



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada



# CanmetENERGY

*Leadership in ecoInnovation*

## SURVOL DU POTENTIEL DE R-D SUR LES CELLULES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES AU CANADA, 4<sup>E</sup> ÉD. (2009-2012)



Canada



# **SURVOL DU POTENTIEL DE R-D SUR LES CELLULES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES AU CANADA, 4<sup>E</sup> ÉD. (2009-2012)**

Préparé par :

CanmetÉNERGIE, Centre de recherche de Varennes

*Y. Poissant, Ph. D. et A.C. Vikis. Ph. D.*

Avril 2013

## CITATION

Poissant, Y., Vikis, A. C., Survol du potentiel de R-D sur les cellules solaires photovoltaïques au Canada, rapport n° 2013-125 (RP-TEC), CanmetÉNERGIE, Ressources naturelles Canada, avril 2013, 71 p.

## DÉCLARATION DE NON-RESPONSABILITÉ

Le présent rapport est distribué à des fins informatives seulement. Il n'exprime pas nécessairement les vues du gouvernement du Canada et il ne constitue pas non plus une approbation d'un produit commercial quelconque ou d'une personne. Le Canada, ses ministres, officiers, employés et agents n'offrent aucune garantie quant à quelque aspect que ce soit de ce rapport et ils n'assument aucune responsabilité connexe.

## REMERCIEMENTS

La préparation de ce rapport a été financée par Ressources naturelles Canada, par l'entremise du Programme de recherche et de développement énergétiques.

## TABLE DES MATIÈRES

Sommaire .....	1
Contexte .....	1
Capacité des universités canadiennes en R-D dans le domaine des cellules solaires photovoltaïques .....	3
Établissement d'un réseau canadien d'innovation en photovoltaïque .....	9
Autres soutiens à la recherche et au développement en photovoltaïque au Canada .....	10
Conclusions .....	12
Références .....	13

## SOMMAIRE

Le présent rapport est le quatrième d'une série de revues de la capacité de R-D des universités canadiennes dans le domaine des cellules solaires photovoltaïques menées par CanmetÉNERGIE, un centre de recherche de Ressources naturelles Canada situé à Varennes au Québec. Ces revues, qui se sont amorcées en 2004, visent à mettre en évidence les activités de recherche menées dans ce domaine au Canada, à mesurer les investissements effectués et à faciliter la distribution des renseignements recueillis dans le but de favoriser la création de partenariats entre les chercheurs, le gouvernement et l'industrie.

La demande mondiale en matière d'énergie propre et durable sur le plan de l'environnement continue de stimuler la création de programmes de développement d'énergies renouvelables, y compris ceux liés à la conversion de l'énergie solaire photovoltaïque en énergie électrique. Au cours de la période examinée (exercices 2009-2010 à 2011-2012), la capacité canadienne en matière de R-D sur le photovoltaïque a été majoritairement financée par le CRSNG à la hauteur d'environ 4 millions de dollars par année, et la recherche a porté sur une vaste gamme de domaines en recherche fondamentale (cellules solaires organiques, cellules solaires à colorants, dispositifs à base de silicium en couches minces, etc.). Près de 20 universités canadiennes, principalement situées en Ontario et au Québec, participent à la R-D sur le photovoltaïque dans de multiples disciplines en sciences (chimie, physique, science des matériaux) et en génie (physique, chimique, électrique, informatique, technologie de l'information, etc.). À la lumière de la présente revue, le nombre de groupes universitaires qui travaillent en collaboration avec un partenaire industriel international continue de croître. On constate en outre que la capacité universitaire canadienne en matière de soutien à la recherche, au développement et au déploiement du photovoltaïque au Canada est ample et diversifiée. Les types de recherche et le volume et la qualité des publications prouvent par ailleurs que cette recherche est à l'avant-garde et de classe mondiale.

En plus de la R-D financée par le CRSNG dans les universités canadiennes, le Conseil national de recherches du Canada participe aussi aux efforts de R-D en photovoltaïque par l'intermédiaire de l'Institut national de nanotechnologie (INNT) du CNRC en collaboration avec l'Université de l'Alberta, ainsi que par l'intermédiaire du projet SUNRISE en collaboration avec l'Université d'Ottawa et de nombreux autres partenaires industriels. Technologies du développement durable au Canada soutient en outre plusieurs projets de développement et de démonstration de la technologie photovoltaïque en coopération avec les universités et l'industrie canadienne.

L'établissement du Réseau stratégique sur l'innovation photovoltaïque par le CRSNG à l'Université McMaster a constitué un appui majeur pour la R-D universitaire sur les dispositifs photovoltaïques et, éventuellement, pour le développement de la technologie photovoltaïque au Canada. Le nouveau réseau a permis de rehausser la collaboration entre les chercheurs de même qu'avec des partenaires du monde industriel et favorise les avancées majeures en matière de R-D.

## CONTEXTE

CanmetÉNERGIE, un centre de recherche de Ressources naturelles Canada (RNCa) situé à Varennes au Québec, gère le programme d'intégration des ressources énergétiques renouvelables et décentralisées, lequel porte aussi sur l'énergie solaire photovoltaïque. Depuis 2004, CanmetÉNERGIE supervise les activités des universités canadiennes dans le domaine de la R-D en matière de cellules solaires

photovoltaïques. Le présent rapport est le quatrième d'une série de revues [1, 2, 3] de la capacité de R-D des universités canadiennes dans le domaine des cellules solaires photovoltaïques. Ces revues visent à mettre en évidence les activités de recherche menées dans ce domaine au Canada, à mesurer les investissements effectués et à faciliter la distribution des renseignements recueillis dans le but de favoriser la création de partenariats entre les chercheurs, le gouvernement et l'industrie.

Selon le rapport 2013 du programme de l'AIE sur les systèmes photovoltaïques [4], en 2012, la technologie photovoltaïque (PV) appliquée à la production d'électricité représentait une capacité totale installée de près de 96,5 GW [4]. Quelque 28 GW ont été installés en 2012, soit approximativement la même capacité qu'en 2011. Au Canada, le marché local a connu une croissance moyenne de près de 26 % depuis 1993 et d'environ 48 % depuis 2000, ce qui a eu pour résultat que la capacité totale installée était de 766 MW en 2012 par rapport à 497 MW en 2010 [5]. Le programme de tarifs de rachat garantis (TRG) de la province de l'Ontario, inauguré en 2006 et élargi en 2009, a constitué un incitatif majeur. En 2012, ce programme a contribué à raison de 88 MW en termes d'installations raccordées au réseau dans le cas d'applications résidentielles et à l'intérieur des bâtiments et de 181 MW dans le cas de grands systèmes commerciaux aménagés au sol. Dans le cadre du programme TRG, les systèmes PV peuvent faire l'objet d'un contrat de 20 ans afin de bénéficier d'un prix fixe pouvant aller jusqu'à 0,549 \$ CA/kWh pour l'électricité produite.

Aujourd'hui, le principal obstacle qui s'oppose au PV est son coût relativement élevé comparativement à l'électricité générée au moyen de combustibles fossiles, de l'énergie nucléaire ou de l'hydroélectricité, particulièrement en raison des coûts de production des cellules solaires photovoltaïques. Toutefois, le coût des modules PV diminue en moyenne de 30 % par année grâce aux investissements faits dans l'amélioration de la technologie et dans l'automatisation des usines ainsi qu'aux importantes capacités de production, et on s'attend à ce que cette tendance à la baisse se maintienne si on poursuit la recherche, le développement et les démonstrations (R-D-D). Le fort potentiel de croissance du marché stimule les investissements en R-D-D en PV à l'échelle mondiale, ce qui en fait un des domaines d'investissement le plus important en énergie renouvelable. Le financement public investi en R-D-D en matière de PV dans les pays participant au programme de collaboration sur les systèmes d'alimentation photovoltaïques de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) représentait 610 millions de dollars US en 2011 [4]. Au Canada, en 2012, le financement public investi en R-D-D en PV représentait 15 millions de dollars [5]. Quelques-uns des pays chefs de file en matière de financement des efforts de R-D-D comprennent les États-Unis (223 millions de dollars), le Japon (102 millions de dollars), la Corée (94 millions de dollars) et l'Allemagne (78 millions de dollars). Des investissements à l'échelle mondiale dans le développement de la technologie et de la fabrication seront nécessaires dans le but de réduire davantage les coûts en matière de PV.

Au Canada, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et d'autres programmes provinciaux de financement de la R-D qui visent le développement des énergies renouvelables constituent les principales sources de financement pour la recherche sur les matériaux et les cellules solaires photovoltaïques qui est effectuée dans la vingtaine d'établissements dont traite le présent rapport (se référer aux tableaux 1 à 3).

## CAPACITÉ DES UNIVERSITÉS CANADIENNES EN R-D DANS LE DOMAINE DES CELLULES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

Le présent document est une mise à jour d'une série de revues publiées précédemment [1, 2, 3], la plus récente en 2009 [3], et met l'accent sur les capacités de R-D des universités canadiennes dans le domaine des cellules photovoltaïques solaires pour la période qui s'étend d'avril 2009 à mars 2012. Cette mise à jour est fondée sur de l'information fournie par les chercheurs et les principaux organismes qui financent la R-D, ainsi que des renseignements disponibles de sources publiques par l'intermédiaire d'Internet. La recherche effectuée dans les universités canadiennes est résumée par le tableau 1 et présentée plus en détail dans l'annexe 1.

Selon les données fournies par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et présentées au tableau 1, la recherche effectuée dans les universités canadiennes en matière de photovoltaïque a lieu dans une cinquantaine de laboratoires qui se trouvent principalement en Ontario (25) et au Québec (17), et dans une moindre mesure en Alberta et en Colombie-Britannique. Cette recherche est multidisciplinaire, couvre un éventail assez large de R-D de pointe et est principalement menée dans les départements de chimie et de génie chimique (21), de génie électrique et informatique (13), de physique (7), de sciences des matériaux et de génie mécanique. Selon les renseignements fournis par les directeurs scientifiques des universités, il y a l'équivalent de 400 à 450 chercheurs à temps plein (professeurs, boursiers en recherche postdoctorale, associés de recherche, étudiants de 2<sup>e</sup> et de 3<sup>e</sup> cycles et technologues) qui travaillent en R-D sur les cellules solaires PV dans les universités canadiennes.

Un fait marquant en matière de R-D survenu pendant la période sous examen fut le développement, en 2011, de la cellule solaire à points quantiques colloïdaux la plus efficace par le groupe Sargent de l'Université de Toronto et d'autres partenaires [10]. L'équipe a été en mesure de fabriquer des cellules solaires à points quantiques avec une efficacité de conversion pouvant aller jusqu'à 6 %, un résultat record certifié par Newport, un laboratoire externe accrédité par le U.S. National Renewable Energy Laboratory.

**Tableau 1. Chercheur/Établissement/Département/Domaine de recherche en PV\***

(\*Selon le titre des subventions octroyées par le CRSNG pour les exercices financiers 2009-2010, 2010-2011 et 2011-2012) [6]

<b>Chercheur</b>	<b>Université</b>	<b>Département</b>	<b>Domaine de recherche en PV*</b>
Adronov, Alex	Université McMaster, Ont.	Chimie	Chimie des polymères supramoléculaires et covalents des nanotubes de carbone; développement de dispositifs photovoltaïques nanostructurés

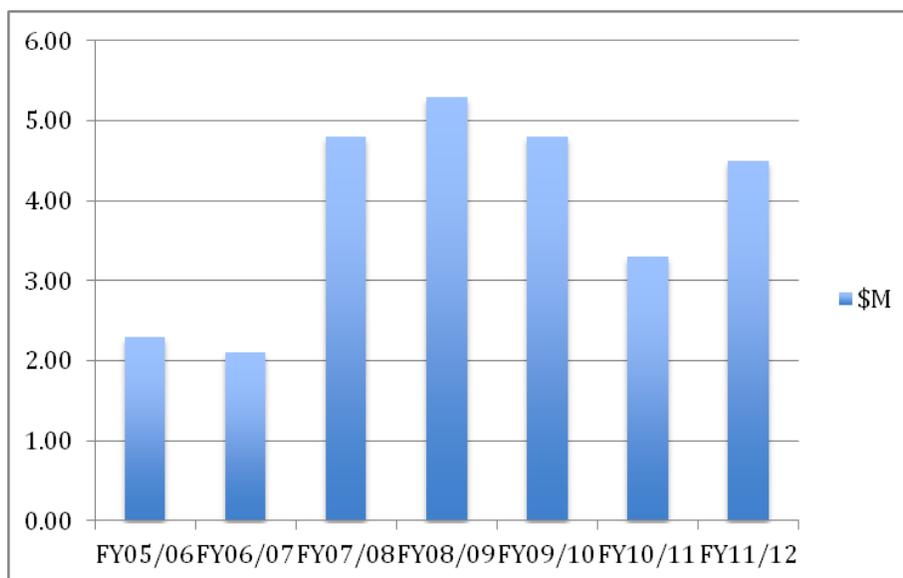
Aimez, Vincent	Université de Sherbrooke, Qc	Génie électrique et technologie de l'information	Fabrication de dispositifs photoniques novateurs au moyen de l'intégration hétérogène et de la fusion des puits quantiques; nanointégration de solutions photoniques durables; développement de cellules solaires à intégrer dans les usines de cogénération solaire fonctionnant à température élevée
Arès, Richard	Université de Sherbrooke, Qc	Génie mécanique	Semi-conducteurs utilisant des nanostructures pour une amélioration inégalée de l'efficacité des photopiles; systèmes d'épitaxie par faisceaux chimiques de nanostructures pour les composantes électroniques à base de GaN; les effets des défauts de substrats et de surface du germanium sur le rendement des cellules solaires à multijonctions
Barati, Mansoor	Université de Toronto, Ont.	Chimie	Production de silicium de qualité solaire à faibles coûts à partir de silicium de qualité métallurgique
Baumgartner, Thomas	Université de Calgary, Alb.	Chimie	Matériaux organophosphorés pi-conjugués pour l'électronique organique
Beatty, John Thomas	Université de Colombie-Britannique, C.-B.	Microbiologie et immunologie	Conception de protéines pour photosynthèse et fixation aux électrodes pour la conversion de la lumière solaire en énergie électrique
Bender, Timothy	Université de Toronto, Ont.	Génie chimique et chimie appliquée	Les subphthalocyanines dans l'absorption spectrale élargie et la production d'un photocourant dans une cellule solaire organique
Berlinguette, Curtis	Université de Colombie-Britannique, C.-B.	Chimie	Matériaux de conservation de l'énergie solaire
Brett, Michael	INNT-CNRC/Université de l'Alberta, Alb.	Génie électrique et informatique	Architectures des dispositifs nanostructurés
Buriak, Jillian	INNT-CNRC/Université de l'Alberta, Alb.	Chimie	Développement des systèmes de production d'énergie photovoltaïque à haut rendement et à faibles coût grâce à la nanoscience appliquée; approches pratiques de la conception d'architectures à l'échelle nanométrique; revêtements graphiteux nanométriques pour les applications photovoltaïques et les piles
Côté, Michel	Université de Montréal, Qc	Physique	Structure électronique des polymères pour les applications photovoltaïques et les systèmes électroniques hautement corrélés
Demopoulos, George	Université McGill, Qc	Génie minier et des matériaux	Cellules solaires PV nanocristallines à colorants à base de titane; conception d'électrodes nanostructurés à film mince contenant du dioxyde de titane pour la

			conversion à haut rendement de l'énergie solaire et les systèmes de stockage
Ding, Zhifeng	Université Western Ontario, Ont.	Chimie	Dispositifs photovoltaïques CIGS à faibles coûts sur films de polymère flexibles; nouvelle stratégie sur les cellules solaires CIGS; amélioration de l'efficacité des cellules photovoltaïques par l'optimisation de leurs films minces
ElKhakani, MyAli	Institut National de la Recherche Scientifique, Qc	Physique	Cellules solaires novatrices nanohybrides composées de points quantiques issus de la génération d'excitons multiples et de nanotubes monoparoi à mobilité élevée
Gao, Jun	Université Queens, Ont.	Physique	Jonction polymère de type P.I.N. pour les dispositifs photovoltaïques
Gaspari, Franco	Institut universitaire de technologie de l'Ontario, Ont.	Faculté des sciences	L'effet Staebler-Wronski dans le silicium amorphe tritié
Hall, Trevor	Université d'Ottawa, Ont.	Centre for Research in Photonics	Semi-conducteurs utilisant des nanostructures pour une amélioration inégalée de l'efficacité des photopiles
Hanan, Garry	Université de Montréal, Qc	Chimie	Nouveaux complexes de coordination pour la conversion de l'énergie solaire
Hill, Ian	Université Dalhousie, N.-É.	Physique	Matériaux et dispositifs pour la conversion de l'énergie photovoltaïque
Hinzer, Karin	Université d'Ottawa, Ont.	Technologie de l'information et génie	Optoélectronique verte : cellules solaires et lasers utilisant des matériaux nanostructurés; 4CPV : matériaux et processus pour les cellules solaires photovoltaïques concentrées (CPV) quadruples avec une efficacité de conversion allant de 45 à 50 % alimentées par un système d'épitaxie par faisceaux chimiques
Hotchandani, Surat	Université du Québec à Trois-Rivières, Qc	Chimie	Cellules solaires PV nanocristallines à Colorants et nanoparticules d'or
Huang, He	Université de Toronto, Ont.	Génie électrique et informatique	Recherche sur les matériaux quantiques novateurs pour les cellules solaires de pointe; génération d'excitons multiples dans les cellules photovoltaïques à points quantiques
Kitai, Adrian	Université McMaster, Ont.	Science des matériaux et génie physique	Évolution des matériaux semi-conducteurs pour les dispositifs flexibles et les cellules solaires
Kleiman, Rafael	Université McMaster, Ont.	Génie physique	Réseau stratégique du CRSNG sur l'innovation photovoltaïque
Koivisto, Bryan	Université Ryerson, Ont.	Chimie et biologie	Vers des matériaux photovoltaïques plus efficaces : étude sur le transfert d'énergie et d'électrons photoinduits
Kherani, Nazir	Université de Toronto, Ont.	Génie électrique et informatique et	Dispositifs photovoltaïques de pointe à base de silicium; caractérisation des pertes

		science des matériaux	optiques et stratégies potentielles d'amélioration du rendement des modules solaires photovoltaïques
LaPierre, Raymond	Université McMaster, Ont.	Génie physique	Cellules photovoltaïques comportant des nanofils
Leclerc, Mario	Université Laval, Qc	Chimie	Matériaux nanocomposites semi-conducteurs polymériques/inorganiques pour les applications photovoltaïques à faibles coûts; cellules solaires tout polymère de l'ANR
Li, Yuning	Université de Waterloo, Ont.	Génie chimique	Développement de fibres de cellules solaires de polymère; semi-conducteurs polymériques donneurs fonctionnels pour les cellules solaires hybrides; étude sur les conditions de déposition des oxydes métalliques
Lu, ZhengHong	Université de Toronto, Ont.	Science des matériaux et génie des matériaux	Matériaux nanocomposites semi-conducteurs polymériques/inorganiques pour les applications photovoltaïques à faibles coûts
Ma, Dongling	Institut national de la recherche scientifique, Qc	Centre Énergie, Matériaux et Télécommunication	Synthèse, caractérisation et applications des nanoparticules hautement fonctionnelles
Madden, John	Université de la Colombie-Britannique, C.-B.	Génie électrique et informatique	Cellules solaires à base de protéines photosynthétiques
Marsan, Benoît	Université du Québec à Montréal, Qc	Chimie	Nouveaux matériaux d'électrode pour les réactions d'évolution et de réduction en oxygène; cellules solaires basées sur les électrolytes en gel novateurs et sans solvant
Mighri, Frej	Université Laval, Qc	Chimie	Nanocomposites polymériques pour les cellules photovoltaïques
Mi, Zetian	Université McGill, Qc	Physique	Cellules solaires tandem à base d'InGaN à large spectre solaire au silicium; hydrogène vert : dissociation photochimique de l'eau alimentée par l'énergie solaire sur les réseaux de nanofils à base d'InGaN
Morin, Jean-François	Université Laval, Qc	Chimie	Matériaux nanocomposites semi-conducteurs polymériques/inorganiques pour les applications photovoltaïques à faibles coûts
Nunzi, Jean-Michel	Université Queens, Ont.	Chimie	Rectification légère pour la conversion de l'énergie solaire
O'Leary, Stephen	Université de la Colombie-Britannique, C.-B.	Génie	Détection des défaillances dans les cellules solaires photovoltaïques utilisant l'imagerie infrarouge; dispositifs semi-conducteurs pour les nouvelles applications de cellules solaires; cellules solaires hybrides pour les applications d'énergie renouvelable de prochaine génération; rétroaction en temps

			réal sur le dépôt de silicium amorphe des cellules solaires photovoltaïques
Pearce, Joshua	Université Queens, Ont.	Génie mécanique	Effets de la nanostructure et des défauts techniques sur les matériaux utilisés dans les applications solaires photovoltaïques
Perepichka, Dmitrii	Université McGill, Qc	Chimie	Guide d'ondes sur les plastiques fluorescents pour la conversion de l'énergie photovoltaïque
Sargent, Edward	Université de Toronto, Ont.	Génie électrique et informatique	Déposition par couches atomiques dans les applications photovoltaïques et optoélectroniques de pointe
Sazonov, Andrei	Université de Waterloo, Ont.	Génie électrique et informatique	Développement de modules photovoltaïques flexibles et à rendement élevé
Scholes, Gregory	Université de Toronto, Ont.	Chimie	Matériaux nanocomposites semi-conducteurs polymériques/inorganiques pour les applications photovoltaïques à faibles coûts; études photophysiques sur la récupération de lumière dans les organismes photosynthétiques et les polymères conjugués
Seferos, Dwight	Université de Toronto, Ont.	Chimie	Matériaux polymériques optoélectroniques nanoscopiques et macroscopiques
Semenikhin, Oleg	Université Western Ontario, Ont.	Chimie	Matériaux conducteurs à base de polymère pour la conversion de l'énergie solaire, caractérisation nanométrique des nouveaux matériaux photovoltaïques organiques et hybrides à film mince pour la récupération d'énergie solaire
Shankar, Karthik	INNT-CNRC/Université de l'Alberta, Alb.	Génie électrique et informatique	Réseaux de nanostructures hybrides et unidimensionnels issus de petites molécules organiques pi-conjuguées et de semi-conducteurs inorganiques pour l'utilisation dans les dispositifs d'excitons
Shih, Ishiang	Université McGill, Qc	Génie électrique et informatique	Nouvelles cellules solaires III-V et I-III-VI avec une efficacité de conversion de l'énergie optimisée
Sivonthaman, Siva	Université de Waterloo, Ont.	Génie électrique et informatique	Développement et déploiement pratique de concepts spectraux en matière de génie et de nanotechnologie pour les dispositifs photovoltaïques à rendement élevé
Skene, William	Université de Montréal, Qc	Chimie	Nouveaux polyazométhines assemblés pour les dispositifs photovoltaïques
Thomas, Michael	Université de l'Alberta, Alb.	Génie électrique et informatique	Cellules solaires organiques nanostructurées
Wartak, Marek	Université Wilfrid Laurier, Ont.	Physique et sciences informatiques	Processus dynamiques des cellules solaires à points quantiques

La figure 1 représente la R-D effectuée dans les universités canadiennes et financée par le CRSNG [7] pendant la période couverte par les exercices 2005-2006 à 2011-2012. Le financement assuré par le CRSNG pendant les cinq dernières années était d'environ 4 millions de dollars par année, soit près du double du financement accordé pendant les exercices 2005-2006 et 2006-2007, ce qui s'explique en grande partie par la priorité croissante accordée au développement des énergies renouvelables.



**Figure 1. Financement accordé à la recherche sur le PV par le CRSNG pour les exercices 2005-2006 à 2011-2012 (en M\$)**

En plus du financement accordé par la CRSNG à la recherche universitaire, la Fondation canadienne pour l'innovation continue de soutenir les projets d'infrastructure pertinents dans les universités canadiennes, comme l'illustre le tableau 2 [7].

**Tableau 2. Projets d'infrastructure financés par la FCI et connexes à la R-D sur les cellules solaires PV**

Titre du projet	Établissement	Montant	Année
Laboratoire pour la recherche en photovoltaïque de pointe	Université McMaster	4 346 418 \$	2009
Laboratoire destiné à la fabrication et à l'essai de dispositifs photovoltaïques nanostructurés FRET et améliorés avec du plasmon	Université de l'Alberta	80 000 \$	2010
Laboratoire de développement de polymères optoélectroniques et de nanomatériaux	Université de Toronto	400 000 \$	2010
Installation de nanostructures, de surfaces et d'interfaces de capteurs	Université de Carleton	761 054 \$	2011
Infrastructure pour la recherche sur la création de cellules photovoltaïques organiques à rendement élevé	Université de la Saskatchewan	126 614 \$	2011

Plate-forme d'essai multidisciplinaire pour le rendement photovoltaïque concentré (CPV) 1000x et les nouvelles technologies	Université de Sherbrooke	120 000 \$	2011
---	--------------------------	------------	------

## ÉTABLISSEMENT D'UN RÉSEAU CANADIEN D'INNOVATION EN PHOTOVOLTAÏQUE

Une des avancées majeures survenues au cours de la période de revue fut l'établissement du Réseau stratégique du CRSNG sur l'innovation photovoltaïque en mai 2008 dans le but de promouvoir l'innovation en photovoltaïque en renforçant les liens entre les chercheurs universitaires de même qu'avec l'industrie. La FCI a octroyé au réseau une subvention de 4,3 millions de dollars afin de mettre sur pied le Laboratoire pour la recherche en photovoltaïque de pointe à l'Université McMaster et le CRSNG a approuvé une proposition de financement de l'ordre de 5 millions de dollars pour la période allant de 2010 à 2015. À l'heure actuelle, plus d'une centaine de chercheurs de partout au Canada examinent les nouvelles technologies moins coûteuses qui peuvent permettre aux cellules solaires d'atteindre une plus grande efficacité que le silicium traditionnel, le tout sous l'égide du réseau.

Selon le rapport semestriel du Centre [9], plusieurs collaborations avec un nombre de partenaires gouvernementaux et industriels sont en place, y compris, ATS Automation Tooling Systems, Cleanfield Energy, CanmetÉNERGIE, la division ontarienne de l'Institut National d'Optique, Unicel Architectural Corporation, Newport Corporation, Prised Solar et l'Institut de recherche d'Hydro-Québec. Les contributions financières versées par différents partenaires totalisent à ce jour 685 488 dollars.

La recherche est principalement axée dans les catégories suivantes :

- 1. Photovoltaïque organique**
  - Amélioration de l'efficacité des cellules solaires organiques au moyen de polymères à faible énergie interbande et de dispositifs tandem
  - Cellules solaires polymériques à faibles coûts et à rendement élevé
- 2. Photovoltaïque inorganique**
  - Génie spectral de troisième génération pour une efficacité accrue des cellules solaires
  - Intégration de dispositifs de pointe à base de silicium en couches minces à rendement élevé
  - Cellules solaires à multijonctions novatrices III-V et I-III-VI
- 3. Photovoltaïque hybride**
  - Cellules solaires hybrides organiques/faites d'oxyde métallique
  - Cellules solaires à base de silicium à hétérojonctions nanostructurées ou faites de polymère
  - Matériaux novateurs et hautement efficaces pour les cellules solaires à colorants
- 4. Cellules solaires photovoltaïques nanostructurées**
  - Optimisation des interfaces nanométriques dans les couches actives des dispositifs photovoltaïques organiques
  - Nanofils CIGS (cuivre, indium, gallium, séléniure) pour les applications photovoltaïques
  - Cellules photovoltaïques comportant des nanofils
  - Nouveaux dispositifs photovoltaïques à film mince et à homojonctions faits de matériaux de  $\text{Cu}(\text{In,Al})\text{S}_2$  nanostructurés et synthétisés grâce à une méthode colloïdale novatrice
- 5. Dispositifs photovoltaïques bifaces et organiques à base de silicium à couche semi-transparente**

- Conception de cellules pour les fenêtres et les puits de lumière
- Photovoltaïque et transition vers un système énergétique carboneutre au Canada

Voici certains des principaux faits marquants en matière de R-D et recensés par le Réseau stratégique sur l'innovation photovoltaïque (jusqu'en 2011).

- La fabrication de la cellule solaire organique la plus stable à l'air dotée d'une efficacité de conversion de l'énergie totale de l'ordre de 7,1 %.
- La fabrication de cellules solaires à base de silicium monocristallin ultra minces permettant le traitement biface et incorporant des méthodes de captation de la lumière simples et dont l'efficacité de conversion de l'énergie est de 9,9 %.
- Le développement d'une méthode de création de réseaux réguliers de pyramides inversées plus étroites pour une captation de la lumière accrue et actuellement intégrée à des cellules autonomes à base de silicium d'une épaisseur de 10 µm afin d'accroître l'efficacité, possiblement jusqu'à 20 %.
- La démonstration de cellules solaires hybrides à colorant/organiques utilisant le Zn<sub>0.9</sub>Ca<sub>0.10</sub>, présentant une hausse de 50 % de la tension en circuit ouvert ainsi qu'une efficacité deux fois plus élevée par rapport aux dispositifs semblables utilisant le ZnO pur.
- Le développement de cellules solaires à base de nanofils semi-conducteurs III-V au moyen de l'épithaxie par faisceaux moléculaires, du dépôt chimique en phase vapeur par composés organométalliques et d'un vaste éventail de composés du groupe III-V, y compris les arséniures, les phosphures et les nitrures.

## AUTRES SOUTIENS À LA RECHERCHE ET AU DÉVELOPPEMENT EN PHOTOVOLTAÏQUE AU CANADA

D'autres sources de financement fédérales et provinciales pour la R-D en PV ont été répertoriées et sont énumérées dans le tableau 3. Pour la période de revue, Technologies du développement durable du Canada a financé un projet de R-D portant sur les cellules solaires organiques imprimables à faibles coûts aux côtés d'un consortium canadien regroupant St-Jean Photochemicals, Konarka Technologies Inc., l'Institut des sciences des microstructures du CNRC et la faculté de chimie de l'Université Laval [8].

**Tableau 3. Autres sources de financement canadien pour la R-D-D en PV**

Source de financement	Domaine de recherche	Financement
Technologies du développement durable du Canada	Cellules solaires organiques imprimables à faibles coûts	Total de 1 673 424 \$ pour 2008-2012
Financement du réseau fédéral d'excellence attribué à l'Institut canadien pour les innovations en photonique	Optimisation des dispositifs photovoltaïques concentrés	36 500 \$ pour 2011
	Technologies de fabrication novatrices pour les cellules solaires à rendement élevé	52 000 \$ pour 2009-2010
	Installation d'essai photovoltaïque extérieure à forte puissance pour la caractérisation d'un	24 295 \$ pour 2012

	sous-système d'énergie solaire lunaire pliable	
	Prototype de réseau photovoltaïque lunaire pliable incorporant des cellules solaires à multijonctions flexibles	33 300 \$ pour 2011-2012
Fonds de recherche du Québec	Hétérostructures novatrices à base de boîtes et de fils quantiques : Croissance sélective sur nanomasques, caractérisation et dispositifs	50 000 \$/année pour 2010-2012
	Piles solaires tout plastique	21 250 \$ pour 2010 21 250 \$ pour 2011 17 500 \$ pour 2012
	La compréhension et la dynamique de cellules solaires organiques	14 000 \$ pour 2012
	Nouvelles cellules photovoltaïques à pigments photosensibles à partir de tétrakis-arboxyphényl)métalloporphyrines et ses versions pi-étendues (subvention d'équipe)	46 000 \$/année, 2012-2015
	Conversion ascendante de matériaux pour la conversion photovoltaïque	55 000 \$/année pour 2011-2014
Gouvernement du Québec	Matériaux Imprimables pour Piles Solaires Efficaces Contrat du MDEIE	275 000 \$/année pour 2011 et 2012
Hydro-Québec	Nouveaux dispositifs photovoltaïques à couche mince et à homojonctions faits de matériaux de Cu(In,Al) S <sub>2</sub> nanostructuré et synthétisés grâce à une méthode colloïdale novatrice	20 000 \$/année, 2012-2015
Fonds pour la recherche en Ontario	Dispositifs photovoltaïques à rendement élevé à base de silicium	100 000 \$/année depuis 2007 (5 ans)
	Dispositifs photovoltaïques de pointe pour les systèmes de concentration économique	3 257 965 \$ pour 2010-2014
	Cellules solaires à rendement élevé et à faibles coûts	3 000 000 \$ pour 2010-2015
Centres de l'excellence de l'Ontario	Intégration systémique de cellules solaires à multijonctions flexibles	25 000 \$ pour 2011-2012
	Modules optiques à concentration : améliorations optiques	25 000 \$ pour 2011-2012
	Système photovoltaïque haute fidélité pour les véhicules lunaires	13 500 \$ pour 2010
Ontario Power Authority	Cellules solaires efficaces et à faibles coûts : conception d'un prototype permettant la validation par le client et la diligence de l'investisseur	100 000 \$ pour 2011-2012
École de l'énergie et de l'environnement du Canada	Nouveau concept pour les cellules solaires à hétérojonctions organiques : le transport de la charge dans les cristaux liquides	100 000 \$ pour 2010
	Une approche novatrice des matériaux accepteurs pour les dispositifs photovoltaïques organiques	25 000 \$ pour 2012

Le Conseil national de recherches du Canada contribue également à la R-D en photovoltaïque par l'intermédiaire de l'Institut national de nanotechnologie (INNT) du CNRC en collaboration avec l'Université de l'Alberta, et par l'intermédiaire du projet SUNRISE en collaboration avec l'Université d'Ottawa, l'Université de Sherbrooke, Cyrium Technologies Inc., et OPEL International Inc. Un des objectifs de l'INNT est de faire la démonstration, d'ici 2015, de matériaux photovoltaïques organiques ayant un pouvoir de conversion d'énergie de l'ordre de 10 % pour une durée de 20 000 heures. Le projet SUNRISE (Semi-conducteurs utilisant des nanostructures pour une amélioration inégalée de l'efficacité des photopiles) vise à développer des systèmes photovoltaïques concentrés qui emploient des puces solaires à triple jonction fabriquées au moyen de couches semi-conductrices multiples faites de différents matériaux et dont les niveaux de conductivité sont différents afin de capter et de convertir un spectre complet d'énergie solaire et d'optiques sophistiquées pour concentrer plus de 500 fois plus de lumière sur leur surface.

## CONCLUSIONS

Une étude sur la capacité de R-D des universités canadiennes pour la période couvrant les exercices financiers 2009-2010 à 2011-2012 démontre que près de 50 laboratoires de recherche, principalement situés en Ontario et au Québec, et dont les travaux sont axés sur divers domaines des sciences (chimie, physique et science des matériaux) et du génie (génie physique, électrique, informatique, technologie de l'information, etc.) participent activement à ces efforts de recherche. Par rapport aux revues précédentes menées par CanmetÉNERGIE, le financement et l'effort d'ensemble semblent s'être stabilisés aux niveaux observés lors de la période de revue 2007-2009. Toutefois, compte tenu de la contribution du Réseau stratégique sur l'innovation photovoltaïque, le niveau de collaboration entre les chercheurs universitaires et l'industrie s'est renforcé de façon significative. La R-D universitaire est principalement financée par le CRSNG à hauteur d'environ 4 millions de dollars par année. La Fondation canadienne pour l'innovation a également octroyé un financement additionnel de près de 2 millions de dollars par année aux universités canadiennes pour le développement d'infrastructures. La capacité des universités canadiennes à soutenir la recherche et le développement des cellules photovoltaïques solaires au Canada est importante et à l'avant-garde des recherches mondiales en matière de science et de technologies PV, comme le démontrent le type de recherche ainsi que la quantité et la qualité des publications produites.

L'établissement récent du réseau de recherche du CRSNG sur l'innovation en photovoltaïque constitue un appui majeur pour la R-D universitaire portant sur les dispositifs photovoltaïques et pour le développement de la technologie photovoltaïque au Canada. Le réseau a accru la capacité en matière de formation de chercheurs hautement qualifiés dans ce domaine et amélioré le niveau de collaboration parmi les chercheurs et avec l'industrie. Le réseau réalise déjà d'importantes percées au chapitre de la R-D sur les cellules solaires photovoltaïques.

## RÉFÉRENCES

1. A.C. Vikis, Survol du potentiel de R-D sur les cellules solaires photovoltaïques au Canada, CETC-Varennnes 2005-077 (TR)
2. Y. Poissant et A.C. Vikis, Survol du potentiel de R-D sur les cellules solaires photovoltaïques au Canada, 2<sup>e</sup> édition (2004-2007) CETC-Varennnes 2008-075 (TR)
3. Y. Poissant et A.C. Vikis, Survol du potentiel de R-D sur les cellules solaires photovoltaïques au Canada, 3<sup>e</sup> édition (2007-2009) CETC-Varennnes 2010-056 (RP-TEC)
4. Agence internationale de l'énergie – Photovoltaic Power Systems Programme, PVPS Report – A Snapshot of Global PV 1992-2012, Report IEA-PVPS T1-22:2013, Agence internationale de l'énergie, 2013, [http://www.iea-pvps.org/index.php?id=92&elD=dam\\_frontend\\_push&docID=1468](http://www.iea-pvps.org/index.php?id=92&elD=dam_frontend_push&docID=1468)
5. P. Luukkonen, P. Bateman, J. Hiscock, Y. Poissant, D. Howard et L. Dignard-Bailey, Rapport national d'enquête 2012 sur les applications d'alimentation photovoltaïques au Canada, Rapport CanmetÉNERGIE, [http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93&elD=dam\\_frontend\\_push&docID=1584](http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93&elD=dam_frontend_push&docID=1584)
6. Outils de recherche d'octrois du CRSNG, <http://www.outil.ost.ugam.ca/crsng/Outil.aspx>
7. Base de données de la Fondation canadienne pour l'innovation, <https://www2.innovation.ca/pls/fci/fcienrep.base>
8. Technologie du développement durable du Canada, [http://www.sdtc.ca/sdtc\\_projects/index\\_en.htm](http://www.sdtc.ca/sdtc_projects/index_en.htm) (en anglais seulement); communications personnelles avec C. Miner, Ph. D.
9. Réseau stratégique du CRSNG sur l'innovation photovoltaïque, Rapport d'analyse semestriel, fichier n° NETGP 370819 – 08, novembre 2012
10. « *Team from U of T, KAUST and Penn State develop most efficient colloidal quantum dot solar cell yet* » PV-Tech news, 19 septembre 2011, page consultée le 17 juillet 2013. [http://www.pv-tech.org/news/team\\_from\\_u\\_of\\_t\\_kaust\\_and\\_penn\\_state\\_develop\\_most\\_efficient\\_colloidal\\_quan](http://www.pv-tech.org/news/team_from_u_of_t_kaust_and_penn_state_develop_most_efficient_colloidal_quan)