

Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible

– Progrès de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

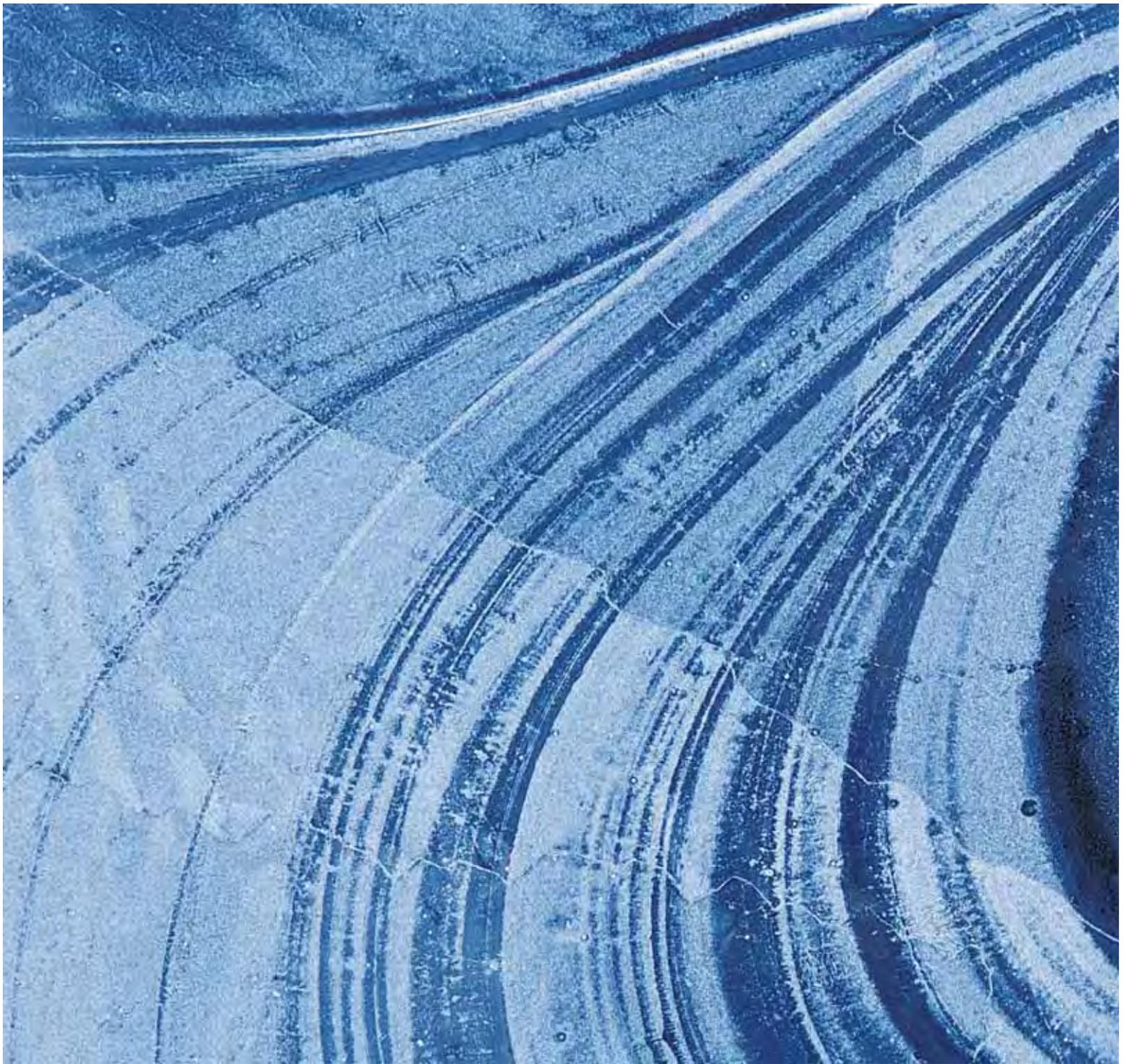
Canada

PRICEWATERHOUSECOOPERS PwC



Hydrogène &
Piles à combustible Canada





On peut obtenir sur demande cette publication sur supports multiples. Communiquer avec le Centre de diffusion de l'information dont les coordonnées suivent.

Pour obtenir des exemplaires supplémentaires de cette publication, s'adresser aux :

Éditions et Services de dépôt
Travaux publics et Services gouvernementaux Canada
Ottawa (Ontario) K1A 0S5

Tél. (sans frais) : 1. 800. 635. 7943
(au Canada et aux États-Unis)

Tél. (appels locaux) : 613. 941. 5995
ATS : 1. 800. 465. 7735

Télé. (sans frais) : 1. 800. 565. 7757
(au Canada et aux États-Unis)

Télé. (envois locaux) : 613. 954. 5779

Courriel : publications@tpsgc.gc.ca
Site Web : www.publications.gc.ca

Cette publication est également offerte par voie électronique sur le

Web : <http://www.ic.gc.ca/hydrogene>

Autorisation de reproduction

À moins d'indication contraire, l'information contenue dans cette publication peut être reproduite, en tout ou en partie et par quelque moyen que ce soit, sans frais et sans autre permission d'Industrie Canada, pourvu qu'une diligence raisonnable soit exercée afin d'assurer l'exactitude de l'information reproduite, qu'Industrie Canada soit mentionné comme organisme source et que la reproduction ne soit présentée ni comme une version officielle ni comme une copie ayant été faite en collaboration avec Industrie Canada ou avec son consentement.

Pour obtenir l'autorisation de reproduire l'information contenue dans cette publication à des fins commerciales, faire parvenir un courriel à copyright.droitdauteur@communication.gc.ca.

N° de catalogue IU 44-2/2008F-PDF
ISBN 978-0-662-04692-9
60537F

Mise à jour de la Carte routière canadienne
sur la commercialisation des piles à combustible
– Progrès de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible

Décembre 2008

Table des matières

Liste des participants	3
Sommaire	5
Avant-propos.....	11
Méthode	13
Introduction	15
La raison d’être de l’hydrogène et des piles à combustible.....	17
Le contexte mondial de la commercialisation.....	19
Principaux facteurs qui incitent l’État à stimuler la commercialisation : changement climatique, pollution urbaine et sécurité énergétique	20
Dialogue entre l’industrie et la clientèle	28
Moteur des besoins des utilisateurs dans les marchés à court terme : les lacunes des batteries	30
Indicateurs de la commercialisation à l’échelle mondiale	32
Le Canada dans le contexte mondial.....	35
Situation de l’industrie canadienne	36
Recherche-développement et projets de démonstration	40
Industrie canadienne de l’hydrogène et des piles à combustible	42
Hydrogène et piles à combustible : des technologies porteuses.....	45
Commercialisation de technologies porteuses	48
Une approche axée sur les marchés à court terme : l’industrie canadienne depuis 2003.....	51
Amélioration de la performance de la technologie en vue des marchés de masse	55
Des liens communs : des besoins des marchés à court terme à ceux des marchés de masse	68
La voie de la commercialisation pour l’industrie canadienne de l’hydrogène et des piles à combustible	71
Concrétisation des marchés de masse	71
Comment l’infrastructure de l’hydrogène orientée vers les marchés de masse évoluera-t-elle? (2015–2025)	72
Succès et interactions dans les marchés à court terme	73
Comment le Canada peut-il maintenir sa position de chef de file?	74
Conclusion.....	77
Références et bibliographie.....	78

Liste des participants

Entretiens

Air Liquide Canada Inc.
Angstrom Power Inc.
Automotive Fuel Cell Cooperation
Ballard Power Systems Inc.
BC Transit
Entreprises Bell Canada
Exxon Mobil Corporation
Hydrogenics Corporation
Hyteon Inc.
Interlink Connectivity Inc.
Groupe Linde
Motorola Canada Limitée
Plug Power Inc.
Powertech Labs Inc.
Courrier Purolator ltée
QuestAir Technologies Inc.
Sacré-Davey Group
Tekion Inc.
The Raymond Corporation
TransLink

Atelier

Alberta Research Council
Ballard Power Systems Inc.
BC Transit
Centre de recherche sur les piles à combustible de l'Université Queen's et du Collège militaire royal du Canada
Conseil national de recherches du Canada
Enbridge Inc.
FCTEK Holdings Ltd.
Hydrogène et Piles à combustible Canada
Hydrogenics Corporation
Hyteon Inc.
Industrie Canada
Plug Power Inc.
PricewaterhouseCoopers
QuestAir Technologies Inc.
Ressources naturelles Canada
Sacré-Davey Group
Tekion Inc.
Université de Calgary
Université de la Colombie-Britannique
Versa Power Systems, Inc.

Sommaire

Le concept de l'économie de l'hydrogène a évolué depuis 2003. Les progrès technologiques ont apporté de nombreuses solutions de remplacement viables en matière d'énergie et de transports. Aujourd'hui, une vision plus englobante reconnaît la contribution considérable de l'hydrogène et des piles à combustible à un portefeuille d'énergie et de transports plus propre et diversifié.

Le potentiel des applications axées sur l'hydrogène et les piles à combustible dans les marchés de masse demeure attrayant pour l'État et les autres intervenants qui cherchent à accroître la sécurité et la diversité de l'approvisionnement énergétique tout en réduisant la pollution et les émissions de gaz à effet de serre. Les gouvernements nationaux du monde entier, notamment ceux des États-Unis, de l'Allemagne et du Japon, jouent un rôle actif dans le développement de technologies au bénéfice de la société et de l'environnement. Dans ce contexte, la notion de « bien public » justifie une intervention en faveur d'une technologie pour en assurer à terme le déploiement dans les marchés de masse. Toutefois, s'ils demeurent déterminés à mettre au point des solutions dans le domaine, les États protègent aussi leurs investissements en les répartissant entre diverses technologies.

Cette vision plus globale, qui va maintenant au-delà de la commercialisation à long terme d'automobiles à pile à combustible, embrasse désormais leur commercialisation dans les marchés à court terme où l'on peut déployer ces produits en utilisant la technologie actuelle et qui nécessitent une infrastructure de distribution beaucoup plus simple. En investissant collectivement des milliards de dollars dans la recherche-développement (R-D), les constructeurs automobiles ont montré leur détermination à développer des véhicules à pile à combustible. Toutefois, ils demeurent tributaires du déploiement de l'infrastructure de distribution d'hydrogène, laquelle n'a pas bénéficié jusqu'à présent du même niveau d'investissement de la part des sociétés énergétiques. Parmi les applications les plus prometteuses pour les marchés à court terme, mentionnons la manutention, l'alimentation d'appoint, les autobus et les produits électroniques portables.

Ces marchés jouent un rôle important en ouvrant la voie à l'automobile commerciale à pile à combustible, du fait qu'ils donnent un coup de pouce à l'aménagement de l'infrastructure de distribution d'hydrogène tout en s'attaquant à des facteurs tels que le coût, la durabilité et la fiabilité. En outre, ils permettront de réaliser d'entrée de jeu des gains au chapitre de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Selon les estimations, la réduction prévue grâce à ces marchés à court terme équivaldra à celle que l'on obtiendrait en retirant de la circulation un million d'automobiles à essence au cours des dix prochaines années. Les 20 autobus hybrides à pile à combustible qui seront déployés en Colombie-Britannique, utilisant de l'hydrogène liquide d'origine québécoise, réduiront de 62 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à des véhicules diesels équivalents.

Ces 20 dernières années, le Canada a été un chef de file du secteur mondial de l'hydrogène et des piles à combustible. Aujourd'hui, l'industrie canadienne compte 80 entreprises du savoir relativement petites qui ont investi dans la R-D 200 millions de dollars par an en moyenne au cours des cinq dernières années – ce niveau d'investissement équivaut au tiers des dépenses totales de R-D énergétique de l'industrie canadienne. L'industrie continue de

réaliser des progrès considérables sur le plan technique et commercial, mais la concurrence dans le marché de l'investissement et ceux des utilisateurs devient de plus en plus féroce. Les puissantes multinationales bien financées des secteurs de l'énergie, de l'automobile et de l'électronique sont actives dans tous les marchés des piles à combustible. Or, le financement public canadien des programmes portant sur cette technologie est bien inférieur au montant des aides publiques de bien des pays, notamment les États-Unis, le Japon et les pays de l'Union européenne. À la lumière de ces considérations, de nombreuses entreprises canadiennes ont restructuré leurs activités et cessé d'investir dans la recherche-développement orientée vers les marchés à long terme dans le secteur automobile pour privilégier le développement et le déploiement de produits dans les marchés à court terme, par exemple, les chariots élévateurs, les appareils d'alimentation d'appoint, les produits électroniques portables et les autobus à pile à combustible. Elles ont ainsi pu concentrer leurs efforts sur le développement et la mise en marché d'applications qui créeront des sources de recettes initiales, renforceront la confiance des investisseurs et fourniront une plateforme pour sensibiliser et convaincre les consommateurs.

En recentrant leurs efforts sur les marchés à court terme, les entreprises de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible ont été en mesure d'accomplir des progrès considérables sur le front des objectifs en matière de coût, de performance et de fiabilité ainsi que du développement de l'infrastructure. Au chapitre du coût et de la performance des piles à combustible, par exemple, on note une amélioration de 600 % au cours des cinq dernières années. L'industrie collabore avec l'État pour créer les premiers projets de démonstration intégrés à grande échelle – l'Autoroute de l'hydrogène et le Village de l'hydrogène.

L'industrie canadienne conserve une position enviable par rapport à la concurrence. Les piles à combustible qu'elles fabriquent sont soumises à des essais rigoureux et sont déployées sur une base commerciale pour la cogénération résidentielle, l'alimentation d'appoint, les produits électroniques portables, la manutention et les autobus. Le marché mondial des appareils à pile à combustible a affiché un taux de croissance annuel de 59 %, et le Canada y est pour beaucoup. En effet, en 2007, la société Ballard a produit à elle seule près de 10 % des piles à combustible fabriquées en Amérique du Nord et 22 % des systèmes de cogénération et d'alimentation d'appoint résidentiels expédiés dans le monde entier.

Approche axée sur les marchés à court terme

Manutention

Le Canada a été un pionnier du domaine de l'équipement de manutention à pile à combustible. Aujourd'hui, Plug Power et Hydrogenics fournissent collectivement des centaines de chariots élévateurs à pile à combustible aux entrepôts de Wal-Mart, qui fonctionnent 24 heures sur 24, et aux usines d'assemblage de General Motors. On s'attend à une réduction appréciable des coûts lorsque le volume des ventes augmentera. Le marché devrait passer du remplacement des batteries aux chariots élévateurs personnalisés comme en témoigne le partenariat conclu entre The Raymond Corporation et Ballard Power Systems pour développer conjointement une nouvelle génération de chariots élévateurs à pile à combustible.

Alimentation d'appoint

Dans le domaine de l'alimentation d'appoint, on prévoit que de nombreux pays adopteront des règlements exigeant une alimentation d'appoint d'une durée de huit heures pour les services de communication d'urgence. Le coût des batteries nécessaires pour respecter cette exigence donne une longueur d'avance à la technologie des piles à combustible. Comme la demande mondiale devrait atteindre 75 000 appareils d'alimentation d'appoint d'ici à 2010, les entreprises canadiennes de l'industrie des piles à combustible sont bien placées grâce aux partenariats internationaux déjà établis avec des sociétés comme Dantherm, la société indienne ACME Tele Power et American Power Conversion.

Cogénération résidentielle

Au Japon, un programme concurrentiel et bien coordonné est actuellement mis en œuvre avec l'aide de l'État dans le but de valider la viabilité d'un système de pile à combustible de cogénération résidentielle de 1 kW alimenté au gaz naturel, aux gaz de pétrole liquéfiés et au kérosène. Nombre de multinationales comme Sanyo, Toyota et Matsushita (Panasonic) participent à ce programme, de même que les grandes sociétés énergétiques japonaises comme Tokyo Gas, Osaka Gas et Nippon Oil. Les sociétés canadiennes Hyteon et Ballard Power Systems se sont taillé une place dans ce marché à court terme hautement concurrentiel en établissant des partenariats stratégiques avec de grandes entreprises de services publics japonaises. Leurs produits représentent près du quart des appareils installés.

Produits électroniques portables

Des entreprises canadiennes comme Angstrom et Tekion travaillent à des dispositifs pour remplacer les micropiles à méthanol direct dans les produits électroniques portables, notamment les ordinateurs. Le but est de répondre à la demande croissante de densité énergétique et d'autonomie prolongée, qui mettent à rude épreuve les batteries ordinaires. Les acteurs canadiens ont joué un rôle de premier plan dans la démarche à l'issue de laquelle le Groupe d'experts sur les marchandises dangereuses de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a approuvé la réglementation d'exception proposée pour le transport dans les cabines passagers des cartouches renfermant de l'acide formique comme combustible liquide direct ainsi que des systèmes de stockage de l'hydrogène faisant appel aux hydrures métalliques.

Autobus

Avec l'aide financière du gouvernement provincial de la Colombie-Britannique et de la Fiducie d'investissement pour les transports en commun, BC Transit pilote un projet de déploiement commercial de 20 autobus hybrides à pile à combustible, qui seront en démonstration à Whistler pendant les Jeux Olympiques de 2010. Au Canada, de nombreuses commissions de transport sont favorables à un plus vaste déploiement de la technologie des piles à combustible dans le réseau communautaire de bus-navettes en place dans bien des centres urbains. Le constructeur d'autobus canadien New Flyer a récemment conclu une entente exclusive avec Ballard Power pour le développement de bus-navettes à pile à combustible destinés au

marché nord-américain. L'utilisation du savoir-faire canadien suscite un vif intérêt sur la scène internationale. Mentionnons un nouveau projet avec la Ville de Londres portant sur l'achat de cinq autobus hybrides alimentés par pile à combustible Ballard. La formation de nombreux consortiums ainsi que l'appui de l'État et des commissions de transport témoignent du nombre croissant de programmes de déploiement d'autobus à pile à combustible en cours.

Infrastructure

À court ou à moyen terme, on prévoit que l'infrastructure industrielle actuelle de l'hydrogène suffira pour approvisionner les marchés des piles à combustible spécialisés. L'hydrogène gazeux comprimé, l'hydrogène réfrigéré et l'hydrogène résiduel permettront d'approvisionner adéquatement les marchés de la manutention, de l'alimentation d'appoint et des autobus. Comme le Canada dispose d'une base énergétique diversifiée, différentes options s'offrent à lui pour produire de l'hydrogène, notamment les sources d'énergie renouvelables, l'hydroélectricité, le gaz naturel et le charbon avec captage et piégeage du carbone. L'industrie des produits chimiques et pétrochimiques fabrique la plus grande partie de l'hydrogène au pays, mais la production à partir d'hydrogène résiduel est de l'ordre de 200 000 tonnes par an. Pour obtenir la même quantité d'énergie, il faudrait 800 millions de litres d'essence. Air Liquide a été désignée pour construire à Whistler, en Colombie-Britannique, la station-service à hydrogène la plus grande du monde – qui fournira chaque jour 1 000 kg d'hydrogène produit à partir de sources renouvelables ou de déchets. Avec des acteurs de premier plan comme Air Liquide, Hydrogenics, Sacré-Davey, Dynetek et QuestAir, et en partenariat avec Linde, le Canada est le chef de file de la production d'hydrogène par électrolyse à partir de sources d'énergie renouvelables et de gaz naturel, de dispositifs de stockage de gaz comprimé, du captage d'hydrogène résiduel ainsi que de la production et de la distribution d'hydrogène réfrigéré. À long terme, les énergies renouvelables, la biomasse et l'énergie nucléaire devraient être les principales sources d'hydrogène. L'hydrogène produit pour l'industrie pétrolière et gazière, que l'on pourrait réorienter pour répondre aux besoins des marchés de masse des piles à combustible, devrait aussi être une source de combustible.

La voie de l'avenir

Les perspectives de croissance commerciale se sont bien améliorées depuis 2003, mais le coût et la fiabilité continuent de préoccuper les utilisateurs. L'intégration d'une nouvelle technologie dans un système très efficient déjà en exploitation, par exemple, un entrepôt, un réseau de télécommunication ou un système de transport en commun, ne va pas sans risques pour les utilisateurs. Il reste des problèmes à résoudre au chapitre de l'infrastructure, notamment en ce qui a trait aux systèmes faisant appel aux nouveaux combustibles, aux questions de sécurité et à la formation du personnel. Dans presque toutes les applications, la technologie des piles à combustible s'impose pour remplacer les technologies évoluées bien établies et rentables, entre autres les moteurs à combustion interne et les batteries ordinaires, qui bénéficient d'un appui considérable. En effet, si de nombreux utilisateurs attachent une importance à la « propreté » de la technologie des piles à combustible, ils n'attribuent pas pour autant une grande valeur économique à cette caractéristique et mettent davantage l'accent sur les propositions commerciales habituelles reposant sur le prix, la performance et la fiabilité. Pour les applications

destinées aux marchés de masse comme celui de l'automobile, l'analyse économique classique, qui ne prend pas en compte tous les coûts sociaux et environnementaux du produit, limite la compétitivité des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible face aux produits commerciaux actuellement sur le marché. Toutefois, malgré ces obstacles, la croissance des marchés à court terme pour la technologie des piles à combustible n'a jamais semblé aussi prometteuse.

Il est important de souligner que l'essor global des piles à combustible passe par le développement de la technologie pour le secteur automobile. On observe au sein du noyau de fournisseurs une grande synergie entre les courbes de développement des piles à combustible dans ce secteur et les autres, en particulier pour ce qui est des résultats de la recherche fondamentale et du développement. Si les exigences varient d'une application à l'autre, par exemple, seules les applications de l'industrie automobile exigent des piles robustes permettant de démarrer rapidement par temps froid, les autres facteurs économiques sont en synergie, notamment la réduction de la quantité de catalyseur et les paramètres de conception permettant la fabrication en grandes quantités. Ford et Daimler ont maintenant leurs propres piles à combustible développées par Automotive Fuel Cell Cooperation (AFCC), entreprise établie à Vancouver qui a succédé à la division automobile de Ballard Power Systems. AFCC est l'un des chefs de file mondiaux du développement de piles à combustible pour l'industrie automobile et l'un des principaux centres de développement de piles à combustible de la planète.

La technologie des piles à combustible et, qui plus est, sa démonstration et sa validation dans les applications commerciales à court terme ont beaucoup progressé au cours des cinq dernières années. D'après les intervenants canadiens, la demande dans les marchés mondiaux à court terme atteindra 1,1 million de piles en 2010. Par ailleurs, ils prévoient une durabilité variant entre 10 000 et 40 000 heures de fonctionnement selon l'application ainsi qu'une fiabilité de 95 à 99 %. Une commercialisation efficace dans les marchés à court terme apportera une valeur considérable pour les marchés de masse à long terme. Elle assurera la pérennité des entreprises existantes, générera des profits, ravivera la confiance et l'intérêt des investisseurs; permettra de poursuivre la croissance de l'emploi et de la formation orientée vers l'acquisition de compétences clés pour les futurs marchés de masse; créera des débouchés pour les fournisseurs de composants en vue du développement de meilleurs matériaux; et aidera à maîtriser dans le contexte des systèmes complets les technologies d'hybridation, les stratégies de contrôle et les logiciels pouvant être utilisés directement dans les applications des marchés de masse. Les entreprises canadiennes n'ont d'autre choix que de s'implanter avec succès dans ces marchés à court terme afin d'avoir les reins assez solides pour participer aux marchés de masse à long terme. Sur le front du renforcement des capacités, il faudra notamment continuer d'accroître le bassin de personnel qualifié (études techniques et fabrication) ainsi que la capacité de production et les activités connexes de recherche universitaire et publique. Des programmes de R-D rationalisés et ciblés pour la commercialisation, l'appui à l'expansion des chaînes de valeur mondiales, l'adoption efficace des normes et des codes à l'échelle locale ainsi que le déploiement rentable de produits aideront aussi le Canada à demeurer un acteur clé de l'industrie mondiale de l'hydrogène et des piles à combustible.

À mesure que s'ouvriront les marchés de masse de l'hydrogène et des piles à combustible destinées aux produits électroniques portables, à la cogénération résidentielle et aux véhicules électriques, les constructeurs automobiles et les autres partenaires stratégiques en quête d'une technologie et d'un savoir-faire concurrentiels dans la filière hydrogène et piles à combustible rechercheront les capacités canadiennes reconnues dans les marchés à court terme. Le Canada a la possibilité de stimuler la commercialisation de ces technologies mises au point sur son territoire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique et atténuer ainsi les effets du changement climatique tout en donnant un coup de pouce à de nombreux secteurs, notamment ceux des transports, de la fabrication et des télécommunications.

Avant-propos

Renseignement généraux concernant la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustibles publiée en 2003

Industrie Canada a facilité l'établissement d'une carte routière en collaboration avec le secteur canadien des piles à combustible en 2002-2003. Il a financé l'élaboration de ce document sous l'égide du programme Changement climatique, développement de technologies et innovation. La Carte routière visait à accélérer les activités de commercialisation à grande échelle des technologies canadiennes de l'hydrogène et des piles à combustible pour rentabiliser les investissements considérables de l'industrie dans la R-D et à mettre au point des solutions à long terme pour atteindre les objectifs nationaux en matière de changement climatique. Avec l'appui du Ministère, le processus d'élaboration a été mis au point par des cadres supérieurs de 45 organisations de l'industrie, du secteur public et de la recherche. La Carte routière faisait état des principales recommandations concernant les mesures à prendre par ces trois secteurs afin de concrétiser les bienfaits d'ordre économique, environnemental et social découlant du déploiement de la technologie des piles à combustible et d'aider les entreprises canadiennes à demeurer les chefs de file du secteur sur la scène mondiale.

La Carte routière a rendu la collaboration encore plus nécessaire entre le secteur public, l'industrie et le milieu universitaire pour réaliser les objectifs de commercialisation. Elle a par ailleurs renforcé les relations internationales et permis d'intégrer l'option canadienne dans les cartes routières mondiales, notamment celle élaborée par le Partenariat international pour l'économie de l'hydrogène. Elle a aussi servi de point de référence pour les cartes routières élaborées par plusieurs autres pays, notamment le Royaume-Uni, l'Australie, le Mexique et l'Afrique du Sud ainsi que quelques économies membres de la Coopération économique de la zone Asie-Pacifique (APEC).

En octobre 2003, le gouvernement du Canada a annoncé un investissement de 215 millions de dollars sur cinq ans pour faciliter le passage à l'économie de l'hydrogène. Cette initiative centrée sur l'économie de l'hydrogène a été guidée par trois priorités stratégiques énoncées dans la Carte routière : adoption accélérée de solutions axées sur l'hydrogène grâce à des projets de démonstration intégrés menés en partenariat; initiatives visant à établir l'infrastructure de l'hydrogène, à améliorer la performance des technologies de l'hydrogène et à en réduire les coûts; et renforcement du leadership du Canada grâce à la recherche-développement portant sur de nouvelles applications novatrices dans des domaines stratégiques de la chaîne de valeur de l'hydrogène et des piles à combustible. Des progrès appréciables ont été accomplis au cours des cinq dernières années – le coût et la performance des piles à combustible ont affiché une amélioration de 600 % et l'industrie collabore avec l'État pour créer les premiers projets de démonstration intégrés à grande échelle dans le monde – l'Autoroute de l'hydrogène et le Village de l'hydrogène. Conformément à ce qui a été prévu à l'origine, l'initiative centrée sur l'économie de l'hydrogène s'est terminée à la fin de mars 2008.

Industrie Canada a la possibilité de poursuivre un solide partenariat avec le secteur canadien de l'hydrogène et des piles à combustible et de déterminer, en collaboration avec les intervenants, les priorités à l'appui du déploiement de produits dans les marchés à court terme et de l'infrastructure de l'hydrogène. La *Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible* publiée en 2003 vient compléter les travaux en cours et fait le point concrètement sur les avancées technologiques en plus d'analyser les liens avec les marchés de masse à long terme.

Les travaux contribuent aux objectifs d'Industrie Canada et du gouvernement du Canada concernant l'environnement, le changement climatique, la compétitivité et le programme de sciences et de technologie (S-T).

Méthode

Le Ministère a travaillé en partenariat avec des intervenants des secteurs public et privé pour mettre à jour la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible publiée en 2003. À cette fin, il a utilisé des sources d'information primaires et secondaires. Cette démarche pilotée par l'industrie visait à faire le point sur l'industrie, le développement de la technologie (coût et performance) ainsi que le déploiement sur le marché et à examiner les infrastructures requises pour les marchés à court terme en vue du déploiement d'autobus, de chariots élévateurs, d'appareils d'alimentation d'appoint et de produits électroniques portables alimentés par pile à combustible.

Analyse documentaire

Un premier dépouillement des écrits sur le sujet a permis de recueillir des données sur le déploiement des piles à combustible et l'état de l'industrie dans le monde.

Entretiens avec des représentants de l'industrie et des utilisateurs

Pour bien cibler la commercialisation des produits de l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible ainsi que leur déploiement dans le marché par des entreprises canadiennes, il s'avérait essentiel de connaître le point de vue des utilisateurs ainsi que celui des concepteurs et des fabricants.

En mars 2008, PricewaterhouseCoopers a eu des entretiens avec des présidents-directeurs généraux et des chefs des services techniques d'entreprises spécialisées dans le développement, l'intégration ou l'infrastructure et avec des utilisateurs du secteur des piles à combustible appartenant à cinq grands groupes :

- Autobus
- Alimentation d'appoint
- Cogénération résidentielle
- Manutention
- Produits électroniques portables

Les résultats sommaires des 28 entretiens réalisés ont été transmis à l'équipe chargée de la mise à jour de la Carte routière, qui les a pris en compte dans le présent rapport.

Établissement d'objectifs

En plus des entretiens, on a élaboré cinq questionnaires visant à définir les grands objectifs en matière de technologie, de produits et de marchés pour chacun des cinq secteurs.

En avril 2008, ces objectifs ont été analysés et validés lors d'un atelier réunissant des représentants de l'industrie, du secteur public et du milieu universitaire. Le présent document prend en compte les résultats de cet atelier.

Présentation de rapports

Les résultats de l'analyse documentaire, des entretiens et de l'atelier de validation des objectifs ont été définis et analysés pour dégager les tendances communes et les éléments d'information clés à prendre en compte dans le présent rapport final.

Notre rapport prépare le terrain pour les premières discussions sur les priorités en R-D relatives à la commercialisation à court terme des produits de l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible.

Introduction

La présente *Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible* donne d'abord un aperçu des raisons pour lesquelles l'hydrogène et les piles à combustible sont considérés comme un rouage essentiel des futures filières énergétiques à faibles émissions de carbone pour les transports et les applications stationnaires et constituent une innovation pour l'alimentation des produits électroniques portables. Elle fait ensuite un survol des marchés mondiaux de l'hydrogène et des piles à combustible en présentant l'histoire et le contexte des activités de l'industrie canadienne.

La *Mise à jour* présente ensuite les approches visant à assurer la viabilité commerciale et le succès dans les marchés de masse. Ces approches ont été explorées dans le cadre des entretiens avec les présidents-directeurs généraux et les chefs des services techniques des principales entreprises canadiennes ainsi qu'avec des cadres supérieurs d'entreprises internationales ayant établi des partenariats dynamiques avec le Canada en tant que fournisseurs et pionniers dans l'adoption des technologies. Ces cadres ont exprimé leur point de vue sur les difficultés inhérentes au marché et à la technologie qu'il faudra surmonter pour conquérir les marchés d'attaque et faire en sorte que leurs entreprises puissent participer encore davantage aux marchés de masse.

Le rapport présente également un scénario possible et un processus qui permettrait d'exploiter ces marchés de masse, y compris un point de vue sur l'aménagement de l'infrastructure de l'hydrogène. En conclusion, il analyse les priorités pour l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible et recommande un train de mesures.

A close-up photograph of a car's exhaust system. Two black metal pipes are visible, with a thick plume of white smoke or steam rising from the right-hand pipe. The background is a blurred, light-colored surface, possibly a road or pavement. The text is overlaid in the upper left corner.

L'hydrogène et les piles à combustible permettent de réduire la pollution dans le secteur des transports et la dépendance à l'égard du pétrole.

La raison d'être de l'hydrogène et des piles à combustible

L'hydrogène possède plusieurs propriétés qui en font un vecteur énergétique attrayant : il s'agit d'un combustible exceptionnellement propre, plus léger que l'air, inodore, non toxique et sans émissions de carbone, dont les ratios énergie-masse et énergie-volume sont plus élevés que ceux de toutes les technologies de batterie. Lorsque ce gaz est mélangé avec l'air, sa grande vitesse de diffusion et de dispersion présente des avantages appréciables sur le plan de la sécurité par rapport aux combustibles classiques.

On peut produire l'hydrogène à partir de sources d'énergie primaires, comme le gaz naturel, la biomasse, le charbon et le pétrole, ainsi que d'énergie nucléaire ou de sources renouvelables. L'électrolyse (séparation de l'eau en hydrogène et en oxygène) et le reformage (utilisation de températures élevées pour extraire l'hydrogène des combustibles fossiles, principalement le gaz naturel) sont deux procédés utilisés couramment afin de produire de l'hydrogène. À l'heure actuelle, le reformage est utilisé dans 95 % de la production totale d'hydrogène destinée à l'industrie des produits chimiques et pétrochimiques.

Grâce à la polyvalence de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique, il peut jouer un rôle important en élargissant l'éventail de nos approvisionnements énergétiques actuels. Non seulement l'hydrogène peut être utilisé comme source d'énergie dans les moteurs à combustion interne et les piles à combustible, mais aussi il permet de stocker l'électricité produite par l'énergie hydraulique ou nucléaire pour la rendre disponible lorsque le besoin s'en fait sentir.

On utilise de plus en plus l'hydrogène dans les filières énergétiques de remplacement, notamment des moteurs à combustion interne. Toutefois, le présent document met avant tout l'accent sur l'utilisation de l'hydrogène dans les piles à membrane échangeuse de protons (PEMFC), qui fonctionnent à peu près comme des batteries et peuvent être conçues pour alimenter à peu près n'importe quoi – un appareil radio émetteur-récepteur, un téléphone mobile, une automobile, voire un bâtiment entier. Contrairement à la batterie, la pile à combustible n'épuise pas les électrodes et peut être rechargée rapidement, ce qui permet de gagner du temps.

La pile à combustible est un dispositif électrochimique qui combine l'hydrogène et l'oxygène pour produire de l'électricité, de l'eau et de la chaleur. Par rapport à la combustion, elle est par nature beaucoup plus efficace pour convertir en électricité des sources d'énergie à base de carbone sans produire d'émissions d'oxydes d'azote (NOx) ou de particules inévitables dans la combustion.

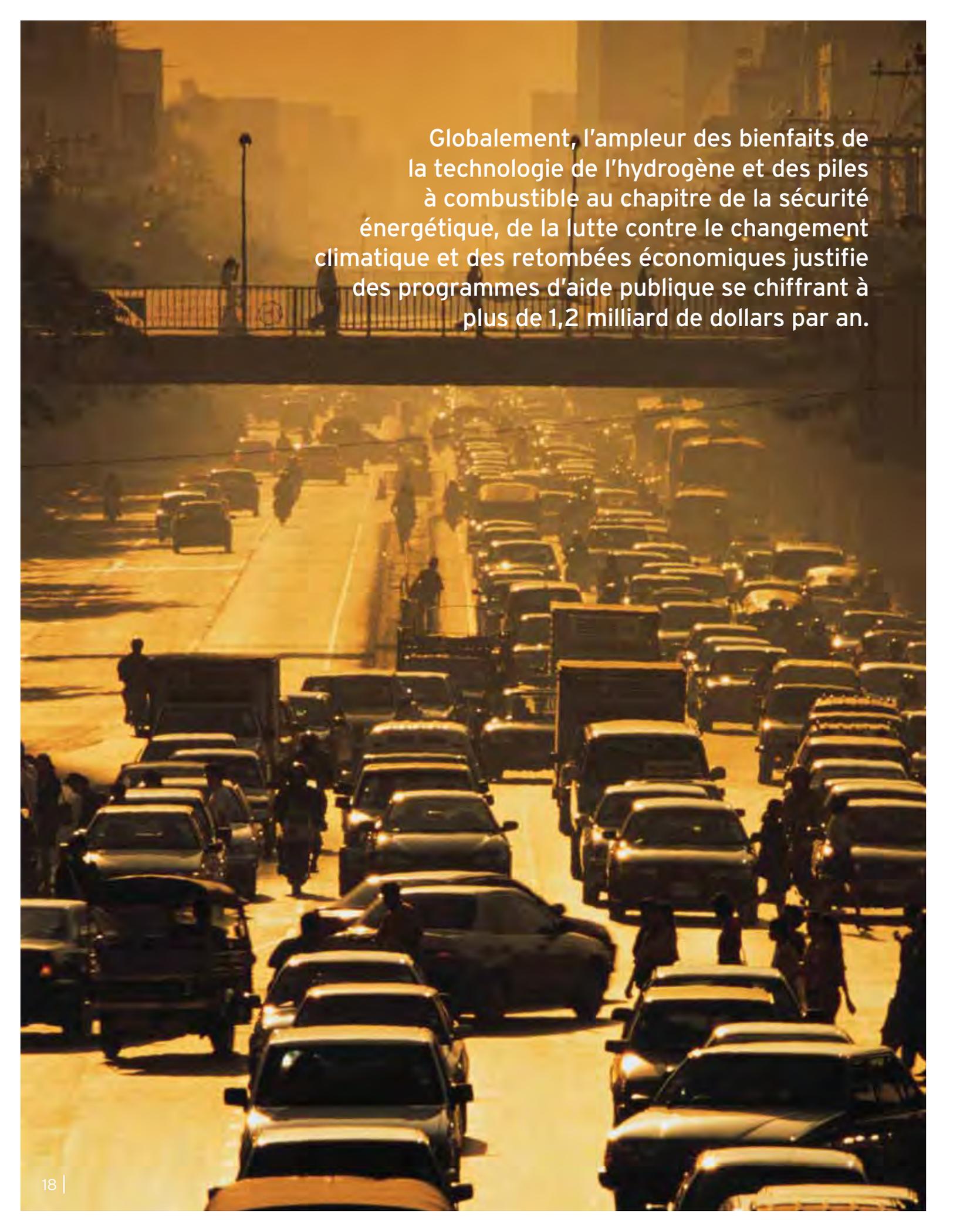
Les piles à combustible sont essentielles pour assurer une utilisation efficace de l'hydrogène tout en offrant une grande mobilité hors réseau; en leur absence, l'hydrogène ne constitue pas une solution optimale pour remplacer la plupart de nos technologies actuelles de conversion de l'énergie. Mais la combinaison des deux améliore considérablement la donne énergétique mondiale à de nombreux égards.

Différents faits importants influent sur le succès des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible :

- L'efficacité électrochimique des piles à combustible est nettement supérieure à l'efficacité thermodynamique des moteurs à combustion.
- La hausse des prix de l'énergie, le renforcement de la sécurité énergétique et les enjeux environnementaux incitent à diversifier les sources d'énergie en privilégiant celles exemptes de carbone.
- L'hydrogène est un vecteur énergétique stockable que l'on peut produire au moyen de nombreuses sources, y compris les combustibles fossiles.
- L'hydrogène permet de diversifier le portefeuille énergétique pour les transports et de réduire par le fait même notre dépendance à l'égard du pétrole.
- Associées aux matériaux renfermant de l'hydrogène, les piles à combustible permettent de stocker davantage d'énergie, en poids ou en volume, que toute technologie de batterie connue.
- L'hydrogène est essentiel pour l'utilisation de la technologie PEMFC dans les transports, en l'occurrence le principal secteur qui repose sur les importations de pétrole dans les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).

D'autres éléments nouveaux limitent le développement rapide des technologies de pile à combustible pour le secteur automobile :

- Les coûts initiaux inhérents aux technologies de combustion actuelles sont plus bas.
 - Les technologies de batteries actuelles permettent d'utiliser le réseau électrique présent partout pour la recharge.
 - Les véhicules électriques hybrides rechargeables peuvent s'avérer une technologie plus efficace et durable pour les véhicules parcourant moins de 70 km entre les cycles de recharge.
 - La concurrence d'autres carburants, par exemple, l'éthanol-85 et l'éthanol pur, qui s'ajoute à celle des véhicules hybrides, ralentit l'adoption de véhicules à pile à combustible.
-



Globalement, l'ampleur des bienfaits de la technologie de l'hydrogène et des piles à combustible au chapitre de la sécurité énergétique, de la lutte contre le changement climatique et des retombées économiques justifie des programmes d'aide publique se chiffrant à plus de 1,2 milliard de dollars par an.

Le contexte mondial de la commercialisation

La vive concurrence pour l'obtention du financement privé et public a joué un rôle déterminant dans l'évolution du secteur. Conscientes de la réticence du milieu financier à investir en raison des longs délais précédant la commercialisation dans les marchés de masse, comme celui des automobiles commerciales, de nombreuses entreprises de l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible se sont attachées à mettre sur pied des activités commerciales viables dans des marchés à court terme ou spécialisés propres à générer des recettes immédiates en exploitant les technologies à leur stade de développement actuel. Dans les créneaux choisis, les filières énergétiques actuelles offrent une performance peu satisfaisante, si bien que les clients souhaitent se tourner vers de nouvelles solutions énergétiques et qu'ils sont prêts à les adopter.

Mais le potentiel des marchés de masse ne perd pas son attrait pour autant. Dans le contexte planétaire, ces marchés demeurent le principal moteur du maintien, voire de l'accroissement de l'intérêt de l'État. La possibilité que ces technologies aident à lutter contre le changement climatique et la pollution urbaine tout en assurant la sécurité énergétique demeure un grand incitatif pour les gouvernements des États-Unis, du Japon et de l'Union européenne. Dans ce contexte, le « bien public » justifie l'adoption de programmes et de politiques visant expressément à faire valoir la technologie des piles à combustible pour en assurer le déploiement à long terme.

Principaux facteurs qui incitent l'État à stimuler la commercialisation : changement climatique, pollution urbaine et sécurité énergétique

Si l'on exclut l'énergie nucléaire et l'hydroélectricité, nous comblons la plupart de nos besoins énergétiques en utilisant des technologies axées sur la combustion de combustibles fossiles. Toutefois, depuis dix ans, les pouvoirs publics appuient le développement et le déploiement de technologies de remplacement pour améliorer la sécurité énergétique, atténuer le changement climatique et réduire la pollution urbaine. Ce soutien prend différentes formes selon le stade de développement de la technologie et les avantages recherchés. Aux États-Unis, le département de l'Énergie attribue des marchés de recherche-développement pour faire progresser la recherche fondamentale et le développement technologique initial. Le gouvernement du Canada est partie prenante au projet de démonstration de l'Autoroute de l'hydrogène en Colombie-Britannique. En Allemagne, les droits de douane sur les matières premières favorisent le déploiement à grande échelle de plusieurs technologies énergétiques de remplacement. Au Japon, les programmes gouvernementaux aident à subventionner le déploiement intérieur à moyenne échelle de systèmes de pile à combustible pour la cogénération résidentielle de chaleur et d'énergie.



Les progrès à venir concernant les dispositifs de stockage de l'hydrogène, le déploiement de l'infrastructure, la sensibilisation à la sécurité et les normes de pureté auront une incidence favorable sur l'avènement des applications dans les marchés de masse.

Centre-ville de Vancouver
Photo : Wendy Strandt

La technologie des piles à combustible dans la lutte contre le changement climatique

Globalement, l'ampleur des bienfaits de la technologie de l'hydrogène et des piles à combustible au chapitre de la sécurité énergétique, de la lutte contre le changement climatique et des retombées économiques justifie un programme d'aide publique se chiffrant à plus de 1,2 milliard de dollars par an¹.

États-Unis – 512 millions de dollars par an

Le département de l'énergie des États-Unis a mis en place deux grands programmes. Doté de 300 millions de dollars par an, le Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Program met l'accent sur les piles à hydrogène et à membrane échangeuse de protons (PEMFC – Proton exchange membrane fuel cell) destinées au secteur automobile. La Solid State Energy Conversion Alliance, qui porte sur l'utilisation d'hydrogène et de combustibles à base de carbone et d'hydrogène dans les piles à oxyde solide (SOFC – Solid oxide fuel cell) pour les applications stationnaires, dispose d'un budget de 60 millions de dollars.

Le département de la défense des États-Unis appuie à hauteur de 152 millions de dollars divers programmes portant sur l'hydrogène et les piles à combustible. Plusieurs États américains, par exemple, l'État de New York, le Connecticut, l'Ohio, le Texas et la Californie, ont aussi mis en place des programmes dotés d'énormes budgets, dont la plupart accordent des subventions pour le déploiement commercial initial de systèmes à hydrogène et de piles à combustible.

Japon – 310 millions de dollars par an

En 2007, le financement à l'appui de l'hydrogène et des piles à combustible se chiffrait à 310 millions de dollars. Tout comme par le passé, les fonds ont été affectés à la recherche fondamentale sur les piles à membrane échangeuse de protons ou à oxyde solide ainsi que sur les technologies de production et de purification de l'hydrogène et à un vaste programme de démonstration de la cogénération résidentielle. Le Japon s'attache par ailleurs à élaborer les normes et les codes normes qui seront à la base d'un régime de réglementation bien adapté.

Commission européenne – 236 millions de dollars par an

L'Initiative technologique conjointe sur l'hydrogène et les piles à combustible a engagé un financement annuel ciblé de 110 millions de dollars en moyenne sur six ans. En outre, les propositions portant sur l'hydrogène et les piles à combustible peuvent rivaliser avec d'autres initiatives de recherche dans le domaine de l'énergie pour un financement de 3,3 milliards de dollars.

Individuellement, les États membres ont aussi créé des programmes ciblés. L'Allemagne a un projet de dix ans doté d'un budget annuel moyen de 70 millions de dollars. Au Royaume-Uni, le budget annuel des programmes totalise 26 millions de dollars. Au Danemark, il devrait passer de 24 à 48 millions de dollars au cours des dix prochaines années.

Corée – 98 millions de dollars par an

Le gouvernement coréen a prévu 688 millions de dollars entre 2004 et 2011, soit des dépenses annuelles moyennes de 98 millions, à l'appui de la recherche, du développement, de la démonstration et du déploiement dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustible. Le financement se concentre sur le développement des véhicules à pile à combustible et les applications de cogénération résidentielle.

Chine – 60 millions de dollars par an

Selon les estimations, la Chine accorde du financement à hauteur de 60 millions de dollars par an et elle a investi jusqu'à présent environ 2,8 milliards de dollars dans la recherche-développement sur les piles à combustible et l'infrastructure².

Canada – 30 millions de dollars par an

Depuis toujours, le financement public canadien en faveur de l'hydrogène et des piles à combustible est réparti entre plusieurs ministères, pour un total de 30 millions de dollars par an en moyenne. Environ le tiers de ces fonds soutient des programmes menés dans des universités et des laboratoires publics, tandis que le reste est réparti entre les entreprises et les utilisateurs pour appuyer le développement et la démonstration de produits.

Les enjeux environnementaux : facteur incitatif pour les marchés à court terme du transport en commun

Les autobus à pile à combustible n'émettent pas de gaz à effet de serre ni aucun des principaux polluants atmosphériques et ceux équipés d'un moteur à combustion interne à l'hydrogène n'en émettent presque pas.

Les autobus constituent l'une des meilleures applications pour la démonstration des carburants de remplacement et des systèmes technologiques de pointe. Non seulement ils contribuent directement à réduire la pollution dans les zones très urbanisées où on les utilise généralement et assurent la grande visibilité nécessaire aux fins de communication et de promotion, mais aussi la centralisation des installations d'approvisionnement simplifie la logistique relative à l'infrastructure.

Comme les services de transport en commun sont déjà subventionnés par l'État, cette application lui donne une vitrine pour faire valoir les technologies nouvelles et donner l'exemple dans la réduction des GES. Par ailleurs, l'engagement de l'État dans le domaine donne aux fabricants l'assurance que les technologies propres seront en demande sur le marché. Or, il s'agit là d'un aspect essentiel. En outre, les projets de démonstration et le déploiement initial suscitent l'aménagement de l'infrastructure de distribution d'hydrogène et créent un pôle d'activités qui améliore la visibilité de l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible.

Depuis le début des années 1990, nombre de villes ont mis en œuvre des projets de démonstration d'autobus à pile à hydrogène. On compte aujourd'hui dans le monde plus de 60 de ces véhicules en circulation dans le cadre de 40 initiatives distinctes. Dans les deux prochaines années, plus de 200 autobus supplémentaires devraient être commandés ou déployés sur les cinq continents. Dans le cadre du projet CUTE (Clean Urban Transit for Europe), plusieurs villes européennes utilisent des autobus à piles à combustible. Ce projet de démonstration, le plus vaste à ce jour dans le domaine, a débuté en 2003.

Sur le territoire de l'Union européenne, les coûts associés aux problèmes de santé et aux GES attribuables aux émissions d'un autobus diesel s'élèvent à 130 000 euros sur sa durée de vie utile. L'UE a l'intention d'obliger les organismes publics à prendre ces coûts en compte au moment de passer des commandes, ce qui aurait pour effet de pratiquement doubler le coût de ces autobus, actuellement à hauteur de 150 000 euros³.

Sur la scène internationale, les grands centres urbains élaborent des approches concertées en vue du déploiement d'autobus et de bus-navettes à pile à combustible et de l'aménagement de l'infrastructure connexe. La Hydrogen Bus Alliance est un bon exemple des travaux actuellement en cours pour accélérer la commercialisation dans ce marché à court terme.

Grâce à l'établissement de nombreux consortiums et à l'appui de l'État et des commissions de transport, le nombre de programmes de démonstration d'autobus à pile à combustible va en augmentant. Les progrès réalisés dans le matériel pour les assemblages de piles à combustible, la conception de systèmes et le fonctionnement des véhicules hybrides ont permis de mettre au point une nouvelle génération de moteurs à pile à combustible pour lesquels le fournisseur garantit une durabilité de 10 000 heures. Dans ce cas, il ne s'agit pas d'une simple allégation.

La Hydrogen Bus Alliance



Hydrogen Bus Alliance

Créée dans le but de ramener à zéro les émissions liées au transport en commun, la Hydrogen Bus Alliance réunit les sociétés de transport d'Amsterdam, de Barcelone, de Berlin, de la Colombie-Britannique (BC Transit), de Cologne, de Hambourg, de Londres et du Tyrol du Sud. Ce regroupement d'utilisateurs permettra d'accélérer la commercialisation des autobus à hydrogène au profit de leurs citoyens. L'Alliance vise trois grands objectifs :

- Mettre en commun l'information sur les commandes actuelles d'autobus à hydrogène (chaque société participante en déploiera au moins cinq à court terme).
- Promouvoir l'utilisation des autobus à hydrogène dans d'autres régions en incitant d'autres villes à se joindre à l'Alliance et en diffusant l'information pertinente.
- Élaborer une stratégie pour les activités conjointes de l'Alliance (notamment d'éventuels achats) pour faire progresser la commercialisation des autobus à hydrogène.

Le parc cumulatif d'autobus de l'Alliance dépasse actuellement 12 000 véhicules et ses membres achètent collectivement plus de 1 200 autobus par an en moyenne. Les régions et les villes participantes ont toutes l'intention de faire sur une base continue l'acquisition d'autobus à hydrogène, qui devraient parvenir à la viabilité commerciale d'ici 2010 à 2015⁴.

Incidence des marchés à court terme sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre

Dans une mesure variable, les applications dans les marchés à court terme devraient réduire les émissions de gaz à effet de serre. Selon les estimations actuelles, la réduction totale attribuable aux applications des piles à combustible devrait se situer dans une fourchette de 31 000 à 116 000 tonnes d'ici à 2025 – soit une réduction équivalente à celle que l'on obtiendrait en retirant de la circulation de 1,4 à 5,6 millions d'automobiles (figure 1).

Autobus de construction renforcée

Les émissions de GES d'un autobus diesel classique varient entre 3 000 et 7 000 g d'équivalents CO₂ par mille par an. Comme ces véhicules parcourent de 20 000 à 50 000 milles par an, ils émettent annuellement de 140 à 150 tonnes d'équivalents CO₂. Un autobus à pile à combustible utilisant de l'hydrogène renouvelable éliminerait toutes ces émissions. En convertissant les autobus diesel en véhicules hybrides, on obtiendrait une réduction des émissions de l'ordre de 20 à 40 %. D'après l'analyse effectuée par l'État de Californie, un autobus à pile à combustible utilisant de l'hydrogène reformé à un poste central et acheminé par pipeline ou reformé sur place réduirait de 23 % les GES comparativement à un autobus consommant du diesel californien à basse teneur en soufre. Dans ces conditions, un autobus à pile à combustible utilisant uniquement de l'hydrogène produit à partir de ressources renouvelables éliminerait le rejet de 65 à 163 tonnes d'équivalents CO₂ par an attribuables aux autobus diesel.

Appareils d'alimentation d'appoint

Des appareils d'alimentation d'appoint de 2,5 kW, 5 kW et 10 kW utilisant de l'hydrogène produit à partir de gaz naturel réduiraient les émissions proportionnellement à leur durée de fonctionnement, soit environ 0,3 tonne pour 1 000 heures de fonctionnement. Si ces trois types de systèmes fonctionnaient pendant le même nombre d'heures en utilisant de l'hydrogène renouvelable, la réduction se chiffrerait respectivement à deux, quatre et huit tonnes.

Appareils de cogénération résidentielle et de production décentralisée

Au Japon, plus de 2 200 appareils à pile à combustible déployés par 15 entreprises de services publics et fournisseurs de combustible approvisionnent actuellement des résidences en eau chaude et en énergie d'appoint. À raison de neuf heures par jour, ces appareils de 0,7 à 1 kW

permettent de réduire les émissions de GES de 1,021 tonne par an en moyenne. Dans les applications de production décentralisée, où l'énergie est produite au point d'utilisation finale ou à proximité, ces appareils pourraient réduire d'une tonne par an les émissions de CO₂ pour chaque kilowatt de puissance. Compte tenu de ce qui précède, si des appareils similaires de 5 kW utilisaient de l'énergie renouvelable, ils pourraient éliminer de 30 à 40 tonnes de CO₂ par an.

Manutention

Une analyse indépendante a montré que les chariots élévateurs alimentés au moyen d'une pile à combustible et d'hydrogène reformé à partir de gaz naturel assurent une réduction de l'ordre de 25 à 50 % par rapport à ceux utilisant du propane ou du diesel. Ces chariots permettraient des réductions de l'ordre de 4,3 tonnes par an en fonctionnant seulement 260 jours par an à raison de 6 heures par jour.

Figure 1 : Estimation des principales incidences des piles à combustible sur le plan environnemental

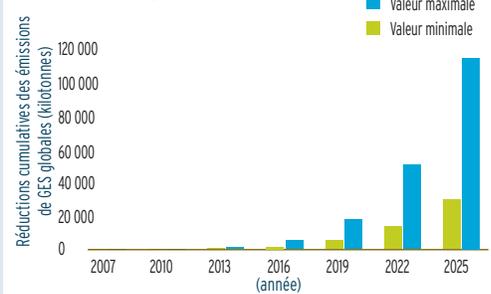
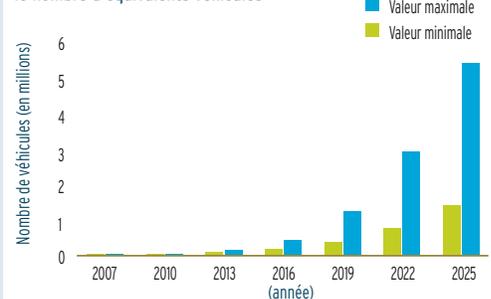


Figure 2 : Réductions estimatives des émissions de GES selon le nombre d'équivalents véhicules



Source : CEERT, réduction des émissions de GES grâce aux produits alimentés par pile à combustible, octobre 2007, Ballard Power Systems, Inc.

Programme d'autobus à pile à combustible de la Colombie-Britannique



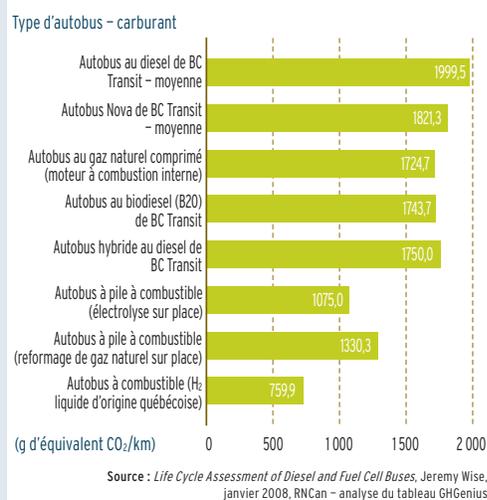
Photo : Premier autobus à pile à combustible livré à BC Transit

Avec l'aide financière de la province et de la Fiducie d'investissement pour les transports en commun, BC Transit pilote un projet de déploiement commercial de 20 autobus hybrides à pile à combustible, qui seront en démonstration pendant les Jeux Olympiques de 2010.

Ces autobus utilisant de l'hydrogène liquide d'origine québécoise réduiront de 62 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à des véhicules diesels équivalents. On évalue la réduction d'après l'économie de carburant prévue pour une consommation de 10 kg d'hydrogène au lieu de 55 litres de carburant pour parcourir 100 km.

La province s'est associée à Air Liquide Canada pour approvisionner en hydrogène le parc de véhicules. Afin de lancer le processus, BC Transit investira avec l'aide des administrations fédérales et provinciales dans une nouvelle station-service à hydrogène à Whistler, qui constituera une autre halte sur l'Autoroute de l'hydrogène de la Colombie-Britannique.

Figure 3 : Sommaire des émissions de GES



Programme japonais de cogénération résidentielle

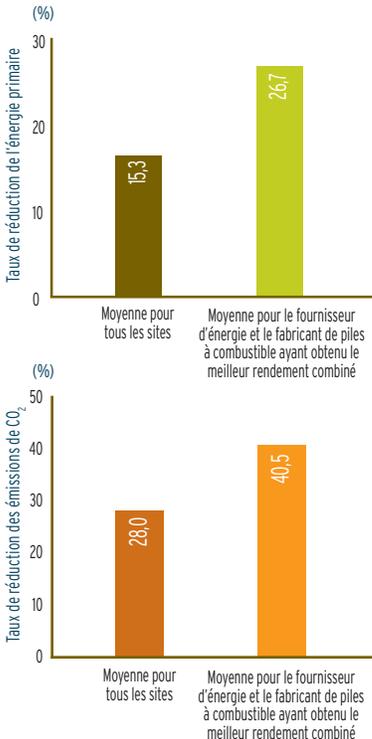
Au Japon, un programme compétitif et bien coordonné est actuellement mis en œuvre avec l'aide du gouvernement pour valider la viabilité d'un appareil de cogénération résidentielle à pile à combustible d'une puissance de 1 kW en vue mettre à l'essai plusieurs combustibles primaires et alimenté par gaz naturel, gaz de pétrole liquéfiés et kérosène. Ce programme met à contribution plusieurs multinationales comme Sanyo, Toyota et Matsushita (Panasonic) ainsi que de grandes sociétés énergétiques japonaises telles que Tokyo Gas, Osaka Gas et Nippon Oil. En 2006, Ballard Power Systems, en collaboration avec Ebara Corporation, son partenaire pour le développement, a affirmé que le produit atteindrait à terme 40 000 heures de fonctionnement.

Enjeux de la sécurité énergétique et des émissions de GES : moteurs des marchés à court terme pour la cogénération résidentielle

Les enjeux de la sécurité énergétique et des émissions de GES incitent les gouvernements à appuyer l'adoption de la cogénération de chaleur et d'énergie dans les marchés résidentiels de la Corée du Sud et du Japon. Pour le chauffage des habitations et de l'eau, ces deux pays importent du gaz naturel ou du propane, qui leur coûtent très cher.

En raison de l'augmentation du coût de ces importations qui s'ajoute à l'instabilité politique croissante dans certains pays fournisseurs, la société d'État japonaise New Energy Development Organization (NEDO) favorise le développement et le déploiement rapide de systèmes de cogénération résidentielle plus éconergétiques faisant appel à des reformeurs et à des piles PEMFC. En fournissant le premier kilowatt d'électricité et en chauffant l'eau domestique, ces appareils de cogénération améliorent l'efficacité énergétique tout en réduisant les émissions de GES.

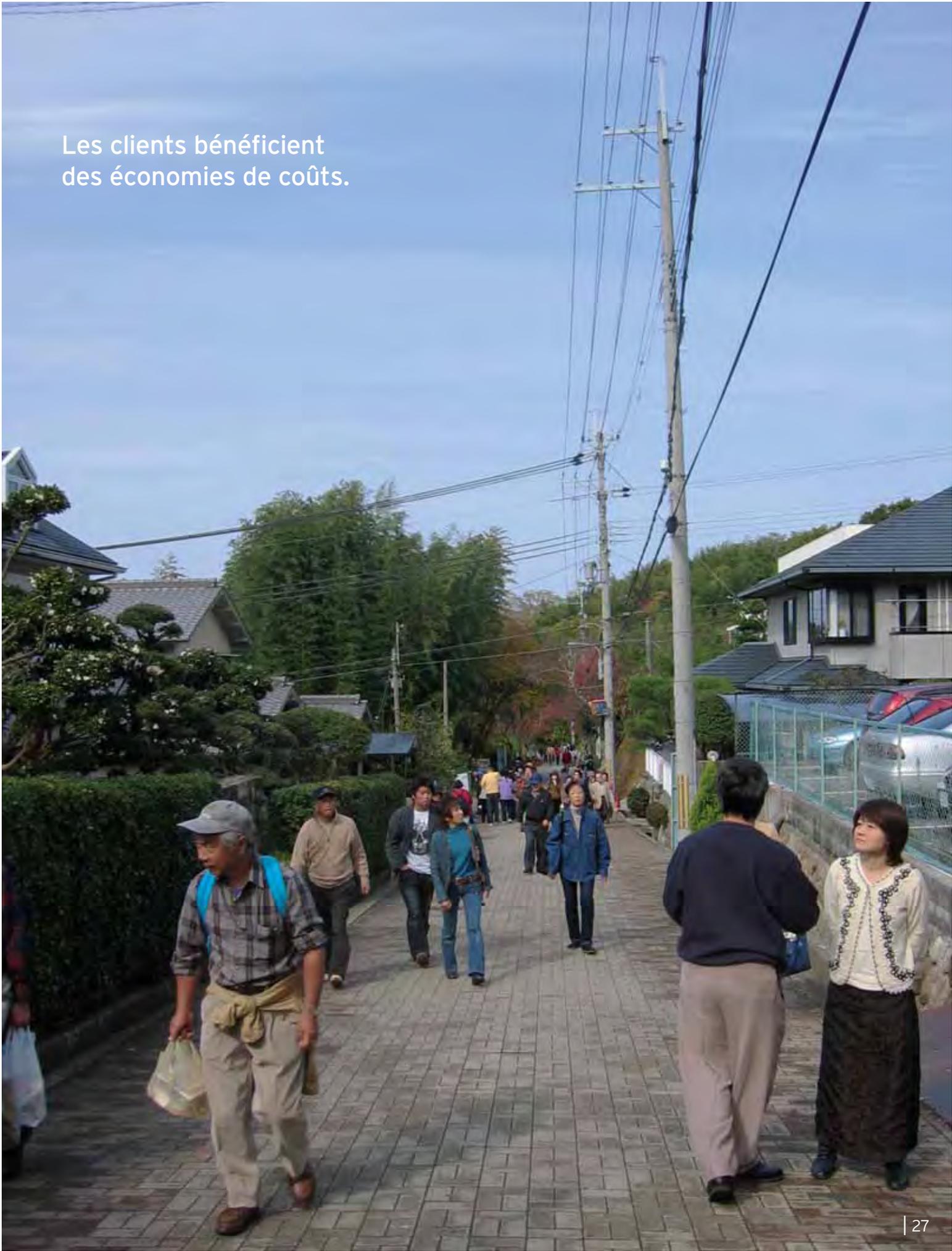
Figure 4 : Réduction moyenne par habitation de la consommation d'énergie primaire et des émissions de GES obtenue grâce à la cogénération résidentielle



Source : http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/pamphlets/kouhou/2007gaiyo_e/79_86.pdf

Dans les marchés de la cogénération résidentielle, les grandes sociétés gazières japonaises unissent leurs efforts pour mettre en place des chaînes d'approvisionnement en composants et collaborent avec les organisations spécialisées dans le développement de piles à combustible afin de réduire le coût des systèmes.

Les clients bénéficient
des économies de coûts.



Dialogue entre l'industrie et la clientèle

Pour prendre en compte dans la présente *Mise à jour de la Carte routière canadienne sur la commercialisation des piles à combustible* publiée en 2003 le point de vue des dirigeants de l'industrie et de leurs clients, PricewaterhouseCoopers a eu des entretiens avec des présidents-directeurs généraux et des chefs des services techniques d'entreprises spécialisées dans le développement de la technologie des piles à combustible. Elle en a aussi eu avec des dirigeants d'entreprises spécialisées dans l'intégration ou l'infrastructure ainsi que des utilisateurs du secteur des piles à combustible faisant partie de cinq grands groupes – autobus, manutention, alimentation d'appoint, produits électroniques portables et cogénération résidentielle.

Principaux constats

Les entreprises spécialisées dans le développement de piles à combustible et les utilisateurs s'entendent pour dire que le coût, en particulier celui du cycle de vie, constitue le principal enjeu au moment de la décision d'acheter un produit alimenté par pile à combustible.

La capacité du Canada à demeurer un chef de file de l'industrie des piles à combustible se trouvera renforcée si les gouvernements peuvent apporter une aide supplémentaire en accordant des subventions, en menant des projets de démonstration, en renseignant les utilisateurs ainsi qu'en adoptant des lois et règlements.

Les entreprises de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible savent qu'elles ont encore un rôle à jouer dans la croissance commerciale des produits pour les marchés à court et à moyen terme.

Marchés et clients

Outre le coût, les autres obstacles à la croissance commerciale dans les marchés à court terme sont les lacunes au chapitre de la fiabilité, de l'information sur les produits et de l'aménagement de l'infrastructure de l'hydrogène.

De grands entrepôts fonctionnant sur deux ou, de préférence, trois quarts de travail offrent l'argument le plus convaincant pour favoriser l'adoption rapide d'appareils de manutention alimentés par pile à combustible.

Pour les applications axées sur les autobus, les subventions demeurent indispensables pour encourager les utilisateurs et les entreprises spécialisées dans le développement de piles à combustible à fabriquer des produits.

Les entreprises de l'industrie des piles à combustible ne craignent pas que les coûts de garantie ou les problèmes inhérents à l'adoption de la technologie entravent la croissance commerciale des marchés à court terme, aspects qui préoccupent toutefois les utilisateurs. Elles estiment que les marchés à court terme peuvent leur offrir une marge brute positive.

L'établissement rapide de normes et de codes stables à l'égard de l'infrastructure de l'hydrogène, de son stockage et de l'utilisation des produits alimentés par pile à combustible revêt une grande importance pour la croissance commerciale.

Mesures à prendre

Encourager les sociétés d'État (p. ex., Postes Canada) et les ministères à donner l'exemple en étant les premiers à faire l'achat de produits alimentés par pile à combustible.

Utiliser les taxes sur les combustibles fossiles pour accorder des subventions afin d'inciter les commissions de transport à adopter les autobus à pile à combustible.

Investir dans la R-D visant à réduire le coût des principaux composants et à simplifier la conception.

Lancer des actions accréditatives pour l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible afin d'inciter les consommateurs à investir à la bourse.

Concentrer les efforts sur l'élaboration de normes et de codes mondiaux et leur adoption à l'échelle locale pour accélérer l'expansion de l'infrastructure de l'hydrogène et l'adoption à grande échelle des produits alimentés par pile à combustible.

Édification des chaînes de valeur mondiales



John Sheridan, président et chef de la direction de Ballard Power Systems Inc.



Steve Medwin, directeur de la recherche de pointe, The Raymond Corporation



Michael McGowan, chef des solutions axées sur l'hydrogène, Amérique du Nord, Groupe Linde

Technologie et matériaux

On devrait concentrer les efforts sur l'optimisation de la conception technique, et non sur la R-D fondamentale, pour stimuler la croissance commerciale dans les marchés à court terme.

Dans la plupart des marchés à court terme, les enjeux concernant la propriété intellectuelle ne nuisent pas à la croissance commerciale.

Pour le secteur des produits électroniques portables, le cadre gouvernemental en matière de propriété intellectuelle met des bâtons dans les roues aux entreprises qui souhaitent établir avec les universités et les centres de recherche des collaborations à long terme en recherche fondamentale.

Selon la plupart des entreprises, il faut impérativement optimiser les procédés de fabrication et la conception technique pour réduire les coûts et améliorer la qualité.

Comme le prix du platine ne cesse d'augmenter, une réduction de la quantité utilisée, un recyclage efficace et des stratégies d'établissement des prix ingénieuses favoriseront une croissance commerciale rentable.

Mesures à prendre

Permettre aux établissements de recherche nationaux possédant une expertise dans le domaine de la conception technique, des matériaux et des procédés de fabrication de continuer d'exécuter des programmes allant dans le sens de nombreux objectifs de la commercialisation des piles à combustible à court terme.

Accorder des prêts à faible taux d'intérêt aux entreprises de l'industrie des piles à combustible pour l'achat de matériel de fabrication qui les aideront à tirer parti des possibilités de croissance du volume.

Élaborer des stratégies financières afin d'encourager le recyclage du platine en offrant du financement ou une couverture pour l'achat initial de platine destiné aux marchés à court terme.

Fabrication, service après-vente et recyclage

La R-D, le développement de produits, la mise au point de procédés et la fabrication des premiers prototypes se révéleront plus rentables pour les entreprises canadiennes que la fabrication de masse proprement dite.

Les composants seront développés et fabriqués à l'étranger, fort probablement en Asie.

La consolidation et l'intégration des chaînes d'approvisionnement auront pour effet d'accélérer le développement et de réduire les coûts.

Le service après-vente est encore embryonnaire dans de nombreux marchés et on doit l'améliorer avant d'accroître le volume de façon appréciable.

Le recyclage s'avère essentiel dans de nombreuses applications afin de protéger l'environnement et de récupérer des composants réutilisables coûteux.

Les équipementiers seront les intermédiaires clés avec les utilisateurs.

Mesures à prendre

Rationaliser les efforts de R-D actuellement déployés au Canada pour se concentrer sur trois ou quatre centres d'excellence.

Améliorer la coordination et stimuler les activités dans d'autres centres de recherche mondiaux.

S'efforcer d'établir des relations stratégiques avec des fabricants étrangers à faible coût possédant les compétences de base voulues pour produire les composants de piles à combustible.

Promouvoir la création d'entreprises dérivées assurant l'entretien et le recyclage pour les produits alimentés par pile à combustible.

Autres difficultés inhérentes à la croissance commerciale dans les marchés à court terme

Les contraintes liées au bassin de personnel qualifié poseront probablement problème lorsque les entreprises prendront de l'expansion pour faire face à l'augmentation des ventes de produits.

Le niveau de maturité inégal dans la chaîne d'approvisionnement pourrait ralentir la croissance.

La croissance commerciale s'accéléra lorsque les produits alimentés par pile à combustible donneront lieu à une proposition commerciale globale supérieure à celle des technologies actuelles.

La réduction du coût des composants et la simplification de la conception des systèmes en général favoriseront la croissance commerciale.

Mesures à prendre

Mettre en place dans les universités des programmes interfonctionnels en sciences et en génie pour créer l'expertise requise afin de doter en personnel et d'appuyer les entreprises de l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible.

Encourager les collèges techniques à mettre sur pied des programmes de formation permettant d'acquérir des compétences dans le domaine des services liés aux produits alimentés par pile à combustible.

Faciliter l'établissement de relations stratégiques avec les fournisseurs propres à faire connaître ouvertement les besoins des utilisateurs, le volume prévu ainsi que les risques ou les retombées à partager afin de favoriser l'implantation d'une solide chaîne d'approvisionnement pour les marchés à court terme.

Moteur des besoins des utilisateurs dans les marchés à court terme : les lacunes des batteries



Photo : Plug Power

Plug Power (qui a récemment fait l'acquisition de Cellex Power et de General Hydrogen) et Hydrogenics, deux entreprises établies en Colombie-Britannique, ont réalisé des projets de démonstration de blocs d'alimentation à l'hydrogène et à pile à combustible en remplacement des batteries plomb-acide dans les chariots élévateurs des centres de distribution.

Ballard fournit des assemblages de piles à combustible en grandes quantités aux fournisseurs d'appareils d'alimentation d'appoint, tandis qu'Hydrogenics approvisionne en modules à pile à combustible le marché de l'alimentation d'appoint.

.....

À l'heure actuelle, les piles à combustible sont commercialisées dans des marchés mal servis par la technologie des batteries. Mentionnons notamment les chariots élévateurs, l'alimentation d'appoint et les produits électroniques portables pour les applications civiles et militaires. Différentes caractéristiques des piles à combustible offrent des avantages par rapport à la technologie des batteries – niveau constant d'alimentation continue tant que le combustible est disponible et densité énergétique supplémentaire. La combinaison des piles à combustible et des batteries dans les applications hybrides, pratique de plus en plus courante, permet d'améliorer la performance de la technologie en place.

Manutention

Grâce aux piles à combustible, les utilisateurs du marché de la manutention peuvent améliorer leur productivité. Contrairement aux batteries traditionnelles, dont la puissance diminue en même temps que le niveau de charge, les piles à combustible ont une puissance constante tout au long du quart de travail habituel de huit heures. Qui plus est, grâce à la rapidité de recharge en hydrogène, il n'est habituellement pas nécessaire d'utiliser un bloc d'alimentation supplémentaire pendant les heures de charge comme c'est le cas pour les batteries traditionnelles.

L'importance accordée à ce marché par des acteurs importants comme Toyota, General Motors et d'autres sociétés de Scandinavie et d'Allemagne est un élément de plus qui fait ressortir la tendance en faveur du développement de solutions axées sur les piles à combustible en remplacement des batteries dans le secteur de la manutention.

Plusieurs programmes de démonstration de produits sont en cours auprès de multinationales telles que Wal-Mart, Verizon, GM et Bridgestone. Ces efforts renforcent la confiance des utilisateurs et montrent que les piles à combustible peuvent être durables, fiables, sûres et rentables.

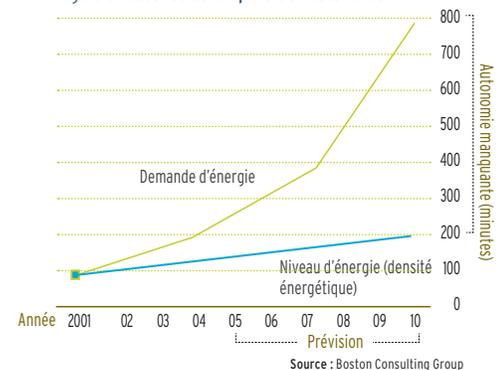
Alimentation d'appoint

Les pannes de courant qui durent des heures, voire des jours en raison de conditions météo exceptionnelles, comme l'ouragan Katrina, ont incité les organismes américains de réglementation des communications à rendre obligatoire une période prolongée d'alimentation d'appoint pour les services de communication essentiels tels que les pylônes de téléphonie mobile. En raison de leur faible densité énergétique, il faut davantage de batteries pour répondre à ces nouvelles exigences. Toutefois, comme les piles à combustible utilisent de l'hydrogène stocké, elles s'avèrent une solution rentable.

Produits électroniques portables

La technologie des batteries lithium-ion ne permet pas de faire face à la demande croissante d'énergie pour les téléphones mobiles et les ordinateurs portables. Les utilisateurs ont besoin d'une autonomie de cinq heures ou plus, mais celle-ci est ramenée à 30 minutes au maximum lorsqu'ils se servent des fonctions énergivores des dernières générations. Pour les (longs) cycles de charge classique, la densité énergétique des batteries lithium-ion augmente au rythme d'environ 5 % par an. Toutefois, la nouvelle technologie des cycles de charge privilégie la rapidité au détriment de la densité énergétique et de l'autonomie. Pour combler les lacunes au chapitre de l'autonomie, un grand nombre de fabricants de produits électroniques grand public, de batteries et de piles à combustible ont mis en place de vastes programmes pour le développement de filières de piles à combustible à haute densité énergétique. Selon plusieurs annonces récentes, des systèmes possédant une densité énergétique deux fois supérieure à celle des batteries lithium-ion et permettant une recharge rapide seront sur le marché d'ici quelques années.

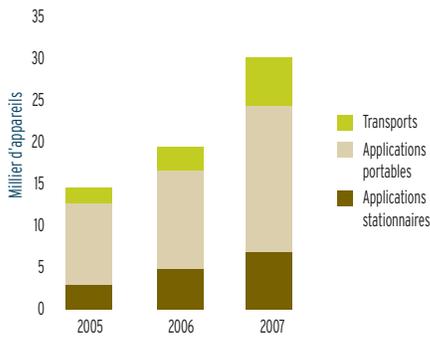
Figure 5 : Lacunes au chapitre de l'autonomie



« L'énergie fournie par les batteries ne permettra pas de répondre à la demande liée aux appareils portables ».

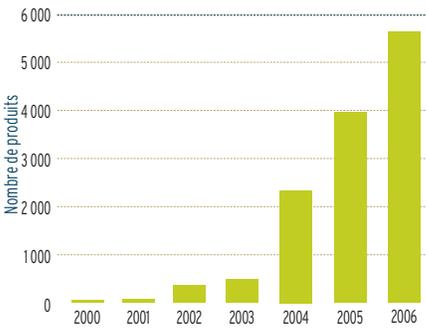
Indicateurs de la commercialisation à l'échelle mondiale

Figure 6 : Expéditions cumulatives jusqu'en 2007



Source : The Current State of the Industry, The Fuel Cell Today Industry Review 2008, The Fuel Cell Today

Figure 7 : Nombre cumulé de piles à méthanol direct installées dans des applications portables à l'échelle mondiale



Source : The Fuel Cell Today, août 2007

Expéditions, recettes et relations

Selon les estimations, 12 000 appareils à pile à combustible ont été expédiés en 2007 tous marchés confondus. Les expéditions ont affiché ainsi un taux de croissance annuel moyen de 59 % au cours des trois dernières années⁶.

Bien que le marché des appareils portables domine en ce qui a trait au nombre d'appareils livrés, tout indique que ses recettes totales ont été les plus faibles parmi les trois segments. Smart Fuel Cells (Allemagne) et Horizon (Singapour) y sont les principaux fournisseurs.

Le secteur des transports affiche une croissance rapide en raison des ventes réalisées dans les applications spécialisées, notamment les groupes auxiliaires de puissance pour les véhicules récréatifs et les appareils d'alimentation d'appoint pour le secteur de la manutention. En outre, les constructeurs automobiles ont fabriqué en 2007 environ 250 véhicules légers. Pour les recettes, ce segment se situait fort probablement entre celui des appareils portables et celui des applications stationnaires si l'on exclut les ventes de véhicules légers surtout réalisées en territoire canadien. Hydrogenics et Smart Fuel Cells sont les principaux fournisseurs.

En 2007, environ 3 000 appareils de cogénération ont été vendus dans les marchés résidentiels et dans ceux des appareils d'alimentation d'appoint et de production décentralisée. Leur puissance varie entre quelques kilowatts et plusieurs mégawatts et les recettes par appareil, entre des dizaines de milliers et des millions de dollars. Ballard fait état de la vente de 445 systèmes de cogénération résidentielle et de 200 appareils d'alimentation d'appoint et Fuel Cell Energy, de commandes pour 13 machines fixes à pile à combustible à carbonates fondus d'une puissance de quelques mégawatts. Il y a tout lieu de croire que le segment des applications stationnaires a enregistré en 2007 les recettes les plus élevées.

En 2006, les sociétés ouvertes de l'industrie des piles à combustible ont fait état de recettes totalisant 415 millions de dollars, soit près de deux fois celles de 2005⁷. Parmi les entreprises les plus importantes, Ballard a fait état de recettes de 15,3 millions de dollars au titre des piles à combustible, Fuel Cell Energy de 33 millions, Smart Fuel Cells de 16 millions et Hydrogenics de 6,1 millions.

Les entreprises canadiennes affichent une feuille de route impressionnante pour l'établissement de relations de collaboration avec d'autres organisations canadiennes ou étrangères. En 2006, les organisations canadiennes ont fait état de 124 alliances stratégiques avec des organisations très variées, notamment des fournisseurs d'énergie, des constructeurs automobiles et d'autres équipementiers ainsi que des entreprises spécialisées dans le développement de piles à hydrogène et à combustible. Des entreprises canadiennes ont participé à de nombreux partenariats public-privé. Des sociétés comme Boeing, Linde AG (Gaz BOC), Cummins, Daimler, Ford, General Motors, Mitsubishi et Shell Hydrogène ont toutes fait des investissements stratégiques en s'associant avec des partenaires technologiques de la Colombie-Britannique. L'acquisition récente de Cellex et de General Hydrogen par Plug Power et celle des actifs de Ballard dans le secteur automobile par Daimler et Ford représentent des investissements considérables dans la technologie canadienne des piles à combustible.



Sur la scène internationale, l'expertise canadienne suscite un vif intérêt auprès des promoteurs de nouveaux projets. C'est pourquoi la Ville de Londres a fait l'acquisition de cinq autobus alimentés par pile Ballard, tandis que le géant américain Wal-Mart a passé une importante commande de chariots élévateurs à pile à combustible à Plug Power Canada.



Le Canada dans le contexte mondial

Le Canada est considéré comme un chef de file mondial des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible. À l'échelle nationale, l'industrie regroupe plus de 80 entreprises qui comptent collectivement environ 2 000 employés hautement qualifiés. En 2006, ces entreprises du savoir relativement petites ont réalisé des recettes de plus de 130 millions de dollars et investi 200 millions dans la R-D.

Cependant, les PME canadiennes évoluent dans un climat d'investissement difficile et leur rôle de chef de file est menacé par la concurrence de plus en plus vive de multinationales bien financées qui se sont implantées dans les secteurs de l'énergie, de l'automobile et de l'électronique dans des pays où l'industrie bénéficie d'aides publiques considérables, notamment les États-Unis et le territoire de l'Union européenne.

C'est pourquoi de nombreuses entreprises de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible restructurent leurs activités et concentrent désormais leurs investissements de R-D sur les débouchés dans les marchés à court terme et non plus sur la commercialisation à long terme d'applications dans le secteur automobile. Elles envisagent maintenant des marchés précommerciaux dans les secteurs de la manutention, de l'alimentation d'appoint et du transport en commun en milieu urbain afin de créer les sources de recettes dont elles ont besoin pour financer leur exploitation et renforcer la confiance des investisseurs. En outre, certaines entreprises canadiennes ciblent expressément des marchés à court terme depuis le début, particulièrement dans les secteurs des produits électroniques portables et de la manutention. Stratégiquement, l'acquisition d'une expertise dans ces marchés les aidera à jouer un rôle important en ouvrant la voie à l'automobile commerciale à pile à combustible tout en offrant des possibilités d'investissement en amont dans l'infrastructure de l'hydrogène destinée aux marchés de consommation de masse.

Toutefois, malgré ces déploiements, il subsiste des obstacles à la commercialisation. Il faut progresser sur plusieurs fronts – améliorer la qualité des produits, les rendre plus abordables, réduire les coûts, accroître la fiabilité des sources de distribution et mobiliser des capitaux.

Situation de l'industrie canadienne

Croissance de l'industrie canadienne

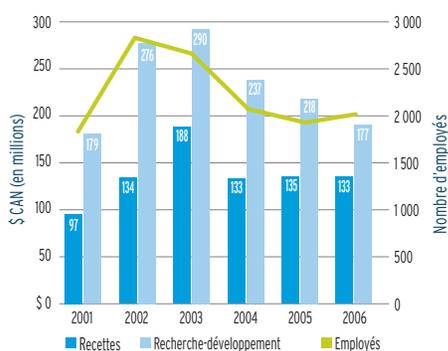
- Les recettes sont passées de 97 millions de dollars en 2001 à 133 millions en 2006, soit une hausse de 37 %.
- Les dépenses de recherche-développement ont régressé de 1 % pour s'établir à 177 millions de dollars en 2006, comparativement à 179 millions en 2001.
- Le nombre d'emplois au sein de l'industrie est passé de 1 772 en 2001 à 2 043 en 2006, soit une progression de 15 %.

L'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible demeure stable, concentrant ses efforts sur la vente de produits commerciaux⁸. La R-D continue d'occuper une place de choix, mais la permanence d'une source principale de recettes – la vente de produits – montre que le secteur progresse dans la voie de la commercialisation initiale.

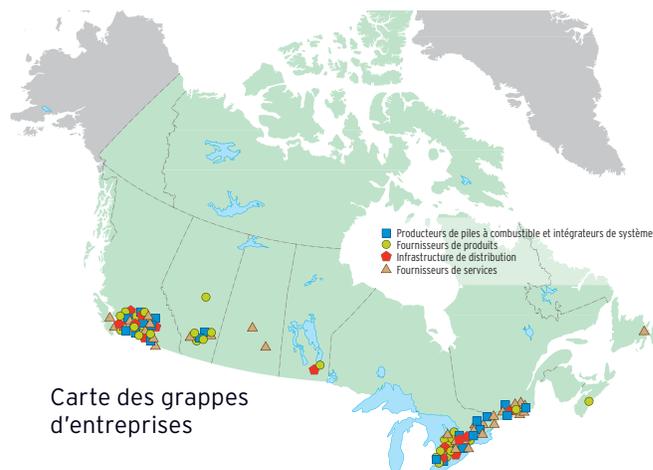
Les recettes se sont chiffrées à 133 millions de dollars en 2006, comparativement à 135 millions en 2005, et la vente de produits constitue la première source de recettes.

- La vente de produits a totalisé 89 millions de dollars, tout comme en 2006, mais est en baisse de 8 % par rapport aux 97 millions enregistrés en 2005.
- Les dépenses de l'industrie au titre de la recherche-développement et des projets de démonstration ont diminué de 11 % pour s'établir à 193 millions de dollars en 2006 comparativement à 218 millions en 2005. Il s'agit d'un recul pour une deuxième année de suite.
- Le budget gouvernemental pour les activités liées à l'hydrogène et aux piles à combustible a totalisé 30 millions de dollars en 2006, sans compter les salaires et avantages sociaux des employés.
- Les universités et les organismes à but non lucratif ont fait état d'un budget total de 6 millions de dollars en 2006 pour les activités liées à l'hydrogène et aux piles à combustible, sans compter les salaires et avantages sociaux des employés.
- L'effectif global est passé de 1 902 emplois en 2005 à 2 043 en 2006. Les effectifs les plus importants se trouvent encore dans l'ouest du Canada.
- Selon les données estimatives, les besoins en capital entre 2008 et 2013 s'élèvent à 864 millions de dollars. Le financement devrait provenir surtout des opérations (37 %), du financement par capitaux propres (23 %) et des marchés boursiers (18 %).
- Le nombre de participations à des projets de démonstration a reculé de 142 en 2005 à 125 en 2006, soit une baisse de 12 %.
- Le nombre d'alliances stratégiques déclarées en 2006 a été de 124.
- On a dénombré 221 partenariats de recherche en 2006.

Figure 8 : Profil de l'industrie canadienne



Source : PricewaterhouseCoopers, Profil de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible 2007-2008



Carte des grappes d'entreprises

La Colombie-Britannique abrite l'une
des plus grandes concentrations
d'entreprises de l'industrie mondiale
des piles à combustible.



Projet intégré de valorisation d'hydrogène résiduel

À l'heure actuelle, la station-service de Northlands fournit de l'hydrogène pour alimenter neuf camionnettes ainsi que deux bus-navettes Ford équipés d'un moteur à combustion interne.

En 2005, le Projet intégré de valorisation d'hydrogène résiduel a été lancé pour exploiter l'hydrogène résiduel provenant d'une usine de fabrication de chlorate de sodium à North Vancouver. Il s'agit d'un projet de trois ans piloté par Sacré-Davey Innovations. L'usine peut produire assez d'hydrogène pour alimenter en continu un parc de 20 000 véhicules à pile à combustible. Cette source d'hydrogène constituera une halte dans l'Autoroute de l'hydrogène de la Colombie-Britannique.



Photo : Sacré-Davey

Infrastructure de l'hydrogène – industrie et énergie

Les entreprises canadiennes participent à toute la gamme des activités touchant l'infrastructure de l'hydrogène, c'est-à-dire la production, le stockage, la distribution et la livraison. En plus de prendre part à la quasi-totalité des projets (environ 60) portant sur la distribution d'hydrogène dans le monde, elles ont mis en place au pays huit stations-service à hydrogène. Ces projets les ont obligées à acquérir une expertise dans le domaine de la sécurité de l'hydrogène, des procédures d'homologation et des méthodes et protocoles d'essais, ainsi qu'en analyse expérimentale pour élaborer des normes et codes appropriés. Les entreprises canadiennes relativement petites qui participent à ces projets acquièrent l'expérience du marché mondial indispensable pour tirer parti des possibilités qui se présentent à l'étranger.

Le Canada a été l'un des premiers pays à publier un code national sur les installations à hydrogène, facilitant ainsi le déploiement des produits connexes à la grandeur du pays.

Production

L'industrie canadienne de l'hydrogène possède un avantage technologique dans le domaine de la production d'hydrogène par électrolyse et vaporeformage du méthane ainsi que dans celui de l'intégration de sources d'énergie renouvelables au procédé de production.

Comme le Canada dispose d'une base énergétique diversifiée, différentes options s'offrent à lui pour produire de l'hydrogène, notamment le charbon, le pétrole, le gaz naturel et l'hydroélectricité. S'appuyant sur plus de 55 années de leadership planétaire au chapitre du développement, de la fabrication et de l'installation de systèmes de production d'hydrogène sur place pour les marchés industriels et énergétiques, Hydrogenics est un chef de file mondial de la technologie de l'infrastructure de l'hydrogène et des produits connexes. Ses systèmes modulaires HySTAT^{MC} produisent de l'hydrogène sur place par électrolyse de l'eau selon plusieurs configurations pour répondre aux besoins variés de ces marchés. Hydrogenics met aussi au point des solutions pour la production d'hydrogène sur place grâce au reformage du gaz naturel.

Le Canada est l'un des principaux producteurs d'hydrogène industriel dans le monde. En Colombie-Britannique, en Alberta et en Saskatchewan, environ 1,5 mégatonne d'hydrogène est produite et consommée chaque année – assez pour alimenter 7,5 millions de véhicules à pile à combustible.

Au pays, l'industrie des produits chimiques et pétrochimiques fabrique la plus grande partie de l'hydrogène, qu'elle utilise comme matière première dans une kyrielle de procédés. À mesure que la production d'hydrogène augmente dans l'industrie pétrolière et gazière, il en va de même pour les possibilités s'offrant au Canada. D'ici 20 ans, la production d'hydrogène à partir des sables bitumineux devrait passer à 3 mégatonnes par an. Si l'on investit adéquatement dans l'infrastructure de distribution, la quantité d'hydrogène produit sera suffisante pour alimenter 18 millions de véhicules.

Par ailleurs, le Canada produit chaque année approximativement 200 000 tonnes d'hydrogène résiduel. Pour obtenir la même quantité d'énergie, il faudrait environ 800 millions de litres d'essence. À North Vancouver, en Colombie-Britannique, le Projet intégré de valorisation d'hydrogène résiduel capte cet hydrogène afin de l'utiliser comme source à faible coût pour différentes applications.

Le Canada peut tirer parti de cette expertise fort poussée et de l'accès à de vastes quantités d'hydrogène pour assurer sa compétitivité dans les marchés mondiaux de l'hydrogène. L'actuelle infrastructure devrait suffire à court et à moyen terme, mais on pourrait à long terme réaffecter l'hydrogène produit pour l'industrie pétrolière et gazière afin de répondre aux besoins des marchés des piles à combustible de masse.

Pour ajouter aux moyens de production actuels ou les remplacer, le Canada pourrait produire de l'hydrogène en utilisant des méthodes économiques et respectueuses de l'environnement, par exemple :

- gazéification de combustibles fossiles et piégeage du dioxyde de carbone ainsi obtenu;
- production d'hydrogène à partir d'eau en utilisant les abondantes sources canadiennes d'électricité propre;
- production d'hydrogène à partir d'eau en utilisant la lumière du soleil et au moyen de procédés biologiques assurant la décomposition de matières organiques pour obtenir de l'hydrogène et d'autres sous-produits.

Stockage, distribution et livraison

Le Canada est actuellement le chef de file du développement, de la fabrication et de la mise à l'essai des bouteilles embarquées pour le stockage d'hydrogène gazeux haute pression ainsi que de matériaux pour son stockage à l'état solide.

Sur de courtes distances et à des fins de démonstration, l'hydrogène est distribué au moyen de remorques porte-tubes spécialement conçues à cette fin ou, pour les petites quantités, dans des bouteilles en acier haute pression. Sur les longues distances, il est le plus souvent transporté par camion sous forme liquide dans des citernes réfrigérées. Le transport par pipeline est aussi possible. D'ailleurs, un hydrogénoduc de 52 km relie producteurs et utilisateurs d'hydrogène dans le nord de l'Alberta. Une infrastructure précommerciale reposant sur une production décentralisée par électrolyse et vaporeformage du méthane fait actuellement l'objet d'un projet de démonstration.

Les stations-service aménagées dans le cadre des projets de démonstration canadiens utilisent plusieurs sources d'énergie renouvelable et de combustibles fossiles pour produire de l'hydrogène sur place, si bien qu'il est moins nécessaire de transporter l'hydrogène sur de longues distances. Mentionnons notamment les stations-service faisant appel à l'électrolyse et la production d'hydrogène au moyen d'énergies renouvelables.

Normes et codes

En juillet 2007, le Bureau de normalisation du Québec a publié le *Code canadien d'installation de l'hydrogène*, qui constitue la norme nationale destinée à guider l'industrie et les organismes de réglementation canadiens concernant l'autorisation de l'utilisation d'hydrogène comme vecteur énergétique et à faciliter l'homologation des installations à hydrogène partout au pays.

En plus de faciliter la commercialisation des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible, ce code renforcera la confiance des consommateurs dans l'hydrogène en tant que source d'énergie propre et sûre.

Air Liquide a récemment publié un guide intitulé *Permitting Hydrogen and Fuel Cell Installation in Canada*, qui présente des renseignements généraux sur les autorités compétentes, les normes, les codes et les règlements pertinents ainsi que sur les procédures à suivre pour soumettre la conception, les équipements et les installations à l'approbation des autorités compétentes.

Recherche-développement et projets de démonstration

Relations internationales clés

Les principales entreprises canadiennes spécialisées dans le développement de piles à combustible, Ballard et Hydrogenics, se sont associées avec succès pour conquérir les marchés d'exportation. Elles ont établi des relations stratégiques et conclu des ententes de distribution dans leurs marchés cibles.

Ballard a aussi forgé des liens avec Plug Power, The Raymond Corporation, H2Logic dans le marché de la manutention, avec New Flyer dans celui des bus-navettes ainsi qu'avec Dantherm, ACME et IdaTech dans celui de l'alimentation d'appoint.



Photo : Ballard Power Systems Inc.

Au chapitre de la distribution, Hydrogenics a établi des relations importantes avec American Power Conversion pour l'alimentation d'appoint, General Motors pour la manutention et Air Liquide pour la production sur place.



Photo : Hydrogenics Corporation

L'industrie canadienne a été le chef de file des activités de R-D au cours des dix dernières années. Pour mettre les choses en perspective, mentionnons que son investissement annuel moyen dans la R-D, à hauteur de 200 millions de dollars, équivaut à celle de l'industrie automobile canadienne. Elle fournit environ 85 % de l'investissement public ou privé dans la recherche sur l'hydrogène et les piles à combustible et a fait en 2003 près de 30 % de l'investissement industriel dans la R-D énergétique au Canada.

L'industrie canadienne a réussi un tour de force avec des investissements modestes comparativement aux investissements publics considérables d'autres pays à l'appui de l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible.

Alors que l'industrie s'emploie désormais à répondre aux besoins des utilisateurs dans les marchés à court terme au lieu de concentrer la R-D sur les marchés de masse du secteur automobile, il faut de plus en plus mettre l'accent sur la démonstration et le déploiement de technologies et de produits. Les projets de démonstration aident à mettre au point les technologies, à établir des normes et des codes et à renseigner les utilisateurs et les investisseurs sur les avantages de l'hydrogène et des piles à combustible.

Au nombre des principaux projets de démonstration canadiens, mentionnons l'Autoroute de l'hydrogène et le Programme de Vancouver sur les véhicules à piles à combustible (PVVPC), qui portent sur l'infrastructure et le transport routier, ainsi que le Village de l'hydrogène, qui examine des applications stationnaires et hors route. Partout dans le monde, on reconnaît qu'il s'agit là de véritables percées en raison de leur approche globale en vue de l'intégration de l'expertise de différentes entreprises et des ententes de partage des coûts entre l'industrie et les administrations publiques.

Participation à des projets de démonstration internationaux

En raison de la taille modeste du marché canadien de l'hydrogène et des piles à combustible, nos entreprises doivent être orientées vers l'exportation. Fort heureusement, les nombreuses possibilités offertes sur le marché mondial, alliées à un programme de démonstrations internationales, peuvent aider les entreprises canadiennes à s'imposer comme fournisseurs privilégiés de produits et de technologies. C'est pourquoi le secteur canadien accorde une grande priorité à l'établissement de collaborations à l'échelle internationale. Depuis 2004, les entreprises canadiennes jouent un rôle de premier plan dans une centaine de projets internationaux, par exemple :

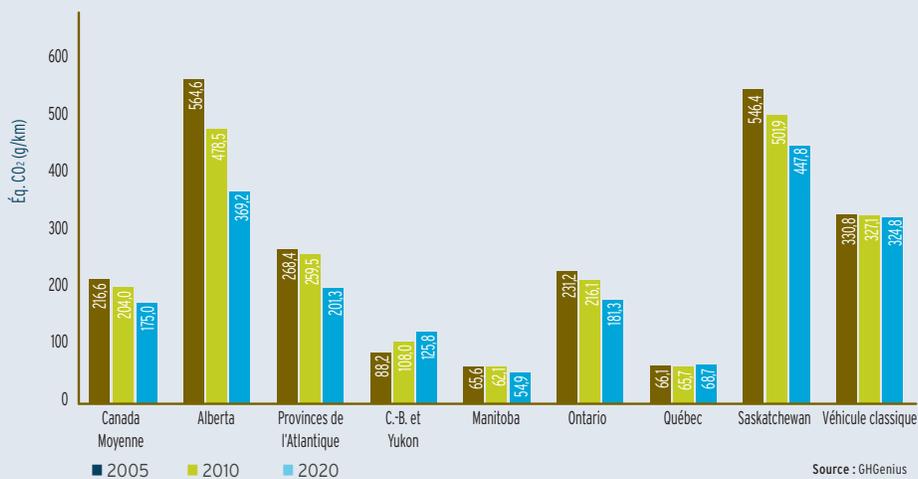
- Ballard a mis à l'essai cinq générations de moteur à pile à combustible de construction renforcée dans près de 50 autobus. À l'heure actuelle, 30 de ses autobus équipés d'assemblages de piles à combustible sont exploités dans neuf villes d'Europe dans le cadre du programme CUTE. Des autobus alimentés par pile Ballard sont aussi en circulation aux États-Unis, en Australie et en Chine.
- Les technologies de production d'hydrogène mises au point par Hydrogenics sont utilisées dans des stations-service partout dans le monde. On peut trouver des produits de l'entreprise dans des lieux fort variés : Hong Kong, Stockholm, Amsterdam, Barcelone et Oakland, en Californie.

- Les systèmes de stockage et de distribution de carburant de Dynetek sont utilisés à Pékin, Sydney et Orlando.
- Des systèmes de purification de QuestAir sont en place dans 17 stations-service à l'échelle mondiale, notamment en Californie, au Japon, en Corée et à Toronto.

Industrie Canada

Industrie Canada a pour objectif de renforcer la compétitivité de l'industrie canadienne. Il lui incombe de maintenir les voies de communication avec les secteurs clés pour faciliter la prise en compte des intérêts de l'industrie dans le processus décisionnel gouvernemental grâce à des renseignements utiles et de faire part à l'industrie du point de vue du gouvernement; d'analyser les difficultés auxquelles se heurtent les secteurs clés de l'économie et les possibilités qui s'offrent à eux; de proposer au gouvernement des mesures à prendre face à des défis ou à des possibilités extraordinaires; et de mettre en œuvre des programmes et des services adaptés à la situation.

Figure 9 : Production d'hydrogène par électrolyse



Ressources naturelles Canada

Au cours des 20 dernières années, Ressources naturelles Canada (RNCan) a été un acteur de premier plan dans le développement et la démonstration des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible. Son rôle exceptionnel sur le front du partage des risques avec l'industrie a donné lieu à plusieurs premières mondiales mettant en vedette la technologie développée au Canada. Mentionnons notamment l'utilisation de piles à combustible dans des autobus partout dans le monde, une technologie de calibre mondial pour le stockage d'hydrogène gazeux haute pression, la production rentable d'hydrogène par électrolyse, le déploiement de piles à combustible pour la cogénération résidentielle au Japon ainsi que l'aménagement de l'Autoroute de l'hydrogène et du Village de l'hydrogène au Canada.

GHGenius

D'après les modèles établis par RNCan et d'autres organisations, l'hydrogène et les piles à combustible joueront un rôle primordial dans la réalisation des objectifs prévus par le plan à long terme de réduction des émissions du Canada, particulièrement dans le secteur des transports, où les prévisions laissent entrevoir une augmentation inévitable de la demande de services. Compte tenu des préférences en matière d'achat manifestées par les consommateurs, de nombreux experts estiment que le développement de technologies de pointe à émissions faibles ou nulles représente la seule façon de réduire les émissions émanant du secteur des transports. La production d'hydrogène par électrolyse permet d'éliminer des quantités considérables d'émissions de gaz à effet de serre.

Industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible

Pionnière des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible ainsi que des produits connexes, l'industrie canadienne a affiché une solide croissance au cours des dix dernières années. Le nombre d'entreprises évoluant dans le domaine est passé de moins de 20 en 1997 à plus d'une centaine aujourd'hui, dont plusieurs qui développent la technologie de base. Le Canada possède des compétences notamment dans le développement des technologies des piles à combustible, la production d'hydrogène, les composants, l'offre et l'intégration de systèmes, le stockage et la distribution du carburant, les études techniques et les services financiers.

Une solide base de recherche

Les universités et collèges canadiens prennent en charge une grande partie de la R-D sur l'hydrogène et les piles à combustible, principalement en collaboration avec l'industrie et des organisations gouvernementales.

Avec ses 180 chercheurs de calibre mondial spécialisés dans le domaine, la Colombie-Britannique est une plaque tournante mondiale de la recherche sur les piles à combustible. Parmi les laboratoires de recherche et d'essai, mentionnons l'Institut d'innovation en piles à combustible du Conseil national de recherches du Canada, le Clean Energy Research Centre de l'Université de la Colombie-Britannique et les 4D Labs de l'Université Simon Fraser, sans oublier l'Institute for Integrated Energy Systems, à l'Université de Victoria, qui a récemment pris de l'ampleur.

L'Alberta Research Council propose des solutions novatrices en science et en technologie pour répondre aux priorités des Albertains. Il concentre ses efforts sur les piles à oxyde solide en mettant au point le procédé de conception et de fabrication des piles tubulaires à oxyde solide à forte densité énergétique.

Établi à Kingston, le Centre de recherche sur les piles à combustible de l'Université Queen's et du Collège militaire royal du Canada est la principale organisation de recherche-développement universitaire vouée à enrichir la base de connaissances nécessaire pour surmonter les principaux obstacles technologiques qui entravent l'adoption des applications de piles à combustible.

Les chercheurs du Centre collaborent avec des collègues de l'Université de Waterloo, de l'Université McMaster, de l'Université de Windsor ainsi qu'avec des partenaires industriels, entre autres la

société E.I. du Pont Canada, Fuel Cell Technologies Ltd., QuestAir Industries, Daimler, Kingston Process Metallurgy et Long-Dana.

À l'Université du Québec à Trois-Rivières, l'Institut de recherche sur l'hydrogène met l'accent sur la science des matériaux, le développement de systèmes et la démonstration de technologies. Il s'efforce de combler les lacunes sur le plan technique afin de développer des systèmes d'énergie et des matériaux pour le stockage de l'hydrogène compétitifs sur le plan commercial, exécute des simulations de la dynamique des fluides liée aux fuites d'hydrogène et effectue des analyses de la sécurité et de la durée de vie de nouveaux matériaux et systèmes d'énergie faisant appel à l'hydrogène.

L'Institute for Integrated Energy Systems (IESVic) de l'Université de Victoria fait connaître différentes avenues à emprunter pour mettre au point des filières énergétiques durables en développant des technologies et des perspectives nouvelles pour assurer une adoption généralisée de l'énergie durable. Ce centre pluridisciplinaire explore ses propres axes de recherche concernant la conception de piles à combustible, les diagnostics, les systèmes à hydrogène et la modélisation de filières énergétiques.

Le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), qui réalise des travaux dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustible, compte sur plus de 100 chercheurs de différentes



disciplines répartis dans des centres de recherche à la grandeur du pays, notamment l'Institut des matériaux industriels de Boucherville, au Québec. C'est grâce à son organisation phare, l'Institut

d'innovation en piles à combustible établi à Vancouver, en Colombie-Britannique, que le pôle d'activités de Vancouver fait maintenant partie du groupe d'entreprises et d'organisations affichant une croissance particulièrement rapide parmi celles qui travaillent aux technologies des piles à combustible et de l'énergie issue de l'hydrogène. Le CNRC possède des compétences dans des domaines fort variés :

- Membranes et technologies de séparation utilisées pour la purification de l'hydrogène et pour les piles à combustible
- Stockage de l'hydrogène à l'aide d'hydrates de gaz et d'hydrures métalliques
- Développement et caractérisation de matériaux
- Production d'hydrogène à petite échelle – sur demande
- Modélisation et simulation
- Mise à l'essai de systèmes

Le CNRC travaille en étroite collaboration avec des universités, des organismes publics et des entreprises du Canada dans le cadre de projets de recherche-développement, de démonstration et de mise à l'essai consacrés à l'hydrogène et aux piles à combustible sur trois aspects revêtant une importance stratégique pour l'industrie canadienne : les piles à combustible ayant pour électrolyte des membranes polymères (PEMFC), les piles à oxyde solide (SOFC) ainsi que l'hydrogène et les carburants de remplacement.

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG), l'un des principaux organismes subventionnaires canadiens, finance des travaux menés dans les universités et les collèges. En 2005-2006, il a accordé des subventions totalisant 7 millions de dollars à l'appui de la recherche portant sur l'hydrogène et les piles à combustible. En plus de financer la

recherche spéculative et d'octroyer des bourses aux étudiants, le CRSNG soutient la recherche conjointe menée par les secteurs privé et public. Environ 50 % du financement actuel est offert par l'entremise des Programmes de partenariats de recherche de l'organisme à l'appui de projets de R-D concertée, de chaires de recherche industrielle ainsi que de projets et de réseaux de recherche stratégiques. Ces initiatives mettant à contribution plus de 25 partenaires des secteurs privé et public ont permis de mobiliser une aide financière additionnelle de 1,8 million de dollars.

L'Université Queen's, où des chercheurs mènent de vastes travaux portant sur les piles à combustible, abrite le Centre for Manufacturing of Advanced Ceramics and Nanomaterials.

Pour sa part, le Collège militaire royal compte au sein de son effectif le titulaire principal et le titulaire agrégé de la Chaire de recherche industrielle sur le traitement des combustibles pour piles à combustible financée par le CRSNG.

La recherche sur les piles à combustible menée à l'Université de la Colombie-Britannique porte sur des matériaux techniques et de nouvelles approches pour le fonctionnement des piles, l'intégration ou l'élimination de composants et leur fonctionnement dans les systèmes de piles à combustible; les nouvelles approches en matière de catalyse pour les piles et le traitement du combustible, les modes de défaillance des piles, la durabilité et l'accélération des méthodes d'essai.

Le Saskatchewan Research Council développe des technologies habilitantes pour favoriser l'utilisation de carburants de remplacement, notamment des systèmes électroniques d'injection pour convertir les moteurs à essence et diesels en vue de l'utilisation d'hydrogène ou d'autres gaz ainsi que des régulateurs de pression électroniques pour les piles à combustible. Il a conçu et mis en circulation les premiers camions hybrides essence-hydrogène et diesel-hydrogène dans le monde.

L'Université de Calgary abrite le Fuel Cell Research Group et la Western Canada Fuel Cell Initiative, qu'elle a elle-même fondée. Le groupe et l'initiative étudient l'électrochimie et la science des matériaux de surface et font de la recherche à contrat pour des entreprises de l'industrie canadienne des piles à combustible. Les chercheurs de l'université participent à des programmes consacrés aux piles à

combustible qui portent notamment sur les piles haute température, celles ayant un électrolyte conducteur de protons, les problèmes de stockage et de corrosion de l'hydrogène ainsi que le développement d'assemblages de piles à combustible.

À l'Université de Waterloo, le 20/20 Laboratory for Fuel Cells and Green Energy a pour ambition de développer et de promouvoir des filières énergétiques vertes en menant des recherches de pointe axées sur le développement de technologies pour des systèmes d'énergie diversifiés et localisés. Parmi les activités axées sur les piles à combustible, mentionnons la modélisation et la simulation, le développement de matériaux pour les composants clés ainsi que la conception et la fabrication de produits novateurs.

Collaboration et démonstration



L'Autoroute de l'hydrogène de la Colombie-Britannique

illustre concrètement le déploiement de véhicules à pile à hydrogène ainsi que de l'infrastructure et de la technologie de l'hydrogène dans le sud-ouest de la province. L'infrastructure de distribution prendra différentes formes pour appuyer un large éventail d'applications dans les transports, d'applications stationnaires ou portables et de micropiles. La démonstration d'un parc de 20 autobus à pile à combustible qui seront en circulation à Whistler à compter des Jeux olympiques d'hiver de 2010 constitue la pièce maîtresse du programme. Le projet donnera au pays une vitrine exceptionnelle pour faire valoir auprès du reste du monde les produits canadiens alimentés par hydrogène ou pile à combustible.

À terme, l'Autoroute de l'hydrogène devrait faire partie intégrante de l'autoroute de l'hydrogène de la côte Ouest, qui s'étendra au sud jusqu'en Californie et à l'est jusqu'en Alberta. Au-delà d'un simple projet de démonstration, il s'agit d'établir l'infrastructure de départ qui facilitera une utilisation accrue par les consommateurs. En outre, le projet a l'avantage d'associer étroitement les Canadiens aux progrès des entreprises américaines qui développent la technologie et de faire en sorte qu'ils demeurent des partenaires de premier plan dans l'aménagement de l'infrastructure nord-américaine de l'hydrogène.

Le Programme de Vancouver sur les véhicules à piles à combustible (PVVPC)



créé en 2003, évalue la performance de cinq Ford Focus à pile à combustible utilisées dans les

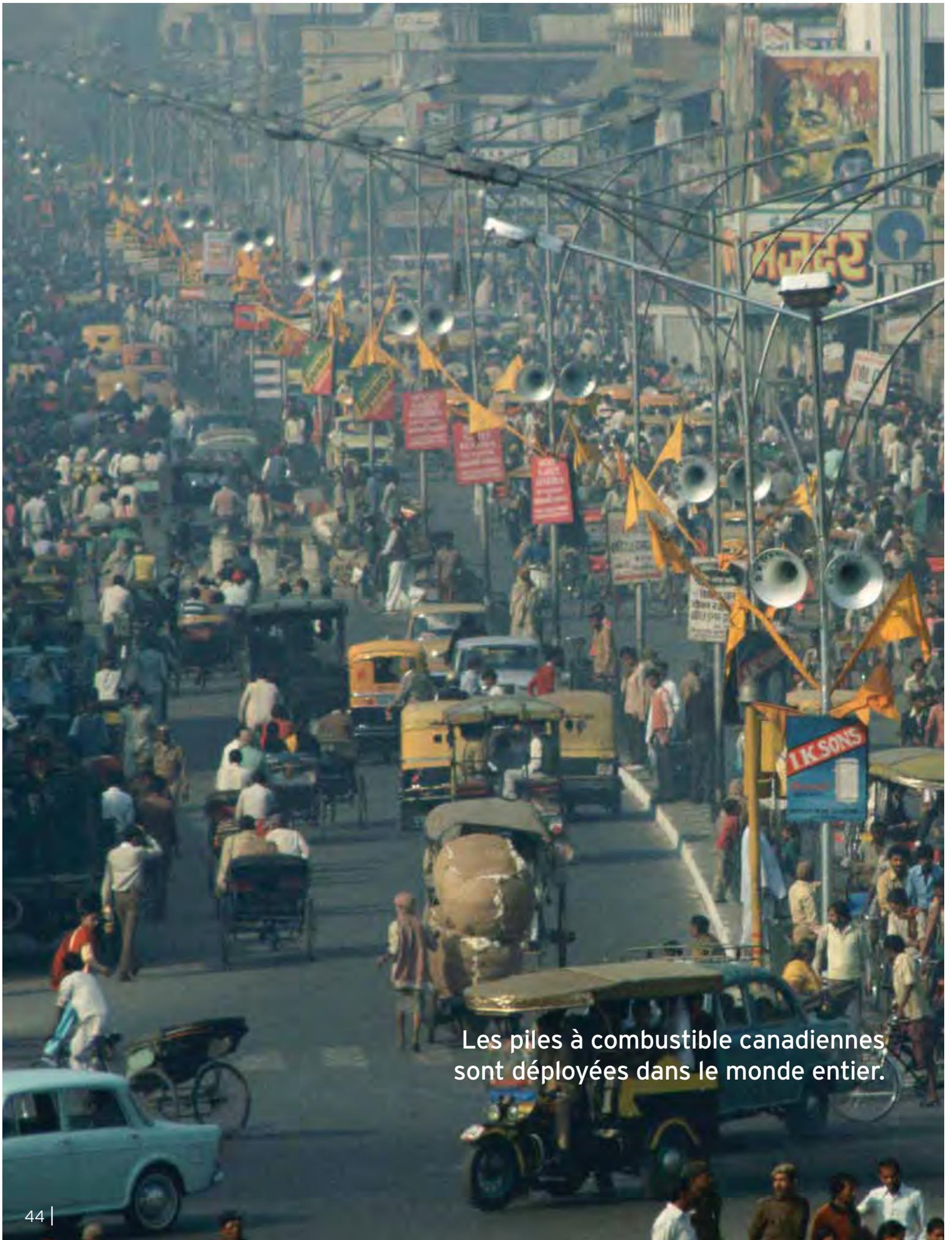
conditions de tous les jours. Ces véhicules alimentés au moyen d'un assemblage de piles Ballard utilisent un système de stockage de l'hydrogène de Dynetek Industries. L'initiative d'une durée de cinq ans a permis de recueillir de précieux renseignements sur la durabilité, la fiabilité et la performance des véhicules. Elle a connu un succès tel que Ford a accepté de la prolonger de deux ans, jusqu'en 2010.

Les partenaires de ce programme sont Ford, Hydrogène et Piles à combustible Canada, la province de la Colombie-Britannique, la Ville de Vancouver, BC Transit, BC Hydro, Ressources naturelles Canada et l'Institut d'innovation en piles à combustible du Conseil national de recherches du Canada.

Le Village de l'hydrogène regroupe plusieurs projets de démonstration menés dans la région du Grand Toronto. Il a pour ambition d'assurer un avenir énergétique vert et durable en mettant en évidence et en aplanissant les obstacles aux marchés pour l'hydrogène, les piles à combustible et les autres technologies utiles. Ces projets qui ont débuté en 2004 mettent à contribution 41 entreprises et organisations, par exemple, John Deere et Purolator, et portent sur des aspects variés – stations-service, véhicules utilitaires et de livraison, chariots élévateurs et alimentation en électricité des habitations.

Collaboration internationale

En raison de la taille relativement modeste du marché canadien de l'hydrogène et des piles à combustible, nos entreprises doivent se tourner vers l'exportation. Fort heureusement, les nombreuses possibilités offertes par le marché mondial, alliées à un programme de démonstration international, peuvent aider les entreprises canadiennes à s'imposer en tant que fournisseurs privilégiés de produits et de technologies. C'est pourquoi l'industrie canadienne accorde une grande priorité à l'établissement de collaborations à l'échelle internationale. En 2004, les entreprises canadiennes ont ainsi participé à une centaine de projets internationaux.



Les piles à combustible canadiennes
sont déployées dans le monde entier.

Hydrogène et piles à combustible : des technologies porteuses

Stimulés par les enjeux fort médiatisés qui entourent le changement climatique, des organisations gouvernementales et différents chefs de file importants de l'industrie créent une masse critique d'opinions et d'interventions propres à accélérer le développement et l'adoption de technologies pour réduire les émissions de GES. Ces efforts ne se limiteront pas à une technologie en particulier et l'adoption des technologies dans un contexte commercial s'inscrira fort probablement dans un processus évolutif plutôt que révolutionnaire.

Nul doute que l'hydrogène, le plus propre des carburants, et les piles à combustible, qui représentent la technologie la plus efficace, feront partie du portefeuille technologique. Mais pour tirer le maximum de ces vecteurs énergétiques à l'avenir, il faudra mettre au point des méthodes durables et rentables de production, de stockage et de transport de l'hydrogène adaptées aux besoins particuliers de chaque application des piles à combustible.

Des options à faible coût sont disponibles pour le captage et la purification de l'hydrogène résiduel, mais la plus grande partie de l'hydrogène est issue aujourd'hui du vaporeformage du gaz naturel – procédé qui émet du dioxyde de carbone. Toutefois, on entrevoit dans un proche avenir de nombreuses méthodes pour produire de l'électricité d'une manière vraiment renouvelable. Fait à signaler, le coût de la production d'hydrogène à partir d'énergie éolienne, qui peut atteindre 7 \$US par kilogramme, demeure deux fois plus élevé que celui des combustibles classiques.

Le prix toujours croissant du pétrole brut continue de rétrécir l'écart entre les combustibles classiques et l'hydrogène. Entre-temps, le fait que la production d'hydrogène à partir d'énergie éolienne et d'autres sources renouvelables n'émet pas du tout de carbone, du début à la fin, s'avère très attrayant. En outre, la capacité de produire l'énergie à proximité du lieu d'utilisation réduit le coût et les risques de perte de service dans les conditions météo exceptionnelles.

Si l'on considère les marchés de masse pour les piles à combustible, l'application qui vient à l'esprit d'emblée est bien entendu l'automobile. La possibilité de conduire des véhicules peu bruyants qui offrent toutes les fonctions habituelles sans produire aucune émission est vraiment une aspiration qui mérite d'être concrétisée. D'après les grands constructeurs automobiles, la transition entre le moteur à combustion interne classique et les véhicules à pile à combustible constituera un processus évolutif assurant l'optimisation des moteurs à combustion interne classiques et l'amélioration des carburants en ce qui a trait à la lutte contre la pollution et à l'efficacité globale. La technologie des véhicules hybrides améliore encore plus l'efficacité et on en arrive enfin aux véhicules à pile à combustible.

Le concept de véhicule hybride, où les sources d'énergie produisent la propulsion directe ou accroissent l'autonomie, constitue une caractéristique courante dans le passage des moteurs à combustion interne classiques aux véhicules à pile à combustible. Le développement des véhicules hybrides électriques a débuté sérieusement au début des années 1990. Les premiers modèles commerciaux, la Honda Insight et la Toyota Prius, ont été lancés plus tard au cours de cette décennie. Aujourd'hui, tous les grands constructeurs automobiles ont déjà mis sur le marché des véhicules hybrides électriques ou le feront bientôt.

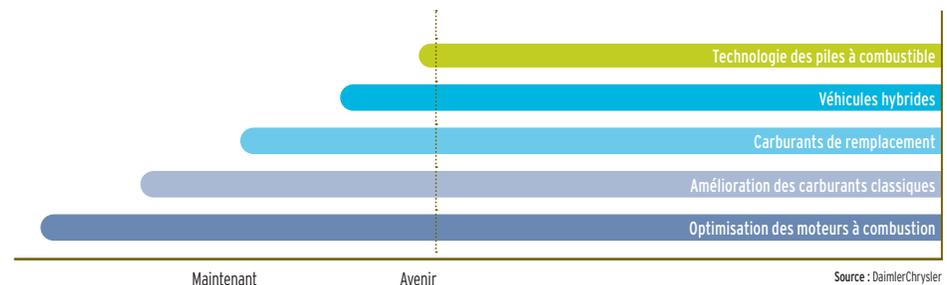
Dans ces véhicules, où le moteur à combustion interne et la batterie concourent à fournir l'énergie, la consommation d'essence se trouve réduite et le freinage en récupération recharge la batterie. Il s'agit de systèmes complexes qui pourraient, selon certains spécialistes de l'industrie, limiter la réduction des coûts, la fiabilité ainsi que la performance et la souplesse opérationnelles, mais les avantages de l'efficacité accrue et des systèmes de batterie évolués sont tels que les véhicules hybrides feront partie du portefeuille technologique pendant longtemps encore.

Tout en offrant aux consommateurs un choix maximal, il y a lieu de croire que l'évolution prévue des options de distribution posera problème aux sociétés énergétiques en raison de la nécessité de proposer une infrastructure de distribution adaptée à plusieurs technologies. Cependant, de toute évidence, cette évolution ne correspond pas à la vision politique de la diversification des carburants – les transports représentent aujourd'hui les deux tiers de la consommation de pétrole brut aux États-Unis⁹.

Le problème classique de la poule et de l'œuf pour ce qui concerne l'aménagement de l'infrastructure et le stade de maturité commerciale de la technologie des piles à combustible pour les applications dans le secteur automobile a joué un rôle en repoussant le déploiement des véhicules à pile à combustible. Deux grands obstacles continuent par ailleurs de freiner l'adoption de l'hydrogène comme carburant de l'avenir :

- Coût de fabrication, de stockage et de transport par rapport aux carburants classiques : Cet obstacle se trouve amplifié si l'on prend en compte les autres méthodes de production d'hydrogène (p. ex., électrolyse au moyen d'énergies renouvelables).
- Infrastructure : Nous possédons aujourd'hui un système éprouvé de transport des carburants liquides et gazeux classiques par oléoducs et gazoducs d'envergure mondiale. Il n'y en a pas pour l'hydrogène.

Figure 10 : Développement évolutif des véhicules à pile à combustible



Dans le scénario de l'avenir, toutes les options en matière de technologie automobile cohabiteront.

Collectivement, ces défis se rapportent surtout au taux d'adoption des applications dans le secteur automobile, mais tout indique que les problèmes de coût auront une certaine incidence sur la décision économique globale d'adopter la technologie des piles à combustible dans les marchés à court terme comme ceux de l'alimentation d'appoint, des autobus et de la manutention.

En raison de facteurs tels que la maturité de la chaîne d'approvisionnement ainsi que l'état d'avancement et le développement de la fabrication, la transition technologique entre le moteur à combustion interne et le véhicule hybride électrique s'avère moins ardue qu'entre ce dernier et le véhicule à pile à combustible. Il y a tout lieu de croire que des millions de véhicules à pile à combustible pourraient être en production d'ici le milieu des années 2020. Bien entendu, plusieurs facteurs tangibles et intangibles influenceront sur cet horizon de commercialisation.

Figure 11 : Production mondiale de véhicules légers selon le type d'alimentation (en milliers)

Types de véhicules	1994	1999	2004	2009	2014
Production totale de véhicules légers	49 375	54 375	60 510	69 500	77 950
Moteur à combustion interne à allumage par étincelle	46 520	4 8135	47 715	49 100	48 540
Moteur à combustion interne au diesel	2 855	6 240	12 600	19 000	24 400
Hybride électrique	--	neg	195	1 400	5 000
Pile à combustible	--	--	neg	neg	10

Source : <http://www.freedoniagroup.com/Hybrid-Electric-Vehicles-And-Competing-Automotive-Powerplants.html>

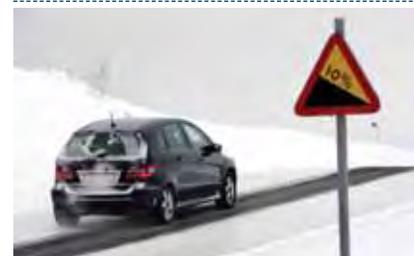
Les nouvelles générations de véhicules de haute technologie sont lancées sur le marché selon une démarche évolutive.

Certains grands constructeurs automobiles ont annoncé le déploiement de leurs véhicules à pile à combustible de prochaine génération. Par exemple, Daimler a annoncé sa B-Class F-Cell, Honda sa FCX Clarity et GM son Equinox à pile à combustible. Ford a aussi annoncé qu'elle avait pratiquement terminé le développement de sa plateforme de véhicules de prochaine génération et elle a fait la démonstration de certains véhicules de concept, par exemple, sa Edge HySeries hybride électrique rechargeable à pile à combustible et la Ford Fusion 999, qui a fracassé un record de vitesse terrestre. Enfin, Toyota a récemment annoncé le développement du prototype de sa FCHV-adv, qui a atteint une autonomie de 830 km avec un seul plein d'hydrogène. Ces véhicules qui démarrent sans problème par temps froid procurent une grande autonomie et leur performance est supérieure à celle des modèles précédents et elle égale ou dépasse celle de véhicules similaires équipés d'un moteur à combustion interne. Le développement des véhicules à pile à combustible se poursuivra pendant des années encore, particulièrement pour en réduire les coûts, mais tous les grands constructeurs montrent bien qu'ils accordent une grande importance au développement de ces véhicules.

Le développement des piles à combustible dicté par le secteur automobile constitue une étape incontournable pour le développement global de piles en vue de leur commercialisation. On observe au sein du noyau de fournisseurs une grande synergie entre les courbes de développement des piles à combustible dans le secteur automobile et les autres, en particulier pour ce qui est des résultats de la recherche fondamentale et du développement. Les besoins varient d'une application à l'autre. Par exemple, seule l'industrie automobile exige un démarrage rapide et efficace par temps froid, mais certains aspects sont en synergie, notamment la réduction du coût des matériaux, la réduction de la quantité de catalyseur et les conceptions se prêtant à une fabrication à grand volume.

Coopération au profit des piles à combustible destinées au secteur automobile

Ford et Daimler possèdent maintenant leurs propres piles à combustible, développées par Automotive Fuel Cell Cooperation (AFCC) : l'entreprise établie à Vancouver qui a succédé à la division automobile de Ballard Power Systems est l'un des chefs de file mondiaux du développement de piles à combustible pour le secteur automobile et l'un des principaux centres de développement de piles à combustible de la planète. En qualité d'actionnaires majoritaires d'AFCC, Ford et Daimler apportent à l'entreprise des compétences tout à fait exceptionnelles. Daimler possède un parc de véhicules à pile à combustible plus important que celui de tout autre constructeur – ses véhicules de concept, ses automobiles, ses fourgonnettes et ses autobus Citaro ont parcouru plus de 4 millions de kilomètres sans émissions. Ford possède aussi un imposant parc de véhicules, notamment cinq Focus à pile à combustible à Vancouver, et elle a fait la démonstration de nombreux véhicules de concept novateurs à pile à combustible. Les deux constructeurs possèdent une expérience et une expertise considérables qu'ils mettent à profit dans le développement de piles à combustible pour les transports.



Daimler B class F-Cell, alimentée par pile à combustible Ballard, fonctionnant par temps froid.



La Ford Fusion 999, voiture de concept alimentée par pile à combustible Ballard, a récemment fracassé le record de vitesse terrestre pour les véhicules à pile à combustible en atteignant 335 km/h.

Commercialisation de technologies porteuses

Dans pratiquement toutes les applications, la technologie des piles à combustible est appelée à remplacer une technologie avérée qui est bien établie, à maturité, incontestée et économique. La barre est haute pour l'adoption, d'autant plus que chaque membre de la chaîne de valeur morcelée et peu évoluée doit y trouver son compte. En outre, si les consommateurs accordent de l'importance à la « propreté » de la technologie des piles à combustible, ils sont souvent très réticents à attribuer une valeur économique appréciable à cette caractéristique et optent plutôt pour les propositions commerciales habituelles reposant sur le prix, la performance et la fiabilité. Toutefois, ces propositions n'en offrent pas moins l'équation recherchée dans un grand nombre d'applications à court terme dans les marchés des produits électroniques portables, de l'alimentation d'appoint, de la manutention, de la cogénération résidentielle ainsi que des autobus et des bus-navettes.

Certaines entreprises spécialisées dans le développement de piles à combustible ont recentré leurs activités de manière à exploiter ces débouchés, mais le coût et la fiabilité continuent de préoccuper les consommateurs. L'intégration d'une nouvelle technologie dans un système très efficient déjà en exploitation, par exemple, un entrepôt, un réseau de télécommunication ou un système de transport en commun, ne va pas sans risques pour les utilisateurs. Au chapitre de l'infrastructure, il reste des problèmes à résoudre, notamment en ce qui a trait aux questions de sécurité et à la formation du personnel. Toutefois, malgré ces obstacles, la croissance des marchés à court terme pour la technologie des piles à combustible n'a jamais semblé aussi prometteuse.



Dans les grands entrepôts, les chariots élévateurs à pile à combustible améliorent la productivité tout en réduisant les coûts d'exploitation et ce, sans aucune émission.

Avec une capacité de 1 000 kg par jour, la nouvelle station-service à hydrogène de Whistler sera la plus grande du monde pour les applications de transport.



Une approche axée sur les marchés à court terme : l'industrie canadienne depuis 2003

Malgré les nombreuses améliorations observées au sein de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible au cours des cinq dernières années, nous perdons du terrain en tant que chef de file international en raison des activités et des investissements aux États-Unis, en Europe et en Asie. Au pays, l'accès au financement offert par les organisations tant publiques que privées va en diminuant, alors que l'augmentation des ventes et la réduction des coûts d'exploitation ont 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.

Pour prendre de l'expansion, les entreprises de l'industrie des piles à combustible doivent fabriquer des produits répondant aux besoins des clients et les vendre à un prix leur permettant de réaliser un bénéfice suffisant pour investir dans le développement de produits nouveaux ou perfectionnés. L'industrie regagnera la confiance des investisseurs lorsque les entreprises commenceront à gagner du terrain en augmentant leurs bénéfices. Faute d'injection de capitaux au niveau requis et sans le rétablissement de la confiance dans le marché, les entreprises canadiennes de l'industrie pourront difficilement afficher une progression supérieure à la croissance prévue des ventes de produits.

Tout compte fait, il semble évident que les grandes usines de fabrication seront établies dans d'autres pays, à proximité de la clientèle. Les 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.

Depuis 2003, une multitude d'entreprises canadiennes développent et perfectionnent les technologies nécessaires à la commercialisation dans un éventail de marchés à court terme. Au chapitre de la manutention, le succès de nombreux projets de démonstration montre que la technologie actuelle permet d'assurer une croissance rentable. Dans le marché des produits électroniques portables, on peut utiliser les microbatteries hybrides et les systèmes de piles à combustible à acide formique dans les appareils radios émetteurs-récepteurs et les piles alimentées directement à l'hydrogène dans les téléphones mobiles, ce qui permet de doubler l'autonomie en communication. Dans les marchés de la cogénération résidentielle, les appareils d'alimentation à pile à combustible se rapprochent de plus en plus des objectifs en matière de coût et de durabilité. Par ailleurs, la simplicité des appareils d'alimentation d'appoint permet de réduire les coûts et d'améliorer la fiabilité. À l'échelle planétaire, la réaction du public aux autobus à pile à combustible sans émissions a été extrêmement favorable; les améliorations de la technologie et de la conception ne cessent de réduire les coûts et d'améliorer la durabilité.

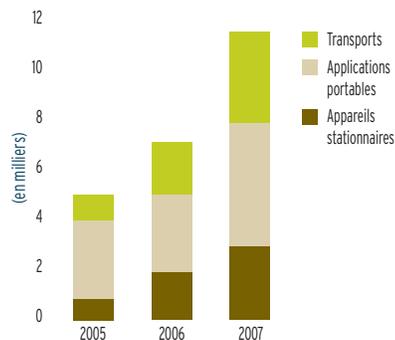
Pour tirer parti de la commercialisation dans ces marchés à court terme, les entreprises canadiennes devront concentrer leurs efforts sur un éventail limité d'options en matière de technologie et de conception. Ce repli stratégique aidera à éviter une dispersion qui compliquerait l'établissement d'une chaîne de distribution et d'une infrastructure de fabrication indispensables, accroîtrait les coûts globaux et rendrait beaucoup plus difficile le service après-vente.

La concurrence entre les fournisseurs est toujours une bonne chose, mais la croissance commerciale à court terme de cette industrie embryonnaire reposera sur des relations stratégiques entre les fournisseurs assurant un partage global des risques et des retombées.

L'industrie devra par ailleurs élargir la portée des investissements au-delà des coûts en capital. Bien avant l'augmentation des ventes de produits, il faudra mettre en place une infrastructure en matière de capital humain et de services pour éviter de décevoir la clientèle. Un excellent moyen d'accroître les ventes serait de bien renseigner les consommateurs pour les aider à installer et à utiliser de façon sûre et efficace les produits alimentés par pile à combustible et l'infrastructure de l'hydrogène connexe.

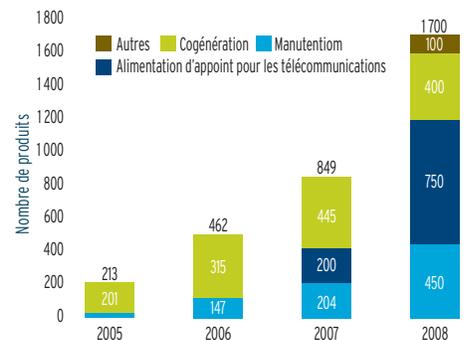
Pour réduire les coûts, il faut perfectionner la technologie, simplifier la conception des produits et améliorer l'infrastructure de distribution. Enfin, l'industrie devra créer des stratégies de marketing et de vente qui positionnent la technologie de l'hydrogène et des piles à combustible comme partie intégrante des grands intérêts des principales entreprises clientes.

Figure 12 : Expéditions mondiales de piles à combustible entre 2005 et 2007



Source : The Current State of the Industry, The Fuel Cell Today Industry Review 2008

Figure 13 : Expéditions de produits Ballard entre 2005 et 2008



Source : Ballard Product Growth Outlook

Comme en témoignent les expéditions de produits déclarées par Ballard au cours des trois dernières années, la participation du Canada aux expéditions mondiales est appréciable.

Fournisseurs de l'infrastructure de l'hydrogène

La pureté et le coût de l'hydrogène seront pris en compte dans l'analyse économique de la transition par rapport aux technologies en place, mais l'actuelle infrastructure de l'hydrogène favorisera la commercialisation des piles à combustible dans les marchés à court terme. L'hydrogène comprimé ou réfrigéré répondra aux besoins des marchés de l'alimentation d'appoint, de la manutention et des autobus. Celui destiné au marché japonais de la cogénération résidentielle sera produit par reformage de carburants classiques. L'industrie a accompli des progrès appréciables au chapitre de l'utilisation d'hydrures métalliques pour le stockage de l'hydrogène dans les applications des micropiles à combustible.

Les difficultés inhérentes aux coûts à prendre en charge sont liées à la fois au carburant proprement dit et à l'infrastructure d'appui. Pour s'y attaquer, on peut établir des relations stratégiques efficaces avec les fournisseurs de piles à combustible. Toutefois, les entreprises de l'industrie devront adopter une approche très pratique quant à la formation du personnel nécessaire pour respecter les consignes de sécurité et à l'information du grand public concernant les obstacles, réels ou perçus, associés à l'utilisation de l'hydrogène comme source d'énergie.

Fournisseurs d'assemblages de piles à combustible

Les fournisseurs d'assemblages de piles à combustible ont recentré leurs efforts sur les compétences de base et les débouchés dans les marchés à court terme. Ils ont rationalisé leurs activités pour freiner l'érosion des capitaux, se sont attachés à comprendre les exigences des utilisateurs et ont perfectionné leurs capacités technologiques pour y répondre. Le cas échéant, ils ont établi des relations stratégiques avec les principaux fournisseurs de composants et intégrateurs de systèmes pour s'assurer que toutes les compétences et les ressources requises sont affectées de manière à répondre aux besoins des consommateurs. Les économies au titre de la fabrication demeurent un défi, car il faut relever le niveau d'automatisation afin de réduire les coûts, d'améliorer la qualité et d'accroître la production.

Les activités et les produits d'entreprises canadiennes comme QuestAir Technologies contribueront à apporter une solution répondant aux exigences en matière de pureté de l'hydrogène.



Photo : QuestAir



Photo : Camion d'Air Liquide

Avec une capacité de 1 000 kg par jour, la nouvelle station-service à hydrogène de Whistler sera la plus grande du monde pour les applications de transport. Ce projet met à contribution Air Liquide, Sacré-Davey Group, Hydrogenics et d'autres organisations.

Orientations canadiennes

Hydrogenics continue d'intégrer au développement de systèmes celui d'assemblages. Hyteon a aussi adopté cette approche pour le marché de la cogénération résidentielle. En revanche, Ballard se concentre sur ses compétences de base dans le développement d'assemblages et de composants clés tout en établissant des partenariats avec des organisations qui possèdent une expertise en matière de systèmes et disposent de ressources suffisantes pour atteindre l'excellence dans le domaine.

SatCon Power Systems et **Sustainable Energy Technologies** développent et commercialisent des appareils électroniques de puissance, par exemple, des onduleurs à la fine pointe de la technologie pour les produits alimentés par pile à combustible autonomes ou raccordés au réseau. L'utilisation de ces produits sur le réseau a été approuvée dans les principaux pays ciblés pour la croissance à court terme dans le marché des applications stationnaires des piles à combustible.

Energix Research et **Electric Hydrogen** ont mis au point des solutions novatrices pour surmonter les difficultés entourant la production d'hydrogène et le remplissage sur place. La société albertaine **Dynetek** est déjà reconnue à l'échelle mondiale comme fabricant de réservoirs ultralégers pour le stockage d'hydrogène comprimé haute pression.

Atlantic Hydrogen développe à l'heure actuelle un système faisant appel au CarbonSaver^{MC} pour le prétraitement de l'hydrogène. Il s'agit d'une technologie unique en son genre, qui permet de traiter le gaz naturel sur place pour créer une matière première enrichie à l'hydrogène.

Contor Terminals conçoit et fabrique des dispositifs de confinement spéciaux pour les marchés des services publics et des télécommunications. Ces dispositifs intégrés dans de grands systèmes de piles à combustible stationnaires simplifient les systèmes auxiliaires des grandes piles en émergence.

Fournisseurs de composants et de systèmes

Le nombre de fournisseurs de composants de piles à combustible a monté en flèche depuis 2003. Le développement de membranes de séparation des hydrocarbures pourrait bien déloger un jour les matériaux perfluorés de type Nafion utilisés à l'heure actuelle, car cette nouvelle technologie moins onéreuse peut être utilisée à une température plus élevée et à un taux d'humidité relative inférieur. Cependant, on continue encore aujourd'hui d'utiliser dans la plupart des produits les membranes de type Nafion et d'appliquer sur les couches de diffusion des gaz ou sur la membrane un catalyseur en platine classique sur support de carbone. Les entreprises de l'industrie des piles à combustible qui cherchent à obtenir une meilleure valeur pour leurs clients devront établir des relations stratégiques avec les fournisseurs de composants qui proposent des matériaux moins coûteux offrant une meilleure performance.

Les observateurs examinent encore la situation pour déterminer s'il est préférable de développer un composant clé pour se tailler une place dans la chaîne d'approvisionnement ou d'adopter une approche élargie axée sur le développement de systèmes. Chaque stratégie présente des avantages et des inconvénients et le succès pourrait bien dépendre de l'application. Il est logique de combiner le développement d'assemblages et de systèmes pour les micropiles à combustible. En ce qui a trait aux autobus et à la cogénération résidentielle, la complexité globale de chaque sous-système fait en sorte que les différentes organisations ont peut-être intérêt à se concentrer sur leurs compétences de base, tout en s'assurant de la prise en compte des interfaces clés. Si des organisations distinctes assurent le développement et la fabrication d'assemblages et de systèmes, la complexité s'en trouvera accrue en ce qui a trait à l'interface avec les utilisateurs, au service et à la garantie des produits, mais on pourrait résoudre ces problèmes en établissant de solides partenariats et en répartissant la valeur de façon équitable.

Amélioration de la performance de la technologie en vue des marchés de masse

Dans la plupart des marchés à court terme, la proposition commerciale pour l'hydrogène et les piles à combustible est généralement acceptée. On prévoit une vive concurrence, mais la part des marchés à court terme reviendra fort probablement aux entreprises dont les produits et les partenariats répondent aux préoccupations restantes des consommateurs concernant le coût, la fiabilité et l'infrastructure de distribution. Les organisations canadiennes ont réalisé des progrès considérables sur le front du coût, de la performance, de la fiabilité et de l'infrastructure.

Réalisations majeures : performance

Une fois que la faisabilité de la technologie a été établie dans de nombreuses applications, la R-D s'est attachée depuis 2000 à réduire les coûts tout en améliorant constamment la performance. Différentes mesures ont permis d'atteindre cet objectif, par exemple, une réduction de la quantité de platine requise, une simplification des composants, le recours à des pratiques de montage du secteur automobile et le développement soutenu de matériaux. Pour bien évaluer la situation concernant le développement des piles à combustible, on peut examiner des indicateurs de performance clés comme la durabilité et la densité énergétique.

Coût

Entre 2000 et 2004, le coût des assemblages de piles à combustible a été ramené d'environ 10 000 à moins de 500 \$US/kW. Pour y parvenir, on a réduit de 30 % l'utilisation de platine (tout en améliorant la performance) et utilisé des techniques de fabrication de pointe. L'amélioration de la conception a permis de simplifier les composants et par le fait même de réduire le coût des systèmes, y compris les assemblages et les composants auxiliaires. Avec la fabrication à grande échelle, le coût actuel est estimé à 100 \$US/kW, mais les entreprises spécialisées dans le développement s'efforcent d'atteindre d'ici à 2010 l'objectif de 30 \$US/kW fixé par le département de l'Énergie des États-Unis pour les applications dans le secteur automobile.

Durabilité

Les exigences en matière de durabilité, ou de durée de vie, des piles à combustible varient d'une application à l'autre. Les piles stationnaires nécessitent une durée beaucoup plus longue que celle des applications mobiles, mais leur facteur d'utilisation est nettement moins exigeant. Pour certaines applications mobiles hors route ou stationnaires (comme la manutention et l'alimentation d'appoint), les objectifs de durabilité ont déjà été atteints. De façon générale, la durabilité est passée de quelques centaines d'heures pour les conceptions de départ au niveau de 3 000 à 5 000 heures à l'heure actuelle selon

le facteur d'utilisation. Pour le secteur automobile, où le facteur d'utilisation s'avère particulièrement exigeant, l'objectif est de 5 000 heures. Les technologies de pointe actuelles assurent une durabilité de 2 200 heures (soit l'équivalent d'une distance parcourue de 100 000 kilomètres).

Densité énergétique

La densité énergétique est une mesure de la quantité d'énergie qu'une pile à combustible peut fournir pour un volume donné. Dans le cas des applications mobiles, il est particulièrement important d'offrir la performance recherchée par les consommateurs. Cet aspect est intimement lié aux objectifs de réduction des coûts. En tirant davantage d'énergie de chaque pile à combustible, on réduit les coûts étant donné qu'une pile plus petite peut faire l'affaire.

La densité énergétique a augmenté de 50 %, mais une hausse supplémentaire de 25 % s'impose afin d'atteindre l'objectif fixé pour la performance dans le secteur automobile.

Démarrage par temps froid

L'eau est le principal sous-produit des piles à combustible. Le mode de gestion de l'eau à l'intérieur de la pile revêt une très grande importance si la température atteint le point de congélation. Il faut fermer les piles pour éviter que l'eau libre ne stagne à un endroit où elle pourrait prendre de l'expansion sous l'effet du gel et endommager la pile. Des progrès appréciables ont récemment été accomplis sur ce front. Dans les premiers projets de démonstration, il fallait constamment garder les véhicules à une température supérieure au point de congélation. Non seulement les moteurs automobiles alimentés par pile à combustible peuvent maintenant résister au gel, mais aussi ils peuvent démarrer à moins 30 °C et atteindre 50 % de la puissance en 90 secondes.

Le défi qui nous attend au cours des prochaines années sera de continuer à progresser pour chacun des indicateurs de performance sans nuire aux autres.

Source : Ressources naturelles Canada

À mesure que les marchés prendront de l'expansion, les constructeurs de chariots élévateurs pourraient en arriver à proposer à leurs clients des solutions intégrées englobant le développement de systèmes et peut-être même d'assemblages de piles à combustible.



Manutention

Collectivement, l'absence d'émissions, l'amélioration de la productivité et la réduction des coûts d'exploitation sur la durée de vie d'un chariot élévateur constituent pour le marché de la manutention l'un des arguments les plus convaincants en faveur des applications axées sur les piles à combustible à court terme. Selon les estimations, ce marché se chiffre entre 1,5 et 3,5 milliards de dollars et la plupart des acteurs de l'industrie s'entendent pour dire que les produits alimentés par pile à combustible conviennent le mieux aux grands entrepôts ou usines d'assemblage où plus de 100 chariots élévateurs sur plusieurs quarts de travail fonctionnent en continu. Les solutions de stockage réfrigéré actuellement offertes par de nombreux fournisseurs d'hydrogène permettraient d'approvisionner l'infrastructure requise afin d'alimenter en hydrogène l'équipement de ces grandes installations. En outre, nombre d'utilisateurs de ce marché estiment que les piles à combustible apporteront une valeur particulière dans les installations de stockage réfrigéré si l'on peut améliorer la capacité de démarrage par temps froid et de fonctionnement à basse température. Outre ces défis technologiques, il faut répondre aux préoccupations concernant le coût et la sûreté du combustible et, à terme, les avantages concurrentiels pourraient bien dépendre de l'expertise en matière de ventes et de marketing.

Les entreprises canadiennes qui jouent un rôle important dans le secteur de la manutention sont convaincues que la capacité de fabrication existante devrait permettre de réduire les coûts de façon appréciable compte tenu du volume de commandes actuel et prévu et des récents progrès dans la conception d'assemblages de piles à combustible et de composants. Toutefois, comme pour les autres cas de remplacement de batteries dans les applications mobiles, les possibilités de réduction des coûts et d'amélioration de la performance demeureront limitées jusqu'à ce que les fabricants adaptent mieux la conception de leurs chariots élévateurs aux capacités propres à la pile à combustible. À mesure que la commercialisation progressera, les constructeurs de chariots élévateurs pourront offrir aux clients des solutions intégrées englobant le développement de systèmes et peut-être même d'assemblages de piles à combustible. Jusqu'alors, les stimulants fiscaux, par exemple, ceux offerts aux États-Unis (1 000 \$US/kW installé jusqu'à concurrence de 30 % de la valeur du produit) continueront de jouer un rôle déterminant dans le rendement de l'investissement des utilisateurs.

Figure 14 : Objectifs en matière de ventes, de coût et de performance – Manutention

Élément	Objectif pour 2010	Objectif pour 2015
Volume des ventes prévu	5 000	30 000
Durabilité (heures)	15 000	25 000
Fiabilité (%)	99	99,5
Coût des systèmes globaux (\$US/kW)	3 000	2 000
Plage de température	-30 to 45	-35 to 55

Source : PricewaterhouseCoopers, sondage mené à l'échelle de l'industrie canadienne et validé lors de l'atelier tenu en avril 2008 à Vancouver par Industrie Canada et le Conseil national de recherches du Canada

Comme le marché du remplacement des batteries devrait progresser au cours des cinq prochaines années, on s'attend à ce que les constructeurs de chariots élévateurs développent de nouveaux appareils adaptés aux piles à combustible.

Pour 2008, Ballard prévoit d'expédier 450 assemblages de piles à combustible dans le marché de la manutention. En mai 2007, par suite de l'acquisition de Cellex et de General Hydrogen par Plug Power, l'entreprise a conclu avec cette dernière une première entente de deux ans en vue de l'approvisionnement de ce marché. Ballard collabore par ailleurs avec The Raymond Corporation, chef de file nord-américain de la conception et de la fabrication de chariots élévateurs électriques, pour concevoir et développer un chariot adapté aux piles à combustible ainsi qu'avec Exide Technologies pour développer un système embarqué de charge des batteries hybrides pour les chariots élévateurs.

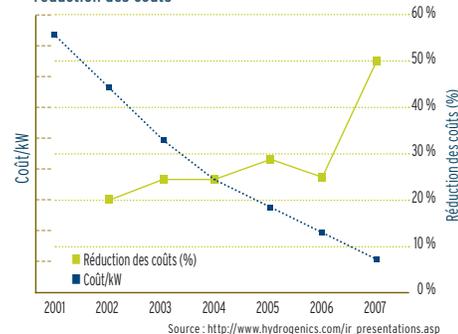
Selon les estimations d'Hydrogenics, le marché de la manutention se chiffre à 3,5 milliards de dollars.

Collectivement, Plug Power et Hydrogenics déploient des centaines de chariots élévateurs à pile à combustible dans les entrepôts de Wal-Mart, qui fonctionnent 24 heures sur 24, et dans les usines de montage de General Motors.



Photo : Plug Power

Figure 15 : Progrès d'Hydrogenics au chapitre de la réduction des coûts



Ici l'Inde!

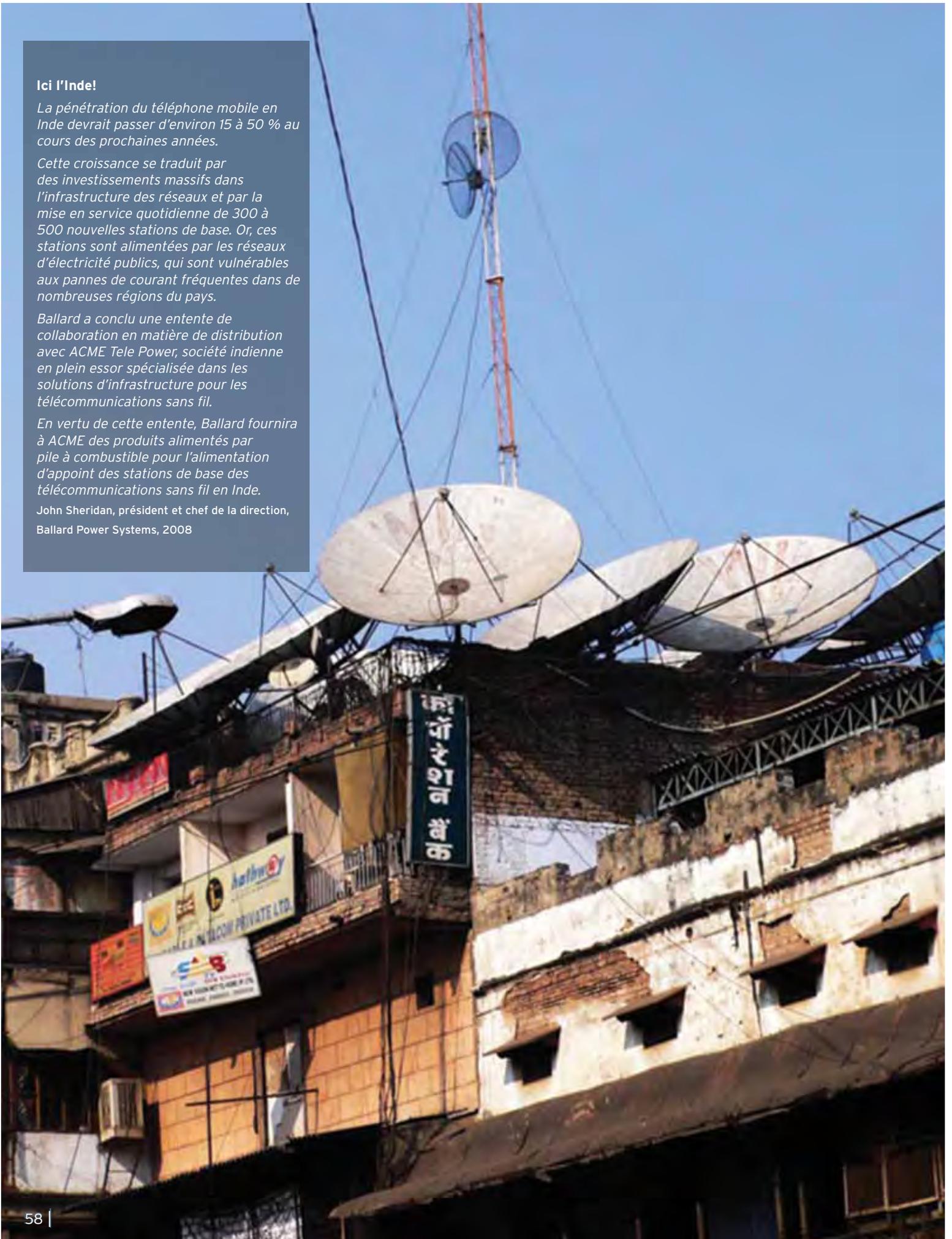
La pénétration du téléphone mobile en Inde devrait passer d'environ 15 à 50 % au cours des prochaines années.

Cette croissance se traduit par des investissements massifs dans l'infrastructure des réseaux et par la mise en service quotidienne de 300 à 500 nouvelles stations de base. Or, ces stations sont alimentées par les réseaux d'électricité publics, qui sont vulnérables aux pannes de courant fréquentes dans de nombreuses régions du pays.

Ballard a conclu une entente de collaboration en matière de distribution avec ACME Tele Power, société indienne en plein essor spécialisée dans les solutions d'infrastructure pour les télécommunications sans fil.

En vertu de cette entente, Ballard fournira à ACME des produits alimentés par pile à combustible pour l'alimentation d'appoint des stations de base des télécommunications sans fil en Inde.

John Sheridan, président et chef de la direction, Ballard Power Systems, 2008



Des débouchés considérables sont prévus aux États-Unis, en Europe et en Inde pour l'alimentation d'appoint.

Alimentation d'appoint

Des débouchés considérables sont prévus aux États-Unis, en Europe et en Inde pour l'alimentation d'appoint. Le marché est stimulé aux États-Unis par la législation exigeant huit heures d'alimentation de secours en cas de panne de réseau, en Europe par le réseau Tetra dédié aux services d'urgence et en Inde par la croissance des sites de services mobiles et le manque de fiabilité du réseau. La concurrence sera féroce dans le marché de l'alimentation d'appoint, qui se chiffre entre 2 et 3,2 milliards selon les estimations. Elle viendra non seulement des fournisseurs déjà en place qui ne cessent d'améliorer les batteries traditionnelles et qui tireront sûrement parti des relations déjà établies avec les clients et de leur capacité financière pour éviter l'érosion de leur part de marché, mais aussi des autres entreprises de l'industrie des piles à combustible et des différentes technologies de piles.

Comme dans les autres marchés, les utilisateurs des télécommunications et les autres utilisateurs éventuels d'appareils d'alimentation d'appoint recherchent des fournisseurs en mesure de leur proposer des solutions intégrales, qui comprennent l'infrastructure de distribution et la source d'énergie. La plupart des entreprises qui développent des solutions axées sur les piles PEMFC proposent des piles directement alimentées à l'hydrogène. Toutefois, certaines entreprises étrangères offrent des produits faisant appel au reformage et tirant parti de l'infrastructure existante pour le carburant. L'hydrogène gazeux comprimé représente une solution acceptable pour de nombreux utilisateurs. Si l'on parvient à régler les problèmes de prix et d'infrastructure, tout indique que des perspectives fort prometteuses s'ouvriront aux entreprises dotées des ressources voulues pour prendre de l'expansion au-delà des États-Unis, en particulier dans les régions où le manque de fiabilité du réseau entraîne des pannes de courant fréquentes et longues. Pour bien comprendre le véritable potentiel de croissance de cette application, il sera important de savoir si les produits alimentés par pile à combustible sont déployés dans des applications spécialisées ou si elles remplacent simplement des technologies en place.

Figure 16 : Objectifs en matière de ventes, de coût et de performance – Alimentation d'appoint

Élément	Objectif pour 2010	Objectif pour 2015
Volume des ventes globales prévu	75 000	300 000
Délai de démarrage par temps froid (sec.)	10	3
Fiabilité (% de disponibilité)	99,9	99,9
Temps de réponse transitoire (sec.) Performance en variation de charge	5	5
Coût des systèmes globaux (\$US/kW)	2 000	1 500
Démarrage par temps froid (°C)	-10	-20

Source : PricewaterhouseCoopers, sondage mené à l'échelle de l'industrie canadienne validé lors de l'atelier tenu en avril 2008 à Vancouver par Industrie Canada et le Conseil national de recherches du Canada

Avec des ventes prévues de 75 000 appareils d'ici à 2010, les entreprises canadiennes sont bien placées pour accaparer une bonne partie du marché.

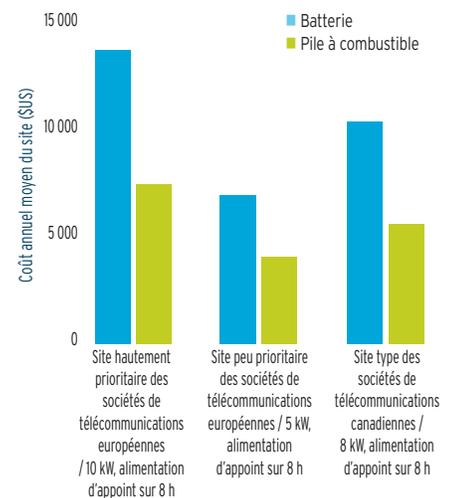
Activités canadiennes dans les marchés étrangers

En plus de fournir pour 2010 des assemblages de piles à combustible directionnels dont le prix varie entre 800 et 1 500 \$US, Ballard a annoncé qu'elle prévoit d'expédier 750 assemblages en 2008 aux marchés européen et indien de l'alimentation d'appoint, soit une augmentation de 400 % par rapport à ses ventes de l'année précédente. L'entreprise a mis au point un assemblage refroidi à l'air qui fonctionne dans un système simplifié. Elle a par ailleurs reçu des commandes et établi des partenariats avec différents intégrateurs de systèmes, principalement Dantherm.

Asteris, entreprise torontoise qui développe des piles à combustible alcalines, a récemment fait l'acquisition du fournisseur indien d'alimentation d'appoint pour les télécommunications, ACME Power Ltd., ce qui lui assure des rentrées de fonds considérables et un accès direct aux utilisateurs pour cette solution de remplacement axée sur la pile à combustible.

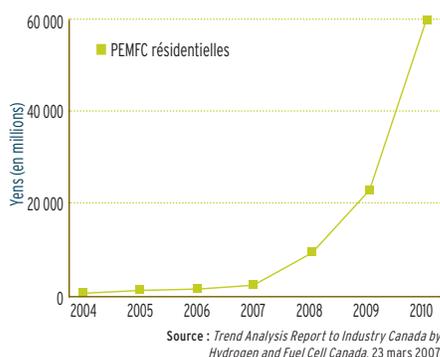
Hydrogenics, qui s'est associée avec American Power Conversion, est très bien placée pour accaparer une bonne part de marché en Amérique du Nord et en Europe.

Figure 17 : Comparaison des coûts annuels pour trois sites d'alimentation d'appoint



Source : http://www.hydrogenics.com/ir_presentations.asp

Figure 18 : Marché japonais de la cogénération résidentielle



Cogénération résidentielle

Aujourd'hui, le marché de la cogénération résidentielle met carrément le cap sur le Japon, où plus de 2 000 appareils à pile à combustible ont déjà été mis en place. Ce marché est stimulé non seulement par le coût élevé de l'électricité, mais aussi par le fait que le gouvernement a pour mandat d'amener le pays à diversifier son approvisionnement énergétique, à décentraliser la production d'électricité ainsi qu'à réduire le smog et les émissions de GES. Certains clients bénéficient d'économies pouvant atteindre 500 \$ par an, notamment en raison des crédits offerts par l'État pour l'installation et de subventions pour les frais de combustible, soit un coût total d'environ 5 000 \$ pour un appareil de cogénération complet, mais il reste encore beaucoup à faire pour atteindre des volumes commerciaux appréciables. Les grandes sociétés pétrolières et gazières japonaises, entre autres Nippon Oil, Tokyo Gas et Osaka Gas, unissent leurs efforts afin de mettre en place des chaînes d'approvisionnement pour les composants et elles collaborent avec les entreprises qui développent des piles à combustible afin de réduire le coût des appareils. L'intérêt croissant du marché sud-coréen pour un produit similaire pourrait appuyer ces efforts.

La réglementation proposée concernant l'uniformisation des codes pourrait aussi contribuer à assurer une croissance commerciale sans heurts au Japon et dans d'autres pays qui adoptent des normes similaires. Si le Japon offre aux entreprises canadiennes d'énormes débouchés dans le marché de la cogénération résidentielle, des sociétés comme Toyota, Toshiba, Matsushita et Sanyo leur font concurrence. La possibilité d'expansion avec la même plateforme dans d'autres marchés, notamment en Corée du Sud et en Allemagne, améliorera certainement les perspectives d'avenir à moyen terme.

Deux entreprises canadiennes, Ballard Power Systems et Hyteon, ont mis à profit leur expertise pour s'implanter dans ce marché à court terme où la concurrence est extrêmement vive. Ballard y est présente depuis le début et, dans le cadre de la coentreprise créée avec Ebara, elle a fourni près du quart des appareils installés. Pour sa part, Hyteon a fourni des systèmes de piles à combustible complets pour le marché résidentiel japonais grâce au partenariat stratégique établi depuis 2006 avec une grande entreprise de services publics japonaise.



Photo : Ballard Systems

Figure 19 : Objectifs en matière de ventes, de coût et de performance – Cogénération résidentielle (PEMFC)

Élément	Objectif pour 2010	Objectif pour 2015
Volume des ventes globales prévu	15 000	250 000
Efficacité totale du système (%) (pouvoir calorifique inférieur; gaz naturel)		
Électrique ou thermique	85	90
Électrique	35	37
Réduction des émissions de CO ₂ (%) par rapport à la technologie actuelle	35	40
Durabilité	40 000/10 années	60 000/10 années
Coût total du système (\$US/kW)	12 500	6 000
Taux de défaillance	0,2	0,05
Nombre de défaillances par système par an		

Source : PricewaterhouseCoopers, sondage mené à l'échelle de l'industrie canadienne et validé lors de l'atelier tenu en avril 2008 à Vancouver par Industrie Canada et le Conseil national de recherches du Canada

Piles à combustible commerciales

La commercialisation des grosses piles à combustible stationnaires a beaucoup évolué au cours des dernières années. Bien que les piles de 200 à 400 kW demeurent la norme, on observe une nouvelle tendance à promouvoir les piles à combustible commerciales ayant une puissance de quelques mégawatts (1 000 kW). Ces piles et les grandes installations se traduisent par une réduction des coûts. Dans cette catégorie de puissance, le coût de la technologie actuelle est inférieur à 3 500 \$/kW. Les coûts demeurent plus élevés par rapport aux technologies en place, mais cet écart a une valeur marchande dans certaines administrations publiques, qui attribuent une valeur pécuniaire à la capacité des piles à combustible à réduire les émissions de GES et à ne rejeter pratiquement pas d'émissions des principaux polluants atmosphériques.

Les piles à combustible haute température prédominent dans ce segment de marché, parce qu'elles offrent un excellent rapport carburant-puissance et qu'une chaleur de qualité est idéale pour la cogénération. L'expertise du Canada et ses priorités en matière de R-D sont axées sur l'amélioration des systèmes auxiliaires, par exemple, les systèmes de conditionnement d'énergie (onduleurs) ainsi que les systèmes de prétraitement pour l'eau et le combustible. Afin d'accroître la pénétration du marché, on perfectionne les systèmes auxiliaires pour en améliorer la fiabilité, réduire leur encombrement et accroître leur efficacité en réduisant les charges parasites qui consommeraient autrement une partie de l'énergie produite au moyen de la pile.

Dans les marchés des piles à combustible commerciales, le Canada accroît son expertise en matière d'intégration de systèmes. Enbridge Inc. s'est associée avec FuelCell Energy Inc. pour développer une pile hybride qui, dans un premier temps, s'adresse principalement aux services publics de distribution de gaz naturel. Cette entreprise intègre la technologie des turbodétendeurs pour porter l'efficacité de la pile à combustible à 60 %, un niveau jamais égalé jusqu'alors. Le turbodétendeur tire parti de la pression résiduelle et de l'enthalpie de la pression des stations de réduction de pression dans le pipeline pour produire de l'électricité. L'intégration de la pile à combustible augmente de plus de 100 % la capacité de production d'énergie tout en assurant que l'ensemble de l'installation de production fonctionne sans brûler de combustible. La première installation pilote d'une puissance de 2 200 kW, qui se trouve à Toronto, en Ontario, sera en exploitation commerciale d'ici la fin de l'automne 2008. Selon les estimations, le potentiel du marché canadien à court terme se situe dans une fourchette de 60 à 100 MW. On évalue actuellement les marchés du Nord-Est américain, de la Californie, de la Corée, du Japon et du Royaume-Uni.



Photo : Centrale Direct Fuel Cell - Energy Recovery Generation d'Enbridge Gas Distribution et de FuelCell Energy, à Toronto, en Ontario

Figure 20 : Objectifs en matière de ventes, de coût et de performance – Piles à combustible hybrides commerciales

Élément	Objectif pour 2010	Objectif pour 2015
Volume des ventes totales prévu (kW)	35 000	300 000
Efficacité totale du système (%) (pouvoir calorifique inférieur; gaz naturel)		
Électrique ou thermique	80	90
Électrique	60	70
Réduction des émissions de CO ₂ (%) par rapport à la technologie actuelle	50	55
Durabilité (durée de vie des assemblages en heures)	50 000	80 000
Coût total du système (\$US/kW)	3 000	2 400
Applications de la technologie	Applications limitées aux marchés de base	Amélioration de la capacité de répartition

Source : PricewaterhouseCoopers, sondage mené à l'échelle de l'industrie canadienne et validé lors de l'atelier tenu en avril 2008 à Vancouver par Industrie Canada et le Conseil national de recherches du Canada

Angstrom Power



La nouvelle micropile à combustible récemment annoncée par Angstrom est munie d'un dispositif exclusif de stockage d'hydrogène

et de recharge. Cette pile, actuellement mise à l'essai par Motorola, peut loger dans un téléphone mobile ordinaire et offre une autonomie en communication deux fois plus grande qu'un appareil équivalent à batterie¹⁰. Angstrom espère que sa technologie sera utilisée dans les téléphones commerciaux d'ici à 2010.

Angstrom Power a travaillé en collaboration avec Transports Canada pour monter le dossier à l'appui du train de mesures réglementaires canadiennes proposées, notamment une mesure d'exception pour le transport des cartouches de pile à combustible renfermant de l'hydrogène dans les cabines passagers. Ce partenariat public-privé témoigne du rôle de chef de file du Canada dans l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible.

Tekion



Dans le cadre d'un programme de développement conjoint mené avec Motorola, Tekion a innové en intégrant une micropile hybride acide formique-batterie dans la batterie existante d'un poste radio émetteur-récepteur. Plusieurs prototypes ont été fournis à Motorola aux fins d'essai et d'évaluation.

Après avoir travaillé avec Motorola et d'autres fabricants de calibre mondial, Tekion s'est attachée à concevoir un système de pile à combustible de pointe. Elle

a l'intention de lancer son premier produit commercial en 2009.

Produits électroniques portables

Presque tous les acteurs mondiaux des marchés des produits électroniques portables et des batteries s'efforcent de combler l'écart qui ne cesse de se creuser entre l'autonomie requise et l'alimentation électrique disponible au moyen de la technologie des batteries actuelles. Il s'agit d'un marché fortement dicté par les aspirations des clients. Les consommateurs ne se préoccupent pas du mode de fonctionnement de l'appareil; tout ce qu'ils veulent, c'est la mobilité et la liberté – ne pas avoir à recharger constamment les batteries. La technologie de l'hydrogène et des piles à combustible peut leur offrir cette liberté.

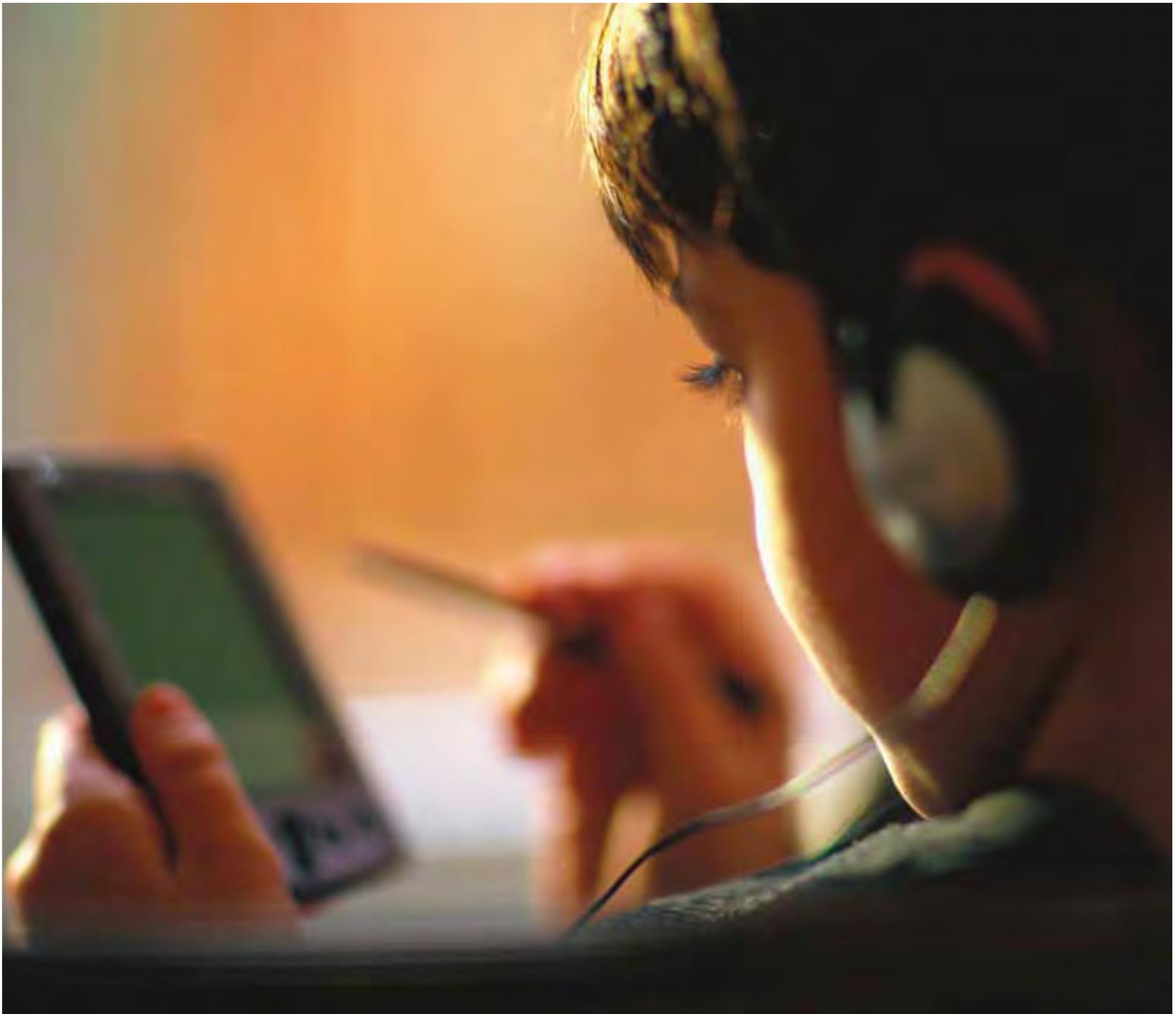
Les applications des produits électroniques portables pourraient bien constituer le premier marché de masse pour les produits alimentés par pile à combustible – et le Canada est au cœur des activités sur ce front depuis le début. En partenariat avec les équipementiers, des entreprises canadiennes, notamment Angstrom et Tekion, ont travaillé d'arrache-pied pour résoudre les problèmes touchant la complexité des systèmes, la gestion de l'eau, le coût et la densité énergétique volumétrique. La plus grande partie du travail de démarrage effectué dans le domaine par les grandes multinationales de l'électronique grand public était centré sur les piles à méthanol direct, mais elles explorent maintenant des solutions de remplacement. Par ailleurs, Tekion et Angstrom ont ouvert la voie auprès des organismes de réglementation internationaux en faveur de l'utilisation de cartouches renfermant de l'acide formique comme combustible liquide direct ainsi que de systèmes de stockage de l'hydrogène faisant appel aux hydrures métalliques. Le Groupe d'experts sur les marchandises dangereuses de l'Organisation de l'aviation civile internationale a en effet approuvé le transport de ces produits dans les cabines passagers des lignes aériennes. Cette validation officielle de la sûreté des technologies visées facilitera grandement l'utilisation de piles à combustible dans les produits électroniques portables. À l'avenir, il sera essentiel de former des partenariats stratégiques avec les utilisateurs et les différents intervenants de la chaîne d'approvisionnement pour résoudre les derniers problèmes associés à la conception des systèmes et à leur fabrication à grand volume. Toutefois, grâce à son expertise approfondie et aux relations qu'il a déjà établies, le Canada est bien placé pour bénéficier de la commercialisation dans ce marché en choisissant le bon partenaire stratégique pour la fabrication, la distribution et le marketing.

Figure 21 : Objectifs en matière de ventes, de coût et de performance – Produits électroniques portables

Élément	Objectif pour 2010	Objectif pour 2015
Volume des ventes totales prévu	1 000 000	5 000 000
Densité énergétique volumétrique (Wh/l)	350	500
Autonomie requise (Ordinateur portable / téléphone cellulaire) [nombre d'heures d'utilisation]	15 – Ordinateur 10 – Téléphone (autonomie équivalente à celle obtenue avec trois recharges au moyen de la technologie actuelle)	20 – Ordinateur 15 – Téléphone
Durabilité – cycles de charge ou de recharge (nombre)	300	500
Coût total du système (Téléphone cellulaire / ordinateur portable) [\$US/W]	Téléphone – 7,50 \$US/W Ordinateur – 1,50 \$US/W	Téléphone – 5,00 \$US/W Ordinateur – 1,25 \$US/W
Température maximale de fonctionnement de l'appareil (°C)	45	40

Source : PricewaterhouseCoopers, sondage mené à l'échelle de l'industrie canadienne et validé lors de l'atelier tenu en avril 2008 à Vancouver par Industrie Canada et le Conseil national de recherches du Canada

La technologie des micropiles canadiennes permettrait de faire face à l'escalade de la demande de densité énergétique et d'autonomie prolongée dans les produits électroniques portables.



En tant que bien public, les autobus à pile à combustible offrent une vitrine où les pouvoirs publics peuvent donner l'exemple en adoptant des solutions propres en matière de transports.



Autobus

En grande partie grâce au soutien formidable des pouvoirs publics et des commissions de transport avant-gardistes, le grand public est exposé de façon aussi directe et accessible que possible aux avantages de la technologie des piles à combustible. Stimulé par la hausse du coût du diesel, les niveaux élevés de smog et d'émissions de GES dans les centres urbains congestionnés et la politique californienne sur les véhicules sans émissions, de nouveaux programmes de démonstration dans les transports en commun sont annoncés pratiquement chaque mois. Le nombre de ces programmes témoigne des progrès accomplis en matière de stockage du carburant, d'infrastructure et de fiabilité des assemblages et des systèmes de piles à combustible. Avec le temps, la viabilité commerciale d'un groupe motopropulseur à pile à combustible pourra nécessiter la participation directe d'un constructeur d'origine de moteurs. Ainsi, le programme CUTE montre très bien les résultats que l'on peut obtenir lorsqu'un acteur clé de l'industrie comme Daimler AG convainc ses partenaires en codéveloppement stratégique de fabriquer un produit surpassant presque toutes les attentes. D'après les données³ maintenant disponibles concernant ce programme et plusieurs autres, l'écart entre la pile à combustible et les technologies classiques s'amenuise en ce qui a trait au coût total sur le cycle de vie. En fait, une entreprise américaine spécialisée dans le développement de piles à combustible a l'intention d'offrir une garantie de 10 000 heures sur son autobus à pile à combustible de la prochaine génération. Quoiqu'il en soit, à hauteur de plus de 2 millions de dollars, les autobus à pile à combustible coûtent encore très cher – quatre fois plus que les autobus diesels classiques et plus de deux fois plus que les autobus hybrides diesel-électricité.

Toutefois, si on compare le coût de l'autobus à pile à combustible avec celui d'un trolleybus, soit 1,4 million de dollars, cette technologie n'est pas complètement hors de portée. Avec l'aide de commissions de transport proactives et l'appui financier de l'État, nous pourrions bien voir en circulation un nombre croissant d'autobus à pile à combustible. Compte tenu des progrès réalisés dans ce marché, l'industrie et les exploitants de services de transport en commun prévoient que le coût de ces véhicules sera ramené à environ 850 000 \$ d'ici à 2012, soit à peu près le prix d'un autobus hybride diesel-électricité.

Un peu partout au pays, de nombreuses commissions de transport sont favorables à une intensification du déploiement de piles à combustible dans les réseaux communautaires de



Photo : Autobus à pile à combustible de Ballard Power Systems Inc.

Le Canada est un pionnier du déploiement d'autobus à pile à combustible dans le monde entier grâce à des programmes comme HyFLEET, CUTE, ECTOS et STEP ainsi que le projet de Londres.

Le pays est encore une fois à l'avant-garde, car il déploiera 20 autobus à pile à hydrogène en 2010.

Entre 2000 et 2004, le coût des assemblages de piles à combustible a été ramené de près de 10 000 à moins de 500 \$US/kW.

Air Liquide

Important fournisseur mondial de gaz industriels, médicaux et spéciaux, Air Liquide se spécialise depuis plus de 40 ans dans le domaine de l'hydrogène. L'entreprise s'attache à mettre sur pied toute la chaîne d'approvisionnement, depuis la recherche sur l'hydrogène et la production de piles à combustible jusqu'à la distribution et aux applications. Son infrastructure actuelle de l'hydrogène comprend le réseau de pipeline le plus long du monde et des stations-service à hydrogène partout sur la planète, y compris au Canada. L'entreprise participe à plus de 20 projets en Amérique du Nord et mène des projets de démonstration faisant la preuve de la sûreté de l'hydrogène dans plus de 30 applications industrielles.

bus-navettes. Ces petits véhicules offrent donc un autre débouché à court terme. BC Transit collabore avec la Hydrogen Bus Alliance pour maximiser les possibilités d'approvisionnement dans d'autres régions. Les entreprises canadiennes actives dans ce marché, notamment Ballard et Hydrogenics, continuent de développer des technologies d'assemblages et de systèmes de piles à combustible évolués tout en réduisant les coûts. Le constructeur d'autobus canadien New Flyer a récemment conclu avec Ballard Power une entente exclusive pour le développement de bus-navettes à pile à combustible destinés au marché nord-américain.

Figure 22 : Objectifs en matière de ventes, de coût et de performance – Autobus

Élément	Objectif pour 2010	Objectif pour 2015
Volume des ventes globales prévu	200	1 500+
Prix de vente du total des produits (\$US)	1 250 000	850 000
Durabilité (heures)	10 000	20 000
Fiabilité opérationnelle (%)	95 (en service)	98 (en service)
Disponibilité (%)	90	95

Source : PricewaterhouseCoopers, sondage mené à l'échelle de l'industrie canadienne et validé lors de l'atelier tenu en avril 2008 à Vancouver par Industrie Canada et le Conseil national de recherches du Canada

Figure 23 : Objectifs en matière de ventes, de coût et de performance – Bus-navettes

Élément	Objectif pour 2010	Objectif pour 2015
Volume des ventes globales prévu	50	100+
Prix de vente du total des produits (\$US)	750 000	500 000
Durabilité (heures)	10 000	20 000
Prix de l'hydrogène utilisé comme carburant (\$US/kg)	10 \$	2,50 \$

Source : PricewaterhouseCoopers, sondage mené à l'échelle de l'industrie canadienne et validé lors de l'atelier tenu en avril 2008 à Vancouver par Industrie Canada et le Conseil national de recherches du Canada

D'après les intervenants du marché des piles à combustible et les exploitants de services de transport en commun, les autobus à pile à combustible devraient pouvoir rivaliser sur le plan du coût avec les autobus hybrides diesel-électricité d'ici à 2012.

Appui de l'infrastructure de l'hydrogène

De façon générale, on ne s'attend pas à ce que l'infrastructure de l'hydrogène limite grandement les marchés commerciaux à court terme et les projets de démonstration. Les organisations canadiennes développent actuellement tout un éventail de solutions pour la production, le stockage et la distribution d'hydrogène.

BC Transit a conclu un marché de 20 millions de dollars sur six ans avec Air Liquide Canada Inc., de Montréal, en vue de l'alimentation en hydrogène de son parc de 20 autobus qui sera utilisé à Whistler, lieu de villégiature qui constituera une halte importante le long de l'Autoroute de l'hydrogène de la Colombie-Britannique. Cet hydrogène sera produit à partir de sources propres et renouvelables, principalement par électrolyse au moyen d'hydroélectricité et de gaz résiduels récupérés. Air Liquide, en collaboration avec les sociétés canadiennes Sacré-Davey Group, Hydrogen Technology and Energy Corporation et Hydrogenics Corporation, assurera la conception, la fourniture, l'exploitation et la maintenance de deux stations-service à hydrogène. La première sera située à Victoria, au centre de transit de BC Transit à Langford et l'autre, à Whistler, dans ses nouveaux locaux. Il s'agira à terme de l'infrastructure de distribution d'hydrogène la plus importante à l'échelle mondiale.

Les marchés de la manutention et de l'alimentation d'appoint peuvent être servis par le système de distribution et de stockage d'hydrogène comprimé déjà en place. À moyen et à long terme, QuestAir travaillera avec Exxon Mobile afin de développer un système de reformage embarqué pour la manutention. Les piles à combustible destinées aux produits électroniques portables bénéficient d'approches novatrices en matière de stockage de l'hydrogène. À mesure que les grands projets axés sur les énergies renouvelables sont mis en chantier, la production d'hydrogène par électrolyse sans aucune émission devient une option de plus en plus viable. Selon des études récentes, on peut produire l'hydrogène par électrolyse au moyen d'énergie éolienne au coût d'environ 7 \$US/kg¹¹. Somme toute, le Canada apporte une juste contribution et redouble d'efforts pour s'imposer comme un important fournisseur d'hydrogène auprès de l'industrie des piles à combustible.

Powertech Labs

La station-service à hydrogène de Surrey, en Colombie-Britannique, qui fait partie intégrante du Programme des infrastructures liées à l'hydrogène comprimé (CH2IP), est exploitée par la société Powertech Labs Inc. Ouverte depuis mars 2002, cette station-service a été mise à niveau dès novembre 2002 pour alimenter les véhicules à l'hydrogène haute pression, devenant ainsi le premier du monde à distribuer le carburant à une pression de 70 mégapascals (10 000 lb/po²). Grâce à cette pression élevée, les véhicules à pile à combustible compatibles peuvent contenir davantage de carburant et offrir une autonomie accrue par rapport aux véhicules à pile équivalents dotés de systèmes à pression ordinaire (35 mégapascals). Le climat et les caractéristiques géographiques du Lower Mainland de même que l'accès à la station-service de Powertech font de la région de Vancouver l'endroit de choix pour tester la viabilité et l'endurance du véhicule à pile à combustible de Nissan.



Photo : Powertech Labs

Le Groupe Linde

Le Groupe Linde, qui exploite plus de 40 stations-service à hydrogène partout dans le monde, a établi plusieurs partenariats avec des entreprises canadiennes.



Photo : Le Groupe Linde

Des liens communs : des besoins des marchés à court terme à ceux des marchés de masse

Des progrès technologiques encore nécessaires

Des progrès dans les domaines suivants faciliteront une croissance rentable des recettes pour les entreprises de l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible :

- Réduction de la quantité de platine utilisée comme catalyseur sans aucune perte au chapitre de la performance ou de la durabilité
- Développement de membranes composites utilisant des ionomères peu coûteux
- Utilisation de supports de diffusion des gaz en continu comme point de départ pour la fabrication continue d'assemblages membrane-électrodes
- Technologies pour les procédés de scellement à grand volume
- Simplification de la conception et réduction du nombre de pièces
- Méthodes d'essais rapides pour les produits finis
- Stratégies de recyclage de produits
- Établissement de partenariats stratégiques avec des fournisseurs de composants et des intégrateurs de systèmes
- Établissement de partenariats stratégiques avec les producteurs ou fournisseurs d'hydrogène
- Amélioration de l'expertise en matière de marketing et de vente
- Amélioration de la qualité des produits et des services

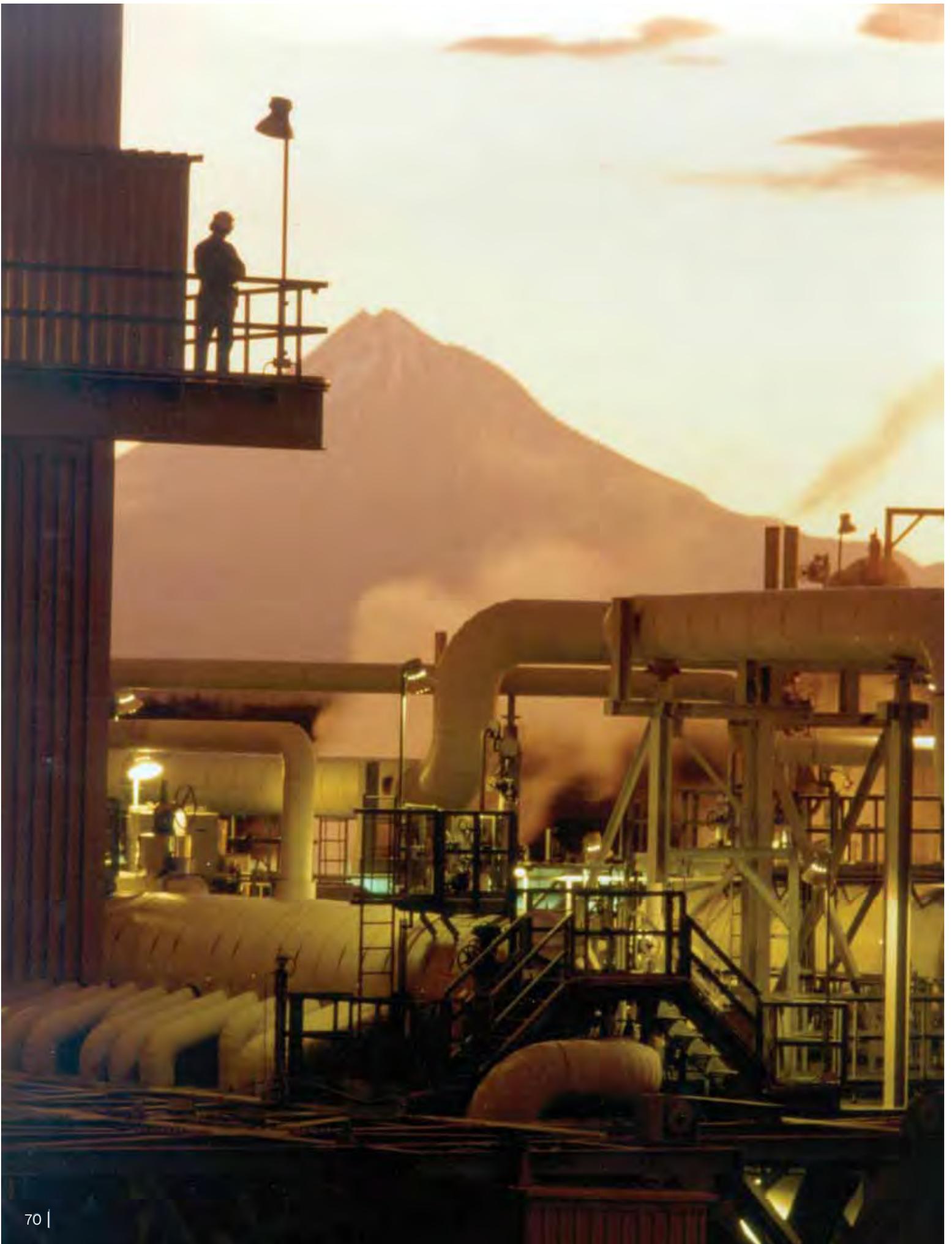
On observe de nombreux liens évidents et fort utiles entre les marchés à court terme et les marchés de masse dans des horizons plus lointains, par exemple, celui de l'automobile. La croissance et l'évolution de la chaîne d'approvisionnement, y compris le service après-vente, bénéficieront à terme au marché des véhicules légers à pile à combustible. Bien que les parallèles directs soient limités en ce qui a trait à la conception et au fonctionnement, d'autres perfectionnements de la technologie des assemblages de piles à combustible et des systèmes auxiliaires réduiront les coûts et amélioreront la performance. Les progrès dans le stockage, la purification et le déploiement de l'hydrogène ainsi que dans l'infrastructure connexe, à l'instar de la formation en matière de sûreté, auront une incidence favorable sur l'avènement des applications dans les marchés de masse. Les procédés continus ou hautement automatisés de fabrication, de montage et de mise à l'essai des assemblages et des systèmes de piles à combustible favoriseront aussi le développement d'applications destinées aux marchés de masse tout en ouvrant la voie à la croissance commerciale.

Les possibilités d'application de technologies, de composants et de procédés dictés par les marchés à court terme reposeront sur des technologies et des modèles propres à soutenir le lancement commercial de véhicules à pile à combustible. Si, comme bien des observateurs en sont convaincus, ces véhicules seront souvent hybrides, il est fort probable que des possibilités d'application se présenteront d'un marché à l'autre. Il y aura toutefois aussi d'autres domaines se rapportant aux éléments clés de l'interface assemblage-système, aux procédés de commande et de contrôle dans le groupe motopropulseur lui-même et à d'autres subtilités où le chevauchement dans l'apprentissage est plus limité.

Enfin, la croissance dans les marchés à court terme se traduira par une progression correspondante au chapitre de l'emploi et de la formation. Ces ressources aideront le Canada à s'imposer comme source de personnel qualifié capable de développer, de construire, de mettre à l'essai et de réparer les produits alimentés par pile à combustible. Les constructeurs automobiles considéreront le Canada comme un lieu de prédilection pour les fournisseurs tant de niveaux 1 et 2 que pour les usines de montage.



Photo : Ballard Power Systems



La voie de la commercialisation pour l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible

Concrétisation des marchés de masse

Le succès des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible dans les marchés de masse dépendra de leur capacité à offrir des solutions supérieures aux moteurs à combustion ou aux batteries actuellement sur le marché. Ce qui rend une technologie « supérieure », c'est l'équilibre entre les avantages techniques et sociaux.

Les piles à combustible pour les produits électroniques portables devraient ouvrir le bal (2009-2013)

Les produits portables énergivores qui utilisent les protocoles sans fil G3 et prennent en charge une panoplie de fonctions multimédias, y compris la vidéo en continu, le vidéophone et le GPS, créent une pénurie d'énergie. Aujourd'hui, les consommateurs d'appareils à la fine pointe doivent se munir de batteries de remplacement. Avec une demande énergétique appelée à quadrupler au cours des quatre prochaines années, les micropiles à combustible qui offrent une densité énergétique supérieure et peuvent être rechargées en dix minutes ou moins deviendront une solution viable pour remplacer les batteries lithium-ion.

Afin de participer à cette éventuelle application destinée à un marché de masse, les entreprises canadiennes qui développent des piles à combustible pour les produits électroniques portables devront s'associer avec les fournisseurs actuels de microbatteries pour les téléphones mobiles, les ordinateurs portables et d'autres produits électroniques portables.

La cogénération résidentielle émergera dans certains pays (2012-2017)

Dans le cas des systèmes de piles à combustible, le marché de la cogénération résidentielle est stimulé par l'aide publique offerte au Japon et, depuis moins longtemps, en Corée du Sud. La participation de l'industrie canadienne se fera donc dans le cadre de partenariats avec des organisations établies dans d'autres pays. Grâce à ces alliances, elles acquerront une connaissance de la technologie, de la fabrication et de la chaîne d'approvisionnement qui devrait renforcer leur compétitivité dans d'autres marchés à court terme – par exemple, alimentation d'appoint, manutention et autobus – et par le fait même les aider à s'imposer comme fournisseurs lorsque le marché de masse se concrétisera dans le secteur automobile.

Bien qu'il soit peu probable que la cogénération résidentielle devienne répandue en Amérique du Nord compte tenu du faible coût de l'électricité, on pourrait déployer dans les habitations des sous-systèmes de reformage à très bas coût pour l'alimentation en hydrogène des automobiles et des systèmes de piles à combustible pour les produits électroniques portables.

Les véhicules à pile à combustible représentent le nec plus ultra dans la catégorie des véhicules sans émissions (2015-2025)

Une excellente performance, des émissions nulles et une mobilité durable, voilà le nec plus ultra pour les constructeurs automobiles. À l'heure actuelle, GM, Toyota, Ford, Daimler et Honda développent un portefeuille de solutions assurant une mobilité durable, depuis les moteurs à combustion interne au biodiesel jusqu'aux véhicules hybrides rechargeables ou non et aux véhicules à pile à hydrogène. Ce scénario offre la possibilité de tirer parti de synergies entre la nouvelle technologie des véhicules hybrides rechargeables et les piles à combustible à hybridation lourde déployées dans les marchés de la manutention et des autobus. Les entreprises canadiennes qui participent à ces marchés à court terme devront mettre au point la technologie et le bassin de travailleurs qualifiés voulus pour être des participants prospères à l'étape finale du développement des véhicules sans émissions.



Comment l'infrastructure de l'hydrogène orientée vers les marchés de masse évoluera-t-elle? (2015-2025)

Les marchés initiaux des piles à combustible seront les premiers à faire une grande utilisation de l'hydrogène comme combustible. C'est pourquoi le déploiement de parcs de véhicules dans les marchés de la manutention et des autobus sera le premier élément de l'infrastructure de l'hydrogène orientée vers le marché de masse du secteur automobile. Le marché de la cogénération résidentielle pourra aussi fournir une assise pour l'alimentation domestique des véhicules à pile à combustible.

Ce déploiement d'une infrastructure de distribution d'hydrogène pour les parcs de véhicules renforcera le cadre de normes et de codes. Les règlements et les règles de sécurité convaincront les consommateurs, étape nécessaire pour appuyer un déploiement à grande échelle. En outre, les fournisseurs de carburant mettront au point la logistique de livraison ou les systèmes sur place nécessaires pour fournir du carburant de qualité de façon fiable. Comme la manutention et les parcs d'autobus sont concentrés dans les grands centres, l'infrastructure dans ce marché à court terme favorisera le déploiement initial de l'infrastructure de l'hydrogène comme carburant.¹²

Dans les cas où la grande priorité est de lutter contre la pollution urbaine et le changement climatique ou d'assurer la sécurité énergétique, l'infrastructure de l'hydrogène pourrait reposer sur la production centralisée d'hydrogène et d'électricité sans captage de carbone. Ces installations pourraient accroître les sources d'électricité renouvelables pour les véhicules hybrides rechargeables pile à combustible-électricité et acheminer l'hydrogène par pipeline aux stations-service ou aux habitations.

Les entreprises canadiennes qui connaissent un succès commercial dans les marchés à court terme seront bien placées pour exploiter les marchés de masse qui se concrétiseront. En outre, elles se trouveront en bonne position sur le plan de la propriété intellectuelle si des technologies nouvelles inattendues voient le jour. Par exemple :

- Si la technologie des systèmes de reformage embarqués pour le marché de la manutention s'avère viable, elle conviendrait aussi aux véhicules hybrides rechargeables à pile à combustible.
- Si les piles à combustible haute température deviennent économiques dans les applications de cogénération résidentielle, elles pourraient aussi être à la base d'une production fort peu coûteuse d'hydrogène en période creuse.
- Si les combustibles fossiles deviennent « durables » grâce au piégeage de carbone, on pourrait probablement utiliser l'hydrogène pour les véhicules à pile à combustible au lieu de le convertir en électricité pour les véhicules hybrides rechargeables. Il s'ensuit que les véhicules légers hybrides à pile à combustible pourraient bien constituer à long terme la solution la plus durable.

L'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible s'attache à atteindre la viabilité commerciale en exploitant les possibilités dans les marchés à court terme. Grâce à l'expertise et aux capacités acquises dans les marchés de la manutention, de l'alimentation d'appoint, de la cogénération résidentielle, des applications de transport en commun propres et des produits électroniques portables, les entreprises canadiennes seront plus aptes à jouer un rôle clé dans les marchés de masse à long terme. Les constructeurs automobiles et les autres partenaires stratégiques qui doivent avoir accès à une technologie compétitive de l'hydrogène et des piles à combustible rechercheront ces capacités reconnues, qui stimuleront l'intérêt d'investisseurs impatientes de participer à ces marchés de masse à mesure qu'ils se concrétiseront.

Pour l'industrie, la commercialisation passe donc des marchés à court terme aux marchés de masse, s'inscrivant ainsi dans la démarche qui s'est révélée porteuse pour d'autres technologies comme celles des ordinateurs personnels et des GPS.

Succès et interactions dans les marchés à court terme

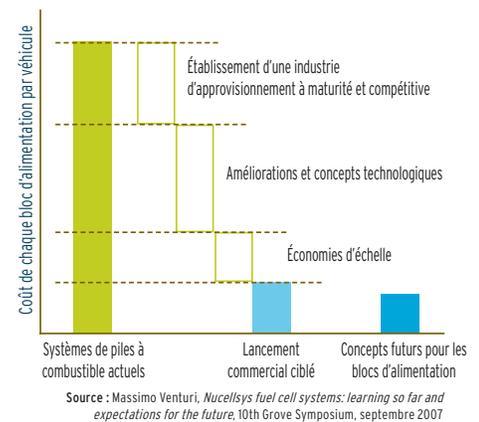
Si les problèmes de coût, de fiabilité et de durabilité ont été réglés avec succès au dire des pionniers dans certains marchés à court terme, ils continuent de susciter de grandes préoccupations chez d'autres.

La fabrication à grand volume pourrait éliminer certains coûts pour le marché de la cogénération résidentielle. En pareil cas, les volumes élevés aideraient à mettre en place une chaîne d'approvisionnement à maturité et compétitive tout en permettant des économies d'échelle grâce au déploiement de technologies de fabrication en grandes quantités et aux effets appréciables de la courbe d'apprentissage. La cogénération résidentielle peut donc représenter un marché à court terme dans les pays où les coûts énergétiques sont très élevés. Elle pourrait créer un noyau de fournisseurs compétitifs, notamment des fournisseurs d'assemblages et de composants de piles à combustible qui pourraient bénéficier de tous les marchés à court terme et aideraient à réduire les coûts dans le marché de masse du secteur automobile.

Mais il est peu probable que le volume de produits destinés aux marchés de la manutention, de l'alimentation d'appoint et des autobus suffise à lui seul à abaisser les coûts ou à permettre les économies d'échelle nécessaires pour mettre en place une chaîne d'approvisionnement à maturité et compétitive pour les véhicules automobiles. Le seul moyen d'agir sur les coûts dans le marché des autobus consiste à mener de la R-D et à élaborer des stratégies rentables de mise à niveau ou de recyclage. Toutefois, certains progrès réalisés dans le marché de la manutention pourraient être transférés à celui des autobus. À la lumière de besoins similaires en matière d'hybridation lourde, de durabilité et d'infrastructure, il y a lieu de croire que les efforts de R-D portant sur un marché donné pourraient avoir des retombées directes dans l'autre. En outre, le nombre accru de chariots élévateurs par site devrait créer une demande d'hydrogène comparable à celle du petit nombre d'autobus qui devraient être déployés dans ces premiers essais.

Dans le cas des produits électroniques portables, l'une des principales retombées tient au fait que le volume se traduit par des économies d'échelle pour la fabrication sans exiger d'investissements massifs de capitaux ni une grande consommation de matériaux. Si les entreprises arrivent à produire annuellement plus d'un million de piles à combustible pour les produits électroniques portables, la technologie de fabrication aura probablement été validée. En supposant qu'il s'agit d'une technologie évolutive, on aura accompli des progrès appréciables sur le front des objectifs en matière de coût dans les marchés de masse.

Figure 24 : Facteurs de la chaîne d'approvisionnement, de la R-D et de la fabrication propres à réduire les coûts



Comment le Canada peut-il maintenir sa position de chef de file?

Lorsque les entreprises canadiennes auront commencé à connaître le succès dans les marchés à court terme, plusieurs interventions pourront aider le Canada à demeurer un chef de file en tant qu'acteur clé dans l'industrie de l'hydrogène et des piles à combustible. Malgré les nouveaux avantages du pays, le leadership mondial de son industrie est menacé et il faut intervenir pour s'assurer qu'elle soit en mesure d'investir adéquatement dans son avenir. L'industrie et l'État doivent poursuivre leurs efforts conjoints afin que le Canada bénéficie des retombées économiques, environnementales et énergétiques pouvant découler de la combinaison de l'hydrogène et des piles à combustible.

Investir impérativement dans la R-D et enrichir les connaissances pour accélérer la commercialisation

- Rationaliser les efforts de R-D canadiens pour intensifier une coordination ciblée et adéquate
- Mettre l'accent sur la simplification et l'optimisation de la conception technique pour réduire les coûts et améliorer la qualité des produits
- Déterminer les mesures à prendre afin de réduire la quantité de platine requise et de le recycler et élaborer des stratégies ingénieuses pour l'établissement des prix
- Mettre en place des procédés de fabrication en continu
- Établir des programmes interfonctionnels en sciences et en génie dans les universités pour accroître la connaissance et l'expertise dans le secteur

Mettre en place des chaînes de valeur mondiales pour réduire les coûts

- Encourager l'établissement de relations stratégiques au niveau des fournisseurs entre les entreprises internationales et les entreprises de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible
- Assurer l'accès à une fabrication spécialisée à faible coût à l'étranger pour les composants de piles à combustible afin de mettre en place une chaîne d'approvisionnement robuste pour les marchés à court terme
- Consolider et intégrer les chaînes d'approvisionnement afin de réduire les coûts
- Promouvoir l'acquisition d'une expertise en matière de services et de recyclage

Adopter les normes et les codes à l'échelle locale

- Accélérer l'élaboration de normes et de codes mondiaux ainsi que leur adoption à l'échelle locale pour assurer le déploiement soutenu de l'infrastructure de l'hydrogène et des produits alimentés par pile à combustible.

Déployer des produits commerciaux pour assurer la viabilité

financière

- Veiller à ce qu'une garantie et un service après-vente efficaces soient offerts
- Encourager les collèges techniques à mettre sur pied des programmes de formation permettant l'acquisition de compétences axées sur les services pour les produits alimentés par pile à combustible
- Élaborer des stratégies de recyclage pour les principaux composants
- Appuyer les investissements par les sociétés d'État et tous les paliers de gouvernement en faveur de l'adoption initiale d'applications dans les marchés à court terme, par exemple, le transport en commun
- Offrir des prêts à faible taux d'intérêt et un amortissement accéléré des coûts en capital pour l'achat d'équipement de fabrication de piles à combustible
- Examiner la possibilité de lancer à l'intention des premiers utilisateurs industriels des programmes d'encouragements publics axés sur le partage des coûts et des risques

La voie de l'avenir

Une commercialisation efficace dans les marchés à court terme apportera une valeur appréciable pour les marchés de masse, notamment en aidant les entreprises en place à demeurer en activité, en générant des bénéfices, en renouvelant la confiance et l'intérêt des investisseurs; en assurant une expansion soutenue de l'emploi et de l'acquisition de compétences clés pour les futurs marchés de masse; en stimulant l'activité commerciale pour amener les fournisseurs de composants à développer de meilleurs matériaux; et en aidant à bien faire comprendre les technologies d'hybridation, les stratégies de contrôle et les logiciels qui pourraient être utilisés directement dans les applications destinées aux marchés de masse.



Conclusion

Pionnier de l'industrie planétaire, le Canada demeure un chef de file mondial du développement et de la commercialisation des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible. Depuis 2003, de nombreuses entreprises canadiennes ont restructuré leurs activités et cessé d'investir dans la recherche-développement portant sur les automobiles à pile à combustible pour privilégier la vente de produits dans les marchés à court terme. D'autres ont commencé à cibler expressément les marchés à court terme dès le début. Ce recentrage a permis aux entreprises de se concentrer sur les applications qui généreront des sources de recettes initiales et renforceront la confiance des investisseurs. Des progrès appréciables ont été accomplis au cours des cinq dernières années – le coût et la performance des piles à combustible ont affiché une amélioration de 600 % et l'industrie a collaboré avec le gouvernement pour créer les premiers projets de démonstration intégrés à grande échelle dans le monde – l'Autoroute de l'hydrogène et le Village de l'hydrogène.

Aujourd'hui, les piles à combustible fabriquées par les entreprises canadiennes sont soumises à des essais rigoureux et déployées sur une base commerciale pour la cogénération résidentielle, l'alimentation d'appoint, les produits électroniques portables, la manutention et les autobus. Le Canada y est pour beaucoup dans le taux de croissance annuel de 59 % des appareils à pile à combustible à l'échelle mondiale.

À moyen ou à court terme, on prévoit que l'infrastructure actuelle de l'hydrogène permettra de répondre aux besoins des marchés des piles à combustible spécialisés. L'hydrogène gazeux comprimé, l'hydrogène réfrigéré et l'hydrogène résiduel permettront d'approvisionner adéquatement les marchés de la manutention, de l'alimentation d'appoint et des autobus. Comme le Canada dispose d'une base énergétique diversifiée, différentes options s'offrent à lui pour produire de l'hydrogène, notamment les sources d'énergie renouvelables, l'hydroélectricité, le gaz naturel ainsi que le charbon avec captage et piégeage du carbone, et il peut devenir un important fournisseur d'hydrogène à l'échelle mondiale.

Les entreprises canadiennes n'ont d'autre choix que de s'implanter avec succès dans ces marchés à court terme afin d'avoir les reins assez solides pour participer aux marchés de masse à long terme. Sur le front du renforcement des capacités, il faudra notamment continuer d'accroître le bassin de personnel qualifié (études techniques et fabrication) ainsi que la capacité de production et les activités connexes de recherche universitaire et publique. Des programmes de R-D rationalisés et ciblés pour la commercialisation, l'appui à l'expansion des chaînes de valeur mondiales, l'adoption efficace des normes et des codes à l'échelle locale ainsi que le déploiement rentable de produits aideront aussi le Canada à demeurer un acteur clé de l'industrie mondiale de l'hydrogène et des piles à combustible.

À mesure que s'ouvriront les marchés de masse de l'hydrogène et des piles à combustible touchant les produits électroniques portables, la cogénération résidentielle et les véhicules électriques, les équipementiers et les autres partenaires stratégiques en quête d'une technologie et d'un savoir-faire concurrentiels dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustible rechercheront les capacités canadiennes reconnues dans les marchés à court terme. Le Canada a la possibilité de stimuler la commercialisation de ces technologies mises au point sur son territoire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique et atténuer ainsi les effets du changement climatique tout en venant en aide à de nombreux secteurs, notamment ceux des transports, de la fabrication et des télécommunications.

Références et bibliographie

Références

1. Hydrogène et Piles à combustible Canada. *Trend Analysis Report to Industry Canada*, 2007, p. 26 à 57.
2. Gouvernement du Canada. *Vers une stratégie nationale sur l'hydrogène et les piles à combustible : Document de discussion pour le Canada*, 2006.
3. « Sustainable economics with clean and energy efficient vehicles », Communiqués de presse RAPID, 2007; <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/07/594>, consulté le 28 octobre 2008.
4. Hydrogen Bus Alliance (sous la dir. de). *Hydrogen Bus Alliance* [Page d'accueil du site Web de la Hydrogen Bus Alliance]; <http://www.hydrogenbusalliance.org/>, consulté le 28 octobre 2008.
5. *AIM Flotation Road Show Presentation in PolyFuel*, document PDF, 2005; <http://ir.polyfuel.com/pyf/highlights/presentations/>, consulté le 28 octobre 2008.
6. Fuel Cell Today (sous la dir. de). *The Fuel Cell Today Industry Review 2008, Fuel Cells: Commercialisation*, 2008.
7. PricewaterhouseCoopers (sous la dir. de). Sondage mené en 2007 par PWC auprès des sociétés ouvertes de l'industrie des piles à combustible, 2007.
8. PricewaterhouseCoopers (sous la dir. de). *Profil de l'industrie canadienne de l'hydrogène et des piles à combustible 2007*, 2008.
9. Wise, Jeff. « The Truth about Hydrogen », *Popular Mechanics*, 2006, ©2008; <http://www.popularmechanics.com/technology/industry/4199381.html>, consulté le 28 octobre 2008.
10. Angstrom Power Inc. (sous la dir. de). Communiqués de presse, *Angstrom Power Inc.: Better than Batteries™*, 2008 [Page d'accueil du site Web d'Angstrom Power Inc.]; http://www.angstrompower.com/press_release/news_2008_01_08.html, consulté le 28 octobre 2008.
11. Levy, Dawn. « Researchers envision a hydrogen economy, fueled by wind and new technology », *Stanford News Service* [Page d'accueil du site Web de l'Université Stanford]; <http://news-service.stanford.edu/news/2005/july13/hydrogen-071305.html>, consulté le 28 octobre 2008.
12. Gronich, Sig. *2010-2025 Scenario and Infrastructure Analysis*, présentation au Hydrogen Technology Advisory Committee du département de l'Énergie des États-Unis, 2007.

Bibliographie

- Angstrom Power Inc. (sous la dir. de). *Angstrom Power Inc.: Better than Batteries™*, ©2008 [Page d'accueil du site Web d'Angstrom Power Inc.]; <http://www.angstrompower.com/>, consulté le 28 octobre 2008.
- Ballard Power Systems Inc. (sous la dir. de). *Accelerating Fuel Cell Market Adoption*, document PDF, 2008; http://media.corporate-ir.net/media_files/irol/76/76046/BallardCorpPresFINAL.pdf, consulté le 29 octobre 2008.
- Ballard Power Systems Inc. (sous la dir. de). *Hydrogen Power in Buses - Ballard Power*, ©2008 [Page d'accueil du site Web de Ballard Power Systems Inc.]; <http://www.ballard.com>, consulté le 28 octobre 2008.
- FuelCell Today. « Ballard and Voller sign fuel cell supply agreement », 2007, ©2008 [Page d'accueil du site Web de Fuel Cell Today]; <http://www.fuelcelltoday.com/online/news/articles/2007-10/Ballard-and-Voller-sign-fuel-cel>, consulté le 29 octobre 2008.
- Hydrogenics Corporation (sous la dir. de). *Hydrogenics* [Page d'accueil du site Web de Hydrogenics Corporation]; <http://www.hydrogenics.com>, consulté le 28 octobre 2008.
- Medwin, Steve. *Application of Fuel Cells to Fork Lift Trucks*, document PDF, 2005; http://www.raymondcorp.com/das/PDF_storage/TechnicalPapers/0130FuelCells.pdf, consulté le 29 octobre 2008.
- New Energy and Industrial Technology Development Organization (sous la dir. de). *Fuel Cell and Hydrogen Technologies - 7*, document PDF, 2007; http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/pamphlets/kouhou/2007gaiyo_e/79_86.pdf, consulté le 28 octobre 2008.
- New Scientist (sous la dir. de). « How traffic pollution damages the heart », *New Scientist*, 2008.
- Services consultatifs PricewaterhouseCoopers (sous la dir. de). *Impact Assessment on a New Approach for The Cleaner and More Energy Efficient Vehicles Directive Proposal*, rapport final, document PDF, 2007; http://ec.europa.eu/transport/clean/promotion/doc/2008_ia_dir_en.pdf, consulté le 28 octobre 2008.
- Status and Prospects for Zero Emission Vehicle Technologies*, rapport présenté au California Air Resources Board par un comité d'experts indépendant, 2007.
- The Freedonia Group (sous la dir. de). « Hybrid Electric Vehicles & Competing Automotive Powerplants - Market Research, Market Share, Market Size, Sales, Demand Forecast, Market Leaders, Company Profiles, Industry Trends », *The Freedonia Group - Market Research*, 2006, ©2008 [Page d'accueil du site Web du Freedonia Group]; <http://www.freedoniagroup.com/Hybrid-Electric-Vehicles-And-Competing-Automotive-Powerplants.html>, consulté le 29 octobre 2008.
- Tucker, Patrick. « Futurists forecast rapidly growing competition in the hybrid marketplace », *PR Leap*, ©2007; <http://www.prleap.com/pr/80105/>, consulté le 28 octobre 2008.
- Venturi, Massimo. *Nucellsys fuel cell systems: learning so far and expectations for the future*, 10th Grove Symposium, 2007.

Entreprises et organisations participantes

