

# Initiative de recherche et développement en technologie et en innovation



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada 

**Pour obtenir la version imprimée de cette publication, veuillez communiquer avec :**

Bureau de recherche et de développement énergétiques  
Ressources naturelles Canada  
580, rue Booth, 14<sup>e</sup> étage  
Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Tél : 613-995-9453  
Telec. : 613-995-6146  
Courriel : oerd.brde@mcan.gc.ca

**Autorisation de reproduction**

Sauf indication contraire, l'information contenue dans cette publication peut être reproduite, en totalité ou en partie et par tout moyen, sans frais et sans autre autorisation de Ressources naturelles Canada, pourvu qu'une diligence raisonnable soit exercée dans le but d'assurer l'exactitude de l'information reproduite, que Ressources naturelles Canada soit identifié comme étant la source de l'information et que la reproduction ne soit pas présentée comme une version officielle de l'information reproduite ni comme ayant été faite en association avec Ressources naturelles Canada ou avec l'approbation du ministère.

Les opinions et déclarations contenues dans cette publication n'engagent que leur auteur et ne reflètent pas nécessairement la politique de Ressources naturelles Canada ou du gouvernement du Canada.

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2009

No de catalogue : M159-5/2009F-PDF

ISBN : 978-1-100-91692-7

Also available in English under the title *Summary Report for the Technology and Innovation Research and Development Initiative*.

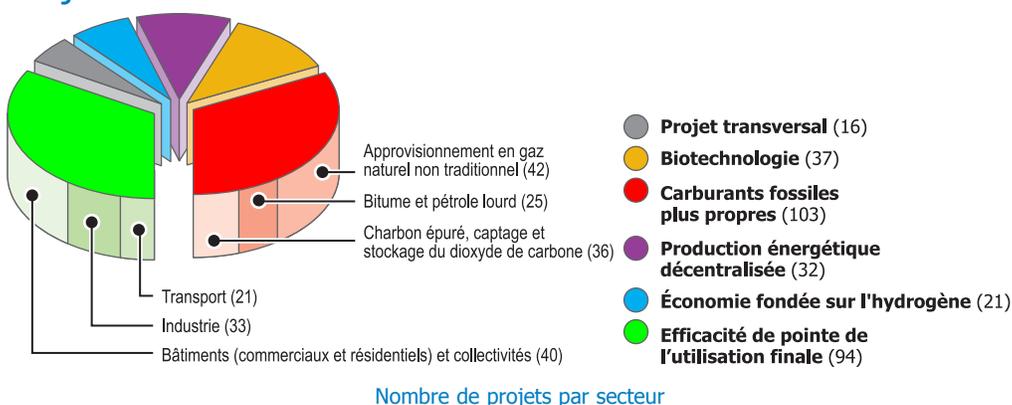
## Initiative de recherche et développement en technologie et en innovation

### Coup d'œil

L'Initiative de recherche et développement (R-D) en technologie et en innovation a été mise en place par le gouvernement du Canada pour faire progresser les technologies visant à réduire à long terme les gaz à effet de serre et renforcer la capacité du Canada en matière de technologie d'énergie propre. Le Bureau de la recherche et du développement énergétiques de Ressources naturelles Canada a coordonné et géré l'Initiative de R-D en technologie et en innovation pour assurer la réalisation des projets, le transfert des connaissances, et paver la voie pour un avenir énergétique propre.

Nombre total de projets appuyés :	<b>303</b>
Attribution des fonds :	<b>115 M\$</b>
Pourcentage moyen de recours au levier financier :	<b>229 %</b>
Plage de valeur en dollars des investissements :	<b>20 000 \$ à 2 411 000 \$</b>

### Projets



#### Biotechnologie

Nombre de partenariats formés : 254  
Financement total de l'Initiative : 20 M\$

#### Carburants fossiles plus propres

Nombre de partenariats formés : 286  
Financement total de l'Initiative : 40 M\$

- **Approvisionnement en gaz non traditionnel**

Nombre de partenariats formés : 217  
Financement total de l'Initiative : 10 M\$

- **Bitume et pétrole lourd**

Nombre de partenariats formés : 31  
Financement total de l'Initiative : 15 M\$

- **Charbon épuré, captage et stockage du dioxyde de carbone**

Nombre de partenariats formés : 38  
Financement total de l'Initiative : 15 M\$

#### Production énergétique décentralisée

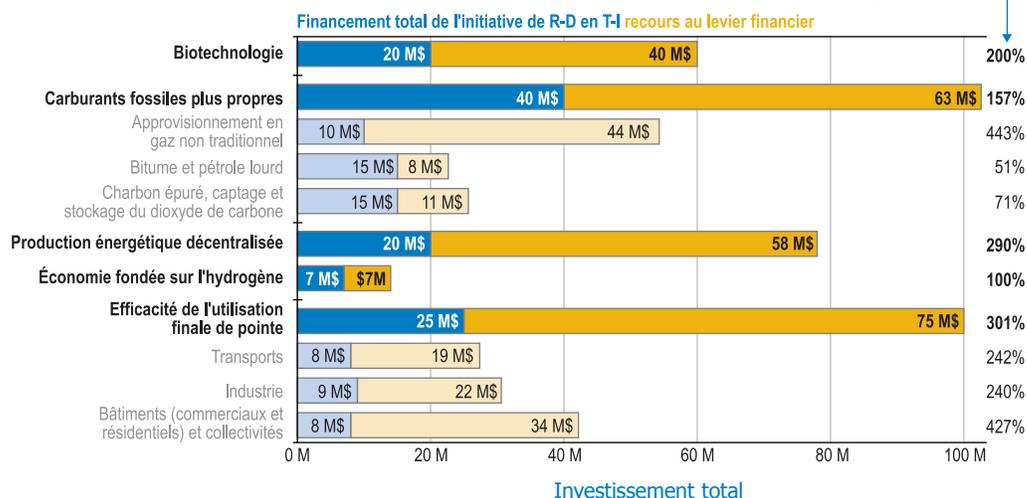
Nombre de partenariats formés : 62  
Financement total de l'Initiative : 20 M\$

#### Économie fondée sur l'hydrogène

Nombre de partenariats formés : 25  
Financement total de l'Initiative : 7 M\$

### Investissement

Pourcentage du total de recours au levier financier (\$ + en espèces)



#### Efficacité de l'utilisation finale de pointe

Nombre de partenariats formés : 213  
Financement total de l'Initiative : 25 M\$

- **Transports**

Nombre de partenariats formés : 41  
Financement total de l'Initiative : 8 M\$

- **Industrie**

Nombre de partenariats formés : 50  
Financement total de l'Initiative : 9 M\$

- **Bâtiments (commerciaux et résidentiels) et collectivités**

Nombre de partenariats formés : 122  
Financement total de l'Initiative : 8 M\$

# Table des matières

<b>Modifier les perspectives sur le changement climatique</b> .....	<b>1</b>
<b>Faits saillants des projets</b> .....	<b>3</b>
● <b>Biotechnologie</b> .....	<b>5</b>
● <b>Combustibles fossiles plus propres</b> .....	<b>11</b>
Approvisionnement en gaz naturel non traditionnel .....	11
Bitume et pétrole lourd .....	15
Charbon épuré, captage et stockage du dioxyde de carbone .....	18
● <b>Production énergétique décentralisée</b> .....	<b>23</b>
● <b>Économie fondée sur l'hydrogène</b> .....	<b>29</b>
● <b>Efficacité de pointe de l'utilisation finale</b> .....	<b>33</b>
Transport .....	33
Industrie .....	37
Bâtiments (commerciaux et résidentiels) et collectivités .....	43
<b>Perspectives</b> .....	<b>47</b>
<b>Partenaires</b> .....	<b>49</b>
<b>Ensembles de données synthèse</b> .....	<b>51</b>

## Modifier les perspectives sur le changement climatique

Le changement climatique constitue un défi mondial urgent, et c'est un défi sur lequel le Canada a la responsabilité de se pencher. Trouver des moyens d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre (GES) est une façon de faire face à ce défi. Comme les émissions de GES proviennent de plusieurs secteurs canadiens, la solution canadienne doit comporter plusieurs facettes, ce qui n'est pas une mince tâche.

Le 21 novembre 2002, le gouvernement du Canada a publié le *Plan sur les changements climatiques pour le Canada*. L'année suivante, on annonçait dans le Budget 2003 que le gouvernement puiserait 250 M\$ dans ce plan pour lancer l'Initiative en matière de technologie et d'innovation appliquée au changement climatique, dont 115 M\$ étaient alloués à l'Initiative de recherche et développement (R-D) en technologie et en innovation (T-I). L'objectif de l'Initiative de R-D en T-I était de mettre l'accent sur les projets qui feraient progresser les technologies prometteuses pour atteindre des réductions à long terme de GES et renforcer la capacité du Canada en matière de technologie en énergie propre. Le Bureau de recherche et développement énergétiques de Ressources naturelles Canada a coordonné et géré l'Initiative de R-D en T-I pendant sa durée de cinq ans, commençant en octobre 2003 et se terminant en mars 2008.

Grâce à l'Initiative de R-D en T-I, le gouvernement du Canada a déterminé cinq secteurs stratégiques qui pourraient devenir des secteurs de réductions significatives des émissions de GES : biotechnologie, combustibles fossiles plus propres, production énergétique décentralisée, économie d'hydrogène, et efficacité de l'utilisation finale de pointe. Parmi ces cinq secteurs stratégiques, neuf domaines technologiques ont été établis, en vertu desquels les projets pourraient être financés.

### Diriger l'Initiative de R-D en T-I

Chaque domaine technologique a été géré par l'entremise de groupes d'experts, constitués d'experts interministériels fédéraux en science et technologie (S-T) et de décideurs, chapeauté par un leader des groupes d'experts (LGE). Un groupe de conseillers externes formé d'intervenants des provinces, des universités et de l'industrie secondait le groupe d'experts. Le LGE présentait ensuite un rapport au Comité permanent interministériel des directeurs généraux qui étudiait et approuvait les projets, exerçait la surveillance et faisait le suivi du progrès pour assurer que les projets atteignaient les objectifs de l'Initiative de R-D en T-I.

Domaine stratégique	Groupes d'experts
1. Biotechnologie	1. Biotechnologie
2. Carburants fossiles plus propres	2. Approvisionnement en gaz non traditionnel
	3. Bitume et pétrole lourd
	4. Charbon épuré, captage et stockage du dioxyde de carbone
3. Production énergétique décentralisée	5. Production énergétique décentralisée
4. Économie fondée sur l'hydrogène	6. Économie fondée sur l'hydrogène
5. Efficacité de pointe de l'utilisation finale	7. Transports
	8. Industrie
	9. Bâtiments (commerciaux et résidentiels) et collectivités

### Vaincre les obstacles

À mesure que l'Initiative de R-D en T-I se déployait, on a instauré un programme transversal qui couvrait les projets dans plusieurs domaines technologiques. Le programme se composait de deux éléments : de la technologie à la commercialisation (T2M) et l'application intégrée (AI). Le but de la composante T2M consistait à appuyer les technologies émergentes le long de la courbe d'innovation vers le déploiement au moyen d'évaluations en profondeur du marché, de méthodes normalisées d'évaluation des GES, d'appui aux stratégies de diffusion, et d'un site Web contenant l'information nécessaire. La composante AI reconnaissait que certaines des technologies prometteuses sont interdisciplinaires, s'étendant à plus d'un domaine technologique dans l'Initiative de R-D en T-I. Ainsi, les composantes favorisaient les synergies entre groupes – se penchant sur une lacune importante au niveau de la recherche qui autrement passerait inaperçue – et appuyaient l'orientation générale en recherche du programme transversal.

## Résultats — Maintenant et dans le futur

L'Initiative de R-D en T-I était axée sur une planification stratégique à long terme, mais elle avait envisagé aussi les possibilités de réaliser des réductions d'émissions de GES à court et à moyen terme. Les résultats à court terme s'appuyaient sur le développement rapide d'options de technologie propre, qui offraient des progrès supplémentaires dans l'économie énergétique. À moyen et à plus long terme, établir des ponts entre les technologies aidera le Canada à faire la transition vers un avenir énergétique à bas niveau d'émissions. Avec le temps les technologies de la prochaine génération transformeront les procédés et donneront lieu à un avenir énergétique propre où la société, son infrastructure et ses industries fonctionneront de façon durable et où le potentiel maximal pour atténuer les changements climatiques aura été atteint.

## Ce rapport

Ce rapport a pour objet de diffuser et de mettre en lumière certains des succès et des résultats de l'Initiative de R-D en T-I au cours des cinq années. Les projets mis en lumière couvrent le cycle d'innovation de l'application de la R-D jusqu'aux premières étapes de développement. Les projets mis en lumière ont aussi appuyé le travail d'élaboration de la réglementation et des politiques. Pour de plus amples renseignements sur ces projets, veuillez communiquer avec le Bureau de recherche et de développement énergétiques, Ressources naturelles Canada, 580, rue Booth, 14<sup>e</sup> étage, Ottawa, Ontario, K1A 0E4 par la poste ou par courriel : [oerd.brde@nrca.gc.ca](mailto:oerd.brde@nrca.gc.ca)



## **Faits saillants des projets**



## Biotechnologie

Le Canada possède des sources abondantes de biomasse et un large potentiel pour développer une économie plus durable basée sur la biomasse. Le secteur de la biotechnologie a été mis en place pour exploiter le potentiel de ressources biologiques, de bioénergie, de produits et de processus biologiques pour aider les industries canadiennes à devenir plus éconergétiques et durables, et pour contrer les changements climatiques. Notamment, les projets financés en vertu de ce domaine technologique mettent l'accent sur les recherches et le développement des technologies qui convertissent efficacement et économiquement diverses formes de biomasse en biocombustibles et autres produits utiles comme les produits chimiques et les biopolymères. La plupart des activités du projet dans ce domaine technologique se classaient dans la catégorie de R-D appliqués, et visaient à faire le pont entre la recherche fondamentale et les projets de démonstration.

### Premier pas de l'étude des combustibles dérivés de la biomasse

Comme l'équipe de recherche était alimentée par les préoccupations économiques et la grande quantité d'émissions de GES associées à l'utilisation de gaz naturel dans les industries de pâtes et papiers et de ciment, celle-ci a entrepris d'évaluer le remplacement du gaz naturel par des combustibles dérivés de la biomasse pour les fours à chaux de pâtes et papiers et les fours à ciment. Le projet consistait à effectuer une analyse du cycle de vie de l'approvisionnement de biomasse pour les fours à chaux et à ciment, incluant l'examen de divers besoins logistiques et techniques relatifs à l'exploitation de la biomasse. Le travail lié au projet comportait aussi l'établissement des caractéristiques physico-chimiques des combustibles dérivés de la biomasse et la quantification de la concentration de contaminants (tels que l'aluminium et le silicone) pendant les étapes de fabrication de chaux aux usines à l'étude. Les initiatives de remplacement de combustibles comme ce projet sont conformes à la stratégie à long terme du Réseau canadien d'innovation sur la biodiversité (RCIB) en ce qu'elles répondent aux besoins pressants d'énergie et aux restrictions concernant les émissions de GES.

**Titre du projet :** Analyse des combustibles dérivés de la biomasse pour utilisation dans les fours à chaux de pâtes et papiers et les fours à ciment.

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Advanced Biorefinery Inc., Alberta Pacific, Bowater Thunder Bay, Canfor Prince George, Cariboo Quesnel, Catalyst Elk Falls, Domtar Espanola, Ensyn Technologies, FPInnovations – Paprican, Howe Sound Pulp and Paper, Irving Saint John, Druger de Trois-Rivières, Lafarge d'Amérique du Nord, Nexterra Energy Corporation, Accord de mise en œuvre de la bioénergie de l'AIE – Tâche 33, Tembec Skookumchuck, Tolko Manitoba Kraft Papers, Université de la Colombie-Britannique, Centre de recherche VTT (Finlande)

### Réalisations :

- » Les données obtenues de plus de dix usines dans l'ensemble du Canada ont suscité une sensibilisation et une compréhension des technologies et processus relativement à la transformation et à l'utilisation de la biomasse.
- » La production de connaissances utiles pour les pâtes et papiers et cimenteries tendant à remplacer les combustibles fossiles par des combustibles dérivés de la biomasse.
- » Attente que cette recherche mènera à l'installation du premier four à chaux commercial alimenté par la biomasse dans une usine de la Colombie-Britannique.
- » Articles scientifiques et rapports techniques, ateliers.
- » Partenaires stratégiques parmi les chercheurs, adopteurs et utilisateurs finaux.
- » Évaluation du cycle de vie des paramètres technologiques, économiques et environnementaux.

### La styromousse est remplacée par des matériaux renouvelables à base d'amidon.

La sensibilisation accrue du public, les nouvelles orientations du marché, et l'amélioration du rendement économique des bio-matériaux ont créé des conditions favorables pour les fabricants, les incitant à remplacer les matériaux à base de pétrole synthétique par des biopolymères à base d'amidon pour la production de produits de courte durée tels que tasses jetables et emballage. Ce projet a été lancé pour mettre au point et promouvoir les biopolymères à base d'amidon, mettant l'accent sur les mélanges et alliages d'amidon

thermoplastique et autres biopolymères tels que les polyhydroxycanoates et les polylactides. Ces matériaux sont produits entièrement de sources renouvelables et sont biodégradables.

**Titre du projet :** Mise au point et production de biopolymères à base d'amidon

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Conseil national de recherches du Canada – Institut des matériaux industriels, Agriculture et Agroalimentaire Canada, École Polytechnique de Montréal

### Réalisations :

- » L'acide polylactique et l'amidon thermoplastique ont été compatibilisés avec succès (mêlés pour former un mélange homogène). Ceci est une découverte importante qui peut se convertir en utilisation de matériaux d'origine biologique, en particulier pour les articles moulés, les pellicules d'emballage et les matériaux de styromousse.
- » Les participants ont effectué un projet concerté menant à des essais pilotes avec un important fabricant d'emballages de styromousse d'Amérique du Nord. Uniquement dans l'emballage de styromousse (par ex., assiettes, plateaux, tasses à café), le fabricant utilise 150 000 tonnes de polystyrène. Même un remplacement partiel de matériel à base d'amidon pourrait être très avantageux pour l'environnement.
- » Le travail lié au projet concernant le triticales, qui est une forme hybride de blé et de seigle, s'est soldé par la fabrication réussie de matériaux à base de triticales. Ce succès a mené à la collaboration continue du Conseil national de recherches du Canada avec Agriculture et Agroalimentaire Canada dans l'Initiative canadienne de bioraffinerie du triticales.
- » La recherche réalisée dans ce projet a permis la publication de 10 articles scientifiques dans des journaux internationaux, très respectés et examinés par les pairs et a suscité plus de 25 présentations dans des forums nationaux et internationaux. Un article publié dans le journal *Polymer* en janvier 2007, décrivant la recherche effectuée sur la compatibilisation de l'amidon thermoplastique et des mélanges de PLA, a été le septième article le plus téléchargé de ce journal en 2007. Les micrographies de mousses fabriquées de ces mêmes matériaux ont fait la une du journal *Macromolecular Bioscience* en juillet 2007. Cette recherche a aussi été présentée à l'émission scientifique *Le code Chastenay*, au réseau de Télé-Québec.

## Le portail d'information permet l'analyse de la biomasse du Canada

Les industries partout au Canada génèrent des résidus biologiques ou de la biomasse. La biomasse comprend des sources ligneuses et non ligneuses (herbacées), notamment les résidus de céréales, les déchets des usines forestières, les résidus de la coupe de bois, et les déchets urbains de bois. Ces sources de biomasse peuvent être utilisées comme matières premières pour générer de la bioénergie, des biocombustibles et d'autres produits biologiques.

L'équipe du projet a effectué un inventaire national de la biomasse agricole et forestière dans le but de tracer un portrait complet et cohérent de la quantité, de la qualité, du coût et des possibilités offertes par la biomasse disponible. L'information sur la disponibilité de biomasse ligneuse récupérée des milieux urbains a été obtenue grâce à des sondages et à des inspections des systèmes de gestion de déchets urbains. En conjuguant cette information avec la technologie des systèmes d'information géographique (SIG), l'équipe du projet a élaboré un portail d'information sur la toile qui sera accessible au public et permettra aux utilisateurs de déterminer la faisabilité d'utiliser la biomasse herbacée et ligneuse comme matière première.

**Titre du projet :** Inventaire et analyse axés sur le SIG de la biomasse agricole et forestière

**Exécutants et partenaires :** Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ressources naturelles Canada – Centre canadien sur la fibre du bois du Service canadien des forêts, Above Board Inc., FPInnovations – Institut canadien de génie forestier, Manitoba Conservation, Southwestern Ontario Bioproducts Innovation Network, Sweitzer-Mauduit, Université de la Colombie-Britannique

### Réalisations :

- » Création d'un portail d'information sur la biomasse, qui comprend des bases de données et un outil d'aide à la décision sur la toile utilisant des technologies du SIG, qui détectent les sources de matières premières formées de biomasse herbacée et ligneuse durable localisée par catégorie.
- » Le portail fournira des renseignements clés aux décideurs — une infrastructure du transport disponible, des plans d'eau importants, la couverture terrestre et l'emplacement des milieux urbains — essentiels à l'exploitation des résidus et des déchets de biomasse par l'industrie.

- » Le portail d'information sur la biomasse peut aussi être utilisé par les investisseurs, les décideurs et les chercheurs pour évaluer la présence et la localisation des inventaires de matières premières dérivées de la biomasse et caractériser à l'avenir la biomasse disponible, prédire la durée de vie ou la durabilité et évaluer les incidences socio-économiques et environnementales de la récupération et la transformation de biomasse.
- » Le projet a fait progresser la connaissance et la compréhension du potentiel des ressources de biomasse existantes et s'est soldé par une collaboration interministérielle accrue au sein du gouvernement fédéral et d'avantage d'engagement de la part des gouvernements provinciaux et des intervenants de l'industrie.

## Croissance de bioénergie

Alors que l'industrie de la bioénergie prend son envol, il se crée un besoin pour l'élaboration de systèmes de production durables spécialisés dans la biomasse pour la production bioénergétique au Canada. L'objectif de ce projet consistait à élaborer de nouvelles connaissances et une technologie permettant au Canada de mettre en place jusqu'à 1,3 million d'hectares de nouvelles plantations agroforestières à révolution courte d'ici 2025. Dans ce contexte, l'agroforesterie à courte révolution se définit par la culture de produits à croissance rapide, à rendement élevé et qui demandent peu d'entretien pour la transformation en biocombustibles et produits biologiques. Les cultures ligneuses et herbacées qui pousseraient sur ces 1,3 hectares devraient produire 23 millions de tonnes de matières premières dérivées de la biomasse par année, une réduction de 30 mégatonnes d'émissions de GES, et 4,1 % de la consommation totale d'énergie au Canada. Ce projet s'est concentré sur quatre systèmes axés sur les saules ou les peupliers hybrides.

**Titre du projet :** Développer des systèmes de plantations et d'agroforesterie pour la production bioénergétique au Canada

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada – Service canadien des forêts, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Institut de recherche en biologie végétale – Jardin Botanique de Montréal, et Ressources naturelles Canada – CanmetÉNERGIE en collaboration avec 11 universités et instituts de recherche, notamment la State University of New York (SUNY-ESF), 25 entreprises dont Enerkem, Ensyn et Uniboard of Canada, 17 organisations provinciales et régionales incluant le Saskatchewan Research Council et Réseau Ligniculture Québec (RLQ), 6 municipalités, et plus de 100 propriétaires fonciers.

## Réalisations :

- » Le projet a mis en place un réseau d'essais sur le terrain dans l'ensemble du Canada pour sélectionner les espèces prometteuses de saules indigènes pour une culture intensive à courte révolution (CICR). Les résultats préliminaires indiquent que la production de biomasse dérivée des saules indigènes est comparable à ce qui est trouvé dans les clones de saules exotiques utilisés présentement au Canada.
- » Le projet a mis en place un réseau de sites dans divers écosecteurs au Canada pour évaluer la production de biomasse ligneuse et la séquestration de carbone de systèmes de plantations à courte révolution soumises à diverses pratiques de gestion des terres. Ces systèmes comprennent les premiers sites de CICR des Prairies canadiennes.
- » Le projet a fait des essais de nouveaux clones de saules et de pratiques améliorées de culture. La séquestration du carbone dans la biomasse de surface produite grâce à la CICR s'est avérée beaucoup plus élevée que dans les systèmes naturels. Création d'une base de données pour stocker l'information sur la composition des cultures et faire le suivi des données d'entrée dans les questions prévues de prétraitement et de rendement de la transformation. Ces bases de données aideront les installations de transformation à faire un estimé des coûts d'approvisionnement.
- » Le projet a terminé la validation scientifique et l'adaptation des clones de saules pour les systèmes d'agroforesterie. La production initiale de biomasse en zones tampons rivulaires et en cultures en bandes a atteint 15 tonnes sèches par hectare annuellement avec un apport minimal. Les saules se sont avérés des filtres biologiques efficaces qui peuvent supprimer les polluants de source non ponctuelle. Un dépistage de rusticité a démontré que les clones de saules exotiques dont l'adaptation à l'est du Canada a été prouvée étaient susceptibles d'être endommagés par les très basses températures lorsque plantés en Saskatchewan.
- » Le projet a conçu une coupeuse-déchiquteuse-presse fonctionnelle à un coût matériel raisonnable. Cette technologie originale se compare favorablement à la seule alternative actuelle dans la CICR, une récolteuse-coupeuse autopropulsée qui produit des copeaux de bois mais qui exige une dépense d'investissement environ sept fois supérieure au système de pressage.
- » Le projet a créé ou amélioré trois modèles bioéconomiques, permettant de réaliser des progrès notables dans l'évaluation de la faisabilité économique des cultures ligneuses à courte révolution quant au potentiel bioénergétique partout au Canada.
- » Des progrès significatifs ont été accomplis vers une meilleure compréhension de l'incidence du milieu juridique du Québec et des perceptions du système en développement par les premiers adopteurs potentiels au Québec et dans les Prairies.

## Carburant à l'éthanol à partir de déchets végétaux : une voie d'avenir

La transformation de la lignocellulose en carburant à l'éthanol est une technologie prometteuse comme solution au problème des sources déclinantes de combustibles fossiles. La lignocellulose, qui est une composante végétale non comestible par les humains, se trouve partout au Canada étant donné l'approvisionnement abondant au pays de déchets agroforestiers et de déchets solides municipaux. La lignocellulose peut être récoltée à partir de cultures énergétiques spéciales, telles que les herbes à croissance rapide.

Le Canada a établi une base impressionnante pour son industrie de lignocellulose et de biocarburant, mais des plans plus détaillés sont nécessaires pour réaliser pleinement le potentiel environnemental et économique de cette technologie. Ce projet met l'accent sur l'élaboration d'un cadre générique d'évaluation environnementale pour orienter le développement responsable de la bioénergie au Canada axé sur les expériences avec les biocarburants de première génération – englobant la production, la transformation, la distribution et l'intégration subséquente dans l'infrastructure canadienne du carburant pour le transport terrestre. Le cadre a aussi déterminé les effets représentatifs sur l'environnement, la réglementation existante, les normes de délivrance de permis, les permis, les pratiques exemplaires, et les lignes directrices requises pour mettre en place des sites d'exploitation de l'éthanol et de biodiesel au Canada. Le but général consistait à établir la base sur laquelle repose une approche cohérente de l'engagement des gouvernements municipaux, provinciaux et fédéral et en fin de compte, faciliter l'avènement des biocarburants de deuxième génération. De plus, le cadre permet une évaluation ordonnée et prévisible de l'empreinte écologique des installations de biocarburant de première génération, permettant ainsi à l'industrie d'optimiser avec le temps le rendement environnemental.

**Titre du projet :** Mise en place de la base environnementale pour l'évaluation des incidences de la production à grande échelle de l'éthanol et du biodiesel comme précurseur de la production de biocarburants lignocellulosiques au Canada.

**Exécutants et partenaires :** Environnement Canada, Canadian/ISTP Canada Recherche et développement indocanadienne, Ressources naturelles Canada, l'Association canadienne des carburants renouvelables, United States Environment Protection Agency Cincinnati Lab, BIOTECANADA, AG-West Bio Inc., Les Ami(e)s de la Terre, Tembec, Conseil national de recherches du Canada

– Institut de technologie des procédés chimiques et de l'environnement, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada – Approvisionnement écologique, PetroBras – Brésil, GreenCrop, Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie – Réseau de transformation de la cellulose.

### Réalisations :

- » Le projet a élaboré un cadre d'évaluation environnementale.
- » En Alberta, Colombie-Britannique, Manitoba, et Ontario, les ministères de l'Environnement ont fait référence au cadre pour la localisation des installations de biocarburants.
- » Le projet a intégré le cadre dans les lignes directrices de l'évaluation des incidences environnementales d'Agriculture et Agroalimentaire Canada pour l'Initiative des marchés de biocarburants pour les producteurs (IMBP), et le Programme d'innovation pour les bioproduits agricoles (PIBA) pour les bioraffineries.
- » Le cadre sert de référence présentement à 35 États américains en vertu du programme du Irrigation Training and Research Center, au U.K. Department for Environment Food and Rural Affairs et à la communauté scientifique allemande (en vertu d'un protocole d'entente entre le Canada et l'Allemagne sur la S-T).
- » Le cadre est à l'étude par Ressources naturelles Canada pour un rapport d'évaluation environnementale stratégique (EES) et la référence de rendement environnemental des installations de combustible renouvelable.
- » Environnement Canada utilisera les données sur les émissions qui émanent de ce projet pour soutenir l'élaboration de règlements sur la norme des combustibles renouvelables (NCR) en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Les données générées par ce projet étaient considérées comme essentielles à l'élaboration de l'architecture de la stratégie de S-T en appui à la NCR et à la création subséquente de règlements.
- » Les résultats de ce projet seront utilisés comme un item au programme de la prochaine réunion scientifique entre Environnement Canada et la U.S. Environmental Protection Agency sur les biocarburants prévue en avril 2009 à Ottawa et de la réunion proposée entre Environnement Canada et l'Agence canadienne d'évaluation environnementale au printemps 2009.

## Projet transversal

### Industrie et Biotechnologie

#### Les usines de pâtes et papiers produisent l'électricité à partir de la biomasse

Un examen général des végétaux comme source énergétique dans les usines de pâtes et papiers a fait voir des possibilités d'économie d'énergie qui pourraient transformer ces usines en producteurs nets d'électricité à partir de la biomasse, de carburants comme le bioéthanol, et de produits biologiques tels que les produits chimiques spécialisés. Pour aller plus loin en ce sens, l'équipe du projet a mis en place un ensemble d'outils de modélisation qui déterminent les incidences énergétiques et économiques de la matière végétale et les modifications nécessaires à apporter au processus. En intégrant des concepts innovateurs de bioraffinage, ces usines pourraient utiliser la chaîne de biomasse existante pour produire un plus grand éventail de produits commerciaux.

Les éléments du projet comprenaient la détection de réductions potentielles d'énergie et d'émissions de GES dans les usines de pâtes et papiers kraft (par ex., en utilisant l'analyse modifiée de pincement thermique en développement), en analysant les avantages des modifications apportées aux procédés traditionnels de pâtes et papiers, et en évaluant de nouvelles voies technologiques de bioraffinerie qui transformeraient la structure classique des usines canadiennes de pâtes et papiers.

**Titre du projet :** Optimiser la chaîne de valeur du carbone dans le procédé de bioraffinerie utilisé pour les pâtes et papiers

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, École Polytechnique de Montréal, Tembec, Domtar, White Birch, Kruger, Smurfit-Stone, Hydro-Québec, Paprican, Norampac, NewPage, Abitibi Bowater, OSISoft, 3C Software, PEPITe, Aurel Systems, Metso, GAMS Development Corporation

#### Réalisations :

- » La méthodologie et les outils récemment créés sont appliqués à une usine de pâtes et papiers kraft pour améliorer son efficacité énergétique et évaluer son potentiel de bioraffinage.
- » Le projet a créé et appliqué la méthodologie d'analyse du cycle de vie à deux usines actives — une usine intégrée de pâtes et papiers kraft et une usine intégrée de papier journal — pour évaluer le rendement environnemental actuel et potentiel des usines.
- » Une méthodologie de pointe appliquée à l'eau et à l'énergie démontre que la mise en œuvre de 15 possibilités dans une des usines réduirait sa consommation de vapeur de 10 % (25 MW) correspondant à des économies de carburant d'environ 2,6 M\$ par année et une réduction d'émissions de GES. L'utilisation d'eau pour le traitement serait aussi réduite de 30 %, ce qui équivaut à 15 % de l'utilisation totale d'eau. En plus, l'effluent de l'usine serait réduit de 15 % et sa température réduite de 5 °C.
- » Utiliser pleinement le concept de bioraffinage dans l'industrie canadienne des pâtes et papiers peut produire des réductions de 6,2 Mt d'émissions par année.
- » Ce projet sera choisi afin de poursuivre son développement grâce à une autre source de financement. L'utilisation de la modélisation de l'optimisation de l'énergie et de l'eau est en processus d'adaptation pour mettre en place les technologies de bioraffinage dans une usine de pâtes et papiers actuelle dans le cadre d'un projet de partenariat en cours à Ressources naturelles Canada.



## Carburants fossiles plus propres

Les combustibles fossiles ont joué un rôle considérable dans les progrès accomplis dans le développement du pays, le transport, l'agriculture, la médecine, les industries manufacturières, et dans l'amélioration générale de la qualité de vie des Canadiens. Cependant, les combustibles fossiles sont une ressource limitée. De plus, la production, la transformation et la consommation de combustibles fossiles ont des répercussions sur l'environnement.

Le secteur stratégique des combustibles fossiles propres a été mis en place pour aborder le problème du déclin des approvisionnements de combustibles traditionnels et pour créer des technologies qui permettent une production d'énergie propre accompagnée d'une baisse des émissions de GES et des principaux contaminants atmosphériques (PCA). Ce secteur stratégique a financé trois domaines technologiques : approvisionnement non traditionnel en gaz naturel, bitume et pétrole lourd, charbon épuré, captage et stockage du dioxyde de carbone.

### Approvisionnement en gaz naturel non traditionnel

Comme les réserves de gaz naturel baissent, l'industrie se tourne vers les sources de remplacement du gaz naturel, telles que le méthane de houille (MH), les hydrates de gaz naturel, le gaz naturel des régions pionnières (gaz naturel traditionnel trouvé dans les régions éloignées). Le MH est une des premières formes de gaz non traditionnel à être exploité commercialement, et les experts prédisent que d'ici 2025 ce sera la principale catégorie de gaz non traditionnel produit. Le MH est composé surtout de méthane avec des traces d'autres gaz, et sa combustion est plus propre que le charbon. L'hydrate de gaz est un solide qui se forme lorsque l'eau se mélange à un ou plusieurs gaz d'hydrocarbures ou de non-hydrocarbures. À quantité égale, l'hydrate de gaz contient une grande quantité de gaz naturel, souvent du méthane. La quantité de gaz naturel contenue dans les hydrates de gaz excède de beaucoup les ressources traditionnelles de gaz naturel et par conséquent, les hydrates de gaz représentent un potentiel énorme comme ressource énergétique. L'industrie du gaz des régions pionnières est aussi prometteuse et est bien amorcée au Canada. La production actuelle de gaz naturel des parties continentales des territoires et extracôtières de la Nouvelle-Écosse est d'environ 10 milliards de mètres cubes par année.

L'objectif du secteur de la technologie de l'approvisionnement de gaz non traditionnel consistait à réduire les obstacles technologiques et réglementaires et les incertitudes de la production de gaz naturel des gisements non traditionnels et des régions pionnières.

### Le projet Mallik d'hydrates de gaz ouvre de nouvelles perspectives

Le champ d'hydrates de gaz de Mallik dans le delta du Mackenzie dans le nord-ouest de l'Arctique canadien a été découvert lors d'un forage d'exploration de la Compagnie pétrolière impériale ltée au début des années 1970. En 1998, plusieurs organisations ont collaboré au forage d'un puits d'une profondeur de 1 150 mètres sur le site, aboutissant à la première collection de carottes de forage d'hydrates de gaz terrestre au monde. Les études révèlent la présence d'au moins dix couches d'hydrates de gaz et des valeurs élevées de saturation des hydrates de gaz, qui dans certains cas étaient supérieures à 80 % du volume poreux, ce qui plaçait le champ d'hydrates de gaz de Mallik parmi les gisements ayant la plus haute concentration d'hydrates de gaz au monde. En 2002, un consortium international comprenant sept partenaires a entrepris des expériences à grande échelle exécutées sur le terrain dans le cadre d'un programme de forage d'exploration qui nécessitait le forage d'autres puits.

L'Initiative de R-D en T-I a soutenu un grand projet de recherche couvrant trois étapes. La collaboration avec le programme de forage d'exploration des hydrates de gaz de Mallik en 2002 a permis d'obtenir des diagraphies bien détaillées décrivant les caractéristiques du gisement de Mallik, les résultats de l'analyse des carottes de forage, et un éventail de données d'essai sur la production. S'appuyant sur cette connaissance, la Phase 3 a été lancée pour faire le point sur la méthodologie et la technologie, afin de améliorer l'évaluation et la caractérisation des hydrates de gaz arctiques grâce aux données sismiques de l'industrie. C'était un projet de validation de principe visant à permettre aux futurs exploitants d'hydrates de gaz de mieux saisir l'information à partir des ensembles de données historiques liées à l'évaluation et à la caractérisation de l'hydrate de gaz. Les équipages, les campements et les foreuses ont été mobilisés au site de forage isolé. L'équipe de recherche a fait face à des températures extrêmes (-60 °C), à des difficultés

imprévues pendant le forage, et au défoncement prématuré d'une route de glace au printemps. Ce projet est le premier essai de production d'un champ d'hydrates de gaz au monde.

**Titre du projet :** Soutien au programme Mallik

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada – Commission géologique du Canada, le gouvernement du Japon, le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Institut de recherche Aurora

### Réalisations :

- » La production d'hydrates de gaz par décompression semble avoir été une stratégie de production réussie.
- » Des progrès dans la représentation cartographique du pergélisol et de la présence d'hydrates de gaz en utilisant les données sismiques à Mallik et Richards Island, permettant une représentation cartographique plus précise des profondeurs et des pentes des hydrates de gaz et une meilleure imagerie sismique.
- » L'équipe a terminé une étude de quantification des hydrates de gaz qui a produit une quantité améliorée et élargie de données par inversion de l'impédance acoustique appliquée à toutes les données sismiques en 3D de Mallik, définissant la superficie en surface des zones saturées à 75 % d'hydrates de gaz au sein du gisement d'hydrates de gaz de Mallik et la présence d'autres hydrates de gaz à des dizaines de kilomètres plus loin.
- » Le projet a évalué les résultats des essais de terrain et déterminé les améliorations possibles à l'instrumentation et à la conception du levé.
- » Pendant la Phase 3, l'équipe a mis au point un programme de diagraphies exhaustives de puits tubés et non tubés, et a effectué un essai réussi de six jours de production d'un puits.
- » Les réussites successives de ce projet ont généré plusieurs autres projets de recherche, notamment de la recherche en magnétotellurique, en modélisation et en cinétique. Ce projet est le premier du genre au monde, transmettant à plusieurs pays des renseignements essentiels pour déterminer la faisabilité et les incidences économiques d'une production d'hydrates de gaz comme source d'énergie.



## Secteurs de la zone houillère de Ardley favorables au méthane houiller et au stockage de gaz carbonique

La Commission géologique de l'Alberta a déterminé que la zone houillère de Ardley dans le centre-ouest de l'Alberta était un dépôt important de méthane houiller (MH). Mais avant de pouvoir commencer l'exploitation du MH, plusieurs questions doivent trouver une réponse, notamment les inquiétudes au sujet de la dérivation potentielle de l'eau requise au développement de MH et l'incertitude quant à la quantité de MH qui pourrait être produite.

Le pompage de l'eau hors des puits de couches de houille réduit la pression et permet l'extraction du MH qui se trouve à l'intérieur des pores et des fractures du charbon. L'extraction améliorée du MH comprend l'injection de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) à proximité du charbon pour déloger le méthane, car le charbon a plus d'affinité pour le CO<sub>2</sub> que le méthane. L'avantage additionnel de la méthode d'extraction améliorée est que le CO<sub>2</sub>, qui est un GES, est enfoui sous terre.

L'équipe du projet a caractérisé deux secteurs spécifiques dans la zone houillère de Ardley pour déterminer les secteurs les plus favorables pour l'exploitation du MH et le stockage du CO<sub>2</sub>. L'équipe a échantillonné des puits de MH, effectué des évaluations sur le contenu en gaz et la pression dans le gisement et préparé des cartes détaillées des secteurs.

**Titre du projet :** Caractérisation des gisements de charbon et de méthane houiller pour le potentiel de production, la production de méthane houiller améliorée par le stockage du gaz carbonique et la protection des eaux souterraines.

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada – Commission géologique du Canada, Commission géologique de l'Alberta, Institut de recherche énergétique de l'Alberta, MGV Energy Inc.

### Réalisations :

- » L'équipe du projet a créé un modèle informatique géologique qui sera utile à l'industrie, au gouvernement, et aux autres intervenants pour l'exploration du MH, l'exploitation, la surveillance, l'évaluation environnementale, la réglementation et pour évaluer la capacité de stockage de GES dans des secteurs géologiques qui présentent des défis.
- » L'équipe a modélisé les contenus en MH d'environ 20 puits et les contenus théoriques de MH d'environ cinq puits (isothermes) pour créer les estimations de gaz *in situ* (total de gaz naturel disponible) pour la zone houillère de Ardley.
- » Les rapports géologiques des deux secteurs de la zone houillère de Ardley à l'étude ont déterminé des secteurs de continuité d'exploitation du gisement et des secteurs à risque pour le stockage du CO<sub>2</sub>.

## Les chercheurs forent le fond océanique pour trouver une nouvelle source énergétique

Des études précédentes ont démontré que la côte ouest de l'île de Vancouver est un secteur très riche en hydrates de carbone, mais davantage de renseignements sont nécessaires pour évaluer la valeur économique de la production d'hydrates de gaz marins et pour repérer des obstacles possibles à la production. Pour en apprendre davantage sur les hydrates de gaz marins à cet endroit, et pour améliorer le profil de recherche au Canada sur la scène internationale, les chercheurs du projet ont participé au International Ocean Drilling Program, un programme international de recherche marine qui étudie l'histoire et la structure de la Terre tout en surveillant les environnements du fond de l'océan et en prélevant des échantillons.

Le projet consiste à obtenir des carottes et des mesures géophysiques dans des puits de forage (en d'autres mots, des mesures géophysiques de fond) à travers la zone d'hydrates afin de déterminer les concentrations d'hydrates. Les chercheurs ont calibré et vérifié 15 ans d'information de levés géophysiques pour cartographier et quantifier les hydrates de gaz marins. Ils ont aussi déterminé les paramètres pour décrire l'ampleur et la nature de la présence *in situ* des hydrates de gaz pour la modélisation de gisements. La modélisation pourrait servir à élaborer des scénarios pour la production de gaz provenant des hydrates sous le fond océanique.

**Titre du projet :** Soutien à la recherche canadienne; forage et quantification des hydrates de gaz marin au large de l'île de Vancouver dans le cadre de l'International Ocean Drilling Program (IODP)

**Exécutants et partenaires :** équipe scientifique du International Ocean Drilling Program, le U.S. Navy Research Laboratory, l'Observatoire de Villefranche sur Mer, l'Institut de géoscience et des minéraux de Corée, Université de Victoria

### Réalisations :

- » Le projet a analysé des carottes et des données de mesure de fond à partir de l'étude, afin de quantifier les concentrations d'hydrates et de gaz libre sous-jacentes, des renseignements géophysiques très compréhensifs, et des paramètres sur les hydrates, tels que la porosité et la perméabilité qui sont nécessaires pour élaborer des méthodes de production du gaz naturel à partir des hydrates.
- » Le projet a déterminé que la distribution d'hydrates de gaz marins est plus substantielle que prévu à l'origine au large de la Colombie-Britannique.
- » Le projet a fourni des possibilités de formation pour 10 étudiants diplômés et 4 boursiers de recherches postdoctorales dans le groupe, créant ainsi des scientifiques spécialisés dans les hydrates à l'avenir.

- » Le projet a vérifié que les concentrations d'hydrates à quelques centaines de mètres sous le fond océanique étaient similaires aux estimations des données de terrain précédentes.
- » Le projet a déterminé qu'il y a des zones qui contiennent une grande concentration (60 %) d'hydrates de gaz. On croit que ces zones représentent des conduits pour les fluides et les gaz qui s'échappent vers le haut.
- » La diagraphie des données géophysiques sur les conditions sismiques de fond du sismique et de l'électromagnétique de source dépendante (CSEM) a fourni un excellent calibrage des outils de mesure du champ électrique (CSEM), menant à une meilleure compréhension de la façon d'utiliser ces outils pour cartographier les hydrates de gaz.
- » Le projet a donné lieu à une collaboration internationale substantielle, améliorant le profil de recherche du Canada et favorisant de nouveaux partenariats.

## Une meilleure compréhension et de meilleures prévisions des conditions de la glace protègent les navires-citernes dans le Haut-Arctique

Les réserves de gaz dans le Haut-Arctique sont suffisamment grandes pour rendre le développement viable, mais il existe une difficulté quant au transport du gaz vers les marchés du sud. La solution proposée consiste à recourir à de gros pétroliers. Cependant, l'utilisation d'un navire dépend d'un passage sécuritaire à travers les eaux couvertes de glace. Quinze capitaines de navires arctiques ont été interrogés dans le cadre d'une étude pour identifier les domaines de recherche qui amélioreraient le transport à longueur d'année dans l'Arctique. Ils ont choisi à l'unanimité la détection de glaces pluri-annuelles régionalement et localement (c'est-à-dire à proximité immédiate du navire) comme domaine de recherche principal.

Ceci fut le début d'une des plus grandes analyses de ce genre sur les conditions des glaces, couvrant plus de 30 ans de transports maritimes dans l'Arctique. Les chercheurs ont comparé les conditions des glaces telles qu'enregistrées sur les cartes des glaces du Service canadien des glaces aux prévisions des conditions des glaces obtenues par l'imagerie satellitaire, et à partir de cette analyse, ils ont élaboré des méthodes pour détecter des glaces pluri-annuelles, plus dures (vieille glace), les plus dangereuses pour les pétroliers. Les collaborateurs au projet ont aussi élaboré et testé sur le terrain le système de détection par radar du danger présenté par les glaces pour les brise-glaces de la Garde côtière canadienne. Le système a apporté des améliorations considérables à la détection de la glace locale de plusieurs

années, des icebergs de petite taille et autres petits blocs de glace flottante.

**Titre du projet :** Système amélioré de renseignements sur les glaces pour le transport dans le Haut-Arctique

**Exécutants et partenaires :** Conseil national de recherches du Canada, Ressources naturelles Canada – Commission géologique du Canada, Pêches et Océans Canada – Garde côtière du Canada, Service canadien des glaces, Enfotec et Fednav (Canarctic Shipping), Transports Canada

### Réalisations :

» Le projet s'est soldé par un rapport qui présente la méthodologie pour prédire la dérive des glaces, les couloirs d'eau libre et la pression des glaces dans le Haut-Arctique.

- » L'équipe du projet a rédigé une brochure qui décrit les techniques de détection des glaces pluri-annuelles par imagerie satellitaire et observations visuelles. Le Service canadien des glaces, la Garde côtière canadienne et l'industrie utiliseront la brochure pour aider à former des matelots.
- » Transports Canada utilise les renseignements de cette recherche pour réformer le Règlement sur la prévention de la pollution des eaux arctiques par les navires.
- » La Garde côtière canadienne tente activement de se doter de la technologie radar pour ses navires.
- » Les systèmes de renseignements issus de ce projet réduiront les dommages aux navires et amélioreront la sécurité et l'efficacité opérationnelle des navires.

## Projet transversal

### Approvisionnement de gaz naturel non traditionnel et captage et stockage du dioxyde de carbone

#### Un nouveau modèle informatique prévoit les aspects économiques de la récupération assistée du méthane houiller (MH)

Selon la Commission géologique de l'Alberta, il pourrait y avoir 14 billions de mètres cubes de MH dans le charbon de l'Alberta. L'extraction améliorée de MH, qui comprend l'injection de CO<sub>2</sub> à proximité du charbon pour déloger le méthane, pourrait être profitable. Cependant, jusqu'à maintenant, il était difficile de présélectionner les projets commerciaux potentiels et d'évaluer les revenus. L'objectif de ce projet consistait à élaborer un modèle informatique capable de modéliser les aspects économiques du captage, du transport et de l'injection du CO<sub>2</sub> dans les couches de charbon de l'Alberta pour une récupération assistée du MH.

En reliant plusieurs composants logiciels, l'équipe du projet a élaboré le modèle économique intégré, qui simule le processus en entier de récupération assistée du MH de la source de CO<sub>2</sub> au point de stockage. Le modèle est particulièrement adapté aux types de charbon de l'Alberta, aux caractéristiques du gisement, aux distances de la source au point de stockage, et aux prix locaux courants.

**Titre du projet :** Modèle économique intégré

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada – CanmetÉNERGIE, Alberta Energy and Utilities Board, Computer Modelling Group & Energy Navigator, Alberta Research Council, SNC-Lavalin

### Réalisations :

- » Le projet a élaboré et amélioré le modèle économique intégré en ajoutant de nouveaux éléments (par ex., capacité de prendre en considération les effets des changements de perméabilité du charbon).
- » SNC-Lavalin Inc. a finalisé et vérifié l'exactitude de la composante de captage de CO<sub>2</sub> du modèle.
- » Le modèle aidera la prospection pour du MH en évaluant les coûts du captage, transport et injection du CO<sub>2</sub>.
- » Le modèle rehaussera la prise de conscience et l'acceptation de la technologie de récupération assistée du MH par l'industrie et le gouvernement.
- » SNC-Lavalin est intéressée à prolonger le partenariat, afin d'utiliser et développer davantage l'outil pour la récupération assistée du MH et autres utilisations y compris les évaluations des gisements de pétrole traditionnels.
- » Le potentiel d'une entente de travail avec le ministère de l'Énergie de l'Alberta pour la production d'une courbe du coût du captage pour l'approvisionnement.

## Bitume et pétrole lourd

Alors que la demande mondiale de carburants légers pour le transport augmente et que l'approvisionnement de brut léger se stabilise pour diminuer par la suite, le bitume et le pétrole lourd deviendront des ressources énergétiques de plus en plus importantes. Les réserves prouvées de pétrole du Canada (en deuxième place après l'Arabie Saoudite) sont constituées presque entièrement de bitume provenant des sables bitumineux. Présentement, le bitume et le pétrole lourd sont difficiles à transformer, car ils requièrent davantage d'énergie et produisent davantage d'émissions de GES que le brut léger. L'objectif de ce domaine technologique était de permettre un développement plus rapide des technologies qui réduisent les émissions de GES et d'améliorer le rendement environnemental général de l'industrie du bitume et du pétrole lourd.

### Une meilleure analyse de la technologie des sables bitumineux offre des avantages sur le cycle de vie

De nouvelles technologies sont mises au point pour évaluer le bitume des sables bitumineux canadiens, alors que les technologies des sables bitumineux s'intègrent de plus en plus dans le système énergétique du Canada. La construction, l'exploitation et le retrait éventuel des installations dans cette industrie auront des incidences complexes et profondes sur l'économie et l'environnement au Canada. La gestion rentable des émissions de GES du secteur des sables bitumineux exige des outils précis pour évaluer diverses technologies appliquées à l'extraction et à la valorisation des sables bitumineux. De plus, des outils précis sont nécessaires pour mesurer les apports tels que les immobilisations, l'énergie, et l'eau, requises pour extraire le bitume des sables bitumineux. Ces mesures sont difficiles à évaluer en se fiant uniquement aux seules données d'exploitation.

L'équipe du projet a créé un cadre d'évaluation du cycle de vie (ECV) qui offre une méthode systématique pour analyser les intrants requis d'énergie et de matériaux, et évaluer les extrants et les incidences environnementales à chaque étape de production, allant de l'extraction de ressources à l'élimination des résidus. L'ECV est particulièrement appropriée pour les systèmes complexes et les systèmes dans lesquels les coûts et les incidences de construction d'immobilisations amont et d'activités de retrait sont importants en comparaison de celles qui surgissent durant l'exploitation. Il est prévu que le cadre d'ECV aidera à donner priorité aux activités de recherche et de développement en déterminant les

technologies ou les combinaisons optimales de technologies qui offriraient des avantages de cycle de vie particulièrement importants.

**Titre du projet :** Évaluation du cycle de vie des technologies des sables bitumineux

**Exécutants et partenaires :** Université de Calgary, Université de Toronto, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Petrobank, Alberta Energy, Shell Canada, Synenco Energy Inc.

### Réalisations :

- » Le projet a élaboré un cadre d'évaluation du cycle de vie (ECV) qui permet des évaluations systématiques des incidences de cycle de vie de l'exploitation des sables bitumineux jusqu'en 2020 et au-delà. L'ECV offre en particulier de nouvelles méthodes pour évaluer les émissions de GES émanant des activités intégrées d'exploitation des sables bitumineux.
- » Le cadre d'ECV orientera les choix publics et privés concernant les investissements majeurs en technologies et les recherches appliquées aux sables bitumineux.
- » Les praticiens d'ECV peuvent utiliser le modèle comme outil d'aide à la décision tout en consultant d'autres entreprises ou en travaillant au sein des entreprises de l'industrie des sables bitumineux.
- » Les résultats de ce projet seront diffusés aux décideurs du gouvernement de l'Alberta par l'entremise de l'Institute for Sustainable Energy, Environment and Economy de l'Université de Calgary.

### La technique d'injection de gaz double les profits

Les gisements de gaz recouvrant le bitume prédominent certains secteurs de dépôts de sables bitumineux en Alberta. Dans ces gisements, le gaz naturel recouvre le dépôt de bitume, tout en exerçant une pression sur le bitume. Les gisements de gaz recouvrant le bitume représentent un défi unique, car dans plusieurs cas, des droits séparés ont été accordés aux détenteurs de concessions d'extraction du gaz et à ceux d'extraction du bitume. Le procédé habituellement en usage pour extraire le gaz naturel est incompatible avec l'extraction future du bitume, qui se fait en injectant de la vapeur dans le gisement. Lorsque le gaz naturel est extrait, la pression requise pour des procédés efficaces basés sur l'injection de vapeur est perdue.

L'équipe du projet a entrepris non seulement de trouver une solution au dilemme du gaz recouvrant le bitume, mais aussi de réduire le niveau d'émissions de GES dans

l'atmosphère. Le CO<sub>2</sub> est le GES le plus important et provient de la combustion de tout combustible, quel qu'il soit. Les gaz de combustion (gaz d'échappement provenant de la combustion) sont en grande partie composés de CO<sub>2</sub>. Grâce à la simulation par ordinateur et aux expériences de laboratoire, les chercheurs ont mis à l'essai des procédés pour utiliser le CO<sub>2</sub> ou les gaz de combustion pour remplacer le gaz naturel couvrant le bitume, afin de maintenir ou presque la pression d'origine au-dessus de ces gisements, ce qui permettrait l'extraction du bitume à l'avenir tout en séquestrant le CO<sub>2</sub> sous terre.

**Titre du projet :** Injection de gaz carbonique et de gaz de combustion pour remplacer le méthane et maintenir la pression dans les gisements de gaz couvrant le bitume

**Exécutants et partenaires :** Alberta Research Council, Computer Modeling Group Ltd.

### Réalisations :

- » Les résultats expérimentaux ont démontré la faisabilité d'injecter du CO<sub>2</sub> dans les gisements en remplacement du gaz naturel, maintenant la pression et permettant l'extraction simultanée du gaz naturel et du bitume des gisements de gaz couvrant le bitume.
- » Cette nouvelle technique procure deux avantages majeurs : un choix de remplacement pour le stockage (évacuation) du CO<sub>2</sub> et des gaz de combustion dans les formations géologiques et une méthode alternative pour la production d'énergie.
- » Les méthodes mises au point permettront l'exploration des gisements qui autrement auraient été trop difficiles à explorer et donneront lieu à une production additionnelle de pétrole et de gaz naturel tout en stimulant l'industrie canadienne des combustibles fossiles.
- » Une demande potentielle de brevet par le Alberta Research Council.

### Feuille de route technologique pour orienter l'avenir du pétrole lourd

Selon les prévisions de 2006 concernant la croissance de la production de bitume à partir du minerai des mines de surface, l'approvisionnement de bitume s'épuisera un jour ou l'autre entre 2020 et 2030. Grâce à ce projet, une feuille de route technologique a été élaborée pour réduire l'écart entre ce qui est présentement récupérable et ce qui

sera récupérable grâce à l'innovation technologique. La feuille de route technologique s'appuie sur plusieurs feuilles de route et rapports préparés depuis dix ans. Elle met l'accent surtout sur le défi à mettre au point un procédé pour récupérer le bitume dans la zone de profondeur de 150 à 300 mètres.

En plus de l'objectif principal du projet, la feuille de route technologique devait encourager un financement et des activités de R-D nécessaires à de nouveaux choix de production plus durables tout en réduisant les émissions de GES.

**Titre du projet :** Développement des ressources de pétrole lourd et de bitume : une feuille de route technologique

**Exécutants et partenaires :** Petroleum Technology Alliance of Canada, Alberta Energy Research Institute, ministère de l'Énergie de l'Alberta, New Paradigm Engineering Ltd., Portfire & Associates, Université de l'Alberta, Université de Calgary, Comité permanent qui comprend des représentants des gouvernements fédéral et provinciaux, des universités et de l'industrie des sables bitumineux

### Réalisations :

- » L'Alberta Energy Research Institute, l'Alberta Research Council, et l'industrie mettent présentement en place un programme conjoint de R-D pour effectuer des travaux de laboratoire et sur le terrain nécessaires pour faire progresser le développement durable des formations carbonatées de bitume.
- » Royal Dutch Shell a investi 465 M\$ pour des concessions sur dix parcelles de terrain connues pour abriter des formations carbonatées et a mandaté une équipe spécialisée pour se concentrer sur la gestion de gisements carbonatés.
- » Un atelier (60 participants) et six séances d'un groupe de travail (77 participants) ont réuni des experts pour discuter des ressources inaccessibles de bitume et de pétrole lourd et proposer des solutions.
- » Le rapport final attire l'attention sur 80 pistes potentielles de R-D.
- » On prévoit que le projet stimulera l'intérêt dans le potentiel de nouveaux dépôts, incluant ceux du Triangle carbonaté de l'Alberta, des zones intermédiaires de sables bitumineux, de petits dépôts exploitables en surface, et de sables bitumineux sous des résidus.

## Procédé vert mis au point pour les résidus fins fluides

Les résidus fins fluides (parfois connus sous le nom de résidus fins matures) sont formés lorsque le bitume est récupéré des sables bitumineux. Les résidus sont un mélange de sable, d'eau, de limon, de glaise et d'hydrocarbures résiduels. Les résidus sont pompés dans des bassins de rétention où l'eau est recyclée et les résidus fins fluides s'accumulent. Il y a une quantité appréciable d'eau dans les résidus fins fluides qui pourrait être récupérée et on utilise beaucoup d'énergie pour construire et entretenir les digues qui contiennent les résidus fluides.

En tant que solution de remplacement pour l'accumulation et le stockage des résidus fins fluides, ce projet a étudié la possibilité de créer par centrifugation des résidus secs empilables. L'addition d'agents agglomérants (connus sous le nom de flocculants) aux résidus fins fluides prépare le matériau pour la centrifugation. Une fois épaissis, les résidus seraient essorés dans une centrifugeuse pour extraire l'eau et ne laisser qu'une substance sèche. Le processus vise à créer des résidus secs empilables, éliminant ainsi le besoin d'un bassin de stockage. La production de résidus secs empilables réduirait considérablement les volumes d'eau stockés et le pompage d'eau de la rivière Athabasca, essentielle aux procédés miniers. De plus, les résidus secs pourraient servir de substrats à la végétation et remettre ainsi en bon état la forêt boréale sur le site minier.

**Titre du projet :** Création d'un procédé de traitement des résidus

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada – technologies de pointe de séparation de CanmetÉNERGIE, Syncrude Canada, Devon Energy, Suncor Energy



### Réalisations :

- » Le projet a mis au point une étude de validation de principe pour la transformation des résidus fins fluides en résidus secs empilables.
- » Le projet a mis en place un consortium mené par l'industrie qui s'est penché sur cette technologie.
- » Syncrude Canada est responsable d'entreprendre un essai pilote de grande envergure pour évaluer davantage le procédé et aider à déterminer le coût par mètre cube de résidus, en partenariat avec CanmetÉNERGIE, Devon Energy, et Suncor Energy.

## Charbon épuré, captage et stockage du dioxyde de carbone

Les technologies actuelles de combustion pour les combustibles fossiles entraînent de grandes quantités d'émissions de dioxyde de carbone et autres contaminants tels que les oxydes d'azote et les hydrocarbures. Des technologies propres de combustion sont requises pour réduire les GES en général et le CO<sub>2</sub> en particulier. Ce domaine technologique se concentre sur la recherche qui ferait progresser les technologies de captage de CO<sub>2</sub> à partir des mélanges de gaz, et les technologies de séquestration du CO<sub>2</sub> qui éliminent le CO<sub>2</sub> en l'enfouissant sous terre.

### Les fibres creuses microporeuses aident à capter le CO<sub>2</sub>

S'appuyant sur la recherche commencée par le Alberta Research Council et l'université de Waterloo, ce projet a été lancé pour améliorer les méthodes actuelles de captage du carbone. Le captage de carbone est le procédé d'élimination du CO<sub>2</sub> de la combustion préalable du gaz naturel et des émissions de gaz suite à la combustion pour réduire les niveaux de GES émis. On réussit le captage du carbone en utilisant des procédés aqueux basés sur un mélange d'amides, qui sont dispendieux, hautement énergivores et qui nécessitent l'élimination du SO<sub>2</sub> avant le début du procédé.

L'équipe du projet a mis au point un système de membranes de fibres creuses microporeuses pour augmenter la quantité de contacts du gaz avec le liquide pendant le procédé de captage du carbone. À l'origine, la technologie a été mise à l'essai lorsqu'elle a été appliquée au captage du CO<sub>2</sub> des gaz de combustion en post-combustion. À la suite de ces résultats remarquables, la technologie a été appliquée et mise à l'essai pour l'épuration du gaz avant la combustion. Une des principales découvertes de ce projet consistait dans l'utilité du carbonate de potassium non raffiné comme produit absorbant.

**Titre de projet :** Fibres creuses microporeuses pour la séparation et le captage des GES

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Alberta Research Council, Alberta Newsprint Company, Alberta Energy Research Institute

### Réalisations :

- » En 2007 et 2008, le Alberta Research Council a obtenu un financement interne pour poursuivre son travail sur la technologie de cocaptage du CO<sub>2</sub> et du SO<sub>2</sub>.
- » Le Alberta Research Council procède actuellement à un partenariat avec Alberta Innovation and Science et la ville d'Edmonton pour mettre à niveau cette technologie et démontrer ses avantages économiques et environnementaux sur les systèmes traditionnels.
- » La nouvelle technologie pourrait offrir une réduction de coûts de l'ordre de 25 à 30 % en comparaison de la technologie traditionnelle.
- » Il serait possible d'appliquer cette connaissance et cette technologie à la séparation du CO<sub>2</sub> et du SO<sub>2</sub> liées à la combustion d'hydrocarbures dans le secteur des sables bitumineux.

### La production d'hydrogène de la prochaine génération s'engage à ne pas libérer d'émissions de GES

La gazéification en présence d'un sorbant à la chaux est un procédé qui transforme le charbon, le pétrole ou la biomasse en hydrogène. L'hydrogène est utile pour la valorisation des sables bitumineux, la production d'électricité et le secteur du transport, sauf que le procédé de gazéification pour obtenir de l'hydrogène engendre des émissions non voulues de CO<sub>2</sub>.

Les études précédentes ont montré que les réactions de carbonation produites pendant la gazéification peuvent emprisonner le CO<sub>2</sub> et d'autres impuretés comme les sulfures d'hydrogène (H<sub>2</sub>S), donnant lieu à de l'hydrogène pur. La réaction inverse, la calcination, régénère le sorbant de CO<sub>2</sub> et produit un flux concentré de CO<sub>2</sub> prêt pour une séquestration définitive. Pour les meilleurs résultats, les réactions réversibles sont continuellement en action dans un cycle en boucle connu sous le nom de « captage par la combustion en boucle du CO<sub>2</sub> ».

Ce projet a été lancé pour étudier ces réactions plus en détail et pour amasser de l'information sur la façon de mettre à niveau le procédé pour que l'industrie puisse s'en servir.

Les essais avec le gaz synthétique du produit de la gazéification et le gaz de combustion synthétique ont été effectués au moyen du four à calcination (régénérateur de sorbant) fonctionnant au charbon, à la biomasse, au coke de pétrole et aux mélanges de charbon avec la biomasse pour déterminer si tous ces combustibles peuvent être utilisés pour le procédé. Tous ces combustibles se sont avérés convenables pour la régénération des sorbants à

divers degrés. Les chercheurs ont conçu et installé un appareil de surveillance à l'intérieur du réacteur de gazéification de scorification avec flux entraîné pour surveiller les niveaux d'hydrogène (H<sub>2</sub>), monoxyde de carbone (CO), gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), eau (H<sub>2</sub>O), et méthane (CH<sub>4</sub>).

**Titre du projet :** Production d'hydrogène à émission nulle par gazéification

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Université d'Ottawa, EPCOR, Sherritt International, Suncor Energy, Université de la Colombie-Britannique

### Réalisations :

- » Le projet a demandé et mis à l'essai une démonstration de combustion en boucle de CO<sub>2</sub> à l'échelle pilote, la première du genre au monde. Il mettait en valeur une technologie d'épuration à base de carbonate de calcium pour éliminer efficacement le CO<sub>2</sub> et le SO<sub>2</sub> des gaz de combustion ou le CO<sub>2</sub> et le H<sub>2</sub>S du gaz synthétique produit par gazéification.
- » Ce procédé fait preuve de nets avantages pour l'environnement, grâce à des taux d'émissions atmosphériques presque nuls.

## Utilisation de l'oxygène pour la mise au point de technologies de réduction de GES

Le gaz oxygéné est une technologie émergente pour la combustion qui entraîne une réduction des émissions. Habituellement, les combustibles fossiles sont brûlés en utilisant l'air ambiant qui contient un haut pourcentage d'azote. La technologie du gaz oxygéné consiste à brûler des combustibles fossiles dans un environnement à haute teneur en oxygène, sans azote.

Les émissions qui s'ensuivent sont libres d'oxyde d'azote et contiennent du gaz carbonique plus concentré et par conséquent plus facile à capter avant sa libération dans l'environnement. On peut alors se servir de compresseurs pour capter le dioxyde de carbone. De plus, lorsque le gaz est brûlé à haute température, certains des polluants peuvent être transformés en scories en fusion, une substance solide.

Les chercheurs ont conçu, construit et mis à l'essai un brûleur à vapeur oxygénée pour ce projet. Ils ont aussi exploré l'utilisation de combustion à scorification et un train compresseur innovateur monté sur patins. Les conceptions qui en découlent comprennent plusieurs concepts novateurs ayant un potentiel significatif pour un brevet et un transfert de technologie.

**Titre du projet :** Technologies d'oxycombustion à émission nulle pour des combustibles fossiles propres

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada – Consortium de R-D sur le CO<sub>2</sub> de Canmet ÉNERGIE, Université Carleton

### Réalisations :

- » Une fois les droits de propriété intellectuelle assurés pour la technologie de chambre de combustion de scorification, l'industrie sera approchée pour un transfert de technologie.
- » Les membres du consortium de R-D sur le CO<sub>2</sub> de CanmetÉNERGIE se sont montrés intéressés par la technologie du brûleur à vapeur oxygénée. Le consortium est composé d'organisations provenant de l'industrie et du gouvernement.
- » Négociations d'une entente avec le Consortium du projet de captage du carbone pour utiliser la technologie de captage du CO<sub>2</sub>.
- » Dans le cadre du projet, une entente de collaboration en recherche avec l'Université technique de Hambourg a été négociée pour le partage de renseignements sur les systèmes à émission nulle, le procédé de vapeur oxygénée et de systèmes de pointe d'oxycombustion.
- » Une entente a été signée avec Foster Wheeler pour une collaboration en matière de combustion de combustible oxygéné et avec Stork de Finlande.

## Le gaz remplace l'eau : amélioration de la capacité de stockage du CO<sub>2</sub> dans les gisements de pétrole épuisés

Une solution possible pour la réduction de la quantité d'émissions de GES dans l'atmosphère consiste à stocker le CO<sub>2</sub> dans les gisements de pétrole, une fois que ceux-ci ont épuisé leur réserve de pétrole. Cependant, au cours du processus de récupération du pétrole, on injecte de l'eau dans la plupart des gisements de pétrole pour aider à l'extraction du pétrole, et l'espace occupé par cette eau limite l'espace pour le stockage du CO<sub>2</sub>.

L'objectif de ce projet consistait à élaborer des techniques pour l'injection du CO<sub>2</sub> dans les gisements de pétrole qui pourrait déloger l'eau de façon efficace et ainsi augmenter la capacité de stockage du CO<sub>2</sub> de ces gisements. Afin de réaliser cet objectif, l'équipe de recherche a étudié des gisements de pétrole épuisés comprenant des conditions et des historiques de production de pétrole divers. L'étude se composait de trois tâches : des expériences de séquestration du CO<sub>2</sub> en

laboratoire, une simulation numérique à l'échelle des échantillons, et une simulation numérique à l'échelle du terrain.

**Titre du projet :** Amélioration de la capacité de stockage du CO<sub>2</sub> par le retrait des eaux résiduelles dans les gisements de pétrole épuisés

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada – CanmetÉNERGIE, Université de Regina, Petroleum Research Council, Conseil de recherches en sciences naturelles et génie

### Réalisations :

- » L'équipe a trouvé comment le CO<sub>2</sub> pourrait être injecté dans les gisements de pétrole de conditions différentes pour atteindre une capacité maximale de stockage.
- » Les résultats obtenus dans ce projet indiquent que la capacité de CO<sub>2</sub> pourrait être grandement améliorée par l'utilisation de la force de gravité et le mécanisme de l'écoulement en film.
- » Les résultats des expériences ont montré que l'effet de la gravité sur le débit de liquide peut être ignoré durant le processus de séquestration du CO<sub>2</sub> et que les différentes directions du débit et les taux d'injection donnent lieu à différentes saturations irréductibles de liquide.
- » Les simulations montrent que la modification de la répartition géométrique des puits est la méthode la plus efficace pour améliorer la capacité du CO<sub>2</sub> dans les gisements de pétrole épuisés. On a découvert qu'en ajoutant des puits de production horizontaux à la base du gisement pourrait améliorer la capacité de stockage du CO<sub>2</sub> de presque 40 %.
- » Les simulations ont aussi montré que l'injection d'un bouchon chimique avant l'injection de CO<sub>2</sub> offrira une condition de tension interfaciale plus faible (force capillaire plus faible) pour réduire la saturation irréductible d'eau et la saturation résiduelle de pétrole.

## Étude de l'injection de CO<sub>2</sub> dans les couches géologiques : vers les protocoles intégrés de surveillance et de modélisation

Pour assurer le succès des systèmes de stockage du carbone à grande échelle, une surveillance appropriée est nécessaire pour mettre au point les estimations quant à la quantité de CO<sub>2</sub> qui peut être contenue dans le gisement, pour détecter les fuites de CO<sub>2</sub> et déterminer les meilleurs correctifs à apporter lorsque les fuites apparaissent. Les

programmes de surveillance devront varier la fréquence et l'usage d'outils de surveillance appropriés aux conditions particulières des sites. De plus, ce qu'on n'aborde pas dans les programmes proposés de surveillance, c'est le rôle de la modélisation prédictive dans la conception du programme de surveillance ou des protocoles pour le programme de surveillance.

Se basant sur l'expérience en recherche des partenaires, accumulée grâce aux programmes de surveillance de récupération assistée d'hydrocarbures (RAH) à Encana Midale et à Penn West Cardium, et des sites de récupération assistée de méthane des gisements de charbon (RMGC) d'EnerPlus Ardley, l'équipe a détecté des lacunes dans les connaissances sur la modélisation et la surveillance. La base de la recherche pour ce projet consistait à se pencher sur ces lacunes, qui tombent sous les rubriques générales de *capacité* et *confinement*. Le but consistait à établir un cadre d'intégration pour l'injection du CO<sub>2</sub>, la fiabilité du stockage, et des activités de surveillance à long terme. Le projet comprenait des approches intégrées expérimentales, numériques et d'observation sur le terrain.

**Titre du projet :** Effets rapprochés et éloignés de l'injection de CO<sub>2</sub> dans les couches géologiques : une approche intégrée de surveillance et de modélisation

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Penn West Energy Trust; Université de l'Alberta; Université de Calgary; Environnement Alberta; ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources pétrolières de la Colombie-Britannique

### Réalisations :

- » Le projet s'est penché sur plusieurs lacunes sur le plan des connaissances fondées sur l'analyse des protocoles de surveillance actuels. Le manque de connaissances se rapportait surtout à l'intégrité des ciments utilisés dans les systèmes de puits, l'intégrité des toits du gisement et de la surveillance de la déformation.
- » Les chercheurs ont amélioré la compréhension de l'application des effets géochimiques et géomécaniques aux simulateurs de gisements; la conception, la construction et le déploiement de systèmes de surveillance des puits, et l'utilisation des modèles géochimiques pour évaluer le piégeage géochimique et les indicateurs *in situ*.
- » Grâce à ces nouvelles connaissances, l'équipe a modifié certains protocoles de surveillance et élaboré de nouveaux protocoles.
- » Les protocoles s'intègrent économiquement et efficacement au forage pétrolier et gazier et aux pratiques d'achèvement, et on s'attend de plus à ce qu'ils soient utilisés par l'industrie et les gouvernements au Canada et à l'étranger.

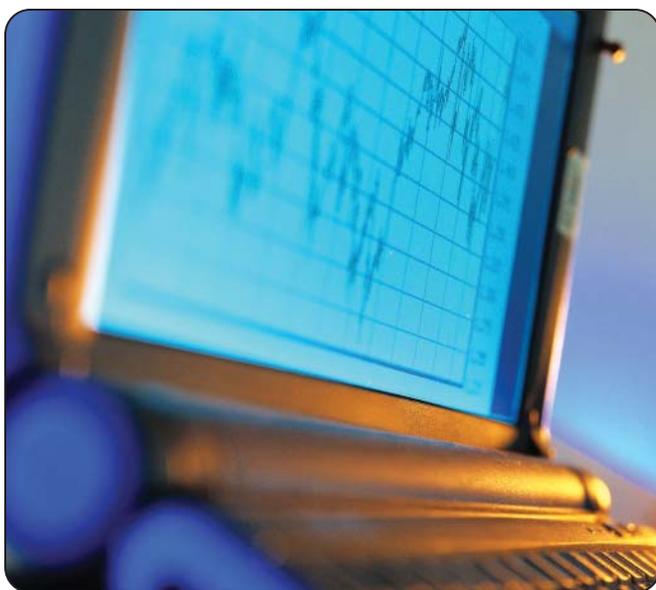
## Une équipe de recherche surveille les effets du stockage souterrain du CO<sub>2</sub>

La récupération assistée des hydrocarbures (RAH) fait allusion aux techniques utilisées pour augmenter la quantité de pétrole pouvant être extraite d'un gisement de pétrole. La récupération régulière du pétrole peut seulement extraire 20 à 40 % du pétrole, alors que la RAH vise l'extraction de 30 à 60 % du pétrole. La technique la plus courante de RAH comprend l'injection de gaz tel que le CO<sub>2</sub> dans le gisement de pétrole pour qu'il pousse le pétrole qui reste hors du gisement. Le gaz se dissout aussi dans le pétrole, réduisant la viscosité du pétrole et améliorant ainsi le débit du pétrole hors du gisement. Le fait que le CO<sub>2</sub> soit stocké sous terre et privé du contact avec l'atmosphère représente un autre avantage.

Pour mieux comprendre le procédé de RAH, ce projet a surveillé le CO<sub>2</sub> injecté dans un aquifère dans le cadre d'un projet pilote amorcé par un certain nombre d'organisations en Alberta en 2005. L'aquifère se trouve au site de RAH à base de CO<sub>2</sub> de la Penn West Pembina Cardium, près de Drayton Valley en Alberta. S'appuyant sur le projet pilote de la Penn West, ce projet consistait à forer et à installer des puits de faible profondeur pour la surveillance des eaux souterraines, afin de déterminer si le CO<sub>2</sub> s'infiltrerait dans les approvisionnements d'eau souterraine.

**Titre du projet :** Surveillance environnementale du projet pilote de la Penn West concernant la récupération assistée du pétrole par injection de CO<sub>2</sub>.

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada – CanmetÉNERGIE, Alberta Research Council Inc., EnergyINet, Environnement Alberta, Penn West Energy Trust



### Réalisations :

- » Les chercheurs ont mis au point une méthodologie et des outils pour surveiller l'efficacité du stockage de CO<sub>2</sub> qui pourrait servir à d'autres projets.
- » Le travail achevé pour le projet pilote de surveillance de la RAH par injection de CO<sub>2</sub> à la Penn West Pembina Cardium aide au développement du domaine pour les activités de RAH basées sur le stockage du CO<sub>2</sub>. La capacité et le confinement ont tous deux été démontrés, et la capacité d'injection est présentement démontrée par les activités de RAH.
- » Des progrès notables ont été réalisés dans la mesure, la surveillance et la vérification par la conception et le déploiement d'un puits d'observation, la conception d'un système d'échantillonnage de ciment des puits, la conception et le déploiement d'un système de surveillance environnementale, l'utilisation de mesures du profil sismique vertical (PSV), et la mise au point d'indicateurs *in situ*.



## Production énergétique décentralisée

Présentement, une grande partie de l'électricité au Canada est produite par des grandes centrales électriques et distribuée au moyen de réseaux électriques. Des pannes récentes dans les réseaux électriques ont suscité des inquiétudes concernant l'âge et la fiabilité de ces systèmes. De plus, les centrales électriques du Canada sont une source importante de GES et d'autres émissions atmosphériques au Canada. La production décentralisée d'énergie, y compris à partir de l'énergie renouvelable, représente une bonne solution à ces problèmes, mais les obstacles institutionnels, la faible fiabilité et les coûts élevés du système contrecarrent l'installation de systèmes de production d'électricité sur des édifices particuliers.

Le domaine technologique de production énergétique décentralisée a été mis sur pied pour soutenir les activités qui mettront en place le fondement pour une utilisation accrue des systèmes énergétiques décentralisés d'ici 2025. Les projets dans ce domaine technologique ciblent la recherche et le développement de systèmes pour augmenter la fiabilité du système d'énergie électrique du Canada, pour réduire les émissions de GES de ce système, et pour atteindre ces objectifs à un coût économique acceptable pour les Canadiens. Ce travail comprenait aussi la mise à jour et la création de normes (par ex., codes et règlements décrivant la façon de brancher avec sécurité la technologie énergétique), essentielle au succès du déploiement de la nouvelle technologie.

### La mise à jour des normes propulse le développement de l'énergie éolienne

Au début de ce projet, les normes canadiennes pour les systèmes d'énergie éolienne étaient désuètes et non applicables à la technologie moderne en matière d'énergie éolienne. Conséquemment, les normes canadiennes anciennes constituaient un obstacle pour l'industrie. Les organismes de réglementation devaient utiliser une mosaïque d'approches pour la délivrance des permis, ce qui augmentait les risques et les coûts pour les promoteurs. Le projet a mis sur pied plusieurs sous-comités techniques qui ont examiné non seulement les normes de l'Association canadienne de normalisation (ACN) pour les systèmes de conservation de l'énergie éolienne mais les a harmonisées aux normes de la Commission électrotechnique internationale (CEI), ce qui assurait que les normes respectaient les règlements environnementaux canadiens et aussi les autres exigences telles que les codes pour l'électricité et les bâtiments. Le processus concernait les organismes de réglementation, les manufacturiers, les promoteurs et autres intervenants de l'industrie. Les nouvelles normes approuvées par le comité des énergies renouvelables de l'ACN s'harmonisent davantage avec les normes internationales, ce qui minimisera les obstacles commerciaux, réduira les coûts et les risques et misera sur les efforts internationaux pour conserver les normes à jour.

**Titre du projet :** Normes nationales de mise au point technologique en matière d'énergie renouvelable

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Association canadienne de normalisation

### Réalisations :

- » Publication et adoption de cinq nouvelles normes canadiennes concernant les éoliennes, basées sur les normes de la CEI pour mieux refléter la technologie moderne en matière d'énergie éolienne. Les normes adoptées étaient les suivantes :
- » CEI 61400-1 : Éoliennes : exigences de conception (avec plusieurs exigences propres au Canada)
- » CEI 61400-2 : Petites éoliennes : exigences de conception (avec plusieurs exigences propres au Canada)
- » CEI 61400-11 2<sup>e</sup> édition : Techniques de détermination des caractéristiques acoustiques d'une éolienne [TRADUCTION]
- » CEI 61400-12-1 : Mesures du rendement énergétique des éoliennes productrices d'électricité [TRADUCTION]
- » CEI 61400-24 : Protection des éoliennes contre la foudre (avec exigences propres au Canada)



## Maisons vertes chaudes : l'électricité solaire à la rencontre de l'énergie thermique solaire

Les progrès techniques ont augmenté le nombre de façons d'utiliser l'énergie solaire. Les cellules photovoltaïques (PV) captent l'énergie du soleil pour produire l'électricité d'une façon durable. De plus, la technologie de récupération de l'énergie solaire thermique permet d'utiliser l'énergie solaire pour chauffer les édifices. Ce projet étudie les façons de combiner l'électricité solaire et l'énergie solaire thermique pour usage dans les maisons unifamiliales.

Au cours de la première phase du projet, les chercheurs ont mis l'accent sur les questions techniques et les stratégies d'intégration des systèmes PV et thermiques (PV/T) dans l'enveloppe des bâtiments (c'est-à-dire, le toit, les auvents et les façades). Ils ont aussi pensé à des moyens pour récupérer la chaleur résiduelle générée par ces systèmes pour répondre aux demandes de chauffage et de climatisation de la maison. À noter que les cellules PV fonctionnent mieux lorsqu'elles sont refroidies. La seconde phase consiste à mettre à l'essai sur le terrain la conception de système la plus prometteuse. Cette phase a soutenu les démonstrations de PV/T dans les édifices résidentiels (maison à consommation énergétique nette nulle d'ÉcoTerra construite par les Maisons Alouette dans le cadre de l'initiative EQUilibrium de la Société canadienne d'hypothèques et de logement [SCHL]) et les édifices non résidentiels (le nouvel édifice de l'École de gestion John-Molson de l'Université Concordia).

**Titre du projet :** Systèmes résidentiels photovoltaïques et thermiques

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Saskatchewan Research Council, la SCHL, Conserval Engineering, Université Concordia, Canadian Solar Buildings Research Network (Université Concordia, Université Queen's, Université du Nouveau-Brunswick, Université de Waterloo), ARISE Technologies Corporation, Maisons Alouette, Agence internationale de l'énergie – Le programme des systèmes énergétiques photovoltaïques de la tâche 35

### Réalisations :

- » Le projet a étudié quatre concepts PV/T pour intégration résidentielle et a distribué des rapports techniques et cinq articles à des conférences nationales et internationales.
- » Les partenaires du projet ont participé au 2005 U.S. Department of Energy Solar Decathlon pour faire la démonstration des technologies d'énergie solaire PV et

thermique dans une résidence en démonstration, et de présenter un modèle pour un rendement optimal du système PV/T et la récupération de la chaleur. Cette maison a reçu deux récompenses : une première place de BP Solar et une autre de la U.S. National Home Builders Association pour le meilleur système intégré et la maison la plus éconergétique.

- » Les partenaires du projet ont participé à l'Annexe 35 du programme international de l'Agence de l'Énergie sur le chauffage et la climatisation solaires, mettant l'accent sur l'analyse énergétique et la modélisation des systèmes PV/T. Le Réseau de recherche sur les bâtiments solaires a accueilli une réunion de groupes d'experts de l'Annexe 35 à Toronto et donné une occasion aux chercheurs canadiens de coopérer avec les experts internationaux. Les rapports techniques et les résultats de la contribution à l'annexe découlaient de cette activité.
- » Les partenaires du projet ont collaboré avec plusieurs promoteurs canadiens du secteur privé à l'application des concepts de PV/T dans les conceptions de maisons présentées à la Société d'hypothèques et de logement pour financement dans le cadre de la compétition EQUilibrium Housing. Ces maisons ont été approuvées et construites.
- » Une poursuite de ce projet a tenté de renforcer la position concurrentielle des entreprises canadiennes d'énergie solaire, permettant au Canada de tirer profit du potentiel immense de la croissance du marché en énergie solaire. Un réseau de R-D a été mis sur pied pour déterminer les nouvelles technologies innovatrices et prometteuses que le Canada peut développer.

## Cartographie des vents du Canada : Le nouvel atlas des vents fait avancer l'industrie de l'énergie renouvelable

Pour orienter l'industrie éolienne canadienne naissante, les partenaires du projet ont élaboré un atlas des vents dernier cri qui cartographie la présence des vents à la grandeur du Canada. L'atlas des vents est basé sur des travaux précédents de cartographie des vents effectués par Environnement Canada et un système de cartographie du vent appelé Wind Energy Simulation Toolkit (WEST) créé par le service météorologique de la direction des recherches au Canada. L'objectif de l'atlas des vents est d'abord de montrer aux Canadiens et aux décideurs le potentiel d'énergie éolienne du Canada et de procurer des données gratuites sur le vent aux personnes qui veulent effectuer une évaluation de préféabilité de leur projet éolien. L'information sur le vent est donnée sur

trois altitudes et peut être interpolée ou extrapolée pour donner des renseignements sur le vent à n'importe quelle altitude pour les premiers 100 mètres au-dessus du sol.

**Titre du projet :** Atlas national des vents et outils connexes

**Exécutants et partenaires :** Environnement Canada, Ressources naturelles Canada, Conseil national de recherches du Canada

### Réalisations :

- » Le projet a créé un atlas des vents qui consiste en un vaste ensemble de cartes numériques accompagnées de références géospatiales et disponibles sur le Web fournissant des statistiques à long terme sur le vent, telles que sa vitesse et les fréquences de sa direction, ainsi que les variations saisonnières.
- » Contrairement au U.S. Wind Atlas, qui illustre 50 petites cartes côte à côte, l'Atlas canadien du Vent consiste en une mosaïque de 18 cartes. Pour créer cette mosaïque, Environnement Canada a dû élaborer une nouvelle technique. Cette « technique de mosaïque » est utilisée maintenant dans les atlas des vents d'autres grands pays, notamment la Chine.
- » Plusieurs provinces ont utilisé les données éoliennes élaborées pour l'atlas des vents comme base de leurs propres atlas provinciaux des vents.
- » Depuis le lancement de l'atlas des vents, qui peut être téléchargé gratuitement, les partenaires du projet rapportent qu'ils ont cessé d'entendre les gens prétendre qu'il n'y a pas de bons vents au Canada et qu'investir dans l'énergie éolienne est une perte de temps et d'argent.
- » L'information de l'atlas des vents et des outils connexes aidera non seulement à la construction de nouveaux parcs éoliens, mais orientera leur exploitation et leur gestion (par ex., prévoir les jours de vents faibles pour programmer les travaux d'entretien des turbines).

## Développement d'un système de turbines à vitesse variable et de basse chute sans danger pour les poissons

Ce projet a concentré ses efforts sur le développement de deux nouveaux systèmes de turbines hydroélectriques qui seraient économiquement viables et respectueux de l'environnement, surtout en ce qui a trait aux populations de poissons.

L'hydroélectricité est la forme d'énergie renouvelable la plus en usage, ayant habituellement l'effet de produire moins d'émissions de GES que les centrales qui utilisent

les combustibles fossiles. L'énergie générée dépend essentiellement de l'efficacité des systèmes de production énergétique, du volume d'eau et de la différence de hauteur – appelée chute – entre la source et la sortie d'eau. Les systèmes hydroélectriques de haute chute génèrent davantage d'énergie, mais ils requièrent la construction de barrages et de réservoirs d'eau qui ont des répercussions négatives sur l'environnement et les humains. Même les systèmes de basse chute ont des incidences négatives sur l'environnement, car ils tuent les poissons qui passent à travers les turbines. De plus, quand les niveaux d'eau baissent, l'énergie disponible baisse en proportion de la chute et du débit.

Le Canada a un potentiel hydraulique substantiel de basse chute, qu'on estime à plus de 4 000 MW pour les chutes de 3 à 15 mètres de hauteur. Mais pour tirer profit de ce potentiel, de nouveaux systèmes de turbines étaient nécessaires pour surmonter les difficultés économiques et les défis représentés par l'écosystème aquatique.

**Titre du projet :** Système de turbines à vitesse variable et de basse chute, sans danger pour les poissons

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Rapid-Eau Technologies Inc., Université du Nouveau-Brunswick, Powerbase Automation Inc., Swiderski Engineering, Norcan Hydraulic Turbine Inc. GE Hydro, Alstom Power

### Réalisations :

- » L'équipe du projet a mis au point deux systèmes de turbines de basse chute qui utilisent des chutes de 7 à 15 mètres et de 3 à 7 mètres respectivement. Les systèmes sont composés de turbines, de générateurs, de convecteurs d'énergie et de contrôles.
- » Fonctionnant à vitesse variable, les turbopropulseurs peuvent fonctionner grâce à un large éventail d'opérations (débits faibles et élevés) avec beaucoup d'efficacité et un taux élevé de variation de débit. Ainsi, dans l'ensemble, on peut produire davantage d'énergie.
- » Les systèmes de turbines ne sont pas régulés et nécessitent un raccord d'évasement sans vitesse (boîte de vitesse) qui réduit le coût global des applications au fil de l'eau. Le fil de l'eau se rapporte aux activités d'exploitation de basse chute qui ne requièrent pas la construction d'un grand barrage ou de réservoirs de stockage d'eau.
- » On s'attend à ce que les turbines réduisent la mortalité des poissons à moins de 5 % (habituellement, 5 à 10 % des poissons qui traversent les meilleures turbines actuelles sont tués, alors que 30 % ou plus sont tués en passant dans d'autres turbines).

## Nouvelles normes et certification pour lisser l'adoption d'énergie de remplacement

Réunissant plusieurs intervenants, ce projet a été lancé, afin d'obtenir un consensus sur les exigences de l'interconnexion des ressources énergétiques décentralisées (RED) au réseau électrique au Canada et augmenter la participation canadienne dans l'élaboration de normes d'interconnexion internationale. Les RED sont de petits groupes électrogènes, fonctionnant souvent avec l'énergie solaire, éolienne ou microhydraulique situés près d'une région qui consomme le plus d'électricité. Pour permettre la meilleure utilisation possible des RED, on devait élaborer de nouvelles normes et mettre à jour les anciennes, surtout celles sur les questions litigieuses telles que les façons de se débrancher du réseau, l'ilotage et la qualité énergétique.

Plus de 50 experts canadiens ont participé à ce projet pour rendre les normes canadiennes conformes aux équivalents internationaux et voir à ce que les exigences canadiennes soient reconnues dans les normes internationales.

Dans la poursuite de ce projet, les collaborateurs ont élaboré des normes, des programmes de certification et des règlements pour les produits liés à la production décentralisée. Ces normes de sécurité et de rendement garantiront aux utilisateurs finaux que les produits respectent les critères de qualité sans besoin de vérifications additionnelles.

**Titre du projet :** Certification et normes des produits pour la production décentralisée

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, ACN International, Electro Federation of Canada – Conseil consultatif des fabricants d'appareillage électrique, Xantrex Technology, ville de Vancouver, membres de la CEI TC8, membres du IEEE Norme 1547 pour l'interconnexion des ressources décentralisées avec les systèmes électriques et du IEEE P1547.1. Norme provisoire pour la conformité des procédures d'essais pour l'équipement d'interconnexion des ressources décentralisées avec les systèmes électriques, Association canadienne de normalisation – Comité permanent sur les exigences pour la sécurité de l'électricité (SCORES), Association canadienne de normalisation – Comité permanent sur le génie électrique (SCOPE), membres du comité de la Section 50 du Code canadien de l'électricité, membres de ACN C22.2 107.1 Comité technique sur l'utilisation générale normalisée de l'équipement électrique, Université McGill, Université de l'Alberta; Université du Nouveau-Brunswick, membres de la CEI TC 4 (Hydro), membres de la CEI TC 82 (photovoltaïques), membres de la CEI TC 88 (turbine éolienne), membres de ISO TC97 (microturbines), membres de la CEI TC 105 (piles à combustible)

BC Hydro, Énergie N.-B., Manitoba Hydro, Nova Scotia Power, Hydro-Québec, ENMAX Corporation, EPCOR, SaskPower, Hydro One, Toronto Hydro; fabricants de production décentralisée, intégrateurs des systèmes, équipement de transformation énergétique, moteurs, transformateurs, et équipement de distribution d'électricité

### Réalisations :

- » Publication de CSA C22.2 comme norme nationale de l'interconnexion des systèmes basés sur des onduleurs avec le système de distribution électrique. Cette norme est l'aboutissement réussi de l'Initiative de MicroPower Connect.
- » Mise au point réussie d'une norme provisoire pour les compteurs de chaleur (adoption d'EN 1434) et l'inclusion de gaz naturel pour les centrales électriques de secours CSA C282.
- » Des changements ont été apportés au *Code électrique canadien* à la section 14 (protection et contrôle), section 50 (photovoltaïques), et section 84 (interconnexion).
- » La 2<sup>e</sup> norme nationale *CSA 22.3 N° 9 Interconnexion des ressources décentralisées avec les systèmes d'approvisionnement électrique* a été finalisée.
- » Adoption par les provinces de *CAN/CSA-C22.22 N° 257-06 Interconnexion pour les micro - systèmes de production décentralisée aux systèmes de distribution, à l'aide d'onduleurs*.
- » Le travail terminé sur les normes dans ce projet est essentiel pour garantir que la technologie énergétique mise au point dans d'autres parties du domaine technologique de la production énergétique décentralisée puisse être déployée. De plus, en s'assurant que les principaux développements apparaissent dans le *Code électrique canadien*, les fabricants, les installateurs et les inspecteurs électriques pourront traiter d'exigences cohérentes à la grandeur du Canada.
- » Une réunion d'examen par les pairs intitulée « DER Interconnection Standards, R&D, and Project Implementation » a eu lieu le 25 mars 2008 à Toronto. Elle a été organisée par Ressources naturelles Canada en collaboration avec Electro-Federation Canada. Les 65 participants ont pris connaissance des derniers développements concernant la R-D sur l'interconnexion, les exigences techniques et les normes. Les collaborateurs ont partagé leur expérience en ce qui a trait aux leçons apprises et aux questions pratiques sur les projets réussis. L'information est maintenant disponible à [www.powerconnect.ca/references/presentations-e.htm](http://www.powerconnect.ca/references/presentations-e.htm).

## Projet transversal

### Production d'énergie décentralisée, charbon épuré et captage et stockage du dioxyde de carbone

#### L'ammoniac comme carburant de l'avenir

Les piles à combustion à oxyde solide (PCOS) présentent plusieurs avantages sur les autres types de piles. Ils peuvent utiliser divers combustibles et sont particulièrement efficaces pour convertir le carburant en électricité. Lorsque la chaleur produite par la réaction est harnachée (plutôt que de s'échapper comme perte), les PCOS deviennent des systèmes de chaleur et d'énergie combinée (CEC). L'équipe de projet voulait pousser ses avantages plus loin en mettant au point une PCOS qui peut fonctionner à l'ammoniac anhydre. L'ammoniac anhydre est un carburant porteur d'hydrogène propre et potentiellement renouvelable. Il est doté d'une densité énergétique élevée et se manipule comme le propane. L'ammoniac jouit déjà d'une infrastructure de distribution étendue à cause de son utilisation agricole, ce qui le rend très disponible et facile d'utilisation comme carburant dans les POCS. De par le processus industriel employé, le CO<sub>2</sub> pur est un sous-produit de la production d'ammoniac à partir du gaz naturel (ou d'autres combustibles fossiles) et peut donc être stocké de façon économique.

Auparavant, Ressources naturelles Canada effectuait de la R-D interne pour mettre au point des piles combustibles à l'ammoniac sans émissions. En partenariat avec Acumentrics Canada, Ressources naturelles Canada a effectué des essais avec l'ammoniac dans la colonne de POCS d'Acumentrics, qui fait partie intégrante de ses systèmes de POCS au gaz naturel. L'objectif était d'accélérer le développement de la technologie de piles à combustible, pour encourager une acceptation et une utilisation plus étendues de l'ammoniac en tant que combustible renouvelable propre pour utilisation dans les CEC stationnaires décentralisés.

**Titre du projet :** Piles à combustible à ammoniac à émission nulle aux fins d'une production d'électricité décentralisée

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Terra Environmental Technologies, Agrium, Acumentrics Canada

#### Réalisations :

- » L'équipe de projet a réussi à mettre au point et à tester des matériaux innovateurs de piles à combustible à base de céramique conductrice de protons, pour utilisation dans les piles à combustible à l'ammoniac. Les densités énergétiques atteintes dans les piles à combustible simples à support d'anode, se comparaient avantageusement avec les POCS en zircone commerciales, fonctionnant à des températures plus basses.
- » De ce travail ont découlé plusieurs publications revues par des pairs et des présentations à des conférences.
- » Une évaluation préliminaire s'est attardée à la faisabilité technique et économique de l'exploitation de l'ammoniac en tant que porteur énergétique sans carbone, et l'utilisation des piles à l'ammoniac directes pour l'alimentation électrique sans coupure et dans les systèmes de CEC.
- » L'équipe de projet a évalué l'ammoniac comme combustible et a mesuré les caractéristiques de rendement des POCS d'Acumentrics Canada, qui sont développées pour fonctionner au gaz naturel pour le CEC résidentiel. Les résultats préliminaires ont été très prometteurs.

## Turbine d'expansion de gazoduc combinée avec les piles à carbonates fondus

Des possibilités existent pour améliorer l'efficacité énergétique en harnachant la chaleur perdue et en l'utilisant pour produire de l'électricité. Les experts du gouvernement et de l'industrie ont collaboré pour construire une nouvelle centrale à cycle combiné à l'aide de la pression dans les gazoducs (un déchet) et une pile à carbonates fondus.

Une centrale hybride a été construite sur le site d'une station de décompression d'un gazoduc à Toronto. La centrale hybride combine une turbine d'expansion du gaz de 1 MW avec une pile à carbonates fondus de 1,2 MW. La pile à combustible opère à des températures supérieures à 650 °C et la chaleur perdue préchauffe le flux de gaz dans la turbine.

**Titre du projet :** Pile à combustible et dispositif d'expansion d'électricité décentralisée

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Enbridge Gas Distribution, Toronto Hydro, Gouvernement de l'Ontario



### Réalisations :

- » La centrale à cycle combiné à dispositif d'expansion de pile à combustible produit des émissions très propres. En comparaison, la centrale Goreway de 990 MW située près de Toronto, une centrale au gaz à la fine pointe de la technologie équipée du nettoyage complet du gaz, produit 13 fois plus de PCA calculés en g/kWh.
- » Les obstacles institutionnels ont été éliminés, y compris la délivrance d'un permis par la ville de Toronto, ce qui a ouvert la voie à d'autres projets d'électricité décentralisée.
- » La turbine d'expansion fonctionne maintenant.
- » La pile à combustible a également été mise en service et le fonctionnement combiné devrait être possible en 2009.
- » Un deuxième projet pour construire une centrale de 7,9 MW est au stade de la mise au point aux É.-U., appuyé par des investissements d'Enbridge Gas Distribution.

## Économie fondée sur l'hydrogène

L'hydrogène est l'élément le plus abondant dans l'univers et bien que l'on ne le retrouve pas naturellement sur terre à l'état gazeux, il peut être séparé des autres éléments et utilisé comme porteur d'énergie ou comme combustible. L'hydrogène est le combustible le plus propre et le plus efficace, offrant deux à trois fois plus d'énergie par unité de masse que d'autres combustibles. L'utilisation de l'hydrogène comme porteur d'énergie offre un potentiel énorme pour diminuer les émissions de GES, améliorer la qualité de l'air, encourager le développement industriel et générer de la richesse.

La technologie industrielle fondée sur l'hydrogène a été mise sur pied pour étendre les connaissances dans ce domaine et faire avancer les technologies qui atténuent les changements climatiques et la pollution de l'air grâce à l'utilisation de l'hydrogène. Ce secteur technologique a appuyé la R-D reliée à l'hydrogène qui contribuerait à la création d'une économie fondée sur l'hydrogène. Dans une telle économie, l'hydrogène serait abondamment utilisé comme porteur d'énergie et comme matière première. Les projets dans ce secteur technologique se concentrent sur la production, le stockage et l'utilisation de l'hydrogène ainsi que sur les codes, les normes, la sécurité et les mécanismes de diffusion nécessaires à ces processus.

### Les sous-produits de la biomasse pour la production d'hydrogène

Cette étude de faisabilité a trouvé des sources canadiennes de sous-produits de biomasse industriels qui peuvent être utilisés dans la production d'hydrogène. Les sources canadiennes de biomasse étudiées comprenaient des déchets des secteurs forestiers et agricoles, l'industrie de pâtes et papiers, et le glycérol qui est un sous-produit de la production des biodiesels.

Le projet a produit un rapport qui présentait les deux catégories principales de technologies utilisables pour la conversion de la biomasse en hydrogène : les processus biologiques et thermiques. Les processus biologiques incluent la biophotolyse, les réactions de conversion de l'eau en gaz, la photofermentation, et la fermentation anaérobie. Cependant, ces processus n'en sont qu'au début de leur développement et n'ont donc pas été élaborés dans le rapport. Les trois principales catégories de processus thermiques sont la pyrolyse, la liquéfaction et la gazéification. Le rapport discute plus en détail les deux processus thermiques les plus efficaces, la pyrolyse et la gazéification. De plus, le rapport présente une brève discussion de deux nouvelles technologies de gazéification, la gazéification de la biomasse dans l'eau supercritique et la conversion thermique catalytique.

**Titre du projet :** Sous-produits de la biomasse pour produire de l'hydrogène

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Université du Québec à Trois-Rivières

### Réalisations :

- » Le rapport évalue la faisabilité économique et technique de l'utilisation des sources de biomasse et des technologies de conversion pour la production efficace d'hydrogène.
- » Le projet a déterminé que les résidus de pâte à papier représentaient une source possible de 145 000 tonnes d'hydrogène par année et le glycérol, une source possible de 70 000 tonnes d'hydrogène par année.
- » Le rapport conclut que la production d'hydrogène à partir de la biomasse par gazéification est comparable sur le plan économique au reformage du méthane à la vapeur si l'on tient compte des effets sur les GES



## Les nouveaux matériaux améliorent les piles à combustible à l'hydrogène

Les piles à combustible à oxyde solide (céramique) produisent de l'énergie en ajoutant de l'oxygène à un combustible. La céramique conduit l'électricité tout en gardant l'oxygène et l'hydrogène séparés. La céramique la plus utilisée, la zircone, requiert des températures élevées (de 600 °C à 1 000 °C) pour fonctionner efficacement. Cette température exige des matériaux coûteux pour la fabrication de la pile à combustible ce qui a une incidence sur la fiabilité des piles à combustible.

Ce projet étudie l'utilisation des céramiques de remplacement, telles que le gallate de lanthane, dans la fabrication des piles à combustible à oxyde solide afin de réduire la température de fonctionnement entre 500 °C et 800 °C. Le fonctionnement des piles à combustible à ces températures permettrait d'utiliser un plus grand éventail de matériaux pour leur construction, notamment les composants métalliques, ce qui réduirait également le coût, prolongerait la durée de vie et augmenterait la fiabilité des piles.

**Titre du projet :** Matériaux pour les piles à combustible à l'hydrogène

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Conseil national de recherches du Canada.

### Réalisations :

- » Les publications résultant de ce projet de recherche sont citées dans toute la documentation scientifique sur les piles à combustible à l'oxyde solide.
- » Sept publications revues par les pairs publiées dans les magazines internationaux.
- » Le projet a mis au point des nouveaux matériaux électrolytes pour la fabrication des piles à combustible à oxyde solide qui fonctionnent entre 500 °C et 800 °C.

## Conversion du sulfure d'hydrogène en hydrogène

Le gaz naturel contient différentes quantités de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S). À concentration élevée, on parle de gaz naturel acide. Parce que les liens de sulfure d'hydrogène demandent moins d'énergie pour se séparer que d'autres composés de l'hydrogène, comme l'eau ou le méthane, le sulfure d'hydrogène est une source prometteuse d'hydrogène moins coûteuse.

Dans le cadre de ce projet, Kingston Process Metallurgy a adapté une technologie innovatrice de séparation du sulfure d'hydrogène pour mettre au point une méthode de production d'hydrogène. Cette méthode permettrait de produire de l'hydrogène à partir du sulfure d'hydrogène à faible coût et en produisant moins de gaz carbonique.

La méthode isole le sulfure d'hydrogène à l'aide de la technologie existante, puis fait barboter le gaz dans du cuivre fondu. L'hydrogène pur est alors relâché et capté, tandis que le sulfure réagit avec le cuivre et le transforme en sulfure de cuivre. Les réactions entre l'hydrogène et le cuivre, et le sulfure de cuivre et l'air produisent de l'énergie qui chauffe le système, augmentant ainsi son efficacité.

**Titre du projet :** Production d'hydrogène à partir du sulfure d'hydrogène et du méthane

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Kingston Process Metallurgy Inc., U.S. Department of Energy – Argonne National Laboratory

### Réalisations :

- » L'équipe de recherche a défini les conditions expérimentales optimales, notamment le taux de cycle, l'importance de la réaction, le contrôle des fins de cycles, l'extraction du carbone des hydrocarbures, le ratio H<sub>2</sub>S-hydrocarbures et les effets des impuretés.
- » L'équipe de recherche a mis au point un réacteur de laboratoire capable de traiter le H<sub>2</sub>S à un taux de flux de 20 l/min.
- » Le projet a effectué des calculs qui ont optimisé le procédé et le système pour la production d'hydrogène à l'échelle industrielle, ce qui incluait le calcul du taux optimal d'injection d'hydrocarbures pour une application à l'échelle industrielle.
- » En plus de produire de l'hydrogène à partir du gaz naturel acide, ce procédé produit également de l'acide sulfurique concentré, un produit très utile dans l'industrie chimique et en agriculture.
- » Ce projet a été souligné dans le site Web d'Argonne.

## Les nanomatériaux font progresser les techniques de stockage de l'hydrogène

Les systèmes existants de stockage d'hydrogène dans les véhicules sont lourds et coûteux, car ils utilisent une technologie de compression ou de liquéfaction de l'hydrogène. Pour faire de l'hydrogène une solution viable au remplacement de combustibles à base de carbone, il faudra mettre au point des systèmes de stockage de l'hydrogène légers et compacts pour les véhicules qui requièrent des matériaux et des composants à coûts peu élevés. La recherche dans ce domaine partout dans le monde se concentre sur la création d'hybrides, qui sont des composés d'hydrogène et d'autres matériaux. Différentes approches et différents matériaux, dont la plupart utilisent des matériaux légers, sont à l'étude.

Ce projet a examiné l'utilisation de nanomatériaux innovateurs et de nanotechnologies émergentes pour le stockage de l'hydrogène. Plus particulièrement on a étudié l'utilisation du magnésium pour stocker l'hydrogène grâce à la création d'hydrure de magnésium ou d'ensembles chimiques d'hydrure de magnésium. On a également effectué de la recherche sur l'utilisation de bouillie liquide d'eau et de métal. Le projet a également étudié le stockage et la livraison d'hydrogène à l'aide de borohydrures solubles dans l'eau.

**Titre du projet :** Nanomatériaux pour le stockage d'hydrogène

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Université de Waterloo, INCO (maintenant Vale INCO), Université de Wollongong (Australie), Académie des sciences de Russie et Hy-Energy (É.-U.).

### Réalisations :

- » En partenariat avec l'Université de Waterloo, le projet a mis au point un procédé pour charger des hydrures dans des broyeurs à boulets alimentés en hydrogène dans des conditions de température et de pression ambiantes.
- » Dans le cadre d'un projet de coopération internationale, on a conjointement mis au point de nouveaux nanomatériaux structuraux de  $Mg_2FeH_6$  et de  $MgH_2$  (nano) catalysé au nickel.
- » En partenariat avec INCO, le projet a mis au point un nouveau catalyseur nanonyckel pour le stockage de l'hydrogène dans le magnésium.
- » Le projet a mené à plus de 40 publications techniques dans des revues internationales de R-D.

## Plans pour la réussite d'une démonstration énergétique éolienne-hydrogène-diesel

L'île de Ramea, située au large de Terre-Neuve, a été choisie en 2004 pour être le site du premier projet de démonstration énergétique combinant l'éolien et le diesel au Canada. Les éoliennes sont si productives que l'énergie produite dépasse souvent les besoins des habitants. Étant donné qu'il n'est pas facile de stocker l'énergie éolienne, l'énergie excédentaire produite est perdue. Mais lorsque les éoliennes ne peuvent pas produire assez d'énergie, les habitants doivent se fier à des génératrices au diesel pour produire l'électricité.

Ce projet comprenait une étude de faisabilité afin de déterminer si la technologie fondée sur l'hydrogène pourrait être utilisée pour capter et stocker l'énergie qui se perd. Si cela était possible, la petite île pourrait réduire l'utilisation des génératrices au diesel durant les périodes de faible demande.

On a procédé à des simulations pour analyser les effets de l'ajout de la génération, du stockage de l'hydrogène et des technologies d'utilisation d'hydrogène au projet de démonstration sur l'énergie mixte éolienne-diesel actuellement en cours. Plus précisément, l'objectif de l'étude était d'envisager l'utilisation de l'électricité des éoliennes pour créer de l'hydrogène par électrolyse qui pourrait être stocké pour utilisation future.

**Titre du projet :** Projet de démonstration éolienne de l'île de Ramea

**Exécutants et partenaires :** Newfoundland and Labrador Hydro, l'Agence de promotion économique du Canada atlantique, le gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador, Ressources naturelles Canada, l'Université Memorial, l'Université du Nouveau-Brunswick et Frontier Power Systems

### Réalisations :

- » Le modèle conçu par cette étude aura le potentiel d'évaluer la faisabilité d'autres démonstrations de solutions éolienne-hydrogène-diesel à l'avenir.
- » Cet outil sera utile aux processus de prise de décision des compagnies de services publics.





## Efficacité de pointe de l'utilisation finale

L'énergie d'utilisation finale est l'énergie finale utilisée dans les secteurs résidentiels, commerciaux et industriels ainsi que le système de transport qui les relie. Elle diffère de l'énergie du côté de l'offre, qui est l'énergie utilisée pour extraire, convertir et transporter les ressources énergétiques aux utilisateurs. L'amélioration de l'efficacité de l'énergie d'utilisation finale joue un rôle clé dans la réduction des GES et freine les changements climatiques. De plus, c'est beaucoup moins coûteux de réduire la quantité d'énergie utilisée que de produire davantage d'énergie.

Le secteur stratégique relié à l'efficacité de pointe de l'utilisation finale a effectué des recherches et du développement dans les technologies d'efficacité énergétique qui aideront à construire, à renouveler et à équiper les collectivités et les infrastructures tout en réduisant les GES et les autres polluants. Le secteur stratégique relié à l'efficacité de pointe de l'utilisation finale a financé trois domaines technologiques : le transport, l'industrie et les bâtiments (commerciaux et résidentiels) et les collectivités.

### Transport

Le transport est la plus importante source d'émissions de GES au Canada, et comptait en 2000 pour 25 % (179 mégatonnes) des émissions totales du pays. Les objectifs du secteur des technologies du transport étaient d'acquiescer une meilleure connaissance du rôle que joue le secteur des transports dans les changements climatiques, notamment l'importance de ce rôle et les mécanismes sous-jacents. De plus, ce secteur technologique voulait développer et mettre en œuvre de nouvelles technologies afin d'atténuer les effets du secteur du transport sur les changements climatiques, et par le fait même, renforcer la capacité technologique du Canada pour bâtir un système de transport plus efficace.

### Les secrets du noir de carbone

Le noir de carbone est produit par la combustion incomplète des combustibles, y compris les combustibles fossiles, les biocarburants et la biomasse. La recherche a démontré que c'est le deuxième participant en importance au réchauffement de la planète après le gaz carbonique. Le noir de carbone contribue aux changements climatiques en absorbant la lumière du soleil et en réchauffant l'air environnant. Lorsqu'il se dépose sur la glace et la neige, le noir de carbone diminue la réflexion de la lumière du soleil ce qui a pour effet d'augmenter la rapidité du dégel de la glace et de la neige.

Selon la source, le noir de carbone exhibe des caractéristiques physiques et chimiques très différentes. Ces caractéristiques sont modifiées lorsque les particules

sont relâchées dans l'atmosphère. Le noir de carbone s'échappe dans un secteur (p. ex. zone urbaine), se mélange à l'air d'autres zones polluées et se mélange à l'air relativement propre d'autres régions éloignées.

Le rôle exact et l'importance des effets du noir de carbone sur les changements climatiques sont inconnus à cause du manque de connaissance sur la quantité de noir de carbone dans l'atmosphère ainsi que sur ses propriétés physiques et chimiques. Ce manque de connaissance rend difficile la mise au point des modèles exacts des changements climatiques qui tiennent compte des effets du noir de carbone.

Le projet a examiné la contribution des émissions nord-américaines aux niveaux du noir de carbone dans l'air dans l'hémisphère nord, en se servant des mesures de noir de carbone prises dans l'Arctique canadien. Les chercheurs ont également examiné la contribution relative du secteur du transport par rapport à d'autres sources comme les feux de forêts. En terminant, les chercheurs ont essayé de jumeler les modèles de qualité de l'air de régions avec les modèles de noir de carbone hémisphériques. L'analyse de ces données comprenait notamment une façon d'isoler les sources de noir de carbone du transport canadien et de déterminer leur influence sur les variations des concentrations de noir de carbone au-dessus du territoire nord-américain et de l'Arctique à différents points dans le temps et dans l'espace.

**Titre du projet :** Émissions de noir de carbone et niveaux dans l'atmosphère au Canada

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Conseil national de recherches du Canada – Institut de technologie des procédés chimiques et de l'environnement, Environnement Canada – Division de la Recherche et de la Mesure des émissions, Environnement Canada – Services météorologiques du Canada, ministère de l'Environnement de l'Ontario, Université York,

Université de Toronto, Université de Windsor, Université de Western Ontario, Université de la Colombie-Britannique, United States Environmental Protection Agency, United States National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Department of Agriculture – Desert Research Institute, Université Tsinghua (Chine), Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Chine), International Steering Committee for Black Carbon Reference Materials, Artium Technologies Inc., Sandia National Laboratories (United States Department of Energy), et l'Université Cranfield (Royaume-Uni)

### Réalisations :

- » Développement de la capacité d'évaluer de façon fiable les effets des émissions de noir de carbone (et du carbone organique) à l'échelle planétaire et au Canada sur la qualité de l'air et le climat.
- » Développement de nouveaux modules pour l'amélioration du Modèle climatique global canadien qui améliorera son efficacité et augmentera son utilité dans le développement de politiques.
- » Les essais sur le terrain ont démontré qu'il est possible de mesurer exactement les niveaux de noir de carbone dans l'atmosphère.
- » L'analyse des mesures de noir de carbone des bases de données de l'Arctique a permis de constater que les sources principales de noir de carbone sont situées surtout en Asie continentale.
- » Le projet a permis de démontrer que la contribution des particules au réchauffement de la planète est la plus grande incertitude en ce qui concerne les modèles de changements climatiques.
- » Les mesures sur plusieurs années ont amélioré les connaissances actuelles sur les aérosols et permettront de meilleurs estimés de leurs effets sur le climat à l'échelle planétaire.
- » Trois publications revues par les pairs, une thèse de doctorat et contribution au contenu d'un livre.

## Freiner les émissions du transport non routier

L'équipement de transport non routier qui va des tondeuses à siège aux motoneiges en passant par les excavatrices contribue de façon importante aux émissions de GES et autres polluants atmosphériques. Il existe cependant un important manque de connaissances en ce qui a trait à la contribution du transport non routier aux émissions de GES au Canada. Ceci est démontré

clairement par le fait que les estimations actuelles d'émissions de GES pour cet équipement selon les facteurs d'émissions et le taux d'activité ne sont pas reflétées dans les estimations fondées sur la consommation de carburant en situation réelle.

Le projet comprenait la collecte d'information d'activité pour différents équipements non routiers utilisés à l'extérieur en situation réelle. Un système d'acquisition des données a été mis au point et utilisé pour prendre des mesures sur des moteurs à étincelles. Le système a ensuite été modifié pour être utilisé sur des véhicules récréatifs et a servi à prendre des mesures réelles sur une motoneige et un véhicule tout-terrain. Un autre système d'acquisition des données a été conçu pour les moteurs diesel et installé sur de l'équipement de la ville d'Ottawa. Les mesures ont alors été utilisées pour quantifier les émissions de GES et la consommation de carburant.

**Titre du projet :** Émissions de gaz à effet de serre des sources de transport non routier

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Université Carleton, ville d'Ottawa, United States Environmental Protection Agency

### Réalisation :

- » Les mesures prises à l'aide des systèmes d'acquisition des données ont démontré qu'il existait une grande différence entre les protocoles d'essais établis et les niveaux d'activité réelle observés durant l'utilisation comme telle.
- » Développement d'une base de connaissances des émissions de GES et de l'activité. Des recommandations peuvent maintenant être formulées sur les changements à apporter à la façon d'utiliser l'équipement pour réduire la consommation de carburant et les émissions de GES; ceci s'applique aussi bien aux équipements non routiers neufs que ceux déjà en service.
- » Collaboration couvrant les gouvernements provinciaux et les administrations municipales.
- » Lien avec l'Initiative d'Environnement Canada sur les émissions de CO<sub>2</sub> hors route.
- » Deux étudiants et chercheurs universitaires ont mis au point de nouvelles techniques pour mesurer l'activité des véhicules, pour transposer ces données dans des procédures d'essais en laboratoire et pour quantifier les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de ce secteur.
- » Publication d'un rapport technique interne.

## Carburants de pointe pour les moteurs à allumage par compression à charge homogène

La nouvelle norme nord-américaine qui entrera en vigueur en 2010 sur les émissions des moteurs diesel impose une réduction importante des émissions de particules et des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Afin de se conformer à cette norme, les manufacturiers automobiles vont peut-être se tourner vers la technologie d'allumage par compression à charge homogène (ACCH), qui permet d'obtenir une efficacité améliorée pour le diesel (de 25 à 30 % plus élevée) combinée à des émissions de particules et de NO<sub>x</sub> plus basses. Ce projet a étudié les effets des propriétés des carburants dans des conditions diverses, pour mettre au point une méthode pratique d'évaluation de la qualité de combustion des carburants ACCH.

Le Conseil National de recherches du Canada (CNRC) a mis en service une installation de pointe afin de clarifier la relation entre la chimie des carburants et le rendement et les émissions provenant du moteur à ACCH. Les données sur la combustion et les émissions ACCH ont été recueillies en utilisant de l'essence et du diesel. Un nouveau vaporisateur pour le diesel a été mis au point afin d'améliorer le mélange carburant-air lorsque l'on utilise des distillats moyens. Le vaporisateur permettra aux chercheurs du CNRC de devenir des chefs de file dans le domaine de la quantification du comportement de l'auto-allumage des carburants ACCH dans des conditions réelles à l'intérieur du cylindre.

Le CNRC a l'intention de poursuivre ses études dans ce secteur afin d'appuyer la mise au point d'une méthode d'essai des carburants ACCH par l'American Society for Testing and Material, et de s'assurer que les industries canadiennes des sables bitumineux et des carburants renouvelables pourront profiter de cette nouvelle technologie.

**Titre du projet :** Carburants de pointe pour les moteurs à allumage par compression à charge homogène (ACCH)

**Exécutants et participants :** Conseil national de recherches du Canada, Ressources naturelles Canada, U.S. Department of Energy - National Renewable Energy Laboratory, Environnement Canada



### Réalisations :

- » Les chercheurs du CNRC ont été les premiers à rapporter une augmentation des émissions de NO<sub>x</sub> lorsque l'auto-allumage est ralenti.
- » Dissémination des connaissances relatives à la combustion ACCH à la communauté scientifique, l'industrie pétrolière et les décideurs dans le domaine des carburants.
- » Mise au point de nouvelles techniques pour mesurer l'activité des véhicules, pour transposer ces données dans des procédures d'essais en laboratoire et pour quantifier les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de ce secteur.
- » Le projet a produit deux publications de conférence durant l'année financière 2007-2008, ainsi que six autres publications reliées au Programme Carburants de pointe et réduction des émissions des véhicules (AFTER) du PRDE

## Entreprise multinationale pour étudier les véhicules légers sécuritaires et économiques en carburant

Ce projet avait pour objectif de diminuer de façon importante le poids des véhicules, dans le but de réduire les GES et les autres émissions, tout en améliorant la sécurité des véhicules. Afin d'accomplir cette double tâche, des aciers ultrarésistants ont été utilisés pour revoir le design de la cage de protection des véhicules et ont été combinés avec des alliages légers de magnésium pour le train avant.

Dans la première partie du projet, les fabricants d'acier et d'automobile au Canada et aux É.-U. ont collaboré pour déterminer le procédé de formage à chaud et de refroidissement de la matrice d'acier ultrarésistant. Ils ont également évalué des revêtements de haute performance et mis à l'essai les propriétés mécaniques de l'acier durant le procédé de formage.

Durant la deuxième partie du projet, le Canada a collaboré avec les É.-U. et la Chine pour mettre au point des concepts initiaux de deux sous-ensembles automobiles (train avant) en utilisant des pièces de magnésium au lieu de l'acier. Les partenaires vont maintenant travailler au design, à la fabrication et à l'assemblage de composants de magnésium pour ensuite tester leur performance. Certains de ces composants sont déjà installés sur des véhicules de production, alors que les autres sont tous à l'étape finale du design.

Les connaissances et les technologies mises au point durant ce projet pourraient contribuer au développement de la technologie pour les véhicules hybrides (diesel) et à

pires à combustible, qui fait appel à une réduction du poids du véhicule sans toutefois compromettre la sécurité des passagers.

**Titre du projet :** Light-weight vehicle body architecture (LiVBA) (projet de carrosserie légère de véhicule) Project : partie I – Traitement, fabrication et propriétés d'utilisation de l'acier ultra résistant; partie II – Magnesium front end research and development (MFERD) (recherche sur la construction du train avant de véhicules en magnésium et leur mise au point)

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, United States Department of Energy, ministère chinois de la science et de la technologie, Cosma International, G-Mag International, Husky Energy, Trimag, Auto Steel Partnership, Magna International, Martinrea, Centreline, USCAR

### Réalisations :

- » Le projet a été l'instrument d'un transfert de technologie aux partenaires industriels sur le formage à chaud, le changement de phase durant le procédé de formage à chaud et le contrôle de la microstructure des pièces trempées.
- » Le travail accompli confirme que l'acier galvanisé peut être utilisé pour le formage indirect, ce qui permet de réaliser des réductions de coût importantes.
- » Husky Energy et G-MAG (membre de Magna International) ont mis au point conjointement une technologie de thixomoulage pour mouler une pièce de magnésium pour le train avant.
- » Cosma engineering (membre de Magna International) a conçu le premier train avant en magnésium, qui est 40 kg plus léger que les trains avant en acier.
- » Les partenaires du projet ont travaillé avec l'entreprise canadienne Centreline, pour démontrer que la technologie de pulvérisation à froid peut protéger les alliages de magnésium de la corrosion.

## La sécurité, clé des moteurs de la prochaine génération de véhicules hybrides

Les véhicules hybrides électriques sont très efficaces pour réduire les émissions de GES ainsi que les émissions de particules, les émissions toxiques et celles à l'origine du smog. Toutefois, à l'heure actuelle ces véhicules utilisent des batteries à hydrure métallique de nickel, qui prennent beaucoup de place et perdent leur puissance très rapidement. L'objectif de ce projet était d'aborder ces problèmes en mettant au point une batterie au lithium-

ion, qui possède une capacité de stockage d'énergie trois fois supérieure au NiMH et qui serait assez sécuritaire pour être utilisée dans les véhicules hybrides.

L'approche adoptée par ce projet était de remplacer l'électrolyte liquide organique inflammable des batteries au lithium-ion conventionnel par un électrolyte solide ayant la même conductivité ionique. Des électrolytes de cristal plastique et d'oxyde céramique ont été étudiés, ainsi que la stabilité de recyclage des anodes d'alliage métalliques utilisées conjointement avec des électrolytes de cristal plastique et des cathodes de phosphate de fer et de lithium.

Les nouveaux matériaux d'électrodes et d'électrolytes mis au point durant les deux premières années de ce projet ont démontré d'excellentes caractéristiques de performance durant les premières phases d'essais sur des batteries de laboratoire. Toutefois, leur compatibilité avec les autres composants des cellules et leur durabilité à long terme reste à vérifier.

**Titre du projet :** Stockage électrique à haute densité énergétique pour les véhicules hybrides, électriques et à piles à combustible

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Electrovaya, Recherche et développement pour la recherche Canada.

### Réalisation :

- » Les nouvelles formulations d'électrolytes ont grandement amélioré la sécurité de batteries au lithium-ion tout en conservant les caractéristiques de performance nécessaires pour être utilisées dans les véhicules hybrides, électriques et à piles à combustible.
- » À la suite des résultats préliminaires du projet, présentation d'une demande de brevet provisoire.
- » Mise au point d'une nouvelle méthode de synthèse pour des cathodes haut voltage et moins coûteuses qui offre en même temps une amélioration de la sécurité de batteries et de la rétention de la capacité de stockage.
- » Les partenaires du projet ont fait la démonstration de batteries au lithium-ion à haute énergie, sécuritaires et à haute densité de puissance, utilisables pour toute une gamme d'applications dans le domaine des transports.
- » Les partenaires du projet ont participé à la planification et à l'organisation de la première conférence internationale sur les véhicules hybrides électriques rechargeables, qui s'est tenue à Winnipeg en novembre 2007.
- » Amorce de discussions avec des partenaires industriels potentiels au sujet de la commercialisation de nouvelles formulations d'électrolytes mis au point dans le cadre de ce projet.

## Industrie

Le secteur industriel canadien compte pour environ un tiers de l'utilisation de l'énergie et un cinquième des émissions. L'objectif du secteur de la technologie industrielle était de faire de la R-D et de faciliter l'innovation qui permettrait à l'industrie de faire une utilisation propre, efficace et économique de l'énergie. Le secteur de la technologie industrielle se concentre sur les 30 des plus grandes industries lourdes du Canada qui sont responsables de près de 80 % des émissions de GES par l'industrie canadienne. Les industries lourdes comprennent les pâtes et papiers, les mines et le smeltage, l'affinage chimique, l'affinage du pétrole et autres.

### Mixage efficace dans les réacteurs chimiques pour réduire l'énergie et les GES

Bien des réacteurs chimiques et des systèmes de combustion (brûleurs) demandent la dispersion et le mixage de matières liquides en gouttelettes dans un jet d'air afin de créer les conditions favorables à la réaction. Le comportement de ces particules dans le jet est connu sous le nom d'écoulement polyphasique. La distribution de la taille, la distribution au sein du jet aérosol et le mixage des différents composants sont essentiels à l'efficacité des processus de réaction.

Les réacteurs chimiques favorisent ce mixage en forçant le jet aérosol à travers des déflecteurs et des canaux. En ayant une meilleure connaissance des fondements des phénomènes tels que la turbulence de fluides, le cisaillement et les changements de phase, il est possible de réaliser le mixage sans avoir à utiliser ces obstacles qui gaspillent de l'énergie. La clé réside dans le design de la configuration du réacteur et des gicleurs qui produisent les aérosols. Le projet a tiré profit de la recherche déjà faite au Conseil national de recherches du Canada (CNRC) dans l'application d'outils de modélisation informatique compliqués pour le design de gicleurs moins énergivores pour le traitement des bitumes dans l'industrie pétrolière lourde. Le design est commercialisé par une entreprise de Calgary.

Le projet s'est concentré sur le design de réacteurs chimiques plus efficaces et écoénergétiques et sur le développement de la thermodynamique et des outils informatiques nécessaires pour modéliser les effets du design des gicleurs et du réacteur sur le mélange qui se produit dans le réacteur.

**Titre du projet :** Développement des principes fondamentaux de l'écoulement polyphasique pour leur utilisation dans les technologies de prochaine génération afin d'atténuer les émissions de GES.

**Exécutants et partenaires :** Conseil national de recherches du Canada – Institut de technologie des procédés chimiques et de l'environnement, l'Université d'Ottawa, l'Université de Nagoya (Japon), Dynatec Corporation, Shell Canada, ETX Systems Inc.

### Réalisations :

- » Expériences pilotes aux laboratoires d'écoulement polyphasique du CNRC pour examiner la nature complexe de l'écoulement polyphasique industriel à haute intensité énergétique.
- » Expériences détaillées sur les contacteurs polyphasiques de laboratoire pour examiner le comportement de l'écoulement polyphasique dans le mélange des phases des gicleurs de fabrication commerciale.
- » Achat et utilisation d'un nouveau système de diagnostic au laser, vélocimétrie des images des particules, pour profiler par analyse du signal de la pression dynamique afin d'obtenir davantage d'information sur le comportement général et les modèles de l'écoulement polyphasique utilisés dans les réacteurs chimiques commerciaux.
- » Développement d'un modèle généralisé de l'équilibre des gouttelettes (Generalized Droplet Population Balance Model (DPBM) qui simule le comportement polyphasique et la pulvérisation dans les réacteurs écoénergétiques.
- » Définition d'une nouvelle approche de mixage passif des phases multiples (sans l'utilisation de déflecteurs, d'autres obstructions ou de dispositif de mixage) qui dépend du design géométrique du cheminement du canal de flux. Ce patron de mixage et de redistribution des phases peut avoir des effets importants sur l'augmentation de chaleur et le transfert de masse ainsi que sur l'efficacité énergétique de réacteurs à écoulement polyphasique.
- » Développement d'un gicleur d'alimentation à mélange interne biphasé, pour le traitement écoénergétique du pétrole lourd dans les réacteurs d'ETX Systems Inc. tels que développés et testés dans les installations pilotes de cette entreprise de l'Alberta.

## Projet transversal

### Industrie et biotechnologie

#### Biocarburant pour les aciéries

La production du fer et de l'acier exige la consommation de différents combustibles fossiles dans de grands hauts fourneaux – un procédé qui produit chaque année de grandes quantités de GES. Des combustibles solides sous forme de coke fournissent la majorité de l'énergie nécessaire pour atteindre les températures requises. Le coke sert également de réactif pour convertir le minerai brut en fer fondu. De plus petites quantités de combustible liquide, gazeux ou en poudre sont injectées pour compléter et contrôler les procédés de combustion. Si ces combustibles fossiles pouvaient jusqu'à un certain point être remplacés par des biocarburants, on pourrait réduire les GES et rendre la production d'acier au Canada plus propre et plus durable. L'équipe de projet avait pour objectif de déterminer quel type de biomasse serait le plus efficace pour cette substitution et quelle quantité pourrait être ajoutée aux procédés de fabrication de l'acier pour réduire les GES sans pour autant sacrifier la production. Les biocarburants étudiés étaient le panic raide, le saule, le charbon de bois et l'huile de pyrolyse.

La première partie du projet a examiné les effets de l'utilisation de la biomasse dans les jets de gaz, de liquide ou de poudre qui sont injectés dans le haut fourneau. Les partenaires du projet ont mis au point un modèle logiciel pour simuler les effets de la substitution de la biomasse sur l'équilibre entre la chaleur et la masse dans le haut fourneau. Le nouveau modèle a analysé les données réelles de fonctionnement des hauts fourneaux industriels canadiens chez Dofasco, Stelco, et Algoma.

La deuxième partie du projet a examiné la substitution du charbon de bois par du coke. Le coke est fait en injectant du charbon bitumineux dans un four à coke chauffé à de hautes températures pour une période de 14 à 36 heures. De plus, le projet a étudié la faisabilité d'utiliser du coke fait à partir de biomasse. Dans une étude préliminaire de fabrication de coke, différentes quantités de charbon de bois commercial (biomasse) ont été ajoutées à un mélange de coke industriel dans un four et carbonisées. Les chercheurs ont alors évalué la qualité du coke.

La troisième partie du projet a examiné l'utilisation du charbon de bois (biomasse) pour la formation de laitier dans un four électrique à arc et le potentiel de réduction des GES.

**Titre du projet :** Percées technologiques dans le secteur canadien de l'acier – Biocombustibles pour les aciéries canadiennes

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Canadian Carbonization Research Association, l'Association canadienne des producteurs d'acier, l'Université McGill, BioCAP, Dofasco, International Iron and Steel Institute (IISI)

#### Réalisations :

- » Développement d'un nouveau modèle logiciel qui simule le comportement d'un haut fourneau. Le modèle comprend une interface graphique, un temps de calcul réduit et plus de souplesse pour accepter les données industrielles.
- » On a estimé qu'une substitution de 50 % des carburants injectés par des biocarburants pouvait réduire considérablement les émissions de GES tout en conservant le fonctionnement acceptable du haut fourneau dans le procédé de fabrication de l'acier.
- » La réduction des émissions de GES est très influencée par la composition chimique du biocarburant ainsi que par le type de combustible fossile qui est remplacé. Les évaluations indiquent que la biomasse riche en carbone (p. ex. le charbon de bois) est la meilleure biomasse de substitution au charbon et au coke.
- » Les résultats ont montré qu'en ajoutant de la biomasse sous forme de charbon de bois durant la production de coke, on abaisse la qualité du coke, mais un ajout de 2 % produit un coke qui est acceptable pour usage industriel.
- » Les résultats indiquent que la substitution de l'injection de combustible fossile par une injection de charbon de bois dans la fabrication de l'acier dans un four à arc électrique pourrait réduire les émissions de GES du procédé de laitier moussant de 25 %.
- » L'équipe de projet a inventorié la biomasse canadienne et a découvert que la demande de biomasse au Canada pour soutenir les applications industrielles peut facilement être satisfaite.
- » Une étude économique de l'utilisation de la biomasse a été effectuée et les résultats montrent qu'à l'heure actuelle, seuls les biocarburants gazeux peuvent concurrencer les combustibles fossiles sur le plan économique dans l'industrie canadienne du fer et de l'acier.



## L'optimisation des procédés miniers produit des économies d'énergie exceptionnelles

L'exploitation minière en roche dure nécessite le dynamitage qui produit de gros fragments de roches. Le dynamitage est suivi par une série d'activités de broyage et de pulvérisation qui produit un agrégat d'une granulométrie qui permet le traitement ultérieur. Les activités de broyage et de pulvérisations s'appellent également la comminution. Il est bien connu que le broyage demande 10 fois plus d'énergie que le dynamitage et la pulvérisation 100 fois plus. Les données actuelles de l'industrie minière donnent une distribution énergétique de 3 à 5 % pour le dynamitage, 5 à 7 % pour le broyage et 90 % pour la pulvérisation. Conséquemment, les techniques de dynamitage qui produisent des agrégats qui nécessitent moins de broyage et de pulvérisation pourraient bien réduire les besoins en énergie.

Les techniques améliorées de dynamitage et l'utilisation de détonateurs électroniques améliorent la fragmentation des roches et réduisent la force du matériel. Comme le dynamitage « préaffaiblit » la roche et produit des fragments plus fins et plus homogènes, le broyage et la pulvérisation s'en trouvent simplifiés. Ce projet a mis au point une technique qui utilise des détonateurs de dynamitage électroniques pour améliorer l'excavation, le transport, le broyage et la pulvérisation du minerai. Le projet a également mis au point une méthodologie pour évaluer l'efficacité des procédés de fragmentation. Cette méthodologie intègre les outils d'analyse du procédé de comminution les plus avancés et pourrait faciliter les essais de la technologie de détonateurs électroniques et leur adoption dans les opérations minières canadiennes.

**Titre du projet :** Intégration de la technologie de pointe de dynamitage de pointe et de technologies de l'information pour l'optimisation du procédé de comminution et la réduction des GES dans l'industrie minière canadienne.

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Compagnie minière Québec Cartier, COREM, Dyno Nobel, Rocky Lake Quarry

### Réalisations :

- » Les détonateurs de dynamitage électroniques ont réduit la taille du minerai tout-venant et de la roche de 15 % dans la carrière étudiée. L'effet résultant est une augmentation de production de 5 % dans une mine à ciel ouvert et une réduction de 10 % des coûts d'exploitation et de consommation énergétique pour le concassage.

- » Les technologies de détonateur électronique ont été adoptées par la Rocky Lake Quarry en avril 2006.
- » Les études d'optimisation de la Compagnie minière Québec Cartier à Fermont au Québec prévoient une réduction potentielle des GES de 5%.
- » Le travail expérimental a commencé en octobre 2006 par des essais préliminaires de dynamitages à la Compagnie minière Québec Cartier.
- » Les outils technologiques mis à l'essai et mis en service à la Rocky Lake Quarry ont été transférés à la Compagnie minière Québec Cartier.
- » Les améliorations technologiques étaient nécessaires à cause de la complexité de la géologie du minerai à la Compagnie minière Québec Cartier. Des solutions potentielles ont été mises de l'avant et la R-D fait des progrès.

## Le béton écologique utilise les sous-produits industriels

Le ciment Portland est le type de ciment le plus utilisé dans le monde et il est l'élément principal du béton. Dans la fabrication du ciment Portland, on utilise 4 GJ d'énergie et 1 tonne de CO<sub>2</sub> est relâchée par tonne fabriquée. De nombreux matériaux peuvent remplacer le ciment dans la fabrication du béton, matériaux qui ne dépensent pas autant d'énergie et ne produisent pas de CO<sub>2</sub>. Ces matériaux sont appelés ajouts cimentaires (AC). L'utilisation d'AC comme la cendre volante, la scorie de haut fourneau granulé moulu, et les fumées de silice (qui sont tous des sous-produits industriels) est une façon rentable et efficace de réduire les GES, de minimiser l'élimination des déchets et de réduire les effets sur les ressources naturelles. De telles substitutions doivent être étroitement réglementées afin d'assurer la qualité du béton et l'intégrité structurelle des bâtiments.

Bien que l'utilisation d'AC soit généralement bien acceptée par l'industrie de la construction, des questions de disponibilité locale, les coûts de transport et les restrictions du code du bâtiment limitent son utilisation. De plus, de nouveaux règlements environnementaux visant à réduire les émissions de NO<sub>x</sub> et SO<sub>x</sub> dans les centrales thermiques ont réduit la qualité de la cendre volante utilisée dans la fabrication du béton.

Ce projet s'est attardé sur des ajouts cimentaires non traditionnels ou de remplacement. Un effort considérable de R-D est nécessaire pour comprendre les effets physiques et chimiques des différents types de sous-produits sur la qualité du béton. Les sous-produits examinés provenaient de différents procédés

métallurgiques, de procédés de combustion industrielle (laitier d'acier, de plomb et de zinc), et de centrales thermiques (cendres résiduelles et autres cendres). Les déchets de verre et autres déchets provenant de décharges ont également été étudiés.

**Titre du projet :** Normes de qualité pour l'utilisation de sous-produits industriels dans les systèmes cimentaires pour la construction en béton écologique.

**Exécutants et partenaires :** Conseil national de recherches du Canada – Institut de recherche en construction, Université du Nouveau-Brunswick, Université de Toronto, Louisiana-Pacific Canada Inc., Alcan Inc., Whitemud Resources Inc.

### Réalisations :

- » Augmentation des connaissances des procédés chimiques utilisés durant la combinaison du ciment avec des AC de remplacement, ainsi qu'une meilleure compréhension de propriétés techniques des produits finaux.
- » Les résultats finaux démontrent que les ajouts peuvent remplacer 15 % du ciment, mais il est nécessaire d'évaluer la durabilité à long terme du ciment avant de l'approuver.
- » Le projet a intéressé l'industrie, suite à la publication d'un article et d'un feuillet d'information dans les cyberbulletins *Innovation en construction* et *Technologies de la construction* de l'Institut de recherche en construction.
- » Plusieurs groupes de recherche et de manufacturiers de ciment partout dans le monde examinent cette nouvelle façon de fabriquer du béton plus écologique et plus durable.
- » L'Association canadienne de normalisation et l'American Concrete Institute prévoient développer ou modifier des méthodes et des procédures d'essai pour mettre en service ce nouveau genre de produits.

## La production de fer : sur la bonne voie pour réaliser des économies d'énergie et des réductions d'émission de 30 pour cent

Le procédé de fabrication du fer commence par l'extraction du minerai, la concentration et l'agrégation en boulettes dont la grosseur varie de 9 à 16 mm. Les

boulettes alimentent ensuite des hauts fourneaux où elles sont converties en fer. Les compagnies canadiennes de minerai de fer produisent des boulettes et des concentrés destinés aux marchés intérieur et international. Les fours de frittage utilisés pour la fabrication des boulettes créent environ 3 Mt d'émissions de GES annuellement. Plusieurs compagnies ont montré un intérêt dans l'amélioration de l'efficacité de leurs fours de frittage, particulièrement étant donné que la fabrication des boulettes compte pour 60 % de la consommation totale d'énergie de l'usine.

Ce projet comprenait trois parties. L'objectif de la partie 1 était de confirmer, au moyen de modélisation, le potentiel d'amélioration de l'efficacité générale du fonctionnement du four. Dans la partie 2, les résultats ont servi à déterminer de quelle façon l'efficacité du brûleur et du four pouvait être améliorée. La partie 3 consistait à rédiger un rapport détaillé et de présenter les résultats au propriétaire de l'usine.

**Titre du projet :** Optimisation du four de frittage

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Compagnie minière Québec Cartier, COREM

### Réalisations :

- Amélioration d'un modèle de recirculation optimale du gaz de combustion pour maximiser l'efficacité thermique du four de frittage pour le bouletage du minerai, et livraison du modèle amélioré aux clients et aux partenaires.
- Les scénarios d'équilibre de chaleur et de masse obtenus du modèle ont démontré les gains potentiels d'efficacité en usine, y compris des réductions aussi élevées que 30 % de consommation énergétique et d'émissions.
- L'exploitant de l'usine utilise maintenant les résultats de ce projet pour redessiner l'équipement de son usine.
- D'importantes possibilités existent pour adapter cette technologie exclusive aux usines de bouletage partout dans le monde. L'adoption partout dans le monde de cette technologie permettrait de réduire considérablement les GES et d'améliorer l'efficacité énergétique.
- Grâce à du financement d'autres sources, le projet se poursuit pour inclure un plan détaillé de remise à neuf du four de frittage, comprenant l'ajout du recyclage du gaz de combustion et la récupération de la chaleur. Cette phase s'effectue avec la Compagnie minière Québec Cartier et COREM comme partenaires industriels.

## Procédés chimiques écologiques

Les procédés de distillation qui servent à séparer les mélanges réactifs dans l'industrie chimique et de raffinage du pétrole comptent pour près de la moitié de l'énergie consommée par ces industries et des émissions de GES correspondantes. Ce projet a trouvé des façons différentes de réduire la consommation d'énergie et les émissions grâce à une meilleure conception des systèmes de séparation hybride qui incorporent les nouvelles technologies au procédé de distillation classique. En particulier, les chercheurs ont mis au point une méthodologie de modélisation basée sur la thermodynamique (MBT) pour concevoir des procédés de séparation écoénergétiques qui améliorent la productivité et réduisent les émissions de GES.

Les chercheurs ont mis au point la MBT pour la distillation azéotropique et ont procédé à une étude des technologies de membrane et des caractéristiques des matériaux convenables pour l'hybridation des colonnes d'eau et d'éthanol. En collaboration avec NOVA Chemical Corporation et l'Université d'Ottawa, ces outils ont été utilisés pour la modernisation de la tour de distillation du diviseur de C2 aux installations de NOVA Joffre en Alberta. Ce travail comprenait des études de ciblage de l'énergie et des technologies et a produit un ensemble de scénarios pour isoler les moyens d'améliorer la productivité et de diminuer l'intensité énergétique.

**Titre du projet :** Amélioration de l'efficacité énergétique et réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le procédé de distillation.

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, NOVA Chemicals, Université d'Ottawa, Université de Chemnitz (Allemagne), San Diego State University (É.-U.), Iogen Corporation

### Réalisations :

- » L'approche de la MBT offre un moyen peu coûteux d'évaluer les nombreuses possibilités d'améliorer les procédés de séparation et de sélectionner des modernisations qui sont rentables.
- » Un design préliminaire pour le diviseur de C2 de Joffre a permis de constater la possibilité d'une augmentation de production de 14 % et une diminution de l'utilisation d'énergie et des émissions de GES de 11 %.
- » Développement et validation d'un ensemble complet d'outils numériques, y compris une superstructure, les modèles de séparateurs et un algorithme d'optimisation pour les systèmes de séparation binaires hybrides.

- » Examen des applications possibles de la méthode MBT dans le secteur pétrochimique et des occasions d'affaires qui pourraient en découler.
- » L'Université d'Ottawa, Iogen Corporation et Ressources naturelles Canada ont lancé un projet commun intitulé « Enhancement of Bioethanol Production through Process Synthesis, Integration and Optimization » (Amélioration de la production de bioéthanol, au moyen de la synthèse, l'intégration et l'optimisation du procédé). Ce projet a reçu une subvention pour les projets stratégiques du GRSNG de 120 k\$ répartis sur trois ans.

## Utilisation des micro-ondes pour réduire les émissions industrielles de GES

Les micro-ondes telles celles produites par les fours micro-ondes, produisent une chaleur localisée, ce qui fournit par conséquent un transfert énergétique plus efficace aux procédés réactionnels. Lorsqu'on utilise les micro-ondes dans la cuisine, le résultat est une façon écoénergétique de cuisiner, mais le potentiel des micro-ondes va plus loin. Ce projet a étudié de quelle façon les micro-ondes peuvent être appliquées à différents procédés industriels pour économiser l'énergie et réduire les GES.

L'extraction de l'huile des graines oléagineuses est une importante activité dans le domaine agroalimentaire au Canada. Cependant, ce procédé produit beaucoup de GES. Les micro-ondes peuvent être utilisées pour extraire l'huile à l'aide d'un solvant non absorbant à la pression atmosphérique. La production d'éthylène est une autre industrie canadienne qui demande beaucoup d'énergie et produit beaucoup de GES. Une grande partie de l'énergie dépensée dans la production d'éthylène, sert à contrer la production de sous-produits qui recouvrent les réacteurs et en limitent l'efficacité. L'équipe de projet a étudié la possibilité d'éviter ce problème en se servant de radiations micro-ondes. L'équipe a également étudié le potentiel des radiations micro-ondes pour la conversion catalytique des produits pétroliers.



**Titre du projet :** Les micro-ondes comme outils de réduction des GES

**Exécutants et partenaires :** Environnement Canada, Ressources naturelles Canada, NOVA Chemicals, Bunge, Sairem, Université McGill, Saint-Gobain NorPro (É.-U.)

### Réalisations :

- » Les experts scientifiques internationaux et des représentants de l'industrie canadienne pétrochimique, du raffinage et des sables bitumineux ont démontré leur volonté d'explorer une approche scientifique fondamentale pour examiner les applications possibles de l'énergie des micro-ondes.
- » Examen approfondi de la documentation et sélection des matériaux utiles comme catalyseurs ou comme réacteurs.
- » Conception et mise en service d'une usine pilote pour la conversion de l'éthane à l'éthylène, en se servant de réacteurs classiques et à micro-ondes. L'utilisation de micro-ondes dans le procédé devrait réduire la nécessité d'ajout de vapeur, améliorer le rendement du catalyseur et réduire la consommation d'énergie.



## Bâtiments (commerciaux et résidentiels) et collectivités

Les collectivités canadiennes (bâtiments et transports combinés) consomment la moitié de l'énergie utilisée dans tout le pays. Les bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels consomment à eux seuls 30 pour cent de l'énergie du pays. L'objectif du secteur des bâtiments (commerciaux et résidentiels) et des collectivités est d'atteindre, d'ici 2025, des innovations commercialisables et de faire en sorte que la capacité de l'industrie en matière de bâtiments et de collectivités entières permette une production d'énergie positive et élimine ses émissions nettes de GES. La recherche et le développement financés par ce secteur technologique comprenaient la conception, la construction, l'exploitation et la rénovation de bâtiments, de quartiers et de collectivités et devaient faire progresser les systèmes énergétiques qu'ils utilisent.

### Faire progresser le développement des quartiers vers un avenir énergétique durable

Le développement classique des quartiers passe à côté de plusieurs possibilités commercialisables pour en améliorer la durabilité. Grâce au projet pilote d'un processus de développement intégré et étendu, y compris de multiples promoteurs, équipes de conception, de consultants en développement durable et de personnel clé des municipalités, la planification et la conception du village urbain d'Emerald Hills dans le comté de Strathcona en Alberta ont démontré la valeur de cette approche à obtenir des résultats sur le terrain. Mis sur pied au départ dans le cadre de l'initiative du PRDE, « SuN LIVING » guide le développement de quartiers durables grâce à une approche par étapes qui transforme des concepts généraux de durabilité en mesures pratiques. Son application au village urbain d'Emerald Hills a permis une évaluation exhaustive des différentes possibilités liées à la planification, à la conception et à la technologie afin de réduire la consommation d'énergie et de fournir des sources de chaleur renouvelables ; elle a accru la collaboration entre les promoteurs et la municipalité, et a augmenté la capacité interne des partenaires

**Titre du projet :** Sustainable Urban Neighbourhood (SUN) (Quartier urbain durable) – mettre la durabilité à l'avant-plan.

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, comté de Strathcona, Christenson Developments, Howell-Mayhew Engineering, Université de la Colombie-Britannique – Centre de conception pour la durabilité

### Réalisations :

- » Tous les promoteurs se sont engagés à construire des bâtiments dotés de niveaux de rendements énergétiques qu'ils croyaient auparavant trop coûteux.
- » Le projet a analysé des solutions de remplacement pour l'approvisionnement en énergie y compris un système énergétique communautaire basé sur la chaleur résiduelle et des chauffe-eau domestiques à l'énergie solaire avec l'appui de tous les intervenants
- » Amendements aux règlements municipaux pour permettre des caractéristiques de quartiers urbains durables.
- » Le comté de Strathcona a intégré les principes de durabilité et les thèmes d'évaluation dans son plan de développement municipal et exige maintenant de tous les développements de quartiers urbains qu'ils suivent un processus qui tient compte des principes et des thèmes de durabilité définis dans SuN LIVING.
- » Christenson Developments adopte maintenant une approche intégrée pour les équipes de conception, de commercialisation et de construction, et le personnel est formé pour apporter un aspect plus durable aux projets. SuN LIVING sera le processus utilisé par l'entreprise dans tous ses projets de village urbain.
- » Best Communities, le promoteur de maisons de ville, a embauché des ingénieurs spécialement formés dans le développement durable pour mener son entreprise aussi loin que possible dans la voie du développement durable. Il vise d'ici dix ans des maisons écoénergétiques à consommation nulle.
- » ISL engineering, la firme qui coordonne l'aménagement paysager, applique les principes de SuN LIVING à un autre important projet du comté de Strathcona.
- » Le projet pilote a permis la publication du livre *SuN LIVING—Developing Neighbourhoods with a One Planet Footprint (développer des quartiers avec une seule planète comme empreinte)*, un guide couleur illustré qui montre comment planifier et concevoir les quartiers durables.
- » SuN LIVING est utilisé comme exemple d'une proposition de crédits dans le cadre du nouveau système d'évaluation des bâtiments écologiques LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) pour le développement de quartiers. LEED est un système de cotation reconnu dans le secteur privé.

## La technologie du système « Zoned Comfort » économise l'énergie durant les périodes de forte demande et améliore le confort des propriétaires

La climatisation résidentielle consomme la plus grande partie d'énergie domestique durant les vagues de chaleur en été. Ceci contribue aux problèmes de surconsommation d'électricité comme ceux de la panne qui a frappé l'Ontario et certaines zones des É.-U. durant l'été 2003. Les systèmes de climatisation domestiques ont souvent deux fois la capacité de ce qui est nécessaire. Règle générale, l'air climatisé de systèmes utilise la tuyauterie du système de chauffage et traite la maison au complet comme une zone unique. Ceci fait que souvent l'étage supérieur ne peut pas être assez refroidi, tandis que le sous-sol l'est trop au point d'être inconfortable. Comme les occupants passent la majorité de leur temps dans les étages supérieurs, les plaintes mènent souvent à une installation de condensateurs et de ventilateurs plus puissants pour refroidir l'étage supérieur.

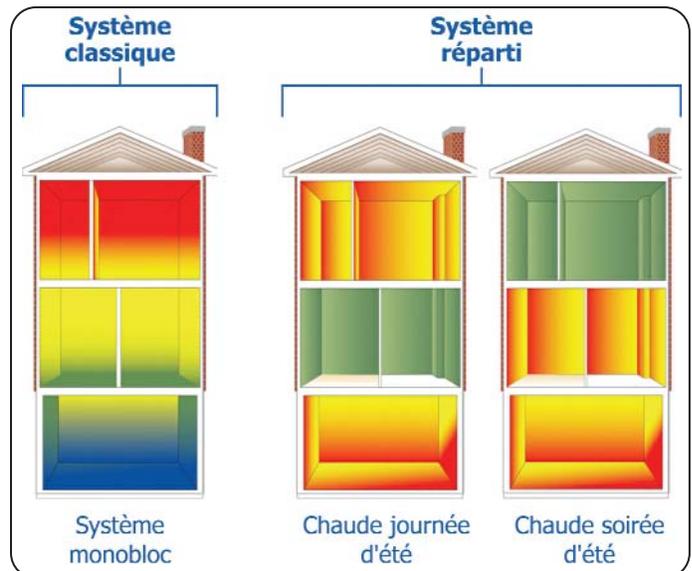
La technologie « Zoned comfort » (confort par zone) utilise une nouvelle approche de zonage qui installe des régulateurs automatisés dans le dispositif central de climatisation. Ceci peut réduire les coûts d'installation et permettre au système, que ce soit dans le mode de chauffage ou de refroidissement de se servir de contrôles pour optimiser la performance. Le système permet aux occupants d'être confortables dans la zone où ils se trouvent, tout en diminuant le chauffage ou le refroidissement dans les zones inoccupées. Ressources naturelles Canada a contribué à un examen des défis techniques, a effectué des recherches quant aux possibilités de commercialisation, et a apporté son appui à un essai dans six résidences dans un lotissement de maisons en rangée à Hamilton. Le projet a suivi un parcours accéléré de la planche à dessin à la commercialisation en passant par le R-D de moins de deux ans et en est maintenant à la phase de démonstration avec l'appui de TEAM.

**Titre du projet :** Approche d'optimisation de zonage pour écrêtement de la demande de pointe de la climatisation

**Exécutants et partenaires :** Ecologix Heating Technologies Inc., Ressources naturelles Canada, le ministère de l'Énergie et de l'Infrastructure de l'Ontario, l'Université d'Ottawa, l'Université McMaster, Société canadienne d'hypothèques et de logement.

## Réalisations :

- » Ecologix a commercialisé un répartiteur d'air par zone ainsi que son système de distribution connexe.
- » Le projet a permis d'améliorer la gestion de la performance et de la demande énergétiques sur les marchés. Les résultats préliminaires obtenus de quelques maisons indiquent que le zonage peut réduire la demande d'énergie de climatisation de 12 à 24 % durant les heures et jours de demande élevée. Le projet TEAM actuel donnera des résultats statistiquement valides et tiendra compte des différents facteurs d'utilisation énergétique (c.-à-d., climatisation d'été, crêtes de demande d'été, chauffage d'hiver).
- » Soixante-dix-sept systèmes ont été mis en service, d'une valeur totale de 200 000 \$. En plus des avantages environnementaux et reliés au confort, ces résidences rapporteront sans doute un bon rendement sur investissement pour les propriétaires.
- » Démonstration de la technologie durant une journée portes ouvertes au site d'essai d'Hamilton.
- » Holmes on Homes, l'émission de télévision diffusée par la chaîne HGTV a présenté la technologie « Zoned comfort » au cours de son épisode 7083 « Re-inventing » de sa 7<sup>e</sup> saison, alors que le système a été utilisé pour résoudre un problème de chauffage dans une nouvelle maison de ville.
- » Excellente collaboration entre partenaires.



## Possibilités croissantes d'utilisation de l'énergie solaire dans les villes canadiennes

Ce projet a été lancé pour faciliter l'utilisation à grande échelle de la technologie photovoltaïque (PV) dans les zones urbaines dans le cadre d'une approche intégrée qui veut maximiser l'efficacité énergétique des bâtiments et l'utilisation de l'énergie solaire et de la technologie photovoltaïque. Cette technologie utilise des systèmes photovoltaïques, communément appelés panneaux solaires, pour convertir l'énergie du soleil en électricité utilisable.

L'approche prise par le projet nécessitait la participation à la tâche 10 de l'accord de mise en œuvre du programme des systèmes d'alimentation photovoltaïques de l'Agence internationale de l'énergie (AIE PVPS). Un forum d'experts internationaux s'est attardé aux questions de construction, de réglementation, d'intégration et de politiques quant à l'intégration de technologies d'énergie solaire propre dans l'environnement bâti afin de favoriser leur pénétration sur le marché urbain. Au Canada, le projet a établi des liens entre la conception des bâtiments et l'industrie du développement, en plus de transférer les connaissances et les produits dérivés de l'AIE PVPS aux applications canadiennes. Le projet a fait des recommandations sur la façon d'éliminer les obstacles à la mise en marché à grande échelle de l'énergie solaire à l'aide d'outils tels que la modélisation, les feuilles de route, les guides, et en effectuant une analyse pertinente aux besoins des grands marchés émergents. L'équipe de projet a également conçu et mis au point des composants de systèmes et des applications dotés du plus important potentiel de pénétration du marché international, et ce, en tenant compte des valeurs esthétiques, mécaniques et énergétiques. Durant toute la durée du projet, on a accordé la priorité à la dissémination des connaissances afin d'encourager l'adoption de la technologie photovoltaïque.

**Titre du projet :** Faciliter la mise en œuvre des applications de l'énergie solaire dans les collectivités canadiennes

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Systèmes d'énergie photovoltaïque de l'AIE, Annexe du programme du chauffage et de la climatisation à l'énergie solaire de l'AIE.



### Réalisations :

- » Adoption des concepts et de l'approche systémique intégrés par les projets d'habitation à émission nulle Equilibrium – la maison modèle *EcoTerra™* des Maisons Alouette d'Eastman au Québec, et la maison d'énergie nette nulle Alstonvale de la société d'architectes Sevag Pogharian Design (SPD) d'Hudson au Québec.
- » Adoption des concepts et de l'approche systémique intégrés par les équipes de conception canadiennes dans la compétition du Décathlon solaire des É.-U. en 2005, 2007 et 2009.
- » Préparation d'un cours de perfectionnement professionnel en collaboration avec l'école d'architecture de l'Université de la Colombie-Britannique et le Royal Architectural Institute of Canada (RAIC) intitulé « Mainstreaming Building-Integrated Photovoltaics in Canada ».
- » Cours de perfectionnement professionnel organisé par le RAIC donné à plus de 100 architectes dans cinq villes canadiennes.
- » Dissémination de l'information (p. ex., publications dans des revues avec comité de lecture, présentations nationales et internationales, rapports d'intervenants ciblés, conférences et ateliers) pour répondre aux besoins des groupes particuliers d'intervenants et faire la promotion de l'énergie solaire.

## Maisons conçues pour les énergies de remplacement

Plus de 200 000 maisons sont construites chaque année au Canada, mais peu sont conçues pour intégrer les systèmes énergétiques de remplacement. Bien que bien des propriétaires ne soient pas prêts à installer des systèmes énergétiques de remplacement dans l'immédiat, des changements à venir dans l'offre énergétique peuvent les obliger à modifier leurs maisons à l'avenir.

Afin de faciliter l'adoption des systèmes énergétiques de remplacement pour les bâtiments résidentiels, l'équipe de projet a analysé et construit de maisons conçues de manière à ce qu'elles puissent être facilement modifiées pour intégrer les chauffe-eau et l'électricité (photovoltaïque) solaires. Certaines caractéristiques de conception – facilité d'installation au moment de la construction, mais plus compliquées et plus coûteuses après-coup – sont nécessaires pour permettre aux maisons d'utiliser les systèmes énergétiques de remplacement.

Ce projet visait à profiter des expériences avec les installations actuelles (des initiatives connexes sont actuellement en cours avec des partenaires), à documenter les pratiques et problèmes d'installation et

les exigences en matière de modernisation, et finalement à trouver des éléments communs qui pourraient être mis en œuvre durant la phase de construction, afin de faciliter l'installation de systèmes énergétiques de remplacement plus tard.

**Titre du projet :** Maisons prêtes pour l'énergie de remplacement

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Doug Tarry Homes, EnerWorks Inc.

### Réalisations :

- » Le concept « prêt à accueillir l'énergie de remplacement » a été commercialisé sous le nom de « maison prête à recevoir une installation solaire » dans un projet pilote avec l'entreprise Doug Tarry Holmes qui a connu un franc succès et a construit plus de 80 maisons prêtes à accueillir une installation solaire.
- » Les commentaires reçus sur ce projet pilote ont été très positifs, y compris une couverture médiatique importante et l'intérêt d'autres constructeurs qui veulent offrir des maisons prêtes pour l'énergie solaire à leurs clients.
- » Tartan Homes (qui ne faisait pas partie de ce projet) offre maintenant des maisons unifamiliales prêtes pour l'énergie solaire). Près de 50 pour cent des clients ont acheté la mise à niveau pour un futur système à énergie solaire.
- » L'équipe de projet a rédigé des directives sur la préparation pour l'énergie solaire, qui décrit comment rendre une maison prête à recevoir les systèmes d'énergie de remplacement. Les directives couvrent des questions telles les exigences pour la plomberie et le système électrique, ainsi que les questions liées à la conception comme l'espace réservé au stockage, au contrôle thermique et aux panneaux sur le toit.
- » Les directives sur la préparation pour l'énergie solaire sont actuellement incorporées dans le programme écoÉNERGIE pour les nouvelles maisons à temps pour sa prochaine mise à jour. Ressources naturelles Canada recommande l'adoption des directives pour tous les programmes tels que la norme R-2000 et ENERGY STAR® pour les maisons neuves et les programmes régionaux tels que Novoclimat, Built Green™, Power Smart et GreenHome

## Un avenir brillant pour l'efficacité énergétique en milieu de travail

L'éclairage représente une partie importante de l'énergie utilisée dans les bâtiments commerciaux et la plus importante possibilité de réaliser des économies

d'énergie. La technologie de gradation de l'éclairage en fonction de la lumière du jour, qui utilise des contrôles automatiques pour baisser les lumières selon la lumière du jour a été proposée pour profiter de cette possibilité d'économies.

La technologie actuelle de gradation de l'éclairage en fonction de la lumière du jour vise à maintenir un éclairage constant d'un plan de travail (flux lumineux reçu par un objet donné). Or, non seulement cela est difficile à réaliser, mais une foule de preuves démontrent qu'un éclairage constant n'est pas un choix de prédilection. En vérité, l'œil humain répond plutôt à la luminance (flux lumineux émis ou réfléchi par une surface dans une direction donnée) et la préférence des gens varie probablement en fonction des tâches, la couverture nuageuse du ciel, et le moment de la journée.

Ce projet visait à concevoir un système de commande de l'éclairage en fonction de la luminance à l'aide d'algorithmes utilisant la préférence de l'occupant. Pour minimiser les coûts, le système utilise une caméra numérique bas de gamme pour fournir les données de luminance spatiale, afin que le contrôle ne soit pas assuré seulement par l'intensité lumineuse, mais également par les ratios entre les surfaces importantes.

**Titre du projet :** Mise au point d'un système de commande de l'éclairage en fonction de la luminance pour réduire la consommation d'énergie

**Exécutants et partenaires :** Ressources naturelles Canada, Lawrence Berkeley National Lab, l'Université d'Aalborg – Institut danois de recherche en construction, Somfy Canada, SunProject Toro Inc.

### Réalisations :

- L'équipe de projet a démontré avec succès qu'une caméra de téléphone cellulaire peut être utilisée comme commande de l'éclairage en fonction de la lumière du jour, comme commande de capteur en fonction de l'occupant et comme commande de store de fenêtre.
- Possibilité d'autres applications, car un tel capteur peut également être utilisé pour détecter la fumée et surveiller le progrès de l'évacuation des occupants. Le prototype utilisant la caméra peut donc remplacer plusieurs capteurs par un capteur unique, ce qui réduit les coûts et élimine la nécessité d'un câblage compliqué.
- Une analyse des facteurs humains a été effectuée. Les résultats ont montré que bien qu'un système parfait d'éclairage en fonction de la lumière du jour économise 38 pour cent d'énergie, une commande manuelle (qui permet aux occupants de choisir moins d'éclairage électrique s'il y a assez de lumière naturelle) a économisé 25 pour cent. Les commandes d'intensité de l'éclairage manuelles ont également amélioré la satisfaction des occupants.

## Perspectives

L'initiative R-D T-I a exploré les idées et solutions novatrices pour réduire les émissions de GES. Les résultats et l'incidence des projets appuyés par l'initiative R-D T-I auront des effets à long terme importants sur l'environnement et sur l'économie canadienne.

L'initiative R-D T-I s'est achevée en mars 2008 après avoir atteint ses objectifs qui était de faire avancer les technologies prometteuses destinées à réaliser des réductions à long terme des GES et de renforcer la capacité technologique canadienne en matière d'énergie propre. L'Initiative s'est terminée en mars 2008 comme prévu. La R-D qui a résulté de l'initiative R-D T-I est reprise par l'industrie, le gouvernement et les universités. L'utilisation et l'optimisation des nouvelles politiques, réglementations, normes et technologies qui ont été développées dans le cadre de l'initiative R-D T-I vont se poursuivre à l'avenir.

### L'avenir avec les partenariats

La prestation du programme était fondée sur l'expertise fédérale en partenariat avec le secteur privé, les provinces et les universités. Les partenaires ont été choisis au moyen de consultations par des groupes d'experts et les conseils consultatifs externes. La participation aux projets de R-D d'exécutants n'appartenant pas au fédéral et de partenaires de financement a été un élément essentiel du succès de l'initiative R-D T-I. Cette participation a permis de partager les coûts, a ajouté de l'expertise technique et a atténué les risques, facilitant le déploiement des résultats de l'initiative R-D T-I. Plus de 840 partenariats ont été formés durant les cinq années qu'a duré l'initiative R-D T-I.

Les partenaires de projets ont poursuivi le développement des technologies à l'étape suivante du spectre de l'innovation, la démonstration ou la commercialisation. Ces activités ont reçu l'appui du Programme technologie au marché (T2M) qui a évalué les prochaines étapes pour les technologies choisies afin de déterminer les carences et les possibilités. Les évaluations ont examiné les progrès accomplis grâce à l'initiative R-D T-I, les conditions du marché et la capacité du secteur privé à reprendre les technologies et les commercialiser. La participation du Programme T2M était destinée à mettre sur pied un cadre de connaissance qui pourrait être utilisé dans toutes les activités technologiques et d'innovation.

### Capacité de succès à long terme

L'initiative R-D T-I a également contribué de façon importante et continue aux possibilités de formation pour les jeunes scientifiques. Elle a permis de bâtir la capacité technologique du Canada et de s'assurer que des gens hautement qualifiés seraient là pour poursuivre le travail. La stratégie de dissémination a également constitué un élément essentiel des activités de l'initiative R-D T-I. Elle s'est manifestée au moyen de publications, de rapports, d'études de cas, de conférences et d'ateliers qui ont servi à diffuser et à mettre en œuvre la R-D résultant des projets tant au gouvernement que dans les universités et l'industrie. Les activités de dissémination ont agrandi la base de connaissance du gouvernement canadien, des universités et du secteur industriel, et vont encourager les nouvelles découvertes et les nouveaux développements. Des études techno-économiques, des analyses de marché et des feuilles de route ont également été élaborées pour définir les carences et les possibilités de recherche et pour faciliter la commercialisation et l'adoption à grande échelle.



## Partenaires

Au cours des cinq années qu'elle a duré, l'initiative R-D T-I a formé 840 partenariats au Canada et à l'étranger. La liste qui suit donne des exemples de partenariats entre le gouvernement, l'industrie et les universités qui ont participé à l'initiative R-D T-I. Cette liste n'est pas exhaustive.

<b>Gouvernement (provincial et fédéral), administration municipale</b>	
Affaires indiennes et du Nord Canada	Ministère de la Défense nationale
Agence canadienne de développement international	Ministère des Mines et Ressources pétrolières de la C.-B.
Agence de promotion économique du Canada atlantique	Newfoundland and Labrador Hydro
Agriculture et Agroalimentaire Canada	Office Canada-Terre-Neuve-et-Labrador des hydrocarbures extracôtiers
Alberta Energy and Utilities Board	Office national de l'Énergie
Alberta Research Council	Pêches et Océans Canada
Conseil national de recherches du Canada	Ressources naturelles Canada
Environnement Canada	Santé Canada
Gouvernement de l'Alberta	Société canadienne d'hypothèques et de logement
Gouvernement de la Colombie-Britannique	Transports Canada
Industrie Canada	Travaux publics et Services gouvernementaux Canada
Manitoba Hydro	

<b>Industrie</b>	
A.V. Tchouvelev	Kingston Process Metallurgy
AES Shady Point	Materials and Manufacturing Ontario
Alstom Power	New Paradigm Engineering Ltd.
Arvin Meritor (É.-U.)	Nova Scotia Power Inc.
Atlantic Combustion	Ontario Power Generation Inc.
Babcock & Wilcox Power Generation Group	Penn West Energy Trust
CEA Technologies Inc.	Petro-Canada
Cefertech	Purolator Courier
Devon	SaskPower
Encana	Shell Canada
EPCOR Inc.	Sithe Energies Inc.
Gas Technology Institute	Sonic Environmental
GM Allison Inc.	Syncrude Canada
Hatch Ltd.	Thompson Machine Shop
Hyteon Inc.	TransAlta Corp
Kinectrics	Unicell Inc.

**Universités et associations affiliées**

Alberta Energy Research Institute	Université d'Ottawa
Amis de la Terre	Université de Calgary
Association canadienne des carburants renouvelables	Université de l'Alberta
Canadian Crude Quality Association (CCQA)	Université de la Colombie-Britannique
École Polytechnique de Montréal	Université de Regina
Hydrogen Research Institute : Université du Québec à Trois-Rivières	Université de Toronto
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	Université de Victoria
Petroleum Technology Alliance Canada (PTAC)	Université de Waterloo
Research Triangle Institute	Université Laval
Réseau canadien pour la recherche-développement sur les sables pétrolifères (CONRAD)	Université McGill
Université Carleton	Université technique d'Hamburg (Allemagne)

**International**

Gouvernement du Japon	Science (OTAN)
Clean Coal Centre de l'AIE	United States Department of Energy - Sandia National Laboratories
Programme de R-D de l'AIE sur les gaz à effet de serre	VTT Research (Finlande)



# **Ensembles de données synthèse**

Projets de biotechnologie	Financement total R-D T-I (k\$)
Résidus agricoles pour la bioénergie et les bioproduits	311
Analyse des combustibles dérivés de la biomasse pour utilisation dans les fours à chaux et à ciment	300
Le biodiesel pour le chauffage et l'électricité	100
Biohuile dans une application de séchoir à bois	65
Enquête sur la propriété intellectuelle en biotechnologie	30
Ville de Toronto – des déchets à l'énergie	261
Transformation en énergie des restes de litière et de paille pour poulets	200
Développer des systèmes de plantation et d'agroforesterie à croissance rapide pour la production bioénergétique au Canada	2 331
Mise au point et production de biopolymères à base d'amidon	1 259
Développement et validation d'un cadre environnemental pour minimiser les effets de la production à grande échelle de l'éthanol à partir des sources de biomasse lignocellulosique au Canada	200
Procédés d'extraction, de séparation et de purification pour les produits à valeur ajoutée	660
Le Guide sur les déchets de la Fédération canadienne des municipalités (dissémination)	38
Bioraffinerie des produits forestiers/Pré-Hydrolyse de la cellulose dans les copeaux de bois	115
Partir du fumier pour aboutir à de nouveaux bioproduits par le biais de la microtechnologie et de la nanotechnologie	698
Inventaire et analyse axés sur le SIG de la biomasse agricole et forestière	1 296
Projet d'hemicellulose	30
Repérage et évaluation des questions liées au développement, au Canada, d'une infrastructure de mélange, de transport, de stockage et de distribution à grande échelle du bioéthanol au Canada	30
Inventaire et analyse des répercussions environnementales susceptibles de découler de la sélection de cultures aptes à réduire les émissions de gaz à effet de serre avant leur introduction et leur développement commercial au Canada	30
Créer le fondement environnemental pour la détermination des effets de la production d'éthanol et de biodiesel à grande échelle, en tant que précurseur à la production de biocombustibles à base de lignocellulose	145
Digestion du fumier	172,4
Projet à base de fibres naturelles pour l'obtention de produits biochimiques et de biomatériaux	1,476
Matières premières de la biomasse, nouvelles et améliorées, sources d'acides gras	968
Nouveau procédé de fractionnement et des produits secondaires reliés à la production d'éthanol	283,2
Le bioraffinage combiné des oléagineuses (biodiesel)	448
Planification d'une feuille de route technologique pour le bioraffinage	45
Appareils portatifs d'extraction d'oléagineux et de traitement du biodiesel	221
Valorisation de la boue des pâtes et papiers pour produire de l'énergie	50
Réseau de pyrolyse	50
Énergie renouvelable pour les serres : résidus de la biomasse et techniques perfectionnées de transformation	1 182
Base renouvelable pour carburants diesel à indice de cétane élevé employés en climat nordique	75
Transformation de déchets résiduels organiques en bioénergie	1 404,4
Des pectinases supérieures pour le traitement du chanvre industriel et autres agrofibrés	375
Étude des procédés et des cycles de vie de transformation d'énergie	20
Étude du potentiel des sources de fumier	23

Projets de biotechnologie	Financement total R-D T-I (k\$)
Étude du potentiel des sources de biomasse non traditionnelles	20
Validation de critères environnementaux visant à réduire les répercussions écologiques de la culture à grande échelle des oléagineuses / Transformation de produits d'origine animale dans des installations de production de biodiesel au Canada	200
Recherche et développement sur la production d'éthanol à partir du blé	150

Projets d'approvisionnement en gaz non traditionnel	Financement total R-D T-I (k\$)
Évaluation du potentiel du méthane houiller et du stockage du gaz carbonique	85
Évaluation du potentiel du méthane houiller du contrefort des Rocheuses et des chaînons frontaux de l'Ouest canadien	120
Systématique des isotopes de carbone et d'hydrogène de la production de méthane houiller biogénique	150
Méthane houiller et Bactérie méthanogénique	71
Réponse géomécanique des réservoirs de méthane houiller	70
Potentiel du méthane houiller en Saskatchewan	75
Caractérisation des réservoirs étanches de gaz de Jean Marie	73,3
Caractérisation des gisements de charbon et de méthane houiller pour le potentiel de production, le stockage amélioré du méthane houiller et du gaz carbonique et la protection des eaux souterraines	80
Élaboration de modèles pour la production de gaz naturel à partir d'hydrates par les techniques de dépressurisation et d'interprétation pour analyser les tests effectués sur les puits d'hydrates	125
Mise au point d'un système de pipeline à double enveloppe (Pipe-in-Pipe) pour le pipeline de l'Arctique	275
Évacuation d'urgence et sauvetage des structures de production de la mer de Beaufort	232,9
Aspects environnementaux de l'exploration et de l'extraction du méthane houiller	177
Mise en place d'un protocole pour l'analyse en laboratoire de l'hydrate de gaz naturel	460
Expériences d'identification, de caractérisation et de quantification des hydrates de gaz naturel à l'aide de données sismiques industrielles près des champs gaziers conventionnels stratégiques du delta du Mackenzie	155
Caractérisation géomécanique et isotopique des eaux produites lors de l'exploitation du méthane houiller en Alberta	45
Harpoon : acquisition des données du carottier de la sonde pénétrométrique à cône à chute libre pour l'évaluation du géorisque dans les régions pionnières	110
Génération de gravats de glace pour les structures de production extracôtières	406,6
Identification et caractérisation géophysique (hydrate de gaz naturel extracôtier)	172
Système amélioré de renseignements sur les glaces pour le transport dans le Haut-Arctique	598
Études magnétiques pour l'évaluation des hydrates de gaz	142,2
Chargement et déchargement en mer du gaz naturel comprimé	300
Énergie cinétique des hydrates de méthane	160
Simulation de gisement des hydrates de méthane	45
Hydrates de méthane – Côte est	44
Production des hydrates de méthane au site de Mallik	115
Membranes en nanocomposites	50
Nouvelles méthodes de détection et représentation géographique des ressources d'hydrates de gaz marins; système de couverture électromagnétique	279,5
Changements de perméabilité du charbon durant la production et l'injection.	195

Projets d'approvisionnement en gaz non traditionnel	Financement total R-D T-I (k\$)
Élimination des obstacles du plancher océanique pour la production et le transport des réserves connues de gaz naturel extracôtières de Terre-Neuve-et-Labrador	460
Élimination des obstacles géoscientifiques, environnementaux et réglementaires à l'exploration, à la production et au transport du gaz extracôtier et du littoral des îles de l'Arctique.	448
Caractérisation des réservoirs de schistes de gaz naturel et effets environnementaux des fluides produits	261
Étude de délimitation de la portée : exigences en matière de renseignements sur les glaces pour le transport maritime du gaz naturel du Haut-Arctique	39,7
Morphologie des eaux peu profondes et de littoral déterminée par des capteurs électromagnétiques à bord d'hélicoptère	135
Étude des opérations de manutention du gaz naturel dans le transport maritime du gaz naturel comprimé	500
Statistiques actuelles sous-marines obtenues des flotteurs profonds et d'autres instruments de mesure dans les zones gazières limitrophes de la pente continentale atlantique	136
Soutien à la recherche canadienne; forage et mesures des hydrates de gaz marin au large de l'île de Vancouver dans le cadre de l'International Ocean Drilling Program (IODP)	170
Soutien à la conférence internationale sur les hydrates de gaz au Canada	25
Soutien au projet Mallik	1 240
Soutien à la feuille de route sur l'approvisionnement en gaz non traditionnel	25
Essais magnétotelluriques pour définir, caractériser et quantifier les expériences utilisant les données sismiques industrielles près des champs gaziers traditionnels stratégiques du delta du Mackenzie	70
Passage des modèles de laboratoire au modèle de réservoirs de la constante cinétique de décomposition de l'hydrate de gaz naturel	312
Caractérisation des ressources de gaz naturel de réservoirs étanches dans l'Ouest canadien	125

Projets sur le bitume et le pétrole lourd	Financement total R-D T-I (k\$)
Biorémediation de résidus	270
Biovalorisation et atténuation de la corrosion	342
Récupération du bitume et valorisation à partir de la zone intermédiaire : étude de délimitation de la portée	216
Étude de délimitation de la portée sur la récupération du bitume	90
Triangle des Carbonates – étude exploratoire	270
Caractérisation de l'argile et du bitume	300
Récupération améliorée du pétrole par injection d'eau froide	220
Étude de délimitation de la portée de la technologie du pétrole lourd traditionnel	50
Microscope électronique à balayage cryogénique	800
Transport efficace par pipeline des résidus consolidés	200
Efficacité énergétique de la stabilité des émulsions	800
Réduction/Élimination de l'encrassement	1 470
Gaz plutôt que bitume	360
Traitement du pétrole lourd : surfactants naturels	70
Effets de la chimie de l'eau	300
Évaluation du cycle de vie des technologies des sables bitumineux	206
Caractérisation du débit massique	168
Production de méthane à partir des résidus consolidés de gaz carbonique	150

Projets sur le bitume et le pétrole lourd	Financement total R-D T-I (k\$)
Étude sur les sables bitumineux et le mazout lourd	90
Procédé de séparation	870
Ouverture sélective de chaînes polycycliques	1 511
Séparation sélective dans la valorisation	943
Hydrocraquage et gazéification des boues	381
Soutien technique et étude de délimitation de la portée pour le groupe d'experts	120
Techniques pour le processus d'encrassement	50

Projets de charbon épuré, captage et stockage du dioxyde de carbone	Financement total R-D T-I (k\$)
Centrales de pointe à émission nulle fondées sur le cycle de Brayton et utilisant des combustibles fossiles	200
Analyse des sites d'injection de gaz acides en Alberta qui ont connu des problèmes imprévus de rendement des gisements	270
Système automatisé d'échantillonnage des gaz souterrains à l'aide d'une grille	183
Programme canadien de captage et de stockage du gaz carbonique	25
Méthodologie de caractérisation des gisements de méthane houiller (MH) et de méthane houiller amélioré (MHA)	130
Feuilles de route de la technologie du charbon épuré et de captage et de stockage du gaz carbonique	39
Création d'un centre national du renseignement sur les technologies axées sur le charbon épuré à émissions presque nulles	159
Degré de gonflement du charbon et de perte de perméabilité associés à la séquestration de gaz carbonique, de sulfure d'hydrogène et des gaz de combustion – Choix de charbons optimaux pour la séquestration	361
Mise au point et démonstration des technologies rentables de nettoyage avec des solvants à base d'amines pour le captage du gaz carbonique dans les gaz de combustion	300
Mise au point d'un cadre généralisé d'ordonnement des systèmes pour l'exploitation de centrales forcées d'atténuer leurs émissions de gaz carbonique au Canada	62
Mise au point d'une membrane inorganique de gaz carbonique	30
Piles à combustible à carbone direct	190
Production d'énergie électrique par des chaudières à chambre de combustion sur lit fluidisé circulant (CLFC) avec captage du gaz carbonique	893
Amélioration de la capacité de stockage du gaz carbonique par diminution de pression des eaux résiduelles dans les gisements de pétrole épuisés	80
Surveillance environnementale du projet pilote de la Penn West concernant la récupération du pétrole par l'injection de gaz carbonique	216
Étude expérimentale de l'interaction entre le gaz carbonique et le charbon	62
Faisabilité de l'intégration d'un réacteur à membrane à la gazéification dans les applications écologiques du charbon	200
Technologie des hydrates pour la séparation du gaz et le captage du gaz carbonique	182
Projet de l'AIE pour la surveillance et le stockage de gaz carbonique à Weyburn	80
Accroissement de la disponibilité du gazéifieur par l'amélioration de la conception des produits réfractaires et des injecteurs	601
Procédé d'oxycombustion intégrée à rendement élevé pour le captage du gaz carbonique, comprenant des technologies de chambre de combustion à scorification, de séparation de l'air et de turbine à gaz	199
Fibres creuses microporeuses pour la séparation des gaz à effet de serre	50

Projets de charbon épuré, captage et stockage du dioxyde de carbone	Financement total R-D T-I (k\$)
Fibres creuses microporeuses pour la séparation et le captage des gaz à effet de serre	465
Effets rapprochés et éloignés de l'injection de gaz carbonique dans les couches géologiques : vers une approche intégrée des protocoles de surveillance et de modélisation	945
Technologie de contrôle de polluants multiples au plasma non thermique pour l'épuration des fumées avant le processus d'épuration amine-CO <sub>2</sub>	526,4
Nouveau brûleur à gaz oxygéné avec contrôle <i>in situ</i> des émissions de polluants multiples et de gaz carbonique	300
Optimisation de l'intégration du captage, du transport et du stockage du gaz carbonique au Canada	105
Optimisation du stockage du gaz carbonique dans les gisements pétroliers	295
Étude sur la commercialisation de la technologie de combustion des gaz oxygénés	35
Évaluation du rendement et sélection d'un site de stockage de gaz carbonique dans les couches de houille, au moyen de la combinaison de méthodes probabilistes et déterministes	145
Études de maquettes de la stabilité de puits pour le stockage souterrain de gaz carbonique	150
Gazéifieur pressurisé	500
Surveillance sismique à intervalles de l'injection de gaz carbonique dans les charbons de la zone Ardley	120
Remise à neuf d'un appareil de combustion vertical	300
Technologies d'oxycombustion à émission nulle pour les combustibles fossiles propres	2 071,1
Production d'hydrogène par gazéification à émission nulle	1,160

Projets de production énergétique décentralisée	Financement total R-D T-I (k\$)
Un appareil Exit Stay pour améliorer la turbine Francis	340
Essais du Centre canadien des technologies résidentielles des systèmes combinés électricité-chaleur résidentiels	869,8
Codes et normes pour l'énergie éolienne	1 072
Systèmes de communication pour les ressources d'électricité décentralisées	130
Normes d'interconnexion de réseau pour les ressources d'électricité décentralisée	1 037
Normes et certification pour les produits de réseaux de ressource d'énergie distribuée	466
Énergie distribuée utilisant la pression du réseau de gaz et les systèmes combinés électricité-chaleur	1 051
Cycles combinés hybrides d'énergie à partir des rebus et des turbines à gaz pour les systèmes combinés électricité-chaleur	176
Déploiement amélioré des systèmes combinés électricité-chaleur résidentiels	297
Extraction de l'énergie du courant de l'eau	205
Système de turbine à vitesse variable et de basse chute sans danger pour les poissons	1 220
Systèmes thermophotovoltaïques (TPV) et thermoélectriques (TE) à rendement élevé en cascade pour les micro-systèmes combinés électricité-chaleur résidentiels	289
Effets de l'intégration à grande échelle des réseaux de ressource d'électricité décentralisée sur le réseau électrique	1 718
Surcompresseur d'air d'entrée	120
Développement en laboratoire d'une pile à combustible à électrolyte solide	75
Piles lithium-ion dans les applications d'électricité décentralisée	290
Mid Merit Power utilise les systèmes combinés électricité-chaleur et les biocarburants sur place	492,2
L'atlas national des vents et outils connexes	1 495
Production d'énergie marémotrice et au fil de l'eau	171

Projets de production énergétique décentralisée	Financement total R-D T-I (k\$)
Études de planification	207
Études de planification	40
Électricité à partir des combustibles gazeux non traditionnels	640
Évaluation des ressources électriques photovoltaïques et solaires	482
Systèmes résidentiels photovoltaïques et thermiques	400
Mise au point d'un accumulateur électrique redox	170
Projet d'aide à la réglementation	997
Vérification de la mise au point du modèle d'électricité décentralisée résidentiel	670
Petites éoliennes	452,7
Mise au point du réseau de recherche et développement sur les batteries solaires	129
Essais et modélisation de système	414
Le prototype de petite éolienne universelle	483
Turbine de très basse chute pour réduire les travaux de génie civil	342

Projets sur l'économie fondée sur l'hydrogène	Financement total R-D T-I (k\$)
Feuille de route sur l'hydrogène pour le Canada	50
Algorithmes de pointe pour les piles à combustible stationnaires et Interface de prototype	25
Sous-produits de biomasse pour la production d'hydrogène	42
Poste d'essai de pile à combustible	100
Propriétés fondamentales des nanotubes au carbone	88
Stockage d'hydrogène réversible à grande capacité	250
Production d'hydrogène à partir du sulfure d'hydrogène et du méthane	600
Recherche et développement sur la production d'hydrogène : mise au point de catalyseurs pour électrode par la technologie d'électrolyse à l'aide de membrane inorganique	640
Sondes d'hydrogène	210
Recherche et développement sur l'utilisation de l'hydrogène	566,6
Matériaux pour les piles à combustible à l'hydrogène	534
Technologie de convertisseurs à membrane	250
Piles à combustible à microstructure	500
Nanomatériaux pour le stockage d'hydrogène	856
Nanotechnologie pour le stockage d'hydrogène	150
Mise au point de codes et normes nationaux	97
Mise au point d'un catalyseur protonique	210
Projet de démonstration éolienne de l'île Ramea	100
Cogénération par piles à combustible résidentielles	410
Analyse d'écart technologique : matériaux en céramique pour les piles à combustible	30
Outils d'évaluation de la performance des gisements d'hydrure de métal	200

Projets sur le transport	Financement total R-D T-I (k\$)
Carburants de pointe pour les moteurs à allumage par compression de charge homogène	690
Émissions de noir de carbone et concentrations atmosphériques au Canada	1 095
La fonte à graphite compacte et la fonte à graphite à trempe bainitique – des matériaux à l'étude pour produire des pièces d'automobiles légères	408
Mise au point de disques de frein en composite d'aluminium léger et à haute performance pour les automobiles.	286
Émissions de gaz à effet de serre de moteurs et de véhicules équipés de technologies de pointe pour le contrôle des émissions	201,3
Émissions de gaz à effet de serre de sources provenant de véhicules hors route	166
Stockage d'électricité à haute densité pour les véhicules hybrides, à piles à combustible et électriques	340
Aciers biphasés à haute résistance pour la fabrication d'automobiles	50
Réduction immédiate de consommation de carburant dans tout le secteur du transport commercial grâce à la réduction de la traînée aérodynamique	413
Amélioration de la durabilité et diminution du poids des dispositifs de traitement de l'hydrogène	30
Additifs inhibiteurs pour le moulage du magnésium dans des moules en sable	40
Étude de la performance de véhicules routiers en ce qui a trait à la consommation de carburant, aux émissions de gaz à effet de serre et aux principaux contaminants atmosphériques	120
Nanocomposites de mousse légers à partir des ressources renouvelables	640
Remorque de réfrigération légère	70
Alliages légers de magnésium et d'aluminium à grains ultrafins	80
Light-weight vehicle body architecture Project (LiVBA) (projet de carrosserie légère pour véhicules), Partie I – Traitement, fabrication et propriétés d'utilisation de l'acier ultra résistant; Partie II – Magnesium front end research and development (MFERD) (mise au point de véhicules avec train avant en magnésium)	915
Applications d'alliages de magnésium à moulage basse pression dans la fabrication d'automobiles	60
Mesure du noir de carbone émis par les sources mobiles	55
Application microstructurale – alliages de magnésium pour les automobiles	40
Réglementation des émissions de gaz à effet de serre produites par le gaz carbonique et l'oxyde nitreux des moteurs diesel	55
Soudage des matériaux légers pour la réduction de poids des automobiles	44

Projets industriels	Financement total R-D T-I (k\$)
Approche novatrice à la réduction de la consommation énergétique et des gaz à effet de serre dans le procédé de fragmentation	300
Technologies de pointe des brûleurs dans l'industrie métallurgique, chimique et du raffinage	470
Stockage du gaz carbonique au moyen des sous-produits et des résidus alcalins	167
Procédé non thermique combinant catalyse et plasma pour la décomposition du gaz à effet de serre SF6	200
Condensation de la chaleur récupérée dans la fabrication du papier	300
Conception, construction et vérification d'une usine de démonstration multi usage écoénergétique qui utilise les micro-ondes et les HF	76
Mise au point et évaluation de technologies de combustion de pointe pour une combustion industrielle propre et efficace	200
Mise au point d'une technologie de captage et d'atténuation des fuites de gaz naturel des stations de compression	225

Projets industriels	Financement total R-D T-I (k\$)
Mise au point des principes fondamentaux d'écoulement polyphasique pour la technologie de prochaine génération d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre	346
Réduction directe de gaz carbonique des émissions industrielles au moyen de membranes	300
Séchage efficace du bois dans un four	60
Amélioration de l'efficacité énergétique et réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les processus de distillation	655
Amélioration de l'efficacité énergétique dans les processus de distillation	77
Amélioration de la technologie de la nouvelle plateforme « éco-efficace »	40
De l'éthane à l'éthylène dans un convertisseur à membrane	123
Séparation gazeuse par membrane de polymère-zéolite à matrice mixte	46
Batterie d'ordinateurs à haute performance pour la recherche et le développement industriels	110
Radiateur haute température en cascade	100
Hydrodynamique des systèmes d'écoulement polyphasiques gaz-liquide	72
Optimisation des fours à durcissement	252
Intégration du dynamitage de pointe et des technologies de l'information pour l'optimisation du procédé de comminution et la réduction de gaz à effet de serre dans l'industrie minière canadienne	225
Mesures des vitesses de l'écoulement polyphasique granulaire	52,1
Production de méthane à partir de déchets organiques améliorée par les micro-ondes	40
Les micro-ondes comme outils de procédé de réduction des gaz à effet de serre	700
Modélisation de haut fourneau à injection de gaz naturel	50
Nanocomposites de polymères renouvelables – gaz carbonique supercritique	60
Évaluation des possibilités et de la technologie des applications et des avantages des « logiciels capteurs » pour la performance énergétique et de procédé dans les secteurs des pâtes et papiers et du ciment	64
Haut fourneau à l'oxygène utilisant la technologie de cycle combiné pour la fabrication du fer et la production d'électricité	190
Normes de rendement des sous-produits industriels des systèmes cimentaires pour la construction avec du « ciment écologique »	240
Réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'industrie par transformation des gaz émis en produits utilisables	220
Modélisation stochastique de la gazéification de la liqueur noire	210
Banc d'essai pour la mise au point de systèmes d'éjection de pointe pour la réfrigération et le chauffage thermodynamique	75
Prototype virtuel des technologies de pointe de réduction des gaz à effet de serre pour les applications industrielles	235

Projets bâtiments (commerciaux et résidentiels) et collectivités	Financement total R-D T-I (k\$)
Bâtiments 3IS (trois initiatives stratégiques)	35
Maisons prêtes pour les énergies de remplacement	136
Un outil novateur pour la prochaine génération de programmes et de politiques sur l'efficacité énergétique des bâtiments	440,8
Évaluation des priorités des collectivités	55
Référencement des collectivités au moyen d'archétypes	322
Référencement pour la croissance des collectivités reliée aux stratégies de développement intégré	70,4

Projets bâtiments (commerciaux et résidentiels) et collectivités	Financement total R-D T-I (k\$)
Étude des technologies énergétiques émergentes canadiennes et américaines de construction des bâtiments et méthodologie des effets des gaz à effet de serre pour la planification stratégique	45
Génération d'énergie propre pour plancher autonome innovateur à haut rendement	210
Mise en service rentable de bâtiment à faible consommation énergétique, une annexe de l'AIE en cours de rédaction	302
Création d'un réseau et d'une plateforme collectifs pour la simulation des technologies de bâtiments solaires	98
Guide de conception pour l'utilisation de la lumière du jour dans les bâtiments commerciaux écoénergétiques et durables au Canada	150
Développement de pompes géothermiques à haute efficacité et capacité pour applications résidentielles	240
Développement d'un système d'éclairage en fonction de la luminance pour de plus grandes économies d'énergie	226
Développement de trousse de modernisation des moteurs à commutation électronique (MCE) des fournaies	63
Modèles de réseaux électriques pour la gestion de la demande et l'intégration des systèmes d'énergie décentralisée dans le domaine de l'habitation	45
Amélioration du logiciel Lightswitch Wizard pour inclure les salles de classe et les crédits d'éclairage LEED	29
Exploration des réductions possibles de gaz à effet de serre dans les villes canadiennes grâce aux options de modernisation des habitations écoénergétiques et des véhicules électriques	27
Faciliter la mise en œuvre d'applications d'énergie solaire dans les collectivités canadiennes	120
Possibilité de réduction de l'utilisation énergétique en réduisant les besoins de ventilation par la sélection de matériaux à faible émission	54
Caractérisation et référencement sur le terrain et par le CCTR des chauffe-eau instantanés	175
Évaluation économique des pompes géothermiques dans les applications de chauffage collectif	134
Ventilation haute performance dans les édifices résidentiels à logements multiples	339
Systèmes d'isolation thermique à haut rendement dans les bâtiments	148,9
Intégration et évaluation des piles à combustible résidentielles et des systèmes combinés électricité-chaaleur par le Centre canadien des technologies résidentielles	75
Réductions importantes des émissions de gaz à effet de serre des serres commerciales en utilisant le concept de « serre fermée » et les technologies intégrées de stockage saisonnier d'énergie solaire.	75
Essais communautaires à grande échelle sur le terrain de modernisations importantes des maisons	224
Initiative énergétique novatrice pour des maisons de lotissements entiers de London	125
Maisons écoénergétiques de pointe sans coûts additionnels et réseau de soutien pour les organismes fédéraux et provinciaux	212,2
Optimisation des exploitations de supermarchés grâce à la mise en service continue	158,6
Approche d'optimisation de zonage pour écrêtement de la demande de pointe de la climatisation	346
Mise au point de prototype et essais sur le terrain de la climatisation par évaporation à déshydratant dans les immeubles d'habitation	248
Recherche et développement sur l'optimisation des maisons solaires écoénergétiques au Canada	160
Intégration de l'énergie renouvelable pour les petites villes rurales et les collectivités agricoles	194,6
Stratégies et outils pour l'utilisation du stockage d'énergie thermique dans les arénas, curlings et supermarchés	35
Éclairage d'appoint pour réaliser des économies d'énergie dans l'éclairage de bureau	20
Quartiers urbains viables (SUN) – Mettre la durabilité à l'avant-plan	421

<b>Projets bâtiments (commerciaux et résidentiels) et collectivités</b>	<b>Financement total R-D T-I (k\$)</b>
Les centres de télétravail – un exemple à suivre pour l'environnement	20
Essais et évaluation des nouveaux systèmes résidentiels de production décentralisée et combinaison électricité-chaleur	35
Utilisation des technologies de pointe pour convertir les bâtiments chauffés à l'électricité au chauffage à eau chaude	190
Utilisation de l'éthanol renouvelable comme carburant de chaudière pour les applications résidentielles et commerciales	90

<b>Projets transversals (applications intégrées)</b>	<b>Convergence</b>	<b>Financement total R-D T-I (k\$)</b>
Initiative Percée bio	Industrie (rôle principal) et biotechnologie	83
Percées technologiques dans le secteur canadien de l'acier – biocarburants pour les aciéries canadiennes	Industrie (rôle principal) et biotechnologie	476
Processus de conception intégrée pour les systèmes d'énergie renouvelable dans les collectivités rurales du Canada	Bâtiments et collectivités (rôle principal) et production d'énergie décentralisée	1 171
Modèle économique intégré	Charbon épuré et captage et stockage du gaz carbonique (rôle principal) et approvisionnement de gaz non traditionnel	240
Optimisation de la chaîne des valeurs du carbone dans le bioraffinage des pâtes et papiers	Biotechnologie (rôle principal) et industrie	1 200
Biovalorisation du pétrole et atténuation de la corrosion	Bitume et pétrole lourd (rôle principal) et biotechnologie	1 030
Piles à combustible à l'ammoniac à émission nulle pour la production d'électricité décentralisée	Production d'énergie décentralisée (rôle principal) et charbon épuré et captage et stockage du dioxyde de carbone	738

<b>Projets transversals (de la technologie à la commercialisation)</b>	<b>Financement total R-D T-I (k\$)</b>
Évaluation des applications technologiques des systèmes énergétiques dans les collectivités pour remplacer le gaz naturel dans les aménagements résidentiels à usage mixte	100
Études sur les voies énergétiques	25,5
Étude d'évaluation des gaz à effet de serre – sables bitumineux	25
Étude d'évaluation des gaz à effet de serre – mise au point d'outils	136
Évaluation du marché hydroélectrique de basse chute	60
Transformation du marché de l'énergie marine	85
Évaluation des possibilités et des écarts dans le marché de la digestion anaérobique au Canada	95
Tableaux de délimitation de la portée	24
Composites à matrice métallique à renforcement sélectif pour la fabrication des disques de freins d'automobile	36