



Étude générale

Le point sur l'économie de l'hydrogène

Publication n° 2010-16-F
Le 1^{er} février 2010

Dillan Theckedath

Division de l'industrie, de l'infrastructure et des ressources
Service d'information et de recherche parlementaires

**Le point sur l'économie de l'hydrogène
(Étude générale)**

La présente publication est aussi affichée en versions HTML et PDF sur Intraparl
(l'intranet parlementaire) et sur le site Web du Parlement du Canada.

Dans la version électronique, les notes de fin de document contiennent des
hyperliens intégrés vers certaines des sources mentionnées.

This publication is also available in English.

Les **études générales** de la Bibliothèque du Parlement présentent et analysent de façon objective et impartiale diverses questions d'actualité sous différents rapports. Elles sont préparées par le Service d'information et de recherche parlementaires de la Bibliothèque, qui effectue des recherches et fournit des informations et des analyses aux parlementaires ainsi qu'aux comités du Sénat et de la Chambre des communes et aux associations parlementaires.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
2	LES PILES À HYDROGÈNE.....	1
3	DÉFIS LIÉS À LA TECHNOLOGIE DE LA PILE À HYDROGÈNE.....	2
4	L'INDUSTRIE CANADIENNE DE L'HYDROGÈNE ET DES PILES À COMBUSTIBLE.....	2
5	L'ÉCONOMIE DE L'HYDROGÈNE.....	4
6	ALLER DE L'AVANT	5
7	CONCLUSION	7

LE POINT SUR L'ÉCONOMIE DE L'HYDROGÈNE

1 INTRODUCTION

L'hydrogène, l'élément le plus répandu dans l'univers, a de nombreuses applications dans le secteur industriel et dans celui des biens de consommation. Il constitue aussi un composant clé de la pile à combustible, une source d'électricité sans émission nocive. En fait, une pile à hydrogène ne dégage que de l'eau et de la chaleur¹. Polyvalente, la pile à combustible peut alimenter toutes sortes d'objets, de la lampe de poche au sous-marin². Étant donné son énorme potentiel, cette technologie s'est trouvée au cœur de la création d'une économie parallèle, celle de l'hydrogène, dont l'objectif est de détrôner le pétrole brut et les centrales au charbon. Pourtant, malgré la possibilité de produire une énergie propre et portable, les difficultés techniques et les coûts associés à la production, au stockage et au transport de l'hydrogène limitent considérablement le potentiel de la pile à hydrogène. Dans le passé, les gouvernements ont soutenu vigoureusement le développement de cette technologie, mais cet appui semble fléchir depuis peu. Le présent document examine l'état de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible, de l'état général de l'économie mondiale de l'hydrogène et des raisons pour lesquelles l'économie de l'hydrogène n'a pas, jusqu'à présent, répondu aux attentes³.

2 LES PILES À HYDROGÈNE

Les piles à combustible produisent de l'électricité par un processus électrochimique. Actuellement, la plupart de ces piles utilisent surtout l'hydrogène comme combustible. Essentiellement, par la combinaison de l'hydrogène (H₂) et de l'oxygène (O₂), elles produisent de l'électricité, de la vapeur d'eau (H₂O) et de la chaleur⁴. Avec de l'hydrogène pur, la pile à combustible ne dégage pratiquement pas de gaz à effet de serre (GES) ni d'autres émissions nocives⁵. De plus, la taille de la pile à combustible peut être adaptée selon les besoins, pour une utilisation dans des appareils portatifs ou fixes, dans des dispositifs de téléalimentation ou d'alimentation de secours, et dans des véhicules⁶.

La pile à combustible s'est avérée efficace pour de nombreuses applications, notamment :

- les autobus de Vancouver alimentés par des piles à combustible produites par Ballard⁷;
- la Honda FCX Clarity, une voiture à pile à hydrogène actuellement offerte en location⁸;
- un projet pilote dans une résidence du campus de Mississauga de l'Université de Toronto, où des piles à combustible ont fourni de l'électricité, y compris pour chauffer l'immeuble et l'eau chaude⁹;
- la lampe de poche Angstrom A2, alimentée par une micro pile à hydrogène¹⁰.

Comme beaucoup d'autres projets pilotes et applications commerciales, ces exemples ont illustré la sécurité, la fiabilité et l'efficacité de la pile à hydrogène. Celle-ci pourrait aussi aider à répondre aux besoins en énergie propre pour lutter contre les problèmes liés aux changements climatiques et à la hausse de la demande mondiale d'énergie.

3 DÉFIS LIÉS À LA TECHNOLOGIE DE LA PILE À HYDROGÈNE

Cependant, la pile à hydrogène ne comporte pas que des avantages. Premièrement, elle nécessite des métaux précieux coûteux, comme le platine (même si ceux-ci ne représentent qu'une faible partie du coût de la pile). Deuxièmement, bien que l'hydrogène se trouve dans de nombreux composés (comme l'eau, le sucre et le gaz naturel)¹¹, son extraction requiert de l'énergie. L'hydrogène est un porteur et non une source d'énergie¹². Par conséquent, si la pile à hydrogène en soi ne produit presque aucune émission, les processus par lesquels on obtient l'hydrogène peuvent être des sources de GES nocifs.

C'est pourquoi le principal défi posé par la pile à hydrogène (ou toute autre technologie de l'hydrogène) réside dans l'approvisionnement en hydrogène. Les processus d'extraction du gaz, comme le reformage à la vapeur du gaz naturel ou l'électrolyse de l'eau, consomment de l'énergie^{13,14}. Actuellement, 95 % de l'hydrogène produit en Amérique du Nord est obtenu par le reformage à la vapeur, car ce processus est relativement peu coûteux^{15,16}. Cependant, il s'agit d'une méthode qui produit davantage de dioxyde de carbone (CO₂) que d'hydrogène utilisable. Pour protéger l'environnement, l'excès de CO₂ doit être capté et traité, ce qui ne fait qu'augmenter la consommation d'énergie¹⁷. L'hydrogène s'obtient aussi par l'électrolyse de l'eau, un processus relativement propre, mais très coûteux en raison de la quantité d'électricité requise pour traiter une quantité suffisante d'eau¹⁸. À titre indicatif, selon une étude, si l'on tient compte de la consommation d'énergie produite au moyen de combustibles fossiles et des émissions de GES, il faudrait qu'un véhicule fonctionnant avec une pile dont l'hydrogène provient du gaz naturel soit au moins de 25 à 30 % plus efficace qu'un véhicule équipé d'un moteur à essence pour être concurrentiel¹⁹. Puisque l'objectif est de produire une énergie propre, les problèmes inhérents à la production d'hydrogène pour les piles à combustible sont évidents.

Enfin, la faible densité physique de l'hydrogène complique encore plus les choses. Ce gaz est si léger qu'il faut le mettre sous haute pression pour le capter, le transporter et le stocker, et cela exige plus d'énergie et une technologie spécialisée²⁰.

4 L'INDUSTRIE CANADIENNE DE L'HYDROGÈNE ET DES PILES À COMBUSTIBLE

En 2007, l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible employait plus ou moins 2 000 personnes, dont environ 15 % au sein d'entreprises canadiennes à l'étranger. Voici la répartition par type d'employeur²¹ :

- 81 % des emplois dans le secteur privé;

- 14 % des emplois dans le secteur public;
- 5 % des emplois dans le milieu universitaire ou dans des organismes sans but lucratif.

La Colombie-Britannique comptait la plupart des emplois, suivie de l'Ontario. Étant donné la haute technicité de leur métier, les travailleurs de l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible ont gagné en moyenne 62 272 \$ en 2007 ²².

En 2007, le chiffre d'affaires de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible était de 168 millions de dollars, soit une hausse de 26 % par rapport à l'année précédente. L'industrie a ciblé notamment le marché des dispositifs portatifs ou fixes de production d'énergie (51 % de ses activités). En tout, le secteur privé et le milieu universitaire ont investi 186 millions de dollars dans la recherche et le développement (R-D). Voici les trois principales sources de revenus ²³ :

- la vente de produits (58 % des recettes);
- les contrats de R-D non gouvernementaux (20 % des recettes);
- la prestation de services (15 % des recettes).

Entre 2001 et 2007, l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible s'est développée progressivement, comme le montrent les indicateurs clés suivants ²⁴ :

- l'emploi a connu une hausse de 13 %;
- les recettes ont augmenté de 73 %;
- l'investissement global dans la R-D (y compris par le gouvernement) a augmenté de 18 %.

Pourtant, bien que l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible ait fait des progrès importants, des analyses récentes semblent indiquer que la situation pourrait changer. Selon la *Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible* parue en 2008 ²⁵ :

[L]'accès au financement offert par les organisations tant publiques que privées va en diminuant, [et] l'augmentation des ventes et la réduction des coûts d'exploitation [n'ont toujours pas] permis d'atteindre la rentabilité. Au Canada, l'intérêt des investisseurs demeure faible et l'industrie ne dispose pas des fonds nécessaires pour faire passer la capacité de production du Canada au niveau voulu pour assurer la commercialisation dans les marchés à court terme.

Dans ce document, on note aussi que le Canada ne sera peut-être pas l'un des pays où « les grandes usines de fabrication seront établies », et que « [l]es entreprises canadiennes peuvent et doivent continuer de participer aux efforts visant à améliorer et à accroître la fabrication, mais leur compétitivité à long terme dans les marchés mondiaux passera probablement par le développement et la démonstration de la

technologie ainsi que par la production et le stockage d'hydrogène »²⁶. Cela laisse entendre qu'à l'avenir l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible – comme tant d'autres industries de pointe canadiennes – mettra l'accent principalement sur la découverte et la démonstration de technologies, plutôt que sur la fabrication.

5 L'ÉCONOMIE DE L'HYDROGÈNE

Actuellement, l'économie nord-américaine (et mondiale) compte énormément sur les combustibles fossiles, autant pour l'alimentation de dispositifs fixes de production d'énergie que pour le transport. L'essence, un dérivé du pétrole brut, est le principal carburant utilisé dans les véhicules, tandis que l'électricité produite à des fins résidentielles ou commerciales provient pour la plupart de centrales au charbon²⁷. La combustion de combustibles fossiles contribue à la pollution et dégage des GES.

Pour qu'une société puisse délaissier les moyens de transport qui utilisent un carburant pétrolier au profit de ceux qui utilisent la pile à hydrogène, il faudrait mettre en place une infrastructure complète à l'appui de la nouvelle technologie. En effet, la transition vers une économie de l'hydrogène nécessiterait la réunion de plusieurs éléments. D'abord, il faudrait que les constructeurs produisent des véhicules à pile à hydrogène sur une échelle suffisamment grande pour les rendre abordables comparativement aux véhicules à moteur à essence. Ensuite, il faudrait créer un réseau de points de ravitaillement en hydrogène pour desservir les automobilistes. Parallèlement, il faudrait que la production et la distribution d'hydrogène soient suffisantes pour que l'hydrogène soit abordable par rapport à l'essence. De plus, il faudrait élaborer un système de réglementation global pour veiller à la sécurité et à la fiabilité de l'hydrogène lors du stockage, de la distribution et de l'utilisation du combustible.

De même, pour répondre aux besoins résidentiels et commerciaux en énergie, la transition des moyens habituels de production d'électricité (barrages, centrales nucléaires et au charbon) à la pile à hydrogène exigerait de nombreux changements²⁸. Que l'électricité soit fournie par des dispositifs destinés à cet usage et installés sur place ou par des centrales qui distribuent de l'électricité à plusieurs consommateurs, il faudrait un système fiable de production et de distribution de l'hydrogène, en plus d'un nouveau cadre réglementaire. Devant de tels défis, le gouvernement doit faire preuve d'un leadership fort pour permettre l'émergence d'une économie de l'hydrogène.

Par le passé, les secteurs public et privé soutenaient fortement l'investissement dans la R-D et dans l'éventuelle démonstration des technologies de l'hydrogène, particulièrement de la pile à hydrogène, en raison de la promesse d'une énergie propre, fiable et efficace. De 1982 à 2002, le soutien financier apporté par les gouvernements à l'industrie des piles à combustible, sous forme de subventions, de contributions et de prêts, s'est chiffré à environ 179 millions de dollars²⁹. En 2003, le gouvernement du Canada a lancé une initiative centrée sur l'économie de l'hydrogène, un plan d'action de 215 millions de dollars pour appuyer le développement d'une économie de l'hydrogène³⁰. Plusieurs programmes gouvernementaux ont donc été mis sur pied, notamment le Programme des adhérents pionniers de l'hydrogène

(APh₂) d'Industrie Canada, un programme de contributions pour le soutien de projets pilotes sur les technologies de l'hydrogène, comme les piles à hydrogène. Plusieurs autres ministères (y compris Défense nationale, Transports Canada et Environnement Canada) ont également accordé leur appui par l'achat de produits et de services, ou par des paiements de transfert. Par conséquent, l'un des principaux avantages du soutien gouvernemental est la capacité à stimuler les investissements du secteur privé ³¹.

L'autoroute de l'hydrogène, un projet pilote mis en œuvre en Colombie-Britannique dans le cadre d'un partenariat public-privé, constitue l'un des éléments clés du plan d'action. Diverses parties prenantes des secteurs public et privé ont contribué à la création d'un réseau d'hydrogène comprenant des points de ravitaillement en hydrogène, des fournisseurs de technologie, des producteurs d'hydrogène et des constructeurs de véhicules. La Californie dispose d'un programme semblable, la California Hydrogen Highway ³². L'objectif du projet de la Colombie-Britannique est de créer un système adapté au « monde réel » pour mettre les technologies de l'hydrogène en évidence et y sensibiliser le public. Un des objectifs secondaires était de présenter une réussite technologique canadienne dans le cadre des Jeux olympiques d'hiver de 2010 à Vancouver. De plus, cette démonstration représente une version réduite d'une éventuelle économie de l'hydrogène ³³.

6 ALLER DE L'AVANT

En 2003, le gouvernement du Canada a introduit la *Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible*, dans laquelle on présente les principales mesures visant la création d'un marché rentable pour la technologie des piles à hydrogène. Selon la *Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible* de 2008, « s'ils demeurent déterminés à mettre au point des solutions dans le domaine [de l'hydrogène et des piles à combustible], les États protègent aussi leurs investissements en les répartissant entre diverses technologies » ³⁴. Même si le secteur automobile poursuit ses investissements dans la R-D liée aux piles à hydrogène, les progrès seront fonction de l'élaboration et de l'établissement d'une infrastructure d'alimentation en hydrogène, une réalité qui n'a pas été abordée pour l'instant par les producteurs d'énergie, peut-être pour les raisons suivantes ³⁵ :

- **Production et distribution de l'hydrogène.** Le coût élevé de la production d'hydrogène, le nombre insuffisant de systèmes de production d'hydrogène ainsi que les difficultés liées à la mise en place de systèmes de production et de distribution sécuritaires se dressent d'emblée comme obstacles à l'implantation de cette technologie [...] Il faut établir et examiner les modes de distribution d'hydrogène possibles dans le cadre de projets pilotes sur tous les systèmes potentiels de production.
- **L'acceptation au sein de la population.** Le niveau d'acceptation de l'hydrogène en tant que combustible dépend de la sensibilisation de la population, de la formation du personnel responsable de l'exploitation et de l'entretien des composants des systèmes à hydrogène, de l'adoption de codes et de normes ainsi que de l'élaboration de processus homologués et de manuels de formation concernant les piles à combustible et la sécurité.

Même si « les entreprises canadiennes sont en mesure de jouer un rôle important dans la commercialisation des technologies de piles à combustible pour automobiles et [offrent déjà des occasions] d'investissement dans l'infrastructure de l'hydrogène orientée vers les marchés de masse », l'industrie semble se tourner vers d'autres priorités pour l'instant³⁶. Une analyse du secteur effectuée par Industrie Canada semble indiquer que le marché canadien actuel tend plutôt à axer ses activités sur la manutention de matières, les dispositifs d'alimentation de secours, les autobus et les appareils électroniques portatifs³⁷.

Compte tenu de ces éléments, le développement d'une économie de l'hydrogène pour appuyer la pile à hydrogène intéresse semble s'essouffler. Plus le nombre de technologies étudiées par les États augmentera, plus l'importance accordée à l'hydrogène diminuera. Cet intérêt réduit transparaît déjà dans les pratiques actuelles du gouvernement canadien. Par exemple, Industrie Canada n'a pas renouvelé le programme APh₂ pour 2008, et les derniers budgets ne prévoient pas d'investissements dans les technologies de l'hydrogène ou des piles à combustible³⁸ (à preuve, le budget de 2010, considéré comme axé sur l'innovation en raison de l'accent mis sur l'innovation pour la création d'emplois, ne prévoit pas de fonds pour l'hydrogène ou les piles à combustible)³⁹. Les gouvernements et le secteur privé soulignent tous l'importance capitale de mettre en place une infrastructure d'approvisionnement de l'économie de l'hydrogène, mais peu de mesures concrètes ont été prises pour atteindre cet objectif.

Du côté américain, la situation ressemble beaucoup à celle du Canada. Depuis les années 1970, le gouvernement fédéral américain investit dans la R-D liée aux piles à combustible (mais pas nécessairement limitée aux technologies de l'hydrogène)⁴⁰. Les premières années du XXI^e siècle ont été marquées par d'importants investissements en vue de réduire les importations de pétrole et la pollution. Dans le discours sur l'état de l'Union de 2003, le président Bush a proposé un plan d'investissement de 1,2 milliard de dollars dans la R-D liée aux technologies de l'hydrogène⁴¹. Cependant, dans des lois récemment adoptées, comme l'*American Recovery and Reinvestment Act of 2009*, les sommes consacrées au développement des piles à combustible se limitent à 40 millions de dollars⁴². De plus, l'*American Clean Energy and Security Act of 2009* ne prévoit pas de crédits particuliers pour le développement des technologies de l'hydrogène, et les subventions mentionnées sont destinées uniquement au développement de produits issus des technologies des énergies propres, les piles à combustible figurant parmi de nombreux produits énumérés dans la loi⁴³. Enfin, sous l'administration Obama, le soutien de la R-D liée aux piles à combustible a été restreint jusqu'à présent, le secrétaire à l'Énergie Steven Chu ayant déclaré qu'une transition vers une économie de l'hydrogène d'ici 10 à 20 ans était improbable vu le manque d'infrastructures et l'état actuel des piles à combustible. Le gouvernement se rabattra plutôt sur le financement de la recherche sur les piles à combustible pour des dispositifs fixes ou portatifs de production d'énergie⁴⁴. Certes, le président Obama a fini par signer en 2009 un projet de loi visant à augmenter de 45 millions de dollars les fonds destinés au développement de la pile à hydrogène, mais uniquement après que le Congrès lui a présenté un projet de loi qui n'intégrait pas la réduction de la R-D liée à l'hydrogène prévue par son administration⁴⁵.

En revanche, les principaux autres pays qui s'intéressent au développement de la pile à hydrogène semblent maintenir ou augmenter les investissements dans les technologies de l'hydrogène et des piles à combustible. Voici quelques données recueillies par le Partenariat international pour l'économie de l'hydrogène :

- l'Allemagne poursuit le financement de programmes liés aux piles à hydrogène, dont certains se prolongeront jusqu'en 2013⁴⁶;
- le Japon poursuivra le financement de programmes liés aux piles à hydrogène jusqu'en 2014⁴⁷;
- la Corée du Sud (la République de Corée) semble avoir des projets ambitieux de commercialisation et d'exportation de technologies de la pile à hydrogène, y compris un appui marqué du gouvernement⁴⁸.

7 CONCLUSION

Comme le montrent les mesures prises par les gouvernements actuels du Canada et des États-Unis, ainsi que le succès des entreprises canadiennes, les parties prenantes de l'économie de l'hydrogène ont pour objectif à court terme de poursuivre la R-D liée aux produits à pile à hydrogène « autonomes » (c.-à-d. les dispositifs fixes ou portatifs de production d'énergie) et la commercialisation de ces produits, plutôt que de mettre l'accent sur des systèmes à pile à hydrogène qui exigent la mise en place d'un « réseau » et d'une infrastructure de l'hydrogène, comme les automobiles et les camions. Étant donné les contraintes (scientifiques et financières) actuelles que connaissent la production et la distribution d'hydrogène, les produits autonomes et les services connexes pourraient permettre d'accélérer considérablement l'adoption et la commercialisation des technologies de l'hydrogène sur une grande échelle. Il est évident que l'on ne pourra pas établir une solide économie de l'hydrogène de si tôt, compte tenu des lacunes au chapitre des investissements et du développement d'une infrastructure de distribution d'hydrogène, des difficultés techniques et du coût de l'utilisation de piles à hydrogène sur une grande échelle, qui est plus élevé que celui d'autres technologies éprouvées.

En conclusion, l'avenir de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible dépend peut-être du succès de la R-D et des projets pilotes canadiens en matière de technologies de l'hydrogène. Le renouvellement de l'appui du gouvernement, qui a favorisé les investissements du secteur privé auparavant, pourrait contribuer à ce succès.

Si les investissements augmentent, l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible pourrait parvenir à réaliser des économies d'échelle, ce qui devrait contribuer à réduire les coûts et, par conséquent, les prix. Des prix réduits, une sensibilisation et une confiance accrues des consommateurs en ce qui concerne les piles à hydrogène, et, enfin, une plus forte demande de technologies de l'hydrogène pourraient accélérer la commercialisation. Puisque les entreprises canadiennes ont acquis une expertise dans de multiples technologies de l'hydrogène, l'étendue des connaissances et de l'expérience du Canada devrait lui garantir un rôle important dans une économie de l'hydrogène, si les espoirs qu'elle suscite se concrétisent.

NOTES

1. États-Unis, Département de la Défense, Fuel Cell Test and Evaluation Center, « [Fuel Cell Basics](#) ».
2. À l'heure actuelle, l'Allemagne utilise un sous-marin à pile à combustible, l'U212. Voir [naval-technology.com](#) « [U212 / U214 Attack Submarines. Germany](#) ».
3. Dans le présent document, l'expression « nord-américain » désigne les économies intégrées du Canada et des États-Unis.
4. États-Unis, Département de la Défense, Fuel Cell Test and Evaluation Center, « [Fuel Cell Basics](#) ».
5. Ressources naturelles Canada, Office de l'efficacité énergétique, « [Transports – secteur commercial : avantages environnementaux](#) », 30 octobre 2008.
6. Association canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible, « [À propos de la pile à combustible](#) ».
7. [Ballard Power Systems Inc.](#)
8. Honda Motor Company, « [FCX: Fuel Cell Electric Vehicle](#) ».
9. Université de Toronto (campus de Mississauga), « [Fuel Cells](#) », 19 novembre 2009. Dans ce cas-ci, les piles à combustible étaient si efficaces qu'elles ont contribué à l'alimentation du réseau électrique principal du campus.
10. [Angstrom Power](#).
11. Ressources naturelles Canada, Office de l'efficacité énergétique, « [Transports – secteur commercial : piles à combustible et à hydrogène](#) », 17 avril 2009.
12. *Ibid.*
13. Los Alamos National Laboratory, Chemistry Division, « [Hydrogen](#) », 15 décembre 2003.
14. États-Unis, Energy Information Administration, « [Hydrogen](#) ».
15. Le reformage à la vapeur est un processus qui consiste à faire réagir le méthane présent dans le gaz naturel à l'aide de vapeur pour obtenir de l'hydrogène et des oxydes de carbone; voir New York State Energy Research and Development Authority, « [Hydrogen Production – Steam Methane Reforming \(SMR\)](#) ».
16. BC Hydrogen Highway, « [Myths and Misconceptions](#) ».
17. New York State Energy Research and Development Authority, « [Hydrogen Production – Steam Methane Reforming \(SMR\)](#) ».
18. États-Unis, Energy Information Administration, « [Hydrogen](#) ».
19. Mikhail Granovskii, Ibrahim Dincer et Marc A. Rosen, « Life Cycle Assessment of Hydrogen Fuel Cell and Gasoline Vehicles », *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 31, n° 3, mars 2006, p. 337 à 352.
20. Cutler J. Cleveland (dir.), « [Hydrogen Storage](#) », *Encyclopedia of Earth*, 24 août 2008.
21. Industrie Canada, [Profil de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible 2008](#), Ottawa, 2008.
22. *Ibid.*
23. *Ibid.*
24. *Ibid.*

25. Industrie Canada, *Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible*, Ottawa, 2008 (voir « [Une approche axée sur les marchés](#) »).
26. *Ibid.*
27. Plus de 70 % de l'électricité des États-Unis est issue de combustibles fossiles, comparativement à 20 % au Canada. Voir U.S. Energy Information Administration, « [Electricity in the United States](#) », et Statistique Canada, « [Production, transport et distribution d'électricité : analyse – production d'électricité](#) », 20 avril 2009.
28. La production d'hydrogène nécessite de l'énergie, mais on pourrait avoir recours à l'énergie solaire ou éolienne, ce qui rendrait le processus relativement plus propre dans son ensemble.
29. Industrie Canada, *Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible*, Ottawa, 2003 (voir « [Intervenants – secteur public](#) »).
30. Industrie Canada, *Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible* (voir « [Avant-propos](#) »).
31. Voir, par exemple, « Hydrogen and fuel cell industry converges on Ottawa to push for renewal of key programs », *ReSearch Money*, 22 septembre 2009.
32. [California Hydrogen Highway](#).
33. [BC Hydrogen Highway](#).
34. Industrie Canada, *Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible* (voir « [Sommaire](#) »).
35. États-Unis, Département de l'Énergie, « [Fuel Cell Technologies Program – Technology Validation](#) » [TRADUCTION].
36. Industrie Canada, « [Hydrogène et piles à combustible](#) ».
37. Industrie Canada, *Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible* (voir « [Sommaire](#) »).
38. Canada, Ministère des Finances, [Le budget de 2009](#), 27 janvier 2009.
39. Canada, Ministère des Finances, [Le budget de 2010](#), 4 mars 2010.
40. États-Unis, Département de l'Énergie, « [Future Fuel Cells R&D](#) », 17 décembre 2009.
41. CNN, transcription du discours sur l'état de l'Union de 2003 : « [Part 4: Energy](#) ».
42. Partenariat international pour l'économie de l'hydrogène [PIEH], « [United States of America](#) ».
43. États-Unis, Chambre des représentants, « [American Clean Energy and Security Act of 2009](#) ».
44. David Biello, « [R.I.P. hydrogen economy? Obama cuts hydrogen car funding](#) », *Scientific American*, 8 mai 2009.
45. États-Unis, Chambre des représentants, résolution 3183 : [Energy and Water Development and Related Agencies Appropriations Act, 2010](#).
46. PIEH, « [Germany](#) ».
47. PIEH, « [Japan](#) ».
48. PIEH, « [Republic of Korea](#) ».