

RECHERCHE SUR LES NORMES

Classification avancée de l'hydrogène :

analyse du cycle de vie et plus

août 2023

Auteurs

Bob Oliver, Ing., H2GO Canada

Al Davidson, Ing., H2GO Canada

Gupar Kaur Punia, BESc, H2GO Canada

Comité consultatif du projet

Andrei V. Tchouvelev, A.V. Tchouvelev & Associates Inc.

Giovanna Gonzales Calienes, Conseil national de recherches Canada

Alexandre Morin, Bureau de normalisation du Québec

Melanie Pinatton, Groupe CSA

Michael Leering, Groupe CSA

Dragica Jeremic Nikolic, Groupe CSA

Clause de non-responsabilité

Cette étude a été réalisée par H2GO Canada 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. H2GO Canada 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 7

2 Méthodologie 10

3 Analyse des politiques touchant la production d'hydrogène et les caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement par pays ou région 11

3.1 Canada 13

3.1.1 Règlement sur les combustibles propres 14

3.1.2 Règlement britanno-colombien sur les exigences en matière de carburants à faible teneur en carbone et renouvelables 15

3.2 États-Unis 15

3.2.1 Loi américaine sur la réduction de l'inflation de 2022 16

3.2.2 Norme relative à la production d'hydrogène propre du ministère américain de l'Énergie 17

3.2.3 Norme californienne relative aux carburants à faible teneur en carbone 17

3.3 Mexique, Amérique centrale et Amérique du Sud 17

3.4 Union européenne 18

3.4.1 Directive sur les énergies renouvelables 18

3.4.2 Directive sur la qualité des carburants 18

3.5 Royaume-Uni 18

3.6 Australie et Nouvelle-Zélande 19

3.7 Chine, Inde et Japon 19

3.8 Moyen-Orient et Afrique 20

3.9 Pacte d'action pour l'hydrogène du G7 20

4 Examen des méthodes et des modèles d'ACV pour l'IC des filières hydrogène 21

4.1 Structures de modèles d'ACV : attributionnel contre conséquentiel 21

4.1.1 Normes ISO pour l'ACV 22

4.2 Examen des modèles d'ACV utilisés par pays ou région 23

4.2.1 Les modèles GREET (États-Unis) et CA-GREET (Californie) 23

4.2.2 GHGenius (Canada) 25

4.2.3 Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles (Canada) 25

4.2.4 Outil de calcul des émissions de GES – GHG Protocol (international) 27

4.2.5 Calculateur d'émissions d'hydrogène (Royaume-Uni) et outil de modélisation de l'hydrogène (Nouvelle-Zélande) 28

4.3 Observations et retombées pour la classification de l'hydrogène 28

5 Adapter les pratiques exemplaires des systèmes d'information des consommateurs aux caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement d'hydrogène 29

5.1 Examen d'une sélection de systèmes d'information des consommateurs 30

5.1.1 Environmental Protection Agency : étiquetage de la consommation de carburant des véhicules légers (États-Unis) 30

5.1.2 Green Building Council : programme de certification LEED (États-Unis) 33

5.1.3 Tableau de la valeur nutritive et Guide alimentaire canadien 35

5.1.4 Ocean Wise et Marine Stewardship Council : programmes de produits de la mer durables 36

5.1.5 Valeur confirmée d'efficacité minimale et programme de certification 80 PLUS® 37

5.1.6 Corporation canadienne de classification cinématographique : Système canadien de classification des cassettes vidéo 38

5.1.7 Discussion 39

5.2 Systèmes émergents de certification de l'hydrogène 39

5.2.1 Certification de la garantie d'origine CertifHy™ 40

5.2.2 Norme CMS 70 (GreenHydrogen et GreenHydrogen+) de TÜV SÜD 40

5.2.3 Norme Green Hydrogen Standard de GH2 41

5.2.4 Discussion 42

6 Thèmes ressortant des entrevues avec les experts sectoriels et les parties prenantes 43

7 Recommandations 46

7.1 Faire le point sur les résultats de l'analyse du panorama 47

7.2 Conseils sur les éléments de conception d'un système de classification de l'hydrogène 47

7.2.1 Énoncé d'objectif 47

7.2.2 Méthodes d'évaluation 48

7.2.3 Objectivité et absence de biais ou de jugement 48

7.2.4 Communiquer simplement 49

7.3 Métalabellisation de la durabilité : un concept à considérer 49

7.4 Exemples illustrant les concepts du système de classification de l'hydrogène 49

Références 53

Annexe A – Guide d'entrevue 61

Sommaire

À l'échelle mondiale, la production et l'utilisation de l'hydrogène sont de plus en plus considérées comme essentielles à la réalisation des objectifs de développement durable. L'hydrogène a la capacité de répondre à la demande de chaleur, d'électricité et de transport, en émettant moins de gaz à effet de serre (GES) ainsi que d'autres polluants atmosphériques que les combustibles fossiles traditionnels et aussi en dépendant moins de ressources non renouvelables. Il peut également soutenir un nouveau développement économique et des perspectives d'emploi compatibles avec un avenir bas carbone. Cependant, la mesure dans laquelle l'hydrogène contribue à ces avantages varie considérablement en fonction de la manière dont il est produit, distribué et utilisé. De plus, les utilisateurs d'hydrogène peuvent valoriser différents aspects et effets de sa chaîne d'approvisionnement en fonction des objectifs de développement durable auxquels ils accordent la priorité (p. ex., la lutte contre les changements climatiques, la santé humaine ou l'accès à un travail décent), qui peuvent varier d'une communauté à l'autre.

Actuellement, il n'existe pas de système formel de classification des approvisionnements en hydrogène en fonction des critères de développement durable liés à leurs chaînes d'approvisionnement. L'absence d'une définition commune à laquelle les fournisseurs et les consommateurs d'hydrogène peuvent se reporter pourrait entraîner une confusion sur le marché, ce qui pourrait à son tour freiner l'adoption de systèmes à hydrogène. Cela pourrait ralentir le rythme de la décarbonation que l'utilisation de l'hydrogène pourrait autrement accélérer.

Des programmes d'identification axés sur la promotion d'approvisionnements en hydrogène à très faible intensité carbone (IC) tout au long de leur cycle de vie, de la production à la distribution au point de vente, voient le jour un peu partout dans le monde. Cependant, les exigences de certains de ces programmes excluent certaines sources d'approvisionnement d'hydrogène en fonction de leur matière première d'origine, ce qui restreint le domaine d'application des approvisionnements en hydrogène qui peuvent être utilement examinés. Des systèmes informels de code de couleur de l'hydrogène ont émergé en réponse à la demande en hydrogène liée à un ensemble plus large d'options de matières premières, mais l'imprécision inhérente et l'attribution aléatoire des couleurs dans cette approche risquent d'entraîner une confusion accrue sur le marché.

Il est essentiel de mettre au point un système formel de classification de tous les types d'hydrogène pour soutenir la croissance commerciale entre les fournisseurs et les consommateurs, tant sur le plan régional qu'international, et de contribuer à l'atteinte des objectifs de développement durable. Les outils permettant de réaliser une analyse du cycle de vie (ACV) sont bien développés et reposent sur des méthodes et des définitions normalisées. Ces normes peuvent servir de base à un nouveau système de classification. En outre, la mise en œuvre de systèmes de classification durables et efficaces dans d'autres secteurs fournit des indications sur les pratiques exemplaires en matière de transmission d'informations complexes dans des formats simplifiés.

Un système de classification de l'hydrogène accepté internationalement ne se limiterait pas à appuyer le développement du marché, mais il pourrait également compléter les politiques et règlements gouvernementaux. Dans de nombreux pays et régions à travers le monde, la promotion de l'hydrogène devient un élément central parmi les objectifs de décarbonation et de développement économique. Néanmoins, entre ces différentes instances, le soutien politique à l'hydrogène peut être soumis à diverses définitions et conditions. Un système de classification commun pourrait faciliter le respect des règles et le commerce, en particulier entre les pays et régions qui sont voisins et qui entretiennent des relations commerciales.

L'analyse panoramique réalisée pour ce rapport comprend un examen des politiques ayant une incidence sur le marché des systèmes de classification de l'hydrogène par pays ou région, un examen des méthodes d'ACV applicables aux chaînes d'approvisionnement d'hydrogène et une analyse de certains systèmes de classification et d'information des consommateurs mis au point par l'industrie et le gouvernement, et adoptés avec succès dans d'autres secteurs. Ce rapport présente également des informations recueillies auprès de parties prenantes et d'experts dans le cadre d'entrevues individuelles. Les résultats de cette analyse panoramique ont permis d'élaborer les lignes directrices suivantes pour la conception d'un système de classification de l'hydrogène :

- Le but d'un système de classification de l'hydrogène devrait être de fournir aux consommateurs d'hydrogène des informations de base sur les caractéristiques de développement durable essentielles des filières de production ;
- Les sources de données et la méthodologie d'ACV utilisées dans le cadre d'un système de classification de l'hydrogène devraient faire référence à une norme universelle dans le but de générer des valeurs d'IC cohérentes et comparables ;
- Les informations transmises dans le cadre d'un système de classification de l'hydrogène devraient être présentées de manière objective et s'appuyer sur la transparence des sources de données et des méthodes d'évaluation ;
- La communication principale relative à un système de classification de l'hydrogène se devrait d'être simple.



« Selon l'Agence internationale de l'énergie (International Energy Agency), avec une forte croissance de la demande, l'utilisation de l'hydrogène pourrait éviter jusqu'à 60 gigatonnes d'émissions de dioxyde de carbone (CO_2) entre 2021 et 2050. »

1 Introduction

Les systèmes de classification facilitent le commerce entre les fournisseurs et les consommateurs de produits et de marchandises en créant une définition unique de l'article échangé. En l'absence de systèmes de classification, une confusion peut surgir quant à la nature exacte de ce qui est produit et vendu, mais aussi quant à la manière dont cela devrait répondre aux attentes des acheteurs. L'incertitude qui en résulte peut entraver l'activité commerciale, en particulier au cours des premières phases de développement d'un nouveau marché, lorsque la confiance dans des produits et services peu familiers n'est pas encore acquise. L'hydrogène est actuellement confronté à un tel défi.

De nombreux gouvernements à travers le monde font activement la promotion de l'utilisation de l'hydrogène comme un élément important de leurs plans de lutte contre les changements climatiques. Les nations qui ont signé l'Accord de Paris se sont engagées à travailler ensemble pour empêcher une augmentation des températures mondiales de plus de deux degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels [1]. La réalisation de cet objectif nécessite une décarbonation substantielle et rapide de leurs économies respectives d'ici 2050. Selon l'Agence internationale de l'énergie (International Energy Agency), avec une forte croissance de la demande, l'utilisation de l'hydrogène pourrait éviter jusqu'à 60 gigatonnes d'émissions de dioxyde de carbone (CO_2) entre 2021 et 2050, ce qui représente 6 % de la réduction cumulative totale des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans son scénario de carboneutralité [2]. Le Conseil de l'hydrogène (Hydrogen Council), une initiative menée par les PDG de près de 150 multinationales, estime que l'hydrogène peut réduire environ 80 gigatonnes de CO_2 d'ici 2050 et 730 mégatonnes d'ici 2030, ce qui est plus que le total combiné des émissions annuelles de CO_2 du Royaume-Uni, de la France et de la Belgique [3].

Le succès commercial de l'hydrogène est une question d'importance mondiale, et sa contribution à la stabilisation du climat dépend de l'accélération de son adoption par le marché. Toutefois, il n'existe actuellement aucun moyen simple de distinguer les différentes sources d'hydrogène en fonction des caractéristiques de développement durable, y compris la lutte contre les changements climatiques. Il s'agit d'un problème, car le facteur clé de l'intérêt du marché pour l'hydrogène est sa capacité à faire progresser les indicateurs de changement environnementaux, sociaux et économiques de manière tangible et significative.

La plupart des émissions de GES associées aux combustibles fossiles se produisent à la toute fin de leur chaîne d'approvisionnement, généralement lorsque les combustibles sont brûlés. En revanche, la combustion de l'hydrogène ne génère pas (ou très peu) d'émissions contribuant aux changements climatiques ou à la pollution atmosphérique. La plupart des émissions associées à l'hydrogène se produisent dans les premiers maillons de la chaîne d'approvisionnement, lors de sa production, de son conditionnement et de sa livraison sur le marché.

Si l'hydrogène était produit d'une seule manière, en utilisant systématiquement un seul type de matière première et de processus, alors les émissions se produisant en amont de son point d'utilisation seraient d'une ampleur similaire, quel que soit le système d'approvisionnement. Ceci est comparable à la production d'essence, de diesel et de carburants pour l'aviation, qui sont pour la plupart dérivés du pétrole brut par l'application de principes communs de raffinage. Cependant, l'hydrogène peut être obtenu à partir d'un large choix de matières premières, renouvelables ou non, issues de technologies de production radicalement différentes qui reposent sur différentes formes d'énergie, notamment l'électricité, la chaleur, la lumière du soleil ou une combinaison de ces éléments. Les émissions de GES associées à chaque procédé de production d'hydrogène peuvent différer d'un ordre de grandeur à un autre [4].

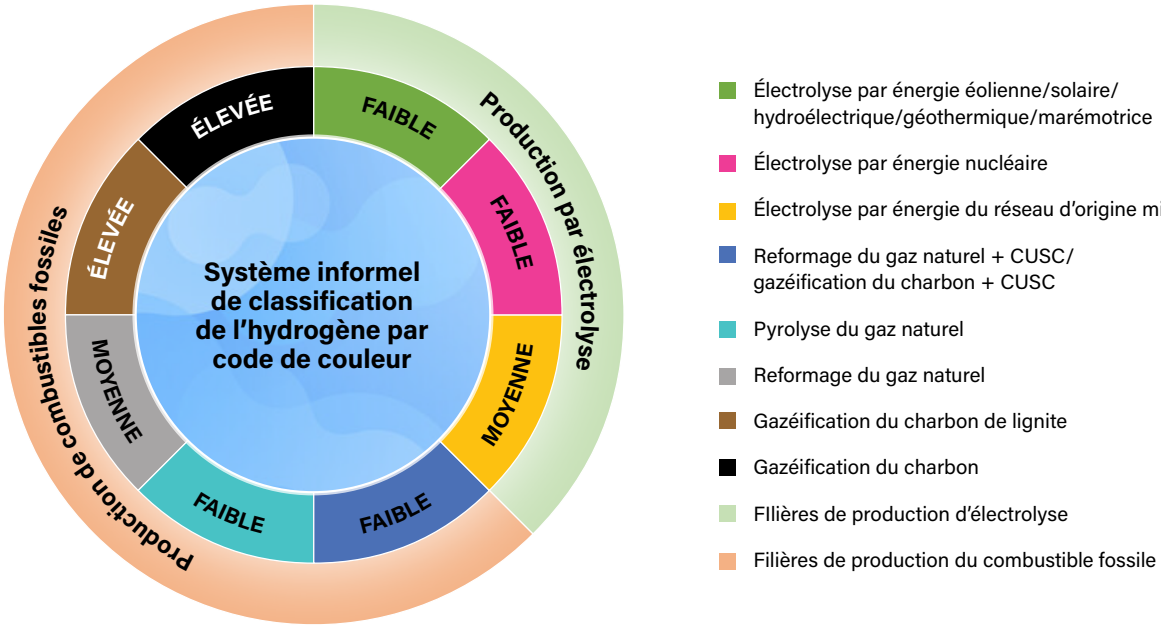
Sans informations sur les émissions qui se produisent en amont du point d'utilisation, les consommateurs d'hydrogène ne peuvent que supposer dans quelle mesure leur achat contribue réellement à la réalisation de leurs objectifs de décarbonation. En effet, la demande du marché pour l'« énergie verte » augmente, comme le montre l'émergence de détaillants en énergie, tels que Bullfrog Power au Canada, qui se spécialisent dans la distribution d'énergie renouvelable aux consommateurs d'électricité raccordés au réseau [5]. Les acheteurs reçoivent des certificats représentant l'apport d'énergie éolienne, solaire et hydraulique au réseau. Cela laisse entendre que les clients se soucient des effets de leurs choix énergétiques en amont du point d'utilisation. De manière plus générale, la production d'électricité à partir du charbon au Canada est actuellement régie par le Règlement sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone — secteur de l'électricité thermique au charbon (DORS/2012-167) [6]. Étant donné que le public se préoccupe des sources d'énergie utilisées pour produire l'électricité, on s'attend à ce que les sources d'hydrogène fassent l'objet d'un examen tout aussi minutieux.

La nécessité de différencier les approvisionnements en hydrogène en fonction de la source des matières premières et du procédé de production a déjà conduit à la création d'un système de classification informel qui utilise des couleurs pour distinguer les types de production d'hydrogène. Toutefois, ce système de code de couleur n'a pas été formellement normalisé et peut varier d'un secteur ou d'un marché à l'autre. Une interprétation courante des codes de couleur est la suivante [7] :

- **Hydrogène vert :** hydrogène produit par électrolyse à partir d'électricité renouvelable (c.-à-d. énergie verte). La couleur verte fait également parfois référence à l'utilisation de la biomasse comme source renouvelable d'hydrogène, extrait par gazéification, ou à l'électrolyse de l'eau par le biais d'une centrale électrique alimentée par la biomasse.
- **Hydrogène rose :** hydrogène produit par électrolyse de l'eau en utilisant l'énergie nucléaire.
- **Hydrogène jaune :** hydrogène produit par électrolyse de l'eau en utilisant l'électricité fournie par des réseaux de transport d'énergie électrique alimentés par un mélange de différentes sources d'énergie.
- **Hydrogène bleu :** hydrogène produit à partir de gaz naturel par des procédés de reformage du méthane (p. ex., reformage du méthane à la vapeur, reformage autothermique), où la plus grande partie du CO_2 sous-produit ne pénètre pas dans l'atmosphère grâce à des méthodes de captage, d'utilisation et de stockage du carbone (CUSC).
- **Hydrogène turquoise :** hydrogène produit à partir de gaz naturel à l'aide de méthodes et de technologies de pyrolyse, par lesquelles le carbone du méthane se précipite sous la forme de noir de carbone solide.
- **Hydrogène gris :** identique à l'hydrogène bleu, mais sans CUSC. Malgré la libération de CO_2 lors de sa production, l'hydrogène gris est associé à moins d'émissions de GES sur l'ensemble de son cycle de vie que le diesel.
- **Hydrogène brun :** hydrogène produit par gazéification du charbon de lignite, qui contient des concentrations d'hydrogène plus élevées que les catégories de charbon plus pures.
- **Hydrogène noir :** hydrogène produit par gazéification du charbon contenant des concentrations d'hydrogène inférieures à celles du charbon de lignite. Le traitement de cette matière première libère généralement la plus grande quantité de CO_2 par unité d'hydrogène produite.

Les définitions ci-dessus sont présentées visuellement dans la figure 1.

Figure 1 : Système informel de classification de l'hydrogène par code de couleur. Les désignations « faible », « moyenne » et « élevée » représentent l'intensité en carbone de la couleur de l'hydrogène. Selon les définitions des couleurs à la référence [7].



Comme le montre la figure 1, les codes de couleur ne correspondent pas à de l'hydrogène issu de matières premières uniques. Par exemple, l'hydrogène bleu et l'hydrogène turquoise représentent tous deux le gaz naturel comme matière première, mais sont associés à différents niveaux d'émissions de GES. De plus, l'hydrogène vert et l'hydrogène rose s'appuient sur des sources d'apport d'énergie électrique différentes, mais présentent des niveaux d'émissions de GES tout aussi faibles l'un que l'autre.

Le fait que ce système de classification de l'hydrogène par code de couleur existe, même de manière informelle, démontre que les fournisseurs et les consommateurs souhaitent différencier l'hydrogène par d'autres critères que les émissions de GES seules. Il existe déjà des méthodes normalisées pour déterminer les émissions de GES des combustibles et des matériaux sur l'ensemble de leur cycle de vie (c.-à-d. les émissions survenant tout au long de la chaîne d'approvisionnement du produit et à son point d'utilisation), y compris l'hydrogène, dont l'utilisation est largement répandue. Au-delà des émissions de GES, le marché semble valoriser d'autres caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement de l'hydrogène, ce qui soulève les questions suivantes :

- Quelles sont les autres caractéristiques des chaînes d'approvisionnement qui comptent dans les nouveaux marchés de l'hydrogène au-delà des émissions de GES ?
- Pourquoi les matières premières sont-elles suffisamment importantes pour définir l'hydrogène par couleur ?
- Pourquoi un système de classification par codes de couleur est-il apparu, au lieu de descriptions plus détaillées susceptibles de transmettre davantage d'informations avec plus de précision ?

Ce rapport présente les résultats d'une enquête guidée par ces questions. Il propose une analyse panoramique façonnée par le marché émergent de l'hydrogène en tant que carburant et agent de décarbonation, et examine les besoins émanant des fournisseurs et des consommateurs pour une méthode plus efficace de classification de l'hydrogène. Enfin, il fournit des indications sur l'élaboration d'un système de classification de l'hydrogène, en s'appuyant sur les pratiques exemplaires en matière d'analyse du cycle de vie (ACV) et de systèmes d'information des consommateurs.

En termes simples, les caractéristiques de l'hydrogène livré à un client sont celles de sa chaîne d'approvisionnement. Sans un système formel de classification de l'hydrogène qui exprime facilement les caractéristiques de développement durable de sa chaîne d'approvisionnement, l'essor de nouveaux marchés de l'hydrogène pourrait être entravé par l'incertitude et la confusion quant à ce qui est précisément échangé. Cela pourrait mettre en péril les objectifs mondiaux ambitieux de décarbonation. L'élaboration d'un système de classification formel pour l'hydrogène peut mettre en lumière, pour les producteurs et les consommateurs, les caractéristiques les plus importantes pour le marché, ce qui peut permettre à l'échange commercial d'hydrogène de se développer sans entrave.

2 Méthodologie

L'objectif de ce rapport est de contribuer à l'élaboration d'un système de classification permettant de distinguer l'hydrogène en fonction des émissions de GES associées à sa filière de production, ainsi que d'autres caractéristiques importantes en matière de développement durable du point de vue de l'utilisateur. Idéalement, un tel système serait suffisamment précis et complet pour faciliter des comparaisons significatives entre les différentes options d'approvisionnement d'hydrogène, tout en tenant compte du besoin de simplicité et de rapidité dans la prise de décision des consommateurs et des parties prenantes.

Conformément à cet objectif, quatre éléments distincts de recherche et d'analyse ont été retenus :

- Une analyse des **politiques existantes et en cours d'élaboration concernant l'intensité carbone (IC)** et les caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement et des approvisionnements d'hydrogène par pays ou région ;
- Un examen des **méthodes courantes d'estimation de l'IC** (c.-à-d. une mesure des émissions de GES associées à la chaîne d'approvisionnement d'un produit) de l'hydrogène produit et livré aux consommateurs, ainsi que des différences entre ces méthodes ;
- Une analyse des **pratiques exemplaires en matière de systèmes d'information des consommateurs** et d'étiquetage des produits concernant la santé humaine et les caractéristiques environnementales, y compris un examen des programmes de certification de l'hydrogène ;
- Une synthèse basée sur les résultats de la recherche concernant des critères, des principes et des concepts préliminaires qui devraient être pris en compte dans l'élaboration de normes industrielles pour les systèmes de classification de l'hydrogène.

Les informations ont été recueillies en trois phases au moyen de méthodes de recherche secondaires et primaires :

- *Recherche secondaire* (phase 1). Il s'agissait de procéder à un examen approfondi des documents publiés, des rapports accessibles au public et des communications gouvernementales sur les sujets susmentionnés (politique axée sur l'IC, méthodes d'ACV pour l'hydrogène et systèmes d'information des consommateurs). Plus de 70 sources d'information ont été examinées et sont incluses dans la section *Références*.
- *Recherche primaire* (phase 2). Cette phase sous-entendait un contact direct avec les parties prenantes et les experts du secteur de l'hydrogène. Les principaux résultats de la recherche secondaire de la phase 1 ont servi de base (et ont été intégrés) à un guide d'entrevue, qui a été distribué à un large éventail de personnes et d'organisations, dont la plupart ont accepté d'être interrogées. Quinze personnes ont donc accepté l'invitation, chacune représentant l'un des aspects suivants de la chaîne d'approvisionnement de l'hydrogène et des domaines d'expertise :
  - Producteurs et vendeurs d'hydrogène ;
  - Distributeurs d'hydrogène ;
  - Utilisateurs d'hydrogène ;
  - Fabricants d'équipements et de systèmes à hydrogène ;
  - Intervenants gouvernementaux ;
  - Associations de l'industrie de l'hydrogène ;
  - Développeurs et utilisateurs de modèles d'ACV.

Collectivement, les personnes interrogées ont fourni un éventail international de perspectives en participant aux entrevues depuis le Canada, les États-Unis et l'Europe ; certaines ayant un intérêt actif dans chacune de ces régions, ainsi que dans les marchés asiatiques.

Le guide d'entrevue est fourni à l'annexe A. Il comprend 20 points de discussion sur les 3 thèmes suivants :

- L'IC des chaînes d'approvisionnement d'hydrogène et des modèles d'ACV ;
- Au-delà de l'IC, les autres caractéristiques importantes des chaînes d'approvisionnement d'hydrogène ;
- Les systèmes d'information des consommateurs.

Le projet s'est achevé par la phase 3, au cours de laquelle l'équipe de projet a examiné les résultats des recherches secondaires et primaires et a formulé une série de recommandations pour guider le développement d'un système de classification de l'hydrogène si l'industrie décidait de répondre au besoin et à la possibilité de le faire. En perspective, un système de classification de l'hydrogène issu de ce processus pourrait être transformé en norme s'il est adopté par les producteurs et les utilisateurs comme un outil efficace pour accélérer le commerce et soutenir la croissance de nouveaux marchés de l'hydrogène dans le monde entier.

3 Analyse des politiques touchant la production d'hydrogène et les caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement par pays ou région

L'analyse par pays ou région menée dans le cadre de la phase 1 du présent rapport a révélé qu'une série de politiques a déjà été mise en place ou est envisagée dans des pays ou des régions du monde entier pour promouvoir une transition de la dépendance aux combustibles fossiles vers l'adoption d'autres solutions présentant l'une des caractéristiques suivantes ou les deux à la fois :

- Elles favorisent la réalisation des objectifs de développement durable, qui peuvent être de nature économique, sociale et environnementale ;
- Elles produisent moins d'émissions de GES que le carburant remplacé, contribuant ainsi expressément aux objectifs de décarbonation.

La portée des objectifs de développement durable repérés dans le cadre d'une politique donnée peut être très large. En 2015, l'Organisation des Nations unies (ONU) a défini 17 objectifs interconnectés, les objectifs de développement durable de l'ONU, qui sont présentés à la figure 2 et couvrent les domaines de la pauvreté, de la justice et de l'égalité ainsi que de la lutte contre les changements climatiques [8].

Figure 2 : Objectifs de développement durable de l'ONU



Contrairement à l'étendue des questions couvertes par les objectifs de développement durable de l'ONU, la promotion des carburants de remplacement tend à se concentrer plus précisément sur la lutte contre les changements climatiques, bien qu'elle puisse également stimuler la croissance économique et créer de nouvelles perspectives d'emploi. La réalisation de la décarbonation dans le contexte des carburants ou d'autres marchandises dépend généralement d'une ou des deux stratégies suivantes :

- **Changement de carburant :** un carburant (ou des carburants) de remplacement particulier est déterminé et, sur la base de caractéristiques retenues, le gouvernement oblige son utilisation ou offre une incitation à l'utiliser. En général, la caractéristique qui présente le plus d'intérêt est la réduction des GES associés à la production ou à l'utilisation finale du carburant. Un exemple est l'obligation de mélanger les carburants renouvelables aux carburants fossiles, comme le taux de mélange réglementé de 5 % de bioéthanol dans l'essence vendue dans les stations-service au Canada [9]. Un autre exemple consiste en une incitation économique à soutenir la conversion des moteurs à essence des véhicules pour qu'ils fonctionnent au gaz naturel [10]. Une obligation ou une incitation à l'achat d'un véhicule électrique (VE) est un autre type de politique de changement de carburant qui réduit les émissions de GES (de manière substantielle si l'électricité provient de sources d'énergie à émissions faibles ou nulles).
- **Réduction de l'IC :** l'ensemble des émissions de GES associées à la production, à la distribution et à l'utilisation d'une unité d'un carburant donné (souvent mesuré par le contenu énergétique) est considéré comme l'IC de ce carburant. Des règlements ou des mesures d'incitation peuvent être utilisés pour encourager une réduction de l'IC des carburants sur une période définie (généralement plusieurs années). Pour offrir une certaine souplesse dans le respect d'une obligation, les parties prenantes sont généralement autorisées à :
  - réduire l'IC du carburant existant vendu dans un pays ou une région ;
  - ajouter des carburants ayant une plus faible IC à un mélange de carburants vendus dans un pays ou une région, réduisant ainsi l'IC *moyenne* globale de tous les carburants vendus dans ce pays ou cette région.

À titre d'exemple, un détaillant de carburant peut ajouter des stations de recharge pour VE sur son aire de vente. L'IC plus faible de l'électricité vendue aux clients de VE compense l'IC plus élevée de l'essence vendue. Parallèlement, un distributeur de gaz naturel peut acheter du biogaz pour le mélanger à son approvisionnement, réduisant ainsi l'IC du combustible de chauffage livré aux clients (le méthane issu du biogaz est le même que celui issu du gaz naturel, sauf qu'il est d'origine biogène et non fossile). De tels cadres politiques permettent également la vente de crédits par d'autres producteurs de carburants à faible teneur en carbone à des fournisseurs de carburants réglementés et traditionnels afin de les aider à se conformer à l'obligation de respecter une IC déterminée.

L'hydrogène peut être impliqué dans l'une ou l'autre des stratégies décrites ci-dessus. Une politique peut obliger directement l'utilisation de l'hydrogène dans certaines applications de remplacement de carburant ou inciter indirectement à l'adoption de l'hydrogène. Dans la section 4, les méthodes de calcul des valeurs de l'IC (en particulier pour l'hydrogène) seront examinées de manière plus approfondie.

Les termes suivants sont fréquemment utilisés lors de la discussion sur la décarbonation et le calcul de l'IC dans le contexte des carburants :

- **Cycle de vie :** cycle complet d'un produit commençant par sa **production**, qui comprend la collecte des matières premières et brutes nécessaires à sa synthèse et à sa fabrication, en passant par sa **distribution**, qui comprend le transport des installations de production aux utilisateurs, et se terminant par son **utilisation**, qui comprend la production de tout déchet et sous-produit de son utilisation.
- **Carburant à faible teneur en carbone :** carburant qui, au cours de son cycle de vie, produit moins d'émissions de GES que le carburant qu'il remplace. L'IC du cycle de vie d'un carburant est la mesure typique par laquelle un carburant est comparé et est désigné comme étant à faible teneur en carbone ou non.

- **Filière :** série unique de maillons de la chaîne d'approvisionnement, qui caractérisent le carburant livré au client en fonction de son procédé de production. Le pétrole brut raffiné en diesel destiné à être utilisé dans un camion est un exemple de filière. La biomasse transformée en gaz de synthèse qui est ensuite condensé et hydrotraité pour produire du diesel synthétique pour le même camion en est un autre. Les deux carburants sont chimiquement équivalents, mais ils sont issus de filières différentes et ont des IC différentes en raison des émissions nettes produites au cours de leur cycle de vie respectif.
- **Modèles d'ACV :** modèle numérique qui quantifie une ou plusieurs caractéristiques distinctes d'une filière. Certaines méthodes d'ACV (et certains modèles d'ACV particuliers) sont référencées dans les politiques comme un outil prescrit pour calculer l'IC des filières de carburants. Par exemple, le règlement relatif à la norme de carburant à faible teneur en carbone de la Californie (LCFS) exige l'utilisation du modèle d'ACV CA-GREET3.0 pour mesurer la conformité [11], et le modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles (modèle d'ACV des combustibles) est considéré comme un calculateur d'IC à utiliser dans le cadre du *Règlement sur les combustibles propres du Canada* [12]. Dans les deux cas, les organismes de réglementation administrent les modèles d'ACV et veillent à l'actualisation des saisies de données.

À titre de comparaison, l'IC de l'essence et du diesel vendus en Amérique du Nord est souvent calculée pour être approximativement égale à 100 grammes d'équivalent de dioxyde de carbone par mégajoule (gCO_2e/MJ), alors que l'hydrogène produit par électrolyse à partir d'énergie renouvelable passive, telle que les éoliennes, avoisinerait 0 gCO_2e/MJ [13]. Si le calcul du cycle de vie englobe la fabrication, l'installation et l'entretien des turbines, l'IC peut être supérieure de quelques grammes, ce dont la plupart des modèles ne tiennent pas compte, sortant ainsi des limites de l'analyse. Ces détails sont davantage explorés à la section 4.

Les sections 3.1 à 3.8 résument les politiques les plus pertinentes pour l'hydrogène en tant que filière de décarbonation des systèmes énergétiques et, dans certains cas, en tant qu'agent chimique utilisé pour décarboner les processus de fabrication. Ces politiques ont été déterminées grâce à une analyse des pays ou des régions ci-dessous, qui ont fait des déclarations publiques pour promouvoir l'hydrogène dans le cadre de leur développement durable ou de leurs plans de lutte contre les changements climatiques :

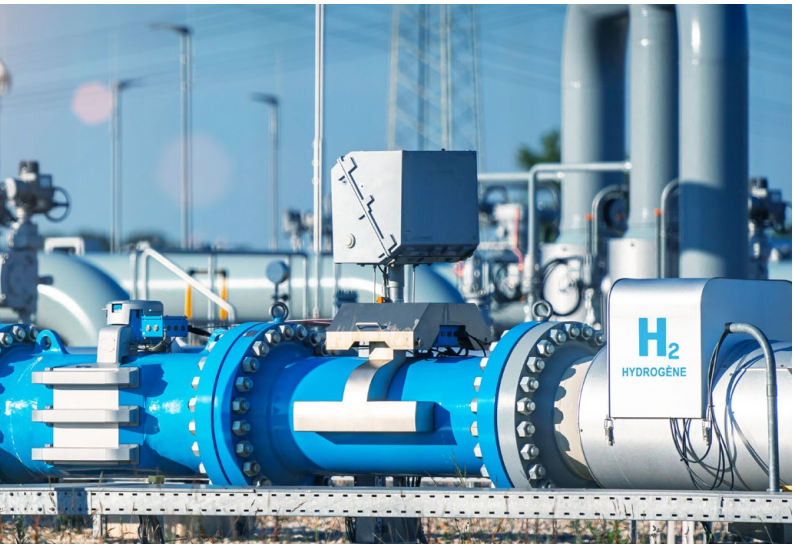
- Canada
- États-Unis
- Mexique, Amérique centrale et Amérique du Sud
- Union européenne
- Australie et Nouvelle-Zélande
- Chine, Inde et Japon
- Moyen-Orient et Afrique

L'analyse par pays ou par région a été menée autour de trois questions générales de recherche :

- Quel est l'objectif déclaré d'un moyen d'action déterminé (p. ex., un règlement, un code ou une norme) au sein d'un pays ou d'une région donnée, et l'hydrogène est-il impliqué directement ou indirectement ?
- Comment fonctionnent les moyens d'action ? En d'autres termes, qui est visé ou obligé de se conformer, comment la conformité est-elle assurée, et des modèles ou des outils d'ACV particuliers sont-ils référencés ?
- Les moyens d'action prévoient-ils des dispositions particulières pour l'hydrogène ?

3.1 Canada

Le gouvernement fédéral et plusieurs provinces canadiennes ont produit des documents sur la vision et la stratégie de l'hydrogène qui évaluent globalement le potentiel de nouveaux systèmes à hydrogène à contribuer à la décarbonation et à générer de nouvelles perspectives économiques. Certains comprennent des cibles ambitieuses, mais aucun n'oblige les parties à



« À part l'IC, aucune politique au Canada ne fait la promotion ou la limitation de l'hydrogène par rapport aux caractéristiques de sa chaîne d'approvisionnement. »

entreprendre des initiatives en matière d'hydrogène. Par conséquent, il n'existe aucune exigence réglementaire qui fait expressément la promotion de la production ou de l'utilisation de l'hydrogène au Canada, mais il existe des cadres réglementaires selon lesquels l'hydrogène, ainsi que d'autres carburants à faible teneur en carbone, est encouragé. En vertu de ces réglementations, plus l'IC de la chaîne d'approvisionnement est basse, plus l'hydrogène a de valeur comme moyen pour s'y conformer. À part l'IC, aucune politique au Canada ne fait la promotion ou la limitation de l'hydrogène par rapport aux caractéristiques de sa chaîne d'approvisionnement.

3.1.1 Règlement sur les combustibles propres

Le *Règlement sur les combustibles* propres du Canada (DORS/2022-140), également connu comme la norme sur les carburants propres, a été élaboré pour soutenir les objectifs du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques, qui a été adopté en 2015 par le gouvernement fédéral et la plupart des provinces et territoires [14]. Le prix du carbone est un élément central du cadre, étant considéré comme nécessaire pour faire respecter la promesse du Canada en vertu de l'Accord de Paris de réduire ses émissions de GES de 40 % à 45 % en dessous des niveaux de 2005 d'ici 2030. Cependant, le barème de prix proposé pour le carbone n'était pas assez contraignant pour permettre une telle réduction des sources d'émissions produites, comme les véhicules. Une norme sur les carburants propres a donc été proposée pour réduire progressivement, sur la base d'une ACV, l'IC de tous les carburants fournis aux utilisateurs au Canada [15].

Après une période de consultation et d'élaboration réglementaire, le *Règlement sur les combustibles propres* [16] a été mis en œuvre en 2022.

Le règlement fait référence à un modèle d'ACV développé par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), appelé le Modèle d'analyse du cycle de vie (ACV) des combustibles [17], qui est mis à la disposition du public gratuitement. Il contient des données qui permettent de générer des estimations de l'IC pour une série de filières de carburants, y compris l'hydrogène. Cela permet aux utilisateurs de sélectionner une liste prédéterminée de valeurs d'IC correspondant à leur carburant ou d'utiliser leurs propres saisies de données afin d'évaluer une filière de carburant intéressante.

En vertu du règlement, la limite permise concernant l'IC des carburants vendus par les parties visées par l'obligation au Canada diminue chaque année (c.-à-d. que la pratique devient progressivement plus stricte au fil du temps). Actuellement, le règlement exige que les niveaux d'IC des carburants produits ou importés pour être vendus au Canada par les fournisseurs soient inférieurs d'au moins 14 gCO_2e/MJ à ceux de 2016. Les fournisseurs de combustibles fossiles devraient réduire l'IC moyenne de leurs produits en améliorant l'efficacité de la production, en augmentant les mélanges de combustibles renouvelables et en utilisant davantage de matières premières renouvelables dans leurs procédés de raffinage. Toutefois, à terme, les règlements devraient imposer des transitions majeures vers des carburants de remplacement dont les niveaux d'IC sont de plus en plus faibles.

Les fournisseurs de carburants dont l'IC est inférieure à la limite réglementaire peuvent s'inscrire afin d'obtenir des crédits échangeables avec tout fournisseur dépassant le seuil, leur permettant ainsi de se conformer à la norme au cours d'une année donnée. Ce mécanisme d'échange de crédits devrait favoriser le développement de nouveaux carburants propres. On s'attend à ce que la plupart des filières hydrogène soient soutenues dans le cadre des régimes de conformité décrits ci-dessus, de même que l'électricité à faible teneur en carbone et les carburants synthétiques (provenant de la biomasse et d'origine non biologique).

3.1.2 Règlement britanno-colombien sur les exigences en matière de carburants à faible teneur en carbone et renouvelables

La Colombie-Britannique a été la première province à établir une limite pour l'IC des carburants vendus par les producteurs et les importateurs lorsqu'elle a mis en œuvre en 2010 le règlement sur les exigences en matière de carburants à faible teneur en carbone et renouvelables (Renewable and Low Carbon Fuel Requirements Regulation [BC Reg. 394/2008]). Cette réglementation a servi de modèle au *Règlement sur les combustibles propres* du Canada et fonctionne de manière similaire à bien des égards. En 2023, le règlement a été modifié, et le niveau exigé pour la réduction de l'IC a été fixé à 30 % d'ici 2030 par rapport à la moyenne antérieure à la réglementation, pour atteindre respectivement 66 et 62 gCO_2e/MJ environ pour le diesel et l'essence [18].

Le règlement de la Colombie-Britannique est lui-même basé sur la norme relative au carburant à faible teneur en carbone de la Californie (LCFS), qui a été élaborée en 2009 et qui est examinée à la section 3.2.3 [19].

Les stratégies de mise en conformité prévues par le règlement de la Colombie-Britannique sont les mêmes que celles prévues par le *Règlement sur les combustibles propres* du Canada, y compris l'échange de crédits. Néanmoins, le règlement de la Colombie-Britannique permet au gouvernement d'attribuer un nombre limité de crédits à des projets spéciaux qui contribuent à l'objectif de la réglementation, qui est de décarboner l'utilisation de l'énergie dans les transports au sein de la province. Le transport contribue le plus aux émissions de GES de la Colombie-Britannique, et le développement de nouvelles chaînes d'approvisionnement de carburants à faible teneur en carbone est une priorité provinciale. L'attribution de crédits ayant une valeur marchande aux fournisseurs de carburants réglementés a contribué à financer le développement de systèmes de carburants propres avancés, y compris l'infrastructure de l'hydrogène.

En plus de réglementer l'IC de l'approvisionnement de carburant en Colombie-Britannique, le règlement fixe des niveaux minimums de contenu renouvelable de 4 % et 5 % pour le diesel et l'essence, respectivement. Cela aide à maintenir un marché pour les carburants biologiques et renouvelables, comme le biodiesel et l'éthanol.

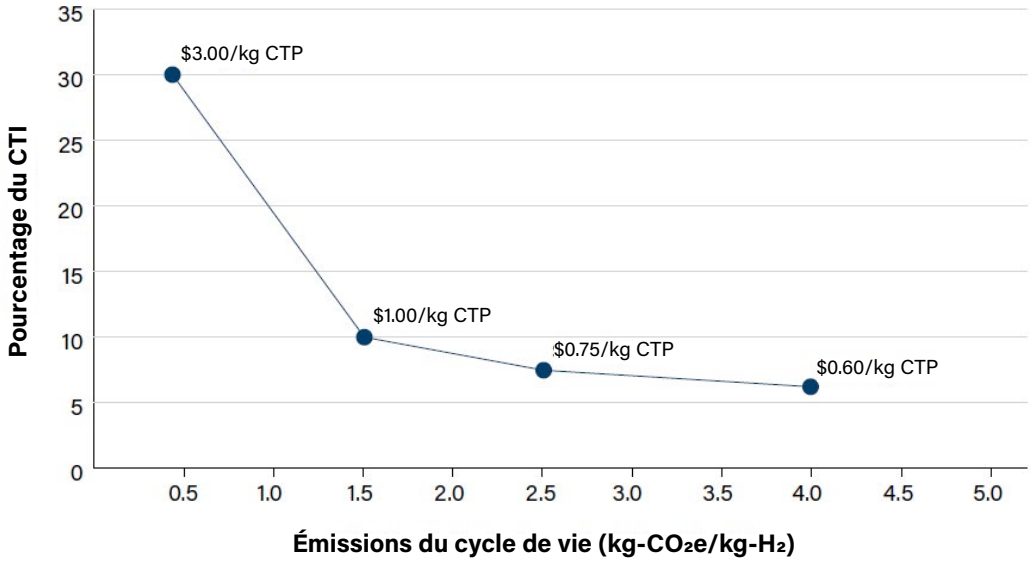
Le règlement de la Colombie-Britannique prescrit l'utilisation du modèle d'ACV GHGenius v4.03 [20], qui est antérieur au modèle d'ACV des combustibles du gouvernement fédéral, si bien qu'il peut y avoir quelques différences mineures dans les estimations finales de l'IC. Cela met en évidence le problème des règlements différents concernant les niveaux d'IC dans les carburants, qui utilisent divers modèles variés dans divers pays ou régions. Toutefois, si les méthodes de modélisation d'ACV sont cohérentes, les différences devraient rester mineures.

Enfin, à l'instar du *Règlement sur les combustibles propres* du Canada, la réglementation de la Colombie-Britannique considère certains produits à base d'hydrogène comme des combustibles à faible teneur en carbone.

3.2 États-Unis

Aux États-Unis, la politique menée sur le plan fédéral et dans certains États (comme la Californie) apporte un soutien direct et indirect à l'hydrogène sur la base de l'IC de l'approvisionnement, par le truchement de règlements et d'incitations économiques. Les politiques les plus influentes sont décrites aux sections 3.2.1. à 3.2.3.

Figure 3 : Barème de crédit de taxe sur les intrants (CTI) et de crédit de taxe sur la production (CTP) de la loi sur la réduction de l'inflation de 2022.



3.2.1 Loi américaine sur la réduction de l'inflation de 2022

La loi américaine sur la réduction de l'inflation de 2022 (Inflation Reduction Act of 2022 [H.R. 5376]) autorise des dépenses fédérales de près de 400 milliards de dollars américains en matière d'énergie et de changements climatiques sur une période de dix ans, et représente la plus importante affectation financière jamais prévue dans la lutte contre les changements climatiques [21]. Cette réglementation associe un large éventail de crédits d'impôt pour les énergies propres en un seul texte législatif, y compris une subvention pour la production d'hydrogène propre qui s'échelonne en fonction de l'IC de la filière.

Comme le montre la figure 3, l'incitation peut être réalisée par le producteur d'hydrogène sous la forme d'un crédit de taxe sur les intrants (CTI) ou d'un crédit de taxe sur la production (CTP) [22]. Le CTI subventionne les dépenses d'investissement dans la construction de nouvelles installations de production d'hydrogène, tandis que le CTP subventionne le coût de la production d'hydrogène. Les deux options sont à la disposition des producteurs et chacune favorise différentes situations, mais la valeur de la subvention implicite est censée être uniforme.

Les émissions de GES du cycle de vie de l'hydrogène produit déterminent le montant de la prime incitative. En règle générale, l'électrolyse alimentée en grande partie par de l'énergie renouvelable ou nucléaire pourrait bénéficier d'un CTP de 3,00 $/kg, tout comme le reformage du méthane naturel combiné à une méthode de CUSC de la quasi-totalité du CO_2 sous-produit. Respectivement, cela correspondrait à de l'hydrogène vert, rose ou bleu, selon le schéma de couleurs informel décrit à la section 1. Cette mesure incitative peut être cumulée avec d'autres mesures prévues par la loi sur la réduction de l'inflation, notamment les mesures incitatives en faveur de l'énergie renouvelable et de méthodes de CUSC, ce qui signifie qu'une initiative en faveur de l'hydrogène pourrait bénéficier d'un soutien supplémentaire si sa chaîne d'approvisionnement comprend ces éléments.

Notamment, la loi sur la réduction de l'inflation exige également que les bénéficiaires de la subvention respectent les exigences en matière de salaire et d'apprentissage, conformément aux heures et aux taux déterminés par le secrétaire au travail des États-Unis. Cela montre qu'une des caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement n'est pas axée sur la lutte contre les changements climatiques, mais sur les résultats liés à l'emploi et au développement économique local.

3.2.2 Norme relative à la production d'hydrogène propre du ministère américain de l'Énergie

Le ministère américain de l'Énergie a publié un document d'orientation à propos de la norme relative à la production d'hydrogène propre (Clean Hydrogen Production Standard [CHPS]) [23], qui a été élaborée pour soutenir la mise en œuvre de la loi sur l'investissement dans les infrastructures et l'emploi de 2021 (Infrastructure Investment and Jobs Act of 2021 [H.R. 3684]). La loi H.R. 3684 a pour objectif général de promouvoir l'hydrogène produit à partir de méthodes de CUSC de combustibles fossiles, de carburants vecteurs d'hydrogène (y compris l'éthanol et le méthanol), de ressources énergétiques renouvelables (y compris la biomasse) et d'énergie nucléaire. La norme CHPS établit prospectivement 4,0 $kgCO_2e/kgH_2$ (c.-à-d. par kilogramme d'hydrogène produit) comme seuil supérieur pour la production d'hydrogène afin de bénéficier d'une aide au titre de la loi, et définit l'hydrogène propre comme ayant une IC inférieure à 4,0 $kgCO_2e/kgH_2$. Pour le calcul de l'IC, on recommande d'utiliser le modèle GREET (Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Technologies) du laboratoire national d'Argonne (décrit à la section 4.2.1).

Il convient de souligner que dans la loi sur la réduction de l'inflation, comme dans la norme CHPS, l'IC de l'hydrogène ne concerne que la production de l'hydrogène et non les effets de sa distribution ou de son utilisation. La formulation utilisée pour définir cette limite du système est « du puits à la porte » (voir la figure 7 au point 7.2.2).

3.2.3 Norme californienne relative aux carburants à faible teneur en carbone

La norme californienne LCFS (Low Carbon Fuel Standard) a été mise en œuvre en même temps que le règlement sur les exigences en matière de carburants à faible teneur en carbone et renouvelables de la Colombie-Britannique, et ils présentent de nombreuses similitudes. La norme LCFS exige une réduction de l'IC des carburants utilisés dans les transports en Californie de 20 % d'ici 2030, par rapport à l'année de référence 2010, avec des objectifs réglementés fixés pour chaque année et qui deviennent progressivement plus stricts. L'objectif de la norme LCFS est de soutenir les objectifs globaux en matière de changements climatiques définis dans le projet de loi 32 de l'assemblée californienne (à savoir une réduction de 40 % des émissions de GES d'ici 2030 par rapport aux niveaux de 1990) [24].

La norme LCFS prescrit le modèle d'ACV CA-GREET3.0 [11], qui permet aux parties prenantes de calculer et de soumettre leurs valeurs d'IC pour les carburants au bureau californien des ressources en air (California Air Resources Board), y compris la norme LCFS, ou de choisir parmi une liste de valeurs d'IC par défaut pour les filières de carburants courantes. L'hydrogène fait partie des filières de carburants par défaut. Par rapport aux valeurs de référence du diesel et de l'essence, les valeurs d'IC de l'hydrogène vont d'un niveau légèrement inférieur à un niveau net négatif [25]. Les valeurs nettes négatives de l'IC correspondent à des sources biogènes comme l'hydrogène dérivé de déchets, ce qui indique que la production d'hydrogène est associée à des réductions d'émissions de GES plus importantes que celles du carburant qu'il remplace.

Comme les règlements basés sur l'IC au Canada, la norme LCFS prend en compte l'ensemble du cycle de vie du carburant, y compris la production, la distribution et l'utilisation.

3.3 Mexique, Amérique centrale et Amérique du Sud

Les gouvernements nationaux du Mexique, d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud reconnaissent généralement que l'hydrogène est à la fois une filière à faibles émissions de carbone et une perspective économique. Les gouvernements du Mexique, du Costa Rica, du Panama et de l'Argentine en particulier ont reconnu l'importance stratégique de l'hydrogène. Les communications officielles ont tendance à se concentrer sur le développement des

technologies et des compétences, et l'analyse par pays ou région n'a pas permis de cerner de mesures politiques axées sur les caractéristiques du cycle de vie de l'hydrogène, comme l'IC.

Dans son programme sectoriel énergétique 2020-2024, le ministère mexicain de l'Énergie s'est engagé à explorer l'hydrogène dans le cadre de ses efforts visant à utiliser de manière durable les ressources énergétiques du pays [26]. Le Costa Rica et le Canada ont signé un protocole d'accord pour collaborer au développement de systèmes à hydrogène dans le cadre de la lutte contre les changements climatiques [27]. Le Panama a publié une feuille de route sur l'hydrogène vert, qui vise à faire du pays une plaque tournante régionale pour les importations et les exportations d'hydrogène à faible teneur en carbone [28]. Enfin, l'Argentine a élaboré une stratégie nationale pour l'hydrogène à faibles émissions pour 2030, qui vise à exploiter ses ressources énergétiques naturelles, y compris l'énergie renouvelable pour l'électrolyse, afin de produire de l'hydrogène à faible IC pour une utilisation nationale et pour l'exportation [29].

3.4 Union européenne

La Commission européenne (CE) a mis en œuvre deux directives complémentaires (la directive sur les énergies renouvelables et la directive sur la qualité des carburants, décrites ci-dessous) afin d'augmenter la part des énergies renouvelables dans l'Union européenne (UE) et de soutenir les objectifs de réduction des émissions de GES des États membres. Les directives sont également destinées à soutenir la stratégie pour l'hydrogène de l'UE, adoptée en 2020 [30], et le plan REPowerEU, présenté en 2022, qui vise à réduire rapidement la dépendance de l'UE aux importations d'énergie en provenance de la Russie [31]. L'hydrogène est indiqué comme un élément fondamental des deux objectifs de la politique. Le plan REPowerEU prévoit que l'UE produise 10 millions de tonnes et importe 10 millions de tonnes d'hydrogène renouvelable d'ici 2030. Les directives de la CE établissent les exigences internationales d'importation en ce qui concerne l'infrastructure critique des approvisionnements en hydrogène et les sources de production.

3.4.1 Directive sur les énergies renouvelables

La directive sur les énergies renouvelables établit les objectifs généraux en matière d'utilisation des énergies renouvelables au sein de l'UE et les règles pour atteindre ces objectifs. Actuellement, la directive exige que 32 % de toute l'énergie utilisée dans l'UE provienne de sources renouvelables d'ici 2030, y compris les carburants pour les services de transport [32].

En vertu de cette directive, la CE a récemment proposé de nouvelles règles qui définissent ce qu'est l'hydrogène renouvelable dans l'UE et comment les valeurs de l'IC sont déterminées à l'aide de la modélisation de l'ACV. Les nouvelles règles considèrent l'hydrogène et les carburants à base d'hydrogène comme des carburants renouvelables d'origine non biologique, ce qui sous-entend des filières reposant sur l'électrolyse alimentée par des sources renouvelables.

3.4.2 Directive sur la qualité des carburants

La directive sur la qualité des carburants couvre un vaste éventail de spécifications visant à réduire les émissions de polluants atmosphériques des véhicules et à promouvoir un marché unique de carburant qui permet aux véhicules de fonctionner de façon équivalente, partout dans l'UE [33]. La directive établit également l'obligation d'utiliser des biocarburants dans le transport routier et définit des critères de durabilité pour les biocarburants dans le but d'éviter l'exploitation des terres importantes pour la préservation de la biodiversité et la fixation du carbone, comme les forêts naturelles. De plus, la directive fixe des limites à l'IC du cycle de vie des carburants pour le transport, actuellement établie à 6 % en dessous du niveau de référence de 2010 d'environ 94 gCO_2e/MJ.

3.5 Royaume-Uni

La norme britannique sur l'hydrogène à faible teneur en carbone (Low Carbon Hydrogen Standard) a été mise en œuvre en 2022 [34]. Il ne s'agit pas d'une exigence réglementaire pour les producteurs d'hydrogène au Royaume-Uni, mais elle sert à déterminer les conditions d'admissibilité dans le cadre de deux programmes concurrentiels distincts de subventions financées par le gouvernement :



« En 2022, le G7 a annoncé le Pacte d'action pour l'hydrogène (Hydrogen Action Pact), une initiative de collaboration visant à accélérer le développement de systèmes de production et d'utilisation de l'hydrogène (et de ses dérivés). »

- Le fonds pour l'hydrogène carboneutre (Net Zero Hydrogen Fund), qui soutient le déploiement commercial de nouveaux projets de production d'hydrogène à faible teneur en carbone lancés dans les années 2020 ;
- Le modèle d'affaire en matière de production d'hydrogène (Hydrogen Production Business Model), qui est un instrument de soutien des revenus destiné aux producteurs pour combler les écarts de coût d'exploitation des installations d'hydrogène et ainsi encourager les investissements dans la production à faible teneur en carbone.

De plus, la norme britannique est maintenant envisagée pour être utilisée dans les rapports actuels et pour faciliter les programmes de certification. Elle exige des candidats qu'ils respectent une intensité des émissions de GES ne dépassant pas 20 gCO_2e/MJ jusqu'au point de production. Un calculateur d'émissions de l'hydrogène est fourni aux candidats pour l'établissement des rapports, mais d'autres modèles suivant la même méthodologie peuvent également être utilisés. En outre, les demandes doivent inclure un plan d'atténuation des risques pour traiter le potentiel de fuites d'émissions d'hydrogène.

L'hydrogène bénéficie également de mesures incitatives indirectes en vertu de l'obligation d'utiliser des carburants issus de sources renouvelables pour le transport (Renewable Transport Fuel Obligation) du Royaume-Uni, qui oblige les grands fournisseurs de carburants à démontrer que, chaque année, un certain pourcentage de leur carburant provient de sources renouvelables et durables [35]. Les fournisseurs peuvent obtenir des crédits pour se mettre en conformité en fournissant des types de carburants avancés, y compris de l'hydrogène provenant de sources renouvelables (c.-à-d. d'énergies renouvelables ou de biomasse).

3.6 Australie et Nouvelle-Zélande

L'Australie est à un stade avancé dans le développement des systèmes à hydrogène selon sa stratégie nationale sur l'hydrogène (National Hydrogen Strategy), qui vise à faire du pays un grand utilisateur et exportateur d'hydrogène, en tirant parti de ses abondantes ressources naturelles [36]. Des essais d'exportation d'hydrogène ont été réalisés, le Japon en étant le destinataire [37].

La Nouvelle-Zélande explore également son potentiel de participation au développement des systèmes à hydrogène en tant que partenaire international dans les projets et en tant qu'hôte d'initiatives en matière d'hydrogène propre, renforçant ainsi les capacités et les connaissances nationales [38].

Néanmoins, au moment de la rédaction du présent document, aucun des deux pays n'avait élaboré de règles ou de restrictions relatives à la filière hydrogène en ce qui concerne l'IC ou les sources de matières premières.

3.7 Chine, Inde et Japon

L'analyse par pays ou région n'a pas permis de repérer de politiques en Chine, en Inde ou au Japon concernant les filières de production d'hydrogène. Toutefois, la Chine s'intéresse aux systèmes à hydrogène dans une perspective de développement économique, notamment en ce qui concerne l'exportation de technologies. L'alliance chinoise pour l'hydrogène, un

groupe industriel, a défini trois catégories d'hydrogène : à faible teneur en carbone, propre et renouvelable. L'hydrogène à faible teneur en carbone et l'hydrogène propre ont des seuils allant jusqu'à 120,9 et 40,8 gCO_2e/MJ, respectivement, et l'hydrogène renouvelable a le même seuil que l'hydrogène propre, mais il provient de sources renouvelables [39].

Le Japon soutient depuis longtemps le développement des systèmes à hydrogène en tant que pilier de sa stratégie industrielle et de sa lutte contre les changements climatiques [40].

En 2023, l'Inde a annoncé un plan d'investissement financier évalué à plus de 2 milliards de dollars américains pour promouvoir l'hydrogène produit à partir d'énergies renouvelables, afin de soutenir l'objectif du pays de parvenir à des émissions de GES carboneutres d'ici 2070. Le plan vise à produire 50 mégatonnes d'hydrogène d'ici 2030, grâce à une capacité d'électrolyse nouvellement construite de 60 à 100 gigawatts [41].

3.8 Moyen-Orient et Afrique

L'analyse par pays ou région n'a pas permis de repérer de règles ou de lois favorisant des filières particulières de production d'hydrogène dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique. Cependant, des plans ambitieux pour l'hydrogène ont été annoncés par les gouvernements et les entreprises des Émirats arabes unis [42], d'Oman [43], d'Israël [44], du Maroc [45] et d'Afrique du Sud [46]. Les Émirats arabes unis et Oman disposent de capacités et de connaissances en matière de traitement du gaz naturel, qui peuvent être utilisées pour accélérer les projets liés à l'hydrogène. Le Maroc envisage notamment de recourir à l'hydrogène pour mobiliser ses ressources en énergie solaire en vue de les exporter vers l'Europe [47].

3.9 Pacte d'action pour l'hydrogène du G7

En 2022, le G7 a annoncé le Pacte d'action pour l'hydrogène (Hydrogen Action Pact), une initiative de collaboration visant à accélérer le développement de systèmes de production et d'utilisation de l'hydrogène (et de ses dérivés) [48]. Le pacte se concentre sur l'hydrogène provenant de sources renouvelables et à faible teneur en carbone. Des recommandations de mesures pour atteindre les objectifs du pacte ont été présentées dans un rapport de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), qui comprend également une taxonomie des termes utilisés par chaque pays membre pour désigner les filières hydrogène envisagées dans le cadre du pacte, comme le montre le tableau 1.

Tableau 1 : Pacte d'action pour l'hydrogène de l'IRENA : terminologie par pays

Pays du G7 ayant adopté le Pacte d'action pour l'hydrogène	Terminologie utilisée pour les objectifs relatifs à l'hydrogène renouvelable ou à faible teneur en carbone
Canada	Faible teneur en carbone
Union européenne	Propre, durable, renouvelable
France	Décarboné, renouvelable
Allemagne	Code de couleur
Italie	Code de couleur
Japon	Sans CO_2
Royaume-Uni	Faible teneur en carbone
États-Unis	Propre

Il y a presque autant de façons de classer l'hydrogène qu'il y a de signataires du pacte. Cette situation présente un risque de confusion, comme nous l'avons vu dans la section 1, mais elle permet également de rendre possible l'émergence d'un système de classification international unique.

4 Examen des méthodes et des modèles d'ACV pour l'IC des filières hydrogène

Dans la section 3, des politiques qui favorisent directement ou indirectement la production et l'utilisation de l'hydrogène dans le monde ont été présentées. Parmi les moyens d'action politiques examinés figuraient des règlements exigeant que la quantification de l'IC des filières hydrogène soit calculée à l'aide des modèles d'ACV prescrits.

Dans cette section, les méthodes et les modèles d'ACV couramment utilisés pour estimer les valeurs de l'IC de la filière des carburants, y compris pour l'hydrogène, sont examinés pour comprendre comment les méthodes et les modèles d'ACV peuvent être utilisés pour soutenir la classification efficace de l'hydrogène en fonction des caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement. Les modèles d'ACV sont utilisés pour mesurer la conformité à la réglementation, parfois avec une précision de deux décimales. Mais un système de classification conçu pour aider les producteurs et les consommateurs à échanger de l'hydrogène bénéficie-t-il de ce niveau de précision ? De plus, les valeurs de l'IC de sortie des différents modèles d'ACV varient-elles de manière significative pour la même filière hydrogène évaluée ? Ces questions ont guidé les recherches présentées dans cette section, et les résultats ont permis de formuler les recommandations présentées dans la section 7 concernant l'utilisation de l'ACV dans un système de classification.

4.1 Structures de modèles d'ACV : attributionnel contre conséquentiel

La conception d'un modèle d'ACV répond généralement à un besoin particulier. Le besoin de disposer d'un moyen simple et rapide pour comparer les différentes filières de carburants peut donner lieu à un modèle qui ne prend en compte que quelques variables clés et qui est suffisant pour un programme de certification. Par ailleurs, un modèle d'ACV peut être conçu pour imiter de façon plus précise un système réel dans toute sa complexité dans le but de mieux répondre aux questions de recherche qui permettront d'éclairer les décisions politiques. Le spectre des structures des modèles d'ACV a tendance à inclure des modèles attributionnels à une extrémité et des modèles conséquentiels à l'autre [49] :

- Les modèles **attributionnels** d'ACV concernent uniquement la production centrale de la chaîne d'approvisionnement. Dans la modélisation attributionnelle, les facteurs d'émissions de GES sont appliqués en fonction d'une base de connaissances de statu quo, ce qui signifie que le facteur d'émissions ne change pas à la suite de modifications de la chaîne d'approvisionnement, comme une augmentation considérable de la production. Les modèles attributionnels d'ACV sont généralement plus faciles à utiliser pour les novices, mais ils manquent de précision et ne permettent pas de prédire les effets sur le système plus large dans lequel se trouve la chaîne d'approvisionnement.

  Un exemple de facteur attributionnel d'émissions serait d'attribuer l'IC moyenne pour l'électricité fournie par des réseaux de transport d'énergie électrique à une usine d'électrolyse pour la production d'hydrogène. Dans cet exemple, la valeur de l'IC attribuée à l'électricité du réseau ne change pas, quelle que soit la quantité d'électricité utilisée ou le moment où elle est utilisée.

- Les modèles **conséquentiels** d'ACV s'intéressent aux effets de la chaîne d'approvisionnement sur le système environnant. Dans la modélisation conséquentielle, les facteurs d'émissions de GES représentent un effet marginal, qui peut varier en fonction des niveaux de production de la chaîne d'approvisionnement. Les modèles conséquentiels nécessitent plus d'expérience pour être utilisés et reposent sur des informations plus détaillées qui peuvent être difficiles à obtenir ou à estimer. Cependant, ils simulent mieux la réalité de la dynamique de la chaîne d'approvisionnement.

  Un exemple de facteur d'émissions conséquentiel serait de considérer l'IC réelle pour l'électricité fournie par le réseau au moment de l'utilisation et en conséquence de la quantité utilisée. Cela permettrait de déterminer si la demande marginale d'énergie entraîne une hausse de la valeur de l'IC, peut-être parce que les centrales électriques de pointe alimentées par des combustibles fossiles doivent monter en puissance pour répondre à la demande. Les effets plus vastes de la mobilisation d'une plus grande quantité de ressources énergétiques pour répondre à la demande croissante d'électricité pourraient également faire partie d'une analyse conséquentielle.

De nombreux modèles d'ACV représentent une philosophie pratique qui se situe quelque part entre ces deux extrêmes, comme un mélange de choix entre conception attributionnelle et conception conséquentielle. L'approche mixte s'efforce souvent de trouver un équilibre entre simplicité et précision, en fonction de la disponibilité des données.

Dans le contexte des filières de la chaîne d'approvisionnement d'hydrogène, un modèle attributionnel d'ACV estimerait la part des retombées environnementales globales qui revient au produit lui-même, sur la base des moyennes des données disponibles. L'attribution se ferait alors en répartissant les charges environnementales de la chaîne d'approvisionnement entre chacun des maillons identifiés. Cette approche décrit les flux physiques pertinents pour l'environnement à destination et en provenance de la chaîne d'approvisionnement d'hydrogène. Les entrées et sorties du modèle attributionnel d'ACV sont donc attribuées à l'unité fonctionnelle de production d'hydrogène (p. ex. : kg, MJ) en reliant ou en divisant les procédés unitaires du système selon une règle normative [50].

En revanche, un modèle conséquentiel d'ACV pour une filière de la chaîne d'approvisionnement d'hydrogène peut fournir les conséquences environnementales globales liées à la production et à l'utilisation de l'hydrogène. Les données marginales seraient utilisées dans de nombreuses parties de la chaîne d'approvisionnement, qui varieraient en fonction des conditions générales du système. Un modèle conséquentiel d'ACV viserait à décrire comment les flux pertinents sur le plan environnemental évolueraient en réponse à d'éventuels changements dans la demande d'une unité fonctionnelle d'hydrogène [50].

La distinction entre ces deux types de modèles d'ACV est apparue pour la première fois en réponse aux procédés de production comportant plus d'une unité fonctionnelle (ou produit) de valeur ou de préoccupation. Le tableau 2 présente les relations entre les modèles d'ACV attributionnels et conséquentiels et montre qu'à mesure qu'un modèle devient plus précis dans la détermination de l'IC de l'hydrogène dans une chaîne d'approvisionnement bien définie, il peut devenir moins complet dans l'évaluation des changements possibles des émissions dans l'ensemble du système dont il fait partie [51]. Il indique également qu'il peut être judicieux d'utiliser les deux types de modèles pour saisir pleinement les retombées des différentes chaînes d'approvisionnement d'hydrogène.

Tableau 2 : Attributs des cadres de modélisation d'ACV [51]

Cadre de modélisation	Précision	Exhaustivité
Modèle attributionnel d'ACV	Élevée	Faible
Modèle conséquentiel d'ACV	Moyenne	Moyenne
Modèle intégré	Faible	Élevée

Pour déterminer la place d'un modèle d'ACV selon le tableau 2, il est possible d'utiliser certains facteurs distinctifs. Pour les modèles conséquentiels d'ACV, l'objectif de l'analyse doit être de soutenir une décision prise sur le système de produits. Un changement induit par une décision soutenue par un modèle conséquentiel d'ACV affecterait le statu quo du système de produits, et le bénéfice net peut être modélisé. Avec les modèles attributionnels d'ACV, une décision ne peut pas être soutenue dans l'ensemble du système de produits et ne peut donc pas affecter le statu quo, pas plus que le bénéfice net du changement induit ne peut être modélisé [52].

4.1.1 Normes ISO pour l'ACV

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a produit plusieurs normes relatives à la lutte contre les changements climatiques [53], notamment les suivantes, qui traitent de l'utilisation des méthodes d'ACV et du calcul des émissions de GES :

- La norme ISO 14040, *Management environnemental — Analyse du cycle de vie* — Principes et cadre [54], décrit les quatre phases d'une ACV, dont la définition de l'objectif et du domaine d'application, l'analyse de l'inventaire, l'évaluation de l'impact et l'interprétation. Le cadre d'une ACV conforme à la norme ISO 14040 peut s'appliquer à la fois aux modèles attributionnels et aux modèles conséquentiels. Il convient de noter que certains modèles d'ACV examinés dans cette étude ont été établis avant l'élaboration de la norme ISO 14040.

- La norme ISO 14044, *Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices* [55], décrit les détails pour mener une ACV à l'intention des praticiens. Parmi les modèles d'ACV examinés dans cette étude, seul le modèle d'ACV des combustibles du Canada, récemment mis au point, est conforme aux normes ISO 14040 et ISO 14044.
- La série de normes ISO 14064 concerne l'évaluation et la déclaration des émissions de GES :
  - ISO 14064-1, *Gaz à effet de serre — Partie 1 : Spécifications et lignes directrices, au niveau des organismes, pour la quantification et la déclaration des émissions et des suppressions des gaz à effet de serre* [56] ;
  - ISO 14064-2, *Gaz à effet de serre — Partie 2 : Spécifications et lignes directrices, au niveau des projets, pour la quantification, la surveillance et la rédaction de rapports sur les réductions d'émissions ou les accroissements de suppressions des gaz à effet de serre* [57] ;
  - ISO 14064-3, *Gaz à effet de serre — Partie 3 : Spécifications et lignes directrices pour la vérification et la validation des déclarations des gaz à effet de serre* [58]. Cette norme est utilisée pour valider et vérifier les déclarations de GES fournies conformément aux normes ISO 14064-1 et 14064-2. Elle est également utilisée pour la norme ISO 14067.
- La norme ISO 14067, *Gaz à effet de serre — Empreinte carbone des produits — Exigences et lignes directrices pour la quantification* [59], traite uniquement des changements climatiques comme une catégorie d'impact définie dans la norme ISO 14040 et conforme à la norme ISO 14044. Cette norme n'inclut pas l'analyse des conséquences sociales ou économiques en dehors des changements climatiques, ce qui est cohérent avec les capacités des modèles d'ACV attributionnels. La norme ISO 14067 permet aux utilisateurs de créer des déclarations de GES pour des produits ou des services, tout comme les normes ISO 14064-1 et 14064-2. De plus, la norme ISO 14064-3 peut être utilisée pour la vérification et la validation de la norme ISO 14067.

Les normes ISO relatives à l'ACV et à la détermination de l'empreinte carbone peuvent être facilement appliquées à la production d'hydrogène en termes d'IC, mais aussi par rapport à d'autres caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement. Certains modèles d'ACV référencés dans certains règlements de pays ou de régions (examinés à la section 4.2) sont antérieurs à l'élaboration des normes ISO susmentionnées et peuvent donc différer d'une région à l'autre en ce qui concerne leur application. L'ISO fournit un cadre cohérent à l'échelle mondiale, dans lequel de nouveaux systèmes d'analyse et de classification pourraient être développés, facilitant ainsi le commerce international de l'hydrogène.

4.2 Examen des modèles d'ACV utilisés par pays ou région

4.2.1 Les modèles GREET (États-Unis) et CA-GREET (Californie)

Le modèle GREET (Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Technologies) est une feuille de calcul MS Excel élaborée par le laboratoire national d'Argonne [60] et entièrement accessible au public. Le modèle d'ACV GREET se concentre sur les filières de transport et comprend à la fois une composante relative au cycle du carburant et une composante relative au cycle du véhicule. La feuille de calcul chiffre les émissions de GES et les principaux contaminants atmosphériques en fonction d'une série de saisies définies par l'utilisateur. Toutefois, elle ne présente pas de résultats pour les différents éléments de la filière de production des carburants et ne fournit que des valeurs globales pour les émissions en amont de l'utilisation (c.-à-d. du puits au réservoir) et en aval (c.-à-d. du réservoir à la roue).

Le modèle GREET comporte plus de 100 filières de carburants prédéfinies, dont les distillats de pétrole, les gaz naturels, les biocarburants, l'électricité et l'hydrogène. Les combinaisons de véhicules et de carburants peuvent être modélisées sur la période allant de 1990 à 2020, par incréments de cinq ans, pour tenir compte des changements dans la configuration et les performances des groupes propulseurs. Les résultats donnés par le modèle reflètent donc les changements dans l'efficacité des véhicules en fonction des moyennes des années et des parcs.



« Le modèle GHGenius est limité aux saisies et aux paramètres propres au Canada et, contrairement au modèle CA-GREET, son domaine d'application n'est pas limité aux filières de transport des carburants. »

Le modèle GREET est considéré comme un gabarit normalisé de l'industrie pour l'évaluation des émissions sur l'ensemble du cycle de vie des différentes filières de production des carburants, et est référencé dans la réglementation du programme américain Renewable Fuel Standard, qui est une norme sur les carburants liquides et qui ne touche donc pas l'hydrogène.

Le modèle GREET (version 1.8b) a été modifié expressément pour le bureau californien des ressources en air afin d'administrer et de faciliter la norme californienne LCFS [11]. Le nouveau modèle s'appelle CA-GREET (actuellement à la version 3.0). Les valeurs d'IC produites par le modèle pour les différentes filières de carburants sont ajustées par un ratio d'économie d'énergie pour représenter l'efficacité avec laquelle l'énergie du carburant est convertie et utilisée dans le système du véhicule [61]. Cela reflète l'accent mis par la norme LCFS sur l'utilisation de l'énergie dans les transports.

Le modèle CA-GREET est également offert gratuitement sous la forme d'une feuille de calcul MS Excel, dans laquelle les utilisateurs peuvent définir leurs propres saisies. Cependant, une interface utilisateur permet de passer facilement d'une région américaine à l'autre, chacune disposant d'un ensemble distinct de saisies reflétant les approvisionnements régionaux en matières premières, qui sont liés au marché californien des carburants. Le modèle inclut également certaines filières de carburants à base de déchets et biogènes. Les critères d'émissions atmosphériques sont conformes aux normes du bureau californien des ressources en air pour les programmes californiens pour véhicules à faibles émissions et à émissions nulles (Low-Emission and Zero-Emission Vehicle) [62], [63].

Le modèle GREET est le plus souvent utilisé comme un modèle attributionnel, mais des éléments d'analyse conséquentielle peuvent être retenus par l'utilisateur. Cette fonction a été intégrée pour répondre aux questions de déplacement, lorsqu'un sous-produit valorisé du principal produit de la chaîne d'approvisionnement (p. ex., l'oxygène est un sous-produit de l'électrolyse de l'eau dans la production de l'hydrogène) remplace d'autres sources d'énergie et d'émissions qui auraient autrement été générées pour produire le sous-produit. Un utilisateur peut choisir de modéliser ces effets parce que les résultats de l'analyse pour une circonstance particulière peuvent indiquer des avantages supplémentaires pour l'ensemble du système. Le modèle GREET est donc considéré comme un modèle d'ACV attributionnel avec une certaine capacité d'analyse conséquentielle.

Il est important de noter que le modèle CA-GREET définit plusieurs filières hydrogène et permet d'examiner les calculs intermédiaires lorsque les saisies sont modifiées. Il est également largement utilisé par l'industrie en tant qu'outil central pour l'administration de la norme LCFS, y compris l'évaluation de la

conformité des parties réglementées et la génération de crédits [64], qui sont un indicateur du marché de l'hydrogène en tant que carburant en Californie.

4.2.2 GHGenius (Canada)

Le modèle GHGenius est un gabarit d'analyse du cycle de vie de l'énergie et des émissions développé dans le format MS Excel en 1999, et utilisé à l'origine comme outil d'analyse des politiques publiques par Ressources naturelles Canada, bien avant qu'on envisage de réglementer l'IC des carburants [65]. Il est désormais référencé dans le règlement sur les exigences en matière de carburants à faible teneur en carbone et renouvelables de la Colombie-Britannique comme modèle pour calculer la conformité et la génération de crédits. Le modèle GHGenius est limité aux saisies et aux paramètres propres au Canada et, contrairement au modèle CA-GREET, son domaine d'application n'est pas limité aux filières de transport des carburants. En règle générale, les résultats du modèle GHGenius sont considérés comme divergeant le plus des modèles américains GREET dans les filières basées sur les matières premières agricoles, peut-être en raison de différences dans les paramètres d'utilisation et de répartition des terres pour l'utilisation des coproduits.

Depuis son lancement, le modèle GHGenius est devenu plus complet quant au domaine d'application et au niveau de détail. De nombreuses informations d'entrée sont nécessaires pour modéliser l'utilisation de l'énergie pour la production de carburant et les matières premières. Des facteurs supplémentaires pour les émissions autres que les GES provenant de ces sources, ainsi que pour les types de véhicules, sont également requis. Cela vise à couvrir des limites de système plus larges qui reflètent mieux les émissions provenant de la fabrication d'équipements. Le modèle GHGenius intègre également des outils analytiques spéciaux permettant à l'utilisateur d'entreprendre des simulations de scénarios plus complexes. Par exemple, il existe deux solutionneurs de sensibilité qui permettent aux utilisateurs de manipuler n'importe quel paramètre d'entrée pour déterminer les retombées sur de nombreuses valeurs de sortie. La méthode de simulation Monte-Carlo est également à la disposition des utilisateurs pour les analyses probabilistes des résultats lorsque les variables d'entrée sont aléatoires.

Comme pour le modèle GREET, les éléments d'analyse conséquentielle du modèle GHGenius et l'étendue de la modélisation conditionnelle le rendent plus prédictif qu'un modèle attributionnel classique. Il est donc considéré comme un modèle attributionnel avec une certaine capacité de modélisation conséquentielle.

En ce qui concerne l'hydrogène, le modèle GHGenius est prédéfini avec plusieurs douzaines de filières hydrogène pour les calculs d'émissions de GES et d'IC.

4.2.3 Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles (Canada)

Pour appuyer la mise en œuvre du Règlement sur les combustibles propres, Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) a commandé le Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles, qui a été lancé en tant qu'outil accessible au public en 2020 [17]. Ce modèle a été développé conformément aux normes ISO 14040 et ISO 14044, qui traitent respectivement des principes et des lignes directrices concernant les méthodes de modélisation [66]. Conformément aux lignes directrices de l'ISO, le Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles est construit autour d'un objectif clairement défini, qui est de calculer l'IC du cycle de vie de l'énergie et des combustibles produits au Canada. Il s'harmonise également avec les quatre phases de l'ACV définies dans la norme ISO 14040 et énumérées ci-dessous :

- Phase de définition de l'objectif et du domaine d'application ;
- Analyse de l'inventaire ;
- Évaluation de l'impact ;
- Interprétation.

Le Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles fournit des calculs transparents et traçables pour différentes filières de carburants à travers les quatre phases de la méthodologie de l'ACV. Les résultats d'une phase peuvent affecter les phases précédentes et suivantes, ce qui signifie que ce modèle peut utiliser un procédé itératif pour simuler avec plus de précision les changements au sein d'une chaîne d'approvisionnement.

Le Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles a été élaboré à l'aide d'openLCA [67], un logiciel libre et gratuit pour la durabilité et l'ACV. Le logiciel utilise la base de données publiée par ECCC, qui permet à l'utilisateur de modéliser les procédés pour représenter la production et le transport des matières premières, la production des carburants, la distribution des carburants, la combustion des carburants et l'IC des carburants pour toutes les filières de carburants définies, en s'appuyant sur les facteurs de sa base de données pour générer des résultats quantitatifs. L'interaction entre la bibliothèque de données et les filières de carburants est présentée visuellement dans l'une des figures du manuel de l'utilisateur du Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles [68].

Le Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles fonctionne à trois niveaux. Chaque élément de la filière de carburant, qui représente un maillon clé de la chaîne d'approvisionnement des carburants, peut être composé d'un ensemble de procédés unitaires discrets définis à l'étape du cycle de vie. Au troisième niveau, chaque procédé unitaire peut appliquer des facteurs aux flux intermédiaires du produit évalué (mesurés en kg, MJ, etc.) pour calculer les flux élémentaires (p. ex., les émissions de GES). Les flux élémentaires de chaque procédé unitaire s'accumulent à l'étape du cycle de vie et s'additionnent ensuite à la séquence des éléments de la filière de carburant. Ainsi, l'intensité des émissions pour la filière est déterminée en fonction des flux mesurés dans chaque procédé unitaire.

La filière hydrogène du Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles peut être configurée par l'utilisateur et comprend des valeurs par défaut relatives aux options de matières premières, à l'approvisionnement en électricité et à la capture et au stockage du carbone (CSC). L'inclusion de la méthode de CSC est une caractéristique particulière de ce modèle, puisqu'elle n'est pas présente dans les modèles GREET ou GHGenius. Notamment, les niveaux de l'étape du cycle et du procédé unitaire du Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles comprennent des dispositions relatives à l'hydrogène en tant qu'entrée dans d'autres procédés de production de carburants. Cette caractéristique est illustrée dans le tableau 3, qui présente un exemple d'utilisation de l'hydrogène dans la production de bioéthanol.

Tableau 3 : Système de production du bioéthanol issu du maïs (adapté de [68])

No	Étape du procédé	Entrée	Sortie
1	Production de la matière première	275 000 tonnes de maïs (teneur en humidité de 14 %)	non spécifié
2	Transport de la matière première	150 km par camion	non spécifié
3	Production du carburant	350 TJ de gaz naturel 1 350 tonnes **d'hydrogène**	Émissions des procédés 0,05 g CH_4/MJ de carburant 0,01 g N_2O/MJ de carburant 38 000 tonnes de nourriture pour animaux 100 millions de litres d'éthanol
4	Distribution du carburant	450 km en train	non spécifié
5	Combustion du carburant	Dans un véhicule à moteur à combustion interne	non spécifié

Cet exemple révèle un aspect important du Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles, car l'hydrogène est utilisé dans le raffinage de nombreux combustibles fossiles et renouvelables pour hydrotraiter ou hydrocraquer des produits intermédiaires. L'utilisation d'hydrogène à faible IC comme matière première pour la production de carburant réduit l'IC globale de ce produit. Ainsi, l'hydrogène à faible IC produit par ce modèle pourrait être réinjecté dans d'autres filières de carburants, ce qui permet d'évaluer certains effets consécutifs induits par le marché.

Le Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles du Canada est donc considéré comme un modèle attributionnel doté d'une grande capacité de modélisation conséquentielle.

4.2.4 Outil de calcul des émissions de GES – GHG Protocol (international)

Établi en 1997, le protocole GHG est une initiative conjointe de l'Institut des ressources mondiales (World Resources Institute) et du Conseil mondial des entreprises pour le développement durable (World Business Council for Sustainable Development) [69]. Il a élaboré les normes de comptabilisation et de déclaration des GES qui sont les plus largement adoptées et utilisées par les entreprises privées du monde entier. Pour soutenir son mandat et sa communauté de pratique, le protocole GHG fournit une série de services et d'outils qui sont offerts gratuitement pour aider les entreprises à évaluer les émissions de GES provenant directement de leurs activités et indirectement de leurs chaînes d'approvisionnement. L'un de ces outils était un modèle d'ACV appelé GHG Scope 3 Evaluator [70], qui a été abandonné au cours des recherches effectuées pour le présent rapport, mais qui est inclus pour illustrer les différences entre les outils largement utilisés. Le protocole GHG propose désormais de nouveaux outils pour des applications plus particulières, notamment des calculateurs pour les pays et les villes ainsi que pour les émissions de GES intersectorielles, propres à un pays ou à un secteur [71].

Conformément aux normes de comptabilisation et de déclaration des GES, l'outil a généré des estimations des émissions d'une entreprise dans trois domaines : les émissions du domaine d'application 1 sont celles qui sont générées directement par les activités d'une entreprise et qui sont sous son contrôle direct ; les émissions du domaine d'application 2 sont liées à l'énergie achetée par une entreprise pour soutenir ses activités et comprennent souvent l'électricité ou la chaleur livrée ; les émissions du domaine d'application 3 sont liées aux procédés qui ont lieu en amont de la chaîne de valeur ou qui sont hors du contrôle direct d'une entreprise, comme le transport, les voyages d'affaires et les déplacements des employés.

L'outil de calcul des émissions de GES était basé sur MS Excel. Il utilisait des facteurs d'émissions par défaut variant selon le pays. Des groupes distincts de facteurs d'émission étaient offerts pour le Royaume-Uni et les États-Unis. Des facteurs d'émission du domaine d'application 2 basés sur la localisation étaient également offerts pour les États-Unis, le Canada et l'Australie, tandis que des facteurs d'émission mixtes basés sur le marché l'étaient pour d'autres pays. En plus de l'outil de calcul, le protocole GHG propose une norme pour la chaîne de valeur des entreprises qui utilise un outil d'évaluation distinct pour 15 catégories du domaine d'application 3, allant des biens et services achetés à l'élimination des produits, en tant que solution de modélisation plus détaillée qu'une seule catégorie de transport du domaine d'application 3. Veuillez noter que cet outil d'analyse est abandonné depuis le 30 août 2023.

Les types d'émissions directes et indirectes étant définis par l'outil, celui-ci pourrait servir de modèle d'ACV dans une certaine mesure, mais ce n'est pas son objectif explicite. L'outil de calcul des émissions de GES a plutôt généré des estimations de GES à des fins de comptabilité et de déclaration, plutôt que des valeurs d'IC pour la conformité réglementaire et l'analyse des politiques. Le modèle est axé sur la simplicité d'utilisation et la cohérence des résultats. Il est important de valoriser ces caractéristiques. Selon le protocole GHG, en 2016, 92 % des entreprises du *Fortune 500* ont utilisé ses recommandations et ses outils, directement ou indirectement [72].

Du point de vue de la conception de l'ACV, l'outil de calcul des émissions de GES était attributionnel. Il était principalement destiné aux entreprises, et non aux chercheurs, pour établir des rapports sur la situation, mais pas pour effectuer des analyses prévisionnelles. Il offre aux utilisateurs la possibilité de saisir des facteurs d'émission personnalisés, ce qui permet d'envisager des filières hydrogène, mais les IC ne sont pas explicitement générées. En fait, la feuille de calcul ne définissait aucune filière hydrogène par défaut et nécessitait des facteurs personnalisés par l'utilisateur pour estimer les scénarios d'hydrogène.

4.2.5 Calculateur d'émissions d'hydrogène (Royaume-Uni) et outil de modélisation de l'hydrogène (Nouvelle-Zélande)

Deux modèles d'ACV ont été rendus publics au Royaume-Uni et en Nouvelle-Zélande, respectivement, et sont brièvement présentés dans cette section.

Le ministère britannique des Affaires, de l'Énergie et de la Stratégie industrielle a chargé E4Tech, un groupe-conseil spécialisé dans les méthodes et les applications de l'ACV, de mettre au point le calculateur d'émissions d'hydrogène. Il s'agit d'un modèle attributionnel comportant certains éléments d'analyse conséquentielle, tels que les effets du changement d'utilisation des terres. Trois versions sont offertes et correspondent à trois types de projets définis : (1) les projets électrolytiques, simplifiés pour les projets typiques de la filière de l'électrolyse ; (2) le reformage de gaz fossile avec capture et stockage de carbone, simplifié pour les projets de la filière de reformage du méthane ; (3) une version complète, qui s'adaptera à tout projet défini par l'utilisateur [73]. Le calculateur d'émissions de l'hydrogène utilise des conditions limites qui s'harmonisent avec la définition du puits à la porte dans d'autres modèles d'ACV. Les émissions de GES en amont de la production sont incluses, mais les effets en aval sont exclus.

Le gouvernement néo-zélandais a mis au point un nouvel outil de modélisation propre aux scénarios utilisant l'hydrogène pour encourager les parties prenantes intéressées et les membres du grand public à explorer les résultats potentiels des nouvelles conjectures du marché de l'hydrogène à l'échelle nationale. Le modèle a été mis à disposition à la suite de la publication en 2019 de la vision de la Nouvelle-Zélande pour l'hydrogène, et alimente les consultations publiques en cours pour élaborer une feuille de route nationale sur l'hydrogène. Le modèle a été produit par Castalia et dispose d'un tableau de bord en ligne basé sur MS Excel. À partir du tableau de bord, les utilisateurs peuvent faire varier les hypothèses de base à l'aide de barres de défilement pour examiner les effets à long terme sur la consommation d'énergie et les émissions de GES dans le pays, sur la base des niveaux futurs de production et d'utilisation de l'hydrogène [74].

La version de l'outil de modélisation de l'hydrogène actuellement accessible au public n'est utilisée qu'à titre indicatif et ne donne qu'un aperçu limité des aspects fonctionnels du modèle sous-jacent. Pour cette raison, le domaine d'application de cet outil de modélisation n'inclut pas l'ACV associée à l'industrie de l'hydrogène. Le domaine d'application est plutôt limité aux effets de l'hydrogène en tant que carburant pour véhicules et combustible de chauffage, et les tonnes de CO_2 évitées grâce à son utilisation constituent la mesure fondamentale du modèle. Les forces du modèle sont sa simplicité et sa facilité d'utilisation. La conception reflète très probablement une philosophie attributionnelle, car son but est d'éduquer le public grâce à des jeux de scénarios dans le cadre de la réalisation des objectifs de décarbonation du pays.

4.3 Observations et retombées pour la classification de l'hydrogène

Tous les modèles d'ACV examinés dans le présent rapport ont été élaborés à l'aide d'une structure de modèle attributionnel, ce qui reflète un besoin de simplicité pour l'utilisateur. Cela indique également la valeur accordée à la cohérence des résultats ; ceci est utile pour l'établissement de rapports, en particulier à des fins de conformité réglementaire. Cependant, les modèles d'ACV référencés dans les règlements relatifs à l'IC ou qui sont utilisés pour étayer l'analyse des politiques ont souvent la capacité d'effectuer un certain niveau d'ACV conséquentielle, ce qui reflète un besoin supplémentaire d'obtenir une image plus complète des incidences de la filière modélisée sur le système plus large dans lequel elle s'inscrit. Qui plus est, tous les modèles examinés génèrent un ensemble restreint de résultats, soit les émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie, soit l'IC, qui sont des expressions différentes de la même relation. Bien que

ce soit prévisible, cela renforce le fait qu'aucun modèle d'ACV ne donne une évaluation quantitative de toutes les dimensions des caractéristiques de développement durable pour une chaîne d'approvisionnement de carburant, même si la lutte contre les changements climatiques est actuellement la caractéristique qui suscite le plus d'intérêt.

La section 4.1 a présenté le tableau 1, qui compare les structures des modèles d'ACV en fonction de leur précision et de leur exhaustivité. De manière similaire, le tableau 4 comprend trois des modèles examinés dans la section 4.2, avec une évaluation de la tendance de chaque conception vers des caractéristiques d'ACV attributionnelles et conséquentielles.

Tableau 4 : Modèles d'ACV comparés en fonction de leurs caractéristiques principales

Modèle d'ACV	Précision	Exhaustivité
GREET	Moyenne/élevée	Faible
Modèle d'ACV des combustibles	Moyenne	Moyenne
GHGenius	Moyenne	Faible

À des fins de déclaration pour les entreprises et de commerce, l'outil de calcul des émissions de GES est largement utilisé et représente des méthodes attributionnelles. Les modèles GREET et GHGenius ainsi qe le Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles sont tous référencés dans les règlements de différentes régions des États-Unis et du Canada, et représentent un mélange de méthodes attributionnelles et conséquentielles. Comme nous l'avons vu, les filières de production d'hydrogène peuvent être évaluées pour l'IC à l'aide de modèles d'ACV hybrides plus complexes. Toutefois, l'outil de calcul des émissions de GES est beaucoup plus largement utilisé par la communauté internationale des affaires, ce qui prouve que la facilité d'utilisation et la rapidité sont des facteurs importants.

Lorsque l'on envisage l'élaboration d'un système de classification de l'hydrogène, si les émissions de GES ou l'IC sont les seuls éléments qui comptent sur le marché de l'hydrogène, alors il existe des méthodes et des modèles permettant aux fournisseurs et aux consommateurs de négocier l'hydrogène sur la base des seules valeurs de l'IC. Cependant, compte tenu de l'émergence d'autres systèmes de classification, il est évident que ce n'est pas le cas et que d'autres caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement sont importantes. Pour exprimer ces caractéristiques supplémentaires dans un système de classification, on conseille d'utiliser une communication simple, mais rigoureuse de l'IC, ce qui favorise l'utilisation d'approches attributionnelles d'ACV.

Dans la section 5, les pratiques exemplaires en matière de systèmes d'information des consommateurs seront étudiées en examinant les systèmes de communication simple et efficace qui ont fait leurs preuves sur des questions complexes relatives aux produits et à leurs systèmes d'approvisionnement.

5 Adapter les pratiques exemplaires des systèmes d'information des consommateurs aux caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement d'hydrogène

Les sections précédentes du présent rapport ont exploré les facteurs politiques qui favorisent les chaînes d'approvisionnement d'hydrogène exploitant les matières premières renouvelables et à faible teneur en carbone, y compris les apports d'énergie. Les modèles d'ACV référencés dans les règlements d'IC ont également été examinés. Sur la base de ces analyses, il semble que les règlements tendent à s'appuyer sur des méthodes quantitatives pour déterminer l'IC du cycle de vie en tant que mesure précise et cohérente de la conformité. En revanche, les objectifs des plans et des directives ambitieux de certains pays ou régions sont définis à l'aide d'une terminologie relative aux énergies renouvelables. Or, « faible teneur en carbone » et « énergies renouvelables » ne signifient pas la même chose, comme le montre l'examen des modèles d'ACV. Cette distinction est un facteur apparent de l'intérêt pour les certifications et les labels particuliers relatifs à l'hydrogène qualifié de vert, dont certains sont examinés plus loin dans cette section.

L'évaluation de la durabilité des chaînes d'approvisionnement, y compris les résultats d'un tel effort, est une démarche complexe. Plusieurs indicateurs peuvent être évalués quantitativement ou qualitativement, mais l'importance attribuée à chacun d'eux est souvent subjective, en fonction des préoccupations de l'utilisateur final. Par exemple, une boîte de thon peut porter l'un des nombreux marqueurs qui indiquent les principes à la base de son approvisionnement. Chaque désignation résulte d'un ensemble différent d'évaluations destinées à aider les consommateurs individuels à prendre des décisions éclairées sur les questions qui les préoccupent le plus.

Il peut sembler logique de supposer que les consommateurs exigent des évaluations détaillées de la durabilité pour éclairer leurs choix en matière d'achat, qu'ils les apprécient et qu'ils agissent en fonction de ces informations d'une manière prévisible et conforme à leurs valeurs. Pourtant, les classifications, les certifications et les labels de durabilité sont souvent mentionnés comme un élément de frustration pour les consommateurs. Au moment de la rédaction du présent document, Ecolabel Index recense 456 labels écologiques utilisés dans 25 secteurs industriels, chacun pouvant être associé à plusieurs programmes de normalisation. Cette prolifération a été de plus en plus critiquée par les entreprises, les universités et les organismes non gouvernementaux, qui y voient une source de confusion [75]. Le secteur de la labellisation de la durabilité est critiqué parce qu'il tente de transmettre « des informations trop nombreuses, trop complexes, trop similaires et trop ambiguës » [75].

Dans la section 5.1, un ensemble de différents systèmes destinés à transmettre des informations complexes aux consommateurs sont présentés et examinés. Des enseignements et des conseils sont ensuite tirés de ces systèmes concernant les caractéristiques qui pourraient être appliquées à l'élaboration d'un système de classification de l'hydrogène dans le cadre des critères de développement durable. Plus précisément, ce rapport évalue la manière dont les différents systèmes trouvent le juste équilibre entre rigueur et simplicité pour faciliter les échanges entre fournisseurs et consommateurs tout en cultivant la confiance d'un ensemble plus large de parties prenantes et d'observateurs indirects.

La durabilité de certains systèmes d'information des consommateurs indique clairement que cet équilibre et cette confiance ont été atteints et maintenus.

5.1 Examen d'une sélection de systèmes d'information des consommateurs

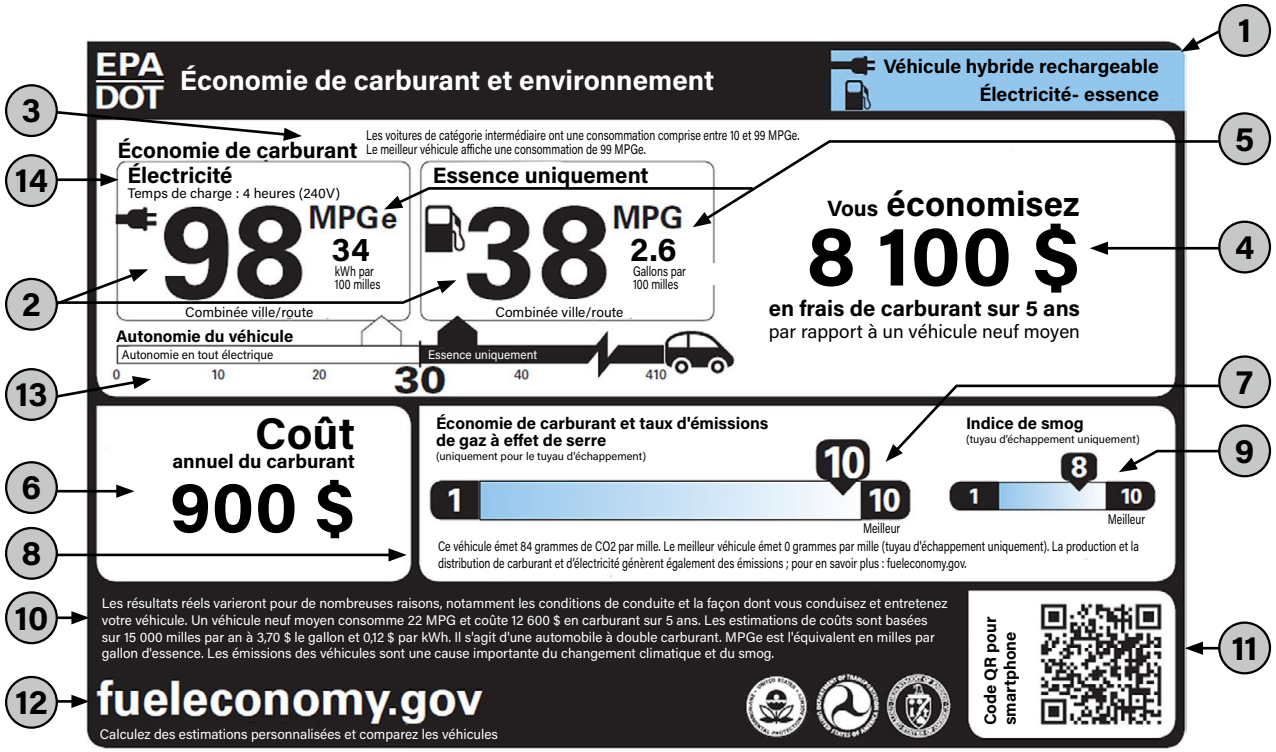
Dans chacune des sous-sections du présent document, un outil d'information des consommateurs est décrit, suivi d'une brève analyse de sa conception et de son effet potentiel. Cette discussion est présentée dans le contexte des points forts, qui pourraient être adaptés à un système de classification de l'hydrogène axé sur le développement durable, et des points faibles à éviter.

5.1.1 Environmental Protection Agency : étiquetage de la consommation de carburant des véhicules légers (États-Unis)

La loi sur la politique énergétique et sur les économies d'énergie de 1975 (Energy Policy and Conservation Act of 1975) a été adoptée par le Congrès des États-Unis en réponse à la crise pétrolière de 1973 [76]. Elle a mis en place un ensemble de mesures visant à garantir la sécurité de l'approvisionnement énergétique, notamment la réserve stratégique de pétrole, des normes d'efficacité énergétique pour les produits de consommation, y compris les véhicules légers, et l'obligation pour toutes les nouvelles automobiles de porter une étiquette indiquant leur cote d'économie de carburant et le coût annuel estimé du carburant à partir de l'année modèle 1977 [76]. Depuis lors, la conception de l'étiquette a fait l'objet de plusieurs révisions, et elle est maintenant administrée par l'agence de protection de l'environnement (Environmental Protection Agency [EPA]). Elle comprend à la fois des informations sur la consommation d'énergie et sur les performances en matière d'émissions [77].

Il existe trois variantes de l'étiquette actuelle, chacune correspondant à l'un des trois principaux groupes propulseurs sur le marché : (1) les véhicules à moteur à combustion (y compris les hybrides) ; (2) les véhicules dotés d'une certaine capacité de recharge et d'un moteur à combustion (c.-à-d. les hybrides rechargeables) ; et (3) les véhicules sans moteur à combustion qui sont entièrement électriques (VE rechargeables). La figure 4 présente un exemple d'étiquette pour un véhicule hybride rechargeable.

Figure 4 : Étiquette pour les véhicules hybrides rechargeables. Réimprimée avec l'autorisation de [78]. Traduit de l'anglais vers le français.



Comme illustré, l'étiquette fournit 14 éléments d'information aux clients potentiels.

1. **Type de carburant et de groupe propulseur :** cet élément de l'étiquette indique au lecteur que le véhicule fonctionne à l'essence et qu'il peut être branché, offrant une plus grande autonomie en mode entièrement électrique.
2. **Taux d'économie de carburant :** cet élément indique le nombre de milles pouvant être parcourus avec un gallon de carburant (c.-à-d. MPG) pour le fonctionnement à moteur et pour le fonctionnement entièrement électrique. Comme aucun gallon d'essence n'est consommé pendant la conduite entièrement électrique, une équivalence effective de la consommation d'énergie est fournie (MPGe). Les valeurs MPG et MPGe représentent toutes deux un mélange de conduite de ville (démarrages et arrêts fréquents) et de conduite sur autoroute (vitesse plus élevée et constante).Les valeurs d'économie de carburant sont dérivées d'un ensemble de protocoles d'essai normalisés administrés par l'EPA. Ces tests ont été conçus pour produire des données sur les performances des véhicules en matière d'émissions, qui sont utilisées dans le cadre d'un certain nombre de politiques et de programmes, notamment pour permettre aux constructeurs d'automobiles de se conformer aux règlements fédéraux sur les émissions des principaux contaminants atmosphériques et les émissions de GES. Veuillez noter que les valeurs d'économie de carburant ne sont pas toujours des prédictions précises de ce qu'un conducteur peut connaître, car la consommation de carburant varie en fonction des conditions de conduite, mais les valeurs sont considérées comme adaptées à la comparaison entre les modèles.
3. **Comparaison dans la catégorie :** cet élément indique le meilleur taux d'économie de carburant pour un véhicule de cette catégorie de taille, et indique si un véhicule d'une autre catégorie de taille pourrait offrir une meilleure économie de carburant.



« Les consommateurs peuvent accepter cette étiquette comme un outil d'information comparatif et non comme une certification absolue des performances. »

4. **Économies sur les dépenses en carburant par rapport à la moyenne :** selon les valeurs d'économie de carburant, cet élément fournit une estimation de la différence de coût d'alimentation du véhicule pendant cinq ans par rapport à un véhicule moyen, en fonction d'un kilométrage annuel défini et du coût unitaire de l'essence et de l'électricité.
5. **Taux de consommation de carburant :** au lieu d'indiquer uniquement la consommation de carburant (une mesure de la distance parcourue par rapport au carburant consommé, MPG), cet élément indique également la consommation de carburant (une mesure du carburant consommé par rapport à la distance parcourue, MPG) parce que cela facilite la comparaison entre des modèles ayant des taux d'efficacité différents.
6. **Coût annuel estimé du carburant :** cet élément est fondé sur les mêmes calculs utilisés dans l'article 5.
7. **Économie de carburant et taux d'émissions de GES :** cet élément fournit un classement du modèle sur une échelle de 1 (le pire) à 10 (le meilleur) en ce qui concerne la consommation de carburant et les émissions de GES par rapport à tous les autres modèles offerts à la vente pour le même millésime. Les valeurs absolues de l'économie de carburant et des émissions de GES (mesurées en gCO2/mille) correspondant aux valeurs 1 à 10 varient donc d'une année à l'autre.
8. **Information sur les émissions de GES :** cet élément comprend des explications plus détaillées sur les caractéristiques des émissions de GES du véhicule. Les émissions de GES en amont ne sont pas prises en compte dans l'échelle de classement.
9. **Taux d'émissions de smog :** les niveaux des principaux contaminants atmosphériques émis par les véhicules qui contribuent à la formation du smog et à la mauvaise qualité de l'air sont réglementés aux États-Unis (ainsi qu'au Canada), mais chaque modèle varie quelque peu par rapport à la moyenne. Les émissions génératrices de smog ne sont pas toujours proportionnelles à la consommation de carburant, car certains modèles peuvent être dotés de systèmes de contrôle des émissions plus efficaces que d'autres, et aucune émission n'est produite lors de la conduite en mode entièrement électrique. Cet élément fournit un classement pour le modèle sur une échelle de 1 à 10 qui reconnaît les modèles de véhicules pour leurs performances uniques et écologiques.
10. **Clause de non-responsabilité :** cet élément est considéré comme une estimation, car les conditions de conduite réelles et le prix du carburant varient. Des allégations d'informations trompeuses sur la consommation de carburant ont été plaidées dans le passé, et cette reconnaissance vise à éviter les poursuites futiles.

11. **Code QR® :** cet élément fournit un lien mobile vers des informations supplémentaires sur le modèle, ainsi que des conseils sur les pratiques exemplaires et les bonnes habitudes de conduite qui permettent de réduire au minimum les dépenses de carburant.
12. **Fuel Economy (.gov) :** cet élément renvoie les conducteurs à un site Web où ils peuvent avoir accès à des informations supplémentaires et à des outils personnalisés pour l'estimation et le contrôle de la consommation de carburant.
13. **Limites d'autonomie entre les remplissages de carburant ou les recharges :** cet élément fournit une approximation de l'autonomie avec un réservoir plein ou une charge complète.
14. **Temps de charge :** cet élément indique le temps nécessaire pour recharger complètement la batterie lorsqu'elle est entièrement déchargée, en utilisant un service de charge de niveau 2 (service de 240 volts).

L'apposition de cette étiquette est exigée par la réglementation fédérale [79] et transmet de nombreuses données quantitatives fondées sur des protocoles d'essai normalisés en laboratoire. Certaines données sont directes, comme les économies de carburant mesurées et les coûts de remplissage, tandis que d'autres sont simplifiées et abstraites à des fins de comparaison, par le biais de l'échelle de classement de 1 à 10. Les informations considérées comme les plus importantes pour l'acheteur potentiel d'un véhicule sont présentées en grand format et de manière claire, pour en faciliter l'utilisation, tandis que les informations complémentaires sont fournies dans un texte plus petit et à l'aide d'éléments graphiques.

Cet outil d'information des consommateurs contient beaucoup d'information sur une série assez restreinte de paramètres, à savoir le rendement du carburant, les émissions de GES et les performances relatives en matière d'émissions génératrices de smog pendant le fonctionnement du véhicule. Il se peut qu'un consommateur ne s'intéresse qu'à un ou deux éléments d'information fournis, mais différents consommateurs peuvent se concentrer sur différents aspects de l'information.

La divulgation d'information semble être un principe directeur dans la conception de cette étiquette. Un classement comparatif est proposé, ce qui encourage les acheteurs à envisager une solution de rechange plus écoénergétique et plus propre, mais l'effet est minime par rapport à la présentation centrale et évidente des mesures et des coûts de la consommation d'énergie. Avant tout, cette étiquette se concentre sur la divulgation des coûts d'exploitation, avec des informations supplémentaires sur les émissions. En tant que système d'information des consommateurs issu des chocs économiques provoqués par les crises pétrolières des années 1970, cette orientation est compréhensible. La variante canadienne du programme américain d'économie de carburant, EnerGuide pour les véhicules, promeut l'utilisation d'une étiquette d'information similaire qui n'est pas exigée par la loi [80], ce qui laisse entendre que les consommateurs apprécient la divulgation d'information fournie par l'étiquette.

Malgré les informations complètes fournies sur l'étiquette de l'EPA, la clause de non-responsabilité y figurant indique ses propres incertitudes. Ainsi, les consommateurs peuvent accepter cette étiquette comme un outil d'information comparatif et non comme une certification absolue des performances. En d'autres termes, elle aide le consommateur à progresser vers des modèles de véhicules plus écoénergétiques et moins polluants, plutôt que d'affirmer qu'un modèle particulier répond à une norme supérieure. En éclairant ainsi les décisions des consommateurs, les constructeurs d'automobiles reçoivent des indications sur la valeur que le marché accorde à leurs investissements dans des technologies et des conceptions permettant d'économiser du carburant et de réduire les émissions.

5.1.2 Green Building Council : programme de certification LEED (États-Unis)

Le programme de certification LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) a été développé par le conseil du bâtiment durable (Green Building Council) pour aider les propriétaires et les promoteurs immobiliers à créer des bâtiments et des environnements bâtis conformes aux principes du

développement durable [81]. Le programme encourage et guide l'industrie dans la construction de bâtiments performants et résistants qui réduisent les émissions de carbone, économisent l'eau, conservent l'énergie et réduisent les déchets. Depuis sa création en 1993, le programme s'est développé et a fait l'objet de révisions périodiques. Il englobe désormais les conditions de santé, de confort et de productivité à l'intérieur. En 2021, on comptait plus de 80 000 bâtiments certifiés LEED dans le monde [82].

La certification LEED comprend un système de notation avec des points qui sont attribués dans sept catégories principales d'évaluation : (1) le processus d'intégration, (2) l'emplacement et le transport, (3) les sites durables, (4) l'utilisation efficace de l'eau, (5) l'énergie et l'atmosphère, (6) les matériaux et les ressources, (7) la qualité de l'environnement intérieur, en plus de deux catégories en prime : (1) l'innovation dans la conception, (2) la priorité régionale. Dans chaque catégorie d'évaluation, il peut y avoir des conditions préalables pour lesquelles aucun point n'est attribué, ainsi que des conditions de crédit pour lesquelles des points supplémentaires peuvent être donnés. Par exemple, dans la catégorie des sites durables, des mesures de prévention de la pollution sont exigées pour les activités de construction, tandis qu'un aménagement du site qui protège ou restaure l'habitat naturel est une possibilité pour laquelle des points de crédit peuvent être accordés au promoteur immobilier [83].

Les points attribués dans chaque catégorie sont additionnés pour un projet donné, le total correspondant à l'un des quatre rangs de certification suivants [82] :

- **Certifié :** correspond à une note de 40 à 49 points. Ce rang représente environ 15 % de l'ensemble des bâtiments ayant reçu une certification LEED.
- **Argent :** correspond à une note de 50 à 59 points. Environ 30 % des bâtiments certifiés LEED ont ce rang.
- **Or :** correspond à une note de 60 à 79 points. Ce rang est le plus courant, représentant environ la moitié des projets certifiés LEED.
- **Platine :** correspond à une note de 80 points ou plus. Il s'agit du rang le plus élevé, et environ 10 % des projets obtiennent ce classement.

Le processus de certification, y compris la vérification pour les projets de développement et de construction, est effectué par des professionnels de LEED qui ont acquis des compétences en passant des examens administrés par l'institut de certification des entreprises durables (Green Business Certification Institute), qui octroie également les certifications LEED. L'inscription d'un projet pour examen est payante. Les coûts directs liés à l'obtention de la certification LEED ont été estimés à moins de 2 % du coût total d'un projet [84].

Les quatre niveaux de certification LEED représentent une présentation très simplifiée des résultats d'un processus d'évaluation complexe et multidimensionnel qui couvre de nombreux domaines du développement durable. Comme peu de bâtiments sont identiques, la certification n'est pas un paramètre d'équivalence. Elle indique plutôt le niveau des bonnes pratiques appliquées par le promoteur immobilier et l'engagement du projet en faveur des idéaux de responsabilité environnementale et d'efficacité dans l'utilisation des ressources.

Comme pour toute reconnaissance au mérite, une autorité distincte détermine si les seuils minimaux ont été atteints et si les meilleurs efforts ont été déployés. Un certain degré de subjectivité est inhérent au processus, mais il est limité par des critères d'évaluation rigoureux. Le programme est également constamment revu et adapté à l'évolution de la situation. Les bénéficiaires du programme de certification LEED sont les occupants et les utilisateurs de l'environnement bâti, dont peu sont susceptibles de comprendre les réalisations techniques représentées par la certification. Néanmoins, l'adoption du programme dans le monde entier indique le succès de la simplicité d'une expression de certification selon le mérite.

5.1.3 Tableau de la valeur nutritive et Guide alimentaire canadien

Depuis 2007, l'étiquetage du tableau normalisé de la valeur nutritive est exigé par la réglementation sur la plupart des produits alimentaires préemballés au Canada [85]. Le Canada se conforme au *Règlement sur les aliments* et drogues en ce qui concerne la présentation des informations sur l'étiquette [86]. Le tableau est considéré comme un élément fondamental de la promotion d'une population en bonne santé, et des systèmes d'information des consommateurs similaires existent dans de nombreux pays développés. L'objectif est de fournir des informations nutritionnelles basées sur des tests normalisés de produits alimentaires, afin que les consommateurs puissent prendre des décisions sur la façon dont le produit s'inscrit dans leurs objectifs personnels en matière de santé et d'alimentation.

Le tableau normalise la présentation des informations que les nutritionnistes et Santé Canada considèrent comme les plus importantes pour une alimentation saine [85]. La taille de la portion est définie en premier, suivie des calories. La part des calories est répartie entre les graisses, les glucides et les protéines (c.-à-d. les macronutriments). La part des graisses saturées est également incluse, en raison de leur association avec les maladies cardiovasculaires, de même que les niveaux de fibres et de sucre dans le total des glucides. Le sel et les autres minéraux sont également indiqués. Un exemple de tableau de la valeur nutritive est présenté à la figure 5.

Il est important de noter que les paramètres figurant sur l'étiquette peuvent varier. Par exemple, une portion peut être volumétrique, gravimétrique ou correspondre à un nombre de morceaux. Pour établir un lien entre les masses de macronutriments et la part des calories dans l'apport journalier recommandé, une colonne supplémentaire indique la part en pourcentage. Le sel et les autres éléments nutritifs sont également présentés comme une part de l'apport quotidien recommandé. Tout en bas de l'étiquette, il est rappelé que plus de 15 % dans une catégorie est considéré comme une part importante de la consommation journalière recommandée. Ceci sert à simplifier la mise en contexte des niveaux de calories et de masse indiqués.

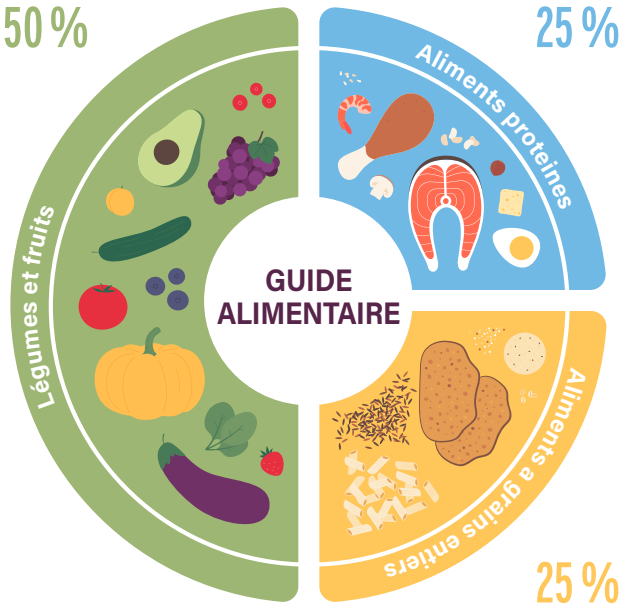
Figure 5 : Exemple de tableau de la valeur nutritive pour un aliment préemballé

Nutrition Facts
Valeur nutritive
Per 1 cup (250 mL)
pour 1 tasse (250 mL)

Calories 110	% Daily Value* / % valeur quotidienne*
Fat / Lipides 0 g	0 %
Saturated / saturés 0 g + Trans / trans 0 g	0 %
Carbohydrate / Glucides 26 g	
Fibre / Fibres 0 g	0 %
Sugars / Sucres 22 g	22 %
Protein / Protéines 2 g	
Cholesterol / Cholestérol 0 mg	
Sodium 0 mg	0 %
Potassium 450 mg	10 %
Calcium 30 mg	2 %
Iron / Fer 0 mg	0 %

*5% or less is **a little**, 15% or more is **a lot**
*5% ou moins c'est **peu**, 15% ou plus c'est **beaucoup**

Figure 6 : Une alimentation saine basée sur l'équilibre des apports nutritionnels.



Tout comme l'étiquette d'économie de carburant décrite au point 5.1.1, le tableau de la valeur nutritive présente de nombreuses informations. Contrairement à l'étiquette d'économie de carburant qui se concentre sur un aspect du véhicule (c.-à-d., énergie et émissions), de nombreux types de renseignements sont inclus ici, et un certain degré de connaissance et de compréhension de l'alimentation personnelle est nécessaire pour interpréter les informations. Ainsi, le principe de base du tableau de la valeur nutritive semble être la divulgation d'information.

La complexité de l'étiquetage nutritionnel réglementé et le temps nécessaire pour lire et interpréter les informations fournies peuvent nuire à son efficacité pour guider les gens dans leurs choix par rapport à une alimentation saine. C'est pourquoi des certifications supplémentaires ont été mises au point pour simplifier la prise de décision des consommateurs. Par exemple, jusqu'en 2014, le programme *Health Check* de la Fondation des maladies du cœur et de l'AVC offrait un marqueur sur les produits admissibles [87]. Le marqueur était un simple logo composé d'une coche que les producteurs d'aliments emballés pouvaient ajouter à leurs emballages. Dans la même veine, Loblaws dispose d'une gamme de produits alimentaires emballés portant la couleur et la marque PC Menu bleu [88]. Les systèmes de certification supplémentaires de ce type ont pour but d'aider les consommateurs à faire des choix plus sains d'un seul coup d'œil, sur la base de la confiance envers le marqueur.

Pour répondre à la complexité inhérente au tableau de la valeur nutritive et reconnaître que les aliments non emballés n'ont pas à être étiquetés, le gouvernement du Canada tient également à jour le *Guide alimentaire canadien*, qui fournit un guide visuel pour maintenir un régime alimentaire sain basé sur un équilibre des apports nutritionnels [89]. Un exemple est donné à la figure 6.

Contrairement aux guides alimentaires traditionnels qui classent visuellement les aliments, souvent sous la forme d'une pyramide avec les protéines au sommet, la nouvelle version du *Guide alimentaire canadien* utilise une assiette pour représenter la répartition saine des types d'aliments. Grâce à cette image, les consommateurs apprennent que la moitié d'un repas doit être composée de légumes et de fruits pour les nutriments et les fibres, un quart de glucides complexes (c.-à-d. de grains entiers) et un quart d'aliments maigres et riches en protéines. La seule hydratation saine nécessaire est l'eau. Le guide contient des informations quantitatives, mais il transmet les éléments essentiels d'une alimentation saine en termes de composition des aliments et de proportions dans lesquelles les différents types d'aliments doivent être consommés.

La force du *Guide alimentaire canadien* réside dans sa simplicité. Si votre assiette ressemble à celle de l'image, vous mangez sainement. En plus de l'aperçu de l'assiette, le guide comprend un ensemble plus large d'outils d'information sur le site Web, notamment des recettes et des conseils pour un mode de vie sain. Le guide est également remarquable pour ce qui n'y figure pas, comme les produits alimentaires qui ne contiennent aucune valeur nutritionnelle supplémentaire éprouvée.

Ensemble, le tableau de la valeur nutritive et le *Guide alimentaire canadien* constituent une paire d'outils qui représentent un système complet d'information des consommateurs pour transmettre des données quantitatives ainsi que des conseils contextuels et qualitatifs. Les deux formats sont très différents, mais ils poursuivent un objectif commun et se renforcent mutuellement.

5.1.4 Ocean Wise et Marine Stewardship Council : programmes de produits de la mer durables

Ocean Wise et le conseil pour la bonne gestion des mers (Marine Stewardship Council [MSC]) sont deux organismes différents qui militent en faveur du développement durable des ressources marines ainsi que de la préservation et de la conservation des environnements marins [90] [91]. Chaque organisme dispose d'un programme destiné à renseigner les consommateurs sur les choix de produits de la mer durables. Les détails des conceptions respectives des

programmes ne sont pas explorés ici, mais ils sont résumés pour démontrer les différentes approches de la transmission des résultats de l'évaluation.

Ocean Wise utilise une méthode de pointage par critères avec des résultats binaires (c.-à-d. réussite ou échec) [92], tandis que le MSC classe les produits de la mer en fonction d'une série d'indicateurs relevant de trois principes pour obtenir une note moyenne [93]. En fonction des résultats du système de pointage Ocean Wise, les produits de la mer sont soit recommandés comme *Ocean Wise*, soit déconseillés. Les produits de la mer qui remplissent les conditions requises peuvent porter le label *Ocean Wise* pour informer les clients de la certification du produit. Le MSC émet trois jugements sur la base de son système de pointage : échec, réussite conditionnelle, ou réussite inconditionnelle. Les produits de la mer provenant de pêcheries considérées par le MSC comme exploitées de manière durable peuvent porter un label bleu du MSC destiné à informer les clients [93].

Ces deux systèmes reposent sur une analyse complexe et experte de multiples variables pour formuler des recommandations au consommateur afin qu'il puisse être satisfait par les produits de la mer et soutenir les pêcheries recommandées, ou alors qu'il reconsidère son choix.

5.1.5 Valeur confirmée d'efficacité minimale et programme de certification 80 PLUS®

La valeur confirmée d'efficacité minimale (Minimum Efficiency Reporting Value [MERV]) est une échelle de mesure élaborée par la Société américaine des ingénieurs en chauffage, en réfrigération et en climatisation (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) qui indique le rendement des filtres à air dans les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation des bâtiments. Les filtres à air sont caractérisés par un numéro MERV qui peut aller de 1 à 16, correspondant à la tranche de taille des particules (mesurée en microns) qui peuvent les traverser, ainsi qu'à la résistance au débit d'air [94]. Le tableau 5 résume les différentes applications de la MERV.

Tableau 5 : Applications des filtres en fonction de la MERV (adapté de [94])

MERV	Taille minimale des particules	Utilisation typique
1 à 4	> 10,0 µm	Climatiseurs résidentiels de fenêtre, filtration minimale
5 à 8	10,0 à 3,0 µm	Meilleurs bâtiments résidentiels, bâtiments commerciaux, espaces de travail industriels
9 à 12	3,0 à 1,0 µm	Bâtiments résidentiels supérieurs, meilleurs bâtiments commerciaux, laboratoires d'hôpitaux
13 à 16	1,0 à 0,3 µm	Bâtiments commerciaux supérieurs, soins hospitaliers et chirurgie générale

Il n'existe pas d'étiquette normalisée pour la MERV, de sorte que le numéro MERV peut figurer sur les emballages des filtres à air de la manière dont le fabricant souhaite l'afficher.

La spécification 80 PLUS® est un programme de certification volontaire développé par des entreprises de l'industrie électronique et lancé en 2004 [95]. Le plus souvent appliquée aux blocs d'alimentation à transformateur pour ordinateurs personnels, elle certifie qu'un produit testé est écoénergétique à 80 % à 20, 50 et 100 % de sa charge nominale, et qu'il a un facteur de puissance de 0,9 ou plus à 100 % de sa charge [96]. La spécification 80 PLUS® est parfois considérée comme un programme de label écologique parce qu'elle favorise les composants consommateurs d'électricité qui sont plus efficaces et moins énergivores.

Au fil du temps, des désignations indiquant des niveaux plus élevés d'efficacité énergétique ont été ajoutées, créant ainsi un système de reconnaissance à plusieurs niveaux. Le tableau 6 résume les labels attribués aux produits certifiés 80 PLUS®, qui comptent désormais six niveaux distincts. Ces labels apparaissent sur l'emballage du composant, de sorte qu'ils sont facilement visibles pour le consommateur.

Tableau 6 : Niveaux de certification 80 PLUS® pour bloc d'alimentation typique de 115 V (adapté de [96])

Charge d'alimentation	80 PLUS®	80 PLUS® Bronze	80 PLUS® Argent	80 PLUS® Or	80 PLUS® Platine	80 PLUS® Titane
20 %	80 %	82 %	85 %	87 %	90 %	92 %
50 %	80 %	85 %	88 %	90 %	92 %	94 %
100 %	80 %	82 %	85 %	87 %	89 %	90 %

Les programmes de certification MERV et 80 PLUS® sont des exemples de systèmes d'information des consommateurs clairs et sans ambiguïté. Un élément d'information simple et unidimensionnel sur le produit est transmis au consommateur, sur la base d'une procédure de test normalisée. Aucune valeur n'est attribuée à la certification. Les numéros MERV et les cotes 80 PLUS® ne font pas référence à la qualité globale du produit. Dans ces systèmes, aucun niveau n'est nécessairement meilleur qu'un autre ; les certifications guident simplement le consommateur vers le produit le mieux adapté à ses besoins.

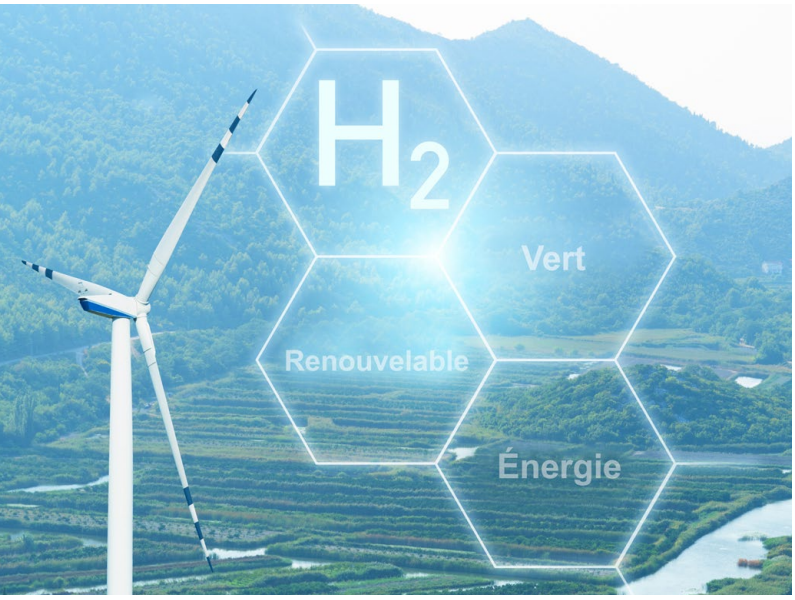
5.1.6 Corporation canadienne de classification cinématographique : Système canadien de classification des cassettes vidéo

Le Système canadien de classification des cassettes vidéo (SCCCV) a été développé par l'Association canadienne des distributeurs de films afin d'établir un système uniforme pour chaque province, car il ne s'agit pas d'une compétence fédérale. Il s'agit d'un système volontaire d'information des consommateurs dirigé par l'industrie. Six comités de classement des films répartis dans tout le pays déterminent le classement d'un film, puis une moyenne pondérée est appliquée pour déterminer la façon dont le film sera classé. Le Québec dispose d'un système de classification distinct administré par le ministère de la Culture et des Communications.

Les symboles de classement apparaissent sur les emballages vidéo et les supports numériques conformément au SCCCV, et sont décrits comme suit [97] :

- **G sur un cercle vert :** convient à tous les âges.
- **PG sur un cercle bleu :** surveillance parentale conseillée. Thèmes ou contenus pouvant ne pas convenir aux enfants.
- **14A sur un cercle jaune :** convient aux personnes de 14 ans et plus. Les moins de 14 ans devraient être accompagnés d'un adulte. Location et achat interdits aux moins de 14 ans. Mise en garde aux parents. Peut contenir des scènes de violence, un langage grossier ou des scènes sexuellement suggestives.
- **18A sur un cercle orange :** convient aux personnes de 18 ans et plus. Les moins de 18 ans devraient être accompagnés d'un adulte. Location et achat interdits aux moins de 18 ans. Forte mise en garde aux parents. Renferme probablement violence explicite, abondance de langage vulgaire, activité sexuelle ou horreur.
- **R sur un cercle rouge :** réservé aux personnes de 18 ans et plus. Location et achat interdits aux moins de 18 ans. Contenu ne convenant pas aux mineurs. Renferme fréquemment activité sexuelle, violence brutale/graphique, horreur intense ou autre contenu dérangeant.
- **E sur un cercle blanc :** exemption. Contient du matériel non soumis à classification, tel que des documentaires, des informations sur la nature, les voyages, la musique, les arts et la culture, les sports, ainsi que des informations éducatives et informatives.

Ce système d'information des consommateurs repose souvent sur l'évaluation subjective de nombreux évaluateurs, dont les commentaires déterminent le classement final. Cette approche permet d'obtenir une



« En réponse à la politique gouvernementale exigeant que l'hydrogène réponde aux critères de développement durable ainsi qu'à l'intérêt général du marché pour l'hydrogène provenant de matières premières renouvelables ou à faible teneur en carbone, plusieurs programmes de certification de l'hydrogène ont déjà été lancés. »

décision qui devrait correspondre à la prépondérance des opinions des téléspectateurs. Ainsi, l'étiquette sert à définir les attentes du public et le SCCCV ne fait aucun commentaire sur la qualité du produit.

Il est intéressant de noter que le classement G est vert et le classement PG est bleu, ce qui correspond au système informel de code de couleur utilisé pour l'hydrogène, où le vert correspond à une filière renouvelable et le bleu à une filière de gaz naturel et de CUSC. Cela semble établir un système à plusieurs niveaux, dans lequel le produit considéré comme le plus inoffensif et le plus largement acceptable est le produit vert. Le bleu suit, reflétant une augmentation des réserves à l'égard du produit, et ainsi de suite.

5.1.7 Discussion

Les systèmes d'information des consommateurs évoqués dans les sections 5.1.1 à 5.1.6, dont certains comportent la classification et la certification des produits, se sont développés rapidement en réponse à la demande du marché ou ont résisté à l'épreuve du temps jusqu'à ce jour. Des apprentissages particuliers peuvent être tirés de ces exemples de réussite, notamment :

1. La crédibilité et la confiance semblent naître de l'application cohérente de protocoles d'essai et de procédures transparentes. Les évaluations subjectives sont acceptables, à condition que le principe de l'analyse objective soit utilisé pour éclairer le jugement, dans la mesure du raisonnable.
2. Les consommateurs apprécient la divulgation d'information, même si elle n'éclaire que partiellement leurs décisions d'achat. Il est parfois utile de compléter la divulgation d'information détaillée par un visuel simplifié dans lequel certains détails peuvent être perdus, mais dont le sens est amplifié.
3. La simplicité et la rapidité sont des caractéristiques des systèmes d'information des consommateurs qui sont adoptées par le marché lorsque cela est possible. Une représentation simplifiée doit toujours être fondée sur une analyse approfondie, mais plus le marché peut agir rapidement et intuitivement sur l'information, mieux c'est, à condition que la recherche de la simplicité ne soit pas source de confusion.

5.2 Systèmes émergents de certification de l'hydrogène

En réponse à la politique gouvernementale exigeant que l'hydrogène réponde aux critères de développement durable ainsi qu'à l'intérêt général du marché pour l'hydrogène provenant de matières premières renouvelables ou à faible teneur en carbone, plusieurs programmes de certification de l'hydrogène ont déjà été lancés. Certains des principaux programmes sont décrits ici et examinés dans le contexte des pratiques exemplaires des systèmes d'information des consommateurs étudiées dans la section précédente.

5.2.1 Certification de la garantie d'origine CertifHy™

La certification CertifHy™ [98] est un programme financé en partie par la CE et administré par le consortium CertifHy™, dirigé par Hinicio, un groupe-conseil spécialisé dans le développement du marché de l'hydrogène [99]. Le programme émet des garanties d'origine (GO) pour l'hydrogène qualifié de vert ou à faible teneur en carbone. Ces certificats de GO ont une valeur sur certains marchés, notamment dans l'UE, et sont transférables au consommateur d'hydrogène certifié.

Les fournisseurs d'hydrogène qui souhaitent obtenir une certification soumettent leur produit à un registre central pour qu'il soit examiné par un auditeur. Un produit d'hydrogène dont le niveau d'IC est confirmé comme inférieur d'au moins 60 % au niveau de référence (c.-à-d. l'hydrogène issu du gaz naturel par reformage du méthane à la vapeur) peut être qualifié d'hydrogène CertifHy™ à faible teneur en carbone. Cela inclut l'hydrogène provenant de sources d'énergie non renouvelables (c.-à-d. nucléaire, fossile avec CUSC). S'il est en outre démontré que l'origine de l'hydrogène est renouvelable (p. ex., de source biogène, hydroélectrique, éolienne ou solaire), il peut alors être qualifié d'hydrogène vert CertifHy™.

La GO est émise sous la forme d'un document électronique contenant des informations destinées aux utilisateurs finaux de l'hydrogène, qui peuvent se servir de ce certificat pour prouver la conformité à la politique ou le respect d'une directive, en fonction du pays ou de la région. Un certificat de GO CertifHy™ comprend :

- la source d'énergie à partir de laquelle l'hydrogène a été produit [100] ;
- les renseignements sur l'installation qui a produit l'hydrogène (p. ex., l'emplacement, la date de début d'exploitation, l'exploitant, etc.) ;
- le temps de production de l'hydrogène ;
- l'IC de l'hydrogène, mesuré en CO_2e/MJ ;
- la date à laquelle la GO a été émise.

Une fois l'hydrogène consommé, les déclarations d'annulation de la GO sont émises par le registre central, ce qui garantit que le volume d'hydrogène certifié ne peut être utilisé qu'une seule fois.

La source d'hydrogène issue du reformage du méthane à la vapeur qui sert de référence est considérée par CertifHy™ comme ayant une IC de 91 gCO_2e/MJ, ce qui correspond au stade allant du puits à la porte de son cycle de vie [101]. Toutefois, cette valeur peut être revue périodiquement.

Le programme CertifHy™ est surtout actif en Europe, où l'augmentation de la production et des importations d'hydrogène est actuellement un objectif de sécurité énergétique. Des certificats de GO ont déjà été émis pour un certain nombre d'installations de production en Europe, et la structure du programme peut être transférée à d'autres pays ou régions si nécessaire.

5.2.2 Norme CMS 70 (GreenHydrogen et GreenHydrogen+) de TÜV SÜD

TÜV SÜD est une entreprise internationale, dont le siège social est situé en Allemagne, qui offre un large éventail de services d'essais techniques, y compris la certification, et qui possède l'expertise et la capacité dans les domaines du développement durable et des systèmes à hydrogène. En 2021, TÜV SÜD a publié une nouvelle norme sur la production d'hydrogène vert, CMS 70 [102]. Les sources d'hydrogène qui répondent à la norme peuvent recevoir un certificat de GO, un peu comme dans le cadre du programme CertifHy™, et il existe deux certifications qui peuvent être obtenues dans le cadre de la norme CMS 70 : GreenHydrogen et GreenHydrogen+.

Selon la norme CMS 70, la certification GreenHydrogen est définie selon un ensemble de conditions, dont les suivantes [102] :

- La limite du système dans lequel l'hydrogène est défini, y compris ses émissions de GES, comprend l'usine de production et les unités auxiliaires, telles que le traitement de l'eau, les apports d'énergie sur le site et la purification de l'hydrogène, jusqu'au point

de transfert vers un système de distribution distinct. En amont de la limite du système, la production d'énergie et de matières premières est considérée comme exogène à la limite du système. Au point de transfert vers les systèmes en aval, l'hydrogène doit avoir une pureté d'au moins 99,9 % vol. et un niveau de surpression d'au moins 3 MPa. À l'intérieur des limites du système, les principes et les lignes directrices de l'ACV des normes ISO 14040 et 14044 sont respectés.

- Le domaine d'application de la certification doit être documenté avec certains détails, notamment :
  - le procédé de production ;
  - les sites de production avec la production totale et la moyenne du travail annuel total effectué ;
  - l'objectif de la production ;
  - les sources d'énergie utilisées ;
  - le propriétaire de l'usine ;
  - le mode ainsi que les itinéraires de transport ;
  - les fournisseurs de services qui exercent des fonctions liées à la certification.
- L'utilisation de l'hydrogène doit permettre de réduire les émissions de GES d'au moins 70 % par rapport à une valeur de référence. Cette valeur de référence peut changer en fonction de la situation, mais elle est actuellement fixée à la production d'hydrogène par reformage du méthane à la vapeur de fine pointe, estimée à 94 gCO_2e/MJ. Cela correspond à une limite supérieure de l'IC de 28,2 GCO_2e/MJ.
- Il doit être prouvé que l'hydrogène est synthétisé à partir de matières premières renouvelables, ce qui peut inclure de l'électricité renouvelable pour l'électrolyse ou du biogaz/méthane.

On considère que l'hydrogène GreenHydrogen+ est produit lorsque les exigences de GreenHydrogen ont été satisfaites, mais dans le cadre d'un système étendu qui inclut le transport de l'hydrogène jusqu'à l'utilisateur final. De plus, au moment de la mise en service de l'installation de production d'hydrogène, il ne doit pas y avoir de goulets d'étranglement dans l'approvisionnement du réseau, qui contraignent ou détournent l'électricité renouvelable d'autres utilisations importantes. La certification GreenHydrogen+ est donc plus stricte, bien qu'il n'y ait pas de changement dans les seuils numériques pour l'IC.

Les certifications de GO GreenHydrogen et GreenHydrogen+ sont similaires à celles de CertifyHy™, mais la norme CMS 70 restreint le domaine d'application en excluant les sources basées sur les combustibles fossiles, même si elles ont une faible IC.

5.2.3 Norme Green Hydrogen Standard de GH2

En 2022, la Green Hydrogen Organisation (GH2) a lancé un programme de certification de GO dans le cadre de sa norme Green Hydrogen Standard [103]. Le programme a en commun certaines caractéristiques de conception avec les certifications CertifHy™ et GreenHydrogen/GreenHydrogen+, mais le processus de soumission d'un projet au registre de GH2 exige une consultation publique, bien que GH2 ne soit pas un organisme d'élaboration de normes accrédité. La norme Green Hydrogen Standard fixe le maximum de l'IC à 1 $kgCO_2e/kg\text{-}H_2$. La norme exige également que l'hydrogène soit produit uniquement à partir de l'électrolyse de l'eau en utilisant de l'énergie renouvelable, y compris l'énergie hydroélectrique, éolienne, solaire (thermique et photovoltaïque), géothermique, marémotrice et d'autres filières d'énergie océanique.

En outre, dans le cadre de la norme Green Hydrogen Standard, l'hydrogène pouvant être certifié doit satisfaire à un ensemble d'exigences en matière de performance environnementale, sociale et de gouvernance d'entreprise, dont certaines se réfèrent aux normes de performance environnementale et sociale de la Société financière internationale (International Finance Corporation) [104]. Ces exigences signifient que la norme Green Hydrogen Standard traite un éventail plus large de critères de développement durable que d'autres politiques et programmes, et comprend les éléments suivants [103] :

- L'engagement des parties prenantes et l'approbation du gouvernement, afin de s'assurer que le projet est conforme aux lois régionales et n'est pas en conflit avec les droits de propriété, d'utilisation des terres ou de l'eau ;
- Une évaluation de l'impact social pour démontrer que le projet d'hydrogène est développé en consultation avec la communauté locale, que ses effets et ses performances à long terme sont compris, qu'il soutient les entreprises locales et que la chaîne de valeur génère des avantages locaux. Les problèmes pris en compte sont les suivants :
  - Les effets sur les communautés et les moyens de subsistance, tels que la santé publique, les droits de la personne et les objectifs locaux de développement durable ;
  - Les réinstallations sont évitées ;
  - Les populations autochtones concernées par le projet donnent leur consentement libre, préalable et éclairé ;
  - La main-d'œuvre et les conditions de travail, y compris des salaires équitables et une représentation syndicale ;
  - L'esclavage moderne, le travail des enfants et le travail forcé sont absents ou leur éradication progresse grâce au projet, et il y a des améliorations tangibles en matière de main-d'œuvre qualifiée et de transfert de connaissances ;
- L'évaluation de l'impact sur l'environnement pour s'assurer qu'il n'y a pas de répercussions négatives évitables sur l'environnement local et la santé publique, y compris les éléments suivants :
  - L'utilisation et la qualité de l'eau font l'objet d'une analyse publique afin de s'assurer que le projet n'a pas d'effets négatifs sur la disponibilité de l'eau ou sur les droits relatifs à l'eau ;
  - Les effets sur la biodiversité sont repérés et traités ;
  - Les effets sur le bruit et la qualité de l'air sont repérés, et des mesures d'atténuation sont prises.
- La santé et la sécurité du projet ;
- La gouvernance du projet respecte les principes de lutte contre la corruption et de transparence des bénéfices, des subventions et des contrats.

Les exigences de certification de la norme Green Hydrogen Standard reflètent une perspective internationale sur le développement de projets d'hydrogène, en particulier dans les pays ou les communautés dont l'économie est en développement, où les lois locales peuvent ne pas répondre aux pratiques exemplaires mondiales en matière environnementale, sociale et de gouvernance d'entreprise. À cet égard, la norme peut être considérée comme un instrument permettant d'améliorer les principes de progrès économique et de justice sociale en tirant parti de la production commerciale d'hydrogène, de l'utilisation locale et des possibilités d'exportation.

5.2.4 Discussion

Parmi les trois programmes émergents de certification de l'hydrogène examinés dans les sections 5.2.1 à 5.2.3, les certifications CertifHy™ et GreenHydrogen/GreenHydrogen+ sont toutes les deux axées sur le type de matière première, pour accroître la valeur de l'hydrogène produit à partir de sources d'énergie renouvelables. C'est une bonne chose, car l'objectif des certifications est d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES d'un pays ou d'une région, avant tout en facilitant et en accélérant le commerce de l'hydrogène, ce qui accélère la décarbonation. D'autres seuils de développement durable ne sont pas pris en compte, peut-être parce que de nouvelles restrictions pourraient aller à l'encontre d'un objectif connexe, qui est d'augmenter rapidement l'approvisionnement d'hydrogène dans l'UE, notamment grâce aux importations internationales, pour répondre aux objectifs en matière de sécurité énergétique.

Selon Henry Mintzberg, la stratégie est « un modèle dans un flux de décisions » [105]. Lors de l'évaluation des certifications et des systèmes de classification qui leur sont associés, il est tout aussi important d'examiner ce qui est inclus dans le domaine d'application que ce qui en est absent.

Dans le cadre des pratiques exemplaires pour les systèmes d'information des consommateurs, ces deux certifications démontrent la qualité de la divulgation, étant donné l'étendue des informations documentées dans les certificats. Les certifications sont également relativement simples, car les définitions des matières premières renouvelables et à faible teneur en carbone sont décrites de manière claire et concise et sont conformes aux filières de production d'hydrogène actuelles et courantes. Cette situation pourrait toutefois changer avec l'apparition de nouvelles technologies qui compliquent la définition des filières.

La norme Green Hydrogen Standard, en revanche, promeut une vision plus large du développement de l'hydrogène qui favorise la réalisation de nombreux objectifs de développement durable. La norme semble s'efforcer d'atteindre un niveau d'excellence que certains promoteurs de projets d'hydrogène pourraient avoir du mal à atteindre. La certification selon cette norme pourrait être considérée comme une désignation rare et exclusive, conforme aux idéaux les plus élevés de la production d'hydrogène. Bien que le respect de la norme puisse entraîner des coûts de projet supplémentaires, l'hydrogène certifié peut se vendre à un prix plus élevé sur le marché, si les consommateurs accordent de la valeur aux principes reflétés dans la norme.

6 Thèmes ressortant des entrevues avec les experts sectoriels et les parties prenantes

La recherche primaire menée pour la phase 2 de ce rapport a consisté en des entrevues avec des experts en la matière et des représentants de différents éléments de la chaîne de valeur de l'hydrogène. Cette section résume les thèmes et les points de vue sur le sujet des systèmes de classification de l'hydrogène qui sont ressortis des entrevues. Certains des résultats de cette recherche primaire ont contribué au contenu des sections précédentes du rapport, c'est pourquoi cette section inclut des points de vue et des idées supplémentaires exprimés au cours des entrevues.

L'IC et la source de matières premières sont les caractéristiques des chaînes d'approvisionnement d'hydrogène qu'un système de classification doit prendre en compte avant tout.

Bien que de nombreuses caractéristiques de développement durable de la chaîne d'approvisionnement d'hydrogène soient importantes, les spécifications que les personnes interrogées ont jugées les plus pertinentes dans l'immédiat sont l'IC du cycle de vie (du puits à la porte) et l'identification de la matière première d'origine. L'intérêt pour ces deux spécifications distinctes est déterminé par la politique gouvernementale, y compris le respect des directives, des règlements et des programmes d'incitation, ainsi que par la demande générale du marché.

Les aspects sociaux de la chaîne d'approvisionnement et l'utilisation durable de l'eau viennent en deuxième dans l'importance globale. La dimension sociale a été principalement exprimée sous la forme de bonnes perspectives d'emploi, en particulier si l'hydrogène est utilisé dans les régions où il est produit (c.-à.-d. les écosystèmes commerciaux locaux de l'hydrogène). Les personnes interrogées ont laissé entendre que ces caractéristiques devraient être prises en compte dans tout nouveau système de classification, mais elles ne constituent pas actuellement des contraintes pour la croissance du marché, et il est donc temps de réfléchir à la meilleure façon de les intégrer à l'IC et à l'identification de la source.

De nombreuses personnes interrogées ont souligné que la lutte contre les changements climatiques était le principal vecteur des nouveaux marchés de l'hydrogène. D'autres avantages de l'utilisation de l'hydrogène, tels que l'amélioration de la qualité de l'air sur le plan local, ont souvent été perçus comme moins importants, mais non négligeables, en particulier dans des contextes régionaux. Par exemple, dans les régions soumises à des stress hydriques, l'utilisation de l'eau peut devenir un facteur clé pour tout développement, et pas seulement pour les projets liés à l'hydrogène. Il a également été noté que, dans le logiciel *openLCA*, il est possible de construire des ensembles de données et d'analyser les répercussions sociales en calculant les indicateurs sociaux liés à une unité de traitement de l'hydrogène.

Un nouveau système de classification devrait se reporter aux méthodes et aux modèles d'ACV qui adhèrent à une norme commune de cohérence, de comparabilité et de reproductibilité des résultats.

Bon nombre de modèles d'ACV sont conçus pour comparer les filières de carburants de différents types, mais aucun n'a été expressément conçu pour prendre en compte les chaînes d'approvisionnement d'hydrogène. C'est pourquoi l'hydrogène est parfois évalué en fonction de conditions limites plus pertinentes pour d'autres filières de carburants et conformément à d'autres objectifs. Pour faciliter davantage les comparaisons hydrogène à hydrogène et faire la distinction entre les approvisionnements et les fournisseurs, les personnes interrogées ont indiqué que le marché bénéficierait d'une méthode d'ACV conçue à cet effet.

En 2022, le Partenariat international pour l'hydrogène et les piles à combustible dans l'économie (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy [IPHE]) a publié un document de travail qui propose une méthodologie cohérente pour calculer les émissions de GES associées à la production d'hydrogène [106]. L'IPHE est un organisme intergouvernemental, ce qui peut faciliter l'adoption de la méthodologie proposée dans le cadre d'un processus d'élaboration de normes internationales. À cette fin, la méthodologie de l'IPHE devrait être examinée par le comité technique de l'ISO sur les technologies de l'hydrogène (ISO/TC 197) en vue de sa transformation en une norme ISO officielle. Ce processus pourrait prendre plusieurs années, mais il pourrait déboucher sur une norme reconnue mondialement pour déterminer et divulguer l'IC (ou l'intensité des émissions de GES) d'un approvisionnement particulier d'hydrogène.

Différentes normes sont en concurrence pour être adoptées sur le marché international. Jusqu'à ce qu'une norme soit incorporée par référence dans les règlements, les intervenants du marché devront définir les pratiques exemplaires à suivre. Une analogie est l'utilisation de principes comptables généralement reconnus, car plusieurs méthodes différentes peuvent s'harmoniser avec les principes, dans lesquels il peut y avoir une certaine variation des résultats. L'objectif est de trouver un équilibre entre la facilité d'utilisation, la cohérence et l'exhaustivité.

Les personnes interrogées ont largement fait remarquer que les caractéristiques environnementales d'une chaîne d'approvisionnement d'hydrogène font partie de ce qui est négocié dans le cadre de l'échange d'hydrogène, et que les décisions commerciales seront basées sur ces caractéristiques. Il est donc conseillé d'harmoniser un système de classification sur une méthode d'ACV qui soit transparente, vérifiable et simple. De plus, la certification de l'hydrogène sera un instrument crucial du commerce transfrontalier de l'hydrogène, de sorte qu'un système de classification qui se reporte à cette certification a plus de chances d'être adopté à l'échelle mondiale.

Les modèles d'ACV attributionnels sont privilégiés pour des raisons de simplicité et de cohérence des résultats.

Si les modèles d'ACV conséquentiels sont adaptés à la simulation de systèmes complexes, ils peuvent être très sensibles aux effets périphériques. Prenons l'exemple de deux installations équivalentes de production d'hydrogène. Toutes deux produisent de l'hydrogène, mais vendent leur coproduit, l'oxygène, à différents clients qui l'utilisent pour remplacer d'autres sources d'oxygène qu'ils devraient autrement se procurer. En fonction de la nature de ces sources d'oxygène tierces, qui échappent largement au contrôle des producteurs d'hydrogène, une ACV conséquentielle peut donner des valeurs d'IC très différentes pour chacun de leurs produits à base d'hydrogène. En revanche, les méthodes d'ACV attributionnelles attribueraient probablement une valeur d'IC équivalente à chaque opération, étant donné le fait que le sort de l'oxygène n'est pas pris en compte ou qu'il est considéré comme identique. Le résultat peut être inexact dans un sens absolu, mais il est exact en tant que comparateur des deux opérations. Plus encore, il peut motiver des améliorations dans les deux installations qui sont sous le contrôle direct des propriétaires.

Ainsi, la modélisation attributionnelle de l'ACV permet davantage de mettre en place des mesures politiques et des programmes. Par ailleurs, les résultats sont moins susceptibles d'être modifiés au fil du temps en fonction des nouvelles informations générées, ce qui contribue à maintenir la confiance entre les parties prenantes directes et le public.

L'élaboration d'un nouveau système de classification devrait tenir compte de son utilisation dans les dérivés de l'hydrogène.

Le commerce bilatéral de masse pour les dérivés d'hydrogène a déjà commencé. Des expéditions d'ammoniac du Moyen-Orient vers l'Europe et d'hydrogène liquéfié de l'Australie vers le Japon ont eu lieu, dans lesquels l'IC de l'hydrogène était une caractéristique des contrats et des méthodes de calcul prescrites [107], [108]. Dans l'ordre de la demande du marché, les dérivés de l'hydrogène vert et à faible teneur en carbone comprennent l'ammoniac, le méthanol et l'acier. Ainsi, la considération des préoccupations en matière de développement durable les plus pertinentes dans ces secteurs peut influencer les caractéristiques déterminées dans un nouveau système de classification de l'hydrogène.

Actuellement, les achats de masse d'hydrogène sont directement négociés entre les parties, ce qui signifie que l'absence d'un système de classification formel n'est pas un obstacle à l'échange. Cependant, à mesure que les volumes augmentent et que le transport par pipeline devient la norme, et dans lequel de nombreuses sources différentes d'hydrogène sont regroupées, mélangées et distribuées, les programmes de classification et de certification deviendront essentiels, à la fois pour les utilisations directes de l'hydrogène et pour les utilisations indirectes de ses dérivés (p. ex., l'acier vert, l'ammoniac vert).

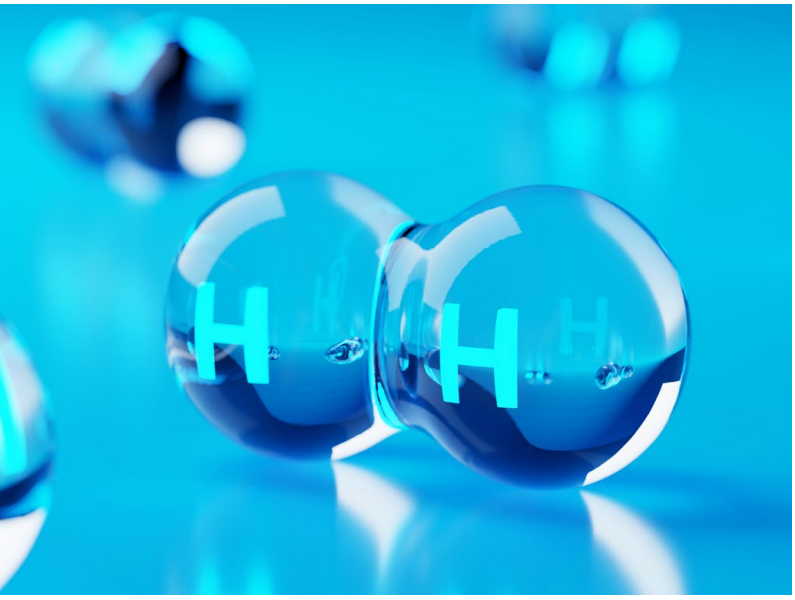
Une alternative au système informel de code de couleur pour la classification de l'hydrogène est souhaitée.

Le système informel de code de couleur permettant de distinguer les produits à base d'hydrogène en fonction de leur chaîne d'approvisionnement est de plus en plus considéré comme réducteur et inexact, source de confusion sur le marché, potentiellement trompeur et, surtout, comme n'aidant ni les fournisseurs ni les consommateurs. Du point de vue de l'IC, dans certaines circonstances, l'hydrogène bleu peut être quantitativement plus propre que l'hydrogène vert. Les personnes interrogées ont noté que le système a polarisé le mouvement pour l'hydrogène, générant une fausse perception des bons et des mauvais intervenants au sein du secteur et créant un espace pour des affirmations moralisatrices qui ne soutiennent pas l'adoption et le commerce de l'hydrogène. Les personnes interrogées ont indiqué que le système de code de couleur avait été élaboré à l'origine pour éduquer le public et communiquer avec les médias, et non pour servir de spécification d'achat.

C'est pourquoi les personnes interrogées ont accueilli favorablement la perspective d'un système de classification formel qui détermine les caractéristiques pertinentes d'un produit d'hydrogène pour le marché, sans biais ni jugement.

Un nouveau système de classification de l'hydrogène devrait être intuitif et s'adapter à l'évolution des indicateurs de marché.

Les personnes interrogées ont fait remarquer qu'au cours des 25 dernières années, le nombre de certifications et de labels de café équitable a augmenté radicalement pour s'harmoniser avec une gamme de plus en plus diversifiée d'objectifs de durabilité dans les régions productrices de café, puis s'est réduit pour se limiter à quelques systèmes dominants. À son apogée, la charge de vérifications imposée à de nombreux producteurs de grains de café pour se conformer à la myriade de certifications dépassait leurs capacités [109]. Les personnes interrogées ont utilisé cette référence comme une mise en garde. Afin d'éviter une concurrence paralysante pour les systèmes de classification de l'hydrogène sur le marché, les personnes interrogées ont recommandé la création d'un système d'information des consommateurs largement applicable et facilement compréhensible. De plus, le système doit être structuré de manière à transmettre les nouvelles informations au fur et à mesure qu'elles deviennent accessibles et importantes. Une telle adaptabilité permettra au système de classification de l'hydrogène d'être durable et de maintenir la confiance au fil du temps. Sans ces éléments, les systèmes de classification risquent d'être fréquemment retirés et remplacés, ce qui n'est pas dans l'intérêt du marché.



« Il n'existe actuellement aucun système formel de classification de l'hydrogène qui permette d'éclairer et de faciliter les échanges commerciaux sans biais ni confusion. »

Les personnes interrogées ont également mentionné les principes pour des systèmes de normes de durabilité crédibles et efficaces publiés par l'alliance d'accréditation et de labellisation sociale et environnementale (International Social and Environmental Accreditation and Labelling Alliance [ISEAL]) [110], paraphrasés ici :

1. **Durabilité :** les objectifs de durabilité sont clairement définis.
2. **Amélioration :** une meilleure compréhension mène à des progrès vers les résultats souhaités.
3. **Pertinence :** les normes sont pertinentes à leur objectif.
4. **Rigueur :** les systèmes de normes sont conçus pour offrir des résultats de qualité.
5. **Engagement :** les parties prenantes sont responsabilisées et participent à l'élaboration des normes.
6. **Impartialité :** les systèmes de normes travaillent pour atténuer les conflits et cultiver la confiance.
7. **Transparence :** l'information sur les données et la gouvernance est largement accessible.
8. **Accessibilité :** les systèmes de normes ne sont pas trop pénibles à utiliser.
9. **Sincérité :** les systèmes de normes ne sont pas trompeurs et facilitent le choix éclairé.
10. **Efficacité :** les systèmes de normes se reportent aux autres systèmes et collaborent avec eux pour améliorer la cohérence et la viabilité.

7 Recommandations

La recherche présentée dans ce rapport fournit une analyse du panorama international des systèmes de classification de l'hydrogène, des outils d'ACV, des politiques et des programmes gouvernementaux ainsi que des initiatives du secteur privé visant à certifier l'hydrogène en fonction de ses caractéristiques environnementales et de développement durable.

Cette recherche a mis en évidence un vide flagrant : il n'existe actuellement aucun système formel de classification de l'hydrogène qui permette d'éclairer et de faciliter les échanges commerciaux sans biais ni confusion.

Il existe des certifications qui ne qualifient que certaines chaînes d'approvisionnement d'hydrogène pour le soutien de politiques ou de programmes, ou pour aider à communiquer leur valeur sociale et environnementale intrinsèque sur les marchés, mais elles ne répondent pas à l'objectif d'un vaste système de définition et d'identification. Un tel système pourrait compléter et intégrer les normes existantes et émergentes dans le monde entier, et contribuer à l'efficacité du marché en établissant une définition commune et unique des produits d'hydrogène échangés.

7.1 Faire le point sur les résultats de l'analyse du panorama

La section 3 présente les résultats d'une analyse par pays ou région, qui montre que la production et l'utilisation d'hydrogène à faible teneur en carbone sont de plus en plus souvent considérées comme un moyen de se conformer aux politiques de décarbonation dans divers pays ou régions du monde. Dans certains cas, la mise en place de chaînes d'approvisionnement d'hydrogène à faible teneur en carbone est un objectif explicite de la politique gouvernementale.

La section 4 passe en revue les principes et les méthodes d'ACV actuellement appliqués pour estimer l'IC des filières hydrogène. Les points communs entre les modèles d'ACV les plus courants indiquent une convergence vers la sélection des limites du puits à la porte bien définies et les méthodes attributionnelles. Ces approches favorisent la cohérence des résultats qui répondent mieux aux exigences de conformité réglementaire et de qualification pour les programmes d'incitation et de certification.

Dans la section 5, une sélection variée de systèmes d'information des consommateurs a été étudiée pour mieux comprendre comment leur conception reflète leurs objectifs uniques ainsi que les limites de ce qui peut être divulgué. Parmi ces outils, plusieurs principes clairs et communs étaient à l'œuvre, notamment l'application cohérente et transparente des règles, la divulgation d'informations et une conception simple et intuitive. Les programmes actuels de certification de l'hydrogène ont également été examinés dans la section 5 pour donner un aperçu de leur structure.

Dans la section 6, les thèmes ressortant des entrevues avec les représentants de la communauté de pratique de l'hydrogène à l'échelle mondiale ont été consolidés et résumés.

Les conclusions de chacune de ces sections devraient être prises en compte dans l'élaboration d'un nouveau système de classification de l'hydrogène.

7.2 Conseils sur les éléments de conception d'un système de classification de l'hydrogène

Les principes et les éléments de conception présentés dans les sections 7.2.1 à 7.2.4 doivent être considérés comme des orientations pour l'élaboration d'un nouveau système de classification de l'hydrogène. Des recommandations précises sont fournies à la fin de chaque section.

7.2.1 Énoncé d'objectif

La conception de systèmes de classification et de systèmes d'information des consommateurs doit répondre à un besoin défini, qui doit être clairement exprimé dans un énoncé d'objectif. L'intérêt croissant pour l'hydrogène, au-delà de ses utilisations industrielles traditionnelles, réside dans sa capacité à décarboner les systèmes énergétiques et les chaînes d'approvisionnement de la fabrication. En ce qui concerne les objectifs de développement durable, la lutte contre les changements climatiques est le vecteur principal, et l'IC est donc le sujet de préoccupation central.

Toutefois, il existe d'autres répercussions et effets des chaînes d'approvisionnement d'hydrogène qui sont généralement considérés comme secondaires, mais qui, dans certains cas, peuvent être tout aussi importants. Par ordre d'importance générale, il s'agit de :

1. la nature de la source de matière première : la source d'énergie ou de matière (p. ex., énergie renouvelable, combustible fossile, biomasse, nucléaire ou recyclage des déchets) ;
2. la nature de la chaîne d'approvisionnement géographique : crée-t-elle des perspectives d'emploi ? L'approvisionnement d'hydrogène favorise-t-il des perspectives d'emploi locales décentes ?
3. l'intensité de la consommation d'eau : l'hydrogène entraîne-t-il une consommation d'eau non durable ?

Il convient de souligner que l'importance de ces enjeux et d'autres encore est susceptible de varier d'une région à l'autre et au fil du temps. Le pays (ou la région) d'origine pourrait également prendre de l'importance si le commerce international de l'hydrogène devient courant.

Recommandation. L'objectif du système de classification de l'hydrogène devrait être de divulguer aux consommateurs d'hydrogène des informations de base sur les caractéristiques essentielles de la filière de production en termes de développement durable. La caractéristique principale est l'IC, dont l'indicateur doit être divulgué avant tout. Le système devrait également transmettre des informations sur la méthode de production de l'hydrogène, le cheminement depuis la source, la nature de l'emploi et la durabilité relative de l'utilisation de la ressource (eau).

7.2.2 Méthodes d'évaluation

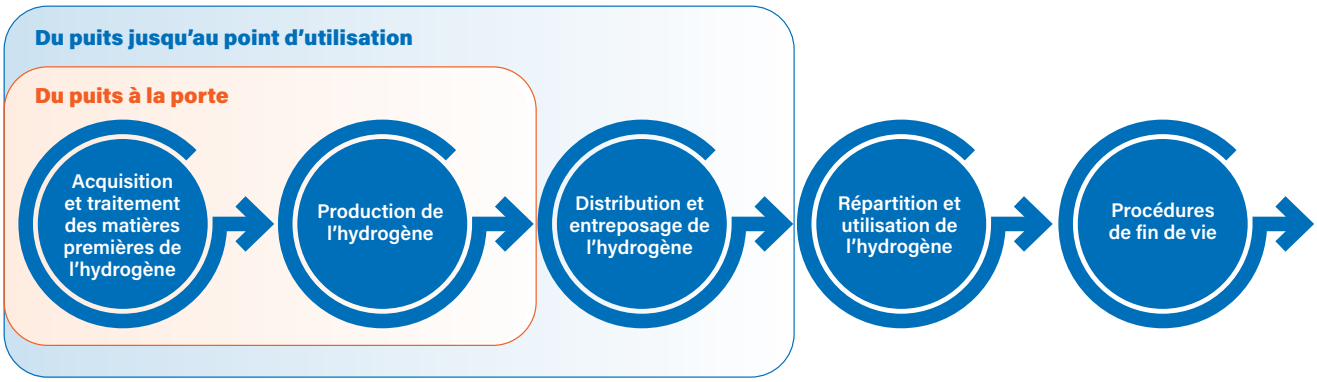
Les méthodes et les modèles d'ACV attributionnels ont déjà été adoptés comme norme pour l'analyse de l'IC des différentes filières de carburants dans le cadre des politiques et des programmes de nombreux pays et régions. Par ailleurs, pour les politiques centrées sur la production d'hydrogène, les limites de l'ACV se concentrent sur les émissions liées à la production et ne tiennent pas compte des effets du déplacement du carburant jusqu'au point d'utilisation. Cette approche correspond généralement à la sélection des limites du puits à la porte et convient lorsque l'utilisation finale de l'hydrogène n'est pas prédéterminée, comme le montre la figure 7. La convergence vers ces principes fournit une référence acceptée sur l'IC pour un nouveau système de classification de l'hydrogène, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'élaborer une nouvelle méthodologie.

Recommandation. La source des données et la méthodologie d'ACV utilisées dans le cadre d'un système de classification de l'hydrogène doivent faire référence à une norme mondiale. La méthode proposée par l'IPHE pour déterminer les émissions de GES associées à la production d'hydrogène pourrait servir de référence immédiate, car elle est conçue expressément pour l'hydrogène et a pour but de produire des chiffres cohérents et comparables en matière d'émissions de GES.

7.2.3 Objectivité et absence de biais ou de jugement

Si l'objectif d'un système prospectif de classification de l'hydrogène est de divulguer des informations de base aux consommateurs d'hydrogène sur les caractéristiques essentielles de la filière de production sur le plan du développement durable, ce système doit s'abstenir de faire des déclarations partiales ou d'exclusion. C'est au consommateur qu'il appartient de décider si un certain hydrogène est en soi acceptable ou inacceptable. La divulgation objective d'informations (dans un contexte déclaré) est une caractéristique des systèmes d'information des consommateurs qui ont fait leurs preuves. La perception d'une absence de biais est renforcée par la transparence des méthodes et des sources de données et d'information.

Figure 7 : Éléments du cycle de vie de la production d'hydrogène et limites d'analyse



Recommandation. Les informations transmises dans le cadre d'un système de classification de l'hydrogène doivent être présentées de manière objective. Le contexte est utile et acceptable pour exprimer le sens, mais il faut éviter les jugements basés sur les valeurs. La transparence des sources de données et des méthodes d'évaluation doit également être facilement accessible à toutes les parties.

7.2.4 Communiquer simplement

Si les évaluations réalisées dans le cadre d'un système de classification de l'hydrogène peuvent être complexes et détaillées, la transmission des informations au public cible doit se faire de manière simple, sans pour autant sacrifier la crédibilité ou la légitimité. Les consommateurs d'hydrogène ne sont généralement pas la partie réglementée (ce sont les producteurs qui le sont), et des messages forts et simples peuvent être plus efficaces pour atteindre l'objectif du système de classification que d'inonder les consommateurs de données. Cependant, si le consommateur souhaite obtenir des informations plus détaillées, celles-ci doivent lui être accessibles conformément à la recommandation précédente.

Recommandation. S'efforcer de simplifier la communication de base sur le système de classification de l'hydrogène. Dans la mesure du possible, utiliser des icônes pour exprimer des messages clés plutôt que du texte. Cela atténuera les barrières linguistiques et soutiendra l'adoption mondiale du système. Des informations plus détaillées sur les sources de données et les méthodes d'évaluation doivent être accessibles, mais ne doivent pas faire partie de la communication principale.

7.3 Métalabellisation de la durabilité : un concept à considérer

La métalabellisation de la durabilité est un nouveau domaine d'étude et de pratique, dans lequel une série d'indicateurs ou de certifications relatifs au développement durable sont combinés en un métalabel. Ce concept a évolué en réponse à la menace née de la confusion des consommateurs causée par « des informations trop nombreuses, trop complexes, trop similaires et trop ambiguës » [75] exprimées dans un tableau truffé de labels. En théorie, c'est un moyen de regrouper et de simplifier l'information pour les consommateurs.

Dans une étude réalisée par Torma et Thøgersen [75], les auteurs notent qu'un métalabel peut intégrer la forme et le contenu de la durabilité, qui sont souvent complexes et multidimensionnels, à l'aide de sous-labels qui favorisent la simplification visuelle. L'effet est d'atténuer la confusion des consommateurs et d'amplifier la prise de décision positive et éclairée grâce à la métalabellisation qui offre des informations « plus simples, plus marquantes, plus crédibles, plus comparables et plus complètes » [75].

Un nouveau système de classification de l'hydrogène pourrait refléter le principe de l'agrégation d'informations provenant de plusieurs sources et, de manière cohérente, consolider et interpréter utilement, simplement et brièvement ces informations à l'intention du public.

7.4 Exemples illustrant les concepts du système de classification de l'hydrogène

Cette section présente deux exemples de concepts de systèmes de classification de l'hydrogène qui reflètent les recommandations formulées dans les sections 7.2.1 à 7.2.4. Ces exemples ne sont donnés qu'à titre indicatif pour montrer comment les éléments de conception recommandés pourraient être appliqués, ainsi que pour susciter la discussion et l'idéation collaborative.

Concept A : utilisation d'icônes et de caractères alphanumériques pour communiquer un système de classification de l'hydrogène

Le concept A utilise une combinaison d'éléments visuels (icônes), de chiffres et de lettres pour présenter des informations clés sur un système de classification de l'hydrogène, comme le montrent les exemples de systèmes présentés dans les figures 8 et 9.

Figure 8 : Exemple de système de classification de l'hydrogène utilisant des icônes et des caractères alphanumériques.

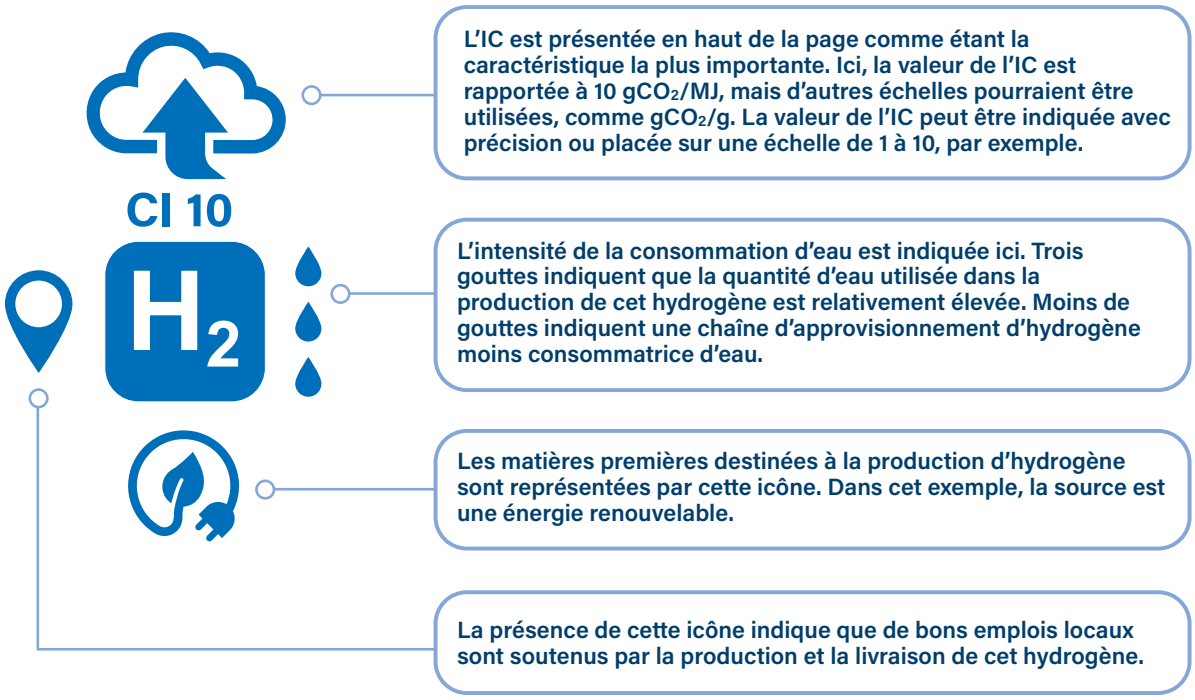
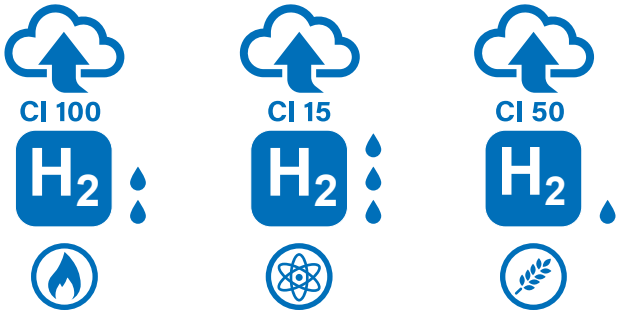


Figure 9 : Trois exemples de systèmes de classification de l'hydrogène utilisant des icônes et des caractères alphanumériques.



De gauche à droite, les exemples de systèmes de classification présentés dans la figure 9 sont les suivants :

a. L'hydrogène provenant de combustibles fossiles (p. ex., gaz naturel) a une IC élevée, nécessite moins d'eau pour sa production et n'est pas approvisionné localement ;

b. L'hydrogène provenant de l'énergie nucléaire a une IC faible, nécessite une plus grande quantité d'eau pour sa production et n'est pas approvisionné localement ;

c. L'hydrogène provenant de la biomasse a une IC moyenne, nécessite une faible quantité d'eau pour sa production et est obtenu localement.

Conformément aux recommandations des sections 7.2.1 à 7.2.4, le concept A fournit des informations sur la chaîne d'approvisionnement d'hydrogène en fonction de quatre caractéristiques importantes pour le marché : l'IC, les matières premières, l'emploi local

et la durabilité de l'utilisation de l'eau. La valeur de l'IC est censée être générée à l'aide d'une méthode d'ACV normalisée et reconnue à l'échelle mondiale (en utilisant une condition limite du puits à la porte). Les informations sont présentées dans un format simplifié, facile à comprendre pour le lecteur, afin que les principales caractéristiques de l'approvisionnement d'hydrogène puissent être comprises et évaluées de manière comparative.

Concept B : information quantitative présentée sous forme de fiche technique

Contrairement au concept A, le concept B utilise un format de fiche technique pour présenter les informations de manière plus détaillée, comme le montre la figure 10. Bien que cela puisse aller à l'encontre du principe de simplicité, cela permet de classer l'hydrogène qui représente un mélange de différentes chaînes d'approvisionnement et de sources. Il commence par relayer des informations qui ne sont pas directement liées aux critères de durabilité, comme les niveaux de pureté, le pays d'origine et le modèle d'ACV particulier utilisé. L'IC est présentée en fonction des aspects principaux de sa chaîne d'approvisionnement, en termes de masse de CO_2 émise par unité d'énergie et par unité de masse livrée. Ensuite, les types de matières premières se voient attribuer une valeur d'indice de durabilité et sont multipliés par la part d'hydrogène provenant de ces matières premières, puis additionnés pour obtenir une note globale. Une notation similaire est appliquée à l'approvisionnement d'hydrogène en fonction du type d'énergie de la source et, enfin, l'efficacité énergétique de la chaîne d'approvisionnement est divisée par éléments clés.

Si l'utilisateur souhaite biaiser les notes, il peut attribuer une note d'or, d'argent ou de bronze, comme indiqué au bas de la fiche technique, mais cela irait à l'encontre de la recommandation d'objectivité formulée dans le présent rapport.

Figure 10 : Exemple de système de classification de l'hydrogène à l'aide d'une fiche technique.

FAITS SUR LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE

Généralités	
Pays d'origine	(p. ex., Canada)
Outil de modélisation	(p. ex. GHGenius)

Pureté	
Pourcentage en poids	poids ici
Impuretés, contient des quantités infimes de :	énumérer les contaminants
Conformité : conforme aux normes suivantes :	énumérer les normes

Teneur en carbone	Grammes de CO_2e par GJ	Grammes de CO_2e par kg
Extraction	aa	aa
Production	bb	bb
Distribution	cc	cc
TOTAL	**ddd**	**ddd**

Matière première	%	Indice de risque de durabilité	Note	Note
Eau	ee	1	0	0
Hydrocarbure renouvelable	ff	1	0	0
Sous-produit de procédé industriel	gg	2	ggg	ggg
Déchet plastique	hh	3	hhh	hhh
Combustible fossile avec CU	ii	4	iii	iii
Combustible fossile avec CSC	jj	5	jjj	jjj
Combustible fossile sans CUSC	kk	6	kkk	kkk
TOTAL	**100**		**lll**	**lll**

Source d'énergie	%	Indice de risque de durabilité	Note	Note
Renouvelable/durable	mm	1	0	0
Nucléaire	nn	2	nnn	nnn
Non renouvelable/non durable	oo	3	ooo	ooo
TOTAL	**100**		**lll**	**lll**

Efficacité énergétique	GJ par GJ	GJ par KG
Extraction	pp	pp
Production	qq	qq
Distribution	rr	rr
TOTAL	**sss**	**sss**
Score	**ttt**	**ttt**

Certification		
< ? = Or ?–?? = Argent ??–??? = Bronze > ??? = Non certifié	**O**	**O**
	A	**A**
	B	**B**

Références

[1] Nations Unies. « L'Accord de Paris », [En ligne]. https://www.un.org/fr/climatechange/paris-agreement (consulté en avril 2023).

[2] International Energy Agency (IEA). "Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector", IEA, Paris, France, 2021, 224 p. [En ligne]. https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050 (consulté en janvier 2023).

[3] Hydrogen Council. "Hydrogen for net-zero", Hydrogen Council, Bruxelles, Belgique, 2021, 56 p. [En ligne]. https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/11/Hydrogen-for-Net-Zero.pdf (consulté en mars 2023).

[4] Bartlett, J. et A. Krupnick. "Decarbonized hydrogen in the U.S. power and industrial sectors: Identifying and incentivizing opportunities to lower emissions", Resources for the Future, Washington, DC, 2020, 87 p. [En ligne]. https://www.rff.org/publications/reports/decarbonizing-hydrogen-us-power-and-industrial-sectors (consulté en mars 2023).

[5] Bullfrog Power. "Bullfrog Power: Power for the future", [En ligne]. https://bullfrogpower.com (consulté en avril 2023).

[6] Gouvernement du Canada. « Règlement sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone – secteur de l'électricité thermique au charbon : DORS/2012-167», [En ligne], Gouvernement du Canada, 2012. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2012-167/index.html

[7] Global Energy Infrastructure. "Hydrogen – data telling a story, [En ligne]. https://globalenergyinfrastructure.com/articles/2021/03-march/hydrogen-data-telling-a-story (consulté en janvier 2023).

[8] Nations Unies. « Les 17 objectifs », [En ligne]. https://sdgs.un.org/fr/goals (consulté en avril 2023).

[9] Gouvernement du Canada. « Règlement sur les carburants renouvelables : DORS/2010-189 », [En ligne], Gouvernement du Canada, 2022. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2010-189/index.html

[10] Oklahoma Natural Gas. "Natural gas vehicle program", [En ligne]. https://www.oklahomanaturalgas.com/save-money/rebates-and-incentives/natural-gas-vehicle-program (consulté en avril 2023).

[11] California Air Resources Board. "LCFS life cycle analysis models and documentation", [En ligne]. https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-life-cycle-analysis-models-and-documentation (consulté en avril 2023).

[12] Environnement et Changement Climatique Canada. "Conformité avec le Règlement sur les combustibles propres", [En ligne]. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-pollution/production-energie/reglement-carburants/reglement-combustibles-propres/conformite.html (consulté en avril 2023).

[13] California Air Resources Board. "CA-GREET3.0 lookup table pathways", California Air Resources Board, Sacramento, CA, 2018, 45 p. [En ligne]. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/fuels/lcfs/ca-greet/lut-doc.pdf

[14] Secrétariat des Conférences Intergouvernementales Canadiennes (SICS). « Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques », [En ligne], SICS, Ottawa, Canada, 2016. https://scics.ca/fr/product-produit/cadre-pancanadien-sur-la-croissance-propre-et-les-changements-climatiques (consulté en avril 2023).

[15] Environnement et Changement Climatique Canada. « Qu'est-ce que le Règlement sur les combustibles propres ? » [En ligne]. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-pollution/production-energie/reglement-carburants/reglement-combustibles-propres/apropos.html (consulté en avril 2023).

[16] Gouvernement du Canada, « Règlement sur les combustibles propres : DORS/2022-140 », [En ligne], Gouvernement du Canada 2023. https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-2022-140/index.html

[17] Environnement et Changement Climatique Canada. « Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles », [En ligne]. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/gestion-pollution/modele-analyse-cycle-vie-combustibles.html (consulté en avril 2023).

[18] Gouvernement de la Colombie-Britannique. "Renewable and low carbon fuel requirements regulation", [En ligne], Gouvernement de Colombie-Britannique. https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/electricity-alternative-energy/transportation-energies/renewable-low-carbon-fuels (consulté en avril 2023).

[19] Scott, W. "Low carbon fuel standards in Canada", Smart Prosperity Institute, Ottawa, Canada, 2017, 12 p. [En ligne]. https://institute.smartprosperity.ca/sites/default/files/lowcarbonfuelstandards-web.pdf

[20] Gouvernement de la Colombie-Britannique. "Low carbon fuel", [En ligne]. https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/electricity-alternative-energy/transportation-energies/renewable-low-carbon-fuels/fuel-lifecycle-assessment (consulté en avril 2023).

[21] Bordoff, J. "America's landmark climate law", [En ligne], IMF, 2022. https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2022/12/america-landmark-climate-law-bordoff (consulté en avril 2023).

[22] Krupnick, A. et A. Bergman. "Incentives for clean hydrogen production in the Inflation Reduction Act", [En ligne], Resources for the Future, Washington, DC, 2022. https://www.rff.org/publications/reports/incentives-for-clean-hydrogen-production-in-the-inflation-reduction-act (consulté en janvier 2023).

[23] U.S. Department of Energy. "Clean Hydrogen Production Standard", [En ligne]. https://www.energy.gov/eere/fuelcells/articles/clean-hydrogen-production-standard (consulté en avril 2023).

[24] California Legislature. Assembly Bill No. 32, An act to add Division 25.5 (commencing with Section 38500) to the Health and Safety Code, relating to air pollution,Californie, 2006, 13 p. [En ligne]. http://www.leginfo.ca.gov/pub/05-06/bill/asm/ab_0001-0050/ab_32_bill_20060927_chaptered.pdf

[25] California Air Resources Board. "LCFS pathway certified carbon intensities", [En ligne]. https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-pathway-certified-carbon-intensities (consulté en avril 2023).

[26] Woodhouse, D., J. A. Tellez et S. Taracena. "Hydrogen law, regulations & strategy in Mexico", [En ligne]. https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/mexico (consulté en avril 2023).

[27] Association Canadienne de L'hydrogène et des Piles à Combustible (ACHPC). « Les principales associations du secteur de l'hydrogène et des carburants au Canada et au Costa Rica annoncent un protocole d'entente pour promouvoir la collaboration », [En ligne]. https://www.chfca.ca/2021/07/06/leading-hydrogen-and-fuel-sector-associations-in-canada-and-costa-rica-announce-mou-to-promote-collaboration (consulté en avril 2023).

[28] Biogradlija, A. "Panama prepares to become the global green hydrogen route", [En ligne]. https://energynews.biz/panama-prepares-to-become-the-global-green-hydrogen-route (consulté en avril 2023).

[29] Green Hydrogen Organisation. "GH2 country portal – Argentina", [En ligne]. https://gh2.org/countries/argentina (consulté en avril 2023).

[30] Commission Européenne. "Key actions of the EU Hydrogen Strategy", [En ligne]. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/key-actions-eu-hydrogen-strategy_en (consulté en avril 2023).

[31] Commission Européenne. "REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition", [En ligne]. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131 (consulté en avril 2023).

[32] Commission Européenne. "Renewable energy directive", [En ligne]. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en (consulté en avril 2023).

[33] Commission Européenne. "Fuel quality", [En ligne]. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/fuel-quality_en (consulté en avril 2023).

[34] Gouvernement du Royaume Uni. "UK Low Carbon Hydrogen Standard: Emissions reporting and sustainability criteria", [En ligne]. https://www.gov.uk/government/publications/uk-low-carbon-hydrogen-standard-emissions-reporting-and-sustainability-criteria (consulté en avril 2023).

[35] Gouvernement du Royaume Uni. "Renewable Transport Fuel Obligation", [En ligne]. https://www.gov.uk/guidance/renewable-transport-fuels-obligation (consulté en avril 2023).

[36] Department of Climate Change, Energy, The Environment And Water. "Australia's National Hydrogen Strategy", [En ligne]. https://www.dcceew.gov.au/energy/publications/australias-national-hydrogen-strategy (consulté en avril 2023).

[37] Department of Climate Change, Energy, The Environment And Water. "World's first liquid hydrogen shipment to set sail for Japan", [En ligne]. https://www.dcceew.gov.au/about/news/worlds-first-liquid-hydrogen-shipment-to-set-sail-for-japan (consulté en avril 2023).

[38] Ministry of Business, Innovation and Employment. "A roadmap for hydrogen in New Zealand", [En ligne]. https://www.mbie.govt.nz/building-and-energy/energy-and-natural-resources/energy-strategies-for-new-zealand/hydrogen-in-new-zealand/roadmap-for-hydrogen-in-new-zealand (consulté en avril 2023).

[39] Taylor, R., J. Howes, E. Cotton, E. Raphael, P. Kiri, L. Liu, S. Haye, T. Houghton, et A. Bauen. "Options for a UK low carbon hydrogen standard", Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Gouvernement du Royaume Uni, Londres, Royaume Uni, 2021, 179 p. [En ligne]. https://www.gov.uk/government/publications/options-for-a-uk-low-carbon-hydrogen-standard-report (consulté en janvier 2023).

[40] Nakano, J. "Japan's hydrogen industrial strategy", [En ligne], Center for Strategic and International Studies (CSIS). https://www.csis.org/analysis/japans-hydrogen-industrial-strategy (consulté en avril 2023).

[41] Ministry of New and Renewable Energy. "National Green Hydrogen Mission",Gouvernement de l'Inde, New Delhi, Inde, 2023, 28 p. [En ligne]. https://mnre.gov.in/national-green-hydrogen-mission (consulté en janvier 2023).

[42] Frangoul, A. "Green hydrogen hub backed by $5 billion of investment planned for the UAE", [En ligne]. https://www.cnbc.com/2021/12/07/engie-masdar-establish-5-billion-green-hydrogen-alliance.html (consulté en avril 2023).

[43] Klevstrand, A. "$20bn for green hydrogen: Oman signs six deals with international developers to build 15GW of electrolyser capacity", [En ligne]. https://www.hydrogeninsight.com/production/-20bn-for-green-hydrogen-oman-signs-six-deals-with-international-developers-to-build-15gw-of-electrolyser-capacity/2-1-1419493 (consulté en avril 2023).

[44] Reuters. "Israel Electric, UAE's Energroup to partner on hydrogen generation", [En ligne]. https://www.reuters.com/world/middle-east/israel-electric-uaes-energroup-partner-hydrogen-generation-2022-03-06 (consulté en avril 2023).

[45] Cerdán, M. "Morocco establishes its first green hydrogen production system", [En ligne]. https://atalayar.com/en/content/morocco-establishes-its-first-green-hydrogen-production-system (consulté en avril 2023).

[46] Department of Science and Innovation. "Hydrogen Society Roadmap for South Africa 2021", [En ligne], République d'Afrique du Sud, Prétoria, Afrique du Sud, 2022. https://www.dst.gov.za/index.php/resource-center/reports/strategies-and-reports/3574-hydrogen-society-roadmap-for-south-africa-2021

[47] North Africa Post. "Morocco eyes huge hydrogen projects for export to Europe – Bloomberg", [En ligne]. https://northafricapost.com/63305-morocco-eyes-huge-hydrogen-projects-for-export-to-europe-bloomberg.html (consulté en avril 2023).

[48] International Renewable Energy Agency (IRENA). "Accelerating hydrogen deployment in the G7: Recommendations for the Hydrogen Action Pact", [En ligne], IRENA, Abu Dhabi, Émirats arabes unis, 2022. https://www.irena.org/Publications/2022/Nov/Accelerating-hydrogen-deployment-in-the-G7.

[49] Maclean H. et al. "Global best practices in low-carbon fuel standards", Pollution Probe and Savant Technical Consulting, Toronto, Canada, 2018, 45 p. [En ligne]. https://www.pollutionprobe.org/wp-content/uploads/2021/04/Probe-Savant-LCFS-White-Paper-Nov-2018.pdf (consulté en janvier 2023).

[50] Ekvall, T. "Attributional and consequential life cycle assessment", Sustainability Assessment at the 21st Century, M. J. Bastante-Ceca, J. L. Fuentes-Bargues, L. Hufnagel, F-C. Mihai, and C. Iatu, Eds., Londres, Royaume Uni, 2019. doi:10.5772/intechopen.89202

[51] Raguei, M. *et al.* "Towards a prosective consequential LCA of large-scale PV penetration in the UK", [En ligne], Proc. 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Kyoto, Japon, 2014. https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/99307.

[52] Ciroth, A., G. Huppes et S. Lundie. Inventory Methods in LCA: Towards Consistency and Improvement, VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, Allemagne, 2008, 152 p.

[53] Organisation Internationale de Normalisation. « Objectif 13 : Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques », [En ligne]. https://www.iso.org/fr/sdg/SDG13.html (consulté en avril 2023).

[54] Organisation Internationale de Normalisation. Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre, ISO 14040, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2006, 23 p.

[55] Organisation Internationale de Normalisation. Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices, ISO 14044, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2006, 49 p.

[56] Organisation Internationale de Normalisation. Gaz à effet de serre — Partie 1 : Spécifications et lignes directrices, au niveau des organismes, pour la quantification et la déclaration des émissions et des suppressions des gaz à effet de serre, ISO 14064-1, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2018, 51 p.

[57] Organisation Internationale de Normalisation. Gaz à effet de serre — Partie 2 : Spécifications et lignes directrices, au niveau des projets, pour la quantification, la surveillance et la rédaction de rapports sur les réductions d'émissions ou les accroissements de suppressions des gaz à effet de serre, ISO 14064-2, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2019, 27 p.

[58] Organisation Internationale de Normalisation. Gaz à effet de serre — Partie 3 : Spécifications et lignes directrices pour la vérification et la validation des déclarations des gaz à effet de serre, ISO 14064-3, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2019, 57 p.

[59] Organisation Internationale de Normalisation. Gaz à effet de serre — Empreinte carbone des produits — Exigences et lignes directrices pour la quantification, ISO 14067, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2018, 51 p.

[60] Life Cycle Associates. "GREET model.", [En ligne]. https://www.lifecycleassociates.com/lca-tools/greet-model (consulté en janvier 2023).

[61] California Air Resources Board. "Unofficial electronic version of the Low Carbon Fuel Standard Regulation", California Air Resources Board, Sacramento, CA, 2018, 256 p. [En ligne]. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-07/2020_lcfs_fro_oal-approved_unofficial_06302020.pdf

[62] California Air Resources Board. "Low emission vehicle program", [En ligne]. https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-emission-vehicle-program (consulté en avril 2023).

[63] California Air Resources Board. "Zero-Emission Vehicle Program", [En ligne]. [https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-vehicle-program] (consulté en avril 2023).

[64] California Air Resources Board. "LCFS Electricity and Hydrogen Provisions", [En ligne]. https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-electricity-and-hydrogen-provisions (consulté en avril 2023).

[65] GHGENIUS. "Getting Started", [En ligne]. https://www.ghgenius.ca (consulté en avril 2023).

[66] Environnement et Changement Climatique Canada. Fuel life cycle assessment model methodology, Environnement et Changement climatique Canada, Gatineau, Canada, 2023, 92 p. [En ligne]. https://data-donnees.ec.gc.ca/data/climate/framework/fuel-life-cycle-assessment-model/English/Fuel%20LCA%20Model%20(latest%20version)/Fuel-LCA-Model-Methodology_January2023.pdf (consulté en janvier 2023).

[67] openLCA. The world's leading, high performance, open source Life Cycle Assessment software, [En ligne]. https://www.openlca.org (consulté en avril 2023).

[68] Environnement et Changement Climatique Canada. "Fuel life cycle assessment model user manual", Environnement et Changement Climatique Canada, Gatineau, Canada, 2023, 85 p. [En ligne]. https://data-donnees.ec.gc.ca/data/climate/framework/fuel-life-cycle-assessment-model/English/Fuel%20LCA%20Model%20(latest%20version)/Fuel-LCA-Model-User-Manual_January2023.pdf (consulté en janvier 2023).

[69] Greenhouse Gas Protocol. "About us", [En ligne]. https://ghgprotocol.org/about-us (consulté en 2023).

[70] Greenhouse Gas Protocol. "Scope 3 Evalutor", [En ligne]. https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance (consulté em 2023).

[71] Greenhouse Gas Protocol. "Calculation tools and guidance", [En ligne]. https://ghgprotocol.org/scope-3-evaluator (consulté en avril 2023).

[72] Greenhouse Gas Protocol. Greenhouse Gas Protocol, "Companies and Organizations", [En ligne]. https://ghgprotocol.org/companies-and-organizations (consulté en avril 2023).

[73] Department for Business, Energy and Industrial Strategy. "UK Low Carbon Hydrogen Standard: Emissions reporting and sustainability criteria", [En ligne], Gouvernement du Royaume Uni. https://www.gov.uk/government/publications/uk-low-carbon-hydrogen-standard-emissions-reporting-and-sustainability-criteria (consulté en janvier 2023).

[74] Ministry of Business, Innovation and Employment. "Hydrogen modelling tool", [En ligne], Gouvernement de la Nouvelle-Zélande. https://www.mbie.govt.nz/building-and-energy/energy-and-natural-resources/energy-strategies-for-new-zealand/hydrogen-in-new-zealand/hydrogen-modelling-tool (consulté en janvier 2023).

[75] Torma, G. et J. Thøgersen. "A systematic literature review on meta sustainability labeling – What do we (not) know?", *J. Clean. Prod.,* vol. 293, 2021, art. n° 126194. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126194.

[76] Jackson, H. M. "S.622 - 94th Congress (1975-1976): Energy Policy and Conservation Act", [En ligne], Congrès des États-Unis, 1975. https://www.congress.gov/bill/94th-congress/senate-bill/622

[77] U.S. Environmental Protection Agency. "Learn about the Fuel Economy Label", [En ligne]. https://www.epa.gov/greenvehicles/learn-about-fuel-economy-label (consulté en avril 2023).

[78] U.S. Department of Energy. "Plug-in hybrid electric vehicles: Learn more about the label", [En ligne] https://www.fueleconomy.gov/feg/label/learn-more-PHEV-label.shtml (consulté en janvier 2023).

[79] Gouvernement des États-Unis. "49 CFR § 575.401 - Vehicle labeling of fuel economy, greenhouse gas, and other pollutant emissions information", [En ligne]. https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-575/subpart-E/section-575.401

[80] Ressources Naturelles Canada. « ÉnerGuide pour les véhicules », [En ligne]. https://ressources-naturelles.canada.ca/efficacite-energetique/energuide-au-canada/energuide-vehicules/21011 (consulté en février 2023).

[81] U.S. Green Building Council. "LEED Rating System", [En ligne]. https://www.usgbc.org/leed (consulté en février 2023).

[82] Rosenkranz, E. "The 4 levels of LEED certification and how to achieve them", [En ligne]. https://smart-cre.com/the-4-levels-of-leed-certification-and-how-to-achieve-them (consulté en janvier 2023).

[83] Expanded Shale, Clay and Slate Institute. "LEED rating system", [En ligne]. https://www.escsi.org/sustainability-without-compromise/leed-rating-system

[84] Mapp, C., ME. Nobe, et B. Dunbar. "The cost of LEED—An analysis of the construction costs of LEED and non-LEED banks", *J. Sustain. Real Estate*, vol 3, n° 1, 2020, p. 254-273. doi.org/10.1080/10835547.2011.12091824.

[85] Santé Canada. « Vers l'étiquetage nutritionnel sur le devant de l'emballage pour la population canadienne, Document de consultation », Santé Canada, 26 p. [En ligne]. https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/health-system-systeme-sante/consultations/labels-nutrition-etiquetage/alt/labels-nutrition-etiquetage-fra.pdf (onsulté en janvier 2023).

[86] Agence Canadienne d'inspection des Aliments. « Renseignements obligatoires – Information contenue dans le tableau de la valeur nutritive », [En ligne]. https://inspection.canada.ca/etiquetage-des-aliments/etiquetage/industrie/etiquetage-nutritionnel/tableau-de-la-valeur-nutritive/fra/1389198568400/1389198597278?chap=1

[87] Macdonald, G. et C. Weeks. "Heart and Stroke Foundation Ends Health Check Program", [En ligne], The Globe and Mail, 18 juin 2014. www.theglobeandmail.com/news/national/heart-and-stroke-foundation-ends-health-check-program/article19222121 (consulté en février 2023).

[88] Le Choix du Président. « PC® Menu bleu® Pour vous aider à faire des choix sains facilement », [En ligne]. https://www.lechoixdupresident.ca/de-produits/pc-menu-bleu (consulté en avril 2023).

[89] Gouvernement du Canada. « *Guide alimentaire canadien* », [En ligne]. https://guide-alimentaire.canada.ca/fr (consulté en février 2023).

[90] Ocean Wise. "Let's Be Ocean Wise", [En ligne]. https://ocean.org (consulté en avril 2023).

[91] Marine Stewardship Council. "Home", [En ligne]. https://www.msc.org/en-us

[92] Ocean Wise. "Ocean Wise Seafood Scoring Methodology and Rating System", [En ligne], Ocean Wise Fisheries and Seafood Science Team. https://oceanorg.blob.core.windows.net/oceanorg/2023/06/OWSScoringMethodologyAndRatingSystem_Apr2023 (consulté en janvier 2023).

[93] Marine Stewardship Council. "Fishery certification guide", [En ligne]. https://www.msc.org/for-business/fisheries/fishery-certification-guide (consulté en avril 2023).

[94] U.S. Environmental Protection Agency. "Residential air cleaners", [En ligne], National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati, Ohio, 2e édition, 2009. https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1005MBO.txt

[95] Rasmussen, R. et G. Wickes. "80 PLUS®: Market Impacts and Lessons Learned", Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, ACEEE, 2008, 10 p. [En ligne]. https://www.aceee.org/files/proceedings/2008/data/papers/6_477.pdf (consulté en février 2023).

[96] CLEAResult®. "80 PLUS®: Program details", [En ligne]. https://www.clearesult.com/80plus/program-details (consulté en mars 2023).

[97] MPA Canada. « Classement des films », [En ligne]. https://www.mpa-canada.org/fr/classement-des-films (consulté en janvier 2023).

[98] Certifhy. "What is CertifHy™", [En ligne]. https://www.certifhy.eu (consulté en janvier 2023).

[99] Hinicio. "Who We Are", [En ligne]. https://hinicio.com (consulté en avril 2023).

[100] Certifhy. "Definition and Benefits", [En ligne]. https://www.certifhy.eu/go-definition (consulté en avril 2023).

[101] Certifhy. "Certification Schemes", [En ligne]. https://www.certifhy.eu/go-labels (consulté en avril 2023).

[102] TÜV SÜD. "TÜV SÜD Standard CMS 70, Production of green hydrogen (GreenHydrogen)", TÜV SÜD, Munich, Allemagne, 2021, 17 p. [En ligne]. https://www.tuvsud.com/en/-/media/global/pdf-files/brochures-and-infosheets/tuvsud-cms70-standard-greenhydrogen-certification.pdf

[103] Green Hydrogen Organisation. "The GH2 Green Hydrogen Standard", [En ligne]. https://gh2.org/our-initiatives/gh2-green-hydrogen-standard

[104] International Finance Corporation. "Performance standards", [En ligne]. https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/Topics_Ext_Content/IFC_External_Corporate_Site/Sustainability-At-IFC/Policies-Standards/Performance-Standards (consulté en avril 2023).

[105] Mintzberg, H. "Patterns in strategy formation", [En ligne], *Management Science*, vol. 24, n° 9, p. 934-48, 1978. https://www.jstor.org/stable/2630633

[106] International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE). "Methodology for determining the greenhouse gas emissions associated with the production of hydrogen", [En ligne], IPHE, 2022. https://www.iphe.net/iphe-wp-methodology-doc-nov-2022 (consulté en janvier 2023).

[107] Bloomberg. "Europe Hunts for Clean Energy in the Middle East, but How Clean Is It?" [En ligne], 2022. https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-28/europe-s-blue-ammonia-cargoes-from-saudi-arabia-uae-won-t-be-carbon-free (consulté en janvier 2023).

[108] Iakovenko, V. "Toward a new era of hydrogen energy: Suiso Frontier built by Japan's Kawasaki Heavy Industries", [En ligne], Hydrogen Council, 2022. https://hydrogencouncil.com/en/toward-a-new-era-of-hydrogen-energy-suiso-frontier-built-by-japans-kawasaki-heavy-industries (consulté en février 2023).

[109] Jaffee, D. et P. Howard. "Visualizing Fair Trade Coffee", Issues & Challenges in Fair Trade for a Better World, n° 4, été 2012, p. 8-9. [En ligne]. https://fairworldproject.org/wp-content/uploads/2012/08/FWP_publication_Issue4.pdf. (consulté en février 2023).

[110] International Social and Environmental Accreditation and Labelling Alliance (ISEAL). "Principles for credible and effective sustainability standards systems", ISEAL, Londres, Royaume Uni, 2013, 18 p. [En ligne]. https://www.isealalliance.org/sites/default/files/resource/2017-11/ISEAL_Credibility_Principles.pdf consulté en janvier 2023).

Annexe A – Guide d'entrevue

Classification de l'intensité carbone pour la production d'hydrogène : analyse du panorama et possibilités

Les questions suivantes ont été fournies par l'équipe de l'étude aux personnes interrogées avant leurs séances d'entrevue respectives. Ces questions n'avaient pas pour but de servir de questionnaire, mais plutôt d'aider à encadrer la discussion avec les experts et les parties prenantes, mais aussi de fournir des indications sur l'étendue des questions à traiter. Les entrevues ont été conçues comme des conversations libres, et les questions présentées ici visaient à susciter le dialogue avec les personnes interrogées sur des sujets pour lesquels elles avaient des idées et des opinions particulières à confier. Les questions sont regroupées sous trois thèmes distincts.

Thème 1. Intensité carbone des chaînes d'approvisionnement d'hydrogène et modèles d'analyse du cycle de vie

a. Existe-t-il des normes formelles ou non utilisées dans votre secteur pour déterminer l'intensité carbone de l'hydrogène tout au long de sa chaîne d'approvisionnement ? L'objectif de ces normes est-il la conformité réglementaire, la satisfaction de la demande des clients ou un autre facteur, tel que les objectifs internes en matière d'émissions de gaz à effet de serre, les rapports externes destinés aux parties prenantes ou la génération de crédits et de compensations ?

b. Si l'intensité carbone de l'hydrogène fait l'objet d'un examen détaillé, quels sont les modèles ou les méthodes utilisés ? L'efficacité de ces outils fait-elle l'objet de conflits ou de débats, ou les parties prenantes sont-elles convaincues que les résultats sont exacts et représentatifs ?

c. À l'heure actuelle, les estimations ou les exigences en matière d'intensité carbone sont-elles référencées dans les spécifications d'achat définies par les acheteurs du secteur privé ou public ?

d. Le système informel actuel de couleurs d'hydrogène (gris, bleu, vert, rose) est-il un outil utile pour les producteurs et les consommateurs, ou entrave-t-il le commerce et l'activité du marché ?

e. Dans votre secteur ou domaine d'intérêt, quelle est l'importance de connaître l'intensité carbone de l'hydrogène ? Le développement de nouveaux marchés pour l'hydrogène en tant que carburant ou agent de décarbonation dépend-il d'un moyen accepté d'analyser et de déclarer l'intensité carbone, aujourd'hui ou à l'avenir ? Les autres caractéristiques de l'hydrogène et de son utilisation (par exemple, sans carbone, source de matières premières) sont-elles suffisantes pour favoriser son adoption ?

f. Les modèles et méthodes actuellement utilisés pour estimer l'intensité carbone de l'hydrogène sont-ils simples et faciles à utiliser, et produisent-ils des résultats clairs et représentatifs ? Ou bien les outils sont-ils ambigus et contribuent-ils à la confusion dans le marché ?

g. Selon vous, quelles sont les principales qualités d'un outil ou d'une méthode d'analyse de l'intensité carbone efficace et représentative en vue de favoriser la croissance de nouveaux marchés de l'hydrogène et l'investissement dans la production d'hydrogène ? De quelle façon les normes et les outils actuels sont-ils à la hauteur ?

h. Certains modèles d'analyse du cycle de vie peuvent produire des estimations plus précises et plus cohérentes de l'intensité carbone des produits d'hydrogène, mais il se peut que ces modèles ne soient pas référencés dans les règlements de certains pays ou régions. Cela entraîne-t-il un conflit potentiel que le Groupe CSA devrait régler ? Est-il nécessaire que les mêmes modèles qui sont ou peuvent être référencés dans les règlements soient utilisés dans les systèmes d'information des consommateurs ?

i. L'équipe de l'étude observe que les modèles attributionnels tendent à être des outils plus faciles à utiliser pour les utilisateurs n'ayant pas de formation spécialisée. GHG Protocol, par exemple, possède une interface conviviale qui s'appuie sur des saisies rapides et procédurales pour générer des estimations de l'intensité carbone. En revanche, les modèles conséquentiels, tels que le modèle GREET ou le Modèle d'analyse du cycle de vie des combustibles

du Canada, nécessitent une connaissance détaillée de la conception du modèle afin qu'un utilisateur expérimenté puisse personnaliser les scénarios à l'aide de nombreux facteurs d'entrée, ce qui permet d'obtenir des estimations plus complètes. Y a-t-il des inquiétudes quant à la charge administrative que les modèles conséquentiels peuvent nécessiter, comme une formation spécialisée ou du personnel certifié ?

Thème 2. Autres caractéristiques importantes des chaînes d'approvisionnement d'hydrogène au-delà de l'intensité carbone

a. Quels sont les effets importants, négatifs ou bénéfiques, de la production d'hydrogène pour les parties prenantes du marché, mais qui ne sont pas directement pris en compte dans les modèles et méthodes d'analyse de l'intensité carbone (par exemple, l'utilisation de l'eau, les types de matières premières utilisées, les emplois soutenus, l'activité économique régionale, l'indépendance énergétique, la prospérité énergétique) ?

b. Pour les effets indiqués, existe-t-il des méthodes ou des modèles normalisés utilisés pour en estimer l'intensité ? Avez-vous connaissance d'exemples où ces estimations ont été précisées dans des spécifications ou dans des négociations d'achat ?

c. Quelle est l'importance des analyses quantitatives des caractéristiques de la chaîne d'approvisionnement d'hydrogène, comme l'intensité de l'utilisation de l'eau ? Les acheteurs disposent-ils d'un cadre ou de moyens nécessaires pour comparer et évaluer ces indicateurs ? Des indicateurs qualitatifs seraient-ils plus efficaces pour la communication de certains effets ?

d. Comment les autres effets et caractéristiques d'une chaîne d'approvisionnement d'hydrogène doivent-ils être pondérés par rapport à son intensité carbone ? La question de la pondération est-elle sans importance, tant que l'information est à la disposition des consommateurs ?

e. Le pays (ou la région) d'origine doit-il faire partie d'un système d'information des consommateurs sur l'hydrogène ?

Thème 3. Systèmes d'information des consommateurs

a. Quels sont les éléments d'information essentiels dont un acheteur d'hydrogène doit disposer pour choisir entre plusieurs options d'approvisionnement ou pour rédiger des spécifications d'approvisionnement ?

b. Quels sont les publics qu'un fournisseur ou un acheteur doit prendre en compte lorsqu'il prend une décision concernant la production ou la consommation d'hydrogène ? Dans le cas d'une chaîne d'approvisionnement d'hydrogène, les seules caractéristiques à prendre en compte sont-elles celles des fournisseurs et des acheteurs, ou faut-il également tenir compte des préoccupations des autres, qui peuvent avoir un intérêt indirect dans la négociation (par exemple, les autorités locales, le public, les actionnaires) ?

c. Quel avantage une norme largement acceptée pour la communication des qualités de l'hydrogène, basée sur sa chaîne d'approvisionnement (ou sinon, sur sa provenance et sa lignée), pourrait-elle avoir pour la croissance et l'évolution des nouveaux marchés de l'hydrogène ? Peut-on s'attendre à ce qu'elle facilite les échanges d'hydrogène qui font progresser les objectifs de développement durable, ou serait-elle totalement non pertinente pour les besoins du marché ?

d. Quel serait le format le plus efficace pour un outil de communication normalisé ? Où doit-il figurer, d'un point de vue pratique, pour toucher au mieux le public visé ?

e. En tenant compte du public visé par un système d'information sur l'hydrogène destiné aux consommateurs et de son utilité, quel est le niveau de détail qui vous semble approprié ? Quel est le degré de simplicité (par exemple, bronze, argent, or) ou de complexité (par exemple, rapport de certification LEED®) nécessaire pour soutenir l'expansion des marchés commerciaux ?

f. Il existe un grand nombre de matières premières, de procédés et de chaînes d'approvisionnement potentiels pour la distribution d'hydrogène sur le marché, et d'autres encore sont en cours de développement. En tenant compte du système actuel de code de couleur ad hoc, risquons-nous de manquer de couleurs ? Connaissez-vous des exemples de problèmes similaires dans d'autres secteurs, où le système n'a pas pu s'adapter à l'évolution de la pratique qu'il était censé définir ?

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.