

Les collecteurs solaires thermiques

Leur viabilité en milieu nordique

La plus connue des technologies solaires est sans contredit celle qui produit de l'électricité directement à l'aide de panneaux photovoltaïques. Toutefois, il existe d'autres technologies qui permettent d'utiliser la puissance du soleil. L'une d'entre elles, le collecteur solaire thermique, produit de la chaleur au lieu de l'électricité. Au Canada, où une part importante de la consommation énergétique est reliée au chauffage, cette technologie pourrait-elle être mise à profit pour renforcer notre autonomie énergétique, répartir les sources aux endroits où l'on consomme et diversifier nos sources d'approvisionnement?

PAR PIERRE-LUC PARADIS

candidat à la maîtrise, Chaire de recherche industrielle en technologies de l'énergie et en efficacité énergétique (t3e), École de technologie supérieure (ÉTS) pierre-luc@t3e.info

ET PAR DANIEL R. ROUSSE

ing., M. Sc. A., Ph. D., titulaire Chaire de recherche industrielle en technologies de l'énergie et en efficacité énergétique (t3e), ÉTS daniel@t3e.info

L'énergie solaire a connu une période de forte popularité à la suite du choc pétrolier de 1973. Toutefois, après le succès du développement et de l'intégration des technologies solaires dans les années 1980, ces dernières ont connu un déclin alimenté par le retour à la disponibilité des combustibles fossiles abordables. Depuis ce temps, l'engouement pour l'énergie solaire thermique et ses applications au Canada demeure faible malgré plusieurs projets de démonstration ayant fait leurs preuves. À titre d'exemple, la communauté solaire de Drake Landing située à Okotoks en Alberta (Drake Landing Solar Community, 2007) couvre presque entièrement ses besoins d'eau chaude domestique et de chauffage des espaces à l'aide de l'énergie solaire thermique.

LA RESSOURCE SOLAIRE AU QUÉBEC

En moyenne, le sud du Québec est autant sinon davantage ensoleillé que l'Allemagne. Or, l'Allemagne mise de manière prépondérante sur cette source d'énergie. En effet, la Ville de Fribourg est notamment qualifiée par certains de capitale mondiale de l'énergie solaire. Un inventaire de la quantité d'énergie solaire qui est reçue sur terre est illustré à la figure 1.

On note sur cette carte que les endroits les plus ensoleillés du globe sont généralement les zones désertiques. De même, aux latitudes plus

élevées, l'ensoleillement décroît. Au Québec, c'est en moyenne 1 300 kWh/m² d'énergie solaire qui tombent en une année sur une surface horizontale, c'est-à-dire, directement au sol. Toutefois, si on oriente adéquatement la surface frappée par le soleil, à savoir qu'on la place à une inclinaison équivalente à la latitude du lieu (par exemple 45° pour la ville de Montréal) et qu'on l'oriente face au sud, on récupérera un peu plus d'énergie, soit 1 580 kWh/m² en moyenne par année. Si on effectue un calcul pour obtenir un ordre de grandeur de ce que cette énergie représente en termes de dollars, on peut convertir cette énergie en son équivalent en gaz naturel, celui-ci étant largement utilisé dans le chauffage des bâtiments au Québec. En considérant que le prix moyen du combustible est de 0,30 \$/m³, les 1 580 kWh/m² annuels génèrent un maximum de 40 \$/m²/an en équivalent de gaz naturel aujourd'hui.

Bien que le soleil soit gratuit, l'investissement initial pour la mise en service d'installations solaires thermiques est encore à ce jour plus élevé que celui d'une chaudière au gaz de capacité équivalente. Par conséquent, pour être économiquement rentable, le système solaire doit bien sûr compter sur les économies d'opération, dues à la gratuité de la source énergétique, mais doit aussi relever de nombreuses difficultés techniques afin de minimiser les coûts d'installation, d'opération et d'entretien, en plus d'atteindre une très grande efficacité.

LE COLLECTEUR SOLAIRE THERMIQUE

Éléments de description

Un collecteur solaire thermique est un dispositif qui capture le rayonnement solaire, le convertit en chaleur et rend cette chaleur utilisable (Fortuin et Stryi-Hipp, 2012). La chaleur est une énergie qui est définie telle qu'elle se déplace naturellement; toujours du chaud vers le froid. La température produite par le collecteur doit par conséquent être suffisamment élevée pour transférer l'énergie vers une application quelconque, que ce soit le chauffage total ou partiel d'eau ou d'air de procédés. En d'autres mots, pour produire, par exemple, de l'eau chaude domestique à 60 °C le collecteur solaire doit chauffer le fluide caloporteur à une température plus grande



Installation de 226 m² de collecteurs solaires plans vitrés utilisée pour le chauffage de bains thermaux en Allemagne

que 60 °C. Plus élevée sera la température du caloporteur, plus « facile » sera le chauffage.

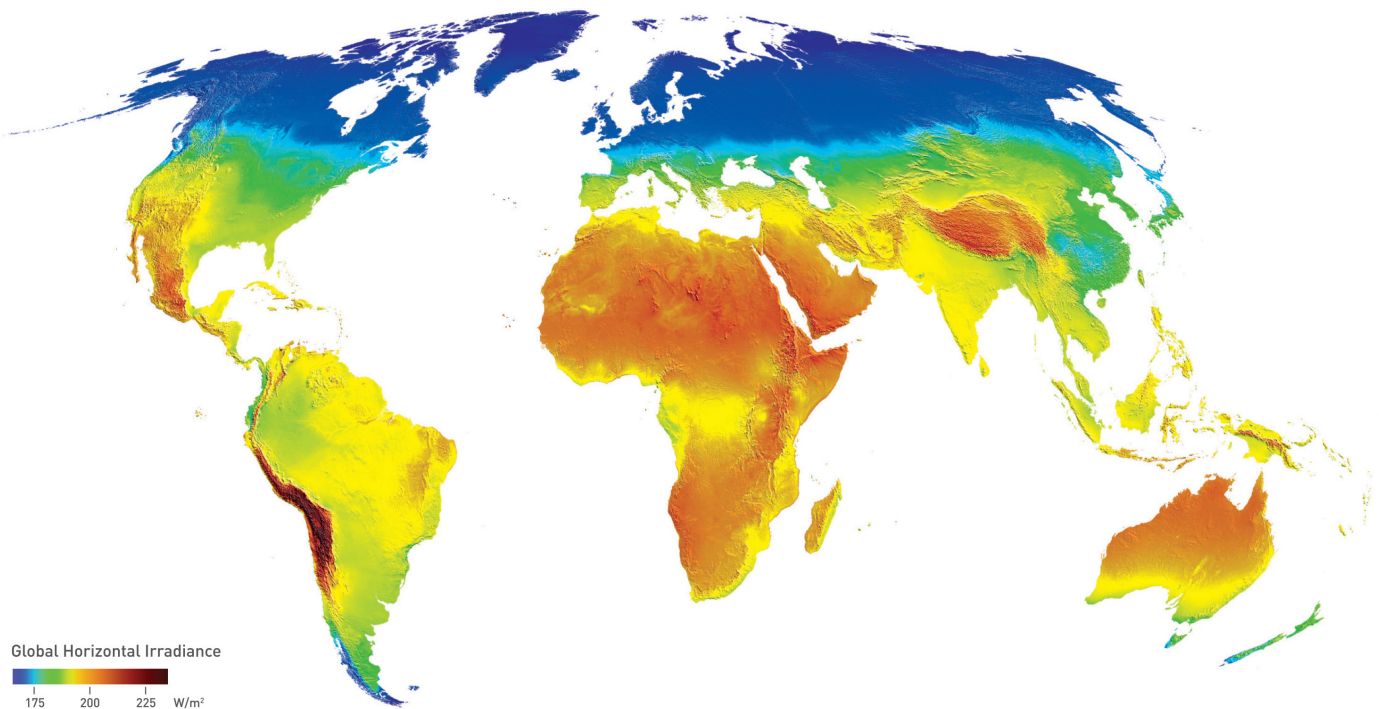
En général, un collecteur solaire thermique se compose d'une surface appelée absorbeur qui apparaît noire au rayonnement solaire. En effet, la tâche de cet absorbeur est de capter au maximum les rayons du soleil et de se réchauffer de la même manière que lorsque l'on porte un vêtement noir en plein soleil. Dans ce contexte, le vêtement serait l'absorbeur. Cet absorbeur est généralement collé/soudé sur un ensemble de canalisations dans lequel le fluide caloporteur circule. Le fluide caloporteur capture la chaleur de l'absorbeur et la rend disponible, par exemple, via le réseau de chaleur eau/glycol d'un bâtiment. Afin de diminuer les pertes de chaleur de l'absorbeur et rendre le collecteur solaire moins vulnérable aux vents et aux intempéries, on enferme

l'absorbeur avec ses canalisations dans un boîtier bien isolé. Finalement, un couvercle résistant et transparent permet de fermer le boîtier tout en laissant les rayons du soleil percuter l'absorbeur. La température de l'absorbeur augmente donc par effet de serre de la même manière que l'intérieur en cuir noir d'une automobile devient très chaud lorsque l'automobile fermée est laissée au soleil. La figure 2 (p. 42) montre une représentation schématique d'un collecteur solaire typique plat qui comporte tous les éléments énumérés précédemment.

Classification des collecteurs thermiques

Il existe cependant plusieurs types de collecteurs solaires thermiques. Leur fonctionnement peut varier d'une technologie à l'autre. Par contre, on retrouve toujours un élément réchauffé par le soleil (absorbeur) qui cède sa chaleur à un fluide

FIGURE 1
Carte mondiale de l'irradiation solaire (3TIER, 2011)

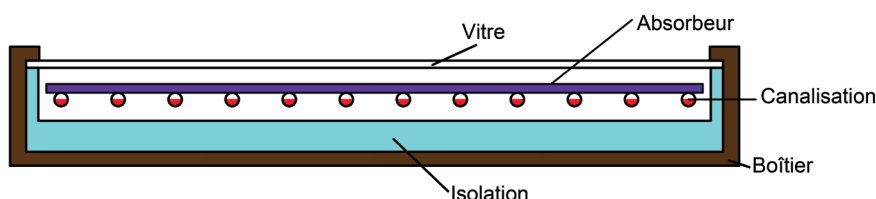


Map developed by 3TIER | www.3tier.com | © 2011 3TIER Inc.

ARTICLE TECHNIQUE

Les collecteurs solaires thermiques Leur viabilité en milieu nordique

FIGURE 2
Représentation schématique d'un collecteur solaire typique vue en coupe



caloporteur. La figure 3 présente une classification des collecteurs solaires thermiques présentée par Fortuin et Stryi-Hipp (2012). Elle propose, en fonction de la température de sortie du fluide caloporteur, les applications potentielles et le type de collecteur qui peut être employé pour répondre au besoin.

FIGURE 3
Classification des collecteurs solaires thermiques et leurs applications

	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C
Application	Climatisation solaire					
	Procédés industriels					
	Chauffage des espaces					
	Piscine	Eau chaude domestique			Électricité/puissance	
Collecteur	Concentrateur solaire					
	Collecteur plan vitré					
	Collecteur à stockage intégré		Collecteur plan augmenté (ex: double vitrage)			
	Collecteur non vitré			Collecteur à tubes sous vide		

On note que les applications sont très variées et qu'elles sont fonction de la température produite par le collecteur solaire (basses températures à gauche, hautes températures à droite). La figure 3 ne fait aucune distinction en ce qui concerne le fluide caloporteur utilisé dans la boucle solaire.

Fluide caloporteur

Afin de transporter l'énergie du collecteur solaire vers l'application voulue, on utilise une boucle de fluide caloporteur. Les fluides les

plus utilisés sont un mélange eau/glycol, d'une part, et l'air, d'autre part. Chacun de ces fluides possède ses avantages. En bref, les propriétés thermophysiques de l'eau sont de loin meilleures que celles de l'air pour leur efficacité à capturer, stocker et transporter la chaleur de l'absorbeur (Incropera, Lavine et DeWitt, 2011). Par contre, une fuite d'air n'est pas critique, ce qui se traduit par des coûts de construction, d'opération et de remplacement du caloporteur souvent beaucoup moins élevés lorsque l'on chauffe de l'air plutôt que de l'eau.

Rendement des collecteurs solaires

On juge le niveau de performance par le rendement du collecteur solaire. La figure 4 illustre sommairement les courbes de rendement typiques des collecteurs solaires en fonction d'une combinaison de paramètres représentant les conditions d'opérations. On a en effet, T_{out} la température de sortie du fluide caloporteur dans le collecteur, T_{amb} la température de l'air ambiante extérieure et finalement G_T , qui représente les conditions de rayonnement solaire. La pente des courbes est fonction de l'isolation du collecteur et de paramètres géométriques. La figure 4 indique en bleu une courbe typique pour les collecteurs non vitrés et non isolés comme les collecteurs solaires utilisés dans le chauffage des piscines. Ils permettent des rendements élevés à condition que le gain en température, $T_{out} - T_{amb}$, reste très faible. La courbe en vert est typique des collecteurs plans et en rouge, la courbe correspond aux collecteurs à tubes sous vide. Ainsi, un collecteur à tubes sous vide peut fonctionner avec un bon rendement pour de grandes valeurs de $\frac{T_{out} - T_{amb}}{G_T}$. Cela se produit lorsque le rayonnement solaire est faible (par temps nuageux, par exemple) et/ou encore lorsque la température extérieure est très basse.

Le rendement des collecteurs solaires thermiques peut dépasser les 80 % (sur l'axe vertical). À titre comparatif, les collecteurs solaires photovoltaïques auront plutôt un rendement d'au mieux 15 % environ, hormis pour les technologies très avancées. Les collecteurs photovoltaïques ont toutefois l'avantage de produire de l'électricité; une forme d'énergie beaucoup plus versatile en termes d'applications possibles.

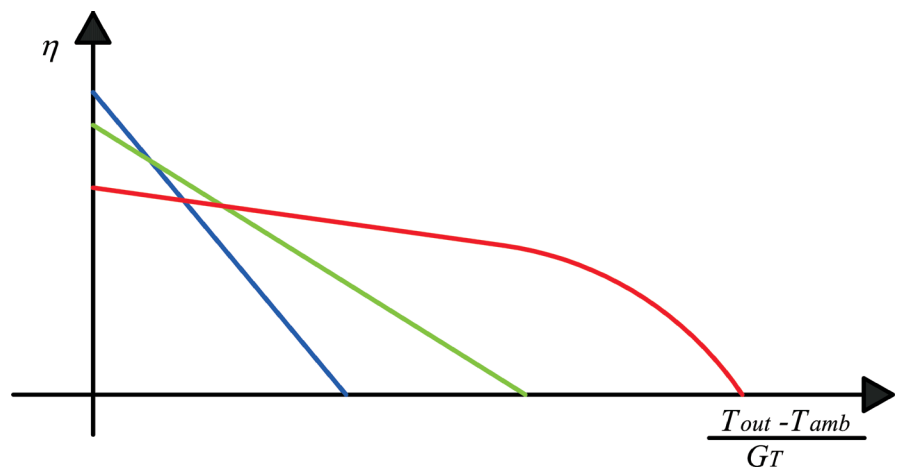
L'ADAPTATION AU MILIEU NORDIQUE

Lorsque dans un collecteur thermique de l'air est réchauffé, aucune préoccupation particulière n'est requise pour une adaptation aux milieux froids hormis le fait que du givre peut se former sur les surfaces externes des collecteurs lorsque l'air extérieur est très humide : dès que le soleil frappe le collecteur, un gain en température survient. Lorsque de l'eau est utilisée, on comprend facilement que l'on doit y ajouter du glycol afin que le caloporteur ne gèle pas la nuit s'il n'y a que peu ou pas de circulation. C'est un peu comme le radiateur d'une automobile. Par ailleurs, le glycol possède des propriétés thermophysiques moins intéressantes que l'eau, ce qui fait en sorte que le mélange est moins performant que lorsque l'on peut utiliser de l'eau uniquement (climats plus tempérés). Qui plus est, le glycol est en quelque sorte un sucre (produit organique) qui se dénature à haute température. Or, les épisodes où le glycol peut se dégrader se produisent lorsque le collecteur est en stagnation, lorsqu'il n'y a aucune demande de chaleur ou lorsque le système de stockage de la chaleur est plein. À ce moment, la pompe arrête de faire circuler le fluide caloporteur et le collecteur monte alors à très haute température (surchauffe) n'étant plus constamment refroidi par un débit de fluide (comme la voiture, vitres fermées laissée au soleil). Puisque le fonctionnement du système avec un glycol de mauvaise qualité entraîne de la corrosion et des risques de bris pour la pompe de circulation, il faut le remplacer dès qu'il se dégrade. Or, le glycol coûte cher à remplacer. Une étude du Laboratoire des technologies de l'énergie d'Hydro-Québec montre que si l'on doit remplacer le glycol dans un collecteur plan utilisé pour le préchauffage d'eau chaude domestique, la période de retour sur l'investissement sera démesurée (plus de 75 ans) par rapport à un chauffage d'une autre nature pour lequel il faut payer l'énergie (Moreau et Laurencelle, 2012).

Il existe divers moyens de pallier ce problème. Nous ne pouvons toutefois en faire un inventaire exhaustif ici. Par contre, pour l'environnement, s'affranchir de l'usage du glycol lorsque l'on veut chauffer de l'eau constitue certes une avenue prometteuse. Mais comment procéder?

FIGURE 4

Courbes typiques de rendement des collecteurs solaires



Collecteurs à tubes sous vide

Les collecteurs à tubes sous vide utilisent les propriétés isolantes du vide de la même manière qu'un thermos pour limiter les pertes à l'environnement. Les tubes sous vide les plus répandus sont fabriqués à partir de deux éprouvettes en verre de diamètres différents insérées l'une dans l'autre. On soude ensemble l'extrémité ouverte et on met sous vide l'espace annulaire entre les deux éprouvettes. L'absorbeur est collé sur la paroi extérieure de l'éprouvette interne lors de la fabrication. Ces tubes furent, pendant plusieurs années, considérés beaucoup

Pour être économiquement rentable, le système solaire doit compter sur les économies d'opération, dues à la gratuité de la source énergétique, mais doit aussi relever de nombreuses difficultés techniques afin de minimiser les coûts d'installation, d'opération et d'entretien, en plus d'atteindre une très grande efficacité.

Le rendement des collecteurs solaires thermiques peut dépasser les 80 %. Les collecteurs solaires photovoltaïques auront plutôt un rendement d'au mieux 15 % environ, hormis pour les technologies très avancées.

trop chers pour les intégrer à des solutions commercialement viables. Il est désormais possible d'obtenir des tubes à près de 2 \$ l'unité pour une longueur de 1,8 m pouvant fournir de grandes quantités d'énergie à prix compétitifs. La figure 5 illustre l'un de ces tubes : une photo sur l'image de gauche et un schéma d'un tube en U, sur celle de droite. Lors de tests réalisés à l'hiver 2013 au Laboratoire solaire de l'École de technologie supérieure, la Chaire de recherche t3e a montré que lors d'une semaine complète sans ciel dégagé et avec des températures continuellement inférieures à 0 °C, atteignant même -24 °C, jamais la température de l'eau dans de tels tubes ne fut plus basse que 17 °C.

En outre, la forme circulaire des tubes contribue à diminuer l'accumulation de neige. Il s'agit donc d'une technologie prometteuse pour le Québec. Cependant, leur excellente isolation fait en sorte qu'ils peuvent surchauffer en été lorsque le système n'est pas en fonction.

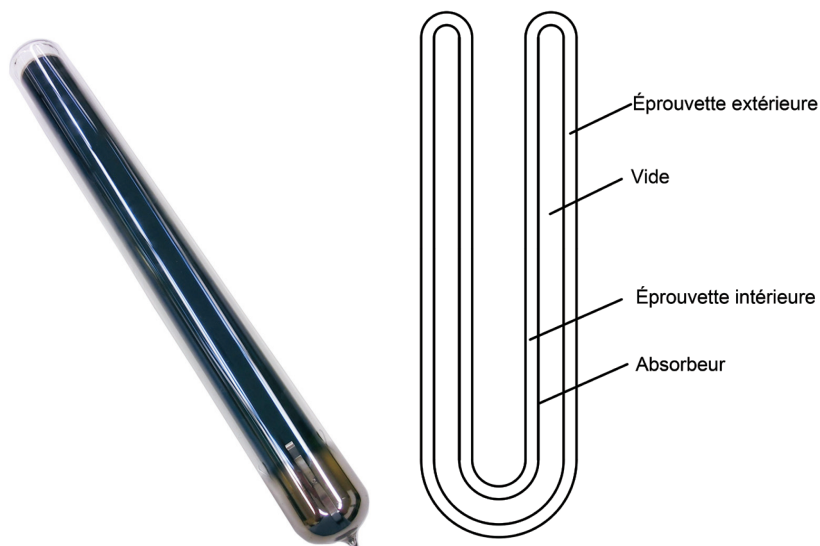
Collecteurs aérauliques perforés

Certaines entreprises au Québec installent des collecteurs aérauliques dont la surface extérieure est perforée. Ces « murs solaires » préchauffent l'air neuf des bâtiments. L'un de ces murs type est opaque et le soleil en chauffe la plaque extérieure faite en tôle recouverte d'une peinture qui absorbe le rayonnement solaire; l'air en contact avec la tôle est ainsi réchauffé et aspiré par les perforations. L'autre type de mur comporte une plaque extérieure transparente et l'énergie du soleil est absorbée par la face arrière du mur. Ces deux types de collecteurs thermiques à air gagnent en popularité au Québec.

Collecteurs autovidangeables

Pour éviter le gel, certains panneaux solaires thermiques à l'eau se vident dès que le soleil

FIGURE 5
Tube sous vide chinois (gauche) et sa représentation schématique (droite)



Malgré les défis que comporte l'implantation de l'énergie solaire thermique dans le cocktail énergétique québécois, elle offre une avenue de développement intéressante permettant de diminuer à long terme la consommation des combustibles fossiles.

n'est pas au rendez-vous ou que la circulation de l'eau n'est pas requise. Ce type de système protège le fluide caloporteur du gel et de la surchauffe. Un système autovidangeable doit cependant être installé avec une certaine pente permettant au système de se drainer uniquement grâce à la gravité. Un des inconvénients majeurs vient néanmoins du fait que le système opère en boucle ouverte. Ainsi, la pompe doit être en mesure de combattre la pression statique due à la hauteur entre le réservoir et les collecteurs. Cet inconvénient est prépondérant dans le cas où les collecteurs sont situés sur le toit d'une maison à deux étages et le réservoir d'eau chaude dans le sous-sol, un cas très répandu pour les habitations résidentielles québécoises.

Systèmes à recirculation

Afin de permettre l'utilisation d'eau sans glycol comme fluide caloporteur, une entreprise allemande (Linuo Ritter International, 2013) a développé un système de contrôle qui redémarre brièvement la circulation du fluide caloporteur lorsque la température du fluide la plus basse dans la tuyauterie s'approche du point de congélation. Le système fonctionne en « déstockant » une partie de la chaleur qui avait été emmagasinée dans le réservoir de stockage de l'eau chaude durant les périodes ensoleillées pour l'injecter lorsque la température atteint des valeurs critiques. Il s'agit d'une légère perte d'énergie stockée dont le coût est de loin inférieur à une isolation accrue, à l'usage de glycol ou autre stratégie qui fait intervenir des investissements récurrents.

LES PROJETS EN COURS À L'ÉTS

L'ÉTS tente actuellement de mettre au point deux technologies solaires basées sur les tubes sous vide. En effet, leur bonne isolation permet d'obtenir de bonnes performances, même aux basses températures extérieures typiques de l'hiver canadien (Moreau et Laurencelle, 2012).

La première technologie utilise l'air comme fluide caloporteur afin d'éviter les problèmes de fuite et de gel pour des applications requérant le chauffage d'air. Le but est donc de concevoir un collecteur qui peut chauffer l'air à haute température, soit plus de 100 °C.

La seconde technologie considère l'usage et l'adaptation de systèmes autovidangeables pour les parties du collecteur qui ne sont pas protégées par l'isolation des tubes sous vide afin de les comparer à la stratégie de recirculation pour éviter le gel. Les deux variantes de ce projet ont pour objectif d'utiliser seulement de l'eau au lieu du traditionnel mélange eau/glycol comme fluide caloporteur.

CONCLUSION

Malgré les défis que comporte l'implantation de l'énergie solaire thermique dans le cocktail énergétique québécois, elle offre une avenue de développement intéressante permettant de diminuer à long terme la consommation des combustibles fossiles. En effet, malgré des coûts d'investissement importants, les rigueurs de l'hiver et la possible surchauffe en été, des solutions viables et adaptées au milieu nordique sont en développement. Ce développement passe par une simplification des systèmes afin de diminuer à la fois les coûts de fabrication, mais aussi les coûts d'installation, d'opération et d'entretien.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier les partenaires de la Chaire de recherche t3e : Ville de Lévis, Valéro Énergie, Ecosystem, CRE-CA, SDE-Lévis et Roche. Le premier auteur remercie également le CRSNG pour l'obtention d'une bourse Alexandre Graham-Bell, ainsi que le FRQ-NT pour l'obtention d'une bourse de maîtrise. ■

RÉFÉRENCES

3TIER. (2011). *Global Mean Solar Irradiance*.

Fortuin, S. et G. Stryi-Hipp. (2012). « Solar Collectors, Non-concentrating », *Encyclopedia of sustainability Science and Technology*, p. 9449-9469.

Incropera, F. P., A. S. Lavine et D. P. DeWitt. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*, John Wiley & Sons Incorporated, 1048 p.

Moreau, A. et F. Laurencelle. (2012). *Performance des chauffe-eau solaires installés au Québec dans le cadre du projet pilote sur les chauffe-eau solaires domestiques du Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques – rapport final*, Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques, 90 p.

Sites Internet

Drake Landing Solar Community. (2007). www.dlsc.ca/

Linuo Ritter International. (2013). « Evacuated Tubes », www.linuo-ritter-international.com