée	Pondération globale
Évaluation des membres des groupes de projet du GTCN			
N^{bre} d'entreprises canadiennes **	0-38	Sur 10	5
Activité dans le secteur **	0-10	Sur 10	5
Avantages	0-10	Sur 10	10
Niveau de maturité technologique (NMT)	1-9	Sur 10	10
Urgence	0-10	Sur 10	10
Pondération totale			40
Évaluation des gouvernements provinciaux			
Réalisabilité	0-3	Sur 10	2.5
Importance	0-3	Sur 10	2.5
Retombées	0-3	Sur 10	2.5
Portée	0-3	Sur 10	2.5
Pondération totale			10
Évaluation des AC			
Réalisabilité	0-3	Sur 10	2.5
Importance	0-3	Sur 10	2.5
Retombées	0-3	Sur 10	2.5
Portée	0-3	Sur 10	2.5
Pondération totale			10

** Le nombre d'entreprises canadiennes et leur activité dans le secteur étant susceptibles d'avoir des retombées communes, nous avons diminué la pondération. Cela dit, il était important de tenir compte de ces deux critères, puisqu'ils représentent des aspects différents de la priorité. Par exemple, le nombre d'entreprises risque de ne pas offrir un portrait juste dans ces situations :

- Quelques entreprises sont très actives (ex. : deux entreprises au NMT élevé avec un chiffre d'affaires de plus de 100 millions de dollars par année) et contribuent grandement à l'économie canadienne;
- Bon nombre d'entreprises sont peu actives (ex. : 10 entreprises au NMT peu élevé, en phase de recherche et développement, avec un chiffre d'affaires d'à peine 5 millions de dollars par année) et contribuent peu à l'économie canadienne.

Par exemple, les éléments suivants comptent peu d'entreprises, mais elles sont très actives : « Électrolyse de l'eau – En haute mer » (2), « Reformage du gaz naturel » (3) et « Acheminement de NH₃ par chemin de fer » (16a).

Le nombre d'entreprises a aussi une incidence sur l'élaboration des normes. En effet, plus on compte d'entreprises actives, plus le comité d'élaboration des normes sera équilibré. Par ailleurs, il s'agit d'un critère objectif, comparativement à leur activité dans le secteur, qui est subjective; ainsi, l'inclusion des deux dresse un portrait plus juste.

Niveaux de maturité technologique (NMT)

Les NMT vont de 1, le niveau le moins avancé, à 9, le niveau le plus avancé, ce qui correspond à une technologie totalement prête à être déployée sur le marché et commercialisée.⁵⁴

Niveau 1	Observation et consignation des principes de base du concept – Début des activités de recherche scientifique, par exemple les études conceptuelles sur les priorités de base d’une technologie.
Niveau 2	Concept technologique ou application déterminé – Études analytiques pour évaluer les caractéristiques de base et les applications pratiques de la technologie.
Niveau 3	Fonction critique et analytique expérimentale ou validation de principe – Recherche et développement (études analytiques ou études en laboratoire).
Niveau 4	Validation des éléments ou des conditions d’essai en laboratoire – Intégration des composants et essais pour en valider leur bon fonctionnement. Le matériel utilisé à cette étape peut ne pas être destiné au produit final, mais servir uniquement aux essais.
Niveau 5	Validation des éléments ou des conditions d’essai en environnement simulé – Assemblage des composants en vue d’essais dans un environnement répliqué.
Niveau 6	Démonstration d’un modèle ou d’un prototype du système ou du sous-système dans un environnement simulé – Essai du prototype quasi définitif dans un laboratoire ou un environnement simulé.
Niveau 7	Prototype prêt pour la démonstration dans un environnement opérationnel approprié – Essai du prototype sur le terrain et démonstration dans un environnement réel.
Niveau 8	Technologie actuelle mise au point et qualifiée par des essais et des démonstrations – Conception terminée (technologie dans sa forme finale); essais ayant démontré que la technologie fonctionne comme prévu sur le terrain.
Niveau 9	Validation de la technologie réelle par le déploiement réussi dans un contexte opérationnel – Technologie prête et éprouvée dans des conditions réelles.

⁵⁴ Innovation, Sciences et Développement économique Canada (2018). *Niveaux de maturité technologique*. Extrait de <https://ised-isde.canada.ca/site/innovation-canada/fr/niveaux-maturite-technologique>

ANNEXE F : RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES SUR LA LIVRAISON ET LE STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE

Méthodes de livraison et de stockage de l'hydrogène gazeux (H₂G)

Réipients sous pression

- L'hydrogène est acheminé dans des remorques porte-tubes, dont la pression peut atteindre 250 bar (la pression habituelle se situant normalement entre 180 et 200 bar).
- Les règlements limitent la quantité de gaz (charge) qu'une remorque porte-tubes peut transporter.
- De nombreuses entreprises travaillent à la conception de systèmes de stockage et de livraison de l'hydrogène à partir de matériaux composites pouvant supporter une pression de 450 bar, voire 700 bar, pour pouvoir augmenter la quantité d'hydrogène acheminé par remorque et ainsi réduire les coûts et les émissions.

Stockage à l'état solide

- L'hydrogène peut être stocké par adsorption sur des poudres ou d'autres matériaux solides pour former des hydrures ou d'autres matériaux adsorbants.
- Lors de l'élaboration de codes et de normes, des essais permettront d'évaluer le caractère sécuritaire de ces substances.
- La quantité d'énergie requise pour adsorber (lier) de l'hydrogène sur une poudre est généralement plus faible que celle requise pour créer des liaisons chimiques (ex. : LOPH).
- Il est ainsi possible d'atteindre une densité relativement élevée d'hydrogène, un peu comme avec la compression, mais à une pression faible.

Pipelines, y compris l'utilisation pour le stockage temporaire

- Pour répandre l'utilisation de l'hydrogène au Canada, il faut notamment pouvoir utiliser les pipelines de gaz naturel ou en construire.
- L'infrastructure de gaz naturel existante pourrait être réaffectée à la livraison d'hydrogène pure ou d'un mélange de gaz naturel et d'hydrogène.
- La livraison d'hydrogène par pipeline, quelle que soit la quantité, vient avec son lot de difficultés et d'incertitudes.
- L'augmentation ou la diminution de la pression de certains tronçons d'un pipeline peut servir à augmenter la capacité de stockage durant les périodes de forte demande.
- L'hydrogène atomique peut s'infiltrer dans les métaux solides, ce qui peut faire craquer les pipelines.
- Puisque la capacité énergétique par unité d'hydrogène est faible, il faut augmenter la pression et le flux des pipelines, ce qui soulève des questions quant aux conséquences, au respect des protocoles de sécurité et aux coûts connexes.

Cavernes salines et stockage souterrain

- L'H₂G peut être stocké efficacement dans les cavernes salines, comme l'ont démontré des projets au Royaume-Uni, aux États-Unis et dans certains pays d'Europe.
- Dans plusieurs provinces canadiennes, on stocke déjà du gaz naturel dans les formations salines de ces cavernes.

Cavernes salines et stockage souterrain (Cont.)

- Grâce à leur composition et structure compacte, les formations salines emprisonnent le gaz. Les cavernes ne sont accessibles à la surface que par le trou de forage, lequel est chemisé et fermé pour éviter 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.
- Des puits de gaz épuisés sont également envisagés pour le stockage en vrac de l'hydrogène au Canada.
- Pour le stockage souterrain d'hydrogène, il faut prendre des précautions, notamment tenir compte de l'intégrité des matériaux, des risques de fuite et de l'interaction du gaz avec les médias de stockage.

Types de porteurs d'hydrogène

Ammoniac (NH₃)

- L'ammoniac est un porteur prometteur, vu sa densité élevée en hydrogène et sa grande polyvalence.
- Propice à l'acheminement et au stockage à long terme en raison de sa stabilité, l'ammoniac permet de répondre à la demande de stockage énergétique dans le temps (stockage fixe) et dans l'espace (exportation et importation d'énergie).
- L'ammoniac est actuellement utilisé dans plusieurs procédés industriels (ex. : fertilisants, produits chimiques) et l'infrastructure de production, d'acheminement, de stockage et d'utilisation est bien établie mondialement.
- Les règlements et procédures de manutention de l'ammoniac sont bien établis.
- La densité d'énergie volumétrique de l'ammoniac liquide est relativement élevée par rapport à celle de l'hydrogène liquide et comprimé.
- Si l'on cherche à obtenir de l'hydrogène ultrapur, il faut séparer l'hydrogène après la décomposition de l'ammoniac.

Liquides organiques porteurs d'hydrogène (LOPH)

- Les LOPH sont une technologie émergente pour l'acheminement à grande échelle d'hydrogène.
- Les LOPH sont des composés organiques (ex. : méthylcyclohexane, toluène, dibenzyltoluène et benzyltoluène) dans lesquels il est possible de stocker de l'hydrogène à des fins d'acheminement. L'hydrogène est ensuite récupéré sous forme gazeuse à destination.
- L'hydrogène est chimiquement lié au LOPH, lequel peut être soumis à plusieurs cycles d'hydrogénation et de déshydrogénation.
- Au nombre des principaux avantages, mentionnons un point d'ébullition plus élevé que l'H₂L, une densité énergétique plus élevée que l'H₂G, l'ininflammabilité, la faible toxicité dans certains cas, et la disponibilité des composés sur le marché.

Méthanol

- Le méthanol est liquide à température et à pression ambiantes, ce qui permet de l'acheminer et de le stocker dans les infrastructures existantes, sans investissements majeurs en immobilisations.
- Sa densité énergétique est supérieure à celle de l'ammoniac; cela dit, sa concentration gravimétrique et volumétrique en hydrogène est plus faible que celle de l'ammoniac.
- L'utilisation de méthanol pour stocker de l'hydrogène pourrait avoir des conséquences néfastes pour l'environnement au site d'utilisation; en effet, la combustion ou la décomposition directe du méthanol libère du dioxyde de carbone, à moins que ce ne soit fait dans un circuit fermé.

ANNEXE G : SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DES LACUNES ET DE L'EXERCICE DE HIÉRARCHISATION

Pour rappel, sont présentés à la **section 2** les lacunes (**2.3.2**), les recommandations de normalisation (**2.4**) et les échéanciers proposés (**2.5.2**). Certains éléments étant subdivisés, il est possible que plusieurs recommandations de normalisation soient proposées.

- Aucune lacune
- Lacune partielle
- Lacune complète
- ✗ Non évalué
- C Court terme
- M Moyen terme
- L Long terme

Segment « production » (éléments 0 à 10)

N° de l'élément	Nom de l'élément	Lacune	Rang dans le class. général	Il existe une norme CAN		Il n'existe aucune norme CAN			Aucune norme existante		Attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée	Échéancier
				Pour l'H ₂ : Aucune action immédiate; examen périodique	Pour un équipement similaire : Utiliser telle quelle ou actualiser	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Élaborer de nouvelles normes	Attendre la publication des normes en cours d'élaboration		
0	Intensité en carbone	●	3							X		C
1	Électrolyse de l'eau – Centralisée ou décentralisée	●	2		X							C
2	Électrolyse de l'eau – En haute mer	●	19		X							M
3	Reformage du gaz naturel	●	31			X						M
4	Gazéification de la biomasse	●	49			X						M
5	Reformage de liquides dérivés de la biomasse	●	52								X	M
6	Déchets industriels raffinés	○	46	X								L
7	Hydrogène thermochimique de source solaire ou nucléaire	✗										M*
8	Photo-électrochimique	✗										M*
9	Conversion microbienne/ photobiologique de la biomasse	✗										M*
10	Transition carbone accélérée (TCA)	✗										M*

* Les éléments 7 à 10 n'ont pas été évalués dans le cadre de l'analyse des lacunes, mais ils ont été hiérarchisés en fonction des critères décrits à la **section 2.5.1**. C'est pourquoi un échéancier est proposé.

Segment « livraison et stockage » (éléments 11 à 26)

N° de l'élément	Nom de l'élément	Lacune	Rang dans le class. général	Il existe une norme CAN		Il n'existe aucune norme CAN			Aucune norme existante		Attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée	Échéancier
				Pour l'H ₂ : Aucun action immédiate; examen périodique	Pour un équipement similaire: Utiliser telle quelle ou actualiser	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Élaborer de nouvelles normes	Attendre la publication des normes en cours d'élaboration		
11a	NH ₃ pour l'acheminement et le stockage d'H ₂	●	17						X			C
11b	Liquides organiques porteurs d'H ₂ (LOPH) pour l'acheminement et le stockage d'H ₂	●	44								X	M
11c	Méthanol pour l'acheminement et le stockage d'H ₂	●	24								X	M
12a	Stockage d'H ₂ L sur le site de production	●	12		X							M
12b	Stockage d'H ₂ G (Comprend : récipients sous pression, stockage à l'état solide, pipelines, y compris pour le stockage temporaire, cavernes salines/stockage souterrain, stations de compression/compresseurs)	●	5		X							C
13	Usine de liquéfaction de l'H ₂	●	65						X			M
14a	Acheminement de NH ₃ par camion	○	27	X								L
14b	Acheminement de LOPH par camion	X										
15a	Acheminement de NH ₃ par bateau	○	13	X								L
15b	Acheminement de LOPH par bateau	●	37		X							M
16a	Acheminement de NH ₃ par chemin de fer	○	26	X								L
16b	Acheminement de LOPH par chemin de fer	○	38	X								L
17	Acheminement d'H ₂ G par chemin de fer	●	45		X							M
18	Acheminement d'H ₂ G par camion	●	10		X							C
19 and 20	Systèmes de pipelines de gaz H ₂ /stations de réduction de pression H ₂ G	●	32		X							M
21a	Acheminement d'H ₂ G par bateau	●	70								X	M
21b	Acheminement d'H ₂ L par bateau	X										
22	Acheminement d'H ₂ L par camion	X										
23	Acheminement d'H ₂ L par chemin de fer	○	54	X								L
24a	Craquage de NH ₃ pour libérer l'H ₂ G	●	20								X	M
24b	Déshydrogénation de LOPH pour libérer l'H ₂	●	41		X							M
25	Stockage d'H ₂ L sur le site d'utilisation	○	67	X								L
26	Vaporisation d'H ₂ L sur le site de distribution (Comprend : tuyauterie, postes de distribution, récipients sous pression, échangeurs de chaleur, postes de ravitaillement)	●	68		X							M

Segment « utilisation finale » (éléments 27 à 72)

N° de l'élément	Nom de l'élément	Lacune	Rang dans le class. général	Il existe une norme CAN		Il n'existe aucune norme CAN			Aucune norme existante		Attendre que la technologie soit plus mûre et commercialisée	Échéancier
				Pour l'H ₂ : Aucune action immédiate; examen périodique	Pour un équipement similaire : Utiliser telle quelle ou actualiser	Renvoyer à des normes états-uniennees existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Élaborer de nouvelles normes	Attendre la publication des normes en cours d'élaboration		
27	Systèmes de pile à combustible portables et micros	●	16			X						M
28	Systèmes de pile à combustible stationnaires (Comprend : centrales pour piles à combustible au méthanol, systèmes d'alimentation sans coupure stationnaires intérieurs)	○	66	X								L
29a	Turbines à gaz alimentées à l'H ₂	●	48		X							M
29b	Moteurs à combustion interne (MCI) à gaz alimentés à l'H ₂	●	30		X							M
30	Chaudières et chauffe-eau à l'H ₂ G (Comprend : chauffe-eau avec réservoir ou sans réservoir [instantané], chauffe-eau de piscine, chaudières, chauffe-eau industriels)	●	34		X	X	X					C
31	Fours et brûleurs à l'H ₂ G	●	7		X					X		C
32	Appareils de cuisson à l'H ₂ G	●	6		X					X		C
33	Injection d'H ₂ G dans les systèmes de pipelines de gaz naturel	●	4		X		X	X				C
34a	Chauffe-eau au mélange de GN et d'H ₂	●	39		X	X	X					C
34b	Fours et brûleurs au mélange de GN et d'H ₂	●	21		X	X		X				M
34c	Appareils de cuisson au mélange de GN et d'H ₂	●	43		X	X	X					C
35	Turbines à gaz alimentées au mélange de GN et d'H ₂	●	69		X	X						M
36	Acheminement de mélange de GN et d'H ₂ par bateau	X										
37	Distributeurs de mélange de GN et d'H ₂ pour véhicules légers (voitures)	●	59		X							M
38	Distributeurs de mélange GN et d'H ₂ pour véhicules lourds (autobus et camions)	●	60		X							M
39	Manutention de matériaux alimentés au mélange de GN et d'H ₂ (Comprend : chariots élévateurs)	●	64					X				M
40	Véhicules utilitaires légers alimentés au mélange de GN et d'H ₂ (Comprend : voitures, VUS, véhicules utilitaires, véhicules hors route, surfaceuses à glace)	●	63					X				M

N° de l'élément	Nom de l'élément	Lacune	Rang dans le class. général	Il existe une norme CAN		Il n'existe aucune norme CAN			Aucune norme existante		Attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée	Échéancier
				Pour l'H ₂ : Aucune action immédiate; examen périodique	Pour un équipement similaire : Utiliser telle quelle ou actualiser	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Élaborer de nouvelles normes	Attendre la publication des normes en cours d'élaboration		
41	Véhicules utilitaires lourds – Autobus alimentés au mélange de GN et d'H ₂	●	62					X				M
42	Véhicules utilitaires lourds – Camions alimentés au mélange de GN et d'H ₂	●	61					X				M
43	Distributeurs d'H ₂ pour véhicules légers (voitures et chariots élévateurs) (Comprend : distributeurs permanents et portables, distributeurs à haute et basse pression)	●	1		X							C
44	Distributeurs d'H ₂ pour véhicules lourds (camions et autobus) (Comprend : distributeurs permanents et portables, distributeurs d'H ₂ L et d'H ₂ G à haute et basse pression)	●	14			X				X		M
45	Distributeurs d'H ₂ pour chemin de fer (Comprend : distributeurs permanents et portables, distributeurs d'H ₂ L et d'H ₂ G à haute et basse pression)	●	36		X	X				X		M
46	Véhicules légers à l'H ₂ (Comprend : voitures, VUS, véhicules utilitaires, véhicules hors route, surfaceuses à glace)	●	11			X						M
47	Manutention de matériaux alimentés à l'H ₂ (Comprend : chariots élévateurs, véhicules de vente au détail, de stockage, portuaires et aéroportuaires)	●	18			X						M
48	Véhicules utilitaires lourds – Autobus fonctionnant à l'H ₂ (Comprend : autobus fonctionnant à l'H ₂ G et à l'H ₂ L)	●	8		X						X	C
49	Véhicules utilitaires lourds – Camions fonctionnant à l'H ₂ (Comprend : camions fonctionnant à l'H ₂ G et à l'H ₂ L)	●	9		X						X	C
50	Train à l'hydrogène (train alimenté à l'H ₂) (Comprend : trains de passagers ou de marchandises, locomotives de manœuvre fonctionnant à l'H ₂ L et à l'H ₂ G)	●	25					X				M

N° de l'élément	Nom de l'élément	Lacune	Rang dans le class. général	Il existe une norme CAN		Il n'existe aucune norme CAN			Aucune norme existante		Attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée	Échéancier
				Pour l'H ₂ : Aucuné action immédiate; examen périodique	Pour un équipement similaire : Utiliser telle quelle ou actualiser	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Élaborer de nouvelles normes	Attendre la publication des normes en cours d'élaboration		
51	Distributeurs d'H ₂ pour les navires (Comprend : distributeurs permanents et portables, distributeurs d'H ₂ L et d'H ₂ G à haute et basse pression)	●	42		X							M
52	Distributeurs d'H ₂ pour les avions (Comprend : distributeurs permanents et portables, distributeurs d'H ₂ L et d'H ₂ G à haute et basse pression)	●	57		X							M
53	Distributeurs d'H ₂ pour les véhicules aériens sans pilote (Comprend : distributeurs permanents et portables, distributeurs d'H ₂ L et d'H ₂ G à haute et basse pression)	●	56		X							M
54	Distributeurs d'H ₂ pour les véhicules aéroportuaires (Comprend : distributeurs permanents et portables, distributeurs d'H ₂ L et d'H ₂ G à haute et basse pression)	●	71		X							M
55	Navires propulsés à l'H ₂ (Comprend : véhicules maritimes propulsés à l'H ₂ L ou à l'H ₂ G, navires, remorqueurs, bateaux, sous-marins et véhicules maritimes sans pilote)	●	72					X				M
56	Avions propulsés à l'H ₂ (Comprend : avions propulsés à l'H ₂ L ou à l'H ₂ G, avions, dirigeables rigides, dirigeables, hélicoptères)	●	58			X						M
57	Véhicules aériens sans pilote propulsés à l'H ₂ (Comprend : drones propulsés à l'H ₂ L et à l'H ₂ G)	●	22						X			M
58	Véhicules aéroportuaires fonctionnant à l'H ₂ (Comprend : véhicules, remorqueurs d'avion, groupes électrogènes de parc [GPU], camions aéroportuaires, tracteurs à bagages fonctionnant à l'H ₂ L ou à l'H ₂ G)	●	55		X	X		X				M

N° de l'élément	Nom de l'élément	Lacune	Rang dans le class. général	Il existe une norme CAN		Il n'existe aucune norme CAN			Aucune norme existante		Attendre que la technologie soit plus mature et commercialisée	Échéancier
				Pour l'H ₂ : Aucune action immédiate; examen périodique	Pour un équipement similaire : Utiliser telle quelle ou actualiser	Renvoyer à des normes états-uniennes existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Renvoyer à des normes internationales existantes ou les adopter	Élaborer de nouvelles normes	Attendre la publication des normes en cours d'élaboration		
59	Distributeurs d'H ₂ pour véhicules d'exploitation minière à ciel ouvert (Comprend : distributeurs pour véhicules d'exploitation minière à ciel ouvert fonctionnant à l'H ₂ L ou à l'H ₂ G, distributeurs à haute et basse pression)	●	23		X							M
60	Distributeurs d'H ₂ G pour véhicules d'exploitation minière souterraine (Comprend : distributeurs à haute et basse pression)	●	40		X							M
61	Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H ₂ pour l'exploitation minière à ciel ouvert (Comprend : camions, chargeurs, bulldozers, niveleuses)	●	50		X							M
62	Équipements utilitaires lourds fonctionnant à l'H ₂ pour l'exploitation minière souterraine (Comprend : camions souterrains et locomotives souterraines)	●	51		X							M
63	Systèmes de chauffage et de ventilation fonctionnant à l'H ₂ pour l'exploitation minière souterraine	●	53		X							M
64	Production chimique	●	35		X							M
65	Engrais	○	33	X								L
66	Carburants synthétiques	●	28		X					X		M
67	Production d'acier	●	15		X	X	X					C
68	Usines de ciment	●	47		X							M
69	Éléments communs à toutes les applications (Voir la liste des éléments ci-après)	X										
70	Éléments d'installation communs (Comprend : codes d'installation, du bâtiment et de sécurité incendie, mesure du gaz)	X										
71	Industrie pétrolière et gazière	●	29			X						M
72	Camions au mélange de diesel et d'H ₂	●	73		X							M

Élément 69 – Éléments communs à toutes les applications

Appareils de régulation	Dispositif de commande des soupapes de gaz	Mise à l'essai des composants (piles à combustible, propriétés des matériaux, et degré de résistance au feu)
Assemblage de piles à combustible	Dispositifs de sûreté	Piles à combustible
Capteurs d'hydrogène, y compris pour la détection des fuites	Électricité statique	Protection contre la foudre
Classification des emplacements	Élimination	Qualification et formation du personnel
Compatibilité des matériaux	Enceintes	Qualité de l'hydrogène
Compatibilité électromagnétique	Équipement de régulation de la pression	Recyclage
Compresseurs	Équipements électriques	Remise en état
Compresseurs d'air	Évacuation de l'hydrogène	Sécurité fonctionnelle
Compresseurs d'air	Évaluation des risques	Systèmes d'alarme d'incendie
Contenants sous pression	Mesures d'urgence	

