

Optimisation d'un chauffe-eau solaire thermique air-liquide : Essais et étude des performances comparatives en situation réelle avec un chauffe-eau solaire standard au glycol

Auteurs : Martin BOURBONNAIS, titulaire et chercheur, Chaire TERRE, Cégep de Jonquière; Patrick DÉRY, professeur chercheur, Cégep de Jonquière; Yves NADEAU, Technicien de recherche, Cégep de Jonquière; Gilles SAVARD, directeur général Verrières Saguenay Lac St-Jean Inc. et inventeur; Michael PAGÉ, Directeur général et Ingénieur, SIMU-K; Maurice DUVAL, directeur scientifique, Centre québécois de recherche et développement de l'aluminium (CQRDA).

Mise en contexte et objectifs

Le Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE) d'Hydro Québec et le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune ont publié les résultats de deux études^(1,2) menées sur le solaire thermique au glycol pour le chauffage de l'eau domestique. Voici les principales problématiques et mises en garde à l'égard de ces systèmes qui ont été soulevées :

- Compréhension difficile pour le propriétaire.
- Système coûteux à l'achat et nécessitant un spécialiste en raison de son installation complexe, son opération fragile et son entretien fréquent.
- Boucle du thermosiphon fragile et opaque, ne permettant pas de mesurer le rendement.
- Instabilité et coûts d'entretien du système : La dégradation du glycol, l'interruption et l'inversion de la boucle de thermosiphon, les fuites et la dépressurisation de la boucle du glycol, la surchauffe des capteurs et les problèmes dus au gel contribuent à réduire de façon importante le rendement global et les économies réalisées.
- Long amortissement du coût du système.

Le nouveau système solaire thermique pour chauffer l'eau domestique, développé par l'entreprise Verrières Sague-

nay-Lac-Saint-Jean de monsieur Gilles Savard, élimine les problèmes reliés à l'utilisation du glycol dans les systèmes conventionnels. En effet, l'utilisation de l'air pour prélever, transporter et transférer l'énergie à l'eau domestique par des capteurs solaires thermiques est très novatrice. Cette énergie transférée à l'eau grâce à un échangeur thermique air/liquide unique représente la clef pour l'utilisation de l'air comme caloporteur. Or, il est reconnu dans le milieu scientifique que l'air n'est pas un aussi bon caloporteur d'énergie solaire que le liquide. Le présent article en expliquera les raisons et quantifiera le rendement énergétique supérieur du nouveau système air-liquide.

Depuis 2012, la Chaire de recherche industrielle du CRSNG en technologies des énergies renouvelables et du rendement énergétique (TERRE) développe son expertise dans les énergies vertes au Cégep de Jonquière. L'implication des manufacturiers pour développer et tester leurs technologies est au cœur des travaux de cette Chaire. En 2015, la Chaire TERRE a été mandatée, suite à l'évaluation et l'appui du CQRDA et du MESI, pour mettre en place les ressources matérielles et scientifiques pour construire un banc d'essai. La réalisation de ce banc avait pour but d'opérer simultanément un système de chauffe-eau solaire commercial au glycol et un prototype de chauffe-eau solaire air-liquide, et ce, dans les mêmes conditions d'ensoleillement, d'inclinaison, d'azimut et de température. L'optimisation numérique des configurations du capteur, de l'échangeur, des conduits et des conditions d'opération du système air-liquide à l'aide de simulations des transferts de chaleur, réalisés par l'entreprise SIMU-K, figurait également au mandat.

Description du système air-liquide

Le système est constitué de trois composantes principales : le capteur solaire (Brevet en instance), les conduits et l'échangeur thermique air/liquide (Brevet en instance). Sommairement, le principe du système présenté à la figure 1 est simple :

1. Les rayons du soleil réchauffent les composants internes du capteur solaire.
2. L'air circulant dans le capteur extrait une partie de cet apport de chaleur.
3. L'air maintenant chaud circule par un conduit en direction de l'échangeur thermique.
4. L'air chaud transfère son énergie à l'eau circulant

dans l'échangeur thermique.

5. À la sortie de l'échangeur, l'air aura refroidi et il retourne aux capteurs.

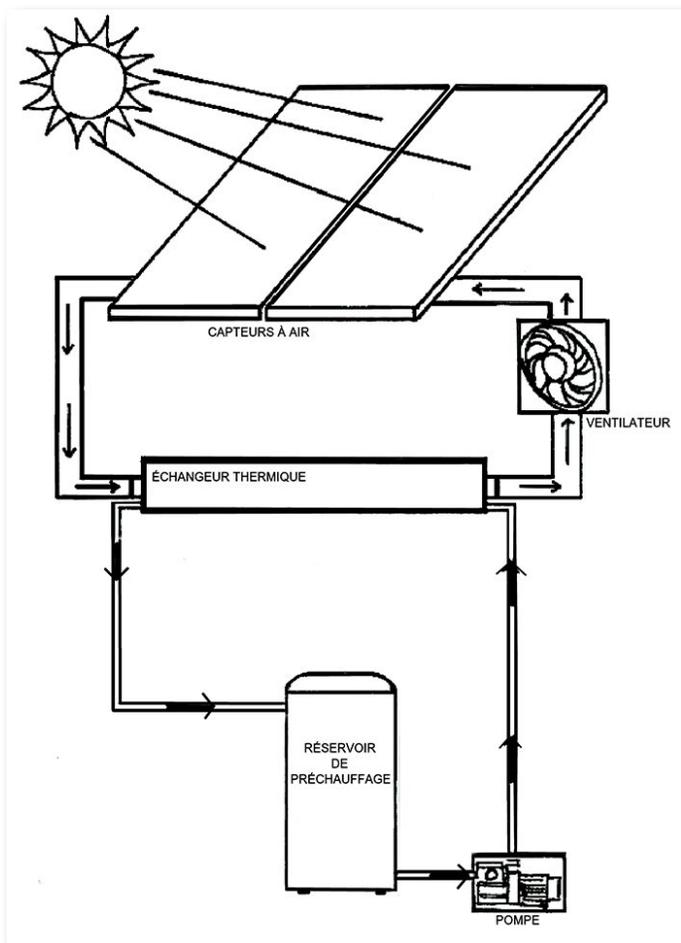


Figure 1 – Fonctionnement du système Air-liquide

La circulation de l'air dans le système est en circuit fermé. La source d'eau, quant à elle, provient d'un réservoir qui sera instrumenté afin de dresser le bilan énergétique des essais.

Optimisation numérique par simulations thermiques

La simulation d'écoulement de fluide (l'acronyme anglophone est CFD pour « Computational Fluid Dynamics ») est une technologie de simulation qui consiste à reproduire numériquement les lois comportementales des fluides (gaz et liquides). La technologie CFD est extrêmement puissante et il est possible de reproduire les comportements très complexes des fluides et de réaliser des prototypes virtuels représentant bien la réalité.

Pour la réalisation des simulations, plusieurs logiciels sont utilisés : la géométrie des composants a été modélisée en 3D à partir du logiciel SpaceClaim 16.0; le maillage a été obtenu avec Ansys 16.0; le logiciel OpenFOAM 2.3.1 a été mis à profit pour les calculs d'écoulement et de transfert de chaleur et les résultats ont été analysés avec Paraview 4.1.0. Pour rendre réalisables les simulations numériques, le système global a été divisé en ses trois sous-systèmes. Chacun des sous-systèmes a été analysé qualitativement, quantitativement, et optimisé.

Le capteur solaire a subi 4 modifications au niveau de sa géométrie avant d'obtenir la version finale. Parmi les modifications majeures, des déflecteurs ont été ajoutés pour permettre d'uniformiser l'écoulement et de rendre l'équipement plus performant. Le nouveau modèle de conduit développé par Verrières Saguenay Lac St-Jean inc. a été comparé à des conduits standards. Les résultats présentent un rendement significativement supérieur en termes d'efficacité thermique. L'optimisation de l'échangeur est passée par 5 phases avant que la configuration maximisant le transfert de chaleur soit déterminée. La géométrie de l'échangeur est présentée à la figure 2a. Les résultats du modèle numérique du départ concordent avec le modèle expérimental de l'échangeur réalisé en 2014 qui présentait déjà un rendement similaire au système glycol. Les optimisations réalisées ont permis d'accroître son efficacité de 15 % à 20 % en prenant en considération les gains obtenus pour chacune des composantes du système.



Daneau
Chauffage et
Climatisation inc.

4605, boul. de la Rive-Sud
Lévis (Québec) G6W 1H5
R.B.Q. 1693-6676-01

Tél. : (418) 833-7700
Télec. : (418) 833-7706
info@daneaucc.com



Systèmes de mesure d'énergie et distribution d'air

EBTRON Stations de mesure de débit d'air 450-461-0163
ONICON Débitmètres et compteurs de BTU bruno@dbv-hvac.com
TSI Contrôles de lab/salles d'isolement www.dbv-hvac.com



DÉSHUMIDIFICATEURS POUR
PISCINES INTÉRIEURES



1.888.DECTRON | info@dectron.com | dectron.com

Fabrication du système air liquide

Le système air-liquide a été fabriqué par Gilles Savard le plus fidèlement possible aux spécifications, recommandations et conclusions fournies par la phase d'optimisation numérique. Il est à noter que la construction est faite de manière artisanale. Ainsi, diverses faiblesses matérielles du système ont été observées pendant les essais, permettant de penser que le système n'a pas donné son plein potentiel. Les résultats obtenus pourraient être encore améliorés par un assemblage industriel.

La couverture du capteur est un verre à basse teneur en fer qui permet la transmission optimale du rayonnement solaire. Contrairement au système de référence au glycol, les capteurs solaires à air n'étaient pas munis d'un verre texturé limitant la réflexion de l'énergie incidente. Ceci représente une perte par réflexion supplémentaire. L'élément principal des capteurs est leur absorbeur d'énergie solaire composé d'une tôle d'aluminium recouverte d'un revêtement hautement sélectif qui absorbe 95 % de l'énergie solaire reçue.

Pour le transport de l'air, entre les capteurs et l'échangeur, un conduit bidirectionnel de conception original a été développé. Il s'agit d'un conduit isolé pour l'air chaud, qui circule vers l'échangeur, entouré du conduit d'air froid, isolé lui aussi, pour le retour de l'air vers les capteurs. Dans ce type de conduit, les pertes du conduit d'air chaud sont récupérées par la section d'air froid.

L'échangeur est constitué d'un compartiment étanche et isolé. À l'intérieur de cette enceinte circule un flux d'air chauffé par les capteurs solaires et mis en turbulence mécaniquement au moyen de déflecteurs. Un tube métallique en forme de serpent, baignant dans ce flux d'air chaud, transmet la chaleur au liquide qui y circule au moyen d'une pompe.

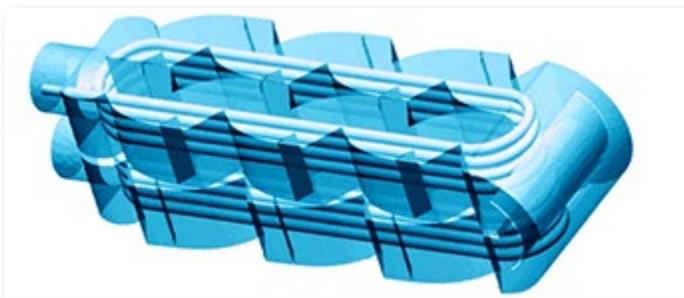


Figure 2a – Échangeur air-liquide

Méthodologie et banc d'essai

La Chaire TERRE a testé le système air/liquide en l'opérant côte à côte avec un système standard au glycol afin d'en comparer le rendement dans les mêmes conditions réelles. Le système commercial au glycol (liquide/liquide) a été installé selon les spécifications du fabricant. La figure 2b présente l'installation extérieure des deux types de capteurs (gauche : standard au glycol – droite : air-liquide). Les tests de performance ont été réalisés dans une plage de rayonnement solaire allant de 161.3 à 934.9 W/m², à Saguenay, de juin à octobre 2015. Les mesures relevées durant les essais ont été le rayonnement solaire incident, les températures de début et de fin d'essai dans le réservoir, les différentes données intermédiaires à l'entrée et sortie des capteurs et des échangeurs ainsi que le volume de l'eau. Ces principales mesures nous ont permis de calculer l'énergie thermique transmise en préchauffage pour chacun des systèmes. Dix-sept essais ont été réalisés pour les fins d'analyses. Le rendement énergétique global (%) d'un système solaire thermique est donné par :

$$\text{Rendement énergétique}_{\text{Réservoir}} = \frac{\text{Énergie thermique}_{\text{Système solaire}}}{\text{Énergie solaire}_{\text{Capteur}}} * 100.$$



Figure 2b – Capteurs solaire thermique sur le banc d'essai

Résultats et analyses

- La figure 3 représente le comportement graphique typique des deux systèmes observés lors des essais. En voici les principaux constats :
- Pour toutes les plages d'insolation, le système air-liquide démontre une supériorité sur le système liquide-liquide au glycol. Cette supériorité s'accroît avec la réduction de l'insolation.

- La performance du système au glycol est fortement dépendante de l'insolation tandis que le système air-liquide présente une réponse en performance moins variable selon l'insolation.
- Le rendement du système air/liquide montre une relative constance, voire une faible croissance aux basses insulations.

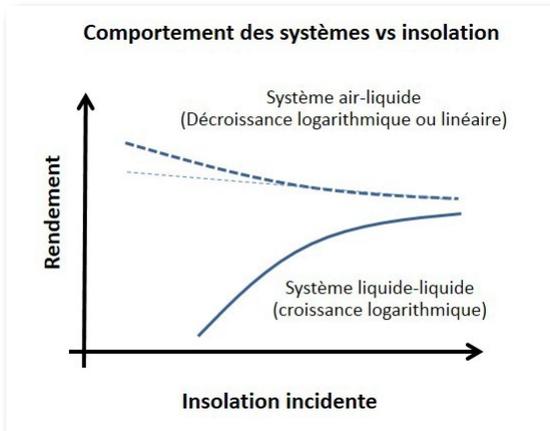


Figure 3 – Rendements en fonction de l'insolation pour les deux systèmes

Afin d'estimer l'impact de cette meilleure performance sur une base annuelle, les rendements mesurés ont été projetés sur une base d'ensoleillement standardisée reçue horizontalement (CWEC- Canadian Weather year for Energy Calculation) pour 4 villes canadiennes. La figure 4 présente les profils d'irradiation pour les villes choisies. On remarque immédiatement la prédominance des périodes de faible insolation, toutes villes confondues. Cette réalité favorise le système air/liquide qui y est plus performant en comparaison au standard au glycol qui est peu, voire non performant, en dessous des 300 W/m².

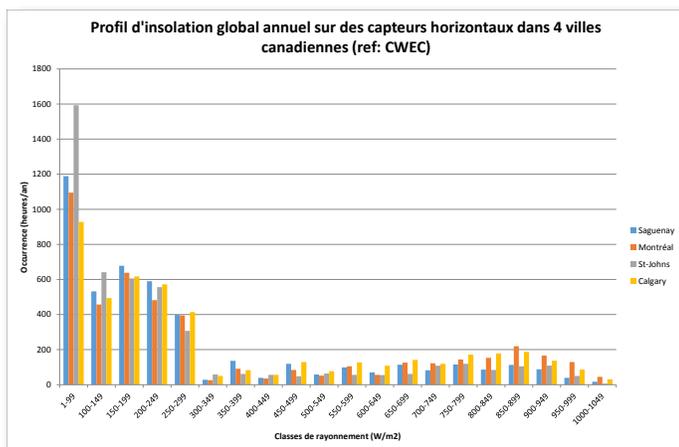


Figure 4 – Profil d'insolation annuelle pour les 4 sites au Canada

La figure 5 présente les importantes augmentations de chaleur produites annuellement par le système air/liquide allant de 16 à 38.7 % comparativement au système au glycol pour des capteurs horizontaux. L'échangeur de 1.21 m² était relié à deux capteurs par un conduit de 150 mm et celui de 0.61 m² à un seul capteur par un conduit de 100mm. Le système 0.61 m² a présenté une meilleure performance par rapport au chauffe-eau standard au glycol. Les raisons principales étant sa meilleure performance pour la circulation de l'air dans ce plus petit conduit et son étanchéité accrue compte tenu des améliorations apportées pour ces derniers essais.

VILLE	Surface des échangeurs air/liquide	
	1.21 m ²	0,61 m ²
Saguenay	21.6%	38.7%
Montréal	16.0%	30.4%
St-John	21.4%	38.4%
Calgary	17.2%	32.2%

Figure 5 – Augmentation relative de la chaleur annuelle produite avec le système air-liquide pour deux surfaces d'échangeurs

Le nouveau système air-liquide permet de compenser la plus faible capacité thermique massique et densité du caloporteur, l'air, par une convection forcée optimisée avec un plus grand débit de circulation. La collecte simultanée de l'énergie sur toute la surface de l'absorbeur dans le capteur et la conception d'un nouvel échangeur thermique air-liquide capable de soutirer une majeure partie de l'énergie de grands volumes d'air, a donné des résultats qui bouleversent l'idée qu'on pouvait se faire de l'utilisation de l'air comme caloporteur pour le chauffage solaire de l'eau.

Explication physique des gains de performance

À tout moment, l'insolation reçue par l'absorbeur d'un capteur est influencée par diverses conditions (couche nuageuse, inclinaison, azimut, saisons, etc.) qui concourent à faire varier l'intensité disponible de l'énergie solaire incidente. Les paragraphes suivants permettent d'expliquer les courbes de rendement de la figure 3.

Dans le **capteur au glycol**, l'énergie est collectée directement de l'absorbeur par conduction à travers un conduit de cuivre qui représente moins de 5 % de contact avec la surface de l'absorbeur (figure 6). Cette faible surface de contact limite la vitesse et l'efficacité du transfert de chaleur vers le caloporteur.

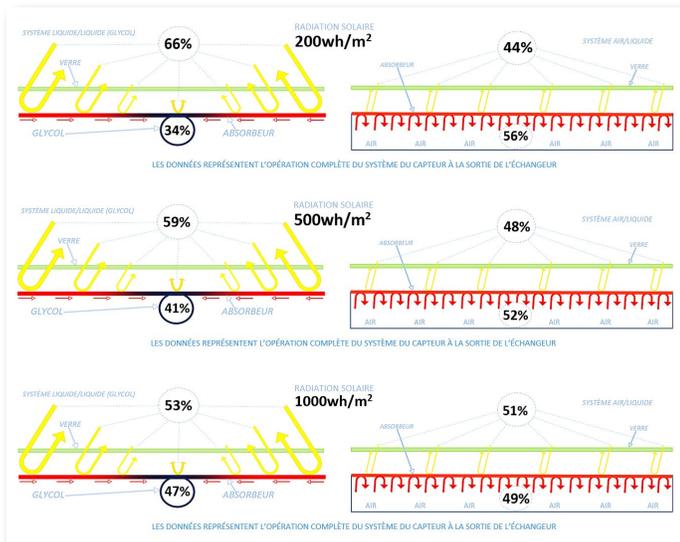


Figure 6 – Rendement comparatif des composantes des deux systèmes

Pour ce système, l'apport du soleil, à forte insolation, entretient l'absorbeur à une température élevée. Selon la loi de la conduction thermique, plus l'absorbeur devient chaud, plus l'énergie y migre rapidement au travers l'absorbeur vers le caloporteur et l'énergie n'a pas le temps de se dissiper par convection, conduction et rayonnement. Une grande proportion de l'énergie reçue est récupérée.

À basse insolation, la température diminue, la vitesse de migration à travers l'absorbeur décélère et un plus grand pourcentage de l'énergie a l'occasion de se dissiper par convection, conduction et rayonnement, abaissant ainsi le pourcentage d'énergie récupérée.

Dans le **capteur à air**, l'énergie est prélevée de l'absorbeur directement et simultanément sur toute sa surface (figure 6) par un flux d'air mis en turbulence par des dé-

flecteurs. Cet effet de récupération dynamique et simultanée de la chaleur, associée à une grande quantité d'air compense largement la plus faible capacité et conductivité.

À haute insolation, on constate sur les courbes de la figure 3 que le capteur à air récupère l'énergie aussi efficacement que le capteur au glycol. Lorsque l'insolation diminue pour le capteur à air, le prélèvement dynamique et simultané de l'énergie sur toute la surface de l'absorbeur permet de maintenir la même efficacité de prélèvement qu'à haute insolation, voire de l'améliorer.

D'ailleurs, il est possible d'observer sur la figure 6 qu'à une insolation de 200 W/m², le système air-liquide produit avec une efficacité semblable, voire meilleure (56 %) qu'à une insolation plus forte (52 % à 500 W/m² et 49 % à 1000 W/m²). Quant au système au glycol, à cette insolation de 200 W/m², il peine à fournir de l'énergie au réservoir (figure 3). Sur l'ensemble du spectre du rayonnement solaire, l'efficacité du système glycol varie de 32 à 50 %.

Conclusions et perspectives

En conclusion, les principales caractéristiques et avantages constatés pour le système air/liquide sur le système au glycol au cours de nos expérimentations sont les suivants :

- Pour l'ensemble des insulations, le rendement supérieur mesuré du système air-liquide permet d'affirmer que la plus grande surface de collection de l'énergie et la turbulence dans le flux d'air sont ses principaux avantages.
- Le nouveau système air/liquide s'est avéré plus performant énergétiquement que le standard au glycol en conditions réelles.



ALAIN POULIOT
PRÉSIDENT

ÉQUIPEMENT DE MÉCANIQUE ET ARCHITECTURE

2965, BOUL. DE LA RIVE-SUD
ST-ROMUALD, QUÉBEC G6W 6N6
TÉL.: 418 839-8831
FAX : 418 839-9354
COURRIEL: alain.pouliot@cometal.ca

Johanne Rouleau
Vice-présidente, Québec
johanne.rouleau@contech.qc.ca

CONTECH BÂTIMENT | contech.qc.ca

Expositions
Formations
Grandes rencontres
Trophées Innovation et Développement durable



L'intelligence du bâtiment

Réal Audet, ing.

Président

raudet@controlesac.com

2185, 5^e Rue, Lévis (Québec) G6W 5M6 RBQ: 2948 9861 82
Tél.: 418 834-2777 Sans frais: 1 800 840-1441 Fax: 418 834-2329
www.controlesac.com

- Le système air/liquide ne nécessite pas de spécialiste pour l'installation et l'entretien. Il est simple à opérer, stable et facile à comprendre. Ne contenant pas de liquide dans la boucle solaire, il est donc insensible au gel et à la surchauffe. La mesure de son rendement est simple. Il occasionne moins d'entretien lors de sa vie utile et il est moins dispendieux à l'achat.
- Le nouveau système permet d'éliminer les différentes problématiques associées aux appareils conventionnels utilisant le glycol comme, les fuites de liquide et la perte de pressurisation de la boucle solaire, la surchauffe en été, le gel en hiver, la dégradation du glycol, l'instabilité d'opération et conséquemment, l'entretien plus fréquent et dispendieux par un spécialiste.

Une prochaine étape sera de réaliser une analyse technico-économique du système air/liquide.

Nous tenons à remercier sincèrement l'ensemble de l'équipe pour avoir mené à bien ce projet porteur. Nous tenons à souligner particulièrement l'apport du CQRDA et du Ministère de l'Économie, des Sciences et de l'Innovation (MESI) qui ont rendu possible notre assistance scientifique pour cette entreprise.

BIBLIOGRAPHIE

¹ Ministère des ressources naturelles et de la faune : Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques – rapport final. Préparé par : Alain Moreau, ing., M.Sc.A. (chargé de projet, chercheur), François Laurencelle, Ph.D. www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/solaire/Rapport_technique_Chauffage-eau_solaire.pdf

² Bilan d'opération de systèmes solaires thermiques au LTE. L'étude des chercheurs monsieur Normand Bédard et madame Marie-Andrée Leduc http://wordpress.ashraequebec.org/wp-content/uploads/2012/09/Infobec_fev_2011.pdf



BELIMO

Pierre Bouchard
Directeur des Ventes, Région EST

Bureau de Mississauga
Tél: 905-712-3118
Sans Frais: 866-805-7089
Fax: 905-712-3124

Belimo Amériques
2237 rue du Fort-Chambly
Sherbrooke, QC J1H 6J2
Cell: 819-578-2417
pierre.bouchard@ca.belimo.com
www.belimo.ca



BOUSQUET
Technologies

**DE L'INNOVATION
EN MATIÈRE DE VENTILATION**

Louis Montminy
Représentant technique

Tél. : 514 874-9050
lmontminy@bousquet.ca
www.bousquet.ca

**LE GÉNIE
DU RENDEMENT...**

... mécanique, électrique,
immotique, environnemental, ...



**bouthillette
parizeau**
systèmes évolués
de bâtiments

418-614-9300 | bpa.ca
Montréal | Longueuil | Laval | Québec | Lévis | Gatineau | Ottawa

Bobby Pelletier, ing.
Représentant-ventes commerciales



CE
confort | excellence
Entreprise Carrier Canada

Entreprise Carrier Canada L.P.
595, boulevard Pierre-Bertrand, bureau 150
Québec, Québec G1M 3T8
Tél: 418-872-6277 poste 2
Cell: 418-929-1062
Télécopieur: 418-872-8295
Sans frais: 1-800-667-6277
Courriel: bobby.pelletier@carrierentreprise.com
carrier.ca



CFCPC

Axé sur vos besoins en formation

Centre de Formation Continue des
Professionnels de la Construction

514-686-3099

formation@cfpc.ca

www.cfpc.ca



TOROMONT **CIMCO**

www.cimcorefrigeration.com

Vincent Harrisson, ing. M. Sc.
Conseiller technique

CIMCO REFRIGERATION
5130, rue Rideau, suite 150, Québec, Québec G2E 5S4
Tél: 418-872-4025 Télécopieur: 418-872-1254
Courriel: vharrisson@toromont.com

