GROUPE CSA[MC]



RECHERCHE SUR LES NORMES

Stockage et transport de l'hydrogène autrement que par pipeline : Réglementation et normalisation

décembre 2023

Auteurs

Dick Kauling, BASc., KauliNG Solutions

Gini Sage, BSc, KauliNG Solutions

Melanie Pinatton, Groupe CSA

Dragica Jeremic Nikolic, Groupe CSA

Comité consultatif du projet

Jillian Townsend, Ressources naturelles Canada

Manuel Hernandez, Conseil national de recherches

Pierre-Alexandre Poirier, Transports Canada

Brent Hartman, Groupe CSA

Remerciements

Les auteurs aimeraient remercier les parties prenantes des secteurs public et privé qui ont fourni des commentaires et des conseils en répondant aux questionnaires. Ce rapport de recherche a été élaboré grâce à une contribution financière de Ressources naturelles Canada.

Clause de non-responsabilité:

Cette étude a été réalisée par KauliNG Solutions et appartient à l'Association canadienne de normalisation. Elle vise à fournir des renseignements de nature générale sur le sujet traité. Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et des personnes interrogées. KauliNG Solutions et l'Association canadienne de normalisation ne sauraient être responsables d'aucune perte ni d'aucun dommage pouvant découler de votre confiance dans le contenu de cette publication et de l'utilisation que vous en ferez.

Table des matières

Sommaire 5

1 Introduction 6

2 Méthodes 6

3 Résultats 7

3.1 Sommaire 7

3.1.1 Transport de l'hydrogène 8

3.1.2 Stockage de l'hydrogène 9

3.2 Règlements 10

3.2.1 Règlements fédéraux, provinciaux et territoriaux canadiens en matière de transport et de stockage d'hydrogène 10

3.2.2 Règlements fédéraux et d'État en matière de transport et destockage d'hydrogène 11

3.2.3 Harmonisation entre les règlements 12

3.3 Normes et codes relatifs au transport et au stockage d'hydrogène 13

3.4 Transport de l'hydrogène 13

3.4.1 Transport routier de l'hydrogène 13

3.4.2 Transport maritime de l'hydrogène 15

3.4.3 Transport ferroviaire de l'hydrogène 17

3.5 Stockage d'hydrogène en surface 17

3.5.1 Normes et règlements canadiens 17

3.6 Stockage souterrain de l'hydrogène : cadre et normes réglementaires canadiens et américains 20

4 Discussion et recommandations 20

4.1 Sommaire 20

4.2 Lacunes, défis et recommandations identifiés 21

4.2.1 Promotion du changement technologique 21

4.2.2 Transport routier de l'hydrogène 21

4.2.3 Transport maritime de l'hydrogène 22

4.2.4 Transport ferroviaire de l'hydrogène 22

4.2.5 Stockage d'hydrogène en surface 23

4.2.6 Stockage souterrain de l'hydrogène 23

5 Conclusion 24

Références 25

Annexe A 35

Annexe B 39

Sommaire

Au Canada, l'utilisation de l'hydrogène comme combustible écologique et durable suscite de plus en plus d'intérêt. La recherche effectuée dans le cadre du présent rapport a permis d'examiner les règlements, les normes et les pratiques exemplaires en matière de transport et de stockage d'hydrogène, qui pourraient en faciliter l'adoption rapide et sécuritaire. La recherche comprenait également des consultations auprès d'experts et des entrevues avec des représentants clés de l'industrie. L'analyse de la documentation comprenait les règlements actuels et les codes et normes existants relatifs au transport d'hydrogène par bateau, par train et par camion, ainsi que ceux relatifs au stockage d'hydrogène en surface et sous terre, dans le but de déterminer les lacunes potentielles et de formuler des recommandations aux fins de normalisation.

La manutention, le transport et le stockage sécuritaires des matières dangereuses, y compris l'hydrogène, sont assujettis à des règlements fédéraux canadiens et américains, et doivent aussi répondre à des exigences supplémentaires stipulées dans des règlements provinciaux, territoriaux ou encore nationaux et régionaux. Il existe également des normes propres à la qualité de l'hydrogène, à sa manutention, aux installations d'hydrogène gazeux et liquide ainsi qu'au transport d'hydrogène par pipeline, mais aussi des normes d'essai pour les matériaux qui composent les conteneurs et les pipelines transportant de l'hydrogène. Plusieurs des normes applicables au transport de l'hydrogène par divers moyens de transport sont en cours de révision pour fournir des exigences propres à l'hydrogène.

Ce rapport formule des recommandations quant à la révision des normes pour tenir compte des moyens de transport et de stockage de l'hydrogène à grande échelle, à mesure que de nouvelles solutions émergent dans ce domaine. En particulier, le transport d'hydrogène liquide en vrac par voie navigable doit être envisagé. Pour le transport d'hydrogène par voie ferrée, il est recommandé que les normes tiennent compte de la conception des wagons d'hydrogène, du transport dans des conteneurs-citernes normalisés et de l'applicabilité au transport d'hydrogène des exigences de conception existantes relatives aux wagons de gaz naturel liquéfié.

De plus, ce rapport recommande que les discussions, les tribunes et les forums soient employés comme un moyen pour les secteurs, les industries, les autorités compétentes et les nations de partager leurs expériences et de définir des besoins spécifiques dans certains codes et certaines normes afin de faire progresser l'utilisation de la technologie de l'hydrogène.



« La Stratégie canadienne pour l'hydrogène vise à moderniser le système énergétique du Canada en utilisant l'expertise canadienne, en encourageant l'adoption de l'hydrogène par de nouvelles utilisations et en bâtissant les infrastructures d'approvisionnement et de distribution. »

1 Introduction

La stratégie canadienne pour l'hydrogène [1] a été publiée en 2020 pour aider le Canada à atteindre son objectif relatif aux changements climatiques : aucune émission de gaz à effet de serre d'ici 2050. Élaborée par Ressources naturelles Canada grâce à une participation importante des parties prenantes, la stratégie vise à moderniser le système énergétique du Canada en utilisant l'expertise canadienne, en encourageant l'adoption de l'hydrogène par de nouvelles utilisations et en bâtissant les infrastructures d'approvisionnement et de distribution.

Le groupe de travail sur les codes et normes relatifs (GTCN) à l'hydrogène est un groupe établi d'experts soutenant la stratégie canadienne pour l'hydrogène, coprésidé par Ressources naturelles Canada et le Conseil canadien des normes. L'objectif principal du GTCN est lié à l'un des huit piliers de la stratégie pour l'hydrogène, qui se concentre sur la révision des normes actuelles et l'élaboration de nouvelles normes pour répondre aux besoins de l'industrie et faciliter le déploiement de l'hydrogène.

Ce rapport passe en revue les règlements, les normes et les pratiques exemplaires en matière de transport et de stockage d'hydrogène au Canada et aux États-Unis, puis il cible les lacunes et formule des recommandations pour les combler. Il traite du transport d'hydrogène par voie maritime, ferrée et routière, ainsi que du stockage en surface et sous terre.

Le transport de l'hydrogène par pipeline ou par voie aérienne, l'utilisation de l'hydrogène comme carburant de transport, les postes de ravitaillement en hydrogène et le transport de l'hydrogène combiné à un produit chimique porteur sont au-delà de la portée de cette étude.

2 Méthodes

Des renseignements sur les pratiques relatives au transport et au stockage d'hydrogène ont été recueillis au moyen d'une analyse documentaire, de consultations auprès d'experts et de renseignements fournis par des représentants clés de l'industrie lors d'entrevues. Celles-ci ont été menées pour compléter l'information recueillie dans le cadre de la recherche documentaire et de l'examen des codes et des normes. Les entrevues ont permis de mieux comprendre les activités actuelles de l'industrie en matière de transport et de stockage d'hydrogène, ainsi que le rôle des normes et des codes dans ces activités. Les représentants de l'industrie ont soulevé des inquiétudes et ciblé des lacunes qui nuisent à la progression du transport et du stockage d'hydrogène.

Tableau 1 : Représentation du secteur des répondants au sondage

Secteur	Commentaires demandés	Commentaires reçus
Organismes d'élaboration de normes et membres du comité	33	5
Génie, fabrication, associations industrielles	23	12
Fournisseurs de gaz et sociétés de services publics	7	3
Réglementation et commissions	6	1
Gouvernement et recherche	4	4
Total	**72**	**25**

Le tableau 1 résume la portée du sondage et la participation par secteur. Le taux de réponse au sondage était de 35 %, et une seule réponse a été obtenue d'un représentant du secteur de la réglementation et des commissions, ce qui a suscité une plus grande dépendance à l'analyse de la documentation pour tirer des conclusions et formuler des recommandations sur la réglementation. Il convient de noter qu'une personne interrogée peut représenter plus d'une catégorie de secteur, selon les activités de son entreprise.

3 Résultats

3.1 Sommaire

L'hydrogène peut être stocké et transporté sous forme de gaz, comprimé à des pressions de 350 ou 700 bar pour augmenter la capacité de stockage, ou sous forme liquide, entreposé à des températures de -253 °C (-423 °F) et moins, presque à la pression atmosphérique [2]. Étant donné que l'hydrogène n'est pas toxique, qu'il est extrêmement léger et qu'il se dissipe facilement dans l'air sans accumulation en cas de fuite à l'extérieur, il est plus sécuritaire de l'utiliser et de le manipuler à l'air libre que la plupart des carburants couramment utilisés [3]. Cependant, en raison d'une faible énergie minimale d'inflammation et d'une grande portée des concentrations inflammables dans l'air, l'hydrogène peut facilement s'enflammer. Par conséquent, il est traité comme une matière dangereuse pour le stockage et comme une marchandise dangereuse pour le transport.

Selon le Règlement type des Nations Unies (ONU), l'hydrogène comprimé et l'hydrogène liquide réfrigéré (numéros 1049 et 1966 de l'ONU, respectivement) appartiennent à la classe 2, division 2.1, gaz inflammable [4], [5]. Cette classification a été adoptée au Canada et aux États-Unis. Les étiquettes et les plaques-étiquettes sur les réservoirs de transport d'hydrogène sont en forme de diamants rouges et contiennent un symbole d'inflammabilité, le numéro de l'ONU applicable et la désignation de la classe, comme illustré à la figure 1.

Figure 1 : Exemples d'étiquettes et de plaques-étiquettes pour le transport d'hydrogène



En plus du transport de l'hydrogène pur, l'hydrogène peut également être transporté avec un produit chimique porteur comme l'ammoniac (NH3), qui est généralement liquéfié en augmentant la pression ou en refroidissant le gaz. Toutefois, le transport de l'hydrogène combiné à un produit chimique porteur dépasse la portée de ce rapport.

3.1.1 Transport de l'hydrogène

Bien que le transport de l'hydrogène vers des régions où la demande est importante s'effectue généralement par pipeline, les demandes commerciales à plus petite échelle se font par camion et, pour des quantités limitées, par train et par bateau.

Il existe quatre types de construction (voir la figure 2) pour les réservoirs de gaz comprimé destinés au stockage et au transport, qui peuvent résister à différentes pressions :

- Les réservoirs sous pression de type I sont entièrement faits de métal (p. ex., acier ou aluminium) ;
- Les réservoirs sous pression métalliques de type II sont dotés d'un anneau enveloppé de composite fibre/résine ;
- Les réservoirs sous pression à intérieur métallique de type III sont entièrement enveloppés d'un composite fibre/résine ;
- Les réservoirs sous pression à intérieur polymérique de type IV sont entièrement enveloppés d'un composite fibre/résine. La zone de raccordement entre les réservoirs de stockage d'hydrogène de type IV et les soupapes externes, appelée bossage, est métallique [6].

Les réservoirs de gaz comprimé sont transportés dans des remorques porte-tubes. Les réservoirs en composite de types III et IV sont conçus pour les applications amovibles et sont préférables pour l'intégration dans des réservoirs en raison de leur poids relativement faible comparativement aux réservoirs en acier [7], [8], [9]. Comme le montre la figure 3, les conteneurs à gaz à éléments multiples (CGEM), ou les conteneurs-citernes normalisés, sont des assemblages à cadre de bouteilles et de tubes UN raccordés ensemble par un collecteur [10]. Les CGEM comprennent l'équipement d'entretien et l'équipement structural nécessaires au transport des gaz [11] et sont généralement construits en deux longueurs standard de 20 pi et de 40 pi, et jusqu'à 53 pi sur les remorques porte-tubes géantes. Le nombre de tubes varie généralement de 5 à 12, de longueurs variant entre 18 pi 6 po et 36 pi. Les tubes du Department of Transportation des États-Unis et UN peuvent être utilisés pour construire un CGEM [12].

En vertu de la réglementation canadienne [1] et américaine, les remorques porte-tubes d'hydrogène sont actuellement limitées à des pressions de 250 bars, mais le Department of Transportation des États-Unis a accordé des exemptions pour l'utilisation à des pressions plus élevées (p. ex., 500 bars ou plus) [9]. Les remorques porte-tubes en acier de type III sont les plus courantes parmi les remorques porte-tubes et peuvent transporter environ 380 kg d'hydrogène. Les réservoirs de stockage en composite de type IV ont une capacité de 560 à 900 kg d'hydrogène par remorque [8], [9].

Figure 2 : Croquis des quatre types de bouteilles

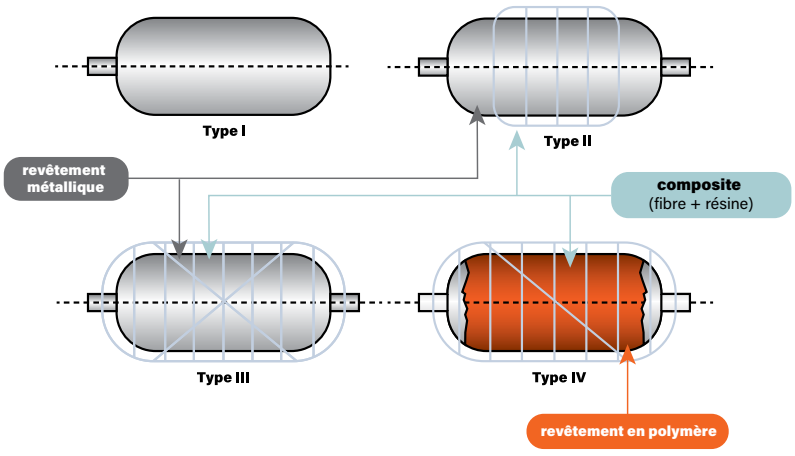


Figure 3 : Camion transportant plusieurs conteneurs à gaz à éléments multiples (CGEM)



Figure 4 : Camion avec remorque de marchandise liquide cryogénique



L'hydrogène liquide est généralement transporté dans des camions équipés d'un seul cylindre cryogénique qui est fixé de façon permanente à la remorque. Les conteneurs cylindriques des remorques à cargaison liquide cryogénique (voir la figure 4) sont fabriqués à partir de matériaux en acier spéciaux qui peuvent résister à des températures cryogéniques [13]. Les remorques à hydrogène liquide transportent généralement jusqu'à 4 000 kg par remorque [14].

Il convient de noter que l'approvisionnement en hydrogène comme carburant pour les navires, appelé « soutage », dépasse la portée de ce rapport.

3.1.2 Stockage de l'hydrogène

L'hydrogène peut être stocké en surface dans des remorques de transport stationnées, des conteneurs-citernes amovibles ou dans des conteneurs de stockage spécialement construits qui, comme les CGEM, sont composés de plusieurs réservoirs sous pression dans un cadre installé sur une fondation en béton. L'hydrogène liquide peut être stocké dans des conteneurs cryogéniques, et de plus grandes quantités d'hydrogène liquide sont stockées dans des sphères isolées, comme celles illustrées à la figure 5.

De grandes quantités d'hydrogène peuvent également être stockées dans des cavernes souterraines ou des structures géologiques pour le récupérer pour une utilisation ultérieure [15]. Trois structures souterraines principales peuvent être utilisées pour stocker l'hydrogène sous terre : les cavernes de sel, les gisements de pétrole ou de gaz épuisés et les aquifères [16]. De plus, l'hydrogène peut être stocké dans des cavités rocheuses pourvues d'un revêtement.

Figure 5 : Sphères isolées pour le stockage de matières gazeuses sous forme liquide



La méthode la plus courante pour entreposer l'hydrogène sous terre est les cavernes de sel. Ces zones de stockage sont créées en injectant de l'eau dans un puits qui a été foré dans une couche de sel géologique. La saumure saturée de sel est ensuite extraite, laissant une caverne dans le dépôt de sel. Les cavernes qui en résultent peuvent mesurer jusqu'à 100 mètres de diamètre et plusieurs centaines de mètres de profondeur, selon l'épaisseur de la couche de sel. Les cavernes de sel n'ont pas besoin de revêtement, car le sel agit comme scellant. Cependant, il peut y avoir un risque de diffusion de l'hydrogène à travers les parois salines et, comme elles contiennent des solutions de saumure résiduelles, le taux d'humidité de l'hydrogène peut augmenter, ce qui pourrait causer des problèmes de traitement en aval après l'extraction, à moins d'un traitement ultérieur [17]. L'hydrogène peut être stocké à des pressions extrêmement élevées si la couche de sel est suffisamment profonde.

Une autre méthode de stockage pour les grandes quantités d'hydrogène ou les mélanges d'hydrogène-méthane sous terre consiste à les injecter dans des roches poreuses, des puits de pétrole ou de gaz épuisés ou des aquifères. Une exigence importante pour l'utilisation de ces types de formations est la modélisation et les essais biochimiques du réservoir. L'un des risques associés au stockage de l'hydrogène dans des roches poreuses est la contamination potentielle de l'hydrogène par contact avec des solides et des liquides dans le réservoir. De plus, les microbes présents dans le réservoir peuvent entraîner la formation de sulfure d'hydrogène (H2S), un gaz toxique et corrosif. Un autre défi est le risque de fuite, car l'hydrogène pur a une faible densité et une grande diffusivité, ce qui pourrait réduire considérablement la quantité d'hydrogène récupérable [18]. S'il est stocké sous forme de mélange hydrogène-méthane, il peut être retiré et injecté dans le réseau ou séparé à la tête du puits à l'aide de la technologie d'adsorption modulée en pression, par exemple.

La dernière méthode de stockage sous terre pour les grandes quantités d'hydrogène consiste en une cavité rocheuse avec revêtement. Il s'agit de construire une cavité de stockage avec un revêtement en acier étanche au gaz recouverte d'une couche de béton. L'utilisation de puits de pétrole épuisés doublés d'un coffrage est similaire. Ces types de structures souterraines peuvent également être utilisés pour l'hydrogène combiné à un porteur liquide, comme l'ammoniac. Le revêtement est nécessaire pour éviter tout contact entre l'ammoniac et l'eau. L'avantage d'utiliser de l'ammoniac est que les conditions de stockage appropriées ne nécessitent pas de pression ni de température excessive. Des études de recherche sont en cours pour examiner le stockage comprimé (hydrogène gazeux) ou cryogénique (hydrogène liquide) dans ces types d'installations [19], [20]. Un revêtement spécial est nécessaire pour assurer le stockage sécuritaire de l'hydrogène à des pressions extrêmement élevées ou à basse température, ou les deux. Des études sont également en cours pour examiner la qualification des raccords des puits pour le stockage d'hydrogène et les défis à relever [21].

Le Canada n'a pas d'installations souterraines de stockage d'hydrogène, bien que des emplacements favorables pour des projets pilotes dans les bassins sédimentaires et les roches cristallines aient été signalés [22]. Au Texas, trois installations de stockage souterraines en cavernes de sel permettent de stocker de l'hydrogène de secours pour les clients de pipelines d'hydrogène [23]. À la fin des années 1990, le Department of Energy des États-Unis et d'autres chercheurs ont étudié l'utilisation de cavités rocheuses avec revêtement pour le stockage du gaz naturel, et cette méthode est actuellement utilisée pour stocker le gaz naturel à Skallen, en Suède [24], [25].

3.2 Règlements

3.2.1 Règlements fédéraux, provinciaux et territoriaux canadiens en matière de transport et de stockage d'hydrogène

Ressources naturelles Canada a déterminé les ressources régionales actuelles de production d'hydrogène et les applications d'utilisation finale de l'hydrogène, ainsi que les voies potentielles de production d'hydrogène en fonction du réseau électrique et de l'accès aux matières premières dans chaque province et territoire [1]. L'emplacement de la production d'hydrogène est important pour déterminer les besoins en matière de stockage et de transport, ainsi que pour déterminer les règlements, les codes et les normes qui englobent ces sujets.

Dans certains cas, les règlements provinciaux ou territoriaux sont directement appliqués par un ministère, comme le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Yukon. D'autres provinces et territoires peuvent nommer des organismes ou des sociétés externes pour assumer ces responsabilités. Par exemple, la Loi sur les normes techniques et la sécurité de l'Ontario a établi l'autorité sur les normes techniques et la sécurité en tant que société responsable de l'administration des normes techniques applicables aux chaudières et aux appareils sous pression, ainsi qu'aux combustibles [26].

Le transport d'hydrogène au Canada est régi par le Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (TMD) [27], qui s'applique au transport des marchandises dangereuses par camion, par train, par avion et par bateau [28]. La *Loi sur la marine marchande du Canada* [29], la *Loi sur la sécurité ferroviaire* [30] et leurs règlements respectifs décrivent en détail les exigences propres aux modes de transport sous leur autorité. Le Règlement de la Régie canadienne de l'énergie sur les pipelines terrestres [31] décrit les exigences relatives à ce moyen de transport.

Des exigences supplémentaires autres que celles couvertes par les règlements fédéraux peuvent également être appliquées par des règlements provinciaux ou territoriaux. De même, les instances locales (villes ou régions) peuvent également disposer de règlements municipaux sur ces sujets. Par exemple, Transports Canada est responsable du Règlement sur le TMD [32]. La province de la Colombie-Britannique (C.-B.) a adopté la *BC transport of Dangerous Goods Act*, qui harmonise les exigences provinciales et fédérales pour le transport des marchandises dangereuses sur les autoroutes de la Colombie-Britannique, y compris les routes de traversier provinciales [33]. La *Greater Vancouver Transportation Authority Act* [34] porte sur les pouvoirs des municipalités à l'égard du transport des marchandises dangereuses sur leur territoire.

Les exigences fédérales canadiennes en matière de stockage de gaz sont décrites dans le Règlement sur les installations pétrolières et gazières au Canada [35], et des exigences supplémentaires sont appliquées par des règlements provinciaux ou territoriaux. De plus, sur le plan fédéral, certains secteurs et groupes de travail sont réglementés par le Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail [36]. Contrairement aux règlements américains, lorsque les lois fédérales sur la santé et la sécurité au travail établissent une exigence minimale, au Canada, les provinces ont compétence à cet égard [37].

3.2.2 Règlements fédéraux et d'État en matière de transport et de stockage d'hydrogène

Le gouvernement américain continue de soutenir la progression de l'industrie de l'hydrogène et d'explorer diverses initiatives en matière d'hydrogène. En 2021, Sandia National Laboratories a publié un rapport sur la surveillance réglementaire fédérale des systèmes à hydrogène [38], rapport qui fournit un aperçu des règlements américains applicables à l'hydrogène, ainsi que ceux qui peuvent indirectement porter sur l'hydrogène.

La Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA), un organisme du Department of Transportation des États-Unis, est le principal organisme de réglementation pour tous les modes de transport de marchandises dangereuses, y compris les pipelines, en vertu du titre 49 du *Code of Federal Regulations* (US 49 CFR, code des règlements fédéraux), partie 192 [39]. Les cinq parties suivantes de l'US 49 CFR, qui relèvent de la PHMSA, sont couramment appliquées aux modes de transport routier, maritime et ferroviaire :

- La partie 171 fournit des renseignements généraux tels que l'applicabilité, les déchets, la déclaration des incidents, les définitions ainsi que l'autorisation et les conditions d'utilisation des normes et des règlements internationaux ;
- La partie 172 énumère les matières dangereuses aux fins du transport et prescrit les exigences relatives aux documents d'expédition, au marquage des emballages, à l'étiquetage, aux plaques-étiquettes des véhicules de transport, ainsi qu'aux interventions en cas d'urgence et à la formation ;

- La partie 173 décrit la classification des matières dangereuses et fournit des exigences particulières pour la préparation des matières dangereuses aux fins d'expédition, d'inspection et de mise à l'essai, ainsi que pour la remise à l'essai des conteneurs ;
- La partie 178 fournit des détails sur la conception et l'approbation de l'emballage et des conteneurs, y compris les bouteilles et les réservoirs ;
- La partie 180 fournit des spécifications pour la qualification périodique de l'emballage utilisé pour le transport des matières dangereuses.

Des parties spécifiques de l'US 49 CFR pour chaque mode de transport sont indiquées à la section 3.4 du présent rapport. Aux États-Unis, le transport routier de l'hydrogène est également réglementé par la Federal Highway Administration (FHWA, agence fédérale des autoroutes), la Federal Trade Commission (FTC, commission fédérale du commerce) et la Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA, agence fédérale de la sécurité des transporteurs routiers) pour des exigences spécifiques en vertu de leurs dispositions respectives [38]. La PHMSA collabore avec la Federal Railroad Administration (FRA, agence fédérale des chemins de fer) pour obtenir les permis nécessaires au transport des matières dangereuses interdites par voie ferrée et réglemente le transport maritime des matières dangereuses conteneurisées avec la Garde côtière des États-Unis [38].

Le stockage et l'installation de l'hydrogène en surface sont réglementés par l'Occupational Health and Safety Administration (OSHA, agence de la santé et de la sécurité au travail), qui relève du Department of Labor [40]. La PHMSA réglemente le stockage souterrain du gaz naturel et de l'hydrogène [41], qui est abordé à la section 3.6 du présent rapport. De plus, les autorités locales et d'État américaines peuvent créer des exigences plus strictes en matière de stockage, d'implantation et de transport d'hydrogène sur leur territoire [38], [42].

Par exemple, la Railroad Commission of Texas (commission des chemins de fer du Texas) a adopté les quatre règles suivantes qui s'appliquent au gaz naturel et aux autres gaz dans l'État du Texas :

- Règle §3.95 : Stockage souterrain d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés dans des formations de sel [43] ;
- Règle §3.96 : Stockage souterrain de gaz dans des réservoirs productifs ou épuisés [44] ;
- Règle §3.97 : Stockage souterrain de gaz dans des formations de sel [45] ;
- Règle §3.98 : Normes de gestion des déchets dangereux de pétrole et de gaz [46].

3.2.3 Harmonisation entre les règlements

L'harmonisation des règlements à travers toutes les instances internationales est un effort continu. En 2017, la PHMSA a émis une règle visant à modifier le Hazardous Materials Regulations (règlement sur les matières dangereuses) afin d'autoriser l'utilisation des certificats d'équivalence de Transports Canada aux États-Unis « jusqu'à la fin du transport initial de l'expédition » [47]. Les certificats d'équivalence sont accordés par Transports Canada si une application spécifique ne peut pas répondre aux aspects des exigences définies [48] lorsque les risques sont raisonnablement atténués [49].

Transports Canada a également proposé de modifier le Règlement sur le TMD afin de permettre l'utilisation des marques de sécurité pour les marchandises dangereuses prescrites en vertu de l'US 49 CFR et des permis spéciaux émis aux États-Unis pour le transport terrestre et ferroviaire des marchandises dangereuses en Amérique du Nord. Les modifications proposées comprenaient également des mises à jour de deux normes canadiennes, CAN/CGSB-43.150 [50] et CAN/CGSB-43.125 [51], pour mieux s'harmoniser avec les recommandations de l'ONU concernant la conception, la fabrication et l'utilisation des moyens de confinement.

Le Canada et les États-Unis ont un processus de réciprocité pour les véhicules ferroviaires, comme défini dans la réglementation [52]. Les véhicules traversant la frontière en provenance des États-Unis doivent satisfaire à l'US 49 CFR pour entrer et circuler au Canada, ainsi qu'aux exigences particulières des parties 2 (Classification), 3 (Documentation) et 4 (Indications de danger – marchandises dangereuses) du Règlement sur le TMD [27].



« L'échelle de l'hydrogène nécessaire et fournie détermine la combinaison des modes de transport et des types de stockage potentiels. »

Le Canada reconnaît et soutient également le transport de marchandises dangereuses vers ou depuis un bateau, une installation portuaire ou un terminal maritime conformément aux exigences de classification, de marquage, d'étiquetage, de placardage et de documentation du Code maritime international des marchandises dangereuses (IMDG) [53], [54].

Lors de la réexpédition au Canada, lorsqu'un envoi de marchandises dangereuses est transporté d'un endroit à l'extérieur du Canada à un endroit au Canada et est réexpédié au Canada par voie ferrée, les indications de danger des marchandises dangereuses au moment de l'entrée au Canada peuvent continuer d'être affichées conformément à l'US 49 CFR (routier ou ferroviaire), aux instructions techniques de l'Organisation de l'aviation civile internationale pour le transport sécuritaire des marchandises dangereuses (aérien) ou au Code IMDG (maritime). Les grands moyens de confinement sont la seule exception. Ils doivent être munis de plaques-étiquettes conformément à la partie 4 du Règlement sur le TMD [55].

3.3 Normes et codes relatifs au transport et au stockage d'hydrogène

Une liste complète des documents techniques, y compris les codes, les normes, les pratiques recommandées et les rapports techniques propres au transport et au stockage d'hydrogène pour chaque secteur est fournie à l'annexe A. Le transport est divisé en transport routier, ferroviaire et maritime, et le stockage est divisé en stockage en surface et souterrain. Il convient de noter que plusieurs documents s'appliquent à plus d'un secteur.

3.4 Transport de l'hydrogène

L'échelle de l'hydrogène nécessaire et fournie détermine la combinaison des modes de transport et des types de stockage potentiels. Pour le transport maritime, il est préférable de transformer l'hydrogène gazeux en hydrogène liquide en raison de sa faible densité énergétique par volume [56]. Le Conseil national de recherches a mené une étude qui a permis de dresser la liste des entreprises canadiennes actives pour les différents moyens de transport de l'hydrogène, ainsi que celle des entreprises internationales actives au Canada. Aucune entreprise n'a été identifiée pour le transport maritime et ferroviaire en ce qui concerne les transporteurs d'hydrogène organiques liquides, et une seule entreprise internationale l'a été pour le transport maritime d'hydrogène liquide [57].

3.4.1 Transport routier de l'hydrogène

3.4.1.1 Règlements de Transports Canada

Le Règlement sur le TMD autorise le transport de l'hydrogène stocké dans divers types de conteneurs qui sont montés ou fixés de façon permanente à une remorque de camion lourd. Lorsque les camions voyagent sur des routes provinciales et territoriales ou sur des routes régies par une municipalité, d'autres arrêtés et règlements municipaux en matière de

sécurité routière s'appliquent. Ces réglementations peuvent décrire des exigences propres au transport d'hydrogène, comme la capacité de charge brute du véhicule, les configurations de la remorque, l'accès aux ponts, aux tunnels et au stationnement ainsi que le stockage [58].

Dans ses définitions, le Règlement sur le TMD fournit une liste des normes de sécurité et d'autres documents contenant des exigences de sécurité, qui s'appliquent au transport d'hydrogène par camion [59]. La partie 5 énonce les exigences relatives aux moyens de confinement pour tous les modes de transport et toutes les classes de marchandises dangereuses, et la partie 9 fournit des exigences propres au transport routier [60], [61].

La partie 5 du Règlement sur le TMD fait également référence à l'utilisation de réservoirs conformément aux normes spécifiques de la CSA, de l'ONGC ou de Transports Canada, y compris les éléments suivants qui sont pertinents au transport d'hydrogène [62] :

- Les bouteilles, sphères et tubes doivent être conformes aux exigences des normes CSA B339 et CSA B340 [63], [64]. Les bouteilles et les tubes fabriqués conformément à la norme CSA B339 et utilisés pour le transport des marchandises dangereuses de classe 2 doivent être fabriqués dans des installations enregistrées auprès de Transports Canada ;
- Les bouteilles UN, les tubes UN, les récipients cryogéniques UN et les CGEM [65] doivent être conformes à la norme CSA B341 [66] et être sélectionnés pour une application conformément à la norme CSA B342 [67] ;
- Les wagons-citernes et les cylindres d'une tonne transportant des marchandises dangereuses sont assujettis à la norme TP 14877 [68] ;
- Les camions-citernes, les remorques-citernes et les réservoirs amovibles de Transports Canada (TC) doivent être conformes aux normes CSA B620, CSA B621, CSA B622 et CSA B626 [69], [70], [71], [72] ;
- Les grands récipients pour vrac et les réservoirs amovibles UN sont assujettis respectivement à la norme CAN/CGSB-43.146 [73] et à la norme CSA B625 [74]. Les petits moyens de confinement UN doivent satisfaire aux exigences de la norme CAN/CGSB-43.150 (ancienne norme TP 14850) [50], alors que le remanufacturage, la remise en état et la réparation de certains barils sont assujettis à la norme CAN/CGSB-43.126 [75].

Les principales normes du Règlement sur le TMD relatives au confinement de l'hydrogène à haute pression pour le transport sur route par camions-citernes et remorques-citernes sont les suivantes :

- La norme CSA B620, qui énonce les exigences relatives aux citernes routières et aux citernes amovibles TC pour le transport des marchandises dangereuses ;
- La norme CSA B339, qui définit les exigences relatives à la fabrication, à l'inspection, aux essais, au marquage, à la requalification, au traitement thermique, à la réparation et à la reconstruction des bouteilles, des sphères et des tubes (réservoirs) pour le transport des marchandises dangereuses. Elle établit également les exigences relatives à la qualification des nouvelles conceptions et à l'enregistrement des installations ;
- La norme CSA B625, qui énonce les exigences relatives à la conception, à la fabrication et à la modification des citernes amovibles UN, ainsi que les exigences relatives à la sélection, à l'utilisation, à l'inspection, aux essais et à la réparation des citernes amovibles UN, IM et IMO.

La sélection du réservoir et des critères d'utilisation est effectuée conformément aux normes CSA B340, CSA B342, CSA B622, CSA B625, CGSB-43.123 [76] (ne s'applique pas à l'hydrogène) ou à la norme TP 14877 si le moyen de confinement est un cylindre d'une tonne (voir la section 3.4.3). Particulièrement :

- La norme CSA B340 définit les exigences relatives à la sélection, à l'utilisation, à la manipulation et au remplissage des bouteilles, des sphères, des tubes et d'autres réservoirs pour le transport des gaz de classe 2 ;

- La norme CSA B342 énonce les exigences relatives à la sélection, à l'utilisation, à la manutention et au remplissage des récipients à pression UN, des CGEM et d'autres récipients à pression pour le transport des marchandises dangereuses de classe 2 ;
- La norme CSA B622 décrit les exigences relatives à la sélection et à l'utilisation des citernes routières et des citernes amovibles TC pour le transport des marchandises dangereuses de classe 2.

Pour le transport d'hydrogène liquide sur les autoroutes, les réservoirs suivants sont conformes :

- Les réservoirs TC 331, conçus conformément à la CSA B620 pour les gaz comprimés liquéfiés (p. ex., GPL, NH3), fabriqués en acier ou en aluminium, avec une pression de calcul d'au moins 690 kPa (100 psi) et d'au plus 3 450 kPa (500 psi) ;
- Les réservoirs TC 338, conçus conformément à la CSA B620, une citerne routière isolée pour les gaz sous forme de liquides réfrigérés ; fabriqués avec un récipient interne soudé soutenu enfermé dans une gaine avec isolation entre le récipient intérieur et la gaine ; l'isolation peut être un vide, avec une pression de calcul d'au moins 180 kPa (26 psi) et d'au plus 3 450 kPa (500 psi) ;
- Les remorques porte-tubes TC 3AXM/3AAXM/3T, qui sont des remorques spécialement conçues conformément à la CSA B339. Ils contiennent des gaz qui ne peuvent pas être facilement liquéfiés, comme le gaz naturel, à très haute pression. Ces remorques sont habituellement remises à l'essai à l'aide de méthodes acoustiques en vertu des permis délivrés par Transports Canada. Les remorques du Department of Transportation des États-Unis sont autorisées si elles ont passé l'inspection et réussi les essais de la CSA B339 [77].

3.4.1.2 Règlements fédéraux aux États-Unis

Aux États-Unis, le transport routier de l'hydrogène est assujetti aux règlements de la PHMSA, de la FTC, de la FMCSA et de la FHWA, en plus des règlements locaux et d'État, comme indiqué à la section 3.2.2.

La partie 177 de l'US 49 CFR, régie par la PHMSA, énumère spécifiquement les exigences relatives au transport sur les routes publiques. Elle comprend des renseignements généraux sur le transport routier, les exigences relatives au chargement et au déchargement, la séparation des matières dangereuses, ainsi que des dispositions relatives au transport de passagers et aux véhicules en transit [38]. De plus, les parties 356 (acheminement des transporteurs routiers), 389 (sécurité générale des transporteurs routiers) et 397 (exigences pour le transport de matières dangereuses), toutes régies par la FMCSA, s'appliquent également au transport routier. La FHWA réglemente la sécurité routière, qui comprend des ponts, des tunnels et d'autres éléments connexes en vertu de la partie 924 de l'US 23 CFR [78], tandis que la FTC réglemente les exigences d'étiquetage pour les cotes de carburant automobile en vertu de la partie 306 de l'US 16 CFR [79].

En 2010, la PHMSA a proposé de modifier le Hazardous Materials Regulations, en particulier les parties 171, 173, 178 et 180 de l'US 49 CFR, pour permettre l'utilisation du Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC, code des chaudières et des appareils à pression) de l'American Society of Mechanical Engineers (ASME, société américaine des ingénieurs en mécanique), section XII pour la conception, la construction et la certification des véhicules à moteur de citernes à cargaisons, des citernes amovibles cryogéniques et des cylindres d'une tonne [80]. Cependant, la norme n'est pas encore mentionnée dans le Hazardous Materials Regulations.

3.4.2 Transport maritime de l'hydrogène

3.4.2.1 Organisation maritime internationale

En général, les applications maritimes sont axées sur l'expédition mondiale à grande échelle de l'hydrogène liquide. L'Organisation maritime internationale (OMI), une agence de l'ONU, est l'autorité internationale en matière de sécurité, de protection et de rendement environnemental du transport maritime international. Son rôle principal est de créer un cadre réglementaire international pour l'industrie du transport maritime [81].

En 2016, le Comité de sécurité maritime de l'OMI a adopté des recommandations provisoires pour le transport d'hydrogène liquide en vrac [82], qui ont été élaborées par le Sous-comité du transport des cargaisons et des conteneurs et qui indiquent que les navires transportant de l'hydrogène gazeux liquéfié en vrac doivent être conformes au Recueil international de règles relatives à la construction et à l'équipement des navires transportant des gaz liquéfiés en vrac (International *Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk,* Code IGC) [83], et qui fournissent des exigences spécifiques pour les navires de transport d'hydrogène, permettant l'utilisation de navires de type 2G du Code IMDG à cette fin [82]. Les navires de type 2G sont des chimiquiers qui sont principalement affectés aux gaz de classe 2.1. Le Comité de sécurité maritime a également accepté d'obtenir des renseignements sur le transport sécuritaire de l'hydrogène liquéfié en vrac avant la modification du Code IGC pour inclure l'hydrogène liquéfié. Le Comité exhorte les États membres et l'industrie à soumettre des renseignements, des observations, des commentaires et des recommandations fondés sur l'expérience pratique acquise grâce à l'application des recommandations provisoires, ainsi qu'à soumettre des évaluations de sécurité pertinentes sur les navires transportant de l'hydrogène liquéfié en vrac.

L'adoption de ces recommandations fournit un cadre pour la conception, l'élaboration et les apprentissages futurs qui guideront l'élaboration des codes, des normes et des règlements futurs pour le transport en vrac de l'hydrogène liquide sur les navires dans les États membres, y compris le Canada.

3.4.2.2 Règlements de Transports Canada

Transports Canada, en collaboration avec l'OMI, est responsable de l'utilisation sécuritaire et du contexte unique entourant le transport de l'hydrogène en tant que cargaison. De plus, ils sont responsables de s'assurer que tous les navires et opérateurs respectent la *Loi sur le transport des marchandises dangereuses* [84], la *Loi sur la marine marchande du Canada* [85] et la Loi de la convention sur la sécurité des conteneurs [86], ainsi que leurs règlements respectifs.

La *Loi sur le transport des marchandises dangereuses* s'applique aux demandes maritimes en vertu de la partie 11 du Règlement sur le TMD [87] et précise que toute personne qui importe, offre de transporter, manipule ou transporte des marchandises dangereuses par bateau doit se conformer au Code IMDG. Le Code IMDG définit les exigences relatives au transport maritime et à l'arrimage des marchandises dangereuses sous forme d'emballage, détaillant les substances individuelles, les matériaux et élaborant sur des questions comme l'emballage, en faisant référence particulièrement à la séparation des substances incompatibles [54].

Le Règlement sur le TMD définit également les eaux qui relèvent de la compétence canadienne et, si des marchandises dangereuses sont transportées d'un pays à l'autre en passant par le Canada, les transporteurs doivent se conformer au Code IMDG et à la partie 8 (exigences relatives aux rapports) du Règlement sur le TMD [88].

La *Loi sur la marine marchande du Canada* et les règlements connexes établissent les exigences en matière de sécurité et de protection de l'environnement pour les navires canadiens et leurs opérateurs, et elle fournit un mécanisme permettant de demander des exemptions et des équivalences ou d'appeler une décision de détenir un navire.

La *Loi de la convention sur la sécurité des conteneurs* et le Règlement sur la Convention sur la sécurité des conteneurs [89] décrivent les exigences canadiennes en matière de construction et d'entretien des conteneurs d'expédition définis par la Convention internationale sur la sécurité des conteneurs de l'OMI [90].

3.4.2.3 Règlements fédéraux aux États-Unis

La PHMSA réglemente le transport maritime des matières dangereuses conteneurisées spécifiquement par l'intermédiaire de la partie 176 de l'US 49 CFR, qui décrit en détail les exigences relatives à la préparation des expéditions ainsi qu'à l'inspection et à la mise à l'essai des conteneurs. Les exigences relatives au transport international sont assujetties au Code IMDG et à l'US 49 CFR §171.22-25 [91]. La Garde côtière américaine, par l'intermédiaire des parties 154 et 156 de

l'US 33 CFR [92], réglemente le transfert de matières dangereuses entre les navires et les installations et les eaux navigables ou zones contiguës. Elle réglemente également les marchandises dangereuses en vrac par l'intermédiaire de l'US 46 CFR [93]. La partie 150 énonce les exigences relatives à la compatibilité des cargaisons, la partie 151 décrit les barges pour les matières dangereuses liquides en vrac, la partie 153 précise les exigences pour les navires transportant des matières dangereuses et la partie 154 fournit une liste des normes et exigences applicables pour les navires autopropulsés transportant des gaz liquéfiés en vrac.

3.4.3 Transport ferroviaire de l'hydrogène

3.4.3.1 Règlements de Transports Canada

Transports Canada est responsable du transport ferroviaire au Canada afin d'assurer la sécurité des chemins de fer et de l'expédition par train, d'émettre des certificats d'exploitation de chemin de fer, ainsi que de mener des enquêtes et de remplir des rapports sur les incidents. La principale législation qui accorde à Transports Canada la responsabilité de superviser la sécurité ferroviaire dans un cadre national est la *Loi sur la sécurité ferroviaire* [30], qui indique que les compagnies de chemin de fer fédérales et locales qui exercent leurs activités sur des voies réglementées par le gouvernement fédéral sont responsables de la sécurité de leurs propres activités [94].

Les exigences particulières pour le transport ferroviaire des marchandises dangereuses, des wagons-citernes et des cylindres d'une tonne sont décrites dans la partie 10 du Règlement sur le TMD et dans la norme TP 14877 [52], [68], et elles ont été intégrées aux normes CAN/CGSB-43.147 et CAN/CGSB-43.149 [95], [96]. La norme TP 14877 couvre les grands moyens de confinement utilisés pour la manutention, l'offre de transport et le transport de marchandises dangereuses par voie ferrée, et elle restera en vigueur jusqu'à ce que le règlement référence les normes CAN/CGSB-43.147 et CAN/CGSB-43.149. Elle comprend les exigences relatives à la construction, à la qualification et à la modification des wagons-citernes et des cylindres d'une tonne, ainsi qu'à la sélection, à l'utilisation et à la manutention de grands conteneurs ou d'unités de transport [68].

La partie 5.10 du Règlement sur le TMD établit les normes CSA B340, CSA B342, CSA B625 ou CGSB-43.123 comme des normes supplémentaires applicables à la construction, à la sélection et à l'utilisation de conteneurs pour le transport des marchandises dangereuses de classe 2 [60].

3.4.3.2 Règlements fédéraux aux États-Unis

Le transport d'hydrogène par voie ferrée aux États-Unis relève des parties 174 et 179 de l'US 49 CFR [39], en plus des parties 171, 172, 173, 178 et 180 dont il a été question précédemment. La partie 174 relative au transport ferroviaire décrit les exigences générales spécifiant les limites des autres autorités compétentes ainsi que d'autres restrictions, inspections et critères d'acceptation, de même que l'enlèvement et l'élimination des matières dangereuses. Elle fournit également des exigences générales en matière de chargement et de manutention, ainsi que la manutention des wagons, des véhicules et des marchandises avec plaques-étiquettes. De plus, la partie 174 fournit des exigences détaillées relatives aux matières dangereuses explosives (classe 1), aux gaz et aux liquides inflammables (classes 2 et 3) et aux matières dangereuses toxiques (division 6.1) et radioactives (classe 7).

La partie 179 de l'US 49 CFR fournit des spécifications relatives à la conception générale et spécifique des citernes de wagon-citerne, y compris les citernes de liquide cryogénique de wagon-citerne, et elle fournit des détails sur la résistance aux perforations des têtes de citerne et les essais de feu en nappe et de feu de torche.

3.5 Stockage d'hydrogène en surface

3.5.1 Normes et règlements canadiens

Les lois et règlements provinciaux sont la législation fondamentale en matière de réglementation sur les équipements à gaz et la base des approbations de permis accordées par les autorités compétentes.

Au Canada, tous les équipements sous pression doivent être enregistrés dans chaque province ou territoire où ils sont utilisés. Les fabricants doivent

s'inscrire dans chaque province ou territoire pour prouver leur inscription dans l'ensemble du Canada. L'exigence d'avoir un numéro d'enregistrement canadien (NEC) est fréquemment signalée comme un problème commercial continu par l'industrie du gaz naturel et de l'hydrogène dans divers forums de consultation.

En 2018, l'Accord de libre-échange canadien [97] a mis en place un processus de réconciliation réglementaire pour aider à surmonter les barrières commerciales relatives aux équipements sous pression (chaudières, réservoirs sous pression et raccords) au-delà des frontières provinciales et territoriales. L'accord de réconciliation qui en résulte facilite le commerce par la reconnaissance mutuelle des exigences réglementaires et des processus administratifs liés à l'émission d'un NEC [98]. Il oblige les gouvernements de toutes les provinces et de tous les territoires, à l'exception de l'Alberta, à incorporer directement ou par référence la CSA B51-14 [99] à leurs règlements et à faire toutes les tentatives raisonnables à l'avenir pour adopter d'autres codes et normes techniques pertinents, qui peuvent inclure des versions futures de la CSA B51.

3.5.1.1 Réservoirs de stockage

Le code principal pour l'entreposage de l'hydrogène au Canada est la CSA B51, *Code sur les chaudières, les appareils et les tuyauteries sous pression* [99], qui est directement référencé dans le Règlement sur les installations pétrolières et gazières au Canada [35] et dans le Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail [36]. Le Code national du bâtiment du Canada [100] et la CAN/BNQ 1784-000, *Code canadien d'installation de l'hydrogène* [101], font également référence à la CSA B51. Les règlements qui ont intégré la CSA B51 sont résumés à l'annexe B.

La CSA B51 a été publiée pour la première fois en 1939 et est actuellement dans sa 19e édition [102]. Conformément à l'objectif du Groupe CSA d'harmoniser ses normes avec celles d'autres pays, le comité technique de la CSA sur les chaudières et les appareils sous pression et ses sous-comités ont travaillé en étroite collaboration avec le National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors (bureau national des inspecteurs de chaudières et d'appareils sous pression) aux États-Unis et avec les comités de l'ASME responsables de l'élaboration du National Board Inspection Code (code d'inspection du bureau national) et du BPVC de l'ASME.

La partie 1 de la CSA B51 contient les exigences relatives aux chaudières, aux appareils sous pression, aux tuyauteries sous pression et aux accessoires. Elle vise à réaliser deux objectifs clés : (1) promouvoir des pratiques sécuritaires de conception, de construction, d'installation, de fonctionnement, d'inspection, de mise à l'essai et de réparation, et (2) faciliter l'adoption d'exigences uniformes par les instances canadiennes. La partie 2 contient les exigences relatives aux bouteilles à haute pression pour l'entreposage à bord du gaz naturel, des mélanges de gaz naturel et d'hydrogène (mélanges d'hydrogène) et de l'hydrogène comme carburants pour les véhicules automobiles. Elle a été harmonisée avec la norme ISO 11439 [103] de l'Organisation internationale de normalisation. De plus, le sous-comité de la CSA responsable de l'élaboration de la partie 2 a consulté des comités responsables de la mise au point de réservoirs à gaz naturel comprimé et à hydrogène gazeux comprimé pour les véhicules, CSA/ANSI NGV 2 [104], CSA/ANSI HGV 2 [105], respectivement, et les exigences de cette section ont été publiées dans les éditions 2023 de ces normes. La partie 3 contient les exigences relatives aux systèmes de tuyauterie sous pression des postes de ravitaillement en gaz naturel comprimé et en hydrogène comprimé, ainsi que des réservoirs de stockage en surface.

Aucune lacune particulière dans les exigences favorisant le stockage en surface de l'hydrogène n'a été relevée lors de l'examen de la documentation ou des discussions avec les personnes interrogées.

3.5.1.2 Installation

La norme CAN/BNQ 1784-000 [101] définit les exigences d'installation pour l'équipement générateur d'hydrogène destiné à une utilisation finale non liée à la transformation, l'équipement d'utilisation d'hydrogène, l'équipement de distribution d'hydrogène, les réservoirs de stockage d'hydrogène, la tuyauterie d'hydrogène et leurs accessoires connexes. Elle a été intégrée dans plusieurs règlements provinciaux (voir l'annexe B) et s'applique à toutes les installations d'hydrogène gazeux et liquide, à l'exception des installations industrielles qui produisent et évacuent l'hydrogène comme sous-

produit, des systèmes cryogéniques utilisés pour la liquéfaction de l'hydrogène et des installations d'hydrogène sur les véhicules pour une utilisation à bord et les modes de transport de l'hydrogène. Les exigences de la norme sont harmonisées avec certains des codes NFPA 2, *Hydrogen technologies code* [106].

L'article 7.8 de la norme CAN/BNQ 1784-000 énonce des exigences en matière d'enregistrement et fait référence à des normes acceptables relatives à la conception et au stockage de l'hydrogène gazeux et de l'hydrure métallique, ainsi qu'à la durée d'utilisation des réservoirs.

3.5.1.3 Gestion des risques et de la sécurité

Compte tenu de l'inflammabilité de l'hydrogène sur une vaste étendue de concentrations, la gestion des risques et la gestion de la sécurité opérationnelle sont des aspects importants des activités de stockage d'hydrogène. La norme CAN/BNQ 1784-000 fait référence aux normes ISO 31000 [107] et ISO/IEC 31010 [108] pour la gestion des risques et à la norme CSA Z767 [109] pour les exigences en matière de gestion de processus. De plus, les autorités compétentes peuvent avoir des exigences particulières pour l'évaluation des risques et elles peuvent ne pas toutes adopter la même approche. La norme CSA Z767 définit les exigences relatives à un système de gestion de la sécurité opérationnelle pour les installations et les lieux de travail où sont manipulées ou stockées des matières potentiellement dangereuses [109].

3.5.2 Normes et règlements fédéraux aux États-Unis

Les règlements appropriés pour un système de stockage d'hydrogène dépendent du but du système de stockage et de la forme sous laquelle l'hydrogène est stocké, soit sous forme gazeuse ou liquide. Aux États-Unis, l'OSHA réglemente les installations d'hydrogène dans les locaux des clients et son stockage par l'intermédiaire de la sous-partie H de la partie 1910 de l'US 29 CFR [40]. Cette section du CFR fournit des exigences de sécurité pour l'hydrogène gazeux et liquide, à l'exception des systèmes à hydrogène gazeux autonomes contenant moins de 11 m^3 d'hydrogène, des réservoirs amovibles contenant moins de 150 L d'hydrogène et des systèmes à hydrogène liquide contenant plus de 283 910 L d'hydrogène.

La section VIII, division 1 du BPVC de l'ASME [110] énonce les exigences relatives à la conception, à la construction et à l'essai des réservoirs sous pression dont la pression dépasse 15 psi, et la division 3 fournit des exigences pour les réservoirs dont la pression dépasse 10 000 psi [111]. L'article KD-10 de la division 3 énonce des exigences supplémentaires propres au transport et au stockage de l'hydrogène dans des réservoirs à haute pression. La section X de l'annexe 8 décrit les exigences relatives aux réservoirs sous pression en plastique thermodurcissable renforcé de fibres applicables au transport et au stockage d'hydrogène [112], [113]. Les systèmes de tuyauterie sont conçus, construits et mis à l'essai conformément aux exigences de la série de normes ASME B31, et la norme ASME B31.12 stipule les exigences relatives à la tuyauterie et aux pipelines d'hydrogène [114].

La norme NFPA 2 traite de la production, de l'installation, du stockage, de l'utilisation et du transfert de l'hydrogène à des concentrations supérieures à 95 % sous forme de gaz comprimé ou de liquide cryogénique [106]. Le code comprend les exigences en matière de sécurité incendie, les exigences en matière d'hydrogène, les installations de ravitaillement de véhicules, les systèmes d'alimentation à pile à combustible à hydrogène, les systèmes de production d'hydrogène et les exigences relatives à certaines applications d'hydrogène. Plus de 30 États ont adopté la norme NFPA 2 comme code de référence [115].

En 2017, le Hydrogen Safety Panel (comité de sécurité de l'hydrogène) a publié un guide de planification de la sécurité [116] qui donne des instructions sur les principes essentiels de planification de la sécurité, le contenu du plan de sécurité et la documentation à l'appui sur la planification de la sécurité pour les projets liés à l'hydrogène et aux piles à combustible. Le guide fournit un cadre rationnel en fonction des rôles, de la portée et de l'échéancier pour les nouveaux projets d'hydrogène.

Les représentants canadiens de l'industrie de l'hydrogène ont soulevé l'idée de revoir l'utilisation de la norme CSA Z767, de même que certaines méthodes d'évaluation des risques décrites dans le guide de l'Hydrogen Safety Panel, pour aborder l'état actuel

du développement de la technologie de l'hydrogène, reconnaître d'autres méthodes d'analyse des risques et de l'exploitabilité ainsi que relever le défi des autorités compétentes qui exigent leurs propres approches.

3.6 Stockage souterrain de l'hydrogène: cadre et normes réglementaires canadiens et américains

Les exigences en matière de stockage souterrain d'hydrocarbures sont décrites dans la norme CSA Z341, *Stockage des hydrocarbures dans les formations souterraines* [117], qui est mentionnée dans le *Règlement de la Régie canadienne de l'énergie sur les pipelines terrestres* [31]. Les règlements provinciaux et territoriaux qui ont intégré la CSA Z341 sont détaillés à l'annexe B. Le comité de la CSA responsable de cette norme a également élaboré un supplément, la CSA Z341S1 [118], pour couvrir les exigences minimales de conception, de construction, d'exploitation, de maintenance et d'abandon, ainsi que le stockage sécuritaire de l'hydrogène et des mélanges d'hydrogène dans des formations souterraines et l'équipement connexe. Ces révisions sont fondées sur les exigences actuelles de stockage en réservoirs décrites dans la norme CSA Z341.1 et dans des cavernes de sel, dans la norme CSA Z341.2. De plus, le Groupe CSA élabore actuellement une nouvelle norme, CSA W228, qui fournira des exigences pour l'évaluation quantitative des risques liés à l'entreposage souterrain de l'hydrogène [119].

En l'absence de règlements nationaux concernant le stockage souterrain de l'hydrogène, l'enquête sur les procédures d'application et les approbations pour les projets de stockage d'hydrocarbures dans des formations souterraines relève des provinces et des territoires. Par exemple, une ligne directrice publiée par la BC Oil and Gas Commission (organisme de réglementation provincial responsable de régir l'activité pétrolière et gazière en Colombie-Britannique) indique que la section 80 du Drilling and Production Regulation (règlement sur le forage et la production) exige que des puits et des installations faisant partie du projet de stockage soient construits et exploités conformément à la CSA Z341 [120]. Les autres provinces et territoires ont des processus et des exigences similaires.

Le stockage souterrain du gaz naturel aux États-Unis est réglementé par la PHMSA, et les exigences relatives aux installations de stockage souterrain du gaz naturel ont été modifiées en 2017 pour inclure les normes minimales de sécurité pour les cavernes de sel, les réservoirs d'hydrocarbures épuisés et les réservoirs aquifères relativement au stockage du gaz naturel [121]. Les pratiques recommandées de l'API 1170 [122] et de l'API 1171 [123] ont été référencées dans la partie 192 de l'US 49 CFR pour la conception, la construction, l'exploitation, la surveillance, la maintenance et les pratiques de documentation concernant les réservoirs souterrains de stockage de gaz naturel, mais l'hydrogène ne fait pas partie de la portée de ces normes.

4 Discussion et recommandations

4.1 Sommaire

L'intérêt pour l'hydrogène augmente à mesure que la demande augmente pour ses diverses applications. L'utilisation accrue de l'hydrogène dans différentes applications nécessite un examen des codes, des normes et des règlements existants pour s'assurer que ces applications et processus sont adéquatement traités dans les documents actuels. De même, comme des quantités accrues d'hydrogène sont utilisées dans toute opération donnée, un examen de ces documents est également nécessaire pour s'assurer que toutes les préoccupations en matière de sécurité liées à l'utilisation de volumes accrus d'hydrogène sont prises en compte de façon adéquate.

Le transport et le stockage d'hydrogène sont des industries matures qui se concentrent principalement sur les procédés industriels exigeant de l'hydrogène, qui reposent sur les codes, normes et règlements existants.

Les contextes réglementaires au Canada et aux États-Unis sont structurés de façon similaire, dans le sens où les instances fédérales et régionales peuvent toutes établir des exigences réglementaires pour le stockage et le transport d'hydrogène. Le manque d'harmonisation à l'un ou à l'autre de ces paliers de gouvernement, ou entre les instances régionales, peut entraîner des défis dans la promotion constante des



« L'utilisation accrue de l'hydrogène dans différentes applications nécessite un examen des codes, des normes et des règlements existants pour s'assurer que ces applications et processus sont adéquatement traités dans les documents actuels. »

technologies de l'hydrogène à travers le pays ou entre les deux pays. Dans le cas des territoires où il n'y a pas de règlement, la mise en œuvre de technologies à l'hydrogène est souvent laissée aux autorités compétentes et à leurs processus d'autorisation.

Les normes et les règlements manquants, obsolètes ou non harmonisés ont été l'un des sujets les plus discutés lors d'un atelier sur le stockage d'hydrogène en vrac organisé par le Department of Energy des États-Unis, de même que le stockage souterrain de l'hydrogène et le mélange d'hydrogène avec les activités de transport et de stockage du gaz naturel [124]. Les lacunes spécifiques en matière de normalisation et de réglementation qui ont émergé sont les suivantes :

- La clarification des risques d'entreposage conjoint de l'hydrogène avec d'autres gaz et matériaux ;
- Les méthodes d'essai sur place et de recertification des réservoirs ;
- Les options de conversion et de recyclage des réservoirs ayant une durée de vie limitée à 15 ans ;
- La surveillance de l'état des réservoirs de stockage et la mise en œuvre potentielle d'un logiciel de comptage des cycles et de surveillance.

4.2 Lacunes, défis et recommandations identifiés

4.2.1 Promotion du changement technologique

Le transport et le stockage d'hydrogène ne peuvent pas être étudiés de manière isolée. Le transfert de l'hydrogène d'un utilisateur à un autre le long des chaînes d'approvisionnement et de valeur nécessite une étude plus approfondie. Le cycle actuel de la conception à l'exploitation comprend de nombreuses étapes, des facteurs externes ainsi que des méthodes et des processus pour répondre à des exigences très spécifiques. Il n'y a peut-être pas de processus en place pour intégrer et mettre en œuvre rapidement les changements technologiques. Il est donc impératif de poursuivre la gestion et la coordination des apprentissages entre les parties prenantes et de trouver des solutions communes pour soutenir un grand volume, particulièrement en favorisant les processus d'élaboration des codes et des normes.

4.2.2 Transport routier de l'hydrogène

Le transport actuel de l'hydrogène par route au moyen de remorques porte-tubes d'hydrogène comprimé ou de remorques spéciales à réservoir unique

d'hydrogène liquide est considéré comme une pratique éprouvée, et il est bien appuyé par le Règlement sur le TMD et les normes. Aucune lacune ou problème avec les réservoirs d'hydrogène actuellement utilisés n'a été ciblé par les représentants de l'industrie, mais le sujet des réservoirs doit être évalué plus en détail à mesure que les projets de transport et de stockage d'hydrogène évoluent au Canada et aux États-Unis. Pour répondre à une demande potentiellement plus importante en hydrogène, il faut des moyens de transport sur route et des solutions de stockage temporaire à plus grande échelle en vertu du cadre actuel des codes, des normes et des règlements. L'augmentation prévue de la demande en hydrogène pourrait entraîner la nécessité d'exigences supplémentaires en matière de sécurité, comme des remorques de transport d'hydrogène supplémentaires sur la route, plusieurs véhicules de transport d'hydrogène sur les sites des utilisateurs et différents cycles d'utilisation par les utilisateurs.

Il est recommandé de surveiller le développement de nouvelles solutions pour les bouteilles et les réservoirs d'hydrogène afin de déterminer s'il est nécessaire d'ajouter ou de modifier les exigences actuelles. Par exemple, des efforts importants ont été déployés dans l'intégration de modules de stockage d'hydrogène dans diverses tailles de conteneurs-citernes intermodaux à l'aide de certificats d'équivalence et de permis spéciaux. De nouveaux systèmes modulaires de stockage d'hydrogène utilisés dans des applications multimodales (maritime, ferroviaire, routier) qui conviennent également aux applications de stockage d'hydrogène en surface pourraient répondre au besoin en matière de réservoirs d'hydrogène polyvalents. Ce type d'occasion signifie qu'il est possible de favoriser l'intégration de ces solutions dans le cadre des normes et des règlements existants en matière de transport.

La flexibilité de choisir plus d'une solution conceptuelle pour le stockage d'hydrogène, surtout si elle est élaborée et fabriquée à l'extérieur du Canada, vient avec la complexité accrue de satisfaire aux exigences de diverses autorités compétentes au Canada. L'harmonisation des évaluations de la conception par chaque province demeure un élément fondamental pour atteindre les meilleures pratiques appliquées à grande échelle.

L'industrie explore différentes solutions de transport d'hydrogène aux points de livraison pour répondre à la complexité des exigences en matière d'accès, d'emplacement et de sécurité, tout en évaluant l'incidence sur la conception, la flexibilité et l'utilisation des véhicules. Cette recherche n'a pas permis de trouver des preuves de pratiques exemplaires ni de solutions communes qui pourraient aider à déterminer de nouvelles exigences dans les normes existantes ou à souligner le besoin d'élaborer de nouvelles normes.

4.2.3 Transport maritime de l'hydrogène

Au Canada, les applications maritimes semblent axées sur l'hydrogène comme carburant de propulsion à bord de navires relativement petits qui sont en phase de développement précoce. Le potentiel d'exportation de l'hydrogène par bateau est également un domaine à l'étude, tout comme le stockage de l'hydrogène dans les installations portuaires et le transfert de l'hydrogène sur les navires. Il est donc recommandé d'explorer l'applicabilité potentielle des codes, des normes et des règlements existants sur le gaz naturel liquéfié et de les modifier pour encourager le transport d'hydrogène en vrac par les navires.

4.2.4 Transport ferroviaire de l'hydrogène

Au Canada, les activités ferroviaires actuelles sont axées sur le stockage de l'hydrogène comprimé utilisé pour propulser les locomotives de ligne, les locomotives de manœuvre et les trains de passagers à l'aide de piles à combustible. Ces initiatives cherchent des solutions pour le stockage d'hydrogène en surface à grande échelle ou le ravitaillement direct en hydrogène par camion. L'environnement d'exploitation, le cycle de service et les exigences d'autonomie pour les locomotives nord-américaines pourraient générer de nouvelles exigences propres aux systèmes de stockage d'hydrogène, ce qui pourrait mener à une norme en matière de systèmes de stockage d'hydrogène pour le domaine ferroviaire.

L'utilisation d'hydrogène et de mélanges d'hydrogène pour propulser l'équipement ferroviaire pourrait commencer par définir l'environnement d'exploitation général futur. Les certificats d'équivalence de Transports Canada et les permis spéciaux du Department of Transportation des États-Unis soutiennent le potentiel facilitent la possibilité d'un fabricant de réservoirs d'obtenir une certification pour les réservoirs modulaires ISO équipés de bouteilles d'hydrogène gazeux, ce qui permettrait de transporter ces réservoirs par voie ferrée dans tous les territoires. Par conséquent, les futurs efforts de normalisation du transport d'hydrogène par voie ferrée devraient tenir compte de ce qui suit :

- La conception des wagons de transport d'hydrogène ;
- Les réservoirs modulaires ISO avec bouteilles et tubes d'hydrogène comprimé actuellement mis au point pour le transport par camion ;
- L'applicabilité aux wagons d'hydrogène des exigences existantes relatives à la conception de wagons de gaz naturel liquéfié.

4.2.5 Stockage d'hydrogène en surface

Des solutions de stockage en surface à grande échelle et de stockage dans les espaces publics sont activement étudiées pour l'hydrogène. Sans un cadre commun d'évaluation des risques liés aux installations d'hydrogène et aux approbations des solutions de stockage d'hydrogène connexes, la capacité d'appliquer une solution spécifique dans de multiples territoires est déjà considérée comme un défi. La capacité d'intégrer différentes perspectives et considérations dans les codes et normes existants dans les divers territoires est particulièrement importante pour le stockage d'hydrogène à grande échelle.

Les difficultés du transfert de carburant comprennent l'équilibrage de la quantité de carburant accumulée avec le taux d'approvisionnement et de consommation. Les exigences actuelles pour le stockage industriel de l'hydrogène gazeux et liquide à grande échelle sont satisfaites en offrant une empreinte physique plus importante pour le stockage ou une fréquence de transport accrue. De très grandes sphères de stockage d'hydrogène liquide en surface facilitent actuellement le stockage de l'hydrogène livré par pipeline. Elles sont situées dans des environnements dotés de systèmes de contrôle de sécurité extrêmes et satisfont aux exigences de courte durée d'une demande relativement élevée en hydrogène, où les pertes thermiques sont acceptables. Toutefois, dans les endroits où l'empreinte ou la réglementation ne permettent pas de telles solutions, des méthodes de stockage flexibles, comme des remorques d'hydrogène stationnées ou l'utilisation de réservoirs ISO avec des bouteilles d'hydrogène, peuvent servir de solutions temporaires pour combler les lacunes entre les demandes élevées en hydrogène et les moyens de stockage de faible capacité. L'autorisation de stationner sur place des remorques de transport d'hydrogène ou des remorques dotées de modules de stockage d'hydrogène est déterminée par les règlements locaux et provinciaux sur les bâtiments et les incendies. Les efforts doivent se concentrer sur la simplification des processus d'approbation des permis et sur l'harmonisation des exigences, comme l'empreinte et l'échelle de la taille du stockage, dans tous les territoires.

Les solutions techniques de stockage d'hydrogène conçues, déployées et appuyées par des certificats d'équivalence, des permis spéciaux et des approbations de diverses autorités compétentes doivent être étudiées pour déterminer de nouvelles exigences potentielles concernant les normes existantes de la CSA relatives au stockage d'hydrogène et aux systèmes connexes. L'un des aspects importants à prendre en compte, comme indiqué lors de l'atelier sur le stockage d'hydrogène gazeux en vrac [124], est la détection de fuites et les incendies d'hydrogène. Les codes et normes pertinents doivent examiner la réactivité de l'hydrogène avec des matériaux appropriés, tels que les joints, les formations géologiques, les gaz tampons et les combinaisons de ces matières.

4.2.6 Stockage souterrain de l'hydrogène

Comme indiqué, la CSA Z341S1 traite de l'entreposage souterrain de l'hydrogène et des mélanges d'hydrogène. Aucune information n'a été trouvée quant à savoir si les éditions futures des recommandations pratiques de l'API 1170 [122] et de l'API 1171 [123]

comprendront les exigences relatives à l'hydrogène. L'Ouest canadien, le Canada atlantique et le sud de l'Ontario sont tous à l'étude en vue de l'entreposage souterrain potentiel de l'hydrogène, en mettant l'accent sur la possibilité d'utiliser des cavernes de sel existantes [125]. Les sites de stockage d'hydrogène souterrains existant aux États-Unis et au Royaume-Uni sont situés dans des cavernes de sel [18].

5 Conclusion

Le transport et le stockage d'hydrogène sont encadrés par divers règlements sur les matières dangereuses au Canada et aux États-Unis. Bien que la réglementation des pratiques actuelles soit bien établie, de nouveaux modes de transport et de stockage pour de grandes quantités d'hydrogène sont nécessaires pour répondre aux besoins futurs de l'industrie de l'hydrogène. En particulier, le transport d'hydrogène liquide en vrac par voie navigable doit être envisagé dans des normes. Pour le transport d'hydrogène par voie ferrée, il est recommandé que les normes tiennent compte de la conception des wagons d'hydrogène, du transport dans des conteneurs-citernes normalisés et de l'applicabilité au transport d'hydrogène des règles de calcul existantes relatives aux wagons de gaz naturel liquéfié.

Références

[1] Ressources naturelles Canada. « Stratégie canadienne pour l'hydrogène : Saisir les possibilités pour l'hydrogène », Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario), Canada, 2020. [En ligne]. Disponible : https://ressources-naturelles.canada.ca/sites/nrcan/files/environment/hydrogen/NRCan_Hydrogen-Strategy-Canada-na-fr-v4.pdf

[2] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. "Hydrogen storage" Energy.gov. [En ligne]. Disponible : https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage

[3] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. "Safe use of hydrogen." Energy.gov. [En ligne]. Disponible : https://www.energy.gov/eere/fuelcells/safe-use-hydrogen

[4] Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. « Transport des marchandises dangereuses (TMD) ». CCHST.ca. [En ligne]. Disponible : https://www.cchst.ca/oshanswers/legisl/tdg/tdg_classification.html

[5] Nations Unies. « Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses : Règlement type », Nations Unies, Genève, Suisse, vol. 2, 2019. [En ligne]. Disponible : https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210041133/read

[6] J. Zhu, Y. Li, W. Cao, Y. Li et Z. Gao. "Failure analysis of novel BOSS structures for type IV hydrogen storage vessels," *Energies,* vol. 16, n° 10, p. 4005, mai 2023. https://doi.org/10.3390/en16104005.

[7] H. Barthélémy. "Hydrogen storage – Industrial prospectives," *Int. J. Hydrogen Energy,* vol. 37, n° 22, p. 17364-17372, 2012. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.04.121.

[8] M. Yang, R. Hunger, S. Berrettoni, B. Sprecher et B. Wang. "A review of hydrogen storage and transport technologies," *Clean Energy*, vol. 7, n° 1, p. 190-216, février 2023. https://doi.org/10.1093/ce/zkad021.

[9] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. "Hydrogen tube trailers." Energy.gov. [En ligne]. Disponible : https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-tube-trailers

[10] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA). "Letter of interpretation re: Hazardous materials regulations," U.S. Department of Transportation, Washington, DC, États-Unis, réf. n° 17-0059, 2017. [En ligne]. Disponible : https://www.phmsa.dot.gov/sites/phmsa.dot.gov/files/legacy/interpretations/Interpretation%20Files/2017/170059.pdf

[11] Transports Canada. « Bouteilles à gaz UN, tubes UN, récipients cryogéniques UN, et conteneurs à gaz à éléments multiples (CGEM) ». TC.canada.ca. [En ligne]. Disponible : https://tc.canada.ca/fr/marchandises-dangereuses/bouteilles-gaz-tubes-recipients-cryogeniques-conteneurs-gaz-elements-multiples-cgem

[12] City Machine and Welding, Inc. "Multiple element gas container (MEGC)." CMWelding.com. [En ligne]. Disponible : https://www.cmwelding.com/products/multiple-element-gas-container-megc

[13] T. Barckholtz *et coll.* "Hydrogen delivery technical team roadmap: June 2013," U.S. DRIVE Partnership, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Washington, DC, États-Unis, 2013. [En ligne]. Disponible : https://www.energy.gov/eere/fuelcells/articles/hydrogen-delivery-roadmap

[14] N. Bouwkamp *et coll.* "Hydrogen delivery technical team roadmap: July 2017," U.S. DRIVE Partnership, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Washington, DC, États-Unis, 2017. [En ligne]. Disponible : https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/us-drive-hydrogen-delivery-technical-team-roadmap

[15] L. Londe. "Four ways to store large quantities of hydrogen," *Geostock,* 3 février 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.geostockgroup.com/en/four-ways-to-store-large-quantities-of-hydrogen/

[16] S. Schoenung. "Economic analysis of large-scale hydrogen storage for renewable utility applications," Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, États-Unis, réf. SAND2011-4845, août 2011. [En ligne]. Disponible : https://www.osti.gov/servlets/purl/1029796

[17] N. S. Muhammed, B. Haq, D. Al Shehri, A. Al-Ahmed, M. M. Rahman et E. Zaman. "A review on underground hydrogen storage: Insight into geological sites, influencing factors and future outlook," *Energy Reports,* vol. 8, p. 461-499, 2022. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.12.002.

[18] Gaffney Cline. "Underground hydrogen storage," Gaffney Cline, Houston, TX, États-Unis, juillet 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.gaffneycline.com/sites/g/files/cozyhq681/files/2022-07/gaffneycline_underground_hydrogen_storage_article.pdf

[19] F. Johansson, J. Spross, D. Damasceno, J. Johansson et H. Stille. "Investigation of research needs regarding the storage of hydrogen gas in lined rock caverns," KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Suède, réf. TRITA-ABE-RPT-182, 2018. [En ligne]. Disponible : https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1221714/FULLTEXT01.pdf

[20] Centre for Hydrogen Energy Systems Sweden (CH2ESS). "Hydrogen storage in lined rock caverns." LTU.se. [En ligne]. Disponible : https://www.ltu.se/centres/CH2ESS/Forskning/Vatgasproduktion/Vatgaslager-i-inkladda-bergrum-1.220296?l=en

[21] C-FER Technologies. "Why are well casing evaluations needed for underground hydrogen storage?" CFERtech.com. [En ligne]. Disponible : https://www.cfertech.com/insights/well_casing_evaluation_underground_hydrogen_storage/

[22] A. Lemieux, A. Shkarupin et K. Sharp. "Geologic feasibility of underground hydrogen storage in Canada," *International Journal of Hydrogen Energy,* vol. 45, n° 56, p. 32243-32259, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.244.

[23] J. Moore *et coll.* "Compressors and expanders," in Machinery and Energy Systems for the Hydrogen Economy," K. Brun et T. Allison, éditeurs : Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, ch. 9, p. 333-424, 2022. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90394-3.00002-3.

[24] National Energy Technology Laboratory. "Commercialization potential of natural gas storage in lined rock caverns." NETL.doe.gov. [En ligne]. Disponible : https://netl.doe.gov/node/2880

[25] Sofregaz US et LRC. "Commercial potential of natural gas storage in lined rock caverns (LRC)," U.S. Department of Energy, Morgantown, WV, États-Unis, réf. SZUS-0005 DE-AC26-97FT34348-01, 1999. [En ligne]. Disponible : https://www.osti.gov/servlets/purl/774913

[26] Gouvernement de l'Ontario. *Loi de 2000 sur les normes techniques et la sécurité, L.O. 2000, chap. 16,* 2000. [En ligne]. Disponible : https://www.ontario.ca/fr/lois/loi/00t16

[27] Gouvernement du Canada. *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses : DORS/2001-286,* 2001. [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-286/index.html

[28] Transports Canada. « La direction générale du transport des marchandises dangereuses ». TC.canada.ca. [En ligne]. Disponible : https://tc.canada.ca/fr/marchandises-dangereuses/direction-generale-transport-marchandises-dangereuses

[29] Gouvernement du Canada. *Loi sur la marine marchande du Canada, 2001,* L.C. 2001, chap. 26, 2001. [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/c-10.15/

[30] Gouvernement du Canada. *Loi sur la sécurité ferroviaire, L.R.C. (1985), ch.32 (4e suppl.)*, 1985. [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/r-4.2/

[31] Gouvernement du Canada. *Règlement de la Régie canadienne de l'énergie sur les pipelines terrestres, DORS/99-294,* 2022. [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-99-294/

[32] Transports Canada. « Transport des marchandises dangereuses au Canada ». TC.canada.ca. [En ligne]. Disponible : https://tc.canada.ca/fr/marchandises-dangereuses/transport-marchandises-dangereuses-canada

[33] Gouvernement de la Colombie-Britannique. "Transporting dangerous goods." Gov.bc.ca. [En ligne]. Disponible : https://www2.gov.bc.ca/gov/content/transportation/vehicle-safety-enforcement/information-education/transporting-dangerous-goods

[34] Gouvernement de la Colombie-Britannique. *Greater Vancouver Transportation Authority Act, SBC 1998, c.30, s.22,* 2001. [En ligne]. Disponible : https://www.bclaws.gov.bc.ca/civix/document/id/consol6/consol6/98030_01#section22

[35] Gouvernement du Canada. *Règlement sur les installations pétrolières et gazières au Canada, DORS/96-118,* 2020. [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-96-118/

[36] Gouvernement du Canada. *Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail, DORS/86-304*, 2023. [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-86-304/

[37] Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. « Législation en matière de santé et sécurité au Canada ». CCHST.ca. [En ligne]. Disponible : https://www.cchst.ca/oshanswers/legisl/legislation/intro.html

[38] A. R. Baird, B. D. Ehrhart, A. M. Glover et C. B. LaFleur. "Federal oversight of hydrogen systems," Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, États-Unis, réf. SAND2021-2955, mars 2021. [En ligne]. Disponible : https://doi.org/10.2172/1773235

[39] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA). "Mandates overview." PHMSA.dot.gov. [En ligne]. Disponible : https://www.phmsa.dot.gov/legislative-mandates/mandates-overview

[40] Occupational Health and Safety Administration (OSHA). "Occupational safety and health: Hydrogen." OSHA.gov. [En ligne]. Disponible : https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.103

[41] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA). "Underground natural gas storage." PHMSA.dot.gov. [En ligne]. Disponible : https://www.phmsa.dot.gov/pipeline/underground-natural-gas-storage/underground-natural-gas-storage

[42] Gouvernement des États-Unis. *Transportation, Title 49,* Code of Federal Regulations. [En ligne]. Disponible : https://www.ecfr.gov/current/title-49

[43] Assemblée legislative du Texas. *Texas Administrative Code, Title 16, Part 1, Ch. 3, §3.95,* 1999. [En ligne]. Disponible : https://texreg.sos.state.tx.us/public/readtac$ext.TacPage?sl=R&app=9&p_dir=&p_rloc=&p_tloc=&p_ploc=&pg=1&p_tac=&ti=16&pt=1&ch=3&rl=95

[44] Assemblée legislative du Texas. *Texas Administrative Code, Title 16, Part 1, Ch. 3, §3.96,* 1999 [En ligne]. Disponible : https://texreg.sos.state.tx.us/public/readtac$ext.TacPage?sl=R&app=9&p_dir=&p_rloc=&p_tloc=&p_ploc=&pg=1&p_tac=&ti=16&pt=1&ch=3&rl=96

[45] Assemblée legislative du Texas. *Texas Administrative Code, Title 16, Part 1, Ch. 3, §3.97,* 1999. [En ligne]. Disponible : https://texreg.sos.state.tx.us/public/readtac$ext.TacPage?sl=R&app=9&p_dir=&p_rloc=&p_tloc=&p_ploc=&pg=1&p_tac=&ti=16&pt=1&ch=3&rl=97

[46] Assemblée legislative du Texas. *Texas Administrative Code, Title 16, Part 1, Ch. 3,* §3.98, 1999. [En ligne]. Disponible : https://texreg.sos.state.tx.us/public/readtac$ext.TacPage?sl=R&app=9&p_dir=&p_rloc=&p_tloc=&p_ploc=&pg=1&p_tac=&ti=16&pt=1&ch=3&rl=98

[47] Gouvernement des États-Unis. *Hazardous Materials: Harmonization with International Standards (RRR), 82 FR 15796,* Federal Register, 30 mars 2017. [En ligne]. Disponible : https://www.federalregister.gov/d/2017-04565

[48] Transports Canada. « Demande d'un Certificat d'équivalence ou temporaire ». TC.canada.ca. [En ligne]. Disponible : https://tc.canada.ca/fr/marchandises-dangereuses/demande-certificat-equivalence-temporaire

[49] Gouvernement de l'Alberta. "Permits for equivalent level of safety." Alberta.ca. [En ligne]. Disponible : https://www.alberta.ca/permits-for-equivalent-level-of-safety

[50] Office des normes générales du Canada. *Conception, fabrication et utilisation de fûts, bidons, caisses, sacs, emballages combinés et emballages composites normalisés UN, et autres emballages pour le transport des marchandises dangereuses des classes 3, 4, 5, 6.1, 8 et 9,* CAN/CGSB-43.150, Office des normes générales du Canada, Ottawa, ON, Canada, 2020. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.885667/publication.html

[51] Office des normes générales du Canada. *Emballages pour matières infectieuses de catégorie A et de catégorie B (classe 6, division 6.2) et déchet d'hôpital, (bio) médical ou médical réglementé,* CAN/CGSB-43.125, Office des normes générales du Canada, Ottawa, ON, Canada, 2021. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.904820/publication.html

[52] Gouvernement du Canada. R*èglement sur le transport des marchandises dangereuses : DORS/2001-286,* art.10. [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-286/page-25.html

[53] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA). "International Maritime Organization." PHMSA.dot.gov. [En ligne]. Disponible : https://www.phmsa.dot.gov/international-program/international-maritime-organization

[54] Organisation maritime internationale. « Code maritime international des marchandises dangereuses (Code IMGD) ». IMO.org. [En ligne]. Disponible : https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/publications/Documents/Supplements/French/QL200F_122019.pdf

[55] Gouvernement du Canada. *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses : DORS/2001-286,* art.4. [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-286/page-16.html

[56] L. Collins. "Special report: Why shipping pure hydrogen around the world might already be dead in the water." RechargeNews.com. [En ligne]. Disponible : https://www.rechargenews.com/energy-transition/special-report-why-shipping-pure-hydrogen-around-the-world-might-already-be-dead-in-the-water/2-1-1155434

[57] M. Hernandez *et coll.* "NRCan hydrogen codes and standards gap analysis project," National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada, réf. n° NRC–EME 56449, avril 2022. [En ligne]. Disponible : https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=6d14bc19-30b8-4c59-bb26-513dd983d3d7

[58] North America's Transportation Service. "Regulations for the trucking industry in Canada explained!" NATSCanada.com. [En ligne]. Disponible : https://www.natscanada.com/regulations-for-the-trucking-industry-in-canada-explained/

[59] Gouvernement du Canada. *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses : DORS/2001-286, art.1.3.1.* [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-286/page-1.html

[60] Gouvernement du Canada. *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses : DORS/2001-286, art.5.* [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-286/page-20.html

[61] Gouvernement du Canada. *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses : DORS/2001-286, art.9* [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-286/page-24.html

[62] Transports Canada. « Liste des normes de sécurité (normes CSA ou ONGC ou Transports Canada) ». TC.canada.ca. [En ligne]. Disponible : https://tc.canada.ca/fr/marchandises-dangereuses/normes-securite-normes-csa-ongc-transports-canada

[63] Association canadienne de normalisation. *Bouteilles à gaz cylindriques et sphériques et tubes pour le transport des marchandises dangereuses, CSA B339,* Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2018. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/B339-18/

[64] Association canadienne de normalisation. *Sélection et utilisation de bouteilles à gaz cylindriques et sphériques, tubes et autres contenants pour le transport des marchandises dangereuses, classe 2,* CSA B340, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2018. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/B340-18/

[65] Commission Economique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU) « Rév. 21 (2019) : Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses – Règlement type UN ». UNECE.org. [En ligne]. Disponible : https://unece.org/rev-21-2019

[66] Association canadienne de normalisation. *Récipients à pression UN et conteneurs à gaz à éléments multiples destinés au transport des marchandises dangereuses,* CSA B341, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2018. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/B341-18/

[67] Association canadienne de normalisation. *Sélection et utilisation des récipients à pression UN, des conteneurs à gaz à éléments multiples et d'autres récipients à pression pour le transport des marchandises dangereuses, classe 2,* CSA B342, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2018. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/B342-18/

[68] Transports Canada. *Conteneurs pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer,* TP 14877, Transports Canada, Ottawa (Ontario), Canada, 2018. [En ligne]. Disponible : https://tc.canada.ca/fr/marchandises-dangereuses/publications/contenants-transport-marchandises-dangereuses-chemin-fer-norme-transports-canada

[69] Association canadienne de normalisation. C*iternes routières et citernes amovibles TC pour le transport des marchandises dangereuses,* CSA B620, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2020. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/CSA%20B620%3A20/

[70] Association canadienne de normalisation. *Sélection et utilisation des citernes routières, des citernes amovibles TC et autres grands contenants pour le transport des marchandises dangereuses des classes 3, 4, 5, 6.1, 8 et 9,* CSA B621, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2020. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/CSA%20B621%3A20/

[71] Association canadienne de normalisation. *Sélection et utilisation des citernes routières et des citernes amovibles TC pour le transport des marchandises dangereuses de la classe 2,* CSA B622, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2020. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/CSA%20B622%3A20

[72] Association canadienne de normalisation. *Citernes amovibles de spécification TC 44*, CSA B626, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2009. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/B626-09/

[73] Office des normes générales du Canada. *Conception, fabrication et utilisation de grands récipients pour vrac destinés au transport des marchandises dangereuses de classes 3, 4, 5, 6.1, 8 et 9,* CAN/CGSB-43.146, Office des normes générales du Canada, Ottawa (Ontario), Canada, 2022. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.909016/publication.html

[74] Association canadienne de normalisation. *Citernes mobiles pour le transport des marchandises dangereuses,* CSA B625, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2020. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/CSA%20B625%3A20/

[75] Office des normes générales du Canada. *Reconditionnement, reconstruction et réparation des fûts pour le transport des marchandises dangereuses,* CAN/CGSB-43.126, Office des normes générales du Canada, Gatineau (Ontario), Canada, 2019. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.875868/publication.html

[76] Office des normes générales du Canada. *Bombes aérosol et cartouches à gaz pour le transport de marchandises dangereuses,* CAN/CGSB-43.123, Office des normes générales du Canada, Ottawa (Ontario), Canada, 2022. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.909871/publication.html

[77] Alberta EDGE (Environmental and Dangerous Goods Emergencies). "Dangerous goods: Transport tanks," Alberta Transportation, Edmonton, AB, Canada, février 2020. [En ligne]. Disponible : https://open.alberta.ca/dataset/cf7b1e8b-d71d-40f2-bf32-b641b37c8364/resource/96cbe24a-2719-40f6-b0fb-49be7ed7de8b/download/trans-dangerous-goods-transport-tanks-2020.pdf

[78] Gouvernement des États-Unis. *Highway Safety Improvement Program, Title 23, Part 924, 81 FR 13739,* Federal Register, 15 mars 2016. [En ligne]. Disponible : https://www.ecfr.gov/current/title-23/part-924

[79] Gouvernement des États-Unis. *Automotive Fuel Ratings, Certification and Posting, Title 16, Part 306, 44 FR 19169,* Federal Register, 30 mars 1979. [En ligne]. Disponible : https://www.ecfr.gov/current/title-16/part-306

[80] Gouvernement des États-Unis. *Hazardous Materials: Adoption of ASME Code Section XII and the National Board Inspection Code, 78 FR 79363, P-1459,* Federal Register, 30 décembre 2013. [En ligne]. Disponible : https://www.federalregister.gov/d/2013-31046/p-67

[81] Organisation maritime internationale. « Présentation de l'OMI ». IMO.org. [En ligne]. Disponible : https://www.imo.org/fr/About/Pages/Default.aspx

[82] Maritime Safety Committee. *Resolution MSC.420(97), Interim Recommendations for Carriage of Liquefied Hydrogen in Bulk*, 25 novembre 2016. [En ligne]. Disponible : https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.420(97).pdf

[83] Organisation maritime internationale (OMI). "International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)." IMO.org. [En ligne]. Disponible : https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/IGCCode.aspx

[84] Gouvernement du Canada. *Loi sur le transport des marchandises dangereuses, L.C. 1992, chap. 34.* [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/t-19.01/

[85] Gouvernement du Canada. *Loi sur la marine marchande du Canada, L.C. 2001, chap. 26.* [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/c-10.15/

[86] Gouvernement du Canada. *Loi de la convention sur la sécurité des conteneurs, L.R.C. (1985), ch. S-1.* [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/s-1/

[87] Gouvernement du Canada. *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses, DORS/2001-286, art.11.* [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-286/page-26.html

[88] Gouvernement du Canada. *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses, DORS/2001-286, s.8.* [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2001-286/page-22.html

[89] Gouvernement du Canada. *Règlement sur la Convention sur la sécurité des conteneurs, DORS/82-1038.* [En ligne]. Disponible : https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-82-1038/

[90] Organisation maritime internationale (OMI). « Convention internationale sur la sécurité des conteneurs ». IMO.org. [En ligne]. Disponible : https://www.imo.org/fr/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-Safe-Containers-(CSC).aspx

[91] U.S. Coast Guard Container Inspection Training and Assistance Team. Maritime transportation of hazardous materials [PowerPoint slides]. [En ligne]. Disponible : https://www.phmsa.dot.gov/sites/phmsa.dot.gov/files/docs/Maritime_Transportation_of_Hazmat.pdf

[92] Gouvernement des États-Unis. *Navigation and Navigable Waters, Title 33,* Federal Register. [En ligne]. Disponible : https://www.ecfr.gov/current/title-33

[93] Gouvernement des États-Unis. *Shipping, Title 46,* Federal Register. [En ligne]. Disponible : https://www.ecfr.gov/current/title-46

[94] Transports Canada. « La Loi sur la sécurité ferroviaire ». TC.canada.ca. [En ligne]. Disponible : https://tc.canada.ca/fr/transport-ferroviaire/securite-ferroviaire-canada/loi-securite-ferroviaire

[95] Office des normes générales du Canada. *Contenants pour le transport des marchandises dangereuses par chemin de fer,* CAN/CGSB-43.147, Office des normes générales du Canada, Ottawa (Ontario), Canada, 2023. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.921127/publication.html

[96] Office des normes générales du Canada. *Contenants d'une tonne pour le transport des marchandises dangereuses,* CAN/CGSB-43.149, Office des normes générales du Canada, Ottawa (Ontario), Canada, 2023. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.921714/publication.html

[97] Internal Trade Secretariat. "Canadian Free Trade Agreement," Internal Trade Secretariat, Winnipeg, MB, Canada, janvier 2023. [En ligne]. Disponible : https://www.cfta-alec.ca/wp-content/uploads/2023/01/CFTA-Consolidated-Version-January-31-2023.pdf

[98] Internal Trade Secretariat. "Reconciliation Agreement for the Canadian Registration Number (CRN) for pressure equipment," Internal Trade Secretariat, Winnipeg, MB, Canada, 2018. [En ligne]. Disponible : https://rct-tccr.ca/wp-content/uploads/2023/07/CRN-for-Pressure-Equipment-Reconciliation-Agreement-2018-2019-Final.pdf

[99] Association canadienne de normalisation. *Code sur les chaudières, les appareils et les tuyauteries sous pression,* CSA B51-14, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2014. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/B51-14/

[100] Conseil national de recherches Canada. *Code national du bâtiment du Canada, CCNB,* Conseil national de recherches Canada, Ottawa (Ontario), Canada, 2020. Disponible : https://nrc.canada.ca/fr/certifications-evaluations-normes/codes-canada/publications-codes-canada/code-national-batiment-canada-2020

[101] Bureau de normalisation du Québec. *Code canadien d'installation de l'hydrogène,* CAN/BNQ 1784-000, Bureau de normalisation du Québec, Québec (Québec), Canada, 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.bnq.qc.ca/fr/normalisation/hydrogene-3/code-canadien-d-installation-de-l-hydrogene.html

[102] Association canadienne de normalisation. *Code sur les chaudières, les appareils et les tuyauteries sous pression,* CSA B51-19, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2019. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/CSA%20B51:19/

[103] Organisation internationale de normalisation. *Bouteilles à gaz — Bouteilles à haute pression pour le stockage de gaz naturel utilisé comme carburant à bord des véhicules automobiles,* ISO 11439, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2013. [En ligne]. Disponible : https://www.iso.org/fr/standard/44755.html

[104] Association canadienne de normalisation. *Compressed Natural Gas Vehicle Fuel Containers,* CSA/ANSI NGV 2, Association canadienne de normalisation, Toronto, ON, Canada, 2023. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/store/product/2701203/

[105] Association canadienne de normalisation. *Compressed Hydrogen Gas Vehicle Fuel Containers,* CSA/ANSI HGV 2, Association canadienne de normalisation, Toronto, ON, Canada, 2023. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/store/product/2703676/

[106] National Fire Protection Association. *Hydrogen Technologies Code,* NFPA 2, National Fire Protection Association, Quincy, MA, États-Unis. [En ligne]. Disponible : https://www.nfpa.org/codes-and-standards/2/2?l=64

[107] Organisation internationale de normalisation. *Management du risque — Lignes directrices,* ISO 31000, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2018. [En ligne]. Disponible : https://www.iso.org/fr/standard/65694.html

[108] Organisation internationale de normalisation. *Management du risque — Techniques d'appréciation du risque,* CEI 31010, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2019. [En ligne]. Disponible : https://www.iso.org/fr/standard/72140.html

[109] Association canadienne de normalisation. *Gestion de la sécurité opérationnelle,* CSA Z767, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2017. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/fr/store/product/CAN-CSA-Z767-17/

[110] American Society of Mechanical Engineers (ASME). *Rules for Construction of Pressure Vessels, Division 1,* BPVC Section VIII, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, États-Unis, 2023. [En ligne]. Disponible : https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-viii-1-bpvc-section-viii-rules-construction-pressure-vessels-division-1/2023/print-book

[111] American Society of Mechanical Engineers (ASME). *Rules for Construction of Pressure Vessels, Division 3: Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels,* BPVC Section VIII, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, États-Unis, 2021. [En ligne]. Disponible : https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-viii-3-bpvc-section-viii-rules-construction-pressure-vessels-division-3-alternative-rules-construction-high-pressure-vessels/2021/print-book

[112] T. Pastor, D. Peters, A. Garbolevsky et B. Redfield. "Pressure points: What all the buzz about hydrogen!" HSB, Hartford, CT, États-Unis, juin 2021. [En ligne]. Disponible : https://www.munichre.com/content/dam/munichre/contentlounge/website-pieces/documents/hsb-gies-2021-june-pressure-points-newsletter.pdf/

[113] N.L. Newhouse, G.B. Rawls, M. D. Rana, B. F. Shelley et M. R. Gorman. "Development of ASME Section X Code rules for high pressure composite hydrogen pressure vessels with non-load sharing liners," in Proc. *ASME 2010 Pressure Vessels and Piping Conf.,* vol. 1, Bellevue, WA, États-Unis, 18-22 juillet 2010, p. 625-634. [En ligne]. Disponible : https://doi.org/10.1115/PVP2010-25349

[114] American Society of Mechanical Engineers (ASME). Hydrogen Piping and Pipelines, B31.12, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, États-Unis, 2020. [En ligne]. Disponible : https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b31-12-hydrogen-piping-pipelines/2019/drm-enabled-pdf

[115] National Fire Protection Association. "CodeFinder." NFPA.org. [En ligne]. Disponible : https://codefinder.nfpa.org/

[116] Hydrogen Safety Panel. "Safety planning for hydrogen and fuel cell projects," Hydrogen Safety Panel, Richland, WA, États-Unis, réf. PNNL-25279-1, novembre 2017. [En ligne]. Disponible : https://h2tools.org/sites/default/files/Safety_Planning_for_Hydrogen_and_Fuel_Cell_Projects-November2017_0.pdf

[117] Association canadienne de normalisation. *Storage of Hydrocarbons in Underground Formations,* CSA Z341 Series, Association canadienne de normalisation, Toronto, ON, Canada, 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/store/product/2701740/

[118] Association canadienne de normalisation. *Supplement No. 1 to CSA Z341 SERIES:22, Storage of Hydrocarbons in Underground Formations (Application to Hydrogen and Hydrogen Blends),* CSA Z341S1, Association canadienne de normalisation, Toronto, ON, Canada, 2023. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/store/product/CSA_Z341S1%3A23/

[119] Conseil canadien des normes. « Évaluation quantitative des risques du stockage souterrain de l'hydrogène ». SCC.ca. [En ligne]. Disponible : https://www.scc.ca/fr/normes/avis-dintention/csa/evaluation-quantitative-des-risques-du-stockage-souterrain-de-lhydrogene

[120] BC Oil and Gas Commission. "Application guideline for underground storage of hydrocarbons," BC Oil and Gas Commission, Victoria, BC, Canada, février 2021. [En ligne]. Disponible : https://www.bcogc.ca/files/operations-documentation/Reservoir-Management/Reservoir-Project-Guidelines/Application-Guideline-for-Underground-Storage-of-Hydrocarbons-Dec-Release-2021.pdf

[121] Gouvernement des États-Unis. *Pipeline Safety: Safety of Underground Natural Gas Storage Facilities,* Federal Register, 2 février 2020. [En ligne]. Disponible : https://www.federalregister.gov/d/2020-00565

[122] American Petroleum Institute (API). *Design and Operation of Solution-mined Salt Caverns Used for Natural Gas Storage,* API RP 1170, American Petroleum Institute, Washington, DC, États-Unis, 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.apiwebstore.org/standards/1170

[123] American Petroleum Institute (API). *Functional Integrity of Natural Gas Storage in Depleted Hydrocarbon Reservoirs and Aquifer Reservoirs,* API RP 1171, American Petroleum Institute, Washington, DC, États-Unis, 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.apiwebstore.org/standards/1171

[124] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. "Bulk storage of gaseous hydrogen," Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Washington, DC, États-Unis, 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-05/bulk-storage-gaseous-hydrogen-2022_0.pdf

[125] A. Lemieux, K. Sharp et A. Shkarupin. "Preliminary assessment of underground hydrogen storage sites in Ontario, Canada," *International Journal of Hydrogen Energy,* vol. 44, n° 29, p. 15193-15204, 2019. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.113

Annexe A : Tableau des principales normes et autres documents d'orientation contenant des exigences propres au transport et au stockage d'hydrogène

Organisme d'élaboration de normes	Désignation	Année de publication ou référence	Titre	**Transport** route	**Transport** chemin de fer	**Transport** maritime	**Stockage** en surface	**Stockage** souterrain
American Institute of Aeronautics and Astronautics (AAIA)	ANSI/AIAA G-095A	2017	Guide to Safety of Hydrogen and Hydrogen Systems	A	A	A	A	A
American Bureau of Shipping (ABS)	ABS 338	2023	Requirements for Hydrogen Fueled Vessels			A		
ABS	ABS 342	2023	Requirements for Liquefied Hydrogen Carriers			A		
American Petroleum Institute (API)	API RP 934-A	2019	Materials and Fabrication of 2¼Cr-1Mo, 2¼Cr-1Mo-¼V, 3Cr-1Mo, and 3Cr-1Mo-¼V Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High-Temperature, High-Pressure Hydrogen Service				A	
API	API TR 934-B	2022	Fabrication Considerations for Vanadium-Modified Cr-Mo Steel Heavy Wall Pressure Vessels				A	
API	API RP 934-C	2019	Materials and Fabrication of 1¼Cr-½Mo Steel Heavy Wall Pressure Vessels for High-Pressure Hydrogen Service Operating at or Below 825°F (440°C)				A	
API	API TR 934-D	2010	Technical Report on the Materials and Fabrication Issues of the 1¼CR-½Mo and 1Cr-½Mo Steel Pressure Vessels				A	
API	API TR 934-F PART 1	2017	Impact of Hydrogen Embrittlement on Minimum Pressurization Temperature for Thick-Wall Cr-Mo Steel Reactors in High-Pressure H2 Services – Initial Technical Basis for RP 934-F				A	
API	API TR 934-F PART 2	2017	Literature Review of Fracture Mechanics-Based Experimental Data for Internal Hydrogen-Assisted Cracking of Vanadium-Modified 2¼Cr-1Mo Steel				A	
API	API TR 934-F PART 3	2017	Subcritical Cracking of Modern 2¼ Cr-1Mo-¼V Steel due to Dissolved Internal Hydrogen and H2 Environment, Research Report				A	
API	API TR 934-F PART 4	2018	The Effects of Hydrogen for Establishing a Minimum Pressurization Temperature (MPT) for Heavy Wall Steel Reactor Vessels				A	
API	API TR 934-H	2022	Inspection, Assessment, and Repair of Heavy Wall Reactor Vessels in High-Temperature High-Pressure Hydrogen Service				A	
API	API PUBL 938-A	1996	An Experimental Study of Causes and Repair of Cracking of 1¼ Cr-½ Mo Steel Equipment				A	
API	API RP 941	2016	Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants				A	
API	API TR 941-A		The Technical Basis Document for API RP 941				A	
API	API TR 942-B	2017	Materials, Fabrication, and Repair Considerations for Austenitic Alloys Subject to Embrittlement and Cracking in High Temperature 565°C to 760°C (1050°F to 1400°F) Refinery Services				A	
American Society of Mechanical Engineers (ASME)	BPVC	2021	Boiler and Pressure Vessel Code	A	A	A	A	
ASME	B31.12	2019	Hydrogen Piping and Pipelines				A	A

Organisme d'élaboration de normes	Désignation	Année de publication ou référence	Titre	**Transport** route	**Transport** chemin de fer	**Transport** maritime	**Stockage** en surface	**Stockage** souterrain
ASME	B31G	2012	Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines				A	A
ASME	STP-PT-003	2005	Hydrogen Standardization Interim Report for Tanks, Piping, and Pipelines	A	A	A	A	A
ASME	STP-PT-006	2007	Design Guidelines for Hydrogen Piping and Pipelines				A	A
ASME	STP-PT-005	2006	Design Factor Guidelines for High-Pressure Composite Hydrogen Tanks	A	A	A	A	
ASME	STP-PT-014	2008	Data Supporting Composite Tank Standards Development for Hydrogen Infrastructure Applications	A	A	A	A	
ASME	STP-PT-017	2008	Properties for Composite Materials in Hydrogen Science	A	A	A	A	
ASME	STP-PT-021	2008	Nondestructive Testing and Evaluation Methods for Composite Hydrogen Tanks	A	A	A	A	
ASME	STP-PT-023	2009	Guidelines for In-Service Inspection of Composite Pressure Vessels	A	A	A	A	
ASME	STP-PT-043	2010	ASME Flawed Cylinder Testing	A	A	A	A	
ASME	STP-PT-064	2013	Evaluation of Fracture Properties Test Methods for Hydrogen Service	A	A	A	A	
Bureau de normalisation du Québec (BNQ)	CAN/BNQ 1784-000	2022	Code canadien d'installation de l'hydrogène				A	A
Compressed Gas Association (CGA)	CGA G-5	2017	Hydrogène	A	A	A	A	A
CGA	CGA G-5.3	2017	Commodity Specification for Hydrogen	A	A	A	A	A
CGA	CGA G-5.4	2019	Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations				A	A
CGA	CGA G-5.5	2021	Standard for Hydrogen Vent Systems				A	A
CGA	CGA G-5.6	2005	Hydrogen Pipeline Systems				A	A
CGA	CGA H-3	2019	Standard for Cryogenic Hydrogen Storage				A	
CGA	CGA H-4	2020	Terminology Associated with Hydrogen Fuel Technologies	A	A	A	A	A
CGA	CGA H-5	2020	Standard for Bulk Hydrogen Supply Systems (an American National Standard)				A	A
CGA	CGA P-6	2012	Standard Density Data, Atmospheric Gases and Hydrogen	A	A	A	A	A
CGA	CGA P-12	2023	Guideline for Safe Handling of Cryogenic and Refrigerated Liquids				A	A
CGA	CGA P-28	2022	OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Supply Systems				A	A
CGA	CGA P-37	2014	Good Environmental Management Practices for the Compressed Gas Industry				A	A
CGA	CGA P-41	2023	Standard for Locating Bulk Liquid Storage Systems in Courts				A	

Organisme d'élaboration de normes	Désignation	Année de publication ou référence	Titre	**Transport** route	**Transport** chemin de fer	**Transport** maritime	**Stockage** en surface	**Stockage** souterrain
CGA	CGA P-59	2023	Prevention of Excessive Pressure During Filling of Cryogenic Vessels				A	
CGA	CGA P-74	2019	Standard for Tube Trailer Supply Systems at Customer Sites				A	
CGA	CGA S-1.1	2022	Pressure Relief Device Standards – Part 1 – Cylinders for Compressed Gases	A	A	A	A	
CGA	CGA S-1.3	2020	Pressure Relief Device Standards – Part 3 – Stationary Storage Containers for Compressed Gases	A	A	A	A	
Association canadienne de normalisation (Groupe CSA)	CSA B51	2019	Code sur les chaudières, les appareils et les tuyauteries sous pression	A	A	A	A	A (réservoirs enterrés)
Groupe CSA	CSA B339	2018	Bouteilles à gaz cylindriques et sphériques et tubes pour le transport des marchandises dangereuses	A	A	A		
Groupe CSA	CSA B340	2018	Sélection et utilisation de bouteilles à gaz cylindriques et sphériques, tubes et autres contenants pour le transport des marchandises dangereuses, classe 2	A	A	A		
Groupe CSA	CSA B341	2018	Récipients à pression UN et conteneurs à gaz à éléments multiples destinés au transport des marchandises dangereuses	A	A	A		
Groupe CSA	CSA B342	2018	Sélection et utilisation des récipients à pression UN et conteneurs à gaz à éléments multiples destinés au transport des marchandises dangereuses, classe 2	A	A	A		
Groupe CSA	CSA B620	2020	Citernes routières et citernes amovibles TC pour le transport des marchandises dangereuses	A	A	A		
Groupe CSA	CSA B622	2020	Sélection et utilisation des citernes routières et des citernes amovibles TC pour le transport des marchandises dangereuses de la classe 2	A	A	A		
Groupe CSA	CSA B625	2020	Citernes mobiles pour le transport des marchandises dangereuses	A	A	A		
Groupe CSA	ANSI/CSA CHMC 1	2014	Test Methods for Evaluating Material Compatibility in Compressed Hydrogen Applications – Metals	A	A	A	A	A
Groupe CSA	CSA/ANSI CHMC 2	2019	Test Methods for Evaluating Material Compatibility in Compressed Hydrogen Applications – Polymers	A	A	A	A	A
Groupe CSA	Série CSA Z341 et CSA Z341S1	2022 et 2023	Storage of Hydrocarbons in Underground Formations and Supplement No. 1 to CSA Z341 Series					A (formations souterraines)
European Industrial Gas Association (EIGA)	EIGA Doc 15/21	2021	Gaseous Hydrogen Installations				A	
EIGA	EIGA Doc 06/19	2019	Safety in Storage, Handling and Distribution of Liquid Hydrogen	A	A	A	A	
EIGA	EIGA TB 42/22	2022	Welded Gaseous Storage Vessels and Hydrogen Compatibility				A	
EIGA	EIGA Doc 100/20	2020	Hydrogen Cylinders and Transport Vessels	A	A	A		
Organisation maritime internationale (OMI)	Code IMDG		Code maritime international des marchandises dangereuses			A		
OMI	Code IGC		International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk			A		
OMI	Code IGF		International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels			A		

Organisme d'élaboration de normes	Désignation	Année de publication ou référence	Titre	**Transport** route	**Transport** chemin de fer	**Transport** maritime	**Stockage** en surface	**Stockage** souterrain
Organisation internationale de normalisation (ISO)	ISO 11114-4	2017	Bouteilles à gaz transportables – Compatibilité des matériaux et des robinets avec les contenus gazeux – Partie 4 : Méthodes d'essai pour le choix des aciers résistants à la fragilisation par l'hydrogène	A	A	A	A	
ISO	Série ISO 11119		Bouteilles à gaz – Conception, construction et essais des tubes et bouteilles à gaz rechargeables en matériau composite	A	A	A	A	
ISO	ISO 14687	2019	Qualité du carburant hydrogène – Spécification de produit	A	A	A	A	A
ISO	ISO/TR 15916	2015	Considérations fondamentales pour la sécurité des systèmes à l'hydrogène	A	A	A	A	A
ISO	ISO/TS 17519	2019	Bouteilles à gaz – Tubes composites rechargeables montés de façon permanente pour le transport	A	A	A		
ISO	ISO 19891-1	2017	Navires et technologie maritime – Spécifications pour les détecteurs de gaz destinés à être utilisés à bord des navires – Partie 1 : Détecteurs de gaz portables pour les essais atmosphériques des espaces clos			A		
ISO	ISO 20421-1	2019	Récipients cryogéniques – Récipients transportables isolés sous vide de grande contenance – Partie 1 : Conception, fabrication, inspection et essais				A	
ISO	ISO 21029-1	2018	Récipients cryogéniques – Récipients transportables, isolés sous vide, d'un volume n'excédant pas 1000 litres – Partie 1 : Conception, fabrication, inspection et essais				A	
ISO	ISO AWI TR 19884-2	En cours d'élaboration	Gaseous Hydrogen – Cylinders and Tubes for Stationary Storage – Part 2: Material Test Data of Class A Materials (Steels and Aluminum Alloys) Compatible to Hydrogen Service	A	A	A	A	
ISO	ISO AWI TR 19884-3	En cours d'élaboration	Gaseous Hydrogen – Cylinders and Tubes for Stationary Storage – Part 3: Pressure Cycle Test Data to Demonstrate Shallow Pressure Cycle Estimation Methods	A	A	A	A	
Comité européen de normalisation (CEN)	EN 17339	2020	Transportable Gas Cylinders – Fully Wrapped Carbon Composite Cylinders and Tubes for Hydrogen	A	A	A	A	
CEN	EN 17533	2020	Gaseous Hydrogen – Cylinders and Tubes for Stationary Storage				A	
National Fire Protection Association (NFPA)	NFPA 2	2020	Hydrogen Technologies Code	A	A	A	A	
NFPA	NFPA 55	2023	Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code	A	A	A	A	
Transports Canada	TP 14877	2019	Contenants pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer		A			
Office des normes générales du Canada (ONGC)	CAN/CGSB-43.147	2023	Contenants pour le transport de marchandises dangereuses par chemin de fer		A			
ONGC	CAN/CGSB-43.149	2023	Contenants d'une tonne pour le transport des marchandises dangereuses		A			

Annexe B : Tableau des règlements fédéraux, provinciaux et territoriaux qui ont intégré les normes CAN/BNQ 1784-000, CSA B51 et CSA Z341

	Intégration de la CAN/BNQ 1784-000	Intégration de la CSA B51	Intégration de la série CSA Z341
Fédéral	Non	▪ CSA B51-M1991 *dans le* Règlement sur les installations pétrolières et gazières au Canada, DORS/96-118 ▪ CSA B51-97 *dans le* Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail, DORS/86-304 ▪ CSA B51, partie 2 *dans le* Règlement sur la sécurité des véhicules automobiles, CRC, c. 1038	▪ CSA Z341 *dans le* Règlement de la Régie canadienne de l'énergie sur les pipelines terrestres, DORS/99-294
Alberta	Non	▪ CSA B51:19 *dans le* Pressure Equipment Safety Regulation, Alta Reg 49/2006 ▪ CSA B51:19 *dans le* Design, Construction and Installation of Boilers and Pressure Vessels Regulations, Alta Reg 227/1975 ▪ CSA B51:19 *dans le* Occupational Health and Safety Code, Alta Reg 191/2021 ***Note.*** *L'Alberta's Safety Codes Act (Loi sur les codes de sécurité), RSA 2000, c S-1, Section 65(4) prévoit un renvoi évolutif « le premier jour du mois suivant l'expiration des 12 mois après la date à laquelle la modification ou le remplacement est publié ».*	Non
Colombie-Britannique	▪ CAN/BNQ 1784-000-2022 *dans le* Gas Safety Regulation, B.C. Reg. 103/2004	▪ CSA B51 et CSA B51-14 *dans le* Power Engineers, Boiler, Pressure Vessel and Refrigeration Safety Regulation, B.C. Reg. 104/2004 ▪ CSA B51-M1991 *dans le* Occupational Health and Safety Regulation, B.C. Reg. 296/97	▪ CSA Z341 *dans le* Drilling and Production Regulation, B.C. Reg. 282/2010 ▪ CSA Z341 *dans le* Greenhouse Gas Emission Reporting Regulation, B.C. Reg. 249/2015
Manitoba	Non	▪ CSA B51 *dans le* Steam and Pressure Plants Regulation, M.R. 108/87 R ▪ CSA B51-M1991 *dans le* Drilling and Production Regulation, M.R. 111/94	Non
Nouveau-Brunswick	▪ CAN/BNQ 1784-000/2007 *dans le* Règlement sur les normes, NB Reg 84-177	▪ CSA B51-14 *dans le* Règlement sur les normes, NB Reg 84-177 ▪ CSA B51 dans le Règlement général, NB Reg 91-191	▪ CSA Z341 *dans le* Règlement sur les pipelines, NB Reg 2006-2
Terre-Neuve-et-Labrador	▪ CAN/BNQ 1784-000 *dans le* Boiler, Pressure Vessel and Compressed Gas Regulations, NLR 119/96	▪ CSA B51 *dans le* Boiler, Pressure Vessel and Compressed Gas Regulations, NLR 119/96	Non
Territoires du Nord-Ouest	Non	▪ CSA B51 *dans le* Boilers and Pressure Vessels Regulations, NWT R-006-93 ▪ CSA B51 *dans le* Gas Protection Regulations, RRNWT 1990, c.G-1 ▪ CSA B51-95 *dans le* Mine Health and Safety Regulations, NWT R-125-95 ▪ CSA B51-M1991 *dans le* Oil and Gas Installations Regulations, NWT R-029-2014	Non

	Intégration de la CAN/BNQ 1784-000	Intégration de la CSA B51	Intégration de la série CSA Z341
Nouvelle-Écosse	Non	▪ CSA B51:19 *dans le* Technical Safety Standards Regulations, N.S. Reg. 102/2014 ▪ CSA B51 *dans le* Boiler and Pressure Equipment Regulations, N.S. Reg. 10/2011 ▪ CSA B51-M1991 *dans le* Nova Scotia Offshore Area Petroleum Installations Regulations, N.S. Reg. 166/97	▪ CSA Z341 *dans le* Pipeline Regulations, N.S. Reg. 66/98
Nunavut	Non	▪ CSA B51 *dans le* Boilers and Pressure Vessels Regulations, NWT R-006-93 ▪ CSA B51 *dans le* Gas Protection Regulations, RRNWT 1990, c.G-1 ▪ CSA B51-95 *dans le* Mine Health and Safety Regulations, NWT R-125-95	Non
Ontario	▪ BNQ 1784-000 *dans le* Gaseous Fuel Code Adoption Document, under Codes and Standards Adopted by Reference, O. Reg. 223/01	▪ B51 *dans le* Oil, Gas and Salt Resources of Ontario, Provincial Operating Standards, under Oil, Gas and Salt Resources Act, R.S.O. 1990 c.P.12 ▪ CSA B51:19 *dans le* Boilers and Pressure Vessels Code Adoption Document, under Codes and Standards Adopted by Reference, O. Reg. 223/01 ▪ B51-09 *dans le* Fire Code, O. Reg. 213/07	▪ CSA Z341 *dans le* Oil, Gas and Salt Resources of Ontario, Provincial Operating Standards, under Oil, Gas and Salt Resources Act, R.S.O. 1990 c.P.12 ▪ CSA Z341 *dans le* Provincial Standards for Compressed Air Energy Storage in Salt Caverns: Applications and Operations, under O. Reg. 245/97
Île-du-Prince-Édouard	▪ CAN/BNQ 1784-000 *dans le* Boilers and Pressure Vessels Act Regulations, PEI Reg EC234/85	▪ CSA B51-14 *dans le* Boilers and Pressure Vessels Act Regulations, PEI Reg EC234/85	Non
Québec	Non ***Note.*** *La Régie du bâtiment du Québec n'a pas encore intégré la norme CAN/BNQ 1784 dans le Code de construction, RLRQ c. B-1.1, r. 2, mais elle encourage fortement l'utilisation de la norme CAN/BNQ 1784 pour les installations à l'hydrogène (voir https://www.rbq.gouv.qc.ca/domaines-dintervention/installations-sous-pression/reglementation/installations-a-lhydrogene-exigences-specifiques/)*	▪ CSA B51 *dans le* Règlement sur les installations sous pression, RLRQ c. B-1.1, r. 6,1 ▪ CSA B51 *dans le* Code de construction RLRQ, c. B-1,1, r. 2 ▪ CSA B51-M2003 *dans le* Règlement sur les normes de sécurité des véhicules routiers, RLRQ c. C-24,2, r. 32	▪ CSA Z341 *dans le* Règlement sur les licences d'exploration, de production et de stockage d'hydrocarbures et sur l'autorisation de construction ou d'utilisation d'un pipeline, RLRQ c. S-34,1, r. 3 ▪ CSA Z341 *dans le* Règlement sur les activités d'exploration, de production et de stockage d'hydrocarbures en milieu terrestre, RLRQ c. S-34,1, r. 2 ▪ CSA Z341 *dans le* Règlement sur les activités d'exploration, de production et de stockage d'hydrocarbures en milieu hydrique, RLRQ c. S-34,1, r. 1
Saskatchewan	▪ BNQ 1784-000/2007, tel que modifié de temps à autre, dans le Gas Inspection Regulations, G-3.2 Reg 1	▪ CSA B51-14 *dans le* Boiler and Pressure Vessel Regulations, 2017, B-5.1 Reg 2	Non
Yukon	Non	▪ CSA B51-14 *dans le* Design, Construction and Installation of Boilers and Pressure Vessels Regulations, O.I.C. 1980/303 ▪ CSA B51-14 *dans le* Gas Regulations, O.I.C. 1998/213	Non

Recherche du Groupe CSA

Dans le but de favoriser l'adoption de solutions normatives fondées sur le consensus afin d'accroître la sécurité et de favoriser l'innovation, le Groupe CSA soutient et effectue des recherches dans des domaines qui visent les industries nouvelles ou émergentes ainsi que sur des sujets et des questions qui touchent une vaste gamme de parties prenantes actuelles et potentielles. Les résultats de nos programmes de recherche étaieront l'élaboration de solutions normatives futures, ils offriront aux industries des directives provisoires sur la conception et l'adoption de nouvelles technologies et ils contribueront à démontrer notre engagement continu envers l'édification d'un monde meilleur, plus sécuritaire et plus durable.

GROUPE CSA[MC]

© 2024 Association canadienne de normalisation. Tous droits réservés.